

科学史上の旧理論の教授価値について —高校生物における用不用説の取扱いに焦点を当てて—

The Value of Teaching Old Theories in the Scientific History:
—Focusing on the Treatment of Use-and-Disuse Theory in High School Biology—

福井智紀¹, 長田 純²

¹麻布大学, 生命・環境科学部, 教職課程研究室
神奈川県相模原市中央区淵野辺 1-17-71

²元・麻布大学 環境保健学部

Tomonori Fukui¹, Jun Osada²

Teacher Training Course, School of Life & Environmental Science, Azabu University,
1-17-71 Fuchinobe, Chuo-ku, Sagami-hara, Kanagawa 252-5201, Japan

Abstract: In Japanese high schools, science education generally teaches only the latest theories. However, in biological education, old theories often appear in textbooks. For example, in biological evolution, the textbooks are still teaching Lamarckian evolutionary theory (the theory of use-and-disuse). Why are schools teaching such old theories in fields of science? One answer is because there is an opinion that scientific history has educational value and perhaps practical value as well. Presenting old theories may improve student understanding and memories of current theories. This hypothesis has been verified in pre- and post-tests. Consequently, where classes teach both the theory of natural selection and the theory of use-and-disuse, a better understanding (memories) of biological evolution has been promoted. Therefore, the hypothesis of this study has been supported to some extent. However, a final conclusion is premature as there are still some problems remaining to be resolved.

Key words: Theory of Natural Selection, Theory of Use-and-disuse, Counter Theories, History of Science, Promotion of Understanding and Memories

I. はじめに

現在, 生物の進化に関わる理論・学説の学習は, 主として高等学校における生物(現行課程では4単位の選択「生物」)で取扱われている。しかし, 学習後も進化を適切に理解していない生徒が多いこと, および, 生徒の不適切な理解のうち最も典型的なものが用不用説(いわゆるラマルク説)に類似したものであることが, 先行研究より明らかになっている(福井, 2000; 福井・鶴岡, 2001)。現代の進化学説では, 用不用説は否定されており, 自然選択説が科学的に妥当

とされている。

高等学校の生物において進化学説が扱われるとき, ダーウィンの自然選択説が登場する以前の学説として, ラマルクによる用不用説が紹介されることが少ない。例えば, 現行課程の生物教科書においても, 以下のような記述が見いだせる。

…18世紀には, 生物は単純なものから複雑なものへと変遷してきたのではないかと考える研究者が出てきた。その代表がラマルクである。ラマルクは, 生物は内定な力に促されて単純(下等)な

ものから複雑（高等）なものへという発展をとげてきたものであり、分類群内の多様性は環境への適応によってもたらされたと考えた。環境に適応するにあたっては、よく使われる器官が発達し（用不用説）、それが次世代へと伝えられる（獲得形質の遺伝）と主張した。ただし、用不用説も獲得形質の遺伝も現在は否定されている。（啓林館発行『生物』p.338 本文）

最初に進化のしくみについて明確に述べたのはフランスのラマルクである。19世紀初頭、ラマルクは、よく使用する器官が発達し、使用しない器官が退化することによって生物の進化が起こると考えた。このような考え方を用不用説（1809年）という。彼の用不用説は、生存中に生じた個体の形質変化（獲得形質）が子孫に伝わることを仮定しており、この考えはその後の遺伝学によって否定されている。（数研出版『生物』p.365 コラム）

ラマルクは、進化に関する初めての科学的な理論を、1809年に著した『動物哲学』のなかで次のように唱えた。「よく使われる器官は発達し、そうでない器官は退化していく。それによって獲得した形質は、遺伝によって子孫に伝えられる。」このような説を用不用の説という。用不用の説は、個体が一生の間に獲得した形質が遺伝することを認めている。獲得形質の遺伝は、その後の遺伝学から否定されている。（第一学習社発行『高等学校生物』p.374 コラム「参考：進化論の変遷」）

一般的に、日本の理科教科書は、科学の基礎理論・法則や重要な事実のみが精選されており、現代の理論のみが記載されている。しかし生物学の分野、特に生物の進化については、この用不用説のように、現在はほぼ否定されている科学史上の旧理論が教科書において取扱われることが、伝統的によくなされてきた。このことには、いったいどのような意味があるのだろうか。

この問いに対し、過去の科学理論・学説を「対抗理論・学説」として提示することで、教授したい科学理論・学説の意義や特徴が明確になり、生徒の理解や記

憶を促進できるからだ、という回答がありうる。実際に、科学史には、このような仮定を含めて、様々な意義があるという主張がなされてきた（福井・鶴岡, 2003）。そこで、本研究では、学習させたい科学理論を提示する際に、科学史上の旧理論を併せて提示することに、何らかの「功利的」な意義が見いだせるかを、実際の調査により検証した。なお、科学的な内容には、それ自体にも独自の学習価値が十分に存在するという主張がある（例えば、Matthews, 1994）が、本稿ではそうした問題には立ち入らないこととした。

II. 研究方法

調査においては、自然選択説のみを提示した場合と、用不用説と自然選択説を併せて提示した場合とで、生徒・学生のその後の記憶（本来は理解と記憶とは異なるが、本研究では記憶の定着を理解につながるものとして仮定した）に差が生じるかを、以下の手順で調べた。なお、調査問題の作成にあたっては、福井・鶴岡（2001）を参考にした。

まず、プレテストを実施した。ここでは、キリンの長い首がどのように進化したかを回答させた。次に、この問題への回答および解説として、約半数の被験者には、「自然選択説と用不用説」の解説文をそれぞれ提示した（実験群）。一方、もう半数の被験者には、「自然選択説」の解説文のみを提示した（対照群）。次に、1週間後に、ポストテストを実施し、チーターの足の速さがどのように進化したかを回答させた。このように、プレテストにおける回答および解説の提示の仕方によって、ポストテストの回答に差異が見られるかを分析した。

1. プレテスト

プレテストで使用した問題は、以下の通りである。ここでは、キリンの長い首がどのように進化したかを回答させた。

【問題】

昔のキリン（キリンの祖先）の首の長さは、今の馬やロバくらいしかありませんでした。ところが、今のキリンは約6メートルのとても長い首を持っています。キリンの首は、どのようにして長

くなったのでしょうか。あなたの考えをできるだけ詳しく書いてください。必要があれば絵を描いても構いませんが、考えがよくわかるように、必ず文も書いてください。

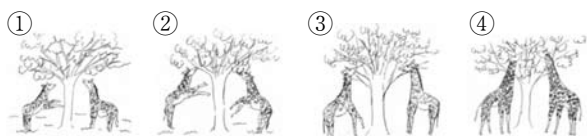
配布する調査用紙には、この問題への解答後に用紙を裏返すように指示した。裏面は、以下のように、A：実験群として「自然選択説と用不用説」の解説文をそれぞれ提示しているもの（用不用説は誤りで自然選択説が正しいと明記）と、B：対照群として「自然選択説」の解説文のみを提示しているものとの、両方を用意した。被験者は、無作為に、このいずれか一方を読むことになる。詳細は、以下の通りである。

A：実験群（用不用説は誤りで自然選択説が正しいとして両学説を提示）

※次に、あなたの考えが正しかったかどうか、以下の【誤った回答】および【正しい回答】をよく読んでください。

【誤った回答】

アフリカは乾燥していて草が少ないので、キリンの祖先は木の上の葉を食べるしかなくて、首をのばして葉にとどくように、毎日がんばらなければならなかったのです(①)。毎日がんばったので、少しだけ首が長くなって、少し高い木の上の葉にもとどくようになりました(②)。首が少しだけ長くなったキリンを両親にもつ子どもは、両親の努力のおかげで生まれつき首が少し長くて、少し高い木の上の葉にもとどきました(③)。そしてその子どもも、両親と同じように、首をのばして葉にとどくように、毎日がんばらなければならなかったのです。こうしたことが長い間くりかえされて、キリンの首は少しずつ長くなって、とうとう、今のようにキリンはとても首が長くなったのです(④)。



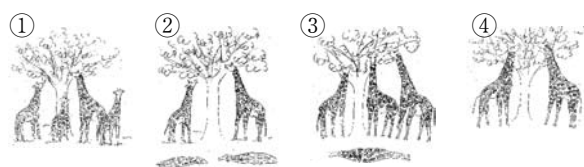
※この考えは、誤っています。なぜなら、一生の間の努力によって、たとえ首が長くなるがあっても、そのような性質は子に遺伝しないからです。

この考えは、先ほど書いたあなたの考えと同じでしたか。以下に○を付けてください。

同じ ・ だいたい同じ ・ あまり同じではない ・ 同じではない

【正しい回答】

キリンの祖先の中には、生まれつき少し首の長いものがいました(①)。首が少しだけ長いキリンは、首の長さがふつうのものや短いものよりも、木の上の葉を食べやすかったので、厳しいアフリカの草原でも、生き残ることが多かったのです(②)。また、生まれつき少し首の長いキリンからは、親によく似た少し首の長い子どもが生まれやすいのです。生まれつき少しだけ首の長いキリンが生き残りやすく、少しだけ首の長いキリンをうむので、首の長いキリンが少しずつふえていきます(③)。こうしたことが長い間くりかえされて、とうとう、今のようにキリンはとても首が長くなったのです(④)。



※こちらが、正しい考えです。

この考えは、先ほど書いたあなたの考えと同じでしたか。以下に○を付けてください。

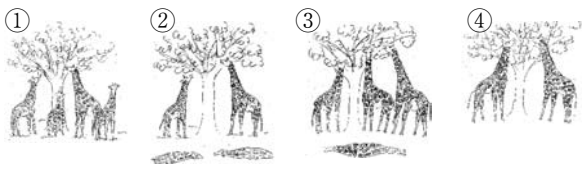
同じ ・ だいたい同じ ・ あまり同じではない ・ 同じではない

B：対照群（自然選択説のみを提示）

※次に、あなたの考えが正しかったかどうか、以下の【正しい回答】をよく読んでください。

【正しい回答】

キリンの祖先の中には、うまれつき少し首の長いものがいました (①)。首が少しだけ長いキリンは、首の長さがふつうのものや短いものよりも、木の上の葉を食べやすかったので、厳しいアフリカの草原でも、生き残ることが多かったのです (②)。また、うまれつき少し首の長いキリンからは、親によく似た少し首の長い子どもが生まれやすいのです。うまれつき少しだけ首の長いキリンが生き残りやすく、少しだけ首の長いキリンをうむので、首の長いキリンが少しずつふえていきます (③)。こうしたことが長い間にくりかえされて、とうとう、今のようキリンはとても首が長くなったのです (④)。



※この考えは、先ほど書いたあなたの考えと同じでしたか。以下に○を付けてください。

同じ ・ だいたい同じ ・ あまり同じではない ・ 同じではない

2. ポストテスト

1週間後に、ポストテストとして、チーターの足の速さがどのように進化したかを回答させた。使用した問題は、以下の通りである。なお、回答Aと回答Bについては、前者が用不用説、後者が自然選択説に基づく説明となっている。

【問題】

アフリカにすむチーターは、獲物を追いかけるとき、時速約100キロで走ることができます。でも、チーターの祖先(むかしのチーター)は、時速約30キロでしか走れませんでした。それでは、チーターが今のように速く走れるようになるまでには、いったいどのようなことがあったのでしょうか。

(回答欄：略)

Q. 上記の回答に、どのくらい自信がありますか。以下に○を付けてください。

自信がある ・ 少し自信がある ・ あまり自信がない ・ 自信がない

※先ほどの問題の回答として、以下の2つの異なる回答AおよびBがあります。それぞれの回答をよく読んで、質問に答えてください。

【回答A】

チーターの祖先は、獲物をつかまえるために、毎日けんめいに走らなければなりません。毎日、足をつかってけんめいに走ったので、足の筋肉が少しずつ強くなりました。だから、少しずつ足が速くなりました。少しだけ筋肉が強くて足が速くなったチーターを両親にもつ子どもは、両親の努力のおかげで、うまれつき足の筋肉が少し強くて少しだけ足が速かったのです。そしてその子どももまた、両親と同じように、毎日けんめいに走らなければならなかったのです。こうしたことが長い間にくりかえされて、チーターの足は少しずつ速くなって、とうとう、チーターは今のようにとても足が速くなったのです。

Q1. この考えは、先ほど書いたあなたの考えと同じでしたか。以下に○を付けてください。

同じ ・ だいたい同じ ・ あまり同じではない ・ 同じではない

【回答B】

チーターの祖先の中には、うまれつき少し足の速いものがいました。足が少しだけ速いチーターは、足の速さがふつうのものや遅いものよりも、獲物をつかまえやすかったので、厳しいアフリカの草原でも、生き残ることが多かったのです。また、うまれつき少し足の速いチーターからは、親によく似た少し足の速い子どもが生まれやすいのです。うまれつき少しだけ足の速いチーターが生き残りやすく、少しだけ足の速いチーターをうむので、足の速いチーターが少しずつふえていきます。こうしたことが

長い間にくりかえされて、とうとう、チーターは今のようにとても足が速くなったのです。

Q 2. この考えは、先ほど書いたあなたの考えと同じでしたか。以下に○を付けてください。

同じ ・ だいたい同じ ・ あまり同じではない
 い ・ 同じではない

Q 3. 回答Aと回答Bのうち、どちらが正しい回答だと考えますか。

回答A ・ 回答B ・ わからない

Q 4. 上記Q 3のように回答したのはなぜですか。その理由をお答えください。

3. 被験者と調査時期

被験者は、麻布大学の学生で、教育学概論（学芸員課程）の受講生である。回答に不備のある被験者を除外した結果、プレテストの被験者数は、1年96名、2年8名、3年2名、4年1名の計107名であった。1週間後のポストテストでは、1年95名、2年5名、3年3名、4年1名の計104名であった。

被験者の高校時代の履修科目は、前教育課程の「生物Ⅰ」が56.1%、「生物Ⅱ」が46.7%であり、前々教育課程の「生物ⅠB」が37.4%。「生物Ⅱ」が27.1%であった。前課程も、前々課程も、「生物Ⅱ」において生物の進化が取り扱われていた。これらのことから、被験者の概ね半数以上は、生物の進化について、高校時代に学習してきたと考えられる。

調査は、2007年1月15日と、その1週間後の1月22日に実施した。

Ⅲ. 結果と考察

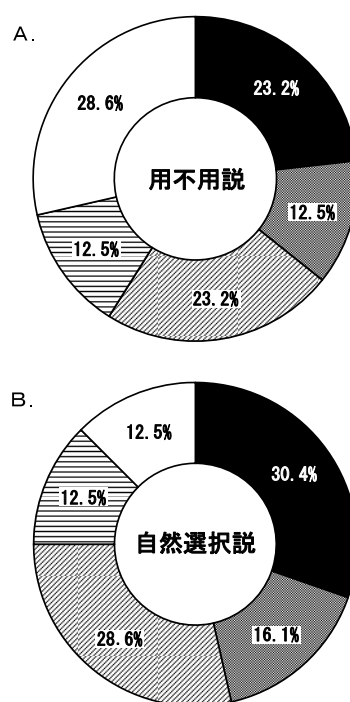
以下では、両学説の（当初の）支持状況と、両群におけるポストテストの結果と差異について、おもな結果に絞って報告する。

1. プレテストにおける両学説の支持状況

プレテストでは、被験者107名のうち約半数の56

名が、実験群として両学説を提示された。そこで、この実験群における、用不用説と自然選択説それぞれの支持状況をまとめた。具体的には、学説について紹介した後、「先ほど書いたあなたの考えと同じでしたか。」という質問への回答状況について分析を行った。結果を、図1に示した。

これを見ると、自然選択説の方がより多くの被験者に支持されたが、現在は否定されている旧理論である用不用説についても、ある程度の支持がなされた。このような傾向は、筆者らによる過去の調査（福井・鶴岡, 2001）と同様であった。



■同じ ■だいたい同じ ■あまり同じではない ■同じではない □不明

図1 実験群（両学説提示）における自然選択説の支持率（N=56）

A. 提示された用不用説の解説文と回答の一致度
 B. 提示された自然選択説の解説文と回答の一致度

2. 両群におけるポストテストの結果（1）

どちらの学説を正しいものと選択したか

ポストテストでは、チーターの速い脚の進化について、回答A（用不用説に基づく解説）と回答B（自然選択説に基づく解説）のうち、どちらが正しい回答と考えるかを、Q3で直接尋ねた。この結果を、実験群（両学説提示）と対照群（自然選択説のみ提示）に分

けて整理したのが、表1である。分析においては、プレテストとポストテストの両方に回答していない被験者を除外した。さらに、ポストテストにおける回答に不備がありプレ・ポストを比較できない被験者も除外した。その結果、最終的な被験者数は94名となった。

ここでは、回答Aを選択した者と、「わからない」を支持した者を、あわせて「自然選択説を選択しなかった者」としてまとめた。その上で、回答Bを選択した者との、2×2クロス表を作成した。

表1 プレテストの学説提示方法によるポストテストの学説支持状況 (N=94)

		用不用説支持+	自然選択説支持
		わからない	
実験群 ^a (N=50)	実際度数	12	38
	期待度数	17.0	33.0
	調整済み残差	-2.2	2.2
対照群 ^b (N=44)	実際度数	20	24
	期待度数	15.0	29.0
	調整済み残差	2.2	-2.2

a : 両学説提示 b : 自然選択説のみ提示

χ^2 検定の結果、両群における人数の偏りは5%水準で有意に異なっていた ($\chi^2_{(1)}=4.80, p<0.05$)。Fisherの直接確率計算法においても、 $p=0.032$ (両側検定) であり、5%水準で有意であった。調整済み残差については、この場合、|残差| > 1.96 ならば5%水準で有意となるが、すべてのセルで偏りが見られた。残差をふまえて解釈すると、プレテストで両学説を提示した群では、ポストテストで自然選択説を支持する者が有意に多かった。逆に、プレテストで自然選択説のみを提示し、用不用説を提示しなかった群では、ポストテストで自然選択説を支持する者が有意に少なく、用不用説を選択したり、「わからない」を選択した者が有意に多かった。

この結果から、自然選択説だけではなく用不用説も提示したうえで、さらに前者が正しく後者が誤りであることを明示することによって、前者を正しく理解(記憶)する可能性が高くなることが示唆された。ただし、実験群においても、24.0%の者は、自然選択説という現在の科学的に妥当な学説を選択できていないことにも、併せて注目すべきと考えられる。

3. 両群におけるポストテストの結果 (2)

それぞれの学説に対する支持状況

以上は、筆者らの仮説を支持する結果であったが、実際には、仮説を支持しない結果も得られた。

ポストテストのQ1では、用不用説に基づく回答例を提示し、直前に回答した自分自身の回答とどの程度一致しているかを選択させた。「同じ」「だいたい同じ」を支持、「あまり同じではない」「同じではない」を不支持として合算し、表1と同様のクロス集計・検定を行った。この結果を、表2として示した。

表2 プレテストの学説提示方法によるポストテストの用不用説支持状況 (N=93)

		支持	不支持
実験群 ^a (N=50)	実際度数	9	41
	期待度数	9.1	40.9
	調整済み残差	-0.1	0.1
対照群 ^b (N=43)	実際度数	8	35
	期待度数	7.9	35.1
	調整済み残差	0.1	-0.1

a : 両学説提示 b : 自然選択説のみ提示

χ^2 検定の結果、両群における人数の偏りに差は見られなかった ($\chi^2_{(1)}=0.940$, 有意差なし)。よって、プレテストにおける学説提示の方法は、ポストテストの結果には影響しなかったといえる。実験群の不支持の割合が対照群に比べ相対的に高いが、いずれの群においても、用不用説を支持するものが少数に過ぎないため、明確な傾向が見られなかったものと考えられた。

ポストテストのQ2では、自然選択説に基づく回答例を提示し、直前に回答した自分自身の回答とどの程度一致しているかを選択させた。「同じ」「だいたい同じ」を支持、「あまり同じではない」「同じではない」を不支持として合算し、表1および表2と同様のクロス集計・検定を行った。この結果を、表3として示した。

表3 プレテストの学説提示方法によるポストテストの自然選択説支持状況 (N=94)

		支持	不支持
実験群 ^a (N=50)	実際度数	38	12
	期待度数	35.1	14.9
	調整済み残差	1.3	-1.3
対照群 ^b (N=44)	実際度数	28	12
	期待度数	30.9	14.9
	調整済み残差	-1.3	1.3

a : 両学説提示 b : 自然選択説のみ提示

χ^2 検定の結果、両群における人数の偏りに差は見られなかった ($\chi^2_{(1)}=0.171$, 有意差なし)。よって、プレテストにおける学説提示の方法は、ポストテストの結果に影響しなかったといえる。実験群の支持の割合が対照群に比べ相対的に高いが、実験群において自然選択説が統計的に有意な水準で高い支持を得た訳ではない。

このように、表2および表3において、筆者らの仮説を支持する明確な傾向は見いだせなかった。これは被験者数が少ないことが影響していると考えられる。

IV. まとめ

本研究では、高等学校の生物、特に生物の進化に関わる学説について、科学上の旧理論（用不用説など）が教科書において取扱われていることに着目した。まず、このような旧理論が提示されることは、教授したい（現代では正当とされる）科学理論・学説について、その意義や特徴が明確になることで、生徒の理解や記憶を促進できるからではないか、という仮説を立てた。そして、実際にプレテスト・ポストテストからなる調査を実施することによって、この仮説の検証を試みた。

自然選択説だけではなく用不用説も提示した上で、さらに後者が誤りであることを明示することで、理解（記憶）が促進されることが、結果の一部から示唆された。これは、筆者らの仮説を支持するものである。つまり、科学上の旧理論には、それ自体の教授価値はともかく、現代の理論を学習するうえでの「功利的」な価値を見いださうということである。

ただし、今回の調査では、被験者数が限られおり、仮説を支持しない結果も得られた。さらに、被験者が

本学の学生のみであることから、一般的な生徒・学生を代表していない可能性もある。また、1週間という短期的なスパンでのポストテストであるため、長期的な記憶や、真の「理解」については、十分には検証できていない。従って、このような結果や考察を一般化するためには、より長期的・多面的な調査、および、他の科学理論についての調査が必要である。

また、実験群においても、科学的に現在では妥当と考えられている学説を選択できていない者が少なくない。このことから、生物授業において両学説を紹介する場合でも、それらがかえって混乱を招かないよう、それらの正誤とその根拠については、注意深く解説する必要がある。さらに、自然選択説などの進化学説の説明においては、キリンの長い首がよく例として取り上げられる（本研究のプレテストでも採用した）が、本研究のポストテスト（チーターの速い脚）のように、他の進化事象も取り上げたり、典型例を応用させるような練習も、理論について深く理解するためには有効であると考えられる。

最後に、本研究では立ち入らなかったが、科学史にはそれ自体にも独自の十分な学習価値があるという主張が、説得力をもってなされている。これについては、福井・鶴岡（2003）で詳しく論じたが、例えば Matthews（1997）は、理科教育において科学史を活用する意義・根拠について、以下の7点をあげている。

1. 歴史は、科学的概念・方法のより良い理解を促進する。
2. 歴史的アプローチは、個人的思考の発達を、科学的アイデアの発展と結び付ける。
3. 科学史は、本質的に、労力をかけるだけの価値がある。科学史・文化史における重要なエピソード—科学革命、ダーウィニズム、ペニシリンの発見など—は、全ての生徒がよく知っているべきである。
4. 歴史は、科学の本質の理解のために、不可欠である。
5. 歴史は、科学テキストや科学クラスに一般に見出される、科学至上主義や独断主義を和らげる。
6. 個々の科学者の生涯や時代を調べることによって、歴史は科学の素材を、それを生徒に

とってあまり抽象的ではなくむしろ没頭させるものとしつつ、人間的なものにする。

7. 歴史は、科学のトピック・学科が、その他の人文学科と結び付くのを容認するだけでなく、相互に結び付くことをも容認する。すなわち、歴史は、人間の業績の集約的・相互依存的な本質を表す。

従って、本研究で示唆された旧理論の「功利的」な有用性のみに着目するのではなく、科学史をより積極的に理科教育の中で活用していくことも、必要であると考えられる。また一方、本研究で取り上げた「生物進化」についても、日本の理科教育においては決して重視されているとは言えない。しかし、福井・鶴岡（2002）で論じたように、その学習には他の生物学の主要概念と比べても特筆すべき意義があるため、より積極的な取扱いが必要であろう。

注

本稿に示したおもな結果については、2007年10月27日に日本理科教育学会第46回関東支部大会において口頭報告した。その後、学術雑誌等には調査結果を投稿していなかったが、理科教育において有用なデータを含むため、今回の機会にとりまとめて投稿させていただいた。

謝辞

調査にご協力いただいた方々に、深く感謝申し上げます。また本研究は、平成16～18年度科学研究費補助金（若手研究(B)）・研究課題番号16700543「生物教育における生物学史・生物哲学の活用に関する実証的研究」の助成を受けた。

文献

- 福井智紀（2000）「高校生の進化概念についての調査研究：生物Ⅱ「生物の進化」学習後の生徒の進化概念の実態」『生物教育』Vol.40, No.3, pp.122-138
- 福井智紀・鶴岡義彦（2001）「主要な進化学説についての生徒の捉え方に関する研究：4つの進化学説に対する中学生・高校生・大学生の反応」『理科教育学研究』Vol.42, No. 1, pp.1-12
- 福井智紀・鶴岡義彦（2002）「生物進化の教授価値の検討」『千葉大学教育学部研究紀要』Vol.50（Ⅰ：教育科学編），pp.69-82
- 福井智紀・鶴岡義彦（2003）「理科教育における科学史の活用について：我が国における研究の概観と今後の課題」『東京水産大学論集』No.38, pp.55-65
- Matthews, M.R. (1994) *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*, Routledge
- 本川達雄・谷本英一ほか（2012）『生物』新興出版社啓林館
- 嶋田正和ほか（2013）『生物』数研出版
- 吉田勝利ほか（2013）『高等学校生物』第一学習社