

Title	動物の最適採餌戦略を題材とした自由度の高い仮説検証型実験の開発
Sub Title	Development of a new student experiment program for studying hypothesis testing with high degree of freedom: optimal foraging strategy of animals as an example subject
Author	坂本, 信介(Sakamoto, Shinsuke H.) 坂本, 尚子(Sakamoto, Naoko) 上村, 佳孝(Kamimura, Yoshitaka) 片田, 真一(Katada, Shinichi)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2011
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学 (The Hiyoshi review of the natural science). No.50 (2011. 9) ,p.43- 52
JaLC DOI	
Abstract	慶應義塾大学日吉キャンパス特色GP「文系学生への実験を重視した自然科学教育」の事業III「新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備」(生物学)の継続事業として、「動物の最適採餌理論」を題材とした新たな学生実験テーマの開発を行った。具体的には材料の選定、実験計画の決定、学生配布資料・提出用レポートのフォーマット作成、学生対象の試行実験を行った。本プログラムでは新規実験手法の体験よりも、むしろ、科学的思考力を養うことに重点を置き、パターン認識や仮説検証のプロセスを訓練することを目的とした実験の開発を行った。学生が動物の役割を演じるrole-playing実験であり、具体的には、学生が動物のつもりで餌探索を行い、どのように餌が採集できたかについてグラフ化し(パターン認識)、なぜそのようなパターンが得られたのかについて仮説をたて検証する(仮説検証)という流れである。試行実験では、誘導的に仮説を導く過程においてヒントの有無、および、班による議論の有無という二種類の操作を行い、仮説とその検証方法を正しく導くことができたかを4グループの間で検証した。仮説の正答率はヒントを与えたグループでやや高く、仮説を検証するためのプロセスを正しく辿ることのできた学生の割合は、ヒントなしで議論をしたグループがもっとも高かった。このことは、正しい仮説検証のプロセスを導く上でより重要なのは仮説をたてる上でのヒントよりも仮説をたてる上での十分な議論であることを示唆している。
Notes	50号記念号 研究ノート
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20110930-0043

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.

動物の最適採餌戦略を題材とした自由度の高い仮説検証型実験の開発

坂本信介*・坂本尚子*・上村佳孝**・片田真一**

Development of a New Student Experiment Program for Studying Hypothesis
Testing with High Degree of Freedom: Optimal Foraging Strategy of Animals as
an Example Subject

Shinsuke H. SAKAMOTO, Naoko SAKAMOTO, Yoshitaka KAMIMURA and Shin'ichi KATADA

要約

慶應義塾大学日吉キャンパス特色 GP「文系学生への実験を重視した自然科学教育」の事業 III 「新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備」(生物学) の継続事業として、「動物の最適採餌理論」を題材とした新たな学生実験テーマの開発を行った。具体的には材料の選定、実験計画の決定、学生配布資料・提出用レポートのフォーマット作成、学生対象の試行実験を行った。本プログラムでは新規実験手法の体験よりも、むしろ、科学的思考力を養うことに重点を置き、パターン認識や仮説検証のプロセスを訓練することを目的とした実験の開発を行った。学生が動物の役割を演じる role-playing 実験であり、具体的には、学生が動物のつもりで餌探索を行い、どのように餌が採集できたかについてグラフ化し(パターン認識)、なぜそのようなパターンが得られたのかについて仮説をたて検証する(仮説検証)という流れである。試行実験では、誘導的に仮説を導く過程においてヒントの有無、および、班による議論の有無という二種類の操作を行い、仮説とその検証方法を正しく導くことができたかを 4 グループの間で検証した。仮説の正答率はヒントを与えたグループでやや高く、仮説を検証するためのプロセスを正しく辿ることのできた学生の割合は、ヒントなしで議論をしたグループがもっとも

* 宮崎大学フロンティア科学実験総合センター (〒889-1692 宮崎県宮崎市清武町木原 5200) : Research Center for Frontier Bioscience, University of Miyazaki, 5200 Kiwara, Kiyotake, Miyazaki, 889-1692, Japan. E-mail: aposhin1@gmail.com

** 慶應義塾大学生物学教室 (〒223-8521 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1) : Dept. of Biology, Keio University, 4-1-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, 223-8521, Japan. E-mail: kamimura@fbc.keio.ac.jp; skatada@hc.cc.keio.ac.jp [Received Mar. 31, 2011]

高かった。このことは、正しい仮説検証のプロセスを導く上でより重要なのは仮説をたてるまでのヒントよりも仮説をたてるまでの十分な議論であることを示唆している。

1. 序文

現在、自然科学教育にはサイエンスリテラシー教育が求められている（鈴木2010）。リテラシーは「読み書き能力」や「識字能力」という意味を持つが、元来は「高度な教養」を指すものであったと考えられている。今日、これは共通教養（common culture）あるいは公共的教養（public culture）へとその意味を変えており、したがって、現代におけるサイエンスリテラシーとは公共的な科学教養を意味する。貫井（2001）はこれを「一般市民が現代社会を理解し、科学や技術に関する問題についてより十分な知識に基づいた判断をするために持つべき科学に関する基本的な理解」と定義している。

慶應義塾大学では1949年の新制大学開設時より文系学部学生への自然科学教育を展開しており、その更なる充実を図ってきた。特に、日吉キャンパスでは、2005年度に採択された慶應義塾大学日吉キャンパス特色GP「文系学生への実験を重視した自然科学教育」の実施以降、新規実験プログラムの開発・カリキュラムの発展・実験設備の拡充など、継続的な取組みを展開し続けている。2009年度には自然科学研究教育センターが設立され、2010年度に新規採択された「科学的思考力を育む文系学生の実験の開発」というプログラムを推進している（<http://www.sci.keio.ac.jp/gp2010/aboutus/detail.php>）。

サイエンスとは科学的方法という体系または手法によって得られる知識体系のことである。ここで、科学的方法とは、観測や実験・パターン認識・仮説とそれに基づく予測・仮説（予測）を確かめるための再観測や再実験（検証）から成るサイクルである。したがって、科学的思考力を養うことを目的の一つとするならば、サイエンスリテラシー教育には科学的知識や実験手法の伝達だけでなく、パターン認識や仮説検証のプロセスについての訓練が含まれるべきである。

本研究では、慶應義塾大学日吉キャンパス特色GP「文系学生への実験を重視した自然科学教育」の事業Ⅲ「新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備」（生物学）の継続事業のひとつとして、動物の最適な餌探索行動を予測する最適採餌理論（Krebs & Kacelnik 1991）を題材とした実験プログラムの開発を行った。動物がある空間で単位時間内に獲得できる餌量は餌の密度や外敵に襲われる危険性などの要因に影響される。これらの要因が餌探索行動に及ぼす影響は直観的に理解しやすい。また、同一個体が同一条件で獲得できる餌量のばらつきは比較的小さく再現性が高い。つまり、理論値と実測値の当てはまりが良い。これらの理由から、動物の最適採餌理論はパターン認識と仮説検証のプロセスを学習するための題材として適していると考えられる。

学生実験で生きた動物を扱うことは材料の調達や実験条件の調整において困難を伴う場合がある。特に、本プログラムでは限られた授業時間内で同一個体から反復測定を行うことの難易

度が高いと考えられる。そこで、本実験プログラムは人間が動物の役割を演じる「role-playing 実験」とした。Role-playing 実験は短時間で結果を導くことができ、また、条件設定の自由度が高い。そのため、パターン認識から仮説検証に至るプロセスを限られた授業時間内で繰り返し体験させることができる。本稿では、開発した実験プログラムの概要、実施の過程で判明した指導のポイントおよび本プログラムの発展案について述べたい。

2. 方法

2-1. 実験の概要

今、均一な環境から成る一定範囲の空間に有限量の餌がランダムに存在すると仮定する（以後、これを餌場と呼ぶ）。この餌場から動物個体が餌を探す場合、餌をたくさん採るほど餌密度が減少するため、単位時間あたりの獲得餌量は加速度的に減少する。そのため、一定時間餌探索を行った後はその餌場での探索をあきらめ、他の餌場へ移動して探索を行う方が効率的である。この理論はさまざまな分類群の動物で検証されており、餌探索をあきらめる餌密度（次の餌場に移動する餌密度）は「餌あきらめ密度（Giving up density; Brown & Kotler 2004）」と呼ばれている。この理論は直観的で分かり易いように思えるが、何もヒントを与えない場合、学生によっては「単位時間に獲得できる餌量はいつも一定である」、または、「時間とともに比例的に減少する」といった誤った予測をたててしまう（詳細は結果の項を参照）。そこで、餌あきらめ密度を学生自身で探索的に導き、得られた結果と自身の予測を比較することで実際に生じるパターンを認識し、そのような結果を生み出した原因について仮説検証を行う実験プログラムを開発した。

2-2. 実験デザインの決定

学生がイメージしやすいことから野ネズミの餌探索行動を模倣対象として選んだ。自然状態での野ネズミの餌探索行動には餌探索効率が関係する（松田2009）。餌探索効率は探索により得られる利益（獲得エネルギー量）から探索に伴うコスト（消費エネルギー量）を差し引いたものを探索に要した時間で割って算出する。野生動物の餌探索を念頭においていた場合、餌探索に適度な難しさを設定し、適切な餌探索効率を再現する必要がある。そこで、餌場となる基質・餌・探索時間について検討を行った。餌試料は野ネズミの好む種子をいくつか試した。この種子の大きさを小さいものにすると探索は難しくなる。最終的に、探索が適度に困難なアサの実（鳥の飼料用に販売されている加熱処理したもの）を選定した。同様なサイズの人工的な材料も利用できるだろう。数百回に及ぶ試行の結果、基質として動物飼育用パインチップ（600–800ml）をバット（32×22×5 cm）に入れたものにアサの実を100粒追加することにした。パインチップとアサの実をよく攪拌した上で、片方の手で一粒ずつ探す方法を用い、探索時間を1分間に設定することでバランスの良い実験になることが分かった。また、より理論的な餌探索を再現するには試行ごとに基質と餌をよく攪拌し、ランダムサンプリングに近づける必要

があった。これらの検討結果に基づき、学生配布用資料（図1）・提出用レポート（図2）を作成した。本プログラムは学生二、三人を一班として、以下で示す実験1・2を解説も含めて180分の授業時間で実施することを想定している。発展として捕食者からのコストを設定した実験も考案した（実験3）。詳細は学生配布用資料を参照されたい（図1）。

実験1 餌はどうに獲得できるのか？（パターン認識）

1) 1回目の餌獲得量

単位時間餌探索を行い、餌獲得量を評価する。

2) 2回目以降の餌獲得量の予測

1試行目の餌探索終了時に、試行を重ねて行くにつれどのように餌獲得量が変化するかを予測し、グラフを描く（図3）。

3) 実際の餌獲得効率と予測との比較

単位時間の餌探索試行を重ね、実際の餌獲得量のパターンをグラフ化し、予測と比較する（図3）。

実験2 餌あきらめ密度の推定（仮説とその検証1）

1) 餌あきらめ密度の推定

餌獲得効率の時間推移パターンと各試行後に残された餌量から餌あきらめ密度を推定する。

2) 仮説をたてる

餌探索試行を重ねると餌獲得量が加速度的に減少するのはなぜなのかについて仮説をたてるように求める。餌探索時の餌密度が減るためであるとの仮説をたてるることを目標とする。

3) 仮説を確かめるための検証

2) でたてた仮説やそれにもとづく予測を実験的に試してみる。実際に学生がたてた仮説とその検証法についての代表例は結果に示す

（発展）実験3 捕食者がいた場合どのような行動をとると効率的か（仮説とその検証2）

1) 餌探索時間と獲得餌量の関係

実験1・2と同様の試行を餌探索時間の長さを変えて行う

2) 餌探索時間と捕食者との遭遇（コスト）との関係

長く餌場に留まると捕食者に出会う確率が高まる。異なる餌探索時間ごとに各試行での捕食者との遭遇の有無を決定する。遭遇確率は餌探索時間に依存するとし、遭遇の有無はサイコロにより確率的に決定する。

3) 捕食者存在下での最適な餌探索行動

捕食者に出会った場合、直ちに餌場から逃げる必要があるため、その後しばらくの間は餌探索を行ことができない。ここでは、捕食者に出会った回は餌獲得量が半減するとい

動物の最適採餌戦略

動物はどのように餌の採り方を決めているのか

我々人間は、その時置かれている状況に応じ効率的に物事を判断するという思考過程を、無意識のうちにに行っている。例えば、限られた時間の中で複数の仕事を並行的に行う必要がある場合、どのような行動にどのくらい時間を使へば良いかを考える。人間は、自身にとって都合の良いように環境を大きく改変していくため、物理的環境や他の動物による活動の阻害は日常的に起こり、経済的観点に基づき遮断は、その生存や繁殖などの全ての行動に影響される危険性など。そのため、このような動物は、餌を探索し食べる一連の行動（採餌行動と呼ばれる）において、「効率性」＝「単位時間に得られる量（エネルギー量）」－「同時に失う量（エネルギー量）」が最大になるようになります。したがって、一般的に動物が良い場所では、安全性能が高く効率が良い場所には長く滞在し長時間餌を食べる。しかし、野生動物では、物理的環境や他の動物による活動の阻害は日常的に起こり、経済的観点に基づき遮断は、その生存や繁殖などのように評価しているのかを定量的に示す指標として利用でき、GUD（餌あきらめ密度（giving-up density））と呼ばれている。近年の劇的な環境変動を受け、野生動物に於ける環境変化をモニタリングする手法の一つとしても注目されつつある。

本実験では、自分が捕食され易い動物を演じる、Role playing gameを行う。動物になつたつもりで探餌行動を行うことで、野外において餌はどうのよに獲得できるのか（実験1）、捕食者がいた場合どのような行動をとるか（実験2・実験3）、について実験的に確かめてみよう。

材料：植物の種子（ヒマワリの種・カナリアシード・アサの実）、小動物飼育用バインチップ
器具：バット、紙コップ、 Stopwatch（時計）、サイコロ

【実験1 餌はどうに獲得できるのか】

方法：

実験は2人一组で行い、レポートの作成は個人ごとに行う。

方法：

バットの中に、バインチップを紙コップ入り3杯分入れる。
その中に、餌となる種子を一種類規定量（100粒）入れ、チップと種子が良く混ざるように搅拌する。

以下の手順で実験を行う。

①サンプリング（1回目）

片方が実験者、もうパートナーは時計係を行う。1分間の間に種子をバットの中から採集する。採集できた種子はコップに入れ、数を記録していく。まず、第1回目を行い、一旦、中断する。

②結果の予測（個人ごと）

1回目の数に基づき、サンプリング結果に基づいて採集できる種子の数を予測し、レポートに図示する。実験者のサンプリング結果に基づき、パートナーも予測のグラフを作成する。また、予測の根拠を記述する。

③サンプリング（2回目以降）

まず、コップの中身をもう一つのコップに移し、バットの中をよく振揺した後、再びサンプリングを行い、種子の数を記録する。この作業を1分間に採集できる種子数が0になるとまで繰り返す。前回採集した種子と混ざらないよう、毎回、空のコップに採集を行うこと。

④パートナーと交替

パートナー同士で役割を交替し実験を行う。2人目は結果の予測は既に終わっているので、採集を継続する。

⑤結果の図示

採集結果を個人ごとにグラフに描き、予測のグラフとの類似点や相違点について着目し、どうしてそのような結果が得られたかについて考察し、レポートに記述する。

【実験2 餌あきらめ密度の推定】

方法：

実験は2人一组で行い、レポートの作成は個人ごとに行う。

①餌あきらめ密度の推定

実験1の結果をもとに、自分のデータから、その環境での採餌をあきらめた方が良いのはどの時点（何分後）かを推測する。

②検証

班ごとに①の推測を検証する方法を考察し、実際にに行ってみる。ヒントとしてはバットをもう一つ用意し、どうしたら効率が上がるかを考えると良い。2人とも行うこと。

【実験3 捕食者がいた場合どのような行動をとると効率的か？】

方法：

実験は2人一组で行い、レポートの作成は個人ごとに行う。

①滞在時間と餌獲得量の関係

異なる滞在時間での採餌得量者に狙われる危険性は、販場での滞在時間（1回当たりノック積）に相關すると考えられる。まず、実験1と同様の実験を、30秒、40秒、1分間の3つのグラフを作成する。

②捕食確率の算出

次に捕食確率を、サイコロを用い算出する。10秒に1回サイコロを振り、3回音数が出来たら捕食者に出手つてしまい、そこから迷なくてはならないとする。まず、実験1と同様の実験を、30秒、40秒、1分間の何回サイコロを振ったか（No.）を記録する（最大6回）。それを採餌回数に対応するセツト行為は良い、30秒の場合、No=3、40秒の場合、No=3、4、5、6の時に、捕食者に出手つたと考える。

③採餌量の補正と最適採餌戦略の決定

逃げた回は得られる餌の量が半分になるとした場合のグラフを滞在時間ごとに作成する。最終的に得られる餌の量は、どの滞在時間で最大になるかについて検討する。

図1. 学生配布プリント

<p>動物の最適採餌戦略 データシート</p> <p>実験1 餌のどれ方 基質の量 飯の量 条件 60秒間</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>予測</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>累積</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>実測</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>累積</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>実験2 餌あきらめ密度の推定 推測:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>（圖）累積餌の量</td><td>0</td><td>30</td><td>60</td><td>90</td><td>100</td></tr> <tr><td>（圖）累積餌の量</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>単位時間あたり獲得餌量</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> </table> <p>実験3 捕食者がいた場合 採餌回数</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>① 30秒</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>② 40秒</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>③ 60秒</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>No(奇数)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	予測	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	累積													実測													累積													（圖）累積餌の量	0	30	60	90	100	（圖）累積餌の量	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	単位時間あたり獲得餌量	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	① 30秒	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	② 40秒													③ 60秒													No(奇数)													<p>実験2 餌あきらめ密度の推定</p> <p>②実測</p> <p>累積</p> <p>予測:</p> <p>結果:</p> <p>考察:</p> <p>最大な滞在時間:</p>
予測	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																															
累積																																																																																																																																											
実測																																																																																																																																											
累積																																																																																																																																											
（圖）累積餌の量	0	30	60	90	100																																																																																																																																						
（圖）累積餌の量	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																														
単位時間あたり獲得餌量	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																														
① 30秒	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																															
② 40秒																																																																																																																																											
③ 60秒																																																																																																																																											
No(奇数)																																																																																																																																											

図2. 学生配布用のレポート用紙

う条件を追加する。2) の結果を踏まえて捕食者が存在する場合、どのような餌探索行動を行うべきかを議論する。

2-3. 学生実験での実施

本実験は慶應義塾大学文・経済・法・商学部の学生を対象とした生物学（I・II）の新規実験メニューとして開発をおこなったが、カリキュラムの都合上、2009年度の同授業での試行はできなかった。そこで、坂本信介が担当していた都留文科大学初等教育学科専攻の学生実験（180分；約40人対象・4クラス）で実施した。上記実験1・2について行った。実験2—2）の仮説を導く過程ではクラスによって授業展開を変えた。仮説に直接関係するヒント（具体的には、効率が悪くなっている試行回に着目するようにヒントを与えた）の有無、および、班によるディスカッションの有無という二種類のグループ分けを行い、4グループの間で、仮説とその検証方法の正答率を検証した。

3. 結果

実験1—2）では、学生の76%が「単位時間に獲得できる餌量はいつも一定である（図3；予測例1）」、または、「時間とともに比例的に減少する（図3；予測例2）」といった予測をたてた。その後、実際には採餌効率がある時点で加速度的に減少する（図3；代表的な結果）ことを実験的に確かめた。その上で、仮説検証を行う実験2を行った。実験2—2）で餌獲得効率が加速度的に減少するのを説明するために学生がたてた仮説の代表的なものは以下であった；a. 餌探索行動に疲れて探索スピードが落ちたため；b. 餌の分布に偏りがあったため；c. 餌探索によって餌密度が減ったため。正しい仮説はcである。仮説と仮説検証の正答率について4グループの間で比較した結果を図4に示す。仮説の正答率はヒントを与えたグループでやや高かった（図4. a）。

仮説を検証するために学生が提案した実験の代表的なものは以下であった。a. 餌量を変えて餌獲得量を測定し、両者の関係を確かめる。b. 獲得した分の餌を毎施行後追加して、餌獲得量が一定なのを確かめる。c. 餌獲得効率が減少した時点で新しい餌場へ移動することにより、餌獲得量が初回と同程度まで増加することを確かめる（仮説に基づく予測の検証）。このような検証例を導き、正しく実施できたかをグループ間で比較したところ、ディスカッションをさせたグループの理解度が高く、ヒントを与えずにディスカッションをしたグループはヒントを与えてディスカッションをしなかったグループよりも僅かではあるが理解度が高かった（図4. b）。検証例を導くことができた全ての班がそれを正しく実施できていた。

4. 考察

本実験プログラムを進める上で重要なポイントとなるのは各人の仮説や予測を明確化させる

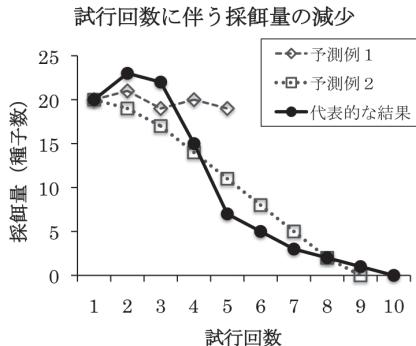
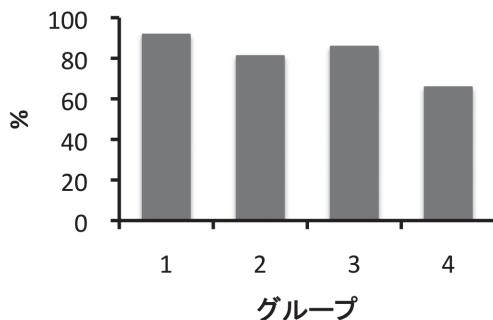


図3. 代表的な予測と結果

自身が最初の1分間に採餌できた種子数から、その後の採餌数を予測しプロットする。その後、実測値をプロットし比較する。

a. 考察の正しかった学生の割合



b. 仮説検証の正しかった学生の割合

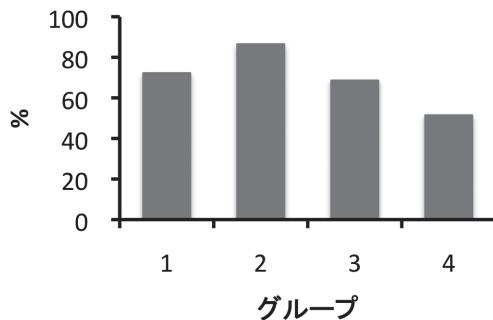


図4. グループごとの考察および仮説検証の正答率

a : 実験2-2) で正しい仮説を考察できた学生の割合。b : 実験2-3) で、その仮説を検証するための正しい方法を考察し適切に実施できた学生の割合。グループは、1) ヒントありディスカッションあり (n=36)、2) ヒントなしディスカッションあり (n=37)、3) ヒントありディスカッションなし (n=35)、4) ヒントなしディスカッションなし (n=35) を表す。

ことである。実験1—2）において、多くの学生の予測は「常に同じ程度餌がとれる（図3；予測例1）」、あるいは、「時間とともに採餌数が直線的に減少する（図3；予測例2）」というものであった。実際には餌獲得量はある地点で加速度的に減少する（図3；代表的な結果）。これを実験的に確かめさせた上で実験2に移る。実験1の結果は採餌を重ねるとともに餌密度が減少していくためであるが、実験2では、これを仮説として想起・明示できるかどうかを聞いた。この仮説は非常にシンプルであり、実際に自身が行った結果をグラフ化した上で考えているのでかなり正答率は高かった。本結果は、仮説をたてるまでのヒントを与えることでより高い正答率が得られることを示唆している。また、本実験結果では、ヒントなしで議論をしたグループが、正しい仮説検証の方法を着想し、適切に実施することのできた学生の割合が高かった。このことは、正しい仮説検証のプロセスを導く上でより重要なのは仮説をたてるまでのヒントよりも仮説をたてるまでの十分な議論であることを示唆している。これについては今後より多くの学生を対象に試行を行い統計的に検討していく必要があるが、科学的思考力を養うという本実験プログラムの趣旨を考えると興味深い結果である。

生物学実験の多くは実験手法が複雑で、かつ、生物反応自体に時間がかかるため、結果が出るまでにある程度の時間を必要とする。そのため、未経験で目新しい作業を行わせることは限られた実習時間内で学生に印象を残すための良いアイデアといえるだろう。しかし、このようなプログラムだけでは、自然科学において非常に重要である思考のプロセスが限られてしまう。非常にシンプルな道具を用いてパターン認識や仮説検証を訓練する実験は何度でも失敗が可能であり、ゆえに科学的思考プロセスや議論の仕方について学ぶことができる。また、このような実験は天候不良や材料生物の不揃いなど、偶発的なアクシデントが生じた場合にすぐに代替として実施できる。一般に、自然科学実験は正しい考察を導くこと、および、正しい思考プロセスを訓練することも目的の一つとしているはずである。複数回に渡って展開される授業構成であれば、このようなプログラムも含めた統合的学習の設定は十分に可能であると考えられる。

5. 発展と改良

実験3はより発展的な内容であり、採餌効率を上げるために単純に速く立ち去れば良いのではなく、最適な滞在時間があることをイメージできているかを問う実験である。サイコロを用いることで捕食確率の高・低などの条件をコントロールすることができる。実験2で一度仮説検証を行っているため、学生は自身で条件を変えることで幾つかの仮説を検証することができると気づくことが期待される。これが実験3の一番のねらいである。ただし、実験デザインと考察がより高度で複雑になるため、考えることが難しい学生も出てくる場合がある。その場合は、特に実験3-2）で捕食確率をサイコロで算出する作業を丁寧に説明すると良い。捕食確率が高い場合と低い場合とを想定し、両者では最適な採餌時間が変わることまで確かめると、より発展的で面白い実験になるだろう。また、本実験は、野外で同様の実験セットを用いることで、実際に野ネズミなどの野生動物を対象に実験を行うことが可能である。自分が確かめた

仮説が正しいかどうかを野外実験と連動して行うことは学生に強い印象を与えられると考えられる。

謝辞

本実験プログラムの開発においては慶應義塾大学日吉キャンパス生物学教室調整費による全般的支援を頂いた。都留文科大学生物学教室、坂田有紀子教授には、新規開発した実験プログラムを坂本信介担当の授業で試行的に実施することを快諾頂いた。都留文科大学生物学教室の2009年度卒業研究生諸氏には開発初期に探索時間の選定に協力して頂いた。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- Brown, J.S. & Kotler, B.P. (2004) Hazardous duty pay and the foraging cost of predation.
Ecology Letters, 7, 999–1014.
- Krebs, J.R. & Kacelnik, A. (1991) Decision-making. In “Behavioural Ecology”, 3rd edition,
pp. 105–136, eds. Krebs, J.R. and Davies, N.B., Blackwell publishing.
- 慶應義塾大学日吉キャンパス 科学的思考力を育む文系学生の実験の開発 HP.
<http://www.sci.keio.ac.jp/gp2010/aboutus/detail.php>
- 鈴木久男 (2010) 「大学生に必要なサイエンス教育とは何か?」, 『名古屋高等教育研究』 10,
59–76, 名古屋大学高等教育研究センター編.
- 貫井正納 (2001) 「考えなおそう関連と系統性」, 『理科の教育』 50, 5, 292–295, 日本理科教
育学会編.
- 松田尚子 (2009) 「アカネズミの餌探索行動に捕食者の匂いが及ぼす影響」, 首都大学東京理工
学研究科修士論文.