

理科教育における科学史の活用

—光合成の発見の歴史に基づく教材開発と授業実践—

千葉 崇史 田幡 憲一 小林 恭士 平 真木夫

Use of History of Science in Science Education

—Development of Teaching Materials and Class Practices Based on The History of Study on
Photosynthesis—

CHIBA Takashi TABATA Kenichi KOBAYASHI Yasushi TAIRA Makio

概要

日本は理科の好きな子供の割合が国際平均よりも少ない。この状況の改善のため、生徒自身が課題を解決したり、新しく発見したりする経験を増加させていく必要がある。科学史を活用し、生徒を科学者の立場に立たせて仮説の設定や、実験による仮説の検証を行わせる授業を実践した。教材として、「光合成の発見の歴史」を用いた。歴史上の科学者が行った実験の教材化と、アンケートによる実践授業の評価を行った。

Key words: 科学史 教材開発 光合成 気泡計算法 中学校理科

I 序章

1 研究の背景

平成 29 年に告示された「中学校指導要領解説理科編」¹⁰⁾ (以降、解説理科編と略) では、教育内容の見直しの説明の中で、次のように記載されている。

「国際調査において、日本の生徒の、理科が『役に立つ』、『楽しい』との回答が国際平均より低く、理科の好きな子供が少ない状況を改善する必要がある。このため、生徒自身が観察、実験を中心とした探究の過程を通じて課題を解決したり、新たな課題を発見したりする経験を可能な限り増加させていくことが重要であり、このことが理科の面白さを感じたり、理科の有用性を認識したりすることにつながっていくと考えられる。」

同じく解説理科編では、指導の重点等の提示について次のように記載されている。

「今回の改訂では、3年間を通じて計画的に、科学的に探究するために必要な資質・能力を育成する

ために、各学年で主に重視する探究の学習過程の例を以下のように整理した。

- ・第1学年：自然の事物・現象に進んで関わり、その中から問題を見いだす
- ・第2学年：解決する方法を立案し、その結果を分析して解釈する
- ・第3学年：探究の過程を振り返る

これを受けて、第2分野の生命領域では移行した主要内容として、「葉・茎・根のつくりと働き」が第1学年から第2学年へ、「動物の体の共通点と相違点」が第2学年から第1学年へ移行した。

生命領域の学習内容の並びから生徒の主な科学的活動を整理すると、第1学年での「生物の観察と分類の仕方」、第2学年での「生物の体の共通点と相違点」や第2学年での「生物と細胞」までは観察と仮説の設定であり、「植物の体のつくりと働き」からは実験と仮説の検証である。このことから、第2分野の内容「植物の体のつくりと働き」は、生命領域において、論証的科学から実証的科学への転換点としての立場が強くなると考えた。「植物の体のつくりと働

き」では、光合成が学習内容の中心となっており、光合成の科学史には、論証的科学的から実証的科学的への変遷が表れているため、教材化する価値があると考えた。以下に、光合成の科学史をまとめた。

2 光合成の科学史

光合成とは光エネルギーを吸収して、二酸化炭素から炭水化物をはじめとした色々な有機物を合成する反応である。多くの植物は光合成により空気中の二酸化炭素から栄養を摂っている。宇佐見正一郎の「緑と光と人間」¹⁾を参考にして、光合成の科学史を以下にまとめる。

人類の光合成に関する知識は植物の栄養学説とともに発展した。ギリシャ時代では、アリストテレス(384～322 B. C.)が動物と植物の類似性を考察している。植物は生殖器官が上にあるため、頭は下にある。つまり、植物は逆立ちした動物であり、根は動物の口に相当し、食物を土の中から吸い取っていると考えた。

ヘルモン(1577～1644)は、乾燥して秤量した土にヤナギの枝を挿木し、雨水だけを与えて、5年後の植物体と土の重さを量った。植物体の成長量は土の消費量を著しく上回り、ヘルモンはこの実験から、植物は土を食べないと結論した。ヤナギの挿木の実験は、植物の栄養について行われた最初の実験的研究である。

マルピーギ(1628～94)は発芽したカボチャの双葉を摘み取ったところ、その芽生えは生長せず枯死してしまうことを知り、植物の生活における葉の必要性を提唱した。さらに彼は、葉の裏面に微小な孔が散在していることを発見し、これが植物体への気体の出入り口であることに気付いた。

プリーストリー(1733～1804)は、植物が密閉された空気中でも長く生存することに疑問を持った。当時、密閉した空気では燃焼や動物の呼吸が長くは行えないことが分かっており、それ以上燃焼や呼吸が行えない空気は一括りに「汚れた空気」として捉えられていたからである。彼は密閉容器中でロウソクを燃やし、火が消えた後の容器内の空気を二つの

別の密閉容器に分けた。二つの容器の内の一方には植物を入れ、もう一方には何も入れなかった。数日経過してから火のついたロウソクを入れると、植物を入れておいた方の容器の中ではロウソクは燃え続けるが、植物を入れておかなかった方の容器の中ではロウソクは燃えないことが分かった。ロウソクの代わりにネズミを入れると、植物を入れておいた方の容器内では、ネズミは呼吸を続けて生きられたが、植物を入れておかなかった方の容器に入れられたネズミは呼吸できずに窒息した。この実験から、植物は汚れた空気を浄化するということが発見された。しかし、プリーストリーの実験は、追試において結果の再現性に難があった。彼の実験を追試したシェーレ(1742～86)は、プリーストリーと全く逆の実験結果を報告している。

インヘンハウス(1730～99)は、水中にある緑葉の付いた水草に光が当たると気泡が発生することを認め、発生する気泡を試験管に捕集した。試験管内の気体がある容積に達したとき、木片の燃えさしをその中に入れると、木片は炎を出して燃えた。同じようにしても、根では気泡は出なかった。また、たとえ葉でも暗黒にしておくと気泡は出ず、光の強さによって放出する気泡の数が違うことを知った。この実験法は気泡計算法と呼ばれ、後々まで光合成の測定に使われた。それらの実験により、インヘンハウスはプリーストリーの実験に不足していた植物の空気浄化作用の諸条件を追求し、光が必要であることを、植物の緑色の部分だけがその能力を持っていることを明らかにした。インヘンハウスは、植物の緑と光との関係を明らかにする端緒を掴んだとして、光合成の発見者と言われている。

セネビエ(1742～1809)は、一度沸騰させた水の中に緑葉を入れると、気泡が発生しないことを見いだした。これは水を沸騰させることによって水中に溶けていた気体が追い出されたためであり、この水に二酸化炭素を溶かし込むと、気泡の発生が再び起こった。このことからセネビエは、植物による酸素

発生には、植物の緑色部分と光の他に、二酸化炭素が必要であることを明らかにした。

その後、ソシュール（1767～1845）により植物による酸素発生には水が必要であることが明らかにされた。また、ザックス（1832～97）により植物の光合成による生産物の一つがデンプンであることが、ヨードによってデンプンが紫色の呈色反応を示す性質を利用して確認された。

3 研究の目的

理科（科学）離れの原因の一つとして濱田（2007）は、「文明的な生活に対する要求が満たされ、新たなものの創造に対する向上志向が低下し、個人的満足に内向している」（p.208）ということを挙げている⁶⁾。また、理科教育における科学史導入の意義について、西條（2005）は、「一見無味乾燥な科学に、歴史が人間の血を通わせることができ、それによって科学に興味を持たせることができる。」（p.4）と述べている²⁾。

科学史における発見には当時の生活や価値観を一変するものもある。生徒がその時代の科学者の立場に立って考えることは、科学の発展性や創造性といった魅力に気付くきっかけになると考えた。また、生徒が科学者の考えを推測することで、観察や実験の操作を、何を目的として行っているかを認識しながら行うことができると考えた。

本研究では、光合成の科学史の教材化を行った。歴史上の科学者が行った実験を教材化し、光合成の発見の歴史を活用した授業を計画・実践し、評価することを目的とした。

II 研究の方法

1 教材開発

歴史上の科学者が行った実験を教材として確立するため、以下の教材を開発した。

（1）プリーストリーの実験の再現実験の映像教材

プリーストリーの実験を簡易的に再現し、植物から発生した酸素の存在を、ロウソクの火の様子から確認することができる映像教材を作成した。

（2）気泡計算法を用いた光合成速度測定教材

オオカナダモを使って気泡計算法を行い、光合成速度の光強度（照度）、炭酸濃度に対する依存性をそれぞれ得た。また、気泡計算法を基盤として、小型のシリンジを使った測定装置を考案し、光合成速度の温度に対する依存性を得た。

2 授業実践

開発した教材と光合成の発見の歴史を活用し、中学校第1学年（4学級157名）を対象として2時間構成の授業実践を行った。授業の構成を表1に示す。

表1 授業の構成

時間	学習活動	ねらい
1	・インヘンハウスが仮説を立てるまでの考えを推測し、説明する。また、仮説を検証する実験方法を考える。	・インヘンハウスの考え方を推測し、仮説を立てた理由を説明している。 【思考・表現】
2	・実験計画を実践し、仮説を検証する。 ・光以外の条件として温度を考え、実験により検証する。	・気泡計算法の実験結果から環境要因に対する光合成の強さの変化を読み取り、インヘンハウスの仮説を検証することができる。 【思考・表現】

光合成は、インヘンハウスが実験において、環境要因を考慮した条件制御を行うことにより発見された。生徒がインヘンハウスの立場に立ち、光合成と環境要因との関係を考えて実験を行うことで、条件制御の考え方の涵養に寄与すると考えた。また、科学史の追体験により、本実践が科学自体の魅力に気付くきっかけになることを期待した。学習の流れは以下のi～iiiのとおりである。

i 科学史上の事例から問題を把握する

プリーストリーの実験は、光などの環境要因を軽視したために再現性に難があった。シェーレという科学者は、プリーストリーとは矛盾した結果を報告している。同じ実験において矛盾する結果が得られたという事例から、生徒に課題意識を持たせた。

ii 「科学者の立場」に立って考える⁷⁾

生徒を、光合成の発見者であるインヘンハウスの立場に立たせた。当時明らかになっていない光合成や原子論の知識を制限し、インヘンハウスの仮説の設定理由や実験による検証方法を生徒に考えさせ、説明させた。

iii 科学史上の実験を行って仮説を検証する

気泡計算法を用いて、生徒にインヘンハウスの仮説を検証させた。環境要因を考慮した条件制御の方法を考えさせ、条件制御のための操作は生徒自身に計画・実施させた。

授業実践の成果は、以下の方法により分析・評価を行った。

(1) 条件制御に関するアンケートの分析

授業実践の前後での条件制御に対する生徒の考えの変容を分析するため、授業実践の前後に同じ内容のアンケートを行った。条件制御に関するアンケートを資料1に掲載した。質問項目は以下の二つである。

質問1 下の図(資料1参照)は、植物の種子の発芽について行った実験です。発芽に空気が必要かどうかを調べるためには、どれとどれをくらべればよいですか？

質問2 理科の実験で「条件を変えたり、そろえたりする」のは、何のためだと思いますか？
あなたの考えを書いて下さい。

質問1では条件制御に関する問題の正答率の変化を、質問2では条件制御に対する考えの変化を分析した。

(2) 授業用ワークシートの記述内容の分析

本実践を行うことで、科学の発展性や創造性といった魅力への気づきが生徒に存在したかを、授業実践で用いたワークシートの記述内容から評価した。

III 結果

1 開発した教材とその機能

(1) プリーストリーの実験の再現実験の映像教材

この実験で用いた物品は、円筒状のガラス容器(×2)、植物(カタバミ)、小さなプラスチック容器(ゼリーの容器)発泡スチロールの食品トレー、水道水(適量)、ロウソク(×2)、ロウソク立て(×2)である。

発泡スチロールの食品トレーに深さ1cm程度の水を張り、二つのロウソク立てを離して置く。片方のロウソク立ての近くに小さなプラスチック容器に植えた植物を置く。ロウソクに火を付け、二つのガラス容器を、片方にはロウソク立てと植物、もう片方にはロウソク立てのみが内に収まるように、倒立させる。ガラス容器の口は水により密閉されているため、しばらく待つとロウソクの火は消える。火が消えた後、日当たりの良い場所に置き、10時間放置する。その後、ガラス容器をそっと持ち上げ、ロウソクに火を付けて容器を速やかに元の位置に戻し、再び密閉する。ロウソクの火を観察すると、植物の入っていた方のロウソクが入っていない方のロウソクと比較して長時間燃えた。

火を付けてから火が消えるまでを映像で記録し、植物が酸素を増やすことを示す映像教材とした。プリーストリーの実験の再現実験の様子を図1に示す。

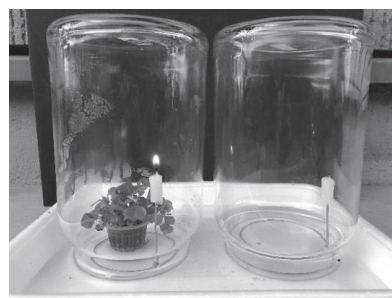


図1 プリーストリーの実験の再現実験の様子

(2) 気泡計算法を用いた光合成速度測定教材

この実験で用いた物品は、オオカナダモ（1本）、30 mL 試験管、試験管立て、0.03 mol/L 炭酸水素ナトリウム水溶液（30 mL）、クリップライト（レフランプ 100 W）、LED電球（レフランプ型 100形相当）、照度計（LX-2000SD）である。

オオカナダモを先端から 12 cm の位置で斜めに切断する。切断面を上にして炭酸水素ナトリウム水溶液（0.03 mol/L）30 mL が入った試験管に入れる。クリップライトのソケットへ LED 電球を取り付け、照明の電源を入れる。なお、クリップライトに初めに取り付けられていたレフランプ（白熱電球）は、今回の実験に用いていない。ライトと照度計との距離を調整しながら調べたい照度の位置を特定し、試験管立てを置く。試料を入れた試験管を試験管立てに立てると、試料に光が当たり、オオカナダモの茎の切断面から気泡が発生する。これは、オオカナダモが光合成を行い、発生した酸素を多く含む気体が植物体内に溜まって押し出されるためである^{3, 8)}。気泡計算法の装置を図 2 に示す。

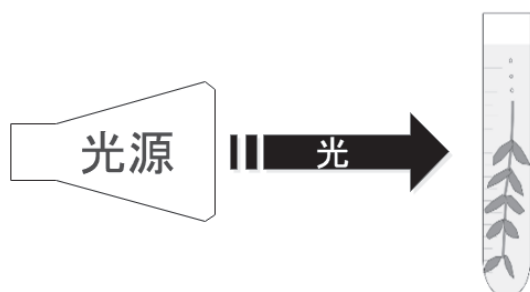


図 2 気泡計算法の装置

気泡が規則的に発生することを確認した上で、気泡が 10 個発生する間の時間をストップウォッチで測定する。測定は照度毎に 5 回行い、その平均を測定値とした。発生する気泡 10 個分の気体の量を 1 とする。これを測定値で割り算すると、1 秒間に発生した気体の量になる。つまり、測定値の逆数は相対的な気体の発生速度となっている。本実験では、これを一種の光合成速度と見なして評価した。以上の方法を様々な照度について行うことで、オオカナ

ダモの光合成速度の照度依存性を得た。光合成速度の照度依存性を図 3 に示す。

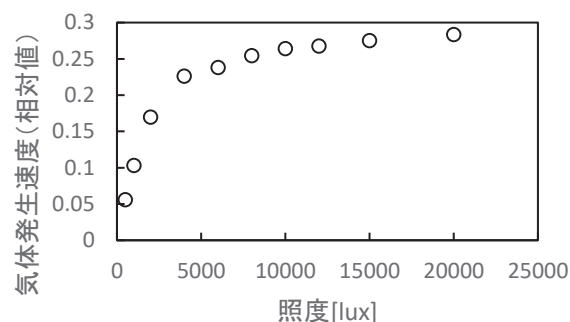


図 3 光合成速度の照度依存性

この実験では、炭酸濃度を確保するため、炭酸水素ナトリウム水溶液を用いている⁸⁾。光合成速度の最大値は炭酸濃度に依存する。炭酸水素ナトリウム水溶液の濃度を変化させることで、任意の炭酸濃度における光合成速度の照度依存性を得た。用いた炭酸水素ナトリウム水溶液の濃度は 0 mol/L（水道水）、0.003 mol/L、0.03 mol/L の三種類である。炭酸濃度別の光合成速度の照度依存性を図 4 に示す。図 4 からは、炭酸水素ナトリウム水溶液の濃度が濃くなるにつれ、飽和したときの気体の発生速度と飽和光強度が大きくなっていくことが分かる。

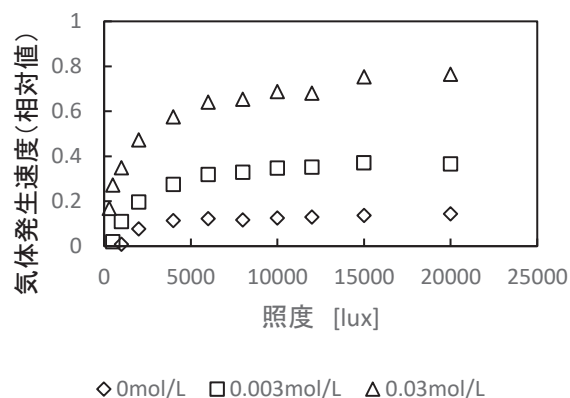


図 4 炭酸濃度別の光合成速度の照度依存性

先述した気体の発生速度（相対値）を求めるための光照射装置を基盤として、シリンジを使った気体発生量を調べる装置を考案した。これにより、気泡の発生が速く、計数が不可能なときの測定が可能に

なる。シリンジを用いた気体発生量の測定を図5に示す。

実験では、針を外した容量1 mLのシリンジを使う。オオカナダモの茎を挿入するため、シリンジの先の針を取り付ける突起を切断し、穴を大きくする。シリンジ内の水面を水平にするため、シリンジに少量の空気を吸い入れ、シリンジ内の水面が中央の0.5 mLの位置にくるまで溶液を吸い込む。オオカナダモの茎を斜めに切断し、切り口を突起を切り取った穴から差し込む。この装置に光を照射し、シリンジ内に5分間気体を捕集する。シリンジを取り出して目盛を読み、気柱の増加量を記録する(図5)。同様の操作を様々な照度について行い、光合成速度の照度依存性を得た。炭酸水素ナトリウム水溶液は濃度0.03 mol/Lのものを使用した。シリンジを用いて測定した光合成速度の照度依存性を図6に示す。

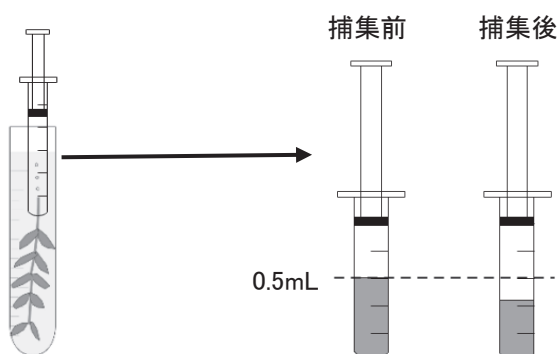


図5 シリンジを用いた気体発生量の測定

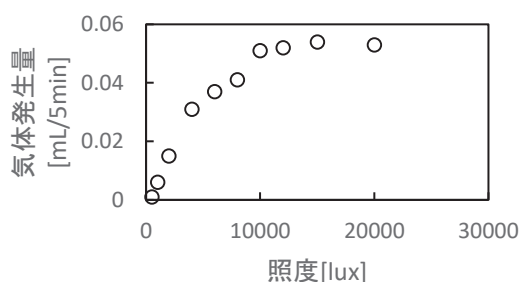


図6 シリンジを用いて測定した光合成速度の照度依存性

光合成には酵素反応が含まれ、至適温度が存在するため、光合成速度は温度にも依存している。光合

成速度の温度依存性を得るため、次の操作を行った。

直径8 cmの円柱状の透明容器に、約10℃に冷やした水道水700 mLと、シリンジを用いた気体発生量測定装置を入れる。1分間放置して水温を測り、ライトの電源を入れ、空気中で照度20000 luxの位置に試験管が来るように装置を配置する。その後10分間シリンジに気泡を集め、光合成速度(気体発生量)を測定する。この操作を様々な水温について行った。光合成速度の温度依存性を図7に示す。図7からは、10℃付近から30℃付近にかけて温度の上昇に伴い光合成速度が単調増加していることが分かる。

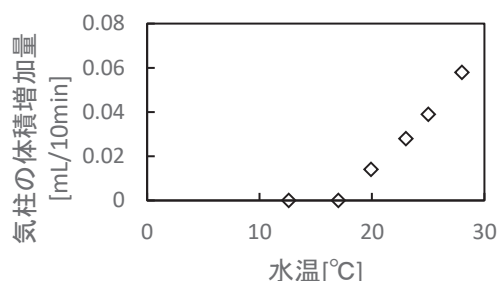


図7 光合成速度の温度依存性

2 授業実践の分析

(1) 条件制御に関するアンケートの結果

授業実践の前後で条件制御についてのアンケートを行った。対象は中学校第1学年(4学級157名)とし、授業の1週間前及び授業当日に配布し、翌日に回収した。未提出及び未記入を除外した有効回答者107名の回答結果を参考にした。質問1については条件制御の問題に対する正誤を集計した。質問2については、条件制御を行う理由に対する考えの自由記述の中から内容が近しい意見で10種類のカテゴリーに分別し、集計した。

質問1の集計結果と質問2の集計結果をそれぞれ表2、表3に示す。

表2 質問1の集計結果

	実践前	実践後
正答	93人(87%)	95人(89%)
誤答	14人(13%)	12人(11%)
合計 107名		

表3 質問2の集計結果

カテゴリー	実践前	実践後
特定の条件の影響を調べる	19人(18%)	30人(28%)
何が必要か調べる	12人(11%)	6人(5.6%)
他の条件の影響を排除する	11人(10%)	13人(12%)
実験結果を比べる	17人(16%)	14人(13%)
正しく実験する	23人(21%)	20人(19%)
対照実験をする	4人(3.7%)	4人(3.7%)
結果を分かり易くする	4人(3.7%)	5人(4.7%)
根拠を得る(強める)	4人(3.7%)	8人(7.5%)
事実(答え)を得る	3人(2.8%)	3人(2.8%)
その他	10人(9.3%)	4人(3.7%)
合計 107名		

(2) 授業用ワークシートの記述内容

授業実践で用いたワークシートの記述内容から、科学の発展性や創造性といった魅力への気付きが読み取れる記述を抜粋し、以下に示す。

- 生活経験などから光合成を見付けられたインヘンハウスのように、物事を考えるときは、関係ないことでも、目を向けていきたい。
- 「正しい」と思っていることでも、批判的に見ることでより詳しいことが分かることを知った。

- 一度出した実験結果を疑い、繰り返し同じ実験をすることも大切だと思った。
- この世で今、本当だと思われていることでもいつ覆されるか分からないと思うととても興味深い。

IV 考察

1 開発した教材の効果

(1) プリーストリーの実験の再現実験の映像教材

授業実践において、本教材をプリーストリーの実験を説明する際に提示した。その後、生徒にプリーストリーの実験においてプリーストリーとシェーレとで矛盾した結果が出た理由を考えさせた。生徒のワークシートには、使った器具や試料、実験を行った場所、天気や季節、温度など、様々な要因に関する記述が見られた。このことから、生徒はプリーストリーの実験の内容を十分に理解し、イメージを持つことができていたと考えた。プリーストリーの実験は、時間的にも空間的にも理科室での再現が難しいが、映像教材として示すことで生徒に理解させ、考察させることが可能であると考えた。

(2) 気泡計算法を用いた光合成速度測定教材

授業実践において、光合成と環境要因との関係に関する仮説を検証するために本実験教材を生徒に扱わせた。光の強さ(照度)などの要因が光合成に与える影響を調べるため、条件制御を生徒たち自身で考えさせ、実験を行わせた。実験に対する生徒の感想を、授業実践で用いたワークシートから抜粋し、以下に示す。

- (光源と試料との間に挟む)紙の枚数を変えると光がどんどん小さくなって、それに比例するように出てくる気泡の数が減るのが面白かった。
- 光合成で酸素の排出量を具体的な数値で求めたい。
- なぜ、気泡は等間隔に出ているのだろうか。
- どこまで温度が下がると気泡が出なくなるのだろうか。

本教材は、植物からの気泡の排出という現象により、光合成の勢いが直感的に認識できるものとなっ

ている。気泡の排出頻度は照度や温度の変化に対して即座に応答する。生徒が気泡が排出される様子に興味を示す記述が多く見られたことから、現象自体に視覚的な面白さが内在していると考えた。また、様々な測定の方法や新たな疑問を呈する記述が多く見られ、それらを追求することで、本教材を用いて生徒主体の探究活動を展開することも可能であると考える。

2 授業実践の効果

(1) 条件制御に関するアンケートの分析

表2を見ると、質問1については授業実践の前後で正答率は2%しか増加せず、大きな変化は見られなかった。実践前の時点で正答率が高かったため、調査対象の生徒は条件制御に関する練習問題を解くための学力を十分有していたと考えられる。

表3より、回答率が増加したカテゴリと減少したカテゴリを整理した。質問2の回答率の増減を表4に示す。

表4 質問2の回答率の増減

増加したカテゴリ (増加量)	減少したカテゴリ (減少量)
特定の条件の影響を調べる (10%)	何が必要か調べる (5.4%)
他の条件の影響を排除する (2.0%)	実験結果を比べる (3.0%)
結果を分かり易くする (1.0%)	正しく実験する (2.0%)
根拠を得る(強める) (3.8%)	その他 (5.6%)

表4の中でも、最も増加量が多かった「特定の条件の影響を調べる」というカテゴリは、条件制御の目的を十分に説明していると考えられる。

表2、表3のデータについて、それぞれ統計的な有意性の検定を行った。授業実践の前後の数値に現れた差が統計的に有意であるか、つまり、授業実践が数値の変化に影響したのかを検定した。授業実践

前後の比較のため、結果の方向性を考慮し、片側検定の結果を採用した。

表2について χ^2 乗検定⁴⁾を行ったところ、 $\chi^2(1)=0.044$ となり、統計的に有意な差は見られなかった。表3について二項検定⁵⁾を行ったところ、「特定条件の影響を調べる」については、 $p=0.0762$, $p<0.10$ となり、統計的に有意な偏りが示された。他のカテゴリについては、どれも統計的に有意な偏りは見られなかった。つまり、カテゴリ「特定の条件の影響を調べる」の回答率の増加は、本実践の影響によるものであると考えられる。

条件制御に関するアンケートの分析から、今回の授業実践は、生徒があまり意識せずに用いていた条件制御の考え方を捉えなおさせ、特定の影響を調べるための科学的手法として認識させたと考えた。

(2) 授業用ワークシートの記述内容の分析

授業実践で用いたワークシートから抜粋した記述を見ると、科学というものに人間がどのように向き合ってきたかや、現在信じられている科学でさえ変化し得る可能性があることなどに気付いた生徒がいたことが分かる。このことから、科学史を教材として扱うことは、科学自体に対する理解と魅力の発見の機会となると考えた。

V 結論と課題

1 結論

本研究では、中学校理科教育において光合成の科学史を教材として活用する価値を探るため、歴史上の科学者が行った実験の教材化と、光合成の発見の歴史を活用した授業実践を行った。研究の成果として、以下の二つを挙げる。

一つは、生徒に条件制御の考え方の涵養が見られたことである。光合成を学習する「植物の体のつくりと働き」では対照実験が多く行われ、条件制御の考え方が必ず必要になる。生徒が条件制御を目的意識をもって行うことができると、実験全体の見通しが立ち、内容の理解にも繋がると期待する。

二つ目は、生徒が科学の発展性や創造性といった魅力に気付くきっかけになったことである。生徒が歴史上の科学者の考えを推測することは、生徒自身が科学に向き合う機会になる。そのようにして科学史を追体験させれば、科学の発展と有用性に気付かせることができると期待する。

2 課題

「植物の体つくりと働き」には、光合成の条件の他に、光合成の材料や生産物、それらの植物体内での移動など、高等植物の生育に関する知識が一通り含まれている。本研究で教材化した光合成の発見の歴史は、その一部の内容に導入することができる。単元全体に光合成の科学史を導入するため、教材の開発と授業の作成を行っていくことが今後の課題となる。

また、本研究で得た光合成速度の温度依存性は、光合成反応の至適温度を求めるに至っていない。60℃くらいまでの高温で光合成速度が測定できる系になるよう改善し、教材としての効果を高めることが必要である。

引用・参考文献

- 1) 宇佐美正一郎 (1977) 「緑と光と人間」そしえて
- 2) 西條敏美 (2005) 「理科教育と科学史」教育出版
- 3) 高相徳志郎 (2015) 「水草の茎の切り口から気体が発生するしくみについて」
https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=3366 (最終確認期日 2020.1.5)
- 4) 田中敏・Nappa (2013) 「カイ二乗検定 $i \times j$ 表」
http://www.kisnet.or.jp/nappa/software/star2012/freq/chisq_ixj.htm# (最終確認期日 2020.1.20)
- 5) 田中敏・Nappa (2013) 「直接確率計算 1×2 表(正確二項検定)」

<http://www.kisnet.or.jp/nappa/software/star2012/freq/1x2.htm#> (最終確認期日 2020.1.20)

- 6) 濱田嘉昭「科学的な見方・考え方」放送大学教育振興会
- 7) 福井智紀・鶴岡義彦 (2002) 「理科教育における科学史の活用について—我が国における研究の概観と今後の課題—」東京水産大学論集 第38号 pp.55-65
- 8) 福澤秀哉 (2010) 「オオカナダモの光合成」
https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=2306 (最終確認期日 2020.2.2)
- 9) 松田司 (1995) 「光合成にかかわる実験の問題点—インジゴカーミン法の検討—」北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要第7号
- 10) 文部科学省 (2018) 「中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編」学校図書
- 11) 八杉龍一 (1991) 「科学とは何か」東京教学者
- 12) 吉澤康和 (1989) 「新しい誤差論 実験データ解析法」共立出版

この研究は科学研究費基盤 (C) 17K04339 の支援を受けている。

資料1 条件制御に関するアンケート

この調査は、皆さんが条件制御についてどのように考えているかを尋ねるものです。
※成績には一切関係ありません。

【質問1】

下の図は、植物の種子の発芽について行った実験です。

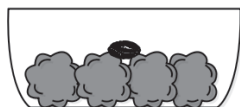
発芽に空気が必要かどうかを調べるためには、どれとどれをくらべればよいですか？

下から番号を選び、() に記入して下さい。

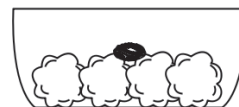
() と () をくらべる



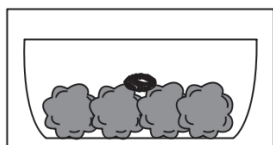
①水をたっぷり入れて、種子を脱脂綿の上に置き、あたたかいところに置く。



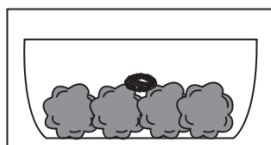
②しめらせた脱脂綿の上に種子を置き、あたたかいところに置く。



③かわいた脱脂綿の上に種子を置き、あたたかいところに置く。



④しめらせた脱脂綿の上に種子を置き、おおいをしてあたたかいところに置く。



⑤しめらせた脱脂綿の上に種子を置き、冷ぞう庫の中に入れておく。

【質問2】

理科の実験で「条件を変えたり、そろえたりする」のは、何のためだと思いますか？

あなたの考えを書いて下さい。

質問は以上になります。ご協力ありがとうございました。