

# 検証計画の立案とその評価について

飛騨高山高等学校

## 1 研究のねらい

生徒の資質・能力は課題の発見（把握）、課題の探究、課題の解決のプロセスが繰り返されることではぐくまれる。そして、生徒が主体的・協働的に活動することでより深い学びが実現される。今回、実践者は探究の過程において、検証計画の立案に焦点を当てた（図1）。高等学校の現場で行われる実験の多くは、教師が検証方法を生徒に提示し、期待される結果が得られたかどうかを確認するものが多い。しかし、現行の学習指導要領においても観察・実験を通して生徒自身が関係性や規則性を見いだすことが求められているように、仮説を確かめるための観察・実験を立案する力や、計画した実験を評価し、妥当な計画を選択し決定する力は生徒にとって重要な資質・能力である。そして、このプロセスにおいては生徒が相互に議論しながら主体的・協働的に取り組むことが期待される。

今回の実験のテーマとして「光合成」を選択した。光合成は小学校から高等学校のすべての校種で扱われる。そのため、生徒にとってなじみのある現象であり、極めて定着度の高い用語のひとつであると想定される。ただし、その現象を実際に可視化し、確認する方法を自ら考案する機会は多くはなく、検証するには、有機物の蓄積、酸素の放出、二酸化炭素の吸収など、様々な角度からアプローチすることが可能である。

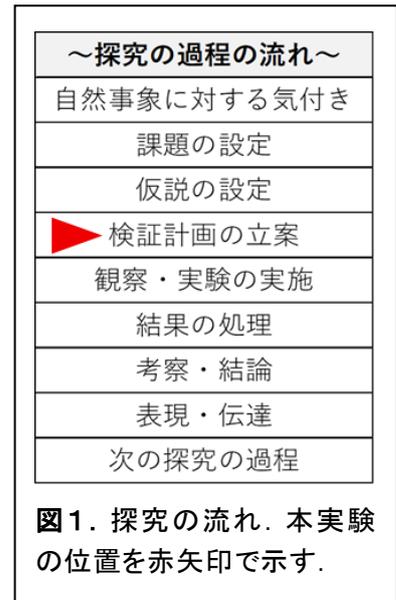
実験計画の要点は、一部の条件が異なる複数の事象（従属変数）の比較を行うことで、事象に関連する原因（独立変数）を見出すことである。これらの要素を加味しながら実験を実施し、評価の内容や規準についての検討も行った。

## 2 実践した内容

本実践は、生物基礎「生物の特徴」における「細胞とエネルギー」の授業の中で5時限目の単元に位置し、対象生徒は商業科3年生である。生徒は細胞小器官を含む細胞の共通性と多様性、生命活動のためのエネルギー（ATP、代謝）は既に学習している。呼吸と光合成の共通性と違いに関して知識を確認した後、本時の授業を実施した。なお、授業プリントを準備し、4人1グループで実施した。

授業プリントの内容は、1. 探究のプロセス、2. 光合成の知識の確認、3. 実験計画、4. 結果の整理、5. 実験の考察である。なお、ヒントとして「対象生物」、「使用する可能性のある試薬（BTB溶液）」、「処理実験と対照実験」、「発生する可能性のある気体（二酸化炭素）」の情報を提示した（図2）。

最初に光合成のメカニズムを復習し、植物細胞に「吸収されるもの」、「生産されるもの」、植物細胞から「放出されるもの」を確認した後、実験材料の選定を行った。実験室に準備されている器材は何でも使用可能としたが、実験に用いる植物体は市販されているオオカナダモ（準備：実践教員）を使用することに限定した。次に生徒が実験計画をグループで協議し、計画を立てた。計画を立てる最中に予備実験を実施することも許可した。本実験を実施した後、結果を表にまとめ、それぞれのグループの代表生徒が全体で発表した。最後に実験結果の振り返りを行った。



**本時の目標**

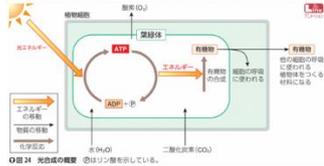
光合成が行われたこと（行われなかったこと）を実証できる実験を計画しよう。

**1. はじめに**

答えのわかっていない問題を自ら発見し、その問題の解決に取り組み、成果を他者に伝えることを「探究」という。探究の進め方は左の図に示されている。今回は、探究の進め方のうち、「c：情報を収集する」、「d：実験計画を立てる」、「e：実験を実施する」、「f：結果を分析し考察する」を体験する。

**2. 光合成に関する情報を収集しよう。**

光合成とは太陽の（1）を利用して、（2）と（3）から（4）が合成され、（5）が放出される過程である。



**3-1. 実験計画①**

実験に必要な材料はなにか。以下の中から必要なものを選び、必要な個数をめ、下の欄に書き出そう。

**【材料】**

オオカナダモ、試験管、光学顕微鏡、酢酸カーミン液、BTB溶液、アルミホイル、CO<sub>2</sub>ガス、スタンドライト、ピーカー、ハサミ、ピンセット（他、必要なものがありましたら申し出てください）

必要な材料（個数も書いてください）

**実験のヒント**

- オオカナダモ：** 淡水性の沈水植物で、低光量、低CO<sub>2</sub>下でも光合成を行うことができる。
- BTB溶液：** 水溶液の酸性、中性、アルカリ性を示す試薬で、酸性は黄色、中性は緑色、アルカリ性は青色に変化する。
- 処理実験と対照実験：** 仮説の検証に必要な処理をした実験を「処理実験」といい、仮説検証のための処理は行わないが、それ以外は処理実験と同じにした実験を「対照実験」という。実験では、「処理実験」だけでなく「対照実験」も行う。
- 二酸化炭素：** 水に溶けると水溶液中は炭酸水溶液となり、弱い酸性を示す。

**3-2. 実験計画②**

リストアップした材料に基づき実験計画を立てよう。なお、以下のルールに基づき実施してください。

- ①図を用いてわかりやすく実験セットを示すこと
- ②どのような結果が得られれば「光合成を行っている」ことを示せるか明示すること。

ヒント：実験の「まえ」と「あと」の変化を比較するのが分かりやすい方法です。一部の条件を変えて、複数の実験を行い、比較することも大切です。

**4. 結果の整理**

実験の結果について表にまとめてみよう。

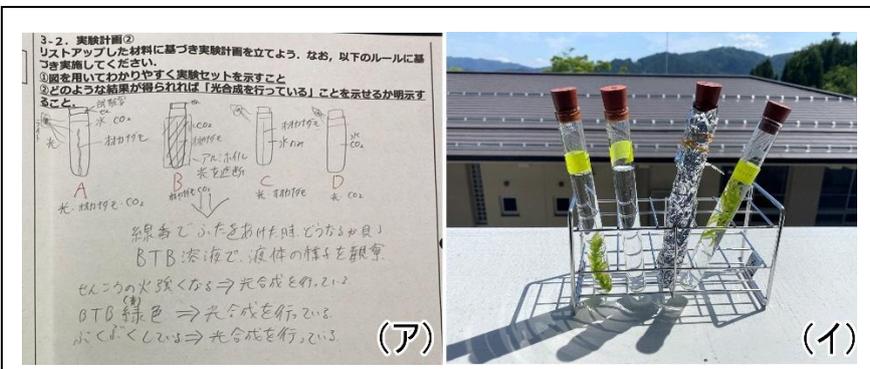
**4. 考察**

実験の結果から分かることを書こう。仮説検証がうまくいかなかった場合、失敗した失敗した理由を書こう。

図 2. 実験で用いたプリント。探究の中心は「3-2. 実験計画②」である。

**3 実践中及び実践後の生徒の変容**

本実践の授業時間数は、計画と予備実験に1時間、本実験と結果の整理、発表に1時間、振り返りに次の時限の10分程度を要したため、2時間強必要であった。計画の段階において、中学校で同様の実験を行ったことがある生徒がおり、スムーズに行うことができたグループもあれば、予備実験を何度も行い、最善の方法を吟味していたグループもあった。計画の最中は議論が活発化し、「対照実験を入れなければ」という声も上がっていた。計画した実験について準備ができ次第、各グループの裁量で本実験に移行した。計画した実験のパターンは主に、①複数の試験管を準備し、オオカナダモに水、CO<sub>2</sub>を加え日光やライトをあて、BTB溶液の呈色によって光合成を確認するという、CO<sub>2</sub>の量（液性の変化）に注目する実験（図3）、②発生したO<sub>2</sub>を火のついた線香で検出する実験、③日光やライトをあてたオオカナダモの葉にヨウ素液をたらし、生産された有機物（デンプン）の検出に注目する実験とに整理された。ただし、①の実験については、光合成の反応を見るために溶液にあらかじめ



BTB 溶液と CO<sub>2</sub>を加えておき黄色に呈色させた溶液の色の変化を確認する実験と、緑に呈色した BTB 溶液を反応後に入れて呈色の変化を確認する (CO<sub>2</sub>が減少している試験管は黄色の呈色の程度が小さい) グループとに分かれた。また、③の実験はエタノールで脱色するグループとそうでないグループが見られた。いずれの実験においても、処理実験のみを行ったグループと、処理実験、対照実験の両方を行ったグループがあった。

結果は多くのグループで予想とは異なった。BTB 溶液の呈色については、「黄色の BTB 溶液が緑色ないしは青色」に変化すると多くのグループが予想していたが、「黄色」から別の色に変化したという結果を示したグループはなかった。また、ヨウ素液の滴下ではヨウ素デンプン反応のような色の変化を示したグループはなかった。これらの結果を全体で共有し、生徒が相互に結果を議論し、評価した。予想と異なる結果が得られた原因として、実験手法の見直しを検討したグループが多かった。BTB 溶液については CO<sub>2</sub>ガスの添加量が過剰であった可能性が、ヨウ素デンプン反応については検出できるだけの有機物が蓄積しなかった可能性が示唆された。いずれの結果についても実験時間が不足した可能性があり、今後実験する場合は長時間の実験時間が必要であるという意見が出た。

実験計画を立てる際に一部の条件が異なる複数の事象の比較より、原因を見出すことが要点である。このような実験を計画したグループもあれば、複数の実験 (BTB 溶液の呈色反応とヨウ素デンプン反応) を行ったが、「条件が異なる複数の事象の比較」を検討しなかったグループもあった。条件を変えた複数の事象の比較という視点については、「カタラーゼを用いた酵素反応」を先行実験として設定することで意識づけができるのかもしれない。なお、評価については「複数の条件を検討し、実験を計画し、原因の追究を行った」実験を A 評価、「原因の追究を実験で示すことができた」実験を B 評価、そして「実験計画がなされていない。目的が不明確であった」実験を C 評価とした。C 評価と判断したグループはいなかった (図 4)。今回、グループ単位での評価 (当該グループの構成生徒がすべて

同じ評価)を行ったが、理科教育講座における議論の中で、グループのメンバーを構成する生徒の理解度の違いや、実験技術の高低によって評価が変動する問題が指摘された。今後実践する際はこの点の改善を吟味し、等しく評価できる方法 (例: グループメンバーのコントロール、個別課題の検討など) を考案する必要がある。

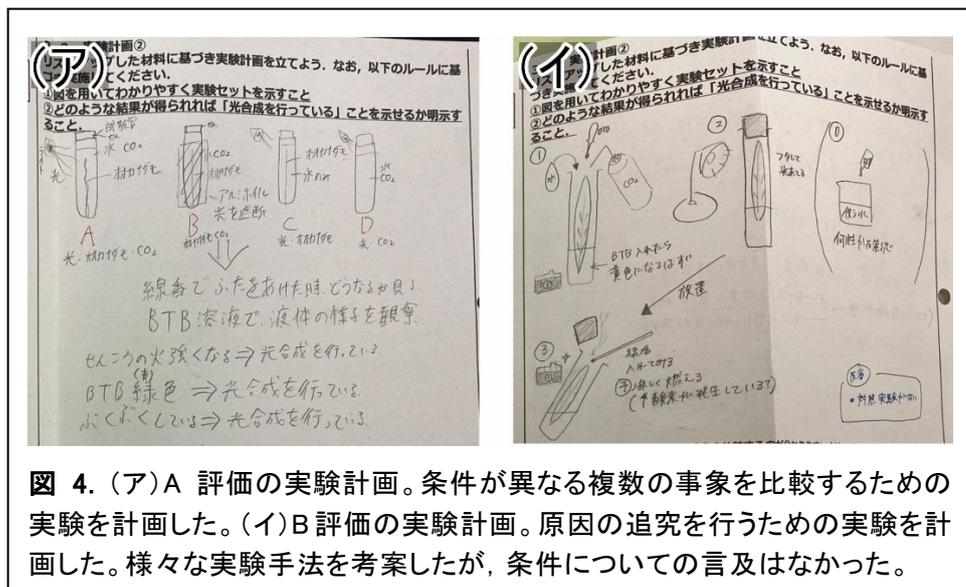


図 4. (ア) A 評価の実験計画。条件が異なる複数の事象を比較するための実験を計画した。(イ) B 評価の実験計画。原因の追究を行うための実験を計画した。様々な実験手法を考案したが、条件についての言及はなかった。

#### 4 研究のまとめ

今回は生物基礎で取り扱われる単元において本実験を位置づけた。そのため、実験材料をオオカナダモに限定したが、これに限定せずに実験対象の選択・決定などの要素も含めると、より探究的な活動のすそ野が広がる。従って、「総合的な探究の時間」や「理数探究」などへの応用も期待される。探究のプロセスの中で協働的な学びを進める際に実験は非常に有効であり、他の単元への応用や評価方法についてさらなる改善を行い、より深い実践ができることを期待する。

## 5 実践した授業の単元計画と学習指導案

教科	理科	科目	生物基礎	指導者	
指導クラス					
クラス観					
指導観	生徒の主体的・対話的な学びを行うために、仮説検証型実験の教材を用いながら、生物学的な知識や実験技能を身に付けるだけでなく、科学的に探究する姿勢を行うことができるよう議論を促す。				
実践日時	2025年4月～		使用教室		
教科書	新編生物基礎		使用教材	問題集・自作プリント・自作スライド	
単元名	エネルギーと代謝～呼吸と光合成				
単元の目標	<p>(1) 生命活動とエネルギーの関係性と、細胞内で行われている代謝について理解するとともに、それらの観察実験などに関する技能を身に付けること。</p> <p>(2) 生命活動とエネルギーの関係性と細胞内で行われている代謝について、観察、実験などを通して探究し、代謝やその働きに関わる酵素の特徴を見出して表現すること。</p> <p>(3) 生命活動とエネルギーの関係性と細胞内で行われている代謝に関する学習に主体的に関わり、科学的に探究しようとする態度と、生命を尊重する態度を養うこと。</p>				
単元の評価規準	知識・技能		思考・判断・表現		主体的に学習に取り組む態度
	生命活動とエネルギーの関係性と細胞内で行われている代謝の基本的な仕組みについて、呼吸と光合成を中心に理解している。科学的に探究するために必要な実験などの基本操作や表現法についての技能を身に付けている。		生命活動とエネルギーや酵素のはたらきについて、実験を通して探究できる。①実験計画、②実験結果、③仮説設定について、得られた知識に基づき考察できる。		生命活動とエネルギーの関係性と細胞内で行われる代謝、酵素のはたらきについて主体的に関わり、見通しをもった振り返りができる。また、科学的に探究しようとしている。
単元の指導と評価の計画	時	ねらい・生徒の学習活動	重点	記録	評価規準・評価方法
	1	消費エネルギーの計算を行い、生物利用するエネルギーについて理解する。	知	○	生命活動にはエネルギーが必要であることを身近な例（カロリー計算）に基づき理解することができる。【計算・記述分析】
	2	細胞の活動とエネルギーの関わりについて、理解する。	知	○	細胞の活動とエネルギーの関わりについて理解している。【記述分析】
	3	呼吸と光合成の反応について理解する。	知		呼吸と光合成を比較し、共通点・相違点を理解している。
	4	エネルギーの流れに注目し呼吸と光合成の関係性について理解する。	知		呼吸と光合成の知識を確認しつつ、細胞内の代謝にはエネルギーの出入りが生じることを理解できる。
	5	光合成の理解を深めるために探究のプロセスを意識しつつ、実験の計画を立案する。	知	○	光合成に関する実験について、仮説を検証するための実験計画を行い、実験の手法を理解しながら実験を進めることができる。【実験技術】
6	光合成の理解を深めるための実験から得られた結果をまとめ、表現する。	思	○	結果を分かりやすく整理し、表現することができる。得られた結果を正しく解釈することができる。【結果の表現】	

	7	酵素の性質について理解する。	知		酵素の性質について理解している。
	8	酵素の性質の理解を深めるための実験の技能を身に付ける。	知	○	カタラーゼによる過酸化水素の実験を通して、酵素のはたらきの理解を深めることができる。【実験技能】
	9	酵素の性質の理解を深めるための実験から得られた結果をまとめ、表現する。	思	○	実験より得られた結果を整理し、表現することができる。また、得られた結果を解釈し、異なる仮説を提示することができる【思考・表現】
	10	生命活動とエネルギー、代謝について学習したことをまとめる。 ・学習中にわからなかったことや疑問に思ったことをどのように解決しようとしたかを表現する。 ・学習方法についての課題をどのように改善していくかを表現する。	態	○	・学習中にわからなかったことや新たに疑問に思ったことをどのように解決しようとしたかを表現している。【記述分析】 ・次の単元での学習に向けて、自分の学習方法についての課題をどのように改善していくかを表現している。【記述分析】
	11	ペーパーテスト	知思	○	・知識を習得している。 ・科学的に探究している。【記述分析】

本時の主題	探究のプロセス・光合成の働き（実験計画）	本時の位置	5/11
本時の目標	光合成の理解を深めるために探究のプロセスを意識しつつ、実験の計画を立案する。		
評価の観点	光合成に関する実験について、仮説を検証するための実験計画を行い、実験の手法を理解しながら実験を進めることができる。【実験技術】		
本時の展開			
学習場面	生徒の学習活動	学習活動における具体的評価規準	評価方法
導入 5分	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本時の目標を確認する。</li> <li>・探究のプロセスについて確認する。</li> </ul>		
<b>課題</b> 光合成が行われた（行われなかった）ことを実証するための実験を計画する			
展開① 10分	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光合成がどのような現象か、個人で教科書に基づき整理し、プリントの空欄を埋める。（教師は机間巡視を実施し、解答状況を確認）</li> <li>・空欄補充終了後、実験グループ内で情報共有し、正解を確認する。</li> </ul>	<b>【知識・技能】</b> <b>[Aの例]</b> 資料に基づき情報を整理し、用語をすべて埋めることができる。 <b>[Bの例]</b> 資料に基づき情報を整理し、用語を一部埋めることができる。 <b>[Cの例]</b> 資料からの情報を整理できず、用語を埋めることができない。  <b>[Bへの手立て]</b> 不足する情報を補うヒントを提示する。 <b>[Cへの手立て]</b> 参照する資料を示唆し、不足する情報を補うヒントを提示する。	ワークシート

<p>展開②</p> <p>30分</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光合成によって「生産される物質」, 「放出される気体」, 「吸収される気体」についてクラス全体で確認する。</li> <li>・共有された情報に基づき実験計画を立案する。 (使用可能な器材, 場所などのルールの説明, 実験のヒントについて説明を受ける)</li> <li>・必要なグループは適宜予備実験を行ってもよい。 (教師は机間巡視を実施)</li> </ul>	<p><b>【知識・技能】</b></p> <p><b>[Aの例]</b> 複数の条件を検討し, 実験を計画し, 原因の追究を行うことができる。 <b>[Bの例]</b> 原因の追究を実験で示すことができる。 <b>[Cの例]</b> 実験計画がなされていない。目的が不明確である。</p> <p><b>[Bへの手立て]</b> 複数の条件を比較する必要性を示唆する。 <b>[Cへの手立て]</b> 実験の目的を確認し, 流れを理解するようヒントを提示する。その後, 複数の条件を比較する必要性を示唆する。</p>	<p>ワークシート</p>
<p>まとめ</p> <p>5分</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グループ間で実験計画についての情報共有を行った後, 次回の内容についての指示を聞く (本実験の実施)。</li> </ul>		