

アメリカの高校生物教科書における「自然選択」のモデル実験

○矢守 健太郎^A, 渡邊 重義^B

YAMORI Kentarou^A, WATANABE Shigeyoshi^B

熊本大学院教育学研究科^A, 熊本大学教育学部^B

【キーワード】進化, アメリカ, モデル実験, 生物教育, 教科書

1. はじめに

高等学校学習指導要領(2009)によって理科の指導カリキュラムが大幅に改訂され, 生物領域は「生物基礎」と「生物」という科目に変更された。科目の履修方法にも変更があり, 基礎科目である「生物基礎」を学習する学生が多くなると予想される。「生物基礎」の基本テーマの一つが生物の共通性と多様性であり, その学習において中心となる概念が「進化」である。しかし, 進化の学習では観察・実験の実施が難しく, 知識伝達になってしまいがちではないかと考えられる。そこで, アメリカ合衆国の高校生物の進化分野で取り扱われている観察・実験を調査して, 日本の生物学習に役立てられる知見を探った。

2. アメリカの生物教科書調査

1) 調査対象

近年, 米国において発行された2冊の高校生物教科書を用いて調査を行った(図1)。

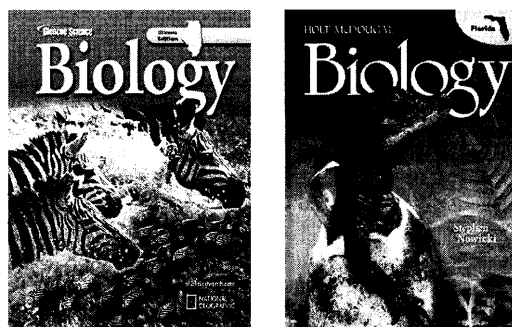


図1 調査対象教科書

左: Glencoe Biology, 右: Holt McDougal Biology

調査に用いた Glencoe Biology (2009) (以

下【G】)と Holt McDougal Biology (2010)

(以下【H】)は, 内容構成が一般的であるが, 日本の教科書に比べて記載内容が多い。

2) 教科書で扱われている進化の実験

2冊の教科書の進化の単元で取り上げられていた実験のタイトルを表1に示す。

表1 教科書に記載されていた進化の実験

単元4 生命の多様性と歴史【G】

- 14章 生命の歴史「自然発生は可能か？」
- 15章 進化「科学者は自然選択をモデル化できるか？」
- 16章 霊長類の進化「骨を比較することから二足歩行について学ぶことができるだろうか？」
- 17章 生物の多様性の系統化「生物は分岐図でどのように分類されるのか？」

単元4 進化【H】

- 10章 進化の原理「捕食者-被食者の追跡調査」
- 11章 個体群の進化「アフリカアゲハ蝶における自然選択」「遺伝的浮動」「アノールトカゲの個体群に関する調査」
- 12章 生命の進化「放射性物質の崩壊」

3. 実験の検証

教科書に記載されている進化に関する実験の中から自然選択を扱った「科学者は自然選択をモデル化できるか?」【G】と「捕食者-被食者の追跡調査」【H】の2つのモデル実験を選択し, 実験方法や実験結果について検証した。実験は教科書に記載されている方法で実施したが, 説明が不十分なところについては補足して改良を加えた。

1)「科学者は自然選択をモデル化できるか?」

(1) 実験の目的

鳥の嘴に見立てた数種類のピンセットとペンチを用いて、餌（ビーズ）を採取する実験で自然選択がモデル化できるかを調べる。

（２）実験方法

- ①実験は３人のグループで行った。２人は嘴の形が異なる鳥（捕食者）の役で、他の１人は時間を計って得点を記録する係である。
- ②鳥の役の２人は、ピンセット（３種類）あるいはペンチ（２種類）（図２）の中から形状の異なるものを１つずつ選んだ。
- ③トレイ（約 30cm×20 cm）に３種類のビーズ（大：10mm，中：6mm，小：4mm）を各 20 個入れて、よく混ぜた。
- ④鳥の役の２人は、自分の選んだピンセットまたはペンチを用いて 20 秒間でできるだけ多くのビーズを採取するように競争した（図３）。
- ⑤獲得したビーズは、大：3 点，中：2 点，小：1 点で計算を行い、捕食できた資源の量を数値化した。
- ⑥獲得した得点が 18 点以下の場合、その個体が資源不足で死亡したとみなし、さらに 10 点増えるごとに 1 匹の子を得たことにして、その個体が残した子孫数を調べた。
- ⑦同じ組み合わせの競争を 10 回行って平均値を求めた。6 回目からは互いのピンセットまたはペンチを交換して実験を行った。

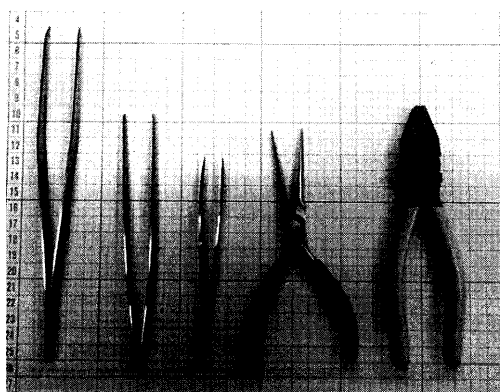


図２ 使用したピンセットとペンチ
左からピンセット（先曲，先丸，GG），ペンチ（ラジオ，ペンチ）



図３ 実験の様子

（３）実験結果と考察

ピンセットとペンチのすべての組み合わせについて、１セットが 10 回の実験を鳥役の人を変えて 2 セット行った（各組み合わせで合計 20 回）。子孫数の平均値（表 2）をみると、実験で用いたビーズのサイズに最も適していたのは先が丸くすべり止めのある「先丸」のピンセットであり、逆に最も適していないのが先の細い「GG」のピンセットであることがわかる。GG の場合、１回の実験で得点が 18 点以下のことも多く、致死率にすると 12.5% になった。したがって、その先丸と GG の組み合わせのとき、子孫数の差が最も大きくなった。

表 2 各組み合わせにおける子孫数の平均値

組み合わせ (A×B)	1セット			2セット		
	A	B	差	A	B	差
ペンチ × 先丸	1.2	1.6	0.4	1.2	2.1	0.9
ペンチ × 先曲	1.6	1.8	0.2	1.2	0.7	0.5
ペンチ × GG	1.8	0.7	1.1	1.0	0.8	0.2
ペンチ × ラジオ	1.1	0.6	0.5	1.2	1.1	0.1
ラジオ × 先丸	0.8	2.0	1.2	1.4	2.5	1.1
ラジオ × 先曲	1.1	0.6	0.5	1.9	1.3	0.6
ラジオ × GG	1.4	0.3	1.1	1.5	0.3	1.2
先丸 × 先曲	2.4	2.1	0.3	2.1	1.6	0.5
先丸 × GG	3.0	0.2	2.8	2.4	0.5	1.9
先曲 × GG	0.8	0.6	0.2	1.8	0.7	1.1

各組み合わせ（２セット：20 回分）の平均の子孫数の差を表 3 に示す。

表3 各組み合わせにおける平均子孫数の差
(2セット: 20回分の実験の平均値の差)

	ペンチ	ラジオ	先丸	先曲	GG
ペンチ		0.30	-0.65	0.15	0.65
ラジオ			-1.15	0.55	1.15
先丸				0.40	2.35
先曲					0.65
GG					

ペンチと他の道具との対戦でみると、平均子孫数に1.0(1個体)の差が生じる組み合わせはなく、競争による淘汰圧が小さいと判断することができる。しかし、セットごとにみると、ペンチとGGの組み合わせにおいて、差が1.1の場合が一度あった(表2)。平均子孫数の差の絶対値が1.0を超えたのは、ラジオ×先丸、ラジオ×GG、先丸×GGの三つの組み合わせであり、これらの組み合わせでは餌資源を巡る競争が強い淘汰圧を生み、次の世代の子孫数に影響することを推論できる。

今回のモデル実験では、使用したピンセットまたはペンチの形状と使いやすさが、餌となるビーズのサイズおよびトレイに散りばめられた状況に適応していたかどうかによって得点が変わる。表1および表2の結果をみると、競争による淘汰圧が強い場合と弱い場合が示されているので、実際の自然選択を考察するうえで適しているのではないかと考えられる。得点として数値化することで、子孫数から自然選択を吟味することができるが、得点のルール、生存や子孫を得るための点数を変化させることによって、異なる結果に結びつくこともある。ビーズの大きさや数を変えることで、空間や資源の状況が異なるときの競争を考えることもできる。学習者自身がこのモデル実験を応用して、方法を修正することで、より深い自然選択の理解につながる可能性がある。

2) 「捕食者 - 被食者の追跡調査」

(1) 実験の目的

5色のゼムクリップを色の異なる5種類のネ

ズミに見立てて、フクロウ役の生徒が目についたネズミ(クリップ)を採取することで、保護色と捕食圧の関係を調べる実験を行い、自然選択のモデル化ができるかを調べる。

(2) 実験方法

- ①実験は3人のグループで行った。2人はフクロウ役になり、1人は進行・記録係になる。
- ②5色(白/赤/緑/青/黄)のクリップを各20個ずつ準備し、これを最初の世代のネズミ集団の個体数(合計100匹)にした。
- ③緑色または橙色の布と黒色の画用紙(両方とも60cm×70cm)から1色を選んで机の上に敷いて、生息環境にした。その上に進行役が無作為に5色のクリップを広げて、同じ色のクリップが集まったり、クリップが重なったりしないようにした。
- ④進行役の開始の合図で、フクロウ役はクリップの採取を開始した。採取には磁石と割りばしで自作した教具を用いた。クリップの採取は1個ずつ行うようにした。
- ⑤2人のフクロウ役がクリップを合計75個採取した段階で1回目の実験を終了した。進行役は、机の上に残った25個のクリップの色と数を記録した。
- ⑥残った各色のクリップと同じ色のクリップを3倍加えて、合計が再び100個になるようにした。この操作は1個体が3個体の子孫を残すことを表している。
- ⑦生育環境の色は同じ状態で、⑥の状態から③に戻って同じ実験を行った(第2世代)。さらにもう一度③～⑤を行い(第3世代)、第1～3世代の各色の個数の変化を表にまとめた。その結果から第5世代の各色の個数を予想する活動を行ったあと、同様の実験をさらに2回繰り返し、第4・5世代の結果を調べた。

(3) 実験結果と考察

生息環境を示す色が緑色、橙色、黒色の場合について、各3回の実験を行った。フクロウ役のペアは回ごとに変えた。緑色の布を生育環境

としたときの、各世代における白、赤、黄、青、緑のクリップの割合とその変化を図4に示す。背景が緑色の場合、白色のクリップは世代を重ねるにつれて個数が徐々に減少したが、それ以外の色は増減の変化があった。第5世代の個数をみると、白と黄が20%より少なくなり、青と赤は20%程度で、緑が20%を超えて最初の2倍に近い数になった。フクロウ役のペアが変わった場合、あるペアでは図4と同様の結果になったが、別のペアでは、第3世代で青のクリップが無くなり、黄が20%未満、白は20%、赤と緑が20%を超える結果になった。これらのことより、緑色の背景では、同じ緑のクリップが採取されにくく、黄や白が採取されやすいことがわかる。最後のケースでは青が意図的に採取されたのではないかと推察される。

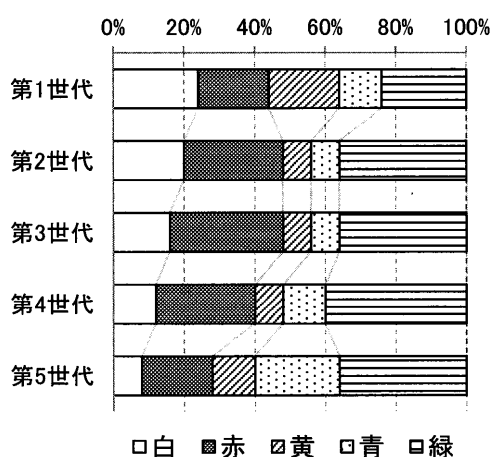


図4 緑色の生息環境での実験結果

第5世代において、緑色のクリップだけが残らないのは、同じ色で目立ちにくくても数が多いので採取者(捕食者)の目につきやすくなり、75個の採取制限がある中では、極端な増加に結び付かないと推測できる。

黒色の画用紙を背景に用いた場合は、緑色の布と同じように、色彩が明るい白や黄の個数が減少し、緑の割合が大きくなりやすかったが、緑のときよりも白と黄の割合の減少は大きかった。橙色の布の場合は、ペアごとに結果が異なり、橙色と似た色彩の黄のクリップは、あるペアの実験では第5世代で50%を超える割合に

まで増えていたが、別のペアでは第4世代で消滅していた。本実験では、フクロウ役が視覚でクリップを認識して採取している。そのときにクリップの色と背景色の関係だけでなく、フクロウ役とクリップの位置関係、フクロウ役の色の好み、磁石を用いた採取方法なども結果に影響するであろう。したがって、結果にばらつきが生じる可能性も高かったが、背景が緑色と黒色の場合は、明るい色が採取されやすいという傾向が得られた。また、背景が橙色の場合の結果のばらつきは、環境条件が中間的なものよりも極端になった場合にある方向への選択圧が強くなることを考察できる。

このモデル実験の特徴は、世代交代を繰り返したときの生物集団における個体数の増減を調べていることであり、捕食-被食と保護色の観点から自然選択の実態をシミュレートしようとするところにある。実際に用いた材料の色合い、採取方法などを、実際の生態系における保護色や捕食行動と重ね合わせて考察できれば、自然選択について深く吟味できるのではないかと考えられる。

4. おわりに

本実験で検証した2つのモデル実験は、自然選択という同じテーマについて、採餌行動、構造と機能、競争あるいは捕食-被食、保護色、世代交代という異なる観点からシミュレーションするものであり、データを用いた分析が可能である。本研究では、元の教科書では詳しく説明されていなかった方法や教材に修正と改良を加えて、上述したような結果を得ることができた。嘴の見立てとなる道具やクリップの色と大きさなどは、教育現場の状況に合わせて修正が可能であり、それによって得られた結果を分析することが、自然選択に関わる諸条件を考察することに結びつくのではないかと考えられる。今後は、さらに「進化」に関する実験教材を分析し、進化を学ぶための実験事例を集めて、日本の高等学校における実践を試みたい。