

知識基盤社会における理科の役割 (2)

— パフォーマンス課題を取り入れた授業実践 —

大方 祐輔 志田 正訓 井上 純一 内海 良一
梶山 耕成 佐々木康子 杉田 泰一 平松 敦史
松浦 拓也

1. 研究の目的・方法

OECD (経済開発協力機構) が、義務教育修了段階の15歳児を対象に、知識や技能等を実生活における様々な課題にどの程度活用できるかを評価すること目的としたPISA (The Programme for International Student Assessment) を2000年に開始して以降、日本においてもリテラシーという考え方が改めて注目されるようになった。このうち、科学的リテラシーにおいては、特に、科学的知識とその利用 (疑問を認識し、新しい知識を獲得し、科学的な事象を説明し、科学が関連する諸問題について証拠に基づいた結論を導き出す) という側面を取り上げ、いわゆる「活用」という文脈で様々な研究や取り組みが進められてきている。

筆者らにおいても、平成25年度の研究プロジェクトとして「知識基盤社会における理科の役割—探究活動における児童・生徒の情報活用—」という主題を設定し、児童・生徒の情報活用に関する研究を進めてきている。そして、児童・生徒が観察や実験などで得た事実(情報)を既習の知識と関連付けて言語化・数値化・図示して情報に意味付けを行うことが、問題解決や課題解決につながることを明らかにしてきた。本年度においては、昨年度までの研究成果を基盤としながら、児童生徒が身につけた特定の知識や技能を「直接的に活用する」場面 (課題) を設定し、児童・生徒の「科学的な思考・判断・表現」がどのように養われるかを検討するとともに、その評価についても検討する。なお、児童・生徒の評価においては、パフォーマンス課題やパフォーマンス評価といった考え方を取り入れることにより、実際の課題解決活動に基づいて児童・生徒の活用力を評価する具体的手法について検討することにした。以下に、小・中・高等学校における授業実践の内容およびその成果と課題について述べる。

2. 小学校・中学校・高等学校における実践

(1) 小学校における実践

広島大学附属小学校の6年生を対象に、「電気の利用」に関して、電気の単元で身につけた知識や技能を直接的に活用する機会を設定し、これを行った。

【授業の概要】

本単元では、手回し発電機で発光ダイオードを光らせたり、モーターを回したりする実験を通して、電気は作ることができるということを学習する。しかし、この単元においては、電気をつくるという知識そのものよりも、その知識が身近な生活という文脈に置き換えて考えるとどのように活かされているのかを考えることが重要であると考えられる。この点については、『小学校学習指導要領解説理科編』で、「生活との関連としては、エネルギー資源の有効利用という観点から、電気の効率的な利用についてとらえるようにする」としたうえで、学習活動の例示として「発光ダイオードと豆電球の点灯時間を比較すると、発光ダイオードが豆電球より長く点灯することなどからとらえるようにする」とある (文部科学省, 2008, p.60)。このように、エネルギー問題と関連付けて、発光ダイオードの有用性について考えることは、重要な視点であると考えられる。その一方で、この事例だけでは、「電気はつくることができる」という科学的知識を身近な生活という文脈で考えさせるという視点が欠けていると考える。私たちの生活においては、莫大な量の電気を必要としている。そして、それは、手回し発電機のような小さな発電機ではまかないきることができず、火力、水力といった様々な発電方法により電気が作られており、そこで作られた電気が私たちの身近な生活において、使われているということをもまずは、学習する必要があるのではないかと考えた。

そこで、このような問題意識のもとで、本実践においては、手回し発電機を用いて、電気はつくることができるということを理解させた後に、その知識を身近な文脈において活用して考えさせる機会を設定した。

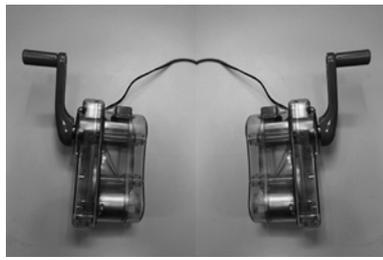


図1

授業展開は表1に示す。この表に沿って、本時の授業について、その概要を述べていく。

まずは、図1のような、モーターが透けて見える装置を一人一つずつ渡した。児童は、これが手回し発電機であることを知っていたが、中に入っているのがモーターで、発電機がモーターの性質を利用したものだということについては、初めて発見したような様子であった。そこで、児童に豆電球や電子オルゴールを与え、自由試行をさせた。そして、明かりがつくのを確認した。

表1 本時の流れ

第1時 「電気はつくることができる」という知識を獲得する。
<ul style="list-style-type: none"> ○手回し発電機を1人1台ずつ与え、豆電球を光らせたり、電子オルゴールを鳴らしたりさせ、自由試行をさせる。 ○手回し発電機を2つ用いて、これらをつないで、片方を回すともう片方はどうなるのかを考えさせる。 ○実際に手回し発電機を2つつなげ、片方を回してみるにより、もう片方がよく回ることを確認する。 ○回すことにより、電気が作られたことから、電気はつくり出すことができることを確認する。
第2時 「電気はつくることができる」という知識を活用する。
<ul style="list-style-type: none"> ○手回し発電機を3つ用い、これらをつないで、1つを回すと、他の手回し発電機が回る現象について、回した時の手応えを手回し発電機2つのときの場合と比較させる。 ○比較することで、手回し発電機が2つのときと比べて、回すときに大きな力がひつようであることに気付かせる。 ○たくさんの電気を得ようと考えた場合にはたくさんの力（エネルギー）が必要であることに気付かせる。 ○ここまで行ってきた実験は、身近な生活に置き換えて考えると、どのように例えることができるかを考えさせる。

次に、児童から豆電球等を回収すると、手回し発電機同士をつなぎあわせてまわそうとしていたので、その時点で、「手回し発電機を2つつなげて、片方をまわすと、もう片方はどうなるか？」と問うと、ほとんどの児童から、その前の活動で理解したこと、つまり、手回し発電機の中あるモーターを回すと、電気ができて、その電気がもう片方の手回し発電機のところへ伝わって、モーターが回るという予想を立てていた。

実際に実験を行うと、片方を回すと、もう片方が回り、自分たちの予想が正しいということが証明できた。図2は、その時の様子である。このように、自分が予想したことが、その通りになっていることを確認できたときというのは、既習事項や自分が知っていることを使って考えたことが正しいということの証明であり、この問題に対



図2

する実験結果から、改めて、「電気はつくり出すことができる」ということを確認した。

次に、児童は、手回し発電機を増やして、実験を行っていった(図3)。具体的には、

2つつなげて、1つを回した後に、手回し発電機を複数個つなげて1つを回して、残りを電気の力で回そうとしたのである。そして、かなりの量の手回し発電機をつなぎ、1つだけを回して、そのほかを回そうとすると、かなりの力が必要なることに気付かせることができた。このようなことから、たくさんの電気を得ようと思った場合には、それだけたくさんの力が必要であるということに気付かせることができた。

本実践では、ここまでの時点で、児童は次の3点について学習をしたといえる。

○電気はつくり出すことができること。



図3

○手回し発電機の場合には、自分が回した力（科学的には力学的エネルギーであるが、ここでは力とした）によって電気がつくり出された。

○たくさんの電気をつくり出そうとした場合、たくさんの力が必要であること。

そして、このような知識を活用する場面として、実生活の文脈において、どのような意味をもっているのかを考えさせていった。その際の実践については、以下の板書(図4)とともに説明をしていくこととする。

特に板書の黄色で囲んだところに注目する。まずは、本時で用いた手回し発電機の回路を図示した。そうすると、A、B、Cのようになる。なお、本時では手回し発電機を1台だけ回しているが、その回した手回し発電機をAとした。そして、これらが、実際の生活においては、何に例えることができるかを考えることを通して、本時で学習したことを例えさせていった。

Aの手回し発電機が電気を発生させているので、実生活に置き換えると、「発電所」ということになる。この点については、児童もすぐに例えることができた。

またどうしてそのように考えることができるのかについて、理由を問うても、「どちらも電気を作っている」ということを考えることができた。そして、Aを手で回すことによって、回ったBとCの手回し発電機は、電気を使うものとして、実生活に置き換えると、何に例えることができるかを考えさせたところ、照明であったり、エアコンであったりといった意見が出てきた。そして、さらに、照明の場合には、電気のエネルギーを光に変えているし、エアコンの場合には、電気

のエネルギーを、空気をあたためるための熱や風を起こすためのモーターの回転運動に変えているという意見も出てきた。また、手回し発電機同士をつないでいる導線は、実生活では何に例えることができるかについても、「電線に例えられる」という意見がでてきた。

そして、手回し発電機が多くなれば多くなるほど、手回し発電機を回したときの感触も変わっていったことから、たくさんの電気エネルギーを得ようと思ったら、それだけたくさんのエネルギーが必要であり、発電所のタービンが大きいことや、火力発電等に必要自然資源もより多く必要になることにも直接体験と関連付けて気づかせることができたと考える。

【授業後の考察】

以上の実践における成果と課題についてまとめる。

まず、児童が電気の単元で学習した科学的な知識が、生活という文脈のどこに位置付くかを考えさせることで、電気の知識を直接的に活用することができたのではないかと考える。

ただし、実際は、図4にあるような単純なモデルではなく、変電所があったり、家庭だけでなく工場や商業施設といった様々な場所に電気が届けられたりする点については、考えさせられなかった。電気で学習したことをきっかけとして、より深く自ら調べることができるようにするためにも、児童が今後、電圧の仕組みについて学習をした後に、実生活において発電所で発電された電気の行方について考え、モデル化していく機会が必要なのではないだろうか。

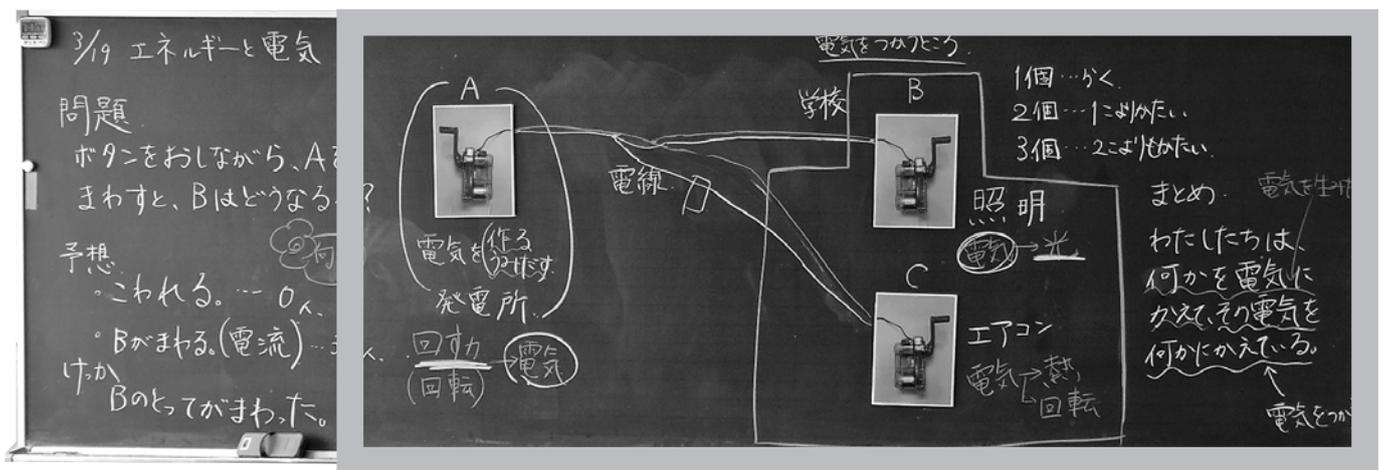


図4

(2) 中学校における実践

日時	平成26年11月29日（土）10：35～11：25
場所	広島大学附属中・高等学校 第1化学教室
学級	中学校1年A組39名（男子19名，女子20名）
単元	身のまわりの物質
目標	<ol style="list-style-type: none"> 1. 物質の性質を利用して，身のまわりの物質を区別する方法について理解する。 2. 身のまわりの物質を区別する実験を通して，実験器具の基本的な使用方法を習得する。 3. 身のまわりの物質を区別する実験を通して，科学的に探究する能力を高めるとともに，科学的な思考力や判断力，表現力を身につける。 4. 身のまわりの製品の材料や性質について，意欲的にさまざまな方法で調べようとする態度を身につける。

時間配当

1. いろいろな物質とその性質	11時間
(1) 物体と物質	1時間
(2) 有機物と無機物を区別する	2時間
(3) 金属と非金属を区別する	1時間
(4) 密度を求めることで物質を区別する	1時間
(5) プラスチックを区別する	6時間
	(本時5／6)
2. いろいろな気体とその性質	8時間
3. 水溶液の性質	6時間
4. 物質の状態とその変化	8時間

指導の経過と今後の計画

本校理科では，昨年度から，生徒が実験や観察によって得られた情報を積極的に活用して科学的に思考し，

判断し，表現する能力を高めるための授業研究を行っている。これまでの研究で，生徒が観察や実験などで得た事実（情報）を既習の知識と関連付けて言語化・数値化・図示して情報に意味付けを行うことが，問題解決や課題解決につながるということがわかった。本年度は，生徒が身につけた特定の知識や技能を「直接的に活用する」場面を設定し，同じ知識をもとに思考・表現させることによって，生徒の「科学的な思考」「科学的な態度」がどのように養われるかを検討・評価したいと考えている。

本年度の中学校の実践では，本時までには，1年生1分野の化学領域「身のまわりの物質」の単元において，教材として身のまわりにあるプラスチックについて取り扱ってきた。そして，プラスチックの密度や燃え方，熱に対する強さに注目し，それらを調べる実験を通して，生徒はプラスチックを区別する決め手となる情報（根拠）や技能を習得している。本時では，これまでの実験や観察によって得られた情報や技能を多様に組み合わせ統合・活用し，プラスチックの種類を同定する「パフォーマンス課題」に取り組ませる予定である。また，このパフォーマンス課題における評価基準を作成し，生徒の「科学的な思考・判断・表現」をどのように評価することができるかを提案したいと考えている。

本時の題目 身のまわりにあるプラスチックの種類を区別しよう

本時の目標 身のまわりにあるプラスチックの燃え方や密度を調べ，その結果を統合し活用することで，プラスチックの種類を同定することができる。

本時の指導計画

指導過程	学習内容・学習活動	指導上の留意点・評価
課題の提示	○わたしたちの身のまわりにあるプラスチックの種類を区別しよう。	○前時までに調べた6種類のプラスチック（PET，PS，PE，PP，PVC，PC）の密度，燃え方，熱に対する強さについて，確認させる。
生徒実験	○身のまわりにあるプラスチックの性質（密度，燃え方，熱に対する強さ）を調べ，記録する。 [密度を調べる方法] ① 水や菜種油，飽和食塩水に細かく切断したプラスチック片を入れ，浮き沈みを調べる。 [燃え方を調べる方法] ① 銅線上に細かく切断したプラスチック片を乗せて，ガスバーナーの炎で加熱する。	○上記6種類のプラスチックでできた製品をあらかじめ用意しておく。 ○安全に留意し，正しい操作で実験を行っている。（実験の技能）

<p>考察</p> <p>発表</p> <p>終結</p>	<p>② 炎の色, すずの量, におい, 融け方, 燃え残りの有無などに注目して, それらのようすを記録する。 [熱に対する強さを調べる方法] ① プラスチック片を熱湯につけ, 硬さがどのように変化したかを調べる。 ○前時までに調べた6種類のプラスチックの性質(密度, 燃え方, 熱に対する強度)と比較し, 根拠に基づいてプラスチックの種類を区別する。 ・銅線上で燃えているときの炎が緑色なので, PVCである。 ・水と飽和食塩水に沈み, 銅線上で燃えているときの炎が黄色で, 加熱すると軟らかくなるのでPETである。 ・水に浮き, 菜種油に沈むのでPEである。 など ○グループごとに, 同定したプラスチックの種類を発表する。 ○密度や燃え方, 熱に対する強さを調べることで, プラスチックの種類を区別することができた。</p>	<p>○密度や燃え方, 熱に対する強さを根拠にしてプラスチックの種類を同定している。(科学的な思考・判断・表現) ○科学的な根拠や解釈を示しながら, 論理的に説明している。(科学的な思考・判断・表現)</p>
<p>教科書「未来へひろがるサイエンス1」(啓林館), 補助教材「理科資料 全国版」(東京法令出版) 準備物 プラスチック標品6種(PET, PS, PE, PP, PVC, PC;ペレット状), 銅線(直径1.2 mm), ガスバーナー, ピンセット, 水(1.00 g/cm³, 20℃), 菜種油(0.92 g/cm³, 20℃), 飽和食塩水(1.18 g/cm³, 20℃), スクリュー管(20 cm³), 湯(約80℃), 安全めがね, 雑巾</p>		

実践結果と成果・課題

新学習指導要領では, 中1化学領域「身のまわりの物質」の単元において, 新たに「プラスチック」の項目が追加となった。そこで, このプラスチックを題材にして, 未知のプラスチックの種類を同定する「パフォーマンス課題」を取り入れた授業実践を試みた。教科書で取り扱われているプラスチックは, PET, PP, PE, PS, PVCの5種である。事前の生徒アンケートで, 身のまわりにあるプラスチック製品の例を問うたところ, 生徒は自分たちが利用している文房具類や弁当箱等を列挙する程度で, 平素のプラスチック製品の利用に対する意識は低いことがわかった。そこで, 本時では, 身のまわりのプラスチック製品に関心を持たせるために, 卵パックやマヨネーズ容器, DVDなど, 私たちの生活においてなじみのあるプラスチック製品を用いることとした。ここで, DVDについてはPC(ポリカーボネート)からなる製品であり, 教科書では取り扱われていなかったが, DVDは生徒にとって身近なプラスチック製品であり, 本時の実験によって同定可能であることから, 教材として用いることにした。プラスチックの種類を同定するにあたっては, 密度, 燃え方, 熱に対する強さなど, プラスチックの性質をさまざまな視点から捉える実験を行い, 同定の決め手となる結果をしっかりと目立つように記入し, 情報を

蓄積させた。表1に, 本時までに生徒実験として行ったプラスチックの種類を決定するための実験方法とその結果を示した。

生徒は, 下の表1の実験結果に基づき, プラスチックの①密度を調べる方法, ②燃え方を調べる方法, ③熱に対する強さを調べる方法を用いて, プラスチックの種類を区別する決め手となる情報を収集し, 得られた結果を分析, 解釈し, 論理的にプラスチックの種類を決定した。また, パフォーマンス課題の評価規準・基準については, 表2のように設定した。通常, 評価基準を3段階(A~C)で設定した場合, 評価Bをおおむね満足できる目標に設定するのが一般的である。しかし, 筆者は, これまでの実験において生徒が丁寧に実験結果(情報)を収集し, プラスチックの性質についての知識をじゅうぶんに蓄積していると判断し, このような生徒の実態を踏まえ, 生徒全員が評価Aに到達することを目指した。本時ではグループごとに実験結果, 考察, 結論を発表する形式をとったが, 最終的には, 生徒個人にレポートを課し, 本時の実験結果およびその結果からわかること(考察), そして同定したプラスチックの種類(結論)を書かせることにより, 評価した。生徒が提出したレポートの一部を図5に示す。また, 結果を論理的に説明するためのツールとして「思考シート」を導入し, 実験結果, 結果の分

析・解釈、結果からわかること、について順序立てて段階的に思考できるような工夫をした。思考シートは、思考の可視化および思考の深化をねらうとともに、発表の際、相手に納得させるためのものとして活用させることも目的としている。思考シートを導入しなかった先行授業と比較すると、思考シートを導入することで、プラスチックを区別するための適切な方法とその結果が明確に示され、科学的根拠に基づいて論理的にプラスチックの種類を同定することができるように

なったことがわかった。思考シートの例を図6に示す。一方で、どのような順序で実験を行えば、効率よくプラスチックを同定できるか深く考えず、とりあえず燃やしてみよう、というように、生徒の興味関心が先に立って、実験手順を論理的に考えることができなかったグループも若干見られた。生徒の発達段階に応じて、特に中学1年生では、探究活動の導入部分を手厚く行い、生徒に授業の目的をしっかりと確認させる必要がある。

表1. プラスチックの種類を決定するための実験方法とその結果

	浮き沈み			燃え方			硬さ	
	水	菜種油	飽和食塩水	炎の色	すすの量	燃え残り	加熱前	加熱後
PET	沈む	/	沈む	黄	多い	無	硬い	軟らかい
PE	浮く	沈む	/	黄	少ない	無	軟らかい	軟らかい
PS	沈む	/	浮く	黄	多い	無	硬い	硬い
PVC	沈む	/	沈む	緑	多い	有	硬い	軟らかい
PP	浮く	浮く	/	黄	少ない	有	硬い	硬い
PC	沈む	/	沈む	黄	多い	有	硬い	硬い

見た目による判断が難しく、
根拠としては利用しにくい。

表2. パフォーマンス課題の評価規準・基準

評価	点	方法と結果
A	3	プラスチックを区別するための適切な方法とその結果を示し、得られた結果を分析、解釈して論理的にプラスチックの種類を同定している。
B	2	プラスチックを区別するための適切な方法とその結果を示しているが、得られた結果を分析、解釈して論理的にプラスチックの種類を同定することに課題がある。
C	1	適切な方法で実験ができていないため、プラスチックの種類を同定することができない。

<課題1>
身のまわりのプラスチック製品がどんなプラスチックでできているかを調べた際、あなたの班が行った実験操作と結果、および結果からわかったことを下の表にまとめよ。

調べたプラスチック製品 プラスチックコップ

実験操作(行った順に書くこと)	結果	結果からわかること
① 浮き沈みを調べよ	水 飽和食塩水に沈む	PETかPVCかPC
② 燃え方	燃え残らない。材料の炎はオレンジ	PVC以外
③ 硬さ	はしが丸くなった	PETかPEかPVC

調べたプラスチック製品 プラスチックコップ

まず、水・飽和食塩水に沈んだことから、PET、PVC、PCの可能性が分かった。次に燃やして燃やしたとき炎がオレンジ色だったことから、PVCではないことがわかった。PETとPCの2つに絞られた。最後に硬さを調べると、はしが丸くなり熱に弱いことがわかったため、プラスチックコップはPETだと結論づけた。
ポリエチレンテレフタレート

<思考シート>

A組 3 班 調べたプラスチック製品 プラスチックコップ

浮き沈み(結果)	燃え方(結果)	硬さ(結果)
水に沈む 飽和食塩水に沈む	燃え残らない。 すすは少ない。 炎の色はオレンジ	はしが丸くなった。
浮き沈み(結果からわかる情報)	燃え方(結果からわかる情報)	硬さ(結果からわかる情報)
PET PVC PC	PVC以外	PET PE PVC

プラスチックの種類は
ポリエチレンテレフタレート (PET) である。

図5. レポート課題

図6. 思考シート

(3) 高等学校における実践

日時 平成26年11月29日(土) 9:30～10:20
 場所 広島大学附属中・高等学校 第1生物教室
 学級 高等学校第2学年選択クラス38名

(男子12名, 女子26名)

単元 動物の反応と行動

目標 1. 動物が外界(環境)の変化を特定の刺激として受容し, 神経系を介して, その変化に反応する仕組みを理解する。
 2. 特定の刺激に対する反応としての動物個体の様々な行動について理解する。
 3. 動物の反応と行動に関する探究活動を通して, 学習内容に対する理解を深めると共に, 科学的・生物学的に探究する能力を高める。

時間配当

- | | |
|-------------|------------|
| 1. 刺激の受容と反応 | 8時間 |
| 2. 動物の行動 | 4時間 |
| 3. 探究活動 | 3時間(本時2/3) |

指導の経過と今後の計画

新課程「生物」では, 大項目ごとに探究活動が設定されており, 各単元においては, 多様な知識・技能を習得させるだけでなく, それらを総合して活用することで課題解決を図るような探究活動を実施する必要があると考える。また, 探究活動においては, 生徒が, 科学的・生物学的に探究する能力を高めるために, 定量的なデータをもとに分析・解釈を行い, 科学的な根拠から総合的に判断し, 結論を導くことのできる活動を設定する必要があると考える。さらには, 生徒の活動の成果に対する評価の観点・規準を明確にし, 客観的な評価を行う必要があると考える。

「動物の反応と行動」の単元では, 刺激の受容から

反応までの仕組みと刺激に対する反応としての動物個体の行動を, 神経系における情報伝達と関連付けて学習する。教科書では, 走性などを定性的に調べる観察が挙げられているが, 外界からの刺激を動物個体がどのように受容し, どのような行動の変化を示すかを定量的に測定する実験を取り入れる必要がある。本授業で用いるゼブラフィッシュは, モデル生物の一つとして, 脳機能の解明に向けた基盤研究等に用いられているが, 多産で世代交代が早く, 学校の実験室で飼育できるため, 個体の確保が容易であるという利点がある。

上記をふまえ, 本実践では, パフォーマンス課題として「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」を探究する活動を設定する。前時までに, 動物の反応と行動に関する基礎的な知識と, 実験や解析に必要な技能について学習し, パフォーマンス課題とその評価規準・基準を提示している。本時では, 物体の落下時に起こるゼブラフィッシュの逃避運動について, 適切な条件設定のもとで正確に記録・測定を行い, 落下物の着水前後の画像の分析・解釈から, 逃避運動が視覚により生じることを見出させる。次時では, 着水前後の個体の移動速度の変化をグラフ化させる。最後に, 既習の知識・技能を活用し, 科学的な根拠から, 逃避運動の過程について総合的に考察させ, レポートを作成させる。

本時の題目

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」

本時の目標

物体を落下したときに起こる魚類の逃避運動について探究し, 結果の分析・解釈から, 逃避運動が視覚により生じることを見出すことができる。

指導計画

指導過程	学習活動・学習内容	評価・指導上の留意点
導入 ・課題の確認	○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」を確認する。	
・魚類の逃避運動についての確認	○魚類は落下物に対して, 瞬時に体を湾曲させる(Cスタート)反応を見せることを想起する。 ○後脳に左右一対ずつ存在するマウスナー細胞によって逃避運動が行われていることを想起する。	○個体の反応を動画で提示し, 想起させる。 ○電子情報ボードで提示し, 想起させる。
展開 ・本時の活動の説明	○本時で明らかにすることを確認する。 「落下物に対する逃避運動は, 着水前後のどちらで起こっているのか」 ・物体落下時における逃避運動の記録	○落下物の水面からの高さ, 記録用カメラの位置, 実験個体の状態等の条件設定を考え, 正確な測定・記録を行うよう指導する。

<ul style="list-style-type: none"> ・実験方法の説明 ・実験 	<ul style="list-style-type: none"> ・動画から静止画への変換 ・落下物着水前後の画像の分析・解釈 	<ul style="list-style-type: none"> ○動物実験の配慮事項を想起させる。
<ul style="list-style-type: none"> ・結果の処理 	<ul style="list-style-type: none"> ○実験方法を理解する。 ○デジタルカメラのハイスピード機能を用いて、物体を一定の高さから落下させた時の逃避運動の様子を記録する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○分割フレーム数を考え、画像1枚ごとの時間経過についても記録させる。
<ul style="list-style-type: none"> ・結果の分析・解釈 	<ul style="list-style-type: none"> ○変換ソフトを用いて、動画を静止画に変換し、着水前後の画像を抽出する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○落下物と個体の位置関係をもとに判断させる。
<ul style="list-style-type: none"> ・結果の共有 	<ul style="list-style-type: none"> ○個体のCスタートを確認し、物体落下により逃避運動が起こっていることを理解する。 ○着水直前の画像で、Cスタートが見られることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ◎結果の分析・解釈をもとに、逃避運動が視覚により生じることを見出し、説明している。(思考・判断・表現)
<ul style="list-style-type: none"> ・考察 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>着水前にCスタートが起こっていることから、着水前に物体の落下を目で捉えて瞬時に逃げているのではないかと考えられる。</p> </div>	
<ul style="list-style-type: none"> ・次時への問題提起 	<ul style="list-style-type: none"> ○本時の考察から、より科学的な根拠を得るための方法について考える。 	<ul style="list-style-type: none"> ○着水前に逃げていることを検証するために、移動速度の変化を見出すことを見出させる。
<ul style="list-style-type: none"> ・片付け 		
<p>備考 教科書：高等学校生物（第一学習社） 準備物：ゼブラフィッシュ、デジタルカメラ、ガラス玉、鉄製スタンド、ノートパソコン、小型水槽、ワークシート等</p>		

実践結果と成果・課題

本実践では、パフォーマンス課題の到達目標（課題の解答）を以下の表3に示すように設定した。

表3 パフォーマンス課題の到達目標

<p>(*) 実験結果から、静止画から着水前（あるいは着水の瞬間）に個体がCスタートを示していることが確認でき、また、グラフから、Cスタートの開始直前から急激な移動速度の上昇が確認できる。ゼブラフィッシュでは、刺激を受容してからマウスナー細胞が反応するのに5～10ミリ秒、さらに胸筋の収縮が開始するのに、数ミリ秒かかる。つまり、刺激を受容してからCスタート反応がみられるまで、最低でも10ミリ秒程度を要するとされているため、Cスタートが確認できた静止画（フレーム）から約2～3フレーム（≒8.4～12.6ミリ秒）の時点で刺激の受容が起こっていると考えられる。従って、落下物の着水前に刺激の受容が起こっているとすれば、Cスタートが起こる際には、物体の落下を光刺激として眼で受容しているといえる。</p> <p>(**) 光刺激の受容により、感覚ニューロンを通じて視覚情報が延髄に存在する中枢ニューロンであるマウスナー細胞へと入力され、マウスナー細胞の興奮（活動電位の発生）が起こる。この興奮が中枢ニューロンの軸索中を伝導し脊髄を経由して、胸筋につながる運動ニューロンの興奮を促し、胸筋の収縮を引き起こすものと考えられる。</p>

次に、到達目標にもとづき、ルーブリックを作成した。評価の観点のうち、「技能」の評価はグループでの実験結果・解析結果、「思考・判断・表現」の評価は、

個人のレポートをそれぞれ評価材とした。「思考・判断・表現」の評価規準・基準を、以下の表4に示す。

表4 「思考・判断・表現」の評価規準・基準

基準	評価規準
A	実験により得られたデータを既習の知識・情報を活用して解釈し、その科学的根拠をもとに考察し、与えられた課題に対する結論について、「刺激受容と感覚」、「神経系における情報伝達」、「反応」の各過程をふまえて論理的に説明することができている。
B	実験により得られたデータを既習の知識・情報を活用して解釈し、その科学的根拠をもとに考察し、与えられた課題に対する結論について説明することができている。
C	実験により得られたデータを既習の知識・情報を活用して解釈し、その科学的根拠をもとに考察しているが、解釈の仕方や与えられた課題に対する結論について説明することにおいて幾つかの課題がある。

図7に、生徒の記述（課題の解答）を示す。この生徒の記述では、まず、結果の分析・解釈により得られた科学的根拠を詳細に示した上で結論が述べられている。それに加えて、表4の評価規準に示したように、「刺激受容と感覚」、「神経系における情報伝達」、「反応」の各過程をふまえて結論が述べられている。従って、

表3の(*)と(**)の部分を満たしていると判断し、評価「A」とした。

物体落下時に魚類、今回の実験ではセグウェイの
 逃避運動は一番最初に視覚感覚を通して行われていること
 が10回の実験では分かった。つまり、物体が着水する前に
 物体落下を眼で捉えて、その後「スマート」を動かしている
 わけである。
 セグウェイの物体落下時に逃避運動を促す際、まず
 最初に物体が落下してきているのを眼、視覚感覚でとらえその情報を
 逃避運動を表現する中脳-小脳系に送られ存在するマウス
 細胞で受容する。マウス細胞の軸索は後頭側頭葉のCから
 反対側の脊髄に伸びている。マウス細胞で活動電位が起き、
 反対側の関節と反対側の運動ニューロン系に興奮して、筋肉で
 収縮する。反対側の関節の筋肉の活動は、同時にCの両側に
 同時に収縮し、物体落下後、Cに曲がり、逃避運動の表現として
 着水した瞬間の物体落下後の183ミリ秒であるかその570ミリ秒
 着水した瞬間の物体落下後の463ミリ秒でCの字が見られた。
 物体落下後からマウス細胞が反応するに5-10ミリ秒、
 関節の収縮が開始するに数ミリ秒と早くは12ミリ秒で
 視覚のC-Eと受けたのは、物体落下後、123ミリ秒で
 刺激と受容して、早くはC-Eによる過程で「スマート」が
 行われ、その時間は203ミリ秒かかると推測される。
 このことから逃避運動のC-Eは、田田の様子は
 眼でとらえ視覚感覚の情報と共にマウス細胞に入り、
 と推測される。

図7. 生徒の記述 (課題の解答)

事後に、設問による自己評価と、自由記述による振り返りに取り組ませた。表3に、生徒による自己評価の結果を示す。設問(1)は「課題の意図や実験操作の基本的な原理に対する理解」、設問(2)は「技能」、設問(3)は「思考・判断・表現」、設問(4)は「言語活動の充実」についてそれぞれ問うている。評価は、5段階で行い、最も+の評価を5、最も-の評価を1とした(1の評価がなかったため、表5では省略した)。

表5. 生徒による自己評価の結果

設問項目	5	4	3	2
(1)課題の意図や実験操作の基本的な原理を十分に理解することができ、活動をスムーズに行うことができた。	56 %	38 %	6 %	0 %
(2)適切な条件設定のもとで正確な測定を行い、正確な画像解析から、考察や結論を導くための科学的根拠として信頼性のあるデータを得ることができた。	26 %	53 %	15 %	6 %
(3)得られた結果を、既習の知識・情報を活用して適切に解釈し、その科学的根拠と既習内容とを関連付けて総合的に考察し、課題の結論および説明を適切に表現することができた。	26 %	59 %	12 %	3 %
(4)結果の分析や解釈、考察の場面において、他者とのコミュニケーションをはかり、互いの意見を交流させることで、新たな情報を得て、自分の考えをより深めることができた。	53 %	35 %	6 %	6 %

それぞれの設問に対して、5および4と評価した生徒が、設問(1)で94%、設問(2)で79%、設問(3)で85%、設問(4)で88%となり、高い割合となった。また、設問(2)で、5および4と評価した生徒のうち、「技能」の評価「A」の生徒が48%、評価「B」の生徒が33%であった。さらに、設問(3)で、5および4と評価した生徒のうち、「思考・判断・表現」の評価「A」の生徒が34%、評価「B」の生徒が66%であった。

次に、生徒による振り返りの記述を、図8に示す。

Cスマートの様子をカメラで見ただけで終わるのでなく、実験結果を解析する作業が新鮮だった。5回ほど玉を落としてみたものの、セグウェイから離れた場所に落ちたために両足が揺れてしまった。こちらの操作ミスで画像にブレが生じてしまったり、正直簡単だと思っていた測定もいざ実際にやるとは難しくかった。
 静止画を見て「スマートが始まっているか」と確認し、その上でセグウェイの頭部と点を打つことで移動距離(速度)を数値化することで、画像から考え出した結論の裏付けをする事ができると知った。グラフにすると、移動速度の变化が判別できやすかった。
 また、他の班との意見交換のときに、「これはCスマートではなく壁を打つてはいるように見える」「これはセグウェイは10センチはたつてはいるけども、運走も高かったのではいか」とは、また意見も聞かされた。これらの意見はどれも私たちが取り出したデータからは生かされなかった。むしろ可能性を考慮した上で、真正面からデータを得るためには、多くの数の実験を繰り返して比較が必要かあると感じた。

図8. 生徒の振り返りの記述

図8の記述からは、実験や結果の分析・解釈、あるいは他のグループとの意見交流を通して、①条件を適切に制御して正確な実験を行う必要性、②結論の裏付けとなる科学的な根拠を得るために、結果を数値化・数量化したり、グラフを作成したりすることの必要性、③自分たちの実験データに信頼性や妥当性を持たせるために、繰り返し実験を行って再現性を高めることの必要性、④対照実験によるデータの比較の必要性を、それぞれ再認識していることが伺えた。

質問紙の結果において、生徒による自己評価と実際の評価が概ね対応していた。生徒が、自分自身の活動の成果に対して客観的な評価を行えたのは、生徒自身が、課題の意図や到達目標を十分に理解した上で学習活動に臨み、探究活動のどの場面で、どのような知識・技能を活用すればよいのかを判断できていたからではないかと考えられる。さらに、生徒の振り返りから、パフォーマンス課題への取り組みを通して、適切な実験条件の制御、データの数値化・数量化や比較、実験の再現性など、科学的根拠を得るために必要な科学的方法を認識することができ、生徒の科学的・生物学的に探究する能力の向上が期待できると考えられる。

本実践を通して、パフォーマンス課題が、「思考・判断・表現」の評価に有効であることが分かったが、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（探究活動）のサイクルを継続して行う必要があると考える。今後は、他の単元においても適切なパフォーマンス課題を設定し、年間の学習計画に位置づけていく必要がある。

3. パフォーマンス課題とその評価について

小学校の実践では、手回し発電機の仕組みとはたらきについて学習した後、その仕組みとはたらきが実生活においてどのような点で利用されているかについて、得られた複数の知識や技能を直接的に活用し考えさせる場面を設定した。その結果、手回し発電機の仕組みとはたらきを、発電所や送電線などに例えて考えたり、エネルギーの変換について考察する児童が見られたりした。

中学1年（第1分野化学領域）、高等学校2年（生物）の授業実践では、いずれも単元の終わりに探究活動としてパフォーマンス課題を設定した。また、パフォーマンス課題の到達目標や評価規準・基準を作成し、それらに基づいて、生徒が実験や観察で得た定性的、定量的なデータの分析・解釈を行い、科学的な根拠から総合的に判断し、結論を導く授業であった。

評価については、最終的な個人レポートや自己評価を対象に行った。その結果、生徒自身が課題の目的や到達目標を十分に理解した上で学習活動に臨み、探究活動において、適切な場面が必要な知識・技能を活用することができていたことがわかった。また、中学校で利用した「思考シート」が、思考の可視化および思考の深化の一助となったことがわかった。

これらの授業実践から、児童・生徒が身につけた特定の知識や技能を「直接的に活用する」場面を設定し、同じ知識をもとに思考・表現させる「パフォーマンス課題」が、「科学的な思考・判断・表現」の評価に有効であることが分かった。とくに、本年度の中高の授業実践のように、単元の終わりで実施する探究活動においては、本時の導入部だけで目的意識を持たせようとするのではなく、単元の学習の流れの中で、目的意識を持たせるような構成を考えておくとなおよいと思われる。そのためには、パフォーマンス課題を特別なものとするのではなく、通常の授業において、パフォーマンス課題を取り入れることを前提とした年間指導計画を立てる必要があると考える。

4. おわりに

近年、児童・生徒の活用力の育成とその評価において、パフォーマンス課題やパフォーマンス評価といった考え方が注目されている。パフォーマンス課題は、当該単元や従前の学習を通して習得した複数の知識や技能等を複合的に活用し、課題（問題）を解決するという流れが一般的である。また、パフォーマンス評価は、基礎的な技能のみでなく、思考力・判断力・表現力等の評価における手法として位置付けられており、その点において、パフォーマンステストと比較して評価の対象が複雑化、多様化している。複数の知識や技能等を複合的に活用させるパフォーマンス課題を設定する際には、その意図や目的を明確化し、結果として何を評価するのかについて具体化しておくことがより一層重要となる。特に、思考力や判断力の評価に位置付けたい場合、当該課題においてどのような思考をしたり、どのように判断したりすることを評価の観点とするのか、課題の特性に基づいて設定しておくことが肝要となるであろう。

一方で、評価規準・基準を作成すること自体が目的化してはいけない。評価規準・基準を作成することによって、授業者がどこに焦点を当てるのかを整理することに意義があると考えられる。また、ペーパーテスト、定期テストなどで評価することができないが、評価を行う必要があると感じている事柄についてこそ、パフォーマンス課題（評価）を用いるべきであろう。

また、通常、パフォーマンス課題は授業中に実施するため、実験班などの単位で取り組むことが多いため、児童生徒は班員同士で協力しながら課題解決に取り組むことができる反面、教師が生徒個人を評価するために実験レポートなどを見ても、それが当該生徒自身による成果なのか、班員の実験レポートを書き写しただけなのか、客観的に判断することが難しい場合がある。このように、パフォーマンス課題を通して児童・生徒個人の思考力や判断力を評価する際には、評価の対象とする記録やデータをどのようにして残すのかという視点からも事前に十分な検討をしておく必要があるであろう。

引用（参考）文献

- 1) 文部科学省（2008）、『小学校学習指導要領解説理科編』、大日本図書、p.60