

博士論文 平成 27（2015）年度

選択行動の構造と変動性：
ラットの消去レバーへの
選好パルス現象を軸とした実験的・数量的検討

慶應義塾大学大学院社会学研究科

八賀 洋介

博士学位請求論文 「選択行動の構造と変動性：ラットの消去レバーへの選好パルス現象を軸とした実験的・数量的検討」

訂正表 （下線部の訂正または不足の加筆を行った。ただし文章全体を改めた箇所は下線を省略している）

- iii ページ 1 段落 13 行目 これらの研究に行動変動性研究はどのように関わりうるのか、
- iv ページ 1 段落 4 行目 オペラントの過程を組み合わせることで説明が可能な 3 項強化随伴性の揺れ仮説の予測と対立させて仮説検証を行った。
- 16 ページ 5 段落冒頭 Barba (2012) は Neuringer らの一連の研究においては、まだ変動性がオペラントであることの検証自体を行っていないと主張する基幹論文を発表し、
- 19 ページ 3 段落 3 行目 アルツハイマーの患者のように自分の以前の行動を弁別刺激として利用できない時に起こることだと日常的な視点からその奇妙さを指摘する。
- 20 ページ 2 段落 10 行目 Marr はこの代替説明は Neuringer の生得的ランダムジェネレータ説と共通の問題点を有していないのかは未だ検討不十分であるとみる。
- 23 ページ 2 段落 9 行目 しかし、定常状態の反応遂行もまたダイナミカルシステム (dynamical system) の範疇に含まれる
- 28 ページ 3 段落 7 行目 そこで、毎試行で確率的に色位置を切り替えることはやめ、代わりに 3 分経過ごとに色位置を変えることにした。加えておよそ 40 セッション訓練した後に、
- 28 ページ 4 段落 1 行目 その結果、反応確率（試行定義で定められた 2 秒間に反応自発する確率）は
- 30 ページ 2 段落 3 行目 微視的最大化 (molecular maximizing)
- 31 ページ 1 段落 6 行目 次の時間枠で両選択肢間の強化率は等しく揃えられた。結果、時間枠 4 分条件では
- 32 ページ 1 段落 7 行目 もともと低頻度依存淘汰手続きは、過去の一定試行内の反応を蓄積し、その中で反応割合を算出し、その割合（反応配分）に基づき分化強化する手続きである。この点において設定された時間枠内で算出される時間配分に基づいて分化強化を行う Herrnstein and Vaughan (1980) 型の手続きの測度を時間から反応へ変えれば同型であることがわかる。
- 33 ページ 1 段落 2 行目 時間枠や過去の反応枠のサイズが小さければそれだけ 1 反応が枠内の時間配分や反応配分の変化へ及ぼす重みが増し、その結果、大きな局所強化率の変動を経験しやすくなるだろう
- 42 ページ 3 段落 8-10 行目 括弧内の文章を削除
- 44 ページ 2 段落 11 行目 つまり、成分内のエサ呈示回数が減少しても、換言すると、一次強化率が下がっても影響がなかった。成分内のマガジンライトの生起回数も同様に選

好パルスの大きさに影響しなかった。

44 ページ 3 段落 11 行目 また、キイライト点灯の位置を操作し、各選択肢へのエサ提示の強化比と、完全な正の相関をする条件と、完全な負の相関をする条件を検討した。

55 ページ 2 段落 8 行目 後からそのデータに恣意的に加えた強化子提示位置に基づき、

55 ページ 3 段落 1 行目 ローデータを構成するために、まず反応連をガンマ分布によって生成した。

61 ページ 3 段落 1 行目 この装置の下ではエサが提示されてからも反応をし続ける反応超過 (runover) が起きる可能性がある。

72 ページ 2 段落 1-7 行目 訓練中の VR 値は、長い休止の増加のような反応遂行の悪化が生じていないことに留意しつつ、実験者の判断で徐々に上げていった。上昇系列群では、数セッションで VR 値を 2 から 8 へ上げていき、本実験を開始し、下降系列群では、20 セッション程度かけて VR 値を 2 から 32 まで上げていき、本実験を開始した。各条件とも 50 セッション継続し、上昇系列群では、VR 値は 8 から 16、48 へと変化させ、下降系列群では、32 から 16、4 へと変化させた。

74 ページ 2 段落 18 行目 これらの結果をまとめると、刺激性制御は Williams (1971) の予測どおりに VR 比率が高い条件によって獲得されやすくなり、それは全体の傾向として確かに転移を示した。しかし、強化子提示後 10 秒程度においては、全体とは異なる傾向を示し、何らかの別プロセスが干渉したことを示唆した。

74 ページ 3 段落 1 行目 強化子提示後に刺激ライトの弁別機能が十分に効果を持つまでに、いくらかの遅れが生じるということは、3 項強化随伴性の揺れ仮説の第 2 の検証を行う妥当性を高める。

75 ページ 2 段落 2 行目 ただし、刺激ライトによる弁別機能が十分な働きを示すまでに時間的な遅れが生じることが確かめられた。

78 ページ 2 段落 1 行目 この訓練の完遂後、VI 群は並立 VI27 秒 EXT スケジュール、VR 群は並立 VR20 EXT スケジュールを利用して主実験条件を開始した。

131 ページ (7) 8-12 行目 「過程がランダムであることを～だからといって帰無仮説を証明したことにはならない。」まで削除

“Our ignorance of the laws of variation is profound”
(Darwin, 1859/1999).

“In puzzling over the many mysteries occasioned by the methods and results of research devoted to ‘variability as a generalized operant class,’ I’ve come to see this area as representative of how little we know or understand about the complex dynamics of behavior”

(Marr, 2012).

“Now after many years of an odyssey through the stable baseline, the steady state, and the static condition, we are at last returning to the Ithaca of change, of transition, of variation- in a word, dynamics”

(Marr, 1992).

はじめに 本論文の構成と各章の論点

本論文は選択行動の変動性をテーマとして、その枠組みから選択行動の推移的過程の分析に関連した実験報告を行うものである。本論文は第 1 部と第 2 部及び資料から構成されている。第 1 部は主に先行研究の概説に当てられている。まず、「1. オペラント行動と行動変動性」において、本論文で扱う行動変動性の定義を述べ、行動変動性をテーマとする先行研究の簡易的な概括を行っている。その領域におけるとりわけ大きな転機は **Page and Neuringer (1985)** が行動変動性はオペラントであるとする論文を発表したことであろう。行動変動性をテーマとする先行研究はそれ以来長く、この論文を範例手続きとして利用し様々な現象的知見を見出してきた。「2. 行動変動性研究の展開」では、**Page and Neuringer** 以来 30 年が経過し、行動変動性オペラントの研究は近年沈静化し、一つの時代の終焉を感じさせる。そこで、行動変動性研究としてどのような論点があり、どのような展開が可能であるかを論じた。一つはランダムネス研究への接続の可能性である。行動分析学の領域を離れ、心理学全般に目を移すと、古くからランダム行動の生成やランダムネスの知覚の研究が続いてきたことに気づく。行動変動性研究はどのように関わりうるのか、そしてどのような問題が待ち受けているのかを論じた。次にオペラントの概念に関する概念的貢献に触れた。行動変動性はオペラントであるという主張の目新しさは近年になり再び議論を呼んでおり、2012 年に **Behavior Analyst** 誌で特集が組まれている。この議論を中心に紹介を行った。そして、最後に並立スケジュール事態における選択行動研究への接続の可能性について論じた。ここで、様々な話題に触れてきた中で、本論文はこの最後の論点にしたがって、行動変動性研究を展開していくことを宣言している。並立スケジュール下の選択行動研究が非常に大きく、現代の実験的行動分析学の主領域の一つであり、それ自体において追及する価値があることは疑いない。しかし、本論文の立場は、選択行動の変動性の研究として寄与する点があればこそ注目をしている。そのため、念頭には常に行動変動性があり、そのテーマを追及する道具として並立スケジュールの選択行動へ足を踏み入れるのである。そのため主に選択行動の微視的な構造の議論へと注目をしていく。「3. 並立スケジュール下の選択行動とマッチング法則をめぐる研究」では、選択行動研究の長年の理論的支柱であるマッチング法則について簡単に紹介をした後、その基底において選択行動の微視的記述としてどのようなことが明らかにされてきたかを紹介する。「4. 選択行動の推移と選好パルス」では主に **Davison and Baum (2000)** 以降に注目を集め始めた選択行動の推移研究における特徴的な多元的な分析手法と、それぞれの分析水準において明らかにされてきた知見をまとめ、その中でも現在まで注目を集め続けている選好パルス現象の基本的な知見およびこれまでに提案されてきた仮説を中心に紹介をしていき、第 1 部を終える。

第 2 部は実験報告となっており、4 つの選好パルスに関連した実験を報告した。実験 1 では、著者の発見した選好パルス現象の報告を行う。先行研究の範例手続きとは大きく異なる

手続きを使用し、消去レバーへ生起する選好パルスを発見した。これは、これまでに提唱されてきた仮説で現象を説明することは難しく、新たに強化子による誘導が原因であるとする説を提案した（この実験は Hachiga, Sakagami, and Silberberg, 2014 として学術誌に発表済み）。実験 2 では提唱した強化子による誘導仮説の妥当性を検討するために、オペラントの過程を組み合わせることで説明が可能な 3 項強化随伴性の揺れ仮説の予測と対立させて仮説検証を行った。実験 3 では、選好パルス現象の基底のメカニズムの探索から離れ、選好パルスの伝統的な傾向である Win-stay 傾向を含んだ選択行動全体の変動パターンを記述するシミュレーションモデルの提案を行った。これは Win-Stay, Fix-and-Sample モデルと名付けた（この実験は Hachiga, Sakagami, and Silberberg, 2015 として 11 月に学術誌に掲載予定）。実験 4 では、提案した Win-Stay, Fix-and-Sample モデルの妥当性と基底のメカニズムを探るために、いくつかの側面から探索的に検討する実験を報告している。

図 i は、本論文構成を図式的に表したものである。核は実験 1 における消去レバーへの選好パルス現象の発見であり、それに比して、並立スケジュールにおける選択行動研究全体に及ぶ話題か、部分的基底な話題かという軸と、変動性現象の構造の記述中心であるか、記述された構造の更なる過程の探索となっているかによってもう 1 つの軸を想定し、報告した 4 つの実験の関係性を示した。

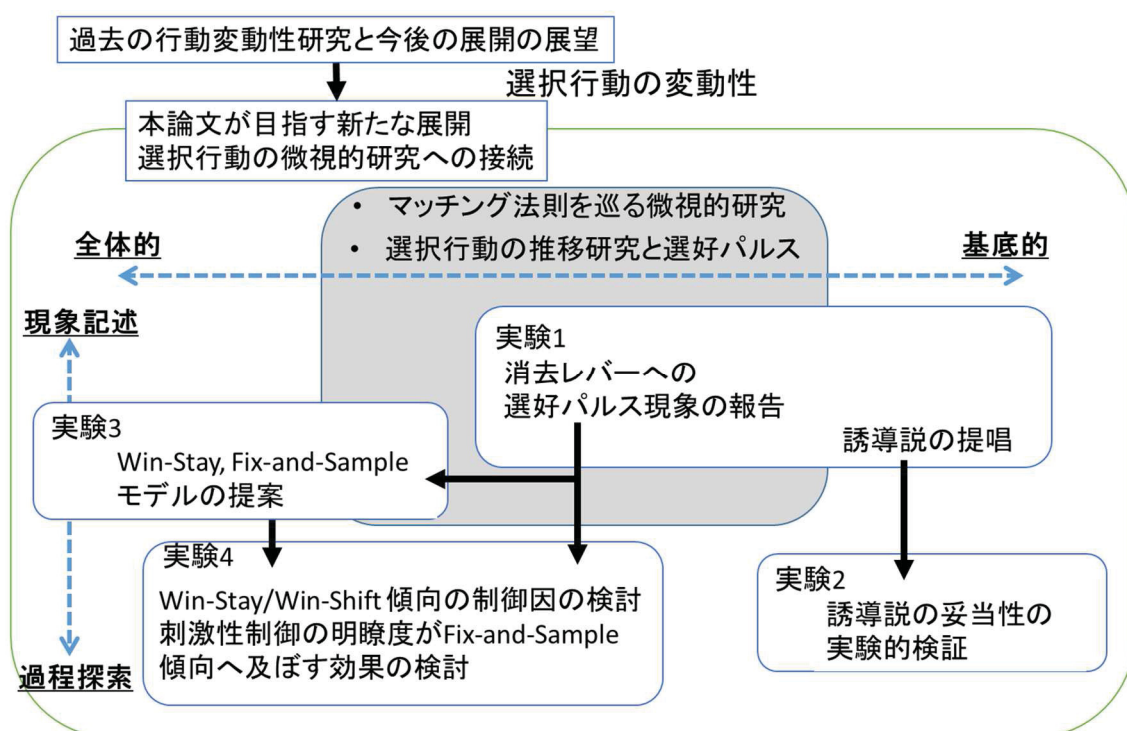


図 i 本論文の構成

第1部 強化と選択行動の変動性

1. オペラント行動と行動変動性.....	2
行動の科学における行動と行動変動性	2
選択行動の変動性.....	4
行動変動性は強化可能か.....	6
2. 行動変動性研究の展開	9
行動変動性とランダムネス	10
オペラント概念.....	15
オペラント概念に関する考察.....	15
行動変動性オペラントに関する議論.....	16
行動変動性と並立スケジュール事態における選択行動研究.....	20
3. 並立スケジュール下の選択行動とマッチング法則をめぐる研究	22
マッチング法則.....	24
選択行動の微視的記述としての行動変動性	26
4. 選択行動の推移と選好パルス.....	33
選択行動推移の多次元的分析手法.....	35
選好ツリーと感度の推移分析.....	35
強化間隔の反応推移と選好パルス分析、PPV分析.....	36
時間軸尺度（集成水準）の異なる推移過程.....	37
3つの分析水準における推移状態の基本的知見	38
感度の分析.....	38
選好ツリーの分析.....	39
選好パルスの分析.....	41
選好パルスの生起過程と選択行動の巨視的理論を巡る動向.....	41
選好ツリーは選好パルスに還元されるのか.....	43
選好パルスの生起因：強化子の強化機能説と弁別機能説.....	43
BAUMの行動主義：還元と自己相似性.....	47
離散反応から時間の配分へ：機械論的行動科学からの分離.....	48
選択行動のダイナミクスと還元性と自己相似性.....	51
MCLEAN, GRACE, PITTS, AND HUGHES (2014) のアーティファクト説.....	55

第 2 部 実験報告

実験 1 EXT レバーへの選好パルス現象報告と強化子による誘導説.....	58
方法.....	59
被験体.....	59
装置.....	60
手続き.....	60
結果.....	61
考察.....	63
シミュレーション：アーティファクト説の検討.....	65
実験 2 3 項強化随伴性の揺れ仮説と誘導説の実験的比較.....	68
方法.....	71
被験体.....	71
装置.....	71
手続き.....	71
結果.....	72
考察.....	73
実験 3 選択モデルとしての WIN-STAY, FIX-AND-SAMPLE の提案.....	76
方法.....	77
被験体.....	77
装置.....	77
手続き.....	78
結果.....	78
考察.....	81
結果の要約.....	82
単一レバーへの選好パルス.....	82
二重指数関数による誘導モデル.....	83
並立スケジュールの違いによる $\log P/N$ 反応比.....	84
選択行動の規則としての Win-stay ガンマ分布選択ルール.....	84
選択行動のモデルとしての Win-stay, Fix-and-Sample.....	86
並立 VI VI 選好パルスのアーティファクト成分という視点への本モデルの含意.....	89
実験 4 選好の変動のメカニズムの探索.....	91

方法.....	94
被験体	94
装置.....	95
手続き	95
結果.....	96
考察.....	99
総合考察	103
実験報告の要約.....	103
本実験からの諸研究領域への示唆.....	106
選好パルス現象と選択行動研究	106
オペラント変動性研究.....	108

資料

引用文献.....	111
補足.....	127
補足 1	128
補足 2.....	128
補足 3.....	132
補足 4.....	132
補足 5.....	132
表一覧.....	134
表 1-1 実験 1 (式 16) の推定されたパラメーター値と分散説明率	135
表 2-1 実験 2 (式 16) の推定されたパラメーター値と分散説明率	136
表 2-2 各 VR 条件で得られた個体ごとの全体強化率.....	137
表 3-1 実験 3 (式 16) の推定されたパラメーター値と分散説明率	138
表 4-1 実験 4 の各個体の実験条件.....	139
図一覧.....	140
図 1-1 強化子提示後の時間経過の関数としての P レバーへの反応頻度	141
図 1-2 刺激ライト点灯側レバーへの反応割合とその強化後の推移	142
図 1-3 強化後時間経過の関数としての LOG P/N 反応比 (選好パルス)	143
図 1-4 KILLEEN ET AL. (1978) の二重指数関数の誘導モデルの群平均データへの当てはめ	144
図 1-5 KILLEEN ET AL. (1978) の二重指数関数の誘導モデルの個体データへの当てはめ ..	145
図 1-6 MCLEAN ET AL. (2014) のシミュレーションの本実験 1 手続きへの適用結果	146
図 2-1 全体強化率に対するオペラント行動とスケジュール誘導性行動の反応予測.....	147
図 2-2 強化後時間経過の関数としての LOG P/N 反応比 (選好パルス)	148
図 2-3 VR 条件ごとの刺激ライト点灯側レバーへの反応割合 (正答率)	149
図 2-4 各比率条件の EXT パルスにおける EXT レバーへの反応頻度対数値.....	150
図 2-5 EXT パルスにおける EXT レバーへの反応の 50 パーセンタイルまでの頻度.....	151
図 3-1 各条件の刺激ライト点灯側レバーへの反応割合	152
図 3-2 各条件の正反応率の強化後時間に伴う推移	153
図 3-3 強化後時間経過の関数としての LOG P/N 反応比 (選好パルス)	154
図 3-4 KILLEEN ET AL. (1978) の二重指数関数の誘導モデルの当てはめ (個体データ) ..	155
図 3-5 第 1 実験条件における訓練初期と後期の選好パルス比較	156

図 3-6 選択行動への対数生存分布プロット及び、反応連の関数としての切り替え反応確率プロット	157
図 3-7 ガンマ分布選択規則および WIN-STAY 成分を用いた EXT パルスシミュレーション	158
図 3-8 WIN-STAY, FIX-AND-SAMPLE モデルによるシミュレーションデータを用いた対数生存分布プロットおよび、反応連の関数としての切り替え反応確率プロット	159
図 3-9 WIN-STAY, FIX-AND-SAMPLE モデルによるシミュレーションデータを用いた正反応率の強化後時間に伴う推移	160
図 3-10 WIN-STAY, FIX-AND-SAMPLE モデルによるシミュレーションデータを用いた選好パルス	161
図 4-1 各条件の VI レバーへの反応割合	162
図 4-2 群 A の強化後時間経過の関数としての LOG P/N 反応比（選好パルス）	163
図 4-3 群 A の強化後時間経過の関数としての左右別 VI パルスと EXT パルス	164
図 4-4 群 B の強化後時間経過の関数としての LOG P/N 反応比（選好パルス）	165
図 4-5 群 B の強化後時間経過の関数としての左右別 VI パルスと EXT パルス	166
図 4-6 群 B の EXT パルス（訓練条件順）	167
図 4-7 群 A の選択行動への対数生存時間プロット及び、反応連の関数としての切り替え反応確率プロット	168
図 4-8 群 B の各個体の LOG L/R 強化比の関数としての LOG L/R 反応比	169
図 4-9 群 B の刺激ライト位置の変化の有無別の LOG L/R 強化比の関数としての LOG L/R 反応比	170
図 4-10 群 B の強化子提示後 12 秒までのマッチング及び、20 秒から 40 秒までのマッチング比較	171
当該研究に関する業績一覧及び職歴、研究歴	172
業績	172
職歴	175
研究歴	175
謝辞	176

第 1 部 強化と選択行動の変動性

1. オペラント行動と行動変動性

行動の科学における行動と行動変動性

およそ 1 世紀前に行動主義が興った際には研究の対象となる行動をどのように定義するかは第一の問題であった。Skinner (1938) の行動の定義を佐藤 (2005) より引用する。

行動とは、個体の営みのうちで、外的環境に働きかけ、あるいは相互交渉をもつすべての営みである。

これは、個体の外的環境への働きかけや、外的環境が個体へ及ぼす効果という行動の機能に焦点を当てた定義となっている。また Skinner (1935) は反応をクラス概念とみなす視点を導入し、環境へ働きかけた結果、共通の効果を引き起こす反応は反応型 (topography) が異なっても同一の行動として取り扱うことを提案した。これにより、個別の動作へ注目せずに関心対象となる環境操作に焦点を当てることが可能となった。共通の効果に当たる強化子などの後続事象に焦点を当てること、効果の法則、あるいは強化の原理の研究は前進し、これを基盤とした行動の科学を打ち立てることにつながった。行動と環境との接点を冷徹に見つめ、そこに焦点を当てたことがこの成功を導いた。

一方で、行動とは時間・空間の中で変化し続けるものである。生命の誕生から個体の行動は発生し、絶え間なく外界との交渉を続け、変化し続けていく。時にはかつての行動を失い、別の行動を獲得し、歳月の経過とともに一層複雑さを増しながら連綿と続いていく。この絶え間なく変化をする点に注目をした場合、行動の流れ (behavior stream) に例える見方が浮上する (e.g., Lattal and Abreu-Rogrigues, 1997; Schoenfeld and Farmer, 1970; Watson, 1930)。Schoenfeld and Farmer (1970) はレスポナントとオペラントの両条件づけともに、実験室で検討する際には、すでにあらかじめ自然に生起している行動の流れの中に、ある刺激や事象を挿し入れる手続きを行った後の変化を観察しているという事実を強調する。とりわけ、それが鮮明に感じられるのは反応に依存せずに強化子が固定時間ごとに提示される場合であろう (e.g., Skinner, 1948)。すでに行動は生起し続けており、その上に独立変数を重ね、その効果を観察するのである。本論文は行動変動性 (behavioral variability) をテーマに掲げるが、行動それ自体の本質が時空間の中で常に変化し続けるものであるとするならば、行動変動性は強化随伴性とは無関係に、あらかじめ行動に備わるものとみなすべきなのだろうか。換言すると、行動変動性の問題は行動と環境の相互作用の水準ではなく、生物の進化史や遺伝、身体に内在する生理過程に原因を求めるべきなのだろうか。

Sidman (1960) は環境からの影響 (実験においては実験者の何らかの変数操作の影響) から行動変動性が生じる可能性をまず積極的に追求すべきであると指摘する。変動を生み

出す原因が個体に固有である可能性はあるとしても、どこまでが固有の変動であり、どこからが環境との相互作用を通して変動する部分であるのかを分離する必要がある。個体への固有性を認めるのは環境との交渉の点で説明することができない、つまり制御条件に固有であるとみなすことが困難であることが明らかになった後のことであると主張した。確かに行動変動性が個体に固有であるとするならば、1つの研究の方向として生理レベルに知見を求めることが想定できる。これが妥当な研究の方向性の1つであることは勿論であるが、まず行動変動性の資源として説明に利用される前に、生理学における生物の身体の働きの理解が十分に達せられていることが必要である。生理学の方法論を利用した生理的変数の徹底的な検討が行動の研究へ適用されるより先んずる必要があり、あまり理解が進まない状態で行動変動性の資源としてどのような影響を持つかをテーマとして据えることは良い問題設定とはならないであろう。

また別の観点として、個体の適応と進化の過程を説明に利用する場合がある。行動が時々刻々と変化するだけではなく、実際には個体を取り巻く環境も流転し続けており、厳密に言えば正確に同じ状況を個体が2度経験することはあり得ない。そのような環境へ適応する際に個体が行動を柔軟に変動させることがなかったならば、著しく生存価を損なったであろう。それゆえに、行動変動性を固有に持つ個体が進化の過程で残ったという説明である。

この説明に依拠するならば、行動変動性の究明のために、進化過程や進化史、生態など生物学的な観点から調べることになるであろう。確かに生物学や生態学的な研究も、生理学的研究と同様に研究として1つの妥当な方向性を示している。しかし、変動性という行動レベルの現象が種や個体の生存に役立つ機能を果たしていることを行動の科学における分析の出発点とみなすことは十分な理由とは言えない。先に述べた行動変動性を統べる環境制御条件の検討は実験的分析により追求可能であり、その検討方法は伝統的な科学的アプローチとして瑕疵はどこにもないため、これを放棄する理由はどこにも見当たらない。異なる反応が一見類似した環境で強化されることも、また一見異なる環境が共通した行動を要求することもあるだろう。行動と環境との相互作用は解明を必要とする十分に複雑な研究対象である。これが行動の科学の視点である。

行動の科学にとって行動変動性を検討することは極めて重要である。なぜならば、変動性は行動現象の発見や、行動の法則の定立に対する基礎データの役割を果たしているからである。研究者は環境事象との相互作用、あるいは行動の制御条件を環境に求める際に、観察された行動変動性を2つに分類することになるだろう。1つは周期的な行動変動、あるいは周期的とまでいえずとも規則的な行動変動である。それが個別の実験で一過性にみられるものではなく追試においても繰り返し見られることがわかれば、ある現象、あるいはある法則定立へつながる何かを発見した可能性がある。他方、もしその変動が組織的ではない、あるいは検討中の現象に比べ極めて小さなものであった場合には、これを2つ目の行動変動性、すなわちノイズ (noise) として扱うかもしれない。Perone (1991) は安定基準の議論において、前者をトレンド (trend)、後者をバウンス (bounce) と呼称している。安定基準

の検討において規則的なトレンドは厄介なものでしかないように思われるが、それを生じる要因の検討はそれ自体検討する価値を有しているのである。行動の変動性を行動の現象や法則の探索のための基礎データとして用いる視点と、実験技術の問題として、すなわち制御技術の洗練によって除去すべきノイズとみなす視点は、端的に科学者と技術者の視点の違いを表す (Sidman, 1960)。実際には研究者は 2 つの役割を兼ねるわけだが、洗練された実験的制御の末になお見いだされる行動変動性はただ技術の問題として捨てるべきではない。行動変動性は行動の科学にとって基盤となる重要性を持つのである (Palmer, 2012)。このことは、すでに Skinner (1938) が熟知していたであろう。それゆえ累積記録器によって時々刻々の行動の変動を測定したのである。

そこで、本論文で扱う行動変動性は、強化随伴性との関係において起きる反応や反応パターンの変化と捉える。間欠強化スケジュールが誕生して以来、行動と環境の接点はやや曖昧になったように思われる。なぜならば、必ずしも反応自発と強化子が 1 対 1 で生起する必要はないことが自明となったからである。そのため、ある環境条件に置かれた個体がどのように行動を変化させるかという視点はより意義を深めたようである。例えば、Ferster and Skinner (1957) が残した膨大な累積記録は異なる間欠強化スケジュールにおいていかに反応率が揺れ動くのかを描き出している。消去の過程においても反応が忽然と消失するわけではなく、消去バーストや自発的回復、反応復活などの典型的な消去中の行動変動が存在することが明らかにされてきた (Skinner, 1938; 藤巻, 2014)。

要約すると、行動変動性は行動自体が変化し続けるものであることから、行動に必然的に認められる性質である。行動自体が生理学や生物学の基礎データをも兼ねるため様々なアプローチ方法に開かれている。しかし、それが環境または外界との交渉、相互作用の実験的分析を旨とする行動の科学としてのアプローチを閉ざすことはない。実際には個体の行動レベルでの解明が進むことがその他の分野へ良質の知識を提供可能とするだろう。行動変動性が単なるノイズであるとみなすことができない場合には行動の科学の基礎データとして極めて重要な位置を占める。

選択行動の変動性

Skinner (1938) の多くの実験では、単位時間あたりの反応回数 (反応率) を測定し、それがいかに変動するかを累積記録により描き出していたが、一部の実験では反応に要した力 (force) を測定している。つまり、一言に反応を測定するといっても、行動には様々な特性がある。例えば、レバー押し行動を測定するといった場合にも、反応回数や力の他に、反応位置 (location)、反応の持続時間 (duration)、反応潜時 (latency)、反応間時間 (inter-response time: IRT) などが考えられる。これら行動を測定する際の個別の側面を反応次元 (dimension) と呼ぶ。行動変動性は、レバーを押すか毛繕いをするかといった、総体としての反応型 (topography) の違いにより定義する場合も含め、厳密に言えば、測定された反応

次元に備わる性質であり、個別の反応次元があるならば、それに応じて個別に行動変動性も検討することが可能である。このような性質から上述の次元を含む様々な次元における行動変動性の先行研究が存在している (e.g., Herrick, 1965; Herrick and Bromberger, 1965; Herrnstein, 1961; Margulies, 1961; Millenson and Hurwitz, 1961; Milenson, Hurwitz, and Nixon, 1961; Notterman and Minz, 1965)。また、複数の次元を組み合わせ測定する場合や操作する場合もある (Gharib, Derby, and Roberts, 2001; Ross and Neuringer, 2002)。測定に利用される反応次元については山岸 (2003) が詳細にまとめている。

このような特徴から、行動変動性をテーマとした研究を為す場合に、1つの明瞭な戦略として、なんらかの次元に限定して行動変動性を検討することが考えられる。そこで、本論文では選択行動の変動性に絞る。典型的な選択行動は、時には複数の次元の組み合わせもあるにしろ、一般的には複数のオペランダム上の反応位置として定義される。ただし、選択行動ならば必ず反応位置で測定するというものではない。Blough (1966) や Hawkes and Shimp (1975)、Shimp (1970, 1981) は IRT を区間 (クラス、またはビン) に割り、各区間を選択肢とした選択行動を例示している。しかし、オペランダムの位置次元を軸として測定する選択行動は直感的にわかりやすく、次元間の違いをテーマとするわけではないならば、この点で方法を複雑化させる必要はない。また、何より蓄積された先行研究が比較的多く、範例的な手続きが存在することも重要である。以後、本文で特に断らない限りは、選択行動を排他的に存在する複数のオペランダム間への反応自発、またはそれらで構成される選択肢への反応自発に限定し、また行動変動性はこの選択行動の変動性を指して使用する。

初期の選択行動の変動性の研究の多くが何等かの強化スケジュールで反応を維持し、その後別のスケジュール (典型的には消去) へ移す手続きを実施し、その際の選択行動の推移を測定した。一例として、Antonitis (1951) は被験体にラットを使い、実験箱内の壁に幅 50cm にわたり横長の窪みを設置し、ノーズポーク反応を自発した窪みの位置を測定した。訓練ではどの位置に自発した反応も等しく強化子が提示され、結果、特定の位置に反応は固定されていったが、消去スケジュールへ移すと反応位置の変動が高まった。この研究を始めとする類似の手続きで行われた研究の知見は次のようにまとめられる。複数の選択肢を用意し、いずれに反応しても等しく強化子提示の可能性がある事態において、訓練を進めると行動変動性は減っていく (Antonitis, 1951)、一方、消去へスケジュールを変更すると行動変動性が増す (Antonitis, 1951)。間欠強化スケジュール下では連続強化スケジュールに比べて行動変動性が増す (Eckerman and Lanson, 1969; Ferraro and Branch, 1968, ただし Herrnstein, 1961)。これらから考えられる可能性として、強化子は反応率を高めるだけでなく、選択行動においては、行動の定型化を導くのではないかと考えられた。これは、Guthrie and Horton (1946) や中西 (1955) がトポグラフィーの定型化を観察したことと軌を一にしており、Brown and Herrnstein (1975) が固定的活動原理 (stop-action principle) と呼んだ現象で説明可能であろう。

Vogel and Annau (1973) は以後の行動変動性研究に影響を与える 1つの手続き的パラダ

イムを提供した。基本的には反応位置の変動性であるが、離散試行で 1 試行中に自発する反応系列によって変動性を測定した。その手続きでは、4×4 のマトリクス状に配置されたライトを弁別刺激として、ハトは左 (left: L) 右 (right: R) のキイへ反応を行う。試行の開始時には左上のライトが点灯しており、一方のキイへの反応がライト位置を右へ 1 つずらし、もう一方のキイへの反応がライト位置を下へ 1 つずらした。点灯するライトが右下まで移動すると強化子が提示され、次試行へ移る。4 回以上一方のキイへ反応した場合にはブラックアウトの後、次試行へ移る。したがって、この手続きでは、左右のキイへ均等に 3 回反応することが要求されるが、反応順序は自由に自発することが許された。結果、訓練初期には、さまざまな反応系列が自発されたが、訓練経過とともに、反応系列は定型化していった。この報告も強化子の活動固定化原理と一致した結果である。Schwartz (1980) も 5×5 のマトリクスライトを利用した同様の手続きにおいてハトの行動が定型化すること、すなわち、70 の自発可能な系列があるが、訓練を進めると試行のほとんどで自発される支配的な系列が 1 つ形成されることを報告している。ただし、消去手続きに移行すると行動変動性が増した。

この手続き的パラダイムにおいてマトリクスライトによる刺激性制御はどの程度の効果を持つのかを検討するために、Schwartz は実験 3 で AB デザインにより、ライト存在下で支配的系列が形成された後に、マトリクスライトを撤廃した。結果、条件の移行直後には行動変動性がやや増したが、訓練進行とともに、支配的系列が自発される頻度が前条件時と同程度まで戻った。これは、支配的系列の形成には外部刺激による制御の有無は重要ではないことを示している。

さらに Schwartz (1982) はマトリクスライトを持たない、左右に 4 反応ずつ自発することを要求する随伴性下で、ハトに系列を変動的に自発させることが可能であるか実験的検討をした。実験 1 では実験未経験のハトの訓練初期から、基本の随伴性に加えて前試行とは異なる系列を自発するという要求を課した (ラグ手続き)。したがって、支配的系列を発達させることを妨げ、行動変動性を高めるであろうと期待した。実験 2 では、ち密で長期にわたる複数の訓練フェイズを通して、LLLLRRRR と RRRLLLLL の 2 つの系列を十分に自発可能にした上で、両反応系列を交互に自発することを要求した。両実験の結果とも、強化された試行のパーセンテージは 50% 程度であり、また実験 1 では強化子獲得の妨げとなるにも関わらず支配的系列が形成された。Schwartz はこの支配的系列の形成を説明するために、強化子には快に関わる (hedonic) 特性と、情報価に関わる (informative) 特性があり、前者の特性の効果によって、反応系列の固執が起きるのであると考察を行っている。したがって、たとえ、随伴性要求で行動変動性を求めたとしても、強化子の特性により行動変動が減るであろうと結論づけている。

行動変動性は強化可能か

これまで示した強化随伴性の選択行動の変動性への効果は、活動固定化原理の名称で要約可能であった。すなわち、(一次) 強化子には選択行動を定型化する効果がある、ということである。**Schwartz (1980, 1982)** では変動的な行動を随伴性が要求した場合でも、定型的な系列が自発され続け、そのために強化される試行のパーセンテージを減じた。

しかし、オペラント実験箱の外で行われたいくつかの先行研究では強化随伴性により行動変動性が増したことが報告されている。例えば、**Pryor, Haag, and O'Reilly (1969)** はイルカの訓練においてこれまでに行ったことのない行動を自発した場合に強化をすることで新奇な行動を形成した。**Goetz and Baer (1973)** は就学前の幼児の積み木組み立て行動で新奇な積み木組み立て行動が自発された場合に強化を行った。いずれの場合も、これまで行ってきた行動と別の行動を強化することによって行動変動性が増したと解釈できる。

実験室において手続きを標準化し厳密な実験的検討のもと、強化随伴性を設定することによって行動変動性が増加しうることを示したのは **Page and Neuringer (1985)** であった。彼らは **Schwartz (1980, 1982)** が強化随伴性により変動性を高める試みに失敗した理由は、**Schwartz** の利用した強化随伴性の拘束条件のためであると考えた。2つのオペラダムで構成される8反応系列を考えた場合、2の8乗、すなわち256通りの系列を自発することが可能である。しかし、**Schwartz** の手続きでは正確に左右の選択肢に4回ずつ反応を自発しなければその試行は強化されずにブラックアウトで終わった。したがって、もし動物が高い変動性を示し、ランダムな行動自発へ近づくならば、逆に多くの試行が強化子を得られずに終わることになる。彼らはそのような予測の妥当性をシミュレーションにより確認した後、**Schwartz** と同様の1試行8反応系列自発のラグ手続きにおいて、ハトを訓練した。その結果、**Schwartz (1982)** の結果とは反対に行動変動性が高まることを確認した。

さらに、ラグ手続きのラグ変数(過去何試行の系列と異なることを要求するか)を5、10、15、25、50と操作していくと、ラグ変数値が高まるにしたがって行動変動性は高まっていき、変数値25および50の場合には、コンピュータの生成した疑似乱数値と変わらない振る舞いとなった。さらに、ラグ50の最終5セッションの強化頻度からヨークト条件を作成しABABデザインで検討を行ったところ、ヨークト条件では行動変動性が減少することを確認した。したがって、強化の間欠性のために行動変動性が増すことは周知された現象であるが(e.g., **Antonitis, 1951; Eckerman and Lanson, 1969**)、ラグ変数が高まるにつれ、全体強化頻度が低くなることだけが、行動変動性を増加させたわけではなく、変動性を要求する随伴性を付加したことによる分化強化の効果であることが明らかにされた。さらに、この行動変動性は刺激性制御下に置くことが可能である。**Denney and Neuringer (1998)** は多元スケジュールにおいて、変動性要求条件とヨークト条件をランダムに切り替えたところ、変動性要求条件においてハトは高い変動性を、ヨークト条件では低い変動性を自発し、混合スケジュールへ切り替えたところ、その中間の変動性を示した。この行動変動性を高める手続きの効果はハトだけでなく、イルカ(**Pryor et al., 1969**)、ラット(**Cherot, Jones, and Neuringer, 1996; Hest, Haaren, and DePoll, 1989**)、セキセイインコ(**Manabe, Staddon,**

and Cleaveland, 1997)、ヒト (Goetz and Baer, 1973; 長谷川, 1997; Neuringer, 1986, 山岸, 1998, 2000) でも確認されている。Neuringer (2002) はこれらの結果から、行動には反応の持続時間や IRT などの次元と同じように、変動性という次元が存在し、その次元はどの程度反応を繰り返す、どの程度反応を変えるかを測定する尺度で構成されると提案した。この尺度上で最小の変動性とは定型的反応を繰り返すことを、最大の変動性とは完全にランダムな反応を自発することを指す。そして、持続時間や IRT などの次元が後続事象による制御が可能なオペラントとみなすことができるのと同じように、行動変動性もオペラントであると主張を行った。

Page and Neuringer 以後およそ 20 年にわたり、Neuringer を中心とした行動変動性をテーマとした研究者らは、この範例手続きの下で行動変動性の研究を精力的に報告し続けてきた。その研究の多くは、行動変動性の程度を統制した上で、間欠強化や消去、強化遅延、相対強化比などの効果を確認していくことへ向けられた (八賀, 2008)。行動変動性の統制は、ラグ手続きなどで形式的な随伴性要求に応じた行動変動性の程度を生み出す関数関係が見いだされたことで可能となった。ここでの行動の選択肢についての考え方はやや特殊である。例えば、ラグ変数 5 の手続きにおいて、過去 5 試行の随伴性の参照枠内に存在しない系列の自発を VARY 選択肢の選択とみなし (変動的選択)、逆にその参照枠内に存在する系列と同じ系列を自発することを REPEAT 選択肢の選択とみなす (定型的選択)。したがって、行動選択肢自体が変動性の随伴性要求によって定められる。馴染みにくい選択肢観ではあるが、随伴性要求により選択肢が定められる点は、通常の左右のレバー選択肢の場合と全く異なるわけではない。左右のレバー押し行動を選択肢とする場合、そのいずれかのレバーのマイクロスイッチの開閉を随伴性として要求する。力や持続時間が弱すぎてマイクロスイッチの開閉操作ができなかった場合は、ラットが前足をレバーにかけていたとしても選択行動の自発とはみなされない。それぞれの選択肢が要求する随伴性を満たす行動だけが左右のレバー押し行動や、変動的行動、定型的行動として測定される。

この手続き的パラダイムにおける代表的な知見をいくつか紹介する (詳細は八賀, 2008; Neuringer and Jensen, 2012; Neuringer, 2002, 2004; 山岸, 2005, 2008 を参照)。Neuringer (1992) は VARY 選択肢と REPEAT 選択肢への強化子提示を確率的に配分した (Stubbs & Pliscoff, 1969)。VARY 選択肢への相対強化確率を 0 から 1 まで 9 条件で変化させ、反応系列を繰り返すことと変動的に自発することの間の選択において、過小対応ながらマッチング法則 (matching law) に則した傾向を示した。この結果は左右の選択肢に対して相対強化率を変化させた場合と同様の傾向である。

Grunow and Neuringer (2002) は変動的行動で要求する変動量の程度の違う 4 群を用意し、それらに対する CRF、VI 1 分、VI 5 分の 3 つの条件間の間欠強化効果を検討している。これまでの知見では間欠強化スケジュールでは行動変動性が増すことが頻繁に報告されているが (e.g., Eckerman and Lanson, 1969; Ferraro and Branch, 1968)、逆に行動変動性が減じたという報告もある (Herrnstein, 1961)。Grunow and Neuringer では、もと

もと行動変動性が高い群では行動変動性は若干減り、他方、行動変動性が低い群では間欠強化スケジュール下で変動量が増加した。しかし、その増加も一時的なものであり、セッションを重ねるにつれて元の変動量へ戻っていった。この研究はベースラインの行動変動性の程度と間欠強化スケジュールの効果には交互作用が存在すること、また間欠強化による行動変動性の増加は永続的には続かないことを示している。これに関連して、消去スケジュールは反応頻度を減らす効果のほかに、変動性を高める効果があることが知られている (e.g., Antonitis, 1951) が、これもベースラインにおける行動変動性が低い場合に起き、もともと行動変動性が高い場合には、わずかな変化しか起きず、また、選択肢間の相対反応頻度にはほとんど影響を与えないことが報告されている (Neuringer, Kornell, and Olufs, 2001)。

また、Wagner and Neuringer (2006) はベースラインの行動変動性の程度と強化遅延の効果を検討しており、もともと変動性が低い、あるいは中程度の群では強化遅延が伸びるに従って、変動性が増したが、もともと変動性が高い群では強化遅延が伸びるに従って、変動性が減少した。Odum, Ward, Barnes and Burke (2006) も類似の結果を報告している。ここでも強化スケジュールが行動変動性に及ぼす効果は、ベースライン時から示される行動変動性の程度と交互作用を持つことが基本的知見として示された。

本節で紹介してきた研究は一貫して、行動変動性を高めるために設定した随伴性により変動性の程度を分化強化できることを示している。しかし、同時に強化子には変動的行動の定型性を高める効果も存在することが報告されている。Cherot, et al. (1996) はハトおよびラットで VARY 群と REPEAT 群を設け、4 反応系列のうち LLLL と RRRR を除く 14 系列を選択肢と定め、FR4 スケジュールで強化を行った。REPEAT 群は過去 3 試行のいずれかと同じ系列を自発することを、VARY 群は過去 3 試行のいずれの選択肢とも異なる系列を自発することを反応として計数し、反応が自発される度に短い音を鳴らし、反応が 4 回自発されるとエサを提示した。その結果、強化子提示が近づくにつれ REPEAT 群はより正確に随伴性要求を満たすようになったが、VARY 群では強化子提示が近づくにつれ、系列の繰り返し自発の頻度が増し、反応遂行が悪化した。強化の接近と遅延の研究結果をまとめると、行動は次の強化子提示が遠い場合には行動変動性を高めやすいが、強化子提示が接近するにつれて定型性を示しやすくなる傾向があるということである。

2. 行動変動性研究の展開

以上で概説をしてきたように、複雑な行動の単位で測定する行動変動性の分化強化に関する研究群は、1980 年代から 2000 年代まで継続的に成果が報告され続けたが、その一方で、それ以前の研究 (e.g., Antonitis, 1951) のように、個々の反応自発に伴う様々な行動次元における変動性を観察するような研究の報告はしばらくの間途絶えたため、この期間に行動変動性 (behavioral variability) を題名に冠する先行研究のほとんどは、行動変動性の分化強化の研究であった。しかし、近年ではこれらの研究パラダイムの幅広い吟味が達成さ

れ、研究報告は減っている。そのような現状にあって、行動変動性の研究にはどのような展開があり得るかを総括し次章へとつなげる。

行動変動性とランダムネス

Neuringer and Jensen (2012) は変動性を、観察された行動事例の集合の持つ属性だと説明する。その事例は時には反応や反応系列であり、時には 1 反応が持つ様々な反応次元（例えば、レバーを押す力や持続時間など）である。それらをランダムネスの概念と結びつける。確率性 (stochasticity) とランダムはしばしば同じ意味で利用されるが、ランダムは予測不可能性が最大である場合を指し、そのような場合には各選択肢の生起頻度は等確率に生起し、分布は一様分布となる。個々の反応の生起の予測はチャンスレベル以上にはなり得ない。直感的な例として、500 の赤色のボールと 500 の青色のボールが混ぜて入った箱があり、目をつむったままボールを 1 つ引き出す。引き出したボールの色を記録して、箱に戻す。これを繰り返した場合、各ボールの色の予測はチャンスレベル以上にはなり得ない。ボールを引き出す過程はランダムプロセス (random process) のモデルであり、記録された結果はランダム系列 (random sequence) である。確率的とは等確率ではないバイアスのある集合へも適用される、より一般的な用語として使われる。例えば、先の箱の中のボールの例で赤色が 800、青色が 200 入っている場合である。予測が当たる確率は（全試行で赤を選べば）0.8 になるが、そのプロセスと結果は確率にしたがう。なぜなら、条件付き確率が 0.8 と 0.2 という 1 次確率以上の情報を与えないからである。例えば、青色のボールが引かれても次にいつ青色のボールが引き出されるかについての情報は得られない。

先に説明したように、Neuringer (2002) や Neuringer and Jensen (2012) は、変動性を繰り返しや予測可能である事例から、確率的でランダムな事例までの範囲にわたる連続体、あるいは次元として強調した。その主張は先行研究が変動性を高める強化随伴性のパラメータの関数として行動変動性の程度を操作できることを示してきた点と密接に関係する (Machado, 1989; Page and Neuringer, 1985)。そして、パラメータ値の設定次第では、最大の変動性、すなわちランダムな選択行動が実現可能であると報告された (e.g., Neuringer, 1986)。

ランダムネス研究自体は、1950 年代頃からヒトは乱数生成が可能であるか、また、ランダムネスを正しく知覚することができるのかを調べる研究群として近年に至るまで報告が続いている。たとえば、ある環境では自分の行動を他者から予測されないように行うことができれば有益である。ゲームやスポーツをしている場合に、相手に読まれないように行動ができることや、捕食動物が気づかれないように被捕食動物へ近づく時や、被捕食動物が捕食動物から逃げる時などが想定される。そのような行動と、乱数生成が関係づけられて論じられている (e.g., Falk and Konold, 1997)。また、一見すると秩序を見出しえないようなデータから規則性を発見する認知的能力の研究として、帰納的推論の能力とランダムネスの知

覚とを関係づけて研究されることもある (e.g., Bar-Hillel and Wagenaar, 1993)。長谷川 (2006, 2008) は 1970 年代までのランダムネス研究の問題点を 3 点にまとめ、行動変動性研究がこの研究領域へ及ぼした影響について説明している。1 つは研究手続きとしての事前に行う説明や教示の問題である。典型的な手続きとして、まずランダムとは何かについて被験者へ説明を行い、次に、できるだけランダムに数字を並べるように教示を行う。しかし、この方法では、ランダムネスについての数学的説明の詳細さの程度や、わかりやすさの程度、また被験者がどれだけ熱心に説明を聞くかといった違いにより結果が大きく異なるおそれがある。また教示についても「なるべくランダムに」よりも「なるべく予想されないように」と指示を行う場合のほうが、生成された系列がランダムに近くなるとも報告されている (Finke, 1984)。2 つ目は被験者の行動をどのように動機づけるかの問題である。例えば、クレペリン検査は数字を報告する点では乱数生成実験と同じだが、足し算をして、その答えの 1 桁目を書き込む必要がある。それに対して、乱数生成実験の場合には、どれだけ真剣に取り組んでいたかを確認する指標がない。真剣に取り組もうが投げやりにいい加減に振舞おうが、ローデータとして同一にまとめられる。したがって、被験者固有の行動特性を反映しているのか、その時の動機づけの程度を計っているのか区別できない。3 点目は、研究の捉え方として、ヒトの主観的なランダム性は比較的不変なものと捉え、その特質や限界を測定することに力点を置いていたことである。しかし、乱数生成の特性はそのような固定的な特性であるのか、年齢とともに変化するものか、何らかの訓練を行うことで上達できる能力であるのかという発達や学習の可能性を十分に検討してこなかった。

1980 年代以降、急速にコンピュータの高性能化および低価格化が進んだことに助けられ、実験中にリアルタイムに記録をとり、反応傾向を解析することが容易になった。これを受けて、反応や反応系列に対して遂行結果のフィードバックを返す、強化随伴性による行動変容の可能性の検討が進んだ (長谷川, 1997; Neuringer, 1986; Rapoport and Budescu, 1992)。この結果として、まず言語教示に頼らずに、高得点を得ることを目指すゲームとして乱数生成に取り組めるようになった。よりランダムに近いほど獲得点が高くなる随伴性である。この手続きにおいて数学的な説明を実験前にする必要はないし、「投げやり」に行動した場合には高得点は困難になるので、得点獲得が条件強化子として働くように方法を設定すれば、1 つ目および 2 つ目の問題点は解消される。問題点 3 については、学習可能性については、直接検討が行われるようになり、乱数生成の技量は訓練次第で高めることができることが明らかにされた。まさに行動変動性を高めるための方法論がランダムネスの研究を進展させた。

系列生成と規則性の点に関連する点として、1950 年代頃より、確率学習の文脈から、賭博者の錯誤 (Gambler's Fallacy ; ランダムな事象の次試行での結果予測を行う際に直前までの試行で同じ事象が繰り返し生起するほど逆の事象を結果として予測しやすくなる現象) の研究も注目を集め始めた (e.g., Jarvik, 1951; Witte, 1964)。一方、バスケットボール選手のシュートの成功率を分析した Gilovich, Vallone, and Tversky (1985) は、成功率はチャ

ンスレベルの範囲内であったにもかかわらず、通常期待されるよりも有意にシュート成功率が高まる期間があるという信念を人々が持っていることを指摘し、ホットハンド錯誤 (Hot Hand Fallacy) とその現象を呼んだ。賭博者の錯誤もホットハンド錯誤もランダム系列に対するヒトの生成や知覚の問題と関連が指摘できるのだが、ランダム系列に対して前者はより短い連を予測する負の親近性を、後者はより長い連を予測する正の親近性を主張しており、それではいつどのようにランダム系列に対する予測が反転するのかという問いに答えられなければならない (八賀・森元・古賀・坂上, 2008)。Boynton (2003) は確率学習事態において各試行の予測の正否に応じて傾向が変わることを指摘している。予測が正しかった場合には強化効果により次試行の予測に正の親近性が生じ、予測が外れた場合には、過去数試行の結果の連の長さが長いほど (例えば、コイン投げで過去 3 回続けて表が出た場合)、次試行では逆の結果を予測する。したがって、表表裏という結果の後の予測では、前試行の予測の正否に関わらず、裏を選ぶが、裏裏裏という結果の後の予測では、前試行で予測に成功した場合には裏、外した場合には表を選ぶだろう。八賀ら (2008) も実験参加者を募り確率学習事態で実験を行ったが Boynton の追試はできなかった。むしろ、Ayton and Fisher (2004) や Burns and Corpus (2004) で示唆されたように、被験者が事象をランダム過程へ帰属させる時には、負の親近性傾向が、非ランダム過程へ帰属させる時には、正の親近性が生じた。これは分化強化の結果としてより、刺激性制御、あるいは弁別の問題である可能性を示唆している。いずれにせよ、正負の親近性を生じにくくするというように予測傾向を制御することは可能なのかといった問いは残り、その生起プロセスについて未だに十分な説明が与えられているわけではない。

このように、乱数生成や知覚の研究も、賭博者の錯誤やホットハンド錯誤の研究も、行動分析学の領域を超えて関心が持たれている。行動変動性の発生プロセスの知見をさらに蓄積し明らかにする過程で、行動変動性の分野のみならず、隣接領域へも影響を与える可能性が大いにありうると考えられる。

次に、ランダムネスの観点から、行動変動性の分化強化研究を検討してみたい。分化強化手続きによって、確かに、Page and Neuringer (1985) や Machado (1989) では、4 反応系列ないし 8 反応系列の自発を 1 試行とし、セッション内で自発された反応系列の行動変動性を最大まで高めることができた。その際に行動変動性を測定するために使用した指標は U 値として知られている。この指標は選択肢へ自発された相対生起頻度の偏りを数値で表現している (八賀, 2008)。標準化した場合には、0 から 1 までの範囲で変動し、最小の変動性、すなわちたった一つの選択肢のみを自発し続けるならば 0、最大の変動性、すなわち全ての選択肢へ等しく反応を配分した場合には 1 となる。端的に言えば、等確率性の指標といえる。この指標で算出された値が 1 に近似したとしても、各試行で自発された選択間に系列依存性は存在しないのかは不明である。すなわち反応自発がランダムであるならば、前の試行の選択がわかったとしても、それによって、次試行の選択の予測が高まることはない。

Page and Neuringer が選択行動の分化強化に利用したラグ手続きは、随伴性が利用する

参照枠に入る過去の試行数をラグパラメータで指定し、その参照内に含まれた選択肢以外を自発することで強化を行った。簡単に言い表すと、最近自発していない系列を強化することである。これは生起頻度が一定以上低くなった反応系列を分化強化することであると考えられる（長谷川, 1997）。Machado (1992) はこの分化強化がランダムな反応自発についての必要十分条件であるかを探るため、ハトを使用し、1 試行を L と R のキイのいずれかへの 1 反応の自発とし、各キイの選択頻度を試行参照枠から算出した。そして、頻度が低くなるほど局所強化確率が高まるよう各試行ごとに連続的に変える一方、全体強化確率は常に一定になるように随伴性を設定した。十分に選択行動が安定するまで訓練を行ったところ、両選択肢への反応頻度は等しくなったが、たとえば、前試行で L を選択した場合、次試行では R を選択するという単純交替パターンという明確な系列依存性が生じた。これは選択肢が 2 つの場合 (L と R)、反応をランダムに行わずとも等頻度に維持し続けることができる安定した規則的パターンであった。そこで、続く実験で Machado (1992, 1993) は試行ごとに随伴性の参照枠内の標的を 2 つ組 (LL, LR, RL, RR) に変更し低頻度選択肢を計算した。この場合、4 選択肢を等頻度に維持し続けるには LLRRLLRR... という 2 重交替パターンを自発する必要がある。結果はハトにより異なり、2 重交替パターンを自発した個体もいるが、規則性のないランダムな反応を自発した個体もいた。最後に随伴性の参照枠の標的を 3 つ組 (LLL, LLR, LRL, LRR, ..., RRR) に変更し訓練を行った。この場合には、全てのハトがランダムな反応を自発した。この時に 8 選択肢を等頻度に維持することが可能な安定パターンは LLLRLRRR というパターンを繰り返すことであり、このような複雑なパターンを習得する個体は現れなかった。Machado の一連の実験の結果が示すことは、ランダムな行動を生みだすための必要十分条件は、低頻度選択肢を分化強化することと、その強化随伴性が標的とする選択肢が十分に多くあること、少なくともハトの場合には 8 選択肢程度は必要であったということである。選択肢の数が多く必要な理由は、選択肢が多ければそれだけ全選択肢を網羅的に自発する安定パターンが複雑になり習得が困難となるからである。換言すると、ランダムな行動自発は「記憶」の限界のために安定パターンを学習できないことが必要だったということである。

このことは 3 つの含意を持つ。1 つは、必ずしも分化強化自体が、あたかも彫刻家が彫刻を作り直すために出っ張りをなくし平板な塊へと戻すように、それぞれの個体が持っていた各々の反応パターンを取り去り、ランダム行動を形成する働きをしているわけではないだろう、ということである。つまり、行動変動性を高めるための分化強化操作をすることとランダムにすることは同義ではない。（Marr, 2012）。例えば、1 試行に 4 反応系列を自発する場合に、ラグ手続きのラグパラメータを 15 に設定するならば、直近 16 試行に対して 16 の選択肢へ 1 回ずつ選択が起きなければならないが、これは偶然に起きる可能性は非常に低い。壺の中から 1 から 16 と書かれたボールを取り出す場合に、 n 回取り出すと全て異なる数字となる可能性は、全て同じになる可能性と同様に起こりにくい。これと同じである。したがって、行動変動性を高める手続きは、独立試行からは起きにくい系列行動（低い変動

性を持つ行動) から独立試行からは起きにくい別の系列行動 (高い変動性を持つ行動) へと変容させようとしている。L と R の 2 選択肢に対する時に見られたように、この随伴性はまさに低頻度の選択肢を選好するという一種の回避反応を形成する手続きなのである。低頻度の選択肢ほど強化密度は高まるため瞬時最大化 (Shimp, 1966) の一種とみなすことも可能である。この説明の場合には個体が自ら各選択肢へ自発した反応頻度に感受性を持つ、あるいは反応頻度を弁別刺激として利用できることを必要とする。

2 つ目に、自らの反応頻度を手がかりとして瞬時最大化を可能とする安定パターンを学習できない場合、その限りにおいて行動はランダムとなるのかもしれない。しかし、なぜその場合にランダムとなるのか。1 つの解釈は結局のところ、個体はランダムな行動を自発することを “学習した” のではなく、何もパターンを学習できなかった結果として、ランダムになったのかもしれないというものである。それとも、不完全な瞬時最大化の学習が行われることで、自発される反応パターンのばらつきが大きくなり、全体として分析をした場合にはランダムになるのかもしれない。あるいは、1 試行 8 反応系列の場合、単に手がかりとして使用していたのは反応頻度ではなく、反応交替数であり、常に中程度の反応交替 (i.e., 8 反応中 3.5 回程度) を行うことを個体は学習したのだが、ここでも不完全な学習のために生じた誤差のために行動変動性が高くなったのかもしれない (Machado, 1997)。現在のところ、これらの論点について研究進展は見られていない。

3 つ目に、ここで紹介した結果が示していることは、低頻度で自発される選択肢を分化強化する手続きの場合、ランダムネスの特性のうち等確率性を満たすためには十分であるということである。しかし、分化強化手続きによって系列依存性を排除しているわけではない。それでは、等確率性を満たすための分化強化をした結果、副次的に系列依存性がなくなるのではなく、系列依存性を排除するための分化強化をすることは可能なのだろうか。これはちょうど、コイン投げの結果によって反応パターンを生成するが、コインにはバイアスがあってもよい、という状態である。バイアスがあれば等確率にはなり得ないが、それでも条件付き確率を計算しても予測を改善するようなパターンを発見できない。この論点について、Hachiga and Sakagami (2010) は連検定のアルゴリズムを使用することによって、ラットの系列依存性のみを分化強化によって排除することが可能であることを示した。それは、1 試行 1 反応で、現試行を含む直近 20 試行の選択を参照枠に用いて、連検定の検定統計量をリアルタイムに計算し、設定した基準と比較して分化強化を行うものである。選択行動が安定するまで訓練を続けると、ほとんどの個体が、バイアスのあるコインのように振舞うようになった (実験 1)。さらに、次の強化子が提示されるレバーを確率 0.5 で左右に分配したところ (Stubbs and Plischoff, 1969)、多くの個体が、バイアスのないコインのように振舞った (実験 2)。ただし、この随伴性にも Machado の実験と同じように 2 重交替パターンを学習可能であれば、安定するという特徴があったため、いずれの実験でも 1 個体は安定パターン傾向を示した。いずれにせよ、この実験は、反応選択を等確率にするための淘汰圧を与える随伴性だけでなく、反応選択を系列独立にすることも強化随伴性の設定次第で可能

であることを示した。しかし、ラグ手続きの場合と同様の論点が待ち構える。つまり、分化強化による行動制御は現象として示されたが、なぜ、それが可能であったのか、個体は何を学習していたのか等の点である。

ランダムネスと行動変動性は同じではないため、行動変動性の研究領域がランダムネスに固執する必要はないのだが、ランダムネスとの接続を求めて展開することを望む場合に、さらに重大な問題が待ち構えることも指摘しなければならない。それはランダムネスの定義の不明瞭さについてである。現状でランダムネスとは何かという問いに対して論理的に一貫し、多数の研究者が支持する定義は定まっていない。ランダム行動の点で研究を進展させようとする場合には、定義の問題に否応なしに関わることになる。この課題の論点を補足2にまとめる（更なる詳細は、八賀, 2006; Nickerson, 2002 を参照）。

オペラント概念

Neuringer (2002) はそれまでの行動変動性の分化強化研究を展望し、行動変動性をオペラント次元であると主張した。その根拠として、後続事象により制御を受けること、先行刺激を手がかりとして個体が適切な機会に適切に変動的行動をすること、すなわち、3 項随伴性による制御が成立することを実験的に示した。またオペラントとしての変動性のメカニズムとして Page and Neuringer (1985) は、次のように説明する。実験者がハトのキイツつきを形成するときには、キイツつき反応を訓練しているのではなく、むしろ、いつ、どこへ、それからもしかするとどのくらい速く懸命に、キイツつきを自発するかを教えている。同じように、全ての行動選択肢から成る 1 つの次元があり、これが行動変動性次元と呼ばれる。強化を通じて変動性ジェネレータをオンにするかオフにするか、どのくらい変動的にするかが制御される。ここで変動性ジェネレータとは生得的に行動主が持っているとして仮定される内的過程である。こうした、変動性がオペラントであるという主張自体が斬新であったこと、またこの内的過程による説明が不明瞭であったため、近年、オペラントの概念についての議論を誘発してきた。行動の科学の基本概念について議論を引き起こしたことも、この領域の 1 つの展開とみなすことができる。本項では、まずオペラントの概念に関わる過去の考察をまとめ、次に行動変動性はオペラントであるという主張との関係から生じた議論を記述する。

オペラント概念に関する考察

まず変動性について検討する前に、オペラント概念を整理する。Skinner (1969) は反応が環境の変化を生み出し、環境の変化が反応の生起率を修正する場合に、その関係をオペラント、維持される行動をオペラント行動、オペラント行動を形成する手続きをオペラント条件づけと呼んだ。オペラント行動の定義には、反応と後続事象の関係（随伴関係）と、随伴関係が反応率へ及ぼす効果が含まれる。反応確率を上げる後続事象は強化子と呼ばれる。強

化は常に反応のある特性に随伴する。しかし、反応が強化されるとしても、どの反応特性が随伴性を満たし、したがってオペラントと定義されるかが常に明らかであるわけではない (Zeiler, 1977)。

Catania (1973a) は 2 つの反応クラスを区別するオペラント行動の概念を提案した。実験手続きによって設定された後続事象を生み出す反応クラス (記述的反応クラス) と、随伴関係によって頻度が影響を受ける反応クラス (機能的反応クラス) である。この 2 つの反応クラスはいずれも欠かすことはできず、両クラスの関係からオペラントの概念が成り立つ。実験者がある随伴性を設定するとき、ある反応特性に基づいて強化の基準を設定する。この強化基準が記述的反応クラスであり、S 分布と呼ぶ。たとえば、実験者は反応に要する力について、ある基準 x 以上の力で動物がレバーを押した場合に強化子を提示する。分化強化が進むまでは、 x を超える力で反応することはほとんど起きないが、やがて、十分な力で押される反応の頻度が増していく。そこで、訓練前の反応特性の相対頻度分布 R_i と、分化強化が進行した後の相対頻度分布 R_f がある。S 分布と R_i 分布の相関、S 分布と R_f 分布の相関の比較によってオペラントの形成を量的に把握することが可能である。

Galbicka (1988) はオペラント条件づけの過程は必然的に何らかの反応特性の分化の過程を含み、オペラント条件づけとは反応分化に等しいと主張する (補足 3)。反応分化では反応が後続事象を生じるための条件を実験者が顕在的に特定している。オペラント条件づけではある強さ以上や、ある持続時間以上でオペラントへ自発された反応だけが記録されることで暗に同様の特定を行っている。この区別は実験者にとっての違いであり、被験体にとってそのような区別は何の機能も果たさず、同様の現象を経験しているといえる。

関連して Skinner (1938) は分化についてさらに分析を展開し、反応分化は強化、消去、誘導の 3 つの過程から成ると考察している。随伴性を満たす反応特性と、より頻繁に起きるようになる反応特性は同じではないこともあり、つまり、強化は強化子を生みださない反応の頻度にも影響を与え得る。Skinner (1938) はこの影響のことを誘導 (induction) と呼んだ。強化は反応の (また、反応特性の組み合わせだったものの、すなわち反応型の) 生起確率を高める。誘導を通して、直接強化されなくても似た反応が起きる。さらに誘導は強化される反応クラスに属さない反応もいくらか生成し、それにより変動性を高める。消去は、反応の生起確率を減らす。また、誘導を通して似た反応の生起確率も減らす。分化の要諦は強化や消去の直接の効果が誘導の間接効果よりも強いということである。したがって、直接強化される基準反応と消去され続ける非基準反応のために、その基準を境にして反応の生起度が変化する。ただし誘導が起きるため実際に強化される反応の近くで反応値は変化し続ける。

行動変動性オペラントに関する議論

Barba (2012) は Neuringer はまだ変動性がオペラントであることの検証自体が為されていないと主張する基幹論文を発表し、それに対し数人の研究者がコメントを返した。

Neuringer が自身の発表してきた豊富な事例を示し自らを擁護するコメントを返したことは驚くことではないが、その他の研究者のコメントはここで紹介するために十分興味深いものであった。本節ではまず、Barba 自身の議論を説明し、続けて他の研究者のコメントをまとめていく。

Barba は Catania (1973a) の議論を論拠として主張を展開する。Catania によれば、Rf 分布が Ri 分布よりも S 分布と重複が多いならば分化が起きたといえる。分化プロセスは相関の高さの増加を意味するので、ピアソンの積率相関係数 r の変動が分化の指標として利用できる。そこで、相関係数を計算しその変動を示すためには、S 分布と Ri、Rf 分布が同じ特性で確立している必要がある。例えば、レバーを押す持続時間がオペラントとして働くことを検証するためには、この持続時間の次元において分化強化の基準を設定し、同次元における Ri 分布及び Rf 分布を測定すればよい。もし変動性が行動のオペラント次元であるならば、変動的行動を分化強化することができ、結果として反応が分化する。つまり、変動性という特性の S 分布を確立することができ、その同じ特性上で確立された Ri 分布を修正することによって反応分化の過程を測定することができる。行動変動性という特性上の Ri 分布から Rf 分布への変化によってのみ、反応分化の過程は測定されうる。つまり、Neuringer の行動変動性の分化強化の範例手続きは S 分布を構成するラグ手続きや閾手続きといった分化強化の基準操作と、R 分布を構成する U 値から S と Ri 分布及び Rf の相関を算出可能ではないため、この観点において検証がなされていない。Barba は行動変動性がオペラントであるか否かを検討するためには、U 値に密接に関連した反応分化基準を採用すべきだと提案した。Catania (1973a) に基づいた類似の議論を山岸 (2005) も展開している。

それに対し、Barba の議論の論拠である S 分布と訓練前後の各 R 分布との相関がオペラントを定義するという主張に疑問が投げかけられている (Marr, 2012; Machado and Tonneau, 2012)。Marr は Catania (1973b) ではオペラントの機能的反応クラスを定義する際に S 分布への言及をしていない点を指摘する。同一研究者においても Catania (1973a) の基準が固守されておらず、これを必ずしもオペラントの必要十分条件とみなす十分な理由が見当たらない。ベースラインの Ri 分布が訓練後に Rf 分布に変化したならば、手続きによって変容可能な反応クラスとみなされるが、その際 S 分布に言及しなくとも、反応分布の変化を示す分析には影響がない。適用した随伴性との関係で Rf と Ri の違いを測定したいなら、S 分布との相関ではなく、基準値を越えた分布の面積の差を調べたほうがよいと指摘している。

また、Holth (2012) は Barba の提案する行動変動性を要求する随伴性と行動変動性自体の間の対応を示せたとしても、行動変動性の分化強化により主張されるオペラント説以外の代替的説明が排除されることが必要であると主張する。代替説明として Holth は 3 点の基礎的知見を指摘している。まず、行動変動性の分化強化の範例手続きでは、選択肢を複雑な反応系列で設定するため、強化された個体が同じ反応系列を繰り返し自発しようとした

としても限界がある。次に、消去手続きは典型的に行動変動性を高めることと、繰り返し消去に曝すことで順化が起き、反応消失が徐々に速く起きようになることが知られている。最後に強化子自体が弁別機能を持つことも可能で、FI スケジュールでは強化子提示直後は S^A の効果により反応休止が起きると解釈できる。これらの点を総合すると、Neuringer の範例手続きも強化子提示が反応の回避制御への弁別機能を果たしている可能性、最近自発した行動を繰り返し分化消去することが、強化された行動の繰り返し自発を速やかに消失させた可能性、そして、複雑な反応系列を選択肢としていること自体によって強化された選択肢を繰り返すことがそもそも困難である可能性が考えられ、これらが行動変動性を高めることに寄与したかもしれない。

選択肢の複雑さを排除するためには反応系列ではなく、個別のオペランド自体を選択肢として用いればよい。Holth (2012) はラットを被験体とし、始めに 4 つのオペランドを選択肢として、ラグ手続きのパラメータを 3 に設定し訓練を行い、等頻度に反応自発が行われることを確認した後に、5 つ目のオペランド (チェーン) を導入し、ラグパラメータを 4 に変更した。ラットはすぐにチェーン引きを獲得し、チェーン引き行動に強化子が随伴すると、一時的にチェーン引きを繰り返し自発するようになった。しかし、しばらく消去され続けるとやがて他の選択肢へ移っていく。10 数セッションの訓練後には 5 つの選択肢間で等頻度に自発が行われるようになった。この結果は強化されたオペランドが確かに反応の繰り返しを生じさせるが、繰り返し消去状況を経験することにより (また強化子が S^A としての働きを獲得することにより)、やがて直前に強化された反応を繰り返さず別の反応へより素早く移っていく過程で、行動変動性が高まることを説明可能である。もし、よく知られた基礎的原理の点で説明できるならば、変動性をオペラントとみなす概念は余分である。反応が強化と消去の周期を持つ強化随伴性の複雑さで疑似ランダムなパフォーマンスも説明できるかもしれない。

Machado and Tonneau (2012) は Skinner (1938) に基づいて議論を深化させる。強化随伴性によって基準を区切り、基準内反応 R の相対出現率が増え、基準外反応 $\text{not } R$ が減るということが、“分化”の意味であるなら、強化は分化を必要とするだろう。しかし、Skinner の強化、消去、誘導を構成要素とする反応分化の視点を採用するならば、基準内反応が強化され続けるため増加することを観察するだけでは十分ではなく、基準外反応が消去され続けることによって減少していることも確認する必要がある。この後者の解釈に則れば、分化は“オペラント関係を例示する行動過程”とは呼べない。例えば、Skinner (1938) の連続強化スケジュールによりラットのレバー押し反応が増加し、消去スケジュールへ移行すると反応が減少するという観察では、選択肢は 1 つだけが用意されており、そこで分化は測定されないが、反応率の増加はオペラント強化を示すのに十分であり、 S が R から独立に呈示される対照条件と比較することで、オペラント関係は十分に示すことができる。

Marr (2012) は Barba の提案にしたがって U 値で測定する行動変動性と同一次元で随伴性を課し、うまく反応分布の変容を示せたとしても、どのようにその制御が達成できたのか、

つまり、課した随伴性は R_i から R_f へどのように変換したのか。どうすればその結果は間接的に達せられたのではないと知ることができるかという疑問が残ることを指摘する。同様に Machado and Tonneau (2012) はラグ手続きがどのような過程により観察された U 値を生み出すのか不明瞭であることを指摘した上で、オペラント強化は強化子を生じる反応の確率を高め、必然的にステレオタイプを増加させる過程であるならば、変動性が強化されるとは論理矛盾ではないのだろうかと問う。また、行動変動性は強さや位置と違って常にもう一つ別の次元を持つ。たとえば反応系列の変動性といえば反応系列という 1 次の次元が存在し、反応系列の変動性という 2 次の次元が存在する。1 次の次元で反応系列を強めながら、2 次の次元で変動性を強めるのだろうかと問う。八賀 (2008) も手続き的反応クラスとして 2 次の次元が含まれていないことを指摘して同様の疑義を呈している。

Page and Neuringer (1985) は生得的ランダムジェネレータのオン・オフにより強化随伴性が時に反応の繰り返しを強め、時に変動性を高めることを説明した。しかし、変動性が変動性ジェネレータの働きに依存するならば、何がジェネレータをオンにするのか。Page and Neuringer は行動の変動性のオペラント条件づけは弁別を含むという。強化が行動変動性に影響を与えるのは、強化された事例をより起こりやすくするためではなく、強化子が繰り返し行動に随伴する状況と新奇で多様な行動に随伴する状況を動物が弁別するためであるとする。前者のケースでは定型的な行動が増加し、後者のケースでは生得的ランダムジェネレータをオンにし、結果として行動変動性が増す。更にこのランダムジェネレータはスケジュールが課す変動性要求にしたがって調整される (Neuringer, 1986)。

Holth (2012) は自分が過去に自発した反応 (系列) を弁別刺激にした“記憶に基づく”変動性は、人間の行動で重要な役割を持つが (卑近な例として同じジョークを繰り返さないこと)、ランダムな過程のもとで、でたらめな行動が発生するというのは、アルツハイマーの患者のように自分の以前の行動を弁別刺激として利用できない時に起こることだと指摘する。

Machado and Tonneau (2012) は、3 点の批判を行う。まず、弁別ベースの強化概念は複数試行を経験しなければ、随伴性により繰り返しと変動のどちらが要求されているか弁別することはできず、1 試行のオペラント現象は取り扱えない (e.g., Iversen and Mogensen, 1988)。次に、繰り返しと変動のどちらが強化されるかを動物が弁別できるとしても、例えば Lag25 ではどの程度正確に弁別できるのか。現試行で自発された反応系列は以前 25 試行のうちの 15 系列と違うのか、10 系列と違うのか。全体の反応系列に基づいた弁別なのか、それとも系列の一部 (e.g., 系列の始まり、相対左右反応数、交替数) のみを弁別するのかが不明である。そして最後に、例えばラグ 5 の場合、強化が様々な反応に後続すると言って 1 セッション 50 試行のうち 30 試行で異なる系列を生じることは奇妙である。この場合 6 つの系列だけを周期的に選択すれば全ての強化子を得るために十分である。記憶の限界のために 6 つの系列を周期自発できないという主張は一貫性が疑わしい。Neuringer の弁別仮説はそのような限界を示唆していなかったので、高レベルの系列変動性を弁別する

十分な記憶力を持っているはずだが、たった数個の系列を周期的に変化させられるほどの記憶力はないのだろうか。

Marr (2012) はこの説明は Chomsky の生得的な言語獲得装置と同じで、一見メカニズムのような名前を持つが、現象を説明するために考案されたものであり、せいぜい得られたデータと一貫していることが示されるだけで、予測力はほとんどないと指摘する。それに対し、Machado (1992, 1993) は代替的説明として強化随伴性の低頻度依存選択を提案している。それによれば、強化は瞬間的に最も生起しにくい活動に後続する可能性が高く、より生起しやすい活動は消去される可能性が高い。反応が弱くなった選択肢に対しては分化強化を行い強められ、強く反応が起こる選択肢は分化消去され弱められる。均衡点では、全ての選択肢への行動が等しく強くなり、反応変動性は相当高まる。Machado and Tonneau はこの説明は、強化 (S) と反応 (R) の因果のギャップを充たし、強化が随伴する反応を強めることを否定しない点を強調するが、Marr はこの代替説明は Neuringer の生得的ランダムジェネレータ説と共通の問題点を有していないのかはまだ明らかではないと指摘する。

Marr (2012) は行動変動性や新奇性は反応クラスとみなすことができるかという問題は、般化オペラント (e.g., 模倣すること、関係枠理論 (relational frame theory) で “関係づけること”、注意すること (attending)、ルールに従うこと、文法の枠組みなど) と同じ問題とみなす。般化オペラントは目覚ましく魅力的で柔軟な概念であるが、ただ無限に拡張でき、限定を設けることが難しく、事実上どんな行動も説明してしまう超単位 (super-unit) である。Marr は自然科学として行動分析を発展させる際の大きな挑戦の 1 つは分析の単位について定見を確立することであるかもしれないと指摘する。行動の単位について語ることは何を意味するのか。それを問うことが意味を持つとして、どのようにその単位はもたらされるのか。またどのようにそれは新しい単位に変化するのか。謎に満ちており、このような点は行動の科学と他の自然科学との際立った違いとなっている。

行動変動性と並立スケジュール事態における選択行動研究

行動変動性自体は巨視的な測度に依拠するため、それがオペラントであるか否かの結論がどのようになろうとも、行動変動性がどのような行動過程により生じたものであるかは疑問として残り、解明を必要とされる。これが前節で Barba (2012) の基幹論文へコメントを返したすべての研究者が一致する点であろう (Holth, 2012; Machado and Tonneau, 2012; Marr, 2012)。分化強化による制御の他によく知られている現象として、強化が間欠的である時、つまり強化頻度が低い場合ほど、行動変動性も誘発される (Antonitis, 1951; Boren, Moerschbaeche, and Whyte, 1978; Tatham, Wanchisen, and Hine, 1993; Tremont, 1984)。そのような研究の結果から、Gharib, Gade, and Roberts (2004) は “報酬の期待を減らすことが (言い換えると、報酬提示についての S^A の下では) 行動変動性を増加させ、報酬提示の時間が近づくほど行動変動性を減少させる” という仮説を提唱し、ラッ

トを使い、レバー押し持続時間の変動性が多元スケジュール下で低い強化確率の成分中により大きく変動することを確認している。Cherot et al. (1996) も強化子提示が近づいてくるにしたがって変動性が減少する実験結果を報告している。

この点に関連して、Wagner and Neuringer (2006) の研究は注目に値する。この研究では、分化強化によりベースライン時の行動変動性の高中低で異なる 3 群を用意し、強化遅延（および強化後タイムアウト）がどのように働くのかを検討した。結果は 4 点にまとめられる。まず、反応率はいずれの群においても強化遅延が伸びるにしたがい減少した。第 2 にベースライン時の行動変動性の高さは群ごとに課せられた分化強化の随伴性に応じて決まった。つまりセッション全体の行動変動性は高群が最も高く、中群が中程度となり、低群で最も低くなった。この群間の変動性の高さの順序は強化遅延の導入時にも変化しなかった。第 3 に強化遅延と随伴性の間に相互作用がみられた。行動変動性の高群では遅延が増すにつれ変動性が低下し、低群では逆に変動性が増していった。中群では変動性はほとんど変わらなかった。第 4 に強化遅延の代わりに、強化後タイムアウトを導入した場合は低群と中群では変動性の水準が強化遅延導入時に比べ落ちた。また 3 群すべてにおいて、タイムアウト時間が伸びる程、変動性が低下傾向を示した。

この 4 番目の結果は行動変動性を制御した随伴性に加えて他に何らかの影響を与える要因が含まれていたことを示唆する。その要因として Wagner and Neuringer (2006) はスケジュール誘導、または誘発のような非オペラント的な影響を考察している。多くの研究が示しているように間欠強化は摂水、噛みつき、輪回しなどの行動を引き起こす。これらの行動はスケジュール誘導性行動 (schedule induced behavior) と呼ばれ、行動と強化子に関連づける特定の随伴性に依存しない一方、間欠的に呈示された強化子との時間的接近の関数として変化する (Staddon and Simmelhag, 1971)。

Wagner and Neuringer (2006) は、この誘導性の効果について強化間間隔 (inter-reinforcement interval: IRI) 中で、負に加速する減衰曲線を仮定することで彼らの実験の結果を説明した。強化提示直後には行動変動性を誘導する効果が高く、一次強化子の提示直前は行動変動性の誘導効果は最も低くなる。IRI の最後に遅延が生じる場合には反応に費やせる時間は IRI 中の遅延発生前までである。一方、強化後タイムアウトが生じる場合には、IRI 中の早期に反応をする時間が制限される。遅延の場合には、自発されていれば行動変動性の誘導が低かったであろう部分での反応が制限され、タイムアウトの場合には、行動変動性が高く誘導されたであろう部分での反応が制限を受ける。その他の条件が等しいならば、誘導される行動変動性は強化遅延条件では、タイムアウト条件よりも高くなる。これは、考察で利用された説明以上のものではなく、その妥当性は今後十分に検討されるべきものであるが、これまでの行動変動性研究とは異なる視点への萌芽として捉えることができる。

いずれにしても、これまでの行動変動性の分化強化研究はその手続きが複雑であるために、結果の解釈を難しくしている面があるだろう。Skinner が行動に関する実験を開始し

た初期の頃、なぜ動物を用い、なぜオペラント箱と呼ばれる装置を開発したのか。それはまず単純な環境と行動を研究することにより、心理学の研究室の外のもっと複雑な環境における、ヒトを含む多くの動物の行動を支配する原理を発見することができると考えたからであろう (Mazur, 1998, 磯・坂上・川合訳, 1999)。この精神に則るならば、今後、行動変動性研究が直面しているこの複雑な手続きを解体し、より単純化することが行動変動性の理解を促進する 1 つの道筋のように思われる。

行動変動性の範例手続きを単純化するために、2 つの点について解消すべきである。まず 1 つは反応系列を選択肢として使用することをやめるべきである。手続きで反応系列を使用するだけでも、様々な特性が想定でき、それだけ複雑さが増す。例えば、左右のレバーをオペラントダムとして生成する反応系列の絶対的特性として、系列を構成する L 反応数、R 反応数、L と R の系列内での位置、反応交替の位置、系列自発に要した時間、レバー押しに要した力や持続時間などがある。また、系列の相対的特性として、最近自発された n 系列のうちの当該系列の絶対生起頻度や、相対生起頻度、当該系列と同じ交替生起数を持つ系列の生起頻度、同じ L 反応生起数を持つ系列の相対頻度などがある。2 点目として、過去に自発した反応を参照した上で基準を設定する分化強化スケジュールを使用することをやめるべきである。先に述べたように、分化強化による制御以外の行動変動性の資源、あるいは分化強化の下でどのような行動過程が存在するのかについての検討は残されたままである。少なくとも分化強化による現象としての行動変動性の変容は十分に示された一方、現況それ以上の展開はみられないため、この範例手続きにこだわる必要もない。反応系列ではなく個々のオペラントダムを選択肢として設定し、また選択肢は最低必要条件である 2 つとし、過去に自発した反応を参照した上で基準を設定する分化強化スケジュールから、より単純な強化スケジュールへ強化随伴性を変更すれば、それは、いわゆる並立スケジュール事態となり、標準的な選択行動研究の手続きに近づく。2 つのオペラントダムを設定し、それらの間の強化比を操作する手続きを用いた場合にも、これまでの反応系列選択肢と同様の点で分化強化の効果を検討することは可能である。そのための複雑な指標を考案する必要はなく、単に反応比に注目すればよい。反応比が 1:1 に近似した場合、等確率性の基準は満たされることになる。つまり、並立スケジュールにおいて、等確率性の再現性を問うことはそれほど興味深いことではない。しかし、この手続き事態において選択行動はどのように変動するのか、各反応自発が全く無規則であるのか、何らかの反応パターンが存在するのか、反応パターンが存在するとすれば、それはどのように説明されるべきなのか。このような問いを追究することは行動変動性の研究の新たな地平を開くかもしれない。このような観点から、次節において選択行動の先行研究の展開へ話題を転換する。

3. 並立スケジュール下の選択行動とマッチング法則をめぐる研究

Herrnstein (1961) 以来 50 年にわたり選択行動研究は行動分析学の主要なテーマの 1

つであり続けている。その核には Herrnstein のマッチング法則定立と、単一の行動よりもむしろ選択行動こそが行動の基礎とみなす新たな行動観、また、どのような水準を分析単位と定めるべきかについての微視・巨視論争、行動生態学や行動経済学など学問横断的な領域の形成、などのテーマがあり、研究者の興味を喚起し続けてきた。すでにマッチング法則と選択行動に関する展望論文は多数あり (Davison and McCarthy, 1988; Fisher and Mazur, 1997; Grace and Hucks, 2013; Miller and Grace, 2003; Nevin, 1998; Staddon and Cerutti, 2003; Williams, 1988, 1994)、本邦の研究紹介においても、高橋・岩本 (1982)、岩本・高橋 (1982)、伊藤 (1983)、平岡 (1989)、丹野・坂上 (2011)、そして 1997 年の行動分析学研究における特集号 (選択行動研究の展開) などの展望論文がすでに幅広い視点から選択行動研究を吟味してきた。本論文ではマッチング法則の検討のためではなく、行動変動性の検討のために選択行動研究を改めて眺めてみたい。行動変動性としての研究とは、反応を変えるのは何故、いつ、どのような要因の影響によるのかといった行動の変容を探る要因探索型研究となる。セッション内の変容の過程に注目をするという点において、敢えて言及するならば、巨視ではなく、微視的な視点から先行研究へ注目する。とはいえ、この選択行動研究の領域はマッチング法則抜きには語ることはできないので、次節でまず大まかにマッチング法則へ触れる。

行動変動性の分化強化研究は行動変動性を強化随伴性の操作によって増減させることの可否に焦点を当てていたが、強化随伴性により維持されている行動のパターンや変容過程を含めより一般化させるならば、行動ダイナミクス (behavioral dynamics) と称する領域に包摂される。Marr (1992) によれば、行動ダイナミクスとは「多くの異なった観点を持つ研究領域であるが、行動の変化とその変化をもたらす条件の記述を共通の」目標とする研究である。ダイナミクスは行動の変化を意味し、変化は行動が推移状態にある時に最も明らかな現象といえる。推移状態とは、ある強化条件から別の強化条件を遷移する場合や、強化から消去へ変わる際の行動変化や、反応獲得時などが挙げられる。しかし、定常状態の反応遂行もまたダイナミックシステム (dynamic system) の範疇に含まれる (Lattal, 2013)。例えば、Hoyert (1992) は定常状態 FI スケジュールの反応遂行を特徴づける反応出力の周期間隔間の変化を記述するために非線形ダイナミカルシステム (カオス過程) を使った。

課せられた随伴性が常に理想通りに働くとは限らない。Zeiler (1977) は直接変数と間接変数として強化スケジュールで働く変数を区別した。例えば、FR スケジュールで反応要求 n は直接的で特定された変数である。しかし、反応するには時間がかかり、比率要求を変える時には、強化子提示間時間を間接的に変えている。反応と強化との動的な相互作用の変化を記述する 1 つの方法としてフィードバック関数がある。比率スケジュールでは強化率は反応率によって直接的に決められる。フィードバック関数はその様子を特定する量的記述である。定常状態においてもすべての強化随伴性が、反応と相互作用を続け、結果として生じる動的性質が究極的に行動の調整や制御に責任を負うダイナミカルシステムである。本論文では、行動変動性の研究からの連続性に依拠して定常状態における反応の規則性の探

索に重点を置くが、このような視点から、推移状態と定常状態という分類は完全に乖離したものとはみなさない。

マッチング法則

選択行動研究の出発点として引用されることが多いのは **Herrnstein (1961)** である。選択行動自体は古くは **Tolman (1938)** が T 迷路などの装置を利用し実験を進めており、オペラント実験箱で並立スケジュールを使用した実験報告もこれ以前にもあった (e.g., **Ferster and Skinner, 1957; Findley, 1958**)。しかし、**Herrnstein** が現在範例的に使用される手続きへ最も強く影響を与えたと考えられる。**Herrnstein** は前壁面背後からライトで照射された 2 つのキイを備えた実験箱へ空腹のハトを入れて実験を行った。各キイ選択肢は独立に変動時隔 (variable interval: VI) スケジュールが走り、スケジュール値が設定した平均時間の経過後の反応に対して強化子が随伴提示された。反応を切り替える際には、反応交替パターンの形成を防ぐために、もし他方の選択肢へ VI 強化が装填されていたとしても、切り替え直後の反応は切り替え遅延 (changeover delay: COD) の経過後にのみ強化子提示が行われた。これは VI スケジュールでは一方の選択肢への滞在時間の関数として切り替え直後に強化子が提示される確率が増す特徴があるため看過できない点であった。各実験条件は 2 つの VI 値の比を操作して行われ、反応率が安定した時点で次の実験条件へ移された。その結果、**Herrnstein (1961, 1970)** は各キイへ自発した反応の割合は各キイから得られた強化子の割合へおよそ等しくなることを発見した。これをマッチング法則と呼び、次のような量的表現で示した。

$$\frac{B_1}{B_1 + B_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(1)$$

または、

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{R_1}{R_2} \dots\dots\dots(2)$$

ここで B は反応率、R は強化率、添え字は選択肢の区別を表す。

その後の研究者達はマッチング法則の亜種を提案していった。**Catania (1963)** は反応率と強化量のマッチング関係を、**Chung and Herrnstein (1967)** は反応率と強化の即時性 (immediacy: 強化遅延の逆数) のマッチング関係を **Holland and Davison (1971)** と **Miller (1976)** は反応率と強化子の質のマッチングを報告している。

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{A_1}{A_2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{D_1} \bigg/ \frac{1}{D_2} = \frac{D_2}{D_1} \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \dots\dots\dots(5)$$

ここで A は強化量、I は強化即時性、D は強化遅延、Q は強化子の質を表す。その後の研究は選択行動の記述的枠組みを拡張し、より一般化を進めることに努めていった。Baum and Rachlin (1969) は相対反応率よりも相対時間配分がよりマッチング関係を反映することを報告し、反応率 (B_1/B_2) の比を反応時間配分 (T_1/T_2) の比に置き換えることを提案した。Baum and Rachlin (1969) や Rachlin (1971)、Killeen (1972) は強化子の率や量などの性質をまとめた連結マッチング法則 (concatenated matching law) の形式を記述している。Rachlin (1971) では次式のようになる。

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{R_1}{R_2} \times \frac{A_1}{A_2} \times \frac{D_2}{D_1} \times \frac{X_1}{X_2} = \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots(6)$$

ここで X は強化の率、量、遅延以外の強化子の性質である (強化子の質もここに含まれる)、連結マッチング法則が表現していることは、選択反応比 (相対反応または相対時間配分) が強化子の提示率や量や遅延などの性質を総合した上での価値の比に等しいということであり、マッチング式はいかなる強化の変数へも潜在的に適用可能であるという主張の根拠を与えており重要な概念的進展となっている。

マッチング法則が強化の様々な性質に対して有効である一方で、データには厳密なマッチングからの逸脱に関するいくつかの種類が観察されることが知られていた (Baum, 1974, 1979)。最もよく観察されるのが過小マッチング (undermatching) であり、反応の割合が強化の割合に比べ無差別に近づく逸脱である。つまり、相対強化割合の良い (rich) 選択肢と悪い (lean) 選択肢がある場合に、マッチング法則が予測するよりも lean 選択肢へ多く反応を行う。これに対し過大マッチング (overmatching) はマッチング法則が予測するよりも反応の割合は rich 選択肢へ多くなる。3 つ目の逸脱はバイアス (bias) である。これは条件間で各選択肢への強化比が変化しても、マッチング法則が予測するよりも一貫して片方の選択肢へ反応を行う。Baum (1974) はこれらの逸脱をマッチング法則を一般化させることで理解する道を提案した。これは一般化マッチング法則として知られており、次式で表す。

$$\frac{B_1}{B_2} = b \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^a \dots\dots\dots(7)$$

または、対数変換を行い、

$$\log \frac{B_1}{B_2} = \log b + a \log \frac{R_1}{R_2} \dots\dots\dots(8)$$

ここで **b** はバイアスであり、位置選好のように強化率に無関係に変化する反応の比率定数を表し、**a** は強化率への感受性を表すパラメータである。一般化マッチング法則は典型的には対数形式（式 8）で使用され、図示した場合、反応比の対数は強化比の対数の線形関数として変化する。対数変換後は、**a** は傾き、**b** は切片に対応し、**a = b = 1** の場合は **Herrnstein** のマッチング法則の原型と一致する（式 2）。過小マッチングは **a** の値が 0 以上 1 以下、過大マッチングは **a** の値が 1 以上、バイアスは **b** が 1 以外の場合と解釈することができる。

Herrnstein (1970) の（式 2）が一般化マッチング法則で記述されるならば、連結マッチング法則（式 6）へ応用されることは容易に推測される展開である。1 つのバイアスパラメータ（**b**）と、各強化子の性質に対応した感受性パラメータ（**a_R**、**a_D**、**a_A**、**a_X**）を加えて一般化連結マッチング法則が成立する。この拡張一般化はマッチング法則が幅広い選択事態へ適用可能とさせたことで重要であり、この視点の上に、遅延価値割引および自己制御と衝動性の研究が進展していった（**Ainslie, 1974, 1975; Rachlin and Green, 1972, Rachlin, 1995**）。

また、別の重要な展開は、**Herrnstein (1970, 1974)** が対照的な 2 つの選択肢事態で打ち立てたマッチング法則を非対称な選択事態、例えば 1 つのキイへ反応をするかしないかの選択に対する予測へ拡張したことである。実験箱の中のハトの場合キイをつつくことで強化子であるエサを食べる機会を得られるが、その他にも毛づくろいや探索、休息などといった行動にも時間を割いており、そのような行動を支えている生得的な強化子（あるいは **Premack** 型強化子, **Premack, 1959, 1963**）が他にあると仮定する。マッチング法則は相対強化割合に応じて反応を自発するので、この場合のキイへの反応率（**B₁**）はそのキイへの強化率（**R₁**）と、その他の行動への強化率の合算（**R_e**）との間の選択行動として次のように定式化できる。

$$B_1 = \frac{kR_1}{R_1 + R_e} \dots\dots\dots(9)$$

ここで **k** はパラメータ比例定数である。**Herrnstein (1970)** は **Catania and Reynolds (1968)** のデータへの式 9 の当てはまりを調べ、**de Villiers and Herrnstein (1976)** は更に様々な種、オペラント反応、強化子においても検討し、いずれも当てはまりは良好であり、高い分散説明率を示した。

選択行動の微視的記述としての行動変動性

マッチング法則が提唱された初期に **Herrnstein (1970)** はその式が行動の記述として十分に有用であるというだけでなく、説明理論でもあるとみなしていた。どのような選択場

面でも（実験箱内でも野外でも）個体はある選択肢から得られる強化の価値を感受し、選択肢間の価値の比較に応じて行動を配分する。このように語った場合には、これは単に並立スケジュールの実験データを記述したということにとどまらず、この法則自体が個体の選択行動の一般理論であるという仮説を提唱したことになるであろう。しかし、マッチング法則は主に 1 セッションの実験データの総体、つまり比較的長い時間の観察に基づいて算出される。そのため、説明理論としてのマッチング法則は「巨視的な」理論とみなされる。しかし、実際にセッション内で個体がどのように行動を変化させているのかについては何も語らない。もしかすると、個体はセッション内で何か別の原理に基づいて選択行動を行い、その結果としてマッチング関係が成立しているのかもしれない。このようにマッチング関係の算出に必要とするよりも短い時間枠で異なる原理を探る理論は「微視的」とみなされた。これらの呼び方は比較する理論に相対的に決められており、あくまでも慣例的なものであるが、巨視的説明と微視的説明の相克が選択行動の研究領域の 1 つの傾向を形作ってきたといえるであろう。

さて、本節は巨視的説明と微視的説明のどちらが尤もらしいかを問うために設けられたわけではない。この文脈において選択行動研究中の行動変動性がどのように記述されてきたであろうか。その手がかりを追い、まとめていくことを目的としている。以下に選択行動実験事態における行動変動性の手がかりを与える先行研究を概観していく。

説明理論としてのマッチング法則に対し、最初に提案された微視的説明は Shimp (1966) の瞬時最大化 (momentary maximizing) であった。それは、個体は選択反応を自発する瞬間に、強化確率、あるいは強化の価値の最も高い選択肢を選ぶとする主張である。瞬時最大化の特徴はマッチング関係が成立した場合に各反応自発時に最大化するための選択が決定されているため、個体は定型的な系列パターンの自発を繰り返しているであろうと予測することである。例えば、2 つの選択肢への強化比が 1:3 であった場合には強化確率の高い rich 選択肢へ 2 回反応し、lean 選択肢へ 1 回反応することを繰り返すこと、すなわち B₁ B₁ B₂ B₁ B₁ B₂ … という系列パターンが形成されるであろう。離散試行の確率学習事態ではこのような最大化が起りやすいことが知られているため（詳しくは平岡, 1987）、Shimp はハトを用いて 3 キイを持つ実験箱で、4 つの実験を実施し手続きを段階的に修正していくことで、実験 1、2 は離散試行事態から、実験 3、4 はフリーオペラント事態へ近づけていき、瞬時最大化の可能性を検討した。まず実験 1 では毎試行中央キイをつつくと、両側のキイが点灯する。いずれかのキイが確率 3/4 で強化されるのだが、点灯する色によってその試行でどちらのキイが強化されやすいかを信号した。正しく rich キイを選択した場合、時々強化子が提示され、その後は試行間間隔 (ITI) を挟んで中央キイが点灯し次試行へ移った。強化子が提示されない選択肢を選んだ場合には矯正試行となり、キイの色は同じままで維持され、正しく反応が自発され、強化子が回収されるまで続いた。試行は強化子提示後から次の強化子提示後までと定義された。実験 2 では、実験 1 の ITI をなくし、キイの位置 (左、右) の強化確率を固定し (それぞれ 1/4 と 3/4)、実験 1 のように常にどちらかのキイに強

化子が装填されるのではなく、確率 r で装填された。強化子が装填された後に **lean** キイへ反応した場合には、キイの色が白から黄色に変わった。したがって、キイの色が白のままである限り、左右の強化確率比は 1:3 のままであるが、黄色に変わった場合、キイを切り替えると確率 1 で強化子が与えられる。白色のキイへの反応が選択反応として記録された。実験 3 では、実験 2 の手続きのうち、キイの色を変える操作をなくし、すべてキイは白色で照射された。この場合は、並立 VIVI スケジュールと同じように、あるキイへ反応をし続けるほど、反対側のキイへ強化子が装填される可能性が高まっていく (Findley, 1958; Skinner, 1950)。実験 3 の最大化系列は強化子提示後 RRLRRL と繰り返すことであり、その結果としてマッチング関係が得られる。実験 4 では並立 VIVI スケジュールと同様、交替反応の偶発強化を防ぐため、強化子が装填されていた場合は、切り替え後第 2 反応が強化されるようにした (Changeover ratio 1: COR1)。この場合の最大化系列は RRRRL と繰り返すことである。

このように確率学習事態から徐々に並立 VIVI スケジュールの特徴へ移していった一連の実験で、予測された最大化の傾向に一致する系列統計量が得られた。実験 3 と 4 ではさらに全体の頻度はマッチング関係を示した。ただし、実験 3 では最大化が予測するよりも時に切り替えるタイミングが短い交替反応傾向 RLRL や、時には長い繰り返し反応傾向 RRRL といった系列もよく起きることが確認されている。実験 4 では交替反応の生起はほとんどなくなったが、繰り返し傾向は依然として予測よりも高く起きていた。

Nevin (1969) は 2 キイを持つハト用実験箱で、1 つのキイを赤色、もう 1 つを緑色に照射して実験開始した。1 反応自発すると ITI 6 秒挿入される離散試行事態だった。また 2 秒間キイつつきが起きなければ ITI へ移行した。緑キイは VI 1 分、赤キイは VI 3 分、キイの色および VI スケジュールの位置は試行ごとにランダムに変更され、VI 強化が装填された場合は次試行へ持ち越されるので、この手続きの下では片方のキイへ漫然と反応し続けるだけで強化子をすべて回収することができる。23 セッション経過して実際に強い位置選好が起きた。そこで、3 分経過ごとに色位置を変えることにした。加えておよそ 40 セッション訓練した後に、10 セッション消去し、訓練条件に戻し 15 セッション実施した。

その結果、反応確率 (2 秒間に反応自発) はほぼ 100%、消去中は 0%まで急速に落ち、**rich** 選択肢への反応割合は 75%となりマッチング関係を確認できた。**rich** 選択肢の位置を変化させる前後での **rich** 反応割合を比較したところ、位置が切り替わった後でも以前の位置に固執する傾向を示したが、反応割合は切り替え前に比べ確実に落ちるので、全く弁別せず前の位置に固執し続けたわけではなかった。一般的に VI スケジュールは直前の強化子提示からの時間経過の関数で次の強化が起こりやすくなるが、**rich** 選択肢は **lean** 選択肢よりもより速く強化可能性が高まっていくので、実際に **lean** 選択肢から強化を得る割合は減っていくと予測できる。分析の結果、確かに **lean** 選択肢反応によって生じた強化の割合は 0.5 から 0.15 まで 9 試行の間に減少していった。しかし、反応は同じ減少傾向を示すことはなく、だいたい 0.25 程度で一定であった。つまり、この局所強化随伴性に局所反応は従わな

かった。また、並立 VIVI スケジュールでは他の選択肢への滞在時間の関数として反対側の強化確率は上がっていく。**rich** 選択肢への反応の連続（反応連）が長くなるほど **lean** 選択肢へ移ったときの強化確率は高まっていく。しかし、**rich** から **lean** へ移る確率は緑 **rich** キーへの反応連の関数として下がっていった。したがって、ここでも、瞬時最大化説のよりどころとなる局所強化随伴性へしたがう反応傾向を示さなかった。つまり、**Nevin** は全体強化比と同程度におよそ反応分配をすることでマッチング関係の成立を確認したが、**rich** 選択肢への反応連の関数として **lean** 選択肢への切り替え確率は減少していき、**rich** 選択肢へ滞在し続ける傾向が高まっていくことを示した。

Silberberg and Williams (1974) は最大化の系列パターンが自発されるためには過去の反応の記憶が条件であると主張した。ハトを使った 2 キー選択肢で、ITI を 1 秒、22 秒、120 秒で 3 群に分けて訓練を行った。確率スケジュールを使い、一方の選択肢への反応をするたびに他方の選択肢への強化確率が上がった。左右で強化確率の増加比は異なった。瞬時最大化が実現するのは交替反応を行い相対反応頻度が 0.5 になる場合だった。結果、ITI 1 秒では瞬時最大化の傾向が見られたが、他の ITI 群のうち 22 秒群では長期訓練の経過とともに瞬時最大化傾向を示す個体もいたが、22 秒、120 秒群はマッチングが見られた一方、瞬時最大化は獲得されない傾向が全体としてあった。このことから **Shimp** と **Nevin** の結果の違いは ITI の違いであり、ITI が長い場合には“忘却”が生じることが理由と考察した。

さらに、**Silberberg, Hamilton, Ziriaux, and Casey (1978)** は **Shimp** と **Nevin** で使用された指標の違いに注目し、マッチング関係にある定常状態での行動変動性の記述の拡張を試みた。実験 1 で、**Shimp** と **Nevin** の手続きでハトを群別に分け追試し、**Shimp** の系列統計量分析と、**Nevin** の反応連の関数としての切り替え反応確率の両指標を利用して分析を行った。その結果、**Shimp** 群だけでなく、**Nevin** 群でも **Shimp (1966)** の瞬時最大化に完全ではないにしろ従うかたちで条件付き確率が変化した。一方、**Nevin** 群だけでなく、**Shimp** 群でも反応連の関数として切り替え反応確率は、**rich** 反応連からの **lean** 選択肢への切り替えは一定だった一方、**lean** 反応連から **rich** 選択肢への切り替えに対しては連の長さの関数として切り替え確率が減少した。これはすなわち、短い連で **rich** 選択肢へ切り替える確率が高いのだが、連が長くなるほど固執傾向 (**perseverance**) が高まっていくことも示している。**Nevin (1969)** はこの傾向について、連が長くなるにつれ相対強化頻度も共変して減少することで説明した。しかし、**Shimp** の手続きは確率スケジュールに近いので、時間の関数によって強化確率が変化することはない。それにもかかわらず、同様に連の関数として固執する傾向が見られた。これは相対強化頻度の変化と共変しない。**Nevin** の説明から導き出される **Shimp** 群での切り替え確率分析の予測は、確率は連の長さに関わらず水平に保たれることである。しかし実際にはそうではなかった。そこで別のより単純な解釈をするなら、強化随伴性による制御とは無関係に選択行動遂行時には固執傾向が頻繁に生起するということである (**Morgan, 1974**)。

Silberberg et al. (1978) は、離散試行手続きの他に並立スケジュール (COD あり、COD

なし) と並立連鎖スケジュールの初環についてデータを収集し、これらの手続き下の選択行動を統合的に記述するモデルとして、記憶エラー付き最大化と反応固執傾向による 2 過程説を提案した。基本的には選択行動は記憶エラー付きの最大化にしたがうが、時々確率的に反応繰り返しを行う状態へ遷移するとした。

Silberberg and Zirriax (1982) はさらに、動物個体はスケジュールへの反応自体を最大化にしたがって配分するのではなく、各選択肢へ反応する時間を配分させる際に最大化をさせているとする微視的最大化を提唱している。彼らは並立 VI VI スケジュール (1 分と 3 分) で得た反応データから、選択肢切り替え間時間 (inter-changeover time: ICT) ごとの反応生起確率を分析したところ、rich キイから lean キイへの切り替え確率は ICT の変化に対して、おおよそ一定であり続けたが、lean キイから rich キイへの切り替え確率は、短い ICT で確率が高く、長くなるにしたがって徐々に減少していった。同スケジュールをシミュレーションしたところ、rich キイへの切り替え後の強化確率は ICT の関数としてあまり変化しないが、lean キイへ切り替えた直後は強化確率が非常に高く、ICT が伸びるにしたがって急激に低下していった。この ICT 反応分布と強化分布の対応から、個体は並立 VI VI スケジュールにおける微視的な強化随伴性に感受性があり、これを追跡し最大化傾向を示しているとした。

ここまでの先行研究が示している定常状態にある選択行動の変動性の特徴は、時に瞬時最大化傾向が生じることはあるが、必ずしも常にその傾向が生じるわけではない。また傾向が得られたとしても、それほど明瞭ではない場合も多い。さらに、マッチング関係が成立したとしても、瞬時最大化が生じない場合を報告する研究も少なくはない (e.g., Herrnstein and Heyman, 1979; Herrnstein and Vaughan, 1980; Nevin, 1969, 1979)。このような状況を検討すると、Silberberg et al. (1978) は記憶エラー付き最大化を基盤にしてシミュレーションモデルを主張したが、基本原理に最大化を採用する必要はない可能性もある。Herrnstein and Vaughan (1980) と Vaughan (1981) は定常状態でマッチング関係が成立する際のメカニズムとして逐次改良理論 (Melioration) を提案した。

$$R_D = \frac{R_R}{T_R} - \frac{R_L}{T_L} \dots\dots\dots(10)$$

ここで、 R_D は L と R 選択肢からの局所強化率の差、 R_R 、 R_L はそれぞれの選択肢から得られた強化子数、 T_R 、 T_L は各選択肢に費やした時間を表す。もし、 R_D が正ならば T_R 、負ならば T_L を増やすように、被験体が時間を配分していくとし、最終的には局所強化率の差がゼロになったところで行動が安定し、この時、時間定義によるマッチング関係が成立する (Baum and Rachlin, 1969)。逐次改良理論は、選択行動研究で一般的な並立 VI VI スケジュールだけではなく、並立 VRVR スケジュールや確率学習事態において強化確率の高い選択肢をほぼ一貫して選ぶ行動の予測も行う。

逐次改良理論の問題点として、時間枠をどのような大きさに設定し、局所強化率を評価するのかという点について根拠が不明瞭な点が挙げられる。Vaughan (1981) では時間枠を 4

分として評価を行ったが、その他の時間枠ではどのようなのだろうか。Silberberg and Ziriax (1985) は Vaughan (1981) の手続きについて、時間枠を 4 分と 6 秒の 2 つの条件を設けて実験を行った。この実験では、各条件で設定された時間枠内 (4 分または 6 秒) での配分時間が、一方のキイに偏って (75%以上) いた場合は、次の時間枠における強化率が反対側のキイで著しく高くなり、それ以外の中間的な配分時間だった場合 (25-75%) は、次の間隔で両選択肢間の強化率に差はなかった。結果、4 分条件では L と R の強化比の違いに関わらずおよそ $R_D = 0$ となり、逐次改良理論の予測のとおりになった。6 秒条件では、強化比の関数として R_D はおよそ線形に変化し、逐次改良理論の予測を支持しなかった。時間枠ごとに算出される相対配分時間の生起分布は中間的な配分時間よりも両極において頻度が高くなった。これは Silberberg and Ziriax (1982) の微視的最大化の予測と一致する。なぜなら中間的な時間配分よりも両極的な時間配分へ与えられる局所強化率は高いからである。Silberberg and Ziriax は動物は 4 分の時間枠においては、過去に自発した反応、ないし時間配分を記憶できず、エラーが生じるために最大化傾向が覆われてしまうと主張した。

Baum, Schwendiman, and Bell (1999) は独立型の並立 VI VI スケジュールの COD の有無を条件ごとに操作し、また別の条件では、依存型 (Stubbs-Pliscoff, 1969) の並立 VIVI スケジュールの COD 無しのデータを収集した。一般化マッチング法則が良好に成立することを確認し、次に別の分析手法として、Rich 選択肢と Lean 選択肢へ分け、それぞれの選択肢への滞在時間 (Visit duration) を滞在中の反応数 (pecks per visit: PPV) によって計算し、Rich 反応と Lean 反応の対数比の関数として図示した。Rich 選択肢への選好に比例して Rich 反応はおよそ線形に増加したが、Lean 反応はほとんど増えず、COD が無い場合には 1 回の滞在につき平均 1、2 回の反応のみ、COD があっても数回増えるのみであった。つまり、Rich 選択肢へ反応が支配的に起こり、時折 Lean 選択肢へ短く一定の反応を行う傾向があり、Baum et al. はこの反応パターンを Fix-and-Sample と呼んだ (Fix-and-Sample は Houston and McNamara (1981) が理論的に予測した。また Silberberg, et al. (1978) の分析にも同様の傾向が示唆されていた)。主に調整されるのは rich 選択肢への反応だけであるとすれば、逐次改良理論に代表される、両選択肢間で反応を調節していくと仮定する選択モデルと事実は理論的な修正を迫られる。

また、Baum et al. (1999) は、Rich 選択肢と Lean 選択肢への強化比の関数として両選択肢への反応比を対数軸で図示し、マッチング関係を調べた (キイの位置 L と R で分析した場合、マッチング関係は過小対応する)。その結果、傾きはほぼ 1 になったが、Lean 選択肢へ一貫したバイアスが見られると報告をしている。

Machado (1994) はこれまでの選択理論が提起する選択行動下の反応パターンを 2 種類に分けた。1 つは、個々の反応がコイン投げの結果によって選択肢を決めるように確率過程的に決まるとするベルヌーイ型である (e.g., Bush and Mosteller, 1955)。Herrnstein (1970) がマッチング理論で仮定した反応パターンであり、Herrnstein and Vaughan (1980) や Vaughan (1981) の逐次改良理論も、定常状態に至った後にはこの反応パターンにした

がうと考えている。もう 1 つは瞬時最大化のように、随伴性の制約を満たす単純なパターンを形成する (Shimp, 1966)。これを安定パターン型と呼ぶ。Machado は Silberberg et al. (1978) が主張したように、最大化するために必要な安定パターンが比較的単純な場合には、動物は安定パターン型で反応するが、要求されるパターンが長くなればなるほど“記憶”の限界により、安定パターンの自発が困難になり、ベルヌーイ型に変化していくと仮定し、これを変動性強化研究で使用した低頻度依存淘汰手続きで例示することを試みた。もともと低頻度依存淘汰手続きは、過去の反応を蓄積し反応割合を算出する手続きである。この点において設定された時間枠内で算出される時間配分に基づいて分化強化を行う手続きの測度を時間から反応へ戻せば同型であることがわかる。Machado (1992) の手続きを改変し、強化子獲得が最大化する場合の左右キイ割合を条件ごとに操作した。この手続きでは、過去 40 反応から算出した局所反応割合の増加と共に局所強化確率が線形に減少していくフィードバック関数を設定した。最大化する地点が局所反応割合 0.5 の場合には安定パターンは LRLR と単純反応交替をすることであり、1 つ前に自発した反応を手掛かりとすることができれば、自発可能である。最大化する反応割合が例えば、右反応確率 0.67、0.75 と一方の選択肢へ偏るようになると、それに応じて、安定パターンは、RLRLRL や RLLRLLLL と反応パターン周期に関わる過去の反応が増えていく。したがって、記憶しなければならない過去の反応が増え、安定パターン型の自発が困難になり、その結果ベルヌーイ型反応パターンになるだろう。ところが、実験結果はどちらの型にも当てはまらず、様々な反応パターンが観察される多様型となった。一方、巨視的な測度では、マッチング関係がみられた。

ここまでの選択行動研究はマッチング法則のメカニズムをめぐって諸理論の妥当性を検討することを原動力として多くの研究報告がなされてきた。他にもここで紹介していない様々なモデルが存在するが (Baum, 1981; Davis, Staddon, Machado, and Palmer, 1993; MacDonall, 2009; Myerson and Miezin, 1980; Rachlin, Green, Kagel and Battalio, 1976; Staddon and Motheral, 1978)、本論の目的はマッチング法則を巡る理論の妥当性を比較することではない。むしろ、選択行動遂行中の行動変動性を特徴づける手掛かりを探すことにあった。そのため、セッション全体における反応配分や時間配分を扱うモデルの紹介は極力控えた。それでは、ここまでに挙げた選択行動研究から選択行動の変動性についてはどのような傾向が判明したであろうか。

まず Machado (1994) の結果は微視的な反応構造の記述として利用されてきたベルヌーイ型パターンも最大化型パターンも限定的な条件でしか起こらないことを示唆する。局所反応割合の変化に対し局所強化確率が大きく変化する場合には反応パターンも最大化パターンに敏感に反応するが、それほど大きく変化しない場合には、ベルヌーイ型とも安定パターン型とも異なる多様な反応パターンが生き残る余地があったのだろうと解釈した。この Machado (1994) の結果の解釈は分化強化の効果の尤もらしい一面を捉えている。同様に、Silberberg and Zirias (1985) が検討した時間枠の効果も 4 分の時間配分を変化させるには反応傾向を大きく変える必要があるが、6 秒枠における時間配分を変えることは、比較的自

由に実行が可能であるだろう。時間枠や過去の反応枠の効果はサイズが小さければそれだけ、大きな局所強化率の変動を起こすことであるだろう（補足 4）。

2 つ目に、これまでの研究は **Fix-and-Sample** パターンの存在も示唆してきた (e.g., Baum et al., 1999; Houston and McNamara, 1981; Silberberg, et al., 1978)。個体は **Rich** キイへ多くの時間滞在を続け、あるいは多くの反応を自発し、時折、**Lean** キイへ移る。**Rich** キイから **Lean** キイへの切り替え反応、または切り替え時間は、生起確率がおよそ一定であり、**Rich** キイへの滞在の長さに関わりなく確率的に自発される。一方、**Lean** キイへの滞在は多くがごく短い時間、あるいは短い反応連であるが、**Rich** キイへの切り替えは、**Lean** 反応連や、滞在時間が伸びるほど生起確率が減少していく。これは時々、**Lean** キイへ滞在し続け、長く反応を続けることが稀に起きることを示している。Baum et al. (1999) が、**Lean** 側への反応バイアスが存在する点を指摘した点も、この傾向に一致する。

最後に、多くの研究が瞬時最大化などの理論が予測するよりも反応の連が長く起きることを報告している (e.g., Nevin, 1969; Shimp, 1966; Silberberg and Williams, 1974)。Silberberg et al. (1978) は最大化傾向と反応固執傾向の 2 過程説を唱える理由となっていた。それでは、どのように反応固執傾向は起きるのだろうか。1 つは **Lean** キイへ時々、長い反応連が生じること、それが一般化マッチング測度でバイアスとして検出されることが挙げられるだろう。また、Morgan (1974) や Menlove (1975) は強化子提示直後に、強化子が提示された選択肢へ長く反応が生じる傾向を示しており、これも手掛かりとして挙げられるであろう。なお、この後者の現象は 2000 年以降に選好パルスとして注目を集め始めた現象と同じであり、その先駆的な報告であると考えられる。次節において、選好パルスを巡る先行研究の流れを追ひ、本論文の実験報告へとつなげていく。

4. 選択行動の推移と選好パルス

Skinner (1935) は行動の科学としての反射の分析単位を決定する際に、“A reflex, then, is a correlation of a stimulus and a response at a level of restriction marked by the orderliness of changes in the correlation (p. 62, イタリックは筆者による加筆)” と述べている。これはプラグマティックな定義方法 (Gifford and Hayes, 1999) であり、Skinner が反射の概念に対処したこの方法は、オペラント行動の概念への対処において、微視・巨視論争の形をとって現在まで続いているようだ (補足 5)。Herrnstein (1970) やその後の巨視的理論家達は、行動は強化率の変化に直接的に感度を有しており、マッチング関係が成立するのはこの巨視的な強化効果によるものであると考えた。そのため、行動には瞬時的、あるいは微視的な最大化という強化随伴性の局所効果が原因で生じる反応パターンは存在しないと考えた。この点については、前章で紹介した諸研究を見る限りでは疑念を抱かざるを得ない。しかし、微視的な水準での規則性は時に最大化を示し、時にベルヌーイ型のランダムパターンのようにもみえ、また最大化だけでは捉えきれない過程も存在する可能性もあり、

未だに明瞭な結論は得られていない。巨視的な水準でみられるマッチング関係は、とりわけ、**Baum (1974)** が提唱した一般化マッチング法則 (式 7、式 8) は汎用性が高く、微視的水準でどのような反応パターンを取ろうとも良好な規則性を示してきた。このような先行研究の蓄積は、**Herrnstein (1970)** が効果の法則が規則性を示す水準を巨視的な水準に求めたことの正しさを追認しているようである。

定常状態の規則性を巨視的水準の分析が十分に捉えることが示されたことを受けて、1990 年代以降は、行動が推移状態にどのように変化するか、すなわち、ある随伴性下で定常状態にあった行動が別の随伴性への移行に伴いどのように変化するかへ注目が注がれるようになった (**Bailey and Mazur, 1990; Hunter and Davison, 1985; Mazur, 1992; Mazur and Ratti, 1991; Schofield and Davison, 1997**)。Bailey and Mazur (1990) はランダム比率 (random ratio: RR) スケジュールを使用して、離散試行型の並立 RR RR スケジュールの両強化確率を条件ごとに操作し、Rich スケジュールへの選好が 90%に至るまでの推移を調べた。この実験ではおよそ 5 セッション程度で推移は完了し、別の条件へ移された。通常、選択行動の定常状態を検討する際の実験手続きでは、推移が終わり新しい定常状態に達したことは安定基準を満たしたか否かにより判断する。大方の研究が安定するまでに 15 セッションかそれ以上の訓練を必要としている。しかし、Bailey and Mazur はわずかに 5 セッションで定常状態に達したことを報告している。また Hunter and Davison (1985) は 3 セッションで十分に漸近的安定性を示すこと、Shofield and Davison (1997) はセッションごとに強化比をランダムに変化させた並立スケジュールでも訓練を続けたならば、ほとんど前セッションの影響を排除可能であることを示している。つまり、強化随伴性が設定する環境が長期間一定であり続ける条件下では、行動の適応もゆっくり進行し、急速に変化する環境では急速に進行するようである。そこで、Davison and Baum (2000) は更に急速に環境を変化させる新たな手続きを導入した。1 つの VI スケジュールによって強化子装填を決定し、設定した比に応じて確率的に強化子の分配を決定する手続き (Stubbs and Pliscoff, 1969) の下で、1 セッション中に 7 成分の強化比 (1:27, 1:9, 1:3, 1:1, 3:1, 9:1, 27:1) を変化させる一方、全体強化率は固定したまま、各成分変更に伴う推移を検討した。成分間にブラックアウトが挟まり、各成分の開始の手がかりとなったが、次成分の強化比についてはランダムに決定され、手がかりは与えられなかった。この手続きの下、80 から 100 セッションの多数の訓練を積み、最初の 15 セッションを省き、残りの全データを分析に利用し、成分の推移過程での選択行動の特徴の検討を行った。彼らの分析の斬新だった点は、同一データに対し、多次元的な時間尺度で様々な分析を展開したことにあるだろう。それまでの巨視的指標であるセッション全体の集成水準だけではなく、成分内、あるいは強化子提示ごとにどのように選好が変化するかを検討している。様々な水準で規則性の有無を探る試みは、Skinner (1935) の精神に忠実に則り、オペラント行動の分析の単位の検討につながるであろう。それは巨視的な立場を補強するためにも、あるいは微視と巨視のような論争を相克する新たな理論の策定のためにも正しい道筋であるようだ。本章では、まず、選択行動の

多次元的な時間尺度の分析の方法の整理を次節で予め行い、その後、Davison and Baum (2000) 以降の成果を時系列にしたがってまとめ、最後に選択パルス現象の展開を紹介する。

選択行動推移の多次元的分析手法

Davison らはデータをいくつかの水準に分けて多次元的に分析を行う手法を提案している。まず、それらの手法について整理をする。

選好ツリーと感度の推移分析

Davison and Baum (2000) は、成分開始からその成分強化比への適応の過程を調べるために、1 強化子提示ごとの選択行動の変化を検討した。7 つの成分別に、成分内強化子の提示順を横軸にとり、選好の指標である反応比の対数を強化子ごとに算出した。Davison and Baum はこの分析を要約するために、一般化マッチング法則の感度を使用することを提案した。彼らの手続きを利用すると、1 セッション内で 7 つの強化比のデータが取得できるため、成分ごとにデータを分割し、反応比を計算することでマッチング関係を検討するための散布図（横軸：強化比の対数、縦軸：反応比の対数）が描けるのである（無論たったの 1 セッションではデータ数が少ないので、訓練を続け、数 10 セッションのデータを取得し、まとめて分析に使用している）。さらに、各成分が強化子呈示数で定義されていたため（例えば、各成分 12 強化子取得すると、ブラックアウトを挟み、次成分へ移行する）、成分内で提示される強化子ごとにデータを分割し、1 強化子ごとに強化比に対する反応比を求め、マッチング関係を散布図に表すことができる。両対数で散布図を描き、一般化マッチング法則の式（式 8）を当てはめれば、感度とバイアスを成分内の強化子提示ごとに求めることができる。ここで、強化子提示ごとの感度の変化に注目することで成分内の感度の推移性と定常性を検討することができる（e.g., Davison and Baum, 2000, Figs. 9, 10）。本論文では、これを感度による推移分析と呼称しておく。セッション内での強化比を成分ごとに変化させない従来型の手続きで、類似の方法が知られている。Mazur (1992, Figs. 1, 2) ではセッション開始から 100 反応までは 2 つの選択肢への強化比を 1:1 とし、その後、Rich キイと Lean キイの強化比を変化させた (Bailey and Mazur, 1990, Fig. 1 も参照)。セッション内の 100 反応を 1 ブロックとし、セッション終了までの全 1100 反応を 11 ブロックに分割し、各々の反応割合を算出した。この分析は、選択肢間で異なる強化比が導入されてからの選好がセッション進行と共にどのように推移するかを観察している。

感度による推移分析は、現成分の強化比へと適応していく過程を測定するだけでなく、前成分への適応状態から、強化子提示ごとに逸脱していく過程も表現することができる（e.g., Davison and Baum, 2000, Figs. 17, 18）。この場合は、前成分の強化比と現成分における反応比による散布図を描き一般化マッチング法則を当てはめる。この分析により、前成分で形成された反応比の持ち越し効果と、その消失過程を調べることができる。

1 強化子ごとの反応比の推移を調べる別の方法として Davison and Baum (2000) はある選択肢への強化子提示の系列に注目した。この分析ではデータを 7 つの成分で分割せず利用し、強化子がある選択肢から連続して提示された連を横軸に取り、各々の反応比の対数を算出した (Davison and Baum, 2000, Figs. 15, 16)。成分開始から第 1 強化子提示までは連 0、その後、ある選択肢への強化子提示が繰り返されるたびに 1、2、3、4、と横軸が増していく。また、ある選択肢へ強化子提示が連続した後に、別の選択肢へ強化子が提示され、強化子提示の連が中断した後の反応比も算出した。これらの分析は木が枝を伸ばすような形状をしているため、選好の木構造 (e.g., Baum and Davison, 2004; Landon, Davison, and Elliffe, 2002b)、または、選好ツリーと呼ばれている (e.g., Boutros, Davison, and Elliffe, 2009)。本論文では選好ツリーの呼称を採用する。

強化間隔の反応推移と選好パルス分析、PPV 分析

Davison and Baum (2002) は強化間隔中の推移に注目するために、全データを強化子提示を基点にして揃え、以後、2 秒ごとに区画 (2 秒ビン) を設け、それぞれのビンで、反応比の対数を算出した。この分析は強化子提示が以後の反応に及ぼす効果の検討を可能にする。横軸は、時間ビンを用いる場合と、強化子提示後に自発された反応順序を利用して、1 番目の反応比、2 番目の反応比、…という形で算出する場合もある (Davison and Baum 2003)。基本的な知見は後述するとおり、強化子が提示された選択肢へ一時的に大きな選好を示すことがわかっているため、これを指して選好パルスと呼んでいる (e.g., Davison and Baum, 2003; Krägeloh and Davison, 2003; Baum and Davison, 2004)。選好パルス自体は観察された現象のことを指すが、選好パルスの分析といった場合には、特に断らない限りは、本論文では、この強化後の反応比の推移の分析を指すこととする。多くの研究で左右の選択肢や緑赤の選択肢に対する反応比を求める (L/R や R/G など)。この場合、それぞれの選択肢に対して強化子が提示された場合で別個に選好パルスを描くため、図には 2 本の曲線が描かれることになる。これをまとめて、個別の選択肢に関わらず、強化子が提示された選択肢を P (Just Productive) 反応、強化子が提示されていない選択肢を N (Just Not-productive) 反応とし、これらの反応比 (P/N) を求めることもある (e.g., Baum and Davison, 2004; Davison and Baum, 2006)。選好パルスも、強化子が同一選択肢へ連続提示された回数によって分割し、それぞれの場合で算出することがある。同様に、強化子が同一選択肢へ連続提示された後に逆側の選択肢から強化子提示が起き、強化子系列が中断した場合の選好パルスを求めることもある。

選好パルスの分析では、2 つの選択肢へ自発された各反応を比の形式にして表現する。Baum and Davison (2004, Fig. 4) はこれを更に個別の反応連に分けて図示した。強化子提示後、最初に訪問した選択肢へ自発した反応数を数え、次に訪問した選択肢へ自発した反応数を数え、というように反応連を数えていき、順番にこれを図に並べて折れ線で表現した。これは、反応連の分析そのものであるが、Baum and Davison は採餌行動との類比から、

ある選択肢への訪問中の反応数 (Responses per Visit, Pecks per Visit: PPV) と呼んでいる。本論文でも PPV 分析の呼称を使用する。これと合わせて、ある選択肢への訪問確率を図示することもある (e.g., Baum, 2010, Fig. 9)。この訪問確率は選択行動におけるバウト開始率に対応し、PPV はバウト内反応数に対応させた分析手法とみなすことができる。

選好パルス分析も PPV 分析も、同様の手法で反応比ではなく強化比を計算し、反応比と対応付けて表現することができる。選好パルス分析の場合には強化子提示後、次の強化子が提示された時間ビンや反応を算出することになる。Baum (2010, Fig. 11) では、一方の選択肢への反応自発および強化子提示を+1、他方の選択肢への反応自発ないし強化子提示を-1 で表現し、反応および強化子の累積反応を、訪問順序を横軸にとり図示している。

時間軸尺度（集成水準）の異なる推移過程

およそ推移の研究とは、時間の経過とともに行動がどのように変容していくかを調べることである。もう少し厳密に考えると、時間の経過と共に何らかの事象が推移していき、その事象の推移と選択行動の推移の共変する様子を観察している。この時、その推移事象がどのような時間幅を必要とするのかに応じて、注目する時間幅は様々に変わり得る。

Herrnstein (1961) 以来の従来の選択行動研究は、単一の強化比に固定して、安定基準を満たすまで、数 10 セッションの間訓練を行う。最終的に安定した最後の 5 セッションから 10 セッション程度をデータ分析に利用し、それ以前の推移過程における訓練データは利用されないことが常であった。しかし、各セッションの反応比を算出すれば、条件を変更した際の安定に達するまでの推移過程を調べることが可能である。Bailey and Mazur (1990) は 2, 3 セッションごとに条件を変更した。各セッションは反応数で定義される離散試行型だったため、条件変更後の推移過程を試行のブロックごとに反応割合を求めることで図示した。時間幅はセッション数を軸にした場合に比べればはるかに短い、相対強化比の条件変更という、同様の操作に対する推移を調べている。

Davison and Baum (2000) が導入した手続きは、相対強化比の条件変更をセッション単位ではなく、セッション内の成分単位で実施したため、選好ツリーや感度の分析のように成分開始からの成分内強化子提示ごとに反応比の推移を図示した。この場合には、さらに時間幅は短くなり、成分内の各強化子提示という事象に基づいて反応推移が観察されている。これらの分析は時間の幅、あるいはローデータの集成水準に違いがあるが、結果を眺めると推移の傾向が似かよっており、いずれの分析でも、条件変更後すぐに、急速に選好が是正されていき、徐々に変化量が小さくなっていき、おおよそその定常状態へ達する。この類似性について Baum (2010) は選択行動の自己相似性 (self-similarity) と呼んでいる。

選好パルスの分析は、強化間隔の時間幅に絞って推移を調べており、上述したいずれの水準よりも局所的である。言い換えると、強化子提示を起点としてその後の反応比の変化を、数秒ビンごとに、あるいは反応順ごとに求めている。選好パルスは上述したいずれの手続きでデータを取得した場合にも検討することができる。実際には選好パルスと類似の現象は、

Davison and Baum (2002) が初めて報告したわけではなく、Morgan (1974) や Menlove (1975) が Herrnstein 型の手続きにおいて見つけており、Mazur (1990, 1991, 1992) や Bailey and Mazur (1991) でも注目されている。同様に PPV 分析もいずれの手続きから獲得したデータであっても実施することが可能である。

3 つの分析水準における推移状態の基本的知見

感度の分析

第 4 章の冒頭で説明したように、これまで、安定基準を満たすまで、同一条件下で訓練セッションを繰り返し、20～30 セッション程度は必要と考えられてきた。この常識から考えると、個体の環境への適応は比較的ゆっくり少しずつ進行し、多くの訓練を重ねた後に達成されると推測される。推移状態セッションごとに進行する水準を観察することが規則性をよく描写できているかのように感じられる。しかし、1990 年前後の研究は、いずれも、個体は数セッション中に、またはセッション内で、急速に推移をする事実が報告されてきた (e.g., Bailey and Mazur, 1990; Belke and Heyman, 1994; Hunter and Davison, 1985; Shofield and Davison, 1997)。

Davison and Baum (2000) の目的はこの適応速度の違いに何か本質的な違いがあるのか否かを確かめることにあった。その手段として、感度の分析と選好ツリーを利用した。彼らのセッション内で成分強化比が局所的に変化していく手続きは、従来の手続きに比べて、強化随伴性が目まぐるしく変化することが特徴であるが、この随伴性の変化速度を定義しているものは成分を定義する強化子数である。例えば 1 成分 4 強化子で終了する場合と 1 成分 12 強化子を比べた場合、前者では新しい成分強化比が設定されても、より速く別の成分へと移っていくので、後者に比べて変化に富む環境であるといえる。Davison and Baum (2000) は成分強化子数を条件ごとに 4, 6, 8, 10, 12 と操作し、成分持続と感度の推移傾向を調べたところ、成分持続が短いほど感度が高くなるという傾向はほとんど見られなかった。成分強化子数の違いに関わらず、感度は成分内の最初の 3～4 強化子提示までに大きな推移的变化を示し、それ以後は変化傾向が減速していき、成分内の 6～12 強化子では、感度の上昇傾向が全く見られないわけではないにしろ、感度の変化幅はわずかとなる (Landon and Davison, 2001 も追試)。まさに成分内の反応遂行が推移状態から定常状態へと移っていくかのような傾向となった。また、前成分の強化比への感度の分析を評価したところ、最初の 2, 3 強化子提示までは、徐々に減衰していく持ち越し効果がみられた (Davison and Baum, 2002; Landon and Davison, 2001 も追試)。持ち越し効果は成分間のブラックアウト時間が伸びると減っていくが、現成分の強化比への感度上昇速度には干渉しない (Davison and Baum, 2002)。Davison and Baum (2000) は条件ごとに VI 値を 27 秒、または 10 秒に設定し全体強化率の効果も確認した。全体強化率は感度の推移に効果が見られ、強化率が高いほど感度の上昇および、漸近値の高さが高くなった。つまり、強化子提示が頻

繁であるほど、現成分の強化比への感度の獲得に貢献をすることが示唆された。彼らの使用した数強化子提示ごとに急速に強化比が変化する環境では個別の強化子提示が個体の新しい相対強化比への適応に貢献することが示され、Davison and Baum (2003) はこれを全ての強化子が重要である(**Every reinforcer counts.**) という言葉で表現している。

その後の研究によって、感度変化と様々な要因との関係が検討された。Davison and Baum (2003) は効果の一般性を確認するために、強化頻度の比（強化比と略）ではなく、強化量の比を操作した。実験 1 では、強化頻度の比は 1:1 に固定したまま、成分ごとに強化量の比を操作した (1:7, 2:6, 3:5, 4:4, 5:3, 6:2, 7:1)。強化量は 1.2 秒のエサ皿を上げてハトが利用可能とする機会を何回連続で与えるかにより定義された。また併せて条件ごとに全体強化率を操作した (VI27 秒, VI10 秒, VI40 秒)。この結果、強化量比による感度変化は強化頻度比を操作した場合に比べて遅く、前成分からの持越し効果には相互作用があった。全体強化率が高い場合には、持越しされた感度が 0.1 程度で維持され続け、全体強化率が低い場合には、強化頻度比の場合と同様に持越し感度は減少していった。実験 2 では、強化頻度比を成分ごとに変化させ、強化量比を条件ごとに操作した。実験 1 と比べると実験 2 の手続きのほうが強化子ごとの感度の漸近値は高かった。つまり、1 度に獲得できるエサの総量よりも、エサが提示される機会の総数へハトは高い感度を持った。Landon, Davison, and Elliffe (2002, 2003a) は、伝統的な Herrnstein 型 手続き（条件ごとに強化比を一定にし、安定基準を満たすまでセッションを繰り返す）で強化頻度比と強化量比の比較を行い、強化頻度比を操作した場合の感度のほうが高くなることを示しており、手続きの違いに関わらず、同様の傾向が示されている。

Krägeloh and Davison (2003) はキイライトを照射する赤と黄の配分（1 周期 1.34 秒中を構成する色の割合）を 7 つの成分の弁別刺激として使用した。弁別刺激がある場合には、新しい成分に移った最初から高い感度を示し、さらに成分強化子の提示ごとに感度は上昇していき、漸近値の感度は 0.8 付近まで上昇した。また、COD の有無を操作したところ、COD が加えられた場合で、漸近値がより高くなる傾向が見られた一方で、前成分からの持越し効果も COD がある場合に効果が大きかった。総じて COD が加えられると推移の変化幅が大きく明瞭になるようであった。

Landon, Davison, and Elliffe (2003b) は連続した成分間の強化比の変化幅を変えたところ、強化比の偏りが、選択肢間で逆転する場合（例えば、1:27 から 27:1 へ変化する場合）には、上述のような一般的な感度推移と持越し効果が見られたが、強化比変化幅が小幅にとどまる場合（例えば、1:27 から 1:2.37 へ変化）には、現成分強化比への感度の上昇は遅く、漸近値も低くなった。

選好ツリーの分析

全ての強化子が反応遂行に影響を与えるとして、それはどのように働くのだろうか。強化子提示される度に一定の強度を獲得し、それが累積していくのだろうか。実際に強化子がど

のような働きをしているのかを知るための 1 つの手がかりを与えるために Davison and Baum (2000) は選好ツリーの分析を行った。その結果が示した傾向は、まず同じ選択肢から強化子提示が繰り返されるほど、その選択肢への選好が高まっていくが、変化幅は繰り返し提示の度に減少していくことだった (Davison and Baum, 2002; Landon and Davison, 2001 も追試)。これは感度の分析に現れていた傾向と一致する。一方、選択肢への強化子提示の連続が中断した場合の選好は、直前に強化子が随伴した選択肢の方向へと非常に大きな変化を示し、それまでどれだけ強化子が連続提示され選好が強く形成されていようと、ほとんど無差別まで偏りを是正する効果を示した (Davison and Baum, 2002 も追試)。また、全体強化率が高いほど、選択肢への強化子の連続による選好の上昇速度は速く、漸近値もいくらか高くなったが、強化子連続が中断した際の傾向には変化はなかった。さらに、成分開始時から最初の強化子提示までの間の選好は無差別付近であり、どれだけ直前の成分までに選好が強く形成されても、成分間のブラックアウト中に選好が中立へと是正されるかのようであった。最後の点については、数セッションごとに相対強化比を変化させた場合も、同様にセッションの開始時には、前日いかに選好が形成されようとも、無差別付近まで戻ることが報告されている (Hunter, 1979; Mazur, 1996)。

その後の研究から、選好ツリーの傾向に成分間ブラックアウトの長さは関係しないこと (Davison and Baum, 2002)、次成分を信号する弁別刺激を与えた場合には、弁別刺激がない場合に比べ同一選択肢への強化子提示の連続による選好の変化は大きくなり、一方、連続提示の中断による選好の変化は、弁別刺激がある場合には無差別までは下らない傾向を示したこと (Krägeloh, Davison, and Elliffe, 2003)、COD がある場合には、ない場合に比べ、はるかに選好変化幅が大きくなり明瞭になり、強化子提示が連続する場合にはその選択肢への選好を大きく高め、連続提示が中断した場合には選好を大きく落とし、無差別へ近づける効果があった (Krägeloh, Davison, and Elliffe, 2003)。弁別刺激よりも COD のほうが変化幅を高める効果は強かった。また、セッション全体での強化比が選択肢間で等しくならないように、成分強化比の組み合わせを選んだ場合、ブラックアウト後に無差別へ戻るのではなく、全体強化比の偏りを反映した選好からツリー開始するが、強化子の繰り返しや繰り返しの中断による選好変化の傾向には大きな違いは見られなかった (Landon, Davison, and Elliffe, 2003b)。

Herrnstein 型の手続きでは、強化子提示の繰り返しやその中断による選好の変化幅は非常に小さくなった (Landon, Davison, and Elliffe, 2002, 2003a)。強化量比を操作した場合も同等水準の選好変化が見られた (Landon, Davison, and Elliffe, 2003b)。環境変化が頻繁に起きず固定された手続き下では、強化子が同一選択肢へ連続提示される際の選好変化の傾向は非常に小さかったが、強化子提示の連続が中断した場合の選好の下げ方は、Davison and Baum (2000) と似た、比較的大きな変化を示した。

選好パルスの分析

強化子提示が反応遂行へ与える影響をさらに局所的に検討するために、Davison and Baum (2002) は強化子間間隔 (inter-reinforcer interval: IRI) に注目した。セッション内の 7 成分のデータを合算し強化子が提示されてから 2 秒ビンごとの反応比の対数値を求めたところ、強化子が提示された直後には強化子が随伴した選択肢側へ選好が大きく偏り、時間経過とともに徐々に選好は減少していき無差別へ近づいていくパターンを示し、この一時的な選好の増強を指して選好パルスと呼んだ。選好パルスは成分間のブラックアウトの時間 (1 秒、10 秒、30 秒、120 秒) を操作してもその傾向の大勢に影響は与えなかったが、無差別点からの偏りという意味では、ブラックアウトが長くなるほど、いくらか選好の偏りが大きくなった。Davison and Baum (2003) は強化頻度比を 1:1 に固定したまま、強化量比を 7 成分で操作し、この場合も選好パルスが生じることを確認している。ただし、強化量比に対する選好パルスは、強化頻度比に比べ弱く、また無差別点付近まで選好が落ちた後は短い周期で交互に選択肢間の選好が入れ替わるパターンを示した。Krägeloh, Davison, and Elliffe (2003) が成分強化比を明示する弁別刺激の効果および、COD の効果を調べたところ、弁別刺激の効果は選好パルスの生起にほとんど影響を与えなかった一方、COD が無い場合には選好パルスがほとんど生じなかった。選好パルスの生起に COD が重要な要因であることが示唆されるが、後の研究報告で COD がなくても選好パルスが生じることが報告されている (Baum, 2010)。また、COD には持越し効果がある可能性があり、前の条件で COD のある条件を経験した場合には、次の COD なし条件でも選好パルスが起きることが報告されている (Krägeloh, Davison, and Elliffe, 2003)。

Herrnstein 型の並立スケジュール手続きを利用した場合にも、同様に選好パルスが生じる (Landon, Davison, and Elliffe, 2003b)。ただし、Davison and Baum 型の手続きの場合には、ある選択肢へ強化子提示が連続すると、それにつれて、無差別点からの選好の逸脱が大きくなっていく累積効果が選好パルスにも見られたが、Herrnstein 型の手続きでは、累積効果は見られなかった。ある選択肢への強化子提示の連続が中断した場合の選好パルスはいずれの手続き型でも比較的小さく、短いものだった。強化量比を操作した場合にも、選好パルスが生じたが、Davison and Baum 型で見られたような選好の周期的変化は見られなかった (Landon, Davison, and Elliffe, 2003a)。相違点がいくつか見られるものの、選好パルス現象の生起という点では、手続き型の違いに関わらず概ね同様の傾向が生じることが確認されたといえる。

選好パルスの生起過程と選択行動の巨視的理論を巡る動向

Herrnstein (1961) から始まる並立 VI VI スケジュールを利用した選択行動とマッチング法則を巡る研究では、マッチング現象の主要因を巡り、巨視と微視の観点で論争が生じた。系列統計量 (Shimp, 1966) や、反応連 (Nevin, 1969; Silberberg et al., 1978) や、切り替え間時間 (Silberberg and Vaughan, 1982) に基づいた微視的レベルでの最大化は、ある種

の条件が整えば観察可能であることは言えそうであるが、観察報告自体は最大化を支持する場合も支持しない場合もあり様々である。しかし、強化比と反応比のマッチング関係という巨視的な規則性は、研究者の立場を超え、ほとんどの場合に確認されてきた。このような選択行動の研究史自体によって、Herrnstein (1970) の効果の法則を巨視的な水準へ位置付ける主張は強固な支持を獲得し続けてきたといえる。しかし、選択行動の推移が検討され始め、多次元的分析がセッション内のさまざまな水準にある種の反応パターンが見られることを確認してきたことが、巨視的理論家への新たな挑戦となっているようにみえる。

Davison and Baum (2000) が提案した感度の分析及び選好ツリーの分析と、Davison and Baum (2002) が提案した選好パルス分析により、3つの分析水準における基本的な知見が揃い、その後も精力的な追試が行われ、現象としての信頼性を高めてきた。これらの分析水準で見られた現象の間の関係はどのようなになっているのだろうか。感度と選好ツリーはもともと1強化子提示ごとの反応比への効果を観察しているため、互いに関係が深い。1強化子提示ごとの反応比を強化比別に図示した場合の傾向を要約した指標が感度であり、強化子提示の連続および中断という観点でさらに詳細に分析を行ったものが選好ツリーの図である。要約指標である感度の傾向は強化比ごとに選好ツリーを図示すれば、同様の情報を得ることができるため、感度の分析は選好ツリーの分析へ還元可能であるといえよう。

感度の水準で観察された現象が選好ツリーの水準へ還元可能であることは、巨視的理論にとって、深刻な事実であろうか。おそらくそうではない。選好ツリーの事実は、依然として強化比によって反応比が影響を受けるというマッチング法則の主張を踏襲しているからである。強化比の違いにより、成分内漸近値の高さに差が生じ、それが一般化マッチング法則で記述ができるため感度パラメータが要約指標として利用可能となっている。ある選択肢へ強化子が連続提示されるほど選好が無差別から大きく偏っていく様子は、選択行動が強化される度に強められていくという、巨視的な効果の法則を体現しているようにみえる。

これに対して、選好パルスの現象はどのようにみなせばよいかという問いへの回答は理論的に極めて機微に触れる部分がある。論点は2つある。まず、選好パルスはどのような要因によって生じるのだろうか。もしも、局所的な強化子提示に関わる効果とみなせるのであれば、選好パルスの現象は強化比と反応比の関係という巨視的な要因とは関係のない微視的な反応制御要因が働いていることとなる。つまり、選択行動は巨視的な制御要因だけで決まるのではなく、より局所的な効果（たとえば個々の強化子の強化効果）も存在する可能性が生じる。強化の原理は、巨視的な水準で相対的に緩やかに進行する強化と、一時的かつ急速に反応を高め、数10秒で効果が消失する局所的強化という制御要因の2過程論を認めなければならないことになる。2つ目に、選好ツリーの結果は選好パルスへと還元することはできるのだろうか。先に指摘したように選好ツリーの水準には強化子提示ごとに選好が高まる累積効果がある。この累積の末に一般化マッチング法則の感度が高まっていく。もし、この選好ツリーでみられる現象的事実が、選好パルスから起因するのだとしたら、そして選好パルス自体は局所的な強化の原理によって生起するのだとしたら、巨視的水準でみられ

るマッチング関係はそのために生じた副次的現象であることが判明する。これは最大化とは必ずしも同じではないかもしれないが、微視的理論家が唱えてきた主張に従う結末と言えるであろう。Landon, Davison, and Elliffe (2003b) は選好ツリーの場合と同様に、ある選択肢への強化子提示が連続するにつれ、その選択肢へ向けた選好パルスが無差別点からの逸脱を累積的に増していくと報告している。選好ツリーの現象が選好パルスへ還元される可能性は絵空事ではなさそうである。

選好ツリーは選好パルスに還元されるのか

この問いに対する回答は必ずしも十分な検討が行われているわけではない。しかし、比較的早期に否定的な形の証拠が得られている。それは、選好パルスの選好が時間経過と共にどこへ収束するのかに対する回答である。もし、無差別点へと回帰するのであれば、強化比の違いによって生まれる選好パルスの大きさだけが、セッション（成分）全体の集成水準における選好の無差別点からの偏りへと反映されている可能性がある。しかし、もし選好パルスがセッション（あるいは成分）全体の強化比水準へと収束していくのであれば、このセッション（成分）全体の強化比とマッチングするように反応比を（無差別ではなく）偏らせている効果があることになる。選好パルスも一部影響は与えるであろうが、セッション（成分）全体の選好の大勢はすでに収束した反応比に表れていると考えられる。Landon, Davison, and Elliffe (2003b) は各成分の強化比の組み合わせを操作し、どちらかの選択肢へセッション全体の強化比が偏る条件で訓練を行った。結果は、各成分とも強化比が高い選択肢の方へ選好は収束していき、選好パルスは無差別を基準に考えるならば、強化比の低い選択肢へのパルスは小さく短く、すぐに強化比が高い選択肢へと選好が移っていった。この結果は、Davison and Baum (2006) でも確認され、また、Herrnstein 型の手続きでも、Landon, Davison, and Elliffe (2002, 2003a) が同様の傾向を確認している。Davison and Baum (2002) はもともと選択肢間で対称的な強化比を成分間で設定したため、セッション全体の強化比は 1 : 1 であった。全データを合わせて算出した選好パルスが無差別選好へと収束していったのは当然であったと解釈できる。したがって、選好パルスは、包括的な集成水準において反応比が強化比とマッチング関係を生じる主要因であるかと問うならば、その答えは否である。しかし、無論選好パルスが全く影響を与えないわけではないので、選好ツリーの要因の 1 つとしては残る。また、この結果だけで最終的に否定的結論を導けるわけではないので、検討の余地はまだ十分にあることに留意をすべきである。

選好パルスの生起因：強化子の強化機能説と弁別機能説

包括的な反応比と強化比のマッチング関係や、選好ツリーで同一選択肢へ強化子提示が繰り返される度に示される選好の増強効果は、選好パルスへ完全に還元されることはなさそうである。もしそのように主張できるならば、強化子の機能は 2 つの別の水準で働くことを示唆する。1 つは選好パルスの分析にみられるように、反応が短期的に強力に強化され、

その効果は急速な減少を示し、2 つ目は選好ツリーの分析にみられるように、反応に対する強化効果は大きな変化を引き起こすわけではないが効果は次強化子提示まで持続し、徐々に選好が累積的に強まっていく。これを強化の 2 過程説と呼んでおこう。上述したように、もしも強化の 2 過程説を認めるならば、巨視的水準にも微視的水準にも強化が働くことになる。しかし、そのような結論を導く前に、ここまでの議論で強化の 2 過程説の検証は十分に行われていないことに注意すべきである。そもそも、選好パルスの生起メカニズムはまだ明らかではない。

Davison and Baum (2006) は、選好パルスのメカニズムを探るために、条件強化子でも選好パルスが生じるのかを確認した。実験 1 で条件強化子としてマガジンライトを利用した。マガジンライトはエサ皿が提示される際に、対提示で照射されるものである。強化スケジュールの随伴性要求を満たした際に、エサとマガジンライトが対提示されるか、マガジンライトだけが提示されるかを確率的に決定した。この後者の場合を条件強化子に対する選好パルスの生起とみなし、前者の場合と比較した。マガジンライトだけが提示された際の選好パルスの大きさは、エサとマガジンライトが対提示された場合に比べ小さかったが、いずれにせよ選好パルスが観察された。この実験で、Davison and Baum は 1 成分内でマガジンライトだけが提示される回数を操作した。つまり、一次強化子：条件強化子の提示比を系統的に変化させた。この実験で事象頻度はそれぞれの選好パルスへほとんど影響を与えなかった。つまり、成分内のエサ呈示回数が減少しても、つまり、一次強化率が下がっても影響がなかった。成分内のマガジンライトの生起回数も同様であった。これは少し奇妙である。マガジンライトだけを提示する頻度の増加は、エサとの対提示回数を減らすので、条件強化子の効果を弱めそうなものである。しかし、実際にはそうはならなかった。

ここで、一次強化子と条件強化子の相対生起頻度の相関性に注目すると、別解釈が可能である。各条件間で選択肢間の強化比を操作したが、ある選択肢へ一次強化子が頻繁に提示される条件では、条件強化子もそれに一致する頻度でその選択肢へ提示される。つまり、一次強化子と条件強化子の提示比の間には完全な正の相関が存在するのである。もしある成分の最初の強化事象がマガジンライトの点灯であったならば、将来のエサ提示は、マガジンライトの点灯が随伴した選択肢側から提示される可能性が高い。勿論、それは確実ではないが、強化比の選択肢間での偏りが大きいほど信号としての役割は信頼に足るものとなる。つまり、マガジンライトは条件強化子ではなく、弁別刺激として働いていたと考えられるのである。マガジンライトはエサと対提示されるので条件強化子という解釈が成り立った。実験 2 ではキイライトを利用し、同様の手続きで訓練を行い、実験 1 の追試に成功した。また、キイライト点灯の位置を操作し、各選択肢へのエサ提示の強化比と、完全な正の相関する条件と、完全な負の相関を示す条件を検討した。その結果、刺激とエサの相関次第で、無差別選好を基準とした選好の方向が逆転することが示された。つまり、正の相関の場合には P 選択肢（直前にキイライトが随伴点灯した選択肢）への選好パルスが生じ、それに比べ、負の相関の場合は早々に N 選択肢（直前にキイライトが随伴しなかった選択肢）へ選好が移っ

た。ただし、いずれの相関の場合にも、キイライト提示直後数秒間は、P 選択肢へ選好が生じた。この最後の結果がやや疑問として残るものの、全体の選好パターンが刺激・エサ相関によって制御されることは十分に示された。キイライトはエサと対提示をされなくとも、マガジンライトの場合と同様の結果傾向を示し、また刺激・エサ相関によって、選好のパターンが変化することを示した。これらは全て、刺激ライトの点灯は、条件強化機能を果たすよりも、弁別機能を果たすことを示している。この解釈が通るのであれば、一次強化子についても同様の解釈ができると Davison and Baum (2006) は主張した。つまり、一次強化子の提示それ自体も、それが随伴した選択肢から将来の強化子も生じやすいことを示す信号となる。つまり、強化子の強化機能ではなく、強化子の弁別機能こそが、強化間間隔中に生起する、選好パターンの原因ではないかという仮説を提起した。

もし、選好パルスが強化子の局所的な強化効果ではなく、強化子の弁別機能により発生していると言えるならば、選択行動の巨視的理論にとっては都合が良い。なぜなら、先に提起した強化の 2 過程説のうち、選好の局所的な短期増強効果は、実際には強化されたことで増強したのではないことになり、効果の法則の座は巨視的な水準だけに布置することができる。また、弁別は、1 回の強化事象だけでは起こりえず、個々の強化子の即時効果を仮定することは難しい。むしろ、個体が繰り返し経験してきた強化率や強化比こそが制御因であることを示唆する。したがって、微視的な水準で見られた行動の変動パターンである選好パルスは、巨視的理論が拠る所とする制御要因の水準によって解釈が可能であることになる。

Krägeloh, Davison, and Elliffe (2005) は各選択肢へ次に提示される強化子の提示確率を最後に提示された強化子位置の条件付き確率で操作した。条件付き確率が 1 の場合は、セッション開始時に強化子の提示位置がランダムに決まり、それ以後すべて同じ選択肢から強化子が提示される。条件付き確率が 0 の場合は、直前に強化子が随伴していない選択肢へ必ず次強化子が随伴する。つまり、最後に提示された強化子を手掛かりとして、次強化子が随伴しそうな選択肢を弁別することを可能とする手続きである。その結果、強化子の条件付き確率により、選好パルスは系統的に影響を受けることが示された。条件付き確率が高い（つまり、同じ位置から再び強化子が提示されやすい）ほど、選好パルスはより大きく無差別点から離れ、時間経過後も長く選好の偏りが続いた。条件付き確率が低いほど、選好パルスは小さく、P 選択肢への選好が無差別点へ達するまでの時間が速かった。また、条件付き確率 0 の場合には、強化子提示直後からいくらか、N 選択肢側へ選好が移行する傾向を示した。この結果は、選好パルスの一次強化子の弁別機能説を直接的に支持する結果であるといえよう。

また Cowie, Davison, and Elliffe (2011) は Herrnstein 型の独立型 並立 VI5 秒 VI50 秒スケジュールで、左右の選択肢へ配備されるスケジュールを条件ごとに変化させた。そのうちの、条件 4 では、左選択肢は常に VI5 秒、右選択肢は VI50 秒を配備した。この条件で、選好パルスの分析を行ったところ、強化子が随伴提示が行われたのが左選択肢であつても右選択肢であつても、強化された後には、左選択肢へ選好パルスが生じることが示され、

時間経過とともに選好位置は右選択肢へと移行していった。右選択肢で強化された後に左選択肢へ逆パルスが生じる結果は強化子の局所的・即自的な強化効果では説明が難しい一方で、強化子（強化スケジュール）の弁別機能説を強く支持しているようである。

選好パルスのメカニズムとして、着実に強化子の弁別機能説が確認されていく中で、結果に疑問点がないわけではない。Krägeloh et al. (2005) と Davison and Baum (2006) の結果はいずれも、直前の強化子や刺激の提示が、次強化子が同選択肢からは生じる可能性が低いことを信号したとしても、直前の強化子や刺激が提示された方向へと選好全体が偏る傾向があった。つまり、Davison and Baum では負の相関を設定された場合には、刺激ライトの後は、ライトが随伴していない選択肢側へ一時的に大きく選好が偏る逆選好パルス (anti-pulse) と呼べる傾向が生じて然るべきであるが、結果は、P 選択肢へわずかに選好パルスが生じた。Krägeloh et al. では条件付き確率が 0.5 であれば、直前強化子の随伴位置がわかっても信号効果は期待できないため、選好パルスはゼロ、確率が 0.5 以上であれば選好パルス、0.5 未満であれば、逆パルスの傾向が、極値に近づくにつれ対称的に強まることが予測されるが、結果は、すべての条件付き確率条件で、強化子提示直後は P 選択肢の方向へ引きずられるような傾向を示し、N 選択肢への過度の選好から徐々に無差別点付近へ近づいていく逆パルスと呼べる傾向はどの条件でも示されなかった。

この点に関連した解釈を Boutros, Davison, and Elliffe (2011) が提案している。彼らは Herrnstein 型の手続きにおいて、選好パルスと、同様の分析手法で、強化子提示後の時間をビンごとに区切って、各ビンにおける獲得強化比を算出したところ、選好パルスの反応比とほとんど一致する推移傾向を強化比が示すことが見いだされた。全体強化比が一定に設定されているにもかかわらず、強化子提示直後には、P 選択肢側へ強化比が大きく偏っていたのである。Boutros et al. (2011) はこれを COD の使用が原因であると解釈した。COD が使用される手続き下では選択肢を切り替えた後、2 秒程度は消去状態を経験することになる。したがって、強化子が提示された直後に、選択肢を切り替えたとしても、すぐに強化される可能性はほとんどないが、切り替えずに同じ選択肢へ滞在し続けた場合には、時には、すぐに装填された次強化子が提示される可能性がある。つまり、COD の効果により、強化子提示後の局所的な強化比が大きく偏りを示し、同様に反応比も偏りを示す。個体は、この局所強化比の違いを弁別し、それに従って選好パターンが決定されていると解釈することができる。また、局所強化比と局所反応比で散布図を描けば、ここにマッチング関係がみられ、この点においても、巨視的理論の観点から、局所的・微視的な反応変動を捉えることが可能であることが示されたのである。また、Boutros, Davison, and Elliffe (2009) では、Herrnstein 型の手続きにおいて刺激の対提示の有無と刺激・エサ相関の操作を行い、Davison and Baum (2006) の結果の一般性を確かめた。ところが、この実験では、刺激がエサと対提示された刺激条件では、その刺激に対して弱い選好パルスが生じ、対提示されない刺激条件では、選好パルスはほとんど起こらなかった。他方、エサ・刺激相関による、選好パルスへの変化はほとんど見られなかった。対提示による条件強化効果が多少は存在す

ることを示唆するだけではなく、エサ・刺激相関が全く働かなかったことはこの結果は Davison and Baum (2006) とは真っ向から反対である。これに対して、Boutros et al. (2009) は刺激の情報価のためであると解釈をしている。Davison and Baum 型のセッション中に何度も強化比が変化する手続きでは、各成分で、どのような強化比が設定されたかを知る手がかりとして、刺激の提示位置の情報は有用な価値を持つ。しかし、Herrnstein 型の手続きで、条件が変化しない限りは、繰り返されるセッションにおいて常に同一の強化比が設定される場合には、安定基準を満たすまで訓練を繰り返せば、時々提示される刺激に頼らずとも、強化比は弁別できていると考えることができるであろう。この解釈はややポストホックであることは否めないが、少なくとも弁別機能説の範疇に置いて解釈が可能であることを示している。

さらに各選択肢への強化比ではなく、強化遅延比を操作した Davison and Baum (2007) では、遅延が伸びるに連れて選好の偏りが大きくなる傾向を示したが、両選択肢への遅延が等しく伸ばされた場合には、無差別点を基準とした選好パルスの偏りの大きさに、選択肢間の差は見られなかった。他方、強化遅延比を 1:1 から偏らせると、選好パルスの無差別点からの偏りは両選択肢間で明瞭に差を示した。これは絶対的な遅延の長さではなく、両選択肢間の相対遅延が選好パルスを左右することを意味し、言い換えれば、個々の遅延ではなく、繰り返し経験した強化遅延比により制御を受けるということが示されている。同様に、Apparacio and Baum (2009) では、相対強化量比によって選好パルスが影響を受けることが示されている。これらの結果も、巨視的理論が拠り所とする制御要因の水準で選好パルスが解釈できることを示唆している。

このように、これまでの選好パルスの生起因を検討する先行研究は、強化頻度・量・遅延などの特性の選択肢間の相対性に帰属し、個々の強化子が引き起こす局所的、即時的な効果を否定した。代わりに、強化子や刺激ライトの弁別機能を提起した。これにより、選択行動の推移状態で発見された現象を巨視的理論により一貫して説明可能であるという主張を徐々に固めていった。

Baum の行動主義：還元と自己相似性

前項では、選択行動の推移状態をどのように巨視的理論家が説明を試みるかを軸に概説してきた。これまでの説明では強化比という相対的效果と弁別機能によって、巨視的理論と矛盾なく説明が可能であることを示してきた。しかし、そもそも Herrnstein (1970) が提唱したマッチング理論は、個々の反応自体はランダムに生起することを仮定していた。Herrnstein and Vaughan (1980) や Vaughan (1981) の逐次改良理論でさえ、両選択肢の局所強化率の差を埋める形で時間配分を行うと指摘はしても、個々の反応に一貫したパターンが存在することまでは主張していない。しかし、1990 年頃までの先行研究においても最大化が示されなくても多様な反応パターンが存在することが報告されてきた(e.g., Machado, 1994)。本章で注目してきた選好パルスは、強化子提示との関係において比較的

はっきりと微視的な反応パターンがあることを示しているといえる。言い換えると、選択行動の変動性には明瞭なトレンドがあることが示されているとすることができる。巨視的理論家は、少なくともこの点において **Herrnstein** の主張を維持し続けることはできないだろう。それではどのように主張を修正することができるだろうか。ここでは、本章の研究に深く関わり、かつ、現代の巨視的理論家の代表の一人と考えられる **Baum** の主張 (**Baum**, 1995, 2002, 2010) を整理していく。

離散反応から時間の配分へ：機械論的行動科学からの分離

Baum (1995, 2002) は一貫して行動を粒子のような離散的な「点」として捉える認識を批判する。第 1 に、行動の始まりと終わりを区切る切れ目は恣意的にしか決めることはできない。第 2 に、もしある瞬間の一点の行動を写した写真から個体がしている行動は何かと問われても、高い確信を持って答えることはできない。赤信号の前で立ち止まる人の写真だからと言って、その人が信号が変わるのを待っているとは限らない。もしかするとタクシーが通りかかるのを待っているのかもしれないし、人を待っているのかもしれない。何をしているかは続きを観察しなくては明瞭にはならない。第 3 に、行動の自発をするためにはそれがどれだけ些細な反応であっても時間的「幅」が必要であり、測定をする際にも同様のことが言える。行動を「点」で捉えることはできない。

Baum (1995) によれば、**S-R** 心理学が前提とする機械論的なアナロジーが、行動を「点」としてみなす典型例である。機械論では離散的事象 (**discrete events**) 同士の関係が調べられる。一方の離散的事象が、もう一方の離散的事象へ影響を与える際には、接触 (**contiguity**) の原理が働き、直前の事象の動きが、次の動きの即時的な原因 (**immediate cause**) となる。ちょうどビリヤードのボール (離散的事象) が転がっていき、止まっている別のボール (離散的事象) へぶつかると、その結果として今まで止まっていたボールが転がり出す。こうした考え方は 19 世紀の心理学では、観念の連合という考え方や (接触の原理により連合が形成された観念同士である場合には、一方の観念の賦活が、もう一方の観念を呼び起こす)、行動の反射による記述 (刺激が引き金となって反応を引き起こすとか、刺激同士が接触的に対提示を受けると、連合する) で、馴染みの考え方と言える。

Thorndike の効果の法則は快と不快の後続事象に依る行動の説明を提起した。この考え方は **S-R** 心理学的な機械論的考え方から離れ始める出発点となった。なぜなら、後続事象は先行する反応を強めるため、反応を説明するためには、以前の反応生起と後続事象とを検討することを必要とする。これは、即時的原因により説明しようとする枠組みから、強化の履歴に基づいて行動を説明する枠組みへの変化の萌芽を秘めていた。しかし、**Thorndike** の効果の法則は依然として、先行刺激と反応の連合を変化させる点において後続事象は重要であり、それら先行刺激、反応、後続事象は全て離散的な事象と仮定され、連合には時間軸上の接触が重要とみなされていた (**Baum**, 1995)。

Skinner はほとんどの反応は明確な先行刺激なしに生起するので、**S-R** 的視点では、十分

に行動を説明できないと考えた。そこで、Thorndike の効果の法則にヒントを得てオペラント行動の概念を形成した。表面的には Thorndike の先行刺激—反応—後続事象モデルと似ていたが、根本的な違いがあった。機械論・連合論では、行動は反射へ分割され、反応は特定の動きや動作系列であり、その動きに含まれる筋収縮によって特定される。Skinner は環境への効果、環境の操作によって定義される反応のクラスとして、オペラント反応を定義した。Skinner にとって反応は、操作的定義されたカテゴリーに属する特定の事例とされた。

Skinner のオペラント反応はその機能によって特徴づけを行う機能的単位である。これは、S-R の視点では、複雑な行動単位がたくさんの単純な反応から組み立てられるため構造的と呼ばれることと対比される。Skinner のオペラント行動が確立した結果、進化論的説明が可能となった。行動の機能的なカテゴリーは種概念と似ている。また新奇な行動や複雑な行動を説明するために、後続事象に依る淘汰の履歴が重要となったが、これは新奇な種や複雑な種の進化的な説明の類比となる。機械論的視点では行動変動性はメカニズムが明らかになった暁には排除される対象であったが、進化論的説明の枠組みでは行動変動性は行動に本質的な特性であり、行動を形成するために後続事象が作用する場を与えるものとなった。Skinner によれば、行動の基底にあるメカニズムと、即時的な原因は、最終的には神経系に見つかるかもしれないが、そのような発見があったとしても、後続事象に依る反応形成の履歴の点で行動の起源を理解するという論点が消えてなくなることはない。

また、オペラント反応には先行する即時的な離散刺激がないので、反射の標準的な測度である潜時は従属変数として相応しくない。そのため Skinner はオペラントの標準的な測度としてクラス事例の生起率、すなわち反応率を提案した。反応率は一定期間の間に行った反応回数を数え、時間で除する。この測度は非常に巧みに、機械論的考え方からの離脱を進めることに寄与した。なぜならば、反応率では、離散刺激を重要な起点とみなす必要を巧みに回避可能となり、また時間軸上のある「点」だけでは測定できず、反応率は時間と反応の集成を必要とするためそれ自体で離散的な事象ではないし、他の離散的な事象との接触も考えることは困難であるからだ。しかし、Baum (2002) によれば、Skinner は反応率を採用したものの、完全に機械論的考え方から離れたわけではなかった。Skinner (1938) は、まるで真の従属変数は、反応強度、あるいは反応確率であるかのようにみなし、反応率は反応確率、ないし反応強度の 1 つの表現形式と捉えていた（その後も同様の認識が繰り返し示されている, Skinner, 1950, 1953）。

Baum and Rachlin (1969) は反応率に対する別の見方を提案した。彼らは、Gilbert (1958) がレバー押しやキイツツキのような反応はバウト内で一定の率で起きる (Gilbert はこれを反応のテンポ(the tempo of responding)と呼んだ) という主張を拡張して、反応率の変動はバウトの持続時間の変動とバウト間の休止の変動から生じると考えた。この場合、バウト内の反応率は常に一定と考えるので、あるテンポ (k) で起きる反応に費やした時間 (T) が反応数 (N) を決定する。

$$N = kT \dots\dots\dots(11)$$

これは離散反応 N は kT で置き換え可能であることを意味する。もし、標本抽出された時間全体（通常はセッション時間とする）を S と置くなれば、反応率 (B) は、

$$B = \frac{kT}{S} \dots\dots\dots(12)$$

で表現ができる。式 12 は離散反応 N を使わずに反応率の記述が可能であることを示している。行動を測定するための普遍的尺度は、離散反応の代わりに、時間に求めるのである。従属変数は反応に費やした時間の割合とみなすことを提案した。

$$\frac{T}{S} = \frac{N}{kS} \dots\dots\dots(13)$$

微視的な機械論的な視点の中心となる主張は、行動が離散的な反応から構成されているとするものであり、他方、巨視的な視点の中心となる主張は、時間軸上で拡張された行為のパターン（temporally extended patterns of action）である。これを活動（activity）と呼ぶ。

さて、以上に眺めたように、Skinner のクラス概念の採用、従属変数としての反応率の採用は巨視的な行動観へと行動主義の思想の移行を進めることへと貢献するものであったが、1 つの強化子や 1 つの嫌悪刺激といった離散的な後続事象が特定の反応クラスに属する事例に接触的に後続することによって、反応の頻度へ影響を及ぼすとみなしていたため、Skinner は結局、後続事象もまた巨視的用語で特徴づけるところまではいかなかった。この点において、Skinner の効果の法則は Thorndike のものと類似のままであり、これを接触ベースの効果の法則と呼ぶこととする。

Baum (1995) によれば、接触ベースの効果の法則の妥当性を弱める 3 つの論点がある。1 つ目は行動の獲得は反応が強化子と接触していることが必ずしも必要ではないということである。ハト、ラット、ヒトにおいて 30 秒程度の遅延があったとしても反応形成が生じることが報告されている (Critchfield and Lattal, 1993; Lattal and Glesson, 1990; Okouchi, 2009)。ヒトの場合には日常生活の例の中に行動の獲得や維持のために強化子の密接な接触は必要ではない例が簡単に見つかる。会社員は一仕事終わるたびに給料をもらうわけではないし、日給である必要もない（しかし、給料がなければ行動は維持されない）。信号が赤の時に車を止めるが、その行動を強めるように見える接触した強化子は見当たらない。それでも、潜在的な事故の可能性や違反チケットを切られるといった過去の嫌悪事象が、それらを回避する車の停止行動につながっていると考えられる。第 2 に、接触ベースの説明では、一見、即時的な原因が見当たらない場合には、仮説構成体を作り上げて、それに

より説明を行う。例えば、信号が赤の時に止まる理由はその赤信号が不安の感情を引き起こし、止まることで不安を減らし、この不安の軽減が止まる行動の負の強化になっているという説明であり、これはいわゆる回避の 2 要因理論である。信号を見て不安を感じている証拠はないが、接触した強化子を想定するために、不安の減少が説明に組み込まれる。第 3 に強化スケジュールの本質的な現象である、VR・VI の反応率差を説明できない。接触ベースの説明は、VI スケジュールでは IRT が長くなるほど強化確率が高まる傾向があるので、長い IRT が分化強化されるため反応率が低くなると説明する。しかし、これだけでは、なぜ基本的に VR スケジュールは高い反応率を維持し続けるのかは不明瞭である。VR スケジュールの場合は 1 秒 IRT だろうが 1 時間 IRT だろうが強化確率は同じである。また、VI スケジュールで IRT が長くなるほど強化確率が高くなることが、行動を制御するのであれば、強化確率が 1 に近づくまで IRT が長くなっていくであろう。しかし、それほど過剰なことは起こらず、安定した中程度の反応率を維持し続ける。接触ベースの視点では VR と VI の反応率の高さを説明できないだろう(ただし、Tanno and Sakagami, 2008; Tanno, Silberberg, and Sakagami, 2010; Tanno and Silberberg, 2012 はこの議論の反証を与えている)。

Baum (1995) は VR・VI 反応率差の問題への十分な説明は、相関ベースの効果の法則の点から提供されると主張する。比率スケジュールでは、反応率が高くなるほど、強化率が高くなる。高い反応率を分化強化している。したがって、スケジュールが反応を維持する時には、できる限り高い反応率となることが予測される。VI スケジュールでは、高反応率の場合には、強化率の上限が反応率から独立に強化率を定める(VI1 分ならば 1 分当たり 1 強化子)。しかし、低反応率の場合には、VI スケジュールでも反応率が上がれば強化率も高まる。このフィードバック関数(スケジュールによって課せられる反応率への強化率の依存性)と Skinner が関数関係と呼んだ強化率への反応率の依存性とは閉じたループの関係にあり、反応はフィードバック関数を通じて強化率へ影響を与え、強化は関数関係を通じて反応に影響を与える。この個体と環境のフィードバック系の用語を用いて行動現象を記述することができるであろうし、フィードバック関数と関数関係を特定すれば観察されるパターンを説明することも可能であろう。またフィードバック関数が定まれば、そこから予測を引き出し経験的に確認することも可能である。

選択行動のダイナミクスと還元性と自己相似性

前項で概観してきたように、Baum の巨視的な行動主義では、個体は常に選択場面に曝されており、行動とは選択そのものであるとみなす。また、選択は離散的、瞬間的に為されるものではなく、ある単位時間内に占める活動の時間配分とみなす。選択に影響を与える環境条件を変えた場合には、個体の時間配分パターンが変化するとみなす。この認識自体は、Herrnstein (1970) の提案を忠実に踏襲し拡張しているものとみなすことができる(3 章 1 節参照)。本論文での関心は巨視的行動主義の妥当性を吟味することにはない。先に述べた

ように、推移状態の検討は、局所的な分析を必要とするため選択の微視的理論と親和性が高いようにみえる。定常状態に達した際の反応や時間の配分を基礎的なデータ水準とみなしてきた巨視的理論は、推移状態の実験的検討の進展次第では、その尤もらしさが大きく弱められる可能性があるのではないだろうか。このような疑問に対して、巨視的理論家がどのような回答を用意しているのかを確認することがここでの目的である。前節では **Davison** と **Baum** が選好パルスを巡ってどのような解釈を展開し、巨視的理論にとってどのような意味がありうるのかを論じた。ここでは、**Baum** の巨視的行動主義の視点から、何が主張されているのかを紹介する。

ダイナミクスは時間軸上での変化（推移）を指しており、選択のダイナミクスは時間軸上での時間配分の変化（推移）を指している。推移パターンは最終的に均衡点（equilibrium）へ達し安定する。このことはフィードバック系で記述が可能である。典型的なフィードバック系であるサーモスタットの暖房器具で簡単に説明を行う。設定温度（強化比）に対して、室内温度が低い（反応比がマッチング均衡点から遠い）場合、強く稼働し室内温度を大きく推移させる（推移状態にあり反応や時間の配分が大きく変化する）。設定温度と同じになった場合に暖房は停止し（均衡点に達し、推移状態から定常状態へ移る）、しばらくして、室内温度が再び下がってくると、暖房が再稼働することで、均衡点付近で室内気温が維持される（マッチング関係が成立する）。均衡点に達したとしても細かな変動は起きつづけるが、その変動は設定温度を変化させた場合に起きる変動に比べるとごく限られた範囲でのみ起きる。

この例のような推移状態は、従来の行動の研究では、セッションごとの変化として観察を行ってきた。ある環境条件に個体を置き、多くのセッションを費やして繰り返し訓練を続ける。個体は徐々に行動を変容させていき、やがて定常状態に達し、安定基準を満たした時点で、その条件下の訓練を打ち切る。しかし、推移状態の検討は従来とは異なる手続きにおいても検討されてきた。**Davison and Hunter (1979)** は並立 VI VI スケジュールで様々な VI 値の組み合わせを使用し訓練を行った。特筆すべきことはわずか 6 セッションで条件を変化させていったことである。その結果、わずか 6 セッションのうちに急速に選好が形成され、安定した。**Hunter and Davison (1985)** や **Schofield and Davison (1997)** は並立 VI VI スケジュールで使用する VI 値とオペランダムとの組み合わせをセッションごとにランダムに変化させた。結果、選好は急速に変化し、各セッションの選好はそのセッションで設定された強化比に大まかにマッチングし、前セッションの強化比の影響はほとんど消失した。**Mazur (1992)** はセッション開始時には強化比を 1:1 に設定し、同セッションの途中から 2:3 や 3:1、9:1 といった強化比へ変化させた。その結果、選好は急速に変化し、たった 1 セッション内で推移から定常状態へのおおまかな遷移を達成した。セッション内での推移の完了は他の研究者も同様の結果を報告している（**Banna and Newland, 2009; Mark and Gallistel, 1994**）。並立連鎖スケジュールにおいても推移を検討する類似の研究がある（**Kyonka and Grace, 2008**）。そして **Davison and Baum (2000)** の手続きも、セッション内

での推移を検討する手続きの 1 つとして加えることができる。

實際上、定常状態を推定することは比較的長い時間幅（尺度）を必要とする一方で、推移状態を観察することはより短い時間尺度で可能である。従来の手続きでは、時間尺度の 1 単位は 1 セッションであった。しかし、セッションごとに条件が変化する手続きでは、定常状態への近似が 1 セッション内で起きる。推移を観察するためには 1 セッション全体よりも小さい単位で時間尺度を規定する必要がある。

Mazur (1992) は時間尺度を 9 分や 15 分という従来の 1 セッションより 1 単位を小さく定め、選択行動を測定した。その結果は、時間軸は異なるけれども、1 セッション単位で推移を検討する場合と類似の推移傾向が見られた。**Mazur** はさらに小さい時間尺度として、強化子提示後の第 1 反応から第 6 反応までを、1 反応を 1 単位として集成し、各反応順における反応割合を分析した。その結果は、強化子提示後、始めは最後に強化子が随伴した選択肢に対して強く選好が生じ、選好が減少していく。**Lean** 選択肢の場合も傾向は同じであるが、無差別点を基準として **Rich** 選択肢への選好の逆転が速く起きる。これも選好パルスの 1 例である。

例えば、もしマッチング法則が、従来よりもどれだけ小さい時間尺度へ移しても成立することが確認されるならば、もし、その関係がどのような時間尺度を用いても見いだされるならば、それは時間尺度間の自己相似（尺度不変）的な関係性と言われる。しかし、局所的な（小さい時間尺度での）規則性が存在し、その規則性は自己相似的に拡張された尺度で反映されることがないならば、その小さい時間尺度での規則性からマッチングが引き出されるかもしれない。一方、その小さい時間尺度での規則性はマッチング関係から引き出されることはない。例えば、2 つの選択肢への反応連が強化間隔内で規則的に変化する。これは選択肢の切り替えについての規則的なダイナミクスを示唆する。切り替えパターンからマッチング関係を引き出すことは可能であろうが、マッチングから切り替えパターンを引き出すことはできない。言い換えると、選択行動のダイナミクスは切り替えパターンや反応連へ還元されるだろう。これは分析の時間尺度間の還元的な関係性の例である。

推移の過程の観察に必要な時間幅は手続きが異なれば変化する。**Herrnstein (1961)** 以来の伝統的な並立スケジュールでは、安定基準に達するまで、1 つの条件を繰り返す。この場合、推移を観察する単位はセッションである。**Mazur (1992)** の手続きはセッション内で強化比が 1:1 から任意の強化比へ変化する。その際の推移の過程はセッション内の試行ブロック単位で確認をした。また **Davison and Baum (2000)** の手続きではセッション内を 7 成分に分け、強化比をランダムに変えた。1 成分は提示強化子数で定義される。この場合、推移は成分内で発生し、成分内の **IRI** 単位で推移を観察した。このように使用する手続きが課す、環境変化の速さに合わせるように行動の推移が観察される。そして、観察された推移曲線は使用した単位の違いに関わらず類似の形を示す。このように、使用する時間尺度に関わらず、類似の現象が観察される場合、自己相似的な関係にあると言え、使用された時間幅とは関係なく同じ過程が現象を生成している可能性がある。

Herrnstein 型の手続きでは、定常状態に達した後の反応比と強化比の間にはマッチング関係がみられる。Baum (2010) は強化比が条件間で逆転する場合の、条件を変えた後の最初の 3 セッションの推移下の反応と強化を Visit (すなわち反応連) 単位で調べた。その結果、両選択肢間で提示された強化子の累積数の差の偏りが徐々に顕著になっていき、強化子の提示数の偏りを後追いするように反応数も偏っていった。つまり、推移下でも強化子提示と反応自発の方向には正の相関があり、これはつまり、(過小であっても) マッチング関係が観察されることを示している。このように推移状態においてもすでにマッチング関係の芽が観察されるのであれば、反応比が強化比を追従し、定常状態では十分なマッチング関係が生じるという説明が可能である。また、Davison and Baum (2000) の手続きではセッション内の 7 成分で使用した 7 つの強化比を元に、成分内の最後の数 IRI での強化比に対する反応比を図示したところ、マッチング関係が成立していることがわかった。さらに、同様の手続きから得られた選好パルスの図では IRI 内の個別の数反応ブロック単位で観察したところ、次の強化子の強化比もパルス形の変化をしていることが確認され、この強化比に対する反応比を図示したところ、ここでも過小マッチングが成立していた。このように多くの時間単位の違いに関わらずマッチング関係が成立することから、これも自己相似的関係性の例として捉えることが可能である。またマッチング関係が推移中に発生する点は反応と強化の相関が存在し、さらに言えば、強化比を反応比が後追いするように変化していくと考えられる。選好パルスという局所的な推移でも同様のことが言える。すなわち、選好パルスは反応—強化の相関性によって生じた現象であり、時間単位の大小の違いに関わらず、これもマッチング法則と巨視的理論によって説明が可能である。

より長い時間単位で起きる現象が、より短い時間単位で起きる質的に異なる現象で説明される時、還元的な関係にあるという。セッションごとの反応比の推移はセッション内で起きる Fix and Sample パターンで説明されるかもしれない。また、選好パルス現象は、各選択肢へ自発した反応連の現象として還元することが可能である。すなわち、強化子提示後最初の反応連が非常に長く、それが反応比測度では大きな偏りとして観察される。

つまり、Baum (2010) によれば、時間幅の異なる現象には自己相似性と還元性という別種の関係性がありうるという。どちらに注目をするかにより、議論の焦点は変化するが、いずれも妥当なりサーチクエッションを生み研究として成立するであろう。何を追及するかは研究者の研究目的によって異なる。そして、推移現象や、小さい時間単位で見られた規則性が、マッチング関係を礎とする巨視的理論を脅かすことはない考える。尺度不変的にマッチング関係が観察され、それらは共通のプロセスによって発生している可能性が十分に見込まれると考えるからである。マッチング関係は個体が強化比に対して感受性を持つこと、言い換えると、フィードバック関数で規定された反応率—強化率関係により個体の選択行動は制御されることが基底にあると考える。さらに一步踏み込み、個体が強化比や強化率の違いを弁別しうるために、選択行動はフィードバック関数により制御される可能性へと言及を進めている。

McLean, Grace, Pitts, and Hughes (2014) のアーティファクト説

選好パルスは局所的に生じる規則性であり、強化子提示直後の顕著な傾向であるから、強化子の短期的、局所的な効果とみなされてきた（強化子の強化説や弁別機能説）。しかし、McLean, Grace, Pitts, and Hughes (2014) は選好パルスの生起は強化子の短期的効果を仮定しなくても大勢は説明可能であり、したがって、見いだされた短期的効果はアーティファクトであると主張した。これは、巨視的な理論を保持する別の展開と考えられる。Baum and Davison (2004) は選好パルスが反応連の構造（Visit あたりの反応数）へ還元可能であることを示した。これを受けて McLean et al. はシミュレーションによって生み出した反応連で選択行動のローデータを形成し、後からそのデータに強化子提示位置に基づき、強化子提示後の反応ごとの反応比を分析したところ、選好パルスが観察された。

反応連はガンマ分布によって生成した。

$$f(x) = \frac{x^{k-1} e^{-x/\theta}}{\theta^k \Gamma(k)} \dots\dots\dots (14)$$

ここで、 k は “Shape” パラメータ、 θ は “Scale” パラメータ、 $\Gamma(k)$ は k で見積もられるガンマ関数であり、 k が整数の場合は、 $(k-1)!$ に等しい。 x は反応連であり、整数値のみを使用する。ガンマ分布の平均値は $k \times \theta$ 、標準偏差は $\sqrt{k \times \theta}$ で規定される。なお、ガンマ分布の特別な場合として、 $k=1$ の時にはその分布は $\lambda = 1/\theta$ の指数分布と一致する。McLean et al. はこのガンマ分布とその内部パラメータに対する理論的な主張はおこなわず、ただシミュレーションのために並立スケジュールでの反応連を特徴づけるために使用した。

シミュレーションは次の手順で行われた。並立する各選択肢に対し、ガンマ分布を設定し、各分布から反応連を 10,000 ずつ生成した。反応連が途切れることは、別の選択肢へと反応を切り替えることを意味するので、2 つのガンマ分布から生成した反応連を交互に合わせていくことによって擬似的反応列を生成した。全ての反応は 0.4 秒で一定の IRT を持つこととし、左右強化比 3:1 の Stubbs-Pliscoff 型 VI30 秒によって、スケジュール要求が満たされた反応ごとに強化子タグを加えていった。これをローデータとして選好パルスを描いた。McLean et al. は両ガンマ分布のパラメータを操作して様々な組み合わせでシミュレーションを行った。例えば、平均値比を一定に揃えたまま、平均値自体を伸ばしていった場合には徐々に選好パルスの傾向が強くなり長くなっていくこと、標準偏差比を一定に揃えたまま、標準偏差自体を伸ばしていった場合には、標準偏差が小さい場合には強化子提示後の反応が進むにつれ周期的に選好が入れ替わる波形をしていたが、徐々に波形は収まり全体強化比に近い地点へ収束していった。強化直後のパルス以後、選好が波形を示すデータは Davison and Baum (2003) が強化量比によって観察した結果と同じである。両ガンマ分布で $k=1$ に固定し、平均値比を固定した指数分布でシミュレーションした場合には、反応連の両平均値

が短い場合には選好パルスは生じず、長くなるにしたがってパルスが生じた。

これらのシミュレーションの大半で選好パルスが発生した。しかし反応データに対して、強化子は後から単なる区切りとして加えられただけであるため、強化子の短期的、局所的効果は一切影響していない。それでは、なぜ選好パルスが生じたのだろうか。それは反応連が長くなるにつれ、強化子タグが反応連の途中で挿入される可能性が高まるからである。強化子タグが途中で挿入された場合も、連の残りの反応を“自発”した後にしか、反応切り替えは起こらない。したがって、強化子提示直前と同一の反応を強化子提示後しばらくの間、自発し続けるため、反応比を算出した場合に強化子提示された選択肢への大きな選好の偏りがみられるのである。

McLean et al. は選好パルスの生起因として実際に強化子の局所的効果が全くないとは考えていない。その代わりに、このシミュレーションによって生成された選好パルスを帰無仮説的な選好パルス (**null-hypothesis preference pulse: NHPP**) として利用することを提案する。実際に動物が生成した選好パルスと、その動物の反応連構造を模して生成した NHPP との差を取るならば、残差としての選好パルスが残る。この残差パルスこそが真の強化子の局所的効果を表すと考えられるという。

NHPP としての利用にはまだ議論も残るであろうが、いずれにせよ、McLean et al. が強化子の効果を含まない純粋なシミュレーションのみによって、選好パルスの形状を示したことは大変興味深いことである。これは純粋に反応連の構造のみによって選好パルスが発生することを示唆する。そして反応連の分布の特徴は、行動の巨視的な側面であるため、巨視的な行動特徴のみによって、微視的な規則性である選好パルスは発生するとみなすことができるのである。

第 2 部 実験報告

実験 1 EXT レバーへの選好パルス現象報告と強化子による誘導説

Davison and Baum (2002) は並立 VI VI スケジュールでハトを使った長期訓練を行い、その分析の 1 つとして強化子提示からの経過時間ごとの反応比を調べたところ、強化後数秒間の間、強化された選択肢 (**just-productive alternative** ; P 選択肢) に対して選好が大きく偏り、その後、その偏りが減じていく傾向を示した。この一時的に P 選択肢に対して高まる強化直後の選好のことを“選好パルス”と呼んだ。

第 1 部で概説してきたように、選好パルスの説明として強化子の強化機能説と弁別機能説が提案されてきた。Krägeloh et al. (2005) は強化子が随伴提示された選択肢へ再び強化子が提示される条件付き確率を各条件で操作を行い、それに対して選好パルス曲線の初期の選好の偏りの大きさが変化した。しかし、条件付き確率が 0 の場合も含めすべての条件で、P 選択肢方向へ選好が引っ張られるような傾向があった。

Cowie et al. (2011) は Stubbs-Pliscoff 型の並立 VI 5 秒 VI50 秒 スケジュールを使った。条件 4 では、もし次の強化スケジュールとして VI5 秒が選択された場合にはそのスケジュールは常に左選択肢で働き、VI50 秒が選択された場合には常に右選択肢へスケジュールが割り当てられた。このスケジュールで、強化子が左右いずれの選択肢へ随伴提示された場合も、その後の選好パルスは常に左選択肢側へ生じた。この結果は、強化機能説では説明がつかないが、弁別機能説とは一致している。

Boutros, et al. (2011) は選好パルスの分析方法を使って強化子提示後の強化比を調べた。その結果、条件内で強化比が一定である場合でも、IRI の経過中の局所強化比には偏りがあり、とりわけ強化子提示直後には同じ選択肢から強化子が提示される可能性が高く、時間経過とともに偏りがなくなった。彼女らはこれを COD の効果によると考察した。COD が付与された場合、もし次強化子が P 選択肢から提示される場合には、強化子直後に再び強化子が得られる可能性があるが、次強化子が直前に強化されなかった選択肢 (**Not-just-Productive alternative** : N 選択肢) に配備された場合は、仮に VI スケジュール要求が満たされた場合でも、N 選択肢へ反応を切り替えた後、数秒間は強化子が提示される可能性はない。局所強化比と反応比の曲線が類似の傾向を描くことは、この強化比を弁別することで選好パルスが生じるとする弁別機能説を支持している。

以上のような、先行研究の結果の多くは選好パルスの生起は強化子の強化機能説では説明がつかないが、弁別機能説では十分に説明が可能であるようである。しかし、これまでの先行研究は選好パルスの生起にとって弁別機能が必然的に要請されることは示していない、つまり必要条件は確立していない。選好パルスはオペラントの弁別機能が役割を果たしそうにない条件下でも生起するかもしれない。本実験 1 では、この点を例示するための実験を提案する。

本実験ではラットを被験体とし並立 VR EXT スケジュールの下で訓練を行った。2 つ

のレバーの上部にある 2 つの刺激ライトのうち一方がランダムに点灯し、ライト点灯で信号された選択肢が次試行で強化される選択肢となる。この実験では、直前試行に強化子提示を受けた選択肢が次試行で VR レバーになる場合と EXT レバーになる場合がある。そこで、これらのそれぞれに対する選好パルスの生起を確認する。

選好パルスに対する説明として本実験では強化子の弁別機能の代わりに強化子による誘導を提案する。Baum (2012) は誘導とパブロフ型の誘発の違いを指摘している。それによれば、誘導は古典的条件づけを包摂する概念であるが、パブロフ型の反応誘発だけではなく、パブロフ型で説明が可能であるか未だ不明な行動(e.g., 付随行動や完了行動))も包含する。付随行動や完了行動の生起要件として、パブロフ型条件づけにとっての要件である生物学的に重要な事象(e.g., エサ提示)を持つ点は共通している。エサ提示のような系統発生的に重要な事象(phylogenetically important event: PIE)とその事象を生起させるレバー押し反応との相関性(随伴性)は、そのレバーを押す行動を PIE 関連活動にする。そして PIE の生起は PIE 関連活動を誘導する。したがって、エサが随伴提示されたレバー選択肢に対して、エサ提示直後に反応が再び起こる。

Killeen, Hanson, and Osborne (1978) は強化子により誘導される行動についてのもう 1 つの例を与えてくれる。FT スケジュールによりハトにエサ提示をした時に、エサ提示後に活動量が高められ、エサ提示からの経過時間が進むにつれて減衰していった。もし選好パルスが Killeen et al. と同傾向で誘導されるならば、彼らの誘導性の活動のモデル式によって、選好パルスの関数形式も記述できるであろう。

本実験手続きにおける強化子の弁別説、強化説、誘導説の予測の違いを述べる。弁別説は最後に強化子が随伴したレバーがどちらであるかは関係なく、VR レバーへ選好が起きることを予測する。強化説は次の強化子を与えるか否かに関わらず直前に強化子が起きたレバーへ選好が生起することを予測する。誘導説では PIE 関連刺激としてのレバーと信号ライトとの、相対的な貢献度合いに依存して複数の可能性を示唆する。次強化子の位置を信号するライトが主要な PIE 関連刺激として機能するならば、ライト位置へ信号が起きるであろう。もし強化されたレバーが主要な PIE 関連刺激となるならば、直前に強化子が随伴した選択肢へ選好が起きるであろう。そして、強化されたレバーとライトの両方が PIE 関連活動を引き起こすならば、両刺激が誘導する活動に選好が影響を受けるであろう。

方法

被験体

8 匹のオスの Wistar 系 ラット(被験体番号: A1 から A8)を実験に使用した。いずれの個体も実験未経験であり、実験訓練開始時に 36 週齢だった。体重は自由摂食時の 80%へ制限された。水は飼育ケージ内で実験中以外は自由に摂取可能であった。飼育室は 12 時間周期で照明操作が行われ、午前 8 時に消灯し、午後 8 時に点灯した。原則として実験は週 5 日午前 9 時から 10 時に開始され、実験終了後に付加給餌を行った。

装置

奥行き 21×幅 28×高さ 27 (cm) のオペラント実験箱を、遮音箱に設置し実験に使用した。給餌皿の壁面を正面として、横壁面と天井はアクリル板、正面と背面はアルミ板を素材として利用した。床は直径 1 mm の棒を横壁面へ通し、およそ 15 mm 幅で正面から背面まで並行して配置された。正面の壁には床から 12 cm、正面壁中心からそれぞれ 10 cm 離れた位置に 24 V の刺激ライトがあり、これは 2 つあるレバーのそれぞれの上部にあった。刺激ライトの下部に設置されたレバーは床から 8 cm、正面壁中心から 8 cm の場所に設置され、マイクロスイッチの開閉のために 0.15N の力を要した。正面壁の中心で床から 2 cm にエサ皿が設置されていた。天井の背面中心部付近には 24 V の天井灯があった。実験中に実験箱横に置かれたスピーカーからはホワイトノイズが流れ、遮音箱外の音を遮断した。全ての実験はフリーソフトの Visual Basic Express Edition (2005 及び 2010) を利用して実施され、データ分析にはフリーソフトの R を利用した。

手続き

連続強化 (continuous reinforcement: CRF) スケジュールの下でハンドシェイピングにより両レバーへ反応するように訓練を行った。反応が安定的に自発されるようになった後は、介入をやめ、個体は自律的に 100 強化子を取得するまで反応を自発し、取得後セッションが終了した。2 つあるレバーのどちらへ反応を自発しても強化子が得られ、ラットは両レバーへ反応を散らしがちであったが、一方のレバーのみへほとんどの反応を自発する個体に対しては、他方のレバーのみに CRF スケジュールを有効とした訓練セッションを挿入し訓練を行った。

両レバーへ反応が安定的に自発されることを確認した後、訓練手続きを実験の主要手続きへと徐々に近づけていった。セッションが開始されるとランダムに片方の刺激ライトが点灯した。点灯側レバーには 12 値をランダムに提示する VR スケジュール (Fleshler and Hoffman, 1962) が配備され、消灯側レバーには反応をしても強化されることはない EXT スケジュールとなっていた。VR スケジュールの要求を満たした反応に対してペレットディスペンサーから強化子としてペレット 1 粒が提示された。この時、ディスペンサーの作動音とエサ皿へ落ちてくるペレット以外の刺激変化は起きなかった。強化子の提示を本実験では試行の定義とした。強化子が提示された後すぐに次試行のライトが点灯し、VR スケジュールが機能する位置がランダムに決定された。一たび決定されたライトとスケジュールの位置は試行が終了するまで維持された。VR 値は訓練セッションの進行とともに 2 から 20 まで徐々に上げられた。VR 値の変更は個体の反応遂行の状況から実験者が判断した。各セッションは 100 強化子提示、または 60 分経過のいずれかによって終了した。

訓練が終了すると、主実験条件を開始した。随伴性は直前までの訓練と同一であったが、唯一の違いは VR 値が 20 に固定され安定基準を満たすまでセッションが続けられたことで

あった。安定基準は次の基準を満たすこととされた。(a) 少なくとも 35 セッションが実施されていること、(b) VR レバーへの相対選択割合について、最後の 9 セッションを 3 セッションブロックごとに分割し、ブロックごとに算出した中央値間の差の最大値が 9 セッション全体の平均値の 15%内に収まること、であった。

結果

7 匹のラットが 36 セッションまでに安定水準に達した。ラット 2 のみ 55 セッションまで訓練を要した。

本実験で使用したレバーはリトラクタブル式ではないため、これはエサが提示されてからも反応をし続ける反応超過 (runover) が起きる可能性がある。図 1-1 は直前に強化子が随伴したレバー (just-productive lever: P レバー) に対する反応頻度を最終 9 セッションで合計し、強化子提示後 10 秒までの結果を 500 ミリ秒区画 (ビン) で示した。すべてのラットで強化後 2 秒までに局所反応率は急速に減少していった。反応超過が収束しエサ皿へ移動するまでの潜時が 1 秒から 2 秒までに生じていたことがわかる。すべてのラットが 2 秒以降、徐々に局所反応率を回復させていった。そこで強化子提示後 2 秒に引かれた垂直線は全てのラットで反応超過が収束した地点とみなし、以後の分析では強化後 2 秒の経過後に自発された反応だけを使用することとした。

図 1-2 上は各個体の VR レバーへの相対反応頻度を表す箱ひげ図である。箱中の黒い水平線は中央値、箱の上辺と下辺は四分位範囲を表し、箱の上下にある点線の端点が最大値と最小値を表す。全個体の中央値の平均値は 0.87 だった。図 1-2 下は強化子提示後の 2 秒ビンごとに反応を集計し、経過時間の関数としての VR レバーへの相対反応頻度の平均値を表す。およそ 30 秒までに VR レバーへの選好は漸近値に達する推移を示した。

図 1-3 は P レバーへの反応と直前の強化子が随伴しなかったレバー (Not-just-productive lever: N レバー) への反応との比の常用対数値を示す。これは $\log P/N$ 反応比として先行研究で頻繁に利用されてきた選好の指標である (e.g., Baum, 2010; Davison and Baum, 2006, McLean et al., 2014)。縦軸のゼロは選好の偏りがなく、正の値が高いほど P レバーへの選好が強いことを、逆に負の値が高いほど N レバーへの選好が強いことを示す。強化子提示後 40 秒以降に生じた反応は絶対数が少ないため本分析に使用しなかった。 $\log P/N$ 反応比は分子、分母のいずれかがゼロの場合には算出されない。このような極端な選好が得られた場合は縦軸の端にプラス記号で表示をした。P レバーは先に説明したように直前の試行で強化子が得られたレバー位置を指定しており、これは後続する試行の弁別刺激の位置を指定しているわけではない点に注意が必要である。もし、L (左) レバーへの反応に随伴して強化子が提示された場合、このレバーが P レバーとみなされ、後続する試行で刺激ライトの位置が R (右) レバー側へ移ったとしても、L レバーへの反応が P 反応とされ、R レバーへの反応は N 反応として集計される。各個体の図中の点線は P レバー、すなわち前試行の VR レバーが後続する試行で再び VR レバーとなった場合の選好の推移を

示し、実線は N レバー、すなわち前試行の EXT レバーが後続する試行で VR レバーとなった場合の選好の推移を示している。

全ての個体で、強化子提示後の数秒の間、次の VR レバーがどちらのレバーであるかわからず、エサ皿から離れた後に P レバーへ再び戻る傾向があった。しかしながら、選好変化の大きさ（強化後の選好の変化度合い）は VR レバーの位置が後続試行で変化した後の EXT レバーに対してより明瞭だった。

図 1-4A は EXT レバーに対する、全ての個体の強化子提示後の時間の関数としての Log P/N 反応比の平均値を表す。刺激ライトの位置が隣の選択肢へ移った後でさえ、平均的に言って数秒間は EXT レバーへ選好が見られる。

図 1-4B は図 1-4A の反応比を算出する際に使用された、分子と分母に当たる反応頻度を示す。プラス記号は現試行で VR レバーとなった N レバーに対する反応頻度、白丸記号は現試行で EXT レバーとなった P レバーに対する反応頻度を表す。

EXT レバーへの反応の時間的推移をモデル化するために Killeen et al. (1978) の二重指数関数の誘導モデルの使用を検討した。モデルは次の関数式となる。

$$R = A(e^{-t/C} - e^{-t/I}) \dots\dots\dots(15)$$

ここで、 R は標的となる行動の反応率である。 A は覚醒水準 (arousal) を表し、一時的な反応抑制 (D) と競合行動 (C) による反応率抑制プロセスが働いていない場合に期待される反応率の最大値に等しい。 I は強化後休止と考えられ、その影響は短期的であり、強化子提示後の時間 (t) の関数として R が急速に増加し、指数関数 ($1 \cdot e$) によって表現される。その後、競合行動の増加のために R は減少していく。本実験へこの式を適用するにあたり、パラメータ C を強化子提示後に一時的に高まった覚醒水準の減衰を表すパラメータ D へと解釈を変更した。

$$R = A(e^{-t/D} - e^{-t/I}) \dots\dots\dots(16)$$

この解釈変更はモデルの予測には影響を与えない。

式 15 の競合行動に関する関数は、スケジュール誘導性行動を論じる際に、強化子提示後に生起頻度の上がった付随行動（あるいは中間行動）が減少していくことは、来るべき次の強化子提示の時間が近づいてくるにしたがって、完了行動が支配的になっていく一方、付随行動が収束していくと説明される (Staddon and Simmelhag, 1971)。Killeen (1975)、Killeen et al. (1978) では強化子は FT スケジュールによって周期的に提示される。したがって、強化子提示後の時間の経過は次の強化子提示を信号する手がかりとなったであろう。しかし、本実験手続きでは、時間経過と VR スケジュールによる強化子提示との間には依存性が存在しないので、類似のプロセスが機能することはない。そこで、競合行動の生起率上

昇のために当該行動の生起が抑制されたとする説明に代えて、単に強化子によって誘導された覚醒水準の減衰を表すものとみなした。

図 1-4C は図 1-4B の強化子提示後の EXT レバーに対する反応率への式 16 の当てはまりを示している。また図 1-5 は個別のラットの EXT レバーへの局所反応率に対する当てはまりを示す。いずれの図からも明らかなように、関数の当てはまりは非常に優れていた。表 1 は個体データと全個体平均データの関数の当てはめに使用した各フリーパラメータの値と、分散説明率を示している。

式 16 は図 1-4B の強化子提示後の VR レバーへの局所反応率へ当てはめた際も、非常に高い説明率を示した ($R^2=0.96$)。しかし、VR レバーへの局所反応率へこの関数を適用することは不適切である。なぜならば、VR レバーへの反応は反応を自発すればするほど、その試行が強化子提示で終わる確率を高める。反応自発回数は時間経過とともに増大するので、正の相関関係にあるであろう。したがって、強化子提示後の時間経過とともに減衰しているようにみえる VR レバーへの局所反応率は単に、時間経過とともに強化子提示で試行が終了する確率が高まるため反応機会が減っていっただけである。

考察

本実験では、2 つのレバーのうちランダムに選ばれた 1 つのレバーの上部にある刺激ライトが点灯することで、いずれのレバーが VR スケジュールでいずれが EXT スケジュールであるかの明示的な手掛かりを与えた。強化子提示後に EXT レバーの位置が変更された場合に、すべての個体が、EXT レバーへの反応配分を推移させた。強化子提示後の時間が数 10 秒経過した以後に見せる安定してわずかな反応配分に比べて、最初の数秒の間の反応配分は大きく増加することが示された。一方、VR レバーの位置が強化後に変更されなかった場合は、VR レバーへの相対反応率の増加は顕著には現れず、個体間で一貫性のない傾向を示した。強化子提示後の EXT レバーへの局所反応率へ Killeen et al. (1978) の 2 重指数関数の修正モデルによって良好なデータの記述が可能であることが示された。本実験の EXT レバーへの反応データと Killeen et al. が利用したハトの活動量のデータが得られた手続きは全く異なるにもかかわらず、いずれに対してもこのモデルが非常に高い当てはまりを示すことは、共通のプロセスとしての強化子による反応誘導という説明に一定の妥当性を与えるものと考えられる。

図 1-2 上に示されたように刺激ライトによる弁別制御は不完全であり、VR レバーへ自発された反応の平均値は全反応のうちの 87%ほどであった。最初の 10 秒のデータを省いて算出した場合には、91%へ増加した。強化子が提示された後も P レバーに対して反応超過が起きたが、強化子提示後 2 秒間のデータを排除したため、この不完全な刺激性制御の原因とは考えられない。一方で、VR レバーの位置が強化子提示後に変化した場合には、すべての個体が P レバーへ戻って反応する傾向を示した。この結果の興味深い特徴は、次試行の VR スケジュールを示す刺激ライトの点灯位置よりむしろ、以前に強化されたレバーの

位置へと選好が起きている点である。数秒間の経過後にのみ、刺激ライトの点灯位置へと強い選好を示すようになった。

図 1-3 の各個体の図の点線で示された曲線は P レバーが再び VR レバーとなった場合の選好の推移を示している。この結果は、個体間で一貫せず、また変動の大きさも、実線で示された曲線と比べて小さかった。この推移的变化が一貫しなかったとしても、また相対的に小さな変化であったとしても、少なくとも局所強化率の時間経過による変化に原因を求めることは現実的ではない。本実験で使用されたスケジュールは VR スケジュールであり、VR スケジュールの強化率は時間経過によって変化することはないからである。したがって、VR レバーへの反応が強化子提示後に推移を示したことは、局所的強化率が浮動したということに帰属できないだろう（そのような説明として Boutros et al., 2011）。この事実は選好の変化を弁別機能説のためであるとする主張を弱めるだろう。しかし、強化説と誘導説とは矛盾をきたさない。後者は、選好パルスを定義する相対反応率の増加は、強化による PIE 関連活動の短期的誘導の結果とみなす (Baum, 2012)。以前に強化された選択肢への選好は時間とともに減少し、その後の IRI では、安定した弱い選好水準として落ち着く。

強化説でも本実験のデータを記述できるのであれば、どちらが良い説明と言えるのだろうか。1 つ指摘できることは、本実験報告が行われた時点までに積み重ねられた先行研究を振り返ると、強化説と弁別説との比較実験においてたびたび強化説では説明のできない結果が報告されているが (e.g., Cowie et al., 2011)、それらの結果は誘導説にとっては反証とはならない。したがって、本実験結果のみ、強化説を最良の説明として掲げることは儉約的ではない。

1 つの懸念として想定されることとして、ここで提唱された誘導の説明は後続試行で VR レバーとなるか EXT レバーとなるかの違いに関わらず、P レバーに対する強化の増強効果は等しくあるべきだと疑問を持たれるかもしれない。そのような結果は実際には得られなかった (図 1-3)。これは天井効果のせいであるかもしれない。Killeen and Sitomer (2003) が述べているように、基本的には強化率が高まれば反応率が高まると考えられるが、そのような関係は反応率が極値へ近づくにつれ成立しなくなる。反応を自発するために必要な時間が反応自体を制約するようになるからである。

以前に強化されたレバーが EXT レバーとなったことが刺激ライトの消灯によって明示されているにもかかわらず高い選好を示したことは、弁別機能説よりも誘導説の予測の優越を示しているが、本実験で弁別刺激が全く機能しなかったわけではない。図 1-4 に示されるように、強化子提示後、始めに誘導により多くの反応が自発されるが、この誘導の効果は時間とともに減衰していく。十分な時間の経過後再び、弁別や強化によるオペラントのプロセスが優勢になっていく。この現象を強化子提示直後は弁別に失敗すると解釈することで誘導を利用せずに弁別と強化のオペラント概念で説明ができるだろうか。それは可能であるかもしれない。次強化子提示を明瞭に示す弁別刺激があり、それが行動を制御することが確認されている状況で、それにもかかわらず、弁別刺激によって行動が制御されない現象の

報告はこれまでにいくつか知られている。例えば、自動反応維持下の強化省略の研究では自動反応形成で点灯キイをつつくようになったハトに対し、キイをつつくとその試行での強化子提示が省略される随伴性に変更した後も全体のおよそ 1/3 の試行では点灯キイに反応をし続けた(Williams and Williams, 1969)。負の特徴効果 (feature negative effect, Jenkins and Sainsbury, 1970) は S+と S-として扱う刺激を逆転させると弁別が確立しにくくなる現象である。ところが、そのような現象の説明として、弁別の失敗が使用されたことはない。実際にはいずれの例でもオペラント以外のプロセスによって説明がなされてきた。

本実験では VR 強化と結びついたレバーを信号する刺激ライトによる制御よりも強化子提示と結びついたレバー位置への選好が一時的に優位となることを示した。これは迷路学習や並立スケジュール事態で確認されてきたラットの Win-stay 行動に関連した現象が考えられる (Evenden and Robbins, 1984)。時々、強化理論の予測と一致しない発見があると、そのような現象は生態学や進化の観点から説明が加えられる。Boutros, et al. (2011) も、自然な状況下では、エサはある場所に密集して存在することが多いので、ハトは Win-stay 方略を採る傾向があると言及している。この傾向が進化を通して獲得されたものであるならば、行動に強化が随伴しなくてもハトやラットが P 選択肢を選ぶ傾向は合理的に説明される。Evenden and Robbins (1984) は強化子提示後の Win-stay 行動をラットが迷路でもオペラント実験箱内でも採るという事例を提示している。しかし、実験室で整備された準自然的な環境においてラットの採餌行動が分析された際に、Win-stay ではなく Win-shift に基づいて行動を行うことも事実として報告されている (Olton, Walker, Gage and Johnson, 1977)。そのような事実は本実験の EXT レバーへのパルス、ラットが進化的に獲得してきた自然な採餌行動の表れの 1 つとみなす主張を弱める。実際には、以前に強化され、今や EXT スケジュールであるレバーへの反応に対する十分な説明枠組みはまだ確立していないといえよう。それは強化による誘導という説明でも例外ではない。

シミュレーション：アーティファクト説の検討

ここまで実験 1 ではもう 1 つの説明であるアーティファクト説に触れてこなかった。McLean et al. (2014) では、並立スケジュールの選択肢間の切り替え回数は各選択肢が維持する反応数に比べてかなり少ないことに注目した。これは切り替え反応が起きる前に一続きの反応連が必然的に生起していることを示唆する。この反応構造の副次的な結果として、最後の強化子が随伴提示された選択肢の位置に再び反応が起きる確率が高くなり、選好パルスの形状を生み出す原因となるのであり、強化子の局所的な効果は、あるとしても相当割り引かれると主張している。

アーティファクト説を本実験手続きにおいて評価するために、シミュレーションを実施した。McLean et al. に倣い、2 つのガンマ分布を用いて、各選択肢の反応連を 10,000 ずつ生成した。各ガンマ分布で使用したパラメータは、VR 選択肢への反応割合が 0.87 と

る制約の下でパラメータを操作した。2つのガンマ関数のパラメータ k_1 と k_2 はいずれも 6 に固定し、パラメータ θ_1 と θ_2 を変化させた。この時、ガンマ分布の平均値の比が 6.557 で常に一定に保たれるよう値を定めた。また、McLean et al. の図 1 で使用されたパラメータに合わせ、変動係数（分散/平均）を 0.41 に固定した。実施した 4 組のシミュレーションの違いを端的に言えば、実験 1 で実際に得られた反応割合を維持したまま、反応切り替え率を減少させ、反応連を伸ばしていった。各反応の自発には仮定された IRT の定数値が毎回費やされることとし、その値には実験 1 の個体間平均 IRT である 1.3 s が設定された。VR 反応連と EXT 反応連から交互に 1 つずつ値を重ねていき、結果単一の 20,000 反応連から成る系列を作成した。この反応連系列から反応列を作成した。また、各試行でランダムに刺激ライトの点灯位置を決定した。仮想 VR20 スケジュールを走らせ、反応がスケジュール要求を満たした時点で強化子提示を示すタグを挿入していった。このように作成したローデータから、選好パルスの分析を実施した。

図 1-6 上段は各選択肢の反応連に対応したガンマ分布を示している。シミュレーションで使用されたパラメータは図中に示されている。実線で表された分布が EXT 選択肢、点線で表された分布が VR 選択肢である。図 1-6 下段は強化子提示後の経過時間の関数としての Log P/N 反応比を示している。点線で表された曲線は P レバーが後続する試行で VR レバーとなった場合の結果を示す。シミュレーションに基づいて McLean et al. (2014) と同様に典型的なパルス曲線が得られた。実線で表された曲線は P レバーが後続する試行で EXT レバーになった場合の結果である。結果は、強化子提示後、数秒は EXT レバーに対する選好が極めて低くなり、その後、ある程度の選好を徐々に回復していく、いわば選好パルスとは反対の“逆パルス”と呼べるような形状となった。

なぜこのような結果が得られたのであろうか。例えば、強化後に次の VR 反応連が 20 反応で構成されていたとする。ところが、もしその連の第 10 反応で強化子が提示され、後続する試行で刺激ライトの位置が変化したとしても、残りの 10 反応は後続試行でも位置を切り替えた後の VR 選択肢に対して自発され続ける。その結果、後続試行の開始から数秒の間は、EXT レバー側への反応が起きる機会が失われる。この場合、EXT レバーは P レバーであったのだから、後続試行の開始から数秒間は P レバーに対する選好が極めて低くなることになる。

McLean et al. (2014) では実データに対して強化子提示位置を無作為に入れ替えて作成した NHPP と実際の選好パルスとの差をとることで、強化子の局所的効果を評価することを提唱している。これは量的な予測の違いが問題となる場合には有効であると思われるが、逆パルスのように予測が質的に異なってしまった場合に本当に適用してよいのかは不明である。また仮に図 1-4A の EXT レバーへのパルスデータとの差分を算出するならば、いずれのシミュレーション結果であっても大幅に残差選好パルスは上振れするであろう。あまりにも極端な選好が示されるならば、局所的効果についての尤もらしい指標とはあまりみなせないであろう。

このシミュレーションでは、VR 連と、EXT 連のためにガンマ分布を設定した。もし McLean et al. (2014) と同様に選択肢の位置にしたがって反応連を定めたならばどうなるだろうか。すなわち、刺激ライトを無視して、左反応連と、右反応連をガンマ分布によって生成する場合である。この場合は、強化子が提示された後に刺激ライトの位置がどこに定められても、必ず選好パルスが生成される。しかし、点線と実線の 2 本の曲線は完全に重なる曲線となり、無差別点付近で安定するであろう。なぜならば、その場合は左右の反応連分布はいずれにとっても半分が VR 連でもう半分は EXT 連から構成されることになるからである。しかし、これは、実験 1 で得られた結果とは一致しない。

実験 2 3 項強化随伴性の揺れ仮説と誘導説の実験的比較

実験 1 では、並立 VR EXT スケジュールにおいて、EXT レバーに対する選好パルス (EXT パルス) が確認され、それに対するオペラントの過程による説明として弁別説と強化説、そしてオペラント以外の説明として誘導説を検討した。先行研究では選好パルスの説明として強化子の弁別機能による説明が提案されている (Davison and Baum, 2006)。しかし、実験 1 の手続きの下では、強化子は確率 0.5 で生起するため、直前に生起した強化子は次の強化子提示位置を示す手がかりとしては有効ではなかった。また、刺激ライトによる弁別率を押し下げる原因が EXT パルスであったと考えられるため、強化子自体や刺激ライトによる弁別刺激機能によって説明することは困難である。一方、強化説は先行研究において選好パルス現象を説明できないと指摘されてきた (Boutros, et al., 2011; Cowie et al., 2011; Davison and Baum, 2006, 2009)。また、オペラント行動は三項強化随伴性で定義されることを踏まえるならば、強化子が強化する対象はある弁別刺激の下で起きる反応であり、換言すると弁別刺激と反応の“連合”を強めると言える。実験 1 の場合、EXT レバーは一度も強化子の随伴提示が行われなかったため、強化子が強化する対象は、少なくとも刺激ライトに対する刺激性制御が確立した後では、VR レバー、つまり、刺激ライト点灯側レバーに対してであると考えられる。したがって、EXT レバーに対する反応生起を弁別や強化といったオペラントの過程によって説明することは困難である。またアーティファクト説は、シミュレーションの結果、質的に全く反対の傾向である逆パルスが発生し、これも説明に使用することに疑問符がつけられた。

このような検討の末に、新たな説明として誘導説が提案された。Killeen et al. (1978) の二重指数関数を用いた誘導モデルを借用し、その当てはまりの良さにより誘導説は根拠を強めた。それは誘導説に一定の支持を与えるものではあるが、まだせいぜい検証の第一歩が進められた段階とみなすべきであり、他の代替説明が成り立たないことを十分に検証する余地は残されている。

オペラントの過程による説明は困難であると先に指摘をしたが、補助的仮定を少し修正することで説明することができるかもしれない。一つの可能性として、刺激ライトによる弁別刺激が常に一定の制御力を維持するわけではなく、強化子提示後、その刺激性制御の不応期があると仮定しよう。つまり、エサを食べ終わったラットが刺激ライトに注目するまでに数秒間の時間が空くのかもしれない。この場合、強化子提示後数秒間の三項強化随伴性から刺激ライトは排除され、強化子が提示されたレバー位置 (P レバー) に対する反応が強化されたとみなすことができる。このような三項強化随伴性は、左右のオペランドの位置によって選択肢を設定した並立 VI VI スケジュールの研究では一般的な考え方であると言えよう。もしこれが正しい場合は、本実験手続きの下では三項強化随伴性が多層的に存在することを意味する。つまり、強化子は一方で強化子提示された時に押していたレバーへの反応を強化し、他方で、刺激ライト点灯側レバーへの反応を強化する。そして、強化子提示後、刺

激ライトが弁別刺激として働かないため、まず前者の随伴性が現れ、時間経過と共にやがて後者の随伴性へと移り変わっていく。本論文では、この説明を 3 項強化随伴性の揺れ仮説と名付ける。この仮説に対する検証点は 2 つあるであろう。1 点目は刺激ライトの刺激性制御は強化子提示後には遅れを伴い、刺激性制御の不完全さが EXT パルスを助長するのか。2 点目は、刺激ライトの刺激性制御が効力を持たない間は強化子による強化機能によって反応が制御されたとする考えは妥当か、ということである。これらの検証を念頭に、3 項強化随伴性の揺れ仮説と強化子による誘導説のどちらが EXT パルスの生起の説明としてより妥当性を持つかを仮説検証することが実験 2 の目的である。そのために、実験 2 では 2 種類の仮説検証を行う。仮説検証の 1 つは Williams (1971) の提案する正答率の転移性テストに基づき、もう 1 つは、オペラント行動とスケジュール誘導性行動の反応率傾向に基づく。

Williams (1971) はハトを用いて離散試行を用いて、緑キイと赤キイのいずれかが強化随伴し、もう一方が強化省略される手続きにおいて実験を行った。FR スケジュールの随伴性要求を満たすことを 1 試行と定義した。FR スケジュールは強化子提示キイだけでなく、強化省略キイでも独立に反応が記録され、いずれかのキイへの FR 要求が満たされれば、強化子の提示の有無に関わらず試行が終了した。強化子が提示されるキイ色はセッションの開始だけランダムに決められ、その後は、厳密に交替した。つまり、前試行で緑キイが強化された場合には後続試行では必ず赤キイの FR 要求を満たすことで強化子が提示され、緑キイへの FR 要求を満たした場合には強化子が省略された。強化子の提示後、次試行開始時に赤と緑のキイ位置はランダムに変更された（強化子省略後は条件によって固定の場合とランダム変更の場合があった）。この範例手続きにおいて、FR 値が低い群よりも高い群で正答試行（強化子提示試行）の割合が高いことが示された。

Williams (1971) はこれについて 2 つの仮説を考えた。まず、色刺激による刺激性制御の程度が主要な変数であったならば、次のように説明することができる。高コストを強いる高い FR 値になると、正答キイを信号する色刺激は手掛かりとしての重要性を増すが、低い FR 値では、仮に正答試行にならなかったとしても、それほど個体にとって負担とはならないため、それほど刺激へ注意を向ける必要がない。高比率の FR 値のコストの下では、被験体が利用可能な刺激へより一層、“注意を払い思慮深く” 選択を行うため、刺激性制御が成立しやすくなり、正答試行の割合を高める。

2 つ目の説は、まさに本論文で誘導と呼ぶ現象が原因とみなす説である。直前に強化子が提示されたキイに対して直後に反応を繰り返す傾向があるならば、強化子提示直後は色刺激とは無関係に反応を行うことになる。FR 値が低い場合には、この反応繰り返しだけで試行が終了してしまう。FR 値が高い場合には、強化子が提示されたキイへの反応繰り返しの収束後に正反応を自発する余地があるため正答率が高くなる。

Williams (1971) は実験 3 で、あらかじめ高比率の FR 条件で十分に訓練を積んだ被験体では、その後、低比率の FR 条件へ移した場合に、正答試行率が転移する (transfer) だろうかという問いを立てた。訓練初期に高い比率値で訓練を積んだ個体は、すでに色による刺

激性制御を十分に確立する機会を得たため、後に低い比率値へ移行した時には高い正答率を維持するだろう。一方、訓練初期に低い比率値で訓練を積んだ個体は刺激性制御を十分に確立する機会がないため低比率値では正答率が下がるであろう。もし強化子提示に伴う誘導によって反応の繰り返し傾向が生じているのであれば、高比率から低比率へ移行しても正答率の推移性が見られず、条件経験順序の違いに関わらず正答率に差が現れないであろう。

第 2 の仮説検証は、スケジュール誘導性行動（あるいは付随行動、中間行動）とオペラント行動の強化率と反応率の関係から導く。先に論じたように、もし 3 項強化随伴性の揺れが生じるのであれば、強化子提示された直後には P レバーへ戻る反応が強化されて生じると考えたとしても筋は通る。もし強化子の強化機能に由来するオペラント行動とみなせるのであれば、P レバーが後続試行で EXT レバーとなった際の、同レバーへの反応率はオペラント行動特有の強化率の関数で決まるであろう。オペラント行動では、一般的な関係として、強化率の高さに反応率の高さが比例することが理論的な前提とされる(e.g., Herrnstein, 1970)。実際に Baum (1993) は VR と VI スケジュールの強化率の関数としての反応率を調べた。いずれのスケジュールでも強化率が極端に高い場合 (e.g., VR 比率値 ならば 1, 2, 4 など) には、反応率が減少するが、1 分当たり強化子 10 程度で反応率が最大になり、その後、強化率の減少とともに反応率は減少していく (図 2-1 左)。したがって、あまりに高い強化率でなければ、VR 値の上昇とともに反応が減少していくと考えてよいであろう。一方、Falk (1966) は FI スケジュールを利用した過剰飲水行動の研究で、FI 値を 2 から 300 秒まで条件ごとに操作したところ、FI 値の増加とともに飲水量が増していき、FI180 秒程度で頂点に達し、FI300 秒に近付くと飲水量が減少していった。Webbe, DeWeese, and Malagodi (1974) は同様の傾向が FR 値と VR 値を操作した場合のスケジュール誘導性攻撃行動にみられることを報告している。また Allen, Porter, and Arazie (1975) は各条件の強化確率を操作した際の IRI の時間経過に伴うスケジュール誘導性飲水行動の頻度を 10 秒ビンごとに分析し、強化確率が高い場合には、反応頻度の立ち上がりが速いが絶対量において少なく、一方、強化確率が低くなるにしたがって、反応頻度の立ち上がりがやや遅れるが絶対量が増えていく様子を報告している。これらの研究報告から、P レバーへの反応の原因が誘導か強化かを検討する 1 つの視座を与えてくれる。誘導説は一般的に VR 値が高まり、全体強化率が減少するにつれて誘導量が増えていくと予測する。強化説は一般的に VR 値が上がり、全体強化率が下がるにつれて、反応量が減少していくことを予測する。つまり、オペラント行動もスケジュール誘導性行動も強化率の関数として歪度を伴う逆 U 字曲線を示す点で共通しているが、1 分当たり 1 から 10 程度の強化率で比較をした場合には、オペラント行動の場合には強化率の上昇と共に反応が増え、スケジュール誘導性行動の場合には強化率の上昇と共に反応が減る (図 2-1)。

まとめると、実験 2 では実験 1 で使用した並立 VR EXT スケジュールの VR 比率値を各条件で操作し、反応遂行が安定するまで訓練を行う。その際、低い比率値から高い比率値へ

と条件を変更する上昇系列群と、高い比率値から低い比率値へと移す下降系列群を設ける。それにより、EXT パルス生起を説明する誘導説と 3 項強化随伴性の揺れ仮説に関する検証を行う。後者の仮説は弁別と強化というオペラントの主要機能の複合的な説明となっており、そのために生じる 2 つの論点に合わせて、2 つの検証を行う。

論点 1 は、刺激ライトの刺激性制御は強化子提示後には遅れを伴い、刺激性制御の不完全さが EXT パルスを助長するのかわかる。もし弁別の弱さが EXT パルスの変数であるならば、下降系列群では低い比率値へ移していった場合に転移が示され、同程度の正反応率の維持がみられるであろう。その場合には、EXT パルスの傾向はいずれの条件でも同程度を示すであろう。上昇系列群では低い比率値では正反応率が低く、高い比率値では正反応率が高くなる傾向を示すであろう。その場合には EXT パルスは低比率の場合ほど高い傾向を示すであろう。一方、もし誘導が EXT パルスの変数であるならば、訓練系列の向きによる変化は起こらないであろう。したがって、いずれの群においても傾向に差は見られないと考えられる。

論点 2 は、刺激ライトの刺激性制御が効力を持たない間は強化子による強化機能によって反応が制御されたとする考えは妥当かである。EXT パルスを構成する P レバー (EXT レバー) への反応は、オペラント強化の結果とするならば、VR 比率が高まるほど、反応頻度は減少するであろう。他方、誘導の結果とするならば、VR 比率が高まるほど、反応頻度は上昇すると考えられる。これらの検証を通じて、総合的に妥当性の高い仮説は何かの検討を行う。

方法

被験体

4 匹のオスの Wistar 系 ラット (B1、B2、B3、B4) を実験に使用した。いずれの個体も実験未経験であり、実験訓練開始時に 38 週齢だった。その他の点は本論文実験 1 と同じであった。

装置

本論文実験 1 と同様の装置を使用した。

手続き

基本的な訓練手続きは本論文実験 1 と同じであった。両レバーへ反応が安定的に自発されることを確認した後、訓練手続きを実験の主要手続きへと徐々に近づけていった。セッションが開始されるとランダムに片方の刺激ライトが点灯した。点灯側レバーには 12 値をランダムに提示する VR スケジュール (Fleshler and Hoffman, 1962) が配備され、消灯側レバーには反応をしても強化されることはない EXT スケジュールが配備された。VR スケジュールの要求を満たした反応に対してペレットディスペンサーから強化子としてペレット

1 粒が提示された。強化子の提示を本実験では試行の定義とした。強化子が提示された後すぐに 2 秒間のブラックアウトが始まり、その後、次試行のライト点灯し、VR スケジュールが機能する位置がランダムに決定された。一たび決定されたライトとスケジュールの位置は試行が終了するまで維持された。

被験体はランダムに上昇系列群と下降系列群に分配された。VR 値は訓練セッションの進行とともに徐々に上げられ、上昇系列群では、数セッションで VR 値を 2 から 8 へ上げていき、本実験を開始し、下降系列群では、20 セッション程度かけて VR 値を 2 から 32 まで上げていき、本実験を開始した。比率値の変化は被験体がセッションを構成する全試行の遂行前に長い休止が増えるなどの困難を生じていないことを実験者が確認して行われた。上昇系列群では、VR 値は 8 から 16、48 へと変化させ、下降系列群では、32 から 16、4 へと変化させ、各条件とも 50 セッション継続して変遷させた。1 セッションは 80 強化子提示または、50 分経過により構成され、分析には最終 20 セッションのデータが使用された。

結果

図 2-2 は Log P/N 反応比の強化子提示後の推移を 2 秒ビンで表す。各ビンの比を構成する分子分母の合計反応数が 500 反応を下回った場合及び、強化子提示後 30 秒を超えるビンは図示を省略した。ASC は上昇系列群 (B1、B2)、DEC は下降系列群 (B3、B4) の結果を示し、各個体パネルで y 軸のゼロより上に主に存在する 3 つの曲線は VR パルス、すなわち P レバーが再び VR レバーとなった場合の結果を示し、一方、ゼロより下方向に主に存在する 3 つの曲線は EXT パルス、すなわち P レバーが現試行では EXT レバーとなった場合の結果を示している。これらのデータ及び、以後結果で扱うデータは全て強化後 2 秒のブラックアウト期間に起きた反応を分析から排除した。各群とも、曲線を構成する記号は、白抜き点が最も低い VR 比率値、黒点が中比率値、プラス記号が高比率値の条件を示す。P レバーが再び VR レバーとなった場合には、強化子提示後にやや無差別点へ近づき、その後、VR レバーへの選好が復帰する傾向が示された。この傾向は B4 を除く全個体で見られた。また、ASC も DEC も比率条件の違いによる系統だった違いは示されなかった。P レバーが後続試行で EXT レバーとなった場合には、P レバーへの選好が強化子提示後の時間経過とともに減衰していった。各条件間の比較では、P レバーへの減衰の傾きは B3 では比率条件が低いほど勾配が急になったが、その他の個体では条件間で系統だった差は見られなかった。

表 2-1 に各個体及び平均データの各比率条件への Killeen, et al. (1978) の二重指数関数の修正式 (式 16) によるモデル当てはめに使用した個別のフリーパラメータと分散説明率 (R^2) と、個体ごとのデータに当てはめた際に使用したフリーパラメータと分散説明率を示す。いずれの場合も、良好な当てはまりを示しており、この関数モデルにより説明が十分になされた。

図 2-3 は各個体の最後 20 セッション中の EXT パルスを構成する試行における VR レバ

一への反応の相対頻度、すなわち正反応率を表す。黒色の記号は下降系列群の、白色の記号は上昇系列群の個体データを表す。実線は下降系列群の、点線は上昇系列群の各比率条件における平均値を示す。左図は当該試行の全反応を利用して算出した。上昇系列群は両個体とも VR 比率が増加すると共に正反応率が 0.75 程度から 0.9 まで上昇していった。下降系列群は VR 比率条件に関わらず、およそ 0.9 前後の正反応率を維持した。右図は当該試行のうち、強化子提示後 10 秒目まで（8～10 秒ビン）の反応のみを使用して算出した正反応率である。下降系列群は上昇系列群に比べ平均的に高い正反応率を示したが、いずれの群も VR 比率が高まるにつれて減少傾向を示した。左図と比較すると、下降系列群の VR4 及び VR16 は類似の正反応率となったが、VR32 では大幅な悪化を示した。上昇系列群では全体的に正反応率が下がり、VR8 及び VR16 でおよそ 0.7、VR48 では 0.6 近くまで落ち込んだ。

表 2-2 は各 VR 条件で得られた個体ごとの全体強化率を示す。上表は最終 20 セッションで得られた全体強化率を、下表はそれらのうち EXT パルスの算出に使用された試行で得られた強化率である。範囲は上表では最小値 1.32 から最大値 12.27、下表では最小値 1.26 から最大値は 11.22 となっており、いずれの算出方法を利用しても、本実験条件で得られた全体強化率は 1 分あたり 1 から 10 強化子程度と中程度の強化率に収まっていた。

図 2-4 は各個体の比率条件ごとの EXT パルスにおける EXT レバーへの最終 20 セッションの反応頻度総数の対数値を強化子提示からの経過時間の関数で表す。白丸、黒丸、プラス記号の順に各群とも VR 比率の高い条件を示している。いずれの群も、高比率条件で EXT レバーへの反応頻度が最も高かった。下降系列の VR4 と VR16 では後者の頻度が全体を通して高く、系統だった変化を示した。上昇系列群の VR8 と VR16 では強化子提示後 10 秒程度まではほぼ同程度の EXT 反応を示し、その後 VR16 がより大きく減衰していった。これは VR8 が上昇系列群の第 1 訓練条件であり、訓練経験の短さのために十分な減衰を示さなかったと考えられる。それでも、図 2-5 に要約されるように、結果は系統だった傾向を示していた。これは 1 セッションあたりの EXT パルスにおける EXT レバーへの累積反応数の 50 パーセンタイルまでの平均反応頻度を条件ごとに示したものである。50 パーセンタイルに達するまでに要したビンは VR4、8、16、32、48 の順に、2-4 秒ビン、2-4 秒ビン、6-8 秒ビン、6-8 秒ビン、12-14 秒ビンであった。

考察

本実験が示した結果は次のように要約できる。VR レバーへの選好パルスは全 12 例中 1 事例しか観察されなかった。多くの事例で強化子提示後にやや無差別点へ近づき、その後、VR レバーへの選好が復帰する傾向を示した。EXT レバーへの選好パルスは全個体の全条件で示された。選好パルスの生起傾向について群間における際立った違いは見られなかった。EXT パルスを構成する EXT レバーへの反応頻度の推移データに対して Killeen et al. (1978) による誘導モデルの当てはまりはいずれも良好で、実験 1 の結果を追試することができた。EXT パルスを構成する試行全体の正反応率は上昇系列群では VR 比率の増加と共

に上がっていき、下降系列群では VR 比率の増加とは無関係におよそ一定を保った。しかし、強化子提示後 10 秒までのデータを利用して正反応率を描いた場合には、両群とも VR 比率の増加とともに正反応率が減少していった。平均的には下降系列群の正反応率がより高かった。VR スケジュールの全体強化率は中程度の範囲に収まり、EXT パルスにおける EXT レバーへの反応頻度は、VR 比率条件が高いほど増加する傾向を示した。

本実験は EXT パルスの説明として、強化子による誘導説と、3 項強化随伴性の揺れ仮説の妥当性を検討するために、2 種類の仮説検証を行うことを目的とした。1 つは Williams (1971) より援用した転移テストにより、VR スケジュールの比率値が高いほど刺激性制御が獲得されやすく、下降系列群では正反応率の転移が生じるか、刺激性制御力が弱い場合ほど選好パルスが強く生じるかを検討した。図 2・3 左図は、EXT パルスを構成する試行全体の正反応率について、転移テストの予測を支持する結果を示した。これは全体の反応遂行として、高比率条件での訓練は刺激性制御の上昇に有効であり、一たび獲得した刺激性制御は低比率条件へ移行した後も維持されることを示した。

選好パルスは強化子提示後 10 秒程度までに非常に顕著に P レバーへの反応が増加するため、図 2・3 右図では、EXT パルスを構成する強化子提示後 10 秒までの正反応率を算出したところ、結果は左図とは異なるものとなった。いずれの群においても VR 比率値が増加するにしたがって正反応率が減少する傾向を示した。この結果は、刺激性制御の獲得傾向及び転移傾向について想定された解釈を困難にさせる。第 1 に下降系列群は転移を示すと予測されるが低比率条件でより正反応率が上昇することは予測せず、必ずしも理由は明瞭ではない。第 2 に上昇系列群では VR 比率が高まるにしたがって正反応率が何故下がるのかを説明することができない。この結果は、少なくとも強化子提示直後の 10 秒程度において、VR 比率が高いほどコストが高くそのためより刺激ライトを注視しやすくなるとする刺激性制御の獲得の違いによる説明が成り立たないことを示している。

これらの結果をまとめると、刺激性制御は予測どおりに VR 比率が高い条件によって獲得されやすくなり、その傾向は確かに転移を示すが、これらの要因による弁別傾向は強化子提示後の時間経過とともに緩やかに高まっていくということである。

強化子提示後に刺激ライトの弁別機能が十分に効果を持つまでに、いくらかの遅れが生じるということは、3 項強化随伴性の揺れ仮説の第 2 の検証を行う妥当性を高める。すなわち、強化子提示直後には強化子の随伴提示を生じたレバー (P レバー) への反応が強化されたとみなす余地を与える。2 つ目の仮説検証は、EXT パルスの EXT レバーへの反応が強化されて生じたオペラント反応であるか、強化子に依って誘導された反応であるかを検証することであった。表 2・2 に示されたように本実験で使用された VR スケジュールから得られた全体強化率はおよそ中程度の範囲におさまリ、その範囲においては反応生起傾向についてオペラント行動とスケジュール誘導性行動では傾向が異なる。図 2・4 及び 2・5 に示された結果は、VR 比率が高まり、強化率が減少するにしたがって、EXT レバーへの反応頻度は増加傾向を示した。この結果は、強化子提示直後 10 秒程度における EXT レバーへの反応

は誘導性の行動傾向であるとする説と一貫している。

この結果に加えて、さらに 3 項強化随伴性の揺れ仮説の妥当性を低めているのは、図 2-3 右図において条件間および、群間において刺激性制御の程度にばらつきが見られるにも関わらず、EXT パルスの傾向には、それを反映したように見える大きな変化が見られないことである。つまり、刺激ライトによる弁別機能の遅れによって EXT パルスを説明できていないのである。一方で、実験 1 と同様に Killeen et al. (1978) による誘導モデルはデータの説明を十分に行えることを示した。

本実験の検証の結果、EXT パルスの説明として、三項強化随伴性の揺れ仮説より、強化子による誘導説がより妥当であったと結論づけられる。ただし、刺激ライトによる弁別機能は確かに遅れを伴うことが確かめられた。高比率条件で高く獲得された弁別機能は、強化子提示直後の弁別を高めるのではなく、より全体の反応遂行に対して反映され、また転移が示されることが確認された。これは、実験 1 の結論と同じである。選択行動において、強化子提示直後には強化子によって誘導された繰り返し反応の傾向が存在し、この誘導反応は時間経過と共に急速に減衰していく。それに代わってオペラント制御が選択行動を支配するようになるということである。

実験 3 選択モデルとしての Win-stay, Fix-and-Sample の提案

本論文実験 1 では McLean et al. (2014) から借用したガンマ分布シミュレーションでは逆パルスと呼べる逆転傾向を示していたにもかかわらず、P レバーが後続試行で EXT レバーに変化した際に、ラットは選好パルスを示した。そのレバーはすでに EXT スケジュールに変化したことを明確に信号していたにもかかわらず、その傾向が観察された。つまり、明らかに、隣のレバーが次の強化子を得るための唯一の選択肢であると信号する刺激ライトによる弁別制御よりも直前に強化子が随伴提示されたレバー位置が行動を制御した。

McLean et al. (2014) はシミュレーションの使用用途を強化の局所効果からアーティファクト成分を差し引くための NHPP として提案した。実際に個体が生じた選好パルスから NHPP を差し引いたものを残差パルスと呼んだ。実験 1 の EXT レバーへの選好パルスを残差パルスで表現したとしても、そこには短い時間だけ続く、レバー位置に特定の Win-stay 傾向が、一時的に刺激ライトによる弁別制御を侵害するかのような傾向が依然として示される。一方、P レバーが後続試行で再び VR レバーとなった場合にはシミュレーションも、実際の個体も選好パルスを示すとすれば、残差パルスはずっと弱い傾向しか示さないであろう。

本実験では、McLean et al. (2014) のシミュレーションテクニックを、選好パルスに含まれる局所的効果とアーティファクト効果を選りわけけるための手段としてではなく、選択行動のモデルの成分としての使用を試みる。そのシミュレーションの当初提案された意図を外して別の目的のために使用する理由は、そのシミュレーション自体が並立スケジュールにみられる重要な現象である選好パルスを十分に模擬できる特性を備えているからである。しかし、McLean et al. のシミュレーションをそのままモデルとして使用するためには、レバー位置に特定の Win-stay の傾向を加味していない点が不十分であるように見える。Herrnstein (1961) 以来の典型的な並立スケジュール手続きでは、本論文実験 1 のように操作体と結びついたスケジュールの位置は変化しない。その場合、先行したエサ提示に起因する Win-Stay 反応傾向は後続するエサ提示の制御を受ける反応に埋もれ覆い隠されるだろう。しかし、この位置特定の Win-stay 傾向は選択場面に一般的に存在しており、選択行動の理論の論争において知られてきた問題の幾ばくかに影響を与えるかもしれない。

ここで、Win-stay 現象がどのように選択行動のモデルを複雑にするかを説明するために、Shimp (1966) の瞬時最大化を検討する。Shimp は個体の次試行での選択は常に次の強化子提示がより起こりそうな選択肢へ向けて行われ、マッチング現象はその結果であると主張した。その説明と一貫した傾向が確かに標準的な並立スケジュール事態でみられるのだが、その一方で最大化系列から外れる最大化規則侵犯の傾向も一般的に観察される。Silberberg et al. (1978) はそのような侵犯傾向の説明のために、最大化系列完遂にエラーが起きることと、Lean 選択肢へ時々反応固執する傾向を含む瞬時最大化のモデルを提案し

た。しかし、選択行動で起きる Win-stay 傾向の証拠が得られたのであれば、選択事態における Win-stay 傾向の操作が最大化系列を自発する際に起きるエラーの原因とみなすことができるかもしれない。もしかすると、選択行動の構造は、瞬時最大化のような微視的規則に Win-stay 傾向を組み合わせることによって十分に説明されるかもしれない。

この方向の第一歩として、本実験では最初に McLean et al. (2014) のシミュレーション規則に Win-stay の反応傾向を加える選択行動の大雑把なモデルを構築してみる。このモデルの検証のためのデータとして本論文実験 1 の範例手続きの修正および拡張をする。分析指標は選好パルスの典型的指標である Log P/N 反応比だけではなく、対数生存時間指標 (Log survivor plot, Shull, Gaynor, and Grimes, 2001; Smith, McLean, Shull, Hughes, and Pitts, 2014) と、反応連の関数としての切り替え反応の条件付き確率分析 (Nevin, 1969; Silberberg et al., 1978) を利用する。これらの測度を加える理由は、いずれも選択行動の微視的構造の描写に適しているからである。

主目的は選択行動の新しいモデルを評価することであるが、もう一つの目的は、本論文実験 1 の範例手続きを、ある程度これまでの選好パルス研究の手続きに近づけることによって何か重大な変化が起きるかを評価することである。本論文の実験 2 と同様、強化子提示後 2 秒間のブラックアウトを設け、各条件のセッション数を十分に長くとした。より重要な点は VI スケジュールを使用することである。これまで選好パルス研究では事実上 VI スケジュール以外に利用されておらず、VI と VR のスケジュール差によりどのような影響があり得るかを検討する。さらに基礎データとして刺激ライトによる信号効果を省き、強化子提示レバー位置を試行ごとに厳密に交替する条件を加える。Davison and Baum (2006) は強化子の弁別機能説を提唱した。一方、本論文範例手続きでは、刺激ライトの弁別機能を検討してきた。強化子も刺激ライトも次の強化子を信号する刺激という位置づけであり、強化子が一瞬で消えてしまう刺激である代わりに刺激ライトは試行を通して信号を続けるため、弁別刺激としての強度は異なると考えられるが、このような弁別刺激の質の違いが現象へどのように影響を与えるかを確認することで本論文実験と先行研究の結果の比較に利用する。

方法

被験体

12 匹のオスの Wistar 系 ラット (被験体番号 : #1 から 6 および #20 から 25) を実験に使用した。いずれの個体も実験未経験であり、実験訓練開始時に 40 週齢だった。その他の点は本論文実験 1 と同じであった。

装置

本論文実験 1 と同様の装置を使用した。

手続き

基本的な訓練手続きは本論文実験 1 と同じであった。刺激ライトを用いて並立スケジュールの訓練をする際に、2 群に分け、一方を、並立 VR EXT、他方を並立 VI EXT スケジュールで訓練を行った。それぞれ 12 値を使用してスケジュールを構成した(Fleshler and Hoffman, 1962)。強化子提示の後にはブラックアウトが 2 秒間挿入され、その間に起きた反応は強化スケジュールへは影響を与えなかった。ブラックアウトの後すぐにランダムに刺激ライトが 1 つ点灯し、次の強化子提示と結びついたレバーの位置を明示した。VI 群では、平均時間間隔は 2 秒から 27 秒まで徐々に上げられ、VR 群の平均比率は 2 から 20 まで上げられた。スケジュール値の変更は実験者の判断で行われた。概して VI スケジュールは 10 セッション程度、VR スケジュールは 20 セッション程度のセッション数にわたった。EXT レバーから VI レバーへ切り替える際には切り替え遅延 (changeover delay: COD) 2 秒が課せられ、仮に次の強化子が装填済みであったとしても、COD が終了した後最初の反応まで強化子は随伴提示されなかった。一方、VR スケジュールには COD は使用されなかった。VR 群で COD が使用されなかった理由は 2 つある。まず、本論文実験 1 の手続きを確実に模倣すること、それから 2 つ目として、通常 COD を使用する理由は、一方の選択肢に滞在していた時間の関数として、他方の選択肢への切り替え反応が分化強化されることがないようにすることだからである(単純な選択反応ではなく、しばらく時間を置いてから切り替える反応が形成されることを防ぐ)。このような切り替え反応の強化は並立 VR EXT スケジュールでは起こりようがない。EXT 選択肢へ滞在する時間がいくら伸びようが、VR スケジュールの強化確率を高めることはないからである。各セッションの終了基準は 80 強化子提示または 50 分経過のいずれかが満たされることであった。

この訓練の完遂後、主実験条件を開始した。最初の条件 (D) では次に強化子が提示されるレバーが刺激ライトによって信号され、先の訓練の最終的なスケジュール値に達した際の随伴性そのものであった。第 2 条件 (ND) では刺激ライトが両方点灯し、次の強化子提示位置に対する弁別制御力を失わせ、セッション開始のみ強化子提示位置をランダムに決定し、それ以後の各試行では厳密に強化子提示位置が交替した。第 3 条件、第 4 条件は D 条件と ND 条件をそれぞれ繰り返した。D 条件は 50 セッション、ND 条件は 65 セッションまで続けられ、以下で説明する分析には特に断らない限りは原則過去 20 セッションを使用した。

結果

図 3-1 の左列は D 条件の 1 回目 (黒丸) と 2 回目 (白丸) の最後 20 セッション中の強化されるレバーへの反応相対頻度を表す。上段が並立 VI EXT (D-VI 条件)、下段が並立 VR EXT (D-VR 条件) の各群である。図 3-1 の右列は ND 条件の 1 回目 (黒三角) と 2 回目 (白三角) の強化されるレバーへの反応相対頻度を表す。上段が ND-VI 条件、下段が ND-VR 条件である水平線は各群の全ての点から求めた平均値を表す。これらのデータ及び、以後結

果で扱うデータは全て強化後 2 秒のブラックアウト期間に起きた反応を分析から排除した。

図 3-1 から次の 4 つの結論が読み取れる。まず、強化されるレバーへの選好は ND 条件よりも D 条件で強かった。第 2 に、D-VI 条件を除き、1 回目より 2 回目のほうが弁別の成績が上がるという事実は確認されなかった。第 3 に D 条件と ND 条件のいずれにおいても使用された強化スケジュールの違いで選好の水準に差が生じることはなかった。そして第 4 に D 条件と ND 条件の違いや各条件の実施順（1 回目か 2 回目か）の違いに関わらず、弁別は不完全であることが示された。どの図の水平線も 0.9 を下回っていることが、この傾向を要約している。

図 3-2 は強化子提示後の経過時間の関数としての正反応（VI または VR レバーへの反応）の割合の推移を示している。上段は並立 VI EXT、下段は並立 VR EXT スケジュールの結果を示している。黒丸と黒三角は 1 回目、白丸及び白三角は 2 回目の各条件を示している。これらの結果が示していることは、第 1 にいずれの群および条件においても強化子提示後数秒間は正反応割合が低かった。第 2 に D 条件では弁別制御が徐々に回復していき、漸近値に達すると正反応割合 0.9 を超えて安定した。第 3 に ND 条件の正反応割合は強化後 5 秒程度で頂点に達し、その後徐々に減衰していき、時間経過とともに弁別制御が弱くなっていった。第 4 に D-VR 条件を除き、1 回目よりも 2 回目の正反応割合が高くなった。

図 3-3 は個体ごとの Log P/N 反応比の強化子提示後の推移を 1 秒ビンで表す。比を構成する反応数が 20 を下回る場合には図示を省略した。上段 2 行は並立 VI EXT 群を、下段 2 行は並立 VR EXT 群の結果を示し、個体ごとの図の左側には D 条件、右側には ND 条件の 1 回目と 2 回目を図示してある。D 条件は P レバーが後続試行で再び強化レバーになった場合と EXT レバーになった場合に分けて分析をした。無作為点より上で安定している黒丸とプラス記号は P レバーが強化レバーとなった場合の 1 回目と 2 回目の結果を、無作為点より下で安定している 2 本の曲線は P レバーが EXT レバーとなった場合の 1 回目と 2 回目の結果を示している。各個体の図の右側には ND 条件の 1 回目と 2 回目の結果を示している。ND 条件では P レバーが再び強化レバーとなることはなかったため、黒丸およびプラス記号の表示はない。

図 3-3 から 5 つの結果に要約される。まず、条件の違いや各条件の実施順に関わらず、反応のほとんどは強化子提示後の経過時間に関わらず強化レバーへと自発されていた。第 2 に、D 条件で P レバーが再び強化レバーとなった場合（黒丸およびプラス記号）には、強化子提示後にやや無差別点へ近づき、その後、VR レバーへの選好が復帰する傾向が示された。これは D-VR 条件では全個体で確認でき、D-VI 条件では 2 個体(#2 と #6)に確認できる。他の個体は強化子提示後の経過時間の関数として一貫した変化は示されなかった。第 3 に、D 条件で P レバーが後続試行で EXT レバーとなった場合（曲線）には、P レバーへの選好が強化子提示後の時間経過とともに減衰していった。第 4 に、ND 条件では、N レバーへの選好は 5 秒程度で最も強くなり、その後、無差別点へと近づいて行った。第 5 に、いずれの条件においても 1 回目と 2 回目の分析間で時間経過に伴う選好の変化に一貫した違い

は見出されなかった。

図 3-4 は 1 回目と 2 回目で平均し 1 試行あたりに直した IRI 中の EXT パルスの EXT レバーへの反応頻度を表す。左 3 列は D 条件、右 3 列は ND 条件、上 2 段が並立 VI EXT、下 2 段が並立 VR EXT スケジュールの場合の結果である。白丸の点が各個体の各条件で得られたデータを表す。その上をなぞる曲線は、Killeen, Hanson and Osborne (1978) の二重指数関数の修正式 (式 16) によるモデルの予測曲線である。表 3-1 に各図への当てはめに使用した個別のフリーパラメータと分散説明率 (R^2) を示す。被験体 25 の ND 条件を別とすれば、完全ではないにせよ、この関数モデルにより説明が十分になされたと言える。

図 3-5 上は D-VI 条件の 1 回目、下は D-VR 条件の 1 回目での強化子提示からの経過時間の関数としての $\log P/N$ 反応比の群平均データを 2 秒ビンで示す。左列は P レバーが再び強化レバーとなる場合、右列は P レバーが後続試行では EXT レバーとなる場合の結果である。訓練初期 (1~10 セッション) は白丸、最後の 10 セッションは黒丸で推移を示している。訓練初期には、まず、P レバーが再び強化レバーとなる場合 (左列) は、いずれの折れ線も緩やかに P レバーへの選好が減少していき、P レバーが EXT レバーとなる場合 (右列) は、強化子提示後数秒の間に大きな推移を示し P レバーへの選好が減少していった。訓練後期には、P レバーが強化レバーとなる場合は、P レバーへの選好が強まっているが、経過時間による推移傾向には特に変化はなく、EXT レバーとなる場合では N レバーへの選好が強まり、初期に比べさらに強化子提示後の数秒の選好推移が大きくなった。強化子提示直後の選好は訓練の初期と後期で変化しなかった。

図 3-6 は先行研究で選択の構造を明らかにするために使われてきた 2 つの指標を示す。1 つは Smith et al. (2014) の対数生存時間指標、もう 1 つは反応連の関数としての切り替え反応の条件付き確率である (Nevin, 1969; Silberberg et al., 1978; Silberberg and Zirias, 1982)。対数生存時間指標は当初 Shull et al. (2001) が反応率には集中して反応をする期間 (バウト) と反応休止期間から構成されているとして、IRT のうちバウト内反応にあたるものと、バウト間の休止とみなせるものを切り分けるために提案された。全反応から短い IRT ビンに含まれる反応数から順に引いていき各ビンの値として図示する。その図の縦軸を対数値に直した際、もし IRT が完全にランダムに分布しているのであれば、指数関数に従うため一直線に減衰していく。しかし、もし一直線ではなく途中で折れる形状となっていた場合、2 つの別の傾きを持つ指数関数の組み合わせとして表現したほうが当てはまりがよい。この時、2 つの指数関数はバウト内反応率と、バウト間のバウト開始率に相当すると解釈を行う。Smith et al. (2014) は、このバウト分析の方法を並立スケジュールの選択行動場面へ適用した。並立スケジュールでは、一方のオペランドに反応をする間は、もう一方のオペランドへの反応休止を意味するので、Smith et al. は、一方のレバーから他方のレバーへの切り替え反応はバウト開始反応を、その後のそのレバーへの反応連はバウト内反応を表すとみなす。特定の選択肢に対する IRT 分布はバウト内反応の IRT だけでなく、バウト開始反応は、別の選択肢へ切り替えてから再びこの選択肢へ切り替えるまでの時間、切り替え

間時間を加えて構成する。対数生存時間指標の図を描いた場合に一直線になり 1 つの指数関数で十分表せるならば選択行動（の切り替えのタイミングは）はランダムに生起すると考えられ、折れた棒の形（**Broken stick**）となり 2 つの指数関数で当てはめることが妥当であるとみなされる場合は、選択行動はバウト状に生起するという判断を行う。

図 3-6 の左列の上段と中段はそれぞれ D-VI 群の VI レバーと EXT レバーへ生起した反応に基づく対数生存時間指標の結果である。1 回目と 2 回目の結果を全て利用している。右列は D-VR 群による同様の分析結果を示している。結果の形状は COD 付きの VI と COD 無しの VR で IRT 生起はほとんど同じ傾向で、両群とも、IRT はほとんど線形であり IRT は指数分布に従った。両群の EXT レバーについては、より折れた棒に似た曲線を示した。これは EXT レバーへの反応はバウトで自発されたことを示唆している。

図 3-6 下段は各群の切り替え反応の条件付き確率を表す。この図は機会あたりの確率として図示してある。つまり、より短い反応連で自発された反応はより長い反応連の確率を算出するには分母から除外していく。結果は、VI と VR レバーへの反応連の終了は常に一定の確率で起こる一方、EXT レバーへの反応連は反応連の長さが増すにつれ、反応固執傾向を示した（つまり、ラットは反応連が伸びるにしたがって、反応切り替えをする可能性が減っていった）。

考察

本論文の実験 1 および 2 では選好パルスの誘導説の提唱および支持を与えることを目的として展開されたが、実験 3 の目的にとっては、本論文が報告した選好パルスが誘導によるものなのか、あるいは別のプロセスによるものなのかは、二次的な関心事に留まる。ここでの目的は McLean et al. (2014) のアルゴリズムへ Win-stay 反応規則を加えることで選択行動の新しいモデルの基盤として提供することができるかを検討することだからである。

そのためには一見すると、シミュレーションモデルを構築し実験 1 のデータと比較し結論づけることで十分であるように思われる。しかし、ここには 3 つの難点がある。まず、選択行動のこれまでの先行研究と、選好パルスのみにも焦点を当てた本実験 1 のデータとを比較することは接点に欠ける。いずれにせよ、切り替え反応の条件付き確率の分析や対数生存時間指標を用いて新たな結果を示す必要があった。第 2 に、実験 1 で示された Win-stay 傾向と、選好パルスの先行研究で示された同傾向の結びつきを弱める手続き的な問題が懸念された。本論文実験 1 では、エサが提示された後もラットが反応をし続ける反応超過が発生していたことである。この反応超過と強化子によって誘導された反応や次強化子に向けて自発されたオペラント反応を先見的に区別する基準がないため、この反応超過は選好の評価を複雑にする。本実験では実験 2 と同様にブラックアウトを課すことでこの問題を回避した。第 3 に、選好パルスの選好研究と、本論文実験 1 との間には、いくつかの手続き的の違いが存在する。最大の違いは使用される強化スケジュールである。これまでの事実上全ての先行研究は VR ではなく、VI スケジュールを利用してきた。本実験 3 ではランダムに群

分けされたラットに対して、両スケジュールで訓練を行った。また、Krägeloh et al. (2005) の条件付き確率ゼロ条件の追試にあたる強化子提示選択肢が試行ごとに厳密に交替する手続きを挟んで ABAB デザインを組むことによって、強化子による弁別機能と刺激ライトによる弁別機能による選好パルスへ与える影響の比較も行った。更に、多くの先行研究と本論文実験 2 と同様に各条件で十分なセッション数を実施した。

結果の要約

7 つの経験的事実が結果から観察された。まず、刺激ライトを弁別の手がかりとして使用できる場合 (D 条件) のほうが強化子提示される位置のみを弁別の手がかりに利用できる場合 (ND 条件) よりも、次の強化子を提示する選択肢への反応割合が高かった (図 3-1)。第 2 に、D 条件では強化子提示後の経過時間の関数として、この強化される選択肢への反応割合は徐々に高まっていき漸近値へ達する傾向を示した一方、ND 条件では、試行開始から 5 秒でこの反応割合が頂点に達し、その後、徐々に減衰していった (図 3-2)。第 3 に、Log P/N 反応比で表した P レバーへの選好水準について、D 条件において、P レバーが後続試行で EXT レバーへ変化した際には、時間経過後の漸近値の水準に比べて強化子提示後の数秒間は選好が高まった。しかし、P レバーが再び強化レバーとなった場合には、EXT レバーほど顕著な変化を示さなかったが、強化子提示後にやや選好が落ちる逆パルス状の傾向が見られた。ND 条件では、P レバーは必ず EXT レバーとなる。観察された P レバーへの相対的選好は、強化子提示後に比べて数秒かけて減少していく傾向を示し、これは D 条件と同一形状であった。しかし、初期の選好減少の後、徐々に選好水準を回復していき、40 秒程度の経過後には無差別点へと近似していった (図 3-3)。第 4 に、EXT レバーへの反応頻度は、VI 群、VR 群、D 条件、ND 条件の区別に関わらず、実験 1 で修正した Killeen et al. (1978) の二重指数関数モデル (式 16) によって十分に記述された。第 5 に、P レバーが EXT レバーへ変化した際の選好変化の大きさは、もう一方の選択肢が VR スケジュールの場合のほうが VI スケジュールの場合よりも大きかった (図 1-5)。第 6 に、Log P/N 反応比と強化子提示からの経過時間との関係は、最初の D 条件の訓練初期 10 セッションと終了前の 10 セッションで形状は変化しなかった。しかし、訓練セッションを費やした後には弁別的水準はより高まり、Log P/N 反応比は、VR 群と VI 群のいずれにおいても次に強化されるレバーへの選好がより強まっていった。また訓練初期より訓練終了時では、強化子提示後の数秒間に起きる推移的变化は大きくなった。第 7 に、対数生存時間指標と切り替え反応の条件付き確率を分析したところ、VI や VR レバーへの反応連の自発は確率一定であり、EXT レバーへの反応連は短いものが多いが、連が長くなるにつれて EXT レバーへの反応固執が高まっていく傾向が示された。

単一レバーへの選好パルス

本論文実験 1 では、強化子提示後の経過時間の関数としての選好の推移的变化は、P レバ

ーが後続試行で VR レバーになろうが、EXT レバーになろうが存在していた。ただし、その大きさと一貫性において違いがあり、EXT レバーで測定された変化は全ての個体で頑強で一貫した変化を示したが、VR レバーで見られた変化は個体間で一貫性を欠き、変化の大きさも EXT レバーに比べ小さかった。本実験で見られた結果は更にレバー間の差を際立たせた。大きく一貫した選好パルスが EXT レバーに対して生じたが、VR や VI の強化レバーに対しては、選好パルスの定義である、P レバーへ一時的に選好が強まる傾向はほとんど現れなかった。むしろ、逆パルスのような形状となる傾向を示した。この点で、これまで並立スケジュールの両選択肢に選好パルスが発生することを示してきた先行研究の結果とは異なる (e.g., Aparacio and Baum, 2009; Landon, Davison, and Elliffe, 2002, 2003; ただし、Cowie et al., 2011, 条件 1)。

本実験では、P レバーが後続試行で EXT レバーへ変化した場合にだけ選好パルスが見られた。なぜ P レバーが再び VR や VI レバーとなった場合には強化子誘導性の選好パルスが生じないのであろうか。実験 1 ではこれを天井効果によると考察した。この研究で使用された VI と VR はそれ自体で自然と相当なオペラント反応を生み出す。もしオペラント反応率がすでにラットの反応自発の上限に近いならば、その反応率に対する強化子による誘導の貢献は弱いものとして示されるだろう。VI と VR では反応率は異なるが、使用された強化スケジュール自体がその下にある個体の反応遂行の上限を規定すると考えるならば、スケジュールの違いは問題ではないであろう。条件変化に伴い定常状態までの推移に要する時間が手続きの違いによって劇的に変化することを示してきたダイナミクスの研究とも一致する考え方である。このような事態は EXT レバーに対しては起こらないだろう。なぜならば、結果が示しているように強化子提示後の時間が経過していき、誘導の効果が弱まった後には、EXT スケジュールの課されたレバーに対するオペラント反応は低頻度でしか起こっておらず、だからこそ、選好パルスの形状として、そのレバーに対する強化子提示直後の誘導の効果が表れているからである。ただし、VR スケジュールでは逆パルス状のパターンが確認されたがその理由は現時点では不明である。

二重指数関数による誘導モデル

Killeen et al. (1978) から修正した二重指数関数モデルの消去レバーへの反応の IRI 中の推移データへの当てはまりは本実験でも優れていた。この当てはめのために EXT パルスを構成する EXT レバー側への反応頻度が使用された。なぜならば P レバーが VI または VR レバーとなった場合とは違い、EXT レバーに対する反応連は強化子提示による強制中断が起こることはないからである。Killeen et al. のモデル式は誘導性の活動を予測するために開発されており、同一のモデルが本実験のデータを十分に説明することができるという事実は、選好パルス現象が直前の強化によって誘導されたとする主張へ支持を与えているとみなすことができる。また強化説や弁別説によって EXT レバーへの選好パルスを説明することが難しい点も誘導説へ支持を与えているとみなせる。

並立スケジュールの違いによる Log P/N 反応比

VR 群も VI 群も最初の D 条件の訓練初期に比べ訓練終了前の Log P/N 反応比の時間推移が、P レバーが EXT レバーに変化した際にはより鋭く深く選好の推移が生じた(図 3-5)。このことは、2 つの意見と一貫性を保てる。1 つは、VR スケジュールに対する弁別制御は VI スケジュールよりも強力であるという主張である。しかし、この説明は後付けであり、そのような主張はこれまでの先行研究において一般的ではない。2 つ目は VR スケジュールの反応連は VI レバーへの反応連より長く続くという主張である (see Shull et al., 2001)。もし後者の説明がありうるのなら、VR スケジュールによって生み出された連は VI スケジュールよりも長く、それが結果として P レバーが EXT レバーへ変化した際に、次の強化のためのオペラント反応を自発開始する前に、より長く続く回避反応を EXT レバーに対して引き起こしたと考えることができるであろう。そのような反応パターンは、Log P/N 反応比の推移では、VR 反応比は VI 反応比よりもより強い選好パルス形状として現れると考えられる。そしてそれは実際に得られた結果と一致していた。

選択行動の規則としての Win-stay ガンマ分布選択ルール

McLean et al. (2014) は 2 つのガンマ分布を組み合わせて並立 VI VI スケジュール中の反応をシミュレーションで示した。そのガンマ分布はそれぞれ 2 つの選択肢のうちの 1 つに対する反応連を生成した。本実験及び本論文実験 1, 2 ではシミュレーションと実際の EXT レバーへの反応遂行は、Log P/N 反応比において大きな残差として現れた。これは実際のラットが、すでに EXT レバーへと変化したにも関わらず、P レバーの位置へ試行開始から数秒間は反応することに依る。

以前に述べたように、McLean et al. (2014) は選好パルスを構成する強化子の局所的な効果と選択行動のバウト構造から生じたアーティファクト成分を分割し、正味の局所的効果を定義するために残差を測定するためのシミュレーションを企図した。しかし、本実験ではこれを別の目的に、つまり選択行動のモデルの要素として、使用を検討する。このようにみなす時、シミュレーションと実際の個体の反応遂行の間の残差はモデルの予測誤差となる。McLean et al. (2014) のシミュレーションは予測誤差が大きいと主張することは、本来の提唱された使用目的と異なるため相応しい言論ではない。そこで、選択のモデルとして使用するために、そのシミュレーションアルゴリズムに新たに「ガンマ分布選択ルール」と名付けることにする。

ここでは、この選択ルールにみられる予測誤差は Win-stay 傾向を加えることによって是正することができるのかを検討する。このために、実験 1 の図 1-6 の最左列のパラメータ値を使用して、並立 VR20 EXT スケジュールのシミュレーションを再度実施した。ただし、今回はそのシミュレーションへ次の不等式が真である間は、P レバーの位置に Stay 反応を行うアルゴリズムを組み込んだ。

$$e^{-t/W} - T > 0 \dots\dots\dots(17)$$

ここで、 e は自然対数の底、 t は強化子提示からの時間、 W は時間経過に伴う指数関数の減衰率を制御する重みづけパラメータ、 T は平均 0.5、標準偏差 0.15 の正規分布からランダムに抽出された閾値パラメータである。

式 17 の不等式が真である間は、P レバーへシミュレーションの反応は継続し続ける(レバー位置への **Win-stay**)。ひとたび各試行で不等式が偽になるならば、選択行動の制御の座はガンマ分布選択ルールへと戻される。これを次の例で説明する。強化子が提示された直後にあるレバーに対して 20 反応の連が選ばれたとしよう。また、この反応の遂行中に次の強化子提示は起こらないとする。次にシミュレーションが、 T パラメータに対する値をランダムに選択する。この試行で選ばれた値は T の平均値と同じ 0.5 だったとしよう。この準備の後、実際の平均反応率 ($IRT = 1.3s$) に等しい率で P レバーへ反応を開始する。この反応率にしたがって P レバーへ **Win-stay** 行動を継続し、これは強化子提示からの経過時間とともに減衰していく指数関数が経過時間に対し常に一定を保つ T 値と交差する地点で収束する。それ以後は強化子提示が起きるまでの間、ガンマ分布選択ルールによって選択行動は支配される。

図 3-7 の左列は並立 VR20 EXT スケジュールにおける強化からの時間の関数としての $\log P/N$ 反応比を表す。これらのデータは各ガンマ分布からのそれぞれ 10,000 ずつ生成した反応連に基づいている。パラメータ値は図 1-6 の最左列の値に設定した。図左上段は $W = 0$ の場合のシミュレーション結果であり、これは強化子提示後の **Win-stay** 傾向が全くない場合に等しい。この結果は図 1-6 の結果の焼き直しである。明らかに、 $W = 0$ のガンマ分布選択ルールは並立 VR EXT スケジュールから得られた選好パルスのデータを模擬できていない。しかし、図左下段に示すように、 $W = 3$ に設定すると、両レバーの選択行動に、選好パルスが発生する。EXT レバーでの変化は大きく、また適切な方向に是正することができている。これは、少なくとも質的には、実際の結果に対する良質な説明を提供できていると言える。

図 3-7 の右列は McLean et al. (2014) からの並立 VI VI スケジュールに対するシミュレーションを $\log P/N$ 反応比で示した。ガンマ分布のパラメータ値は McLean et al. の図 4 から、また反応率も同一の値を借用した。上段は $W = 0$ 、下段は $W = 3$ の場合のシミュレーション結果である。上段のシミュレーション結果は McLean et al. (2014) にみられる結果の再現に成功している。下段は **Win-stay** 傾向を発生させた。それにもかかわらず、少なくとも曲線の形状の点において、それらのシミュレーション結果には異なる点は発生しなかった。

図 3-7 は 2 つの結論を支持している。まず、ガンマ分布選択ルールは単体で使用された場合、本論文で発見された EXT レバーへの選好パルスを説明できない(図 3-7 左上段と図

3-3 との比較による)。しかし、この予測の失敗は強化の後にラットがしばらくの間 P レバーへと戻って反応すると仮定することで是正できる(図 3-7 左下段)。第 2 に、ガンマ分布選択ルールへ Win-stay 傾向を加えたとしても、並立 VI VI スケジュール下で見られた選好パルスの効果をシミュレーションした際に McLean et al. (2014) が示した予測の良質さを棄損することはない。McLean et al. のシミュレーションと実験研究が示してきた選好パルスの結果が近似することが報告されているのであるから、Win-stay 傾向を組み込んだガンマ分布選択ルールは、本実験からの選好パルスデータと他の先行研究のデータを質的に説明することができると言えるであろう。

選択行動のモデルとしての Win-stay, Fix-and-Sample

ガンマ分布選択ルールは McLean et al. (2014) のガンマ分布式に基づいている (式 14)。その式の k パラメータの値に依存して、指数分布曲線から正規分布曲線の形状までその式を使用して表現することができる。先のシミュレーションや、本論文実験 1 でのシミュレーションは k パラメータを 6 に設定し、左右非対称の逆 U 字型曲線からの反応連分布を導き出した。その分布は、要するに反応連の最頻値は 1 より大きい何らかの値であり、反応がバウトで発生すると仮定している (Shull et al., 2001)。そして、先のシミュレーションで作成した Win-stay 付きガンマ分布選択ルールは、選択行動がバウトで発生しているという仮定と結びつく。

図 3-6 の上段はガンマ分布選択ルールの仮定としての、バウト状の反応生起に疑問を投げかける。これらの図は VI と VR スケジュールへの反応は対数生存時間指標で図示された時におおよそ線形であることを示している。この結果は強化されるレバーへの IRT 自発はおおよそ指数分布に従うことを示唆している。一方、図 3-6 中段に示されるように、EXT レバーへの結果は折れた棒状の形をしており、これは IRT 自発がバウト状に分布しているという考えに支持を与える。この解釈は反応連の関数としての切り替え反応の条件付き確率を提示した図 3-6 下段のデータとも一致している。強化されるレバーへの反応連が中断する確率はおおよそ一定である。すなわち指数分布している。EXT レバーへの反応連は一番起こりそうなことは 1 反応自発して連を中断することであるが、中断する確率は反応連が伸びるにしたがって減少していく。反応連の増加とともに切り替え反応確率が減少していくという事実はこの選択肢へラットが反応を固執する傾向があるということを示している。これらの結果から、強化されるレバーと EXT レバーの両方で逆 U 字型の分布を引き出したパラメータ k の値の選んだことは誤った判断だったといえる。

過去の選択行動研究の文献を検討すると、COD を手続き的に使用しない選択行動の文献には図 3-6 でみられたものと同一傾向を報告するものが多くあることがわかる (e.g., Baum et al., 1999)。Smith et al. (2014) は COD が使用される場合のみ両選択肢へのバウトが起きることを報告している。Silberberg et al. (1978) は、離散試行型並立スケジュール、フリーオペラント型の並立スケジュール及び、並立連鎖スケジュールで COD なしの選択行動実

験を行い、**Rich** 選択肢への反応連は指数分布にしたがう傾向があり、**Lean** 選択肢への反応は逆 U 字型分布となる傾向が見られた。**Baum and Davison (2004)** はこの分布の異なる選択構造を指して、「**Fix and Sample**」と呼んだ。つまり、**Rich** 選択肢に対して、ハトは長く、また幅広い時間間隔で反応自発し、この行動は時々、**Lean** 選択肢に対して低頻度で起きる短い反応連によって中断されるという選択行動の変動を記述している。このような選択肢間での非対称的な結果は本実験の結果と類似しているようである。つまり、強化されるレバーに対して、指数関数に従ったランダムな長さの反応連は **EXT** レバーへの短く、逆 U 字型に分布した反応連の自発によって時々中断する。

先の **Win-stay** ガンマ分布選択ルールは、図 3-6 の測度でみられる **Fix-And-Sample** 行動へ従う傾向を説明できない。問題の核心は **P** レバーから **EXT** レバーへ変化した選択肢でだけバウトが起きているようだけれども、強化されるレバー側に対しても反応バウトを予測することである。

しかし、この予測の誤りは簡単に修正することができる。**Fix** 選択肢は、ガンマ分布のパラメータを 1 に固定することによって指数関数を設定してモデル化することができる。これは **Rich** 選択肢へ常に一定の確率で続く反応連を生成できる。一方、**Sample** 選択肢は図 3-6 に見られた固執傾向の反応連を含めるために長く尾を引く、しかし、大半は短い連であるため、短い反応連に鋭い最頻値を持つガンマ分布（例えば、 $k=0.2$ ）でモデル化することができる。加えて、**Fix-And-Sample** モデルの **Win-stay** 版をつくり出すために、式 17 の **W** パラメータを再び 3 に設定する。

この新しいモデルを検証するために、シミュレーションの重要な特徴を要約する。ここでは 2 つの選択肢に対応した 2 つの反応連分布から生成した連を組み合わせるローデータとなる選択反応列を生成するが、加えて、2 つの選択肢に対応したシミュレーション用 **IRT** 分布も使用し、個々の反応に対応した **IRT** 列も生成した。両 **IRT** 分布は実際の **IRT** データへガンマ分布を当てはめることでパラメータ値を推定した。反応連分布のパラメータは強化される選択肢はパラメータ k を 1、**EXT** 選択肢は k を 0.2 に設定した上で、それぞれの反応連分布の平均値が図 3-7 と同一になるように設定した。実際の **IRT** データを個別の選択肢に対する各々の **IRT** 分布に分けてパラメータ推定するために、各個体の **D** 条件 1 回目と 2 回目をまとめ、各連の選択肢の切り替え反応と、それ以外の反応（バウト内反応）とを区分けし、またバウト内反応が **VI/VR** 選択肢か **EXT** 選択肢かで区分けした。各選択肢のバウト内 **IRT** 分布のパラメータを推定し、各個体で推定された値の平均値をシミュレーションに使用した。2 つの **IRT** 分布のために使用したパラメータ値は図 3-8 の最左列に示す。**McLean et al. (2014)** と本実験 1 と同様に、ガンマ分布から 10,000 の反応連が各選択肢ごとに生成され、2 つの反応連列から交替に値を使用して、1 つの選択反応列を生成した。個々の反応に対して割り当てられる **IRT** は、反応が生じた選択肢に応じた **IRT** 分布からランダム抽出された。これらの反応系列とそれに結びついた **IRT** 系列がシミュレーションされた個体のローデータを構成した。**VI** または **VR** スケジュール要求を満たした反応は強化子

提示のタグをつけられた。条件に応じて、Fleshler-Hoffman 系列によって 12 比率で構成された VR20 と VI27 秒によって強化子が提示された(Fleshler and Hoffman, 1962)。

図 3-8 の上 2 段は並立 VI EXT スケジュールでの Win-stay, Fix-and-Sample モデルに基づいたシミュレーションの結果であり、下 2 段は並立 VR EXT スケジュールでの結果を示す。図左列はバウト内 IRT 分布と、Smith et al. (2014) のバウト分析に基づいて作成したバウト間 IRT 分布を示している。図中央列は対数生存時間指標に基づいた結果を図示し、図右列上段は両選択肢への反応連のガンマ分布、下段は切り替え反応の条件付き確率指標を図示したものである。

これらのシミュレーションの結果は図 3-6 に提示された実際のデータと比較すべきである。図 3-8 の対数生存時間指標は図 3-6 の実データに示された重要な特性を保有している。すなわち、強化されるレバーは線形に近似し、EXT レバーへは折れた棒状の形が得られている。そのうえ、図 3-8 の反応連の関数としての切り替え反応の条件付き確率もまた、図 3-6 の結果と似通っている。両図とも、強化されるレバーへの反応連は一定の確率でランダムに中断し、EXT レバーへの条件付き確率は反応連が伸びるにしたがって減少していき、反応固執の傾向を示している。図 3-8 左列のガンマ分布に基づく IRT 分布は期待通りにシミュレーションの Fix-and-Sample が働いたことを示唆する。EXT 選択肢の IRT 分布を見ると、バウト内 IRT は「Sample」の特徴が示唆するように鋭く減少している。さらにこの分布は長い尾を引いており、図 3-6 で見られた切り替え反応の固執傾向の特徴もシミュレーションに再現されている。バウト間分布に関しては一定で平坦な形をしており、これは強化されるレバーへの IRT 自発がかなり変動的であり、一度 Rich 選択肢へ切り替えたならば、Lean 選択肢である EXT レバーへいつ再び訪問するかは極めてランダムであり予測できないことを示唆している。

このモデルの予測性のもう 1 つの検証として図 3-2 の結果が役立つ。その図では正反応（刺激ライトが点灯している側の選択肢への反応）の確率は、およそ 0.7 から 0.9 へと最初の 10 秒程度の間に上昇していくことを示す。上段の D-VI 条件でも下段の D-VR 条件でも同様の傾向となっている。もしかするとこの結果は強化の後の Win-stay 傾向のためであったかもしれない。この仮説を検証するために、図 3-8 の分析のために使用した Win-stay, Fix-and-Sample モデルと同一パラメータ値を使って生成したシミュレーションデータから分析を行った。その結果を図 3-9 に提示する。この図では Win-stay 傾向がある場合 ($W = 3$; 黒丸) と傾向のない場合 ($W = 0$; 白丸) を示している。当てはまりは完全とは言えないが、Win-stay 傾向が付加された場合は図 3-2 の D-VI 条件で見られた結果におよそ従っている。Win-stay 傾向がない場合との比較から、強化直後にみられる誤反応の多さは次の強化は別のレバーから得られることを弁別刺激が示していてさえ、ラットは P レバーを選択する傾向があるためであることを確認できる。D-VR 条件での結果は D-VI 条件と同じ結論を支持している。

並立 VI VI 選好パルスのアーティファクト成分という視点への本モデルの含意

McLean et al. (2014) のシミュレーションは並立 VI VI スケジュールに選好パルスのアーティファクト成分があるかを検証するために設計された。この検証のための要件は選好パルスの分析をするために使用できる反応連系列を選択肢ごとに生成する選択ルールを作ることだった。そこでガンマ分布に白羽の矢を立てパラメータ k を 1 以上の値に設定し、分析の結果、選好パルスが起きることを見出した。加えて、指数分布する反応連系列を選択肢ごとに生成するためパラメータ k を 1 に設定した場合に選好パルスが生成可能であることも確認した。しかし、McLean et al. (2014) の多くのシミュレーションでは k が 1 以上に設定され、逆 U 字型の分布を使用することが好まれたようである。その理由は、その分布を使用することで選択肢ごとにバウトで生起する反応をシミュレーションできるからであり、反応バウトは McLean et al. が引用した先行研究で選択行動を特徴づける構造であったとされる (Banna and Newland, 2009; Menlove, 1975)。本論文における選択行動のモデルのうち、Fix-and-Sample の部分では、代わりに全体として選好される選択肢 (Fix-and-Sample の Fix 部分) でのパラメータ k は 1 に等しくすべきであり、好まれない選択肢 (Fix-and-Sample の Sample 部分) では 1 以下の値を仮定すべきだという主張を展開した。採用した k の値は本実験で得られた反応連の形状 (図 3-6 下段) と、他の先行研究で観察された切り替え反応の条件付き確率指標の形状から決定された (Silberberg et al., 1978; Silberberg and Zirias, 1982)。図 3-8 で例示されたようにこれらの k 値は、 $W = 3$ に設定した Win-stay 傾向と組み合わせる時、図 3-6 の結果を記述することを質的に十分に成し遂げることを示した。

もしこの Win-stay, Fix-and-Sample による選択行動の説明が受け入れられる場合、並立 VI VI スケジュールにおける選好パルスにアーティファクト成分があるという McLean et al. (2014) の主張に対して何が言えるであろうか。この問いを検討するために、図 3-7 のシミュレーションを、今度は図 3-8 で使用したパラメータ値を設定して繰り返した。図 3-10 左列に示されるように、Win-stay, Fix-and-Sample モデルは図 3-7 で見られたのと同じ形状を維持した。今回は本実験のデータから直接引き出されたパラメータであった。この結果は、本実験結果を説明するために McLean et al. (2014) の説明が十分な予測を保持するために必要な唯一の重要な特徴は選択行動に存在した Win-stay 傾向の存在であることを示している (図左列上段と下段を比較)。そのうえ、並立 VI VI スケジュールへ適用した時には、このモデルはなお、Win-stay 傾向がない場合でさえ選好パルスを予測し、Win-stay 傾向がある場合にはさらに頑強な選好パルスを予測する。この結果は、本実験においては McLean et al. (2014) とはかなり異なる方法で選択行動を特徴づけたのだが、それでもなお、並立 VI VI スケジュールに関しては選好パルスにアーティファクト成分があるという結論を共有することとなる (ただし並立 VR EXT スケジュールではそのように結論づけられない)。本実験の結果が McLean et al. の主張をさらに支持することは、パルスの効果は部分的にのみアーティファクトであるということにある。図 3-10 右列の結果は上段にみられる中程

度のパルスが並立 VI VI スケジュールの真にアーティファクトパルスを反映しており、一方、下段にみられる、より頑強なパルスは強化子誘導性による **Win-stay** 傾向の局所的効果を反映することを示唆するであろう。

本モデルは McLean et al. が選択行動の構造として仮定するバウト構造に反対する。これは単純に本実験で得られた実際のデータや、先行研究で報告されてきたデータと合致しないからである。両選択肢ともに逆 U 字型分布をしていると仮定することは、並立スケジュール下の反応に典型的な **Fix-and-Sample** の形状を把握できない。しかし、McLean et al. のガンマ分布による選択行動のモデル化という考えは顕著な概念的前進に当たることには変わらない。**Fix-and-Sample** の形状は単純にその分布のパラメータを変えることによって、バウトに基づく選択構造から転換することができたのである。

実験 4 選好の変動のメカニズムの探索

本論文のこれまでの実験報告によって、並立 VR EXT スケジュール、並立 VI EXT スケジュールにおける選択行動の構造及び変動性の記述を進めてきた。強化子提示後には、提示された強化子によって誘導され P レバーへ反応固執が起きる。時間経過と共に誘導による反応制御は減衰していき、やがてオペラント過程による反応制御が支配的になっていく。選択行動の全体的な変動性は Fix-and-Sample によってうまく記述される。つまり、強化レバーへ長く滞在し (Fix)、時折、EXT レバーへ移動する。いつ移動をするかは強化レバーへ自発した反応連の長さの関数として一様でランダムである。一方、EXT レバーへ移動後、多くの場合はわずか 2, 3 反応で強化レバーへ戻るが (Sample)、時折、EXT レバーへ固執し、非常に長い反応連を自発することがある。この EXT レバーへの固執性は、強化子提示後、一時的に EXT レバーへの選好が高まる EXT パルスによって解釈が可能であり、換言すると選択行動には Win-Stay 傾向が含まれていたとみなすことができる。実際に、この仮定にしたがってシミュレーションを行ったところ、実際のデータ分析から得られた多くの傾向と一致する結果を示すことができた。また、並立スケジュールで利用した強化スケジュールが VR であるか、VI であるかについては、反応率に差は生じたが、多角的な多くの分析において質的に同じ傾向を示した。これらの結果を踏まえて選択行動の変動性の記述として、選択行動の Win-Stay, Fix-and-Sample モデルを提案するに至り、これは本論文における選択行動の構造の分析及び、変動性の過程の記述における一つの到達点を示した。

本論文では、これまでの行動変動性研究が非常に複雑な手続きを用いてきたことを反面教師とし、なるべく単純な手続きを使用して選択行動の変動過程を調べることを目指した。並立スケジュールにおいて強化スケジュールを 1 つとし、もう一方を EXT スケジュールとしたことは、強化スケジュール間の交絡を防ぐための手続きの単純化の一つであった。しかし、選択行動の標準は Herrnstein (1961) 以来、並立 VI VI スケジュールである。標準的手続きに比べ、本実験手続きは、やや垂流であることは否めない。本論文では、並立 VI VI スケジュールに正面から取り組む前の段階で幕を引くが、より広く選択行動の構造及び変動性の過程における妥当性を検討することは、将来的に残された課題の 1 つと言えるであろう。本実験では、並立 VI EXT スケジュールを利用して、選択行動の変動のメカニズムについて更なる探索を進め、それにより、並立 VI VI スケジュールの検討へと移る前の段階の知見を深めることを目的とする。

実際のところ、誘導による Win-Stay および Fix-and-Sample 傾向は選択行動の記述として、どの程度の妥当性を持つのであろうか。まず 1 つの論点は左右レバーへの強化比と選好パルスの生起方向についてである。例えば、強化子による誘導が Win-stay 傾向を生じるという記述を進めてきたが、実際には誘導それ自体の特徴もまだよくわかっていない。Baum (2012) は、ラットにとってのエサのような PIE (phylogenetically important event)

が PIE の随伴した活動を PIE 関連活動として成立させ、以後 PIE は PIE 関連活動を誘導すると主張するが、細かなメカニズムの詳細については提案していない。Win-stay は動物やヒトで観察される行動傾向としてよく知られているが (e.g., Evenden and Robbins, 1984)、時には Win-shift 傾向が観察されることも報告されている (e.g., Olton, Walker, Gage, and Johnson, 1977)。Win-stay と Win-shift の傾向はどのような関係にあり、どのような要因が傾向を決定するのだろうか。これに関連して、選好パルスの研究においても、Win-Shift の報告がある。Cowie et al. (2011) はハトを用いた実験で、並立 VI 5 秒 VI 50 秒スケジュールを使用し、各強化子提示ごとに働く強化スケジュールをランダムに決定した (Stubbs and Pliscoff, 1969)。彼女らは多くの実験条件を設けて訓練を実施したが、そのうちの条件 4 では、もしある試行で選ばれたスケジュールが VI 5 秒であった場合は、必ず左キイから強化子が提示され、もし選ばれたスケジュールが VI 50 秒であった場合は、必ず右キイから強化子が提示される手続きを使用した (left sooner, right later)。結果、強化子提示後は、左キイへ強い選好が起き、時間経過と共に傾向は逆転し、右キイを選好するようになった。この傾向は最後の強化子が随伴提示されたキイ (P 選択肢) が左であるか右であるかに関係なく生じた。したがって、左キイが強化された場合には Win-stay 傾向と一致するが、右キイが強化された場合には Win-shift 傾向を示したことになる。

Cowie et al. (2011) の研究が示唆することは、強化子がすぐに提示されるキイが常に左であるため、強化子提示直後に左キイへと反応を戻す、一種のオペランダム的位置バイアスが生じており、これによって Win-shift 傾向が生じた可能性があるということである。これまで本論文で報告をしてきた実験は全て左右のレバー位置における強化比は 1:1 で均等としてきた。もし左右レバーへの強化子比分配を偏らせた場合、その偏りに応じて、位置バイアスが起き、それが選好パルスの方向に質的な影響を与えるのだろうか。

2 つ目の論点は刺激ライトの弁別刺激としての明瞭度と Fix-and-Sample 傾向の関係である。Fix-and-Sample 傾向はとりわけ COD を利用しない場合の並立 VI VI スケジュールで度々報告されており一般性を有している (Baum et al., 1999; Silberberg et al., 1978; Smith et al., 2014)。本論文では Fix 選択肢への反応自発はランダムに起き、Sample 選択肢への反応切り替え確率はおよそ一定であるとみなし、一方、Sample 選択肢への反応は反応バウト期とバウト間反応休止期の 2 状態から成るとみなした。しかし、選択行動における反応分布はいずれの選択肢でもバウト状であるとみなす報告もあり (Banna and Newland, 2009; Menlove, 1975)、そのような仮定を採用して理論を組む場合もある (McLean et al., 2014; Smith et al., 2014)。この見解の違いを和解させることは可能だろうか。考えられることの 1 つは本論文において採用してきた手続きにおいて、2 つの選択肢を定義する刺激ライトによる刺激性制御力が変数となる可能性である。例えば、並立 VI EXT スケジュールにおいて、もし刺激ライトが存在しないのであれば、左右のレバーに対して均等に強化子が配分される Stubbs-Pliscoff 型の並立 VI VI スケジュールと手続き的に同型である。この場合に VI 選択肢と EXT 選択肢にしたがって分析をした場合、おそら

く **Fix-and-Sample** と呼べるほどはっきりした傾向にはならないであろう。VI と EXT 選択肢は混じり合い、いずれも対数生存時間指標において、緩やかに折れた棒状の曲線を描くであろう。その場合は、いずれの選択肢もバウト状の分布をしているとみなされるであろう。つまり、選択肢を定義する刺激性制御力が十分ではない場合には、それに応じて **Fix** 選択肢と **Sample** 選択肢への反応は混在する様相を高めるであろう。

最後の論点は、マッチング法則である。すでに第 1 部でも論じたように、選好パルスがマッチング法則の基底メカニズムとみなす見解には否定的な報告がなされている (e.g., Davison and Baum, 2006; Landon, Davison, and Elliffe, 2002, 2003a,b)。したがって、マッチング関係を微視的なパルス現象へ還元可能か否かを明らかにすることを焦点とするわけではない。ここでの探索的検討の論点は、マッチング関係の刺激ライトの弁別刺激としての明瞭度との関係である。この点について、Sakai and Fukai (2008) は計算理論の観点から報酬最大化とマッチング行動との関係を検討しており、理論的背景を提供してくれる。工学における制御理論からの伝統により強化学習では入出力系の他に状態変数を重視する。状態変数は個体が意思決定を下す際に利用する情報と言い換えることができ、個体自身の過去の行動や、外受容的ないわゆる刺激や、それらの情報の“記憶”などを指す。酒井 (2013) は、個体が意思決定をする際に最大報酬を得るために適切な状態変数を取るメカニズムがあれば、報酬最大化し最適行動をとることができるが、マッチング関係が観測される典型的な強化スケジュールでは、適切な状態変数が何かわかりにくいスケジュールになっていると指摘する。VI スケジュールは、片方の選択肢を選択し続けている時間を現在の状態変数として用いて、その状態に応じて反応を行うことが、報酬最大化にとって必要となる。しかし、実験箱内の動物が適切にこの情報に注目をし続けることは容易ではないであろう。適切な状態変数を見出すことができず、状態の区別をしなかった結果、最大化できずにマッチング関係を示すのではないかと論じている。

類似の主張を Herrnstein and Loveland (1975) は考察において述べている。彼らは瞬時最大化の主張への回答として、マッチング関係が観測されるのは、強化スケジュールが等質 (homogeneity) な場合であると主張した。つまり、もし個体の行動が強化確率の非等質性に感受性を有するのであれば、その刺激が外受容的であれ内受容的であれ、行動は刺激性制御下にある。例えば、A と B の 2 つのキイがあり、B への反応がキイを緑色に変え、A への反応がキイを白色に戻す。緑色は次に A 反応が自発されるまで維持され、白色は次に B 反応が自発されるまで維持される。もしキイが緑色ならば、A 反応が確率 1 で強化され、B 反応が強化される確率はゼロとする。また、もしキイが白色ならば、A 反応が強化される確率はゼロで、B 反応は確率 0.5 で強化されるとする。このように色刺激を加えることにより、このスケジュールは今や多元スケジュールとみなすことができる。各成分は並立 **FR1 EXT** と、並立 **VR2 EXT** である。個体は比率スケジュールと消去スケジュールの間で選択を行い、各成分内で比率スケジュールを排他的に選ぶならば、それは最大化であり、かつマッチングも成立する。このような多元スケジュール事態において、成分間で合算した反応比が成

分間で合算した強化比とマッチング関係を示すことは誰も期待しないだろう。このような場合、マッチング関係の検討は多元スケジュール全体ではなく各成分内で行われることがふさわしい。マッチング関係は多元スケジュールの成分間のように刺激性制御によって強化スケジュール条件の違いが明示された条件下ではなく、多元スケジュールの成分内のように等質性が維持された条件下で観測されるべきであると論じた。

本論文で利用してきた手続きにおいては、個体が状態変数、換言すると報酬を最大化するために利用できる弁別刺激が明瞭に存在している。すなわち刺激ライトである。強化スケジュール如何に関わらず、個体は刺激ライトの点灯側へ常に反応を自発し続けなければならない。しかし、実際にはそれは不完全であることは、これまでの本論文の実験報告で一貫して示し、その原因はオペラント的意思決定の過程の他に誘導された反応が含まれることに依ると主張してきた。それでも、最大化とマッチングを両端に置いた軸を想定するならば、得られた結果は完全ではないとしても最大化傾向を示しているとみなすことはできよう。本実験において強化比を操作してマッチング関係を図示する際に、それに加えて、弁別刺激の明瞭度を操作した場合、どのようになるのだろうか。これまでのように 2 つある刺激ライトの一方が点灯し、他方が消灯する場合を本実験手続きにおける最大の明瞭度とするならば、2 つの刺激ライトを点滅させ相対点滅率を操作することで明瞭度を操作することができる。つまり、単位時間当たり（例えば 1.5 秒間あたり）いずれも点灯と消灯を均等に交互に繰り返す場合は、刺激ライトを弁別刺激として利用することは困難であろう。VI レバー側ライトの単位時間当たりの点灯時間を消灯時間より長くし、EXT レバー側ライトの単位時間当たりの点灯時間を消灯時間より短くすると、徐々に弁別刺激としての刺激ライトの明瞭性が高まっていくであろう。先の理論的予測に従うならば、刺激ライトによって VI レバーと EXT レバーの状態の区別をできない場合に最もマッチング傾向を示し、刺激ライトの弁別刺激としての明瞭度が高まるにしたがって、最大化傾向へ近づいていくであろう。

まとめると、実験 4 では、Win-Stay, Fix-and-Sample の妥当性の検討及び、選択行動研究への更なる接続を念頭に、選択行動の構造及び変動性に影響を与える可能性のある変数を操作し探索を行う。並立 VI EXT スケジュールにおいて、左右レバーへの強化比配分を操作することで、選好パルスへの影響を検討し、また刺激ライトの弁別刺激としての明瞭度を操作することで、Fix-and-Sample 傾向への影響及び、マッチング関係への影響を検討する。

方法

被験体

16 匹のオスの Wistar 系 ラット（被験体番号：D1 から D16）を実験に使用した。いずれの個体も実験未経験であり、実験訓練開始時に 44 週齢だった。その他の点は本論文実験 1 と同じであった。

装置

本論文実験 1 と同様の装置を使用した。

手続き

基本的な訓練手続きは本論文実験 1 と同じであった。刺激ライトを用いて並立スケジュールの訓練をする際に、並立 VI EXT スケジュールで訓練を行った。それぞれ 12 値を使用してスケジュールを構成した(Fleshler and Hoffman, 1962)。強化子提示の後にはブラックアウトが 2 秒間挿入され、その間に起きた反応は強化スケジュールへは影響を与えなかった。ブラックアウトの後すぐにランダムに刺激ライトが 1 つ点灯し、次の強化子提示と結びついたレバーの位置を明示した。EXT レバーから VI レバーへ切り替える際には切り替え遅延 (changeover delay: COD) 2 秒が課せられ、仮に次の強化子が装填済みであったとしても、COD が終了した後最初の反応まで強化子は随伴提示されなかった。VI スケジュール値は D1 から D8 は平均時間間隔が 2 秒から 20 秒まで上げられ、D9 から D16 は 2 秒から 40 秒まで上げられた。スケジュール値の変更は実験者の判断で行われた。各セッションの終了基準は 80 強化子提示または 60 分経過のいずれかが満たされることであった。実験で使用する VI 値まで上げられた後、D1 から D4 と、D9 から D12 を群 A、D5 から D8 と、D13 から D16 を群 B として、本実験が開始された。

焦点となる独立変数は 2 つあった。1 つは左右強化比であり、各試行で強化されるレバー位置が確率的に決定されたが、左レバーへ VI スケジュールが割り当てられる確率を操作した。2 つ目の変数は、刺激ライトの相対点滅率であった。1500ms を単位として VI レバーと EXT レバーの単位内での点灯時間割合を操作し、試行の間これを繰り返した。各レバーの点灯時間割合は次のアルゴリズムで算出した。

$$FlashExt = \left(\frac{x}{100} \right) \times 1500, \quad FlashVI = \left(1 - \frac{x}{100} \right) \times 1500 \dots\dots\dots(18)$$

x は相対点滅パーセンテージパラメータ、FlashExt は EXT レバーの点灯時間、FlashVI は VI レバーの点灯時間である。x = 0 の場合、FlashExt = 0ms、FlashVI = 1500ms となり、これは常時 VI レバーが点灯し、EXT レバーが消灯する状態に等しい。x = 50 の場合、いずれも 750ms となり 1500ms 中、前半半分が両レバーとも点灯し、後半半分が両レバーとも消灯し、刺激ライトを有効な弁別刺激として利用できなくなる。強化子提示後のブラックアウト終了後、最初の 1500ms において、各レバーの点滅開始時間が常に揃わないように、乱数でノイズをかけて開始時間をずらした。

群 A は個体内で刺激ライトの相対点滅率パラメータを 0、20、30、50 から取り替えなしに無作為抽出して各条件で利用し、左レバーへの VI スケジュール割り当て確率は 0.5、0.63、0.75、0.88 から 1 つを割り当て、以後全条件で同一個体は同一確率で維持された。群 B は個体内で左レバーへの VI スケジュール割り当て確率を 0.12、0.25、0.37、0.5、0.63、0.75、0.88 の 7 つの値から 1 つを各条件で利用し、刺激ライトの相対点滅率パラメータは同一個

体では全条件で同一の値が使用された。全個体の各訓練条件のパラメータを表 4-1 に示す。実験条件は次の基準を満たした場合に安定とみなし別の条件へと移行した。VI レバーへの相対選択割合について、最後の 9 セッションを 3 セッションブロックごとに分割し、ブロックごとに算出した中央値間の差の最大値が 9 セッション全体の平均値の 15%内に収まることである。分析には最後の 9 セッションを使用した。

結果

図 4-1 は両群の各条件における VI レバーへの反応割合を示す。上段は群 A、下段は群 B、左列は VI20 秒、右列は VI40 秒の結果である。個体ごとの各条件における結果を折れ線でつないでいる。同条件を 2 回実施している場合は折れ線がその平均値を通るように描かれている。群 A は刺激ライトの相対点滅率が 0 の場合、いずれの個体も最も反応割合が高く、点滅率 0.5 へ近づくにしたがって減少していった。D2 のみ刺激ライトによる刺激性制御が極めて低かったが、その他の個体は類似の傾向を示した。しかし、点滅率 0 においても VI レバーへの反応割合は 0.8 から 0.9 程度であり完全ではなかった。刺激性制御が無効となる点滅率 0.5 条件では左レバーへの強化比の違いに応じて反応割合の高さが順に並んだ。

群 B では典型的な結果傾向は、左レバーへの相対強化比の関数として U 字型の反応割合の変化を示した。強化比 0.5 で反応割合が微減した。しかし、D6 は左レバーへの強いバイアスのため右肩上がり傾向を示した。およそ刺激性制御の程度に応じて VI レバー反応割合は並び、点滅率 0 の個体が最も高く、点滅率 0.5 の個体が最も低くなった。点滅率 0.2 と 0.3 の個体は明確な違いを示さなかった。いずれの群においても VI スケジュール値の違いは大きな差を生じることはなく、その他の分析においてもその傾向は同じであったため、以後、VI 値においては合算し、分析に利用することとする。

図 4-2 は群 A の選好パルスの分析結果を示す。上段は P レバーが今や VI レバーとなった場合の選好パルス、下段は P レバーが EXT レバーとなった場合の選好パルスを表す。各列は、左レバーの強化確率の異なる個体ごとの結果を示している。結果は次の 5 つに要約される。(1) VI パルスは左レバーへの強化確率が上がるにしたがって、全体の選好が P レバー側へ上昇した。(2) 刺激ライト点滅率 0 の場合にはほとんどパルスの傾向は見られず、点滅率が上がるにつれ選好パルスがよりはっきりと生じた。(3) EXT パルスは点滅率の違いに関わらず観察された。点滅率は直接的に選好の水準に影響を与え、弁別が良好であるほど今や VI レバーである N レバー側への選好が強く生じた。(4) 強化確率 0.88 の場合の EXT パルスはほとんど生じなかった。(5) 左レバーへの強化確率の違いは VI パルスの場合と異なり、全体の選好水準に影響を与えることはなかった。

図 4-3 は群 A の選好パルスを P レバーの位置によって更に分割した。上 2 段がその P レバーが再び VI レバーとなる VI パルス、下 2 段が P レバーが今や EXT レバーとなる EXT パルス、1 段目と 3 段目は P レバーが左レバーだった場合、2 段目と 4 段目は P レバーが右レバーだった場合について示している。各パネルには刺激ライト点滅率の異なる 4 条件

が含まれている。データ数が少ないため 4 秒ビン間隔で計数をした。Log P/N 反応比であるので、いずれのパネルでも反応比のプラス方向へ強化直後に一時的に偏り、その後選好が減少していく曲線が描かれれば、選好パルス傾向が示されたことになる。結果は 6 点に要約される。(1) 左 VI パルス図では左強化確率が高まるにしたがって、初期選好の高さが高くなり、よりはっきりしたパルス傾向を示した。(2) 右 VI パルス図では、条件の違いに関わらず選好パルスは観察されなかった。むしろ、全体的な選好水準は左強化確率が上がるにしたがって、N レバー側（すなわち左レバー）へ下がっていった。また、選好曲線が右上がりに推移していく、弱い逆パルス傾向が見られた。(3) 刺激ライトの点滅率が低く、弁別が容易であるほど、左右いずれの場合も P レバー側へより選好が維持される傾向があった。(4) 左 EXT パルス図では、いずれの左強化確率条件でも、EXT パルス傾向が示された。全体的な選好水準は左強化確率が高まるほど P レバー側へ選好は偏っていった。その傾向はライト点滅率が高く、刺激性制御が効かない場合ほど顕著であった。(5) 右 EXT パルス図では、いずれの左強化確率条件でも目立ったパルス傾向は生じなかった。左強化確率が高くなるほど N レバー側へ選好は偏っていき、またいくらか逆パルスの傾向が生じた。(6) 刺激ライト点滅率が低く弁別が容易であるほど N レバー側へ選好が遷移する傾向が強かった。

図 4-4 は群 B の選好パルスの結果を表す。上段は VI パルス、下段は EXT パルス、各列は刺激ライト点滅率の異なる個体ごとの結果である。結果は 6 点に要約される。(1) VI パルス図において左強化比の偏りが強いほど全体的な選好水準は高くなった。ただし刺激ライト点滅率 $f1 = .2$ や $f1 = .5$ の追試の一部で選好がほとんどなくなった。(2) VI パルス図において刺激ライトの点滅率の違いによる系統だった差は見られなかった。(3) VI パルス自体は $f1 = .5$ の一部の条件以外ではほとんど見られなかった。(4) EXT パルス図において左強化確率の違いは、 $f1 = 0$ では大きなばらつきを示したが、すべてのパネルに一貫して系統だった影響は示されなかった。(5) EXT パルス図において刺激ライトの点滅率の違いにより全体の選好水準の高さに変化が見られ、点滅率が上がるに従い、無作為へと近づいていった。(6) EXT パルス自体は $f1 = .2$ 以外ではその傾向が観察されたが、全体的に群 A に比べて傾向が小さかった。

図 4-5 は群 B の選好パルスを P レバーの位置によって更に分割した。図 4-3 と同様、上 2 段がその P レバーが再び VI レバーとなる VI パルス、下 2 段が P レバーが今や EXT レバーとなる EXT パルス、1 段目と 3 段目は P レバーが左レバーだった場合、2 段目と 4 段目は P レバーが右レバーだった場合について示している。結果は、(1) ライト点滅率 0.5 の左 VI パルス及び左 EXT パルスはいずれも非常に強い選好パルスを示した。(2) その他の左 VI パルス条件では、ほとんど選好パルスは生じず、左 EXT パルス条件では、群 A に比べて非常に弱い EXT パルス傾向が生じた。(3) 右 VI パルス図及び、右 EXT パルス図では、ライト点滅率 0.5 の左右強化比が均等に近い場合に、逆パルス傾向が示された。(4) その他の右 VI、EXT 両パルス図では選好にほとんど変化はみられなかった。

群 B の EXT パルスが小さかった理由は、強化比条件の繰り返し移行のためであったよう

だ。これを示すために、図 4-6 は代表として D5 から D8 までの個体ごと EXT パルスを実験条件ごとに並べた。各行は各個体を表し、各列は最左列から順に各個体が経験した実験条件を表している。各パネル内左下の数値は各条件における左強化確率を表す。最初の条件においては強化比条件に関わらず全ての個体で EXT パルスが生じているが、各行のパネルを右へ進むにつれてほとんど EXT パルスは生じなくなった。もう 1 つ注目すべき傾向は実験条件が進むにつれて徐々に無差別へと近づいていくことである。顕著なのは刺激ライト点滅率 $f_l = 0$ であった D5 である。EXT パルスの図において N レバーこそが今や VI レバーであり、弁別刺激がそれを明示しているにも関わらず、無差別選好へ近づいていった。

図 4-7 は上段及び中段は、群 A のデータに対する対数生存時間指標、下段は反応連の関数としての切り替え確率による分析結果を表す。パネルはそれぞれ 3 行 4 列の 4 領域に分割され、左上、右上、左下、右下の順に左強化確率 0.5、0.63、0.75、0.88 の個体群データである。各領域は最左列から順に刺激ライトの点滅率 0、0.2、0.3、0.5 の場合の結果を表す。結果は 5 点に要約する。(1) VI レバーに対する反応の対数生存時間指標は、ほとんどが直線に近い形状となっており、他方、EXT レバーに対する反応の対数生存時間指標は、折れた棒状となっている。しかし、(2) EXT レバーでの対数生存時間指標は、点滅率 0.5 となると、ほとんど VI レバーと同様に指数分布的自発を示した。(3) 切り替え反応確率の分析では EXT レバーへの反応は短い連で高い確率を示す傾向があり、その後右肩下がりになり切り替え確率が下がっていった。ただし、左強化確率 0.5 の点滅率 0.5 条件においては反応連が伸びるにしたがって更に切り替え確率が上昇した。(4) 切り替え反応確率の分析で、VI レバーへの反応は EXT レバーに比べ変化は小さく比較的一定だったが、やや右肩下がりの傾向があり、EXT レバー同様に固執傾向が見られた。また、(5) VI レバーからの切り替え確率は、ライト点滅率が上昇するにしたがって上がっていき、徐々に EXT レバーからの切り替え確率曲線と重なっていった。

図 4-8 の点は群 B の Log L/R 強化比の関数としての Log L/R 反応比を示す。最左列から刺激ライト点滅率 0、0.2、0.3、0.5 の個体のデータである。直線は一般化マッチング法則の式を当てはめたものである (p. 25 の式 (7) 参照)。パネル内の a と b は当てはめにより求めた感度パラメータとバイアスパラメータを表す。刺激ライトの点滅率 0 の 2 個体はほぼ完全なマッチングに従った。その他の個体は感度 0.6 前後の過小マッチング傾向を示した。D6 は非常に強いバイアスを示した。

図 4-9 は更にデータを P レバーが VI レバーとなった試行と、P レバーが EXT レバーとなった試行のデータに分割し、それぞれでマッチング関係の分析を行った。前者を VI マッチングと呼称し図上 2 段に、後者を EXT マッチングと呼称し図下 2 段に個別別データを提示した。各列は図 4-8 と同様に刺激ライト点滅率別に順に配している。結果は 3 点で、(1) VI マッチングは刺激ライト点滅率 0.5 の最右列の個体を除き、図 4-8 の全体マッチングよりも感度が上がった。とりわけ、(2) 最左列の D5 及び D13 は感度が 1 を超え過剰マッチングとなった。(3) EXT マッチングは逆に最右列の個体を除く 6 個体の、感度の範囲は最小

値 0.12 から最大値 0.38 であった。

EXT マッチングがほとんど強化比に対する感度を示さない点は、強化子提示直後とある程度の時間経過後で異なるのだろうか。図 4-10 は強化子提示後 12 秒までの反応データに基づくマッチング及び、20 秒から 40 秒までのデータを元にしたマッチング関係を提示する。各パネルの白丸は、刺激ライトが P レバーへ残った VI マッチングの事例、黒丸は刺激ライトが N レバーへ移った EXT マッチングの事例を表す。強化子提示直後 12 秒内の感度のみが悪いということではなく、強化子提示後 20 秒から 40 秒経過した後もほとんど感度の変化は見られなかった。すなわち、EXT マッチングにおけるマッチング関係の当てはまりの悪さは、その試行を通して時間経過後も変わらず継続していた。

考察

本実験の結果は、次のように要約できる。群 A の選好パルスについて、(1) VI パルスはライトによる刺激性制御が効いているほど生じにくかった。刺激ライト点滅率 0.5、すなわち弁別刺激として利用不可能な場合には無差別点へ向けて選好が減少していくことによってパルスの形状が示された。一方、(2) EXT パルスは左強化確率 0.88 の場合を除き刺激性制御の如何に関わらず発生した。したがって実験 3 で確認した片方のレバーのみへの選好パルスが本実験でも再現された。群 B の選好パルスについて、(3) VI 選好パルスはほとんど生起しなかった。(4) EXT 選好パルスは生起したが群 A に比べて緩やかな傾向であった。(5) 群 B の EXT パルスでは、訓練条件を重ね様々な左強化確率へと条件を変えていく過程で P レバーへの一時的な選好が失われると共に、強化比の変化に関わらず無差別点へと選好が近づいていった。(6) 左強化確率の違いは主に VI パルスにおける平均的な選好の底上げに影響を与えたが、EXT パルスへは系統的な影響を与えなかった。(7) ライト点滅による弁別刺激の明瞭度の操作は、VI パルスでは明瞭であるほど高い P 選好の維持に貢献し、EXT パルスではパルスが明瞭であるほどパルスの全体水準を N レバー方向へと偏らせることに貢献した。(8) 対数生存時間指標は、全体の傾向として VI レバーへの IRT 及び ICT は指数分布的、EXT レバーへはバウ特的な傾向を示し、実験 3 の傾向を追試した。(9) 反応連の関数としての切り替え反応確率は、VI レバーからの切り替え確率は低く一定に近かったが条件によってはやや反応連の増加と共に右下がりとなりいくらかの固執傾向が見られた。一方、EXT レバーからの切り替え確率は短い連で高く、反応連の増加と共に右下がりとなり、固執傾向が見られた。(10) 左強化確率の違いによる影響は、対数生存時間指標においても切り替え反応確率においてもあまり見られなかった。(11) 刺激の明瞭度の違いは、不明瞭になるほど VI レバーからの切り替え確率が高くなっていき、EXT レバーへの切り替え確率と近似する傾向を示した。(12) 群 B のマッチング関係は刺激の明瞭度が最も高い点滅率 0 条件個体において、最も完全マッチングに近付いた。その他の刺激明瞭度ではいずれも同程度の過小マッチングを示した。(13) P レバーが VR レバーとなった試行のみのデータによるマッチング関係は、全体マッチングに比べて感度が上がる傾向があった。ライ

ト点減率 0 の条件個体では過大マッチングを示した。(14) P レバーが EXT レバーとなる試行でのマッチング関係は、ほとんど成立せず、とりわけ刺激の明瞭度が高い条件個体で傾きはかなり浅くなった。この傾向の原因は強化子提示直後に集中しているというより、EXT マッチングの試行を通して同傾向が維持されるようであった。

本実験の目的は 3 点あった。それぞれについて結果からどのように結論づけられるであろうか。まず、選好パルスへ位置バイアスが影響を与えたであろうか。本実験ではレバー位置に対する強化比を操作することによって左右の位置バイアスを引き起こすことを狙った。結果は全体の選好水準を左へ偏らせる効果がとりわけ群 A の VI パルス図において明瞭に見られ、また左 VI レバーへの選好パルスもいくらか強まった。EXT パルスにおいても左強化確率 0.88 条件では、全体選好水準が左 P レバーへ傾いたが、その他の条件においては効果は見られず、また EXT パルス自体をより強調する効果はなかった。一方、右レバーへの選好パルスは、ほとんど起きず、いくらか逆パルス傾向が生じたが、多くの事例において選好は時間経過に対して比較的一定で大きな変化を示さなかった。逆パルスとは強化後に一時的に N レバー側へ選好が偏ることであるので、緩やかな Win-shift 傾向が一部で見られたといえる。そうであってさえ、Cowie et al. (2011) が観察した右キイから強化子が随伴提示された直後に N レバーである左キイへ選好を示すというような強固な逆パルス傾向が生じたとは言い難い。P レバーへの選好パルスの起こりやすさに対して、N レバーへの逆パルスは、ただ強化比を操作してレバー位置へバイアスをかけただけで対称的に生起するわけではなさそうである。本実験と Cowie et al. ではどのような違いが考えられるだろうか。Cowie et al. では VI5 秒によって左キイから強化子が提示されたため、反応を開始すればほとんどすぐに手に入る強化子が左キイには装填される可能性があった。これは大きな動因としてオペラント制御を高めるために役立ったであろうと推察できる。一方、本実験ではそれほどすぐに次の強化子が入手できることは稀であったであろう。本論文の実験 2 では VR スケジュールの比率値が小さいほど、正反応率が高い、すなわち次の強化子が提示されるレバーへ向けた反応が生起しやすいことが示されており、この推察に根拠を与える。それに加えて、様々な訓練条件を重ねることで Win-stay 傾向は抑制されていた可能性がある。実際に Cowie et al. (2011) では多数の実験条件を設け、それはただ強化比を操作するというよりも、分化強化の質を変化させるような大きな変化を実施している。このような環境操作が影響を与えた可能性が考えられる。つまり、強化子に依る誘導効果を抑制した上で、強化子提示後のオペラント制御の立ち上がりをより促進するという 2 過程の操作が組み合わさることが強い Win-shift 傾向を発達させるのかもしれない。

VI レバーと EXT レバーを示す弁別刺激の明瞭度の操作により Win-stay, Fix-and-Sample 傾向はどのように影響を受けたであろうか。対数生存時間指標は刺激ライトの点減率 0、0.2、0.3 の 3 条件では類似の分布を示した。VI レバーへの反応ではおよそ直線となり、これは反応間時間 (IRT) 分布及び切り替え間時間 (ICT) 分布が重複し、バウト内 IRT とバウト間 ICT という 2 状態から構成されるとみなすことは冗長であり、反応自発は完全

に時間経過に対し一様で指数分布的であることを意味する。一方、EXT レバーへの反応では折れた棒状になり、これは 2 種類の指数分布の合成とみなすことができ、IRT 分布と ICT 分布を分け、反応は 2 状態に分かれるバウト内反応自発期とバウト間休止期があるとする主張と一貫している。EXT レバーへのバウト反応は比較的長く続く休止期、すなわち VI レバーへの反応自発によって区切られ、個別のバウトが時間軸上に点々と存在することを意味する。したがって、これらの結果から **Fix-and-Sample** 傾向が読み取れる。ライト点滅率 0.5 ではいずれのレバーに対する指標も直線状に近付いていった。実験 4 の序論において、ライトによる刺激性制御が効かない場合には VI 分布と EXT 分布が混じり合い、いずれも折れた棒状となり、いくつかの先行研究が仮定するように両レバーともバウト的反応分布を示すと予測したが、結果は、両レバーへの反応自発はいずれも指数分布的になった。分布を構成する反応数の違いのためであると考えられる。すなわち、8 割から 9 割もの圧倒的多数の反応は VI レバーに対して自発され、EXT レバーへの反応とは総数において全く異なる。そこで、この両レバーの反応分布が混じり合った場合には、EXT レバーへの反応傾向は VI レバーへの反応の中に埋もれて見えなくなってしまうのだろう。したがって、本研究からは並立スケジュールを構成する 2 つの選択肢と結びつく弁別刺激の明瞭度の違いによって、選択行動において両選択肢ともバウト状の反応自発を行うという知見は得られなかった。また、左強化確率の変化による影響はほとんど見られなかった。

EXT レバーへの反応連の関数としての切り替え反応確率プロットからは、EXT レバーへの反応がわずか数反応で終わり、すぐに VI レバーへ戻る可能性が高いことが窺える。しかし、反応連が伸びるにしたがって切り替え反応確率は減少していき、時々非常に長い反応連を自発している。この傾向は EXT パルスを構成する **Win-Stay** 傾向、とりわけ左レバーへの固執傾向を示唆している。一方 VI レバーへの切り替え反応確率はおよそ一定であるが、いくつかのパネルでは、緩く右下がりの傾きを示し、これは VI パルスにおいても EXT パルスほど明瞭ではないが、**Win-Stay** 傾向が含まれることを示唆する。VI レバーへの選好パルスが現れない理由はこれまで考察してきたように反応率の天井効果によるものであろう。すでに VI レバーへは高頻度で反応が自発されており、誘導された反応がそこへ加えられても、検出されるほどの変化が現れないのであろう。これらの結果は、実験 3 において仮定した理論的仮定を支持し、**Win-Stay**, **Fix-and-Sample** モデルの頑強さを示すものとなった。左右の強化確率を変えることによってバイアスを与えても、両選択肢を示す刺激ライトを点滅させることで弁別刺激の明瞭度を落としても、刺激ライトの弁別機能を完全になくさない限りは、このモデルの主張する反応構造は保たれることがわかった。

実験 4 の序論において、マッチング関係が成立するのは最大化をするために注目すべき状態変数、すなわち手がかりが不明瞭な場合であると予測された。本実験では刺激ライトの明瞭度の操作によってこれを検討した。全体のマッチングにおいてはこの仮定とは相いれない結果が現れた。すなわち、両選択肢を最も明示的にライトが示した点滅率 0 条件において完全マッチングに近似し、その他の点滅率では、過小マッチングとなった。しかし、さ

らなる分析として、P レバーが VI レバーとなった試行 (VI マッチング) と、EXT レバーとなった試行 (EXT マッチング) に分け検討した。VI マッチングはランプ点滅率 0.5 では全体マッチングからほとんど変化はなく、点滅率 0.2、0.3 は依然過小マッチングであったが、感度は 1 へ近づいた。そして点滅率 0 では過大マッチングへと移った。これは次に強化されるレバー位置へより反応を多く配分していることを意味し、完全ではないにしろ最大化傾向を示したと言えるであろう。

一方、EXT マッチングにおいては、点滅率 0.5 では全体マッチングから変化はほとんどなかったが、その他の点滅率ではいずれも左右強化比への感度が著しく減少した。これはマッチングとも最大化とも異なり、選択行動が強化子による制御から離れ、でたらめに反応を配分する傾向と言える。これは EXT レバーへの選好パルスが原因とも言い難い。理由は 2 点ある。1 点目は、群 B の EXT パルスは、訓練条件を変化させていく過程で失われていく傾向があったからである。もう 1 点は、選好パルスの影響が強く現れると考えられる強化子提示後 12 秒までと、その影響が減衰したと想定される 20 秒から 40 秒までのマッチング関係を検討したところ、一貫して類似の傾向を示したからである。次の強化子が N レバーから提示されることが明示されていたにも関わらず、ほとんど無差別に反応分配を行った。何故このような結果が現れたのか現段階では理由は不明である。少なくとも、これまで選択行動で考えられてきたマッチング関係か最大化かという観点からは説明することが困難であり、選択行動の変動性の生起原理の理解の不十分さを痛感させられ、また、新たな現象を掘り起こす余地が残されていることが示唆される。

総合考察

実験報告の要約

並立スケジュール事態において最後に強化子が提示されたレバー (P レバー) に対する相対反応率が強化子提示後に一時的に高まり、時間経過とともに減衰していく傾向を選好パルスと呼ぶ。選好パルスは典型的に P レバーと強化子が提示されなかった側のレバー (N レバー) への反応の比の対数によって図示される。本論文では選好パルスに関わる 4 つの実験を報告した。共通する基本手続きは並立スケジュールを利用し、強化レバーと消去レバーに対する反応自発を記録することであった。消去レバーへの反応は記録されるだけであり、何も後続事象が随伴することはなかった。両スケジュールは左右のレバー位置に対して、強化子提示ごとにランダムに割り当てられた。

実験 1 は消去レバーに対する EXT 選好パルス現象の発見報告と、それに対する強化子による誘導仮説の提唱を行った。8 個体の Wistar 系ラットに対し刺激ライトを利用した弁別訓練を行った。並立 VR20 EXT スケジュールにおいて、各レバーの上部にある刺激ライトのうち、現試行で VR レバーとなった側のライトが点灯し、その試行が終了するまで維持された。強化子が提示されると再びランダムに左右のいずれかの刺激ライトが点灯した。ラットは弁別刺激の獲得は十分にできたが、VR レバーへの反応が完全になることはなく、EXT レバーへ 1 割前後の反応を自発していた。その原因を分析する過程で消去レバーに対する選好パルスが見出された。この手続きにおいては P レバーが再び VR レバーとなる試行と、P レバーが今や EXT レバーへ変わる試行が存在する。前者における選好パルスを VR パルス、後者を EXT パルスと呼ぶ。選好パルスの分析の結果、VR パルスは傾向に個体差があり一貫性は見られず、またパルスの曲線も比較的小さな変化を示すのみであった。一方、EXT パルスは全個体で一貫して観測され、その変化も無差別点をまたぎ P 選好から N 選好へ比較的大きな変化を示した。選好パルスは、先行研究において強化機能と弁別機能のどちらのオペラント過程に責を負うのかが検討されてきたが、いずれも EXT パルスを説明できないとみなし、またシミュレーションによりアーティファクト説をも斥け、Killeen et al. (1978) の誘導モデルのデータへの当てはまりの良さを示し、強化子によって一時的に P レバーへ反応が誘導されるとする仮説を提案した。

実験 2 では、強化子による誘導仮説と、オペラント過程による制御の可能性としての 3 項強化随伴性の揺れ仮説のどちらがより妥当であるか仮説検証を行った。検証の論点は 2 つあり、1 つは刺激ライトによる弁別制御が効果を発揮するまでに、強化子提示後いくらかの時間的遅延が存在し、その弁別制御の遅延のために EXT パルスが発生するのか、もう 1 つはライトによる弁別制御が遅延する間に P レバーへ自発される反応の原因は強化子の強化機能のためであるかという問いであった。まず論点 1 の検証課題を次のように設定した。並立 VR EXT スケジュールにおいて VR レバーへの反応割合を正反応率とみなした場合、

VR 比率が高いほどコストが高く、被験体にとって刺激ライトの存在が重要になるため、刺激性制御が獲得されやすく、正反応率が上がると考えられる。もしこの弁別変数が正反応率の決定にとって重要であるならば、高い VR 比率で訓練を積み刺激性制御を確立する機会を経た後は、より低い VR 比率条件へ移した場合にも正反応率が転移し高く維持されるだろう（下降系列群）。一方、低い VR 比率で安定するまで訓練を重ねた後に高い比率へと移していく場合には、刺激性制御を十分に確立する機会を持たなかったため、低い VR 比率では低かった正反応率が、VR 比率を上げるにしたがって上がっていくだろう（上昇系列群）。しかし、もし刺激性制御の確立が正反応率に対する変数ではなかった場合には、予測されたような群間の傾向差は見られないであろう。次に論点 2 の検証課題として、全体強化率と反応頻度の関係に注目をした。オペラント行動とスケジュール誘導性行動はいずれも強化率の変化に対し逆 U 字を示すと言われるが、実際には両者は正負で逆方向の歪みを持っている。VR や VI スケジュールにおけるオペラント行動は 10/min 程度の強化率で反応頻度が最大になり、強化率の減少と共に反応も減っていく。一方、スケジュール誘導性行動は 1/min 以下の強化率において頻度が高く生じ、それより強化率が増加するとともに反応が減っていく。そこで、EXT パルスを構成する今や EXT スケジュールに結びついた P レバーへの反応頻度が VR 比率ごとに異なる全体強化率に対しどのような傾向を示すか観測を行った。これらの仮説検証のために、Wistar 系ラット 4 個体を上昇系列群と下降系列群に分け並立 VR EXT スケジュールで訓練を行った。その結果、EXT パルスを構成する試行全体の正反応率については、刺激性制御が変数である場合の正反応率の変化の予測と一致したが、強化子提示直後のみの正反応率を調べたところ、予測通りにはならなかった。EXT パルスにおける P レバーへの反応頻度は強化率が下がるほど反応が多く自発される傾向が示された。結論は、強化子による誘導説の妥当性が高く、強化子提示直後には P レバーへ誘導反応が生起し、誘導反応の減衰後に、オペラント制御された反応自発へと移行する過程が示唆された。その意味で刺激ライトによる弁別制御の遅延は確かに認められるが、正反応率への影響は、強化子提示直後ではなく、このオペラント制御が効力を発揮しはじめてから専ら行使された。

実験 3 では選択行動に対する構造の記述モデルとしての Win-Stay, Fix-and-Sample を提案するために、再び並立 VR20 EXT スケジュールで 6 個体の Wistar 系ラットを訓練した。加えて、別の 6 個体を並立 VI27" EXT スケジュールで訓練し比較した。また ABAB デザインにより、刺激ライトが弁別刺激となる条件及び、強化子提示位置が次の強化子提示位置の弁別刺激となる条件との比較を行った。分析に使用したいいくつかの指標において VR と VI 両スケジュールは選択行動の構造については量的な違いはあれども質的には同等であった。全条件において EXT パルスが観測された。モデルは McLean et al. (2014) のガンマ分布シミュレーションを土台に利用した。McLean et al. は選好パルスのアーティファクト成分を取り除くための帰無仮説的選好パルスとして提案をしたのだが、実験 1 において実際の EXT パルスとは反対方向にパルスが生じる逆パルスとなってしまうことを確認した。こ

のガンマ分布選択ルールは並立 VI VI スケジュールにおける選好パルスの記述としては比較的良好であることが知られているが、誘導による Win-stay 傾向を考慮に入れていないことが並立 VR EXT スケジュールでの EXT パルスの模擬の失敗の原因と推定した。そこで、Win-stay 傾向を加えたガンマ分布選択モデルでシミュレーションを行い、質的に EXT パルスを予測可能であることを確認した。しかし、対数生存時間指標で各レバーへの反応傾向を調べたところ、VR、VI レバーへの IRT と切り替え反応間時間 (ICT) は区別する必要がなく、まとめて指数分布による反応自発とみなせる一方、EXT レバーへの IRT と ICT は別の指数分布として区別すべきであることが示された。つまり、EXT レバーへの反応はバウト的に生起していたが、VR、VI レバーへの反応自発は時間経過に対し一様の確率でランダムに自発されていた。EXT レバーへの反応連は基本的に短く、すぐに切り替える確率が高いが(sample と解釈された)、時々非常に長い連を自発することもわかった(Win-stay と解釈された)。そこで VR、VI レバーへの反応連を生成するガンマ分布のパラメータを変更することで Win-Stay, Fix-and-Sample シミュレーションモデルを作成した。これにより並立 VR EXT スケジュール、並立 VI EXT スケジュールの選好パルスを模擬でき、かつ並立 VI VI スケジュールにおける選好パルスの記述も以前と同様に可能であることを確認した。

実験 4 では Win-Stay, Fix-and-Sample モデルの一般性の検証と、選択行動研究への橋渡しとしてマッチング関係を探的に確認した。検討した論点は 3 点である。1 つは、Win-stay 傾向は左レバーへの強化子提示確率を操作することによって位置バイアスを引き起こすことによって Win-shift 傾向へ変えることが可能か、2 つ目は、刺激ライトの弁別刺激としての明瞭度を落としていくと、Fix-and-Sample 傾向は両選択肢への反応ともバウト傾向へ変化するのか、そして 3 つ目は、刺激ライトの弁別刺激としての明瞭度が低い場合にはマッチング傾向が、高い場合には最大化傾向が生じるのか、これらを検証した。16 匹の Wistar 系ラットを 2 群に分け、群 A は左強化確率の操作を 4 つの下位群間で、刺激ライトの明瞭度を個体内で操作した。群 B は刺激ライトの明瞭度を 4 つの下位群間で操作し、左強化確率を個体内で操作した。結果は、左強化確率を高める操作によって、左反応への選好が増し、選好パルスもいくらか高まった。その一方で右反応はほとんどパルスが生じず、強化子提示からの時間に対して選好はおよそ一定であった。つまり、片側の Win-stay 傾向を抑制することには成功したが、これだけで Win-shift 傾向へ転換させることはできなかった。Win-stay, Fix-and-Sample 傾向は刺激ライトの明瞭度を落としても根強く残る傾向を示し、唯一刺激ライトの手掛かりとしての効力を完全に排除した条件において Fix-and-Sample が崩れた。しかし、この時、両選択肢がバウト状になるのではなく、むしろ、いずれも指数分布的な反応自発傾向へと変化した。少なくともこの実験の結果からは選択行動のいずれの選択肢もバウト的になるとする主張とは食い違いを示した。マッチング関係は VI パルス試行と EXT パルス試行に分けて検討した。前者を VI マッチング、後者を EXT マッチングと呼ぶ。少なくとも VI マッチングでは、ある程度予測どおりの傾向を示した。刺激ライトの明瞭度が最も高い場合には過大マッチングとなった (本実験における最大化

へ近い傾向)。しかし、EXT マッチングにおいては逆に刺激ライトが手掛かりとして利用可能な場合には、ほとんど水平に近い水準まで過小マッチングとなり、ほとんどマッチングの予測に当てはまっていないとみなせる内容となった。しかし、最大化の予測ともそぐわなかった。これは思わぬ結果であり、その原因は明らかではないが、新たな現象として追及する価値もあるかもしれない。しかし、その現象の追及は本論文の主旨とは離れるため今後の課題として残す。

本実験からの諸研究領域への示唆

選好パルス現象と選択行動研究

Davison and Baum (2002) が選好パルスと言う名前を現象に与えて以来、10 年以上にわたり選択行動研究の新たな展開として注目を集めてきた。これまでの先行研究においては強化子の強化機能説、強化子の弁別機能説、そして、アーティファクト説が提唱されていた。2013 年あたりまでの選好パルス研究の流れは強化子の弁別機能説による説明を補強する論文が多く発表されていた。そのような中で、本論文実験 1 において EXT レバーに対する選好パルスが発見されたことは、この現象研究に 1 つの大きな影響を与えたと思われる。なぜなら、素直に解釈をするならば、EXT レバーへの選好パルスは徹底的に弁別機能を否定するものだからである。刺激ライトが次に強化される位置を信号しており、十分な訓練を積んだ個体は刺激ライトによる刺激性制御を獲得している。それにもかかわらず、強化子提示後しばらく強化される見込みのない今や EXT レバーとなった P レバーへ戻り反応を繰り返すのである。最初に本実験 1 で使用した強化スケジュールが VR スケジュールであったことも重要である。VI スケジュールの場合には、EXT レバーへ反応を自発して過ごす時間が長ければ長いほど、VI 強化子が装填される確率が高まっていく。したがって、偶発的に EXT レバーへの反応が強化されたという解釈も可能である。しかし、VR スケジュールの場合、EXT レバーへ反応している間は強化確率が全く変化しない。いかに考えようと、その反応は冗長であり無駄なのである。

弁別刺激による刺激性制御が遅れを伴い、その間はレバー位置が弁別刺激となり P レバーが強化されたという修正解釈はあり得よう。このように考える場合、選択行動とは、複数の三項強化随伴性が重複的に絡み合う過程であるという見方に焦点を当てることになる。時には反応と強化子は同じだが、先行する弁別刺激あるいは状態変数だけが競合しながら制御の座を奪い合う。一見複雑ではあるが、実際には並立スケジュールにおいて左レバーへ反応し強化されることと、右レバーへ反応し強化されることは絶えず競合しているのである。刺激ライトによる制御はこれらに更に加えられた状態変数として存在する。オペラントの選択行動としては、このようにみなすことは理論的に捉えやすいのかもしれないが、そこに PIE 関連活動となった P レバー押し行動が誘導されるという解釈が加わる。本実験 2 では、これらの説の仮説検証を試みたが、まだ多角的に検討する余地は残っていると思われる。

このような展開を考慮してみると、選好パルス研究で当初唱えられていた強化機能説と

弁別機能説の対立という構図はやや不思議に思えてくる。オペラント行動は 3 項強化随伴性が基本単位であるならば、弁別機能が獲得されるのは強化されたからであり、強化機能が強めるのは、ある弁別刺激と反応との結びつきとみなすことができる。その場合には、両仮説の予測は同じになるだろう。これまで選好パルスを巡る仮説はやや定義が曖昧なまま議論が進められてきたように思われる。しかし、これは誘導説についても言えることである。本当に誘導は P レバーへのみ反応を生起させる仮定なのか、あるいは条件次第では、N レバーへの反応を誘導させることがありうるのか。本論文の実験 4 の結果は P レバーへの反応回帰のしやすさに比べて、N レバーへの Win-shift の立ち上がりの重さが印象的である。誘導の抑制までは可能だが、誘導は P レバーへ生じるものであり、Win-shift 傾向は弁別等其他のメカニズムに依るのかもしれない。

McLean et al. (2014) はガンマ分布を利用した反応連分布のシミュレーションによって巨視的な反応連分布が定まれば、その構造からアーティファクトとして選好パルス状の曲線を描くことができることを示した。彼らはシミュレーションなど強化子の局所効果から分離して描ける選好パルスを帰無仮説選好パルス (NHPP) とし、実測された選好パルスから NHPP との差を取り残ったパルスを強化子の局所的な効果とみなすべきだと主張した。本論文実験 3 では、McLean et al. のガンマ分布によるシミュレーションを NHPP としてではなく、モデルにおける選択ルールとして利用した。それは、McLean et al. が NHPP とみなしたシミュレーションとは逆に、強化子によって誘導された Win-stay という局所効果を加えるという手続きとなっている。また、Fix-and-Sample の仮定に則り、Rich レバーの反応連分布は最頻値が左端に位置づく指数分布により、Lean レバーの反応連分布は指数分布よりさらに急速に減少するが、薄い確率が長い反応連まで長く続く分布に設定し、いわゆるガンマ分布の山なり分布とは異なる仮定を採用した。このように、アルゴリズムの利用方法と分布についての仮定を大きく変えたにも関わらず、本研究の結果は McLean et al. の主張と一貫性を維持した。つまり、並立 VIVI スケジュールのシミュレーションでは Win-stay 成分の働きがなくとも、ある程度の選好パルスが生じ、Win-stay 成分を働かせた場合にはより強い選好パルスが生じた。前者を NHPP とみなして後者から差分を導けば、それは強化子によって誘導された Win-stay 成分という局所効果が残るのである。

かつて、選択行動研究ではマッチング法則を巡り、その微視的メカニズムとして瞬時最大化や微視的最大化が提案されてきた (Shimp, 1966; Silberberg and Zirriax, 1982)。しかし、最大化の理論的予測傾向とは異なる様々な傾向も含まれていた。そのうちの 1 つに反応固執傾向があった。Lean 選択肢に対する反応連は短いうちに Rich 選択肢へ切り替える確率が高いのだが、反応連が長くなるほどむしろ切り替えが起こりにくくなる傾向であった。本論文の結果が示唆することは、その固執傾向は EXT パルスであったのだろうということである。EXT レバーに自発される反応総数は決して多くないため、強化される都度、誘導によって生起する Win-stay 傾向は大きな固執性として観測される。この強化子による誘導傾向は Rich 選択肢でも等しく起きていると考えられる。しかし、そもそも全体反応数が多い

ため加えられた **Win-stay** 反応の傾向はほとんど見られなくなる。しかし、実験 4 における反応連の関数としての VI レバーからの切り替え反応確率は **EXT** レバーからの切り替えほど顕著ではなかったが、いくつかの条件では、反応連が伸びるほど緩やかに確率の減少が起きることが観察された。これは **Win-stay** 傾向の働きを示唆するものと考えられる。もしも、この **Win-stay** 傾向を取り除くことができれば、より明瞭に瞬時最大化や微視的最大化という微視的理論の予測に一致する傾向が得られるのだろうか。これは経験的な問題であり、今後の課題であるが、仮に成功すれば、選択行動の構造に関する研究へ一歩貢献をすることになるだろう。

オペラント変動性研究

Page and Neuringer (1985) はそれ以前の行動変動性の研究と異なる手続き的範例を提供し、それ以後の行動変動性研究の主流として 30 年近く研究が継続した。本論文の第 1 部では、このいわゆる“オペラント変動性”研究で得られた知見をまとめ、いくつかの研究の発展的展開の方向性を検討した。その中の 1 つがいわゆる並立スケジュール事態への接続という本論文が採用した道であった。この道の採用には利点があった。まず、オペラント変動性の研究手続きは選択行動の一種であったが、反応系列を単位と定め、系列内の反応の組み合わせによって、多数の選択肢を設け、また、過去に自発された選択を監視し、それに基づいて分化強化の規則を定めるという、非常に複雑な手続きとなっていた。しかし、2 選択肢における変動性のパターンや、複雑な分化強化を実施しない場合の選択行動の変動性については、十分に検討が済んだとは言い難い。本論文で採用した手続きはわずか 2 選択肢を用い、そこで働く強化スケジュールはたった 1 つを用いた。このように単純な手続きを採用したことから、刺激ライトとの相互作用によりどのように選択行動が変動を示すのか、その変動性はどのように説明が可能であるかを検討することを可能とした。その結果、新たな興味深い現象を見出し、既存の先行研究では提案されていない新たな妥当性のある仮説を問うことができた。このように単純で基礎的な手続き下での選択行動の変動性の探求を進めることによって、強化子提示や強化スケジュールとの関係において創発する選択行動の変動性傾向を解明へ向けた 1 つの成果を示すことができた。

Page and Neuringer (1985) は興味深い経験的データを提供し変動性研究へ貢献したが、注目を集めた理由はそれだけではなく、目新しい概念を提案したことにも依っていた。すなわち行動変動性は 3 項強化随伴性による制御が可能な 1 つのオペラント行動であるという視点である。本論文第 1 部ではこれについての何人かの研究者による批評を説明した。ここでは、いくつかの別の角度から概念的な不備が指摘されていたが、本論文の実験報告を受けて、ここでもう 1 つ指摘できることがある。強化スケジュール下にある選択行動は全てがオペラントの過程ではないかもしれないということである。同一のトポグラフィーを持つ選択行動であっても、時には誘導性の制御下にあり、時にはオペラント制御下にある。強化スケジュール条件で訓練を積み、途中で消去スケジュールへ移行すると行動変動性が高

くなる消去による変動性の誘導に代表される、訓練条件変更が誘導効果を持つ可能性は以前から知られていたが、本論文では、そのような条件変更を行わず長く同じ強化スケジュール下で訓練を積んだ場合にも、誘導性制御が働くことを示唆した。もしこれが正しいとするならば、いわゆるオペラント行動とみなされてきた選択行動にはいくつかの行動過程が混在することになり、自発された選択行動の総体的なばらつきを変動性オペラントと呼ぶならば、その変動性オペラントの基礎的過程にはオペラントとは別種の過程も含まれるという矛盾した帰結が導かれるように思われる。般性オペラント (**generalized operant**) という便利な概念があり、確かに変動性オペラントもそれに該当するのかもしれない。しかし、もし基礎的行動過程の事実を一顧だにせず、柔軟な概念を使い続けるならば、それはややプラグマティックに過ぎるように思われる。実験行動分析学の核であるオペラント行動という概念が経年疲労をきたす恐れはないかとやや心配になる。

行動変動性というテーマは決して実験的行動分析学において流行するテーマではない。しかし、そもそも、行動は絶えず変化する側面を持ち、行動変動性と無縁ではいられない。反応形成や行動に対する結果による淘汰が可能であるのは、この変動性を資源として利用すればこそ実現される。また、**Skinner (1935)** が無規則に見える行動の変動性の中に環境との関係において規則的な傾向を見出し、研究の核としたように、行動変動性の規則的変化を捉えることから、研究対象である行動に対する理解が深まり、行動の科学を一步前進させることへつながるであろう。行動変動性という用語自体が使用される研究場面は現在のところ限定的であるが、実際には行動変容過程、行動のダイナミズム、行動のパターンに注目し傾向を探る研究は、等しく、行動変動性の現象理解、法則および原理の理解を追及するものであると再定義することが可能であろう。残念ながら、強化の原理は追及対象として認識されているが、行動変動性の法則や原理については話題になることはほとんどない。しかし、それゆえ、ここにはフロンティアが広がっていると考えることができる。どれ程の現象が未だ見いだされず潜んでいるのかは探索的に検討を進めるしかない。**Skinner** が強化スケジュールという大魚を発見したわけだが、しかしながら、実験的行動分析学はすでに成熟し、それほど現象はもう見つからないだろうと悲観する理由はない。むしろ行動の科学を遂行する学徒としては、常に探す努力を続けるべきであろう。その豊饒さの程度において行動の科学は繁栄すると思われるからである。

資料

引用文献

引用文献

- Ainslie, G. W. (1974). Impulse control in pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 21, 485-489.
- Ainslie, G. W. (1975). Specious reward: A behavioral theory of impulsiveness and impulse control. *Psychological Bulletin*, 82, 463-496.
- Allen, J. D., Porter, J. H., and Arazie, R. (1975). Schedule-induced drinking as a function of percentage reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 23, 223-232.
- Antonitis, J. J. (1951). Response variability in the white rat during conditioning, extinction, and reconditioning. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 42, 273-281.
- Aparacio, C. F., and Baum, W. M. (2009). Dynamics of choice: Relative rate and amount affect local preference at three different time scales. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 91, 293-317.
- Ayton, P., Hunt, A. J., and Wright, J. (1989). Psychological conceptions of randomness. *Journal of Behavioral Decision Making*, 2, 221-238.
- Ayton, P., and Fischer, I. (2004). The hot hand fallacy and the gambler's fallacy: Two faces of subjective randomness? *Memory & Cognition*, 32, 1369j-1378.
- Bailey, J. T., and Mazur, J. E. (1990). Choice behavior in transition: Development of preference for the higher probability of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 53, 409-422.
- Banna, K. M., and Newland, C. M. (2009). Within-session transitions in choice: A structural and quantitative analysis. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 91, 319-335.
- Barba, L. S. (2012). Operant variability: a conceptual analysis. *The Behavior Analyst*, 35, 213-227.
- Bar-Hillel, M., and Wagenaar, W. A. (1993). The perception of randomness. In G. Keren, and C. Lewis (Eds.) *A handbook for data analysis in the behavioral sciences: Methodological issues* (pp. 369-393). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Bassein, S. (1996). A sampler of randomness. *American Mathematical Monthly*, 103, 483-490.
- Baum, W. M. (1974). On two types of deviation from the matching law: bias and undermatching. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 22, 231-242.
- Baum, W. M. (1981). Optimization and the matching law as accounts of instrumental

- behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 36, 387-403.
- Baum, W. M. (1993). Performances on ratio and interval schedules of reinforcement: Data and theory. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 59, 245-264.
- Baum, W. M. (1995). Introduction to molar behavior analysis. *Mexican Journal of Behavior Analysis. Special Issue on Operant Contingency*, 27, 7-25.
- Baum, W. M. (2001). Molar versus molecular as a paradigm clash. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 75, 311-333.
- Baum, W. M. (2002). From molecular to molar: A paradigm shift in behavior analysis. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 78, 95-116.
- Baum, W. M. (2010). Dynamics of choice: A tutorial. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 94, 161-174.
- Baum, W. M. (2012). Rethinking reinforcement: Allocation, induction, and contingency. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 97, 101-124.
- Baum, W. M. and Rachlin, H. C. (1969). Choice as time allocation. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 861-874.
- Baum, W. M., Schwendiman, J. W., and Bell, K. E. (1999). Choice, contingency discrimination and foraging theory. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71, 355-373.
- Baum, W. M., and Davison, M. (2004). Choice in a variable environment: Visit patterns in the dynamics of choice. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 81, 85-127.
- Belke, T. W., and Heyman, G. M. (1994). Increasing and signaling background reinforcement: Effects on the foreground response-reinforcer relation. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 61, 65-81.
- Blough, D. S. (1966). The reinforcement of least-frequent interresponse times. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 9, 581-591.
- Boren, J. J., Moerschbaecher, J. M., & Whyte, A. A. (1978). Variability of response location on Fixed-Ratio and Fixed-Interval schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 30, 63-67.
- Boutros, N., Davison, M., and Elliffe, D. (2009). Conditional reinforcers and informative stimuli in a constant environment. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 91, 41-60.
- Boutros, N., Davison, M., and Elliffe, D. (2011). Contingent stimuli signal subsequent reinforcer ratios. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 96, 39-61.
- Boutros, N., Elliffe, D., and Davison, M. (2011). Examining the discriminative and

- strengthening effects of reinforcers in concurrent schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *96*, 227-241.
- Boynton, D. M. (2003). Superstitious responding and frequency matching in the positive bias and gambler's fallacy effects. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *91*, 119-127.
- Brown, R., and Herrnstein, R. J. (1975). *Psychology*. Boston: Little, Brown.
- Burns, B. D., and Corpus, B. (2004). Randomness and inductions from streaks: "Gambler's fallacy" versus "hot hand". *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*, 179-184.
- Bush, R. R., and Mosteller, F. (1955). *Stochastic model for learning*. New York: Wiley.
- Catania, C. A. (1963). Concurrent performances: A baseline for the study of reinforcement magnitude.. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *6*, 299-300.
- Catania, C. A. (1973a). The concept of the operant in the analysis of behavior. *Behaviorism*, *1*, 103-116.
- Catania, C. A. (1973b). The nature of learning. In J. A. Nevin & G. S. Reynolds (Eds.), *The study of behavior* (pp. 30-68). Glenview, IL: Scott Foresman.
- Catania, C. A. (2007). *Learning* (4th interimed.). Cornwall-on-Hudson, NY: Sloan.
- Catania, C. A., and Reynolds, G. S. (1968). A quantitative analysis of the responding maintained by interval schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *11*, 327-383.
- Cherot, C., Jones, A., and Neuringer, A. (1996). Reinforced variability decreases with approach to reinforcers. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *22*, 497-508.
- Chung, S., and Herrnstein, R. J. (1967). Choice and delay of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *10*, 67-74.
- Compagner, A. (1991). The hierarchy of correlations in random binary sequences. *Journal of Statistical Physics*, *63*, 883-896.
- Cowie, S., Davison, M., and Elliffe, D. (2011). Reinforcement: Food signals the time and location of future food. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *96*, 63-86.
- Critchfield, T. S., and Lattal, K. A. (1993). Acquisition of a spatially defined operant with delayed reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *59*, 373-387.
- Darwin, C. (1859/1998). *The origin of species*. London: UK. Wordsworth Edition Limited.
- Davis, D. G., Staddon, J. E. R., Machado, A., and Palmer, R. G. (1993). The process of recurrent choice. *Psychological Reiview*, *100*, 320-341.
- Davison, M., and McCarthy, D. (1988). *The matching law: A research review*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Davison, M., and Baum, W. M. (2000). Choice in a variable environment: Every reinforcer counts. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 74, 1-24.
- Davison, M., Baum, W. M. (2002). Choice in a variable environment: Effects of blackout duration and extinction between components. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 77, 65-89.
- Davison, M., and Baum, W. M. (2003). Every reinforcer counts: Reinforcer magnitude and local preference. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 80, 95-129.
- Davison, M., and Baum, W. M. (2006). Do conditional reinforcers counts? *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 86, 269-283.
- Davison, M., and Baum, W. M. (2007). Local effects of delayed food. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 87, 241-260.
- Davison, M., and Baum, W. M. (2010). Stimulus effects on local preference: Stimulus-response contingencies, Stimulus-food pairing, and stimulus-food correlation. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 93, 45-59.
- Davison, M., and Hunter, I. W. (1979). Concurrent schedules: undermatching and control by previous experimental conditions. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 32, 233-244.
- Denney, J., and Neuringer, A. (2001). Behavioral variability is controlled by discriminative stimuli. *Animal Learning & Behavior*, 26, 154-162.
- De Villers, P. A., and Herrnstein, R. J. (1976). Toward a law of response strength. *Psychological Bulletin*, 83, 1131-1153.
- Eckerman, D. A., and Lanson, R. N. (1969). Variability of response location for pigeons responding under continuous reinforcement, intermittent reinforcement, and extinction. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 73-80.
- Evenden, J. L., & Robbins, T. W. (1984). Win-stay behaviour in the rat. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36B, 1-26.
- Falk, J. L. (1974). Schedule-induced polydipsia as a function of fixed interval length. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 9, 37-39.
- Falk, R., and Konold, C. (1997). Making sense of randomness: Implicit encoding as a basis for judgment. *Psychological Review*, 104, 301-318.
- Ferraro, D. P., and Branch, K. H. (1968). Variability of response location during regular and partial reinforcement. *Psychological Reports*, 23, 1023-1031.
- Ferster, C. B. (1957). Concurrent schedules of reinforcement in chimpanzee. *Science*, 125, 1090-1091.
- Ferster, C. B., and Skinner, B. F. (1957). *Schedules of Reinforcement*. New York: Appleton-Century-Crofts, Inc.

- Findley, J. D. (1958). Preference and switching under concurrent scheduling. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 1, 123-144.
- Finke, R. A. (1984). Strategies for being random. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 22, 40-41.
- Fisher, W. W., and Mazur, J. E. (2003). Basic and applied research on choice responding. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 30, 387-410.
- Fleshler, M., & Hoffman, H. M. (1962). A progression for generating variable-interval schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 5, 529-530.
- 藤巻峻 (2014). 反応復活 (*Resurgence*) の制御要因：構成スケジュール、変化抵抗、強化履歴からの検討. 慶應義塾大学修士学位論文, 未公開.
- Galbicka, G. (1988). Differentiating the behavior of organism. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 50, 343-354.
- Gharib, A., Derby, S., and Roberts, S. (2001). Timing and the control of variation. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 27, 165-178.
- Gharib, A., Gade, C., and Roberts, S. (2004). Control of variation by reward probability. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 30, 271-282.
- Gifford, E. V., and Hayes, S. C. (1999). Functional contextualism: A pragmatic philosophy for behavioral science. W. O'Donohue, and R. Kitchener (Eds.) *Handbook of Behaviorism* (pp. 285-327). San Diego: Academic Press.
- Gilovich, T., Vallone, R., and Tversky, A. (1985). The hot hand in basketball: On the misperception of random sequences. *Cognitive Psychology*, 17, 295-314.
- Gilbert, T. F. (1958). Fundamental dimensional properties of the operant. *Psychological Review*, 65, 272-285.
- Goetz, E. M., and Baer, D. M. (1973). Social control of form diversity and emergence of new forms in children's blocking. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 6, 209-217.
- Grace, R. C., Hucks, A. D. (2013). The allocation of operant behavior. In G. J. Madden, W. V. Dube, T. D. Hackenberg, G. P. Hanley, and K. A. Lattal (Eds.) *APA handbook of behavior analysis, Vol. 1: Method and principles* (pp. 307-337). Washington, DC, US: American Psychological Association.
- Graham, R. L., and Spencer, J. H. (1990). Ramsey theory. *Scientific American*, 263, 112-117.
- Grunow, A., and Neuringer, A. (2002). Learning to vary and vary to learn. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 250-258.
- Guthrie, E. R., and Horton, G. P. (1946). *Cats in a puzzle box*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- 八賀洋介 (2006). 連検定を基準とした分化強化手続き・ラットの 2 レバーオペラント事態

- における系列依存性 / 独立性の検討. 慶應義塾大学修士学位論文, 未公開.
- 八賀洋介 (2008). 行動変動性の強化可能性に関する概念的検討. *行動分析学研究*, 22, 120-140.
- 八賀洋介・森元良太・古賀聖人・坂上貴之 (2008). “少数の法則” を補足する説明の妥当性の検討-生成過程の違いによる説明と結果予測の成否による説明. *慶應義塾大学社会学研究科紀要*, 66, 55-68.
- Hachiga, Y., and Sakagami, T. (2010). A runs-test algorithm: Contingent reinforcement and response run structures. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 93, 61-80.
- 長谷川芳典 (1997). オペラント条件づけによる可変的な選択行動の形成 岡山大学文学部研究叢書 14 岡山大学文学部.
- 長谷川芳典 (2006). スキナー以後の行動分析学 (17) 乱数生成行動の研究が目ざしたもの. *岡山大学文学部紀要*, 17, 99-109.
- 長谷川芳典 (2008). 乱数生成行動と行動変動性: 50 年を超える研究の流れと今後の展望. *行動分析学研究*, 22, 164-173.
- Hawkes, L., and Shimp, C. P. (1975). Choice between response rates. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 21, 109-115.
- Herrick, R. M. (1965). Lever displacement under a fixed-ratio schedule and subsequent extinction. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 59, 263-270.
- Herrick, R. M., and Bromberger, R. A. (1965). Lever displacement under a variable ratio schedule and subsequent extinction. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 59, 392-398.
- Herrnstein, R. J. (1958). Some factors influencing behavior in a two-response situation.. *Transaction of the New York Academy of Sciences*, 133, 2067-2079.
- Herrnstein, R. J. (1961). Stereotypy and intermittent reinforcement. *Science*, 133, 2067-2079.
- Herrnstein, R. J. (1970). On the law of effect. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 13, 243-266.
- Herrnstein, R. J. (1974). Formal properties of the matching law. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 21, 159-164.
- Herrnstein, R. J., and Loveland, D. H. (1975). Maximizing and matching on concurrent ratio schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 24, 107-116.
- Herrnstein, R. J., and Heyman, G. M. (1979). Is matching compatible with reinforcement maximization on concurrent variable interval variable ratio? *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 31, 209-223.
- Herrnstein, R. J., and Vaughan, W. (1980). Melioration and behavioral allocation. In J.

- E. R. Staddon (Ed.), *Liits to action*. New York: Academic Press.
- Hest, A. V., Haaren, F. V., and DePoll, N. V. (1989). Operant conditioning of response variability in male and female Wister rats. *Physiology & Behavior*, 12, 887-895.
- 平岡恭一 (1989). オペラント選択行動の微視的理論. *心理学評論*, 32, 156-176.
- Holland, V., and Davison, M. C. (1971). Preference for qualitatively different reinforcers. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 16, 375-380.
- Holth, P. (2012). Variability as an operant? *The Behavior Analyst*, 35, 243-248.
- Houston, A. I., and McNamara, J. (1981). How to maximize reward rate on two variable-interval paradigms. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 35, 367-396.
- Hoyert, M. S. (1992). Order and chaos in fixed-interval schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 57, 339-363.
- Hunter, I., and Davison, M. (1985). Determination of a behavioral transfer function: White-noise analysis of session-to-session response-ratio dynamics on concurrent VI-VI schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 43, 43-59.
- 伊藤正人 (1983). 選択行動. 八木晃 (監) 佐藤方哉 (編) *現代基礎心理学 6 学習 II* (pp. 97-127). 東京大学出版会.
- Iversen, I. H., and Mogensen, J. (1988). A multipurpose vertical holeboard with automated recording of spatial and temporal response patterns for rodents. *Journal of Neuroscience Methods*, 25, 251-263.
- 岩本隆茂・高橋雅治 (1982). 選択行動の研究における最近の動向: II —その心理学的意義—. *心理学評論*, 25, 376-389.
- Jarvik, M. E. (1951). Probability learning and a negative recency effect in the serial anticipation of alternative symbols. *Journal of Experimental Psychology*, 41, 291-297.
- Jenkins, H. M., and Sainsbury, R. S. (1970). Discrimination learning with the distinctive feature on positive or negative trials. In D. Mostofsky (Ed.), *Attention: Contemporary theory and analysis* (pp. 239-273). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Killeen, P. (1972). The matching law. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 17, 489-495.
- Killeen, P. (1975). On the temporal control of behavior. *Psychological Review*, 82, 89-115.
- Killeen, P. R., Hanson, S. J., & Osborne, S. R. (1978). Arousal: its genesis and manifestation as response rate. *Psychological Review*, 85, 571-581.
- Killeen, P. R., and Sitomer, M. T. (2003). MPR. *Behavioural Processes*, 62, 49-64.
- Krägeloh, C., and Davison, M. (2003). Concurrent-schedule performance in transition: Changeover delays and signaled reinforcer ratios. *Journal of the Experimental*

- Analysis of Behavior*, 79, 87-109.
- Krägeloh, C. U., Davison, M., and Elliffe, D. M. (2005). Local preference in concurrent schedules: The effects of reinforcer sequences. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 84, 37-64.
- Kyonka, E. G. E., and Grace, R. C. (2008). Rapid acquisition of preference in concurrent chains when alternatives differ on multiple dimensions of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 89, 49-69.
- Landon, J., and Davison, M. (2001). Reinforcer-ratio variation and its effects of rate of adaptation. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 75, 207-234.
- Landon, J., Davison, M., and Elliffe, D. (2003a). Concurrent schedules: Reinforcer magnitude effects. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 79, 351-365.
- Landon, J., Davison, M., and Elliffe, D. (2003b). Choice in a variable environment: Effects of unequal reinforcer distributions. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 80, 187-204.
- Lattal, K. A. (2013). The five pillars of the experimental analysis of behavior. In G. J. Madden, W. V. Dube, T. D. Hackenberg, G. P. Hanley, and K. A. Lattal (Eds.) *APA Handbook of Behavior Analysis: Vol. 1. Methods and Principles* (pp. 33-63). Washington, DC, US: American Psychological Association.
- Lattal, K. A., and Glesson, S. (1990). Response acquisition with delayed reinforcement. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 16, 27-39.
- Lattal, K. A., and Abreu-Rodrigues, J. (1997). Response-independent events in the behavior stream. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 68, 375-398.
- Lopes, L. L. (1982). Doing the impossible: A note on induction and the experience of randomness. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8, 626-636.
- MacDonall, J. S. (2009). The stay/switch model of concurrent choice. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 91, 23-39.
- Machado, A. (1989). Operant conditioning of behavioral variability using a percentile reinforcement schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 52, 155-166.
- Machado, A. (1992). Behavioral variability and frequency-dependent selection. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 58, 241-263.
- Machado, A. (1993). Learning variable and stereotypical sequences of responses: Some data and a new model. *Behavioural Processes*, 30, 103-130.
- Machado, A. (1994). Polymorphic response patterns under frequency-dependent selection. *Animal Learning & Behavior*, 22, 53-71.

- Machado, A. (1997). Increasing the variability of response sequences in pigeons by adjusting the frequency of switching between two keys. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 68, 1-25.
- Machado, A., and Tonneau, F. (2012). Operant variability: procedures and processes. *The Behavior Analyst*, 35, 249-255.
- Manabe, K., Staddon, J. E. R., and Cleaveland, J. M. (1997). Control of vocal repertoire by reward in budgerigars. *Journal of Comparative Psychology*, 111, 50-62.
- Margulies, S. (1961). Response duration in operant level, regular reinforcement, and extinction. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 4, 317-321.
- Mark, T. A., and Gallistel, C. R. (1994). Kinetics of matching. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 20, 79-95.
- Marr, M. J. (1992). Behavior dynamics: One perspective. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 57, 249-266.
- Marr, M. J. (2012). Operant Variability: some random thoughts. *The Behavior Analyst*, 35, 237-241.
- Matsumoto, M., and Nishimura, T., (1998). Mersenne twister: 623-dimensionally equidistributed random number generator. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 8, 3-30.
- Mazur, J. E. (1996). Past experience, recency, and spontaneous recovery in choice behavior. *Animal Learning & Behavior*, 24, 1-10.
- Mazur, J. E. (1998). *Learning and Behavior* (4th ed.). Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall. 磯博行・坂上貴之・川合伸幸 [訳] (1999). *メイザーの学習と行動* 日本語版第 2 版. 二瓶社
- Mazur, J. E. (1992). Choice behavior in transition. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 18, 364-378.
- Mazur, J. E., and Ratti, T. A. (1991). Choice behavior in transition: Development of preference in a free-operant procedure. *Animal Learning & Behavior* 19, 241-248.
- McLean, A. P., Grace, R. C., Pitts, R. C., and Hughes, C. E. (2014). Preference pulses without reinforcers. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 101, 317-336.
- Mechner, F. (1958). Probability relations within response sequences under ratio reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 1, 109-121.
- Menlove, R. L. (1975). Local patterns of responding maintained by concurrent and multiple schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 23, 309-337.
- Millenson, J. R., and Hurwitz, H. M. B. (1961). Some temporal and structural properties of behavior during conditioning and extinction. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 41, 97-106.

- Millenson, J. R., Hurwitz, H. M. B., and Nixon, W. L. B. (1961). Influence of reinforcement schedules on response duration. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 4, 243-250.
- Miller, H. L. (1976). Matching-based hedonic scaling in the pigeon. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 26, 335-347.
- Miller R. R., and Grace, R. C. (2003). Conditioning and Learning. In A. F. Healy and R. W. Proctor (Eds.), *Experimental Psychology, Vol 4. Handbook of Psychology* (pp. 357-397). New York: John Wiley & Sons.
- Morgan, M. J. (1974). Effects of random reinforcement sequences. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 22, 301-310.
- Myerson, J., and Miezin, F. M. (1980). The kinetics of choice: An operant systems analysis. *Psychological Review*, 87, 160-174.
- 中西重美 (1955) ネコの問題箱における定型性に関する実験的研究 (II). *動物心理学年報*, 5, 25-32.
- Neuringer, A. (1986). Can people behave “randomly”? The role of feedback. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 62-75.
- Neuringer, A. (1992). Choosing to vary and repeat. *Psychological Science*, 3, 246-250.
- Neuringer, A. (2002). Operant variability: Evidence, functions, and theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 672-705.
- Neuringer, A. (2004). Reinforced variability in animals and people: Implications for adaptive action. *American Psychologist*, 57, 301-316.
- Neuringer, A., and Jensen, G. (2012). The predictably unpredictable operant. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 7, 55-84.
- Neuringer, A., Kornell, N., and Olufs, M. (2001). Stability and variability in extinction. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 27, 79-94.
- Nevin, J. A. (1969). Interval reinforcement of choice behavior in discrete trials. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 875-885.
- Nevin, J. A. (1979). Overall matching versus momentary maximizing. Nevin (1969) revisited. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 5, 300-306.
- Nickerson, R. S. (2002). The production and perception of randomness. *Psychological Review*, 109, 330-357.
- Notterman, J. M., and Mintz, D. E. (1965). *Dynamics of response*. New York: Wiley.
- Odum, A. L., Ward, R. D., Barnes, C. A., and Burke, K. A. (2006). The effects of delayed reinforcement on variability and repetition of response sequences. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 86, 159-179.

- Okouchi, H. (2009). Response acquisition by humans with delayed reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *91*, 377-390.
- Olton, D. S., Walker, J. A., Gage, F. H., & Johnson, C. T. (1977). Choice behavior of rats searching for food. *Learning and Motivation*, *8*, 315-331.
- Page, S., and Neuringer, A. (1985). Variability is an operant. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *3*, 429-452.
- Palmer, D. C. (2012). Is variability an operant? *The Behavior Analyst*, *35*, 209-211.
- Perone, M. (1991). Experimental design in the analysis of free-operant behavior. In I. H. Iversen & K. A. Lattal (Eds.), *Experimental Analysis of Behavior, Part 1* (pp. 135-172). Netherlands: Elsevier Science Publishers B. V.
- Premack, D. (1959). Toward empirical behavior laws: 1. Positive reinforcement. *Psychological Review*, *66*, 219-233.
- Premack, D. (1963). Prediction of the comparative reinforcement values of running and drinking. *Science*, *139*, 1062-1063.
- Pryor, K. W., Haag, R., and O'Reilly, J. (1969). The creative porpoise: Training for novel behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *12*, 643-661.
- Rachlin, H. (1971). On the tautology of the matching law. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *15*, 249-251.
- Rachin, H. (1995). Self-control: Beyond commitment. *Behavioral and Brain Sciences*, *18*, 109-121.
- Rachlin, H., and Green, L. (1972). Commitment, choice and self-control. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *17*, 15-22.
- Rachlin, H., Green, L., Kagel, J. H., and Battalio, R. C. (1976). Economic demand theory and psychological studies of choice. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation (Vol. 10)*. New York: Academic Press.
- Rapoport, A., and Budescu, D. V. (1992). Generation of random series in two-person strictly competitive games. *Journal of Experimental Psychology: General*, *121*, 352-363.
- Ross, C., and Neuringer, A. (2002). Reinforcement of variations and repetitions along three independent response dimensions. *Behavioural Processes*, *57*, 199-207.
- 佐藤方哉 (2005). 時枝誠記の言語過程説と B. F. Skinner の言語行動論. *帝京大学心理学紀要*, *9*, 1-10.
- Sakai, Y., and Fukai, T. (2008). When does reward maximization lead to matching law? *PLoS ONE*, *3*(11), e3795. DOI: 10.1371/journal.pone.0003795.
- 酒井裕 (2013). マッチング法則. 林康紀 (編). *脳科学辞典*. DOI: 10.14931/bsd.788.
- Schoenfeld, W. N., and Farmer, J. (1970). Reinforcement schedules and the "behavior

- stream." In W. N. Shoenfeld (Ed.), *The theory of reinforcement schedules* (pp. 215-245). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Schofield, G., and Davison, M. (1997). Nonstable concurrent choice in pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 68, 219-232.
- Schwartz, B. (1980). Development of complex, stereotyped behavior in pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 33, 153-166.
- Schwartz, B. (1982). Failure to produce response variability with reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 37, 171-181.
- Shimp, C. P. (1966). Probabilistically reinforced choice behavior in pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 9, 443-455.
- Shimp, C. P. (1970). The concurrent reinforcement of two interresponse times: Absolute rate of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 13, 1-8.
- Shimp, C. P. (1981). The local organization of behavior: Discrimination of and memory for simple behavioral patterns. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 36, 303-315.
- Shull, R. L., Gaynor, S. T., & Grimes, J. A. (2001). Response rate viewed as engagement bouts: Effects of relative reinforcement and schedule type. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 75, 247-274.
- Sidman, M. (1960). *Tactics of Scientific Research: Evaluating experimental data in psychology*. New York: Basic Books.
- Silberberg, A., and Williams, D. R. (1974). Choice behavior on discrete trials: A demonstration of the occurrence of a response strategy. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 21, 315-322.
- Silberberg, A., Hamilton, B., Zirrax, J. M., and Casey, J. (1978). The structure of choice. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 4, 368-398.
- Silberberg, A., and Zirrax, J. M. (1982). The inter-changeover time as a molecular dependent variable in concurrent schedules. In M. L. Commons, R. J. Herrnstein, & H. Rachlin (Eds.), *Quantitative analyses of behavior: Vol 2. Matching and maximizing accounts* (pp. 131-151). Cambridge, MA: Ballinger.
- Skinner, B. F. (1935). The generic nature of the concepts of stimulus and response. *Journal of General Psychology*, 13, 40-65.
- Skinner, B. F. (1938). *The Behavior of Organisms*. New York: Appleton Century Crofts.,
- Skinner, B. F. (1948). "Superstition" in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology*, 38, 168-172.
- Skinner, B. F. (1950). Are theories of learning necessary? *Psychological Review*, 57, 193-216.

- Skinner, B. F. (1957). The experimental analysis of behavior. *American Scientist*, 45, 343-371.
- Skinner, B. F. (1953). *Science and human behavior*. New York: Free Press.
- Skinner, B. F. (1969). *Contingencies of reinforcement: A theoretical analysis*. New York: Appleton Century Crofts.
- Skinner, B. F. (1974). *About behaviorism*. New York: A Division of Random House.
- Skinner, B. F., and Morse, W. H. (1957). Concurrent activity under fixed-interval reinforcement. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 50, 279-281.
- Smith, T. T., McLean, A. P., Shull, R. L., Hughes, C. E., & Pitts, R. C. (2014). Concurrent performance as bouts of behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 102, 102-125.
- Staddon, J. E. R., and Motheral, S. (1978). On matching and maximizing in operant choice experiments. *Psychological Review*, 85, 436-444.
- Staddon, J. E. R., and Simmelhag, V. L. (1971). The “superstition” experiment: A reexamination of its implications for the principles of adaptive behavior. *Psychological Review*, 78, 3-43.
- Staddon, J. E. R., and Cerutti, D. T. (2003). Operant conditioning. *Annual Review of Psychology*, 54, 115-144.
- Strube, M. J. (1983). Tests of randomness for pseudorandom number generators. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 15, 536-537.
- Stubbs, D. A., & Pliskoff, S. S. (1969). Concurrent responding with fixed relative rate of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 887-895.
- 高橋雅治・岩本隆茂 (1982). 選択行動の研究における最近の動向: I —その基礎的成果と問題点—. *心理学評論*, 25, 192-230.
- Tanno, T., and Sakagami, T. (2008). On the primacy of molecular processes in determining response rates under variable-ratio and variable-interval schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 89, 5-14.
- 丹野貴行・坂上貴之 (2011). 行動分析学における微視・巨視論争の整理—強化の原理、分析レベル、行動主義への分類. *行動分析学研究*, 25, 109-126.
- Tanno, T., Silberberg, A., and Sakagami, T. (2010). Concurrent VR VI schedules: Primacy of molar control of preference and molecular control of response rates. *Learning & Behavior*, 38, 382-393.
- Tanno, T., and Silberberg, A. (2012). The copyist model of response emission. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19, 759-778.
- Tatham, T. A., Wanchisen, B. A., and Hineline, P. N. (1993). Effects of fixed and variable ratios on human behavioral variability. *Journal of the Experimental Analysis of*

Behavior, 59, 349-359.

Tremont, P. J. (1984). Variability of force and interresponse time under random interval reinforcement schedules. *Behavioural Processes*, 9, 413-420.

Tolman, E. C. (1938). The determiners of behavior at a choice point. *Psychological Review*, 45, 1-41.

Vaughan, W., Jr. (1981). Melioration, matching, and maximization. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 36, 141-149.

Vogel, R., and Annau, Z. (1973). An operant discrimination task allowing variability of reinforced response patterning. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 20, 1-6.

Watson, J. B. (1930). *Behaviorism*. New York: W.W. Norton.

Wagner, K., and Neuringer, A. (2006). Operant variability when reinforcement is delayed. *Learning & Behavior*, 34, 111-123.

Webbe, F. M., DeWeese, J., and Malagodi, E. F. (1974). Induced attack during multiple fixed-ratio, variable-ratio schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 22, 197-206.

Williams, B. A. (1971). Color alternation learning in the pigeon under fixed-ratio schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 15, 129-140.

Williams, B. A. (1988). Reinforcement, choice, and response strength. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey, and R. D. Luce (Eds.) *Stevens' handbook of experimental psychology, Vol. 2: Learning and cognition (2nd ed)* (pp. 167-244). Oxford, England: John Wiley & Sons.

Williams, B. A. (1994). Reinforcement and choice. In N. J. Mackintosh (Ed.) *Animal learning and cognition. Handbook of perception and cognition series 3 (2nd ed.)* (pp. 81-108). San Diego, CA: Academic Press.

Williams, D. R., and Williams, H. (1969). Auto-maintenance in pigeon: Sustained pecking despite contingent nonreinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 511-520.

Witte, R. S. (1964). Long-term effects of patterned reward schedules. *Journal of Experimental Psychology*, 68, 588-594.

山岸直基 (1998). 人間行動の変動性に及ぼす強化随伴性の効果. *行動分析学研究*, 12, 2-17.

山岸直基 (2000). 系列反応の変動性に及ぼす強化随伴性の効果. *行動分析学研究*, 15, 52-66.

山岸直基 (2003). 行動変動性の測定法. *駒澤大学心理学論集*, 5, 45-59.

山岸直基 (2005). 行動変動性とオペラント条件づけ. *基礎心理学研究*, 23, 183-200.

- 山岸直基 (2008). 人間行動における変異と淘汰の再検討: 行動変動性の制御技術がもたらしたもの. *行動分析学研究*, 22, 141-153.
- Zeiler, M. D. (1977). Schedule of reinforcement: the controlling variables. In W. K. Honig and J. E. R. Staddon (Eds.), *Handbook of Operant Behavior* (pp. 201-232). New York: Appleton Century Crofts.

補足

補足 1

なぜ反応位置に基づく行動変動性の研究が最も盛んに行われてきたのであろうか。理由の1つにはカテゴリ化された選択肢の簡便さにあるのだろう。行動自体は絶え間なく変化する連続量であるが、行動変動性の研究は強化随伴性との関わりにおいて、どのような変容が生じるかを観察するものである。強化随伴性を設ける基準によって基準の内外というカテゴリが設定されることは自然なことであった。例えば、計数の初期の実験として知られる **Mechner (1958)** の手続きでは強化随伴性により設定された基準反応数を超えるか否かにより2通りの結果(強化子提示の有無)を持つ行動にカテゴリ化されている。**Blough (1966)** では各個体で推定した IRT の指数分布と両軸で囲まれた領域を等面積になるように16ビンに分割することで、IRT 次元をカテゴリ化し16の選択肢としたとみなすことができる。ここからわかるように、確かにどのような次元でもカテゴリを用意することは可能である。しかし、手続き的な簡便さや直観的な明瞭さの点では、複数の位置に選択肢としてオペランド(反応レバーなど)を用意する場合に優るものではない(ただし、カテゴリ化は必然ではない。確率的に強化密度を変えることで強化随伴性を連続量に対応させることは可能である。行動変動性と強化随伴性の関係について今後、さらに追及する際に、選択肢のカテゴリ化手続きを脱することは意味を持つであろう。しかし、本論の主旨とは方向性が異なるため、これ以上は検討することを控える)。

2つ目の理由として、選択肢カテゴリへの行動変動性の研究報告がなされ始めた1950年代、1960年代は、範例的な並立スケジュールによる選択行動研究が注目を浴び始めていたことが影響を与えた可能性がある。**Ferster and Skinner (1957)** の大著“**Schedule of Reinforcement**”が上梓された年にいくつか並立スケジュールへ焦点を当てた論文が発表されており(**Ferster, 1957; Skinner, 1957; Skinner and Morse, 1957**)、それに続くように、**Herrnstein (1958)** は並立スケジュール下の選択行動に注目を始め、**Findley (1958)** は現在まで頻繁に利用される選択行動の手続きを提案した。**Herrnstein (1961)** は切り替え遅延(changover delay: COD)を設けた並立スケジュールの基本手続きを確立し、以後マッチング法則の関わるいくつかの研究が同手続きの下で報告されていく。選択行動の研究は複数のオペランドを設け反応位置間の違いにより検討される潮流があったと推測できる。

補足 2

ランダムネスの概念の不明瞭さにまつわる7つの論点を以下にまとめる。

- (1) ランダムネスとは、過程(process)の性質なのか、その過程が生み出した所産(product)の性質だろうか。例えば、コンピュータが算出する乱数列は実際には算出に利用する決定式がある決定論的過程であるため、その過程の所産を厳密には疑似乱数と呼ぶ。あるいは、カオスの過程も予測することが困難な所産を生み出すが、実際にはカオスの決定式に基づいて算出されている。これらの過程はランダムとはいえないといわれる。しかし、過程についての知識があらかじめ与えられていない

場合にはランダムであるかを判別するためには、入手可能な所産を観察するほかない。また、ランダムネスの過程は非常に規則的な所産を生むこともできる。バイアスのないコイン投げで 10 回連続で表がでるという結果が出たとしても、ランダム過程に基づく所産であるならば、ランダムな系列であるとみなすことになる。一方、疑似乱数や決定論的カオスの過程から生成された数列が標準的なランダムネスの検定をかいくぐることも難しいことではない (Lopes, 1982)。

- (2) 等確率性の過程については、統計学では母集団を構成する全ての要素が、無作為に (等確率に) 抽出される過程として使われるが、これは理論的な要請によって仮定されることであり、無作為であるかを経験的に確認することは容易ではない。等確率性の所産については、有限系列では限定的にしか成立しない。真のランダムな系列は、全ての可能な長さ k においてレパートリーは等頻度に生起する。コイン投げの場合、表 (H) と裏 (T) は等頻度であるだけでなく、2 つ組も (HH、HT、TH、TT) 3 つ組も (HHH、HHT、HTH、 $\dots$ 、TTT)、またさらに長い系列で分析をしても等頻度になる。しかし、 k が有限の最大の長さ n ならばそこにはただ 1 つの系列があるだけで、 k が $n-1$ の要素からなる系列ならば 2 つの系列が得られ、 k が $n-2$ の要素ならば 3 つの系列が得られる。いずれの場合も生起しない選択肢は頻度ゼロとなる。いずれも全く等頻度に生起はしない。結局、可能なレパートリーを全て生起させることは k が n よりずっと小さい時に限る。
- (3) 系列独立性の過程は無記憶性とも呼ばれる。先行する出力を覚えていなければ、それがその後の選択を行うために影響を持つことはない。もし全ての可能な長さの要素で全て等確率に生起するならば、その過程は必然的に系列独立性を満たす。逆に系列独立性は各選択肢の生起確率が選択ごとに変化しないことを示唆するが、その確率が等しいことは要件ではない。系列独立性の所産は、先行した k 個の所産が、 $k+1$ 番目の所産を予測することへ全体確率以上の知識を与えないため、予測不可能性とも呼ばれる。乱数列が真にランダムであるならば、系列内のどの数を知っても他の数を推測することへの助けとはならない。予測不可能性の考え方は相関係数で定義されることがある (Compagner, 1991)。自己相関を算出した場合、ラグがいくつに設定されても、系列がランダムで十分に長いならば相関がゼロになる。実際には誤差を伴うので無相関の検定を実施し有意差がないことを確認する。例えば、Strube (1983) は実際にコンピュータの生成した系列においてラグ 1 から 20 まで相関を調べてもいずれも有意差がなかったので、実用目的では十分にランダムな数を生成したとしている。しかし、20 の検定を連続して実施すれば、第一種の過誤を起こす確率が大きく増す (Ayton, Hunt, and Wright, 1989)。帰無仮説が真である場合にそれを棄却しない確率は検定を繰り返す度に減少していくので、実際には有意水準 5% で 14 個もの検定を行えば、少なくともそのうち 1 つが統計的に有意になることは、全てが有意ではないという結果よりも起こりやすくなる。有意水準 5%

で 59 個の相関がすべて有意ではない確率は 5% 以下となり ($0.95^{59} = 0.048 < 0.05$)、そのような結果を得るならば、偶然から予測される結果とは考えにくいと、逆に数列に有意にパターンが存在する証拠となる。

- (4) 無規則性という用語は、予測不可能性と密接に関連があり、しばしば同義とみなされることも多い。ランダムネスを完全な無規則性と定義をしたくなるが、数学者ラムゼーの理論によれば、完全な無秩序は不可能であり、大きな無規則の系列や集合内には、必ず規則的な下位系列や下位集合が含まれることが証明されている (Graham and Spencer, 1990)。つまり、当該過程がランダムであると確証するためにどんな基準を満たそうとも、恣意的な長さの系列が全体に完全に構造を持たないということはない。完全な無規則は実現されないと論じたが、構造や規則性の程度を情報量で量化することは可能である。平均情報量 (H) は $H = -\sum p(i) \cdot \log_2 p(i)$ で求める。この時 $p(i)$ は各選択肢の相対生起頻度である。 H は得られた情報によるあいまいさの減少の程度を量化したものである。 $p(i)$ のうち 1 つの選択肢だけが 1 で他が全てゼロの場合、 H はゼロとなり、全くあいまいさのない状態を表す。行動変動性の分化強化研究でよく利用される U 値も情報量の指標であり、 H を最大値で除して標準化したものである。 H が最大値となるのは $p(i)$ が全て同じ相対頻度となる場合である。このことから、 H と U は等確率性と関係が強い指標であることがわかる。この指標からは、自発される反応間の規則性 (系列依存性) については言及されていないことに留意する必要がある。そこで、系列依存性は、ある試行の結果を知った場合の次試行に対する情報の曖昧さの低減の指標である条件付きエントロピーによって測定する (Hachiga & Sakagami, 2010)。
- (5) 周期性の程度が、無規則性との関連で問われることがある。疑似乱数はコンピュータのアルゴリズムによる決定的過程であり、その所産には周期的規則性が必ず存在する。一周期の長さによって疑似乱数アルゴリズムの良し悪しが判断され、たとえば、アルゴリズムの 1 つであるメルセンヌツイスターは $2^{19937} - 1$ の周期を持つ良質な疑似乱数を生成することで知られる (Matsumoto and Nishimura, 1998)。Bassein (1996) は予測性には、誰にとって予測不可能なのかという主観的な側面が関係するという。当然ながらランダム系列を生成する者にとっては次の数を予測する (計算する) ことはできる。これをランダムネスの定義に反映させるならば、生成者以外の誰かが、適度に速い時間内に次の数を予測するために適度に速いアルゴリズムを発見することができないこと、ということになる。このような定義が適切か否かは不明である。
- (6) コンピュータ・計算機の発展とともに育った概念は情報量の他に、圧縮性があり、圧縮不可能性をランダムネスの定義とする考え方も生まれた。これは、端的には、所産の系列はもし生成の規則がその系列自体よりも短い形で表現され得ないならばランダムであるというものである。ランダムネスを圧縮不可能性として定義するこ

とは観察者が要約できる構造を全く持たない程度でランダムであるという直感的な受け入れやすさがある。しかし、この定義の場合にはランダムとカオスの過程は同等のものとみなされる。カオス式自体は単純な再帰式であるが、パラメータ k の値の決め方次第では（例えば、 $k=3.57$ ）、所産である x はランダムな変化を行い、ランダム過程から生じた系列と見分けることができないだろう。

- (7) 過程がランダムであることを所産から証拠立てるために様々なランダムネスの検定が考案されている。統計的分析でランダムネスを証拠立てる試みは、帰無仮説を証明しようとすることに等しい。通常の統計的検定は、帰無仮説を棄却することで、あるデータに特定のパターンがあることを示唆する対立仮説に支持を与える。ところが、帰無仮説を証明することはできない。帰無仮説が棄却できないならば、そこには対立仮説が検出する類のパターンはないと考えられるが、その検定で検討対象としたパターン以外に全くパターンが存在しないことを主張することはできない。過程がランダムであることを所産から証拠立てるために様々なランダムネスの検定が考案されている。統計的分析でランダムネスを証拠立てる試みは、帰無仮説を証明しようとすることに等しい。帰無仮説が棄却できないならば、そこには対立仮説が検出する類のパターンはないと考えられるが、だからといって帰無仮説を証明したことにはならない。あくまでも帰無仮説が想定する分布からでも十分に起こり得るというだけである。また、検定の検出力が弱かったために棄却できなかったという可能性も排除されない。逆に、たとえば、個々の選択肢の等確率性を検定して、帰無仮説を棄却して選択肢が等確率に起きてはいない可能性が高いと結論づけたとしても、ある系列がランダムな過程から起きなさそうであるという事実は、それがランダムな過程によって生じたものではないということを意味しているわけではない。検定によってランダムな過程からの所産ではないと決定的に例示することも不可能である。また次のような問題もある。単純なコイン投げのような二項系列のランダムネスの検定をする際に、トリグラムが等頻度に起こるかを検定することがある。1000 回のコイン投げ系列をトリグラムの相対頻度で検定する場合、1000 回の表をもつ系列は棄却され、ランダムではないとみなされる。しかし、極めて大きい標本系列に対して、 2^{1000} の選択肢の等頻度を検定する場合には、1000 回の表を持つ系列も必要である。もし 2^3 の選択肢に対する検定を通過してランダムとみなされた標本系列を何百万と蓄えていき、それを 1 つにつないだならば、この時に生じた系列は 2^{1000} の等頻度の検定を必ず失敗する。つまり、ランダムネスの検定間で一貫性が取られているわけではない。表が 10 回連続して生じることはそれ単体を観察するとランダム系列とはみなし難いが、1000 の独立した系列の中にも、10000 の系列の中にも 10 回連続して生じる系列は埋め込まれていることが当然期待される。

補足 3

Galbicka (1988) は以下の引用により Skinner (1938) はオペラント条件づけと反応分化は同じ現象の 2 つの側面であることを認識していたという。

Both topographical and quantitative differentiation follow the rule of original operant conditioning that responses of the required form must be available prior to reinforcement if differentiation or conditioning is to take place. Extreme forms or values are obtainable only through successive approximations (Skinner, 1938, p.339).

補足 4

反応よりも時間配分でマッチング関係がより当てはまりがよいことが知られており (e.g., Baum and Rachlin, 1969)、また、Herrnstein and Vaughan (1980) の逐次改良理論が局所反応時間の配分に基づいて理論を組み立てているが、これは厳密な反応系列を予測するよりも反応の時間配分を予測することは容易であるということではないだろうか。厳密な反応系列は同じ系列を繰り返し自発しようと試みていても、時に反応自発の誤りを犯したり (Holth, 2012)、マイクロスイッチがチャタリングを犯したりする可能性がある。つまり、反応自発に基づいてパターンの予測をすることは時間配分に基づいたパターンの予測より高い精度を要求し、反面、予測と十分に一致させることが難しいのだろう。この流れは Shimp (1966) の反応に基づく瞬時最大化から Silberberg and Zirrax (1982) の時間に基づく微視的最大化へ変化した選択行動の微視的理論の視点の変遷とも関連付けられるかもしれない。

補足 5

微視・巨視論争は、いくつかの論点が絡まりあっていると指摘されている (丹野・坂上, 2011)。それに関連して、筆者が連想することは、その論争は、端的には行動というものをどのように定義すべきなのかを争っており、まるで物理学の歴史において光の粒子説と波動説が争ったことと似ているように思われる。行動は粒子のように個別の最小反応単位があると考えべきなのか、個別の反応に不可分であり時間経過とともに流れていく波動のようなものであるのか。オペランダムを使用した装置は粒子的に反応をサンプリングしているため、現在主流の実験手続きでは、表面的には行動が粒子的な現れ方を示す。ここまで本論文で展開してきた行動変動性の研究では個々のレバー押し反応を根源的な単位として、それにより形成される系列のパターンを分析してきた。しかし、強化随伴性の影響によって最も行動が規則的なパターンを示す水準を基準にして分析単位を選ぶのであれば、それは必ずしも個々の反応のレベルとみなす必要はなくなる。Baum and Rachlin (1969) 以降、行動を時間配分とみなす考え方に立つならば、行動は個々の点として分析しなくてもよいのである。行動を時間配分の選択と定めた巨視的な理論の規則性は優れており、最大化を示

すか否か、あるいはその他の反応パターンを示すかに関わらず、少なくとも一般化マッチング法則の規則性は安定して観察される。ただし、巨視的規則性は集成水準に依拠している以上、予測の精度は粗いと指摘でき、精度を手放した上で得られた安定性と規則性であるようにも見える。その一方で、一定程度の研究進展の産物として得られる行動の法則は「オペラント実験箱の中の行動の法則」に~~と~~留まるべきではなく、どちらの立場からより外的妥当性の高い法則が得られるかも重要な視点である。現在のところこの点について簡単には結論づけられない。Baum (2002) は巨視的観点が日常生活の行動まで包括的に説明可能であると主張する一方で、応用行動分析の手法は (Baum が微視的と批判する) Skinner 以来の反応形成技法が依然として技法の中心であることは疑いない。いずれにせよ、粒子的な個別の反応間にはマッチング関係を還元可能なとりわけ重要なパターンが存在するか否かを分析することは、どちらの行動観が尤もらしいのかを定めていく際に鍵となる可能性は依然として失われてはいないようである。選好パルスが注目を集める理由はここにあるのかもしれない。

表一覽

表 1-1 実験 1（式 16）の推定されたパラメーター値と分散説明率

Subjects	A	I	D	R ²
A1	72.432	0.007	9.473	0.978
A2	27.554	3.563	11.147	0.831
A3	160.463	3.440	6.324	0.946
A4	28.714	0.116	11.954	0.890
A5	18.578	1.410	11.176	0.973
A6	128.242	6.366	9.654	0.979
A7	103.493	0.144	5.007	0.998
A8	92.181	1.377	4.213	0.988
Group	48.797	1.341	8.760	0.993

表 2-1 実験 2（式 16）の推定されたパラメータ値と分散説明率

Subject	Schedule	A	I	D	R ²
B1	VR8	71.846	0.15	2.55	0.969
	VR16	120.629	0.009	1.927	0.988
	VR48	25.256	0	13.727	0.941
B2	VR8	270.286	0.134	1.385	0.975
	VR16	210.447	0.188	1.868	0.994
	VR48	722.74	2.818	3.195	0.766
B3	VR4	120.823	0.603	0.828	0.989
	VR16	108.946	1.665	2.203	0.892
	VR32	119.753	2.943	3.9	0.867
B4	VR4	127.535	0.119	1.065	0.994
	VR16	166.84	1.203	2.458	0.973
	VR32	432.913	1.342	2.626	0.992

Schedule	A	I	D	R ²
VR4	198.913	0.26	1.037	0.994
VR8	217.832	0	2.45	0.966
VR16	223.537	0.461	2.379	0.992
VR32	403.125	1.268	3.108	0.983
VR48	212.645	2.179	4.862	0.887

表 2-2 各 VR 条件で得られた個体ごとの全体強化率

Reinforcers per min					
	B1	B2	B3	B4	Average
VR4	–	–	8.96	12.27	10.615
VR8	7.7	9.03	–	–	8.365
VR16	5.25	5.26	5.27	6.86	5.66
VR32	–	–	2.33	3.31	2.82
VR48	1.32	1.98	–	–	1.65

Reinforcers per min in case of Light Switch

	B1	B2	B3	B4	Average
VR4	–	–	7.56	11.22	9.39
VR8	7.30	8.51	–	–	7.91
VR16	5.11	4.80	5.04	6.02	5.24
VR32	–	–	2.27	2.88	2.58
VR48	1.26	1.96	–	–	1.61

表上段はセッション全体強化率、表下段は刺激ライト位置が変化した場合のみ、すなわち、EXT パルスの分析に実際に使用される試行のみから計算した強化率を示す。

表 3-1 実験 3（式 16）の推定されたパラメータ値と分散説明率

	D-VI				ND-VI			
	<i>A</i>	<i>I</i>	<i>D</i>	R^2	<i>A</i>	<i>I</i>	<i>D</i>	R^2
#1	0.166	0.423	12.298	0.893	1.143	7.647	24.507	0.96
#2	0.198	1.109	16.331	0.826	0.298	6.106	46.312	0.815
#3	0.469	0.828	16.548	0.891	0.731	12.289	28.826	0.899
#4	4.643	3.7	4.15	0.924	1.104	19.602	29.1	0.818
#5	0.536	1.248	15.322	0.909	7.29	15.882	17.466	0.598
#6	0.328	0.130	11.827	0.744	0.114	3.335	116.668	0.613
Group	0.324	0.047	13.957	0.92	0.377	6.271	41.124	0.966

	D-VR				ND-VR			
	<i>A</i>	<i>I</i>	<i>D</i>	R^2	<i>A</i>	<i>I</i>	<i>D</i>	R^2
#20	1.381	0.144	3.914	0.891	0.595	4.782	50.288	0.958
#21	0.881	0.258	9.15	0.979	0.513	6.524	43.888	0.984
#22	3.866	0.005	2.648	0.971	0.633	9.075	36.64	0.855
#23	0.402	0.157	9.499	0.872	0.54	14.539	51.062	0.94
#24	2.731	0.195	3.968	0.976	0.675	8.963	39.396	0.912
#25	24.384	1.316	1.823	0.976	0.284	0.229	40.784	0.507
Group	2.442	0.15	3.568	0.979	0.416	5.035	54.525	0.931

表 4-1 実験 4 の各個体の実験条件

群A				群B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
個体番号	条件	p(Rf L)	FL rate	個体番号	条件	p(Rf L)	FL rate	個体番号	条件	p(Rf L)	FL rate	個体番号	条件	p(Rf L)	FL rate																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
D1	1	50	0	D9	1	50	30	D5	1	88	0	D13	1	50	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	2	50	50		2	50	50		2	50	0		2	75	0	3	50	20	3	25	0	3	37	0	4	50	30	4	50	20	4	63	0	4	13	0	5	50	0	5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63	30	7	50	30	D6	7	13	0	D14	1	88	20	2	63	0	8	50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63	0	D7	8	50	20	D15	1	75	30	2	75	0	8	63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8	7	25	30	D16	1	88	50	2	88	20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	2	50	50		2	50	0		2	75	0		3	50	20	3	25	0	3	37	0	4	50	30	4	50	20	4	63	0	4	13	0	5	50	0	5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63		30	7	50	30	D6	7		13	0	D14		1	88	20	2	63	0	8	50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20		D3	1	75	20	7	63		0	D7	8		50	20	D15	1	75	30	2	75	0	8	63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20		6	75	30	D4	1	88		50	6	75		0	D8	7	25	30	D16	1	88	50	2	88	20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	2	50	0		2	75	0		3	50	20		3	25	0	3	37	0	4	50	30	4	50	20	4	63	0	4	13	0	5	50	0	5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63		30	7		50	30	D6	7		13		0	D14			1	88	20	2	63	0	8	50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20			D3	1	75	20	7		63		0		D7	8		50	20	D15	1	75	30	2	75	0	8	63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50		5	75	20		6	75		30	D4	1		88		50	6	75		0	D8	7	25	30	D16	1	88	50	2	88	20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	2	75	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	3	50	20		3	25	0		3	37	0		4	50	30	4	50	20	4	63	0	4	13	0	5	50	0	5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63	30	7	50		30	D6		7	13		0	D14		1		88		20				2	63	0	8	50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75				20	7	63	0		D7		8			50		20	D15		1	75	30	2	75	0	8	63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50		5	75	20		6	75		30		D4		1		88	50	6		75		0	D8	7		25	30	D16	1	88	50	2	88	20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3	25	0	3		37	0	4		50	30	4	50	20	4	63	0	4	13	0	5	50	0	5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63	30	7		50	30	D6	7	13		0			D14	1		88			20		2		63			0	8	50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20	7				63	0	D7	8				50	20		D15		1			75	30	2	75	0	8	63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5		75	20	6		75	30		D4			1	88		50	6	75		0		D8		7		25	30		D16	1	88	50	2	88	20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
3	37	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
4	50	30	4	50	20	4	63	0	4	13	0	5	50	0	5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63	30	7	50	30	D6		7	13	0	D14		1	88		20	2		63		0		8	50	20			1		50		20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63	0	D7	8		50	20		D15	1	75	30		2	75		0				8	63			20	1		63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8	7	25	30	D16					1	88		50	2	88	20	1				88	0	1	75			50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
4	50	20	4	63	0	4	13	0	5	50	0	5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63		30	7	50	30	D6	7			13	0	D14			1	88		20	2	63	0		8		50	20	1			50		20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1		75	20	7	63	0	D7		8		50	20			D15	1	75	30	2	75		0	8			63	20			1	63		30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4		1	88	50	6	75	0		D8	7	25		30		D16		1	88		50	2	88	20	1				88	0	1	75			50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
4	63	0	4	13	0	5	50	0	5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63		30	7		50	30	D6	7		13			0	D14				1	88		20	2	63	0		8		50	20	1	50		20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1		75		20	7	63	0	D7			8		50	20				D15	1	75	30	2		75	0		8	63	20			1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4			1	88	50	6	75	0			D8	7		25				30	D16	1	88	50	2	88	20				1	88	0	1	75		50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
4	13	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
5	50	0	5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63	30	7	50		30	D6		7	13		0	D14		1		88		20	2				63	0	8		50	20	1	50		20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63	0		D7		8		50	20	D15	1				75	30	2	75	0				8	63	20	1		63	30		2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8				7	25	30	D16	1	88				50		2	88		20	1		88	0	1	75	50	2	88			50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
5	50	50	5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63		30	7	50	30	D6		7			13	0		D14			1		88		20	2			63	0	8	50		20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1		75	20	7	63	0	D7				8		50	20		D15				1	75	30	2	75	0			8	63	20	1		63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4		1	88	50	6	75	0					D8	7	25		30	D16				1	88	50	2		88	20		1	88	0	1	75	50	2		88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
5	37	0	5	63	0	6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63		30	7		50	30	D6	7			13			0	D14	1				88		20		2	63		0	8	50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20		7	63	0	D7	8					50	20	D15	1						75	30	2	75	0	8	63		20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88			50	6	75	0	D8	7				25		30	D16		1					88	50	2	88	20	1	88		0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
5	63	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
6	50	50	6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63	30	7	50		30	D6		7	13		0	D14		1		88	20		2	63		0				8		50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63	0		D7	8		50		20	D15	1		75		30		2	75	0		8					63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8		7	25			30	D16	1	88		50		2	88	20		1			88		0			1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
6	50	0	6	50	0	6	25	0	D2	1	63		30	7	50	30	D6		7			13	0		D14			1		88	20		2	63		0		8		50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1		75	20	7	63	0	D7			8		50		20		D15		1		75		30	2	75		0	8			63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4		1	88	50	6	75	0			D8	7			25		30	D16		1		88	50	2		88		20	1		88	0		1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
6	50	0	6	25	0	D2	1	63		30	7		50	30	D6	7			13			0	D14	1				88		20	2		63	0		8	50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20		7	63	0	D7	8				50		20	D15	1				75		30		2	75	0		8	63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88			50	6	75	0	D8	7				25		30	D16		1			88		50	2	88		20		1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
6	25	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
D2	1	63	30	7	50		30	D6		7	13		0	D14		1		88	20		2	63		0				8		50	20	1	50	20	2	88	20	3	63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63	0		D7	8		50		20	D15	1		75		30		2	75	0		8				63		20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8		7	25			30	D16	1	88		50		2		88	20	1			88			0	1	75	50	2		88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	7	50	30	D6	7		13			0	D14		1			88		20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	2	63	0		8		50			20		1	50			20		2	88		20	3		63	20	2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63	0	D7	8	50	20	D15	1	75	30		2	75	0	8	63	20			1		63	30	2		50		30		3		75	50	2		75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8	7	25	30	D16	1	88	50	2	88		20	1	88	0	1	75			50	2		88	50		3	88		30		2		88	30	2		88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	8	50	20		1		50		20	2		88	20			3		63	20		2	63	20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7		63	0	D7	8	50	20		D15	1	75		30	2	75		0	8	63	20	1	63			30	2	50	30	3		75		50		2		75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50		6	75	0	D8	7	25		30	D16	1		88	50	2	88	20		1	88	0	1	75	50			2	88	50	3	88		30	2		88		30		2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	50	20		2	88	20		3	63		20	2			63		20	3	37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7		63	0	D7	8		50	20		D15	1	75			30	2		75	0	8		63	20	1	63	30	2	50		30	3	75	50	2		75		30		3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50		6	75	0		D8	7	25		30	D16		1		88		50	2	88	20	1		88	0	1	75	50	2		88	50	3	88	30	2		88	30		2	88	50		2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	2	88	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	63	20	2		63	20	3		37	20	3	25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63	0	D7	8	50	20		D15	1	75	30		2	75		0		8	63			20	1			63	30		2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13		30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8	7	25	30	D16		1	88	50		2	88	20			1	88		0			1		75		50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88		50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
2	63	20	3		37	20	3		25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20	7	63	0	D7	8		50	20	D15			1	75	30		2	75		0		8	63			20	1			63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30		3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4		1	88	50	6	75	0		D8	7	25			30	D16	1		88	50	2			88	20		1			88		0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2		88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3	37	20	3		25	20	4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20		7	63		0	D7	8	50		20		D15	1				75	30	2		75	0		8	63	20	1			63	30		2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50			6	75	0	D8	7	25			30	D16			1		88		50	2	88	20		1	88		0			1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
3	25	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
4	63	50	3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63	0		D7	8	50		20	D15		1		75	30		2			75		0		8	63	20	1	63	30		2	50	30	3		75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8		7	25	30			D16	1	88		50	2			88			20	1		88	0	1	75	50	2		88	50		3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
3	63	30	4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20	7	63	0	D7	8			50	20		D15			1		75	30		2			75		0	8	63	20	1	63	30	2		50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1		88	50	6	75	0	D8			7	25	30				D16	1		88	50			2		88	20	1		88	0	1	75	50	2		88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
4	75	20	4	50	20	5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20	7		63	0	D7	8		50			20	D15				1	75		30	2		75			0	8	63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88		50		6	75	0	D8	7				25	30	D16		1			88		50	2			88		20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
4	50	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
5	63	0	4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63		0	D7		8	50		20	D15		1		75	30		2		75			0	8		63	20		1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0		D8	7		25		30	D16	1		88			50	2	88		20	1			88		0	1	75		50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4	63	0	5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20	7	63	0	D7		8			50	20		D15			1		75	30		2		75		0	8	63		20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1		88	50	6	75	0	D8			7		25		30		D16		1			88	50	2		88	20	1		88		0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
5	13	20	5	13	20	6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20	7		63	0	D7	8			50			20	D15	1				75		30	2		75		0	8	63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88		50		6	75	0	D8	7				25		30	D16	1				88			50	2	88		20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
5	13	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
6	63	20	5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75	20	7	63		0	D7		8	50		20	D15		1		75	30		2	75		0				8		63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0		D8	7		25		30	D16	1		88		50		2	88	20		1				88		0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
5	63	50	6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20	7	63	0	D7		8			50	20		D15			1		75	30		2	75		0		8		63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1		88	50	6	75	0	D8			7		25		30		D16		1		88		50	2	88		20	1			88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
6	63	20	6	63	20	D3	1	75		20	7		63	0	D7	8			50			20	D15	1				75		30	2		75	0		8	63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88		50		6	75	0	D8	7				25		30	D16	1				88		50		2	88	20		1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
6	63	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
D3	1	75	20	7	63		0	D7		8	50		20	D15		1		75	30		2	75		0				8		63	20	1	63	30	2	50	30	3	75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0		D8	7		25		30	D16	1		88		50		2	88	20		1				88		0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	7	63	0	D7	8		50			20	D15		1			75		30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	2	75	0		8		63			20		1	63			30		2	50		30	3		75	50	2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8	7	25	30	D16	1	88	50		2	88	20	1	88	0			1		75	50	2		88		50		3		88	30	2		88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	8	63	20		1		63		30	2		50	30			3		75	50		2	75	30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6		75	0	D8	7	25	30		D16	1	88		50	2	88		20	1	88	0	1	75			50	2	88	50	3		88		30		2		88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	1	63	30		2	50	30		3	75		50	2			75		30	3	13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6		75	0	D8	7		25	30		D16	1	88			50	2		88	20	1		88	0	1	75	50	2	88		50	3	88	30	2		88		30		2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	2	50	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	75	50	2		75	30	3		13	30	3	50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0	D8	7	25	30		D16	1	88	50		2	88		20		1	88			0	1			75	50		2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88		50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
2	75	30	3		13	30	3		50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88		50	6	75	0	D8	7		25	30	D16			1	88	50		2	88		20		1	88			0	1			75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50		2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	13	30	3		50	30	4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50		6	75		0	D8	7	25		30		D16	1				88	50	2		88	20		1	88	0	1			75	50		2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
3	50	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
4	75	30	3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75	0		D8	7	25		30	D16		1		88	50		2			88		20		1	88	0	1	75	50		2	88	50	3		88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
3	75	0	4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88		50	6	75	0	D8	7			25	30		D16			1		88	50		2			88		20	1	88	0	1	75	50	2		88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
4	63	30	4	13	30	5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88		50	6		75	0	D8	7		25			30	D16				1	88		50	2		88			20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4	13	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
5	75	0	4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75		0	D8		7	25		30	D16		1		88	50		2		88			20	1		88	0		1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
4	75	50	5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88		50	6	75	0	D8		7			25	30		D16			1		88	50		2		88		20	1	88		0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
5	25	30	5	75	30	6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88		50	6		75	0	D8	7			25			30	D16	1				88		50	2		88		20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
5	75	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
6	75	50	5	75	20	6	75	30	D4	1	88	50	6	75		0	D8		7	25		30	D16		1		88	50		2	88		20				1		88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
5	75	20	6	75	30	D4	1	88		50	6	75	0	D8		7			25	30		D16			1		88	50		2	88		20		1		88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
6	75	30	D4	1	88		50	6		75	0	D8	7			25			30	D16	1				88		50	2		88	20		1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
D4	1	88		50	6		75	0		D8	7		25			30		D16	1		88				50		2	88		20	1	88	0	1	75	50	2	88	50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	6	75		0	D8		7	25			30		D16		1	88			50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	2	88		20			1	88			0				1	75			50		2		88		50	3	88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	1	88		0			1	75	50		2				88	50			3		88	30	2	88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	1	75		50		2	88	50	3		88				30	2			88	30	2	88	50	2	75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	2	88	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	88	30	2	88		30	2	88	50		2		75	50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	88	30	2	88		50	2	75	50		4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2	88	50	2	75		50	4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
2	75	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
4	88	0	3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
3	88	20	3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3	50	50	3	37	50	5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	37	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
5	88	50	4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
4	88	50	4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
4	37	50	4	50	50	6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
6	88	30	5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
5	88	0	5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
5	75	50	5	13	50				6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
5	13	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
			6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
6	88	30	6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
6	88	30	6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
6	13	50	6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
6	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

p(Rf|L) は左レバーへの配分される強化確率 (%)

FL rate はライトの VI 選択肢の刺激ライトの相対フラッシュ率 (%)

圖一覽

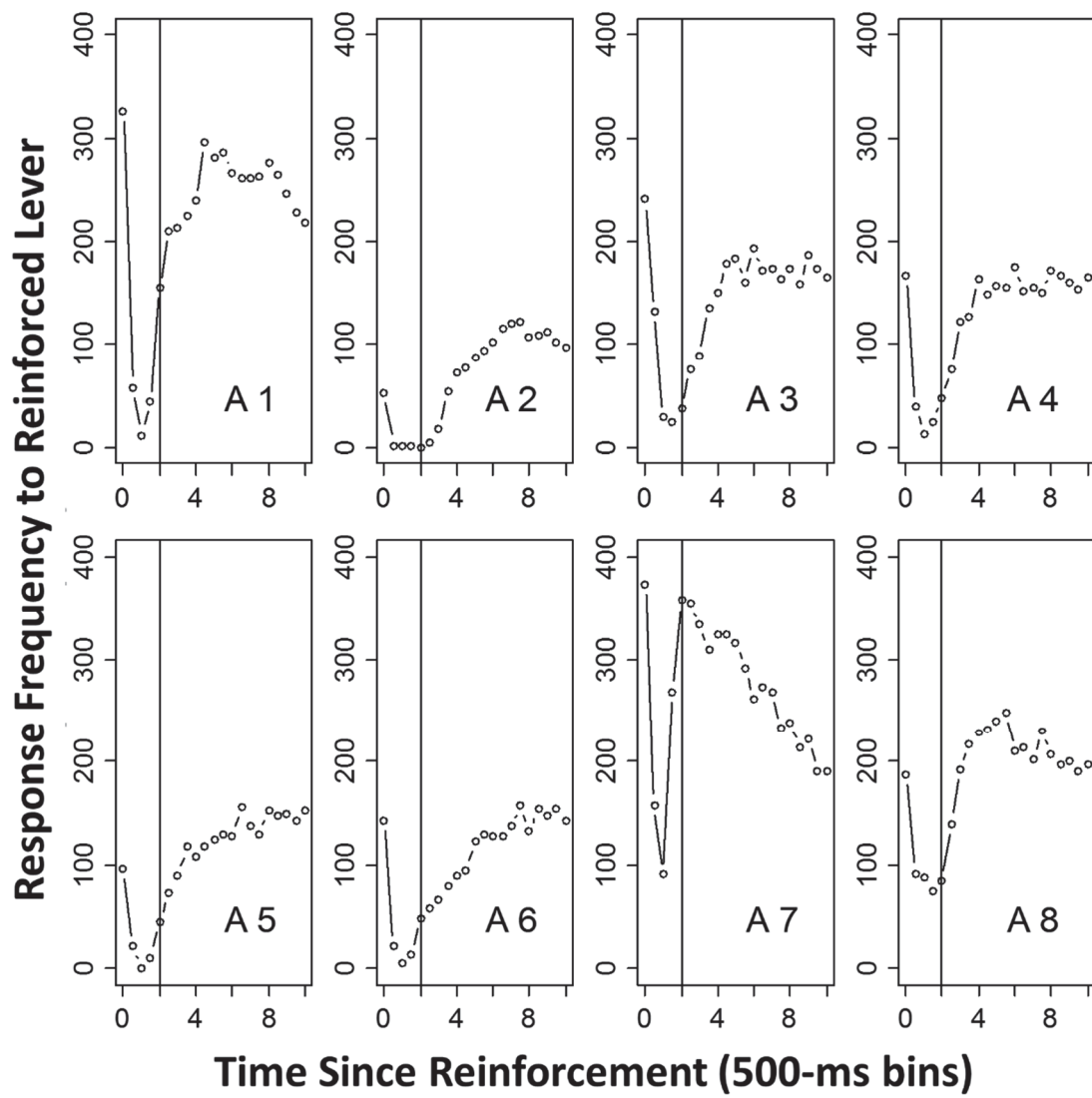


図 1-1 強化子提示後の時間経過の関数としてのPレバーへの反応頻度

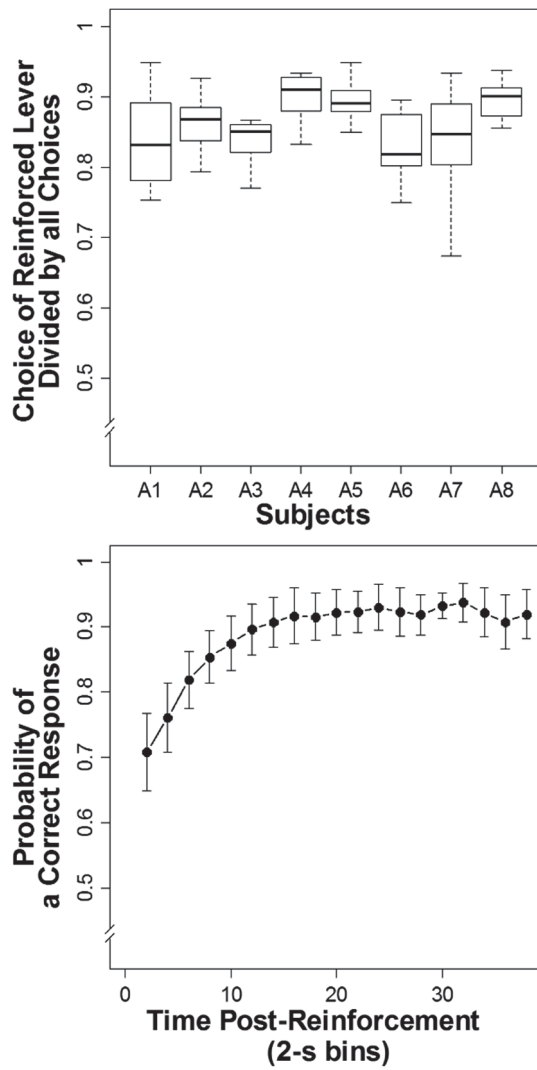


図 1-2 刺激ライト点灯側レバーへの反応割合とその強化後の推移

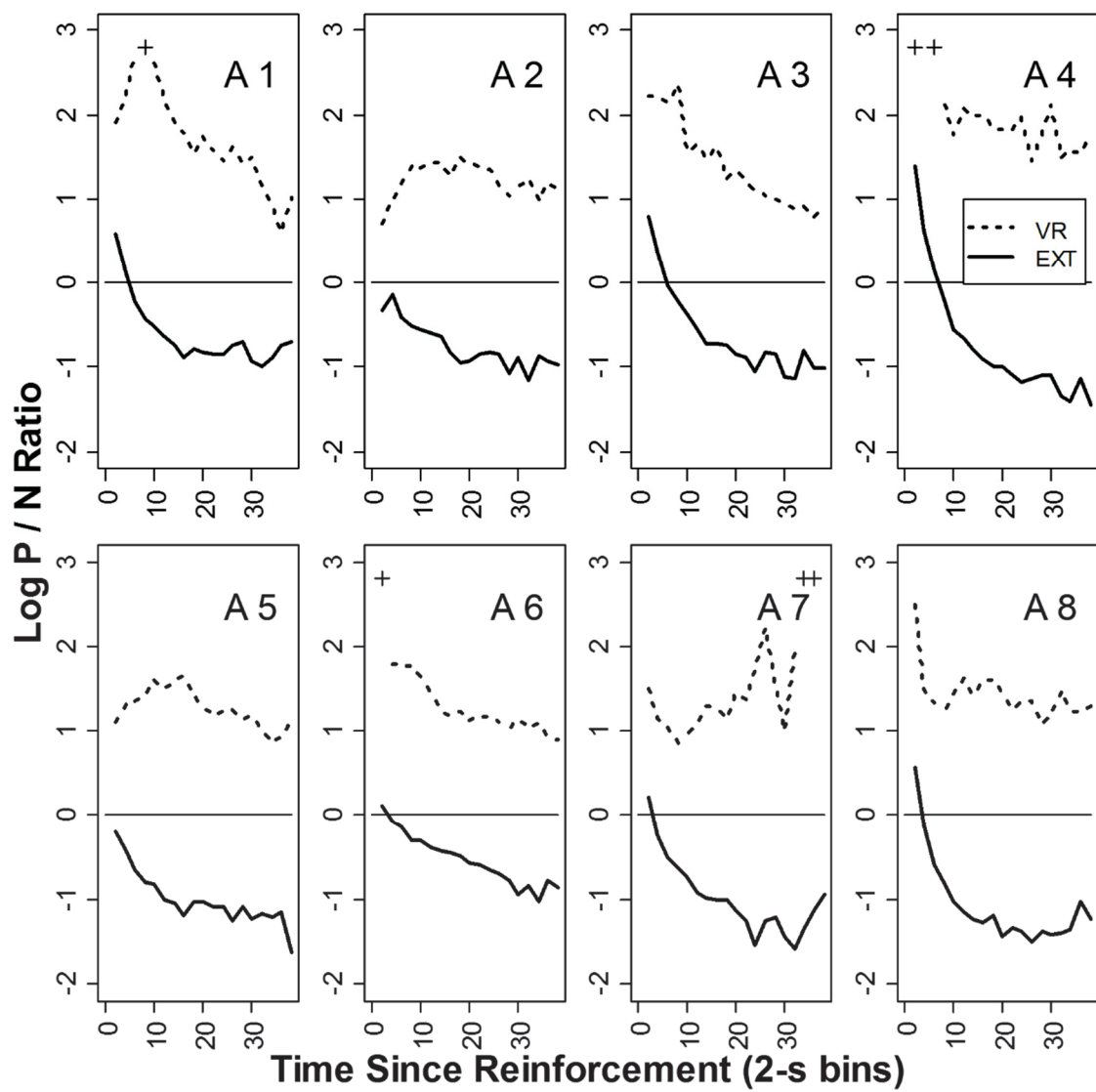


図 1-3 強化後時間経過の関数としての Log P/N 反応比（選好パルス）

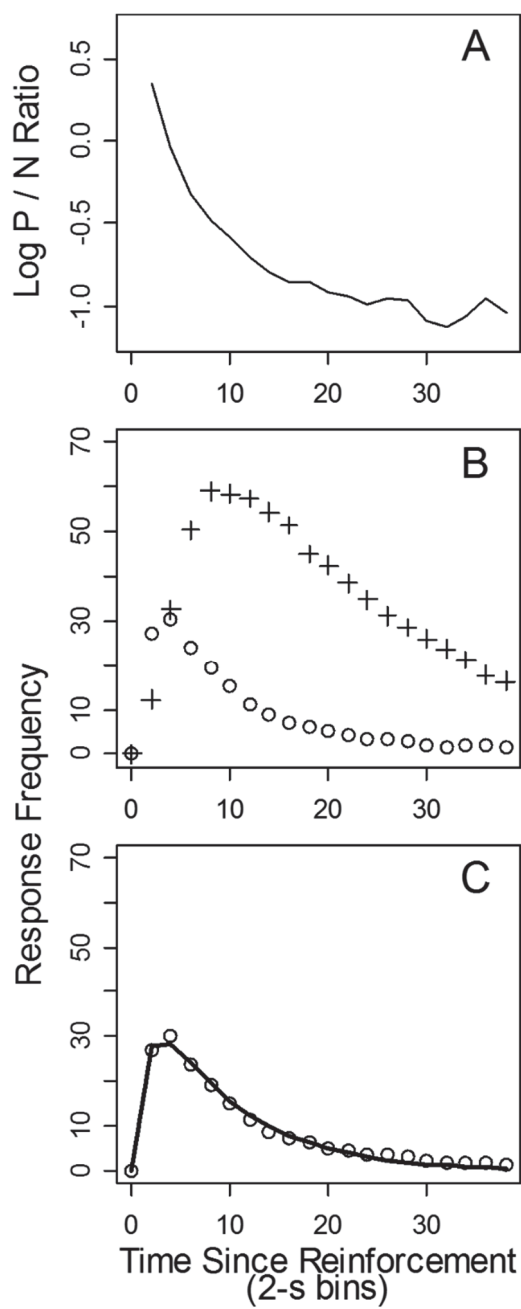


図 1-4 Killeen et al. (1978) の二重指数関数の誘導モデルの群平均データへの当てはめ

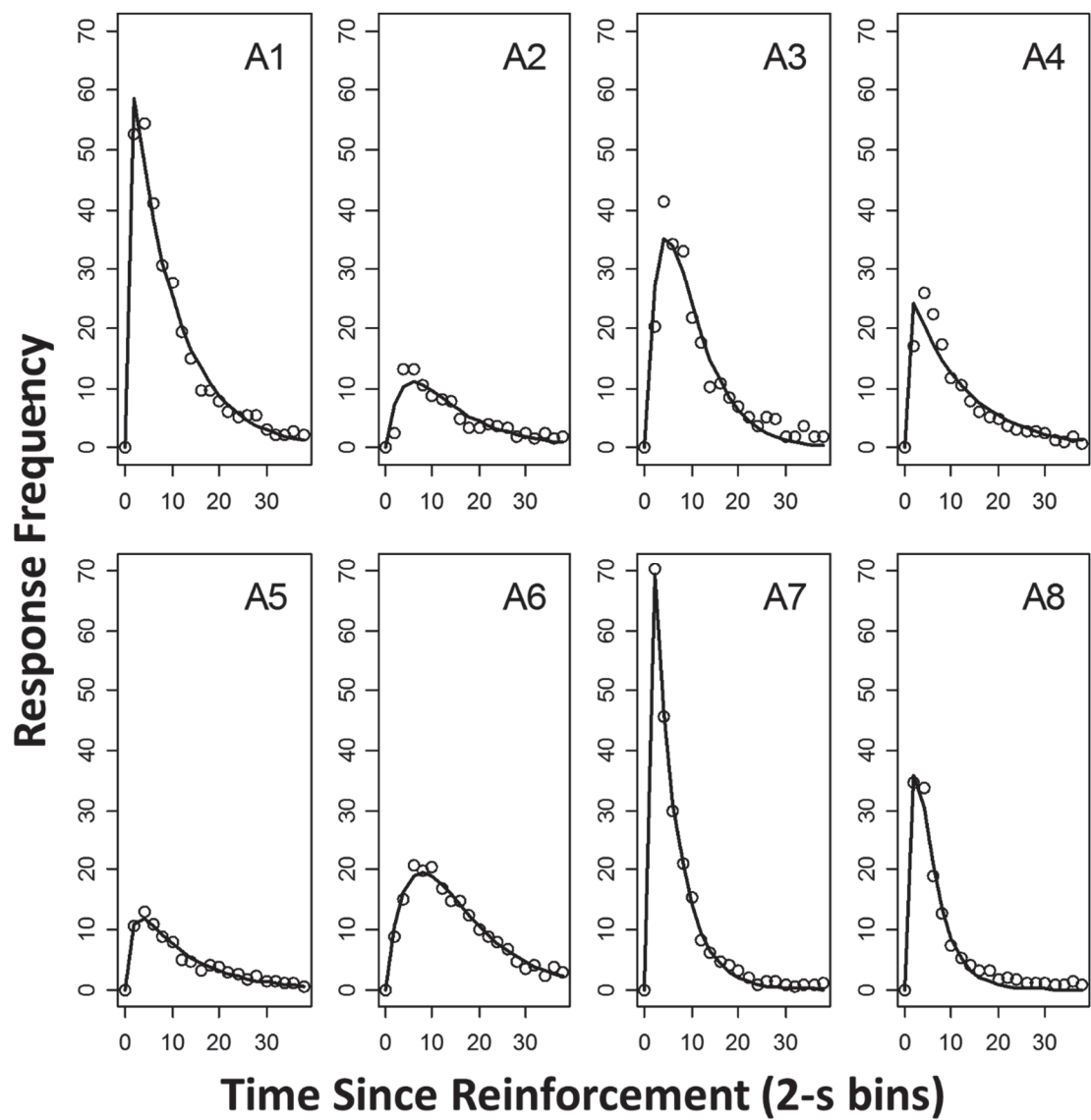


図 1-5 Killeen et al. (1978) の二重指数関数の誘導モデルの個体データへの当てはめ

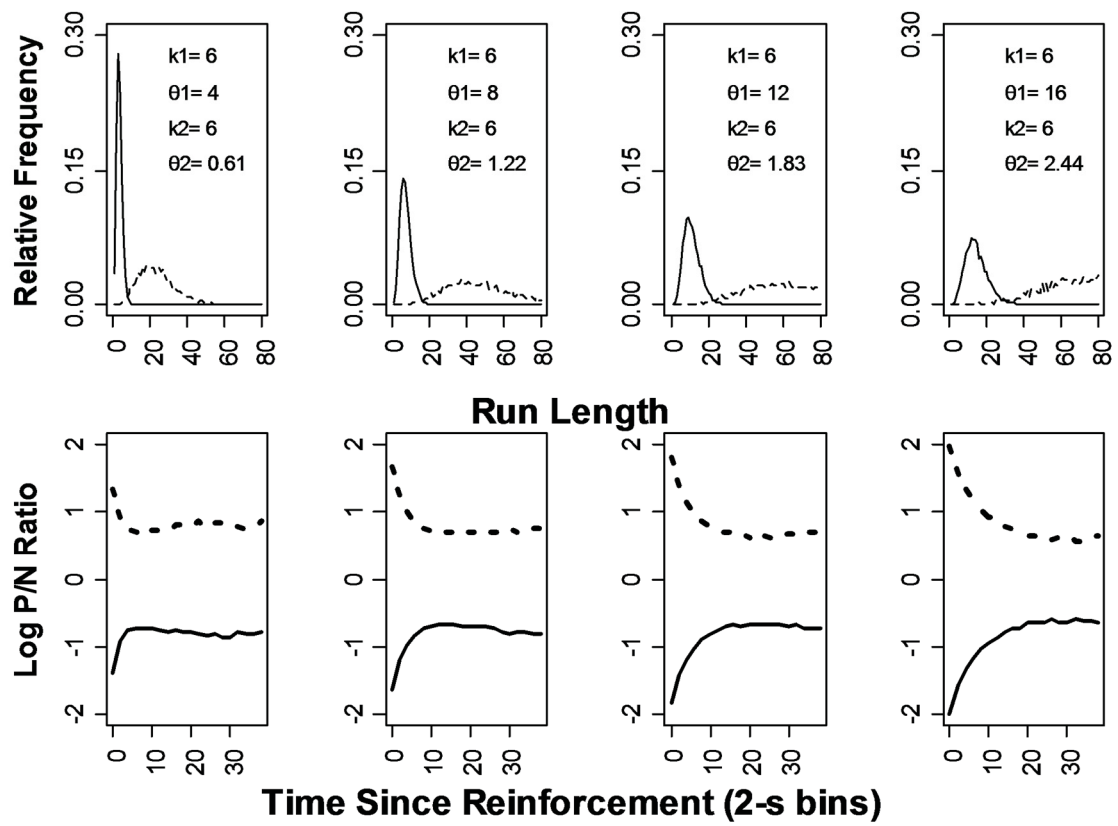


図 1-6 McLean et al. (2014) のシミュレーションの本実験 1 手続きへの適用結果

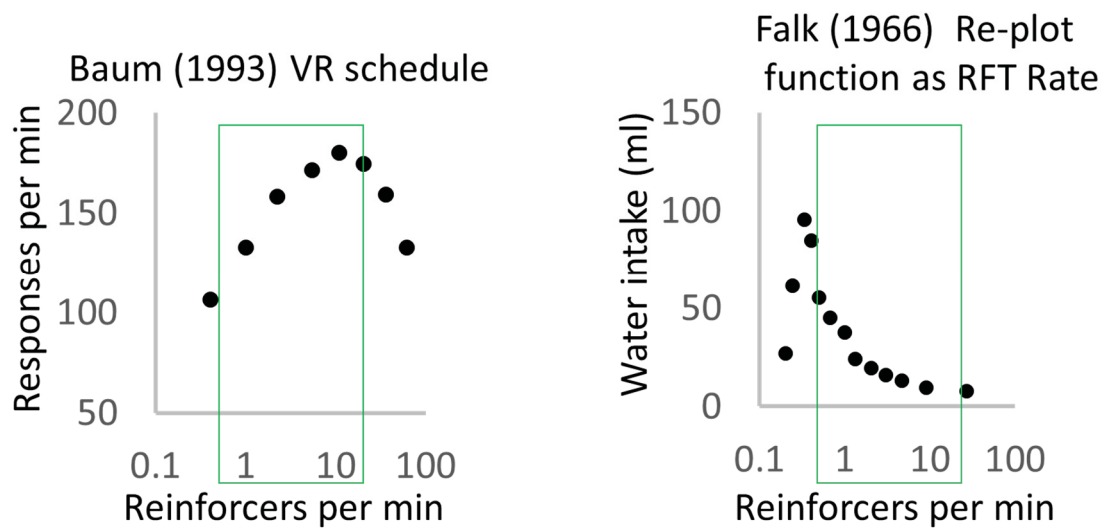


図 2-1 全体強化率に対するオペラント行動とスケジュール誘導性行動の反応予測

左図は Baum (1993) の強化率の関数としての VR 反応率の図から改変。右図は Falk (1966) のスケジュール誘導性水飲み行動の FI スケジュールの関数としての飲水量変化の図を改変した。Falk では FI スケジュールの関数として図示していたため、強化率の関数へと読み直した。両図はいずれも最頻値を持つ山なりの分布であるが、中程度の強化率（1 ～ 10 /分程度）においては、強化率と反応率の予測が異なる。

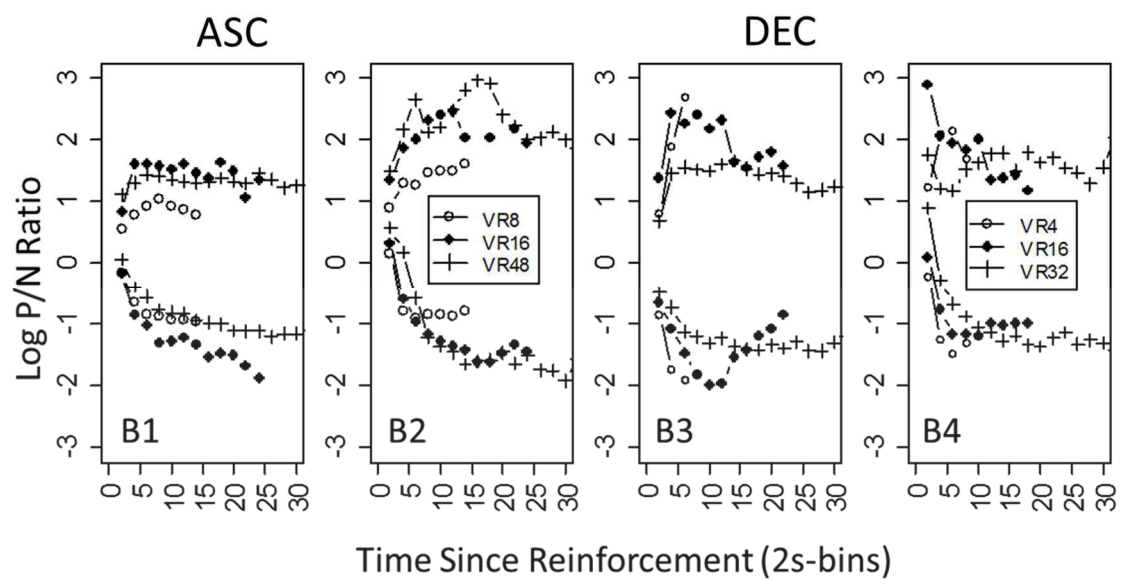


図 2-2 強化後時間経過の関数としての Log P/N 反応比（選好パルス）

B1、B2 は VR 比率の上昇系列群（ASC）、B3、B4 は下降系列群（DEC）の個体を示す。

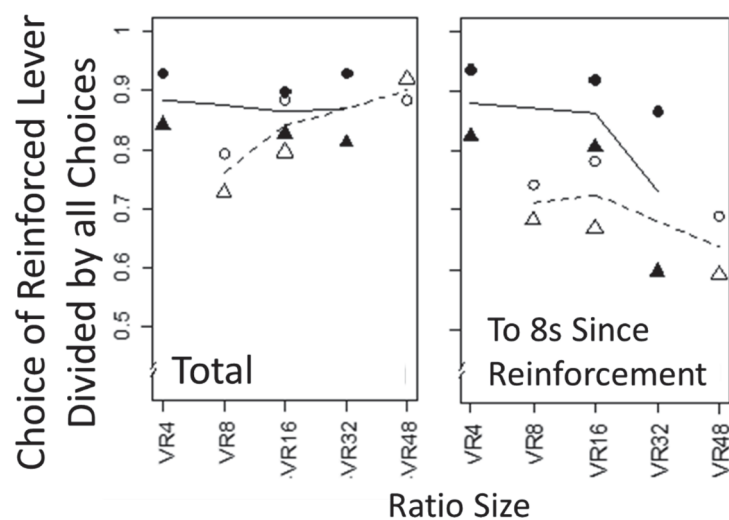


図 2-3 VR 条件ごとの刺激ライト点灯側レバーへの反応割合（正答率）

黒色の丸と三角形は下降系列群の各個体、白色の丸と三角形は上昇系列の各個体の結果を表す。実線及び点線は下降系列群と上昇系列群の各々の比率条件における平均値を表す。

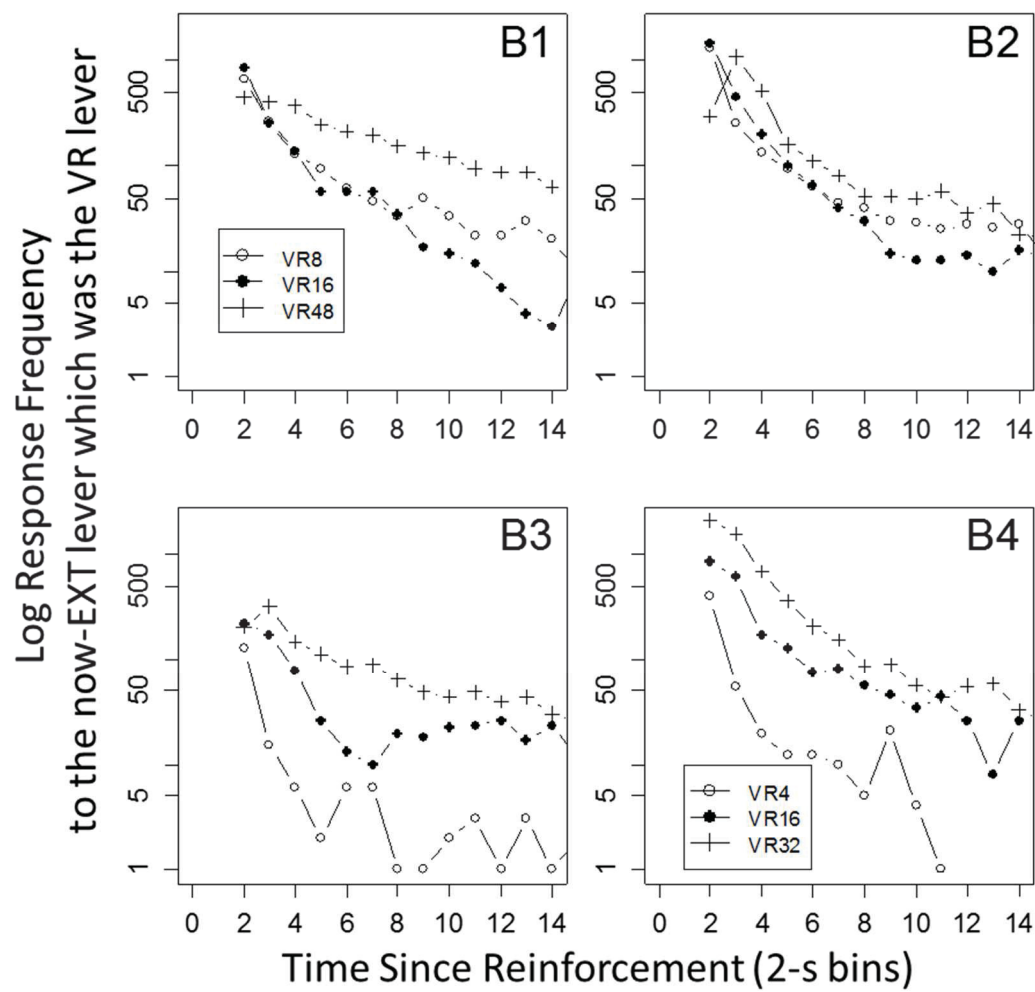


図 2-4 各比率条件の EXT パルスにおける EXT レバーへの反応頻度対数値

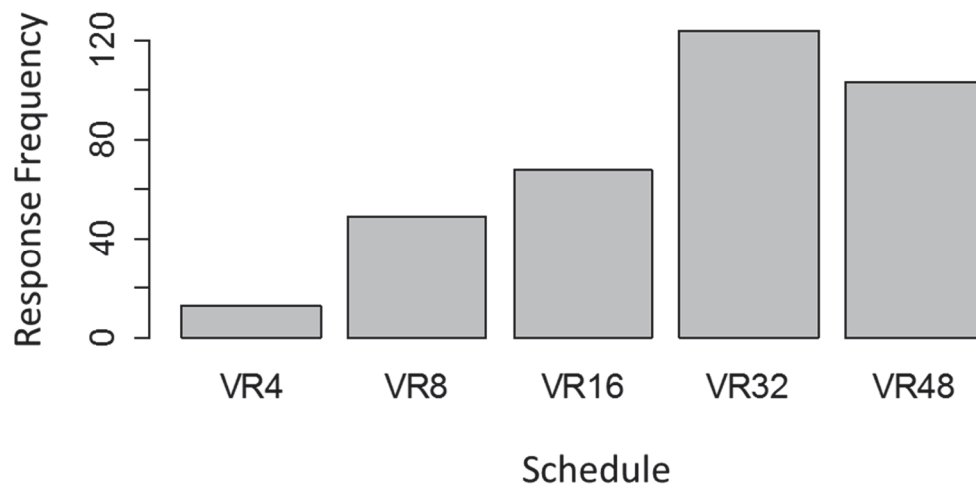


図 2-5 EXT パルスにおける EXT レバーへの反応の 50 パーセンタイルまでの頻度

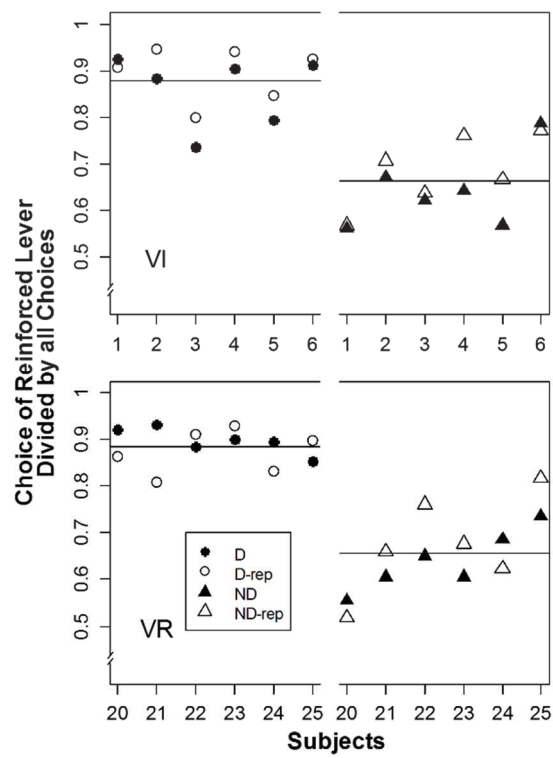


図 3-1 各条件の刺激ライト点灯側レバーへの反応割合

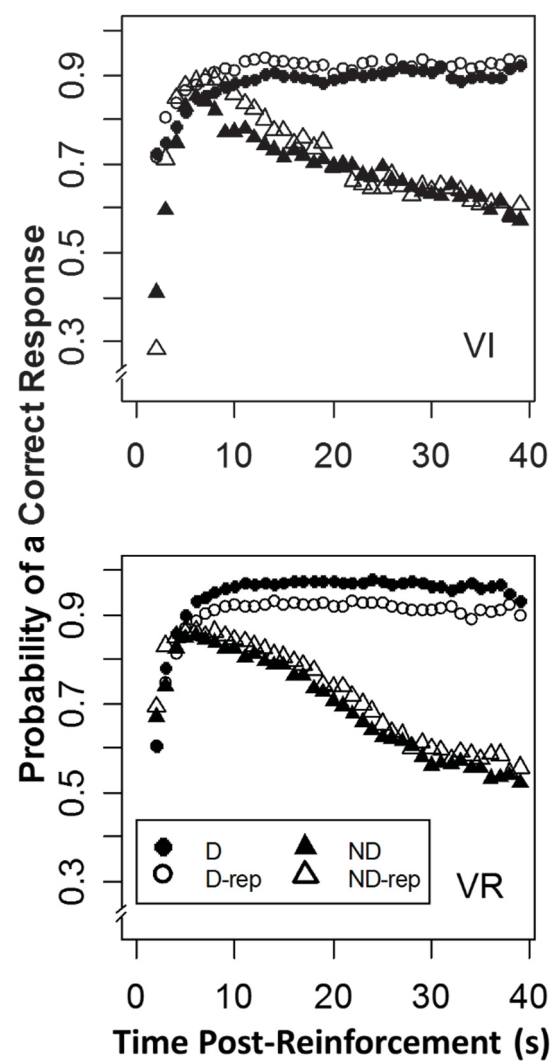


図 3-2 各条件の正反応率の強化後時間に伴う推移

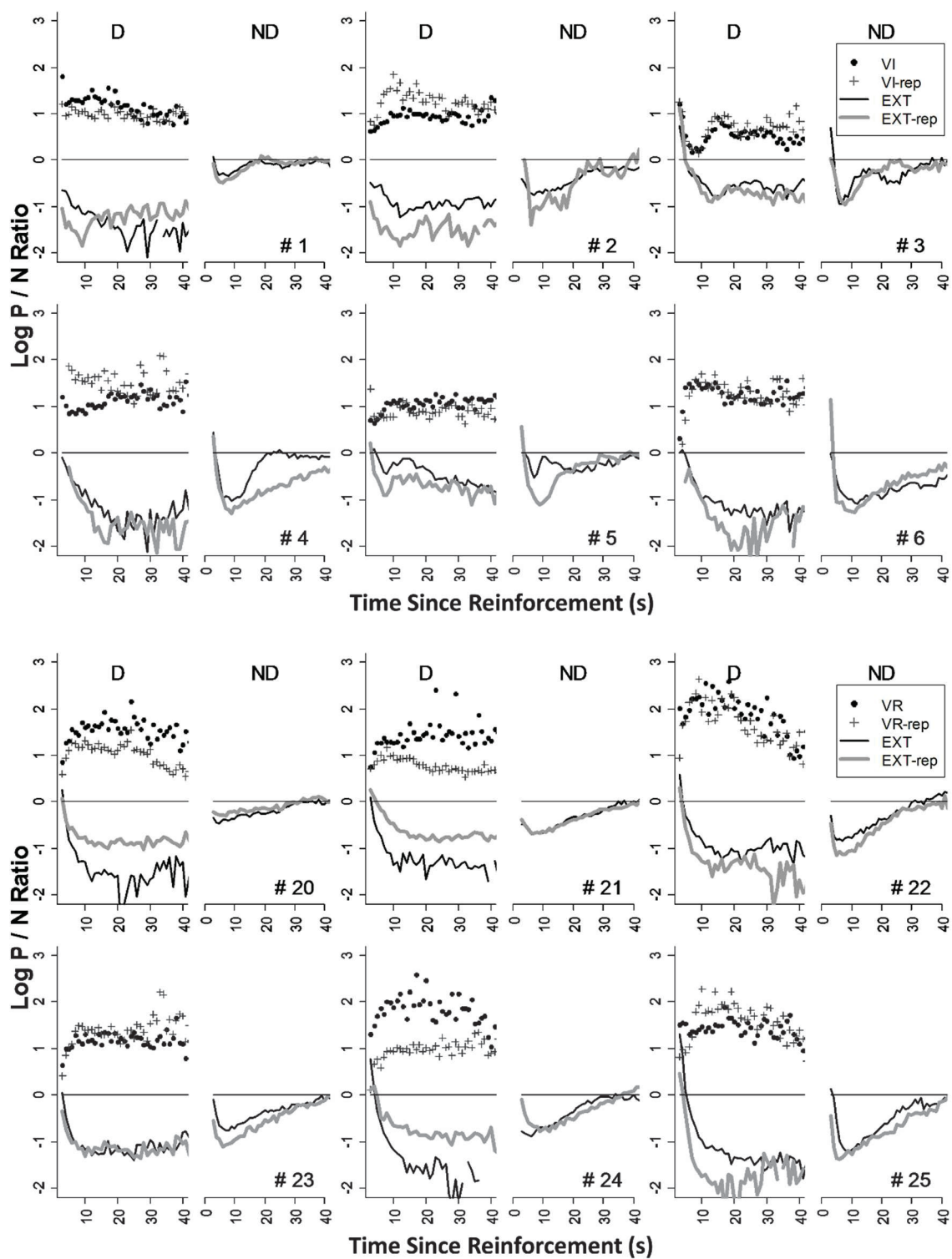


図 3-3 強化後時間経過の関数としての Log P/N 反応比（選好パルス）

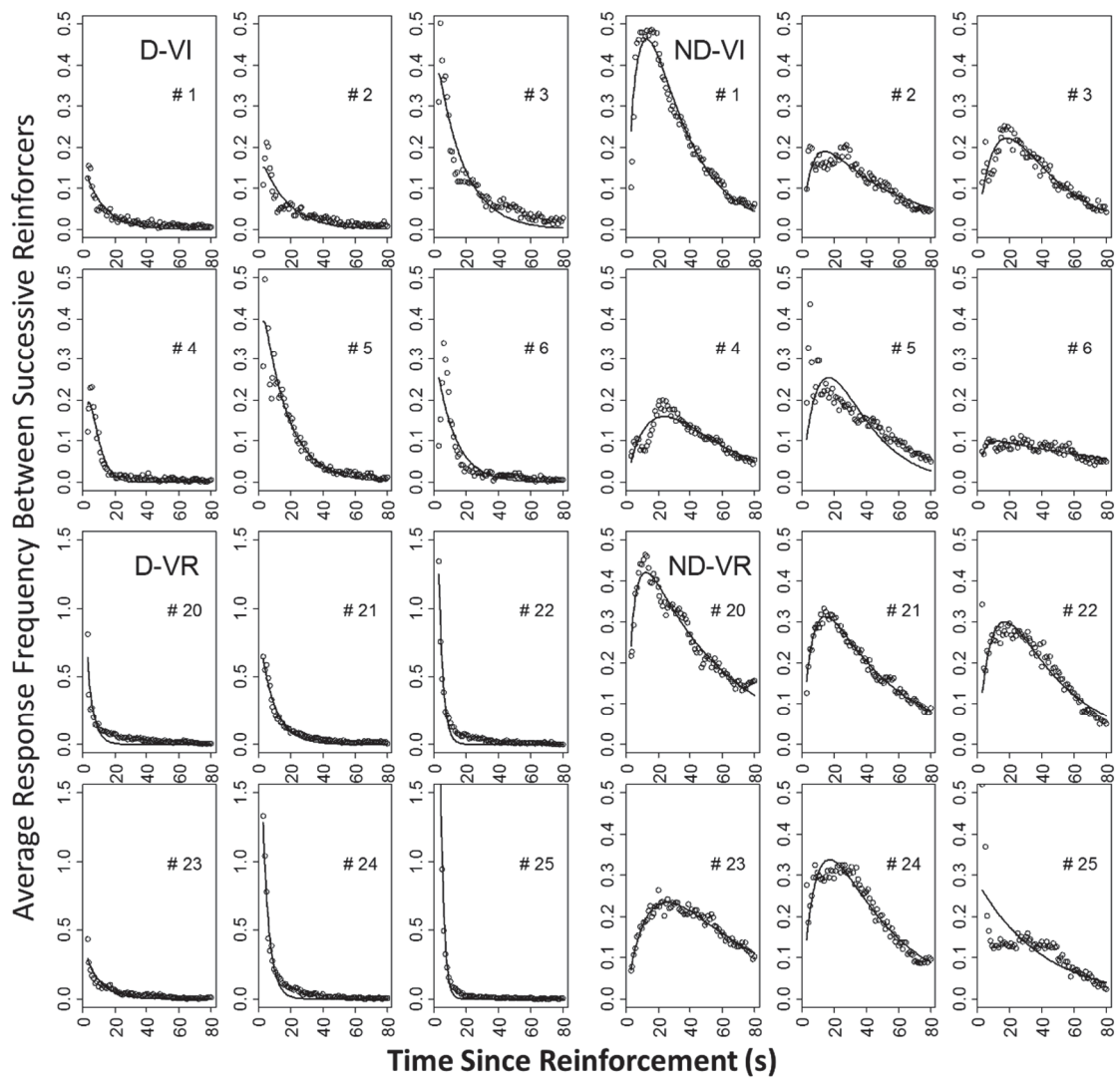


図 3-4 Killeen et al. (1978) の二重指数関数の誘導モデルの当てはめ（個体データ）

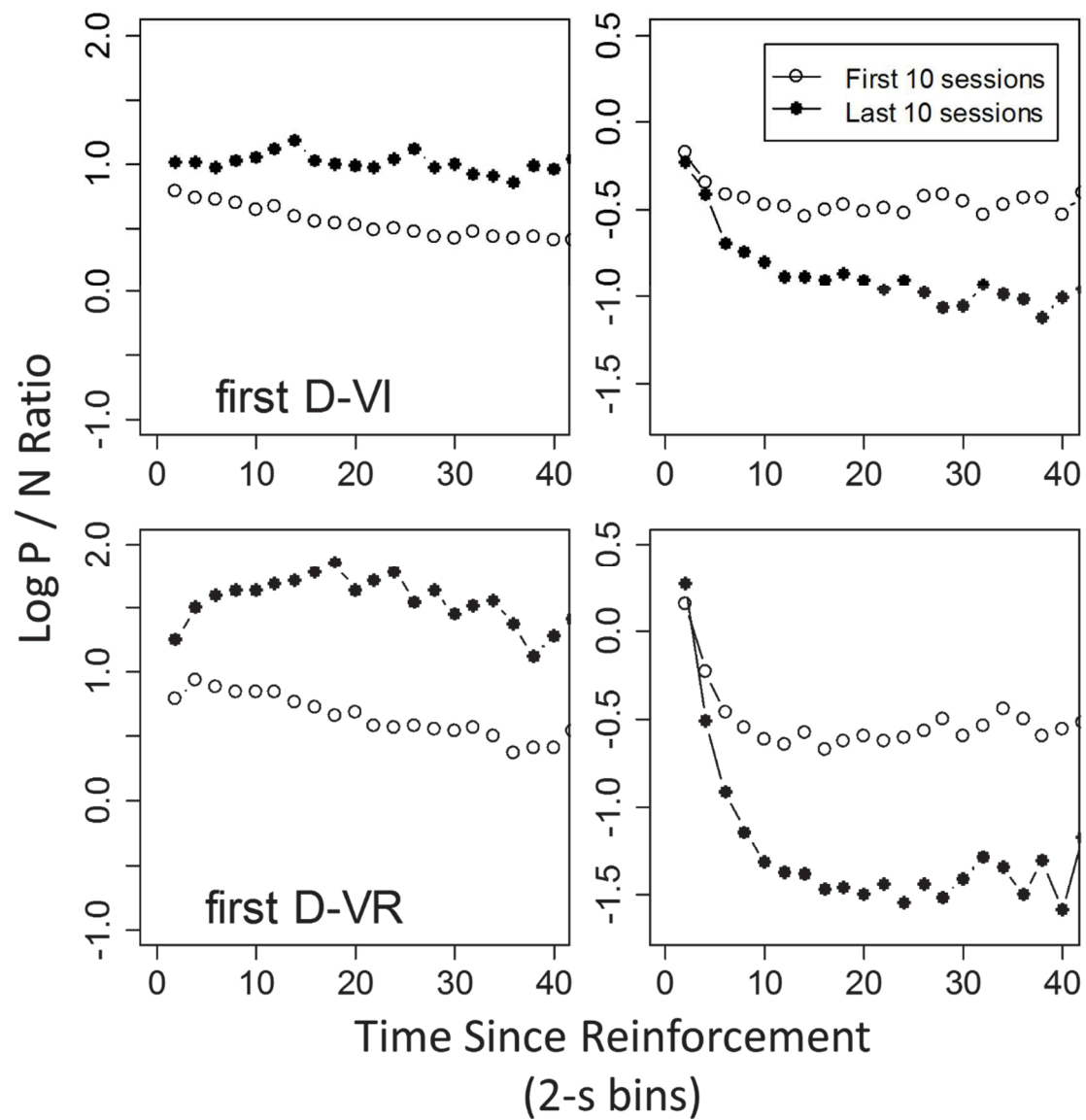


図 3-5 第 1 実験条件における訓練初期と後期の選好パルス比較

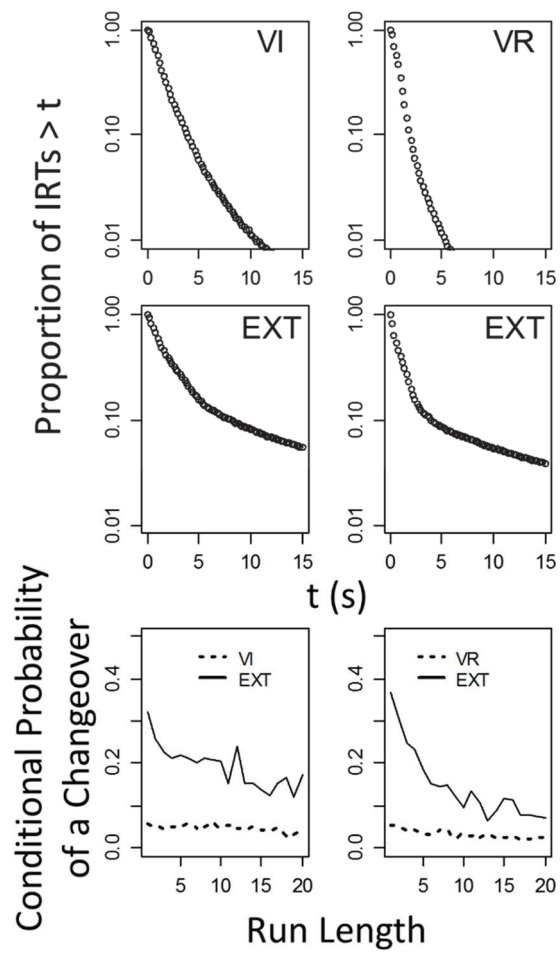


図 3-6 選択行動への対数生存分布プロット及び、反応連の関数としての切り替え反応確率プロット

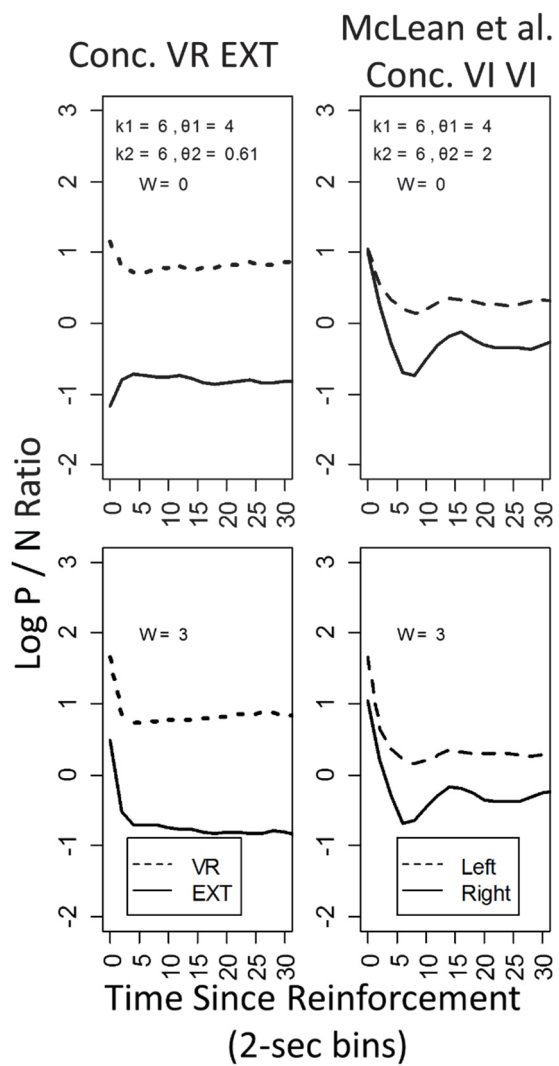


図 3-7 ガンマ分布選択規則および Win-Stay 成分を用いた EXT パルスシミュレーション

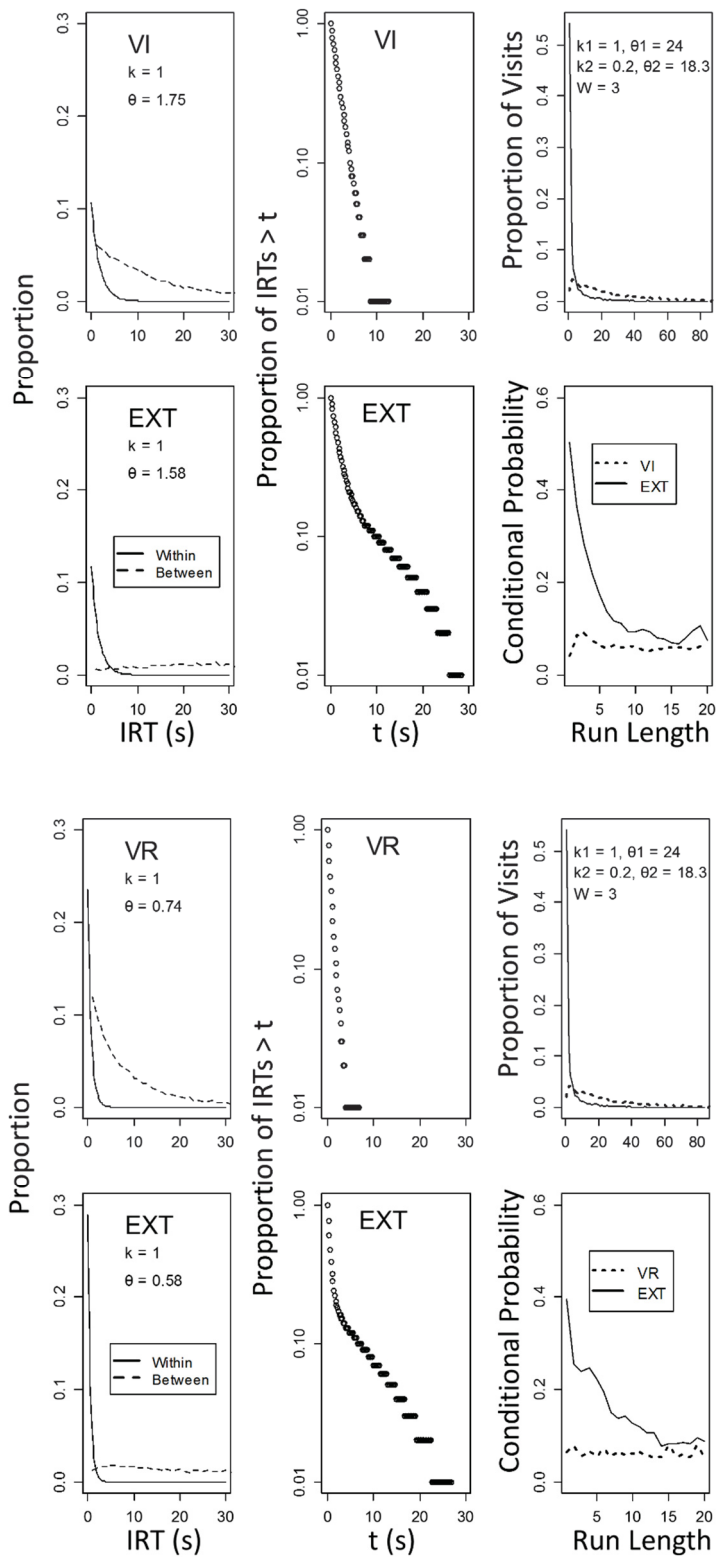


図 3-8 Win-Stay, Fix-and-Sample モデルによるシミュレーションデータを用いた対数生存分布プロットおよび、反応連の関数としての切り替え反応確率プロット

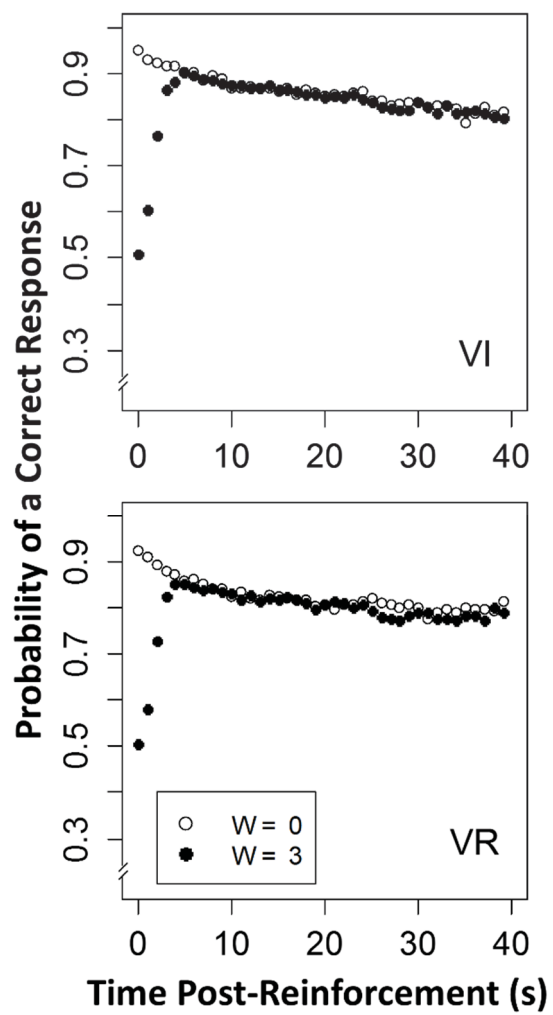


図 3-9 Win-Stay, Fix-and-Sample モデルによるシミュレーションデータを用いた正反応率の強化後時間に伴う推移

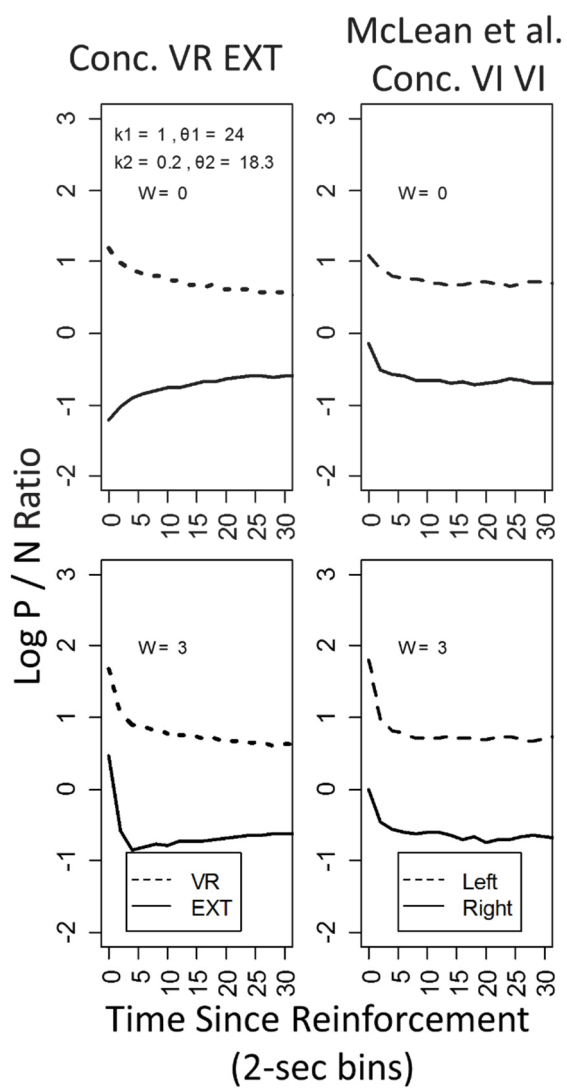


図 3-10 Win-Stay, Fix-and-Sample モデルによるシミュレーションデータを用いた選好パルス

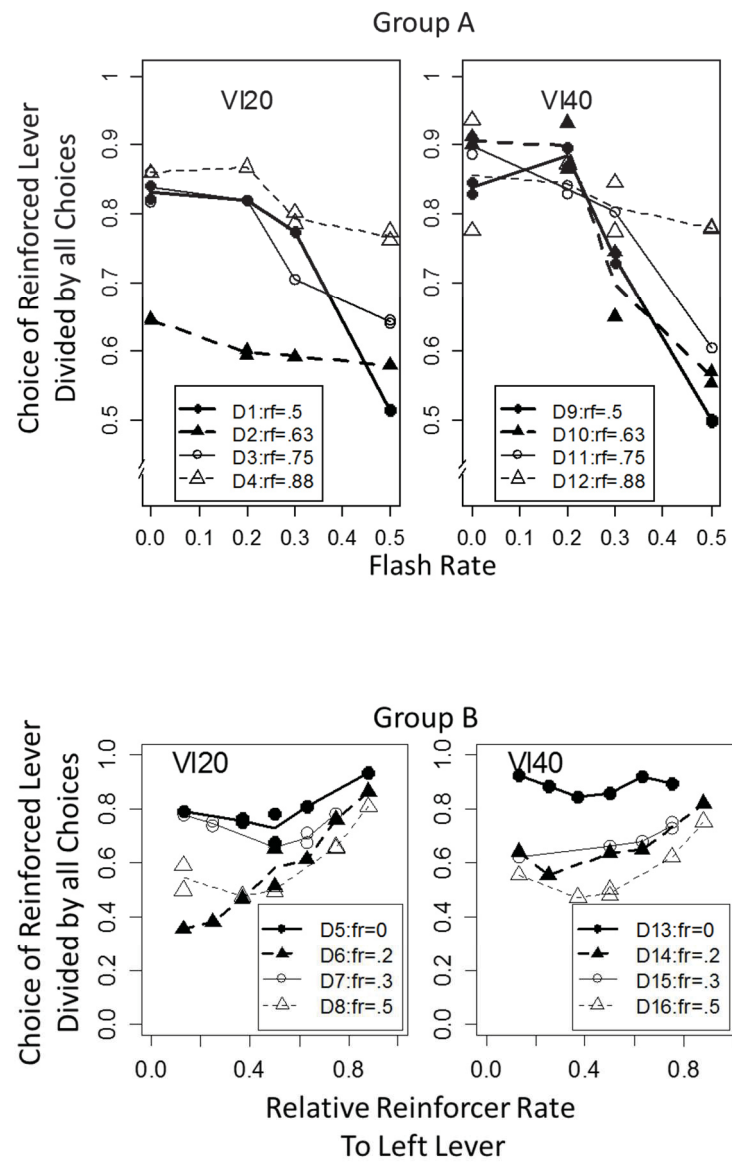


図 4-1 各条件の VI レバーへの反応割合

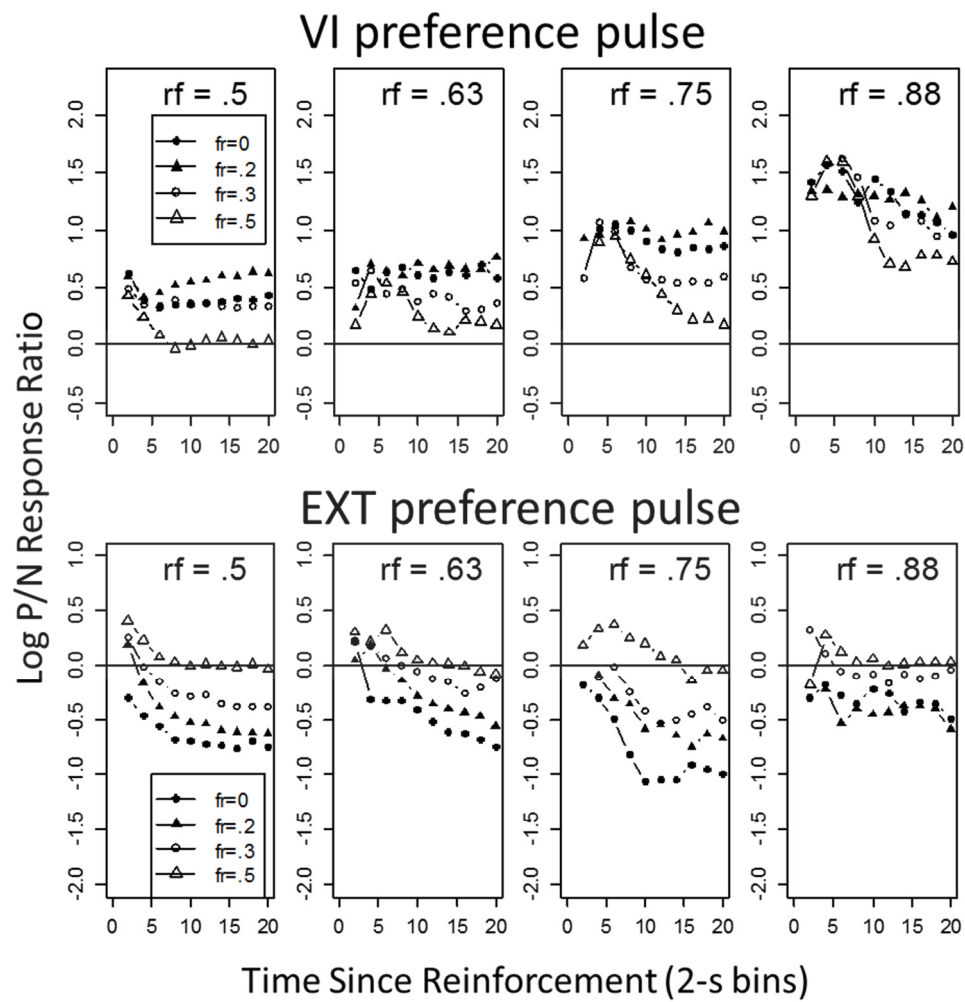


図 4-2 群 A の強化後時間経過の関数としての Log P/N 反応比（選好パルス）

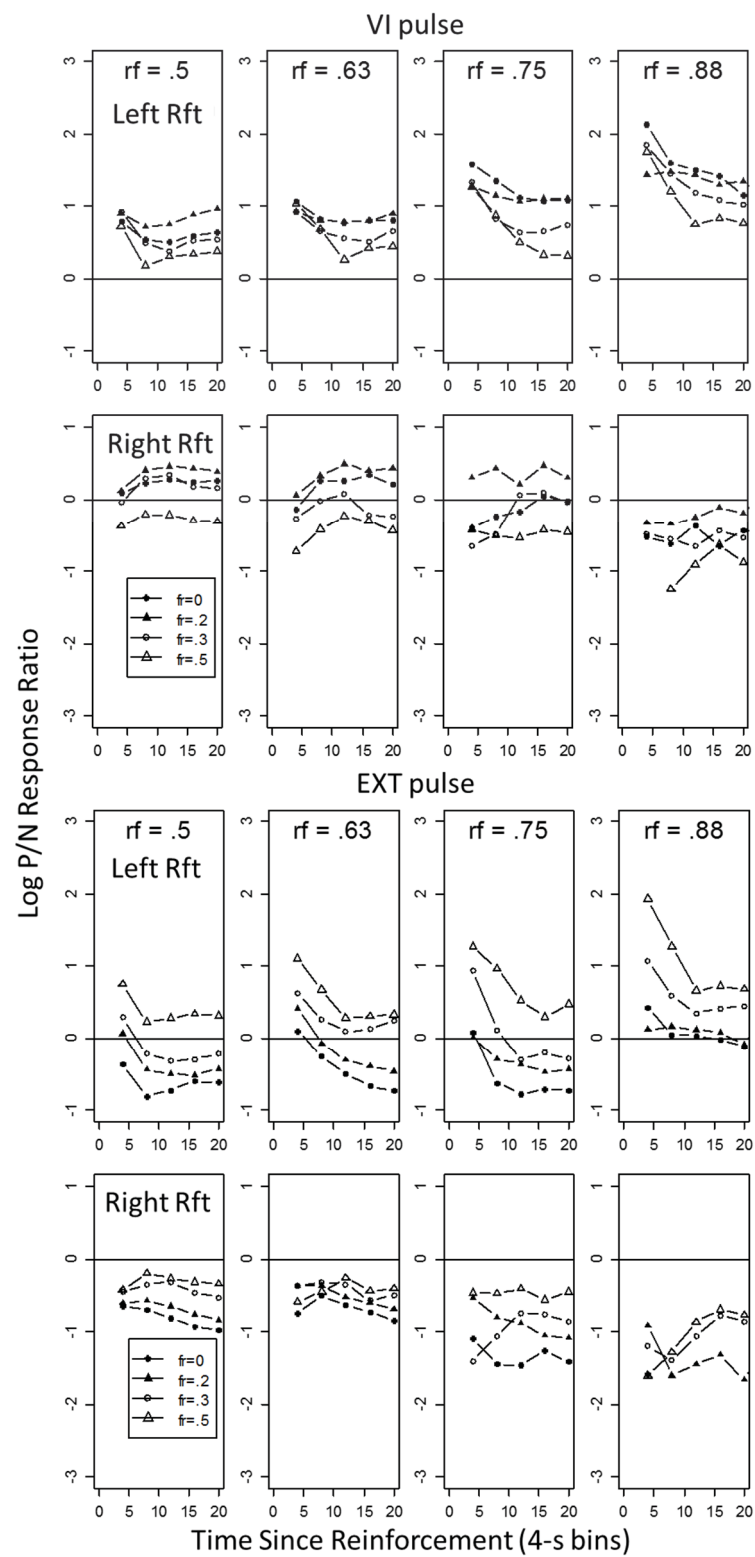


図 4-3 群 A の強化後時間経過の関数としての左右別 VI パルスと EXT パルス

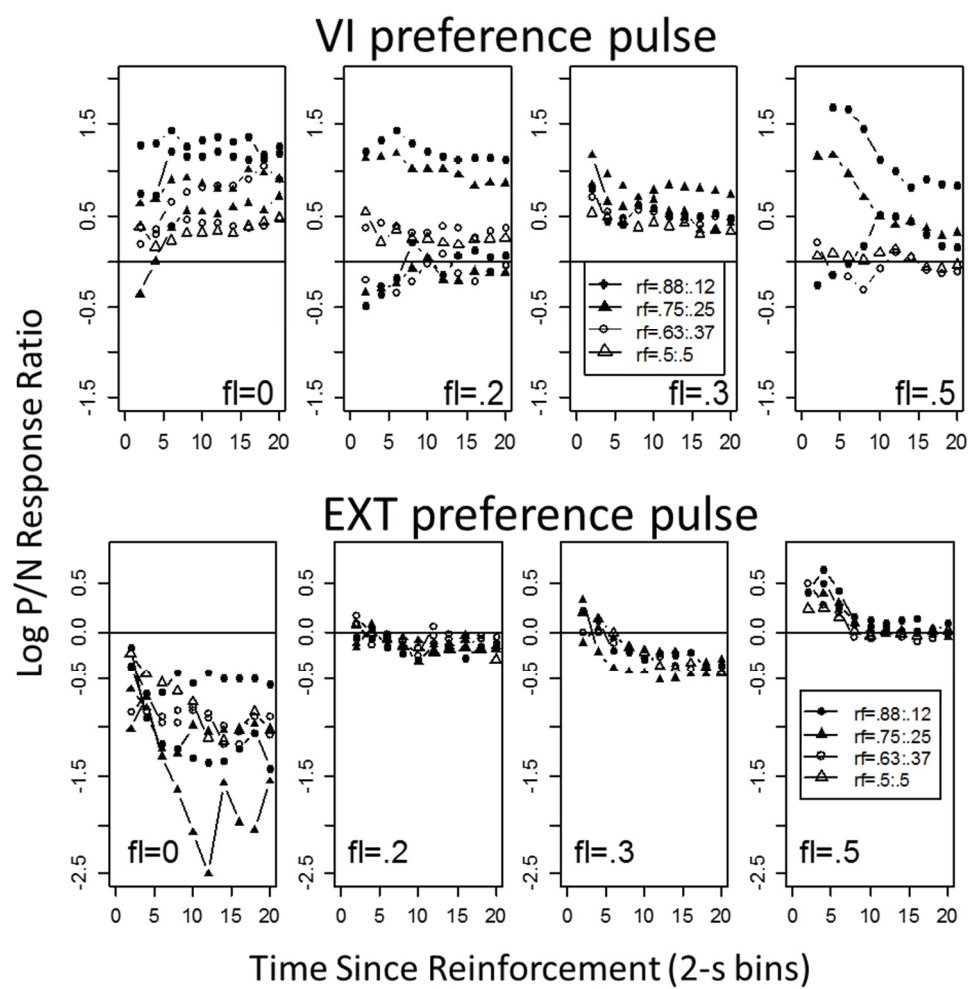


図 4-4 群 B の強化後時間経過の関数としての Log P/N 反応比（選好パルス）

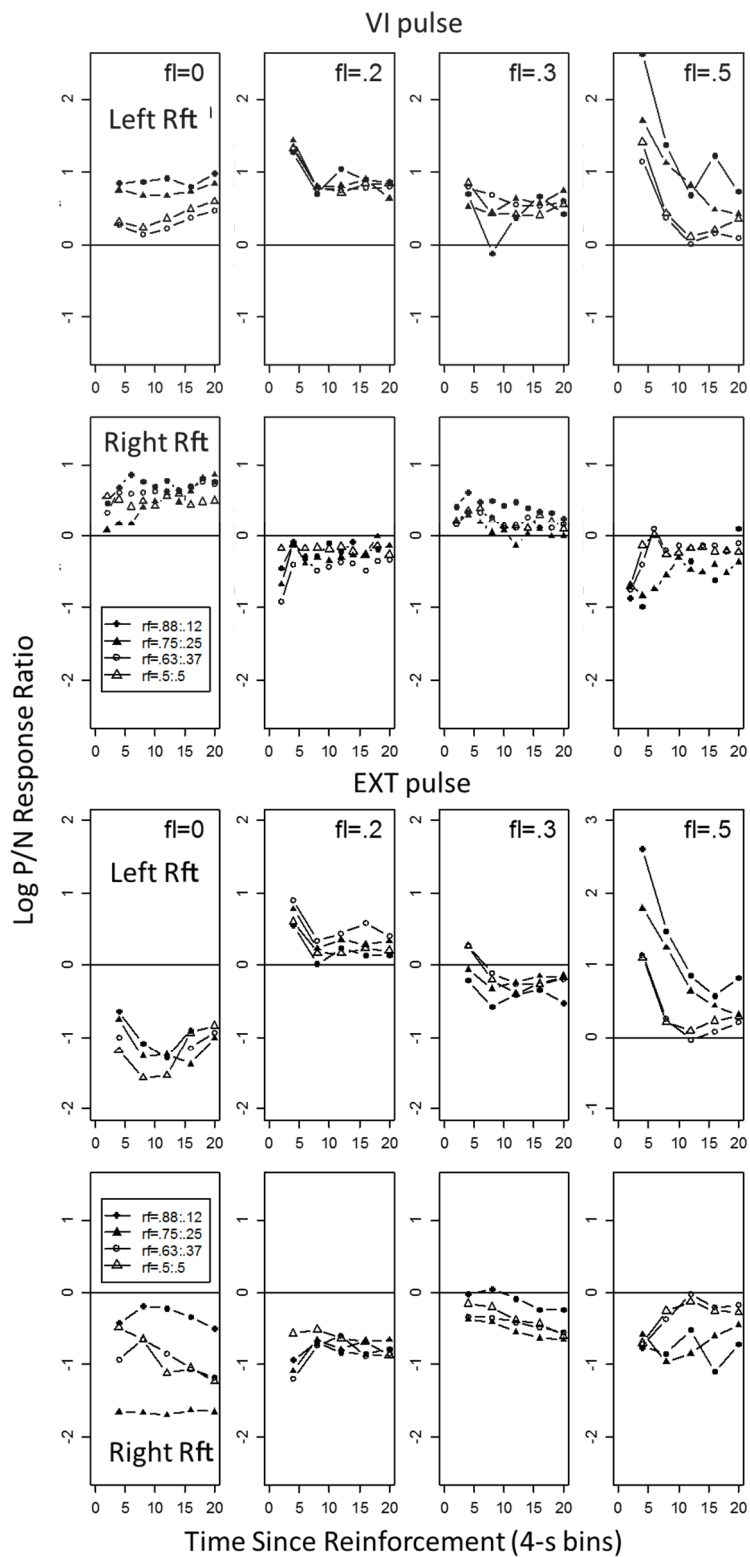


図 4-5 群 B の強化後時間経過の関数としての左右別 VI パルスと EXT パルス

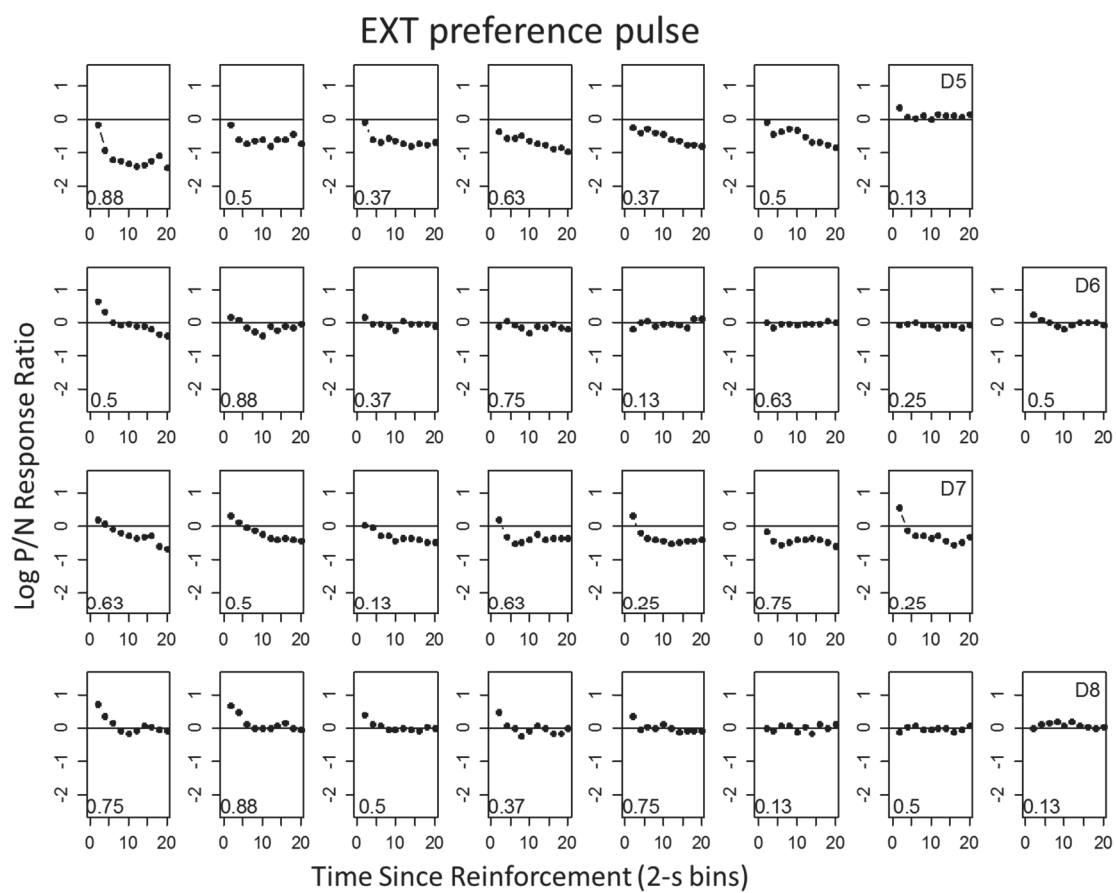


図 4-6 群 B の EXT パルス（訓練条件順）

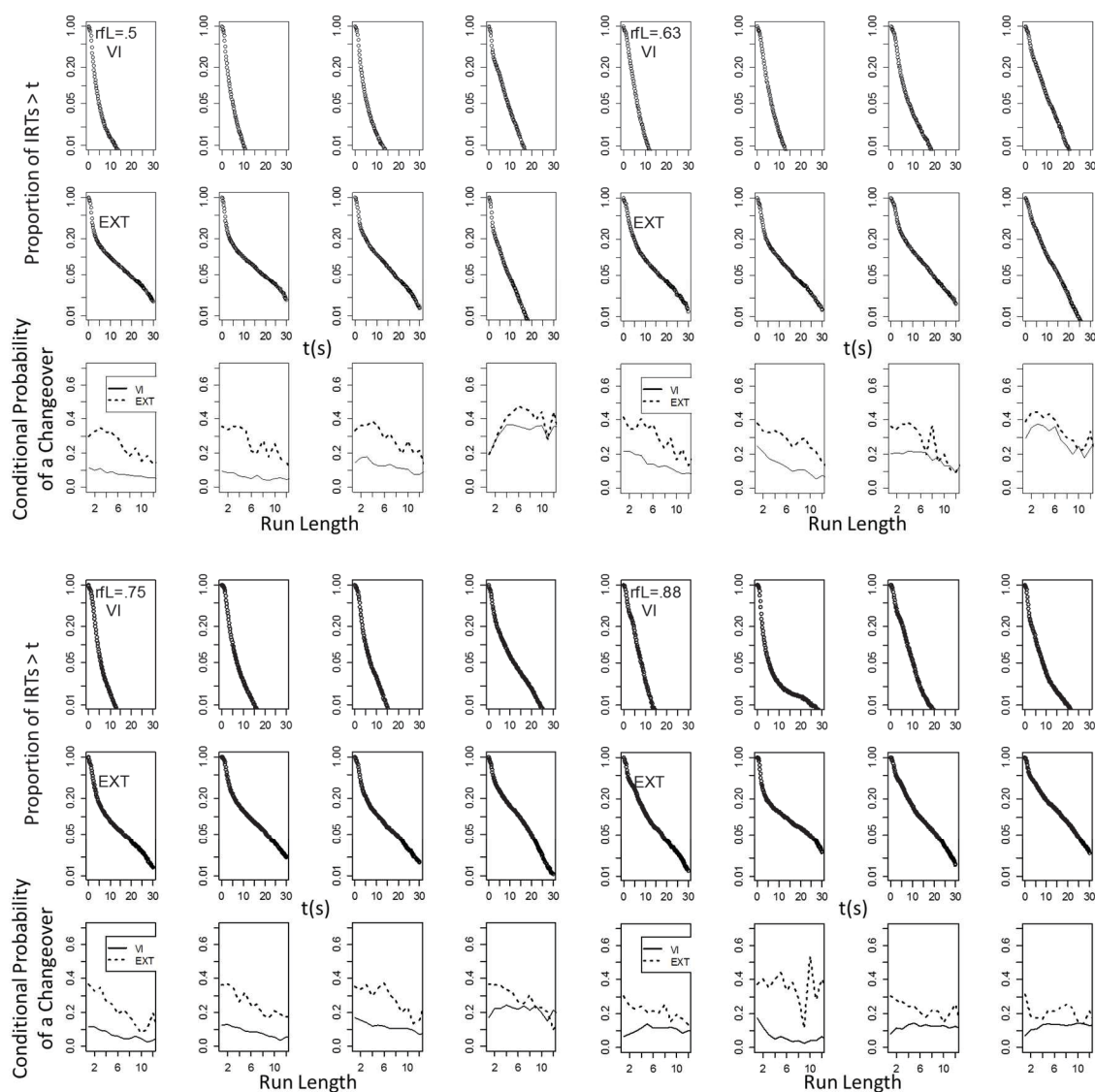


図 4-7 群 A の選択行動への対数生存時間プロット及び、反応連の関数としての切り替え反応確率プロット

図は 4 つの左強化確率の違い(0.5、0.63、0.75、0.88)に応じて 4 つの領域に分かれる。各領域は 3 行 4 列のパネルを持つ。各領域の上段中段は対数生存時間プロット、下段は反応連の関数としての切り替え反応確率のプロットである。各領域は最左列から順に刺激ライットの点滅率 0、0.2、0.3、0.5 の場合の結果を示している。

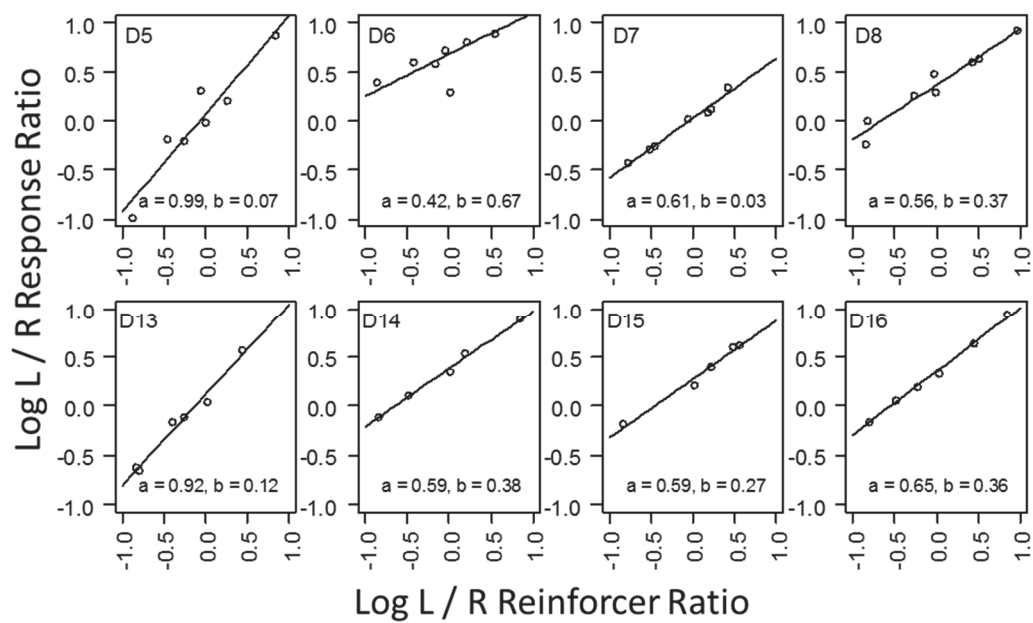


図 4-8 群 B の各個体の Log L/R 強化比の関数としての Log L/R 反応比

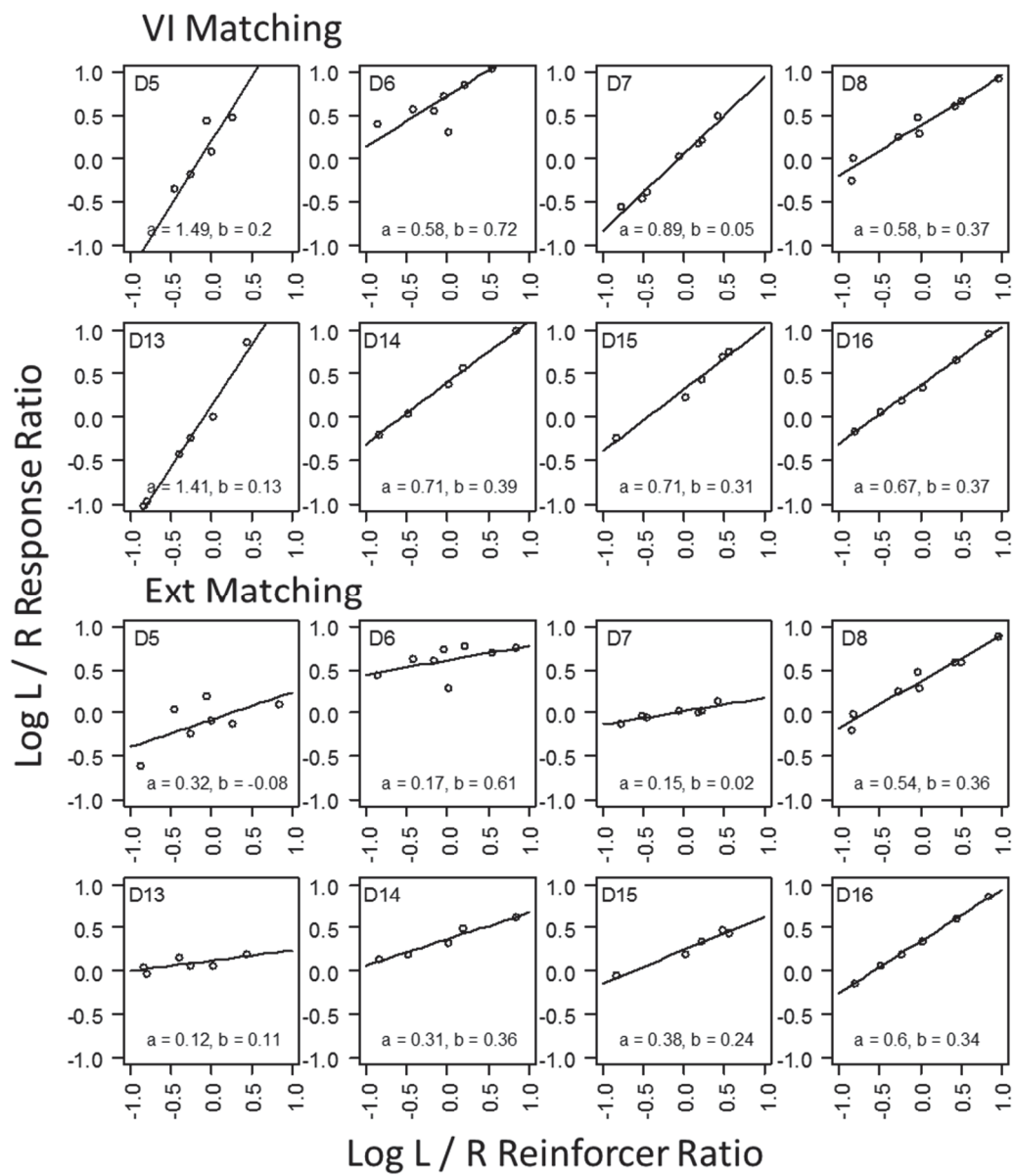


図 4-9 群 B の刺激ライト位置の変化の有無別の Log L/R 強化比の関数としての Log L/R 反応比

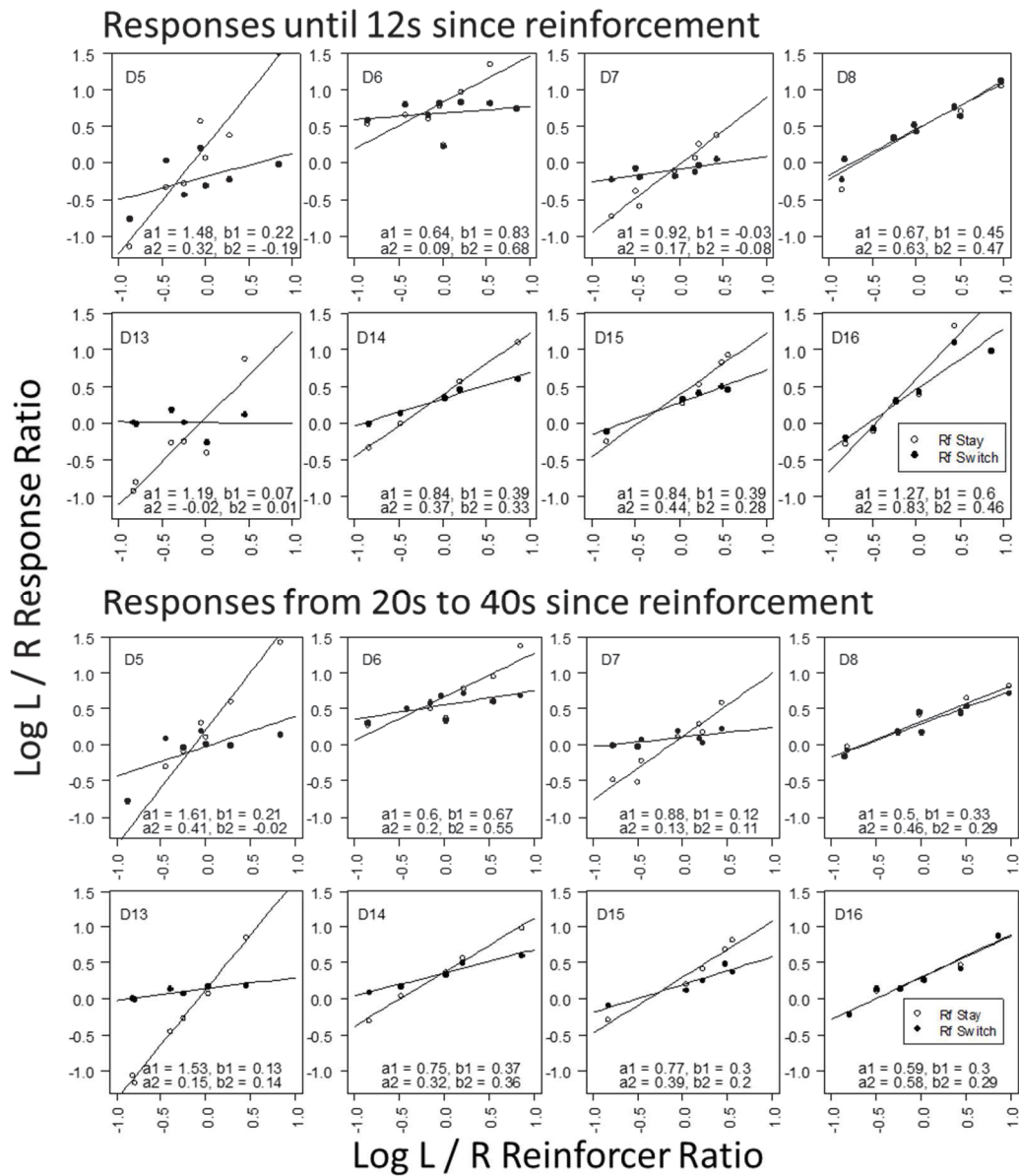


図 4-10 群 B の強化子提示後 12 秒までのマッチング及び、20 秒から 40 秒までのマッチング比較

当該研究に関する業績一覧及び職歴、研究歴

業績

学位論文

八賀洋介 (2005). 連検定を基準とした分化強化手続き：ラットの 2 レバーオペラント事態における系列依存性 / 独立性の検討. 慶應義塾大学大学院社会学研究科修士論文 (未公刊)

学術雑誌 (紀要・論文集)・書籍

(査読有り)

八賀洋介 (2008). 行動変動性の強化可能性に関する概念的検討. 行動分析学研究, 22, pp.120-240.

Silberberg, A., Goto, K., Hachiga, Y., and Tanno, T. (2008). Schedule discrimination in a mixed achedule implication for models of the variable-ratio, variable-interval rate difference. Behavioural Processes, 78, pp. 10-16.

八賀洋介 (2008). 行動を結果による選択により定義した研究視点からの仲裁. 動物心理学研究, 58, pp.95-96.

八賀洋介、森元良太、古賀聖人、坂上貴之 (2008). “少数の法則”を補足する説明の妥当性の検討. 人間と社会の探求：慶應義塾大学大学院社会学研究科紀要, 66, pp.55-68.

Hachiga, Y., Silberberg, A., Parker, S., and Sakagami, T. (2009). Human (Homo sapiens) fail to show an inequity effect in an “up-linkage” analog of the monkey inequity test. Animal Cognition, 12, pp. 359-367.

Hachiga, Y., and Sakagami, T. (2010). A runs-test algorithm: Contingent reinforcement and response run structures. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 93, pp. 61-80.

Hachiga, Y., Sakagami, T., and Silberberg, A. (2014). Preference pulses induced by reinforcement. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 102, pp. 335-345.

Hachiga, Y., Sakagami, T., and Silberberg, A. (in press). Preference pulses and win-stay, fix-and-sample model of choice. Journal of the Experimental Analysis of Behavior. (査読無し)

Morimoto, R., Hachiga, Y., Koga, M., and Sakagami, T. (2007). Explaining uncertain behaviors: An experiment and its analysis. In S. Watanabe and M. Okada (Eds.) Interdisciplinary graduate program on the mind, Annual report (pp. 79-96). Keio University.

Hachiga, Y. (2011). After-effect of reinforcement on redundant responses in Wistar rats: A preliminary investigation. In S. Watanabe (Ed.) CARLS series of Advanced Study of Logic and Sensibility (pp. 121-125). Keio University Press.

八賀洋介 (2013). 行動生物学辞典 (見出し語 14 項目を担当). 東京化学同人.

八賀洋介 (2015). 第 2 章 系統, 第 3 章 個体差. 高瀬堅吉・柳井修一・山口哲生 (監訳) ラットの行動解析ハンドブック. 西村書店

国際学会等における発表

(口頭発表)

○Hachiga, Y. Reinforced variability: extended scope of differential reinforcement, Keio-USF Joint Seminar, University of South Florida, USA, January, 2011.

○Hachiga, Y. Redundant responses under a discrimination training in Wistar rats. Research and development cooperation for behavior analysis, Keio University, Japan, November, 2011.

○Hachiga, Y. The role of response induction by reinforcement on discrimination acquisition under a concurrent Variable-ratio Extinction schedule, ABAI Eighth International Conference, Kyoto, Japan, September, 2015.

(ポスター発表)

○Hachiga, Y., and Sakagami, T. Differential reinforcement of behavioral variability using runs test in rats. Association for Behavior Analysis International 33rd annual convention, San Diego, USA, May, 2007.

○Hachiga, Y., and Sakagami, T. Differential reinforcement of behavioral variability by frequency-dependent selection of two interresponse times in rats. Association for Behavior Analysis International 34th annual convention, Chicago, USA, May, 2008

○Hachiga, Y. A behavioral technique making rats respond sequential independently. Joint Tamagawa-Keio-Caltech Lecture Course On Neuroeconomics, Keio University, Japan, November, 2010.

Igaki, T., Romanowich, P., and Hachiga, Y. Social discounting of cigarette smoking in college students. Association for Behavior Analysis International 40th annual convention, Chicago, USA, May, 2014

○Hachiga, Y., and Sakagami, T. On responses for an extinction alternative immediately after reinforcement delivery: Juxtaposition induction with strength account of reinforcement, ABAI Eighth International Conference, Kyoto, Japan, September, 2015.

国内学会等における発表

(口頭発表)

○八賀洋介 シンポジウム “行動変動性の実験研究とその応用可能性”, 日本行動分析学会第 24 回年次大会, 関西学院大学, 2006 年 9 月.

○八賀洋介 行動単位としての系列とその測度としての消去抵抗の検討, 第 11 回行動数理解究会, 慶應義塾大学, 2003 年 9 月.

○八賀洋介 選択を無差別にする技法—行動変動性のオペラント制御について—, 実験社会

科学—実験が切り開く 21 世紀の社会科学 意思決定班ワークショップ, 慶應義塾大学,
2008 年 4 月.

○八賀洋介 R を使用したデータハンドリングの事始め, 第 20 回行動数理研究会, 慶應義塾
大学, 2012 年 9 月.

(ポスター発表)

○八賀洋介, 坂上貴之 行動単位と消去抵抗, 日本心理学会第 69 回年次大会, 東京大学,
2003 年 9 月.

○八賀洋介, 坂上貴之 “連検定” 条件づけが生み出す変動性及びパターンの研究, 日本行
動分析学会第 23 回年次大会, 常磐大学, 2005 年 7 月.

○八賀洋介, 坂上貴之 連検定パーセンタイル基準による分化強化効果の検討, 日本行動分
析学会第 25 回年次大会, 立教大学, 2007 年 8 月.

○八賀洋介, 坂上貴之 2 つの離散反応間隔に対する低頻度分化強化, 日本行動分析学会第
26 回年次大会, 横浜国立大学, 2008 年 8 月.

○八賀洋介, 坂上貴之 系列依存性の情報量指標について, 日本行動分析学会第 27 回年次
大会, 筑波大学, 2009 年 7 月.

○八賀洋介, 坂上貴之 “少数の法則” の補足説明の妥当性に関する実験的検討, 日本心理学
会第 74 回年次大会, 大阪大学, 2010 年 9 月.

井垣竹晴, 八賀洋介, 山田歩 赤色が男性の魅力に及ぼす効果の検討. 日本心理学会第 75 回
年次大会, 日本大学, 2011 年 9 月.

○八賀洋介, 坂上貴之 ラットの変動比率スケジュール弁別訓練下での選好および余剰反応
の生起パターンについて. 日本心理学会第 76 回年次大会, 専修大学, 2012 年 9 月.

坂上貴之, 作田一平, 八賀洋介 強化確率の勾配を持つ固定長反応連 (FCN) スケジュール
による行動制御. 日本基礎心理学会第 31 回年次大会, 九州大学, 2012 年 11 月.

○八賀洋介, 坂上貴之 ラットのスケジュール弁別訓練手続き下の強化子の機能の比較. 日
本行動分析学会第 31 回年次大会, 岐阜大学, 2013 年 7 月.

○八賀洋介, 坂上貴之 選好パルスの説明としてのアーティファクトの妥当性の検討. 日本
行動分析学会第 32 回年次大会, 弘前大学, 2014 年 6 月.

職歴

2006 年 4 月～2007 年 3 月

慶應義塾大学文学部 「魅力ある大学院教育」 イニシアティブ リサーチアシスタント

2007 年 4 月～2008 年 3 月

慶應義塾大学文学部 ティーチングアシスタント（心理統計）

2009 年 4 月～

神奈川大学 人間科学科 非常勤講師（心理学Ⅰ・Ⅱ）

2010 年 9 月～2012 年 3 月

東京女学館大学 非常勤講師(統計処理法演習・学習心理学)

2010 年 9 月～2012 年 3 月

東京女学館大学 ティーチングアシスタント（心理学実験Ⅰ）

2011 年 4 月～

昭和医療技術専門学校 臨床検査技師科 非常勤講師（臨床心理学）

2011 年 4 月～

慶應義塾大学 文学部 非常勤講師（基礎情報処理）

2011 年 4 月～

立教大学 現代心理学部 非常勤講師（心理学研究法Ⅰ）

2012 年 4 月～2015 年 3 月

常磐大学 人間科学科 非常勤講師（心理統計Ⅰ・Ⅱ）

2015 年 4 月～

帝京大学 文学部 非常勤講師（心理情報処理演習）

研究歴

2008 年 4 月～2009 年 3 月

日本学術振興会特別研究員 DC2

2009 年 4 月～2010 年 3 月

日本学術振興会特別研究員 PD（DC2 から変更）

2010 年 4 月～2011 年 3 月

慶應義塾大学 人文グローバル COE 非常勤研究員

2011 年 4 月～

慶應義塾大学大学院 社会学研究科 研究生

謝辞

本論文を構成している各実験には多くのオスの **Wistar** 系ラットを使用しております。彼らなくして実験を通した実証による知識を私が得られた確証はありません。動物実験は行動の科学及び心理学にとって欠かすことのできない大切な方法であると改めて認識します。

主査である坂上貴之先生からは直接の指導もさることながら、大学院以降はその背中を見せていただくことにより間接的に多くのことを学ばせていただきました。学部ゼミのような研究指導場面、同僚の先生方や他学部他専攻の先生方との折衝や意思決定の会合の場面など、様々な場でどのように反応されるか、何に配慮しどのように決断をするかなど、そこには多くの実践知があり敬服し、また、学ぶべきことが尽きないことを認識させていただきます。また、常に行動の研究者として物事を見る態度、研究に関しては、時に突拍子ないと感じるほどの柔軟で創造的な発想を見せてくださる様からも多いに刺激を受けました。その一方、成否にかかわらず（多くは失敗ですが）私が自分の好きなように研究をすることを黙認し見守ってくださいました。

副査の山本淳一先生及び平岡恭一先生には本博士論文の公聴会だけでなく、事前の本論文計画書審査や、コロキウム、研究会の場などで、個別の実験に関する発表をさせて頂いた際に、私と異なる視点から意見や質問を頂きました。いずれも各専門に関する豊富な知識に裏打ちされた視点であり、本博士論文自体にどれ程反映させることができたかは心許ないところであります。すぐに反映させられなかったとしても、時機に至るまで自分の内で発酵させていく糧となる刺激を頂くことができました。

Alan Silberberg 先生は 2014 年、2015 年と立て続けに **Journal of the Experimental Analysis of Behavior** へ掲載された論文の共著者を務めてくださいました。それらは本論文の中核となる実験を構成しています。**Silberberg** 先生は、理論的な枠組みに論文をまとめる発想に卓越し、何を語るためにどのようにモデルやシミュレーションを利用できるのかを示してくださいました。投稿論文の構成、査読者への応え方、トラブルへの対処など、共に研究することから学ばせて頂いた点は数限りありません。

私は博士論文を提出するまでに多くの歳月を要しました。それは容易ならざるものでありました。それを全面的に支えてくれたのは家族でした。現時点に至るまで両親、義両親は将来の見えない私の進路を認め、見守ってくださっています。私が悲観的になった際に、妻の遥の楽観的な態度に何度救われたかわかりません。彼女がいなければ本論文の提出まで研究を維持できなかった可能性が十分にあります。3 歳になる長男の湊は、できなかったことを日進月歩で克服し成長する姿を今日に至るまで常に見せてくれます。心理学者としての興味だけではなく、挑戦する姿、成長する姿は、自省の念を抱かせてくれます。

私はここに挙げきれない多くの方々に育まれ今日を迎えております。この全ての方々に謝意を申し上げます。

平成 28 年 1 月 14 日