

3Dプリンターを利用した人類頭骨の ミニレプリカ教材の開発とその教育効果の検討

内山 智枝子^{1,2}・山野井 貴浩³・武村 政春²

Educational Effects of Miniature Human Skull Replicas Produced Using 3D Printing Technology

Chieko Uchiyama, Takahiro Yamanoi, Masaharu Takemura

Abstract

In accordance with current curriculum guidelines, upper secondary school students learn human evolution in biology class. Many teaching practices about human evolution have been reported, where many teaching materials have been developed. However, teaching this unit with these practices is actually quite difficult because they require expensive teaching materials such as human skull replicas. In most practices mentioned above, educational effects have not been confirmed. For this study, we produced miniature replicas of human skulls (*Australopithecus afarensis*, *Paranthropus boisei*, *Homo erectus*, *Homo sapiens*, and *Gorilla gorilla*) using three-dimensional (3D) printing technology, which is widely used recently. For human evolution lessons, we used miniature replicas of human skulls to teach human evolution to 66 students of third grade in three upper secondary schools: two private schools and a public school. Results of pre/post tests suggest that this study program incorporating miniature replicas contributed to student recognition of skull structures, student formation of hypotheses about human life at that time, and student recognition that humans

¹東京都立淵江高等学校

²東京理科大学大学院理学研究科科学教育専攻

³白鷗大学教育学部

責任著者e-mail: yamanoit@fc.hakuoh.ac.jp

筆頭著者は内山智枝子、責任著者は山野井貴浩とする。

have evolved through repeated speciation and extinction. Additionally, results showed that this study program can promote student understanding of human evolution effectively, even without receiving the idea of orthogenesis.

キーワード：3D教材，3Dプリンター，進化教育，生物教育

1. はじめに

現行の高等学校理科の学習指導要領（文部科学省，2009a）における科目『生物』の「(5) 生物の進化と系統」では「ア生物の進化の仕組み」において「(ア) 生命の起源と生物の変遷」を扱う。この単元の扱いに関して、学習指導要領解説（文部科学省，2009b）には「ヒトの進化について触れることが考えられる」とあり、検定教科書のすべて（5社5冊）において、人類の進化が扱われている。この単元では、人類進化の歴史の変遷を通して、我々ヒト（ホモ・サピエンス）がどのような生き物であるかを学習する。

これまで人類の進化に関する多くの授業実践の報告や観察・実験教材の開発がなされてきた。その多くが実際に骨格標本を比較する活動を含んでおり、人骨化石の比較（馬場，1993）、オランウータンと人類の頭骨の比較（荒井，2007）、哺乳類の骨格標本の比較（平田，2007）を通して、人類の進化の変遷を理解させることを目的としている。複数種類の霊長類の骨格標本または写真を実際に生徒が観察・計測・データ分析し、系統樹を作成する活動も提案されている（DeSilva, 2004; Senter, 2010; Yerky & Wilczynski, 2014）。また、頭骨のペーパークラフト教材の利用（北浦・濱脇，1990）や、ウェブサイト上で霊長類や祖先の頭骨化石を操作できるコンテンツの利用（Walker & Hagen, 2002）も提案されている。

このように多くの教材の利用が提案されているものの、それぞれの教材に関していくつかの課題を指摘できる。骨格標本の利用を伴う教材については、高等学校の教育現場では費用の問題から骨格標本を数多く準備する

ことは難しいため、骨格標本の演示に止まってしまうことが多い。生徒一人一人が骨格標本を触りながら、種間の違いを確認できる教材が望ましい。ペーパークラフトを利用する教材については、生徒一人一人が骨格のようすを確認できるが、作製に時間がかかること、および骨格の細部を表現するのが難しいという問題がある。ウェブサイト上で骨格のようすを確認できる教材については、コンピューター以外の準備は必要なく利用しやすいが、骨格の凹凸等に関しては実物を触る方が理解しやすい。もし安価に作製でき、生徒一人一人が骨格のようすを確認できる骨格標本のレプリカがあればこれらの課題は解決されると考えられる。先行研究におけるその他の問題点として、使用した観察・実験教材の教育効果が測定されていないことが挙げられる。人類の進化は雑誌やTVなどのメディアで取り上げられることも多く、その際、類人猿、猿人、原人、旧人、新人のように直線的なイラストで図示されていることが多いため、生徒は人類の進化に関して、新人が進化の最終形態であり、新人に向けて直線的に進化してきたという定向進化説的なミス・コンセプションを有している可能性がある(山野井・佐倉・鈴木・武村, 2011)。したがって、観察・実験教材の利用が、このような定向進化説的なミス・コンセプションの修正に繋がるかどうかを明らかにすることは重要である。

そこで本研究では、教育現場にも普及しつつある3Dプリンターを利用して、人類の複数種の頭骨のミニレプリカ教材を、生徒一人一人が触れることができるよう、数多く作製した。ミニレプリカ教材を利用した授業を、『生物』を履修している高等学校3年生を対象に実践した。その際、この授業が人類の進化に関する基礎的な内容の理解を促進するかどうか、および定向進化説的なミス・コンセプションの修正に繋がるかどうかを質問紙調査により検討した。

2. 方法

2.1 ミニレプリカ教材の作成

人類は新人に向けて直線的に進化してきたわけではないことを理解させるには、類人猿から新人に繋がる系統に加えて絶滅した系統（例えば、パラントロプス・ボイセイやホモ・エレクトス）についても扱うことが重要である。そこで、ミニレプリカ教材は、都立高等学校が所有する人類頭骨（パラントロプス・ボイセイ、ホモ・エレクトス、ホモ・サピエンス）のレプリカと、ナリカより購入したアウストラロピテクス・アファレンシスとゴリラの頭骨のレプリカを3D スキャナ（DAVID）でデータ化し、3Dプリンター（Cube 3D printer, Cubify, USA）で1/5サイズにそれぞれ造形するという方法で制作した（図1）^{註1}。ミニレプリカのサイズは生徒の扱い易さ、上記の3Dプリンターの性能と、量産後の収納スペースを考慮し決定した（正確なサイズについては図1左の写真を参照）。

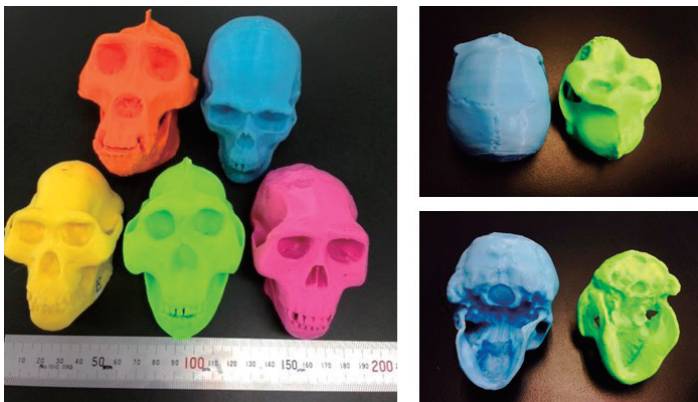


図1 ミニレプリカ教材

2.2 「人類の変遷」の単元における授業実施及び教育効果の検討

2.2.1 授業展開

授業はワークシート（資料1）を用いて3、4人のグループ活動を中心に展開した。ワークシートを配付後、まず教師から、ワークシート冒頭の類人猿とさまざまな人類が一直線に描かれた図を見るよう指示し、この図の誤りを考察することがこの授業の目的であることを説明した。その後、教科書を参考にワークシートの課題（1）～（3）に取り組むよう指示し、霊長類の特徴や、類人猿と人類の違いを確認させた。次に、A～Eのラベルがされたミニレプリカ教材5種類（A：パラントロプス・ボイセイ、B：ホモ・サピエンス、C：ゴリラ、D：ホモ・エレクトス、E：アウストラロピテクス・アフレンシス）をグループに1セットずつ渡し、課題（4）に取り組むよう指示した（約15分間）。その際、それぞれの模型が正面を向いている位置に合わせて比較するように留意させた。頭骨を比較するための着目点として、大後頭孔の向き、脳の容量、眼窩上隆起、おとがいの4点は予めワークシートに記入してあり、その他に着目した点があれば自由に比較し、ワークシートに記入できるようにした（資料1）。続いて課題（5）では東京書籍の教科書（浅島ら，2013）の人類の変遷について描かれた系統樹(p.404～405)を見て、A～Eがどの種の頭骨なのか、系統樹のどこに位置するかを確認し、ワークシートに描かれた系統樹にアルファベットを記入するよう指示した。最後に、ワークシート冒頭の類人猿と人類が一直線状に描かれた図の問題点、授業を通して理解が深まった内容についてワークシートに書き込むよう指示した。

2.2.2 授業実践と教育効果の検討

ミニレプリカ教材とワークシートを使用した授業は、私立A高等学校3年生18名、私立B高等学校3年生18名、都立C高等学校3年生30名、3校合計66名（すべて理系・生物履修者）を対象に、各高等学校の授業担当者が実施した。なお、C高等学校については著者のうち内山が授業担当者であるため、内山が授業を実施した。授業担当者には著者から、上述した授

業展開（2.2.1）のように授業を行うよう依頼した。B、C高等学校では東京書籍の教科書（浅島ら，2013）が使われていたが、A高等学校では別の出版社の教科書が使われていたため、課題（5）の際に東京書籍の教科書（p.404～405）を、出典を記した上でコピーしたものを配付した。なお、これらのクラスはいずれも各高等学校の授業担当者により高等学校『生物』の教科書を使用した「（5）生物の進化と系統 ア生物の進化の仕組み（ア）生命の起源と生物の変遷」（文部科学省，2009a）における「ヒトの進化」の学習をすでに終えている。授業の教育効果を検討するために、授業前後に同一の質問紙調査（資料2）を実施した。質問紙の内容は、頭骨の部位（大後頭孔、おとがい、眼窩上隆起）の場所についての理解を問う質問（①～③）と人類の進化に関する認識を問う質問（④～⑪）から成る。人類の進化に関する認識を問う質問は、人類の進化に関して定向進化的なミス・コンセプションを有しているかに関する質問（④，⑤）、頭骨から当時の食生活や二足歩行していたことが分かることを認識しているかどうかを問う質問（⑥，⑦）、骨格と進化に関する認識を問う質問（⑧）、退化の認識を問う質問（⑨）、脳の大きさとコミュニケーションの関係についての認識を問う質問（⑩）、人類進化のタイムスケールの認識を問う質問（⑪）から成る。回答方法は質問①～③は「はい」「いいえ」からの選択式、④～⑩は「そう思う」「少しそう思う」「あまりそう思わない」「そう思わない」からの選択式、⑪は「1万年」「5万年」「10万年」「50万年」「100万年」「500万年」「1000万年」「5000万年」（教科書の記述の基づく正答は「500万年」もしくは「1000万年」）からの選択式とした。ただし、授業後の質問紙には、授業を通して、人類の進化に関して詳しく調べてみたいと思うようになったかどうかを問う質問（自由記述形式）と、今回の授業を通して気が付いたこと・理解が深まったことに関する質問（自由記述形式）を加えた。

3. 結果

対象生徒66名中、授業前・授業後質問紙調査の両方の回答が得られた62名分のデータを集計した。頭骨の構造に関して問うた質問①～③において、「大後頭孔」「おとがい」「眼窩上隆起」の名称がどの部位を指すかを理解しているかどうかについて、生徒の回答がどのように変化したかを図2に示した。いずれの質問も、ミニレプリカ教材を活用した授業を通して「はい」と答えた生徒数が増加し、授業後はほぼ全員が「はい」と回答した。

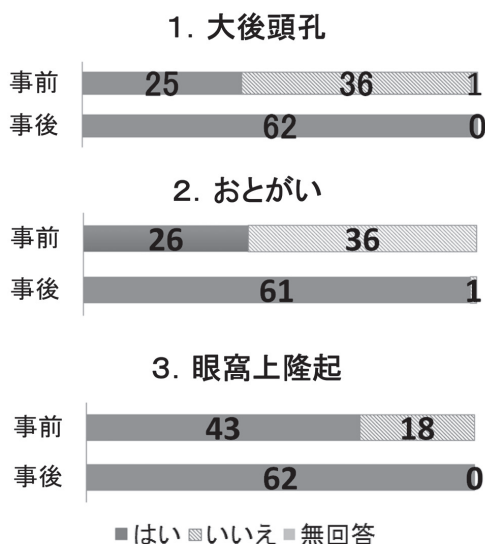


図2 授業前後アンケート結果（質問①～③）

それぞれがどの部位の名称であるかを理解していますか？

人類の進化に関する認識を問う質問に対する回答（質問④～⑩）の変化を図3に示した。質問④、⑥、⑦、⑧では「そう思う」という回答が、逆転項目である質問⑤、⑨では「そう思わない」が期待される回答であった。授業後に、質問④、質問⑥、質問⑦において、「そう思う」と回答する生

徒数が増加した。同様に、逆転項目である質問⑤においても、「そう思わない」と回答する生徒が増えた（ただし、「そう思う」と答えた生徒も2名から7名に増えた）。一方、質問⑧、質問⑨に関しては、授業前から「そう思う」（質問⑨は「そう思わない」と回答していた生徒が多かったため、回答に大きな変化は見られなかった。質問⑩に関しては「そう思う」と回答する生徒数が増えたものの、「あまりそう思わない」「そう思わない」と答える生徒も増える傾向が見られた。

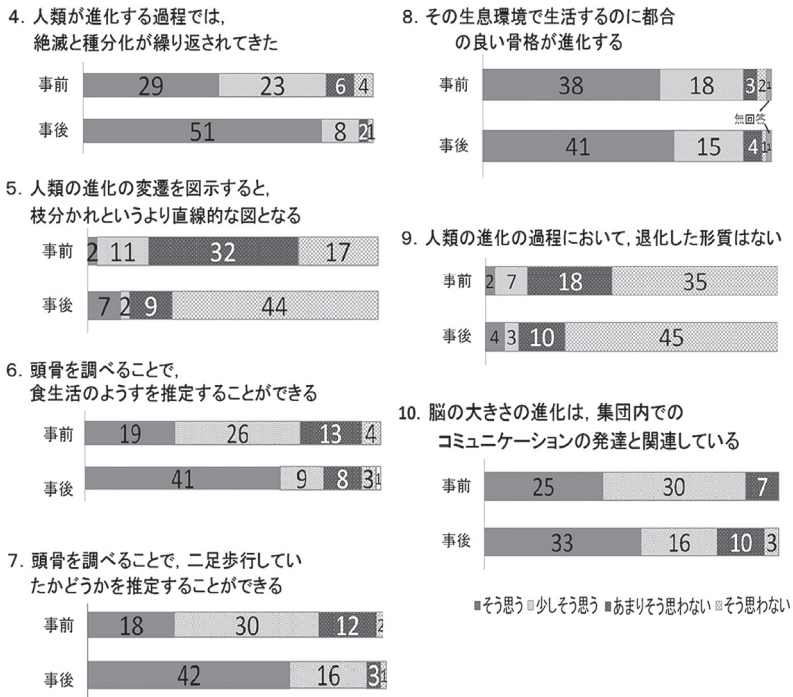


図3 授業前後アンケート結果（質問④-⑩）

質問⑩に関しては、授業前は「50万年前」や「100万年前」の回答が多かったものの、授業後は正答である「500万年前」や「1000万年前」の回答が増加した（図4）。

授業を通して人類の進化に関して詳しく調べてみたいと思った内容に関して、「地球温暖化や食料不足で、今の人類は今後どうなっていくのか」等の環境と進化の関係（7名）、「言語を話すのに骨の形は関係あるのか」等の構造と機能の関係（6名）、「ホモ・フロレシエンシスは何から進化した原人なのか」等の他の人類に関する疑問（6名）、「進化と退化に法則性はあるのか」等の進化と絶滅に関する疑問（5名）、「脳が大きいほど、本当に頭がよいのか」等の脳に関する疑問（3名）などの回答が得られた。授業を通して気が付いたこと・理解が深まったことについては、頭骨の構造や機能に関する内容（31名）、進化や絶滅に関する内容（16名）に加えミニレプリカや学習活動に関する内容（6名）、環境と進化に関する内容（3名）についての回答があった。具体的な記述例を表1に示した。

11. 類人猿と人類が分岐(種分化)してから、 どれくらいの時間が経っていると思いますか？

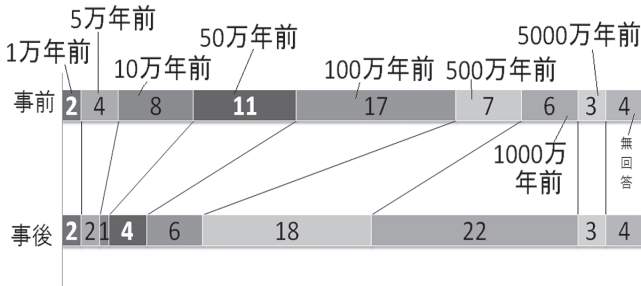


図4 授業前後アンケート結果（質問⑩）

表1 授業を通して、気が付いたこと・理解が深まったこと（原文ママ）

構造・機能に関する内容（31名）
<ul style="list-style-type: none"> ・大後頭孔の位置が変わっていったところ。矢状突起について理解が深まった。 ・頭骨のときかのようなものに筋肉がついていて顎の強さに関係していること。 ・類人猿と人間の脳容積や、顎の強さなどの違いが頭骨の特徴から考えるとよく分かった。 ・二足歩行の証拠が頭骨から判断できることが分かった。
進化と絶滅に関する内容（16名）
<ul style="list-style-type: none"> ・進化する中で、退化したものが再び出てくることがあるということ始めて知った。 ・発達するもの、退化するものには環境が深く関わっている。 ・一概に進化を続けてきたということではなく種分化によって多様な人類・類人猿の種類に分けられていることを知った。
ミニレプリカ・学習活動に関する内容（6名）
<ul style="list-style-type: none"> ・同じ模型を見てもヒトによって感じ方や考え方にかなり違いがあった。 ・模型を使った方が分かりやすかった。 ・教科書だけでは360度どうなっているかが想像しないと分からないけれど、（ミニレプリカは）どのくらい頭骨が大きいとか、おとがいはどのような感じかとかがよく分かった。アゴの骨の厚みとかもよく分かった。
環境と進化に関する内容（3名）
<ul style="list-style-type: none"> ・それぞれ食生活や環境によって顔の形が変化してきたのが分かった。

ワークシート課題（4）の活動において、「大後頭孔の向き」「脳の容量」「眼窩上隆起」「おとがい」以外で、生徒が着目した部位は、「矢状突起」「犬歯」「頬骨」「歯列」「頭骨のつなぎ目」等16か所に及んだ。図5に一例を示す。ワークシート課題（5）の冒頭の図に関する考察は、「人類の進化は一直線上ではない」などの枝分かれ・種分化に関する内容（32名）、「背骨がまっすぐになる時期は早すぎる」等の姿勢の変化に関する内容（11名）、「大後頭孔の位置がいきなり前にならない」等の大後頭孔の記述（6名）、「ホモ・フロレシエンシスのように小さく進化することがある」等の退化・絶滅に関する内容（4名）、「ゴリラがいた」（2名）といった記述が見られた。

	A	B	C
大後頭孔の向き	ななめ	(内側)	ななめ
脳の容量	4	1	5
眼窩上隆起	2	5	1
おとがい	し	し	し
(とこが)	あり	なし	あり
(あごの骨)	厚い	1.5ほど薄い	2.5ほど厚い
(頭のつなぎめ)	なし	あり	なし

図5 ワークシート記入の様子

4. 考察

4.1 構造と機能の関係について

質問①～③に関して、質問した3つ全ての頭骨における部位名称の理解に関して授業後に肯定的な回答が増加したことから、ミニレプリカ教材を使用した授業によりその名称がどの部位を指すのかに関しての理解が促進されたと考えられる。頭骨を比較する課題(4)において、生徒が図5に示すような多くの特徴をつかんでいたことが分かった。表1から生徒は「教科書等の図だけでは立体感はほとんどないが、ミニレプリカは手に取って360度回転したり、顎の厚み等を手にとって確認できる」と感じており、これらのミニレプリカ教材のメリットにより、多くの種間変異に気が付くことができたと考えられる。頭骨の形状と咀嚼(食生活)や二足歩行運動といった機能との関連を問うた質問⑥、質問⑦では、授業後に肯定的な回答が増加し、「気づいたこと・理解が深まったこと」においても構造と機能の関連に関する記述が多く見られたことから、ミニレプリカは構造と機能の関連性を学ぶために有効な教材であることが示唆された。

一方、脳の大きさとコミュニケーションの発達に関連性について問うた質問⑩では、関連性を強く認識していると思われる「そう思う」と回答した生徒が増えた一方、授業後に、「そう思う」「少しそう思う」から「そう

思わない」と改めた生徒が3名、「あまりそう思わない」に改めた生徒が7名いた。授業後に「そう思わない」「あまりそう思わない」と答えたC高校の7名の生徒は、ワークシート課題(5)で「脳容積が約1400cm³もあるホモ・ネアンデルターレンシスはなぜ絶滅してしまったか」、「脳が大きいほど本当に頭がよいのか」など、脳の大きさと知能との関連について生徒同士で議論を行っていた。授業ではパラントロプス・ボイセイとホモ・サピエンスの脳容積とコミュニケーション能力に関してのみ説明を行い、それ以外の人類に関する情報は提供しなかったため、脳の大きさとコミュニケーションの発達との関連性についての理解が深まらなかった生徒もいたと考えられる。

ミニレプリカ教材は、その観察を通し、のべ16か所の頭骨の特徴に生徒が気づくだけでなく、「気づいたこと・理解が深まったこと」で生徒が「同じ模型を見てもヒトによって感じ方や考え方にかなり違いがあった」と記述しているように、問題に向き合うための会話のツールとして、また、脳の大きさと知能の関係など、新たな問い(疑問)を生徒が自ら生成し、探求的な活動へと展開させるためのツールとしても、その活用が期待される。

4.2 定向進化説や進化のタイムスケールに関する認識の変化について

質問④「人類が進化する過程では、絶滅と種分化が繰り返されてきた」、質問⑤「人類の進化の変遷を図示すると、枝分かれというより直線的な図となる」において、「そう思う」および「少しそう思う」(逆転項目である質問⑤では「あまりそう思わない」と授業前の時点で回答した生徒数を合計すると、その割合は70%以上であり、定向進化説を支持している生徒が多いとは言えない状態であった。しかしながら、ワークシート課題(5)において、62名中32名の生徒が枝分かれ・種分化に関する内容に言及していること、また質問④では「そう思う」、質問⑤では「そう思わない」という強い肯定および否定を選択した生徒が、授業前に比べ授業後に増加していることから、今回の授業を通して、人類の進化は定向進化的に

起こったものではないという認識が深まったことが示唆される。

このように生徒の認識が変容した一番の要因として、ワークシート課題(5)において、ミニレプリカを系統樹の上に実際に配置する活動が挙げられる。また、頭骨を比較する活動において、「脳の大きさ」のみを調べる活動のように、教師が注目する形質を限定してしまうと、その形質値に基づき、頭骨を一直線状に並べてしまう危険性がある。しかし、今回実施したミニレプリカを比較する活動では、注目する形質を限定しなかったため、さまざまな視点で観察することが可能になり、進化を一直線状に表すことは適切でないことを認識した可能性がある。

質問⑤において、「そう思う」と答えた生徒が2名から7名に増えたが、そのうち1名の生徒は自由記述で「枝分かれ、種分化している」と記述したことから、少なくともこの1名は、誤って「そう思う」と回答した可能性もある。一方、授業後に新たに「そう思う」と答えた5名中4名はA高等学校の生徒であり、ワークシート課題(4)における頭骨を比較する活動の様子を授業担当者に聞いたところ、生徒は自ら模型を順番に並べており、その際、眼窩上隆起やおとがいなどによってその順序が変わるため、悩んでいる様子だったことが分かった。今回は、ワークシート課題(4)で頭骨を比較する方法は特に定めていなかったため、着目した部位の特徴を文章や図、計測した数値として記入するなど(図5)、各グループに工夫が見られたが、その中で、進化順序の順位付けを行うグループも見られた。順位づけに固執することは、進化は定方向的であるという考えに結びつきかねないため、望ましいことではない。Yerky and Wilczynski (2014)は、9種類の頭骨を生徒に観察・比較させるという実践を行っているが、その際、具体的にどう計測し、どう記入するかを予め提示した上で、得られたデータを分析に活用している。順位付けへの固執を防ぐためには、比較方法を指定したり、定性的ではなく定量的なデータをとるように指示すること等が重要であろう。

質問⑩における、類人猿と人類の分岐年代に関する認識の変化が促進さ

れた理由としては以下が挙げられる。今回の授業では教師から分岐年代に関する教授は直接には行っていない。そのため、既に絶滅した人類と現存のホモ・サピエンスに加え、現存の類人猿であるゴリラについても系統樹上に置く活動をすることで、その分岐年代に関する興味・関心が高まり、教科書に書かれた分岐年代に注目し理解が深まった可能性がある。

5. まとめ

以上のことから、実際に手に取り観察できる、複数種の人類の頭骨のミニレプリカ教材を比較し、系統樹上へマッピングする活動は、頭骨の各部位の位置に関する理解や、頭骨から、当時の生活のようすが分かることの認識を深めるとともに、人類の進化は絶滅と種分化を繰り返しながら現在に至ったことの認識を深め、その進化は定向進化的に起こったものではないことを理解するために有効であることが示唆された。

今回作成した5種類のミニレプリカ教材は、3Dレーザースキャナを用いているため、頭骨内部の構造は再現されておらず、脳容積の測定は不可能である。また、今回使用した3Dプリンターでは技術的に再現が不可能な造形部分がある。そのため、ミニレプリカ教材を用いた授業に加えて、実物大のレプリカを併用していくことが望ましいだろう。

今後、多くの3D教材が3Dプリンターによって作成されると予想されるが、一方において名和（2013）が指摘するように、レプリカを作成する場合に起こる著作権侵害や特許侵害のリスクがあることも考慮に入れなければならないだろう（注1参照）。今回の頭骨のミニレプリカ教材を普及させるためには、博物館所有の頭骨の3Dデータを一般公開することなどが有効である。初等・中等教育においても3Dプリンターが普及し、児童・生徒が活用する場面も増加していった場合、より効果的に3D教材を活用するためには、学校における使用方法のガイドライン（どのように使用すれば高い教育効果が得られるかに関するもの）などを作成していくことも必要になってくるのではないだろうか。

注

- 1) 文化庁のHPに掲載されている「学校における教育活動と著作権」(http://www.bunka.go.jp/seisaku/chosakuken/seidokaisetsu/pdf/gakko_chosakuken.pdf)を踏まえ、今回の複製は下記の①～⑦を満たしており、著作権者の了解なしに複製できると判断した(①営利を目的としない教育機関であること、②授業を担当する教員やその授業等を受ける児童・生徒がコピーすること、③本人(教員又は児童・生徒)の授業で使用すること、④コピーは、授業に必要な限度内の部数であること、⑤既に公表された著作物であること、⑥その著作物の種類や用途などから判断して、著作権者の利益を不当に害しないこと、⑦原則として著作物の題名、著作者名などの「出所の明示」をすること)。⑥については、今回複製したミニレプリカは脳容積が計測できない、実際の大きさを実感することができないなど、元のレプリカに比べて教材として劣る部分もあり、著作権者の利益を不当に侵害することはないと判断した。⑦については、都立高校の所有していたレプリカは10年以上前に購入されたものであり著作権所有者について確認できなかった。

謝辞

本研究にあたり、ご助言いただきました米田穂氏、馬場悠男氏、大野智久氏、授業実践にご協力いただきました上野裕之氏、有岡淳氏、米田大氏にこの場を借りてお礼申し上げます。本論文における筆者らの研究は、平成26年度科学研究費補助金・奨励研究(内山智枝子、課題番号26909011)、平成25-27年度科学研究費補助金・若手研究B(研究代表者：山野井貴浩、課題番号25870669)、平成25-27年度科学研究費補助金・基盤研究(B)(研究代表者：武村政春、課題番号25285251)、平成28-30年度科学研究費補助金・基盤研究(B)(研究代表者：武村政春、課題番号16H03804)の助成を受けて行いました。

引用文献

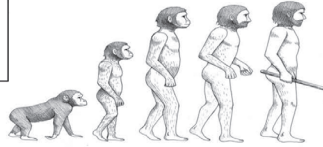
- 荒井正春(2007)「小中学校における人類学教育」*Anthropological Science (Japanese Series)* 第115巻1号, 42-46.
- 浅島誠 他20名(2013)「生物」東京書籍.
- 馬場悠男(1993)「化石形態から見たアジアにおける人類の進化 - ジャワ原人の最近の研究から」*Anthropological Science (Japanese Series)* 第101巻5号, 465-472.
- DeSilva, J. (2004) Interpreting evidence: an approach to teaching human evolution in the classroom. *American Biology Teacher*, 66, 257-267.
- 平田泰紀(2007)「中学校・高等学校における理科教育にとっての人類学」*Anthropological Science (Japanese Series)* 第115巻1号, 46-49.
- 北浦隆生・濱脇英夫(1990)『「人類の進化」指導上の工夫』『遺伝』第44巻3号, 35-39.
- Yerky, M. D. & Wilczynski, C. J. (2014) The Mystery of Skulls: What Can Old Bones Tell Us about Hominin Evolution? *American Biology Teacher*, 76, 109-115.

- 文部科学省 (2009a) 『高等学校学習指導要領』, 東山書房.
- 文部科学省 (2009b) 『高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編』, 大日本図書.
- 名和小太郎 (2013) 「3Dプリンターでペンローズ三角形は作れたが…」 『情報管理』 第56巻 7号, 477-479.
- Senter, P. (2010) Were Australopithecines ape-human intermediates or just apes? A test both hypotheses using the “Lucy” skeleton. *American Biology Teacher*, 72, 70-76.
- Walker, P. L. & Hagen, E. H. (2002) *Human Evolution: The fossil evidence in 3D*. University of California, Santa Barbara. Available online at <http://www.anth.ucsb.edu/projects/human/>. (2018.3.27最終アクセス)
- 山野井貴浩・佐倉統・鈴木一臣・武村政春 (2011) 「高校生物Ⅱの授業が進化の理解に及ぼす影響：現行の学習指導要領に基づく進化教育の課題を探る」 『生物教育』 第52巻 1号, 28-37.

資料1 ワークシート

人類の変遷

右図はよく見かける人類の進化のようすを表す図ですが、実は大きな誤りがあります。どこが間違っているのかをこの授業を通して考えていきましょう。



<霊長類の進化>

(1) 霊長類にはどんな特徴があるのか、食虫類と比べてみよう。

	食虫類	霊長類
爪の種類		
目の位置		
親指(母指)対向性		

(2) 類人猿の種名を3つ挙げてみよう。() () ()

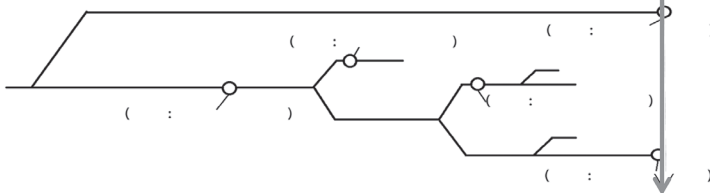
(3) 類人猿と人類の違いについて、下の表をまとめてみよう。

	類人猿	人類
歩き方		
大歯の大きさ		
大後頭孔の位置		
眼窩上隆起		
骨盤の形状		
足の形状		

(4) 配付した5種類の頭骨を触ってどんな違いがあるか表にまとめてみよう。
※ () はその他の違いを気が付いた場合に利用する。

	A	B	C	D	E
大後頭孔の向き					
脳の容量					
眼窩上隆起					
おとがい					
()					
()					
()					
()					
()					

(5) 5種類の頭骨を教科書 p.404・405 の該当するイラストの上に乗せて、種名を確認しよう。 現在



Q. 最初に見た図はどこに誤りがあるか分かりましたか (はい ・ いいえ ・ 分からない)
「はい」と答えた場合は誤りについて説明してください。

(6) 人類の進化に関して理解が深まったこと・感想

資料2 授業前後アンケート

人類の進化に関するアンケート

・次の①～⑩の質問に関して、[]の中から当てはまるものを選び、丸をつけて、回答してください。※成績には一切関係しません

- ① 『大後頭孔』がどの部位の名称であるかを理解している
- ② 『おとがい』がどの部位の名称であるかを理解している
- ③ 『眼窩上隆起』がどの部位の名称であるかを理解している
- ④ 人類が進化する過程では、絶滅と種分化が繰り返されてきた
- ⑤ 人類の進化の変遷を図示すると、枝分かれというより直線的な図となる
- ⑥ 頭骨を調べることで、食生活のようすを推定することができる
- ⑦ 頭骨を調べることで、二足歩行していたかどうかを推定することができる
- ⑧ その生息環境で生活するのに都合の良い骨格が進化する
- ⑨ 人類の進化の過程において、退化した形質はない
- ⑩ 脳の大きさの進化は、集団内でのコミュニケーションの発達と関連している
- ⑪ 類人猿と人類が分岐（種分化）してから、どれくらいの時間が経っていると思いますか

<選択肢>①～③[はい ・ いいえ]

④～⑩ [そう思う・少しそう思う・あまりそう思わない・そう思わない]

⑪[1万年・5万年・10万年・50万年・100万年・500万年・1000万年・5000万年]

・今日の授業を通して、人類の進化に関して詳しく調べてみたいと思うようになりましたか ※「そう思う」および「少しそう思う」と回答した人はどのようなことを調べてみたいかを自由に書いてください。

・頭骨の模型を使った今回の授業を通して気が付いたこと・理解が深まったことを自由に書いてください。