

---

# 日本の大学生と小学生の進化に関する素朴理論

杉 本 明 子

---

## アブストラクト

本研究は、(a) 日本の大学生は進化に関してどのような理解をしているのか、彼らの進化に関する素朴理論は欧米の大学生と類似しているのか、それとも、異なっているのか、(b) 進化に関する正式な授業を受ける前の日本の小学生はどのような素朴進化理論を持っているのかを明らかにすることを目的とし、日本の大学生と小学生が書いた進化に関するエッセイを進化理論枠組の観点から質的・量的に分析した。その結果、(1) 日本の大学生の過半数が科学的進化理論である「ネオ・ダーウィニズム」を理解していること、(2) 日本の大学生の素朴進化理論として、「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」「自然選択説」「組み合わせ説」「有利な形質発展説」の6つの素朴理論が見出されたが、欧米の大学生と共通する素朴進化理論（「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」「自然選択説」）と、欧米の大学生は持っているが日本の大学生は持っていない素朴進化理論（「創造主義的進化論」）があること、(3) 日本の小学生の素朴進化理論は日本の大学生の6つの素朴進化理論と全く同じものであったが、小学生は自分自身の日常生活経験に基づいたり、生物を擬人化してしたりして進化のメカニズムを推論する傾向があり、また、科学的進化論の考え方を獲得していないこと、が明らかになった。以上の結果から、科学的な素朴理論にも、社会文化的影響を受けて獲得されるものと、社会文化的影響を受けずに普遍的に獲得されるものが存在すること、また、「ネオ・ダーウィニズム」のような科学的進化論を獲得する為には進化に関する正式な授業を受ける必要があることが示唆された。

## キーワード

進化に関する理解、素朴理論・素朴概念、日本の大学生・小学生、社会文化的影響

## 問 題

これまで、児童・生徒の物理現象に関する素朴概念や理解に関して世界中で多くの研究が行われてきた（e.g., Brown, 1993; Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Clement, 1982; Erickson, 1979; Gunstone & White, 1981; Johsua & Dupin, 1987; McCloskey & Caramazza, & Green,

1980; Piaget, 1970; Trowbridge & McDermott, 1980; Vosniadou & Brewer, 1992)。物理に関する素朴概念や理解ほどは注目されてこなかったが、近年の認知心理学的な研究により、子ども達の生物に関する様々な素朴概念や素朴理論も明らかにされてきた (Brumby, 1984)。特に、進化に関する素朴理論や概念枠組に関しては、欧米を中心とする国々で多くの研究が行われてきた (Demastes, Settlage, & Good, 1995)。

進化に関する素朴理論・概念に関する先行研究では、大多数の生徒達は、進化生物学の歴史の中でかつて提唱され、後に論駁・否定されてきた幾つかの古い進化理論に類似した素朴進化理論を持っていることが指摘されてきた。例えば、生徒達は、進化における「適応」(adaptation) という概念を、個々の生物体が環境の変化に意識的に反応すること、或いは、ある目的に従った計画によって引き起こされるものというように理解していることが報告されてきた (Brumby, 1984; Clough & Wood-Robinson, 1985; Hallden, 1988; Renner, Brumby, & Shepherd, 1981)。また、生物体の擬人化 (Anthropomorphism) や目的論 (teleology) 的な考え方は、多くの生徒の進化現象の説明において共通して見られることも報告されている (Jungwirth, 1975; Settlage, 1994)。特に、多くの先行研究において、生徒の進化に関する見方は、進化生物学の歴史において一時期強い影響力を持ったラマルキズムの考え方に次の3点において類似していることが指摘されてきた。第1は、同一種の集団内における個体間の多様性を重視せず、同質の集団 (homogeneous population) として種を認識している点 (Bishop & Anderson, 1990; Hallden, 1988)、第2は、同一種の新しい形質の起源や生存をランダムな遺伝的変異や組み換えと自然選択に帰属させず、新しい形質は個体の要不要や環境の影響によって生じ、次世代へ遺伝すると考える点 (Bishop & Anderson, 1990; Brumby, 1984; Deadman & Kelly, 1978; Ferrari & Chi, 1998; Jimenez, 1992; Kargbo, Hobbs & Erickson, 1980; Settlage, 1994)、第3は、進化を集団内のある特質を持っている個体の割合の変化として捉えるのではなく、集団内の全個体の形質の変化として捉える点 (Bishop & Anderson, 1990; Brumby, 1984; Hallden, 1988) である。生徒達が持つ素朴進化理論には、ラマルキズム以外にも、創造主義的進化論 (theistic evolution)、定向進化説 (orthogenesis)、跳躍説 (saltationism) に類似した素朴理論が存在することも報告されている (Lawson & Weser, 1990; Ferrari & Chi, 1998)。

以上のように、進化の素朴理論に関して多くの研究が行われてきた理由として、(1) 進化は現代の生物学を理解するための基礎になる概念であるため、ほとんどの高校や大学の生物の授業で教えられている重要なトピックであるが (Bishop & Anderson, 1990; Demastes, Settlage, & Good, 1995)、(2) 多くの生徒・学生達の進化に関する理解は不十分であり、進化論に関する授業を受けた後でさえ、彼らは根深い素朴進化理論を持ち続け、科学的進化論を習得することが困難であること (e.g., Bishop & Anderson, 1990; Jensen & Finley, 1995; Jimenez, 1992) が挙げられる。それゆえ、まず、学生・生徒達が進化に関して事前に持っている素朴理論を明らかにし、それに基づいて効果的な学習プログラムを開発することが重要な課題であると考えられる。

しかしながら、従来の進化に関する素朴概念・理論の研究のほとんどは、北米、南米やヨーロッパ諸国において行われてきたものであり、アジア等の欧米以外の国・地域ではほとんど実施されてこなかった。欧米ではキリスト教が思想的に強い影響力を持っており、キリスト教の「特殊創造説」(聖書の創世記にみられるように、物質・生命・世界などの万

物は神の創造によるものとする説)が一般の人々の世界観に影響を与えているため、米国やカナダではネオ・ダーウィニズム的進化論を信じる人々の割合は半分かややそれを下回るといことが指摘されており (Miller, Scott, & Okamoto, 2006; Sonderstrom, 2000; Wiles, 2010)、その他の欧米の国々でも科学的進化論を否定する人々の割合が高いことが報告されている (Asghar, Wiles, & Alters, 2007; Branch, 2008; Chinsamy & Plaganyi, 2007; Cornish-Bowden & Cardenas, 2007)。また、Jonson & Peebles (1987) は米国の大学生に対して、福井&鶴岡 (2001) は日本の大学生に対して進化に関する信念について調査を行っているが、両者に共通する質問項目「生物進化論は、創造についての聖書の説明と一致しないので、正しいはずがない。(The theory of evolution can not be correct, since it disagrees with the Biblical account of creation.)」に対する回答結果 (5件法による回答で、値が大きい程、同意の程度が大きい) を見てみると、米国の学生 (n=1,698) では平均 2.626 (SD=1.273)、日本の学生 (n=142) では平均 2.04 (SD=0.92) であり、米国の学生の方が日本の学生よりもキリスト教的思想に基づいて生物進化論を正しくないと判断していることが示唆される。さらに米国の高校生と大学生の進化に関する理解を調べた研究では、神の存在を信じる (I believe in the existence of God.) と回答した学生ほど突然変異と自然選択による進化論を理解していないこと (Shutulman, 2006)、米国の大学生の進化に対する信念に関する研究では、教会の影響が強い学生ほど進化を信じる度合いが低いこと (Grose & Simpson, 1982) も指摘されている。米国内においても、キリスト教原理主義のコミュニティと非原理主義のコミュニティの子ども達の『種の起源』に関する説明を比較すると、原理主義のコミュニティの子どもは非原理主義の子どもと比べて、「特殊創造説」に基づいた「創造説明」の頻度が高く、進化的な考え方が抑制されるということが報告されている (Evans, 2001, 2008)。

このように、進化に関する理解は、文化や宗教的信念によって影響される可能性があるため、もし欧米とは異なる文化や宗教を持つアジアの国々で進化の素朴理論・概念に関する研究が行われたならば、欧米とは異なる研究結果が得られるかもしれない。また、文化や宗教などの要因以外にも、中等教育以後の生物の科目で正式に進化について教えられる授業も学生・生徒達の進化に関する理解に影響を与えることが予想される。しかしながら、これまでのほとんどの先行研究は、生物の授業で進化論を学習したことがあると推測される中等教育以降の学生・生徒、主に高校生・大学生を対象としており (e. g., Bishop & Anderson, 1990; Brumby, 1984; Ferrari & Chi, 1998; Greene, 1990; Hallden, 1988; Jensen & Finley, 1995; Settlage, 1994; Shtulman, 2006)、『種の起源』に関する子どもの考えを調査した研究は僅かながら存在するものの (e.g., Evans, 2001, 2008; 稲垣, 2011)、進化に関して正式な授業を受ける前の小学生ではどのような素朴進化理論を持つかに関しては組織的に明らかにされていない。

以上を踏まえ、本研究では、欧米以外の国として日本を対象とし、(1) 日本の大学生は進化に関してどのような理解をしているのか、彼らの進化に関する素朴概念・理論は欧米の大学生と類似しているのか、それとも、異なっているのか、(2) 進化に関する正式な授業を受ける前の日本の小学生はどのような素朴進化概念・理論を持っているのか、を明らかにすることを目的とした。

## 方法

### 参加者

日本国内の4つの大学（国立2校・私立2校）に在籍する生物学以外の専攻の大学生181名（男性86名・女性95名）、及び、2つの小学校（公立1校・私立1校）に在籍する小学生313名（3年生67名＜男子36名・女子31名＞、4年生60名＜男子30名・女子30名＞、5年生71名＜男子33名・女子38名＞、6年生115名＜男子60名・女子55名＞）、合計494名が本研究に参加した。参加した大学生に対して宗教に関する質問を行ったところ、仏教徒が48名、神教徒が9名、キリスト教徒が6名おり、無宗教は111名、回答していない学生は7名であった。小学生は宗教に関して明確な判断をすることは難しいと考えられるので、今回の研究では考慮しなかった。

### 課題

大学生と小学生の進化に関する包括的な概念枠組を測定するために、Bishop & Anderson (1990) と Jensen & Finley (1995) で使用された課題と同様の自由記述のエッセイ課題を実施した。エッセイ課題は、「チーターは獲物を追う時に時速60マイル（約96km）以上で走ることができます。チーターの祖先は時速20マイル（約32km）でしか走ることができなかったと仮定すると、今日のチーターはどのようにしてそれ程速く走る能力を発達させたと思いますか。あなたの考えを説明してください。」（以下、「チーターの進化課題」と呼ぶ）であった。この課題は、欧米の大学生に対して既に実施されている進化課題と類似しているために、欧米の大学生と日本の大学生の進化に関する素朴概念を比較するのに適している上に、小学生でも進化について考え、解答しやすい課題であるという点でも優れていると考えられる。小学生には大学生と同じエッセイ課題を実施したが、課題文中の漢字全てに読み仮名をふったものを与えた。

各参加者に、このエッセイ課題の問題文と解答欄を印刷した質問紙（A4版）を配布し、長さ・時間を制限せずに自由に記述させた。

## 分析方法

### (1) 分析枠組作成の基礎になる5つの進化理論

本研究の参加者の進化に関する概念を分析する枠組は、Bowler (1983) が提示している、進化生物学の歴史においてかつて存在した5つの主な進化理論を基に作成した。これまでの進化の理解・学習に関する多くの先行研究では、主に2つの理論のみ、すなわち、科学的進化論としてのネオ・ダーウィニズムの理論と素朴理論としてのラマルキズムの理論に焦点が当てられてきたが（e.g., Bishop & Anderson, 1990; Brumby, 1984; Demastes, Settlege & Good, 1995; Jensen & Finley, 1995; Jimenez, 1992）、これらの2つの理論以外にも、進化生物学の歴史において提唱された理論に類似した素朴概念枠組を学生・生徒が所有しているということが指摘されている（Lawson & Waser, 1990）ため、本研究ではBowler (1983) の5つの理論全てに該当する概念枠組に基づいて分析枠組を作成した。

Bowler (1983) では、次の5つの主な進化理論が記述されている。

A. 創造主義的進化論 (Theistic evolution)：生物の多様性はランダムに出現するのではな

- く、創造主である神の意志により目的に従って導かれるとする説。
- B. ラマルキズム (Lamarckism) : 生物個体の行動様式 (要不要、努力、習慣) によって身体の形質的变化が現われ、個体の生存期間中に獲得した形質は、子孫に遺伝すると考える。獲得した形質が代々少しずつ遺伝的に蓄積されていくことによってその種が進化していくとする説。
- C. 定向進化説 (Orthogenesis) : 生物の進化は自然淘汰という外的な力ではなく、生物体自身の内的にあらかじめプログラムされた力によって特定の方向に導かれて進化するとする説。その結果、絶滅することもありうると考える。
- D. 跳躍説 (Saltationism) : 同一種内のある集団にランダムな突然変異が起こった結果、この集団は元の集団とは全く異なる新しい形質を獲得する。この形質が生存するのに有利な場合、この集団は自然選択によって生存でき、一方、元の集団は死滅するため、新しい形質を獲得した集団が子孫を残し、次世代へこの新しい形質が遺伝することによって進化するとする説。
- E. ネオ・ダーウィニズム (Neo-Darwinism) : 同一種内に、環境に適応するのに有利な形質に関する多様性が両親の遺伝子の組み合わせや突然変異によって生じ、より有利な形質を有して生まれてきた個体は、そうでない個体よりも高い確率で長く生存して子孫を残す。これが代々繰り返された結果、次第に生存に有利な形質を持つ個体の割合が増加し、その種が徐々に進化していくとする説。

## (2) 分析枠組作成と分析手続き

以上の5つの進化理論からなる分析枠組に基づいて、大学生と小学生の「チーターの進化課題」を分析した。まず、個々のエッセイが5つの理論カテゴリーのうちのどれに相当するかを判定し、いずれの理論にも相当しないものに対して新たにカテゴリーを作成した。一通り分析し終えたところで、5つの理論のうち該当エッセイがないカテゴリーを削除し、新しく作成されたカテゴリーを追加して、新たな分析枠組を作成した。この新しい分析枠組に全てのエッセイが該当するかどうかをチェックし、必要に応じて修正する作業を繰り返した結果、最終的に作成された分析枠組に基づいて再度全てのエッセイを評定した。

## 結果と考察

### (1) 大学生の進化に関する素朴理論

「チーターの進化課題」に解答した大学生181名のうち121名は「ネオ・ダーウィニズム」の枠組で解答していたが、残りの60名のエッセイは比較的短く、様々な素朴概念を含んでいた。それらの学生達の説明は曖昧で、進化のメカニズムを説明していないものも多くあり、また、「ラマルキズム」や「跳躍説」のような古い進化理論に類似したものもあったが、それらの理論における重要な要素が欠けているという点で不完全なものであった。最終的に、大学生の素朴進化理論は、次の6つのカテゴリーに分類された。全てのエッセイは、2人の評価者によりブラインドで独立に評定され、6つのカテゴリーのいずれかに分類された (一致率は .92)。

① 進化のメカニズムがブラック・ボックス (Black box) : (以下、「ブラック・ボックス」と呼ぶ)

ネオ・ダーウィニズム以外の枠組で解答していた学生60名中15名の学生は、進化のメカニズム、すなわち、いかに進化が起こったのかについて明確に説明せず、単にチーターに生じた進化的変化について記述しているだけであった。記述の仕方には次の3タイプが見られた。

第1のタイプは、単にある変化が起こったというような進化の結果を記述しているものである。

【例1】「だんだん速く走れる能力を持つ動物へと進化していった。」

【例2】「進化の過程で筋力と脚力が発達した。」

【例3】「・頭部を小さくしたり、体毛を短かくすることで空気抵抗を下げる。

・脚部の筋肉を強くして、瞬発力と持続力を上げる。

・足の裏を頑丈なものにする。

などの変化があったのではないかと思われる。」

第2のタイプは、環境や環境によって引き起こされた進化的変化について記述しているものである。

【例4】「獲物を追う生活の中で、それに必要な部分だけが能力として残され、他の部分は生活に必要な最低限度の能力以外（例えば、寒さなどから身を守るための厚い毛や脂肪など）は、徐々に失（な）っていき、そして、走力を手に入れた。」

第3のタイプは、環境と形質の変化の一致について記述しているものである。

【例5】「獲物となる動物も同じように進化しているので、その獲物となる動物たちがチーターなどに捕えられないように走る能力を発達させたので、チーターもそれにとまって進化したのだと思う。」

【例6】「環境の変化により獲物の数が減少し、時速20マイルでは獲物を捕えることが難しくなり、チーターはだんだん速く走るようになり、最終的に時速60マイルで走るようになった。筋肉や骨格など、走ることに影響する遺伝的なものが徐々に進化していった。」

アメリカの大学生も、これらの日本の大学生と同様の説明の仕方をするのが、Ohlsson (1993) の研究において指摘されている。彼によると、「典型的な学生は進化的変化の背後にあるメカニズムに関して何の考えも持っていない。かれらは、『適応』(adaptation) を根源的プロセスで、説明する必要のないブラック・ボックスだと見なしている。……単に関連する形態学的変化を前提としている」(Ohlsson, 1993, pp. 27-28)。彼は、学生達がなぜメカニズムに注意を払わないかに関する説明において、科学的ディスコースと日常のディスコースの違いを強調している。すなわち、科学者は変化の背後にある因果的メカニズムに

関心を持っており、その内的構造を説明したいと強く考えているのに対して、日常のディスコースを使用する普通の学生は、変化の背後にあるメカニズムの知識なしに様々な変化を推測し説明することに慣れており、そのメカニズムについて考える必要性を理解していないというのである。さらに、Ohlsson (1993) は、本研究の日本の大学生の説明においても見られたように、アメリカの大学生は環境を記述することによって進化的な変化を説明する傾向があることも指摘している。普通、人々はある変化がどのように起こったのかについて知らない場合、変化が生じた環境について説明しがちであり、これもまた、日常の文脈において一般の人々が行うありふれた説明のタイプであるというのである。

「ブラック・ボックス」タイプの説明をする理由としては他にも考えられる。学生たちは、エッセイを書くように言われ、白紙を埋めなければならないというプレッシャーを感じていたかもしれない。進化に関してほとんど何も知らないにもかかわらず、何か書かなければならないという状況に置かれた為に、エッセイ課題の内容を言い換えるという戦略を取ったのかもしれないし、たまたま頭に浮かんできた形態学的変化や関連する環境について記述するという戦略を取ったのかもしれない。

② 目的論的説明 (Teleological change) : (以下、「目的論的説明」と呼ぶ)

13名の学生が、チーターの進化的変化を目的論的理由で説明していた。典型的な想定は、環境の要請によって形態の変化が生じるというものである。学生たちは、しばしば「必要」「～しなければならない」「～(する)のために」というような目的論的意味を有する言葉を用いていた<sup>1</sup>。

【例7】「弱肉強食の世界で生き残るために、能力を発達させたのではないか？」

【例8】「種として生き残るために、速く走ることが必要だった。例えば、獲物を追うときや、危険から逃げなければならない時に、必要にせまられるうちに、だんだんと進化の段階で、速く走れるようになっていって、それが今に受けつがれている。」

【例9】チーターは持久力がないから、獲物をとらえるためには、短時間で捕えなければならないから、だんだんと走る能力が発達したのだと思う。

「適応」という言葉も、目的論的意味合いで用いられていた。

【例10】「食性が変わったからではないのだろうかと考える。昔は植物食から始まっていると思う。肉食へと移行してゆく中で獲物をとらえる能力が必要となったのではないのかと思う。そして、その時に瞬間的に時速60マイルという脚力を発達させたのではないかと思う。

また、気候の変動等により、獲物の数や種類が変わった為に、それに適応するよう進化をしたのではないかと考える。」

進化の素朴概念に関する先行研究において、本結果の日本の大学生と同様に、欧米の大学生もしばしば目的論的方法で進化現象を説明することが指摘されている (e.g., Bishop & Anderson, 1990; Settlege, 1994)。多くの学生は、「生物体は生存するために (in order to)

新しい形質を発達させることが必要である (need) や「生物体は生き残るために環境に適応 (adapt) しなければならない。」というように記述することが報告されている。学生が「適応」という言葉を使用する場合、しばしば「環境に応じて変化する」ということを意味しており、生物学者が進化の文脈で使用する意味合いとは異なっている (Bishop & Anderson, 1990)。

この「目的論的説明」は、2通りに解釈できるかもしれない。第1は、「目的論的説明」は進化のメカニズムを明確に説明していないので、進化のメカニズムが「ブラック・ボックス」と同じであるという解釈である。確かに、「目的論的説明」は、ある進化的変化がなぜおこったのかについて、環境と生存に有利な変化の方向性を関連づけることによってより明示的に記述している点で、進化のメカニズムが「ブラック・ボックス」とは異なっているかもしれない。しかしながら、結局は、進化的変化のメカニズムや進化の実際のプロセスについて何も説明していない。第2の解釈は、「目的論的説明」は、生物体が環境に適応する為に意図的に新しい形質を発達させると想定している点で、「ラマルキズム」に類似しているというものである。しかしながら、「目的論的説明」は、「ラマルキズム」程明確には進化の原因として生物体の努力や行動について言及していないので、考え方としては「進化のメカニズムがブラック・ボックス」と「ラマルキズム」との間に位置づけられるかもしれない。

③ ラマルキズム (Lamarckism) : (以下、「ラマルキズム」と呼ぶ)

「ラマルキズム」は、学生の進化現象の説明において最も一般的に見られる素朴理論枠組の1つである (Bishop & Anderson, 1990; Brumby, 1984; Jimenez, 1992; Settlege, 1994; Jacobson, Sugimoto, & Archodidou, 1996)。本研究の「チーターの進化課題」の分析では、12名の学生の説明が「ラマルキズム」の理論枠組に類似していた。彼らは、環境に適応するためのチーターの努力や行動がチーターの進化的変化を導いていると仮定していた。

【例11】「各世代ごとに獲物を追うために走り続けてきたことの積み重ねにより筋肉の発達が進んでいった。本来、獲物になる動物自体も進化の中で速くなっていくのであるから、より速く走るための無駄のない走り方等が自然に身に付き、それが受け継がれていったと思う。」

【例12】「獲物をつかまえる確率を高めようと追ううちに、走る早さ (原文ママ) が序々 (原文ママ) に早く (原文ママ) なっていった。それがだんだん遺伝していき、現在のような早さ (原文ママ) になった。」

【例13】「チーターの獲物となる動物が、食べられないように必死に逃げつづけ、それが筋力 etc. の発達につながり、その逃げるスピードが20マイル以上となった。その後、チーターは20マイル以上で逃げる動物を食べようと必死に追いつづけ、それが筋力 etc. の発達につながり、その追いかけるスピードが20マイル以上となった。そのくりかえしによって、60マイル以上で走るようになった。」

12名全ての学生が新しい形質が出現する原因としてチーターの努力や行動に言及していたが、新しく獲得した形質が次の世代に遺伝するということを明示的に記述していたのは

2名の学生のみであった。しかしながら、ほとんどの学生は、進化的変化は何世代にも亘って徐々に生じると説明しており、世代から世代へ獲得形質が遺伝すると信じていることを示唆している。さらに、彼らは、同一種の集団内における個体間の多様性に注意を払わずに、集団全体の変化は個々の生物体の変化によって引き起こされるということを仄めかさず記述をしているものの、同質の集団 (homogeneous population) として種概念を明示的に説明してはいなかった。故に、これらの学生の説明は、「不完全なラマルキズム」と呼べるかもしれない。

④ 遺伝的多様性の起源や生存確率を考慮しない自然選択説 (Selectionism) : (以下、「自然選択説」と呼ぶ)

14名の学生が、チーターの進化を説明するために『自然選択』に言及していた。学生の説明には、2つのタイプの自然選択説、すなわち、「急進的 (static) 選択説」と「漸進的 (gradual) 選択説」が見られた。

「急進的選択説」は、生存に有利な形質を獲得した生物個体は自然選択によって全て生き残り、子孫を残すのに対して、そのような有利な形質を持たない他の個体は全て死滅するというものである。同一種内の多様性は全か無かであり、生存や子孫を残す確率は考慮されていない。「急進的選択説」は、同一種内のある集団に顕著な形質が突如出現した結果、その形質を獲得した新しい集団と元の集団が分離されることを仮定している点で、「跳躍説」に類似しているかもしれない。この素朴概念は、アメリカの大学生の説明においても同様に見られることが指摘されている (Ohlsson, 1993)。

【例14】「突然変異でより速く走る能力を持ったチーターがあらわれ、生存競争を勝ち抜いて生き残った。」

【例15】「チーターの群れのなかに、突然変異で他のチーターよりも非常に早く (原文ママ) 走ることのできるチーターが存在した。それらのチーターの遺伝子が後のチーターに伝わっていったものと考えられる。つまり、環境に適応しやすい (早く (原文ママ) 走れるので獲物を沢山とることができる) ので、それらのチーターは生き残り、他のチーターは自然淘汰していったと考えられる。」

「漸進的選択説」は、「急進的選択説」とは異なり、生存と子孫を残すことを確率的に捉え、また、進化的変化は何世代にも亘って徐々に起こると想定する。

【例16】「中には他のチーターよりも速く走るチーターがいて、その個体が獲物をつかまえることがよくできて、他のチーターよりも生存率が高くて、他のほうえ死にとかして遺伝子が減んでも、その走るのが速いという遺伝子は残ってゆき、その世代の中でも速く走れると生き残りやすくなるということで、よく走りまわり、体格や筋肉も速く走れるように、少しづつ (原文ママ) 変わってきた。」

「漸進的選択説」は「ネオ・ダーウィニズム」に最も近い理論枠組であるが、新しい形質がいかにかに生じるのか、すなわち、種内の多様性を生じるメカニズムについて明確に説明

していないという点で不十分である。ダーウィン自身にとっても、遺伝的多様性の新しい源を見つけ出すのは大問題であった。ダーウィンは、「最初から、適応を生み出すメカニズムとして自然選択の重要性を信じていた」が、「自然選択が起こる為に必要な多様性を生み出すメカニズムを絶対に見つけ出す必要性があった」(Mayr, 1991, p. 119)。それ故、ほとんどの学生が新しい形質の起源について全く考えを持っていなかったり、新しい形質を生じさせるメカニズムについて説明する必要性を理解していなかったということは驚くに値しない。さらに、進化的変化における遺伝子の役割に明確に言及していた学生もほとんどいなかった。従って、「漸進的選択説」の理論枠組は、「不完全なネオ・ダーウィニズム」と呼べるかもしれない。

⑤ 異なる理論枠組の組み合わせ説 (Combination) : (以下、「組み合わせ説」と呼ぶ)

4名の学生が、チーターの進化を2つの異なる理論枠組(「ラマルキズム」と「ネオ・ダーウィニズム」)を組み合わせで説明していた。

【例17】「時速20マイルで走るチーターが獲ることのできる動物が乱獲、もしくは何らかの理由で減った為、新たな獲物を求めて努力するうちに徐々にスピードを増したいという方向性が決まり、それに従って進化していく。もしくは、より優れた(速い)ものの生きのこりによるかけあわせ。」

【例18】「チーターの場合は、突然変異や交配によってたまたま足の速いものが生まれ、あるいは、それに加えて、常に速く走ることによって足の速い形質が子孫に遺伝するようになり、かつ、足の速いものが長い間には多く生き残って子孫を残した。」

これらの学生は、「ラマルキズム」の獲得形質の遺伝と「ネオ・ダーウィニズム」の自然選択の両方を信じているように思われる。しかしながら、彼らは、これらの異なる2つの理論枠組から得られる要素的アイデアを調和的に統合しており、一貫性のない説明というよりは新しくもっともらしい説明を再構築しているように思われる。

⑥ 自然選択を考慮しない有利な形質発展説 (Evolution lead by advantageous traits without natural selection) (以下、「有利な形質発展説」と呼ぶ)

2名の学生が、「突然変異で20マイルのチーターが速くなり、それが蓄積されて60マイルに至った。」と記述していた。これは、自然選択なしに、突然変異による有利な形質の出現・蓄積によってチーターが進化するという説明である。この説明では、突然変異がランダムに起こるということを仮定しておらず、いつも生存に有利な突然変異が起こることを信じているかのようである。また、自然選択が突然変異によって生じた多様な形質を淘汰する装置として働いているということも考慮していないと思われる。

以上のように、日本の大学生の素朴進化理論として6つの理論枠組が見出され、日本の大学生は欧米の大学生と類似した素朴進化理論(「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」「自然選択説」)を持っていることが明らかになった。しかしながら、日本の大学生には「創造主義的進化論」(theistic evolution)の枠組を用いてチーターの進化を説明していたものが皆無であったという点では欧米の大学生と異なっている。本研究に参

加した大学生のうち6名がキリスト教徒であると回答したが、そのうち4名が「ネオ・ダーウィニズム」、1名が「自然選択説」、1名が「ラマルキズム」の理論枠組みを用いて進化について記述しており、創造主義的な考え方に基づいた進化論を展開しているものはいなかった。

## (2) 小学生の進化に関する素朴理論

小学生のチーターの進化を説明するエッセイにおいても、大学生と同じ6つの素朴進化理論、すなわち、「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」「自然選択説」「組み合わせ説」「有利な形質発展説」が見られた<sup>2</sup>。しかしながら、大学生とは異なり、「ネオ・ダーウィニズム」の理論枠組で解答していた者は皆無であり、課題とは直接関係ない事柄について記述していた者も2名いた<sup>3</sup>。

また、大学生と同じ素朴理論枠組を用いて記述されていたエッセイにおいても、「ブラック・ボックス」「ラマルキズム」「有利な形質発展説」を用いた説明の中には大学生のチーターの進化に関する説明とは異なるものが見られた。小学生に特異的な説明の特徴及び例は次に示す通りである。

### ① 小学生に特異的な「ブラック・ボックス」の説明

「ブラック・ボックス」の枠組みに分類されたエッセイのうち、大学生のエッセイには見られなかった説明例には次のようなものがあった。

【例19】「大昔より今のほうが、えものが多くとれて、ほねがじょうぶになったりきん肉がつくようになったから、96kmで走ることができる。」(3年男子)

【例20】「私は大昔のチーターはあまりえさ（ご飯）を食べていなくて体力があまりなかったのだと思います。それにくらべて現在はえさ（ご飯）をいっぱい食べているので体力があるので時速約96kmで走れるのだと思います。」(5年女子)

【例21】「昔のチーターは、おくびょうだったり、すごい大きい動物のえものにされていたら？でも今は、自信をもって、えものを追うほうだから？」(6年女子)

【例19】【例20】のように、昔のチーターは餌が十分に食べられなかった為に、骨や筋肉が発達していなかったり体力がなかったりして現在のチーターほど速く走ることができなかったというような栄養状態による発育や体力の差異に関する説明が少なからず見られた。また、【例21】のようにチーターの心理面に言及した説明、すなわち、昔のチーターが臆病であるのに対して現在のチーターは自信を持っているというようなチーターを擬人化した説明も見られた。これらの記述から、小学生は、ご飯を食べないと体が大きく成長しなかったり体力がなくなるといった日常的な知識や、臆病な心理状態の時には物事がうまくいかないが自信を持って取り組むとうまく出来るというような身近な生活経験に基づいてチーターの進化を考えていることが伺える。

### ② 小学生に特異的な「ラマルキズム」の説明

「ラマルキズム」に分類されたエッセイのうち、大学生のエッセイには見られなかった

説明例には次のようなものがあった。

【例22】「今のチーターになったのは、おかあさんチーターのおしえ方がきびしくなって、そのおしえられたチーターから、いろんなチーターの血にひきつがれたからた（原文ママ）と思います。」(3年女子)

【例23】「昔のチーターは、きん肉が弱かったり走りにくい体だったけど、ながい時間をかけてきん肉が強くなったり、走りやすい体になったり、走るコツなどをお父さんやお母さんのをマネしたりして速く走れるようになったと思います。」(3年男子)

【例24】「大昔のチーターは、その時はえものをつかまえることができたけど、チーターにつかまらないように足が速くなった変種が現われて、その数がどんどん増えて、えものをとらえることのできなくなったチーターは、さらに足を速くするため、体の大きなキバとかきん肉を落とし、足のきん肉をきたえたのがたんじょうした。それが現代のチーター。つまり、かん境の変化で、それに、たい応するために足を速くした。」(5年男子)

【例22】【例23】のように、チーターはお父さんやお母さんに走り方を教えてもらったり、両親の走る技能を真似をすることで次第に速く走ることができるようになり、その能力が子孫に遺伝したという説明が小学生のエッセイには見られた。また、【例24】に見られるように、環境に適応するために、チーターが意図的に体の特徴を変化させたり、必要な筋肉を鍛えたりして足を速くするように努力したというような説明も見られた。これらの例は、『チーターの行動様式(努力、習慣など)によって身体的変化が現われ、個体の生存期間中に獲得した形質が子孫に遺伝し蓄積されていくことによってその種が進化していく』と想定している点では、「ラマルキズム」に分類することが可能である。しかしながら、大学生とは異なり、小学生では、父母からいろいろなことを教えてもらって学習したり、自分自身が努力して体を鍛えるというように、チーターを擬人化したり、自分自身の日常的な経験に基づいて、チーターの進化のメカニズムについて推測していることが示唆される。

### ③ 小学生に特異的な「有利な形質発展説」の説明

前述のように、このカテゴリーに属する大学生のエッセイでは、『突然変異』による有利な形質の出現・蓄積によってチーターの進化が説明されており、突然変異が有利にも不利にもランダムに起こりうるということや自然選択によって有利な形質を持つものが生き残り子孫を残す確率が高いということが想定されていなかった。小学生のエッセイにおいても、同様に、自然選択を考慮せずに有利な形質が出現・蓄積することによってチーターが進化するという説明が見られたが、大学生と異なる点は、有利な形質の出現方法が『突然変異』ではなく、『両親の遺伝的特性の組み合わせ』<sup>4</sup>によると想定している点であった。

【例25】「足の早い（原文ママ）チーターがけっこんしてどんどんどん子ども、まご、ひまごと早さ（原文ママ）を受けついでいって、もっともっと足の早い（原文ママ）チータがうまれたと思います。」(3年女子)

【例26】「……（省略）……、ふつうより速いチーター同しで産まれてそれがくりかえされてそうだった。」(6年男子)

【例27】「大昔のチーターより速い動物とけっこんし、その子（ハーフ）がじょじょに進化したのが今現在のチーターになっているかもしれない。」(6年女子)

これらの例では、足の速い者同士の結婚（生殖）によって「足が速いという特性」が次世代に遺伝し、それが繰り返されて次第に現在のチーターのように足が速くなったと説明されている。【例25】【例26】では同種の足の速い両親の組み合わせ、【例27】では足の速い異種の親との組み合わせによって、子孫が徐々に足の速い特性を持つチーターに進化していったと想定されているが、自然選択を考慮していない為に、なぜ速い遺伝子を持つ者同士が結婚して速い遺伝子を持つ子どもを持つことが可能だったのかについては説明できていない。

以上のように、小学生の素朴進化理論にも、大学生と同じ6つの理論枠組みが見出された。しかしながら、小学生は、大学生よりも自分自身の日常生活経験に基づいて推論したり、チーターを擬人化して自分の心理状態を投影させることにより、チーターの進化について説明する傾向があることが示唆された。

### (3) 大学生と小学生の進化に関する理論枠組の比較—コレスポネンス分析

前項で述べた通り、日本の大学生と小学生のエッセイ課題を進化理論の枠組の観点から分析した結果、大学生と小学生に共通する6つの素朴進化論、すなわち、①「ブラック・ボックス」、②「目的論的説明」、③「ラマルキズム」、④「自然選択説」、⑤「組み合わせ説」、⑥「有利な形質発展説」と、大学生のみに見られる科学的進化論である⑦「ネオ・ダーウィニズム」、小学生のみに見られる⑧「関係なし」の8つのカテゴリーに分類された。各々のカテゴリーの学年ごとの度数及び各学年内の割合を Table 1 に示す。

Table 1 学年ごとの各進化理論枠組の度数及び学年内の割合（括弧内は%）

	ブラック・ボックス	目的論的説明	ラマルキズム	自然選択説	組み合わせ説	有利な形質発展説	ネオ・ダーウィニズム	関係なし
3年生	42 (62.7)	8 (11.9)	14 (20.9)	1 (1.5)	1 (1.5)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (1.5)
4年生	23 (38.3)	24 (40.0)	12 (20.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (1.7)
5年生	36 (50.7)	14 (19.7)	20 (28.2)	1 (1.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
6年生	42 (36.5)	31 (27.0)	34 (29.6)	2 (1.7)	3 (2.6)	3 (2.6)	0 (0.0)	0 (0.0)
大学生	15 (8.3)	13 (7.2)	12 (6.6)	14 (7.7)	4 (2.2)	2 (1.1)	121 (66.9)	0 (0.0)

学年と進化理論枠組の関係を検討するため、学年（5）×進化理論枠組のカテゴリー（8）に対して対称的正規化によるコレスポネンス分析を行った結果、累積説明率から2次元を採択した。説明率は、1次元88.6%、2次元7.0%であり、累積説明率は95.6%であった。Figure 1は、1次元と2次元のカテゴリースコアを用いて、学年と進化理論枠組を空間上にプロットしたものである。

1次元は、プラス方向に「ネオ・ダーウィニズム」「自然選択説」など『有利な形質を持つものが自然選択されるということ想定する進化理論枠組』が位置しており、逆に、マイナス方向に「目的論的説明」「ラマルキズム」など『自然選択を考慮せずに種全体が生存に有利な方向に進化することを想定する進化理論枠組』が位置していた。「ネオ・ダーウィニズム」と「ラマルキズム」を折衷した理論枠組である「組み合わせ説」はこれらの中間に位置しており、「ラマルキズム」から「ネオ・ダーウィニズム」へ発展する過渡的なものであることが示唆された。2次元は、プラス方向に「関係なし」「ブラック・ボックス」など『進化のメカニズムを考慮しない枠組』が位置しており、マイナス方向に「有利な形質発展説」「目的論的説明」など『生物体が予め決められた特定の方向に導かれて進化することを想定する理論枠組』が位置していた。

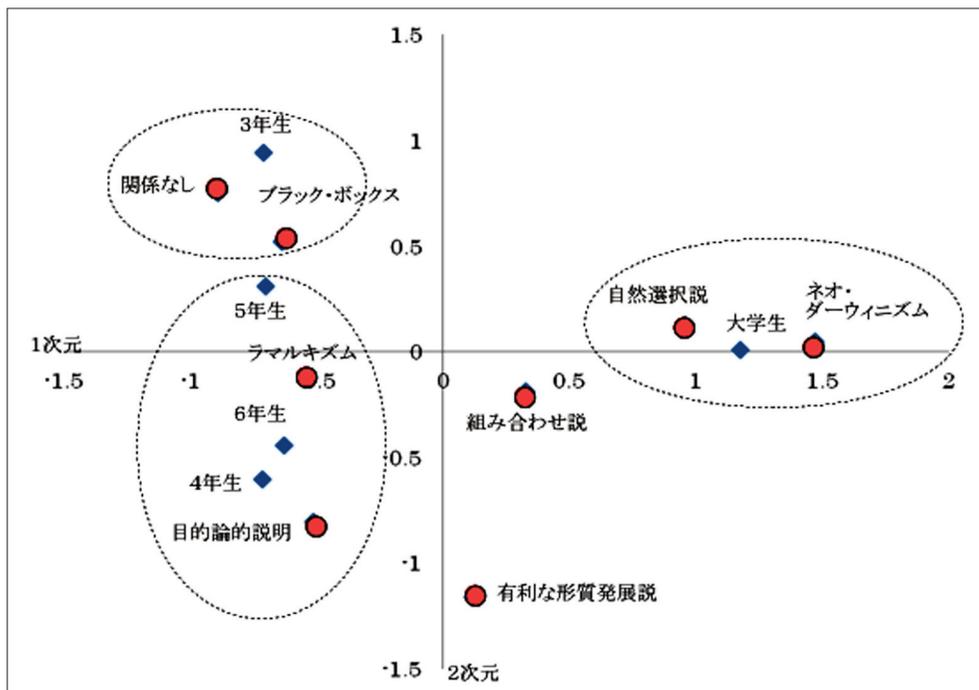


Figure 1 コレスポネンス分析の結果：進化理論枠組と各学年のカテゴリースコアの散布図

大学生は、「自然選択説」や「ネオ・ダーウィニズム」の近くに、小学生は、「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」の近くに位置することが認められた。特に、3年生では、「関係なし」や「ブラック・ボックス」の近くに位置しており、チーターの進化とは直接関係ないことを記述したり、進化のメカニズムを説明しない傾向があることが示唆された。また、4年生は「目的論的説明」の近くに位置しており、3年生よりは進化のメカニズムについて考慮しているものの、進化は目的論的に特定の方向に導かれるという考えを持つ傾向があることがわかった。5・6年生は、進化理論としては「ラマルキズム」の近くに位置しており、この結果から小学校高学年の中心的な素朴進化理論は「ラマルキズム」であると解釈できる。しかしながら、Table 1が示す通り、6年生では「自然選択

説「組み合わせ説」「有利な形質発展説」などの理論枠組をもつ児童も出現し始めており、「ネオ・ダーウィニズム」へ移行する考えを持ち始める時期であることも示唆された。

次に、コレスポネンス分析により算出された進化理論枠組みのカテゴリースコアを用い、1次元、2次元における学年ごとの平均値について1元配置分散分析を行った (cf. Table 2)。その結果、1次元が  $F(4, 489) = 216.73, p < .001$ 、2次元が  $F(4, 489) = 6.50, p < .001$  で、それぞれ学年の効果が認められた。Games-Howellを用いて多重比較を行ったところ、1次元では、大学生が小学3年生・4年生・5年生・6年生よりも得点が有意に高く (大学生 > 小学3年生・4年生・5年生・6年生)、2次元では、小学3年生が4年生・6年生・大学生よりも得点が有意に高かった (小学3年生 > 4年生・6年生・大学生)。これらの結果からも、小学生と大学生では自然選択に関する認識において明らかな違いがあること (次元1の結果より)、小学3年生では進化のメカニズムについて考えない傾向があること、換言すれば、小学4年生以上では進化に関して何らかの素朴理論を持っているが3年生では進化に関する素朴理論を未だ構築していない段階にあること (次元2の結果より) が伺える。

Table 2 学年ごとの1次元・2次元のカテゴリースコアの平均値と標準偏差

	1次元		2次元	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
3年生	-.57	.23	.21	.47
4年生	-.57	.07	-.14	.60
5年生	-.56	.19	.07	.52
6年生	-.50	.27	-.10	.55
大学生	.94	.84	.00	.30

以上の結果から、大学生と小学生が持っている進化に対する理論は大きく異なることが示されたが、同時に、大学生の3分の1は小学生と全く同様の素朴進化理論を持っていることも明らかになった (cf. Table 1)。また、コレスポネンス分析の1次元の尺度において、「有利な形質発展説」は「組み合わせ説」と同様、「目的論的説明」「ラマルキズム」と「ネオ・ダーウィニズム」「自然選択説」の中間に位置しており、素朴進化論から科学的進化論へ発展する過渡的段階であることが示唆された。「有利な形質発展説」は、自然選択については考慮していないものの、遺伝子の組み換えや突然変異など進化における遺伝的変異を考慮している点で、進化についてより科学的・分析的に考え始める段階であると解釈できるかもしれない。

## 全体的考察

本研究の目的は、(a) 日本の大学生は進化に関してどのような理解をしているのか、彼らの進化に関する素朴理論は欧米の大学生と類似しているのか、それとも、異なっているのか、(b) 進化に関する正式な授業を受ける前の日本の小学生はどのような素朴進化理論

を持っているのかを明らかにすることであった。

日本の大学生と小学生が書いた進化に関するエッセイを進化理論枠組の観点から質的・量的に分析することにより、彼らの進化に関する理解と素朴理論について検討した結果、次のことが明らかになった。

(1) 日本の大学生の3分の2は、エッセイ課題においてネオ・ダーウィニズムの理論枠組で進化について説明していた。このことから、日本の大学生の過半数が科学的進化理論を理解していることが示唆された。

(2) 日本の大学生の素朴進化理論として6つの理論枠組、すなわち、「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」「自然選択説」「組み合わせ説」「有利な形質発展説」が見出された。このうち、「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」「自然選択説」は欧米の大学生が持っていると言われている素朴進化理論と同様のものであり、このことから日本の大学生は欧米の大学生と類似した素朴進化理論を持っていることが明らかになった。しかしながら、日本の大学生は「創造主義的進化論」の枠組を用いてエッセイを記述していたものが皆無であったという点では、欧米の大学生と異なっていた。

(3) 小学生の素朴進化理論として、大学生と同じ6つの素朴進化理論「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」「自然選択説」「組み合わせ説」「有利な形質発展説」が見出された。しかしながら、小学生は、大学生よりも自分の日常生活経験に基づいたり、生物を擬人化してしたりして進化のメカニズムを推論する傾向があることが示唆された。また、大学生とは異なり、「ネオ・ダーウィニズム」の理論枠組で進化について説明していた者は皆無であり、進化に関する正式な授業を受ける前の小学生は科学的進化論の考え方を獲得していないことが明らかになった。

(4) 学年と進化理論枠組の関係を検討するためにコレスポネンス分析を行った結果、(a) 大学生の中心的な進化理論枠組は「自然選択説」と「ネオ・ダーウィニズム」であること、(b) 小学校3年生は「ブラック・ボックス」の近くに位置しており、進化のメカニズムについて考慮しない傾向があること、(c) 4年生は「目的論的説明」の近くに位置しており、進化は目的論的に特定の方向に導かれるという考えを持つ傾向があること、(d) 5・6年生は「ラマルキズム」の近くに位置しており、小学校高学年の中心的な素朴進化理論は「ラマルキズム」であることが明らかになった。

(5) コレスポネンス分析の結果において、「組み合わせ説」と「有利な形質発展説」は共に「目的論的説明」「ラマルキズム」と「ネオ・ダーウィニズム」「自然選択説」の中間に位置しており、素朴進化論から科学的進化論へ発展する過渡的段階にある理論枠組であることが示唆された。「ラマルキズム」の『獲得形質の遺伝』と「ネオ・ダーウィニズム」の『自然選択』という2つの異なる理論枠組の要素的アイデアを調和的に統合した「組み合わせ説」、及び、自然選択に関する考慮はないが遺伝子の組み換えや突然変異など進化における遺伝的変異を考慮している「有利な形質発展説」は、進化についてより科学的・分析的に考え始める段階であると解釈できるかもしれない。

以上の結果から、日本の大学生と欧米の大学生に共通する素朴進化理論（「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」「自然選択説」）と、欧米の大学生は持っているが日本の大学生は持っていない素朴進化理論（「創造主義的進化論」）があることが明らかになった。両者に共通する素朴進化理論は日本の小学生も持っており、また、日本の大学生

が持っていない素朴進化理論は日本の小学生も持っていないことも併せて考慮すると、共通する素朴進化理論（「ブラック・ボックス」「目的論的説明」「ラマルキズム」「自然選択説」）は社会・文化とは関係なく人類が進化に関して自然発生的に持つ素朴理論であり、それに対して、欧米の学生のみが持つ「創造主義的進化論」はキリスト教という宗教に根ざした社会文化的な影響を受けて獲得される素朴理論であると推測できる。このように、本研究により、科学的な素朴理論にも、社会文化的影響を受けて獲得されるものと、社会文化的影響を受けずに普遍的に獲得されるものが存在することが見出されたことは大変意義深いと考えられる。また、日本の大学生の過半数は科学的進化論を獲得していたのに対して小学生は全く獲得していなかったという結果から、ネオ・ダーウィニズムのような科学的進化論を獲得する為には、生物の教科において進化に関する正式な授業を受ける必要があることも示唆された。

本研究では、日本の大学生と小学生の進化に関する理解と素朴理論について検討したが、小学生の進化の理解から大学生の進化の理解に至るまでにどのような過程を辿るのかを明らかにする為に、今後、中学生・高校生の進化に関する理解についても研究する必要があるだろう。また、欧米において多くの大学生が素朴進化論を根強く持ち続け、進化に関する授業を受けた後でさえ科学的進化論を習得することが難しいということが報告されてきたが、本研究においても日本の大学生の3分の1が素朴進化論をもち続けていることが明らかになった。素朴進化論を克服し科学的進化論を習得するためにはどのような教育的支援を行えばよいのかについて、今後解明していくことが重要な課題であろう。

#### 注

- 1 例文中の下線は著者によって引かれたものである。
- 2 全てのエッセイは、2人の評価者によりブラインドで独立に評定され、6つのカテゴリーのいずれかに分類された（一致率は.94）。
- 3 本課題とは直接関係ない事柄について記述していると判定されたエッセイは、「大昔にはmm~kmのあいだのどこかにしらない長さのたんいがあったんじゃないのか」(3年男子)、「ほくは、テレビで、チーターがじそく約100kmは人間の倍い、走れると言うことだから、人間の身長とたい重ぐらいは、チーターは、走れるとほくは思います。」(4年男子)である。これらは、「関係なし」のカテゴリーに分類した。
- 4 遺伝とは、「親から子・孫、また細胞を単位とみて、その次の世代に、体の形や色などの形質の伝わる現象」(広辞苑)と一般に定義される。これらの例では、「遺伝」という単語は使用されていないが、両親の「足が速いという特性」が子・孫に伝えられていくということを記述しているので、親の特性が次の世代に「遺伝」することを想定していると解釈した。

#### 文献

- Asghar, A., Wiles, J. R., & Alters, B. (2007). Discovering international perspectives on biological evolution across religious and cultures. *International Journal of Diversity in Organizations, Communities, and Nations*, 6 (4), 81-88.
- Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 415-427.
- Bowler, P. J. (1983). *The eclipse of Darwinism: Anti-Darwinian evolution theories in the decades around 1900*. Baltimore, MD: The John Hopkins University Press.
- Branch, G. (2008). Creationism as a global phenomenon. In R. Robbins & M. Cohen (Eds.), *Darwin and the Bible: The cultural confrontation* (pp. 137-151). Boston: Allyn & Bacon.

- Brown, D. E. (1993). Refocusing core intuitions: A concretizing role for analogy in conceptual change. *Journal of research in science teaching*, 30, 1273-1290.
- Brumby, M. N. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68, 493-503.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Chinsamy, A., & Plaganyi, E. (2007). Accepting evolution. *Evolution: The international Journal of Organic Evolution*, 62 (1), 248-254.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Clough, E. E., & Wood-Robinson, C. (1985). How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education*, 19, 125-130.
- Cornish-Bowden, A., & Cardenas, M. L. (2007). The threat from creationism to the rational teaching of biology. *Biological Research*, 40, 113-122.
- Deadman, J. A., & Kelly, P. J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12, 7-15.
- Demastes, S. S., Settlage, J., & Good, R. (1995). Students' conceptions of natural selection and its role in evolution: Cases of replication and comparison. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 535-550.
- Erickson, G. L. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63, 221-230.
- Evans, E. M. (2001). Cognitive and contextual factors in the emergence of diverse belief systems: Creation versus evolution. *Cognitive Psychology*, 42, 221-254.
- Evans, E. M. (2008). Conceptual change and evolutionary biology: A developmental analysis. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 263-294). New York: Routledge.
- Ferrari, M., & Chi, M. (1998). The nature of naive explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, 20, 1231-1256.
- 福井智紀・鶴岡義彦 (2001). 「進化の理解と自然観・生命観・進化観との関係：進化学者と大学生との比較を通して」『日本科学教育学会研究会研究報告』, 16 (3), 7-12.
- Greene, E. D. (1990). The logic of university students' misunderstanding of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 875-885.
- Grose, E. C., & Simpson, R. D. (1982). Attitudes of introductory college biology students toward evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 15-24.
- Gunstone, R. F., & White, R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65, 291-299.
- Halden, O. (1988). The evolution of the species: Pupils' perspectives and school perspectives. *International Journal Science Education*, 10, 541-552.
- 稲垣佳世子 (2011). 「生物学の領域における概念変化」『心理学評論』, 54(3), 232-248.
- Jacobson, M. J., Sugimoto, A., and Archodidou, A. (1996, July). *Evolution, hypermedia learning environments, and conceptual change: A preliminary report*. Paper presented at the 2nd International Conference on the Learning Science, Chicago, IL.
- Jensen, M. S., & Finley, F. N. (1995). Teaching evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. *Science Education*, 79, 147-166.
- Jimenez, A. M. P. (1992). Thinking about theories or thinking with theories? A classroom study with natural selection. *International Journal of Science Education*, 14, 51-61.
- Johnson, R. L., & Peeples, E. E. (1987). The role of scientific understanding in college: Student acceptance of evolution. *The American Biology Teacher*, 49, 93-96.
- Johsua, S., & Dupin, J. J. (1987). Taking into account student conceptions in instructional strategy: An example in physics. *Cognition and Instruction*, 4, 117-135.
- Jungwirth, E. (1975). Preconceived adaptation and inverted evolution. *The Australian Science Teachers Journal*, 21, 95-100.
- Kargbo, D. B., Hobbs, E. D., & Erickson, G. L. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14, 137-146.
- Lawson, A. E., & Weser, J. (1990). The rejection of nonscientific beliefs about inherited characteristics.

- Journal of Biological Education*, 14, 137-146.
- Mayr, E. (1991). *One long argument: Charles Darwin and the genesis of modern evolutionary thought*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- McCloskey, M., & Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139-1141.
- Miller, J. D., Scott, E. C., & Okamoto, S. (2006). Public acceptance of evolution. *Science*, 313, 765-766.
- Ohlsson, S. (1993). How do young adults explain evolution? *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 71-98.
- Piaget, J. (1970). *Piaget's theory*. In P. Mussen (Ed.), *Carmichael's manual of child psychology* (Vol. 1). London: Wiley.
- Renner, J. W., Brumby, M., & Shepherd, D. L. (1981). Why are there no dinosaurs in Oklahoma. *The Science Teacher*, December, 22-24.
- Settlage, J. Jr. (1994). Conceptions of natural selection: A snapshot of the sense-making process. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 449-457.
- Shtulman, A. (2006). Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. *Cognitive Psychology*, 52, 170-194.
- Sonderstrom, M. (2000). Australopithecus or Adam's rib? *McGill News*, 80, 16-20.
- Trowbridge, D. E., & McDermott, L. C. (1980). An investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48, 1020-1028.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Wiles, J. R. (2010). Overwhelming scientific confidence in evolution and its centrality in science education—and the public disconnect. *Science Educational Review*, 9, 18-27.