

新しい科学観を取り入れた理科カリキュラムの開発の研究（Ⅱ）

— 「科学の本質」の視点に基づく小・中・高の理科カリキュラムの再構築 —

土井 徹	志田 正訓	平松 敦史	内海 良一
井上 純一	大方 祐輔	梶山 耕成	佐々木康子
杉田 泰一	中山 貴司	福地 孝倫	野添 生
三田 幸司	柘植 一輝	風呂 和志	岡本 英治
沓脱 侑記	小茂田聖士	田中 伸也	西山 和之
林 靖弘	平賀 博之	間處 耕吉	丸本 浩
山下 雅文	吉田 成章	磯崎 哲夫	

1. はじめに

本研究は、広島大学附属学校（附属小学校、附属中・高等学校、附属東雲小・中学校、附属三原小・中学校、附属福山中・高等学校）の理科担当教員と教育学部の教員が協同し、新しい科学観を取り入れた小学校から高等学校までの理科カリキュラムを開発することを目的としている。本年度は、2年次に当たり、昨年度の実践の課題を解決しながら、小学校（2つ）及び高等学校（3つ）の実践例を報告する。

2. 新しい科学観の段階的な育成

さて、昨年度概要を示した新しい科学観、とりわけ科学の本質とは、大きく4つにまとめられる。まず、科学的知識は暫定的であるということ。これまで、科学的知識は安定している、すなわち未来永劫正しいと考えられてきた。けれども、科学的知識は、現在の科学者コミュニティー（学会など）において「正しい」であろうと合意が得られており、科学的知識は自然現象を説明する「一つ」の様式である。次に、科学的知識は経験的であるということ。つまり、自然界の観察などによって導き出されるということ。3点目は、科学的知識は理論に依拠していること。つまり、科学者の理論的立場や育ってきた環境に影響されること。例えば、研究者グループによって研究手法が違うという

考え方から、科学者一人ひとりの研究手法が違うという考え方までである。4点目は、科学的知識は社会的であること。科学的知識は科学者たちの協働、交渉のもとに生産されるものであるということである。

では、どのようにして科学の本質を教えるのであろうか。この問いは、2つの側面から解答する必要がある。まず、教える段階と教える内容である。Abd-El-Khalik, F (2012) は、初等教育の段階から順次中等教育まで段階的に教えていき、教師教育においても教える・学ぶ機会を持つことの重要性を指摘している。その意味から、幼稚園から高等学校までの附属を有し、教員養成を行っている広島大学の特性を生かすことが可能である。次に、科学の本質を教える方法論である。理科教育では伝統的に観察・実験などが中心に行われている。もちろん、この重要性は否定されることはない。しかしながら、科学の本質を取り上げる場合、前年度の報告書においても論じたが、理科教師がこれまで必ずしも精通してこなかった科学的根拠に基づく論証活動なども含まれてくる。もちろん、観察・実験活動においても、得られたデータの意味の解釈や科学の方法そのものについて考え、学ぶことも重要となってくる。

教える段階に加えて重要なのは、教える内容である。科学の本質に関わる内容は、科学的知識でもあるとい

Toru Doi, Masakuni Shida, Atsushi Hiramatsu, Ryouichi Utsumi, Junichi Inoue, Yusuke Ohgata, Kousei Kajiyama, Yasuko Sasaki, Taiichi Sugita, Takashi Nakayama, Takamichi Fukuchi, Susumu Nozoe, Kouji Sanda, Kazuki Tsuge, Kazushi Furo, Eiji Okamoto, Yuki Kutsunugi, Masashi Komoda, Shinya Tanaka, Kazuyuki Nishiyama, Yasuhiro Hayashi, Hiroyuki Hiraga, Kokichi Madokoro, Hiroshi Marumoto, Masafumi Yamashita, Nariakira Yoshida, and Tetsuo Isozaki:
New science curriculum development based on the “Nature of Science” II — Reconstruction of a coherent science curriculum from elementary through upper-secondary schools —

う点である。近年の欧米の科学教育の動向から、科学的知識は、自然科学そのものの内容であるか科学的知識と科学についての知識から構成されることになる。この科学についての知識が、いわゆる科学の本質とも密接に関わっている。一般的に、科学についての知識は、それ単独で教えられるのではなく、科学の知識の中に組み込んで教えられる。そのため、科学史を用いて単元を構成したり、科学・技術が背景にある社会的諸問題を取り入れた単元を構成したりすることで教えることが可能である。また、より簡単に考えれば、日常生活の文脈における科学という考え方により、授業で学んだことを日常生活の中に応用したりすることも可能となる。ただし、この場合、最後に日常生活への科学の応用を入れるのではなく、日常生活の文脈として単元を構成し、適宜、科学の本質に関わる内容を入れ込むことが大事である。

ところで、もう一点は、1980年代以降、非英語圏における近年の研究動向に関わることである。スペインやデンマークなどでは、Didactic Transposition Theory (教授学的変換(転置)理論)あるいはAnthropological Theory of Didactics (人間学的教授理論)の研究が広がりを見せている。科学者による知的生産による知(scholarly knowledge)から、教育の政策に関わる知的集合体における知(knowledge to be taught)への転置が行われ、それが教師の教育実践の知的集合体(Noosphereと呼ばれる)における知(taught knowledge)へ転置、そして学習者の獲得した知(learned knowledge)への転置のプロセス(両方向)を解明することを通して、学校において教えるあるいは教えられるべき知の正当性について議論されている(例えば、Bosch and Gascón, 2006)。つまり、教師はこの知の変換(転置)をどう読み解き、実践を行うかが問題となる。教育の政策に関わる知的集合体の知とは、学習指導要領などである。教師の教育実践の知的集合体の知とは、まさに教師が学習指導要領や教科書を解釈し、教室で教える知である。この一連の知の変換(転置)が、科学的知識のもう一つの側面である。

3. 「科学の本質」の視点を取り入れた授業実践(1)

広島大学附属東雲小学校の6年生を対象に、外来生物とのつきあい方を考えさせる試行的授業を行った。

野生化した外来生物が世界各地で在来生態系に悪影響を与えている。我が国においても、野生化する外来生物が急速に増加しており、2005年には特定外来生物による生態系に係る被害の防止に関する法律が施行され、生態多様性の確保が図られている。また、外来生物に係る問題は日常生活に密着した問題であるため、

「悪影響を及ぼすかもしれない外来生物をむやみに日本に入れない」「飼っている外来生物を野外に捨てない」「野外にすでにいる外来生物は他地域に拡げない」ことを謳った外来生物被害予防三原則が作成・閣議決定され、国民一人ひとりがとるべき姿勢も示された。

しかしながら、小学校においては、教師の外来種・移入種問題に関する意識は極めて低く(飯沼, 2013)、児童は、外来生物に関する知識を十分に習得しているとは言えない(土井・林, 2014)のが現状である。

現在、外来生物問題は中学校理科で扱うことになっており、小学校の理科教科書には関連する記載はない。しかしながら、我々の身の回りには数多くの外来生物が存在しており、小学校の理科教科書にも多数登場している。「小学校では、何が在来種で何が外来種なのか・そしてなぜ在来種を大切にすることが必要なのかについての指導を行うことが必要であり、豊かな生物多様性が維持されてこそ、人類は豊かな生態系からのサービスを受けることができるといった内容をわかりやすく児童に伝えることが、目指すべき生物多様性教育の方向性である」とは、庄子・長島(2014)の指摘であるが、具体的にはどのような授業を行うことができるについての検討も必要である。

ところで、我々の身の周りに存在する外来生物は、特定外来生物のオオクチバスや要注意外来生物のアメリカザリガニのように生態系に被害を及ぼすものばかりではない。イネを始めとして我々が食用にしている植物の大半は外来生物である。園芸植物も同様であり、我が国の生態系において分解者として位置付いているオカダンゴムシもまた外来生物である。他方、ホンビノスガイのように、現時点では在来生態系への被害報告がなく、重要な漁業資源となっている生物も存在する。しかしながら、本種が、北大西洋からロシア北西部のバレンツ海に放流され定着したタラバガニのように、重要な漁業資源であると同時に、在来生態系を危機的状況に陥れる存在になる可能性は否定できず、在来生態系の保全の視点で見れば生息域の拡大が懸念される種でもある。外来生物とのつきあいかたを実社会の文脈で考えるのに適した教材であり、社会学の要素も包括した、科学や技術に関わる論争の余地のある問題として取り上げることができる。

本実践では、まず「何が在来生物で何が外来生物なのか」、「外来生物の存在は我々の生活とどのように関係しているか」を理解させた上で、論争の余地のある問題としてホンビノスガイを取り上げ、小学校におけるSSIを取り入れた授業実践の可能性を探った。

【授業の実際】

今回の授業を試行する前に行ったアンケート調査の

結果、外来生物に対して肯定的なイメージをもっている児童が1割程度であった。9割の児童は、「凶暴・危険・強い」、または「環境悪化・生態系破壊・在来種を絶滅へ」といった否定的なイメージ、あるいは、「誰かが持ってきて増えてしまった」、「日本にとってイネみたいに食べられて利益をもたらしたのもあれば、ブラックバスのように日本に住んでいたものを食べ絶滅させてしまった生物もある。」といった否定的でもなく肯定的でもないイメージをもっていた。そこで、第1時では、身近な外来生物を取り上げて、在来生態系に悪影響を与えているものもあれば、我々が恩恵を受けているものもあることを紹介し、一面的な理解からの脱却を促した。第2時では、食用および観賞用に利用されている外来生物を中心にしながら世界の侵略的外来生物ワースト100に指定されている身近な生物も紹介することで、外来生物に関する多面的な知識の習得を促した。第3時は、習得した知識を用いて外来生物とのつきあい方を考えさせる展開とした。

表1 外来生物とのつきあい方を考える授業展開

1時 身近にいる外来生物
<ul style="list-style-type: none"> 以下の生物について、移入の時期・経緯、在来生態系への影響に関する説明を聞く。 ミドリガメ、アメリカザリガニ、アライグマ、イネ、ブラックバス、アサガオ、スズメ、ドバト、ナズナ、ヒガンバナ、ヤギ、ダンゴムシ
2時 店や校庭などにいる外来生物
<ul style="list-style-type: none"> 以下の生物について、移入の時期・経緯に関する説明を聞く。 オクラ、キャベツ、タマネギ、ニンジンなどの野菜 リンゴ、バナナなどの果物 ヒマワリ、ホウセンカなどの園芸植物 オオイヌノフグリ、ヒメジョオンなどの野草 以下の生物が在来生物と言われていることについて説明を聞く。 ミカン、マイタケ、ダイズ、コマツナ、ニラ
3時 外来生物とのつきあい方
<ul style="list-style-type: none"> オオクチバスの移入時期および経緯、釣魚として人気種でありそれに依存した産業が形成されていること、生態、在来生態系への影響に関する説明を聞いた後で、つきあい方についての考えを交流する。 ホンビノスガイの移入時期および経緯、生態、在来生態系への影響に関する説明を聞き、漁業者へのインタビュー（動画）を視聴したいた後で、つきあい方についての考えを交流する。 バレンツ海に放流されたトラバガニの現状に関する説明を聞く。

「ホンビノスガイとどのようにつきあいますか」との課題に対しては、児童それぞれに考えを記述させた。その一部紹介する。

- 食べたりしてずっとこのよい状態のまま保っていく。
- そのままにする。在来種に悪影響を与えないので、繁殖を手助けしてもよいと思う。
- もしも害があったときのため、養殖場で繁殖させていく。害をもたらすのであれば、片っ端から消していく。減っている貝があるのならば、その分をホンビノスガイで補う。
- 食料として必要だから養殖すればよい。アサリの代わりに使う。酸素や塩分が少ないところにホンビノスガイを、多いところにアサリやハマグリを。
- もっと増やすといいと思う。日本の水産業を支える大切な役をしてほしい。食べてみたい。現存の東京湾にそっくりな状態のイケスを作り、研究して、この貝のことをよく理解しておく。
- 増えてもよいか実験をして、影響がなかったら少し増やしてもよいと思います。しかし、あんまり増やさないと良いと思います。理由は、日本のアサリなどが売れなくなるからです。
- あまり増やさないとよいと思います。ブラックバスも最初はもともと日本にいた生物に悪いことをするとかわかっていなくて増やしてから危険だと分かったので、ホンビノスガイも増やしたら危険だったということがあるかもしれないので、増やすのはやめたほうが良いと思います。

これらの児童の記述例から、経済的側面に着目した考えをもっている児童もいるが、生態系への影響に関するデータを蓄積する必要性や種の生態の相違に着目した対応など科学的根拠に基づいた考えをもった児童もいることがわかる。

【授業実践後のアンケート結果】

授業実践後に行った授業に関するアンケート結果は以下の通りである。

図1には、授業内容の感想について示した。この結果から、9割以上の児童が今回の授業内容を面白いと感じてはいるが、一方で、決して平易な授業内容とは捉えていないことがわかる。

図2は、授業の理解度に関するアンケート結果である。外来生物に関する理解が深まったと感じた児童は9割を超えるが、生態系を視点に外来生物への対応を考えることは児童にとって決して容易ではないことがわかる。

最後に、授業に対する生徒たちの感想を図3に示す。この結果から、多くの児童が今回の授業に対して比較的肯定的な見方をしていることがわかる。

今回の授業は、小学校において「科学の本質」の視点を取り入れるためにSSIを導入した試行的実践であった。具体的には、第3時で導入したホンビノスガ

イへの対応を考える学習課題が、社会学の要素も包括した、科学や技術に関わる論争の余地のある問題であった。アンケート結果が示すように、実社会の文脈で論争の余地のある問題について科学的な根拠に基づいた判断をすることは児童にとって容易なことではない。しかしながら、ホンビノスガイとのつきあい方についての児童の記述は、小学校段階におけるSSI導入の可能性を示している。

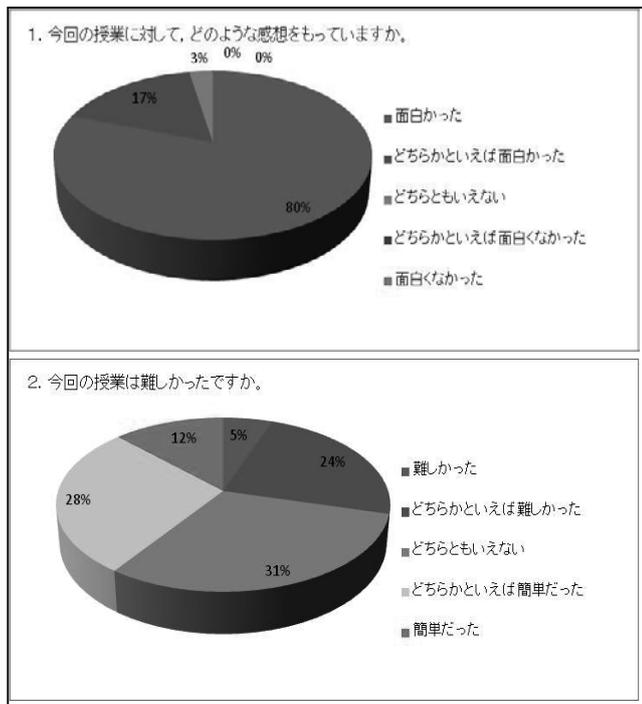


図1 アンケート結果（授業内容の感想）

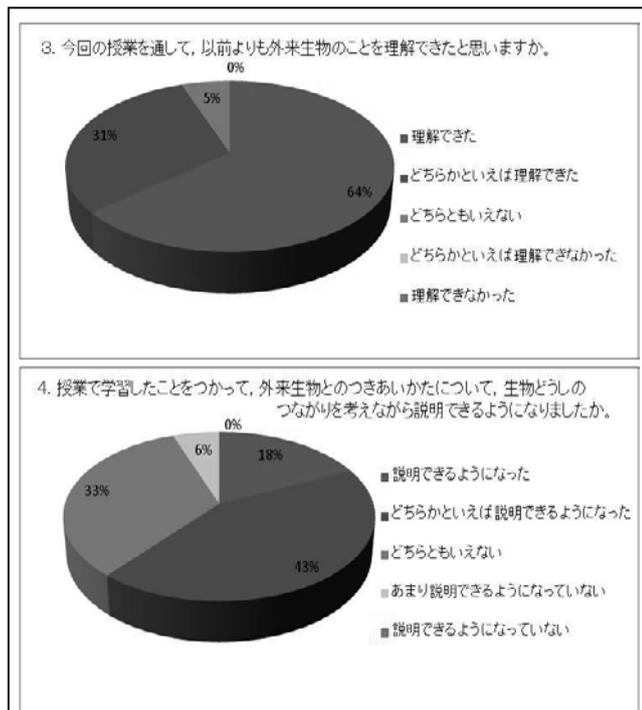


図2 アンケート結果（授業の理解度）

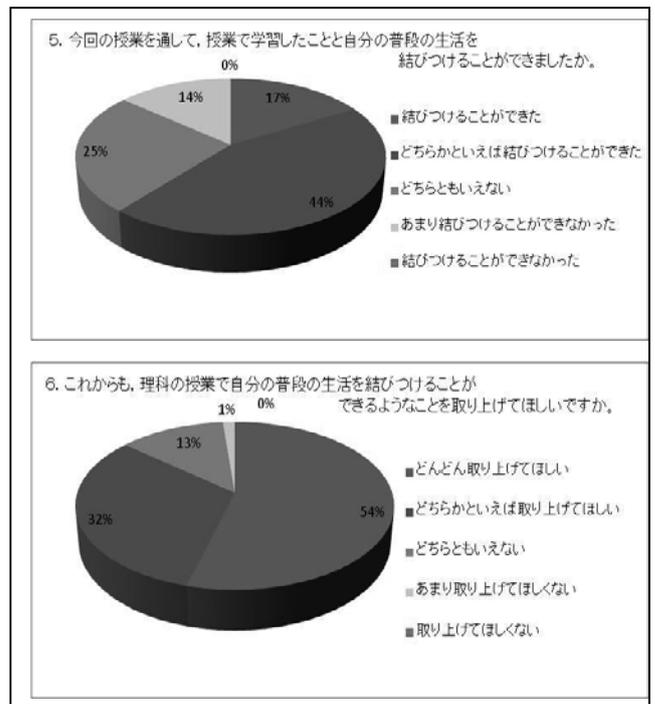


図3 アンケート結果（授業に対する感想）

現在、巷に溢れる科学・技術に関連する社会的問題は、将来、児童が直面する問題でもある。科学的知識を基盤に、実社会・実生活上の問題に対して根拠を明確にしながら判断を行うことは、新しい科学観を取り入れた小学校理科の授業を考える上で、一つの視点となりうるであろう。

4. 「科学の本質」の視点を取り入れた授業実践（2）

広島大学附属小学校の5年生を対象に、台風に関して、防災・減災教育の視点で考えさせる試行的授業を共同で開発し、これを行った。

これまでの研究で、科学や技術が関連する社会的諸問題を小学校理科のカリキュラムの中でどのように授業として成立させていくかという点が問題として明らかになった。この問題を考えるに当たり、その事例の一つとなり得るのではないかと考えたのが、自然災害を取り扱う単元において防災・減災という視点で子どもたちに考えさせていく授業である。その中でも特に第5学年「天気の変化」を取り扱った内容に着目した授業を行った。天気の変化は、気象学に基づいて研究がなされている。つまり、われわれにとって身近な天気の変化や普段目にする天気予報というのは、科学的知識の産物であり、科学と社会が密接に関連した結果であると捉えることができるのではないだろうか。そして、2014年8月に起きた広島市の土砂災害、そしてそれら自然災害に対する警報の発令や避難勧告といった様々な処置も、気象学や気象予報に基づいた、科学

や技術が関連する社会的諸問題と、それへの対応と捉えられるのではないかと考える。

このように考えるのであれば、小学校理科で学習する内容と社会との関連を、天気の変化とそれに伴う防災・減災という視点に見出すことができると考え、授業を考案した。

ここで、防災・減災という視点で天気の様子を取り扱う際に、同じようなテーマを取り扱う他教科、特に社会科との比較を通して、小学校理科で防災・減災をテーマとして取り扱う価値について論じたい。社会科で防災・減災教育をテーマとした単元においては、「自助」・「公助」・「共助」という3つの視点で社会システムをとらえ、過去の災害や、災害発生時に、これらの視点に基づいてどのような社会的な仕組が働いているのかという点を資料等から明らかにし、これからの社会のあり方について判断していくという学習の流れが一般的である。この「自助」・「公助」・「共助」については、端的に、

- 自助…「自分の命は自分で守る」
- 共助…「地域の安全はみんなで守る」
- 公助…「国や自治体の義務」（「地震に強い社会基盤の整備など」）

と表され、それぞれの視点における社会システムの具体が明らかになっている。そして、これら3つの視点が「減災の原点」であるとしている（河田，2008，pp. 114-134）。

それでは、小学校理科で、防災・減災教育を取り扱うという際にはどのような価値があるといえるのか。この点について考えていきたい。端的に言えば、それは、先述の「自助」・「共助」・「公助」という3つの視点の中で言えば、「自助」に相当する部分を中心的に取り扱うことに価値があるのではないかと考える。すなわち、子ども一人一人が科学的知識を用いて、自然事象を読み解き、自然災害という問題に対して、自分の行動を決定することができるようになるという点に価値があると考え。その理由については、次のように考える。

実際に自然災害を想定した場合、「自助」・「公助」・「共助」という視点は確かに大切である。しかし、いざ、災害の現場に立った際には、自分の命を守るためには、この3つの中でも「自助」における判断こそが重要であると考え。この点については、「自助」が「自分の命は自分で守る」と表されていることや、「いくら共助や公助があっても、当人が勉強しないことには話になりません。それが大部分です。つまり自助が最も重要なのです」と述べられていることから分かる（河田，2008，p. 224）。理科で学習した科学的思考、科学

的知識を可能な限り正しく用い、正確な判断を下す。このような行動の変容を求め、自分の命を守ることにつなげることは、科学や技術が関連する社会的問題に対して、科学的知識を活用することに重なるのではないかと考える。

このような考えに基づいて、第5学年の「天気の様子」の「台風」についての事象を取り上げ、授業を行った。次に、その授業の実際について示していくこととする。

【授業の実際】

授業展開を表2に示す。

表2 本時の流れ

<p>災害についてこれまで学習したことを根拠としながら、自分の行動を考えていく。</p> <ul style="list-style-type: none">○広島市のホームページの資料から、災害に対する備えがどのような科学的知識に基づいているかについて把握させる。○ある台風の天気図を参考にしながら、台風が近づいていくにつれて、自分がどのような行動をとるべきかについて考えさせる。
--

本時では、子どもが科学的知識を用いて、社会的問題について特に「自助」という視点で考えることを重視する点から、広島市のホームページに掲載されている防災・減災に関する資料について、科学的知識を根拠として説明をしていくという学習活動を主として授業を行っていった。その際に用いた資料を図4に示す。

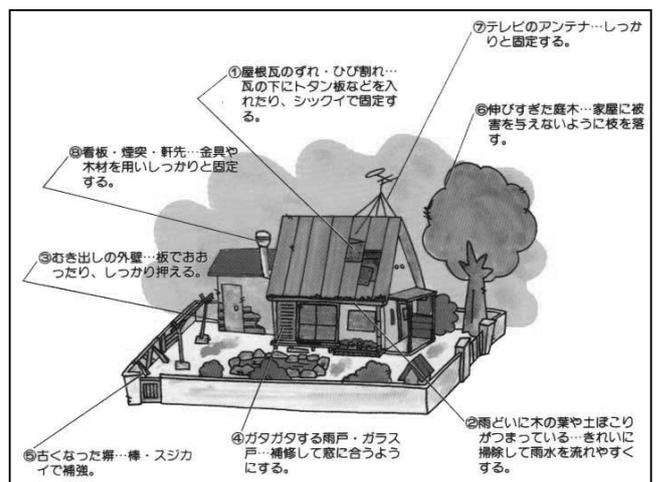


図4 授業で用いた資料（広島市HP，2014）¹⁾

この資料にあるように、防災・減災のためには、様々な処置が必要であることがわかる。そして、これらは、科学的知識が根拠となっていることもまた事実であ

る。例えば、図4で「⑦テレビのアンテナ…しっかりと固定する」という記述があるのは、風で物が飛んで行かないようにするためのことであると考えられる。これらの根拠となっている科学的知識は第3学年で学習する「風の働き」で学習する内容である。授業では、広島市の資料の中にあるこうした記述の根底にある科学的知識を明らかにしていくことを重視したが、できている様子であった。

このような資料について、科学的な知識を根拠として考えた後に、今度は実際に自分がどのように行動するのかということを見ながら考えさせる学習活動を行った。その際には、図5に示すような天気図を子どもたちに示し、6日、8日、10日で段階的にどのような行動をとるのかについて考えさせた。台風が近づいてくるものの、まだ広島への到着に余裕のある6

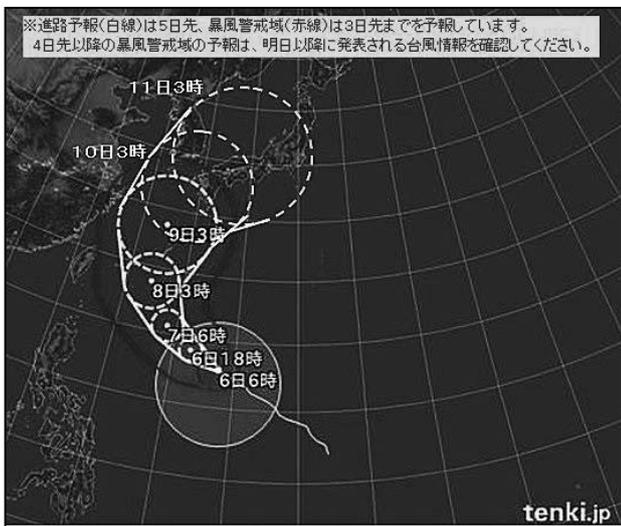


図5 授業で用いた資料（日本気象協会，2014）²⁾

日～8日ごろにかけては、「何もしない」という考えが圧倒的に多かった。その理由として、天気図を根拠とし、まだ近づいては来ないという考えをしている児童がほとんどであった。一方で、中には、

●ちゅう車場のものを動かしておく。

というように、台風の風による災害に備えておこうとする記述も見られた。そして、10日の行動になると、次のような記述が見られた。

●外を見る・聞く。

●1時間、もしくは30分ごとに外のようすをみたり注い報やけいほうを見る。

●せんとくものをとるこむ。

●川を見る。

●窓がちゃんと閉まっているかを確認する。

授業では、より深めていくために、「外を見る、聞く」といった子どもには、外の何を見るのかということ

問うていった。すると、子どもからは、雲の様子や、川の様子、そして、風の様子といったことを観察しようとする子どもの考えが明らかになった。さらに、川を見るという子どもに対しては、川の何を見るのかという点について聞いていくと、水量や流れを見るといった発言があった。

このように、「自助」・「公助」・「共助」という枠組みで言えば、「自助」の部分について、科学的知識を根拠としながら、自分の行動を決定しようとする姿が現れたといえるのではないだろうか。

【授業後の考察】

本時を振り返ると、科学的知識を用いて、自然災害に備えるための情報に含まれている科学的知識を明らかにすることや、災害時における自分の行動について科学的根拠を交えて意思決定をするといったことを目指し、そのような子どもの発言、および記録も見られたが、その一方で、本実践は資料をもとにした実践であったために、実感を伴って考えることが難しいという課題があった。少しでも実感をもとに考えられるようにと、授業ではハンディブローワーを用いて、強い風によって物が飛んでくることを体験しつつ、学習を進めていったが、実際の台風のような全方位からの強い風ではないため、実感を伴ったかといえ、難しかったと考える。

ただ、このように、科学が関連した社会的諸問題に対し、学習したことを用いて考えるという点においては、その学習の一例となり得る部分もあるのではないかと考える。今後は、この事例をもとにし、より精査された実践を考えることが必要ではないかと考える。

5. 「科学の本質」の視点を取り入れた授業実践（3）

5.1 高等学校「化学基礎」での実践

【「化学基礎」の内容における「科学の本質」】

高等学校「化学基礎」の単元「酸・塩基と中和」の中から「電離度」「酸・塩基の強弱」「pH」を取り上げ、実践を行った。「化学基礎」の教科書の多くは酸・塩基の強弱と関連付けて電離度を学んだ後に、pHの定義と算出方法を学習することを想定して編集されている。これらの項目では実験も紹介されてはいるもののpHメーターを用いて異なる濃度の塩酸のpHを測定するにとどまっている。また、この単元の高等学校学習指導要領の内容の取り扱いでは「酸、塩基の強弱と電離度の大小との関係も扱うこと。「酸と塩基」については、水素イオン濃度とpHとの関係にも触れること。「中和反応」については、生成する塩の性質にも触れること。（下線部筆者）」となっている。加えて、小・中・高を通じた理科の内容の構造化を図るために化学

領域は「粒子」がキーワードとなっている。

そこで本実践では、科学的知識の量よりも質を重視し、羅列ではなく物語的に配列して学び、探究活動に加えて科学的証拠に基づく論証活動を取り入れるなど科学の本質の視点に立ち、上記の下線部に含まれる電離度とpHこれら2つの内容を同時に理解させる探究活動を開発した。具体的には、強酸と弱酸の両方を用い、異なる濃度の水溶液のpHを測定し、得られた結果をもとに、pHと水素イオン濃度との関係、強酸・弱酸の違いについて、水素イオン濃度と水溶液の濃度との関係、濃度と電離度との関係について考察させるというストーリー性をもたせた展開とした。また、「粒子」についての理解を深めるために、実験結果という科学的証拠をもとに考察する課題を取り入れた。

【実践対象・時期】

対象…附属高等学校第1学年2クラス 計84名
 時期…平成26年11月下旬～12月上旬

【実践の内容】

実践内容を表3に示した。

表3 授業の概要

1時 電離度と酸・塩基の強弱 ・電離度の定義と酸・塩基の強弱 ・強酸, 弱酸, 強塩基, 弱塩基の具体例
2時 水の電離と pH ・水の電離と水のイオン積 ・pHの定義と算出方法 ・pHの値と水溶液の液性の関係
3時 pHの測定 (その1) ・pHメーターの使用方法 ・0.1, 0.01, 0.001 mol/Lの塩酸のpH測定 ※0.1 mol/Lを希釈し, 0.01および0.001 mol/Lの塩酸の調整は生徒が行う。
4時 pHの測定 (その2) ・0.1, 0.01, 0.001 mol/Lの酢酸のpH測定 ※3時の塩酸と同様に濃度調整は生徒が行う。 ・考察 (1) 実験結果 (pHの値) から, 塩酸および酢酸の水素イオン濃度 $[H^+]$ を求めよ。 (2) 同じ濃度にもかかわらず, 強酸である塩酸と弱酸である酢酸のpHの値は大きく異なる。それはなぜか。理由を述べよ。 (3) (1)で求めた $[H^+]$ の値と濃度との関係から, 各濃度における塩酸と酢酸の電離度 α を求めよ。
5時 まとめ ・考察 (4) (3)で求めた値を用いて, 酢酸の濃度 $[CH_3COOH]$ と電離度 α の関係をグラフ化し, グラフからどのようなことが言えるか, 考察せよ。 (5) (4)のグラフが示すように, 弱酸である酢酸は, 濃度が小さくなると電離度が大きくなる。それは, なぜか。水溶液中での様子をモデルで示したり, 化学反応式や化学式を用いて, 分かりやすく説明せよ。※考察(5)は, ホワイトボードを用いてグループで討議し, 結論をグループごとに発表した。

【実践の成果と課題】

ストーリー性をもたせたことで、考察(1)～(4)への取り組みはスムーズであった。また、日頃から、協調学習により、グループで考察を進めることが習慣化しているため、討議に参加できない生徒も少なかった。また、実験結果という具体に基づいていたため、一つ一つを納得しながら考察を進めていた。

考察(4)においてグラフの横軸(濃度)に0.1, 0.01, 0.001mol/Lをとるのは非常に困難であり、対数目盛を使用すべきとの指摘をする生徒もいた。また、考察(5)は難度が高く、図6が示すように、濃度の大小と電離の様子を粒子モデルで示す努力はしているものの、発表内容からは納得できる結論にたどりついていないことが伺えた。しかし、発展的内容にあたる化学平衡の考え方を持ち出し、合理的な論証まで、あと一步に迫ったグループもあった。これは協調学習において、課題解決のために必要な未習事項をグループ内で教え合い、互いに理解し合うことが可能なことを示す事例で、筆者も過去に何度か経験している。

pHを測定するという単純な実験ではあるが、基本的な定義をきちんと理解した後に、ストーリー性を持たせて考察する場面を設定することで、生徒の理解が深まることが明らかになった。一方で生徒の思考を広げるために水の存在を意識させ、オキソニウムイオンの存在を明確にする活動を加えることが必要であると思われた。また、「化学平衡」の概念を活用するためには、教師の支援が必要である。こうした点を来年度以降の実践での課題としたい。

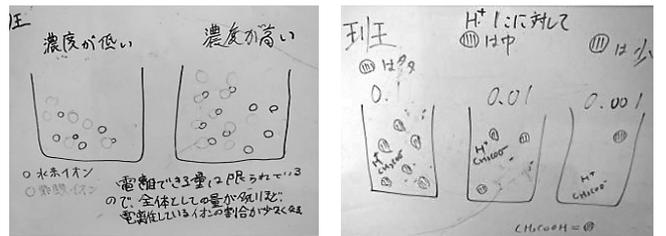


図6 グループの考察例

5.2 高等学校「化学」での実践

【「化学」における「科学の本質」】

高等学校「化学」の「物質の状態と平衡」では、「気体、液体、固体の性質を観察、実験などを通して探究し、物質の状態変化、状態間の平衡、溶解平衡及び溶液の性質について理解させるとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにする。」ことが目標とされている。単元「気体」における教科書の記述は、ボイル・シャルルの法則を歴史的に取り扱うと共に、この法則から気体の状態方程式が導かれる

ことに重点が置かれている。状態方程式を用いて揮発性物質の分子量を求める探究活動も掲載されている。

本実践では「気体」を5つの探究活動で構成し、ボイルの法則に関する探究活動（表中*）に対し「科学の本質」の視点を取り入れた目標を設定した。

ボイルの法則に関して、教科書の仮定では、大気圧を考慮する必要はない。従って多くの生徒が大気圧を760mmHg=1.013×10⁵Paはという知識を持ってはいるものの、気体の体積と圧力の関係を求める実験において大気圧の存在を忘れていて、すなわち「気圧」という概念で「大気圧」と「ボイルの法則」を関連づけることができない。本探究活動では「科学の本質」の視点を「科学的知識や概念を組み合わせる身近な現象を説明できること」とし、探究活動の目標を「気体の体積と圧力との関係を実験的に導き、その結果を基に大気圧の大きさを求めることができる」と設定した。

【実践対象・時期】

対象…附属高等学校第2学年化学選択クラス(38名)
 時期…11月中旬～12月上旬

表4 授業の概要

内容	時間	探究活動
1 気体の圧力	1	
2 物質の状態	2	ドライアイスの液化
3 ボイルの法則	2	気体の圧力と体積(*)
4 シャルルの法則	2	シャルルの法則
5 気体の状態方程式	1.5	揮発性物質の分子量測定
6 混合気体と飽和蒸気圧	1.5	炭化水素の蒸気圧を求める
7 混合気体と理想気体	1	

【実践の内容】

あらかじめ質量を測定したピストンを注射筒に取り付けゴム栓をして空気を密閉する。ピストンの上に質量を測定した本を置き、空気の体積と気体に加わる力の関係を測定する。ピストンと本にかかる重力によって生じる圧力をP、大気圧をPa、空気の体積をvとすると、ボイルの法則より、

$$(P + Pa)v = k$$

$$\text{よって } P + Pa = \frac{k}{v} \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{k}P + \frac{Pa}{k}$$

$$\frac{1}{k} = k' \text{ とすれば, } \frac{1}{v} = k'P + k'Pa \quad \dots (1)$$

したがって、空気の体積と、ピストンと本にかかる重力によって生じる圧力との関係は切片から大気圧の大きさを求めることができる。なお、この実験によって求められた大気圧は9.9×10⁴[Pa]程度であった。

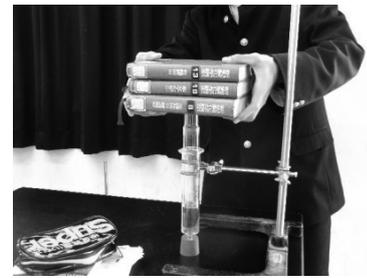


図7 測定の様子

【実践の成果と課題】

38名中35名がデータ処理の意図は理解できたと回答した。また、37名の生徒がグラフを用いると相関関係がわかりやすいと回答した。以下、生徒の記述である。

○実験結果の処理について

- ・反比例の関係がある場合、逆数をとることで直線のグラフになる。
- ・直線にした方が双曲線よりも相関関係を求めるのが簡単である。

○探究活動全般について

- ・簡単な実験から規則性を見出すことができた。
- ・空気に圧力を加えてもそう簡単に体積は小さくならない。
- ・大気圧を求められるのがすごいと思った。
- ・実験装置に倒れないような工夫が必要である。

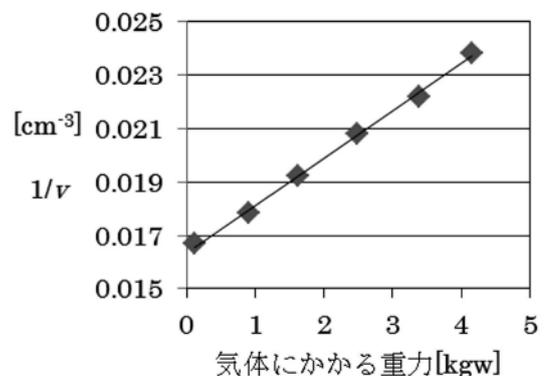


図8 測定例

公式を覚えることはできても、その背景にある概念を用いて現象を説明するためには、その概念を用いて、深く思考した経験が必要である。実験から得られた結論を考察する活動を通して、様々な科学概念を用いて自然現象を熟考させたい。

5.3 高等学校「生物基礎」での実践

【「生物基礎」の内容における「科学の本質」】

高等学校「生物基礎」の単元「生物の体内環境」に関して、高等学校学習指導要領では、「生物の体内環境の維持について観察、実験などを通して探究し、生

物には体内環境を維持する仕組みがあることを理解させ、体内環境の維持と健康との関係について認識させる。」ことが目標とされている。この単元の内容を、「科学の本質」という視点で捉えなおすと、①これまでの科学の発展による体内の諸機能の解明が、我々人間の健康問題にどのように寄与・貢献してきたのか、②今後、科学の発展にもとづく医学や薬学等の進歩が、我々人間の健康問題にどこまで、あるいはどのように寄与・貢献できるのか、の2点に集約することができる。①、②の視点は同時に、あるいは連続して扱うことで、生徒が、日常的な健康問題における科学の価値や科学の貢献と限界について理解できるのではないかと考える。

上記の考え方にもとづき、本実践では、単元「生物の体内環境」で扱う「体液の濃度調節」において、「科学の本質」の視点を取り入れ、その後に学習する「ホルモンによる調節」および「血糖量の調節」の内容とも関連させて、上記①、②の視点についての理解を深めることを目的とした授業を試行した。

【実践対象・時期】

対象…附属高等学校第1学年2クラス 計84名
 時期…平成26年10月下旬～11月中旬

【実践の内容】

「体液の濃度調節」では、様々な動物が生息環境に応じて体液の濃度を調節する仕組みを持っていることを学習する。表5に示すように、本実践では、通常の学習の最後に「糖尿病と尿糖」という内容を扱った。

表5 「体液の濃度調節」における学習内容（*が「科学の本質」の視点を取り入れた内容）

時間	学習内容
1	単細胞生物・無脊椎動物の濃度調節
2	ヒトの腎臓の構造と尿の生成
3	【観察・実験】ブタの腎臓の構造と血液の流れ
4	腎臓でのろ過・再吸収と物質の濃縮
5	糖尿病と尿糖（*）

糖尿病かどうかを調べる簡易検査の一つに尿糖検査がある。尿糖とは尿中に含まれるグルコースの濃度のことであり、通常、尿糖検査によって、その値が約160～180mg/100mLを超えると陽性と判定されるものである。授業では、血しょう中に含まれるグルコース濃度（＝血糖量）に対する、糸球体でのグルコースのろ過速度、尿中のグルコース排泄速度、腎細管でのグルコースの再吸収速度を示したグラフを提示した。教師から「なぜ、糖尿病かどうかを調べるのに、尿糖検査を用いることができるのか」という問いを与え、グラフの解釈をもとに尿中にグルコースが排出されて

しまう仕組みを考えさせ、問いの解答を導き出せるようにした。その結果、表6に示すような解答が得られた。

表6 生徒の記述例（問いの答え）

（グラフより）血しょう中のグルコース濃度が高くなるにつれて、グルコースろ過速度とグルコース排泄速度は上昇する。しかし、腎細管でのグルコースの再吸収速度には限界があり、350mg/分程度がその上限である。
 正常なヒトでは、血しょう100mL中に含まれるグルコース濃度はほぼ0.1%に維持されている。しかし、グルコースが正常値よりも増加し、血しょう中のグルコース濃度が高くなり、腎細管でのグルコースの再吸収速度が追い付かなくなると、尿中にグルコースが排泄される。よって、（尿糖検査により）尿中に糖が含まれていると、その値は、ほぼ直接、血糖量に反映されると考えられる。

教科書では、「グルコースはすべて腎細管で再吸収される」と記述されており、それにより、生徒は「グルコースは尿中に排出されてはいけない」と暗黙知のように学習する。しかしながら、表6の記述に見られるように、今回の学習を通して、生徒は、尿糖と血糖量との関係性や腎臓での体液の濃度調節機構についての理解とともに、科学の発展に伴う体内の諸機能の解明が身近な簡易検査に応用され、人々の健康問題に対する関心を高める要因になっていることを理解できたようである。これは、「生物基礎」の内容における「科学の本質」で述べた①の視点に相当する。

その後、「ホルモンによる調節」の授業では、インスリンのフィードバック調節機構や2型糖尿病が生じる仕組みを説明した。また、「血糖量の調節」の授業では、低血糖状態に作用するホルモンは複数存在するのに、高血糖状態に作用するホルモンはインスリンしか存在しないことにも触れた。この2つの内容から、生徒は、簡易なインスリン注射などが開発され、糖尿病の治療に役立てられている一方で、我々人間の体内で血糖量を低下させるホルモンはインスリンしかなく、現状の科学では、その代替あるいは類似した物質を作り出すことが難しいことを理解できたようである。これは、「生物基礎」の内容における「科学の本質」で述べた②の視点に相当する。

【実践の成果と課題】

本実践では、「体液の濃度調節」に1時間の授業を加えたことにより、「体液の濃度調節」、「ホルモンによる調節」、「血糖量の調節」という3つの内容を「科学の本質」という視点で関連させることができた。そして、「科学の本質」として提起した2つの視点を連続して扱うことで、生徒は、科学の価値や科学の貢献と限界について理解できたのではないかと考える。しかしながら、本実践は試行の段階であり、今年度につ

いては、事前・事後調査等により、生徒が授業を通して「科学の本質」に対する捉え方をどのように変容させているのかを測ることができていない。次年度は、具体的な調査方法について検討したい。

5. おわりに

本年度の研究では、実践（1）においてイギリスのリーズ大学Jim Ryder教授、フィンランドのユヴァスキュラ大学Jouni Viiri教授の授業参観の機会と、授業後の反省会を持つ機会が得られた。この授業実践は、外来種の意味、外来種と人間生活、その利点と問題点、科学者の考え方と一般の人たちの考え方の差異などについての子どもたちの話し合いや自分の意見を表現し、外来種の是非について自分の意見についてまとめることであった。反省会では、両教授から、授業の進め方に関して肯定的な意見を得ることができた。しかしながら、小学校でのSSIの導入の可能性は認められたものの、子どものアンケートへの回答からは、実践者の意図したことが必ずしも子どもにとっては容易ではなかったことも明らかとなった。実践（2）においては、防災という視点をこれまで実施されていた理科の学習に取り入れた例である。資料の読解であり、子どもたちにとっては、実感を伴った理解には至らない部分も認められる。しかしながら、小学校3年生で学んだ知識を活用させながら、防災の視点から丹念に資料を解釈し、そこからとるべき行動を導き出すことが、小学校5年生の子どもであっても、ある程度可能であることが示唆された。

高等学校の実践（3）では、昨年度の報告書で示した理論的な知見を導入し、単元レベルで科学の本質を教えること、知識の量よりも質を重視し、ナラティブにストーリー性を持たせて学びを展開すること、科学的証拠に基づいた論証活動を行うこと、などが意図された実践である。加えて、同校が取り組んでいる協調学習に基づいて実施されている。この実践から明らかのように、学習内容の展開をナラティブにストーリー性を持たせると生徒の理解は向上できるけれども、教師のコミットメントをいつ、どの程度までするか、という課題は、まさに教師の実践知をどのように捉えるかという点でもある。実践（4）では、小学校の実践（2）のように、学んで獲得した知を結びつけて、身の回りの現象を科学的に説明する活動である。この実践の結果から、科学理論のもとになる実験の意義について学び取った生徒も見られた。最後の実践（5）は、生活習慣病とも言われ、メディア報道などを通じて生徒もその病名は知っている健康に関する内容を扱った学習である。特にここでは、科学の価値や科学の貢献

と限界を理解することが意図されており、教育の政策に関わる知的集合体における知から教師の教育実践の知的集合体における知へ変換(配置)を考える際の示唆となる。

以上のように、本年度の実践は、昨年度の実践の課題を解決すべく、小学校と高等学校における実践を試みた。特に、小学校において科学の本質を教えることは、不可能ではないけれども、到達目標の設定と学習活動の内容構成が重要であることも同時に明らかとなった。高等学校の実践からは、学習単元目標を科学の本質の視点から再定義（捉え直し）し、科学の知識そのものと科学についての知識を組み合わせた単元及びトピックスを開発し、ストーリー性を持たせた学習展開が可能であることが明らかとなった。今後は、Abd-El-Khalik, Fの指摘する教員養成教育までの発達段階を考慮にした一貫性のある科学の本質を学ぶフレームワーク（スコープとシークウェンス）の構築が求められる。

註

- 1) 広島市 (2014) 「大雨・台風に備えて」
<http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/0000000000000/1110963962805/index.html>
- 2) 日本気象協会 (2014) 「台風情報」
<http://www.tenki.jp/bousai/typhoon/>

引用（参考）文献

- Abd-El-Khalick, F. (2012). Nature of science in science education: Toward a coherent framework for synergistic research and development. In B. Fraser, K. Tobin and C. McRobbie (eds.), *Second International Handbook of Science Education*, pp. 1041-1060. Dordrecht: Springer.
- Bosch, M. and Gascón, J. (2006). Twenty-five years of the didactic transposition. *ICMI Bulletin*, 58, pp. 51-63.
- 土井徹・林武広 (2014) 「小学生が外来生物に対して抱いているイメージ—質問紙調査の結果から—」『日本理科教育学会全国大会要項』第64号, p.195
- 飯沼慶一 (2013) 「生活科・理科における外来種の問題—小学校教科書の中のアメリカザリガニを中心として—」『日本理科教育学会全国大会要項』第63号, p.360
- 河田恵昭 (2008) 『これからの防災・減災がわかる本』岩波ジュニア新書
- 庄子加奈子・長島康雄 (2014) 「小学校理科における生物多様性教育の位置づけ—生物の扱いに着目して—」『仙台市科学館研究報告』第23号, pp.38-44