

Title	反応復活とマッチング法則 : RaC モデルの解説
Sub Title	Resurgence and the matching law : on the resurgence as choice model
Author	藤巻, 峻(Fujimaki, Shun)
Publisher	三田哲學會
Publication year	2019
Jtitle	哲學 (Philosophy). No.142 (2019. 3) ,p.73- 96
JaLC DOI	
Abstract	Resurgence is typically defined as an increase of a previously extinguished target response when a more recently reinforced alternative response is placed on extinction. In the past decade, many studies have revealed various independent variables affecting the magnitude and pattern of resurgence. Some theories and models also have been proposed to predict the effects of those variables on resurgence. Recently, Shahan and Craig (2017) proposed a new model of resurgence called the Resurgence as Choice (RaC) model. This model assumes that resurgence can be viewed as the same process as that governing choice behavior. Specifically, the RaC model suggests that probability of a target response is a function of the relative values of the target and alternative options according to the matching law, and the values of options across time are affected by the relative recencies of past experiences according to the temporal weighting rule. In this article, I briefly review the general findings of resurgence and the quantitative model of resurgence based on behavioral momentum theory. I then give a general outline of the RaC model and finally discuss some implications and problems of the model.
Notes	特集 : 坂上貴之教授 退職記念号#寄稿論文
Genre	Journal Article
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000142-0073">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000142-0073</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese

Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

# 反応復活とマッチング法則： RaC モデルの解説

— 藤 卷 峻\*

## **Resurgence and the Matching Law: On the Resurgence as Choice Model**

*Shun Fujimaki*

Resurgence is typically defined as an increase of a previously extinguished target response when a more recently reinforced alternative response is placed on extinction. In the past decade, many studies have revealed various independent variables affecting the magnitude and pattern of resurgence. Some theories and models also have been proposed to predict the effects of those variables on resurgence. Recently, Shahan and Craig (2017) proposed a new model of resurgence called the Resurgence as Choice (RaC) model. This model assumes that resurgence can be viewed as the same process as that governing choice behavior. Specifically, the RaC model suggests that probability of a target response is a function of the relative values of the target and alternative options according to the matching law, and the values of options across time are affected by the relative recencies of past experiences according to the temporal weighting rule. In this article, I briefly review the general findings of resurgence and the quantitative model of resurgence based on behavioral momentum theory. I then give a general outline of the RaC model and finally discuss some implications and problems of the model.

---

\* 慶應義塾大学・早稲田大学

## 1. はじめに

本稿では、Shahan & Craig (2017) によって提唱された、反応復活に関する新しいモデルについて解説する。このモデルは反応復活をマッチング法則の観点から理解しようとする性質を持っており、反応復活の選択行動モデル (resurgence as choice; 以下 RaC) モデルと呼ばれている。はじめに、反応復活という現象について紹介するとともに、これまでに明らかにされてきたいくつかの制御要因について簡潔に紹介する。その後、RaC モデルが提唱されるに至った経緯について触れつつ、RaC モデルを概説し、このモデルの展望について述べる。

## 2. 反応復活に関する一般的な知見

過去に消去された反応は、目に見える形では消えたことになるが、学習そのものの自体の崩壊を意味するわけではない。この見解は自発的回復をはじめ、消去された反応が様々な要因によって再出現するという実験事実からも明らかである。こうした消去後の反応再出現に関連する現象の1つが反応復活である。反応復活は、より最近まで強化されていた反応が消失することにより、過去に消去された反応が再出現する現象であると定義される (Epstein, 1983, 1985; Lieving & Lattal, 2003)。

一般的な実験手続きは、以下の3フェイズで構成される。フェイズ1では、復活の対象となる標的反応を強化する。フェイズ2では標的反応を消去し、代替反応を強化する。フェイズ3で代替反応を消去する。この際に、標的反応が再度出現すれば、反応復活が生じたことになる。以上が最もよく用いられる手続きであるが、いくつかの変法も存在している。例えば、フェイズ2における標的反応の消去と代替反応の強化を2つのフェイズに分けて実施した場合でも、反応復活が生じる (Epstein, 1983; Winterbauer & Bouton, 2011)。このことは、フェイズ2で代替反応を強化することによって、標的反応の消去が妨害されたために反応復活が生じているという

主張 (Leitenberg et al., 1975; Rawson et al., 1977) への反証となっている。この他にも、フェイズ2において標的反応を他行動分化強化 (differential reinforcement of other behavior; 以下 DRO) で消去し、異なるオペララダムに対する代替反応を強化しなかった場合 (Doughty, da Silva, & Lattal, 2007) や、フェイズ3において代替反応の弁別刺激自体を提示しない場合でも、標的反応の再出現が見られることが報告されている (Podlesnik & Kelley, 2014)。

一見すると単純な手続きであるように思えるが、3つのフェイズにおける標的反応と代替反応に対するいくつもの実験操作が、反応復活の生じ方や強度に影響するため、その制御変数は多岐に及ぶ。例えば、標的反応に関しては、フェイズ1における標的反応の強化率 (Kuroda, Cançado, & Podlesnik, 2016; Podlesnik & Shahan, 2009; 2010) や反応率 (da Silva, Maxwell, & Lattal, 2008; Winterbauer, Luke, & Bouton, 2013)、フェイズ2における消去の方法 (Doughty et al., 2007; Kenster et al., 2015; Romano & St. Peter, 2017) などが影響する。代替反応に関しては、フェイズ2における強化率 (Cançado, Abreu-Rodrigues, Aló, 2015; Craig et al., 2016; Sweeney & Shahan, 2013; Smith et al., 2017) や強化量 (Craig et al., 2017)、フェイズ3における消去の方法 (Lieving & Lattal, 2003; Podlesnik & Kelley, 2014; Volkert et al., 2009) などが影響する。過去10年の研究は、こうした様々な制御変数と反応復活との関係性を予測するためのモデルの提唱と、その検証作業に注力されてきた。最近まで有力視されていたモデルが、次節で述べる行動モメンタム理論に基づくモデルである。

### 3. 行動モメンタム理論に基づくモデルの展開と衰退

行動分析学においては、どのような指標が反応の強さ、すなわち反応強度を適切に表現するかといった問題が古くから議論されてきた。例えば Skinner (1938) では、単位時間あたりの反応数、すなわち反応率を反応

強度として扱うという立場を取った。この立場では、高頻度で生起する反応は強い反応強度を有していることを意味し、強い反応強度は高い強化率の下で形成されることになる。しかしながら、反応率と強化率が必ずしも正比例の関係にならないことは、その後いくつかの研究が示してきた（例えば Baum, 1993; Blackmann, 1968; Hursh, 1980, 1984）。そこで Nevin (1974) は、ある反応に対して、それを変容させるような外的な力が加えられた場合に、その反応が示す抵抗の度合いが反応強度を適切に表すと考えた。すなわち外的な力に対してより強い抵抗を示すのであれば、その反応は強い強度を有しているということになる。そしてこのような反応強度の測度を、環境変化に対する反応の抵抗という観点から、変化抵抗 (resistance to change) と名づけた。

上述したように、反応率はオペラント型の反応-強化子随伴性 (R-S 随伴性) によって制御されている。これに対して、変化抵抗はレスポナント型の刺激-強化子随伴性 (S-S 随伴性) によって制御されていることが、数多くの実験で示されている（例えば Nevin et al., 1990）。この事実は、ハトをはじめ、ヒト (Cohen, 1996)、ラット (Grimes & Shull, 2001; Harper, 1999; Mauro & Mace, 1996)、キンギョ (Igaki & Sakagami, 2004) に至るまで幅広い種で確認されている。

こうした Nevin (1974) に始まる変化抵抗の基礎研究によって明らかにされた成果を元に、Nevin, Mandell, & Atak (1983) は行動モメンタム理論を提唱した。モメンタムとは物体の運動の状態を表すための物理量であり、古典力学では動いている物体の質量と速度の積で表現される。端的に言えば、この古典力学におけるモメンタムという概念を、行動において表現したものが、行動モメンタム理論である。行動モメンタム理論についての詳細な議論は、本論文の目的から逸れるため省略する。より詳細な議論については、Craig et al. (2014)、井垣・坂上 (2003)、Harper, (1996)、Nevin (1995; 1996; 2002)、Nevin & Grace (2000)、Nevin & Shahan

(2011) を参照してほしい。

以下では、行動モメンタム理論を土台とした反応復活のモデルの概要と、そのモデルが抱えていた問題点を述べ、撤回へと至る経緯を説明する。Shahan & Sweeney (2011) が提唱した、行動モメンタム理論を反応復活の予測に応用したモデルは、Nevin & Grace (2000) による消去抵抗を量的に予測するためのモデルを土台としている。変化抵抗は、式1のように相対強化率のベキ関数として記述されることが知られている (Nevin, 1992; Grace & Nevin, 1997)。

$$\log\left(\frac{B_t}{B_o}\right) = \frac{-t}{r^b} \quad (1)$$

$B_t$  は反応減少操作が加えられた際の反応率、 $B_o$  はベースラインの反応率、 $r$  はベースラインの全体強化率、 $t$  は反応減少操作が導入されている際の時間あるいはセッション経過、 $b$  は強化率に対する感度である。 $t$  に付加されたマイナス記号は、反応率が減少することを表現するためのものである (Nevin, 2002 を参照)。反応減少操作について補足しておく、変化抵抗の研究で反応を減少させるために用いられる操作は、消去スケジュールに限らない。その他にも、実験セッション前の事前給餌や、セッション中の変動時間 (variable time; 以下 VT) スケジュールによる強化子提示といった、飽和化の操作などが用いられる。上述したとおり、変化抵抗は環境変化に対する反応の抵抗という意味合いを含んでいるため、消去抵抗は変化抵抗を消去スケジュールで検証した場合として解釈するのが妥当である。このことから、式1は消去抵抗に特化したモデルではなく、変化抵抗に関するモデルであることがわかる。

Nevin & Grace (2000) ではこの式1を、消去抵抗を予測するためのモデルに拡張した。消去スケジュールは強化子を提示しない強化スケジュールであるが、より厳密には、R-S 随伴性がなくなることと、強化子が提示されなくなることという2つの側面に分離できる。後者に関しては、全般

的な刺激状況の変化を生み出すという観点において特に重要であり、そうした刺激状況の変化はしばしば般化減少と呼ばれている（例えば Capaldi, 1966）。Nevin & Grace (2000) は消去スケジュールが反応にもたらす効果をこの2つの側面から捉え直し、それらを式1に組み込むことによって、消去抵抗に関する拡張モデルを提案した（式2）。

$$\log\left(\frac{B_t}{B_o}\right) = \frac{-t(c+dr)}{r^b} \quad (2)$$

$c$  は R-S 随伴性の中止が反応に対して与える効果、 $d$  は強化子提示が中止されることによる刺激状況の変化、すなわち般化減少を示す。実際に、式2は消去抵抗をうまく予測できることがその後の研究で明らかにされている（例えば Nevin et al., 2001）。

Shahan & Sweeny (2011) は、反応復活の予測を可能にするために、式2を以下のように改良した。

$$\log\left(\frac{B_t}{B_o}\right) = \frac{-t(kR_a+c+dr)}{(r+R_a)^b} \quad (3)$$

$B_t$  は消去あるいは反応減少操作中の時間  $t$  における反応率、 $B_o$  はベースライン時の反応率、 $c$  は R-S 随伴性の中止による効果、 $d$  は般化減少の効果、 $r$  はベースライン時の全体強化率、 $b$  は強化率への感度を表す。上述したように、反応復活の一般的な実験手続きでは、フェイズ2で標的反応を消去する一方で、代替反応を強化する。式1では、代替反応を強化することの影響を考慮していないため、反応復活の実験事態における標的反応の消去抵抗を正確に予測することができない。そこで、式2では標的反応を消去するフェイズ2における代替反応の強化率を示すパラメータ  $R_a$  が新たに追加されたわけである。なお  $k$  は  $R_a$  にかかるフリーパラメータである。式2では、フェイズ3において代替反応の強化子提示が中止されると分子の  $R_a$  が0となり、 $R_a$  は標的反応を抑制する効果を失う。すなわち、反応が復活することを予測するのである。一方で、分母の  $R_a$  は復活を検



証するフェイズ3でも、フェイズ2と同じ値を保持し続けることが前提となっている。こうした前提を置くことによって、代替反応強化率が高い場合に復活強度が強くなるという予測を可能にしている。なお、式2には未知のパラメータが4つ含まれている（すなわち  $b, c, d, k$ ）。しかし Nevin (2002) によって強化率への感度  $b$  は 0.5 付近になることが明らかにされているため、 $b$  は定数として扱われる。さらに、Nevin & Grace (2000) による消去のデータに対する式1の当てはめなどから、般化減少  $d$  は 0.001 とし、定数として扱われる。結果として式2には、2つの定数 ( $b$  と  $d$ )、そして2つのフリーパラメータ ( $k$  と  $c$ ) が含まれることになる。

このモデルは当初、標的反応や代替反応の強化率などが反応復活に及ぼす影響を適切に予測することが示された。例えば、2つの成分から成る多元スケジュールにおいて、各成分の標的反応を異なる強化率で形成した場合には復活の強さに違いが見られる (Podlesnik & Shahan, 2010) が、並立スケジュールを用いて同様の操作を行った場合には、標的反応間で復活に違いは見られない (da Silva et al., 2007) という、矛盾する結果が報告されている。行動モメンタム理論の観点からは、同じ成分内で提示された全ての強化子数が反応強度を決定するため、多元スケジュールと並立スケジュールで見られる結果の不一致をうまく説明することが可能であった。その一方で、近年では式2では説明できない知見が多数報告されるようになった。そもそも Shahan & Sweeney (2011) は、標的反応の消去中に代替反応を強化すると、標的反応の消去がより促進されること、そして復活も強くなることの予測を可能にするために、Nevin & Grace (2000) によって提唱された式1を改変した背景がある。しかし、標的反応の消去を単独で実施した場合の方が、代替反応の強化を同時に行う場合よりも、強い消去抵抗を示すという結果が、Shahan 自らの研究室から報告されている (Craig & Shahan, 2016; Sweeney & Shahan, 2013)。式2では、モデルの構造上この結果を予測することは不可能である。代替反応の強化率と反

応復活の強さとの関係を巡っては、研究間で矛盾する結果が報告されており (Cançado & Lattal, 2013; Leitenberg et al., 1975; Sweeney & Shahan, 2013; Winterbauer & Bouton, 2010), 代替反応の強化率が高いほど復活も強くなることを予測する式 2 の妥当性は担保されていない。さらに、式 2 では反応復活を検証するフェイズ 3 に入った直後に最も強い復活が見られ、その後はセッション経過にしたがって標的反応の生起頻度が単調に減少していくことを予測するが、フェイズ 3 の直後ではなく、数セッション後に最も強い復活が見られることもある (Podlesnik & Kelley, 2015)。これらの実験事実を式 2 では予測できないことに加え、そもそもモデルが持つ仮定自体の問題点も克服されていない (Craig et al., 2016)。こうした背景から Nevin et al. (2017) は、行動モメンタム理論では反応復活の正確な予測は困難であることを表明しており、事実上 Shahan & Sweeney (2011) が提唱した式 2 を撤回するに至った。

## 4. RaC モデルの概要

行動モメンタム理論に基づくモデルの撤回と並行して、Shahan らはマッチング法則の観点から反応復活を予測するための新しいモデルを提唱している (Shahan & Craig, 2017)。むしろ Shahan らは、このモデルを発表するために、行動モメンタム理論に基づくモデルを意図的に放棄するような方向へと向かっていたようである。ここからは Shahan & Craig (2017) が提唱した、選択行動としての反応復活のモデル、RaC モデルについて解説する。

### 4.1 マッチング法則と RaC モデル

はじめに、RaC モデルの土台であるマッチング法則について簡潔に紹介する。Herrnstein (1961) はハトを被験体として用い、並立 VI VI スケジュールで 2 つのキーに対する反応の割合を検証した。その結果、各キー

に対する反応の割合は、各キーで得られる強化子の割合におおよそ一致することを発見し、次のような関係を導いた。

$$\frac{B_1}{(B_1 + B_2)} = \frac{R_1}{(R_1 + R_2)} \quad (4)$$

あるいは、

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (5)$$

$B_1$  と  $B_2$  は各選択肢に対する反応率、 $R_1$  と  $R_2$  は各選択肢での強化率を示す。Herrnstein (1961) 以降の研究では、マッチングの関係は強化率だけにとどまらず、反応率と強化量 (Catania, 1963)、反応率と強化の即時性 (強化遅延時間の逆数: Chung & Herrnstein, 1967)、反応率と強化子の質 (Holland & Davison, 1971; Miller 1978) などでも見られることが明らかにされた。さらに、Baum & Rachlin (1969) は、各選択肢に対する反応の配分よりも、各選択肢への時間の配分、つまり相対時間配分が、よりマッチング法則を反映することを見出した (Brownstein & Pliskoff, 1968 も参照)。そして強化子の提示頻度や量などの性質をまとめて価値と呼び、式6の連結マッチング法則 (concatenated matching law) に拡張した。

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

$T$  は各選択肢に従事する時間、 $A$  は強化子の量、 $D$  は強化遅延、 $X$  はそれら以外の要因、 $V$  は価値、添字は各選択肢を示す。

RaC モデルは、この連結マッチング法則と同様の形式を取り、以下のように記述される。

$$pT = \frac{V_T}{V_T + V_{Alt}} \quad (7)$$

$pT$  は標的反応の条件付き確率、 $V_T$  と  $V_{Alt}$  は標的反応と代替反応の選択肢が現在有している価値を示す。この式7は、ある標的反応の生起確率

は、より最近まで代替反応によって得られていた結果事象の価値と、過去に標的反応で得た結果事象の価値との比較によって決定されることを意味する。マッチング法則は多くの場合、並立スケジュールで検証される。すなわち、各選択肢に対して同時期に反応することが可能である。しかし反応復活の一般的な手続きでは、標的反応の強化と代替反応の強化が異なるフェイズで実施される。さらに、標的反応は代替反応の強化と同時に、あるいはそれ以前に消去され、復活のテストは両反応ともに消去スケジュールが適用された状態で実施される。そのため、マッチング法則をそのまま適用することはできない。そこで RaC モデルでは、標的反応がフェイズ 2 で消去されたとしても、標的反応の選択肢に対する価値 ( $V_T$ ) が残存すると仮定する。フェイズ 3 において代替反応が消去された際に、代替反応の選択肢に対する価値 ( $V_{Alt}$ ) が低下し、残存した標的反応の価値 ( $V_T$ ) が相対的に大きくなるため、復活が生じると想定している。この構造を式 7 に実装するためには、時間経過にしたがって各選択肢の価値がどのように変容するかを規定しなければならない。そこで RaC モデルでは、時間重み付け規則 (temporal weighting rule; 以下 TWR; Denverport & Denverport, 1994; Mazur, 1996) を適用する。

## 4.2 時間重み付け規則 (TWR)

TWR は、個体が過去の経験をどのように重み付けるかを計算するための手段の 1 つであり、式 8 で表現される。図 1 左図には、この式 8 を用いて算出した各セッションにおける重み付けのシミュレーション結果を示した。

$$W_x = \frac{1/t_x}{\sum_{i=1}^n 1/t_i} \quad (8)$$

$W_x$  は過去の経験に対する重み付けである。分子は過去の経験が生じてか

らの時間  $t_x$  の逆数であり、ある選択肢における過去の経験の近時性を表現している。すなわち、より最近の経験である ( $t_x$  が小さい) ほど、より大きく重みづけられることになる。分母は過去における全ての経験の近時性の総和であり、各経験の近時性は、全ての経験の近時性の総和で除算される。以上より、TWR は任意の時間における一連の経験を重み付けることになり、各  $w_x$  は相対的な近時性を示す。

式8では、過去の経験に対する重み付けは、その経験の相対的な近時性によってのみ決定づけられることを意味する。しかし、ある時点における経験への重み付けは、その時点での、あるいは現在の実験操作などの影響を受けない保証はない。この点を考慮し、式9では  $c$  というパラメータが付加されている。

$$W_x = \frac{1/t_x^c}{\sum_{i=1}^n 1/t_i^c} \tag{9}$$

図2には、パラメータ  $c$  の違いによる重み付け関数の変化を示した。  $c$  が1であれば、式9は式8に等しい。  $c$  が増加するにつれて、より最近の経験はより大きく重みづけられ、より過去の経験に対する重み付けは小さく

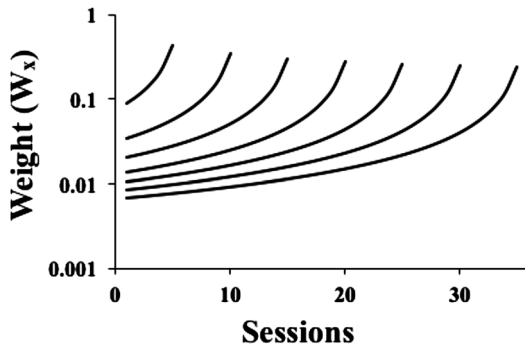


Figure 1. Sample weighting functions generated by Equation 8.

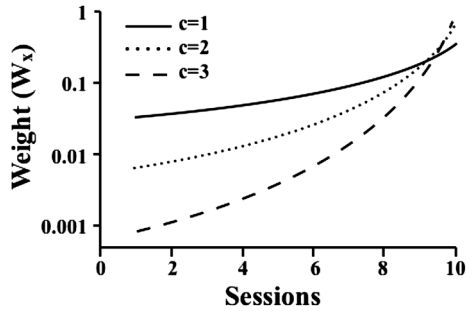


Figure 2. Sample weighting functions generated by Equation 9 with different values of parameter  $c$ .

なる。ここで問題となるのは、どのような変数が  $c$  の値に影響を及ぼさるかということである。Shahan & Craig (2017) はこの点に関して、強化率が高い場合にはより最近の事象により多くの注意が払われると仮定し、現状では  $c$  の値は強化子の提示頻度に応じて変化することを想定しており、式 10 で算出されるものとしている。

$$c = \lambda r + 1 \quad (10)$$

$r$  はある選択肢における全セッションを通じた全体強化率の移動平均、 $\lambda$  は強化率の移動平均  $r$  の影響を調整するパラメータであり、フリーパラメータとして扱われている。 $\lambda$  が一定であると仮定すれば、強化率  $r$  が大きいほど  $c$  の値は大きくなり、結果的により最近の経験ほどより大きく重みづけられることになる。

### 4.3 各選択肢の価値の算出

各セッションにおける、標的反応と代替反応それぞれの選択肢に関する価値を得るためには、まず各セッションでの重み付け ( $W_x$ ) を、各セッションにおける標的反応の強化率 ( $R_{xT}$ ) と代替反応の強化率 ( $R_{xAlt}$ ) に

適用する. その上でそれらの総和を算出することで, 標的反応と代替反応の価値を算出することができる (式 11).

$$V_T = \sum_x w_x R_{xT} \quad V_{Alt} = \sum_x w_x R_{xAlt} \quad (11)$$

標的反応と代替反応をともに VII5 秒で形成するという条件のシミュレーションによって得られた, 各セッションにおける  $V_T$  と  $V_{Alt}$  の価値の変容過程を, 図 3 の左図に示す. フェイズ 2 で標的反応が消去されると, その直後に  $V_T$  は急速に減少し, セッション経過にしたがって減少の度合いは緩やかになる. これとは対照的に,  $V_{Alt}$  は増加していく. フェイズ 3 で代替反応が消去されると, フェイズ 2 における  $V_T$  と同様に  $V_{Alt}$  も減少する. 図 3 の右図には,  $V_T$  と  $V_{Alt}$  を式 7 に代入して算出した, 標的行動の生起確率 ( $pT$ ) を示す.  $pT$  はフェイズ 2 を通じて減少していくが, フェイズ 3 へ移行すると  $V_T$  の相対的な価値が増加した結果として  $pT$  も増加する. RaC では, このような  $pT$  の増加を反応復活としているのである. フェイズ 1 における標的反応の強化履歴は, 標的行動の価値  $V_T$  としてフェイズ 2 と 3 に引き継がれ, 代替反応の価値  $V_{Alt}$  が減少することで, 引き継がれた  $V_T$  が顕在化することになる. このように, 時間重み付け規

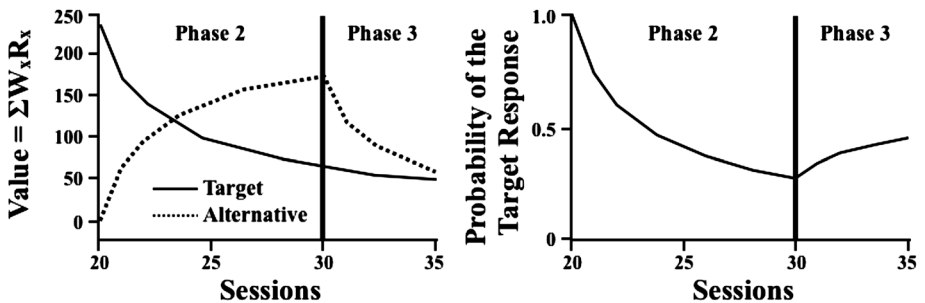


Figure 3. The value function for the target and alternative options (left panel) and changes in the probability of the target response (right panel) across Phases 2 and 3.

則の適用が、時間経過を通じた価値の変化と  $pT$  の増加（すなわち反応復活）を可能にしているのである。

#### 4.4 反応出力関数

反応復活の指標として最もよく用いられるのは、標的反応の1分間あたりの生起頻度、すなわち反応率である。そのため、実際に RaC モデルを用いる際には、標的反応の生起確率  $pT$  の変化を反応率の変化を示すモデルにするのが実用的である。Shahan & Craig (2017) では、その反応出力関数として、式 12 を提唱している。

$$B_T = \frac{kV_T}{V_T + V_{Alt} / b + 1/A} \quad (12)$$

$B_T$  は標的反応の反応率、 $k$  はベースライン（フェイズ 1）における反応率、 $b$  はバイアス、 $A$  は覚醒水準（level of arousal）を示す。式 12 は、マッチング法則を 2 つの選択肢に対する反応ではなく、1 つの選択肢に対して反応するかどうかを選択するための予測に拡張した、量的効果の法則（Herrnstein, 1970; 1974）と同様の形式である（式 13）。

$$B_1 = \frac{kR_1}{R_1 + R_e} \quad (13)$$

Herrnstein (1970) による式 13 において、 $R_e$  はある反応  $B_1$  以外で得られる全ての強化率である。式 12 では Killeen (1994) のように、この部分が  $1/A$  に置き換えられている。  $1/A$  が分母に加えられていることは、覚醒水準  $A$  が高い値であればあるほど、より高い反応率を生成することを意味している。後述するように、覚醒水準は強化率の関数として線形的に変動するため、強化率が各フェイズで変化する反応復活の実験事態では、当該の反応以外で得られる強化を覚醒水準に置き換えたほうが妥当なのである。ここでも、この覚醒水準  $A$  をどのように算出するかが問題となる。上述したように、例えば Killeen (1994) は、覚醒水準は強化率の線形関



数となることを示唆している。さらに、Gibbon (1995) や Gallistel et al. (2001) も、選択場面における覚醒水準は、全ての選択肢で得られる全体強化率の線形関数となることを示している。この関係性を反応復活の実験事態に置き換えると、覚醒水準は標的反応と代替反応に関する選択肢の価値 ( $V_T$  と  $V_{Alt}$ ) の線形関数となり、式 14 で表される。

$$A = a(V_T + V_{Alt}) \quad (14)$$

$a$  は覚醒水準と価値の関係性における傾きである。すなわち、2つの選択肢に対して見込まれる価値によって、覚醒水準が決定されると仮定しているわけである。そのため、フェイズ3において各選択肢の価値が低下することによって、 $A$  も同様に低下することになる。式 14 におけるパラメータ  $a$  は、フェイズ3の各セッションにおける標的反応の生起パターンに影響する点で重要である。図 4 は、 $k=60$ ,  $\lambda=0.006$ , 標的反応と代替反応の強化率を VI 15 秒とした際に、パラメータ  $a$  の違いが標的反応の生起パターンに及ぼす影響を示す。パラメータ  $a$  が小さい場合、フェイズ3において標的反応は線形的に減少する。一方で、パラメータ  $a$  が増加するにつ

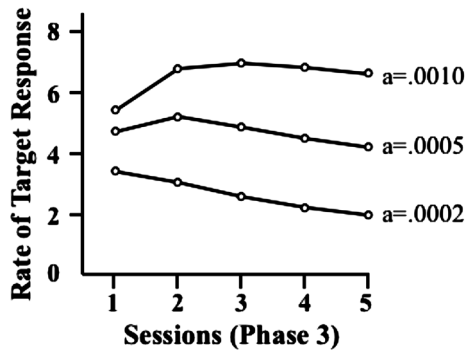


Figure 4. Rates of target response across 5 sessions of Phase 3 generated by Equation 14 with different values of parameter  $a$ .

れて、標的反応はフェイズ3のセッション経過にしたがって一度は増加し、その後減少していくことになる。RaCモデルによるこの予測は、行動モメンタム理論が説明できなかったPodlesnik & Kelley (2015)の実験結果の予測を可能にする。

なお、式13におけるパラメータ $b$ はバイアスを示しているが、反応復活に関する多くの研究では、例えばラットであれば両反応ともにレバー押し、ハトであればキーつつきなど、標的反応と代替反応の反応型が同じである。しかし、異なる反応型を用いた研究も存在している（例えばEpstein, 1985; Lieving & Lattal, 2003）。さらに言えば、現実場面で生じる反応復活の場合は、標的反応と代替反応の型が同一であることは想定しにくい。Baum (1974)による一般化マッチング法則以降、マッチング法則にはバイアスを示すパラメータが組み込まれてきた。Herrnstein (1970)の量的効果の法則（式13）においても、バイアスを組み込む試みが報告されており（McDowell, 2005）、RaCモデルもその形式を踏襲している。パラメータ $b$ が1以上であれば標的反応の選択肢に対するバイアスを、1以下であれば代替反応の選択肢に対するバイアスを示す。標的反応と代替反応の型が同一である場合、一般的に $b=1$ になると想定されている。

#### 4.5 RaCモデルのまとめ

RaCモデルの中核を成しているのは、以下の3つの仮定である。第一に、標的反応の確率 $pT$ は、標的反応と代替反応に関する選択肢の相対的な価値の関数であるという仮定である。第二に、時間経過を通じた2つの選択肢の価値は、それぞれの選択肢で過去に得られた強化の相対的な近時性によって決定づけられる。第三に、反応率は式12に示した反応出力関数によって生成される。式12は、反応出力はベースライン時の反応率、反応へのバイアス、そして覚醒水準の関数であることを示している。現状、式12には $\lambda$ ,  $k$ ,  $a$ ,  $b$ という4つのフリーパラメータが含まれている。

上述したように、標的反応と代替反応の型が同一である場合には  $b=1$  となるが、残りの3つのパラメータはフリーパラメータとして扱われることになる。しかし Shahan & Craig (2017) も述べているように、現状の RaC モデルは、マッチング法則から反応復活を扱うモデルがどのような挙動になりうるかを示したにすぎず、今後さらに改良されていくものであると考えられる。

現時点でも、このモデルで反応復活に影響を及ぼす変数の効果を、行動モメンタム理論に基づくモデルよりも高い精度で予測できるようである。Shahan & Craig (2017) では、強化量や強化子の質の効果、標的反応や代替反応を消失させる際に、消去ではなく飽和化、弱化、DRO スケジュールを用いた場合の効果、さらには代替反応を複数形成した場合や、混成 (multiple) スケジュールを用いた場合などのケースでも、RaC が予測できることを示している。さらには、行動モメンタム理論で予測できなかった結果 (例えば Podlesnik & Kelley, 2015) も、RaC モデルでは説明できるようになっている点で、反応復活に関する数量的なモデルとしては、現時点で最も良い予測をもたらすモデルであるといえる。しかし、このモデルが実際の実験結果をどの程度正確に予測できるかについては、まだ十分に検証されていない。RaC モデルが今後どのような形で修正、発展していくかは、現時点では未知数である。

## 5. おわりに

Skinner (1950) は “Are theories of learning necessary?” という論文において、次のように述べている。

“理論はおもしろい。しかし、学習の理解につながる最も急速な進展は、理論を検証するためにデザインされたものとは異なる研究によってもたらされる可能性がある。…良い理論は私たちが関数関係を探求することの妨げにはな

らない。なぜならばそれは関連する変数が発見され、研究された後においてのみ立ち現れるからである。…この意味で、理論の準備ができていないように思われる。” (p. 215-216)

Skinner によるこの主張は、今から 70 年近く前になされたものであるが、反応復活研究を巡る昨今の状況にも、そのまま当てはまるように思える。Shahan らは当初、行動モメンタム理論を土台とした数量的なモデルを提唱した。しかし、そのモデルでは説明できない実験事実が報告され、わずか 7 年足らずでモデルを撤回するに至った。その 7 年の間に、行動モメンタム理論に基づくモデルの妥当性を証明するために行われた、いわば理論駆動型の研究を、私たちはどのように解釈すればよいのだろうか？ 行動モメンタム理論の撤退とともに、それらの知見もなかったものとして考えればよいのだろうか？ 行動モメンタム理論に基づくモデルの撤退を宣言した Nevin et al. (2017) では、この点について十分に触れられてはいない。RaC モデルに関しても、同様の経過を辿る可能性を否定できない。実際、すでに Trask, Keim, & Bouton (2018) が RaC モデルでは説明できない実験結果を報告しており、RaC モデルはその結果をどのように説明するのかが問われている。また、RaC モデルがこれまでになされなかった予測をもたらし、新しい実験の展開を喚起するかどうかという点でも、このモデルの真価が問われている。

反応復活に関する研究は過去 10 年で爆発的に増加した。しかし、実のところ反応復活という現象を強く制御している変数の同定には、未だ至っていないというのが現状であろう。実際に、代替反応の強化率が反応復活に及ぼす影響は、研究間で一貫しておらず、その理由すらも未だに明らかにされていない。その他の制御要因に関しても、十分な再現実験は行われておらず、報告された結果の信頼性が十分に担保されていると言いはない。理論を肯定したり否定したりする上で、都合良く計画され、立案され

た、統制の不十分な手続きで行われた実験が多くなってきたことが、こうした現状に至った一因であろう。そのような中で、新しいモデルや理論を構築していくことが、反応復活という現象の包括的な理解につながるかどうかは定かではない。そうした試みよりもむしろ、反応復活という現象に強く影響する要因を確実に同定していく試みが、現時点ではより重要なのではないだろうか。反応復活の予測と制御に寄与する理論やモデルは、そうした試みが十分になされた後に、立ち現れるのかもしれないのだから。

### 引用文献

- Baum, W. M. (1974). On two types of deviations from the matching law: Bias and undermatching. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 22, 231-242.
- Baum, W. M. (1993). Performance on interval and ratio schedules of reinforcement: Data and theory. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 59, 245-264.
- Baum, W. M. & Rachlin, H. C. (1969). Choice as time allocation. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 861-874.
- Blackman, D. E. (1968). Response rate, conditioned suppression. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11, 503-516.
- Brownstein, A. J., & Pliskoff, S. S. (1968). Some effects of relative reinforcement rate and changeover delay in response-independent concurrent schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11, 683-688.
- Capaldi, E. J. (1966). Partial reinforcement: A hypothesis of sequential effects. *Psychological Review*, 73, 459-477.
- Cançado, C. R. X., Abreu-Rodrigues, J., & Aló, R. M. (2015). Reinforcement rate and resurgence: A parametric analysis. *Mexican Journal of Behavior Analysis*, 41, 84-115.
- Cançado, C. R. X., & Lattal, K. A. (2013). Response elimination, reinforcement rate and resurgence of operant behavior. *Behavioural Processes*, 100, 91-102.
- Catania, C. A. (1963). Concurrent performances: A baseline for the study of reinforcement magnitude. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*,

- 6, 299-300.
- Chung, S., and Herrnstein, R. J. (1967). Choice and delay of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 10, 67-74.
- Cohen, S. L. (1996). Behavioral momentum of typing behavior in college students. *Journal of Behavior Analysis and Therapy*, 1, 36-51.
- Craig, A. R., Nevin, J. A., & Odum, A. L., (2014). Behavioral momentum and resistance to change. In: McSweeney, F. K., Murphey, E. S. (Eds.), *The Wiley-Blackwell Handbook of Operant and Classical Conditioning*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, pp. 249-274.
- Craig, A. R., Nall, R. W., Madden, G. J., & Shahan, T. A. (2016). Higher rate alternative non-drug reinforcement produces faster suppression of cocaine seeking but more resurgence when removed. *Behavioural Brain Research*, 306, 48-51.
- Craig, A. R., Browning, K. O., Nall, R. W., Marshall, C. M., & Shahan, T. A. (2017). Resurgence and alternative-reinforcer magnitude. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 107, 218-233.
- da Silva, S. P., Maxwell, M. E., & Lattal, K. A. (2008). Concurrent resurgence and remote behavioral history. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 90, 313-331.
- Devenport, J. A., & Devenport, L. D. (1993). Time-dependent decisions in dogs (*Canis familiaris*). *Journal of Comparative Psychology*, 107, 169-173.
- Devenport, L. D., & Devenport, J. A. (1994). Time-dependent averaging of foraging information in least chipmunks and golden-mantled ground squirrels. *Animal Behaviour*, 47, 787-802.
- Doughty, A. H., da Silva, S. P., & Lattal, K. A. (2007). Differential resurgence and response elimination. *Behavioural Processes*, 75, 115-128.
- Epstein, R. (1983). Resurgence of previously reinforced behavior extinction. *Behaviour Analysis Letters*, 3, 391-397.
- Epstein, R. (1985). Extinction-induced resurgence: Preliminary investigations and possible applications. *The Psychological Record*, 35, 143-153.
- Gallistel, C. R. (2012). Extinction from a rationalist perspective. *Behavioural Processes*, 90, 66-80.
- Gibbon, J. (1995). Dynamics of time matching: Arousal makes better seem worse. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 208-215.
- Grace, R. C. & Nevin, J. A. (1997). On the relation between preference and

- resistance to change. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior* 67, 43-65.
- Grimes, J. A., & Shull, R. L. (2001). Response-independent milk delivery enhances persistence of pellet-reinforced lever pressing by rats. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 76, 179-194.
- Harper, D. N. (1996). Response-independent food delivery and behavioral resistance to change. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 65, 549-560.
- 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.
- Holland, V., & Davison, M. C. (1971). Preference for qualitatively different reinforcers. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 16, 375-380.
- Hursh, S. R. (1980). Economic concepts for the analysis of behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 34, 219-238.
- Hursh, S. R. (1984). Behavioral economics. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 42, 435-452.
- 井垣竹晴・坂上貴之 (2003). 変化抵抗をめぐる諸研究. 心理学評論, 46, 184-210.
- Igaki, T., & Sakagami, T. (2004). Resistance to change in goldfish. *Behavioural Processes*, 66, 139-152.
- Killeen, P. R. (1994). Mathematical principles of reinforcement. *Behavioral Brain Science*, 17, 105-135.
- Kestner, K., Redner, R., Watkins, E. E., & Poling, A. (2015). The effects of punishment on resurgence in laboratory rats. *The Psychological Record*, 65, 315-321.
- Kuroda, T., Cançado, C. R. X., & Podlesnik, C. A. (2016). Resistance to change and resurgence in humans engaging in a computer task. *Behavioural Processes*, 125, 1-5.
- Leitenberg, H., Rawson, R. A., & Mulick, J. A. (1975). Extinction and reinforcement of alternative behavior. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 88, 640-652.
- Lieving, G. A., & Lattal, K. A. (2003). Recency, repeatability, and reinforcer

- retrenchment: An experimental analysis of resurgence. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 80, 217-233.
- Mauro, B. C., & Mace, F. C. (1996). Differences in the effect of Pavlovian contingencies upon behavioral momentum using auditory versus visual stimuli. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 65, 389-399.
- Mazur, J. E. (1996). Past experience, recency, and spontaneous recovery in choice behavior. *Animal Learning & Behavior*, 24, 1-10.
- McDowell, J. J. (2005). On the classic and modern theories of matching. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 84, 111-127.
- Miller, H. L. (1976). Matching-based hedonic scaling in the pigeon. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 26, 335-347.
- Nevin, J. A. (1974). Response strength in multiple schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 21, 389-408.
- Nevin, J. A. (1992). An integrative model for the study of behavioral momentum. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 57, 301-16.
- Nevin, J. A. (1995). Behavioral economics and behavioral momentum. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 64, 385-95
- Nevin, J. A. (1996). The momentum of compliance. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 29, 535-547.
- Nevin, J. A. (2002). Measuring behavioral momentum. *Behavioural Processes*, 57, 187-198.
- Nevin, J. A., Craig, A. R., Cunningham, P. J., Podlesnik, C. A., Shahan, T. A., & Sweeney, M. M. (2017). Quantitative models of persistence and relapse from the perspective of behavioral momentum theory: Fits and misfits. *Behavioural Processes*, 141, 92-99.
- Nevin, J. A., & Grace, R. C. (2000). Behavioral momentum and the law of effect. *Behavioral and Brain Sciences*, 23, 73-130.
- Nevin, J. A., Mandell, C., & Atak, J. R. (1983). The analysis of behavioral momentum. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 39, 49-59.
- Nevin, J. A., & Shahan, T. A. (2011). Behavioral momentum theory: equations and applications. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 44, 877-895.
- Nevin, J. A., Tota, M. E., Torquato, R. D., & Shull, R. L. (1990). Alternative reinforcement increases resistance to change: Pavlovian or operant contingencies? *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 53, 359-379.



- Podlesnik, C. A., & Kelley, M. E. (2014). Resurgence: Response competition, stimulus control, and reinforcer control. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *102*, 231-240.
- Podlesnik, C. A., & Shahan, T. A. (2009). Behavioral momentum and relapse of extinguished operant responding. *Learning & Behavior*, *37*, 357-364.
- Podlesnik, C. A., & Shahan, T. A. (2010). Extinction, relapse, and behavioral momentum. *Behavioural Processes*, *84*, 400-411.
- Rawson, R. A., Leitenberg, H., Mulick, J. A., & Lefebvre, M. F. (1977). Recovery of extinction responding in rats following discontinuation of reinforcement of alternative behavior: A test of two explanations. *Learning & Behavior*, *5*, 415-420.
- Romano, L. M., & St. Peter, C. C. (2017). Omission Training Results in More Resurgence than Alternative Reinforcement. *The Psychological Record*, *67*, 315-324.
- Shahan, T. A., & Craig, A. R. (2017). Resurgence as choice. *Behavioural Processes*, *141*, 100-127.
- Shahan, T. A., & Sweeney, M. M. (2011). A model of resurgence based on behavioral momentum theory. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *95*, 91-108.
- Skinner, B. F. (1938). *The Behavior of Organisms*. New York: Appleton Century Crofts.
- Skinner, B. F. (1950). Are theories of learning necessary? *Psychological Review*, *57*, 193-216.
- Smith, B. M., Smith, G. S., Shahan, T. A., Madden, G. J., & Twohig, M. P. (2017). Effects of differential rates of alternative reinforcement on resurgence of human behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *107*, 191-202.
- Sweeney, M. M., & Shahan, T. A. (2013). Effects of high, low, and thinning rates of alternative reinforcement on response elimination and resurgence. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *100*, 102-116.
- Trask, S., Keim, C. L., & Bouton, M. E. (2018). Factors that encourage generalization from extinction to test reduce resurgence of an extinguished operant response. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *110*, 11-23.
- Volkert, V. M., Lerman, D. C., Call, N. A., & Trosclair-Lasserre, N. (2009). An

- evaluation of resurgence during treatment with functional communication training. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 42, 145-160.
- Winterbauer, N. E., & Bouton, M. E. (2010). Mechanisms of resurgence of an extinguished instrumental behavior. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 3, 343-353.
- Winterbauer, N. E., & Bouton, M. E. (2011). Mechanisms of resurgence II: Response-contingent reinforcers can reinstate a second extinguished behavior. *Learning and Motivation*, 42, 154-164.
- Winterbauer, N. E., Lucke, S., & Bouton, M. E. (2013). Some factors modulating the strength of resurgence after extinction of an instrumental behavior. *Learning and Motivation*, 44, 60-71.