

中学校理科におけるパフォーマンス課題と効果的な指導法

－ 第2分野「生命の連続性」における授業実践を通して －

井 上 純 一

本研究では、生徒の「思考・判断・表現」を適切に評価することを志向した「パフォーマンス課題」を開発し、生徒の思考力・判断力・表現力を育むための実践を行っている。今年度は、生徒の学びの質や深まりを重視した適切な課題とルーブリック（評価指標）の作成に取り組むとともに、課題に取り組む探究活動や課題を見通した単元の授業においてアクティブラーニング型授業の技法を取り入れ、「認知プロセスの外化」を伴う活動への関与と経験により、生徒個人の理解や思考が深化するかどうかを検証した。中学校理科第2分野「生命の連続性」における実践を通して、生徒が課題の内容とルーブリックをよりよく理解し、実験で得られた科学的な根拠と既存の知識や概念を結びつけて思考できていること、「認知プロセスの外化」を伴う活動への関与と経験が、個人の理解や思考の深化に効果的に作用していることが明らかになった。

1. はじめに

(1) パフォーマンス課題を取り入れた探究活動

昨年度、高等学校「生物」において、生徒の「思考・判断・表現」を適切に評価することを志向した「パフォーマンス課題」を取り入れた探究活動を実施し、その有効性について検討した¹⁾。単元「動物の反応と行動」の探究活動として、生徒に、パフォーマンス課題「物体落下時に、魚類の逃避運動はどのような過程で生じているのか」を提示し、ゼブラフィッシュを用いた逃避運動の実験と、成果物としての報告書作成に取り組ませた。また、事前に設定したルーブリック（評価指標）にもとづき、生徒個々の報告書を評価した。実践および事後調査の結果から、次の3点が明らかになった。

- ① ゼブラフィッシュを用いた実験教材は、生徒の「思考・判断・表現」を適切に評価できるパフォーマンス課題として有効である。
- ② パフォーマンス課題の経験によって、生徒の学習意欲の向上が期待できるだけでなく、生徒が科学的根拠を得るために必要となる科学の方法を認識することで、科学的に探究する能力の向上が期待できる。
- ③ 単元あるいは年間の学習活動を通して、生徒の思考力・判断力・表現力がどのように変容し、育まれているかを見るためには、「基礎的な知識・技能の習得」→「パフォーマンス課題」のサイク

ルを継続して行う必要がある。

(2) 次期学習指導要領改訂に向けた動向

平成26年11月の中央教育審議会（諮問）「初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について」においては、新しい時代に必要となる資質・能力の育成に関して、「基礎的な知識・技能を習得するとともに、実社会や実生活の中でそれらを活用しながら、自ら課題を発見し、その解決に向けて主体的・協働的に探究し、学びの成果等を表現し、更に実践に生かしていけるようにする」²⁾ことが重要とされている。また、そのために「『どのように学ぶか』（学びの質や深まり）を重視することが必要であり、課題の発見と解決に向けて主体的・協働的に学ぶ学習（『アクティブ・ラーニング』）や、そのための指導の方法等を充実させていく必要がある」³⁾こと、「学びの成果として『どのような力が身に付いたか』に関する学習評価の在り方についても、改善を図る必要がある」⁴⁾ことが明示されている。

(3) 新たな研究の視点

上記(1)、(2)のことから、パフォーマンス課題の実施にあたっては、適切な課題やルーブリックの設定、有効な教材の開発とともに、「課題の発見と解決に向けて主体的・協働的に学ぶ学習」を重視した適切な指導計画・指導方法の検討が重要であるといえる。パフォーマンス課題の作成においては、「逆向き設計」論を用いることが有効であるとされており、その要素である①求められている結果（目

標)、②承認できる証拠(評価方法)、③学習経験と指導(指導の進め方)を三位一体のものとして計画することが提唱されている⁵⁾。つまり、③にアクティブラーニング型授業の技法を導入することで、パフォーマンス課題に取り組む生徒の学びの質そのものを深化させることができ、ひいては生徒の思考力・判断力・表現力の育成に効果的に作用するのではないかと考えている。

2. 研究の目的と方法

(1) 研究の目的

上記の視点にもとづき、今年度の研究では、以下の2点を目的とした。

- ① 単元の学習内容を総合的に活用して課題解決を行うパフォーマンス課題を開発し、教材としての有効性を検証する。
- ② パフォーマンス課題の作成にあたって、アクティブラーニング型授業の技法を導入し、生徒の理解や思考に対する効果を検証する。

(2) 研究の方法

今年度は、本校中学校3年生3学級(計114名)を対象として、理科第2分野での実践を行った。本校中学校3年生の第2分野は、第1学期に単元「地球と宇宙」、第2学期に単元「生命の連続性」を学習する。今年度はまず、第1学期に単元「地球と宇宙」で実施したパフォーマンス課題の結果をもとに、「思考・判断・表現」における生徒の課題を抽出した。次に、第2学期では、単元「生命の連続性」の学習においてアクティブラーニング型授業の技法を取り入れ、パフォーマンス課題の結果をもとに、生徒の変容について検証した。いずれのパフォーマンス課題においても事後調査を実施し、ルーブリックに対する生徒の自己評価と自由記述による振り返りを行わせた。また、ルーブリックにもとづく教師の評価と生徒の自己評価の関係についても分析を行った。

3. パフォーマンス課題について

(1) パフォーマンス課題とは

パフォーマンス課題は、「リアルな文脈(あるいはシミュレーションの文脈)において、知識やスキルを総合して使いこなすことを求めるような課題である。そこでは、レポートや絵画などの完成作品(products)や、スピーチや実験のプロセスといった実演(狭義の performance)が評価される。」⁶⁾と定義されている。つまり、「思考力・判断力・表

現力」を評価するために用いられるものである。なお、パフォーマンス課題とは別に「パフォーマンス評価」というものがある。これら2つは同一ではなく、「パフォーマンス評価にはパフォーマンス課題が1ないし複数含まれる。それだけでなく、パフォーマンス評価にはパフォーマンス課題以外のもの、例えばワークシート、子どもの学習活動の観察、面接、筆記テストなどが含まれる。これら全体をパフォーマンス評価という。」⁷⁾とされている。

(2) 「逆向き設計」論

上述したように、パフォーマンス課題の作成においては、「逆向き設計」論を用いることが有効であるとされている。この「逆向き設計」論に従うと、パフォーマンス課題は、①単元の中核部分に見当をつける、②「本質的な問い」を設定する、③「永続的理解(個々の知識やスキルが関連づけられ総合される)」を明文化する、④パフォーマンス課題のシナリオを考える⁸⁾、という手順で作成される。これにより、パフォーマンス課題において、どのような評価規準・基準を設定すればよいのか、生徒が基準に到達するために、どんな知識・技能を、どのように用いる必要があるのかが明確になると考えられる。また、生徒が適切な文脈に必要な知識・技能を活用できるように、どのような指導計画が適切なのかも容易に判断できるようになると考えられる。

4. アクティブラーニングについて

(1) アクティブラーニングの定義

「アクティブラーニング」については、日本や米国で様々な研究者により様々な定義がなされている。溝上(2014)は、教授パラダイムから学習パラダイムへのパラダイム転換を図るものとして、その定義を「一方的な知識伝達型講義を聴くという(受動的)学習を乗り越える意味での、あらゆる能動的な学習のこと。能動的な学習には、書く・話す・発表などの活動への関与と、そこで生じる認知プロセスの外化を伴う。」⁹⁾としている。認知プロセスの外化とは、「ある学習内容についての自分の理解や考えを、書く・話す・発表などの活動を通して外化すること」¹⁰⁾として、「活動への関与」と「認知プロセスの外化」の協奏を強調している。また、アクティブラーニングの推進は、これからの知識基盤社会において「社会への変化の対応として、認知機能の育成、すなわち技能・態度(能力)の育成という課題も込められている。」¹¹⁾としている。

一方、平成24年8月の中央教育審議会答申「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて-

生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ」では、その用語集において「アクティブ・ラーニング」の定義と説明を「教員による一方的な講義形式の授業とは異なり、学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授・学習法の総称。学修者が能動的に学修することによって、認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成を図る。発見学習、問題解決学習、体験学習、調査学習などが含まれるが、教室内でのグループ・ディスカッション、ディベート、グループワーク等によっても取り入れられる。」¹²⁾としている。

(2) アクティブラーニング型授業の技法

溝上(2014)は、アクティブラーニング型授業の技法と戦略を整理しており、学習形態、ポジショニング概念、主導形態などにより、4段階に分けている¹³⁾。そして、アクティブラーニング型授業を発展させるためには、教員主導型・講義中心型(ディスカッション、プレゼンテーション、体験学習など)から学生主導型の能動的学習(協同・協調学習、調べ学習、ディベート、発見学習など)への移行が必要不可欠である¹⁴⁾としている。

本校理科では、中学校・高等学校の授業において、ジョンソンら(1984, 1998)による「協同学習」¹⁵⁾や、三宅ら(2003)によるジグソー法などの「協調学習」¹⁶⁾を取り入れており、これらは上述したように、高次レベルのアクティブラーニング型授業の技法に含まれている。しかしながら、これらは目的ではなく技法であり、本来の目的は、生徒の学びの質を深化させることである。この点について溝上(2014)は、学習形態としての「アクティブラーニング」と、学習の内容を重視し、概念を既有知識や経験と関連付けることにより、学習への深いアプローチを導く「ディープラーニング」の重なりがより大きくなる「ディープ・アクティブラーニング」を目指すべきとしている¹⁷⁾。従って、本研究では、改めて、「逆向き設計」論にもとづいて、質の高いパフォーマンス課題を作成することが重要であると考えている。

5. パフォーマンス課題の実践 (1)

(1) 課題の概要とループリック

第1学期では、単元「地球と宇宙」においてパフォーマンス課題を実施した。この単元では、太陽・恒星の日周運動と地球の自転の様子について、太陽の南中高度や季節による星座の移動と地球の公転の様子について、それぞれ学習する。これらの学習内容で得られた知識や概念を総合的に活用できる

ものとして、次の表1に示す課題とループリックを作成した。

表1. パフォーマンス課題とループリック

【パフォーマンス課題】

「初日の出はどこが一番早いのか」についての仮説の誤りを指摘し、新たな仮説を提起し、結果の分析・解釈にもとづいて、仮説を検証しなさい。

【評価規準】

「初日の出はどこが一番早いのか」についての仮説の誤りを指摘し、これまで学習した知識や概念を活用して新たな仮説を提起し、調べ学習の結果を分析、考察し、仮説を検証することができる。

【ループリック】

3	2と比較して、新たな仮説の設定や科学的な根拠にもとづいた考察および仮説の検証について、科学的な用語や概念を適切に用いて説明することができている。
2	仮説の誤りを指摘し、既有の知識を活用して新たな仮説を設定し、科学的な根拠にもとづいた考察および仮説の検証について説明することができている。
1	2と比較して、新たな仮説の設定において、既有の知識が十分に活用されておらず、科学的な根拠にもとづいた考察および仮説の検証についての説明が十分にされていない。

課題は、授業で「地球の自転により、異なる経度では時差が生じること、つまり、東へは経度15°につき1時間早くなり、西へは経度15°につき1時間遅くなる」ことを学習した生徒が、「経度により時差が生じるならば、太陽は東から昇るので、実際に、日の出の時刻は経度によって異なっているのではないか」という疑問を持ち、日本の14地点について、表2のように、その経度・緯度と1月1日(元日)の初日の出の時刻を調べたという設定である。そして、その生徒が提起した仮説「日本の東端が最も経度が大きく、西に行くにつれて経度が小さくなっていく。東へ行くほど時間は早くなるため、初日の出の時刻は、最も経度の大きい根室(東経145°)が最も早く、経度の大きさに応じて時刻は遅くなり、最も経度の小さい福岡や鹿児島(東経130°)が最も遅い。」に対して、その誤りを指摘し、自ら新たな仮説を提起して、表2に示す結果の分析・解釈を行い、仮説の検証を行うというものである。表2から明らかのように、経度と初日の出の時

表 2. 2015年 1月 1日の各地の初日の出の時刻
(国立天文台 web ページ¹⁸⁾ のデータをもとに作成)

地名	北緯	東経	初日の出の時刻
札幌	43.0667°	141.3500°	7:06
根室	43.3333°	145.5833°	6:50
青森	40.8167°	140.7333°	7:01
新潟	37.9167°	139.0333°	6:59
父島	27.0833°	142.1833°	6:20
東京	35.6581°	139.7414°	6:50
金沢	36.5667°	136.6500°	7:05
名古屋	35.1667°	136.9167°	7:01
大阪	34.6833°	135.4833°	7:05
松江	35.4667°	133.0500°	7:17
広島	34.3833°	132.4500°	7:16
高知	33.5500°	133.5333°	7:10
福岡	33.5833°	130.4000°	7:23
鹿児島	31.6000°	130.5500°	7:17



図 1. 日本各地の初日の出の時刻
(理科ねっとわーく web ページ¹⁹⁾ より取得)

刻は一部で対応しておらず、地球の自転の知識や概念だけでは説明できない。日本では季節により南中高度が異なり、冬の時期では、日の出の位置がやや東南東から南東寄りになり、南中高度が低くなるという地球の公転による影響を考える必要がある。従って、図 1 に示すように、経線に対して右側に傾いた点線ごとに初日の出の時刻が異なっていることになる。

3段階のルーブリックにもとづく教師の評価では、地球の公転の知識や概念を適切に活用して、新たな仮説の設定や考察および仮説の検証について説明できているかどうかを指標となる。なお、生徒に

対しては、事前にパフォーマンス課題の提示とともに、ルーブリックも提示した。課題については、生徒各自が課外で取り組むものとした。

(2) 教師による評価と事後調査の結果

図 2 は、3学級全体で、ルーブリックにもとづく教師の評価と生徒による自己評価の関係を示したグラフである。T は教師による評価、S は生徒による自己評価を示しており、例えば「T3S3」は、教師による評価と自己評価がともに「3」であることを示している。

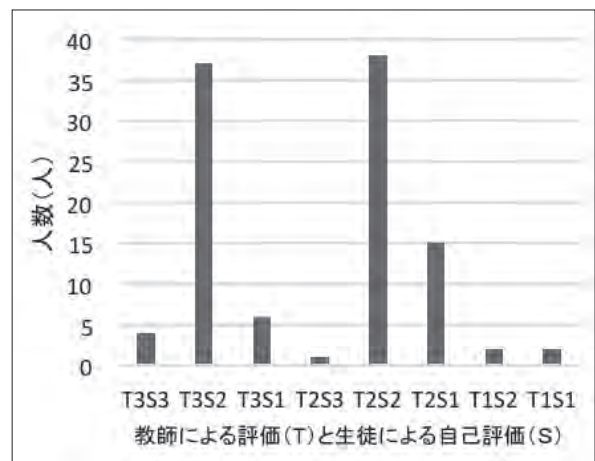


図 2. 教師の評価と生徒による自己評価の関係

教師による評価では、「T3」の生徒が全体の45%となり、「T2」の生徒(51%)を下回った。「T3」の生徒の自己評価を見ると、「T3S2」が最も多く(79%),「T3S3」の生徒が最も少ない(9%)割合となった。また、生徒の自己評価の理由として、表 3 に示すような記述が多く見られた。

表 3. 事後調査における生徒の記述

【T3S2の生徒】

- ・自分で仮説を立てることが難しかった。こうじゃないかというぼんやりした予想があっても、それを分かりやすく、根拠を明確にして、自分の考えを上手く表現することができなかった。
- ・結果の分析、考察や検証の書き方が分からず戸惑ってしまうところがあった。課題に対する答えが分かっているにもかかわらず、言葉にして説明したり、考察したりすることが難しかった。
- ・課題について自分で考えることは、これまでの知識を使うと理解することができたが、それを他者に説明するためには、科学的な用語を適切に使用しなければならず苦しかった。

【T3S1の生徒】

・説明がとてもざっくりしたものになり、授業内容をあまり活かせなかった。感覚では仕組みを理解できていても、それを文章にするのはとても難しかった。

(3) 得られた課題

今回はルーブリックを3段階で設定したが、それぞれの指標が曖昧で、生徒が既存の知識や概念をどのように用いて説明すればよいのか判断するのが難しかったと考えられる。逆向き設計による課題のシナリオと照らし合わせて、明確な指標の設定が必要である。また、表3から明らかなように、仮説の提起や考察などにおいて、個人で思考したことを説明したり、表現したりすることに苦手意識を感じる生徒が多くいることが分かった。これは、上述した「認知プロセスの外化」に課題があることになる。今回の課題は個人で取り組んだものであり、探究の過程において「書く・話す・発表するなどの活動への関与」が乏しいものであった。従って、①適切なルーブリックの設定、②探究の過程において生徒の「認知プロセスの外化」の経験を重視したシナリオ作成が重要となる。

6. パフォーマンス課題の実践(2)

(1) 「本質的な問い」と「永続的な理解」

第1学期の実践における課題をもとに、第2学期においてもパフォーマンス課題を実施した。まず、「逆向き設計」論に従い、①単元の中核部分に見当をつける、②「本質的な問い」を設定する、③「永続的理解」を明文化することをを行った。単元「生命の連続性」においては、「生物の成長」、「生物の殖え方と遺伝」の各内容を扱い、細胞分裂、無性生殖と有性生殖、遺伝の規則性と遺伝子などの学習を通して、生命の連続性を細胞あるいは染色体・遺伝子のレベルで理解することが必要である。パフォーマンス課題は、単元の最後の探究活動として、生徒が、生命の連続性を理解し、それがどのようなものかを説明できるように、単元の学習で得られた個々の知識や概念を活用させ、それらの連関を認識させる機会として位置づけている。従って、単元における「本質的な問い」と「永続的理解」を図3および図4のように整理した。

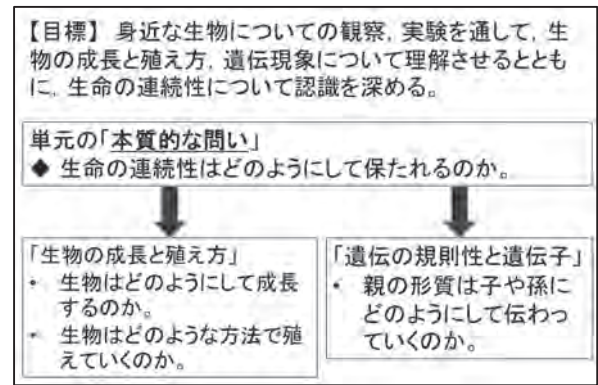


図3. 単元の「本質的な問い」

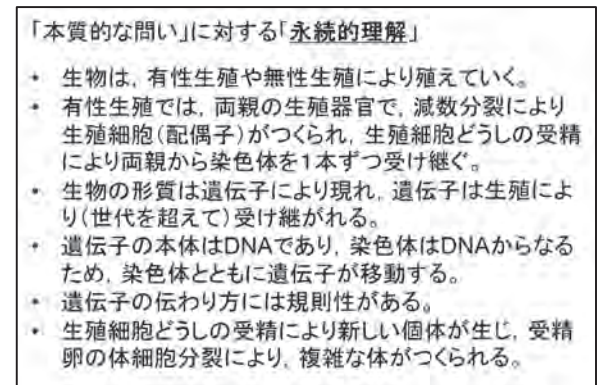


図4. 「本質的な問い」に対する「永続的理解」

(2) 課題の概要とルーブリック

次に、「逆向き設計」論の④パフォーマンス課題のシナリオを考えることに着手した。単元「生命の連続性」の内容では、直接観察、実験することが困難な現象もあり、視聴覚教材で代用するが多い。そこで、食材として使用されているトウモロコシを材料として、その遺伝現象について総合的に考える実験教材を開発し、用いることとした。開発した実験教材と、上記の「本質的な理解」と「永続的理解」をもとにして、表4に示すような課題とルーブリックを設定した。

表4. パフォーマンス課題とルーブリック
【パフォーマンス課題】

「ピーターコーンの種子の色の遺伝」はどのようにして説明できるのか。

【評価規準】

実験結果を既存の知識を活用して分析・解釈することにより、トウモロコシの世代を特定しているとともに、種子の色が胚乳の色であることを見だし、遺伝子の伝わり方を説明している。

【ルーブリック】

5	3の①～③の説明について、有性生殖の方法や被子植物の有性生殖の特徴をふまえて具体的に説明することができている。
4	3の①～③の説明について、有性生殖の方法をふまえて具体的に説明することができている。
3	実験結果を分析・解釈して得られた科学的根拠をもとにして： ①ピーターコーンの世代について説明できている。 ②種子の色について説明できている。 ③種子の色が遺伝するしくみについて説明できている。
2	3の①～③のうち、いずれかの説明が十分になされていない。
1	3の①～③のすべての説明が十分になされていない。

課題は、黄色と白色の種子が混在したピーターコーンというトウモロコシの品種において、その種子の色がどのように遺伝するのかを説明するために、図5に示すような流れで探究活動を行い、課題解決を行うものである。

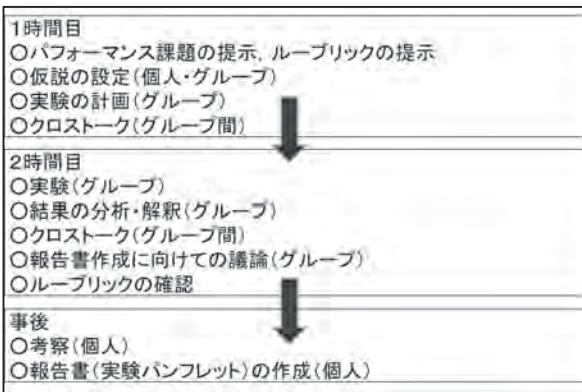


図5. パフォーマンス課題の流れ

まず、生徒に対しては、事前にパフォーマンス課題の提示とともに、ルーブリックも提示する。そして、グループごとに仮説を設定し、実験計画を立てさせる。実験では、①ピーターコーンの黄色と白色の種子数を調べ、統計的に処理することにより、黄色：白色＝3：1になることを導出させる。また、②黄色と白色それぞれの種子のつくりを調べ、それらが有胚乳種子であることを導出させる。グループごとに①・②の結果の分析・解釈に取り組みせるとともに、グループ間で分析・解釈の結果について意見交流を行うクロストークにも取り組みさせる。最後

に、グループごとに染色体・遺伝子のモデルを用いて、ピーターコーンの世代や親の形質、種子の色などについて議論させ、課題解決に必要な要素を見いださせる。事後に、成果物として、生徒個人による報告書の作成と提出を求め、その報告書の記述をもとに教師がルーブリックによる評価を行うようにした。

なお、今回はルーブリックを5段階とし、より詳細な指標とした。ルーブリックの「3」においては、図6に示すように、優性の法則や分離の法則などの遺伝の規則性の知識や概念を用いて、ピーターコーンが雑種第2代であることを説明し、胚乳形質が伝わるしくみについて説明がなされていることが指標である。「4」においては、上記の説明において、減数分裂により染色体数が半減し、配偶子（生殖細胞）が形成され、受精により染色体数が戻るときに、両親の形質が引き継がれるという一般的な有性生殖の方法に言及し、科学的な説明がなされていることが指標である。さらに、「5」においては、被子植物の有性生殖においては重複受精が行われていることから、種子形成における胚と胚乳のでき方とそれぞれの形質（遺伝子）の伝わり方に言及し、科学的な説明がなされていることが指標である。

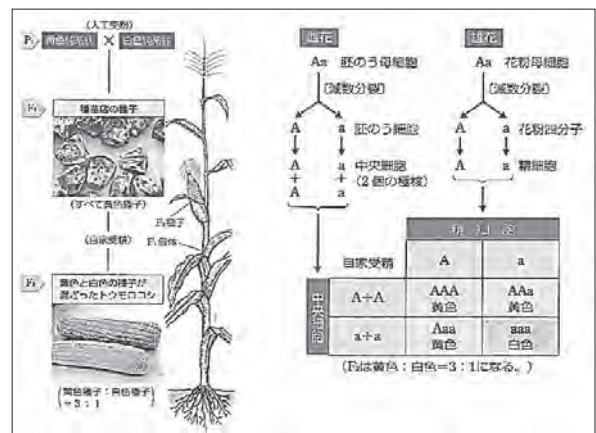


図6. ピーターコーンの種子の色の遺伝 (第一学習社「高等学校改訂生物I」²⁰⁾より)

(3) パフォーマンス課題を見通した指導

上記のパフォーマンス課題の内容とルーブリックを作成した上で、表5に示すように、パフォーマンス課題を見通した具体的な指導計画を作成した。図4に示した単元における「永続的理解」の内容をもとに、授業ごとにテーマ（問い）を設定し、課題の解決に必要なとなる基礎的な知識や概念、技能の習得を図った。

表5. パフォーマンス課題を見通した指導計画

時	テーマ (問い)	内容
1	生殖はどのような方法で行われるか	①無性生殖の方法 ②有性生殖の方法
2 3	被子植物の有性生殖はどのように行われるのか	①減数分裂 ②配偶子形成 ③重複受精と胚乳
4	遺伝子とはどのようなものか	①染色体とは ②DNAとは ③遺伝子とは ④ヒトゲノムについて
5	メンデルはどのような実験を行ったのか	①形質 (対立形質とは) ②実験材料としてのエンドウ ③純系個体をつくる ④交雑実験の方法とその結果
6	メンデルは実験の結果を証明するために、どのような規則性を考えたか	①因子 (遺伝子) の想定と遺伝子記号 ②優性の法則 ③分離の法則
7 8	遺伝現象にはどのようなものがあるか	①中間雑種の遺伝 ②複対立遺伝子 ③伴性遺伝
9 10	胚乳形質の遺伝はどのように説明できるのか	①イネの胚乳デンプン (ウルチ, モチ) ②キセニア現象
11 12	パフォーマンス課題 (探究活動)	

1時間目は導入として、「生殖はどのような方法で行われるか」を理解させるために、有性生殖・無性生殖の原理とその具体例を説明し、グループでの議論を通じて、両者の特徴やそれぞれの利点について整理させた。

2・3時間目は、「被子植物の有性生殖はどのように行われるのか」を理解させるために、「協同学習」の技法を取り入れた。最初に、①減数分裂、②被子植物の配偶子形成、③被子植物の重複受精と有胚乳種子について、図7に示すような3つの資料を用意し、生徒を3グループに分けてエキスパート活動に取り組みさせた。同じエキスパート同士での話し合い活動を経た後、次に、3人のエキスパートが集まり、それぞれの資料について説明し、相互に理解を深めていくジグソー活動に取り組みさせた。最後に、ジグソー活動で得た知識や概念を持ち帰って、元のエキスパートのグループで再度議論させ、説明文の作成に取り組みさせた。

資料A 「減数分裂」

有性生殖において、雄(父)と雌(母)それぞれが精子(精細胞)、卵(卵細胞)という配偶子をつくり、それらが接合して受精卵ができることを受精と学習しました。では、配偶子はどのようにつくられるのでしょうか。

将来配偶子になる細胞は、雄(父)と雌(母)の体内にある生殖器官というところで、減数分裂という特殊な細胞分裂によってつくられます。ヒトでは精巣と卵巣、被子植物では雄しべと雌しべが生殖器官です。体細胞分裂では、分裂前の細胞と分裂後の細胞で、染色体の数は変わりません。しかし、減数分裂では、分裂後にできた細胞の染色体の数は、体細胞の数の半分になります。つまり、配偶子の染色体の数は、体細胞の染色体の半分になるのです。配偶子が受精してできる受精卵では染色体の数がもとにもどり、体細胞と同じになります。

体細胞には、長さや形がほぼそっくりな染色体が2本ずつ存在します。この2本を相同染色体といいます。受精前ができるように、1本は雄の親から、もう1本は雌の親から受け継いでいます。ヒトでは、体細胞の染色体は46本ありますが、2本ずつがペアなので、相同染色体は23組存在することになります。

減数分裂では、第1分裂と第2分裂の2回の分裂が続いて起こります。分裂前の間期では、体細胞分裂と同じように、相同染色体がそれぞれ複製(コピー)されます。第1分裂の前には、複製された相同染色体どうしが平行に並んで接着して、二価染色体を形成します。中期には、二価染色体が中央に並んで、後期では、接着していたそれぞれの相同染色体が両極へ分かれて移動します。終期には、細胞質が仕切られ、相同染色体は別々の細胞に入るようになります。この時点で、細胞ごとの染色体の数は半分になっているのです。

第2分裂では、染色体が新たに複製されことなく、体細胞分裂と同じ過程でそれぞれの染色体が別々の細胞に分けられます。最終的に4つの細胞ができますが、第1分裂の前にはすでに染色体は複製されているので、それぞれの細胞には、相同染色体の片方ずつが含まれていることになります。

図7. 「減数分裂」のエキスパート資料 (資料内の文章および図は、文理「系統的に学ぶ中学生物」²¹⁾より引用)

4時間目は、「遺伝子とはどのようなものか」を理解させるために、染色体はDNAとタンパク質からなること、遺伝子の本体がDNAであること、染色体上にある遺伝子は、染色体とともに移動することを順に説明した。

5時間目は、「メンデルはどのような実験を行ったのか」を理解させるために、実験材料としてのエンドウの特徴、純系個体をつくることの意義、交雑実験の方法、結果を統計的に処理することの意義などについて説明した。また、インゲンの種子(無胚乳種子)を用いて、種皮と子葉の色の違いのように、1つの種子の中にも複数の形質が存在することを説明した。

6時間目は、「メンデルは実験の結果を証明するために、どのような規則性を考えたか」を理解させるために、「協同学習」の技法を取り入れた。結解(2015)が行った実践²²⁾を参考にして、2色のマグネットシールを用意し、ホワイトボード上でメンデルの実験結果の考察に取り組みさせた。これにより、遺伝の規則性についての理解が深まるようにした。

7・8時間目は、「遺伝現象にはどのようなものがあるか」を理解させるために、2・3時間目と同様に「協同学習」の技法を取り入れ、エキスパート活動やジグソー活動に取り組みさせた。具体的には、①中間雑種の遺伝、②複対立遺伝子による遺伝、③

伴性遺伝についての3つの問いを用意し、それぞれのエキスパートが問いの解答・解説を考え、ジグソー活動において相互に説明するというものである。その上で、前時で学習した遺伝現象とどのような差異が見られるのかを見いださせ、優性の法則および分離の法則についての理解が深まるようにした。

9・10時間目は、「胚乳形質の遺伝はどのように説明できるのか」を理解させるために、「協同学習」の技法を取り入れた。具体的には、イネの胚乳デンプン（ウルチ、モチ）の形質の遺伝に関する問いを提示し、グループごとに課題解決に取り組ませた。6時間目と同様にマグネットシールとホワイトボードを用意し、議論が深まるようにした。また、上述の2・3時間目の「被子植物の有性生殖」の学習内容、特に重複受精に関する内容を活用するように指導し、生徒に既有的の知識や概念との結びつきを持たせるようにした。さらに、グループで議論し、問いの解答を導出した後、グループ間で解答について説明するクロストークに取り組ませた。最後に、クラス全体でグループごとの解答・解説を整理するとともに、教師からイネの種子のつくりや胚乳デンプンの形質の違い、キセニア現象について補足の説明を行った。

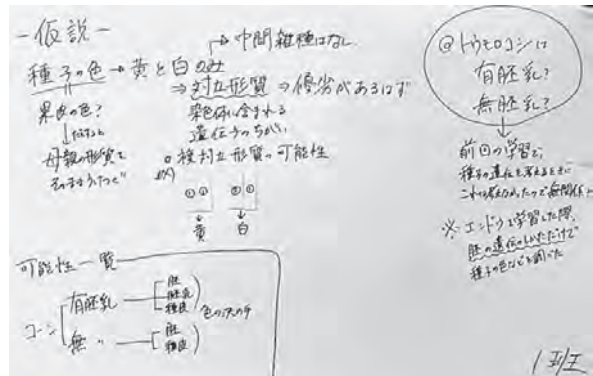
(4) パフォーマンス課題の授業実践

1) 1時間目

1時間目は、上述したように、初めに、生徒に対してパフォーマンス課題とルーブリックを提示した。次に、基礎的事項として、トウモロコシの花のつくりについての説明を行った後、個人とグループで仮説を設定させる活動を行った。この際にも、グループごとにマグネットシールとホワイトボードを用意し、生徒は、マグネットシールを貼り付けたり、移動させたりしながら、仮説について議論していた。図8は、グループで考えた仮説の一例である。

図8(A)に示すグループでは、種子の色が黄色と白色の2色であるため、それらが対立形質（対立遺伝子）であり、優性形質（優性遺伝子）・劣性形質（劣性遺伝子）が存在することを提起している。また、無胚乳種子なのか、有胚乳種子なのかによって、それぞれ種子の色を表す形質の可能性についても触れている。一方、図8(B)のグループでは、トウモロコシが無胚乳種子ならば種子の色は胚（子葉）の色であり、有胚乳種子ならば胚乳の色であるという仮説を提起しており、2色のマグネットシールを用いて、胚と胚乳のそれぞれの遺伝パターン（親の形質や子の分離比）を示している。

(A) 仮説の例①



(B) 仮説の例②

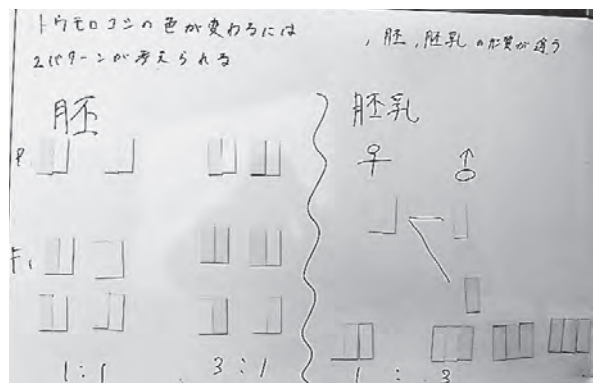
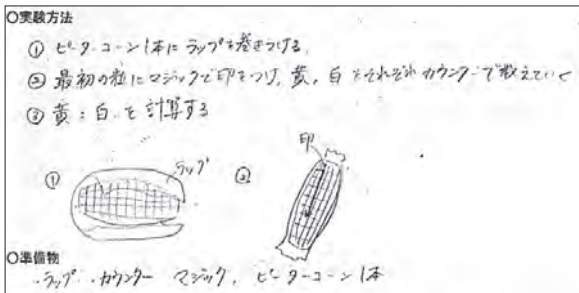


図8. グループごとの仮説

上記のような仮説にもとづき、今度はグループごとに実験計画を立てさせる活動を行った。予め教師から、次時の実験時間の目安を伝え、それにもとづいて必要な道具・器具、実験の方法、グループ内での役割分担について話し合いを行っていた。図9は、グループで考えた準備物と実験方法の一例である。このグループでは「実験1：黄色と白色の種子数を調べ、統計的に処理することで、その分離比を明らかにする」において、ピーターコーンにポリエチレンラップを巻き付け、サインペンで印をつけながら、数取器で種子数を数えていく方法を採用している。「実験2：種子のつくりを調べ、種子の色がどのような形質なのかを明らかにする」では、黄色と白色の種子を数粒取り出し、種子をピンセットで分解したり、カミソリで種子の切断面をつくって双眼実体顕微鏡で観察したりすることで、種子の色の要因を明らかにしようとしている。

【実験1】について



【実験2】について

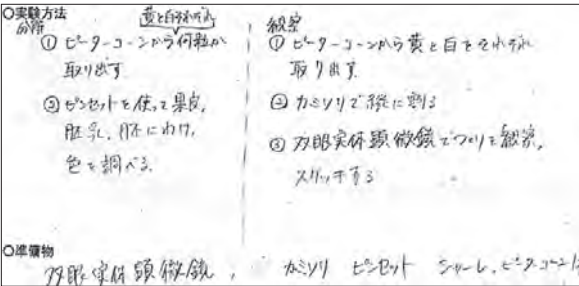


図9. グループごとの準備物と実験方法

2) 2時間目

表6に、本時の学習指導過程を示している。最初に、クラス全体で各グループの仮説を共有し、各グループが既有的知識や概念をどのように用いて仮説を提起しているのかを確認させた。次に、上述したように、グループごとに2つの実験を並行して実施した。前時に考えた実験計画と役割分担に従って、図10(A)と(B)に示すように、どのグループでも意欲的に実験に取り組んでいる様子が覗えた。

表6. パフォーマンス課題の学習指導過程

学習内容	学習活動	指導上の留意点・評価
○課題の確認	○「ピーターコーンの種子の色の遺伝はどのようにして説明できるのか」という課題を確認する。	○本時の学習内容・活動に対する見通しを持たせる。
○仮説および実験計画の共有	○各グループの仮説および実験計画を共有し、実験への見通しを持つ。	○既有的知識や概念をどのように用いたのかを明確にさせる。
○実験の準備	○生物材料、その他必要な道具・器具を準備する。	○グループ内での役割分担を確認させる。
○実験①： 「黄色と白色の種子数を調べる」	○予想される実験方法 ・種子を1つずつ取り出し、色ごとに並べる。 ・ラップを巻き、その上からサインペンで印をつける。	○サンプル数を確保するために、グループごとに複数のピーターコーンを用意しておく。
○実験②： 「種子のつくりを調べる」	○予想される実験方法 ・種子を1つずつ取り出し、実体顕微鏡で観察する。 ・薄く輪切りにして、実体顕微鏡で観察する。	○外側の種皮・果皮が透明であり、内部が黄色・白色に分かれていることを見いださせる。 ○種子の内部に胚が存在することを想起させる。
○結果の処理、分析・解釈	○黄色種子と白色種子の分離比を算出する（黄色：白色≒3：1）。 ○種子内部の胚と胚乳の位置を特定する。	○グループごとに、ホワイトボード、マグネット（黄色、白色）、カラーペン、付箋などを用意し、グループでの議論を支援する。
○グループ間での共有	○グループ間で結果の分析・解釈についての情報交換を行う。	○他グループから得られた情報を記録させる。
○考察	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> ・ピーターコーンは雑種第2代であると考えられる。 ・種子の色は胚乳の色であり、胚と胚乳それぞれの遺伝子の伝わり方を考える必要がある。 </div>	○トウモロコシの世代を特定しているとともに、種子の色が胚乳の色であることを見いだすことができている。（科学的な思考・表現）

学習内容	学習活動	指導上の留意点・評価
○レポート作成についての確認	○課題のルーブリック（評価指標）を確認し、報告書作成についての見直しを持つ。	○本時の活動の振り返りを行わせる。
○片付け	○生物材料、道具・器具を返却する。	
備考 教科書：未来へひろがるサイエンス3（啓林館） 準備物：ピーターコーン、ピンセット・実体顕微鏡など必要な観察・実験器具（グループごと）、ホワイトボード、マグネット（黄色、白色）、カラーペン、付箋など		

(A) 実験1：種子数の計測



(B) 実験2：双眼実体顕微鏡による観察



図10. 実験に取り組む様子

(A) 黄色種子



(B) 白色種子



図11. トウモロコシの種子のつくり
(A)・(B)ともに、左から胚乳、種皮、胚

実験後は、グループごとに結果の分析・解釈を行い、黄色種子と白色種子の分離比を算出した。また、図11に示すように、どの種子についても種皮が透明であり、内部における胚と胚乳の位置を特定できたことから、トウモロコシが有胚乳種子であり、種子の色が胚乳の色であると判断していた。黄色種子と白色種子の分離比については、表7に示すように、3学級でともに、黄色：白色 \approx 3：1が得られた。

表7. 黄色種子、白色種子の数と分離比

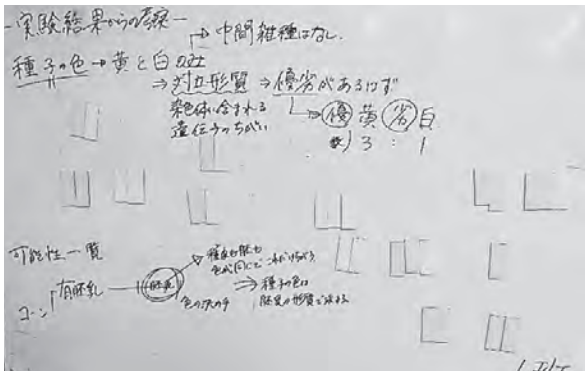
	A学級		B学級		C学級	
	黄色	白色	黄色	白色	黄色	白色
1	706	245	861	291	615	199
2	770	281	768	241	708	240
3	751	293	998	358	796	243
4	677	256	709	260	783	250
5	873	266	838	305	840	314
6	742	248	921	314	535	169
7	769	269	909	300	687	165
8	925	269	376	162	733	248
計	6213	2127	6380	2231	5697	1828
比	2.92	1	2.86	1	3.12	1

結果の分析・解釈の後、クロストークを実施した。図12に示すように、各グループから1名ずつが集まって4～5名の新しいグループをつくり、実験結果や分析・解釈した内容について意見や考えを交流した。クロストークのグループ編成においては、元のグループに戻ったときに、すべてのグループの情報が集まるように配慮した。グループによっては相互の説明だけでなく、2色のマグネットシールを用いて、考察について議論している様子も覗えた。その後、元のグループにクロストークの内容を持ち帰り、マグネットシールとホワイトボードを用いて、考察についての議論を行った。図8で示した2つのグループの仮説はそれぞれ、図13のように変容した。



図12. クロストークの様子

(A) 仮説の例①→グループでの考察の結果



(B) 仮説の例②→グループでの考察の結果

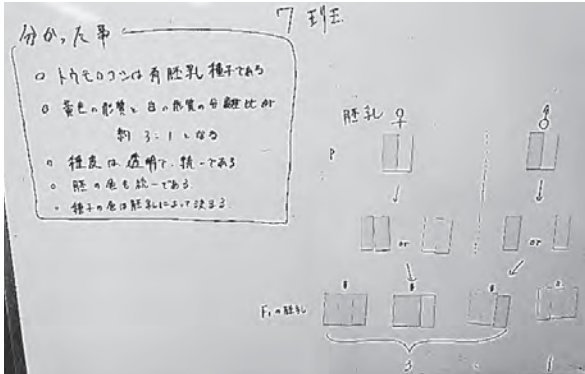


図13. グループでの考察の結果

図13 (A) では、最初の仮説の内容から、黄色が優性形質、白色が劣性形質であり、その比が3 : 1 であること、有胚乳種子であることから、マグネットシールを使って、胚乳形質が3 : 1となるような染色体・遺伝子構成と1つ前の世代（ピーターコーンの親）の染色体・遺伝子構成を示している。また、図13 (B) では、新たに実験結果を分析・解釈して得られた根拠を列挙し、(A)と同様に胚乳形質が3 : 1となるような染色体・遺伝子構成と1つ前の世代（ピーターコーンの親）の染色体・遺伝子構成を示している。

授業の最後には、課題とルーブリックを再度提示し、個人での報告書作成に向けた見通しを持たせた。

(5) 教師による評価と事後評価の結果

ルーブリックにもとづく教師の評価において、それぞれ「5」、「4」となった生徒のアンカー作品（報告書）を後掲の資料に示している。なお、今回は、3学級全体で、「5」の生徒が35%、「4」の生徒が42%となり、「3」の生徒（22%）を大きく上回った。

図14は、教師による評価の結果を示したグラフである。図中の斜線グラフは、ルーブリックにもとづいて、第1学期の評価から第2学期の評価がどのように変わったのか、またはその人数を示したものである。例えば、「3→5」は第1学期の評価が「3」で、第2学期の評価が「5」の生徒の人数である。また、「3→3」、「2→3」に見られる黒塗りのグラフは、第1学期の「3」、「2」の生徒の合計人数を示している。つまり、黒塗りのグラフと、その左側にある3つの斜線グラフを見て、第1学期の評価が「3」あるいは「2」の生徒のうち、第2学期の評価が「5」、「4」、「3」にどのように分散したのかを知ることができる。第1学期の評価が「3」の生徒のうち、第2学期の評価が「5」の生徒が50%、「4」の生徒が36%となった。また、第1学期の評価が「2」の生徒のうち、第2学期の評価が「5」の生徒が22%、「4」の生徒が52%となった。第1学期と第2学期では、パフォーマンス課題の内容もルーブリックも全く異なるため、単純な比較はできないが、多くの生徒が第2学期において高い評価を得ていることが分かる。

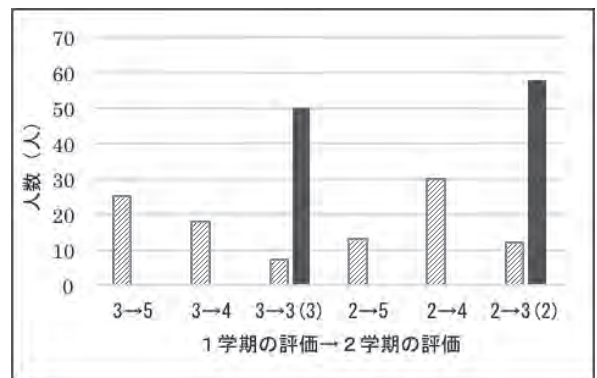


図14. 第1学期の評価と第2学期の評価の比較

次に、図15は、3学級全体で、ルーブリックにもとづく教師の評価と生徒による自己評価の関係を示したグラフである。第1学期の結果（図2）と同様に、Tは教師による評価、Sは生徒による自己評価を示しており、例えば「T5S5」は、教師による評価と自己評価がともに「5」であることを示してい

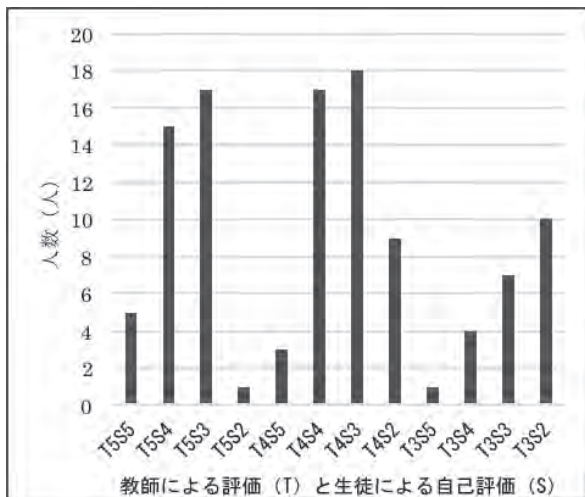


図15. 教師の評価と生徒による自己評価の関係

る。「T5」の生徒では、「T5S5」の割合は13%と低いが、「T5S4」の割合（38%）と合わせると50%となり、「T5S3」の割合（44%）をわずかに上回った。また、「T4」の生徒では、「T4S4」の割合が35%となり、「T4S5」の割合（6%）と合わせると、これも「T4S3」の割合（38%）をわずかに上回った。つまり、教師による評価が「5」あるいは「4」の生徒のうち約半数（46%）の生徒が、ループリックの基準となる「3」を上回っていると判断していることになる。第1学期は3段階のループリックのため、これも単純な比較はできないが、第1学期で教師による評価が「3」の生徒のうち、これを満たしていないと判断した生徒（「T3S2」と「T3S1」）が約9割いたことと比べると、第2学期では、生徒の自己評価が全体として高い傾向にあることが分かる。

上記の結果に関連して、生徒の自己評価の理由として、表8に示すような記述が見られた。

表8. 事後調査における生徒の記述

【T5S5の生徒】

- ・被子植物の重複受精の仕方を図で詳しく書き、見る人に分かってもらえるように努力した。
- ・丁寧にわかりやすく説明するようにした。ループリックを満たすように、説明しておいた方が良いと思うことはなるべく書くようにした。
- ・胚乳の遺伝のしくみや、ピーターコーンの世代について具体的に、授業で習ったことを使いながら説明することができた。また、遺伝子型が胚乳についてなのか、それ以外なのか注意してできるだけ詳しく書けたと思う。

【T5S4の生徒】

- ・実験で得られた根拠や今まで習ったことをもとにして考え、説明できたと思う。また、有性生殖の方法について、ジグソー活動の資料などを参考にして具体的に書くことができた。
- ・これまでのグループ活動のプリントを活かして書いていけたと思う。
- ・実験の結果を用いて報告書を書いていったが、グループで話し合った分だけ、説明ができた。
- ・グループでの議論で得られたヒントを足掛かりに、個人の考察までたどり着くことができた。また、今までに習った内容を駆使して、遺伝の様子を図で表したり、場合分けをしたりして、自分なりに工夫して分かりやすい報告書をつくることができた。

表8から明らかなように、教師の評価と自己評価がともに高い生徒は、ループリックをよりよく理解し、求められている指標に対して、既有的知識やグループの議論で得られた情報を活用・整理して、説明を工夫していることが分かる。従って、第1学期に比べて、生徒の自己評価が高い傾向にある要因として、①多くの生徒が、ループリックの指標に示されていることがどのような既有的知識や概念と関連をもつのかを理解していること、また、②グループでの議論や話し合いの経験とそこで得られた情報が個人の理解や思考を深化させ、「報告書を書く」という認知プロセスの外化に適切に活用されていることの2点が挙げられる。

(6) パフォーマンス課題を終えての感想

パフォーマンス課題を終えた感想として、表9に示すような生徒の記述が見られた。

表9. パフォーマンス課題を終えての感想 (1)

- ①なかなか答えがまとまらず、難しい課題だった。こういう場合こそ、グループのメンバーやクロストークのメンバーとの協力、情報や意見交換の意義が増すと思った。このような経験は、将来色々な研究をしたり、論文を書いたりするときに役立つことだと思うので、積極的に取り組み、真剣に課題をこなすことが大事だと思う。
- ②前は、全て個人作業で少し苦しいところもあったけど、今回はグループでの議論やクロストークがあったので、そこで出た意見が手助けになった。自分一人で考えると、つい思い込みが激しくなるけど、みんなと話し合えば多様な考え方が見つかって楽しかった。

- ③いつもの授業で学んだことが基本となっているが、実験を行ってから考えると、考察の際にも今までの知識を活用していくため、課題を説明するときに頭で考えた考察、そして実際に目にしたものを活かすことができ、また、グループで話し合ってもみんなが同じ結果を共有していたので、議論がしやすかった。
- ④初めにこの課題を見たときは、どういうことかさっぱり分からなくて手も足も出ない状態だった。しかし、グループでの話し合いやクロストークを進めていく中で、いろいろな人が教えてくれて理解することができた。報告書を書くときは他人から教わったことや授業で学んだことを合わせて考えることができたので、遺伝について理解を深めることができた。
- ⑤普段何も考えずに食べていたトウモロコシも遺伝によって黄色や白色になることが分かった。以前、家でトウモロコシを育てたとき、白色の純系のトウモロコシができた。そのときは育て方が悪から色が出ないと思っていたが、実際は遺伝が関係していたということが分かってうれしかった。
- ⑥普段何気なく食べているトウモロコシでも、色のよう、遺伝によって決まっている形質があり、統計的に調べると、遺伝の法則が成り立っていることが分かり、感動した。1つの形質の遺伝のしくみを考えるだけでも大変なのに、7つの対立形質全てを調べたメンデルさんのすごさが分かった。

表9の記述のうち、①と③の記述では、パフォーマンス課題の経験を肯定的に捉えており、特に、③では、実験結果を分析・解釈して得た根拠と既存の知識を結びつけて課題解決を行うことに対する意欲が覗える。また、①～④では、個人の理解や思考を深化させることにおけるグループでの議論やクロストークの意義について言及しており、各自が共通して認知プロセスの外化を重視していることが覗える。一方、⑤と⑥は、パフォーマンス課題の経験を通じての個人の関心の高まりや理解度について言及している。⑤では、日常生活における自身の経験と結びつけて理解が深まったことにより、遺伝現象に対する関心が高まっており、⑥では、メンデルによる統計的処理や遺伝の規則性に関する仮説と検証といった科学の方法の重要性を知り、単元の学習内容に対する理解が深まっていることが覗える。

7. 研究の成果と課題

(1) パフォーマンス課題の教材としての有効性

第2学期に実施したパフォーマンス課題「『ピーターコーンの種子の色の遺伝』はどのようにして説明できるのか」に関しては、まず、ピーターコーンが適切な実験材料であったことがいえる。実験方法が簡易で（生徒が計画しやすい）、グループあるいは学級全体で統計的な処理を行うことにより、黄色：白色＝3：1が得られること、種皮・胚・胚乳の区別が容易であることから、得られる科学的根拠も明確である。また、胚乳形質の遺伝にまで思考が及ぶことから課題としては難解であるが、被子植物の有性生殖や遺伝の規則性といった単元における知識や概念を総合的に活用できるものであったため、単元全体の学習内容の理解が深まったといえる。さらに、今回は、ルーブリックを5段階として、各指標を明確にしたこと、「本質的な問い」と「永続的な理解」にもとづいた「逆向き設計」を行い、単元の指導がパフォーマンス課題を見通したものになったことにより、生徒がパフォーマンス課題の内容をよりよく理解し、意欲的な探究活動が行えたといえる。以上のことから、今回のパフォーマンス課題は、単元における生徒の「思考・判断・表現」を適切に評価できる教材として有効であったと判断できる。

(2) アクティブラーニング型の学習形態の効果

パフォーマンス課題「『ピーターコーンの種子の色の遺伝』はどのようにして説明できるのか」を実施するにあたり、課題を見通した指導計画に、「協同学習」や「協調学習」といったアクティブラーニング型授業の技法を取り入れた。また、課題解決のための探究活動においては、仮説の設定、実験計画、結果の分析・解釈の場面にグループでの議論や話し合いを取り入れ、理解や思考を促す支援として、マグネットシールやホワイトボードを活用させた。さらには、元のグループを解体して新しいグループで意見交流を行うクロストークも取り入れた。上述したように、第1学期と第2学期それぞれにおける教師の評価と事後調査の結果から、「認知プロセスの外化」を伴う活動への関与が個人の理解や思考を深化させることにおいて効果的に作用しており、各自が思考していることを相互に表現したり、説明したりする経験が「思考力・判断力・表現力」の育成につながるものであるといえる。ただし、何度も述べるが、アクティブラーニングはあくまで技法であり、「ディープ・アクティブラーニング」を目指すためには、学びの質とその深まりを意

図した適切なパフォーマンス課題の設定とそれを見通した単元の指導計画が重要となる。また、それに先だって、単元における「本質的な問い」や「永続的な理解」を十分に整理しておくことが重要であるといえる。

(3) 評価方法についての課題

本研究の実践においては、ルーブリックにもとづく教師の評価で「2」や「1」になった生徒が少数であったが、基準に達していない生徒への配慮も重要である。「思考・判断・表現」を評価することを志向したパフォーマンス課題であるが、生徒個々の課題を明確に伝え、指導・支援することが今後の課題である。

パフォーマンス課題を解決するための探究活動はグループで行い、評価を個人で行うことに関しては種々の議論があるが、グループでの活動の経験が個人の理解や思考を深化させるという点で問題はないものと考えている。その一方で、本研究で実施したパフォーマンス課題は、報告書の作成を、課外に個人で取り組むように指導している。この点については、「成果物（報告書）が個人の考えだけで作成されたものかどうかの判別がつくのか、正当な評価となるのか」という指摘もあり、授業内で成果物の作成に取り組ませる方がのぞましいという考えもある。しかしながら、本研究の実践における生徒の感想から、表10に示すような記述が見られた。

表10. パフォーマンス課題を終えての感想（2）

- ・授業でグループ活動するときやクロストークをするときは、皆の考えの速さについていけず、果たして私は本当に理解できているのか、1人でパフォーマンス課題をまとめることができるのか不安だったが、自分でじっくりノートを見返しながら1つ1つ振り返っていくと、自分の考えに少し自信が持てて、報告書をまとめることもなんとかでき、安心した。
- ・授業の内容をその授業の時間内で理解するのが難しかったので、授業があった日は家で復習をやっていたので、その積み重ねがパフォーマンス課題に取り組む上で役に立った。

表10から明らかなように、生徒の中には、授業内での理解が伴わず、個人で課題の内容や単元の学習内容を振り返りながら、少しずつ理解を深めていくものもいることが分かった。このことから、グループでの探究活動を経た後、個人で学びを振り返る時間が必要であり、その意味では、成果物の作成は、課外で取り組ませる方がのぞましいのではないかと

考えている。ただし、上述したように基準に達していない生徒への配慮と関連して、生徒の理解度の把握とそれに対する適切な指導・支援が必要である。また、グループでの議論やクロストークにおいては、積極的に発言したり、言葉で説明したりする認知プロセスの外化が得意ではない生徒も見受けられる。しかしながら、それらの生徒は他者の考えや説明を「聞く」ことによって思考しており、文章に書いて説明するという認知プロセスの外化は得意な場合がある。本研究の実践では、ジグソー法などを通じて他者に説明するという活動を積極的に経験させたが、パフォーマンス課題によって、グループでの探究の過程を評価する場合などは、上記のことを考慮して、適切な評価方法を用いる必要があると考える。

参考・引用文献

- 1) 井上純一,「高等学校『生物』におけるパフォーマンス課題を取り入れた探究活動－『動物の反応と行動』におけるゼブラフィッシュの教材化と『思考・判断・表現』の評価－」,『広島大学附属中・高等学校 中等教育研究紀要』,第61号,2015年3月,pp.53-62.
- 2) 中央教育審議会(諮問),「初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について」,平成26年11月.
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1353440.htm (閲覧日:2015年1月17日)
- 3) 同上.
- 4) 同上.
- 5) 西岡加名恵・田中耕治,「『活用する力』を育てる授業と評価 中学校－パフォーマンス課題とルーブリックの提案－」,学事出版,2009年,p.9.
- 6) 同上,p.8.
- 7) 日本理科教育学会編,「今こそ理科の学力を問う－新しい学力を育成する視点－」,東洋館出版,2012年,p.224.
- 8) 前掲5),pp.10-13.
- 9) 溝上慎一,「アクティブラーニングと教授学習パラダイムの転換」,東信堂,2014年,p.7.
- 10) 同上,p.13.
- 11) 同上,p.10.
- 12) 中央教育審議会(答申),「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて－生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ－」,平成24年8月,p.37.

- http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325047.htm (閲覧日：2015年1月17日)
- 13) 前掲9), p.71.
 - 14) 同上, p.109.
 - 15) ジョンソン,D,W 他(杉江修治他訳),「学習の輪－アメリカの協同学習入門」, 二瓶社, 1998.
 - 16) 三宅なほみ・白水始,「学習科学とテクノロジー(放送大学教材)」, 放送大学教育振興会, 2003.
 - 17) 前掲9), p.110.
 - 18) 国立天文台 web ページ：
<http://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/sunmoon.cgi> (取得日：2015年1月17日)
 - 19) 国立研究開発法人科学技術振興機構,「理科ねっとわーく」web ページ：
http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0320a/contents/chishiki/answer07/img/figure_01.jpg
(取得日：2015年1月17日)
 - 20) 第一学習社,「改訂高等学校生物 I」, pp.166-169.
 - 21) 左巻健男他,「系統的に学ぶ中学生物」, 文理, 2012年, pp.132-133.
 - 22) 結解武宏,「生徒と共に授業を創るための『話し合い活動』の工夫－中学校第3学年『遺伝の規則性と遺伝子』」,『理科の教育』平成27年10月号 (Vol.64), 東洋館出版社, pp.31-33.

資料：パフォーマンス課題のアンカー作品
ルーブリック評価「5」の作品

課題：「ピーターコーンの種子の色の遺伝」はどのようにして説明できるのか

<種子の色について>

- 実験2より、ピーターコーンは有胚乳種子であることが分かった。
- また、黄色と白色の色の違いは胚乳の色の違いから決まるものであると分かった。つまり、対立形質は胚乳の色である。
- 実験1より黄色と白色の分離比はおよそ3:1であることが分かった。
- これより、優性形質は黄色、劣性形質は白色である。

2つの実験をまとめると、ピーターコーンの種子の色は胚乳の色によって決まり、優性形質は黄色、劣性形質は白色で、実験を行ったピーターコーンの色の分離比は黄色:白色=3:1であった。

<遺伝のしくみについて>

実験2より、ピーターコーンの種子の色は胚乳の色によって決まると分かった。よって、胚乳の遺伝のしくみを考えればよい。

胚乳は、メスの胚の母細胞が減数分裂を1回行ってできた1つの胚の細胞が核だけ体細胞分裂を3回行ってできた胚のうちの中にある、中央細胞の極核2つと、オスの花粉母細胞が減数分裂を行い、花粉四分子が4つでき、それぞれが体細胞分裂を行った結果できた花粉(花粉管細胞の中に雄原細胞が入っている)がめしべの柱頭につき、胚珠にたどりつく前に花粉管の中で雄原細胞が1度体細胞分裂してできた2つの精細胞のうちの一つが融合してできる。つまり、遺伝するときは、メスの染色体2本と、オスの染色体1本を子どもは受け継ぐため、相同染色体についてそれぞれ3本ずつの染色体を子どもはもつことになる。

<ピーターコーンの世代について>

これまでの説明を使って、ピーターコーンの種子の色の分離が黄色:白色=3:1になる世代について考える

① ピーターコーンの黄色の株と白色の純系を掛け合わせたときの子どもを考える。(これは、題の遺伝子型を考える)

黄色 AA (♀胚乳) , 白色 aa (♂胚乳) とおく。メスとオスは関係ない

(P) AA ♀ × aa ♂

(F1) Aa ... 全てAaとなる。

② ①でできた子を自家受粉させたときの子どもの胚乳について考える (メス2本、オス1本)

母親も父親も Aa である。

(F1) Aa ♀ × Aa ♂

(F2) AAA, AAa, Aaa, aaa ... イネのように、キセニア現象を考えたとき、1つでもAがあると黄色なので、黄色と白色の分離比は3:1となる。

これらのことから、黄色:白色=3:1となるピーターコーンを作るためには、黄色の純系と白色の純系を掛け合わせ、そこからできた子どもを自家受粉させればよい。そしてできた子どもの分離比が3:1になるつまり、孫の世代の分離比が初めて黄色:白色=3:1となる。

ルーブリック評価「4」の作品

課題：「ピーターコーンの種子の色の遺伝」はどのようにして説明できるのか

まず、ピーターコーンは有胚乳種子である。1つ種子をとりて中身を観察すると3つに分かれていた。そこで、ヨウ素を使った。すると真ん中の部分が反応し黒く紫色になった。つまり、その部分には「でんぷん」があり、その部分は胚乳だということがわかる。よって有胚乳種子だ。

次に種子の色は何が関係しているかだ。前と同様に種子を1つとり、種子を縦に半分に分け、色を調べると(表1)のようになった。

種子の色	
部分	黄色
種皮	透明
胚乳	黄色
胚	黄色

(表1) それぞれの部分の色

(図1) ピーターコーンの構造

(表1)より種子の色に関係しているのは胚乳の色だといえる。では、黄色と白色の種子はどの割合で出るのだろうか。実際にピーターコーン2本を使い数えると、黄色が1734個、白色が248個なので黄色:白色=3:1となった。ここから黄色が優性遺伝子で白色が劣性遺伝子であることがわかる。よって優性の法則が成り立っている。その遺伝を表すと(図2)のようになる。

(図2) ピーターコーンの遺伝

P ♀ AA × ♂ aa P ♀ aa × ♂ AA (A→黄色の純系, a→白色の純系)

F1 ♀ Aa × ♂ Aa F1 ♀ Aa × ♂ Aa

F2 ♀ AAA, AAa, Aaa, aaa F2 ♀ AAA, AAa, Aaa, aaa

(図2)の説明

...黄色の純系と白色の純系を掛け合わせると雑種第1代(つまり子)ができ、種子になる。F1の次に、なぜ雌の方が2つに分かれているかという点、種子の色は胚乳にだけ関係していることから胚乳の受精(雌から2本、雄から1本を受け取る)をしているからだ。そうすると雑種第2代(つまり孫)ができる。黄色が優性だということから、できた4種類の色は以下のようになる。

AAA→黄色, AAa→白色, Aaa→黄色, aaa→白色

(図2)より黄色:白色の割合は3:1となる。よって、私たちが実験する際に使ったピーターコーンは雑種第2代(F2)のものだった。F3などをやっても3:1にはならないのでバイカラー種であるピーターコーンはどれも雑種第2代だ。

最後に...

ピーターコーンの黄色、白色といつ、種子の色は胚乳の色であること。その黄色と白色の数の割合が3:1になっていることから、ピーターコーンの世代は雑種第2代(F2)といえる。その遺伝の仕方は重複受精が関係している。大きくまとめると以上のことがいえる。