

教室と教出を結ぶ

リンク



知床連山と高架木道（北海道斜里郡斜里町）

目次

「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する理科授業デザイン……………	鈴木 一成	2
光合成実験と光合成研究の最前線……………	梶 達也	8

教育出版

「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する理科授業デザイン

東京学芸大学附属竹早中学校
鈴木 一成

1 問題の所在

現在、理科教育においては、「科学的な思考・表現」に関する学力の育成が、重要な課題の一つとなっている。

平成18(2006)年にOECDによって実施されたPISAの科学的リテラシーの調査においては、記述形式の問題で無答率が40%に達するものがあるなど、OECD平均に比べて高くなる傾向が見受けられた¹⁾。平成21(2009)年に実施されたPISAの科学的リテラシーの調査においても、この傾向は変化しておらず、多くの記述形式の問題における無答率がOECD平均よりも高くなることが示された²⁾。このように、日本の子どもが論述したり表現したりするのが苦手であるということが示唆されたのである。

そして、平成18(2006)年に国立教育政策研究所によって実施された特定の課題に関する調査(理科)においては、調査結果より、予想や仮説と実験結果を照らし合わせながら考察すること、科学的な根拠をもって理由を説明すること、新しい場面に既知の知識を関連づけて思考することに課題があることが示され、以下に示されるような指導の改善指針が指摘された³⁾。

- ①生徒自身が実験の方法を考え、結果を予想するための機会の確保
- ②観察・実験のねらいと結果を対比させた考察と、考察の見直しをさせる指導の工夫
- ③実験器具の使用目的を明確にし、正しい使い方を身につけさせる指導の工夫

④既習事項との関連を踏まえた計画的な指導の工夫

これらの課題を鑑み、中学校の理科授業において、観察・実験結果の考察や省察活動が必要であること、さらに考察するために必要なことを気づかせたり、判断の根拠を明らかにして論理的に考察しているかどうかを確かめさせたりする活動が必要であることが示されたのである。

さらに、平成24(2012)年に国立教育政策研究所によって実施された全国学力・学習状況調査においては、記述形式の正答率が低く、子どもが情報を分析・解釈すること、他者の考察を検討し改善することに課題があることが明らかとなった⁴⁾。

また、全国学力・学習状況調査の質問紙調査から、「観察や実験の結果を整理し考察(分析・解釈)する指導をしている」と回答した学校、「観察や実験に関する記述方法についての指導をしている」と回答した学校においては、いずれも正答率が理科全体の平均正答率よりも高い傾向にあり、観察・実験を主とした学習活動が有効であることが示唆された。

これらの調査から、観察・実験を計画しその結果をもとに考察したり説明したりすることに課題があることが明らかとなった。換言すれば、理科授業における「科学的な思考・表現」に関する学力の育成が、理科教育における大きな課題となっているのである。

そこで本稿では、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するための視点である、理

科授業デザインの枠組みを明らかにし、各象限の教授・学習活動を具体的な実践例とともに紹介する。

2 科学的な思考・表現に関する学力の育成

PISAなどの諸調査より、「科学的な思考・表現」に関する学力の育成が重要であることが明らかになった。この課題を理科授業において実践するためには、どのような教授・学習活動が「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するのかを明らかにすることが必要である。

中央教育審議会の答申においては、理科の「科学的な思考・表現」と対応する「思考力・判断力・表現力」の育成に必要な六つの学習活動が示されている⁵⁾。

- ①体験から感じ取ったことを表現する
- ②事実を正確に理解し伝達する
- ③概念・法則・意図などを解釈し、説明したり活用したりする
- ④情報を分析・評価し、論述する
- ⑤課題について、構想を立て実践し、評価・改善する
- ⑥互いの考えを伝え合い、自らの考えや集団の考えを発展させる

これら六つの学習活動を概観すると、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために必要な学習活動とは、自然事象の観察・実験結果を分析してまとめることによって科学的な思考とそれを表現するための基盤をつくり、さらに、概念を記述・説明することによって科学概念を構築し、学習内容を省察して構築した概念を他の場面へ活用できる状態へ昇華させるという一連の学習過程を表していることに他ならない⁶⁾。つまり、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するためには、理科授業において、一連の問題解決的な学習を実践することが必要なのである。

3 理科授業のデザイン

(1) 理科授業デザインの枠組み

「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するためには、問題解決的な学習が必要であることが明らかとなった。この問題解決的な学習を理科授業において実践する視点を明らかにしたのが、鈴木・森本によって示された理科授業デザインである⁷⁾。理科授業デザインは構成主義的な視座に立脚しており、教師が子ども一人一人の考えを支援し、省察することにより、修正しながら授業をつくりあげてを前提としている⁸⁾。

表1は、理科授業デザインの四つの象限と各象限において重要な教授・学習活動を示したものである。理科授業デザインでは4MATシステムの考え方を援用しており⁹⁾、問題解決的な学習を、第1象限「問題把握的学習」、第2象限「分析的学習」、第3象限「共通感覚的学習」、第4象限「知識活用的学習」の四つに分割し、各象限における重要な教授・学習活動の視点を明らかにしている。各象限の教授・学習活動を具現化し、次のページの図1のように連続的に行うことにより、問題解決的な学習が実現できるのである。

表1 理科授業デザインにおける四つの象限と各象限において重要な教授・学習活動¹⁰⁾

	理科授業において重要な教授・学習活動
第1象限 問題把握的学習	・生活経験や既有概念から、学習についての問題を見いだす ・自然事象への疑問や自分の考えをもち、予想や仮説を立てる
第2象限 分析的学習	・観察・実験結果についてスケッチや文章、グラフや表などさまざまな形態の情報を収集して整理する
第3象限 共通感覚的学習	・解釈を通して自然事象に対する考えを明らかにする ・話し合いや発表を行い、「共通感覚」から「常識」をつくる過程を通して科学概念を構築する
第4象限 知識活用的学習	・第1～3象限の学習を振り返る ・構築された概念を活用して新しい問題解決へ臨む

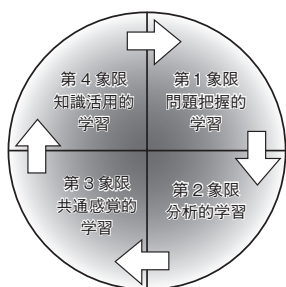


図1 理科授業デザインの四象限

(2) 第1象限「問題把握的学習」

第1象限の問題把握的学習は、いわば学習の導入場面であり、子どもが学習内容を自らの問題として認識する場面である。理科授業デザインでは、この場面における重要な学習活動は、「生活経験や既有概念から、学習についての問題を見いだす」および「自然事象への疑問や自分の考えをもち、予想や仮説を立てる」の二つである。

前者の視点は、学習の対象となっている自然事象に対し、子ども自身の生活経験である日常知と、理科で学習した既習事項である学校知を想起することにより、自然事象と自分の関わりを強く意識し、自然事象に対する関心を高めることである¹¹⁾。また、後者は、理科授業において端的に示すと、予想を立てること、あるいは仮説をもち観察・実験計画を立案するという活動になると考えられる。

ブルーメンフェルドはプロジェクトベース学習の知見より、子ども自身が学習を計画して進めることによって、学習で得た知識が単なる暗記としてではなく、活用可能な概念として習得できることを示唆している¹²⁾。このように、子どもが学習の対象となっている自然事象を自らの生活経験や既有概念と関連づけ、予想や仮説をもち、主体的に関与することにより、問題把握的学習が実践されるのである。

図2および図3は「生活経験や既有概念から、学習についての問題を見いだす」という枠組みで説明される実践例である。

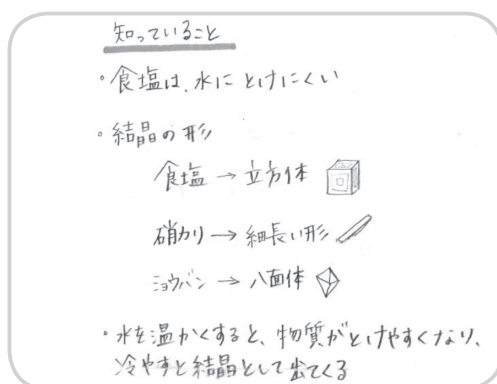


図2 生活経験や既有概念の自由記述（再結晶）

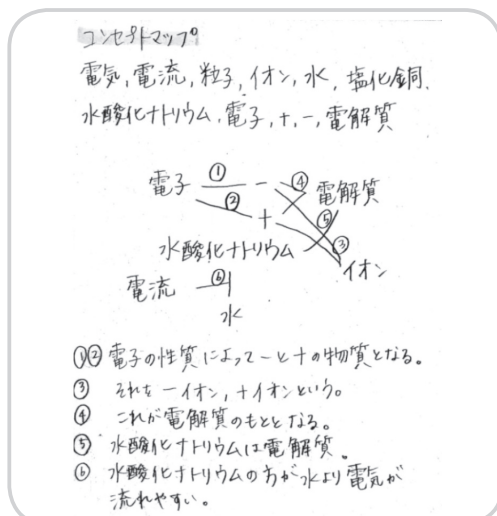


図3 コンCEPTマップ（水溶液の電気伝導性）

図2は、第1学年の再結晶における子どもの生活経験と既有知識の自由記述である。この自由記述は再結晶の実験を行う導入場面において作成しており、生活経験や既習知識をもとにして記述されている。小学校において水溶液は学習しているため、子どもは食塩が水に溶けにくいこと、食塩・硝酸カリウム・ミョウバンなどの物質が結晶となった際には固有の形があること、そして水を温かくすると物質が溶けやすくなり、冷やすと結晶が析出することを記述している。図3は、第3学年の水溶液の電気伝導性におけるコンセプトマップ（概念地図）である。「電気、電流、粒子、…」と教師に示された言葉（ラベル）をヒントとして、それぞれの言葉のつながりを

①～⑥で示している。たとえば、⑤は「電解質」と「水酸化ナトリウム」の関連性であるが、この子どもは「⑤水酸化ナトリウムは電解質（である）」と記述しており、水酸化ナトリウムを、アルカリ溶液や石けんの材料ではなく、電解質として捉えていることを示している。

このように自由記述やコンセプトマップの作成を行うことによって、子どもは自分自身の既有概念を可視化し、客観的に見ることが可能となり、学習の対象である自然事象への関心を高めることにつながるのである。

(3) 第2象限「分析的学習」

第2象限の分析的学習は、観察・実験を安全に行い、その結果をわかりやすく記録する場面である。この場面における重要な教授・学習活動は、「観察・実験結果についてスケッチや文章、グラフや表などさまざまな形態の情報を収集して整理する」である。

子どもが観察・実験を通して自然事象から得られる情報は、観察・実験結果をスケッチしたものによって代表されるアナログ情報から、長さや電流や体積といった数値的なデジタル情報まで多様な形態を有しており、その情報量は膨大である。分析的学習においては、これらの観察・実験から得られる情報は、第3象限の話し合いや発表の場面で根拠となる重要な要素であるため、この膨大かつ多様な情報をスケッチやモデル、表やグラフなどの使いやすい形で整理することが重要なのである。

図4および図5は「観察・実験結果についてスケッチや文章、グラフや表などさまざまな形態の情報を収集して整理する」という枠組みで説明できる実践例である。

図4は、第3学年の塩化銅の電気分解における実験結果のスケッチである。陽極の塩素の刺激臭と陰極の銅の付着がイメージとしてしっかりと記録されていることがわかる。図5は、第3学年の水溶液の電気伝導性におけ

る水溶液の電気分解の結果である。各水溶液の電気伝導性、陽極・陰極のようす、発生した気体の特徴などをしっかりと表としてまとめており、電流の値という数値的な情報も記録できている。

図4、図5はそれぞれ、塩化銅の電気分解や水溶液の電気伝導性について記録されており、観察・実験結果のさまざまな形態の情報を収集し整理できたと考えられる。これは第3象限の話し合いや発表の論拠として十分な準備ができたことの証左である。

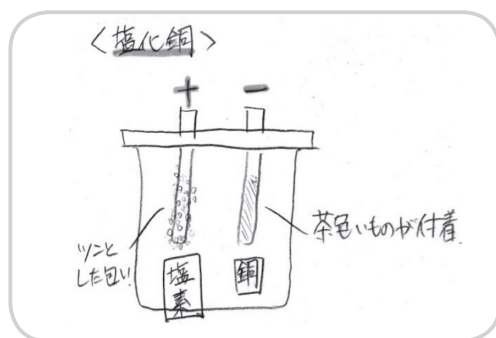


図4 実験結果のスケッチ（塩化銅の電気分解）

水溶液	電流	＋極	－極	備考
食塩水	○	泡がでた。	激しく泡がでた。	塩素の匂い 「0.1A」
砂糖水	×			－変化なし－
塩酸	○	泡がでた。	激しく泡がでた。	塩素の匂い 「0.1A」
エタノール	×			－変化なし－
水ナトリウム	○	泡がでた。	激しく泡がでた。	炭素棒が腐化 「0.1A」
塩化銅水	○	泡がでた。	激しく泡がでた。	塩素の匂い。炭素棒が腐化 「0.1A」

図5 実験結果の一覧（水溶液の電気伝導性）

(4) 第3象限「共通感覚的学習」

第3象限の共通感覚的学習は、第2象限の分析的学習で収集した自然事象の情報をもとにして、話し合いや発表といった協同的な学習活動を通じ、子ども一人一人がもつ共通感覚的な考えを科学的概念として構築する場面である。「共通感覚的な考え」とは、端的に言えば、子ども一人一人の固有の考えを示している¹³⁾。この場面における重要な教授・学習活動は、「自然事象に対する自分の概念を考察

や解釈を通して明らかにする」および「話し合いや発表を行って概念を比較・検討し、「共通感覚」から「常識」をつくる過程を通して科学概念を構築する」の二つである。

前者は、第1象限において明らかにした既存概念や仮説・予想、第2象限において多様な形態の情報として収集した観察・実験結果をもとに、予想や仮説の検証という形で子ども自身のなかで概念を構築していくことである。また、後者は、子ども一人一人の共通感覚的な概念を、グループや学級内での話し合いや発表、質疑応答といった対話的な活動の下で比較・検討し、より精緻化された共通感覚的な考えを、グループや学級内で常識としてコンセンサスを得る過程を通じて、子どものなかに科学概念が構築されることである。

図6、図7は、それぞれ「自然事象に対する自分の概念を考察や解釈を通して明らかにする」、「話し合いや発表を行って概念を比較・検討し、「共通感覚」から「常識」をつくる過程を通して科学概念を構築する」という枠組みで説明できる実践例である。

図6は、第3学年の塩酸の電気分解において、電気が流れるようすを表したモデルである。実験結果より、陽極には塩素、陰極には水素が発生し、水素に比べて塩素の発生量が少ないこと、電流が電子として流れていることがしっかりと表現されており、水溶液中に水素と塩素が含まれているという共通感覚的な考えが見受けられる。

図7は、図6の解釈ののち、学級内で話し合い・発表を経たあとのまとめである。話し合いや発表のなかで、塩素・水素がイオンであること、イオンがそれぞれ電極の表面において電子を授受することを子どもは自らのモデルに取り込んでいると考えられる。

このように、子どもは観察・実験結果を論拠とした共通感覚的な考えを記述し、話し合いや発表を行うことによって、自らの考えを多くの考えと比較・検討し、共通感覚的な考

えを精緻化することが可能となる。その結果として、科学概念を構築することができるのである。

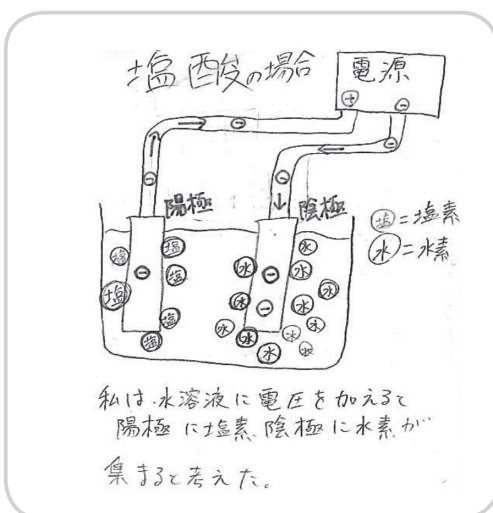


図6 実験結果の解釈（塩酸の電気分解）

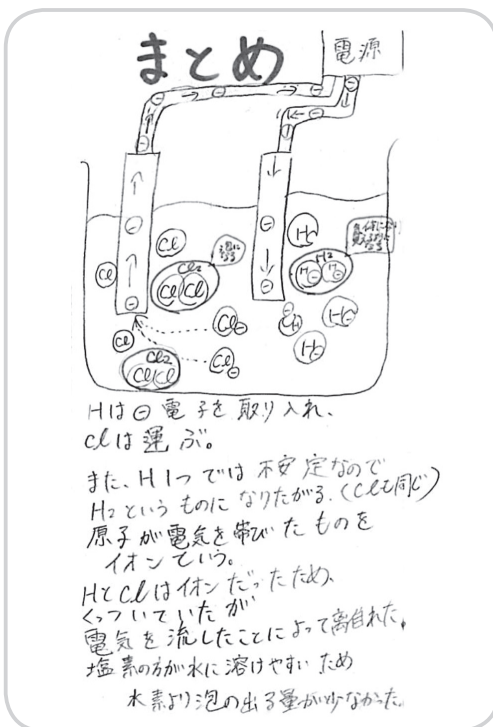


図7 話し合い・発表を経た最終的なまとめ

(5) 第4象限「知識活用的学習」

第4象限の知識活用的学習は、それまでに学習した内容について振り返り、その知識を活用可能な状態にする場面である。この場面

における重要な教授・学習活動は、「第1～3象限の学習を振り返る」および「構築された概念を活用して新しい問題解決へ臨む」の二つである。

第1象限から第3象限までの学習活動を経て構築された科学概念を子どもが活用するためには、自己評価などで学習活動を振り返ることが必要である。また、子どもが学習のなかで得た「新たな問い」を記述することも、構築した科学概念を活用する機会として有効であると考えられている¹⁰⁾。

図8は、「第1～3象限の学習を振り返る」という枠組みで説明できる実践例で、第3学年の水溶液の電気伝導性における自己評価である。自己評価は、学習の流れと同じ項目で「仮説・計画→(実験)結果→解釈・まとめ→コンセプトマップ(CM)・新しい疑問」の順となっている。仮説・計画では「金属を含むもの(には電気が流れる)」という仮説を用いたこと、結果では表を用いて水溶液の電気伝導性について記録できたこと、まとめではモデル図を作成し、明らかに金属が入っていない食塩水について考察できたこと、CMでは(金属以外の)無機物も電気が流れると概念が変化したことが記述されている。

このように自己評価を行うことにより、子どもは、学習内容を振り返り、構築された科学概念を自覚化することにより、新たな場面

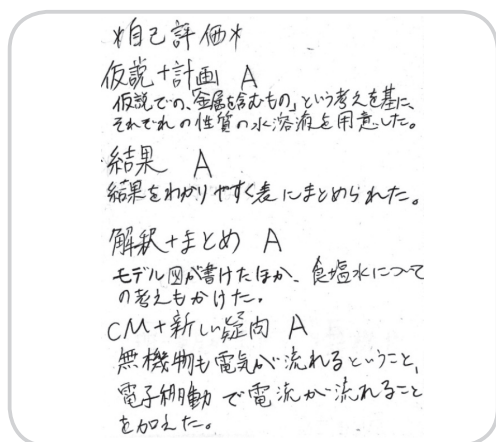


図8 自己評価(水溶液の電気伝導性)

で概念を活用する準備を調えるのである。これは新しい自然事象に対する学習の準備であり、次の第1象限の教授・学習活動へ継続されると考えられる。

4 まとめ

本稿においては、理科授業デザインの各象限の教授・学習活動を、さまざまな実践例とともに紹介した。これらの実践例のような各象限における教授・学習活動を実践することによって、理科における問題解決的な学習活動が実現され、「科学的な思考・表現」に関する学力の育成に寄与できると考えられる。

本稿で紹介した理科授業デザインの枠組みが、一人でも多くの先生の理科授業の手助けとなれば幸いである。

参考文献

- 1) 国立教育政策研究所編(2007):『生きるための知識と技能3 OECD生徒の学習到達度調査(PISA)2006年調査国際結果報告書』,pp.80-131,明石書店
- 2) 国立教育政策研究所編(2010):『生きるための知識と技能4 OECD生徒の学習到達度調査(PISA)2009年調査国際結果報告書』,pp.143-171,明石書店
- 3) 国立教育政策研究所(2007):『特定の課題に関する調査(理科)』,pp.120-122
- 4) 国立教育政策研究所(2012):『平成24年度全国学力・学習状況調査【中学校】報告書』,pp.342-446
- 5) 中央教育審議会(2008):『幼稚園,小学校,中学校,高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について(答申)』,pp.24-25
- 6) 森本信也・齋藤裕一郎・黒田篤志(2011):『科学概念構築と「思考力・判断力・表現力」との関連についての考察』,横浜国立大学教育人間科学部紀要I, No.13, pp.189
- 7) 鈴木一成・森本信也(2012):『「科学的な思考力・表現力」を育成する理科授業デザインと4MATシステムによる実践』,理科教育学研究, vol.53, No.1, pp.93-104
- 8) 佐藤学(2010):『教育の方法』,放送大学叢書,左右社, pp.109, 116-123
- 9) McCarthy, B. (1990): Using the 4MAT system to Bring Learning Styles to Schools, *Educational Leadership*, vol.48, no.2, pp.31-37
- 10) 同上書6)
- 11) ホワイト, R.T. (堀・森本訳)(1990):『子ども達は理科をいかに学習し教師はいかに教えるか』, 東洋館出版, p.36
- 12) Blumenfeld, P. et al. (1991): Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning, *Educational Psychologist*, 26 (3&4), pp.369-398
- 13) 森本信也・神澤恒治(1993):『構成主義的理科学習論の問題点とその発展可能性, ホーキンスの共通感覚論を基礎として』, 理科教育学研究, vol.34, No.1, pp.47-56
- 14) 小野瀬倫也・佐藤寛之(2012):『理科授業において子どもが抱く疑問とその特徴に関する研究』, 理科教育学研究, vol.53, No.1, pp.13-23

光合成実験と光合成研究の最前線

東京理科大学 理学部 教授
鞆 達也

1 はじめに

われわれの環境には緑があふれており、東京都心においても多くの緑色植物を目にすることができる。また、四季折々の植物の姿はわれわれの心に安らぎを与えてくれる。人間にとって、植物は昔から身近な存在であり、ほとんどすべての生物は植物（光合成を行う生物）からエネルギーを得ているので、光合成は重要な学習事項の一つである。光合成は、古くは産業革命の頃のイギリスにおいて、工場からの排煙でくすんだ大気を浄化したいという要求のもとから詳細な研究が始まり、「緑の革命」とよばれる農作物を大量に生産することを可能にした時代を経て一気に研究が加速した。近年は再生可能エネルギー創生への社会的要求により、光合成はよりいっそう注目を浴びている。

光合成はいっぱんに、植物の葉緑体内で営まれ、太陽光を含む光エネルギーをエネルギー源として二酸化炭素を糖（デンプン）に変え、副産物として酸素を発生する反応である。この酸素は、われわれ従属栄養生物にとって欠かせないものである。少し前まで光合成反応は、光エネルギーを化学エネルギーに変換する「明反応」と、二酸化炭素固定、つまり二酸化炭素から糖（デンプン）を生成するという意味の「暗反応」の二つに分けられるとされていたが、今では暗反応に必要な酵素も

光によって反応のしかたが制御されることがわかっており、このよび方はほとんどされなくなってきた。

光合成反応の進行を学習するには、光合成の産物である糖（デンプン）の生成を見る、酸素の発生を観察する、二酸化炭素の減少量を見るなどがあげられる。高価な装置（パルス変調クロロフィル蛍光測定、WALZ社のPAMが有名、Junior-PAM¹⁾という商品が教育用に安価で販売されている）を使用すれば、紅葉や紫色の葉、スイカの縞模様^{しまもよう}における光合成の活性の差を簡易に計測することが可能であるが、光合成の活性の値が数字として表示されるため、その値の意味は中学生にはいくぶん理解しづらい。

そこで、本稿では中学生でも理解可能なレベルの東京理科大学教職課程の生物学実験で行っている光合成実験を紹介し、最後に現在の光合成研究の最前線について紹介する。

2 大学での教職課程生物学実験

東京理科大学理学部では、教職課程のための生物学実験として動物・植物学、微生物学・分子生物学、生化学、生物情報学の実習を行っている。そのなかの一つの単元に光合成の活性を測定するものがある。中学教科書に記載されている実験は、水生植物であるオオカナダモを二酸化炭素の溶けた水で満たされた

ペットボトルなどに入れて密閉し、光を照射して、産生する酸素の量を測定する実験や、光合成反応で二酸化炭素が用いられたことをBTB（プロモチモールブルー）液の呈色反応を見ることで確認する実験がある。しかし、発生する酸素や消費される二酸化炭素の量が少ないため、観察や実験に時間がかかるのが少々難点である。そこで、われわれは「ヒル反応」とよばれている方法により光合成の活性を測定している。

「ヒル反応」では、光合成は光によって反応（昔で言うところの「明反応」）が進むことを、溶液の色の変化により光合成の反応を可視化して観察することができる。以下に実験方法の概略を示す。

まず、スーパーマーケットなどで市販されているハウレンソウ1束を用意する。このハウレンソウの葉を、ミキサーを用いて破碎する。このときに熱が出ないように、5秒稼働、5秒非稼働を数回繰り返す。破碎によって得られた液体を45層重ねたガーゼを用いてろ過することにより、光合成反応が行われている葉緑体を含む液体が単離できる。ここで可能ならば、遠心分離機を用いてこの液体を500 × g 程度で遠心すると、核などの、実験に不要なものを除くことができる。

この液体を対物レンズ40倍の光学顕微鏡で観察すると、緑色の粒々が観察できる。これが葉緑体である。この液体2 mLに対し2 mM (= 0.002 mmol/L) の2,6-ジクロロフェノールインドフェノール (DCIP, 1 g 当たり3000 円前後、一度購入すれば20 年は使用できる) を0.1 mL 程度混ぜ、数分の光を照射させる。これによりDCIPがヒル反応により還元されて青色から無色になる。図1の試験管のうち左側が光を照射させる前、右側が光を照射させたあとであり、DCIPの青色が無色に変化して葉緑体の緑色だけになっている。

このように、短時間の実験で光合成反応を可視化し理解することが可能である。

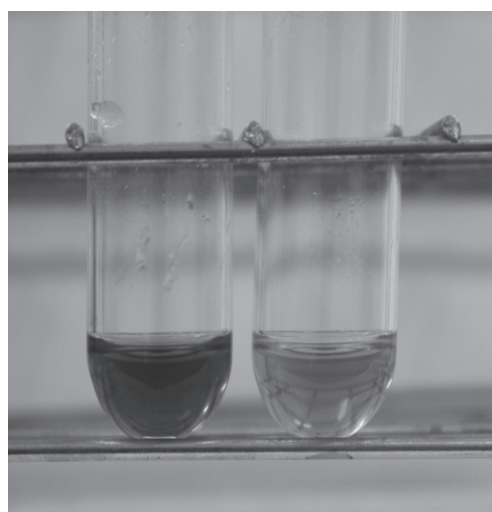


図1 葉緑体にDCIPを添加して混ぜたあとと光を照射させた実験結果
(左: 照射前の青色, 右: 照射後の緑色)

3 その他の光合成実験

光合成を行う生物として、すぐ思い浮かぶのは高等植物(種子植物やシダ植物)であるが、実は藻類も高等植物と同程度以上に二酸化炭素固定に貢献している。現在の生物の分類系では、図2のような分類体系になっており、光合成を行う藻類は古細菌とユニコンタとよばれる一部の群を除くほぼすべての生物群に存在する多様性をもっている。

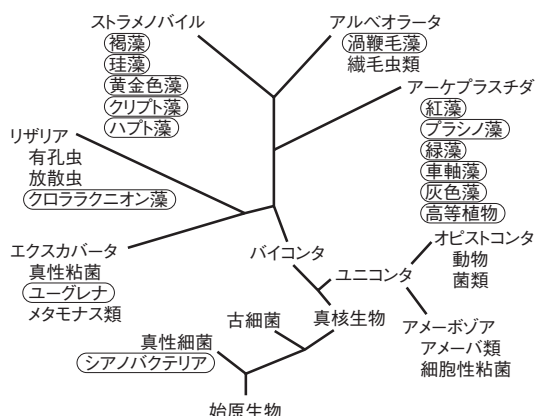


図2 生物進化系統樹 (光合成生物を丸で示してある, Adl et al., 2005²⁾ の図を改変)

生物の多様性を理解することは、生物・地球環境維持のためにも必須の学習事項である。

湖沼などの水をプランクトンネットで採集し、顕微鏡で観察すると動物プランクトンは低倍率（× 10）、多種の光合成藻類は高倍率（× 40）の対物レンズを使用することにより確認できる。図3は東京理科大学神楽坂校舎前の外濠の水を、プランクトンネットで採集し、光学顕微鏡で観察したものである。このように視野内に多数の光合成を行う生物を観察することができ、珪藻などはカロテノイド（植物や動物がもつ黄色、赤色、紫色の色素の総称）の影響で茶褐色を呈していることもわかる。身近な材料から生物の多様性を実感でき学習効果も高いと考える。



図3 プランクトンネットで採集した外濠の水の顕微鏡観察（10 × 40 倍）

光合成藻類は図2にあるように多様性に富んでいるため、さまざまな形質が存在する。そのなかの一つに、細胞内にオイルをつくり出す藻類が存在する。代表的なものとしては *Botryococcus braunii* とよばれる緑藻である。この藻類は顕微鏡下でカバーガラスをスライドガラスに軽く押しつけると、細胞内に蓄積されたオイルが細胞外に出てくるようすを簡単に観察できる。バイオマスの重要性は日増しに高まっており、この藻類の観察は理科教育を通してバイオマスエネルギーを学習する上でよい教材になり得る。

観察や実験で用いる藻類のなかには用意が簡単ではないものもあるが、多くの藻類は茨城県つくば市にある独立行政法人国立環境研究所の微生物系統保存施設で研究・教育のために分譲されているので³⁾、興味がある藻類を見つけて取り寄せることも可能である。

4 光合成研究の最前線

現在、温室効果ガスのうち大部分を占める二酸化炭素などの排出を抑える低炭素化と、石油や石炭などのエネルギー源に代わる再生可能エネルギー創生への取り組みが国策として行われており、光合成反応はそのどちらにも貢献が可能である。

前述した二酸化炭素固定では葉緑体中のルビスコという酵素が「鍵」になっている。これは地球上でもっとも大量に存在するタンパク質でもある。その理由は、ルビスコが酵素として関与する反応の速度が遅く、この反応速度の遅さを補おうとするためにルビスコの量を増やすことを、光合成を行う生物が進化の過程でとらざるを得なかったためと考えられている。また、このルビスコという酵素は二酸化炭素ばかりでなく酸素を基質とする、一見むだな光呼吸とよばれる反応も生じるため、二酸化炭素を固定する効率がさらに低下している。低炭素化を実現するための効率のよい二酸化炭素固定は、この反応速度のもっとも遅い段階に相当する「鍵」の酵素であるルビスコの改変が必須であることから、現在、酵素機能改変のさまざまな研究が行われている。

また、先にあげた *Botryococcus braunii* はオイルを産生するものの、生育速度が遅いのが難点である。そのため、*Botryococcus braunii* あるいはその他の光合成を行う生物を用いて代謝系の改変を行い、生育速度を改良することでオイルなどの有用物を創出する試みが競争的に行われている。

光合成反応のエネルギー源となるのは、太

陽光を含む光エネルギーである。筆者らは、光合成を行う生物が、光を吸収してエネルギー変換を行う反応のしくみに関する研究を行っている。光合成反応のうち大きな役割を担う物質である色素は、クロロフィル（葉緑素）とよばれ、*a*~*c*型が存在する。高校教科書には、*a*, *b* 型が記載されてきた。我々になじみ深い陸上植物（緑藻を含む）はクロロフィル*a*と*b*が、珪藻や褐藻などはクロロフィル*a*と*c*が光合成色素としてはたらいっている。いっぽうに、植物が緑色に見えるのはタンパク質に結合している葉緑体中のクロロフィルが赤色（600-700nm）と青色（400-500nm）の光の吸収帯をもつため、吸収されなかった緑色の光がわれわれの目に補色として映るからである（図4）。

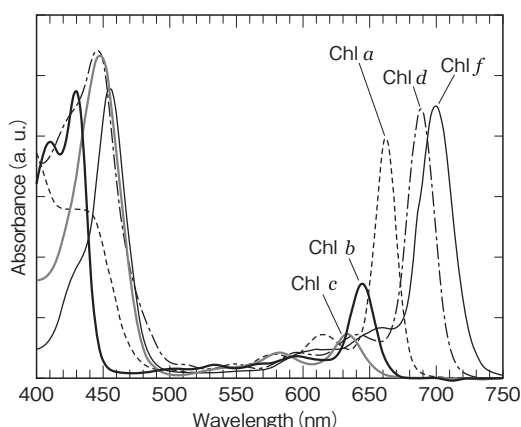


図4 有機溶媒中における種々のクロロフィル(Chl)の吸収スペクトル

これまで、クロロフィルは*a*~*c*型以外に存在しないと考えられていたが、近年、光合成を行う原核生物（真正細菌）である藍藻（シアノバクテリア）に新規クロロフィル*d*, *f*をもつ生物が見つかった^{4,5)}。それらの吸収スペクトルを図4にあわせて示す。これらは、既知のクロロフィル*a*よりさらに低エネルギー側（クロロフィル*a*の吸収スペクトルのピークは660nm 付近であるが、クロロフィル*d*, *f*

は690nm, 700nm 付近にピークをもつ）に吸収極大をもつことに特徴がある。これらのクロロフィル*d*, *f*が、光合成色素として機能していることを筆者らは種々の解析により明らかにしている⁶⁾。この発見は新規クロロフィル*d*, *f*が可視光領域よりも低エネルギー側の光を光合成反応のうちの光エネルギー変換に使用できることを意味する。筆者らは、これを応用して、近赤外光を光エネルギー変換反応として利用できる光合成生物を遺伝子組換えなどにより創生することに現在取り組んでいる。この創生が実現すれば、今までの可視光領域内での光エネルギー変換反応に加えて、可視光領域外からのエネルギー変換反応の効率の向上が期待できる。また、これは熱源（赤外光）があれば、光合成が可能であることを意味するため、光がない環境でも熱があれば、光合成によるエネルギー供給が可能であることを意味する⁷⁾。

このように新しい光合成色素の発見・理解により、これまで光合成が可能と考えられていなかった環境でも光合成によるバイオマスの生産が可能になってきた。今後、これらの知見・技術を応用することにより、日本が新たなバイオエネルギー資源国として世界を牽引していくことが求められている。

参考文献

- 1) http://www.namoto.com/natural/pam_portable.htm
- 2) Adl et al., J. Eukaryot. Microbiol., 52, 399-451 (2005)
- 3) <http://mcc.nies.go.jp/>
- 4) Miyashita et al., Nature, 383, 402 (1996)
- 5) Min et al., Science, 329, 1318-1319 (2010)
- 6) Tomo et al., 米国科学アカデミー紀要, 104, 7283-7288 (2007)
- 7) <http://www.jst.go.jp/presto/bioenergy/scholar/presto1.html#t06>

実物を観察しにくい2分野の内容を、授業で活用しやすい1～5分のクリップにまとめました。

● 植物の世界／大地の成り立ちと変化

—1 年 2 分野—

植物の世界 水中の微小な生物の観察／裸子植物の観察／葉のつくりと水のゆくえ／シダ植物の観察／コケ植物の観察
大地の成り立ちと変化 溶岩の粘性と火山の形状／地震の揺れの伝わり方／地震の分布と原因／地震による災害



● 動物の世界と生物の移り変わり／気象とその変化

—2 年 2 分野—

動物の世界と生物の移り変わり 消化・吸収のしくみ／呼吸のしくみ／心臓と循環系／生物の移り変わりと進化
気象とその変化 寒冷前線と温暖前線／大気の動き／日本の四季の天気

● 生物の殖え方と遺伝／地球と宇宙

—3 年 2 分野—

生物の殖え方と遺伝 動物の有性生殖／植物の有性生殖・無性生殖／遺伝の規則性／DNA
地球と宇宙 太陽の観察／月の運動と見え方／金星の運動と見え方／太陽系外の天体

● 科学の発展と人間の生活／自然と人間

—3 年総合—

科学の発展と人間の生活 エネルギー資源とその利用／放射線とその利用／新しいエネルギー資源を利用した発電
自然と人間 食物連鎖／大気と環境／水と環境／外来種／火山による災害／地震による災害／気象と災害

中学理科通信 リンク [2014 年 秋号] 2014 年 9 月 1 日 発行

編集：教育出版株式会社編集局
 印刷：大日本印刷株式会社

発行：教育出版株式会社 代表者：小林一光

発行所：教育出版株式会社

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 2-10 電話 03-3238-6864 (お問い合わせ)

URL <http://www.kyoiku-shuppan.co.jp>



なかよし宣言

わたしたちをとりまく自然や社会は、科学技術の進展や国際化、情報化、高齢化などによって、今、大きく変わろうとしています。このような社会の変化の中で、人間や地球上のあらゆる命がのびのびと生きていくためには、人や自然を大切にしながら、共に生きていこうとする優しく大きな心をもつことが求められています。

わたしたちは、この理念を「地球となかよし」というコンセプトワードに込め、社会のさまざまな場面で人間の成長に貢献していきます。

- 北海道支社** 〒060-0003 札幌市中央区北3条西3-1-44 ヒューリック札幌ビル 6F
 TEL: 011-231-3445 FAX: 011-231-3509
- 函館営業所** 〒040-0011 函館市本町6-7 函館第一生命ビルディング3F
 TEL: 0138-51-0886 FAX: 0138-31-0198
- 東北支社** 〒980-0014 仙台市青葉区本町1-14-18 ライオンズプラザ本町ビル 7F
 TEL: 022-227-0391 FAX: 022-227-0395
- 中部支社** 〒460-0011 名古屋市中区大須4-10-40 カジウラテックスビル 5F
 TEL: 052-262-0821 FAX: 052-262-0825
- 関西支社** 〒541-0056 大阪市中央区久太郎町1-6-27 ヨシカワビル 7F
 TEL: 06-6261-9221 FAX: 06-6261-9401
- 中国支社** 〒730-0051 広島市中区大手町3-7-2
 あいおいニッセイ同和損保広島大手町ビル5F
 TEL: 082-249-6033 FAX: 082-249-6040
- 四国支社** 〒790-0004 松山市大街道3-6-1 岡崎産業ビル 5F
 TEL: 089-943-7193 FAX: 089-943-7134
- 九州支社** 〒812-0007 福岡市博多区東比恵2-11-30 クレセント東福岡 E室
 TEL: 092-433-5100 FAX: 092-433-5140
- 沖縄営業所** 〒901-0155 那覇市金城3-8-9 一粒ビル 3F
 TEL: 098-859-1411 FAX: 098-859-1411