

教員養成における理科の資質・能力の育成を目指す授業プログラムの開発

真山 茂樹*1・松本 益明*2・小林 晋平*2・生尾 光*3・原 健二*1・狩野 賢司*1・
岩元 明敏*1・佐藤 尚毅*4・高橋 修*4・湯浅 智子*5・佐藤 公法*6・
平田 昭雄*7・葛貫 裕介*8・三井 寿哉*8・村上 潤*9

生命科学分野

(2017年5月29日受理)

MAYAMA, S., MATSUMOTO, M., KOBAYASHI, S., IKUO, A., HARA, K., KARINO, K., IWAMOTO, A., SATO, N., SATO, K., TAKAHASHI, O., YUASA, T., SATO, K., HIRATA, A., KUZUNUKI, Y., MITSUI, T. and MURAKAMI, J.: Development of Lesson Programs for Fostering Science Competency in Teacher Training Program. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 69: 55-90. (2017)

ISSN 1880-4330

Abstract

In the next course of study for primary and junior high schools notified in 2017, promotion of competency-based education was emphasized in accordance with the report of Central Council for Education. Teacher's self-reformation as well as reform of teacher training program in university was required to foster learners' competency. To achieve this goal, it is necessary for university education to promote students' thinking, judging and expressing abilities. The goal may be achieved through a process of inquiry-based learning in science. However, faculty members need to design class activity efficiently in a short lesson time of teacher training course that promotes university students' competency. In this study, we analyzed student's descriptions obtained from questionnaire survey held after class activity with various elements of active learning. Based on this result we proposed 11 lesson plans which attempt to promote competency for science.

Keywords: active learning, competency-based education, lesson plan, science competency, teacher training

Department of Life Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 平成29年告示の小学校、中学校学習指導要領では児童、生徒の資質・能力を高める教育が記された。これは前年度の中央教育審議会の答申などに基づくものであり、その達成のためには学校教員が変容するだけでなく、教員養成においても資質・能力を高めることのできる人材を育成することが求められている。このため大学では旧来型の

*1 東京学芸大学 広域自然科学講座 生命科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)
*2 東京学芸大学 基礎自然科学講座 物理科学分野
*3 東京学芸大学 基礎自然科学講座 分子化学分野
*4 東京学芸大学 広域自然科学講座 宇宙地球科学分野
*5 東京学芸大学 研究員
*6 東京学芸大学 広域自然科学講座 環境科学分野
*7 東京学芸大学 基礎自然科学講座 理科教育分野
*8 東京学芸大学附属小金井小学校 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)
*9 東京学芸大学附属小金井中学校 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

講義のような知識を与え理解させるのみの授業ではなく、学生が自ら考え、判断し、そして表現できるようになる教育を行うことが必要である。理科においては探究の過程を修得することでこの目的の大部分を達成できると考えられる。しかし、短い授業時間の中で、これを行うためには、大学教員の授業における指導法の工夫が必要である。この工夫には学生が主体的、対話的に学ぶ指導方法の導入が必須である。本研究では、東京学芸大学の学生に対し実施された様々なアクティブ・ラーニングの要素を含んだ授業に対するアンケートを実施し、学生の反応と意見を分析した。学生の意見には主体的、対話的に学ぶことのメリットが多く記されていたが、そのような学びの前には確かな知識がないと形だけで終わってしまう、グループの相手によって効果が違うなど、アクティブ・ラーニングに対する本質的な意見も多く含まれていた。これらの結果も踏まえて教員養成における11の指導案を提案した。

1. はじめに

大学の授業改革の必要性が謳われて幾久しい。1991年に大学設置基準の大綱化が行われて以来、高等教育における様々な試みがなされてきた¹⁾。一方、大学入学後に学習意欲や目的意識が希薄になる学生の存在も指摘されるようになり、学習意欲向上の対策として主体的な学びを引き出す教授法の重要性が指摘された²⁾。そこで焦点となったことは、教える「内容」ではなく、教えたことにより何ができるかという「能力」であった。2012年、中央教育審議会は主体的・能動的に学び、答えのない問題を解決していく力は、未来社会を築くために重要であるとし、大学教育の質的転換を答申した³⁾。その後、主体的・能動的な学習(アクティブ・ラーニング)は、初等中等教育においても必要性が説かれるようになり、それを指導する学校教員に対しては主体的・協働的に授業を実践できる資質能力が、同時に教員養成においてもそれらが求められるようになった⁴⁾。また、国立教育政策研究所は、子どもの「主体的・対話的で深い学び」を実現する授業をデザインする力量を教員が身に付けるために、教員自身が「主体的・対話的で深い学び」に従事できる教員養成・研修プログラムが必要であると報告した⁵⁾。

平成29年3月に公示された幼稚園、小学校、中学校の次期学習指導要領では、主体的・対話的で深い学びを通して、何ができるようになるかを重要視し、そのために必要な資質・能力として①知識及び技能、②思考力、判断力、表現力等、③学びに向かう力、人間性等を挙げている^{6,7)}。この中で理科においては、小学校と中学校で使用された言葉が異なってはいるものの、示された本質はどちらも探究の過程の修得である。すなわち、問題を発見し、見通しを持って仮説や解決の方法を立案し、観察実験の結果を解釈し、振り返りをしながら新たな疑問を持ち、さらに次の探究のサイクルを繰り返すという過程である。探究的な活動

が深い学びに結びつくことは、さまざまな実践研究から報告されており^{8,9,10)}、このような学習活動は今後益々重要視されるものと思われる。

筆者らの所属する東京学芸大学は教科ピーク制を採用しているため、理科の学生は卒業研究において探究の過程を十分修得することができる。しかし、理科以外の学生は免許科目として必要な4単位の授業(初等理科教育法および理科研究)の中でのみ、理科を学ぶ機会を持つ。また、理科の学生であっても、1,2年生のうちには理科と接する機会は授業でしかない。理科で必要とされる、思考力、判断力、表現力といった能力に関する文言は、次期学習指導要領において繰り返し出てくることからわかるように、容易に身につくものではない。また、これらは知識と違って、覚えておけば質問に答えられるという性質のものでもない。教員養成における限られた授業時間の中で、理科を指導できる高い資質能力をもつ学生を育成するためには、大学教員の授業における指導法を組織的に改善することが必要であろう。さらに、近年の教職課程コアカリキュラムの在り方に関する検討会¹¹⁾では、教職課程の質保証の観点から『学生が修得すべき知識・技能を明確化し、「何を教えるか」よりも「何ができるようになるか」に重点を置くべき』と提言されているように、知識・理解で終始しない大学授業を実践するための指導法の充実化は急務の課題であろう。

本研究の目的は新たな時代に求められる理科の資質・能力を備えた教員養成のための、理科の授業プログラムを開発することである。このため、本研究ではまず東京学芸大学の学生に対し、主体的、対話的な活動を取り入れた従来の授業に対する反応と、アクティブ・ラーニングに対する意識の調査を行った。次にその結果を踏まえて、教員養成系学部・学科等の大学の学生を対象とする、理科の資質・能力の育成に主眼を置いた授業プログラムを提案した。

2. 主体的, 対話的な学習に対する教員養成系大学の学生の反応

従来, 教員養成の理科における主体的, 対話的な授業に対するアクションリサーチはそれほど多くは行われていない。まして, 教科教育ではなく, 教科専門の教員の立場から行った研究はピア・インストラクションを導入した物理入門¹²⁾, チュートリアルを導入した物理学演習¹³⁾, 主体的, 対話的な手法を取り入れた生物学演習¹⁴⁾ などわずかしかないのが現状である。

本研究では東京学芸大学の初等教育教員養成課程理科選修および, 中等教育教員養成課程理科専攻の2年生を対象として開設されている授業「生物学演習」において2017年2月に実施したアンケートの分析結果を示す。この授業は, 教員が教室内に植物を持ち込み, 学生は観察や識別の方法を自ら見つけるというもので, 教員は最終的な答えは教室内で言わず, 学生はキャンパス内を歩いて当該植物を見つけて調べることで回答を得るというものであった¹⁴⁾。アンケート調査では自由記述による回答を分析した。アンケートの依頼・質問文は「この授業ではアクティブ・ラーニングを意識した指導方法を随所で取り入れました。アクティブ・ラーニングとは, 学習者が受け身でなく主体的に, また, 対話的に学ぶことで, 探究的な深い学びができることを目指す方法です。小・中・高の次期学習指導要領ではこの方法が大幅に導入されます。本授業を受けて, 思ったことがあれば書いてください。」とした。学生は授業最終回の後日に大学内のインターネット教育システムであるWebClassを通じて回答した。

140名余りの履修生中, 114名から回答が得られた。このうち授業に対してポジティブな回答が書かれていた123文(句点で区切られた文章を1文と数えた)を, 計量テキスト分析し, 使用された語の共起ネットワークを作成した。Random walksで検出されたサブグループはA~Jまでであった(図1)。表示された語はそれぞれのグループを特徴付けるものである。これらの語を繋ぐ適当な語を回答文から追加して文を再構築すると以下ようになった(太字が分析結果中の語)。

- A: 用いられた**実物**や**写真**を見ること, **触れる**ことにより**興味**がわき, **理科**における**主体性**を深めることができた。
- B: **先生**から**学んだ****主体的な学習**の方法は**生徒**にとって**楽しい**ものであり**積極的**に参加できて**良かった**。

た。

- C: この授業を受けて, 自分で植物を観察し, **考え**, **話し合**えたと思う。
- D: **自身の意見**を言ったり, **人の考え**を聞いた。
- E: **テスト**により**覚えた知識**が**定着**した。
- F: **グループ**を持つことで, **周りの意見**に**気付**いた。
- G: **内容**の**理解**が**深**まった。
- H: この**形式**は**効果**がある。
- I: **教師**になるために**よい経験**となった。

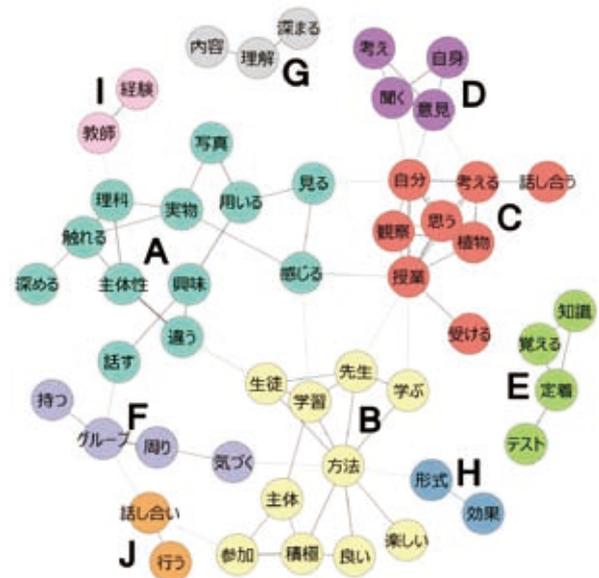


図1 ポジティブな回答文に使用された語の共起ネットワーク。5回以上出現した名詞, 動詞, 形容詞を用い, Jaccard係数0.2以上の共起関係を描画後, Random walksによりサブグループを検出した。使用ソフトウェアはKH Coder var.2。

再構築した文章のため, 幾分ざくざくした感はあるが, これを整理すると, 『**実物の植物**を見たり, **触**ったりしながら**主体的**に**学習**し, **かつグループ**内で**対話的**に**学んだ**ことに対し, **学生**は**好感**をもち, **かつ効果**を感じていた』ということになるであろう。また, 『**教師**になるためには**よい経験**であった』という回答は, 教員養成系大学の学生ならではのものであろう。

今回の共起ネットワーク分析では, 5回以上出現した語を用いたため, 実施した授業の良かった点の詳細が不明である。以下は, 良かったこと具体例が示されていた学生の回答文(原文)である。

- ・紙に自分の考えを書かせ, 周り**と話し合**わせたりする方式は**すごく良かった**と思った。
- ・毎回**コメントペーパー**を用いていて, **活動的**だった

- ため自身でも理解し、興味を持ちながら授業を受けることができた。
- ・グループになって話し合う前に自分一人で考える時間があったので、複数人での話し合いをスムーズに行うことができた。
 - ・最初に自分で考えて、その後他の人と意見を交換し合うというのは、記憶に残りやすいと思った。
 - ・簡単なクイズ形式の問題などがあるので、一人一人がしっかりと考えながら授業ができるという点も良いと感じました。
 - ・時間制限があったのでだらだらすることもなく行うことができた。
 - ・生徒にも聞こえるタイマーもよかったと思う。時間制限があることで、一生懸命に考えることができた。
 - ・グループのメンバーは毎回席順によって異なっていたので、多くの人の意見を聞くことができ新鮮だった。

上記の回答文に書かれたものは、指導における技や道具といったもので、学校の授業では日常的に見受けられるものであるが、大学における旧来型の授業では、あまり見受けられないものであろう。学生の回答は、大学生であっても、このような技や道具が学習に対し有効に働くことを示している。

アンケートの回答には、「生物学演習」の授業に対する感想・意見だけでなく、アクティブ・ラーニング全般に対するコメントも多く書かれていた(114名中42名が記述)。下に代表的なものを内容毎に分けて記す。

【授業構成・運営】

- ・目的、手順、ゴールが明確に周知されていないとうまく機能しないと思った。
- ・ただ話し合うだけではなく、一人一人が考え、そこに根拠があり、論理的に考察できるようにポイントや疑問の投げかけが大切だと思った。
- ・すべてをアクティブ・ラーニングに委ねるのではなくポイントを絞って行うべきである。
- ・子ども達に対して、ただ質問を聞くだけでそれを投げっぱなしにするのではなく、子ども達の知的好奇心を刺激するような発問をしなければならない。
- ・アクティブ・ラーニングを行ったらテスト等でその成果をしっかりと確認する体制作りが必要。

【知識、事前(事後)学習】

- ・ひとつのことに深い学びが期待できる分、知識とし

てカバーできる範囲は狭まってしまう。

- ・アクティブ・ラーニングの効果が発揮されるのは、すでに知識がしっかり定着している場合に限ると考える。
- ・あるレベルまで達している生徒であれば、知識に基づき議論が進行し、成立するものであると思うが、実際には知識が乏しい生徒もいる。その中で、どのようなアプローチを行い、議論進行を行っていくのが重要になる。
- ・生徒の予習や復習が必須であることを感じた。

【活動時間】

- ・活動に対して多くの時間を要するために、実際の現場でどれほどの取り組みができるのかは考えていかなければならない課題。

【グループ】

- ・一緒に学習する人により効果が変わる。授業に対する意識の高い人へ行えば、非常に深く楽しく学習できたが、あまり前向きでない人の隣だと上手くいかない。
- ・毎回仲のいいメンバーだけで閉ざされた知識だけで議論を行うのではなく、毎回新しい情報を求め、たくさんの人と議論できる空間を作っていくことが重要だと思う。

【興味・関心】

- ・児童生徒が学習の内容に興味を持っていないと形だけのアクティブ・ラーニングになるのではないか。
- ・自分の興味が湧きにくい科目や分野に関して自ら学習を進めることは自分の経験からも難しいように感じる。
- ・学習成果が生徒のやる気に大きく左右されると思う。課題を生徒に与えるだけでなく、生徒のやる気をいかに引き出すかが学習に直結すると感じた。生徒のやる気を引き出さないと、せっかくの学びも効果が出ない。

これらのコメントには、学生が「生物学演習」を受講して感じたものと、他の授業でアクティブ・ラーニングの特徴について既習していたものとが混在すると思われる。しかし、回答者の多くは大学2年生であり、アクティブ・ラーニング形式の授業は少なくとも高校時代にはほとんど体験していない世代である。それにも関わらず回答者のほぼ1/3がアクティブ・ラーニングについて、かなり本質的なところを突く意見を書いていたことは、受講生の教職に対する意識の高さの現れとして特筆すべきことであろう。

3. 理科の資質・能力を向上させる授業プログラム

資質・能力は昨今コンピテンシーとも呼ばれることが多い。その内容や定義は様々な国やOECDなどの機構によって幾分異なるが¹⁵⁾、本研究で捉えたものは基本的に国立教育政策研究所の解釈¹⁶⁾に沿ったものである。

本研究では上述の学生に対する調査、および著者らが実施してきた研究会¹⁷⁾の成果から、教員養成系学部生の理科的な資質・能力を向上させるための手始めの方策として、下記の授業指導案を作成した。これらの指導案は主に非理科学対象の教員免許用科目「理科研究」を主眼に作成されているが、内容的には理科学生用の他の授業でも部分的な導入が可能なものとなっている。なお、本指導案を用いた授業の効果の分析はこれからとなるが、必要なデータ数が整い次第、早々に報告する予定である。

4. 実験を通じて振り子実験の指導力を育成する授業 (松本益明)

4. 1 授業の目標

振り子の実験を学生に行わせることで、教科書に書かれた法則があくまでも近似的に成立しているに過ぎないことを認識させ、近似が成立する条件についての主体的な学習を通して、適切な実験を計画・実行し、結果を考察する能力を育成し、将来児童を適切に指導できるような能力を育成することが目標である。

4. 2 授業設定の理由

4. 2. 1 背景

振り子は、児童が遊園地などで利用するブランコなどの遊具やおきあがり小法師などのおもちゃで体験する身近な振動現象に共通する性質を抜き出しモデル化したものである。小学校の学習項目であるために簡単な現象と考えられがちであるが、厳密な取り扱いの難しい奥が深い題材であり、また、高校や大学で学習する振動・波動現象へと繋がる発展性のある題材である。

振り子が1往復する時間を周期とよぶが、これは全ての振動現象に共通する重要な物理的性質である。図2のような振り子の周期 T は、高校の「物理」において、

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

と書けると習う。この式は、小学校で学習する、振り子の周期が「おもりの重さなどによっては変わらないが、振り子の長さによって変わる」⁶⁾という、ガリレオ・ガリレイにより見出されたと言わ

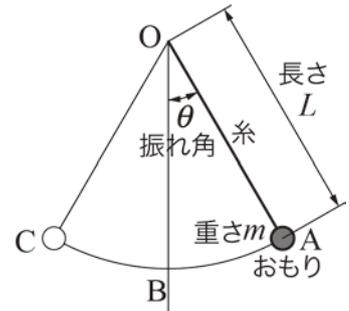


図2 振り子の形状

れる振り子の等時性を表す式であるが、実際には近似式であり、どんな条件でも成り立つというものではない。高校の「物理」では公式の導入方法や成立条件については学習しないため、高校で既習であっても多くは単なる暗記で終わっており、実験経験もほとんど無いのが現状である。上の式を導くにあたって仮定されていることは

- (1) 空気抵抗や糸の付け根における抵抗が無視できること。
- (2) 糸の質量が無視できること。
- (3) おもりは質点であり、大きさを持たないこと。
- (4) 振り子の振れ角 θ が小さく、 $\sin\theta \approx \theta$ が成り立つこと。

である。

(1)の空気抵抗については大気中でおこなう限り無くすることはできない。また、糸の付け根の点Oにおける抵抗も完全に除去することはできず、さらに、(2)の糸の質量についても排除することはできない。(3)のおもりの大きさの影響はおもりが軽くなると顕著になる。しかしながら、これらの影響をできるだけ小さくすることは可能であるため、どのような条件であれば上の近似式が成り立つのかおおよそにでも知っておくことが重要である。これらの仮定が満足されないのは糸が重くて硬い場合や、おもりの質量が小さく、おもりの大きさ(正確には運動方向から見た時の断面積)や形状により空気抵抗が大きくなる場合であり、例えば、重くて太いひもとピンポン球のような軽いおもりを用いた実験をすると、振り子の周期は、理論からかけ離れた値が得られ、おもりの重さによって周期は変化しないという振り子の等時性が成り立たない結果が得られてしまう。(2)や(3)の影響は慣性モーメントを理論に取り入れることできちんと取り扱うことも可能で、その例として剛体振り子やボルダの振り子があるが、剛体の回転については、最近では大学の物理学で学ぶ内容となっており、未履修の場合には本授業で取り扱うのは困難である。

(4) の仮定は、おもりの軌道の形が図に示されているように円軌道を描いている場合には成り立たない。(4) 以外の仮定が正しいとして振り子の運動方程式を書くと、

$$mL \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mg\sin\theta$$

と書ける。この式も解くことは可能であるが、通常は角度が小さく $\theta \ll 1$ が成り立つ時には、 $\sin\theta \approx \theta$ と近似できるとして、上の式を書き換えて

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L}\theta$$

とすると、おもりの運動は近似的に単振動と考えることができるため、周期が上の式で表せるようになる。このような微分形の運動方程式はやはり大学の物理学の内容であるため、振れ角が大きい時に等時性が成り立たなくなる理由を大学での物理学や数学の履修経験の無い学生に理解させることは困難であるが、実験により等時性の破れを検証することはそれほど難しいことではない。 $\sin\theta$ と θ の違いは θ が 30° 程度であれば5%程度、 θ が 10° 程度であれば0.5%程度であるので、振れ角が 10° 程度以下であれば影響はそれ程大きくはないが、以前本学の理科研究の講義において学生達に自由に実験をさせたところ、多くの学生が振り始めの角度を 90° として振れさせていた。このような大きな角度では上の近似は成り立たなくなり、上の式で表されるよりも周期は大きくなるため、減衰による振れ角の変化に伴い周期が短くなっていく結果が得られ、やはり振り子の等時性が成り立たないという結論を導く可能性がある。

また、周期の式に含まれる重力加速度 g が地球上の場所によって異なっていることによる影響もある。実際、振り子は時計に用いられてきただけでなく、場所による重力加速度 g の違いを測定するためにも用いられてきた歴史があり、上野の科学博物館には、原子模型で有名な長岡半太郎らが重力加速度を求めた時に用いたとされるステルネックの振り子（剛体振り子の一つ）が展示されている。ただ、実際には、重力の違いが周期に影響するほどの精度で実験を行うことは困難であるので、この授業の範囲においてはあまり問題にはならないと考えられる。

4. 2. 2 新学習指導要領との関わり

本授業で扱う「振り子の運動」は新しい学習指導要領でも従来と変わりなく小学校5年で扱われるもので

あるが、振り子が代表する周期的な現象は、極めて身近に現れる重要な現象の一つであり、中学校で取り扱う「光や音」へと繋がり、高等学校での「単振動」において他の振動現象と一緒に少し詳しく取り扱われることになっている^{7, 18)}。

小学校理科で扱われる振り子の運動については、小学校の新学習指導要領において、「振り子の運動の規則性について、振り子が1往復する時間に着目して、おもりの重さや振り子の長さなどの条件を制御しながら調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。

ア 次のことを理解するとともに、観察、実験などに関する技能を身に付けること。

(ア) 振り子が1往復する時間は、おもりの重さなどによっては変わらないが、振り子の長さによって変わることを。

イ 振り子の運動の規則性について追究する中で、振り子が1往復する時間に関係する条件についての予想や仮説を基に、解決の方法を発想し、表現すること。」とある⁶⁾。この学習指導要領に書かれた規則性は、あくまでも4. 2. 1節で述べた仮定の下で成り立っているにすぎないため、観察や実験を漫然とおこなっているはその規則性を見出すことはできず、実験結果から誤った概念（誤概念とか素朴概念とも呼ばれる）を児童に植え付けることになりかねない。また、教師が規則性からのずれをすべて誤差に押し込めて強引に納得させようとする、物理学が現実から乖離して現実には役に立たないという印象を児童に与える可能性もある。それらを防ぐには、振り子の周期に関する上述の法則がどのような仮定や条件の下に成り立っているのかを、将来指導者となる学生自らが実験・考察することで実感することが大切である。

4. 3 評価規準

本授業においては、学生が積極的に実験を行い、実験結果を整理して適切な表やグラフを描き、それを元に思考活動や表現活動を行う思考力・判断力・表現力が求められる。授業中に積極的な活動を行うためには、その前段階として、基本的な物理法則、特に力と運動の法則および慣性の法則についての基本的な概念を知識として習得していること、実験に必要な測定技術および実験結果を正確に整理・分析できる技能を備えていることが必要である。評価はこれらの知識・技能を含めて行うものとする。

【知識・技能】

・振動を生じる復元力と慣性との関連

- ・時間の測定 (ストップウォッチ)
- ・重さの測定 (デジタル天秤), 質量と重さの違い
- ・長さの測定 (定規またはメジャー)
- ・表やグラフの書き方
- ・繰り返し測定と平均化

【思考力・判断力・表現力】

- ・実験結果を表に整理してまとめることができる。
- ・表を元にして軸を設定し, グラフを書くことができる。
- ・グラフから近似的な法則を導くことができる。
- ・近似的な理論が成立するための条件を理解している。
- ・振り子の法則とそれが成り立つ仮定や条件を説明できる。

4. 4 学習の展開

知識と技能に関する解説は主に事前学習で行い, 思考活動および表現活動は対面授業で行う。

4. 4. 1 事前学習

実験結果に関する考察やグループ討論を活発に行うために, 高校物理レベルの知識について事前学習で習得させる (表1)。実験経験の少ない学生を想定して, 実験方法や測定において注意すべきこと, 実験結果の記録の方法や解析の仕方についても事前に学習することで, 授業中には実験, 考察及び討論に集中することを可能にする。事前学習は教員が用意した15分程度の動画を視聴することで行う。

4. 4. 2 対面授業

4. 4. 2. 1 準備する教材

糸, おもり (金属球 (大・小), ビーズ (大・小), ピンポン球等), ストップウォッチ, 定規またはメ

ジャー, デジタル天秤, はさみ, セロハンテープ, ワークシートのプリント。ここでは費用のあまりかからない実験教材を用いているが, 専用の振り子の実験装置が入手可能な場合にはそれを用いる方が実験を行いやすい。

4. 4. 2. 2 授業展開

対面授業は, 事前学習やその他これまで受けてきた教育において, 高校の「物理」で学習する程度の振り子の法則についての知識を持っていることを前提に行う。振り子の実験は精度によって小学校から大学院まで様々なレベルの学生向けに設定することが可能であるが, 標準的には理工系大学の教養課程で基礎実験として4, 5時間かけて行われるものであり, きちんと取り扱うためには上述の微積分の知識が必要である。従って, 1時間程度の短時間で行うには要点を絞る必要がある。

始めに導入として, 様々な振動現象について, 学生の経験などを聞きながら, 振り子がブランコなどの特徴を抽出した単純化されたモデルであり, 現実から乖離した単なる机上の空論的なものではないことや身の回りには他にも非常に多くの振動現象が存在することを示し, 振り子について学習することが他の振動を理解することにも繋がることに気付かせ, その学習に対する動機付けを行う (表2)。学生のレベルに応じて, 2重, 3重振り子などの多重振り子と基準振動, 剛体振り子, 逆さ振り子, 多重振り子に生じるカオス現象などを動画も使用して説明すると, より興味を持たせることができるだろう。その後, ワークシートを配布し, グループ毎での実験を開始する。展開Iでは, グループ毎におもりの重さの異なる振り子を2つ製作し, 振り子運動を観察して振り子の運動の法則を予想し仮説を立て, それを確かめるための実験を計画させ,

表1 事前学習で修得させる知識・技能

時間	学習テーマ	内容
2分	様々な振動現象	・身近に存在する振動現象
2分	力と運動, 運動の法則	・振動現象を引き起こす力 ・慣性の法則
3分	振り子の実験方法	・実験方法 ・統一する条件と変更する条件
3分	測定における注意	・時間, 重さ, 長さの測定方法 ・重さの測定. 質量と重さの違い
3分	実験結果の整理法	・表やグラフの書き方 ・繰り返し測定と平均化
2分	まとめと課題	・事前学習ノートの作成を指示 ・座席グループ表の指示

ワークシートに記入させる。振り子の法則について高校までに学習している内容は、多くの場合、「周期がおもりの重さに依存せず、長さだけに依存しており、振れの大きさによっても変わらない」という等時性だけにとどまっており、それを無条件に信じてしまっている可能性が高い。従って、予想される法則は振り子の等時性に関するものであると考えられる。そこで、展開Ⅱにおいては、彼らの信じる等時性が必ずしも成り立たないことを、ストップウォッチを用いた高精度の実験により気付かせる。実験で変更する条件は、振り子の初期振れ角とおもりの重さの2つであり、実験の際にはこれらのうち1つの条件と振り子の長さは固定して、1つの条件だけを変えて実験を行うように注意させる。また、学生の能力に応じて、測定者の癖が測定に影響を与えるといった系統誤差を防ぐために測定者を変えて実験すること、繰り返し現象の場合には数回測定した平均を取ることで偶然誤差による結果のばらつきの影響を小さくして精度を上げるといった実験上の工夫の重要性についても認識させる。表やグラフをきちんと書けるように指導することも大事であり、グラフ等の視覚的な効果を用いることにより、振れ角が大きすぎたり、おもりが軽くて大きかったりすると、同じ長さの振り子でも周期が異なってしまうことに気付くように導いていく。空気抵抗は、重さだけでなく運動方向の断面積や形状にも依存するが、教科書の振り子の法則に書かれていることは重さへの依存性だけであることから、複雑さを避けて焦点を絞るために球

形などに統一し、大きさにはあまり焦点を当てず、重さの大きく異なる3種類のおもりについて実験をおこなう形としている。ガラス球や金属球などの比較的重いおもりを使うと振れ角が小さくても一定の周期で振動が長く続き、重さによらず振り子の長さだけで周期が決まるのに対し、極めて軽いピンポン球では振動がすぐに収まってしまっていて測定が難しく、周期も他の2つと大きく異なることに実験を通して気付けるように指導することが必要である。この時点で振り子の等時性が成り立つ条件について考察させ、展開Ⅰで計画した実験を修正させる。最後に展開Ⅲとして、展開Ⅱで修正した実験計画に基づき、振り子の等時性が近似的に成り立つと予想される条件の下で、振り子の長さによる周期の変化を求める実験を行い、高校で学習する公式を用いて計算した結果と比較する。振り子の法則が特定の条件下でのみ成り立つ近似的なものであることを認識しつつ、適切な条件下では周期に関して高校で学習する公式が有効であることも認識できることが理想的である。まとめにおいて最終結果についてグループ毎に発表をおこない事後学習においては、実験結果をまとめると共に、振り子の等時性が成り立つために必要な条件を考察させ、小学校等で実験指導を行う場合に注意すべき点についても考察させる。また、振り子の運動を身の回りの振動現象と比較して類似点や相違点についてまとめることで、周期という概念が振り子という単一の現象だけでなく、広く振動や波動の現象に関わる重要なものであることを認識させる。

表2 対面授業の展開

時間	学習活動	指導上の留意点・配慮事項
導入 5分	様々な振動現象について動画などを見せて紹介し、振り子を学習するための動機付けを行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・学生の体験の中での振動現象について発言させる。 ・ブランコや遊園地の遊具などの経験について問う。 ・日常生活に数多く存在する振動現象との類似点について気付くように指導する。
展開Ⅰ 10分	<p>【振り子の運動の観察と法則の予想】 グループ毎に振り子を製作する。糸を120cm位に切り、大小2つのビー玉を用いておもりの重さの異なる振り子を2つ作成し、実際に動かしておもりの運動の様子を観察し、振り子の法則を予想し仮説を立てて検証実験を計画する。 ☆多くの学生が、これまで学習してきた知識に頼り、振り子について等時性が成り立つという予想をたてると予想される。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ワークシートを配布する。 ・自由に振り子を使わせて、学生がどのような振り方をするのかを観察する。 ・おもりの重さ、振り子の長さ、振れ角に注目して規則性について観察結果をまとめさせる。 ・高校や事前学習で得た既存の知識に頼らず、純粋に観察結果から予想を立てるように指導する。
展開Ⅱ 20分	<p>【振り子の振れ角による周期の変化】 ・初期の振れ角として10度から90度まで10度ずつ変えて、1往復に要する時間（周期）を、ストップウォッチを用いて測定し、振れ角の大きさによって周期がどう変化するかを考察する。 ☆展開Ⅰで予想した「周期が振り子の振れ角によらず一定である」という等時性が必ずしも成り立たないことに気付くことが期待される。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・振れ角が30度以下の時の周期に比べ、60度以上の時には周期が長いことに気付かせる。 ・学生の能力が高い場合、以下のような実験上の工夫についても考察させると良い。 ・1周期目はおもりがふらつく可能性が高いため、2周期目以降で測定する方がよいこと。 ・時間測定は速さの遅い端点よりも速さの速い中心点で測定する方が高精度であること。 ・測定者の癖などによって測定結果が一方向に偏る系統誤差が存在すること。

20分	<p>【おもりの重さによる振り子の周期の変化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・おもりとして極めて軽いピンポン球, 中間的な重さのビー玉, 重い金属球等を用いて実験する。 ・おもりの重さを測定して記録する。 ・おもりの重さを変えて振り子を作成し, 振り子の長さ及び初期振れ角の条件を揃えて実験する。 ・おもりの重さによる周期の変化について測定する。 ・振り子の等時性が成り立つ条件について考察する。 ・考察結果から展開Iで計画した実験を修正する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ピンポン球, ビー玉, 金属球のように重さが異なり形状や大きさの近いおもりで実験させる。 ・振り子は次第に振れ角が減る減衰振動であることを確認させる。 ・ピンポン球のように軽いおもりを使うと, ビー玉や金属球に比べて周期が大きくなり, 周期がおもりの重さによって変化することに気付くように指導する。
展開Ⅲ 20分	<p>【振り子の長さによる周期の変化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・展開Ⅱで修正した計画に従い, 糸の長さを1m, 0.5m, 0.2m, 0.1mと変化させて周期を測定する。 ・余裕があれば測定者を変えながら, 各自繰り返し測定して全体を表にまとめ, 糸の長さごとに平均値を計算してグラフを描く。 	<ul style="list-style-type: none"> ・展開Ⅱの結果や考察が活かされているか注意する。 ・近似理論と比較するためには, 振り子の長さはおもりの中心から糸の付け根の固定点までとするように注意する。 ・振り子の長さ以外の条件を合わせることに注意する。 ・周期に変化がない場合, 1往復の時間を測定するよりも, 5から10往復にかかる時間を測定して往復の回数で割る方が高精度となることに気付かせる。 ・グラフを描く場合には小さな点ではなく, 1~2mm程度の直径の丸等で描かせる。 ・細い糸とビー玉もしくは金属球を用い, 初期振れ角を10度から20度程度以下で行っていることを確認する。
5分	<p>【近似理論と実験結果の比較】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・振り子の長さ依存性の実験結果を近似的な理論と比較する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・理論結果と実験結果の一致不一致をグループ毎に確認する。
まとめ 10分	<p>【総合的な考察】</p> <p>実験及び考察結果についてグループ毎に発表することで振り子の法則に関する考えを共有する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・実験結果をまとめて, 振り子の実験結果が近似理論で表せるための条件について考察させ, 発表及び討論をおこなわせる。 ・理論との相違が大きい結果が得られたグループがあった場合にはその原因について教室全体で考察させる。
事後学習 (復習)	<ul style="list-style-type: none"> ・実験結果をまとめて, 振り子の実験を指導する際に大事な点について考察する。 ・振り子の運動を身の回りの振動現象と比較させ, 類似点や相違点についてまとめ, ワークシートに記入して翌週提出する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・振り子の等時性が成り立つ条件についての考察を確認する。 ・振り子の実験を指導する際に大事な点について考察を確認する。 ・振り子の運動を身の回りの振動現象と比較して, 類似点や相違点が指摘できているかどうかを確認する。

5. 光の軌跡を用いた物理法則に対する大域的な観点 を育成するための授業 (小林晋平)

5. 1 授業の目標

反射や屈折といった光学の基本的な現象を用い, 自然現象には直観的に理解しやすい局所的な物理過程による説明だけでなく, 大域的な観点からの説明も可能であることを学ぶ。それにより, 個々の物理現象に特有の性質ではなく, 様々な系に共通する普遍性を見出し, それを応用していくための力を養う。さらに, 「なぜ自然科学を学ぶのか」について, 技術的有用性に留まらない広い視座を有し, コンピテンシーの原動力とも言える「学びへの意志」を与えられる教員を養成することを目指す。

5. 2 授業設定の理由

5. 2. 1 背景

自然現象は, それが生じる理由を複数の観点から説明できることが多い。例えば光の屈折は, 中学理科で定性的に⁷⁾, 高校物理で定量的に学習するが¹⁹⁾, その性質はスネルの法則およびホイヘンスの原理にまとめられる。これらは屈折する点で成立する局所的

(local) な性質に注目した法則である。局所的な物理に注目した説明には直感的にわかり易いという利点があり, 小学生を対象とする場合でも物質が存在すると光は真空中よりも進みにくくなって遅くなることと, 光を幅のある平面波として捉えることで, 少なくとも定性的には平易な説明が可能である²⁰⁾。

その一方で, 局所的な観点は個々の現象に特有の説明であることが多く, 「様々な現象に共通する普遍性に注目する」という最も物理らしい視点が育ちにくい。非理科生はもちろんのこと, 物理科の学生でもこれは同様であり, 「物理 = いくつもの公式の暗記と, その組み合わせ」といった思い込みを生む要因ともなっている。コンピテンシーの面からも, 様々な事象を統一的に理解したり, 何らかの事象から帰納的に類推し, 汎用していく力を育成したりすることは極めて重要であり, 物理学を役立てるという意味では, そこにこそ「ご利益」があるとも言える。

こうした能力を育成する上で効果的なのは, 物理法則は大域的(global)な観点からも解釈できることを認識することである。光の屈折で言えば, 異なる媒質の境界面で光が屈折するとき, その経路は始点と終点を結ぶ最短時間になるものが選ばれるという「フェル

マーの原理」がそれに当たる。すなわち、いろいろ考えられる運動経路の中で、最も早く着ける経路を自然は「選択」していると見ることもできる。そうした大域的な見方の最上位にあるのが「物体の軌道は作用を最小にするように実現される」という最小作用の原理であるが、光の軌跡はもちろん、電気回路における最小発熱の原理やブラックホール時空における光の進み方など、あらゆる古典的な自然現象は最小作用の原理に従って実現される。このように、大域的な観点は自然現象を統一的に理解する上で威力を発揮する²¹⁾。

普遍性というメタな視点を与える分、大域的な観点は直観的に理解しにくいところがあるが、本授業では「点を結ぶ最短経路を当てるクイズ」、「計算によるフェルマーの原理の確認」、「シャボン膜が作る極小曲面の実験」の三つを組み合わせることで、手を動かしながら「自然現象は何らかの量を極小にするように実現される」という大域的な観点を体感しながら理解させる。

併せて、ブラックホールのような特殊な天体もその近傍を通過する光の軌跡によって解析できることなど、自分たちの学びが最先端科学にも直接関係していることを紹介し、身近な現象と最先端科学の研究対象に普遍的な性質が通底していることを説明する。これにより学校での学びがその場だけに終わるものでないことを納得させ、学びへの動機付けも与える。

5. 2. 2 新学習指導要領との関わり

小学校の理科では、光に関しては、反射する性質があることとエネルギーを運ぶことを学習するが⁶⁾、虫眼鏡で光を集光できるのはレンズで光が屈折するからであり、他にも虹の原因となる水滴での光の屈折や、空が青いこと・夕焼けが赤いこと・雲が白いことなどは光の散乱によるものであり、光のこうした幾何光学的性質や波動光学的性質について、小学校教員も説明できるようになっていることが望ましい。先に述べたように、中学校の理科では光の屈折を学ぶが、新指導要領から導入された音波についても、光の反射・屈折のメカニズムを応用して説明できる⁷⁾。

以前から学習指導要領では自然を愛する心を育むことが重要視されているが、それには自然の持つ美しさを実感していなければならない。最小作用の原理からは、保存則の背後には系の対称性が潜んでいること(ネーターの定理)を導くことができるが、これは自然の美しさという曖昧な概念のある種の言語化であり、こうした観点の存在を知ることは、「そもそも、なぜ自然を愛する心を育む必要があるのか」という、学習の前提にまで遡る深い思索へと繋がるものでもある。

5. 3 評価規準

【知識・技能】

- ・光の入射角・反射角・屈折角の関係を図示できる。
- ・反射の法則が、光が2点間を結ぶ最短時間経路を取ることと等価であることを説明できる。
- ・スネルの法則を理解し、屈折の仕方を定性的に説明できる。
- ・最小作用の原理で説明できる例を複数上げられる。

【思考力・判断力・表現力】

- ・水に入れた棒の見え方について図を用いて説明できる。
- ・媒質を変更した場合にも光がどう屈折するか判断できる。
- ・局所的な観点・大域的な観点とはそれぞれどのようなものか、具体例を上げて説明できる。

5. 4 学習の展開

光の軌跡について、高校物理で学習する反射の法則と屈折の法則は事前に学習させ、局所的な性質を考察するための基礎となる知識を習得させておく。対面授業ではそれら物理法則が成立する理由について、局所・大域の両面から考察させる。大域的な観点は直観的に理解しにくいいため、光だけでなく、最短経路に関するクイズやシャボン膜を使った実験を用いて工夫する。

5. 4. 1 事前学習

高校物理で学習する光と電磁波の関係、および反射

表3 事前学習で修得させる知識・技能

時間	学習テーマ	内容
5分	光と電磁波	・光の正体が電磁波という波であることを確認する。 ・波長ごとに可視光・赤外線などに分けられることを確認する。
10分	反射の法則	・入射角・反射角の定義とその関係を図示して確認する。
15分	屈折の法則	・屈折角の定義とスネルの法則を図示して確認する。 ・水に入れた物体がどのように見えるかを図示し、そのように見える理由を説明できるかどうか確認する。

の法則と屈折の法則（スネルの法則）を学習し、光の軌跡を図示できるようにする（表3）。抽象的な法則を理解するためには言語・数式・図・グラフの4つを相補的に用いることが効果的であるが、事前学習の段階ではそのうちの言語・数式・図の3つのそれぞれを用いて表現し、理解するように促す。さらに水を入れたコップに箸などを差して、水中では箸が浮き上がって見えることを確認し、それが浮き上がって見える理由について屈折の法則に基づき自分なりの説明を文章で記述させる。事前学習は教員が作成した書き込み式のプリントに沿って行わせる。

5. 4. 2 対面授業

5. 4. 2. 1 準備する教材

プラスチックコップ、水切りバット、台所洗剤、経路を書き込むためのプリント、最短経路をシャボン膜によって理解するための装置（図3）、ワイヤー、ラジオペンチ。

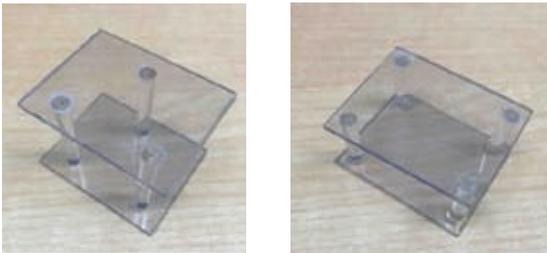


図3 最短経路をシャボン膜によって理解するための装置

5. 4. 2. 2 授業展開

対面授業では、光の軌跡と力学や電磁気学などに現れる様々な現象には共通の性質が潜んでおり、それを理解するためには局所的な観点だけでなく、大域的な観点が必要とされることを始めに述べる（表4）。

次に、光の軌跡について事前学習では法則の成立理由については考察していないことを認識させ、まず反射の法則について成立する局所的な理由を考察するよう指示する。個人および班で考察したのち、大域的な観点からもこの法則を理解できることを説明する。そのために、1回反射するという条件下での2点を結ぶ

最短経路はどのようなものになるか、プリントを用いて考えさせ、実際に選ばれる経路はいくつもある経路の中で最短時間で2点を結ぶ特別なものであることを理解させる。

屈折の法則についても同様に考察させるが、これは波動光学的に考えなければいけないため反射の法則に比べ難しいので、適宜ヒントを与えながら誘導する。屈折現象についての大域的な理解には微分と極値の知識が必要となるが、物理で取り上げられる抽象的な内容を本質的に理解するためには数学を駆使することも欠かせないため、計算の詳細は省きつつも微分を導入し、光が2点を最短時間で結ぶ経路を進むことを説明する。

最後に、大域的な観点のまとめである最小作用の原理を直観的に理解させるため、シャボン膜を用いて自然が何らかの物理量を小さくさせようとすることを体感させる。プリントと事前に作成する装置を用いて、3点および4点を結ぶ最短距離や、ワイヤーで作った立体（図4）に張るシャボン膜について考察させる。各自でも自由な形状の立体をワイヤーで作成し、自然は「自動的に」シャボン膜の面積を小さくするように変化することを体感させる。最後にまとめとして、光の軌跡やシャボン膜の形状から、ブラックホール時空の光の軌跡に至るまで、様々な現象が最小作用の原理などの大域的な観点から理解できることを説明し、自然には様々な系に共通する普遍性があることを理解させる。

授業後の課題としては、小中高の様々な学年にこの授業を応用する方法について考察させ、レポートにまとめさせる。



図4 シャボン膜の形状を見るためにワイヤーで作る立体

表4 対面授業の展開

時間	学習活動	指導上の留意点・配慮事項
導入 3分	様々な物理現象の背後に普遍性があることを学ぶ。	・細かい説明はしない。
展開Ⅰ 20分	【反射の法則を局所的・大域的に捉える】 ・法則を文・式・図で表す(2分間)。 ・局所的な理由を各自で考察する(3分間)。 ・局所的な理由を班で議論する(5分間)。 ・大域的な観点から考察するため、反射点を含み、異なる2点間を結ぶ最短距離はどうかプリントの図をもとに考察する(10分間)。	・入射角・反射角が垂線から測られているかを確認する。 ・幾何光学近似について説明し、粒子の運動のように考えるよう導く。 ・ヒントとなる補助線を与え、直線軌道という理解しやすい最短距離になっていることを理解させる。
展開Ⅱ 15分	【屈折の法則を局所的に捉える】 ・法則を文・式・図で表す(2分間)。 ・局所的な理由を各自で考える(3分間)。 ・局所的な理由を班で議論する(5分間)。 ・スネルの法則が成立する局所的な理由を波動光学近似に基づき、理解する(5分間)。	・光が波の一種であり、この場合には平面波として幅を持っているとみなしてよいことを説明する。 ・ホイヘンスの原理とは別に直観的な説明が可能であること、屈折の仕方を暗記する必要はないことを理解させる。
展開Ⅲ 15分	【反射の法則を大域的に捉える】 ・スネルの法則も2点間を結ぶ最短時間経路が選ばれるという大域的な観点で解釈できることを理解する(15分間)。	・極値の考え方や微分公式はその場で導入、計算の詳細は補助プリントを配布し、時間を短縮する。 ・数式を用いる難しい部分であるが、物理現象をきちんと理解するためには数式は強力な道具になると認識させる。
展開Ⅳ 28分	【シャボン膜と極小曲面に関する実験】 ・3点を結ぶ最短経路を各自予想(2分間)。 ・シャボン膜で班ごとに確認(2分間)。 ・4点を結ぶ最短経路を各自予想(2分間)。 ・シャボン膜で班ごとに確認(2分間)。 ・立体ワイヤーに張るシャボン膜の形状を予想し、実際に確認(2分間)。 ・その形状になる理由を考察する(3分間)。 ・極小曲面という一般化で考えられることを理解する(5分間)。 ・ワイヤー立体の自作、シャボン膜の形状の確認(10分間)。	・プリントに記入させる。 ・フェルマー点を簡単に説明する。 ・プリントに記入させる。 ・シュタイナーツリーを簡単に説明する。 ・シャボン液に泡が立ちすぎるときれいな膜が張らないので注意させる。 ・膜の形状の想像図を描かせてから、実際にシャボン膜を張らせてみる。 ・自然が選ぶ経路は「無駄がない」という言葉の意味が理解できるように説明する。 ・ワイヤーの端で怪我をしないよう指導する。
まとめ 9分	【その他の現象への応用と課題の指示】 ・最小発熱の法則、ブラックホール時空の形状など、様々な物理系が統一的な観点から理解できることを学ぶ(6分間)。 ・小学校・中学校・高校の様々な学年での応用例を考える(3分間で指示、事後課題とする)。	・理解させることを目標とするのではなく、学習事項が様々な自然現象に共通していることを伝え、学ぶ動機づけができるようにする。 ・1週間後にレポート提出。

6. 放射線の評価する力を育成する授業 (佐藤公法)

6. 1 授業の目標

放射線外部被ばく防護三原則を取り扱い、放射線を客観的に評価することを通して、自然界の事象に対する理科的な評価力、判断力および表現力を育成することを目指す。

6. 2 授業設定の理由

6. 2. 1 背景

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故が2011年3月に発生し、放射線に対する安全性への国民の関心がこれまで以上に高まっている。その一方で、風評被害や差別・偏見が未だに横行している。放射線災害について信頼できる情報に基づいて解釈し、表現・伝達していく能力を養うことは重要である。この授業では、放射線を客観的に評価する力を育成する

ことを目的とする。このために、放射線外部被ばく防護三原則を取り扱う。基本的な知識を学習するとともに、放射線強度を実際に計測・数値化することにより、具体的、客観的に評価する技能を習得し、その結果を正確に伝える活動を行う。

6. 2. 2 新指導要領との関わり

中学校理科学習指導要領では、「エネルギー資源」の項目の中で「放射線の性質と利用」にも触れることが定められている。2014年2月には文科省が、「小学生のための放射線副読本～放射線について学ぼう～」、「中学生・高校生のための放射線副読本～放射線について考えよう～」の配布を開始している。

6. 3 評価規準

○放射線検出器で計測した値を正確にグラフ化できているか。

- 放射線強度が時間に比例して増加することを作図したグラフから読み取れているか。
- 遮へい材の密度が高くなると放射線強度が減少することを作図したグラフから読み取れているか。
- 放射線強度が距離の二乗に反比例することを作図したグラフから読み取れているか。
- 放射線を客観的に評価できているか。
- 結果を正確に表現できているか。

6. 4 学習の展開

6. 4. 1 事前学習

2乗に反比例する関数は、放射線強度の距離逆二乗則を理解する上で不可欠であり、事前に理解を深めておくことが必要である。このための事前学習は、教員が用意した課題問題を学生が事前に解くことにより実施する。

6. 4. 2 対面授業

6. 4. 2. 1 準備する教材

放射線放出源である放射性同位元素、放射線を計測するための放射線検出器を準備する必要がある。外部被ばく防護に関する授業を実践するためには、ガンマ線放出線源が適している。「放射性同位元素等による

放射線障害の防止に関する法律（放射線障害防止法）」で定める下限数量（規制対象下限値）以下の密封された放射性同位元素で、規制の対象にならない法規制対象外線源を放射線教育に利用することができる。法規制対象外の線源は、公益社団法人日本アイソトープ協会を通して購入することが可能である。

放射線外部被ばく防護に関する実験を精度良く行うためには、放射線のエネルギースペクトルを解析（スペクトロスコピー）する必要がある。半導体検出器は、放射線に対するエネルギー分解能が優れているため、このような実験に適している。通常、放射線のエネルギースペクトルは、放射線検出器からの出力信号を増幅器で増幅させた後、マルチチャンネルパルス波高分析器で表示する。最近では、CdTeZn半導体検出器をUSBケーブルを用いてWindowsタブレットに接続し、無償の制御用プログラムを用いてガンマ線スペクトロメトリーを行うことが可能な簡易型システム（例えば、イギリスKromek社製（日本代理店は仁木工芸株式会社））も販売されている。

6. 4. 2. 2 授業展開

本授業の90分間の展開を以下に示す（表5）。

表5 対面授業の展開

時間	学習活動	指導上の留意点・配慮事項	学習活動に即した具体的な評価基準（評価方法）
導入 (5分)	<ul style="list-style-type: none"> ・2008年度の学習指導要領改訂に伴い、小・中・高等学校の教育において原子力や放射線の平和利用に関する事項が増加したことについて、教員の話聞く。 ・2011年3月11日に東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故が発生し、環境放射能汚染が身近なものになったことなどについて、資料を見る。 	 <p>除染で取り除いた土などを一時的に保管する仮置場（2016年10月7日撮影）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・福島第一原子力発電所の事故で飛散した放射性核種について説明できること。 ・除染が必要とされている背景について説明できること。
展開I 放射線 概論 (20分)	<ul style="list-style-type: none"> ・実験に必要な基礎事項を学ぶ。 1. 放射線とは高い運動エネルギーをもって流れる物質粒子と高エネルギーの電磁波、すなわち極めて波長の短い電磁波の総称である。 2. 不安定な原子核が壊変し、それに伴う放射線を放出する性質あるいは能力のことを放射能という。 3. 人体が放射線にさらされると、放射線に被ばくしたと表現する。 4. 外部被ばくは、体外に存在する放射性物質や放射線発生装置から放出する放射線による被ばくであり、一方、内部被ばくは、吸入、経口、皮膚侵入によって体内に取り込んだ放射性物質によって引き起こされる被ばくである。 5. 放射線による外部被ばくの防護は、遮へい（shield）、時間（time）、距離（distance）に着目した3つの原則（放射線外部被ばく防護の三原則）に基づく。 	<ul style="list-style-type: none"> ・「放射線＝危険なもの」となるような概念を与えない。 ・我々の身の回りには、自然放射線と人工放射線があり、常に放射線にさらされていることを認識させる。 ・放射線は医学・農学・工学等広範な分野で盛んに使われていることを認識させる。 ・高エネルギーの電磁波とはガンマ線とエックス線を指し、通常は紫外線を含めない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・放射線と放射能について理解できること。 ・外部被ばくと内部被ばくについて理解できること。 ・放射線外部被ばく防護の三原則について理解できること。 ・ガンマ線計測システムとその原理について理解できること。 表示付認証機器について理解できること。

展開II 放射線強度と時間の関係 (15分)	・放射線強度と時間の関係について実験を行う。例えば、5, 10, 30, 60, 120, 180, 360秒間測定したカウント数を表に書き取る。上記をもとに方眼用紙にグラフ化する。	・放射線強度と時間の関係はどのようになるか。 ・どのような関数で記述できるか。	放射線強度と時間の関係について正しくグラフ化できること。										
展開III 放射線強度と遮へいの関係 (15分)	・放射線強度と遮へいの関係について実験を行う。例えば、遮へい材としてアルミニウム (Al), ステンレス鋼 (SUS), 銅 (Cu), 鉛 (Pb) の1mm厚の平板を用意する。線源と検出器の間に挟んだ状態で所定時間カウント数を測定する。	・放射線強度と遮へい材の密度にはどのような関係があるか。 物質と密度 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>物質</th> <th>密度 [kg m⁻³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Al</td> <td>2700</td> </tr> <tr> <td>SUS</td> <td>7800</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>8920</td> </tr> <tr> <td>Pd</td> <td>11340</td> </tr> </tbody> </table>	物質	密度 [kg m ⁻³]	Al	2700	SUS	7800	Cu	8920	Pd	11340	放射線強度と遮へい材の密度との関係について理解できること。
物質	密度 [kg m ⁻³]												
Al	2700												
SUS	7800												
Cu	8920												
Pd	11340												
展開IV 放射線強度と距離の関係 (20分)	・放射線強度と距離の関係について実験を行う。例えば、線源と検出器の距離を1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 cmにした状態で3分間のカウント数を表に書き取る。これをもとに方眼用紙にグラフ化する。	・放射線強度と距離の関係はどのようになるか。 ・どのような関数で記述できるか。 ・数え落としの効果についても触れる。	放射線強度と距離の関係について正しくグラフ化できること。										
まとめ (15分)	放射線強度と時間の関係, 放射線強度と遮へいの関係, 放射線強度と距離の関係について発表する。		・実験結果を客観的に分析・解釈しているか。 ・放射線や外部被ばく防護について、本字の実験結果に基づいて自分の考えを導き出しているか。										

※本授業の実施にあたり支援を頂いた文部科学省「国際原子力人材育成イニシアティブ事業（原子力人材育成等推進事業費補助金）」に感謝の意を表す。

7. 客観的事実から仮説を検証する態度を育成し、思考力や判断力の強化を目指した化学実験

(生尾 光)

7. 1 授業の目標

小・中・高等学校における理科の授業を実践するのに必要な知識・技能や資質・能力を修得させることを目標として開講している1年理科生向け「化学実験」で扱われる反応速度を題材とした実験に焦点をあて、実験計画とその実施および計画の見直しと再実験のサイクルを通して一次の速度モデル（仮説）を客観的事実から検証する態度を育成し、思考力や判断力の強化を目指すこととした。

【事前学習】学生は事前に自宅などから本学のWebサーバー上にある教材 (<http://www.u-gakugei.ac.jp/~teratani/r02/b-1.htm>) を見ることで、実験計画の参考となる実験のフローチャートの例や実験器具およびその操作などの具体的イメージを獲得し、実験ノートにフローチャートとして具体的な実験計画を立案する。

【対面授業】学生実験は教員およびティーチング・ア

シスタントからなるチーム・ティーチングにより安全に配慮しながら運営される。学生は事前学習で計画した実験を個別に実施する。実験結果は実験室に備えられたPCにインストールされている評価ソフトウェア SEIZAN²²⁾ に入力し、実施の妥当性を確認する。基準に達していない場合は実験計画の見直しと再実験が指示される。このサイクルを用いることで最終的には全受講生の当該テーマにおける実験技能の質が保証される。

7. 2 授業設定の理由

7. 2. 1 背景

新学習指導要領⁷⁾では、中学校における理科の目標として以下のように記されている。

「自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

(1) 自然の事物・現象についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。

(2) 観察, 実験などを行い, 科学的に探究する力を養う。

(3) 自然の事物・現象に進んで関わり, 科学的に探究しようとする態度を養う。」

また, 現行の高等学校学習指導要領¹⁹⁾に基づき編集された「化学基礎」や「化学」の教科書では, 単元毎に探求活動が設定されており学習における観察, 実験を重視していることがうかがえる。これらの目標を達成するためには観察, 実験などを安全に行うための基本的な技能を習得し, 探求活動を指導する力を持つ教員の養成が求められる。

東京学芸大学では理科を専門として学習していない教員に対して助言できる中核的な理科教員の養成を目指し, 初等教育教員養成課程・理科選修, 中等教育教員養成課程・理科専攻の1年生に対して, 「物理学実験」, 「化学実験」, 「生物学実験」, 「地学実験」の4実験それぞれ半期を必修としている。これらの学生実験では理科の実験指導に必要な知識や技能として, 例えば「化学実験」では, 試薬の物性などの予習に基づいて安全に配慮した実験計画の立案やその実施, 正確な測定方法の習得, 観察記録やデータ処理を含めた実験ノートの使用, それらをまとめたレポート作成およびその指導などを通して科学的な見方や考え方やその表現力を養っている。これらは3年生に対してそれぞれ半期で開講されているより専門的な実験, 例えば化学教室にあっては「物理化学実験」, 「無機分析化学実験」, そして「有機化学実験」, さらに4年生に対して通年で開講されている「卒業研究」およびその発表への準備となっている。これらの全ての実験や講義と研究を通して, 将来の学校現場で生徒に対して見通しをもった観察, 実験あるいは探求活動の指導が行えるように配慮されている。

本論文は, 前述の「化学実験」の数あるテーマのうちから, 高等学校「化学」で扱われる反応速度を題材とした実験の一部について, 高い品質で実験を行うための実験計画やその適切な実施と記録および, 実験結果のデータ処理により一次の速度式適用の可否を判定し, より妥当な実験方法へと改善するようなサイクルを通して一次の速度モデル(仮説)を客観的事実から検証する態度を育成し, 思考力や判断力の強化を目指すこととした。

7. 2. 2 学習指導要領との関わり

本授業で扱う内容は, 現行の高等学校学習指導要領¹⁹⁾の「化学基礎」の(3)物質の変化 イ 化学反応, および「化学」の(2)物質の変化と平衡 イ

化学反応と化学平衡に深く関わる内容であり, 理科教員となる学生には必須の実験項目ではあるが, 2016年度に行った本学理科選修や理科専攻の学生への調査から実際に高校で実験を行った事のある学生はほとんどいないことが判明している。本授業では「簡単な反応」として過酸化水素の分解反応を扱う。そこでは, ①反応速度を求めるために適切な実験方法を見だし, ②滴定により過酸化水素濃度の経時変化を測定して反応速度が単位時間内に変化する物質の量で表されることや速度式による表現を学ぶ。その実験操作は基本的技能であり, その原理は小・中学校理科の「エネルギー」「粒子」を柱とした内容のうち, 「粒子」に分類されている単元とも深く関わっている。例えば, 小学校第4学年「金属, 水, 空気と温度」, 第5学年「物の溶け方」, 第6学年「水溶液の性質」⁶⁾, また, 中学校では第1分野(2)身の回りの物質(イ)水溶液, (ウ)状態変化, (4)化学変化と原子・分子(イ)化学変化が挙げられ⁷⁾, そのデータ整理やレポート作成は科学的な見方や考え方を養うこととなり理科の目標^{6, 7, 19)}とも合致する。

7. 3 評価規準

【知識・技能】知識の修得という観点での本時の合格水準は, 安全に実験を行うための適切な情報収集力とそれに基づく実験計画やその適切な実施および記録とし, 成績評価は, 実験ノートに記された事前学習や実験中の記録, 評価ソフトによる判定やそれへの対応, 実験終了後のレポートの完成度によって行う。

実験計画としては器具名や操作内容が具体的にフローチャートにもれなく記載されていることとする。

技能の修得という観点での本時の合格水準は, 一次の速度式

$$\ln(C_0/C) = kt$$

を検証するための $\ln(C_0/C)$ と時間のプロットにおいて比例の関係が見いだされることとする。比例関係の妥当性の評価に使用する評価ソフトでは $\ln(C_0/C)$ と時間の関係を図示することができ, 最小二乗法により直線が推定され, 99.9%の信頼限界および切片の値が表示される。さらに, ①この関係に直線が見いだせるか, ②この直線は原点を通るとみなせるかの2つの観点から比例の関係を見いだすことができ, 一次の速度式により実験結果が説明できるか否かが判定され, 得点(0から10)が表示される。2点以上の場合は当該テーマの実験技能を習得したと判断される。得点が0点の場合は合格点に達するまで実験計画の見直しと再実験が指示される。

【思考力・判断力・表現力】思考力・判断力の修得という観点での評価ソフトによる判定において比例の関係が認められなかった場合に指示される実験計画の見直し(省察)と再実験の結果からなされる。また、最初の実験において既に比例の関係が見いだされるような精度の高い測定結果を得た学生に対してはより高い得点を目指した実験を指示し、実験計画の見直し(省察)と再実験の機会を与える。もし、同じ実験条件で行った場合でも実験結果の再現性について考えさせることができる。

7. 4 学習の展開

【事前学習】学生は事前に自宅などから本学のWebサーバーにある教材 (<http://www.u-gakugei.ac.jp/~teratani/r02/b-1.htm>) を見ることで、実験計画の参考となる実験のフローチャートの例や実験器具およびその操作などの具体的なイメージを獲得し、実験ノートに使用する試薬の物性や毒劇の区分を記載し、実験の安全について考えて来るものとする(表6)。次に具体的な実験計画を立案し、フローチャートとして実験ノートに記載する。この内容は実際に実験を行う上で必須となる。実験ノートは対面授業前に点検し、前述の評価基準に沿って評価する。

【対面授業】学生実験は解説、実験、そして評価ソフトによる判定から構成される(表7)。解説では、 H_2O_2 分解における経時変化、微分型と積分型の速度式について解説し、積分型の速度式を確認するために H_2O_2 濃度と初濃度の比の自然対数を反応時間に対し

てプロットすると原点を通る直線、すなわち比例の関係となり、この分解反応が一次の速度式に従うこと²³⁾を確認する。また、データの整理や評価ソフトへの入力方法、評価の根拠(比例の関係)などを解説し、精度の高い測定データを得る事を目指して実験が開始される。

反応速度の測定は、25℃に設定した恒温槽中で行う。実験操作は、触媒である鉄ミョウバンを加え、 H_2O_2 濃度の変化を $KMnO_4$ 滴定により測定する。なお、測定回数は自由度が3以上となるように5回以上を基本とする。1回目の実験が終了した学生からデータを評価ソフトに入力し、表示される経時変化や積分速度式の図、そして評価(0~10点、2点刻み)を確認する。一般に、学生実験の現場では時間の制約から、そのデータの詳細な解析には困難を伴う。本授業では評価ソフトを用いて迅速にデータの解析や評価がなされるため、学生は直ちに結果を知り、再実験を行う事ができる。再実験ではより精度の高いデータを得るために最適と思われる器具の選定、攪拌の有無、サンプリングの回数や時間間隔等の対策を講じフローチャートに加筆することで実験計画の見直しができる。このため、実験計画とその実施および計画の見直しと再実験のサイクルを通して一次の速度モデル(仮説)を客観的事実から検証する態度を育成し、思考力や判断力を強化することが可能となる。

表6 事前学習で修得できる知識・技能

時間	学習テーマ	内容
30分	使用する試薬の物性を調べる	・使用する試薬の物性を調べ実験の安全について考える
30分	実験計画	・実験を安全に精度良く行うためのフローチャートを作成する。

表7 対面授業(学生実験)の展開

時間	学習活動	指導上の留意点・配慮事項	学習活動に即した具体的な評価基準
事前学習の確認とアンケートの記入 30分	・安全教育 ・実験のフローチャート ・学習内容についてのアンケート	・試薬の物性の確認 ・フローチャートの書き方 ・情報をクラスで共有させるため、工夫した学生にはクラスへの説明を促す。 ・アンケートを記入しながら反応速度に関わる学習内容を想起 ・反応速度に関わる学習内容を解説	・試薬の物性が調べられているか ・フローチャートの記載内容が具体的に問題なく実験ができるか ・アンケートは評価の対象とはしない。
1回目の実験とその評価 (60分)	・評価ソフトの使用方法 ・過酸化水素の分解反応(1) ・評価ソフトによる評価	・保護めがねを着用し、安全に実験しているか ・実験ノートへの記録とその整理 ・評価ソフトへのデータ入力	・実験に取り組む姿勢 ・再現できるように記録しているか ・評価ソフトによる評価は再実験の指示のみに使用

2回目の 実験とその 評価 (60分)	<ul style="list-style-type: none"> ・実験計画の見直し ・過酸化水素の分解反応(2) ・評価ソフトによる評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・フローチャートへの加筆 ・保護めがねを着用し, 安全に実験しているか ・実験ノートに記録とその整理 ・評価ソフトへのデータ入力 	<ul style="list-style-type: none"> ・フローチャートの改善ができたか ・実験に取り組む姿勢 ・再現できるように記録しているか ・評価ソフトによる評価は再実験の指示のみに使用
まとめ 30分	<ul style="list-style-type: none"> ・評価ソフトによる評価方法の説明 ・実験上の留意点 ・レポート作成について 	<ul style="list-style-type: none"> ・評価ソフトによる統計処理の解説 ・反応速度の測定をする際に必要な条件 ・レポートに記載すべき項目と記載方法の注意 	<ul style="list-style-type: none"> ・レポートは一週間後に提出 ・レポートは必須な記載項目と記載内容から評価

8. 植物の生殖と結実に関する学習を通して理科のコンピテンシーを育成する授業 (真山茂樹)

8. 1 授業の目標

複数の果実の共通点と相違点を調べ, その結果から花の構造を推論していくプロセスを通して, 正確な観察力, 客観的な表現力, 適切な情報収集力, 観察結果と収集情報に基づく妥当な考察力の育成を目指す。

8. 2 授業設定の理由

8. 2. 1 背景

植物における受粉と結実および種子の形成の過程は, 生命の連続性に関わる重要な生命現象である。配偶子の合体により親から子へ遺伝的情報が伝わるという意味では動物における受精と同様であるが, 植物では配偶子形成の前段階で, 核相 n の多細胞の世代である花粉と胚嚢を形成することが異なっている。このため植物における生命の連続性の事象は動物と比べ複雑である。また, 被子植物では胚嚢を包含する胚珠が雌しべ(雌ざい)の構成要素である心皮によって被われているため, 受粉後の花粉管の伸長から受精までの過程を直接観察できない。加えて果実の発達は種子の発達と同時に進行するため, 親の世代の部分(果実)と子の世代の部分(種子)の違いがわかりにくい。

とはいえ, 植物の生殖はあまりにも身近な現象であり, 教育において欠くことのできない内容である。受粉から結実までの過程は植物における共通の現象である一方, 果実は種によって多様な形態を示す。それ故, 受粉から結実および種子形成の過程は, 学習者の生物における多様性の理解と共通性の概念形成に対し, 教材としての十分な条件を備えていると考えられる。

開花の時期は種によって様々である。また, 受粉を扱う授業は天気によって左右されやすい。さらに, 授業の実施に合わせて種子を数ヶ月前に播かなければならないが, 教材園を持たない大学では, 授業用に植物を栽培しておくことがしばしば困難である。

これに対し, 果実は受精直後から完熟するまで見る

ことができる。しかも, スーパーや八百屋へ行けば一年中何らかの果実を見ることは可能である。このため果実を用いた授業には年間を通して実施できる優位性がある。

8. 2. 2 新学習指導要領との関わり

小学校理科で扱われる生命の連続性の内容は, 受粉後の結実に焦点が当てられている。種子形成を理解するには花粉管, 精細胞, 胚珠, 胚嚢, および卵を学ぶ必要があり, これは中学校以降で学習する内容である。本授業では中学以降の学習を見据えた上で, 小学校理科に関わる題材を使用したコンピテンシーの育成に焦点を当てる。

本授業で主として扱う能力の一つは, 比較により差異点と共通点を明らかにすることである。これは新学習指導要領では小学校3年の「身の回りの生物」に書かれているものであるが, 中学校学習指導要領でも繰り返し扱われる能力である。花の形態と受粉に伴う結実は5年の「植物の発芽, 成長, 結実」で扱う内容であり, 5年ではこれらの現象に対する予想や仮説を成長の順番に従って行う。本授業ではこれとは逆の向きで思考させるが, これは多角的に現象を考えさせる活動であり, より柔軟な思考力形成への誘導でもある。

8. 3 評価規準

学生が積極的な思考活動や表現活動を行うためには, その前段階として, 生命の連続性の中で, 基本的な花の構成要素の構造を知識として習得していること, および生物を正確に観察できる技能を備えていることが必要である。評価はこれらの知識・技能を含めて行うものとする。

【知識・技能】

- ・がく片, 花弁, 雄しべ, 雌しべ, 子房, 胚珠, 胚嚢など基本的な花の構造を描くことができ, 各部位の名称が言える。
- ・動物と植物の生命の連続性のプロセスの違いを理解できる。
- ・葉と果実を正確に観察できる。

【思考力・判断力・表現力】

- ・形態の相違と類似を絵や文章により客観的に表現できる。
- ・根拠をもって果実から花の形態を推論できる。
- ・根拠が無い場合は花の形態を推論できないと判断できる。
- ・花と果実の本質的な役割が文章で表現できる。

8. 4 学習の展開

知識と技能に関する解説は主に事前学習で行い、思考活動および表現活動は対面授業で行う。

8. 4. 1 事前学習

思考・表現活動を活発に行うために、高校生物レベルの知識と客観的な記録や記述の方法について事前学習で習得させる(表8)。また、観察には五感を使用すること、数値により客観的に特徴を表せる形質と、それが難しい形質があること。また、言葉による表現では他人が聞いても理解できる客観的な表現が求められること。さらに、形態においては、細かかったり複雑であったりしてわかりにくい構造であっても、それをわかりにくいままで表現するのではなく、時に拡大するなどして可能な限りわかりやすく表現することを学習させる。事前学習は教員がスクリーンキャストを使用して用意した15分程度の動画を視聴することで行う。

8. 4. 2 対面授業

8. 4. 2. 1 準備する教材

ヒノキ科3種(ヒノキ, サワラ, コノテガシワ)の小葉の付いた枝, ミカン果実, リンゴ果実, ウメ果実(カリカリ梅で代用可), (またはブドウ果実かサクラ

ンボ), ノートPC, コメントペーパー, ホワイトボード, タイマー。

8. 4. 2. 2 授業展開

対面授業では初めに観察方法と表現方法のトレーニングを行う。ヒノキ科の種であるヒノキ, サワラ, コノテガシワの葉を配り観察させる(表9)。これらの植物は常緑樹で年間を通じて利用できるうえ、小葉が枝に多数付いているため、多人数への分配が容易である。これら3種の葉は形態が類似しており、識別が難しく、識別できたとしても客観性のある言葉で表現することは初めのうちは難しい。また、描画、言葉による特徴の記述、フリーのクリッカーアプリ“PingPong”(http://http://gogopp.com/)の使用、学生間で言語により種を当てるクイズの実施などにより、客観的な識別能力の育成を多角的に図る。

次に、実物のミカンとリンゴの果実を観察し形態の比較を行う。ねらいはミカンのへたに相当するリンゴの部位の気づきである。へたとは何かを考えさせ理解させた後、ミカンとリンゴの花の構造をグループで討論し推論させる。花の構造は一般的に子房上位で理解している学生が多いため、子房下位のリンゴの花を類推することは最初のうちは困難であるが、筆者の経験では理論を考え討論をするうちに正解が出るようになる。

続いて、実物のイチゴとウメ(もしくはブドウ)の果実を観察し、花の構造をグループで討論し推論させる。多くの学生は花に雌しべは1本しかないと思っている。ところがイチゴの花には雌しべが多数(種子の数だけ)あり、果実として認識されている部分は花托が発達した偽果である。また、ウメ(ブドウ, サクランボ)の花は子房上位ではあるものの、果実に萼片が

表8 事前学習で修得させる知識・技能

時間	学習テーマ	内容
2分	なぜ比較するのか	・生活の中で比較が必要な場面
3分	生物を比較する方法	・5種類のセンサーが捉えられる情報の種類 ・数値化が容易な情報と困難な情報 ・客観性のある言語表現 ・細かで複雑な形態は拡大して理解(ルーペがなければスマホを活用)
3分	動物と植物の生命の連続性の違い	・核相と配偶子形成 ・植物はnの配偶体世代(花粉と胚嚢)と2nの孢子体胞が交代する
5分	受粉と結実, 種子形成	・花の構成要素(がく片, 花弁, 雄しべ, 雌しべ, 子房, 胚珠) ・受粉から受精(花粉管, 柱頭, 花柱, 伝達組織, 珠孔, 助細胞, 卵細胞, 中央細胞) ・果実の発達
2分	まとめと課題	・事前学習ノートの作成を指示 ・小学校理科の教科書に出てくる植物 ・座席グループ表の指示 ・スマートフォンへの“PingPong”アプリのダウンロードを指示

残らない。このため根拠を持って花の構造を推論することはできないが、質問に対して答えなければならないと考える学生は多い。イチゴを用いた討論ではより

柔軟な思考力の形成を、ウメを用いた討論では、根拠がなければ科学的推論はできないという判断力の育成をねらう。

表9 対面授業の展開

時間	学習活動	指導上の留意点・配慮事項
導入 3分	顔かたちが似ているが実際は違う人物や動物などのスライドを見る。	・類似物の違いがわかることの面白さにより動機付けする。 ・スライドを見ている間に、3種類の枝からそれぞれ小指のツメ程度の葉を取らせる。
展開Ⅰ 20分	【類似する植物を高精度の観察により識別する】 常緑の裸子植物3種(1:ヒノキ, 2:サワラ, 3:コノテガシワ)の葉を識別するトレーニング。 ・3枚の葉を観察→葉を1枚選ぶ→その葉について特徴をコメントペーパーに書く。 ・指名された学生が特徴を読む→“PingPong”アプリにより全員が正解と思う番号を回答する。 ・観察の視点の解説を聞く。 ・もう一度、同じ葉について特徴をコメントペーパーに書く→コメントペーパーに書いた特徴を読み上げ, “PingPong”により回答する。	・タイマーを使用して制限時間内に作業が終了するようにする。 ・クリッカーアプリ“PingPong”の使用を説明する。 ・学生が読んだ特徴では、3種類の葉を識別しにくいことに気付かせる。 ・客観的かつ正確な表現をすることで、正答率が上がることがわかるように話を進める。
展開Ⅱ 28分	【果実から花の構造を推測するⅠ】 ・ミカンとリンゴの果実を比較し、相違点をホワイトボードにまとめる。 ・へたの定義をインターネットで検索する。 ・へたの解説を聞く。 ・ミカンの子房が果実へ成長する様子をネットで確認。 ・グループでリンゴの花の構造を推論し、ホワイトボードに絵を描く→発表する。	・ミカンとリンゴの果実をグループに配布する。 ・6人のグループ内で順番に違いを言う。 ・表の書き方を指示する:列は左から形質, ミカン, リンゴとし, 各列に形質状態を書くよう指示する。 ・へたはがくと花托の部分が果実に残ったもの。 ・ウンシュウミカンでは, 子房ががく片より上部に付いていることを示すためウェブページ「学芸の森 私の植物」を紹介。 ・ミカンのへたに相当するリンゴの部分を考えさせる。 ・リンゴの花は子房下位であることが考えられるよう指導。
15分	【果実から花の構造を推測するⅡ】 ・イチゴの花について予想を[1:ミカン型, 2:リンゴ型, 3:これらとは異なる型, 4:わからない]から選び, “PingPong”で回答する。 ・グループ毎にイチゴとウメの果実について, それぞれの花の構造を推論し, ホワイトボードに絵を描く→発表。	・イチゴとウメ(もしくはブドウ)の果実をグループに配布する。 ・個人単位でPingPongを使用して回答する。 ・イチゴの花では複数の雌しべが花托上に付いていること, 花1個あたりの雌しべは必ずしも1本でないことが理解できる。 ・ウメの果実では萼片が落ちてををいるため, それを根拠とした推論ができない。このことを通じて, 科学を考えるためには根拠が必要であることを理解できるように指導する。
展開Ⅲ 9分	【花の役割, 果実の役割】 ・花の役割を考える→コメントペーパーに書く。 <発問> 花粉が雌しべの柱頭に付くと, その後種子が形成される。種子は子の世代だが, 果実も子の世代か?→“PingPong”で回答する。 ・果実の役割を考える→発表。	・花は生殖器官であることを認識できるような展開をする。 ・1, 2名に口頭で答えさせる。 ・果実は親の世代であることに気付くようにする。 ・果実は種子を保護し, 散布に役立つ機能を持つ。 ・小学校では動物と異なり, 植物については受精までは扱わないが, 受粉の結果としての種子形成であり結実である。
12分	【実験方法の考案】 ・小学生の種子形成に対する誤った考え方を証明する実験をグループで考える。→発表。	・受粉の後に種子が形成されるのは, 花粉が栄養となると考えたり, 花粉が何かスイッチのような働きをすることを考える小学生がいる。
まとめ 3分	【課題】 スーパーで多くの野菜や果実を見て, それらの花構造を推論する。	・小学校理科教科書に掲載されている植物についても, 同様に花の構造について調べるよう指導する。

9. 生物の構造と機能に関する協働学習に力点を置く授業 (原 健二)

9. 1 授業の目標

本授業では、“知識の質・量を削減せず、質の高い理解を図るための小・中・高等学校における理科の授業”を実践するに当たり、教師が具備すべきコンピテンシー（以下、理科コンピテンシー）の修得を目標としている。その観点から本時では、小・中学校理科の「生命」を柱とした学習内容のうち、「生物の構造と機能」に分類されている単元に焦点をあて、以下のような事前学習と対面授業から構成することで、目標達成を目指す。

【事前学習】「生物と構造と機能」に分類されている各々の単元の配置と系統性を理解するのに必要な知識は、学習者は自宅での15分程度のビデオ学習によって修得する。

【対面授業】事前学習を深化させるため、協働学習による課題解決を授業の中心に据える。本時のゴールは、「協働」とは、個々人の知識を有機的に結び付けることによって新たな知識・技能の獲得に繋げるコンピテンシーである、ということを実感を伴って理解させることである。

9. 2 授業設定の理由

9. 2. 1 背景

小・中・高等学校の理科の内容は構造化されている^{18, 24, 25)}。このことは、例えば小学校4年生の理科の授業づくりには、小・中・高等学校にまたがる内容の系統性を念頭にその単元の位置づけを適切に理解しなければ、学習指導要領が理科に求めるレベルの学習効果が得られないことを意味する。この内容の系統性の理解には、教科の内容に関する専門的な知識は欠かせない。

「生物の構造と機能」に見られる内容の系統性を理解するには、細胞生物学および生理学に関するある程度専門的な知識が必要である。しかしながら高等学校理科の現行カリキュラムでは、この学習指導要領への理解に必要な内容を、必ずしもすべての高校生が学修しない²⁶⁾。そこで本時では、ヒトの色覚に関する生理学を教材に用い、不足している教科に関する基礎知識を補う。

「色」は人間の脳が作り出すイメージであって、光の物理学的性質ではない。本時では、ヒトの色覚は機能を特殊化させた多種類の細胞が協働することで生じる‘感覚’であることを理解させ、それらの活動の根

底にはアデノシン三リン酸 (ATP) の代謝があることをとらえさせる。

9. 2. 2 学習指導要領との関わり

「生物の構造と機能」に配置されている小・中学校の単元は以下の6つである。「昆虫と植物」(小学校3年生)、「人の体のつくりと運動」(小学校4年生)、「人の体のつくりと働き」「植物の養分と水の通り道」(小学校6年生)、「植物の体のつくりと働き」(中学校1年)、「動物の体のつくりと働き」(中学校2年)。これらに通底する生命科学の本質は、「エネルギーと代謝」である²⁶⁾。生命では、活動に必要なエネルギーの大部分をATPと呼ばれる物質として保存可能である。そこで本時では、細胞におけるATP代謝の学習を通して、「生物の構造と機能」の各単元で使用されている「デンプン」「呼吸」「消化」「吸収」「血液循環」等の用語についての理解を深める。

9. 3 評価規準

【知識・技能】知識・技能の修得という観点での本時の合格水準は、“小学校4年生の単元「人の体のつくりと運動」が、小・中・高等学校における「生物の構造と機能」の系統学習の出発点になっている理由を、生命科学の用語を使って適切に説明できる”とする。評価は、事前学習ノートの完成度によって行う。

【思考力・判断力・表現力】思考力・判断力・表現力の修得という観点での評価は学習者自らが、以下の規準で行う(自己評価)。^①探究課題に対して協働して取り組むことで、事前学習で得た自身の知識をどれくらい発展的に深められたか(省察)。^②自分ひとりでは解決できない問題に対して協働して対処することの有効性がどれくらい実感できたか。

9. 4 学習の展開

【事前学習】事前学習の内容を表10にまとめた。15分程度の動画を、スクリーンキャストを利用して作製。学習者各自がネットを通じてビデオ教材を視聴することで事前学習を実施する。

ビデオ教材は4つの学習テーマから構成する(表10)。まず、細胞生物学の基礎、特にATP代謝について解説する(5分程度)。この内容は、「生物の構造と機能」を例に学習指導要領の構造化について理解するために必要な知識を厳選する。次に、ヒトの視覚のメカニズムについて解説する(5分)。この内容は、対面授業における探究課題を協働的学びによって遂行する際に必要となることが想定される知識を中心に構成

する。さらに、小・中学校学習指導要領解説（理科編）を用いて、教科内容の構造化についても解説する（3分）。最後に、学習指導要領（理科）の基本方針の理解を確実にするため、関連する調べ学習課題を課す。

これら事前学習の内容は、「事前学習ノート」にまとめさせる。事前学習ノートは対面授業で活用する。対面授業中での省察や協働的な学びによって得た新たな知識・技能は、別色で事前学習ノートに書き込ませる。事前学習ノートは対面授業終了後に提出。前述の評価規準に沿って評価する。

【対面授業】対面授業は、「導入」と2つの「展開」、そして最後の「まとめ」から構成し、協働学習を中心に実施する（表11）。6人程度の班を編成。「導入」では、協働学習の意義とその効果について概説し、具体的な進め方について説明する。模造紙と色ペンを使

い、各自の考えが班内で確実に共有できるようにする。また、本時の成績は事前学習ノートと協働学習に対する自己評価の合計であることを伝え、評価規準（ルーブリック）を提示する。「展開1」では、事前学習におけるポイントの整理を目的に、事前学習で課した課題について議論させる。「展開2」では、探究課題を提示。授業者がデモ実験を行う。学習者はデモ実験の結果を、事前学習の内容をふまえながら考察し、仮説をまとめる。その際、その仮説を検証する方法についても併記させる。「まとめ」では、「展開2」を「展開1」に関連付けてとらえ直し、学習指導要領が言及する理科内容の系統性について理解を深める。対面授業では教材として模造紙と6色ペン準備する。学習者には、小学校学習指導要領解説（理科編）を持参させる。

表10 事前学習で修得させる知識・技能

時間	学習テーマ	内容
5分	エネルギー代謝とATP	・生命におけるエネルギーのかたちと利用。呼吸。
5分	ヒトの視覚	・目の構造と機能。視覚刺激の脳内処理。色覚の生物学。
3分	学習指導要領（理科）の特徴	・「内容の構造化」について、「小・中学校学習指導要領（理科編）・生命・生物の構造と機能」を例に、その趣旨を説明。
2分	まとめと課題	・事前学習の課題「小・中学校の「生物の構造と機能」を貫く生命現象（学習テーマ）は何か。」の提示。対面授業までにまとめてくるように指示。 ・事前学習ノートの作成を指示。

表11 対面授業の展開

時間	学習活動	指導上の留意点・配慮事項
導入 10分	<ul style="list-style-type: none"> 対面授業の意義の説明を聞く。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> 学習者が「協働的な学び」の構成を理解し、事前学習の必要性和本時の達成目的を理解する。 </div> <ul style="list-style-type: none"> 授業の進め方の説明を聞く。 対面授業の評価（自己評価）規準の説明を聞く。 	<ul style="list-style-type: none"> 班編成を発表する。 協働的な学びの実施に使用するツール（模造紙と色ペン）の利用法を説明する。 ルーブリックを配付する。
展開1 30分	<ul style="list-style-type: none"> 事前学習のポイントを整理する。 事前学習の課題「小・中学校の「生物の構造と機能」を貫く生命現象（学習テーマ）は何か。」について議論する。 	<ul style="list-style-type: none"> 事前学習の内容を班員で共有させることがねらい。各自作成してきた事前学習ノートを班員に披露。各自に1分程度で工夫した点を説明させる。 模造紙と色ペンを使いながら、班員の意見を出し合い、議論を経たのち、班での見解をまとめる。 省察から得られた新しい事柄は、各自の事前学習ノートに別色で記入、明示するように指示する。
展開2 30分	<ul style="list-style-type: none"> デモ実験を見る前に、提示された探求課題「白い紙は何色か？」の趣旨を話し合う。 デモ実験を体験する。 実験結果を班内で考察する。 結論を発表する。 	<ul style="list-style-type: none"> 作業開始前に課題を分析し、解決方針をメンバー全体で共有することが「協働」には必要であることを、（授業終了時までは）気付かせるように導く。 残像に色がついていることを学習者に実感させる。 残像に色を感じる理由（仮説）を考えさせる。 仮説を検証する実験を考えさせる。
まとめ 20分	<ul style="list-style-type: none"> 探求課題「白い紙は何色か？」の結論を、事前学習課題「生物の構造と機能における教科内容の系統性」の文脈でまとめる。 対面授業の成果を自己評価する。 事前ノートのまとめ方と評価規準の説明を聞く。 	<ul style="list-style-type: none"> 「生物の構造と機能」の各単元で使用されている「デンプン」「呼吸」「消化」「吸収」「血液循環」等の学習指導要領で使われている学術用語についての理解を深めさせる。 自己評価用紙は記入終了後に提出させる。 事前学習ノートは、本日の学習内容を反映させた上で、後日提出させる。

10. 身近な生物の観察方法を習得する～見通しを持った授業にするために (狩野賢司)

10. 1 授業の目標

理科の授業において、校庭など身近な環境の動物や植物を小学生が観察・学習する際に、教員が十分な見通しを持って指導するにあたって必要とされる知識や情報の収集、観察の仕方や教え方を主体的に習得するスキルを身に付ける。

10. 2 授業設定の理由

10. 2. 1 背景

2017年3月に告示された次期学習指導要領の理科においては、「生物、天気、川、土地などの指導に当たっては、野外に出掛け地域の自然に親しむ活動や体験的な活動を多く取り入れる」ことが示されている⁶⁾。しかし、小学校の教員に対して行った理科の観察や実験に関するアンケート調査で、生物学分野の単元で教えにくい観察・実験と回答した教員が最も多かったのが「身近な動物・植物の観察」であった²⁷⁾。また、教えにくい理由として、教員自身に教えるための知識や技術が不足している点を多くの教員が挙げている。生物は多様であり、校庭で観察できる動物や植物であっても、教員が種類を同定できない場合が多いことも、教えにくいとされる背景にあると考えられる。したがって、将来、小学校教員になる大学生に対して、理科の授業における身近な生き物の観察に対する苦手意識を払拭するとともに、生物観察を指導する際に必要な知識や技術を主体的に習得する学習の実施は、有為な教員育成のために重要な課題である。

大学3年生対象の「理科研究」で実施する本授業では、まず事前学習として、校庭等身近な環境で観察できる可能性の高い動物や植物を提示して、観察のポイントなども紹介する。その際には、小学校第6学年理科の「生物と環境」の単元に応用可能なように生物間の捕食-被食関係を示すとともに、受粉媒介などの生物間の共生関係も示す。そして、授業の初めに目的を示し、まず特定の生物を観察させる授業アイデアを学生個人毎にコメントペーパーに記述させる。次に、グループでディスカッションをさせて授業案の骨子を構築する。次の授業でグループ毎に模擬授業を行わせるが、その準備として必要な知識や情報を文献等で検索すること、及び野外で対象とする生物を実際に観察することなどを指示する。また、効果的に観察させるための指導案を作成させるとともに、児童の理解を促すための授業での表現方法に関してもグループで検討

させる。評価として、模擬授業後に自己評価を行うとともに、他グループの学生からの他者評価も受けることにより、授業に対する振り返りを強化する。

特定の生物種に絞って観察を実施することにより、児童の観察や思考力が深まるとともに、指導に当たる教員が見通しを持って授業を行うことが可能となると考えられる。この授業を通して、小学生に身近な生き物を観察させる際に、指導する教員が授業を行うために必要な知識や情報の収集や、指導方法を自主的に開発するスキルを学生に習得させる。

10. 3 学習指導要領との関わり

次期小学校学習指導要領の理科の授業において、野外で生物を観察する機会がある単元は、第3学年の「身近な自然の観察」、第4学年の「季節と生物」、及び第6学年の「生物と環境」であろう。本授業を受講することにより、「身近な自然の観察」はもとより、どの季節にどのような生物が観察できるか、また上述したように生物間の捕食-被食関係に対する理解を深めることで、「季節と生物」、及び「生物と環境」にも対応する能力を身に付けることができると考えられる。

10. 4 期待される効果

校庭等の身近な環境に生息する多くの生物種を観察の対象とするのではなく、特定の複数種に絞って、またそれら生物種間の捕食-被食関係や共生関係も紹介しながら観察することによって、児童の観察や思考力が深まるとともに、指導する教員の準備等の効率が向上し、また見通しを持って授業を展開できると考えられる。校庭の特定範囲で限られた生物を観察させることで、児童の観察力が深まることは高津らも指摘している²⁸⁾。また、特定の生物種に観察を絞って異なる季節で観察を行うことによって、開花、受粉、結実、幼虫、成虫、渡りなど、小学校第4学年理科「季節と生物」の単元の授業に展開することも可能であろう。

また、第2回の模擬授業に備えて、学生が調べ学習や実際の生物観察を行うことによるアクティブ・ラーニングとしての効果も期待できる。さらに、グループディスカッションを含むことで、次期学習指導要領で示されている「児童の主体的・対話的で深い学びの実現を図る」についても得るところは大きいと考えられる。

この授業を通して、野外における生物観察に対する受講者の苦手意識が減少すること、及び実際に授業を準備・実施する際に必要な知識や情報収集の仕方、見

通しを持った授業の組み立て方等, 教員としてのスキルが身につくことが期待される。

10. 5 評価規準

【知識・技能】 模擬授業で対象とする生物種に対する情報や, それらの種間関係について, 事前学習でどの程度の知識を習得できたか, そしてそれを模擬授業で活用することができたかを評価規準とする。模擬授業の内容, 及び指導案によって評価する。

【思考力・判断力・表現力】 思考力・判断力・表現力は, 模擬授業の内容, 及びそれに対する自己評価と他者評価による省察によって, 総合的に評価する。

10. 6 学習の展開

10. 6. 1 事前学習

東京学芸大学情報システムのWebClassを通して, 身近な環境で観察できる可能性の高い動物や植物の写真等を含めた資料を配布し, 授業までに目を通し, 身近な生物の観察に利用したい種類などを考えさせておく。植物として, カタバミ, タンポポ, スミレ, サクラ, ヒメジョオン, ヤブガラシ, セイタカアワダチソウ, カキ, サザンカ, ツバキ, ヤツデ, ビワなどを,

動物としては, ハナバチ, ハナアブ, ヤマトシジミ等チョウ類, アブラムシ, テントウムシ, ハナムグリ, アリなどの昆虫やクモ類や, メジロやヒヨドリ, スズメ, ムクドリなどの鳥類等を資料に挙げる。また, 資料には, どこで, いつ頃の季節に観察できるか等の情報もコメントしておく。さらに, 餌となる被食生物, それを捕食する捕食者の捕食-被食関係や, 受粉媒介や種子分散を通した植物と動物の共生関係などもコメントしておく。

10. 7 授業

10. 7. 1 準備する教材

コメントペーパー (第1回, 第2回)

模擬授業に使うプロジェクター (第2回)

10. 7. 2 授業展開

授業は表12に示すように展開する。各自の思考, 及びグループでのディスカッションがスムーズに進むように促し, また模擬授業のための準備を十分に行わせることにより, 充実した模擬授業ができるようになる。さらに, 模擬授業に対する自己評価と他者評価により, 深い省察を促す。

表12 授業展開の概要

時間	学習活動	留意点
確認 5分	【第1回】 ・事前学習の確認。 ・観察の対象候補となる生物種を挙げるなど。	・十分に事前学習をし, 観察の対象候補となる生物種を考えておかないとスムーズに授業が進まないことを確認する。
目的提示 20分	・本授業の目的と簡単なスケジュールの提示を受ける(以下の内容)。 ・本時第1回では, まず個人の授業アイデアをコメントペーパーに記述, 次にグループディスカッションで授業案の骨子を作成する。 ・第2回でグループ毎に模擬授業を行うが, それまでに情報収集や実際の生物観察, 及び授業案の作成を行う。 ・実際に観察して, 資料に載っていない生物も観察対象にできること, 季節による限定があることを簡潔に紹介する。	・授業の目的やスケジュールが理解できるよう図も使用して丁寧に説明する。 ・情報の収集の仕方や, 観察できる場所, 季節等により観察しやすい種類などを紹介するが, あまり詳しくは説明せず, 学生の調べ学習に力点を置く。 ・模擬授業ではプロジェクターを使えること, 実際の生物を示してもいいことなども伝える。 ・模擬授業の評価についても簡単に示しておく。
授業アイデア 10分	・コメントペーパーを受け取り, 各自が事前学習で想定してきた動植物を用いた野外観察授業案を記述する。	・記述中, 机間巡視を行い, 気がついたことをコメントしたり, 質問に答える。
グループディスカッション 30分	・あらかじめ決めておいたグループで, 各自の授業アイデアを紹介しあい, より効果的な授業にするにはどのようにしたらよいかディスカッションする。	・スムーズにグループによるディスカッションができるよう, 事前学習で配付した資料に, 各自の席の場所を示しておく。 ・グループ間を移動しながら, 気がついたことをコメントする。
授業案紹介 20分	・各グループは, まとまった授業案を簡潔に紹介する。	・グループ(受講生)の数により, 1グループあたりの発表時間を示しておく。 ・配慮すべき点があればコメントする。

まとめ 5分	<ul style="list-style-type: none"> ・第2回の模擬授業の予定と、指導案作成を確認する。 ・それまでに調べ学習や実際に生物を観察して、模擬授業に備えることを確認する。 ・第2回の模擬授業の授業案を作成すること、及びわかりやすく表現することを心がけるよう指導を受ける。 	<ul style="list-style-type: none"> ・模擬授業ではハイライトすべき部分のみ授業することや、各グループの授業時間を示す。 ・指導案はグループでまとめて作成することも示す。
導入 5分	<p>【第2回】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・模擬授業の仕方と評価について確認し、評価用のコメントペーパーを受け取る。 ・各グループは授業案を提出する。 ・模擬授業開始時には、指導案のどの部分を授業するのか明示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・他のグループの模擬授業に対して、良かった点、わかりにくかった点、課題等をコメントさせて他者評価とすることも確認する。
模擬授業 70分	グループ毎に模擬授業を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・模擬授業の内容と指導案を比較する。 ・配分した時間を超過するようであれば随時指示する。
自己評価 10分	<ul style="list-style-type: none"> ・自分たちのグループで模擬授業を行って、気がついた点、改善すべき点、課題などについて自己評価をコメントペーパーに記述する。 ・他のグループの模擬授業で取り入れたい点なども、自分たちの発表と比較しながらコメントペーパーに記述する。 ・自己評価を記したコメントペーパー、及び他のグループに対するコメントを記したコメントペーパーを提出する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・模擬授業前の事前の準備で気がついた点、改善点なども挙げてもらう。 ・準備の段階で、実際に野外でどのような生物を観察したか、またその感想なども書いてもらう。
まとめ 5分	<ul style="list-style-type: none"> ・全体を通して気がついたことを教員がコメントする。 ・実際に教員になって野外観察をする場合の心構えや準備、実施に際しての注意点など説明を受ける。 	<ul style="list-style-type: none"> ・できるだけ受講生をエンカレッジするようなコメントにする。 ・野外観察の際の安全確保や、天候不順の際の対応策なども示す。

11. 実物観察を活用した花の構造理解を通して観察力の向上を図る授業 (岩元明敏)

11. 1 授業の目標

理科的なものの見方において、観察力は全ての基本となる能力の一つである。実際の植物の花を観察させ、その構造を記載する方法である「花式」の作成方法を実践的に学ぶ。これにより植物の重要な器官の1つである花についての理解を深めるとともに、実際の生物に対する観察力とその記載を通じて客観的な表現力の習得を目指す。

11. 2 授業設定の理由

11. 2. 1 背景と目的

植物における花は生殖器官であり、最も重要な器官の1つである。花の構造については小学校理科指導要領の5学年の内容として「花にはおしべやめしべなどがあり、花粉がめしべのもとが実になり、実の中に種子ができること」があげられており、さらに取り扱いの中で「おしべ、めしべ、がく及び花びらを扱うこと」とされている（新指導要領でもこの点に変更はない）。しかし、植物の花は必ずおしべ、めしべ、がく、花びら全てを持つわけではなく、種によって異なる。また、一見がくや花びらのように見えても、実際には

苞とよばれる葉的器官である場合などもある。

したがって、花のつくりについて適切に教えるためには、個々の植物の花を観察し、この構造を把握する能力が必要である。この能力を正確に養成するために最も重要なことは実際の植物（実物）を対象とすることである。教科書の文章や写真だけでは、実際に花の各器官がどのように形成され、どのような形態をしているのかを理解することは難しい。また、もう1つ重要な点は、観察した結果を記述するためのツールが必要であるということである。実物の花を対象にいくら観察を重ねても、それを客観的に記述することができなければ、様々な植物の花の共通性と違いを把握することはできない。

そこで本授業では、実物の植物の花を対象とし、「花式」と呼ばれる花構造の記述手法を用いて形態構造を客観的に記載する手法を身につけることを目的とする。花式は定まった記号と数字で花の詳細な構造を記載する手法であり、被子植物の分類群ごとの花の形態学的な違いを理解するために重要である²⁹⁾。花式は専門性の高い植物図鑑などで用いられるが、教育の現場でも活用可能な手法であり、近年、筆者らはより詳細かつ簡便に花の構造を記載できる花式作成法を開発した³⁰⁾。本授業ではこの新しく確立された花式を利用する。そして、最終的には花の構造にとどまら

ず、生物の多様性を理解するコンピテンシー育成を目指す。

11. 2. 2 学習指導要領との関わり

小学校理科第5学年で扱われる花のつくりは、現行の指導要領では生命の連続性に入っており、生物の多様性と共通性として植物が扱われる内容は、第3学年の植物の成長と体のつくり、第4学年の植物の成長と季節のみである。その一方で、中学校第1学年では生物の多様性と共通性として種子植物の仲間について扱われ、ここで花の構造についてもあらためて学ぶことになる。そのため、小学校においても花のつくりを教える際には、ある程度生物の多様性と共通性も考慮し、中学校での学習につなげることを見据えるべきである。

また、花のつくり、特に種ごとの構造の違いと共通性を理解するための能力を習得することは、花だけにとどまらず、生物の多様性と共通性全般に関わるコンピテンシーの育成を可能にすると考えられる。本授業で主として扱う能力は、実物の観察を通じて、生物の多様性と共通性を明らかにすることである。これは新学習指導要領の理科でも第3学年の身の回りの生物に始まり、繰り返して扱われる能力である。

11. 3 評価規準

学生が花式を用いた花の構造の記載を行うためには、その前段階として、基本的な花器官の形態、配置を基礎的知識として習得していること、それらを適切に解剖し観察する技能が必要である。評価はこれらの知識・技能を含めて行うものとする。

【知識・技能】

- ・ 苞、萼、花冠、雄蕊群、雌蕊群などの各花器官の形態と配列を説明できる。
- ・ 実際の花（実物）を解剖し、各花器官に分けることができる。
- ・ 花式についての基本的ルールを習得している。

【思考力・判断力・表現力】

- ・ 花器官を形態だけではなく、その配置によって同定することができる。
- ・ 同定した花器官を客観的な基準に基づいて、花式として適切に記述できる。
- ・ 植物によって花の構造に違いと共通性があることを自ら作成した花式を用いて客観的に説明できる。

11. 4 学習の展開

花式に関する基礎知識の習得は主に事前学習で行

い、実物を対象とした花式作成を対面授業で行う。

11. 4. 1 事前学習

背景と目的で言及した花式に関する論文³⁰⁾の内容をベースに作成した自学用Web学習教材を東京学芸大学WebClass (e-Learning サービス) 上にアップロードする。受講学生はこれをダウンロードし、事前に(1) 花式とは何か (2) 花式の作成方法 (特に各記号の意味と記述方法) の2点を学ぶ。学習時間はおよそ30分間となるようにする。なお、事前学習終了時にWeb教材の一部 (花式の基本ルールと記号の意味をまとめた表) をプリントアウトしておいてもらい、授業の際に持参するよう指示を出しておく。

11. 4. 2 対面授業

11. 4. 2. 1 準備する教材

スイートピー (*Lathyrus odoratus*) の花、ルーペ、ピンセット。

11. 4. 2. 2 授業展開

対面授業では始めにスライドを用いて、花の基本的な構造についての講義を行う (表13)。受講学生はすでに様々な機会では花の構造について学んできたことと思うが、本授業では各花器官の多様化とそれに伴う同定の難しさ (例えば、一見花卉のように見える場合でも、実際には萼片であるケースなど) に重点をおいて講義を進める。特に、植物の花は科ごとに大きく異なる特徴を持つ場合が多いため、いくつかの代表的な科の植物の花を写真も用いて説明し、それらを事例としながら花器官の多様化を理解させる。また、植物の花は通常、その基部に苞と呼ばれる葉的器官を伴う。この苞が花卉化または萼片化して花の構造を複雑にしている場合もあることから、やはり代表的な科の花を実例としてあげながら、苞についての説明も行う。

次に、観察する実物としてスイートピー (*Lathyrus odoratus*) の花を1人1つずつ配布し、同時に配布するルーペとピンセットを用いて各自で観察と解剖を行う。スイートピーを用いる理由としては、(1) どの時期でも花屋に出回っており、安価で材料として購入しやすい (2) 花器官、特に花卉が特殊化しており、単純な見た目からでは構造が分かりにくく、花式を用いることによって花の構造が分かりやすく客観的に把握できるということを実感できる材料である の2点である。解剖にあたっては、各花器官を破損しないように注意して解剖させる必要がある。すでに行っている事前学習と花の基本構造に関する講義で得た知識を活

用し、解剖した各器官が何であるかを同定するとともに、その配列についてよく理解することを目指す。これまでにを行った同様の授業では、事前知識がないと花器官の形態、つきかたを無視した解剖を行ってしまう傾向にあるため、事前学習と講義の内容をよく踏まえた上で解剖を行うよう、重ねて指示する必要がある。解剖の途中で、講義室の正面スクリーンにスイートピーを含むマメ科マメ亜科植物の花の特徴を説明したスライドを写し、簡単な説明を行う。これについても、同様の授業での結果から、解剖の前に説明を行うと説明の内容にとらわれて観察結果に基づかない花式を作成する学生が多く出ることが予測されるため、作業の途中で提示するという方法をとる。

解剖終了後は、事前学習で得た知識を活用し（事前学習用のWeb教材の一部をプリントアウトしたプリントもここで利用）、スイートピーの花式を各自で作成する。さらに作成した花式を隣席の学生同士（2人1組）で互いに比較し、違いがある場合にはどちらの花式がより適切であるか、解剖したスイートピーの花を観察しながら討論する。なお、花式は花器官の数、配列という基本的な情報の他に、様々なオプションを用いて追加的な情報を取り入れることができる（例えば、子房の位置など）。ここでの討論では、まず各器官の基本的な数と配置が一致しているかどうかを確認させ、その上で追加的な情報をどこまで正確に取り込むことが出来ていたかを議論するよう机間指導する。

討論終了後、正しいスイートピーの花式を提示し、解説する。ただし、前述したように花式は追加的な情

報を盛り込むことが可能であり、その中には顕微鏡観察などが必要なものもある。そのため、授業では追加情報についてはルーペも含めた肉眼レベルの観察で判定可能なもののみを取り入れた花式を提示する（それよりも細かい情報は、観察ではなく事前の知識に基づいている可能性がある）。この花式を示した上で、さきほど解剖中にも提示したマメ科マメ亜科の花の特徴についてのスライドを再度提示し、この分類群の花の特徴について詳細に講義する。その上で、今回観察したスイートピーの花がマメ亜科の花の特徴を確かに持っていることを理解させる。

以上の講義、作業、討論終了後、今回のまとめとしてマメ科にある程度近縁だが、外見上大きく異なる植物（例えばバラ目バラ科のサクラは目レベルで言うとマメ目マメ科の植物とある程度近い）いくつかの花の写真と花式を示し、スイートピーとの比較を行う。これにより、外見が大きく異なっているも花式というツールにより客観的な構造比較が可能なること、そして近縁であれば共通性が多いことを説明する。これにより、花式の重要性とそれを用いた花の多様性と共通性の理解ができると考えられる。

最後に課題として、マメ科以外の植物の実際の花を解剖、観察し、花式を書いてくるように指示する。この課題を行うことによって花式作成能力の定着を図るとともに、授業中に作成したスイートピーの花式との違いを理解し、改めて花の構造の多様性を実感させる狙いがある。

表13 対面授業の展開

時間	学習活動	指導上の留意点・配慮事項
導入 20分	スライド（パワーポイントファイル）を用いた講義を受け、花の基本的な構造について学ぶ。	<ul style="list-style-type: none"> 花を構成する器官の萼片、花弁、雄蕊、雌蕊の基本的な形態と配置の仕方が理解できるようにする。 それぞれの花器官は形態的に多様化することがあることをいくつかの科の花をあげながら、理解させる。 花は通常「苞」と呼ばれる葉的器官を伴い、それが花弁化または萼片化することに言及する。
展開Ⅰ 15分	【観察する植物の配布と基礎観察】 蝶型花を持つマメ科マメ亜科植物のスイートピー (<i>Lathyrus odoratus</i>) の花、ピンセット、ルーペを受講生1人に1つずつ配布する。各自外部形態を観察したあと、ピンセットを用いて花器官を1つ1つ花から取り外し、同定した上で順番に並べる。	<ul style="list-style-type: none"> スイートピーの花を配布する際、苞を含めて配布する（茎の一部がついた状態で渡す）ことに留意する。 観察および解剖作業の間、正面のスクリーンにマメ亜科の花の基本的な構造（蝶型花）を説明するスライドを表示しておく。 机間指導を行い、学生が解剖時に各花器官を壊さないように留意する。
展開Ⅱ 15分	【花式の作成と討論】 ・事前学習で学んだ内容に基づき、各自スイートピーの花式を作成する。 ・作成した花式を隣席の学生同士で比較し、適切に記述できているかを検討する。	<ul style="list-style-type: none"> 討論は基本2人1組で行う（人数が余る場合のみ3人）。 机間指導を行い、作成した花式の妥当性をチェックし、適時討論についての助言を行う。 作成した花式に違いがある場合には、実際に解剖した花を観察しながら、どちらの花式が適切であるかを検討させる。 作成した花式が互いに全く同じである場合には、それが妥当性であるかを検証させる。

<p>まとめ I 15分</p>	<p>【スイートピーの花の構造に関する解説】 ・スイートピーの正しい花式（ただし、追加情報については肉眼で確認できるもののみ取り入れる）を板書し、解説する。 ・マメ科マメ亜科の植物が持つ蝶型花についての説明を行い、スイートピーの花の構造との比較を行う。</p>	<p>・スイートピーの花式について「正解」を示すが、これはあくまで基本的な情報と肉眼観察（ルーペ観察を含む）で分かる追加的情報を含めたものであり、顕微鏡等を用いてより詳細に観察することで、さらに詳細な花式を得ることも可能ということに言及する。 ・花の解剖の際に提示していたマメ科マメ亜科植物の花の構造を示すスライドを再度提示し、その花の特徴について講義し、スイートピーの花式作成で明らかになった花の構造の特徴が、マメ亜科全体の特徴であることを理解させる。</p>
<p>まとめ II 15分</p>	<p>【花式の重要性と課題】 ・マメ科に近縁な植物（例えばバラ科）の植物の花の構造とその花式を示し、スイートピーとの違い、共通点を説明する。 ・次週までに自分でマメ科以外の適切な花を実際に解剖、観察し、出来るだけ詳細な花式を作成してくれることを課題とする。</p>	<p>・近縁であるにも関わらず、スイートピーと外見が全く異なるマメ科以外の花をいくつか選び、その写真と花式を示す。これにより、(1) 外見上比較的内容に見えても花式を使えば、客観的に比較可能であること、(2) 近縁の植物については花式で見るとかなり共通性があることを認識させ、花の多様性、共通性を理解する上で花式が重要なツールとなることを理解させる。 ・課題については自ら新しく植物を選び、観察して花式を作成させることで、花式作成技能の定着とスイートピーとの違いを客観的に把握させることで、花の多様性を実感させる狙いがある。</p>

12. 植物内のデンプンの働きを探る主体的・対話的 活動を中心とした授業 (湯浅智子)

12. 1 授業の目標

新学習指導要領では習得した知識・技能を用いて、予測不可能な社会を自分の力で生き抜く人間の育成が求められている。そのため、小学校・中学校の授業では知識を教えるだけでなく、自分の考えをまとめ、伝え、話し合い、解決するという児童・生徒の思考を活性化させるための活動が必要とされており、小学校・中学校の現場で、この学習活動を円滑に進めるための力の修得には、教科専門と教科教育を架橋するような実践的経験に着目したカリキュラムが必要であることが示唆されている^{31, 32)}。本授業では、科学的な知識の習得（事前学習）と、植物内のデンプンの働きを中心にした主体的・対話的な活動を実際に経験し（対面授業）、科学的な根拠に基づく予想や考察を行う学習活動の意義や有効性を実感する。これらの経験から児童・生徒を刺激する発問や場面に応じた指導など、授業づくりに大切なポイントを理解し、探求型授業を構成・工夫する力の育成を目指す。

12. 2 授業設定の理由

12. 2. 1 背景

植物においてデンプンは重要な栄養であり、光合成によって作られた後、種子などに蓄えられ、発芽や生長のために使われることを小学校、中学校で学ぶ。しかし、それらは断片的であり、植物内のデンプンの流れや働きの知識をつなげて理解できていない部分もあ

る。また、デンプンの関わる単元は、条件制御を行って観察・実験を行うことが求められており、実際に植物内でどのようなことが起きているのかを知っておかなければ、児童の探究活動を円滑に進めることはできないと考える。そのため、本授業では、デンプンに関する知識を体系化し、それらを論理的に説明できる力を身につけるために植物内のデンプンに関する内容を中心に扱うこととした。

12. 2. 2 学習指導要領との関わり

植物のデンプンに関わる内容は、学習指導要領の「生命の連続性」、「生物の構造と機能」に関わるものであり、第5学年「植物の発芽、生長、結実」、第6学年「植物の養分と水の通り道」、そして、中学校第2分野の「植物の体のつくりと働き」で学習する。

本授業では、小学校・中学校で学んだ知識を深めるためにデンプンの特徴について体感を通して学び、デンプンが貯蔵物質に適していること、また、実験を行うことによりデンプンの構造が変化することに気付かせる。そして、植物内でのデンプンの様々な特徴や働きは、植物の生存戦略に関わっているということを理解させる。

12. 3 評価規準

【知識・技能】

- ・植物内におけるデンプンの特徴、働きを理解できている。
- ・発芽のときに種子内でどのようなことが行われているのか理解できている。

・ ヨウ素デンプン反応の仕組みを理解できている。

【思考力・判断力・表現力】

- ・ 発芽する前に休眠が必要な理由を根拠に基づいて表現できる。
- ・ 植物が次世代を残すためにどのような戦略をもっているのか実験結果をまとめて、論理的に表現できる。

12. 4 学習の展開

12. 4. 1 事前学習

本授業で扱うデンプンが関わっている小学校学習指導要領の内容、および科学的な知識を習得してもらうために4つのテーマ内容を15分の動画にまとめ、授業前に視聴してもらう(表14)。そして視聴後に簡単なチェックテストを行い、授業に必要な知識を修得しているかを事前に確認する。

12. 4. 2 対面授業

12. 4. 2. 1 準備する教材

準備する教材：粉末状のデンプン、ピーカー、水、未熟なバナナ、熟しているバナナ、A4用紙、ホワイトボード。

12. 4. 2. 2 授業展開

対面授業の前半は、次世代の発芽、生長のために使われる種子内のデンプンについて、後半は、蓄えられていたデンプンの構造が変化する果実の糖について扱う(表15)。事前学習で学んだ知識と関連している質問を5つ設定し、実験やグループで議論することにより、貯蔵されたデンプンは次世代を残すために使われる方法が異なることを学ぶ。グループで議論を行う際は、まず個人で考えたことを紙にまとめさせた後、5～6人のグループで意見を出し合い、議論し、すでに持っている、もしくは新しく得られた知識を活用して、根拠に基づく内容の発表を行ってもらう。

表14 事前学習で修得させる知識・技能

時間	学習テーマ	内容
0分	植物の内容に関わる小学校学習指導要領の単元について(5分)	小学校第3～6学年で学ぶ内容、身につける力の説明。
5分	デンプンの構造について(3分)	糖類(単糖、二糖、多糖類)の構造の説明。 ヨウ素デンプン反応の仕組みについて。
8分	エネルギーを作る仕組み(3分)	呼吸によって作られるエネルギーの説明。
11分	発芽のときの種子内のデンプンについて(4分)	種子内ではどのようなことが起きているのかを説明。

表15 対面授業の展開

時間	学習活動 (*は予想される学生の反応)	指導上の留意点・配慮事項
0分	2000年前の地層から3粒のハスの種子が見つかり、その内の1粒は発芽し、現在もきれいなハスを咲かせている。[説明]	○大賀ハスの説明を行う。
	なぜ1粒だけ発芽できたのだろうか。	
5分	個人で考え、その内容をプリントにまとめる。 [考察] * 植物は腐るので、他の2粒は腐っていたが、1粒は腐っていなかった。 * 地層中で種子がよい状態で保存されていたから。	<主体的・対話的な学び①> <思考力・表現力①>
8分	腐っていない、いい状態とはどういうことでしょうか？[発問] * 発芽するためのデンプンが保存されていること。	○他の色々な植物でも種子にはデンプンなどの栄養分が貯蔵されており、それが発芽に使われ、植物が成長していくことに触れておく。
	どうしてデンプンを長い間、保存・貯蔵するのだろうか？	
10分	個人で考え、その内容をプリントにまとめる。 [考察]	<主体的・対話的な学び②>
14分	グループ全員で話し合い、ホワイトボードに意見をまとめる。[議論]	○自分の考えをまとめてから、グループでの議論を行う。

20分	<p>グループの意見を発表。[発表]</p> <ul style="list-style-type: none"> * 発芽のための3つの条件が揃わないと発芽できないので、それまで栄養を貯蔵しておく。 * 例えば、夏種子をつくるものは冬には成長できない。そのため、適した環境になるまで待つ期間が必要であるので、その期間を維持していた。 	<p><思考力・表現力②></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 思ったことだけを述べるのではなく、そのように考えた根拠を必ず発表させる。 ○ 夏の花は冬には見えないなどの季節や環境と、生物との関係に気付かせる。
25分	<p>全グループの話し合いの結果をまとめる。[説明]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 発芽後、気温や光量が適していないと枯死したり、花粉を媒介してくれる昆虫などの媒介者がいない冬に花が咲くと次世代を残せない。そのため、条件の良い時期まで植物は休眠をする。 ・ ハスの種は休眠状態を維持でき、デンプンも貯蔵できていたため発芽することができた。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ サクラやアジサイは、夏につぼみをつくるがすぐには咲かず、冬芽になって休眠をし、冬を越すことを説明する。 ○ 休眠から目覚める休眠打破は、一定期間、低温にさらされることや、降雨量がある量に達すること、食べられて、生物の消化液を浴びることなどによって起きることを紹介する。
<p>デンプンは2000年もの長い期間でも貯蔵可能だった。 デンプンとはどのようなものなのだろうか確かめてみよう。</p>		
30分	<p>粉末のデンプンを水に溶かす。[演示]</p> <p>デンプンは溶けづらいという特徴が貯蔵に適している一つの理由であるが、なぜだろう。[発問]</p> <ul style="list-style-type: none"> * 種の中から流れださないから。 * 水に溶けやすいと外へ出て行ってしまう。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ビーカーに粉末デンプンを入れ、水をいれて攪拌する。デンプンはそのまま沈殿し、溶けづらいことに気付かせる。 ○ 個人で考える。 ○ 貯蔵期間では溶けない状態であるが、例えば、師管を流れる時はデンプンではなく、スクロースへと構造を変えて流れることを説明し、植物内で糖類の構造が変わることに気付かせる。
40分	<p>デンプンをなめてもらう。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ デンプンは甘くないことを感じる。
<p>デンプンは甘くない。 果実にもデンプンは蓄えられているといわれているが、果実に蓄えられているのはデンプンなのか確かめてみよう。</p>		
50分	<p>未熟バナナ、成熟バナナを用いてヨウ素デンプン反応をやってみよう。[実験・発表]</p> <p>グループの予想・結果を発表。[発表]</p> <ul style="list-style-type: none"> * 未熟果実はデンプン反応あり。 * 成熟果実はデンプン反応なし。 * 結果から、成熟バナナはデンプンを使い切ったと考えられる。 * 結果から、成熟するとデンプンは違うものになってしまうと考えられる。 	<p><思考力・表現力③></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ グループごとに予想させる。 ○ ホワイトボードに予想・結果を書いてもらう。 ○ 事前学習で糖類の構造、ヨウ素デンプン反応の仕組みを学習している。その学習内容からヨウ素デンプン反応の結果を科学的に説明させる。 ○ 事前学習で糖類の構造を学習している。
55分	<p>実験結果、反応についてまとめる。[説明]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ デンプンは甘くないが、糖類の一つである。師管を流れる時に構造が変わったように、構造を変えることができる。果実の糖は、完熟すると貯蔵に適しているでんぷんではなくなる。種子のデンプンは次の個体の発芽、生長に使われる重要な栄養であったが、果実でのデンプンの働きは違うようである。 	
<p>なぜ果実ではそのような変化をするのだろうか。種子と果実のデンプンについて比較し、考えてみよう。</p>		
60分	<p>個人で考え、その内容をプリントにまとめる。 [考察]</p>	<p><主眼的・対話的な学び③></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 自分の考えをまとめてから、グループでの議論を行う。
65分	<p>グループ全員で話し合う。[議論]</p>	
75分	<p>ホワイトボードにグループの意見を書き、発表。 [発表]</p> <ul style="list-style-type: none"> * 種子の場合は長い期間貯蔵しなければならないことも 	<p><思考力・表現力④></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 自分で考えたことやここまで学んだ内容を根拠にして、説明させる。

85分	<p>あるのでデンプンを貯蔵しておくが、果実の場合は長い期間貯蔵しておく必要はないので、デンプンではなくなった。</p> <p>*デンプンは発芽のための栄養だが、果実は生長などのためではなく、違うことのために使われるから。</p> <p>*デンプンは甘くないが、成熟した果実は甘い。時間をかけて糖類の構造を変えて甘さを増して、昆虫を引き寄せて果実内の種子を運搬してもらう。</p> <p>全グループの話し合いの結果、授業内容をまとめる。 [全体のまとめ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・デンプンは分解され、果糖（フルクトース）に変えられ、甘さを増して、動物を引き寄せている。 ・葉で作られたデンプンは、形を変えられて色々な場所へ運ばれ、それぞれの場所の目的にあった形になって使われている。 	<p>○種子と果実のデンプンの比較から、それぞれの部位で使われる目的は異なるが、次世代を残すという共通の目的があることに気付かせる。</p> <p>○生物は次世代を残すことが一番重要であり、そのために色々な工夫をしている。植物がデンプンを貯蔵し、生長や昆虫を引き寄せることに使うことは、次世代を残すことにつながり、それは生存戦略の一つであるということの説明する。</p> <p>○議論・発表はホワイトボードを使用する。</p>
-----	---	---

13. 天気図の高度な活用を通して天気の予想という実践的な課題に挑む授業 (佐藤尚毅)

13. 1 授業の目標

天気図を用いて天気を予想するという課題を通して、天気の見方、観測データの分析による実況把握、将来の予測に取り組み、観察力や情報収集力、適切な分析や予測につながる考察力、自分が考えたことを他者に的確に伝える表現力の育成を目指す。また、防災や安全な野外活動のための知識を身につけると同時に、その活用能力を高める。

13. 2 授業設定の理由

13. 2. 1 背景

小学校理科では気象に関する内容は第3, 4, 5学年で取り上げられるが、その中でも第5学年で扱われる「西から東へ移り変わる天気」は、温帯低気圧や移動性高気圧が交互に通過することによる天気の変化を指しており、夏を除く時期の天気を理解するうえで最も基本的で重要な考え方である。このため、中学校や高等学校の理科においても継続して取り上げられており、天気図の活用や、低気圧、高気圧への言及など、中学校理科とのつながりを意識した指導も望まれる。

気象は日常生活にも密接に関連しているので、児童・生徒の関心を引き出すことは比較的容易である。一方で、実際の天気を観察したり最新の観測データを用いたりして授業を行う場合、必ずしも教科書に載っている典型事例と同じ経過をたどるとは限らない。このため、実際に目の前にある気象場に応じて、見通しを立てながら、つまり天気の変化を予想しながら、授業を展開することが求められる。児童には天気図を見せないとしても、教師は天気図を用いて天気の経過を把握、予想しておく必要があり、この点で、教師にとっては難しい単元であるといえる。また、天気は西

から東へ移り変わるというような要点だけを殊更に単純に強調した指導は、例外的な状況を想定する能力を低下させ、防災上も問題がある。

急速に発達する温帯低気圧は「爆弾低気圧」ともよばれるが、文部科学省による通達「降積雪期における防災態勢の強化について」(2016年12月26日)、「融雪出水期における防災態勢の強化について」(2017年3月10日, 4月21日)にも関連し、学校現場における防災対策、安全対策としても重要なテーマである。2017年3月には冬山登山中の高校生が雪崩に巻き込まれて死亡する事故が発生したが、登山のような野外活動における安全確保のためには、地上天気図だけでなく高層天気図を活用することは必須である。

13. 2. 2 新学習指導要領との関わり

小学校理科第5学年で扱われる「天気の変化」は、温帯低気圧や移動性高気圧が交互に西から東へ通過することによる天気の変化を対象としている。中学校の理科においては、天気図を用いて低気圧や高気圧について具体的に学ぶことになるが、小学校においても中学校での学習内容を見据えて授業を展開することが望まれる。

新学習指導要領では、たとえば小学校理科第5学年の「天気の変化」において、「天気の変化の仕方と雲の量や動きとの関係についての予想や仮説を基に、解決の方法を発想し、表現すること。」とされているように、思考力や判断力、表現力の育成が重視されている。実験や観察という手段を通して知識を獲得することではなく、知識を活用することが重視されている。翌日の天気を予想するという課題は、答えが未知であるという点において、自ら予想や仮説をたてて解決の方法を考えるという活動に適した題材である。また、自分の予想を発表し議論することで、新学習指導要領が求める表現力の育成にもつながると期待される。

13. 3 評価規準

天気図を活用し天気を実際に予想するためには、知識や技能を活用する力が必要であるが、その前提として、低気圧や高気圧、上空の偏西風などについての基礎知識が必要である。評価は、このような知識・技能を含めて行うものとする。

【知識・技能】

- ・低気圧や高気圧の基本的な性質や、低気圧の種類や構造について知っている。
- ・上空の偏西風に関して、力のつり合いや気圧場との関係を説明できる。
- ・急速に発達する低気圧にみられる地上天気図、高層天気図上での特徴を知っている。

【思考力・判断力・表現力】

- ・西から東へ移り変わる天気に関連した気圧配置の変化を、日々の地上天気図上で理解できる。
- ・各地で観測された天気を気圧配置と関連づけて説明できる。
- ・低気圧の発達に関連した高層天気図上の特徴を認識し、天気の予想に役立てることができる。
- ・地上天気図や高層天気図を活用し、今後の天気の変化を実際に予想し、根拠を示しながら分かりやすく説明できる。

13. 4 学習の展開

13. 4. 1 授業計画

本授業は全7回で構成される。授業スケジュールは表16の通りである。「天気図の作成と利用(1)」では、記入済みの地上天気図と高層天気図をあらかじめ用意しておき、学生は等圧線(高層天気図の場合は、等高度線と等温線)を自分で書き入れる。「天気図の作成と利用(2)」では、地上天気図、高層天気図とも、天気図用紙に各地の観測データ(印刷されたもの)を記入することから各自で行う。「実習」では、ラジオの気象通報を聞いて自分で地上天気図を作成し、また、高層天気図については、インターネットで入手した最新のデータ(各地の観測データ)が記入された用紙に、各自で等高度線、等温線を書き入れる。このように、地上天気図や高層天気図の作成を、少しずつレベルを上げながら反復する形で授業が進行す

る。

13. 4. 2 事前学習

学生には、事前学習のためのテキスト(45ページ程度)を配布している。主に中学校から高校で学ぶ気象に関する内容を解説したものだが、一部、発展的な内容も含んでいる。具体的なワークシート、レポート課題などは出題しない。天気図の作成という同様の課題を反復しながら、知識が不足していると感じた部分を各自が自発的に学習することを期待している。授業時間内では、必要な知識の説明は概要程度にとどめ、あとはテキストのどこに載っているかを示して、授業時間外での自発的な学習を促すように努めている。天気図の作成や利用のために必要な基礎知識はテキストを用いて各自が授業時間外に習得していることが前提であり、反転学習の考え方を取り入れた授業進行になっている。

13. 4. 3 本時の内容

13. 4. 3. 1 本時のねらい

地学分野全7回のうち、第2～4回では、典型的な事例を取り上げて、天気図の読み方や書き方を学習した。本時は、第5、6回として、第2～4回で学んだことを活用して、実際に現在の天気図を作成し、翌日の天気を予想という課題に取り組む。実際に天気の予想を試みることを通して、「天気は予想できることを知っている」から「天気を予想できる」へ、実践的能力(コンピテンシー)を身につけることを目指す。

13. 4. 3. 2 準備する教材

- ・講義資料(テキストと、各種天気図)、天気図用紙
- ・筆記用具(ボールペン、鉛筆、消しゴム、赤、青、紫の色鉛筆)
(以上は学生が各自で持参する)
- ・プロジェクタ、ノートPC、ラジカセ
(以上は教室に1台)

13. 4. 3. 3 授業展開

本時の展開を表17に示した。

表16 授業計画

内容	回	学習活動	指導上の留意点
オリエンテーション	1		事務連絡(授業内容、持ち物、事前学習、評価方法など)。当日の天気についての簡単な解説(動機付け)。学生の自己紹介と班分け。

天気図の作成と利用(1)	2	地上天気図と高層天気図の概観	爆弾低気圧の事例1 (2014年11月30日) について、記入済みの地上天気図を完成させる。 同じ事例について、高層天気図を完成させる。 爆弾低気圧の事例とそうでない事例の違いを考えさせる。
天気図の作成と利用(2)	3	地上天気図の読み方と書き方	爆弾低気圧の事例2 (2007年1月6日) について、地上天気図を作成させる。
	4	高層天気図の読み方と書き方	事例2について、700hPa高層天気図を作成させる。 低気圧が急速に発達した原因を高層天気図を用いて考えさせる。
実習	5・6 (本時)	気象通報による天気図の作成と天気予想	ラジオの気象通報を聞いて、当日12時の地上天気図を作成させる。 インターネットで入手したデータを用いて当日9時の700hPa高層天気図を作成させる。 翌日の気圧配置と天気を予想させる。
最終テスト	7		筆記試験により、基礎知識、応用力、実践的能力を評価する。

表17 本時の展開

時間	学習活動	指導上の留意点
導入 15分	ブリーフィングを聞く。	以下の資料を配布する。 ・地上天気図, 700hPa高層天気図(前日9時) ・記入用紙 以下の資料を用いて、プロジェクタで説明する。 ・アメダス降水, 気温 ・雲画像(赤外画像) ・地上天気図, 700hPa高層天気図 (前日9時, 21時, 当日9時の資料を用いる) 記入用紙に現在の天気を記入させる。
説明 15分	気象通報についての説明を聞く。	気象通報の流れを説明する。 ①各地の天気 ②船舶の報告 ③漁業気象 ・台風, 低気圧の暴風域, 強風域は記入しなくてよい(防災上は意味があるが煩雑になるのを防ぐため)。 ・台風, 低気圧の予報円は記入する。 ・海上警報(風, 濃霧)は記入しない。 ・「海上保安庁からのお知らせ」は記入しない。 録音して後でもう一度音声を流すので、聞き逃しても記入を続行するように指示しておく。
視聴 45分	気象通報の視聴 生放送20分 録音20分	生放送で大半の部分を聞き取れていることが多いので、必要がなければ録音を聞いている間に、作図を進めてよい。
地上作図 25分	地上天気図の完成	等圧線(4hPaおき)を引かせる。 当日9時の地上天気図をプロジェクタで表示し、参考にさせる。
高層作図 10分	高層天気図の完成	700hPa高層天気図用紙(当日9時)を配布する。 ・各地の観測値はあらかじめ印刷されている。 ・等高度線(60mおき)と等温線(6℃おき)を記入する。 気象庁による当日9時の700hPa高層天気図(AUPQ78の上半分)をプロジェクタで表示し、参考にさせる。
予想 10分	明日の天気予想	当日9時の地上天気図と700hPa高層天気図を印刷したプリントを配布する。 記入用紙に翌日の気圧配置と天気予想を記入させる。 ・気圧配置は、低気圧, 高気圧, 前線を記入し、等圧線は省略してよい。 班別で議論させる。
発表 10分	天気予報	班ごとに翌日の天気予想を発表させる。 ・予想が結果的に当たったかどうかではなく、どのように考え、説明したかが重要である。

14. 生きて働く「知識・技能」の習得—自然災害に関する基礎的な理解を深める授業 (高橋 修)

14. 1 授業の目標

地球表層は、我々がその変化に気づかないだけで、毎日のようにゆっくりと動いている。我々がその変化に気づかないのは、大地の変動の時間スケールが、人

間の時間のスケールと大きく異なっているからである。

本授業では、地表付近で見られるこのゆっくりとした大地の変化のうちの「風化作用」について、そのしくみと、「風化」が自然災害を引き起こす要因となることについて学び、自然災害に関する個別の知識・技能を高め、生活の様々な場面においての経験と知識を

結びつける力, 児童・生徒に防災意識を育てられる力の育成を目指す。

14. 2 授業設定の理由

14. 2. 1 背景

本授業は、「地球」を柱とした小学校学習指導要領の内容のうちの「風化作用」について学ぶものである。「風化作用」は、自然災害として実際に地表で見ることのできる地学的な事象・現象であるが、その要因はミクロな岩石中の間隙や空隙であり、その間隙や空隙を通して、カルシウムやナトリウムなどの主要元素が溶脱する事で引き起こされる。

本授業では、実際には目で見ることのできない岩石中(砂岩中)の間隙の存在を、実験結果をまとめることで類推し、ホワイトボードに図示することによりその内容を表現することで、思考力と表現力の育成を図る。また、グループでの討議により、砂岩と花崗岩のつくりを比較し、それらと風化作用の受けやすさを関連させて考える事や、対話的な学びの有用性がわかるようになること、その結果を風化によって引き起こされる自然災害や防災に結びつけて考える事ができるようにする。

14. 2. 2 新学習指導要領との関わり

新学習指導要領でも、現行の学習指導要領と同様に、「大地の成り立ちと変化」に関連する学習内容はスパイラルに各学年に配置されている。第4学年では、「雨水の行方と地面の様子」という内容で、水は高い場所から低い場所へと流れて集まること、水のしみ込み方は土の粒の大きさによって違いがあること、第5学年の「流れる水の働きと土地の変化」では、流水の3作用によって石が丸みを帯びること、上流に行くほど石が大きくなること、第6学年の「土地のつくりと変化」では、大地が礫・砂・泥・火山灰などからなること、地層には化石が含まれていること、火山の噴火や地震によって大地が変化することなどを学習する。いずれも、時間的スケールは大きく、全体の流れを通して観察することは不可能であるが、石碑や墓石などの観察から風化の進行状況や速度を見積もることができる内容である。風化のされやすさは岩石によって異なること、また、そのような知識は自然災害を防ぐことにつながるといことも合わせて理解させる。

14. 3 評価規準

【知識・技能】

- ・砂岩のつくりを理解できたか。

- ・地質時代の異なる砂岩の硬さを比較して、その硬さの違いを理解したか。
- ・最密充填率を計算できたか。
- ・花崗岩と砂岩のつくりを比較して、風化のされやすさの違いを理解することができたか。

【思考力・表現力】

- ・砂岩における砂粒と空隙の関係を図示できたか。
- ・地質時代の異なる砂岩の固さを比較して、砂粒と空隙の関係が、古いものほどあるいは新しいものほど、どのように変化するか図示できたか。
- ・花崗岩と砂岩の標本や薄片写真を比較して、そのつくりの違いを推測することができたか。

14. 4 学習の展開

14. 4. 1 事前学習

本授業で扱う、小学校学習指導要領のなかの「流れる水の働きと土地の変化」の内容、および岩石のつくりに関する4つテーマの内容を15分程度の動画にまとめ、授業前に視聴してもらう(表18)。そして視聴後に簡単なチェックテストを行い、事前に授業に必要な知識を修得しているかを確認する。

14. 4. 2 対面授業

14. 4. 2. 1 準備する教材

準備する教材：新生代第四紀更新世および新第三紀中新世の砂岩、中生代白亜紀の砂岩、コップ、水、ホワイトボード、花崗岩と砂岩の標本・薄片写真、お墓の写真、氷砂糖、角砂糖、防護めがね、岩石ハンマー。

14. 4. 2. 2 授業展開

対面授業では、事前学習で学んだ知識を結びつけて考えることのできる問いかけを7つ設定し、グループで議論をさせる(表19)。グループで議論を行う際は、まず個人で考えたことを紙にまとめさせたあと、5～6人程度のグループで意見を出し合い、議論し、事前学習によってすでに持っている、もしくは新しく得られた知識を活用して、根拠に基づく内容の発表を行ってもらう。また、本時の成績は事前学習のチェックリストと協働学習に対する自己評価の合計であることを伝え、評価基準(ルーブリック)を提示する。学習者には、小学校学習指導要領解説(理科編)を持参させる。

対面授業の展開の概要については、まず、緻密に見える砂岩には思いのほか間隙がある事を演示によって知る事から始まる。そしてその砂岩中の間隙が、地質

表18 事前学習で修得させる知識・技能

時間	学習テーマ	内容
3分	授業で扱う内容に関わる小学校学習指導要領の単位について (3分)	児童に教える内容、身につける力の説明。
7分	岩石の種類について (4分)	岩石には、堆積岩・火成岩・変成岩がある。
10分	砂岩と堆積岩をつくる碎屑物の大きさについて (3分)	碎屑物は、その大きさによって、泥、砂、礫に分類される。
13分	花崗岩のつくり (3分)	花崗岩は、完晶質等粒状組織をもつ。
15分	土砂災害発生のビデオ (2分)	土砂災害とはどんな災害か、どんな時に土砂災害（自然災害）が起こるのか。

年代が古いものほど少なく（小さく）なっていく事も合わせて理解する。これらの事から、続成作用の仕組みを学ぶとともに、間隙の存在が風化の進行に大きな影響を及ぼすのではないかと思考へと学生を導いていく。次に、花崗岩との比較である。花崗岩は砂岩に比べ風化に対して強い事を、お墓の様子の観察から理解させ、その風化の進行の速度の違いが何に起因する

ものかを、グループでの議論を通して考えさせる。最終的には、砂岩と花崗岩のつくりを比較する事によって、間隙率の違いやそれに伴う雨水の染み込み易さの違いなどを知り、このつくりの違いが引き起こす自然災害の要因や素因についてグループごとに結論をまとめ、自然災害に関する基礎的な理解を深める。

表19 対面授業の展開

時間	主な学習活動内容 (*は予想される学生の反応)	指導上の留意点
0分	○新生代第四紀更新世の砂岩（約100万年前）を水の入ったコップに沈めてみると泡が出てきた。[演示]	☆透明なコップを使い、泡がよく見えるようにする。
5分	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">この気体は何ですか？</div> <ul style="list-style-type: none"> *石が溶けた。 *昔の空気。 ○砂岩の定義。[説明]	☆この気体が空気ではないかと気付かせる。 <知識および技能①> ☆砂岩とは砂が押し固まってできた堆積岩であると説明する。
10分	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">それでは、空気はどんな感じで砂岩のなかに入っていたのでしょうか？絵を描いてみてください（その1）。</div> ○空気が、砂岩の中にどうやって入っていたのかを推測する。 ○描いた絵を発表する。 *隙間だらけ。 *糸のような細いスリット状。	<思考力・表現力①> ☆絵をかかせる（1）。 ☆書くものは、「砂粒」と「空気の入るスペース」。 ☆図と言葉で記録、発表、表現できるようにする。
20分	○次に、さらに地質年代の古い砂岩を2種類用意。中生代白亜紀の砂岩（約1億年前）と新生代新第三紀中新世の砂岩（約1,000万年前）。硬さを比較する。	<知識および技能②> ☆ハンマーで、実験用の岩片をつくらせる（防護メガネ・ハンマー）。 ☆細かくさせて、固さを実感させる。
30分	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">これらの砂岩も順に水の入ったコップに沈めると泡は出るか？</div> ○理由について発表する。 *もっとも古い砂岩は硬いので、泡が全く出ない。	<主体的・対話的な学び①> ☆グループでの討議、グループごとに発表させる。 ☆古い砂岩＝緻密＝硬い。
40分	○ペットボトルに砂をつめる様子から、砂のつまり方を推測する。	<知識および技能③> ☆ペットボトルに砂をつめる。最初はルーズに砂をつめる。その後、震動をあたえて粒子間を詰め、ペットボトル上部に空間があくのを確認させる。

	<p>それでは、空気はどんな感じで砂岩のなかに入っていたのでしょうか？絵を描いてみてください（その2）。</p>	
50分	<p>○もう一度、先と同じ質問をすることで概念の変化を見る。 ○描いた絵を発表する。 * 隙間が詰まった。</p>	<p><思考力・表現力②> ☆絵をかかせる（2）。 ☆書くものは、「砂粒」「空気の入るスペース」。 ☆図と言葉で記録，発表，表現できるようにする。</p>
	<p>砂粒のつまり方を計算してみよう。</p>	
60分	<p>○単純立方格子 間隙率48% ○体心立方格子 間隙率32% ○面心立方格子 間隙率26% ○結果から分かることを考察し，結論をまとめる。 * 古い砂岩ほど粒の間の隙間が少なくなり，泡が少ししか出ない。 * 最密充填構造の計算から，続成作用が進むと，隙間が小さくなる。</p>	<p><知識および技能④> ☆最密充填を計算させる。</p> 
70分	<p>○花崗岩と砂岩，どちらがより風化に強いかを比較して考える。 * 花崗岩は緻密。 * 砂岩はすかすか。 * すかすかだと水がしみこみやすい。 * 花崗岩の方がキラキラしている。</p>	<p><思考力・表現力③> ☆花崗岩でできたお墓と砂岩でできたお墓の写真をみせる。 ☆花崗岩と砂岩の標本と薄片写真を配る。</p>
	<p>花崗岩は風化に強く，砂岩は風化に弱い，その理由をグループごとで考えてください。</p>	
80分	<p>○理由について発表する。 * 花崗岩の方が隙間がないので風化に強い。 * 花崗岩の方が結晶が入り組んで硬い。</p> <p>○角砂糖と氷砂糖をなめる。[演示]</p> <p>○結果から分かることを考察し，結論をまとめる。 * 花崗岩は完晶質等粒状組織をもつことから隙間がほとんどないので風化に強い。</p>	<p><主体的・対話的な学び②> ☆グループでの討議，グループごとに発表させる。</p> <p>多孔質の方が溶けやすいことを知る。</p> <p><知識および技能⑤> ☆砂岩は隙間が多く，花崗岩が隙間のない緻密な構造を持つことを，これまでの結果から理解する。 ☆風化の進行の度合いに，空隙と水が重要な役割をなすことを理解する。</p>
	<p>自然災害はどんな時に引き起こされるのか，また，自然災害を防ぐためにはどのようにすれば良いのか？</p>	
90分	<p>○どんなとき災害が起こりやすいか，グループごとで結論をまとめる。</p>	<p><主体的・対話的な学び③> ☆グループでの討議，グループごとに発表させる。</p>

15. おわりに

今日、学習者自身が主体的に、対話的に取り組むことで、学習者の資質・能力育成を意図する学習方法を一括してアクティブ・ラーニングと呼ぶことが多い。その手法には多様ものが知られている³³⁾。今回、著者らが提案した指導案はアクティブ・ラーニング手法の既存のネーミングや分類にはとらわれず、部分的にいろいろな要素を取り入れて考案したものである。また、多くの指導案では、学ぶべき知識の学習時間と思考活動の時間を両立させるため、大学授業における反転学習とアクティブ・ラーニングの組合せ効果³⁴⁾を意識した構成となっている。

小学校、中学校、高等学校では、よりよい授業を行うために指導案が日常的に作成されている。しかし、大学教員による大学生授業のための指導案は、パーソナルに作られるものは別として、公開されるものは珍しいであろう。そして、公開されることで批判を受けるとは、さらなる指導法の改善へつながるものであろう。多方面からのご指摘を頂ければ幸いである。

引用文献

- 1) 喜多村和之 (1999) 現代の大学・高等教育-教育の制度と機能. 玉川大学出版部.
- 2) 中央教育審議会大学分科会制度・教育部会 (2008) 学士

- 課程教育の構築に向けて. http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afiedfile/2013/05/13/121295_8_001.pdf (アクセス 2017.5.18)
- 3) 中央教育審議会 (2012) 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～ (答申). http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afiedfile/2012/10/04/1325048_1.pdf (アクセス 2017.5.18)
- 4) 中央教育審議会 (2015) これからの学校教育を担う教員の資質能力の向上について～学び合い、高め合う教員育成コミュニティの構築に向けて～ (答申). http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afiedfile/2016/01/13/1365896_01.pdf (アクセス 2017.5.18)
- 5) 国立教育政策研究所 (2017) 主体的・対話的で深い学びのための教員養成・研修プログラムに関する調査報告書. https://www.nier.go.jp/05_kenkyu_seika/pdf_seika/h28a/kyosyoku-1-3_a.pdf (アクセス 2017.5.18)
- 6) 文部科学省 (2017) 小学校学習指導要領. http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2017/05/12/1384661_4_2.pdf (アクセス 2017.5.18)
- 7) 文部科学省 (2017) 中学校学習指導要領. http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2017/05/12/1384661_5_2.pdf (アクセス 2017.5.18)
- 8) 福田公子 (2017) オーダーメイド教育, 生涯学習のための『探究』. 生物教育 58 : 57-59.
- 9) 白石直樹 (2017) 2年必修選択 生物基礎 (探究) の試み—生物教育で何を身につけるべきなのか—. 生物教育 58 : 60-61.
- 10) 手代木英明 (2017) 自ら考え, 学び合い, 表現する子の育成—学びに向かう力を育てる指導の工夫—. 生物教育 58 : 62-64.
- 11) 文部科学省 (2017) 教職課程コアカリキュラムの在り方に関する検討会 (第1回) 配付資料. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/126/attach/1376418.htm (アクセス 2017.5.18)
- 12) 新田英雄・松浦執・工藤知草 (2014) ピア・インストラクションを導入した物理入門講義の実践と分析. 科学教育研究 38 : 12-19.
- 13) 植松晴子 (2015) チュートリアル方式の授業実践を通して実感する米国物理教育研究の成果. 物理教育 63 : 2-7.
- 14) 真山茂樹 (2016) 大学教育における主体的な学修を促す授業への挑戦: 「生物学演習」におけるアクティブラーニング化4年間から見えたもの. 東京学芸大学紀要自然科学系 68 : 55-64.
- 15) 国立教育政策研究所 (2013) 社会の変化に対応する資質や能力を育成する教育課程編成の基本原則. <http://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/Houkokusho-5.pdf> (アクセス 2017.5.18)
- 16) 国立教育政策研究所 (2016) 資質・能力 [理論編]. 東洋館出版社.
- 17) 真山茂樹 (2017) 学生の理科コンピテンシー育成プロジェクト. 東京学芸大学教員養成カリキュラム開発研究センター研究年報 16 : 53-60.
- 18) 文部科学省 (2009) 高等学校学習指導要領解説 (理科編 理数編)
- 19) 文部科学省 (2009) 高等学校学習指導要領. http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/kou/kou.pdf (アクセス 2017.5.18)
- 20) 小林晋平 (2012) 特別ハイレベル講義 光の性質について. 小三教育技術 2012年1/2月号. 小学館 pp.26-27.
- 21) 小林晋平 (2013) 万人に効果的な教授法はあり得るか. 工学教育 第61巻第3号. 日本工学教育協会. pp.80-84.
- 22) 寺谷敏介・江沼直樹 (1995) 反応速度実験評価ソフトウェア SEIZANの開発. J. Chem. Software 2 (3) : 135-140.
- 23) von Bertalan, J. (1920) Zersetzungsgeschwindigkeit des Wasserstoffperoxids in Gegenwart von Eisenionen. Z. Physik. Chem. 95: 328-348.
- 24) 文部科学省 (2008) 小学校学習指導要領解説 (理科編).
- 25) 文部科学省 (2008) 中学校学習指導要領解説 (理科編).
- 26) 原健二 (2017) 小学校理科の新規項目「人の体のつくりと運動」における教科内容の系統性に関する分析. 東京学芸大学紀要自然科学系 69 : 000-000. (印刷中)
- 27) 東京学芸大学 (2007) 理科の実験に対する苦手意識をなくす教員研修プログラムの開発報告書. 東京学芸大学, 東京.
- 28) 高津光信・荒川直文・川上昭吾 (1998) 地域の自然を生かした理科授業の実践的研究—第4学年「季節と生き物」の単元を通して—. 愛知教育大学教育実践総合センター紀要創刊号 : 81-88.
- 29) 犀川政稔 (2008) 被子植物の香の改良花式. 東京学芸大学紀要自然科学系 60 : 69-75.
- 30) De Craene, L. R., Iwamoto, A., Bull-Hereñu, K., Dos Santos, P., Luna, J. A. and Farrar J. (2014) Understanding the structure of flowers—the wonderful tool of floral formulae. Taxon 63: 67-71.
- 31) 藤田剛志 (2013) 小学校教員の理科授業観: 優れた理科教師に求められる資質能力. 千葉大学人文社会科学研究 27 : 164-179.
- 32) 大前暁政 (2016) 小学校理科教育に求められる指導力と専門性を高めるための教職専門科目「理科」講義方法に関する実践研究. 教師学研究 18 : 35-34.
- 33) 山地弘起 (2014) アクティブ・ラーニングとはなにか. 大学教育と情報 2014年度 No.1 : 2-7.
- 34) 森澤正之 (2015) 反転授業を組み合わせたアクティブ・ラーニングの取り組み. 大学教育と情報 2015年度 No.1 : 2-7.