

教員養成課程におけるICT機器を活用したヒトの遺伝教育とその教育効果 —「青い瞳」の発色の再現モデル実験の教材開発—

畑 宗平

要旨

学習指導要領に基づく初等・中等教育において、ヒトの遺伝に関する教育に割り当てられる時間は少ない。しかし、ヒトの肌の色や体形的な特徴の違いについての誤解や偏見を無くするために、初等・中等学校課程からのヒトの遺伝学教育は必要であり、現場で将来ヒトの遺伝に関する教育を担う教員養成課程の学生が遺伝リテラシーを習得することは重要である。例えば、ヒトの瞳には黒色・茶色・青色など異なる色が存在する。また、ヒトの瞳の色は遺伝に関係していることは多くの人が知っている。しかし、『青い瞳はなぜ青いのか』といった疑問に答えることは難しい。なぜならば、メラニンによる「光の散乱」についての知識が必要となるからである。そこで遺伝リテラシーを身に付けるためにヒトの遺伝に関する教育を目的として、『青い瞳』の発色の再現モデル実験教材を開発し、その教材を用いた授業実践を行った。実験教材の教育効果についてはアンケート調査を実施してその結果の検討を行った。また、マイクロスケール化した演示実験の教材開発にあたってICT機器の有効利用についての検討を行った。その結果、開発した教材を用いたヒトの遺伝に関する教育では知識力と表現力とを高める教育効果が確認された。さらに、ICT機器を活用することで、刺激臭のある気体等が発生するために個別実験が困難な実験はマイクロスケール化して演示実験で行えばリアルな観察が可能となることが明らかになった。

キーワード：ICT機器、マイクロスケール実験、教員養成課程、ヒトの遺伝に関する教育、初等・中等理科教育

I. はじめに

1. 本研究の背景と課題

生物は遺伝子を有しており、ヒト科も例外ではなく、紫外線などの環境に適応することで生じた遺伝子の変化が継承され集団的な遺伝形質の特徴を有したり、遺伝子の一部の異なりによって個体の個性が生じたりしてヒトの多様性が保たれている。さらに、2006年より核DNA (A/T/G/C) の高速解読が次世代シーケンサー (DNAの塩基配列決定装置) で可能になり、ヒトのすべてのDNA情報 (32億塩基対) が読み取れるようになった。例えば、2010年にネアンデルタール人 (人類と数万年一緒に地上に存在した滅びた人類) の持つすべてのDNA解読に初めて成功した。また、2022年度『絶滅したヒト科のゲノムと人類の進化に関する発見』に対して送られたノーベル生理学・医学賞受賞者のスパンテ・ペーボ博士の功績はネアンデルタール人とホモ・サピエンスとの交雑を明らかにしたことである。今後、すべての滅びた人類の遺伝子が明らかになると、これまでの人類の遺伝に関する定説や常識が覆る可能性も出てくる。しかし、初等・中等教育の学習指導要領¹⁻³⁾には、ヒトの遺伝に関する教育⁴⁻⁸⁾の記述があまりされていない。よって、遺伝学や遺伝子解析技術の大きな進歩の恩恵を正しく受け止め情報を活用していくための社会一般の遺伝・ゲノムリテラシーが不足している。人々が遺伝子や遺伝について間違った情報を信じることやヒトの肌の色や体形的な特徴の違いについて誤解や偏見を生むことがないように、初等・中等教育の教育課程からのヒトの遺伝に関する教育は必要である。また、子どもたちには共通して不思議に思っている身近な自然現象がある。生活の中でありのままに受け入れている例としてヒトの瞳の色がある。例えば、『太陽の位置の変化で、なぜ月は形が変わるのか。』『太陽の位置の変化で、なぜ空の色が青から赤に変わるのか。また、なぜ瞳には黒色・茶色・緑色・青色など異なる色が存在するのか。』前者は小学校では6年生理科の「月と太陽」で地球から見た太陽と月の位置関係を多面的に調べる活動によって、月の形の見え方が変わることを学ぶ。後者は、理論的な説明には光の散乱現象の原理が関係する難しい内容であり、科学と

人間生活の単元「光の性質とその利用」の内容や化学基礎の単元「物質と化学反応式」の中等理科の内容である。また、中学校の第2分野「(5) 生命の連続性」や生物基礎の「(1) ア (イ) 遺伝子とその働き」と生物の「(1) ウ (イ) 人類の系統と進化について」の内容も含んでいる。しかし、子どもたちにとって、それらは共に日常生活の中の素朴な疑問である。そこで、小学校や中学校の総合的な学習などの時間で光の散乱現象の原理が関係した空の青さや夕焼けの色を模倣的に再現する実験は行われており、同じ原理で発色が説明できる瞳の青色の再現モデルのマイクロスケール実験は初等教職課程を履修する教育学部学生にとっても知っておくべき必要な内容の知識である。そこで、ヒトの遺伝に関する教育を行うにあたり、初等・中等教育でどのような遺伝・ゲノムリテラシーが必要であるのか。また、どのようにICT機器を活用して教えていくのかを検討するために、教員養成課程における学生に対して遺伝子で辿る身近な人類史での事象・現象を取り上げて、ICT機器を活用したヒトの遺伝に関する教育の教材開発を行い、その教育効果を検証した。

2. 「青い瞳」の発色の再現モデル実験による研究の目的

2022年度からは教員と教員養成課程の履修学生には、高度なICTに関する力が求められ、教職課程コアカリキュラムが改正された。しかし、理科の授業等でICT機器を有効活用できる教員を養成するために教職課程の授業内容を検討した先行文献はまだ非常に少ないのが現状である。そこで、理科の授業等でICT機器を有効活用できる教員を養成するために教員養成段階で学ぶ学生を対象に本研究では、iPadやノートPC及びプロジェクターや大型ディスプレイ等のICT機器を用いて、ヒトの多様性について『青い瞳はなぜ青いのか』をテーマとし、『「青い瞳」の発色の再現モデル実験』の教材を開発して授業実践を行った。授業内容の目標は教室内で自然現象の「青い瞳」の青色の発色を演示実験で再現し、現象を観察して発色の原理を理解することと理科の授業等でICT機器を有効活用した場合の教育効果を理解することである。

テーマの『青い瞳はなぜ青いのか』の理論的理解を深めるために、iPadのカメラ機能とApple TV等のICT機器を用いて実験状況をプロジェクター画面等に拡大映像で映し出し、教室の後方の席からでも観察できる環境で授業実践を行った。本研究は開発したヒトの遺伝に関する教育の教材を用いた授業実践とアンケート形式の調査の実施により、調査結果から理科教育におけるiPhone等のICT機器の利活用の検討とヒトの遺伝に関する教育について「青い瞳」の発色の再現モデル実験教材による教育効果の検証を目的として行った。

II. 「青い瞳」の発色の再現モデル実験の教材開発

ヒトの瞳の色は遺伝に関係していることは多くの人が知っている。現在では、人のDNA配列がすべて解明され、染色体のどの部分に何の形質に関係する遺伝子が組み込まれているのかは解明されている。例えば、ヒトの15番染色体と19番染色体にある遺伝子の中に人の瞳の色の決定にかかわる遺伝子が存在している。しかし、『青い瞳はなぜ青いのか』といった疑問に答えることは難しい。なぜならば、「光の散乱」についての知識⁹⁾(表1)が必要となるからである。そこで、マサチューセッツ工科大学(MIT)のウォルター・ルーウィン教授の著書¹⁰⁾に記述されていたレイリー散乱の現象で「MIT白熱教室」の第4回¹¹⁾でルーウィン教授が行った演示実験をマイクロスケール実験化して取り入れた教材による授業を組み立て、「光の散乱」についての理論的な知識を取得しながら『青い瞳はなぜ青いのか』の青色の発色についての疑問に対する理解を深めることを本時の目標とし、ICT機器を用いて演示実験の授業実践を行った。また、実験授業にICT機器を活用したヒトの遺伝に関する教育の開発教材の教育効果について検証するためにアンケート調査を実施した。

表1 光の散乱原理の比較⁹⁾

	レイリー散乱	ミー散乱
粒子の直径	0.1ミクロン (1mの100万分の1)未満	0.1ミクロン以上
散乱波長	青い光が散乱する(青色は赤色光の5倍散乱する)	色の違いに関係なく可視光が全て散乱する
水溶液の色	青	白
具体例: 反射光 (たばこの煙)	タバコの葉から直接立ち上がるタバコの煙の粒子	肺に吸い込み水蒸気を吸着したタバコの煙の粒子
空の色 (大気中の粒子量)	空の青色(散乱光)	夕焼けの茜色(透過光)
瞳(虹彩)の色 (メラニン色素量)	青色の瞳 (メラニンが少量)	—

これまでの授業で教員養成課程の学生たちは、太陽の光(白色光)を分散させるプリズムを使って撮ったスペクトルの写真から、太陽は『いくつかの色の光』を放っていることを観察している。また、光の色の違いや光散乱の起こり易さの違いは波長で決まることや一番短い波長の可視光は『青い光』であり散乱しやすいことと一番長い波長の可視光は『赤い光』であり散乱しにくいことについては、身近な散乱現象の例(レイリー散乱の例: ヒトが吸う前のたばこの煙の色、ミー散乱の例: ヒトが吸った後のたばこの煙の色)を写真等で比較して色の違いを確認しながらの説明が行われており、既にそれらの知識を習得している。

教室の照明を暗くして行う実験では、ICT機器を用いて実験手順や実験器具の配置および実験中の変化の様子をプロジェクターに映し、「青い瞳」の発色の再現モデル実験が詳細に観察できるように配慮して「青い瞳」の青色の発色の原理についての演示実験を行った。

1. 準備物

ICT機器: iPadやiPhone, Apple TVやHDMIケーブル, プロジェクターなど

器具: 魚観察用小型水槽(OGK: 21×17×5 cm), 懐中電灯, 駒込ピペット, ガラス棒, メスシリンダー(20mL)

薬品: チオ硫酸ナトリウム, 希塩酸(1N)

教具: 実験プリント

2. 「青い瞳」の発色の再現モデル実験の実験方法

(1) 1500 mLの水(室温)を入れた魚観察用小型水槽にチオ硫酸ナトリウムの飽和水溶液をメスシリンダーで18 mL加えて良くかき混ぜる。

(2) 太陽光を代替する白色の懐中電灯をヒトの眼球の瞳を代替する魚観察用小型水槽内の水溶液に向けて、青い瞳の発色の再現モデル実験の器具を配置する(図1)。

(3) ICT機器を用いて実験経過を後方の席からでも観察できるように、iPad等のカメラを青い瞳の発色の再現モデル実験の様子を捉える位置に設置して撮影・録画を行い、プロジェクター等に接続して実験経過の画像を拡大表示する(図2)。

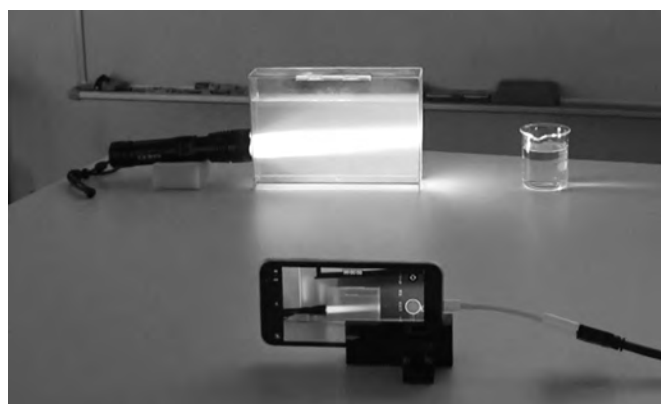


図1 青い瞳の発色の再現モデル実験器具とICT機器との配置



図2 ICT機器を用いて実験経過の録画と拡大表示した様子

(4) 魚観察用小型水槽の水溶液に 1 N の塩酸を駒込ピペットで 3 mL 加え、ガラス棒で静かにかき混ぜ、素早く魚観察用小型水槽のフタを締めて教室の照明を消す。

魚観察用小型水槽内では、チオ硫酸ナトリウム水溶液と希塩酸による硫黄ゾルの生成反応が次の化学反応式で表される反応で始まる。この反応では人体に有害で刺激臭のある二酸化硫黄が少量発生するので、蓋つきの小型水槽を用いる必要がある。

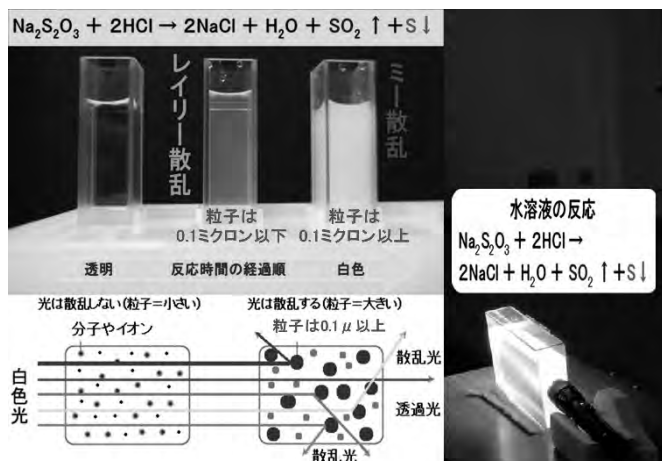


図3 レイリー散乱とミー散乱⁹⁾

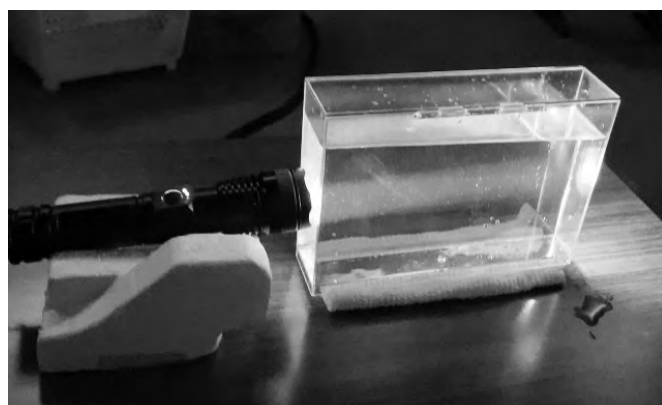


図4 「青い瞳」の発色の再現モデル実験の様子



図5 レイリー散乱による「青い瞳」の青色の発色の様子

(5) 時間の経過と共に硫黄ゾルの生成反応が進むので、実験開始直後にレイリー散乱が生じ、その後のミー散乱によって反応溶液は白濁する(図3)。

(6) しばらく(水温が20℃で5分間程度)放置し、小型水槽内で起こる水溶液の発色の変化を観察して記録する(図4-5)。

(7) プロジェクター等に映し出される映像の様子を観察して記録した後、教室の照明を点灯し魚観察用小型水槽内で起こる水溶液の発色の変化を観察して記録する。

(8) 振り返りでは、ICT機器を活用したことによる教育効果について各自で考えてノートに記入し、自分の意見を出し合ってクラス内で考えの共有を行う。

Ⅲ. 授業実践とアンケート調査の方法及び結果

「青い瞳」の発色の再現モデル実験における発色の原理を理解することとICT機器の教育効果を検証するために、ICT機器を活用したヒトの遺伝に関する教育の教材開発を行って、某大学にて教職課程を履修し小学校教諭免許状の取得を目指している学生を対象として授業実践とアンケート調査を行った。

個人情報保護委員会のガイドライン(通則編)¹²⁾に基づき個人情報を伴わないように配慮してアンケート調査を行った。調査対象者に対して、調査目的や方法と調査結果の論文発表等への活用方法を説明し、授業とは無関係な自由意志による参加で無記名での記述や著名性が守られる提出方法を伝えて倫理的な配慮を行った。また、研究データの取り扱いについては、符号化したデータを用いて統計的な処理を行った。

1. 授業実践

授業の展開は表2の『「青い瞳」の発色の再現モデル実験-青い瞳はなぜ青いのか?』の学習指導案(本時の展開)に従って行った。また、授業実践では演示実験プリント『「青い瞳」の発色の再現モデル実験(-教員養成課程におけるICT機器を活用したヒトの遺伝教育-)』(図6)を配布して行った。

表2 「青い瞳」の発色の再現モデル実験の学習指導案

主題 「青い瞳」の発色の再現モデル実験-青い瞳はなぜ青いのか?-

本時の目標

- 1) 「青い瞳」はなぜ青いのか?その理由を自分の言葉で説明できる。
- 2) 授業を振り返り、ICTの活用による教育効果とその理由を自分の言葉で表現できる。

本時の展開

時	学習内容・学習活動(学習形態等を含んでもよい)	指導上の留意点(評価を含む)
導入 (5分)	1. 本日の授業内容や目標の説明 ・本日の演示実験の目標を理解し、「光の散乱」についての理論的な知識を模式図で復習する。	・本日の実験の目標を伝える。 ・虹の静止画や光の3原色の画像を示す。
	復習: 光の散乱は何が原因で生じるのだろうか? → (予想される生徒の反応) ・主題、実験の目標、課題を記入する。 ・太陽光って何色?や光の色と波長の関係や光散乱と波長の関係を図説により確認し、復習内容をノートに記述する。	⇒ 光路上の微粒子の存在! ・プリズムによる太陽光の分光や光散乱し易さと波長との関係について図を用いて説明する。 ・パワーポイントで留意点を説明する。

展開1 (20分)	2. 課題(発問)『青い瞳はなぜ青いのか?』この自然現象の発色の原理を ICT 機器で検索したり、話し合ったりして各自が考えた予想を記入する。	・自然現象の原理を ICT 機器で調べて予測するよう指示する。 (予想は発表し、クラスで知識の共有を行う。)																				
	<div>発問1:『青い瞳はなぜ青いのか?』</div> <div>青い瞳の発色の原理は何か⇒ICT 機器で検索し各自の予想を記入する!</div>																					
	3.『青い瞳』の発色の再現モデル実験(教員養成課程における ICT 機器を活用したヒトの遺伝教育-)で実験操作の意義を確認する。 ・実験プリント(別冊)で実験の方法を確認しながら実験の手順の説明を聞き理解する。 (予想される生徒の反応) ・演示実験を観察し、実験プリントで実験方法や魚観察用小型水槽内の化学反応の意味を確認する。 ・実験プリントの化学反応式に下線を引く。 <div>$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3+2\text{HCl}\rightarrow 2\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}+\text{SO}_2\uparrow+\text{S}\downarrow$</div> ・下表で光の散乱をまとめてノートに記入して理解する。 <table><tr><th></th><th>レイリー散乱</th><th>ミー散乱</th></tr><tr><td>粒子の直径</td><td>0.1ミクロン (1mの100万分の1)未満</td><td>0.1ミクロン以上</td></tr><tr><td>散乱波長</td><td>青い光が散乱する(青色は赤色光の5倍散乱する)</td><td>色の違いに関係なく可視光が全て散乱する</td></tr><tr><td>水溶液の色</td><td>青</td><td>白</td></tr><tr><td>具体例:反射光(たばこの煙)</td><td>タバコの葉から直接立ち上がるタバコの煙の粒子</td><td>肺に吸い込み水蒸気を附着したタバコの煙の粒子</td></tr><tr><td>空の色(大気中の粒子量)</td><td>空の青色(散乱光)</td><td>夕焼けの橙色(透過光)</td></tr><tr><td>瞳(虹彩)の色(メラニン色素量)</td><td>青色の瞳(メラニンが少量)</td><td>—</td></tr></table> (予想される生徒の反応) 『(レイリー)散乱の例:たばこの煙、青色の瞳、青空、星雲』『(ミー)散乱の例:たばこの吸った後の煙、雲』をノートに記入する。		レイリー散乱	ミー散乱	粒子の直径	0.1ミクロン (1mの100万分の1)未満	0.1ミクロン以上	散乱波長	青い光が散乱する(青色は赤色光の5倍散乱する)	色の違いに関係なく可視光が全て散乱する	水溶液の色	青	白	具体例:反射光(たばこの煙)	タバコの葉から直接立ち上がるタバコの煙の粒子	肺に吸い込み水蒸気を附着したタバコの煙の粒子	空の色(大気中の粒子量)	空の青色(散乱光)	夕焼けの橙色(透過光)	瞳(虹彩)の色(メラニン色素量)	青色の瞳(メラニンが少量)	—
	レイリー散乱	ミー散乱																				
粒子の直径	0.1ミクロン (1mの100万分の1)未満	0.1ミクロン以上																				
散乱波長	青い光が散乱する(青色は赤色光の5倍散乱する)	色の違いに関係なく可視光が全て散乱する																				
水溶液の色	青	白																				
具体例:反射光(たばこの煙)	タバコの葉から直接立ち上がるタバコの煙の粒子	肺に吸い込み水蒸気を附着したタバコの煙の粒子																				
空の色(大気中の粒子量)	空の青色(散乱光)	夕焼けの橙色(透過光)																				
瞳(虹彩)の色(メラニン色素量)	青色の瞳(メラニンが少量)	—																				
展開2 (15分)	<div>注意喚起:青い瞳の自然現象の再現光の観察を肉眼とICT 機器とで比較する!</div> <div>肉眼とICT 機器との違いは何かを体験する⇒再現時間は15分を目安とする。</div> <div>・水温が28℃で5分間程度観察し、魚観察用小型水槽で起こる変化を観察して記録する。 ・同時に、プロジェクター等に映し出される映像の様子を観察して記録する。 (予想される生徒の反応) 『青い瞳はなぜ青いのか?』について、瞳が青色に発色する原因となる瞳のメラニンの微粒子の大きさと太陽光の散乱についての関係を考える。</div>		・初等教育では青色の散乱(中等教育ではレイリー散乱)を確認させる。 ・初等教育では太陽光の散乱(中等教育ではミー散乱)による白色光を確認させる。																			
	<div>実験開始:瞳が青色に発色する原理を実体験する⇒</div> <div>・教室の照明を点灯し、魚観察用小型水槽の水溶液の色を観察して記録する。</div>		光の散乱を視覚化する。																			
まとめ (10分)	<div>発問2:『青い瞳はなぜ青いのか?』</div> <div>自然現象の発色の原理は何か⇒自然現象の理由を自分の言葉でまとめる。</div>																					
	5. 実験・観察結果のまとめを行い、実験観察内容を振り返る。 (予想される生徒の反応) ・『青い瞳はなぜ青いのか?』人体のこの現象の発色の理由をノートに自分の言葉でまとめて書く。 6. 考察(振り返り) 本日の授業を振り返り、ICT を活用したことによる教育効果を自分の言葉でまとめて記入する。	・発展課題への取り組みで、主体的な学びを評価する。 ・青い瞳の青色の再現光の観察を肉眼とICT 機器とで比較することにより、ICT 機器の利活用の電子素子の精度の有効性を体験し、理科の実験・観察の適正な環境を考察する。																				

「青い瞳」の発色の再現モデル実験 (演示実験プリント)

(教員養成課程における ICT 機器を活用したヒトの遺伝教育-)

学籍番号 _____ 氏名 _____
実験日: _____ 年 月 日 ()

I. 目的 : 「青い瞳はなぜ青いのか?」について、「青い瞳」の発色の再現モデル実験の観察と検証を行い、理論的な知識を取得すること。また、実験を観察して瞳の青色の発色の原理を自分の言葉で説明できること。

II. 準備物
ICT 機器 : iPad や iPhone, Apple TV や HDMI ケーブル、プロジェクターなど
器具 : 魚観察用小型水槽 (OGK:21×17×5cm)、懐中電灯、駒込ビペット、ガラス棒
薬品 : チオ硫酸ナトリウム、希塩酸

III. 実験方法 :
(1) 1500 mL の水を入れた魚観察用小型水槽にチオ硫酸ナトリウムの飽和水溶液をメスフラスコで 20 mL 加えて良くかき混ぜる。
(2) 太陽光を代替する白色の懐中電灯をヒトの眼球の瞳を代替する魚観察用小型水槽内の水溶液に向けて、青い瞳の発色モデル実験器具を配置する。(図1)
(3) ICT 機器を用いて実験経過を後方の席からでも観察できるように、iPad 等のカメラを青い瞳の発色モデル実験の様子を捉える位置に設置して撮影・録画を行い、プロジェクター等に接続して実験経過の画像を拡大表示する(図2)。
(4) 魚観察用小型水槽の水溶液に 1N の塩酸を駒込ビペットで 3 mL 加え、ガラス棒で静かにかき混ぜ、素早く魚観察用小型水槽のフタを締めて教室の照明を消す。
魚観察用小型水槽内では、チオ硫酸ナトリウム水溶液と希塩酸による硫黄ゾルの生成反応が次の化学反応式で表される反応で始まる。
$$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \uparrow + \text{S} \downarrow$$

(5) 時間の経過と共に硫黄ゾルの生成反応が進むので、実験開始直後にレイリー散乱が生じ、その後のミー散乱によって反応溶液は白濁する(図3)。
(6) しばらく(水温が 20℃で 5 分間程度)放置し、小型水槽内で起こる水溶液の色の変化を観察して記録する。
(7) プロジェクター等に映し出される映像の様子を観察して記録した後、教室の照明を点灯し魚観察用小型水槽内で起こる水溶液の色の変化を観察して記録する。
(8) 振り返りでは ICT 機器について各自の考えの共有を行う。

図3 レイリー散乱とミー散乱
実験・観察結果のまとめ:
『青い瞳はなぜ青いのか?』この自然現象の発色の理由を自分の言葉でまとめてください。
考察(振り返り):
本日の授業を振り返り、ICT 機器を活用したことによる教育効果を自分の言葉でまとめてください。




図1 モデル実験器具と ICT 機器の配置




図2 ICT 機器を用いて実験経過の拡大表示

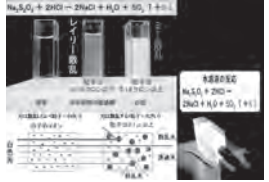


図3 レイリー散乱とミー散乱

図 6 「青い瞳」の発色の再現モデル実験のプリント

2. アンケート調査の方法及び結果と考察

アンケート調査は某大学にて教育学部の学生に対して2023年 6 月23日と24日に実施した結果、白紙や途中解答のデータを取り除き、欠損等のない回答は 2 年生を主体とする参加者の54名から得られた。回答者の全員が平成 21 年度告示の高等学校学習指導要領による教育を高等学校で受けてきた学生である。

授業では筆者が「青い瞳」の発色の再現モデル実験の演示実験を行い、授業実践についてアンケート調査を実施した。以下にアンケート調査の結果を記述する。

Q 1 : 『現在人の出アフリカ時のルート』の予想について
学生には、ミトコンドリアDNA 解析による研究由来のアフリカ単一起源説について図 7 を用いた説明後、10万年前の出アフリカ時の初期に現在人が選択した移動先のルートについて学生の予想を調査した。

その結果、半数以上の28名の予想がヨーロッパへのルートであり、次にユーラシア方面、赤道方面へという選択となった(表 3)。しかし、各地から出土した古い人骨の年代測定の結果は学生の予想とは逆のルートで現在人が世界中に伝播していったことを示唆している。

アフリカから出始めた最初の頃は、気候が温暖でフルーツや魚介が豊富な赤道付近に移動したことが古い人骨の年代調査で確認されている。しかし、ヒトが多くなると生物として弱い集団は北の中央アジアへと追いやられる。その土地は、農作物の栽培が可能な肥沃な土地があった。そこも人口が増えると集団の圧力で生物として

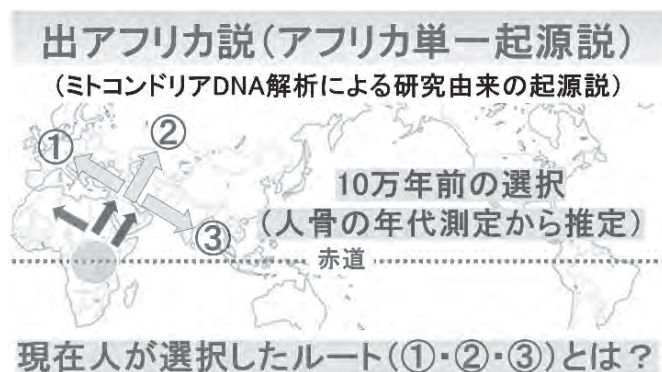


図7 現在人が選択した出アフリカ時のルートの予想

表3 現在人の出アフリカ時のルート予想の結果

Q1:『現在人の出アフリカ時のルート』の予想	ルート	ヨーロッパ	ユーラシア	赤道
	授業前	28 (52%)	15 (28%)	11 (20%)

弱い集団はさらに北の岩盤が多く、当時は非常に寒いヨーロッパに追いやられ、のちにそこでは羊やヤギなどの家畜を育てた。さらに、自然条件の悪い環境で生きていくために、自然を観察し実験して解き明かし、自然をコントロールする必要性からヨーロッパで科学が発達した。

当時は氷河期の終盤で、現在とは自然環境が大きく異なっており、ヨーロッパなど北方の土地は広大な氷河が存在する寒い地域であった。生命・地球領域に関する視点では当時の地球環境の状況に想像を働かせないで現代の価値観を用いて予想すると思考や判断を大きく誤ることになる。

引き続いての質問は以下のQ2～Q7である。また、その結果が表4である。

Q2:『大画面は理解に役立った』

Q3:『ミトコンドリアDNAは母親からのみ受け継ぐことを知っていますか?』

Q4:『Y染色体は男親から男子にのみ受け継ぐことを知っていますか?』

Q5:『人類が黒人や白人になる理由を知っていますか?』

Q6:『青い瞳の発色を引き起こす物質を知っていますか?』

Q7:『青い瞳の青色発色の原理を知っていますか?』

表4 Q2～Q7のアンケート調査の結果

質問事項	時期	①(NO)	②(YES)
Q2:『大画面は理解に役立った』	授業後	0 (0%)	54 (100%)
Q3:『ミトコンドリアDNAは母親からのみ受け継ぐことを知っていましたか?』	授業前	43 (80%)	11 (20%)
	授業後	12 (22%)	42 (78%)
Q4:『Y染色体は男親から男子にのみ受け継ぐことを知っていますか?』	授業前	44 (81%)	10 (19%)
	授業後	11 (20%)	43 (80%)
Q5:『人類が黒人や白人になる理由を知っていますか?』	授業前	43 (80%)	11 (20%)
	授業後	8 (15%)	48 (85%)
Q6:『青い瞳の発色を引き起こす物質を知っていますか?』	授業前	37 (69%)	17 (31%)
	授業後	7 (13%)	47 (87%)
Q7:『青い瞳の青色発色の原理を知っていますか?』	授業前	50 (93%)	4 (7%)
	授業後	4 (7%)	50 (93%)

Q2:『大画面は理解に役立った』のアンケート結果より、ICT機器を用いて実験経過の拡大表示(図2)は実験経過の観察時に54名全員が役立ったと回答した。特に、「青い瞳」の発色の再現モデル実験のようにコンパクトな実験セットで演示実験を行う場合(図1)、ICT機器による拡大表示は最も有効な教育効果が期待できる機能の1つであるといえる。

Q3:『ミトコンドリアDNAは母親からのみ受け継ぐことを知っていますか?』のアンケート結果より、43名(80%)の学生が知らなかった。ヒトの子どものミトコンドリア環状DNA(塩基数は16569個で37の遺伝子が含まれている)は母親からのみ引き継ぐ理由として、受精の時に父親のミトコンドリアは受精卵の中で消滅することの説明を行った。また、ミトコンドリアDNAを読み解いていくと、アフリカの女性にたどり付き、われわれ人類(ホモ・サピエンス)はアフリカを起源としていることが(ミトコンドリアDNAからのアフリカ単一起源説)分かったことの科学的な解説を行った。授業後のアンケートではミトコンドリアDNAは母親からのみ受け継ぐ事実が42名(78%)の学生の知識となった。

Q4:『Y染色体は男親から男子にのみ受け継ぐことを知っていますか?』のアンケート結果では、44名(81%)の学生が知らなかった。図8を用いてY染色体とミトコンドリアDNAの遺伝の特性の説明を行った。また、Y染色体の研究事例として、約5000人のアジア人男子のY染色体DNA(5100万の塩基対)を追うと、主に11人の男性に収束した研究を紹介した。その筆頭でチンギスハンと推測されているY染色体は1600万人のアジア男性に引き継がれているとするオンライン版「Nature」に掲載された論文(2015年マーク・ジョブリング、パトリシア・バラレスク)の内容を取り上げて解説を行った。ただし、チンギスハンの埋葬地(皇帝16人含む)は現在も不明であり、彼自身のDNA調査が出来るまで断定は難しい状況であることも説明した。授業後のアンケート結果ではY染色体は男親から男子にのみ受け継ぐ事実が43名(80%)の学生の知識となった。

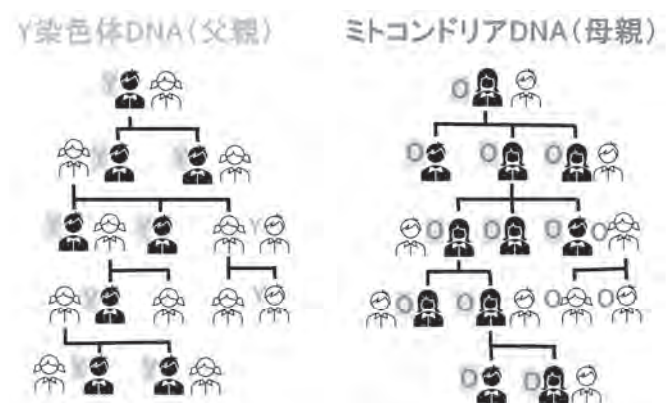


図8 Y染色体DNAとミトコンドリアDNAの遺伝の特性

Q5:『人類が黒人や白人になる理由を知っていますか?』についてのアンケート結果では、授業前は43名(80%)の学生がその理由を知らなかった。ヒトの体内には「メラニン」と呼ぶ色素の物質があり、太陽からの紫外線を防御する働きをすること。また、アフリカで誕生した最初の人類は褐色の肌と褐色の瞳の色であった。

しかし、太陽と地球上の住んでいる地域との位置関係で生じる生活環境にヒトが適応したため、肌の色が変化したことの説明を行った。

例えば、太陽光が少ない北欧に住む人々の集団の体内のメラニンは次第に減少して褐色の肌が数万年の年月を経てメラニンを必要としない環境下で白い肌に変化していった。同様に、瞳の色もメラニンの濃淡で決まる。また、乾燥した冷たい冷気を大きく高い鼻で湿気を与え温めてから体内の肺に送り込んで呼吸するための機能として鼻が高くなったことや金髪や白髪や赤毛になったのも少ない太陽光の下、髪を黒くするメラニンが少なくなった結果であることを授業で説明した。一方、ユーラシア大陸方面の中央アジアから東に移動した人々の集団は人類誕生時のままの褐色の肌と褐色の瞳の色で居住地の環境に適合した。最後に、インド方面からオーストラリアまで拡散した人々はその後環境が熱帯地になったため、メラニンが増えて肌の色が黒く変化した。特に、アフリカに残った人々の集団は多量の太陽の紫外線を防ぐためにメラニンが大量に増えて黒い肌となった。体内の熱を効率よく放出するために鼻は低くて横に広がって穴が大きくなった。髪は多量のメラニンで黒くなり、太陽の直射光が地肌当たらないように髪はちぢれて風通しが良くなった。

このように生活する地域の環境に適応することで肌色や顔形や髪の色が変化したことを説明した。これらの内容は、授業後には48名（85％）の学生の知識となったことがアンケート結果より分かった。

Q 6 :『青い瞳の発色を引き起こす物質を知っていますか?』についてのアンケート結果では、授業前は37名（69％）の学生に知識は無かった。「青い瞳」の発色の原因物質のメラニンについての説明や瞳の色もメラニンの濃淡で決まることの説明を行った。授業後のアンケート結果ではメラニンと呼ぶ色素が青い瞳の発色を引き起こす物質であることが47名（87％）の学生の知識となった。

Q 7 :『青い瞳の青色発色の原理を知っていますか?』についてのアンケート結果では、授業前は50名（93％）の学生が青色発色の原理を知らなかった。授業では「青い瞳」の発色の再現モデル実験で青色光のレイリー散乱の説明と観察を行った。授業後のアンケート結果では50名（93％）の学生の知る知識となった。

続いての問いは、授業前後の自然現象についての知識や認識についての内容であり、授業前（ ）・授業後（ ）に次の番号（①～④）から1つ選んで記入する回答方法である。

- ①：説明できない（無い）。 （理解度 0～29％）
- ②：あまり説明できない（無い）。 （理解度 30～49％）
- ③：ほぼ説明できる（有る）。 （理解度 50～69％）
- ④：理解できる（有る）。 （理解度 70～100％）

選択肢には各自が想像する理解の程度を数値化し、4段階のスケールの何処に当てはまるかを選ぶようにすることで回答を選択し易くして精度を高める効果を期待した。

アンケート調査での質問は以下の通りである。また、その結果が表 5 である。

Q 8 :『講義は面白かったか。』

Q 9 :『人類はアフリカを出て赤道方面に最初に移動していったのか?』の理由を自分の言葉で説明できますか。

Q10 :『人類はなぜ黒人・黄色人・白人になるのか?』の理由を説明できますか。

Q11 :『青い瞳はなぜ青いのか?』の理由を説明できますか。

Q12 :『青い瞳はなぜ青いのか?』の理由となる知識の価値について。

先ず、Q 8 :『講義は面白かったか。』はアンケート結果より、「面白かった（44％）。」または「少し面白かった（49％）。」と答えた。このことから、「青い瞳」の発色の再現モデル実験は学生にとって興味・関心の高い教材であったことが分かった。

Q 9 :『人類はアフリカを出て赤道方面に最初に移動していったのか?』の理由を自分の言葉で説明できますか。

授業前は①と②の合計が100％で誰も答えられなかった。それまでの地球は氷河期で当時のアフリカは温暖であり、ヒトは30万年～15万年をアフリカで過ごした。しかし、氷河期も終わりに近づく地球の温暖化が進みアフリカは熱帯に変わりつつあった。ヒトは10万年前頃からアラビア経由で北部へ移動してアフリカを脱出し始め、時間をかけて世界に拡散したことを説明した。授業後のアンケート結果では、③と④の合計で53％の学生が理由を説明できるようになったと答えた。

表 5 Q 8 ～ Q12のアンケート調査の結果

質問事項	時期	①	②	③	④
Q8:『講義は面白かったか?』	授業後	0(0%)	4(7%)	26(49%)	24(44%)
Q9:『人類はアフリカを出て赤道方面...のか?』を説明できますか。	授業前	47(87%)	7(13%)	0(0%)	0(0%)
	授業後	10(19%)	15(28%)	18(34%)	10(19%)
Q10:『人類はなぜ黒人・黄色人・白人になるのか?』の理由を説明できますか。	授業前	44(81%)	8(15%)	2(4%)	0(0%)
	授業後	6(11%)	11(22%)	29(56%)	6(11%)
Q11:『青い眼はなぜ青いのか?』の理由を説明できますか。	授業前	41(79%)	8(15%)	2(4%)	3(6%)
	授業後	5(9%)	17(32%)	23(44%)	8(15%)
Q12:『青い眼はなぜ青いのか?』理由の知識の価値について。	授業前	33(63%)	10(19%)	9(17%)	2(4%)
	授業後	5(9%)	17(32%)	23(44%)	8(15%)

Q10 :『人類はなぜ黒人・黄色人・白人になるのか?』の理由を自分の言葉で説明できますか。とQ11 :『青い瞳はなぜ青いのか?』の理由を説明できますかのアンケート結果では、授業前の③と④の合計がQ10は4％であり、Q11は10％であった。教員養成課程の学生が日常的に知っている人体についての特徴的な現象の理由を説明できないことが明らかとなった。授業後の③と④の合計がQ10は67％であり、Q11は59％で半数以上の学生が言葉で表現できると答えた。Q 5・Q 7で知識としてインプットすることとQ10・Q11で知識を表現力によってアウトプットすることの能力の差異が明らかになった。

Q12 :『青い瞳はなぜ青いのか?』理由の知識の価値についての

アンケート結果より、Q12では授業前に21%の学生が理由を知っていることの知識に価値があると回答している。しかし、Q11で授業前に青い瞳はなぜ青いのか?の理由を知っている学生は10%であった。つまり、青い瞳はなぜ青いのか?を説明できないがその知識に価値があると11%の学生が認識していることが明らかになった。また、授業後のアンケート結果はQ11とQ12の①～④の各回答の数値が同じ値となった。説明できる理解の程度と知識に価値があると感じる程度の間に相関関係があるのかもしれない。

IV. まとめと今後の課題

1. 教員養成課程におけるICT機器を活用したヒトの遺伝に関する教育とその教育効果について

Q3～Q7とQ9～Q12との各問について、授業前と授業後のアンケート結果を用いて、t検定を行い分析した結果、『青い瞳はなぜ青いのか?』この自然現象の発色の理由を自分の言葉で説明するために必要な知識と理解は授業前よりも授業後の方が有意に高いことがQ3～Q7とQ9～Q12との全t検定について認められた($df=53$, $p<.01$) (表6)。これらの事から、本研究で開発した「青い瞳」の発色の再現モデル実験教材を用いたヒトの遺伝に関する教育では知識の習得面で高い教育効果が確かめられた。特に、Q3～Q7のアンケート調査結果では約80～90%の学生がヒトの遺伝に関する教育についての知識が増したと答えている。

表6 Q3～Q7, Q9～Q12のアンケート調査のt検定の結果

	選択番号の平均(標準偏差) [n=54]		t値
	授業前	授業後	
Q3	1.20 (0.40)	1.80 (0.40)	8.78 **
Q4	1.20 (0.40)	1.81 (0.39)	9.13 **
Q5	1.15 (0.36)	1.80 (0.40)	9.88 **
Q6	1.13 (0.34)	1.69 (0.46)	8.14 **
Q7	1.07 (0.26)	1.93 (0.26)	17.46 **
Q9	1.13 (0.34)	2.54 (0.99)	12.05 **
Q10	1.22 (0.50)	2.69 (0.81)	15.52 **
Q11	1.39 (0.80)	2.63 (0.85)	13.05 **
Q12	1.63 (0.89)	2.65 (0.84)	11.90 **

** $p<.01$

知識のインプットにICT機器による実験過程の拡大表示や録画による再確認での使用効果が有効であったことは、Q2:『大画面は理解に役立った』のアンケート結果より明らかになった。特に、「青い瞳」の発色の再現モデル実験のようにマイクロスケール化された実験セットによる演示実験を行う場合、ICT機器を活用することで肉眼では見づらい細かな部分や微妙な色の変化が確認しやすくなり、刺激臭のある気体等が発生するために個別実験が困難な実験は、安全性を確保してリアルな観察が可能となる教育効果が明らかになった。

2. 今後の課題について

今回のICT機器の使用目的の1つには、「青い瞳がなぜ青いのか?」の自然現象について、なぜ青色発色の現象が生じているのかをICT機器の検索機能を用いて予想させる過程で思考・判断・表現力を育成することでもあった。Q9～Q11の結果では、自分の言葉

で説明する表現力が「有る」或いは「ほぼ有る」と答えた学生は53～67%であり、授業後の個々の学生の知識力や表現力は高まった。しかし、受講者全体の表現力については本時の目標が講座全体に対しておおむね達成されたとまでは言い難い結果であった。

知識力の伸び率と知識を言葉にする表現力の伸び率との間に生じた差異についての問題を解決する方策として、今後インプットした知識を自分の言葉でアウトプットする表現力の効果的な育成を目的としたICT機器の利活用法について引き続き検討する必要がある。

V. 謝辞・附記

本研究は、JSPS科研費(基盤研究(C), JP23K02353, 代表者畑宗平)の助成を受けたものである。

VI. 註釈と参考文献

- 1) 文部科学省『高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説理科編 理数編』, 実教出版(2019)
- 2) 文部科学省『中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編』, 学校図書(2018)
- 3) 文部科学省『小学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編』, 東洋館出版社(2018)
- 4) 嶋田正和(2023), 学習指導要領改訂で変わる高校生物:「生物の進化」編, 日本生態学会誌 73, pp. 23-27.
- 5) 木村緑, 佐々木元子, 三宅秀彦(2021), 中学校・高等学校における「ヒトの遺伝」教育の実施に関する研究, 生物教育 63 (1), pp.2-9.
- 6) 木村亮介(2019), 東アジアにおけるヒトの遺伝適応の痕跡を求めて, 日本生理人類学会誌 24 (2), pp.87-91.
- 7) 中山一大(2018), 遺伝と適応, 日本生理人類学会誌 23 (4), pp.189-191.
- 8) 中山一大(2015), 「生物基礎」と「生物」で理解するヒトの遺伝と進化, Anthropological Science (Japanese Series) 123 (1), pp.67-73.
- 9) 畑宗平(2017), 理科教育におけるiPad等のICT機器の利用方法とその効果 – 夕焼けの再現モデル実験 –, 『日本化学会近畿支部化学教育協議会第19回近畿地区化学教育研究発表会発表原稿集』, pp.1-2.
- 10) ウォルター・ルーウィン(2012), 「これが物理学だ!」, 東江一紀 訳, 株式会社文藝春秋, pp.24-26.
- 11) 2013年1月26日にNHK・Eテレで<MIT白熱教室> シリーズ第4回「空はなぜ青く、夕焼けはなぜ赤いのか?」で放送された実験。
- 12) 個人情報保護委員会の個人情報の保護に関する法律についてのガイドライン(平成28年個人情報保護委員会告示第6号)(通則編)