

高等学校の総合理科における課題研究

—生物分野を中心として—

白神 聖也

1994年度からの理科においては、特に探究活動や課題研究が重視されることになった。そこで1994年度の当校の総合理科では化学・生物分野を学習させた後、全員に課題研究を行わせた。生徒が行った課題研究のテーマは、アルコール発酵、ヨーグルトや納豆の作成、ペーパークロマトグラフィー、洗剤の中の酵素などである。事後アンケートの結果、課題研究の良さは内容の理解を深めたり、生徒の自主的探究活動や考察力を深めたり、成就感を感じさせられることであることがわかった。反面、生徒は実験準備や実験方法、レポートのまとめ方などに困り、時間不足や実験の失敗に陥った。今後の課題研究実施上の課題として、①十分な時間を確保すること ②違う実験に取り組む各グループへ適切な助言をする必要があること ③十分な実験材料や器具の準備が必要であること ④課題研究の評価の工夫が必要であること、などがあげられる。

1. 総合理科と生物教育

1994年度からの新教育課程において当校では、生徒は高校1年次に必修で総合理科（4単位）を履修することになっている。当校の総合理科では、共通テーマを「エネルギー」とし、物理、化学、生物、地学の各領域からテーマに沿った内容を持ちより、実験・観察、課題研究をできるだけ多く取り入れることにした。また、全体にわたり科学史を多く取り入れるとともに、人間と科学について考えさせるようにした⁽¹⁾。教科書については文部省の検定教科書がないということもあって、当校で各教官が分担して、独自の教科書（プリント原稿を印刷所に依頼し印刷、製本したもの）を作成した。生物領域の構成は下に示す通りである。

当校の総合理科（生物領域）の構成⁽⁴⁾

第3章 生命活動とエネルギー

第1節 生物体内の化学反応と酵素

1-1 酵素のはたらきと性質

1-2 酵素の種類

1-3 生活の中の酵素

第2節 呼吸における代謝とエネルギー代謝

2-1 代謝とエネルギー代謝

2-2 呼吸の本質

2-3 呼吸器とガス交換

2-4 好気呼吸

2-5 嫌気呼吸

第3節 同化における代謝とエネルギー代謝

- 3-1 光合成の意義
- 3-2 葉緑体と同化色素
- 3-3 光合成と外的条件
- 3-4 光合成のしくみ
- 3-5 光合成細菌
- 3-6 化学合成
- 3-7 窒素同化

第4章 課題研究

高校理科を完全科目選択制にした場合と高校1年次に総合理科を必修とした場合を比較したとき、後者の生物教育としてのメリットは、①高等学校の同化・異化の内容について、全員に学習させることができること ②化学分野で化学式、化学反応式、物質質量（モル）などについて学習しているので、それらを使って同化・異化を説明できること ③環境問題について簡単にではあるが、全員に考えさせることができること などである。

2. 生物分野の課題研究例

1994年度からの理科（指導要領）においては、特に探究活動や課題研究が重視されることになった⁽²⁾⁽³⁾。1994年度の当校の総合理科では化学・生物分野を学習させた後、各班（3～4人構成）に化学・生物分野の8つの課題研究例から2つのテーマを選ばせ、課題研究を行わせた。時間的には6～7時間を確保した。教科書の「第4章 課題研究」の生物分野の内容を次に抜粋する。

第4章 課題研究⁽⁴⁾

第1章と第2章（化学分野）、第3章（生物分野）の学習内容を発展させた課題研究の例が後にあげてある。各班でテーマを2つ以上選び、研究報告書（レポート）を提出しよう。第1章、第2章、第3章の内容であれば、課題研究例以外のテーマについて研究してもよい。研究は班単位の共同研究であるが、レポートは個人個人で書いて提出するものとする。

<レポートの作成>

レポートは次のような形式で作成する。レポート用紙はB5版とする。

- ①テーマ…内容がよくわかるように表現する。
- ②実験の目的…どのような疑問・問題を解明しようとしたかを書く。
仮説を設定する。
- ③材料・器具と方法…材料、器具、薬品の名称をあげる。
実験方法は箇条書きにし、わかりやすく簡潔に書く。
- ④実験・観察の結果…データを図や表、グラフで示すか、文章で簡潔に表す。
- ⑤考察…実験結果からどんなことが考えられるか、仮説は正しかったといえるかについて書く。
- ⑥結論…この実験の結果、どのようなことが明らかになったか、反省点は何か、どのようなこ

とが課題として残ったかについて書く。

⑦感想…自分の感想などを書く。

⑧参考資料…参考にした本や資料があれば書く。

<課題研究例1 洗剤の中の脂肪分解酵素>

実験(1)『オリーブ油を95%アルコールに10%の割合で溶かした溶液10mlを水50ml中に加えて、はげしく振り、乳白色のオリーブ油懸濁液をつくる。表面に遊離した大きい油滴は脱脂綿をつめたらうとでこして除く。このオリーブ油懸濁液を2本の試験管にそれぞれ10mlずつとり、0.01%NaHCO₃3mlを加えた後、一方にだけ酵素(リパーゼ)入り洗剤の水溶液を加え、37℃で保温する。30分後、2本の試験管を明るい方へ向けて懸濁液の乳濁状態の差異を確かめる。懸濁液中の微小油滴が分解されたら、全体に透明感が増してくる。

実験(2) 酵素液が濃い場合、それ自体が乳濁の原因になることがあるので、その場合はpH試験紙をそれぞれの試験管に入れてみる。オリーブ油が分解されて脂肪酸が生じると、それによるpHの変化が認められる。ただし、洗剤自体がアルカリ性を示すので、この場合は対照実験として水に酵素(リパーゼ)入り洗剤の水溶液を入れたものを用意する。』⁽⁵⁾

実験の条件を変えて工夫したり、いろいろな商品で実験してみよう。

<課題研究例2 アルコール発酵>

キューネの発酵管を使ったアルコール発酵の実験を行う。(教科書p.89参照)

実験(1) コウボキンは、酸素のある条件では好気呼吸も行うので、二酸化炭素の発生=発酵とは限らない。実験条件を工夫し、短時間でたくさんのアルコールが生成する方法を開発する。アルコールの検出はヨードホルム反応で確かめる。

実験(2) 教科書p.89では基質としてブドウ糖を使用した。果糖、乳糖、ショ糖を基質とした場合の経過時間にもなう気体発生量を表に記入し、グラフ化する。基質として用いられる糖、用いられない糖は何か。

実験(3) 糖液の代わりに、ジュース、スポーツ飲料などを用いて、基質となる糖が含まれているかどうか確かめる。

観察(1) コウボキンを顕微鏡で観察し、スケッチする。

観察(2) シャーレの中に基質を入れてコウボキンを培養し、コウボキンが増える様子を観察する。

<課題研究例3 ペーパークロマトグラフィー>

ペーパークロマトグラフィーの実験を行う。(教科書p.93参照)

実験(1) いろいろな植物の葉を材料にして、ペーパークロマトグラフィーの実験を行う。

どの植物の葉でも4つの色素が分離するだろうか。

実験(2) 紅葉した葉や緑色ではない葉(赤シソなど)を材料にして、ペーパークロマトグラフィーの実験を行う。

実験(3) コンブ、ワカメ(褐藻類)やアサクサノリ(紅藻類)、市販されている栄養食品のクロレラ(緑藻類)を材料にして、ペーパークロマトグラフィーの実験を行う。

* Rf値は、おおよそカロテン0.95、キサントフィル0.70、クロロフィルa 0.35、クロロフィルb 0.22くらいである。(展開液によって異なる)

<課題研究例4 発酵によるヨーグルトや納豆の作成>

実験(1) ヨーグルトの作成

- 『① 牛乳パックの口をあけ、すばやく牛乳約50mlをコップにとる。すばやく牛乳パックの口を閉じ、雑菌の混入を防ぐため、ラップを上からかぶせる。
- ② 70℃～80℃の湯を入れたホウロウタンク(またはトールビーカー)に牛乳をつけ、40℃くらいになるまで暖める。
- ③ 乳酸菌の一種である長桿菌のブルガリア菌の入ったヨーグルトをスプーンでかきまぜて、砕いてから、スプーンで2～3杯とって、牛乳の中に静かに流し入れる。
- ④ 40℃の定温器の中で6～8時間(50℃で4時間でもよい)発酵させると、絹ごしどうふ状に固まったヨーグルトができる。』⁽⁶⁾

観察(1) 乳酸菌を顕微鏡で観察し、スケッチする。

実験(2) 納豆の作成

- 『① 大豆を水につける。(一晩くらい)
- ② 大豆を柔らかくなるまで煮る。
- ③ 柔らかくなった大豆は、熱いうちに前もって熱湯消毒したガーゼを敷いた容器に、深さ2～3cmになるように入れる。その上から納豆菌の懸濁液を表面全体にふりかけた後、熱湯消毒した箸ですばやくかきまぜて、表面の納豆菌を全体にゆきわたるようにする。
- ④ 熱湯消毒したぬれたガーゼを容器の上にかぶせ、ふたは軽くのせて、40℃の定温器の中で15時間程度発酵させる。
- ⑤ 大豆の表面は白いしわのある薄膜でおおわれ、箸で豆に触れたとき、ねばねばした糸が伸びるようなら完成である。糸のひき具合が悪いようなら、45℃くらいに温度を上げてもう少し発酵させる。できた納豆は、冷蔵庫で保存する。』⁽⁶⁾

観察(2) 納豆菌を顕微鏡で観察し、スケッチする。

3. 生徒が実施した生物分野の課題研究

1994年度の高校1年生232人が、1995年2月～3月に実際に行った課題研究の内容をレポートから抜粋し次に示す。

(1) アルコール発酵 (70人)

- ・ブドウ糖、ショ糖、果糖、乳糖など基質を変えて実験をした結果、果糖、ブドウ糖、ショ糖はよく反応し、乳糖は反応がおこらなかった。
- ・みかんジュース、りんごジュース、コーラ、みかん、ポンカン、りんごを利用しても反応が進んだ。
- ・ごはんを基質として実験したが、反応はおこらなかった。
- ・温度を上げたら (40℃くらい)、反応速度が上がった。
- ・中性で最もよく反応した。
- ・酸素を含んでいる方が気体発生量が多いが、アルコールは発生していなかった。
- ・小麦粉を利用して発酵させ、発酵液を蒸留して蒸留酒を作った。
- ・コウボキンを顕微鏡観察し、出芽のようすを観察した。
- ・コウボキンを利用して、パンを作った。

(2) ヨーグルトの作成 (43人)

- ・牛乳に乳酸菌を入れると、発酵によってヨーグルトができた。
- ・食べたら、少し酸っぱかったがおいしかった。
- ・乳酸菌を観察したら、いろいろな形の菌があり、動いているものもあった。
- ・発酵前に比べ発酵後では全体質量が減った。
- ・牛乳の代わりに、ショ糖、ブドウ糖、タンパク質、脂肪を材料として発酵させたがうまく反応がおこらなかった。
- ・温度を変えてみたが、それほど細菌の数に変化はなかった。

(3) 納豆の作成 (34人)

- ・大豆を材料に納豆菌を使って、納豆を作った。
- ・市販されているものより臭かった。
- ・納豆菌は観察できなかった。(点としてしか見えなかった。)
- ・ソラマメを材料にして、納豆菌を使って発酵させた。
- ・グリーンピースを材料にして、発酵させた。

(4) ペーパークロマトグラフィー (20人)

- ・ホウレンソウ、ノリ、ササの葉、クロレラ、花びら、紅葉した葉などの色素を抽出して実験した。
- ・必ずしも4つの色素が分離しなかった。
- ・市販のノリや海藻の場合うまく分離しなかった。
- ・ウメ、ツバキの花びらには葉のような色素はなかった。花びらには光合成をする能力はない。
- ・どの植物でも各色素のR_f値はほぼ同じだった。

◇薬局で市販されているクロレラ(発売元; THB)が少量でカロテン、キサントフィル、クロロフィルa、クロロフィルbが最もはっきり分離し、わかりやすかった。

- ・ジョチュウギクの葉もはっきり分離する。

- ・赤い葉（カナメモチの新芽；いわゆる紅葉ではない）にもクロロフィルがあった。
- ・黄色い葉には、クロロフィルbが少なく、キサントフィルが多かった。
- ◇赤ジソからはカロテン、キサントフィル、クロロフィルa、クロロフィルbの4つの色素が分離した。
- ◇ピーマン（緑の果実）からはカロテン、クロロフィルa、クロロフィルbが分離した。
- ◇ピーマン（赤い果実）からはカロテン、キサントフィルが分離した。
- ◇F I B E - M I N I - P L U S（カロテン入り飲料；大塚製薬）で実験したら、確かにカロテンが分離した。

(5) 洗剤の中の酵素（16人）

- ・酵素入り洗剤の入った試験管の脂肪による乳濁は消えた。よって、リパーゼが入っていると見える。しかし、適温と長い時間を要するので、実際の洗濯に役立っているとはいえない。
- ・加熱（100℃）した後実験したら、反応は進まなかった。酵素は加熱すると失活する。
- ◇アミラーゼ入り洗剤（ニッサン）をデンプンのりに入れ、保温するとベネジクト反応がおこった。アミラーゼがデンプンを糖に分解したといえる。
- ◇そのほか酵素の授業の中では、「調査研究」として身の回りの酵素入り商品を調べさせた。

(6) バターの作成（4人）

- ・酪酸菌や乳酸菌を使わずに、牛乳、生クリーム、すりおろしニンジンを利用して、バターを作った。

(7) 豆腐の作成（3人）

(◇印は教師が考案した実験の結果であることを示している。)

4. 事後アンケートの結果と今後の課題

課題研究を実施後、全クラス（5クラス）の生徒にアンケート（自由記述）をした。その中で、①課題研究をして良かった点 ②課題研究をして困った点 についての生徒の回答で2名以上が書いた項目を整理して次にあげる。回答人数は190人である。

①課題研究をして良かった点

- ・内容の理解が深まったこと（38人）
- ・自分で考えて自由に実験ができること（31人）
- ・自分の好きなテーマ・実験が選べること（22人）
- ・みんなで協力して実験したこと（21人）
- ・自分たちで主体的に実験し結果が出せて成就感があったこと（9人）
- ・身の回りのことについて興味を持つようになったこと（5人）
- ・いろいろな発見ができたこと（4人）
- ・実験器具などの使い方がわかったこと（4人）
- ・理科が好きになれたこと（3人）

- ・ たくさんの実験ができたこと（2人）

②課題研究をして困った点

- ・ 時間が足りなかったこと（50分という授業時間、及び総時間数）（32人）
- ・ 思ったように実験が進まなかった（失敗した）こと（26人）
- ・ 実験器具や薬品をそろえるのが大変だったこと（10人）
- ・ レポートのまとめ方がわからなかったこと（9人）
- ・ 実験の正確さや結果の予測について不安だったこと（7人）
- ・ 同じグループ内で協力しない人がいること（8人）
- ・ 実験の能率、要領が悪かったこと（2人）
- ・ 自分の知識が不足していたこと（2人）

そのほか、課題研究を実施して私自身が問題点として課題を残したのは、次の点である。

- ・ 十分な薬品や実験器具の事前の準備が必要である。
- ・ 1人の教師では個々のグループに対しての薬品などの提示、アドバイスなどの点ですべてに対応できない事態が生じる。
- ・ 班内でやりたいテーマが必ずしも一致しない。（その結果として、）班内で何もせず傍観者になる生徒がでてくる。
- ・ 実験計画書は提出させたのだが、途中経過も報告させる必要がある。
- ・ 生徒の新たな疑問が残ったまま、学期が終了してしまう。
（その疑問を探究することが真の課題研究といえる。）
- ・ 2時間連続の授業を組む必要があるとともに、課題研究に十分な時間を確保する必要がある。
- ・ 課題研究の評価の工夫が必要である。

《参考文献》

- (1) 長澤武ほか、「本校における新教育課程“総合理科”の構想」、中等教育研究紀要第34巻、広島大学附属福山中・高等学校、1994。
- (2) 文部省、「高等学校学習指導要領」、大蔵省印刷局、1989。
- (3) 文部省、「高等学校学習指導要領解説 理科編」、実教出版、1989。

《引用文献》

- (4) 広島大学附属福山高等学校、「総合理科」、広島大学附属福山高等学校、1994、pp.70～108。ただし、引用部分（破線の範囲で下の(5)(6)以外の部分）は拙稿。
- (5) 宇津木和夫ほか、「生物の実験法Ⅲ」、培風館、1982、pp.31～32。
- (6) 西山隆造、「身近なライフサイエンスの実験」、オーム社、1989、pp.64～81。