

高等学校における教科指導の充実

理 科

科目「物理」「化学」「生物」
における指導事例

～指導と評価の一体化を目指して～

栃木県総合教育センター
平成26年3月

まえがき

現代を生きる私たちは、政治・経済・文化・情報・科学・技術など様々な面において状況が絶えず変化する社会の中にいます。今後も、少子化・高齢化の急速な進行や、グローバル化にともなう国際競争の激化、地球規模での環境の変化等が予想されるとともに、世界的に知識基盤社会へと移行しつつあり、新しい知識・情報や的確な判断力、コミュニケーション能力等を身に付けることの重要性がますます増大していくものと思われます。

そのような中で「基礎・基本を確実に身に付け、いかに社会が変化しようと、自ら課題を見付け、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、行動し、よりよく問題を解決する資質や能力」をもち、あわせて「自らを律しつつ、他人とともに協調し、他人を思いやる心や感動する心などの豊かな人間性」や「たくましく生きるために健康や体力」を備えた人間を育成すること、つまり「生きる力」をもつように子どもたちを教育することが求められています。

高等学校においては、平成25年度入学生より新しい学習指導要領が全面実施となっています。この新学習指導要領では、「生きる力」を育むためには、「基礎的・基本的な知識・技能の習得」と「それらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力等の育成」をバランスよく行うことが重要であるとしています。また、「主体的に学習に取り組む態度」の育成も大切です。このように様々な面でバランスのよい教育を実施するためには、指導を計画的に行うとともに、P D C Aサイクルに基づく工夫・改善を進めていく必要があります。また、学習の評価についても、計画的に多角的な観点から生徒を評価するとともに、その評価を次の指導の改善につなげる「指導と評価の一体化」を図ることが求められています。

これらの求めに応じるためには、多くの努力と工夫・改善が必要となります。そこで、栃木県総合教育センターでは、平成17年度から「高等学校における教科指導の充実に関する調査研究」を行ってきました。特に今年度は、学習指導要領の改訂の趣旨を踏まえるとともに、指導と評価の一体化を図るための授業改善について、国語科、数学科、理科、保健体育科、家庭科の各教科で調査研究に取り組みました。教科指導を充実させるために、本冊子を活用し、生徒の学力向上に向けた取組の成果をあげていただきたいと願っています。

最後になりますが、調査研究を進めるに当たり、御協力いただきました研究協力委員の方々に深く感謝申し上げます。

平成26年3月

栃木県総合教育センター所長

金井正

目 次

I 本調査研究の背景	1
1 学習指導要領改訂の基本的な考え方	
2 学習評価の在り方	
II 理科における事例研究	7
1 理科における評価の考え方	
2 「物理」における指導実践例	11
事例 1 生徒の主体性を育む授業展開①	16
～グループ討論を取り入れる～	
事例 2 生徒の主体性を育む授業展開②	22
～プリント学習を取り入れる～	
事例 3 生徒の興味・関心を高めるための実験の例	31
3 「化学」における指導実践例	45
事例 小項目「電離平衡」に関する指導事例	45
～学習内容の定着を図るために～	
4 「生物」における指導実践例	81
事例 1 遺伝情報の発現	83
～生物基礎とのつながりを意識した取組～	
事例 2 バイオテクノロジー	92
～実験からバイオテクノロジーの有用性の理解へつなげる指導～	

※本資料は、栃木県総合教育センターのホームページ「とちぎ学びの杜」内、「調査研究」と「教材研究のひろば」のコーナーにも掲載しています。
「とちぎ学びの杜」 <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>

I 本調査研究の背景

今年度の「高等学校における教科指導の充実に関する調査研究」は、平成21年告示の高等学校学習指導要領の改訂の趣旨を踏まえるとともに、「指導と評価の一体化」等の各教科に求められている課題解決を図るために教科指導の在り方を探ることに重点を置き、国語科、数学科、理科、保健体育科及び家庭科で実施するものである。

各教科で調査研究した内容を次章以降に提示するに当たり、まず、平成21年告示の高等学校学習指導要領改訂の基本的な考え方及び学習評価の在り方について整理する。

1 学習指導要領改訂の基本的な考え方

(1) 教育基本法の改正から、学習指導要領の改訂までの流れ

ア 教育基本法の改正（平成18年）

「科学技術の進歩・情報化・国際化・少子高齢化・核家族化」「価値観の多様化」「社会全体の規範意識の低下」など、昨今の教育を取り巻く環境の変化を受けて、平成18年に教育基本法が約60年ぶりに改正された。

新しい教育基本法では、「人格の完成」や「個人の尊厳」など、これまでの教育基本法の普遍的な理念は大切にしつつ、時代の変化に即した内容を盛り込みながら、

- 知・徳・体の調和がとれ、生涯にわたって自己実現を目指す自立した人間
- 公共の精神を尊び、国家・社会の形成に主体的に参画する国民
- 我が国の伝統と文化を基盤として国際社会を生きる日本人

の育成を目指している。

イ 学校教育法の改正（平成19年）

教育基本法の改正を受けて、学校教育法をはじめとする教育に関する諸法令が改正された。平成19年に改正された学校教育法では、新たに「義務教育の目標」が規定された。また、小・中・高等学校等においては、「生涯にわたり学習する基盤が培われるよう、基礎的な知識及び技能を習得させるとともに、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくみ、主体的に学習に取り組む態度を養うことに、特に意を用いなければならない」と定められた（第30条第2項、第49条、第62条等）。

ウ 中央教育審議会答申（平成20年）

新しく明確にされた教育の基本理念を受けて、平成20年1月に中央教育審議会答申「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」が出された。この答申では、知識基盤社会への移行や、グローバル化による国際競争の激化等、大きく社会構造が変化する中で、ますます「生きる力」が重要であるとしている。

また「生きる力」を支える「確かな学力」「豊かな心」「健やかな体」の調和を重視するとともに、学力の重要な要素は「基礎的・基本的な知識・技能の習得」「知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等」「学習意欲」の三つであるとした。

エ 高等学校学習指導要領改訂（平成21年）

以上の法改正及び答申を受けて、平成20年には小・中学校の、平成21年には高等学校・特別支援学校の学習指導要領が改訂された。小・中学校においてはそれぞれ平成23・24年度から一斉実施、高等学校においては原則として平成25年度入学生から年次進行で実施されている。なお、総合的な学習の時間や数学、理科など一部の教科等では先行実施されている。

(2) 学習指導要領改訂の基本的な考え方

今回の学習指導要領の改訂は、平成20年1月に出された中央教育審議会答申「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」に基づいている。この答申の中では、学習指導要領改訂の基本的な考え方として、改正教育基本法等で示された教育の基本理念を踏まえるとともに、

- ① 「生きる力」という理念の共有
- ② 基礎的・基本的な知識・技能の習得
- ③ 思考力・判断力・表現力等の育成
- ④ 確かな学力を確立するために必要な授業時数の確保
- ⑤ 学習意欲の向上や学習習慣の確立
- ⑥ 豊かな心や健やかな体の育成のための指導の充実

の6点を挙げており、その中でも、特に、②を基盤とした③、⑤及び⑥が重要としている。

これらをまとめると、

- ◇ 大きく変化する社会に生きる中で必要とされる「生きる力」を育むため、「確かな学力」「豊かな心」「健やかな体」の調和のとれた教育をすること **【生きる力】**
- ◇ 「確かな学力」を身に付けるためには、「基礎的・基本的な知識・技能の習得」と、それらを活用して「課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等の育成」をバランスよく行うこと **【習得と活用】**
- ◇ 「学習意欲」を高め、家庭学習も含めた「学習習慣の確立」を図ること **【学習に取り組む態度】**

などが主なポイントとして挙げられる。

2 学習評価の在り方

平成22年3月に、中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会において、「児童生徒の学習評価の在り方について（報告）」（以下「報告」という。）がとりまとめられた。その中で、「学習評価の意義と学習評価を踏まえた教育活動の改善の重要性」について、次のように述べられている。

- 学習評価は、児童生徒が学習指導要領の示す目標に照らしてその実現状況を見ることが求められるものである。学習指導要領は、各学校において編成される教育課程の基準として、すべての児童生徒に対して指導すべき内容を示したものであり、指導の面から全国的な教育水準の維持向上を保障するものであるのに対し、学習評価は、児童生徒の学習状況を検証し、結果の面から教育水準の維持向上を保障する機能を有するものと言える。
 - また、従前指導と評価の一体化が推進されてきたところであり、今後とも、各学校における学習評価は、学習指導の改善や学校における教育課程全体の改善に向けた取組と効果的に結び付け、学習指導に係るPDCAサイクルの中で適切に実施されることが重要である。

特に、「教育水準の維持向上を保障する」という観点で学習評価を見ることは重要であり、単に生徒の成績を付けるために学習評価があるのではないことに留意する必要がある。

(1) 学習評価の基本的な考え方

先ほど述べた「報告」を受けて、同年5月に、文部科学省初等中等教育局長通知「小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校等における児童生徒の学習評価及び指導要録の改善等について(通知)」(以下「改善通知」という。)が出された。

「改善通知」では、「学習評価の改善に関する基本的な考え方」を次のように述べている。

- 学習評価を通じて、学習指導の在り方を見直すことや個に応じた指導の充実を図ること、学校における教育活動を組織として改善することが重要であること。その上で、新しい学習指導要領の下における学習評価の改善を図っていくためには以下の基本的な考え方によつて学習評価を行うことが必要であること。
 - 【1】きめの細かな指導の充実や児童生徒一人一人の学習の確実な定着を図るために、学習指導要領に示す目標に照らしてその実現状況を評価する、目標に準拠した評価を引き続き着実に実施すること。
 - 【2】新しい学習指導要領の趣旨や改善事項等を学習評価において適切に反映すること。
 - 【3】学校や設置者の創意工夫を一層生かすこと。

また、「報告」においては、

- 学習状況を分析的に見る「評価の観点」については、成績付けのための評価だけでなく、指導の改善に生かす評価においても重要な役割。
- そのため、今回、学習指導要領等で定める学力の3つの要素に合わせ、評価の観点を整理することとし、概ね、
 - 【1】基礎的・基本的な知識・技能は「知識・理解」「技能」において、
 - 【2】これらを活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等は「思考・判断・表現」において、
 - 【3】主体的に学習に取り組む態度は「関心・意欲・態度」において、それぞれ評価を行うことと整理。
- 各教科の評価の観点は上に示した観点を基本としつつ教科の特性に応じて設定。

としており、簡潔に言えば次の3点、

- ◇ 観点別学習状況の評価の実施
- ◇ 目標に準拠した評価（いわゆる絶対評価）の実施
- ◇ 指導と評価の一体化

の更なる充実が求められている。

なお、「報告」では、高等学校における学習評価の現状と課題として「(高等学校においては)現在の学習評価の考え方に基づく実践について小・中学校ほど十分な定着は見られない」と指摘し、高等学校においても、評価による指導の改善を図るとともに、評価を通じた教育の質の保障を図るために、観点別学習状況の評価を推進していくことが必要であるとしている。ただし、高等学校においては、各学校の生徒の特性、進路等が多様であることへの配慮も必要としている。

(2) 観点別評価

これまで述べてきたとおり、学力の三要素を適切に評価するために、原則として四つの観点で学習評価を行うことが求められている。

学力の三つの要素	学習評価の観点
○ 基礎的・基本的な知識・技能	「知識・理解」「技能」
○ 知識・技能を活用して課題を解決するためには必要な思考力・判断力・表現力等	「思考・判断・表現」
○ 主体的に学習に取り組む態度	「関心・意欲・態度」

ただし、上の四つの観点を基本としつつ教科の特性に応じて「各教科の評価の観点」をそれぞれ設定している。

これまで、学校においては「ペーパーテストの点数による評価」が中心で、「知識・理解」への偏重があり、更にはいわゆる「詰め込み型の学習」につながる面もあった。また、経済協力開発機構（OECD）が行う「生徒の学習到達度調査（PISA）」などの国際調査の結果から、日本の児童生徒には「読解力」「表現力」「知識の活用能力」「学習意欲」などの面で課題があると指摘された。これらの反省から、小・中学校においては「思考力・判断力」等のペーパーテストには現れにくい学力を適切に評価するための取組がなされ、観点別評価が着実に実施されている。一方、高等学校においては、指導要録に「観点別学習状況の評価」を記載することとはされておらず、観点別評価が小・中学校に比べると定着していない状況にある。

高等学校においても、ペーパーテストだけでなく、日頃から観察、生徒との対話、ノート、ワークシート、学習カード、作品、レポート、質問紙、面接などの様々な評価方法の中から、学習活動の特質、評価の観点、場面などに応じて、生徒の学習状況を的確に評価できる方法を選択することが大切である。

(3) 目標に準拠した評価

以前、小・中学校では児童生徒の成績を集団の中における相対的な位置（順位）により評価する「集団に準拠した評価」（いわゆる相対評価）が行われていた。

平成10年の学習指導要領改訂とともに学習評価の在り方が見直され、現在のような児童生徒一人一人の学習状況を学習指導要領の定める目標に対する実現状況によって評価する「目標に準拠した評価」（いわゆる絶対評価）に改められた。右の図1、図2にそれぞれのイメージを示す。

「集団に準拠した評価」においては、「どのような集団においても学業成績の分布はほぼ同じになる」という考え方方が根底にある。この考えを基にして上位から何%は「評定：5」のように、順位による評定を行うことになる。しかし、実際には集団によって分布に違いがあり、また児童生徒一人一人の達成度を適切に評価する必要から、「目標に準拠した評価」に改められた。

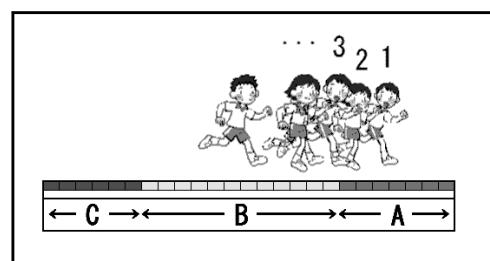


図1 集団に準拠した評価のイメージ

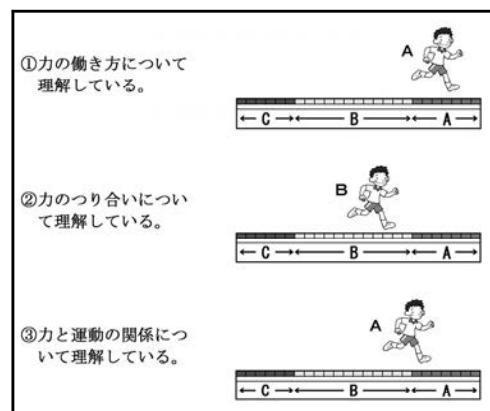


図2 目標に準拠した評価のイメージ

「目標に準拠した評価」においては、「児童生徒一人一人が、学習の目標をどの程度達成しているか」によって評価を行う。そのためには「学習の目標を達成した」とはどのような状況かを各教科の観点別に明確化しておく必要があり、その判断の拠り所とするものを**評価規準**という。評価規準は通常、学習の内容ごとに学習指導要領の定める学習の目標と照らし合わせて「おおむね満足できる状況」を示す。

例えば、理科の科目「物理基礎」の学習内容において、「イ 様々な力とその働き」のうちの「(イ)力のつり合い」の目標は、(学習指導要領より) 次のように設定できる。

◇目標： 物体に働く力のつり合いを理解する。

この目標が、「達成された状況」とはどういう状況であるかを観点別に具体的に示したもののが評価規準であり、例えば、

「関心・意欲・態度」：○身の回りの物体における力のつり合いを考察しようとしている。

「思考・判断・表現」：○物体に働く力がつり合う条件について考察している。

○物体に働く力のつり合いから、未知の力を見いだしている。

「実験・観察の技能」：○力の三要素に留意して、力をベクトルの矢印で表している。

「知識・理解」：○力は、向きをもつベクトル量であることを理解している。

○二つ以上の力について、向きを考えて合成している。

などとなる。これらの評価規準は、各学校において、生徒の実態等を考慮して学習指導計画とともに設定することになる。

なお、評価規準の語尾については、「～しているか。」(疑問形) や「～することができる。」(可能表現)などを用いる例が散見されるが、評価規準は「おおむね満足できる状況」を示すものであるから、原則として「～している。」などとするのが望ましい。ただし、「関心・意欲・態度」の観点のように、「～しようとしている」でおおむね満足できる場合や、教科や内容の特性によっては「～できる」という表現を用いる場合もあり得る。

授業時には、設定した評価規準に照らし合わせて、

A：「十分満足できる」 B：「おおむね満足できる」 C：「努力を要する」

のいずれになるかを判断する。その際に、判断の基準とするものを「評価基準」と言うことがある。例えば、「10問の評価問題中、8問以上を正解した場合をA、6～7問正解した場合をB」としたり、「物体に働く力がつり合う条件について考察していればB、物体の運動状態と関連づけて働く力のつり合いを考察している場合をA」としたりするなどの基準が考えられる。いずれの場合でもBに達しない状況をCとする。

ここで、「評価規準」と「評価基準」という二つの語を使い分けているので注意したい。これらの違いは、前ページの図2において次のように例えると分かりやすい。

評価規準（目標を達成した状況を明確化したもの）＝ものさしの種類

評価基準（評価を出す段階における判断の基準）＝ものさしの目盛

以上のように、各单元（題材）毎に「観点別学習状況の評価」を行い、最終的にはそれを評定へと総括する。

なお、「評価規準の作成、評価方法等の工夫改善のための参考資料～新しい学習指導要領を踏まえた生徒一人一人の学習の確実な定着に向けて～」(国立教育政策研究所教育課程研究センター 平成24年7月)には、各教科ごとの評価規準の設定例や総括の仕方等がまとめられているので、参考にするとよい。

(4) 指導と評価の一体化

既に述べたように、学習評価の目的は、単に生徒の成績を付けるためにあるのではなく、教育の質を保障する役割がある。とりわけ、学習評価の結果から、個に応じた指導を行ったり、学習指導の在り方を見直したりすること、つまり「指導と評価の一体化」が求められている。

学習評価を単に学習指導の結果としてとらえるのではなく、評価を通じて指導の改善を行ったり、組織的な見直しをしたりするなど、指導と評価を一体的に行うことが重要である。そのためには、「成績を付けるための評価」だけでなく「指導に生かす評価」を行い、それを学習指導に係るP D C Aサイクルに組み込むことが大切である。具体的には、

- ① 「指導計画」を立案する際に「評価計画」を立てる。
- ② その際に、評価の観点のバランスに留意する。
- ③ また、総括の資料とする評価（成績を付けるための評価）だけでなく、「指導に生かす評価」を盛り込むよう留意する。
- ④ 評価の結果から、指導上の成果や課題を検証し、次の指導に生かす。
- ⑤ 個々の達成状況の把握から、達成度が不十分な生徒に対して指導の手立てを講じる。

などがポイントとなる。

これらの取組により、次のようなメリットがあると考えられる。

- あらかじめ学習内容の指導計画とともに評価の観点を生徒に示すことにより、生徒にポイントを押された学習をさせるとともに、学習意欲の向上を図ることができる。
- 指導計画とともに評価の観点を明確にすることにより、特定の観点に偏ることなく、バランスの取れた指導をすることができる。
- ペーパーテスト、ノート、レポート、発問等の様々な評価方法の中から、評価の目的・場面等に応じて適切なものを選択することができる。
- 個々の達成状況をこまめに確認することにより、きめ細かい指導をすることができる。
- 評価が計画的・客観的になり、信頼性が高まるとともに、教育水準の保障に寄与する。

ここに挙げたもののほかにも、「指導と評価の一体化」によって、様々な効果を期待することができる。以下では、各教科における指導と評価の一体化の在り方と、実践事例を紹介する。

II 理科における事例研究

1 理科における評価の考え方

(1) 高等学校理科の目標

高等学校学習指導要領（平成21年改訂）の定めている、理科の目標は次のとおりである。

自然の事物・現象に対する関心や探究心を高め、目的意識をもって観察、実験などを
行い、科学的に探究する能力と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解
を深め、科学的な自然観を育成する。

この目標は、これまでの学習指導要領が定めていたものとほぼ同じであるが、観察・実験の際に「目的意識をもって」行うとした表現が加わった。

(2) 評価の4観点

高等学校理科においては、学習評価を次の4観点で行うこととされている。

○関心・意欲・態度

自然の事物・現象に関心や探究心をもち、意欲的にそれらを探究しようとするとともに、
科学的態度を身に付けている。

○思考・判断・表現

自然の事物・現象の中に問題を見いだし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察
し、導き出した考えを的確に表現している。

○観察・実験の技能

観察、実験を行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、
整理し、自然の事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。

○知識・理解

自然の事物・現象について、基本的な概念や原理・法則を理解し、知識を身に付けてい
る。

既述のように、これらはいわゆる「学力の三要素」に関連付けられているが、加えて「理科の
目標」とも強く結びついていることに注目しておきたい。

なお、改訂された学習指導要領の4観点は、以前のものとは若干の違いがある。

【改訂前の観点】

- ① 「関心・意欲・態度」 → 「関心・意欲・態度」
- ② 「思考・判断」 → 「思考・判断・表現」
- ③ 「観察・実験の技能・表現」 → 「観察・実験の技能」
- ④ 「知識・理解」 → 「知識・理解」

【改訂後の観点】

これまで③の観点にあった「観察・実験をする際に、得られたデータをグラフや数式等に表現する力」は「観察・実験の技能」の一部と見なし、これまでどおり③の観点で評価する。一方、新しく②に加わった「表現」は、言語活動等を通して「自分の考えを表現する力」であり、いわゆる「思考力・判断力・表現力」の一部である。これまでの「表現」の観点が③から②に移動したのではないことに注意したい。

(3) 学習活動と評価の観点の関連性

具体的に、学習活動と評価の観点を結びつけるのにはどのようにしたらよいのだろうか。

まず留意したいことは、「学習活動は評価のためにあるのではない」ということである。言うまでもなく、学習活動は学習目標達成のために行うのであり、その達成状況を判断するのが評価である。したがって、「学習活動を通して評価をする」という考え方方が重要であり、「同じ学習活動であっても、時と場が異なれば、評価の観点も異なり得る」ことを認識しておきたい。

例えば、「ある法則の公式についての学習」について考えることにする。その公式を導く過程においては「思考・判断・表現」の観点で評価ができるだろうし、次時にその公式が定着しているかどうかは「知識・理解」の観点になるだろう。また、さらに公式を応用させて解くような場合には「思考・判断・表現」になるだろうし、日常の現象に当てはめて考えさせる場合には「関心・意欲・態度」の観点になるだろう。このように、一つの公式についての学習であっても、評価の観点は一つには定まらない。その題材に評価が結びつくのではなく、その題材を通して生徒の達成状況を多角的に評価するという考え方方が重要である。

(4) 評価規準の設定

単元の学習計画を立てる際に、評価計画を立てることが求められている。その際に、「観点別の評価規準」を明確にすることが重要である。しかし、実際に立てられた評価計画を見てみると、次のような失敗例をよく見かける。

○評価規準の数が多すぎて、実際には機能しない。

○評価規準が細かすぎる。

○評価の内容と観点が一致していない。

そこで評価規準を設定する際に、留意すべきことを述べておきたい。

ア 評価規準の数を絞る

評価規準の数が、具体的にいくつであればよいのかを述べるのは難しいが、少なくとも1時間のうちに四つの観点のすべてを見たり、あまり多くの評価規準を設定するのは、現実的ではない。4観点については、単元全体を通してバランスをとる必要はあるものの、1時間の中にすべてを盛り込む必要はない。むしろ観点を重点化した方が評価しやすいはずである。また、学習指導案を立案する際に、「学習の具体内容」の一つ一つに評価規準を設定するような例も見られるが、あまりに細かすぎてやはり現実的とは言えない。具体的には、「ワークシートの練習問題を解く」という具体内容に対して、「きちんと解けている」といったことを評価規準にするのではなく、その1時間の目標を達成した状況を示すような評価規準を設定するように

するとよい。学習の目標が「練習問題が解けるようになること」ではなく、「科学的に正しい知識を身に付けたり、科学的な考え方ができるようになること」であることを念頭に置くべきである。

評価規準を絞り込むとき、「本時の目標は何か」を考えることが重要である。指導計画を立てる上でも目標の設定は非常に大切であるが、評価計画を並行して立てることにより、そのことが一段と明確になるのである。評価を意識することによって、要点がはっきりした「メリハリの利いた」授業展開ができ、生徒にとってみても分かりやすい授業になる。これも、指導と評価の一体化の利点と言えるであろう。できれば、シラバス等に評価計画を載せることによって、あらかじめ生徒に評価の観点を示し、学習意欲を向上させるような取組をすることが望ましい。

イ 評価規準と4観点との対応を考える

評価規準を設定する際に、「4観点のうちどれに当たるのかがよく分からない」という声を聞くことがある。これまで高等学校においては、観点をあまり意識せずに評価をしてきた例もあり、「評価すべきことは明確であるが観点は不明確」ということもあった。

基本的には、学力の三つの要素にも対応させて、次のように整理するとよい。

- 基本的な概念や原理・法則の理解、基礎的な知識（習得すべき基礎・基本） → 知識・理解
- 観察・実験における基礎的な操作・記録・解析（習得すべき基礎的な技能） → 観察・実験の技能
- 基礎的・基本的な知識・理解を活用して課題を解決する力（いわゆる応用力） → 思考・判断・表現
- 日常生活や社会との関連を考えたり、より深い科学的な探究をしようとする意欲や態度（主体的に学習に取り組む態度） → 関心・意欲・態度

ただし前述のとおり、「基礎的・基本的な内容」であっても、それを「これまでの知識を活用して導き出す場面」などでは、「思考・判断・表現」の観点になる場合がある。例えば、運動エネルギーの公式を、運動方程式や等加速度直線運動の公式等から導く場合などがそれに当たる。なお、4観点は通常「関心・意欲・態度」「思考・判断・表現」「観察・実験の技能」「知識・理解」の順で示すが、評価規準を設定する際には上記のように逆にして考えると分かりやすい。

(5) 指導と評価の一体化

これまで、「指導（授業等）を行った結果として評価がある」という考え方があった。この考え方では「成績付けのための評価」に偏りがちである。しかし、授業の中で生徒の達成度を把握することによって、指導の改善につながる要素をたくさん見いだすことができる。したがって、指導と評価を一体的に行う「指導と評価の一体化」が求められているのである。

指導と評価の一体化を進めるに当たって、留意すべきことを以下にまとめる。

ア 指導計画と並行して評価計画を立てる

バランスのとれた評価を行う上では、評価計画を立てておくことが重要になる。また、先述のように、評価計画を立てることによって、指導の在り方が変わる。計画段階から指導と評価を一体的に行うことが重要である。

イ 指導の際に評価を行い、評価の資料を蓄積する

定期テストや課題の提出などは、評価の資料として重要であることはこれまでと変わらない。しかし、それだけでなく日頃の授業中にも評価の資料を蓄積していくことが大切である。例えば、小テストの実施、ワークシートの工夫、発問の工夫、アンケートの実施などが考えられる。

ウ 指導改善のための評価を行う

評価計画を立てる際に、評定に総括する資料（成績付けの資料とする）だけでなく、指導改善のための資料を集められるよう工夫する。指導改善のための評価とは、

- クラス全体の達成度の概況を把握し、次時以降の授業進度や重点の置き方に反映させる。
- 生徒一人一人の達成状況を把握し、達成が不十分となりそうな生徒に対しては追指導などの手立てを講じる。
- 生徒の理解度等から、これまでの指導法についてチェックをして、教師自身の課題を見いだす。

などの目的で行う評価である。

学習指導案などに評価計画を入れる際には、「評定に総括する際の資料とする評価規準」と「主に指導改善を目的とし、評定に総括する際の資料としない評価規準」を分けて記すとよい。前者については、シラバス等に盛り込んで生徒や保護者に示すことにより、生徒の学習意欲を向上させるとともに、授業の質の保証につなげたい。後者については、生徒や保護者に示す必要はないが、指導者側が指導の際に念頭に置いたり、複数の指導者で共通理解を図る際に不可欠なものである。

エ 評価の結果を指導の改善に生かす

言うまでもなく、評価をするだけでなく、その結果を次の改善に生かすことが重要である。

以上の、ア、イ、ウ、エはそれぞれP（計画）、D（実行）、C（評価）、A（改善）に対応している。指導と評価をPDCAのサイクルに一体的に取り込む工夫が「指導と評価の一体化」である。

以下の章では、科目「物理」「化学」「生物」における実践事例をそれぞれ紹介する。

2 「物理」における指導実践例

はじめに、これまでの授業についてのアンケートを実施した。質問は5つでそれぞれ回答を選択した上で、その理由を自由記述で答えさせた。以下はその結果をまとめたものである。

(回答した生徒：43名)

これまでの授業（単元は単振動）について

①授業の目標を達成することができましたか。

回答	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかつた	できなかつた	無回答
数	6人	21人	10人	3人	3人	0人
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> ワーク等を利用して、理解を深めたから。 イメージがしやすかったから。 単振動が円運動の正射影ということを聞いたらよく分かった。 	<ul style="list-style-type: none"> 授業が分かりやすかった。ただ、板書及び教科書なしで公式の求め方が分からぬるものもある。 実験などを取り入れてやって欲しかった。 復元力について多少復習が必要だから。 理解は概ね出来たが、まだ経験値が足りない。 	<ul style="list-style-type: none"> 復習が足りなかつたから。 運動のイメージがよく出来なかつたりした。 家の問題演習が足りなかつた。 あまりよく理解していない部分があるから。 数学で習っていないう公式などを使わせて、よく理解できなかつたところもあったから。 目標の内容が少し難しかつたから。 	<ul style="list-style-type: none"> うろ覚えだったから。 問題を解く量が少なかつた。 勉強不足。 	<ul style="list-style-type: none"> 板書を写して終わつた。 授業が早かつた。 どの単元も初めをゆっくり詳しく説明してほしい。 	

②これまでの授業の理解度はどの程度ですか。

回答	ほぼ全て理解している	7割程度理解している	あまり理解していない	ほとんど理解していない	無回答
数	4人	24人	13人	2人	0人
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> 教科書の内容は特に難しくないから。 	<ul style="list-style-type: none"> 文章ばかりでイメージがよくできないところがあつた。 習つたことを応用することが難しい。 たまに慣れないと考えを使って物理現象を説明し、公式を導くことがあるから。 話すスピードが速く、理解できないのにどんどん進んでしまい、置いて行かれる。 物理の内容が難しく、ところどころ理解できていないところがあるから。 板書を写すだけになりがちであった。 忘れているところがあるから。 説明が丁寧だから。 公式を導くまでをもつと丁寧に教えてほしかつた。 	<ul style="list-style-type: none"> 板書だけで終わつてしまつた。 聞いて数秒で頭から抜けていく。 板書量が多く、追いつかない。 あまり聞いていなかつた。 内容が難しく、頭に入らない。 記憶力が悪いから。 ぼーっと板書を書き写していたから。物理の授業というより、ノートを取る練習になつた。 初めの頃は理解出来ていたが、試験ができなく、自信を失つてしまつた。 	<ul style="list-style-type: none"> 難しいから。問題を解く時間が短いから。 	

③これまでの授業を振り返り、授業に対して積極的に参加することができましたか。

回答	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかった	無回答
数	6人	19人	11人	5人	2人	0人
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> 物理の学習が好きだから。 物理を出来るようにしたいから。 難しい内容だったので、しっかり話を聞くことができた。 	<ul style="list-style-type: none"> 力を求めたりするのがおもしろく、物理の授業が楽しいから。 板書を写すだけになりがちだった。 説明が分かりやすかった。ただ、板書を写すだけのときもあった。 授業をよく聞かないと全く理解できないという不安から。 発言に積極性がなかった。 積極的に参加しないと分からなくなるから。 物理が出来るようになりたいから。 授業で頑張らないと、理解できないから。 	<ul style="list-style-type: none"> ただ板書を写すだけということがあったから。 ノートに写し、理解するのに精一杯だったから。 問題を自力でやっていないから。 授業に、生徒の能動性・主体性がなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> 受け身になってしまった。 板書を写すだけで精一杯。 		

④これまでの授業を振り返り、内容の理解を深めることができましたか。

回答	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかった	無回答
数	5人	14人	16人	6人	2人	0人
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> どうなるかを考えることが出来たから。 教科書の内容を理解出来たから。 	<ul style="list-style-type: none"> 復習を頑張ったから。 説明が分かりやすかった。 質問をすると、さらに詳しく説明してもらえたから。 授業が楽しかったから。 	<ul style="list-style-type: none"> ただ板書を写していくだけだった。 普通の授業だったから。 ノートに写し、理解するのに精一杯だったから。 分からぬことが増えてきたと感じたから。 どのタイミングでどの公式を使うかが分からなかったから。 問題演習が足りないから。 書くことが多く、理解しきる前に次へ行ってしまうから。 	<ul style="list-style-type: none"> 問題を自力で解いていないから。 公式の丸暗記になってしまった。 応用力を身につけることが出来なかったから。 		

⑤これまでの授業を振り返り、あなたは物理現象をきちんとイメージすることができましたか。

回答	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかった	無回答
数	8人	17人	9人	6人	3人	0人
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> 今までの経験に、授業の内容が加わったから。 よく先生が再現してくれるから。 新しい単元に入るときの、イメージの説明が分かりやすいから。 物理に興味を持ったから。 絵や図がきれいで見やすいため。 	<ul style="list-style-type: none"> 板書されるから。 体を張ってイメージを伝えようと頑張っているから。 説明が分かりやすい。 授業に出てくる図や実験のおかげでイメージしやすいから。 	<ul style="list-style-type: none"> 同じような公式があつたりして間違いやすいから。 あまり考えないままであるような気がする。 書くことの方が多いから。 教科書を読んだだけではよく理解できなかったから。 	<ul style="list-style-type: none"> どうしても公式だけで考えてしまうから。 	<ul style="list-style-type: none"> 実験がない。教科書だけでは分からないから。 	

(1) アンケート結果から見えてきたこと

アンケート結果から以下のようなことが見えてきた。

- 板書を写すだけで終わってしまう生徒が半数近くいる。
- 問題演習が少なく、力がついていないと感じている生徒がいる。
- 自ら考える時間が少ない。
- 実験が少ないため、イメージがしにくいところがある。

そこで以下のような点を改善することを意識して、事例研究を行うこととした。

- ① 実験を多く取り入れて、イメージを大切にする。
- ② 生徒が自ら考える時間を意識的に取り入れる。
- ③ 問題演習の時間を意識的に多く取り入れる。

(2) 事例の紹介

生徒のアンケートの結果を受けて指導改善を行なった3つの事例について紹介する。各事例はいずれも、科目「物理」で、「単振動」に続く「熱と気体」の単元とした。

事例1 生徒の主体性を育む授業展開① ~グループ討論を取り入れる~

「生徒が自ら考える時間」を重視するため、気体分子運動論の授業をグループ討論形式で展開した。

事例2 生徒の主体性を育む授業展開② ~プリント学習を取り入れる~

さらに「生徒一人一人が自ら考える時間」を重視するため、気体の状態変化の授業をプリント学習の形式で展開した。

事例3 生徒の興味・関心を高めるための実験の例

「実験を多く取り入れてイメージを大切にする」ため、熱と気体の単元で実施できる簡単な実験を実施した。

- ① 気体分子をイメージさせるための演示実験
- ② ボイルの法則・シャルルの法則の演示実験
- ③ 定量的なボイルの法則の演示実験
- ④ 断熱変化の演示実験
- ⑤ 生徒実験「絶対零度を求めよう！～シャルルの法則の検証実験～」

○ 単元の指導計画及び評価計画

今回、事例研究を行った単元「熱と気体」の指導計画及び評価計画を次に示す。なお、○で囲んだ授業は、紹介する事例に当たる部分である。

学年・組	普通科 2年○組(男子44名)
------	-----------------

1 単元名

熱と気体

2 単元の目標

気体について成り立つ法則や、微視的な立場から見た物質の熱的な性質及び熱力学第一法則を理解する。

3 単元の指導観

(1) 生徒の実態 (省略)

(2) 指導の方針

- 気体の圧力・体積・温度などの巨視的な見方をしたときに表される物理量を、気体の分子運動という微視的な見方と結びつけることに重点を置く。特に気体の分子運動をイメージできるようとする。
- アンケート等を通じて生徒の理解度を把握しながら、指導の改善を試みる。

4 単元の観点別評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
<ul style="list-style-type: none"> ○気体の圧力や温度などについて、身の回りの現象と関連付けて探究しようとしている。 ○熱・仕事の出入りと、気体の内部エネルギーの変化から、熱機関について意欲的に探究しようとしている。 	<ul style="list-style-type: none"> ○気体の状態方程式を用いて、圧力・体積・温度について考察している。 ○気体分子の運動という微視的な見方と、気体の巨視的な量を結びつけて考察している。 ○気体の状態が変化するとき、圧力・体積・温度・内部エネルギーなどの量が、それぞれどのように変化するかについて考察している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○気体の圧力・体積・温度などを適切に測定している。 ○有効数字を考慮してデータを記録している。 ○得られたデータを目的に沿って分析している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○気体の圧力・体積・温度などの量について、ボイル・シャルルの法則などの基本的性質を理解している。 ○気体の圧力や内部エネルギーを気体分子の運動と関連づけて理解している。 ○定積・定圧・等温の条件下における気体の状態変化についてそれぞれの特徴を理解している。 ○熱力学第一法則や熱機関の効率など、エネルギーに関する基本的性質について理解している。

5 指導計画及び評価計画（15時間）

時	学習内容	学習活動	ねらい	関	思	技	知	評価規準	評価方法
1 2 3	気体の法則 ・気体の圧力 ・ボイル・シャルルの法則 ・理想気体の状態方程式	・気体の圧力について考察する。 ・ボイル・シャルルの法則について理解する。 ・理想気体の状態方程式を導出する。	気体の圧力と温度、体積の関係を調べ、ボイル・シャルルの法則から、理想気体の状態方程式が得られるることを理解する。	○			◎	気体の圧力や温度、体積との関係について、身の回りの現象と関連づけて探究しようとしている。	発問
								気体の圧力について、ボイル・シャルルの法則などの基本的性質を理解している。	小テスト
								状態方程式を用いて、気体の圧力・体積・温度について考察している。	発問
④ 5 6	気体分子の運動 ・分子運動と圧力 ・平均運動エネルギーと絶対温度 ・単原子分子と二原子分子	・気体分子の運動を力学的に扱い、気体の圧力を表す式を導くことができるようとする。また、この式と理想気体の状態方程式とから、気体分子の運動エネルギーの平均値が絶対温度に比例することを導く。	気体分子の運動を力学的に扱い、気体の圧力を表す式を導くことができるようとする。また、この式と理想気体の状態方程式とから、気体分子の運動エネルギーの平均値が絶対温度に比例することを理解する。	○			◎	壁に分子が衝突することから分子の運動量の変化、壁が受ける力積から壁が受ける平均の圧力を考察している。	学習プリント (グループ討論) 事例 1
								気体分子の運動という微視的な見方と、気体の巨視的な量を結びつけて考察している。	学習プリント (グループ討論)
								気体の圧力・内部エネルギーを気体分子の運動と関連づけて理解している。	小テスト
⑦ ⑧ 9 10 11 12 13	気体の状態変化 ・気体の内部エネルギー ・熱力学第一法則 ・気体の状態変化 ・気体のモル比熱 ・熱機関と熱効率	・一定量の理想気体の内部エネルギーが、絶対温度に比例することを理解する。 ・気体の定積変化、定圧変化、等温変化、断熱変化について理解する。 ・気体のモル比熱として、定圧モル比熱と定積モル比熱について理解するとともに、両者の間に成り立つ関係式を導く。 ・熱機関のしくみについて理解するとともに、熱力学第一法則及び熱力学第二法則などと関連づけて、熱機関の効率について考察する。	理想気体の内部エネルギーは分子の運動エネルギーの総和であることから、内部エネルギーが絶対温度に比例することを導く。 熱力学の第一法則を用いて、気体の状態変化の仕方によって気体のモル比熱が変わることを理解する。 熱機関のしくみについて理解するとともに、熱力学第一法則及び熱力学第二法則などと関連づけて、熱機関の効率について考察する。	○	◎		◎	気体の状態の変化にともなって、圧力・体積・温度・内部エネルギーなどの量がどのように変化するかについて考察している。	学習プリント (個人学習) 事例 2
								定積・定圧・等温の条件下における気体の状態変化についてそれぞれの特徴を理解している。	学習プリント
								断熱圧縮・断熱膨張の実験の様子を積極的に観察し、知識と結びつけようとしている。	観察 事例 3
					○		◎	单原子分子理想気体の定積モル比熱、及び定圧モル比熱の値について考察している。	学習プリント (個人学習)
								熱・仕事の出入りと、気体の内部エネルギーの変化から、熱機関について意欲的に探究している。	発問
								熱力学第一法則や熱機関の効率など、エネルギーに関する基本的性質について理解している。	小テスト
⑭ ⑮	熱・気体に関する探究活動	・熱や気体に関する実験を行い、熱、気体について探究する。	熱や気体についての実験を通して、科学的に探究する方法を学ぶ。		○	○	○	気体の圧力・体積・温度などを適切に測定している。	生徒実験 事例 3
								有効数字を考慮してデータを記録している。	レポート 生徒実験
								得られたデータから目的に沿って考察し、結論を導いている。	レポート 生徒実験

※評価規準については、次の二つを記号によって区別した。

◎で表したもの：単元の総括の資料とするための評価規準

○で表したもの：主に指導改善のための評価規準で単元の総括の資料としない

事例 1 生徒の主体性を育む授業展開①

～ グループ討論を取り入れる ～

生徒による授業アンケートの結果から見えてきたことは、板書を写すだけの受身の生徒が少なくなっていることであった。そこで「生徒が自ら考える授業」「積極的に取り組む授業」にするためにはどのような展開が良いのか考え、グループ討論を取り入れた授業を実践してみることにした。

具体的にはプリントを完成させる形で、分からぬ場合には教科書を見ても良いこととし、気体の分子運動を力学的に考察することによって圧力を表す式を導かせることにした。なお、次の時間には板書を利用して、プリントの内容の確認を行った。

○本時の展開（第4時限）

本時の題目		分子運動と圧力			
本時の目標		○気体分子の運動について考察することにより、気体の圧力が生み出されるしくみを知る。 ○グループ活動により、話し合ったり互いに教え合うことを通して、積極的に探究する能力と態度を養う。			
	学習内容	時間	学習活動	指導上の留意点	評価
導入	本時の目標の確認	15分	○気体分子が壁に衝突することで、気体の圧力が生じることをイメージする。 ○気体分子の運動から圧力を導くための大まかな流れを理解する。 ○討論をするグループをつくる。	・ CGアニメーションを見せて、イメージしやすくなる。 ・ まず1つの分子に注目して、壁との衝突について考察させる。 ・ 互いに話し合ったり、教科書を見ながら、自分たちの力で式を導くよう指導する。	
展開	グループ討論 ①ある1つの分子に着目して、壁Sとの衝突で1回当たりに与える力積を求める。 ②この分子が、時間tの間に壁Sと衝突する回数を求める。 ③この分子が、壁Sに与える平均の力の大きさを求める。 ④壁SがN個の分子から受ける力の大きさから、気体の圧力を求める。	30分	○教科書を見たり、話し合いをしながらプリントの課題を解き、気体の圧力の式を導く。	・ 机間指導を行い、必要に応じて指導・助言をする。	○話し合いを通して、積極的に探究しようとしている。【関・意・態】 ○壁に分子が衝突することから分子の運動量の変化、壁が受ける力積から壁が受ける平均の圧力を考察している。 【思・判・表】
まとめ	進捗状況の確認	5分	・ 次回の学習内容について確認する。 ・ 各班の中で理解出来なかつた事項について確認する。 ・ プリントをまとめる。	・ 次回板書を利用して、本日の学習内容について確認することを予告する。 ・ 各班の進捗状況について確認する。	

気体分子運動論

気体の分子は、弾丸のような速さで、いろいろな向きにいろいろな速さで飛んでいる。分子は、容器の壁に衝突してはね返るとき、壁に力を及ぼす。その力を計算して、気体の圧力を求めてみよう。

図1のように、1辺の長さが L 、体積 $V (=L^3)$ の立方体容器の中で、質量 m の分子が N 個飛び回っている。

このとき、気体の圧力 p が次式で表されることを導く。

気体の圧力

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$$

(ただし、 $\rho = \frac{Nm}{V}$ ……気体の密度)

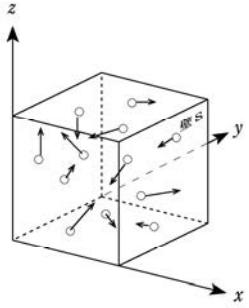


図 1

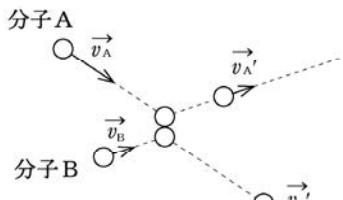


図 2

ここで、分子と壁との衝突、及び分子どうしの衝突については完全弾性衝突 ($e=1$) であるものとする。分子の質量はすべて m で等しいので、分子どうしの衝突は無視することができる。

※質量が等しい物体が完全弾性衝突をする場合、図2のように分子Aの衝突後の速度 v_A' は、分子Bの衝突前の速度 v_B に等しくなる。同様に、 v_B' は v_A に等しく、衝突前後でそれぞれの分子の速度が交換されることになる。したがって、分子どうしの衝突の影響は考えなくてもよい。

図1のように、立方体の各壁面と垂直になるように座標軸をとり、 x 軸と垂直な壁面Sに着目する。

まず速度 $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$ で運動する、ある1つの分子に着目して考えよう。

① 1回の衝突で分子が壁Sに及ぼす力積の大きさを求める。

point 1

分子は衝突の際、 x 軸方向にしか力を受けないので、衝突前と衝突後で速度の y 成分、 z 成分は変化しない。（図3参照）

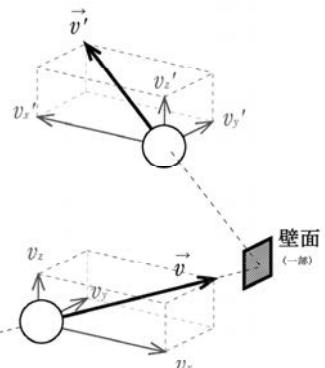


図 3

問題 1

速度 $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$ で運動する分子が1回の衝突で壁Sに及ぼす力積の大きさを運動量と力積の関係から求めよ。

したがって1回の衝突で分子が壁Sに及ぼす力積の大きさは

(a)



である。

- ② この分子が時間 t の間に壁 S に衝突する回数を求める。

point 2

分子の x 軸方向の速度成分の大きさは v_x のまま変化せずに一定である。

問題 2

この分子が 1 往復するのにかかる時間を求めよ。

問題 3

この分子が単位時間（1秒間）に壁Sに衝突する回数を求めよ。

したがって 時間 t [s] の間に分子が壁 S に衝突する回数は $\frac{N}{t} \cdot \sigma A$ である。

- ③ この分子 1 個が壁 S に及ぼす平均の力の大きさ f を求める。

これまでの考察①②より、時間 t にこの分子が壁に及ぼす力積の総和は、

$$f \times t = (\text{1回の衝突で与える力積}) \times (\text{時間 } t \text{ での衝突回数}) = \boxed{} \times \boxed{}$$

(a) (b)

であるから、壁に与えた平均の力の大きさは

$$(c) \quad f =$$

次に N 個の分子について考えよう。

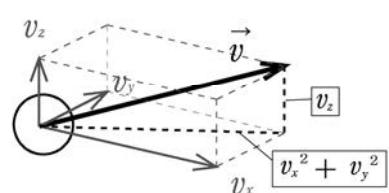
- #### ④ 壁 S が N 個の分子から受ける圧力

壁 S が N 個の分子から受ける力の大きさ F は、気体分子全体の v_x^2 の平均値を $\overline{v_x^2}$ とすると、

(c) 式より、 $F = N \times$ [] よって圧力 p は $p = \frac{F}{L^2} =$ [] \cdots (A)

ここで $\overline{v_x^2}$ の値について考える。図 4 のように、1 個 1 個の分子の速度の大きさ（速さ）と各成分の間には、 $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ の関係が成り立つので、全分子の平均値でも $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$ が成り立つ。

また、分子の個数 N はきわめて大きく、分子は特定の方向にかたることなく不規則に運動しているから、各方向成分の平均値は等しい。つまり $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$ が成り立つ。



4

よって、 $\overline{v_x^2}$ を $\overline{v^2}$ で表すと、 $\overline{v_x^2} =$ …… (B)

(B)の結果を(A)式に代入して、圧力を求めると、 $\mu \equiv$

$$= \frac{1}{3} \rho \overline{v^2} \quad \dots \quad (C)$$

分子の熱運動と絶対温度

(C)式: $p = \frac{N m \bar{v}^2}{3 V}$ より \rightarrow (ア)ミクロの関係式 $p V =$

理想気体の状態方程式 より \rightarrow (イ)マクロの関係式 $p V =$

(ア)(イ)式より、気体分子のもつ平均の運動エネルギーは、

$$K = \frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} \times \frac{n R T}{\boxed{}}$$

ここで、アボガドロ数を N_A とすると、分子の個数 N は、 $N = n N_A$ と表されるから、

$$K = \boxed{} \cdots \cdots \cdots \text{(D)}$$

$$= \frac{3}{2} k T \quad (\text{ただし、 } k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K : ボルツマン定数})$$

問題 4

この結論から分かることを、分子の運動エネルギーに着目して考えてみよう。

気体分子の運動エネルギーの平均値は によって決まる。

したがって、気体の温度が高いほど、

分子の熱運動が ということが分かる。

(D)式より、およその気体分子の速さを知ることができる。

$$\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3 R T}{2 N_A} \quad \text{だから、}$$

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3 R T}{m N_A}}$$

さらに、気体の分子量を M とすると、

$$\begin{aligned} m N_A &= (N_A \text{ 個の分子の質量の総和}) \\ &= (\text{気体 } 1 \text{ mol の質量}) = M [\text{g}] = M \times 10^{-3} [\text{kg}] \end{aligned}$$

だから、

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3 R T}{M \times 10^{-3}}} \quad \text{となる。}$$

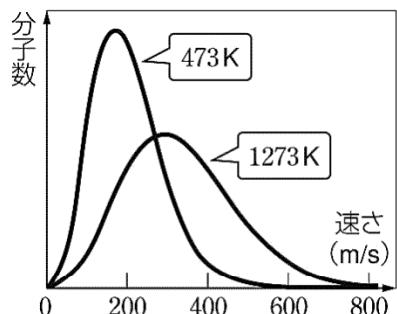


図 5 気体分子の速さの分布

このグラフから温度が上がるほど分子の速さの分布が広がるとともに、速さの平均値が大きくなることがわかる。

この量は「2乗平均速度」と呼ばれ、速さの平均値の目安になる。

今回も授業終了後に生徒たちにアンケートをとった。以下はその結果である。

(回答した生徒：42名)

今回の授業（グループ討論形式）について

①授業の目標を達成することができましたか。

回答 数	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかつた	無回答
7人	22人	8人	4人	1人	0人	
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> ・教科書とプリントの2つの方向から理解を深められたから。 ・自分で計算をしたから。 ・グループで行ったので、疑問をすぐに解決することができたから。 ・集中して授業を受けられたから。 	<ul style="list-style-type: none"> ・自分で悩みながら行つたから。 ・運動量と力積の関係について思い出せた点が良かったから。 ・イメージ図などを見たから。 ・友人と話しあつたりしたから。 ・プリントの空欄を埋めることができたから。 ・詳しい説明が少し足りなかった気がする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ところどころ詳しいことが分からないところがあるから。 ・内容が高度であつた。 ・分かったところと分からないところがあつた。 ・あまり理解できなかつたから。 ・教えてもらえば理解できるが、自分だけでは分からなかつたから。 	<ul style="list-style-type: none"> ・自分たちで考えていることが、正しいかがよく分からなかつたから。 ・プリント学習は身が入らないから。 		

②自分たちで考え、最終的な結論に達することができましたか。

回答 数	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかつた	無回答
12人	19人	6人	2人	1人	2人	

③今回の授業を振り返り、授業に対して積極的に参加することができましたか。

回答 数	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかつた	無回答
15人	15人	6人	2人	0人	4人	
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> ・友達が説明してくれたからやる気が出た。 ・友達と話を理解が深まった。 ・友達同士なので、どんどん言い合うことが出来た。 ・グループ内で積極的に意見を出すことができた。 ・1人では分からぬところも、何人かでやれば分かるから。 ・友達と考えながら出来たから。 ・自分でやる所が多く、いろいろいじって公式を導くのが楽しかった。 ・討論だと自分の疑問が簡単に言えるから。 ・話し合うことで眠気が起きた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・答えにたどりついたから。 ・考えなければ周りにおいて行かれるから。 ・1対1しつかりと理解出来たから。 ・自分のスピードで出来たから。 ・少し人に頼ってしまうところがあったから。 	<ul style="list-style-type: none"> ・プリントをやるだけなら、説明してもらった方が時間に無駄がなかった。考えることは出来たが、少しでも例題等にあててほしい。 ・真面目に行つた時間もあったし、そういうときもあった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・友達に教えてもらってばかりだったから。 ・グループの人との討論がうまくできなかつた。 		

④今回の授業を通して、内容の理解を深めることができましたか。

回答	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかった	無回答
数	5人	19人	10人	4人	0人	4人
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> 分からぬところを友達に聞けたから。 自分だけの考えだけでなく、友達の意見も聞くことができて、より正確に考えられたから。 	<ul style="list-style-type: none"> 分からぬことを分からぬままにするのではなく、聞くことが出来たから。 分からぬ部分について話し合うことが出来たから。 分からぬところをすぐ解決出来たから。 スライドなどを用いることで理解が深まったから。 友達に教わったから。 	<ul style="list-style-type: none"> いつもの授業との違いを実感出来なかつた。 結局友達の答えを見てしまつた。 考えづらかつた。 	<ul style="list-style-type: none"> 内容が難しかつたから。 		

⑤今回の授業について、どの程度満足することができましたか。

回答	満足	どちらかといふと満足	どちらとも言えない	どちらかといふと不満	不満	無回答
数	10人	13人	10人	4人	0人	5人
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> 板書ばかりだと、ぼーっとしてしまうことも多いが、グループだと集中できた。 自分でやるので、何となく授業が過ぎていかず、頭に良く残った。 新鮮だったから。 受け身というよりは、積極的に授業に取り組めたので良かった。 互いに分からぬところをフォローし合えるから。 自分たちのスピードで分かるまでやることが出来るから。 	<ul style="list-style-type: none"> 普段一人では分からぬようなところが協力して分かったから。 予習のように教科書をやつてから授業を受けると分かりやすいし、飲み込みやすいから、理解しやすい。 実験をするとイメージしやすいし、公式も覚えやすいので実験を増やしてほしい。 公式を導き出すプリントでお互いにそれぞれ分からなかつたところを教え合えたし、どちらも分からなかつたときも協力して理解できるようになった。理解しやすい授業だったと思う。 自分一人では気づけないことがあつたから。 友達と考えながらやる事で疑問が解決できた。 	<ul style="list-style-type: none"> 最終的には教科書に頼ってしまったから。 ふざけてしまうから。 自分で考えた方がいい面と、他人から言わされた方がいい面とどちらもいい面があるから。 	<ul style="list-style-type: none"> 先生から教えてもらう方が効率がいいと思ったから。 あまり深くまで理解できなかつたから。 勉強は基本一人でするもの。分からぬ時は誰かに聞くが話し合いはあまり効果がないと思う。 式だけ埋めようとするので本質的な理解が少ない。 		

今回の結果からは、

- 自分たちで考えることによって、より深く理解できる生徒が増えた。
- 討論しながら進めることで、疑問点がその場で解決できた。
- グループで討論することが楽しかった。

などのメリットがあった反面、

- 教師に教えてもらう方が効率的
- 友達の答えを写しただけで、結局自分では考えていない生徒がいた。

などのデメリットもあった。

事例 2 生徒の主体性を育む授業展開②

～ プリント学習を取り入れる ～

事例 1 のアンケートの結果から、お互いに教え合うことで理解が深めることができたとする生徒がいる一方で、結果的に友達のプリントを写すだけで終わってしまった生徒がいることが分かった。そこで次に、グループ学習とはせずに個人でプリントに取り組ませ、その後その部分の内容を黒板を使用して説明するという方法で授業を行った。このようにすれば、一度自分の頭で考えることになるので、どこが分かりどこが分からぬいか自分で把握した上で授業に取り組むことになり、板書を写すだけの受身になることなく、主体的に取り組むことができると考えた。

以下は、授業の展開例である。また、次に使用したプリントを示す。

○本時の展開（第7時限）

本時の題目		気体の状態変化			
本時の目標		○気体の状態変化で圧力・体積・温度・内部エネルギーなどの量がどのように変化するか理解を深める。 ○プリント学習を行うことで、自ら考える能力と態度を養う。			
	学習内容	時間	学習活動	指導上の留意点	評価
導入	導入 本時の目標の確認	10分	○気体の状態変化には、主に4つの状態変化があることを確認する。 ○それぞれの状態変化では何が一定で、どのような状況になるのかイメージする。	・気体の状態変化について何が一定になるかを確認させる。 ・それぞれの状態変化での、ピストンの状況等について注目させる。 ・それぞれの状態変化を詳しく見ていくことを予告する。	
展開	気体の状態変化 ①定積変化 ②定圧変化 ③等温変化	35分	○プリントを利用して、定積変化、定圧変化、等温変化についてまとめる。 ○定積、定圧、等温変化についての解説を聞き、それぞれの変化において圧力・体積・温度・内部エネルギーなどの量がどのように変化するかについて理解する。	・分からぬ場合は、教科書を見て考えるよう指示する。 ・机間指導を行い、必要に応じて指導・助言をする。 ・気体がした仕事、熱力学第一法則、p-V図について確認する。 ・プリント記入→解説、プリント記入→解説、というように一つずつ理解させる。	○気体の状態の変化にともなって、圧力・体積・温度・内部エネルギーなどの量がどのように変化するかについて考察している。 【思・判・表】 ○気体の状態変化について、自らの力で考察しようとしている。 【関・意・態】
まとめ	本時のまとめ	5分	○定積、定圧、等温変化について確認する。 ○次回、断熱変化について考えることを確認する。 ○プリントをまとめる。	・本時の学習内容について確認させる。 ・次回の学習内容について確認する。	○定積・定圧・等温の条件下における気体の状態変化についてそれぞれの特徴を理解している。 【知・理】

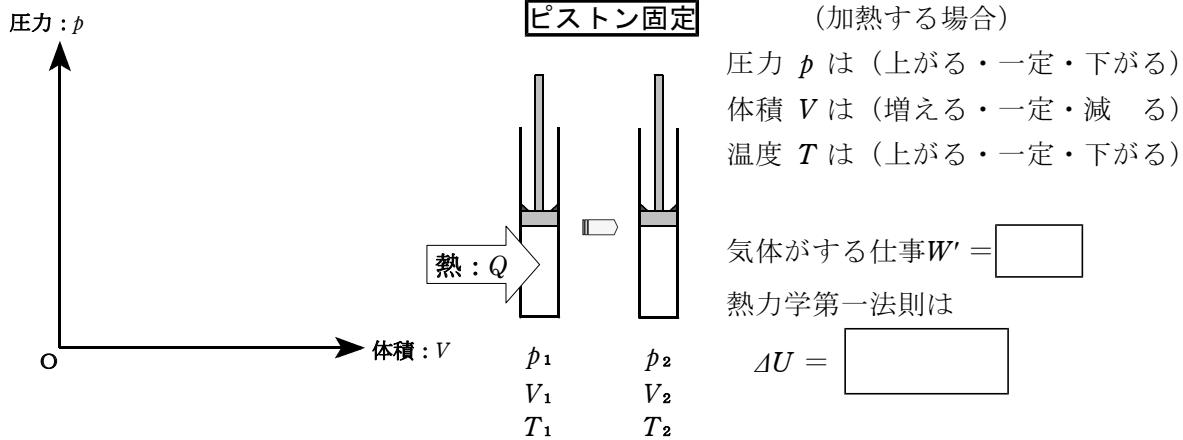
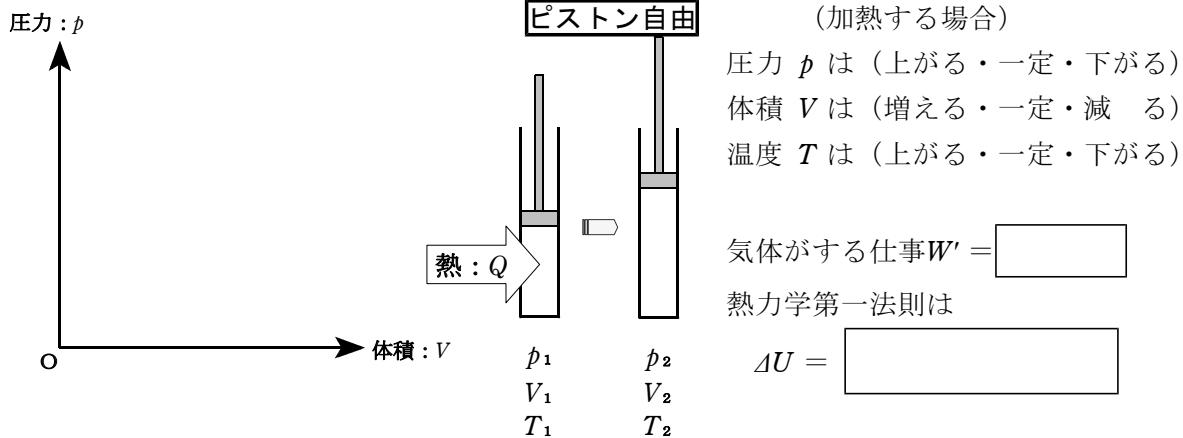
(第8時限)

本時の題目		気体の状態変化			
本時の目標		<ul style="list-style-type: none"> ○気体の状態変化で圧力・体積・温度・内部エネルギーなどの量がどのように変化するか理解を深める。 ○プリント学習を行うことで、自ら考える能力と態度を養う。 			
	学習内容	時間	学習活動	指導上の留意点	評価
導入	前時の復習	5分	<ul style="list-style-type: none"> ○定積、定圧、等温変化について確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・指名しながら、前時の学習内容が定着しているか確認する。 	
展開	気体の状態変化 ④断熱変化 <ul style="list-style-type: none"> ・演示実験 ・問題演習 	15分 10分 15分	<ul style="list-style-type: none"> ○プリントを利用して、断熱変化について考察する。 ○断熱変化についての解説を聞き、膨張・圧縮それぞれの変化において気体がされる仕事、内部エネルギー及び温度などがどのように変化するかについて理解する。 ○断熱圧縮の実験を観察し、断熱圧縮では気体の温度が上昇することを確認する。 ○断熱膨張の実験を観察し、断熱膨張では気体の温度が下降することを確認する。 ○教科書の問題演習を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・分からぬ場合は、教科書を見て考えるように指示する。 ・机間指導をして、指導・助言をする。 ・気体がされる仕事、熱力学第一法則、p-V図について確認する。 ・断熱膨張及び断熱圧縮において、気体がされる仕事、内部エネルギー及び温度の変化量が正または負のどちらになるかを確認させる。 ・断熱圧縮・断熱膨張の実験の様子を観察させて、それぞれの変化で温度がどのように変化したかを学習内容と結び付けられるよう指導する。 ・机間指導をして、指導・助言をする。 	<ul style="list-style-type: none"> ○断熱変化において、気体がされる仕事・内部エネルギー・温度などの量がどのように変化するかについて考察している。 【思・判・表】 ○断熱圧縮・断熱膨張の実験の様子を積極的に観察し、知識と結びつけようとしている。 【関・意・態】
まとめ	・本時のまとめ	5分	<ul style="list-style-type: none"> ○断熱変化について確認する。 ○プリントをまとめる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本時の学習内容について確認させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○定積・定圧・等温・断熱の条件下における気体の状態変化について、それぞれの特徴を理解している。 【知・理】

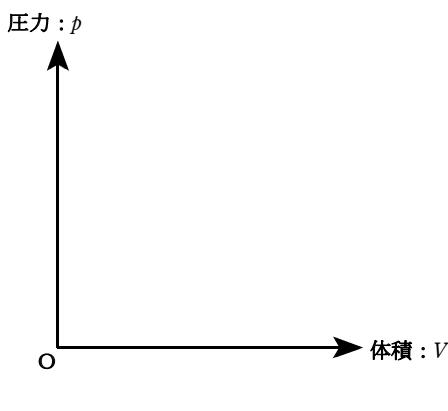
気体の状態変化

- ① 定積変化（等積変化）： が一定 \rightarrow = 0
 (ということは、)
- ② 定圧変化（等圧変化）： が一定 \rightarrow (気体がする仕事) $W' =$
- ③ 等温変化 : が一定 \rightarrow (内部エネルギーの変化量) $\Delta U =$
- ④ 断熱変化 : = 0 \rightarrow (内部エネルギーの変化量) $\Delta U =$

上の4つの状態変化について、 p (圧力)- V (体積) グラフの概形がどのようになるのかを考えよう。
 また、気体がする仕事及び熱力学第一法則がどのように表されるのかを考えよう。

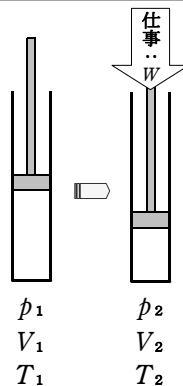
① 定積変化**② 定圧変化**

③ 等温変化



ゆっくり動かす

(圧縮する場合)



圧力 p は (上がる・一定・下がる)
体積 V は (増える・一定・減る)
温度 T は (上がる・一定・下がる)

気体がされる仕事 W は (正・0・負)
気体が受けた熱 Q は (正・0・負)
熱力学第一法則は

$$\Delta U = \boxed{}$$

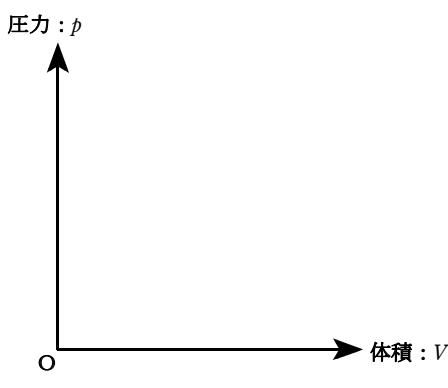
point 1

理想気体の内部エネルギー U は、気体の量と だけできることに注意する。

等温変化では、 $\Delta T=0$ だから、 $\Delta U = \boxed{}$ である。

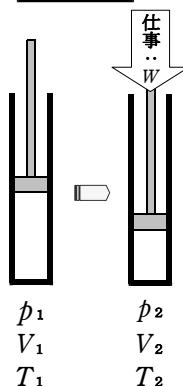
特に、断熱変化とちがって、 Q が 0 でない (熱の出入りがある) ことに注意する。

④ 断熱変化



断熱容器

(圧縮する場合)



圧力 p は (上がる・一定・下がる)
体積 V は (増える・一定・減る)
温度 T は (上がる・一定・下がる)

気体がされる仕事 W は (正・0・負)
気体が受けた熱 Q は (正・0・負)
熱力学第一法則は

$$\Delta U = \boxed{}$$

point 2

断熱変化では、 $Q=0$ だから、 $\Delta U = \boxed{}$ である。

つまり熱の出入りがないにもかかわらず、 ΔT が 0 でない (温度が変化する) ことに注意する。

(a) 断熱圧縮：気体がされる仕事 W が正だから、 ΔU も正 → 気体の温度は

$$\boxed{}$$

(b) 断熱膨張：気体がされる仕事 W が負だから、 ΔU も負 → 気体の温度は

$$\boxed{}$$

今回もまた授業終了後に生徒たちにアンケートをとった。以下はその結果である。

(回答した生徒：44名)

今回の授業（プリント学習形式）について

①授業の目標を達成することができましたか。

回答 数	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかつた	できなかつた	無回答
4人	18人	13人	6人	3人	0人	
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> ・教科書とプリントを並列して授業を受けたから。 ・公式が証明できたから。 ・授業が楽しかったから。 	<ul style="list-style-type: none"> ・教科書があると見てしまう。 ・問題を解くときにピーンと来たから。 ・自分で考え、調べたりして行つたから。 ・自分で考えながら授業を受けた。 ・教科書を読んで理解できたから。 ・グラフなどを見てみたい理解することができたから。 ・図式が分かりやすかったから。 ・しっかりととした考えが出るのにまだ時間がかかる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・感覚では分かるがグラフのところが微妙だった。 ・説明を受けないと理解できない。 ・授業を聞いた時は理解できるが、家に帰ると忘れてしまう。 ・混同してしまうことがある。 ・一人だと遅くなつて時間がかかりすぎでしまつた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・少し理解出来ないところがあった。うまく想像することができない。 ・プリントを見ないと問題が解けなかつた。 ・グラフの見方が分かりにくい。 ・理解は出来ているが、整理がつかずはつきりしていない。 ・ほとんど教科書に頼ってしまった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・分からなかつた。 	

②自分たちで考えることにより、理解を深めることができましたか。

回答 数	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかつた	できなかつた	無回答
10人	20人	9人	4人	1人	0人	

③今回の授業を振り返り、授業に対して積極的に参加することができましたか。

回答 数	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかつた	できなかつた	無回答
9人	25人	7人	2人	1人	0人	
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> ・気分がのつた。 ・頼る人がいなかつたので、やらざるを得なかつたから。 	<ul style="list-style-type: none"> ・要点が分かりやすかつた。 ・自分で考えようとすることができたから。 ・分からぬいところの解説をしつかり聞けた。 ・自分から授業に参加できたから。 ・自分でやらなきやいけないから。 ・通常よりは考えながらできた。 ・やろうとはしたが、詰まつたときに困つてしまつた。 ・集中する。 ・分からぬいところも理解しようとすることができたから。 ・考えないと先に進まないから。 ・板書を写すだけよりも、プリントがあると自分からやる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・騒いでしまうから。 ・ノートがプリントに変わっただけ。 ・教科書を移すだけのように思った。 	<ul style="list-style-type: none"> ・教科書を見てやつていたから。 		

④今回の授業を通して、内容の理解を深めることができましたか。

回答	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかった	無回答
数	6人	23人	11人	3人	1人	0人
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> ・分かりやすかったから。 ・自分一人で考える機会があるから。 ・プリントに集中できるから。 ・見やすい。 ・自分でプリントの穴を埋められたから。 ・自分のペースで理解しながら出来たから。 ・プリントのレイアウトが良く出来ていたので板書よりもグラフなどがイメージしやすかつた。 ・集中して出来たから。 ・自分で考えることが出来たため。 ・問題を解けるから。 ・プリントが見やすい。 ・ポイントで書いたりすることで、書く事だけに集中するのではなく、授業に集中して取り組めた。 ・分からぬところをすぐに友達に聞いて解決出来るから。 					

⑤どのような授業形式が、理解を深めるのによいと思いますか。

回答	これまでのような板書を利用した授業	プリントを用いて一人で考える授業	グループ討論をする授業	その他	無回答
数	14人	8人	17人	3人	2人
主な意見					<ul style="list-style-type: none"> ・演習問題を増やして欲しい。 ・どれでも同じ

⑥今回の授業について、どの程度満足することができましたか。

回答	満足	どちらかというと満足	どちらとも言えない	どちらかというと不満	不満	無回答
数	5人	23人	16人	0人	0人	0人
主な理由	<ul style="list-style-type: none"> ・いつもと違って新鮮で楽しかった。 ・ノートでの授業よりも自分から積極的に取り組めた。 ・板書でやるときよりも、頭に入るから。 ・自分のペースで考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・プリントは見やすく分かりやすいから。 ・ノートよりよくまとまる。 ・ノートに貼ることができないことが残念。 ・ノートを取る必要がないから。 ・きれいにまとめことができ、また自分の頭でも考えることが出来る。 ・見やすいから。 ・分かりやすいし、先の解法が見える。 ・板書に比べて図が詳しく手間もかからない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・板書とあまり違いを感じなかった。 ・自分で考えても分からぬ部分があるから。 ・簡単なところであれば、一人で進められるが、難しくなるとそうはいかなくなるから。 ・プリントはかさばるし、保存しづらい。 ・プリントはなくしてしまって、穴埋めはつまらない。 ・自分がしたいやり方ではないから。 ・ノートを埋める方が振り返りやすくていいから。 			

今回の結果からは、

- 自分たちで考えることによって、より深く理解できた生徒が増えた。
- プリントがよくまとまっており、理解しやすかった。
- 集中して取り組むことができた。
- 全体的に満足度は高かった。

などのメリットがあった反面、

- プリントはなくしてしまうので、ノートにまとめる方がよい。
- よく理解できない部分があった。

などのデメリットもあった。

アンケートの結果からプリント学習を取り入れて授業を行うことにより、ただ板書を写すだけの受身的な授業ではなく、より主体的な授業を行うことが出来たと考える。しかし授業を行う中で、新たな課題も見えてきた。それは生徒の理解度を、教師側つまり私自身が必ずしも把握することが出来ているとは言えないことである。もちろん机間指導や発問によってある程度把握することは可能ではある。しかしながら限られた時間の中で多くの生徒の状況を把握することは難しい。

そこで、第9時にもプリント学習により、自分が分からぬところを生徒自身が理解した上で展開する授業を行ったが、今度は、問題を解かせた後で一旦プリントを回収して、教師自身も生徒の理解度を把握した上で授業を展開できるよう工夫した。また、第10時には、定着度を確認するために「確認テスト」を行った。授業で使用したプリント及び確認テストを次に示す。

気体のモル比熱 [J/mol・K]

気体 1 mol を 1 K 上昇させるときに必要な熱量を気体のモル比熱という。

したがって気体のモル比熱 C は

$$C =$$

気体のモル数 : n 、 温度変化 : ΔT 、 気体に与える熱量 : Q **問題**

定積変化・定圧変化において、気体のモル比熱はどちらの方が大きいか。または同じか。

【初めの予想】

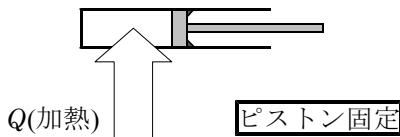
- ア 定積変化の方が大きい
 イ 定圧変化の方が大きい
 ウ どちらでも同じ

そう考える理由 :

【学習後の確認】

- ア 定積変化の方が大きい
 イ 定圧変化の方が大きい
 ウ どちらでも同じ

そう考える理由 :

定積変化でのモル比熱を**定積モル比熱**という。定積モル比熱 : C_V を求めてみよう。

モル比熱の定義より

$$C_V = \frac{Q}{n \Delta T}$$

=

一般的に

熱力学第一法則は
(ΔU , Q , W' を用いて)

$$\Delta U =$$

と表される。

定積変化においては、
気体がする W' は

$$W' =$$
 だから

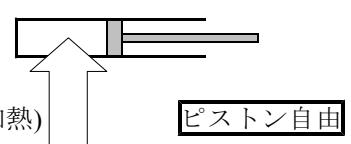
内部エネルギーの変化量は

$$\Delta U =$$

単原子分子の理想気体
では、

$$\Delta U =$$

である。

定圧変化でのモル比熱を**定圧モル比熱**という。定圧モル比熱 : C_P を求めてみよう。

モル比熱の定義より

$$C_P = \frac{Q}{n \Delta T}$$

=

一般的に

熱力学第一法則は
(ΔU , Q , W' を用いて)

$$\Delta U =$$

と表される。

定圧変化においては、
気体がする W' は

$$W' =$$
 だから

内部エネルギーの変化量は

$$\Delta U =$$

である。

一方、定圧変化では、 p が
変化しないので、

状態方程式より

$$p \cdot \Delta V =$$

となる。

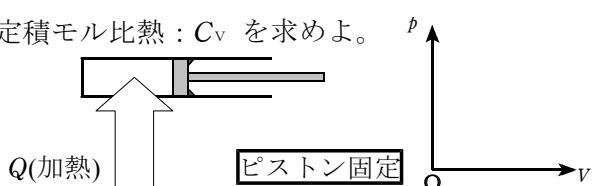
確認テスト問1 次のア～オのうち「気体から外部に対してなされた仕事 W' 」に該当するものをすべて選べ。

- ア 気体がした仕事 イ 気体にした仕事 ウ 気体が受けた仕事
 エ 気体がされた仕事 オ 気体のした仕事

問2 気体がした仕事を W' とすると、熱力学第一法則はどう表されるか。問3 気体がされた仕事を W とすると、熱力学第一法則はどう表されるか。

問4 密閉した気体に対して、15Jの熱を加えたところ、気体は5Jの仕事をした。

気体の内部エネルギーは増加量あるいは減少量は何Jか。

問5定積変化でのモル比熱を**定積モル比熱**という。定積モル比熱： C_V を求めよ。

モル比熱の定義より

$$C_V = \frac{Q}{n \Delta T}$$

=

一般的に

熱力学第一法則は
($\Delta U, Q, W'$ を用いて)

$$\Delta U = \boxed{\quad}$$

と表される。

定積変化においては、
気体がする W' は

$$W' = \boxed{\quad} \text{だから}$$

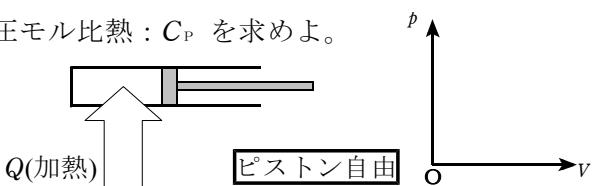
内部エネルギーの変化量は

$$\Delta U = \boxed{\quad}$$

単原子分子の理想気体
では、

$$\Delta U = \boxed{\quad}$$

である。

定圧変化でのモル比熱を**定圧モル比熱**という。定圧モル比熱： C_P を求めよ。

モル比熱の定義より

$$C_P = \frac{Q}{n \Delta T}$$

=

一般的に

熱力学第一法則は
($\Delta U, Q, W'$ を用いて)

$$\Delta U = \boxed{\quad}$$

と表される。

定圧変化においては、
気体がする W' は

$$W' = \boxed{\quad} \text{だから}$$

内部エネルギーの変化量は

$$\Delta U = \boxed{\quad}$$

である。

一方、定圧変化では、 p が
変化しないので、

状態方程式より

$$p \cdot \Delta V = \boxed{\quad}$$

となる。

事例 3 生徒の興味・関心を高めるための実験の例

1 気体分子をイメージさせる演示実験

気体の圧力を学習するに当たり、まずは気体のイメージをもってもらおうと行なった事例について紹介する。気体のイメージをきちんともっておくことは、気体分子運動論等、今後の学習において非常に重要になってくる。ここでねらいは実験を行うことによって生徒に物理現象のイメージをもってもらうことである。

授業展開の一例

- ① 写真1のようにポリ袋を膨らませ、もしも気体分子が目に見えるとしたらどのように見えるか考えさせる。
- ② ①で考えたことを板書させる。（写真2）
- ③ BB弾をポリ袋に入れて激しく振り、気体分子が飛び回っている様子をイメージさせる。
- ④ 気体分子が衝突することによって壁に力を及ぼすことを理解する。
- ⑤ 写真3のような実験道具を用いて机を持ち上げることで大気の圧力を実感させる。机1つであれば簡単に浮かせることができる。（写真4）

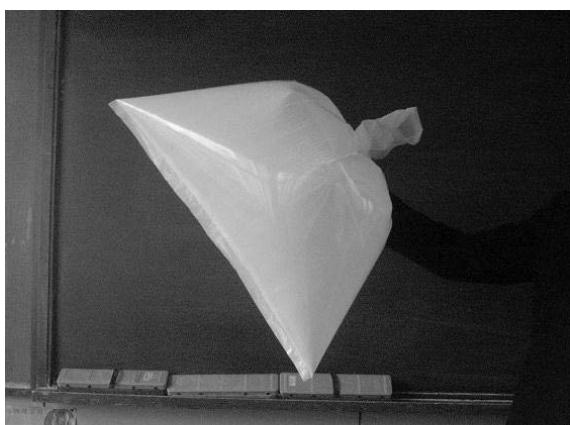


写真1

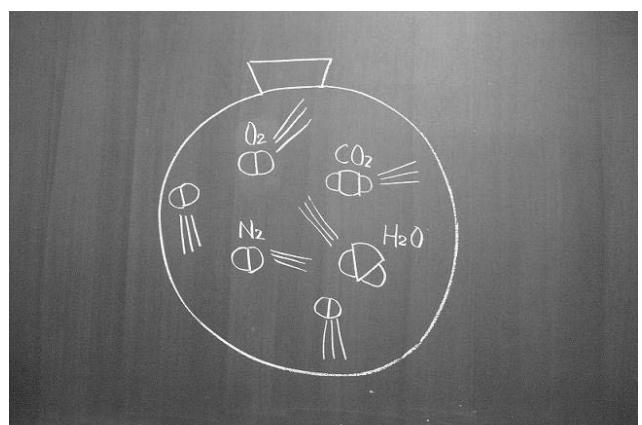


写真2



写真3



写真4

写真3の実験道具は百円ショップ等で簡単に入手できるものである。机を持ち上げることで大気圧の大きさを実感をともなって理解することができ、生徒はとても興味・関心をもったようである。

2 ボイル・シャルルの法則の演示実験

ボイルの法則・シャルルの法則についての簡単な演示実験例について紹介する。ここでのねらいは実験を行うことによって生徒に物理現象のイメージをもってもらうこと、物理現象についての興味・関心を高めることである。

(1) ボイルの法則の演示実験

- ① 写真1のような簡易真空ポンプと、丈夫なガラス容器を用意する。
- ② 写真2のように、容器の中にコーヒーなどの真空包装された袋を入れる。
- ③ 写真3のように、簡易真空ポンプを用いて容器内の空気を抜く。
- ④ 容器内の空気が抜かれると、圧力が低下することによって、中の袋が膨張する。

※簡易真空ポンプは、浅漬けを短時間に作るために調理器具としてホームセンター等で簡単に入手することができる。



写真1



写真2



写真3

(2) シャルルの法則の演示実験

- ① ゴム栓に穴を開けてガラス管を通してものを準備する。
- ② 写真4のように水槽の中に丸底フラスコを置き、丸底フラスコの中に少量の水を入れて、①で準備したガラス管付きゴム栓で口を閉じる。このときガラス管の下端が水面よりも下になるようにする。ただし水量はあまり多くない方がよい。
- ③ 外から熱湯をかける。
- ④ 丸底フラスコの中の空気が温められ、膨張することによって噴水が起きる。（写真5）

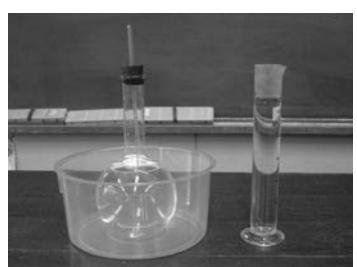


写真4

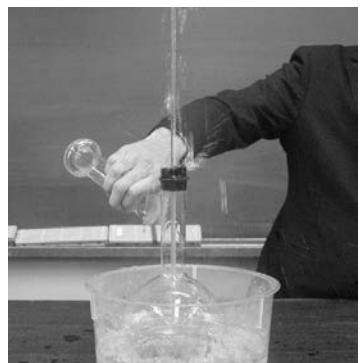


写真5

※水の量は少なめにして、丸底フラスコ内の気体の体積を大きくした方が、体積膨張も大きくなり噴水は激しく起こる。

これらの実験に関するアンケート結果

(回答した生徒：41名)

①今回の実験は、現象をイメージするのに効果的でしたか。

回答	非常に効果的	まあまあ効果的	どちらとも言えない	あまり効果的でない	効果的でない
数	15人	24人	1人	1人	0人

②今回の実験は、興味・関心を高めるのに効果的でしたか。

回答	非常に効果的	まあまあ効果的	どちらとも言えない	あまり効果的でない	効果的でない
数	18人	22人	0人	1人	0人

③授業に、積極的に参加することができましたか。

回答	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかつた	できなかつた
数	15人	23人	2人	1人	0人

④今回の実験に関する自由記述（主な意見）

- 実験はやる気が出るし、興味がもてる。
- 実験があると参加したいと思える。
- 実験があると楽しく学ぶことが出来る上、イメージしやすい。
- 実験があった方が、教科書を読むだけよりイメージがしやすい。
- 簡単な演示実験は目で見て物理現象を感じられるので、いいと思う。
- 実験をしてもあまり印象に残らなかった。

アンケート結果からも分かるように、いずれの実験も非常に簡単な実験ではあるが、ボイルの法則及びシャルルの法則を説明する導入の実験としては、生徒の興味・関心を高める上で有効であると考えられる。

3 ボイルの法則の検証実験

2において、ボイルの法則・シャルルの法則について簡単に確認した上で、ボイルの法則が成り立つことを定量的な実験で確かめた。なお、シャルルの法則については4で紹介する生徒実験で定量的な検証を行った。

教科書では、はかりのゼロ点を調節することにより、ピストン以外の部分（注射器、ゴム栓）の質量を無視できるようにするための工夫がなされている。しかし原理が少し分かりにくい部分もあったため、今回は注射器及びゴム栓全体にはたらく力のつり合い、ピストンにはたらく力のつり合いの2つの力のつり合いを考えることによって気体の圧力を求めた。具体的には注射器及びゴム栓にはたらく力のつり合いの式で、はかりの値から指が注射器を押す力を求めた上で、ピストンにはたらく力のつり合いの式で、気体の圧力を求めた。

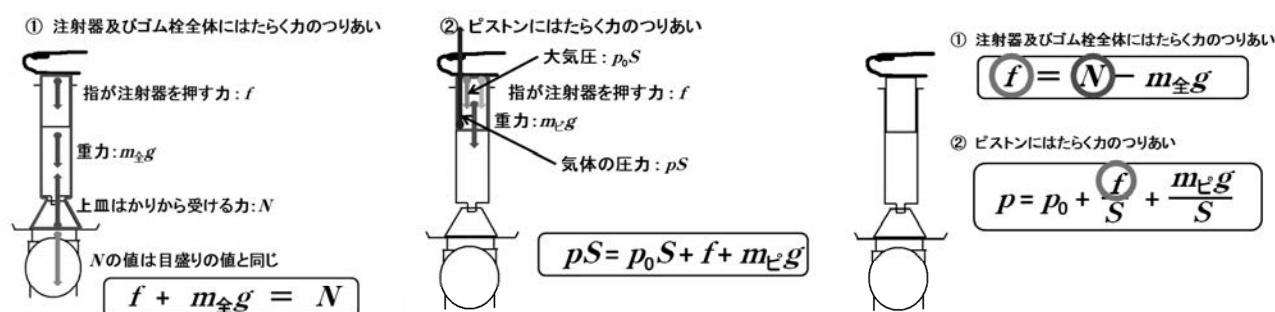


図 1

結果は以下の表のとおりである。

$$p_0 = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa} \quad m_{\text{全}} = 0.275 \text{ kg} \quad m_{\text{ビ}} = 0.126 \text{ kg} \quad S = 1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

体積 [$\times 10^{-5} \text{ m}^3$]	10	9	8	7	6	5
はかりから受ける力 : N [$\times 10^{-3} \times 9.8 \text{ N}$]	310	1000	2400	4200	6300	9700
指が押す力 : f [N]	0.34	7.11	20.8	38.5	59.1	92.4
気体の圧力 : p [$\times 10^5 \text{ Pa}$]	1.02	1.08	1.22	1.40	1.60	1.94

表

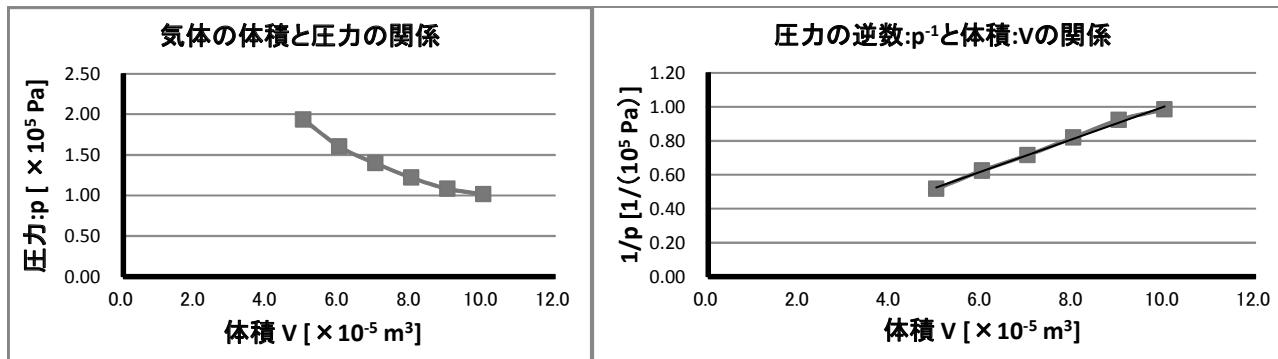


図 2

図 3

図2は、気体の圧力： p と体積： V のグラフであり、図3は縦軸に圧力： p の逆数をとったグラフである。2つのグラフから気体の温度が一定のとき、気体の圧力： p と体積： V は反比例の関係であることを確かめることが出来る。つまりボイルの法則を確かめることができた。

この実験に関するアンケート結果

(回答した生徒：42名)

①今回の実験は、ボイルの法則の理解を深めるのに効果的でしたか。

回答	非常に効果的	まあまあ効果的	どちらとも言えない	あまり効果的でない	効果的でない
数	10人	26人	6人	0人	0人

②授業に、積極的に参加することができましたか。

回答	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかつた	できなかつた
数	9人	26人	5人	0人	0人

④今回の実験に関する自由記述（主な意見）

- こうして実際に実験をすることによって、より深く理解することができた。
- 物理はいつも法則を暗記するだけだけれども、どうして成り立つかを知ることができ、理解が深まった。
- 本当に法則のとおりになってすごいと思った。
- かなりきれいなグラフになってすごいなと思った。
- 実際に実験をしてみると、グラフが思うとおりに取れていておもしろい。
- 調べたデータが6つしかないので、もっと多くのデータが得られれば $p-V$ グラフが反比例の形に近くなると思う。

アンケート結果からも分かるとおり、法則を確かめることが実際に出来て良かったと感じている生徒が多いことが分かる。改めて法則を説明するだけではなく、実験で確かめることの大切さを感じる事例となつた。

授業時に使用した実験プリント次のページに示しておく。

ボイルの法則 検証演示実験

組 番 氏名

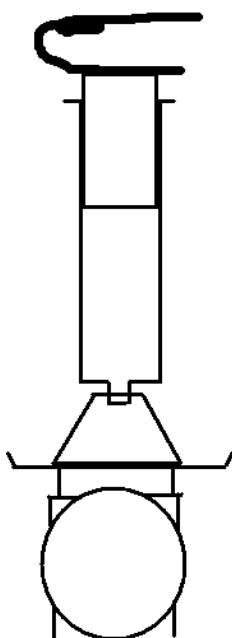
① 実験の目的

ボイルの法則 $pV=一定$ を検証する。

② 準備物

注射器 ・ ゴム栓 ・ 上皿はかり

③ 実験の理論 (気体の圧力 : p の求め方)



(1) 注射器及びゴム栓全体にはたらく力のつり合い

指が注射器を押す力 : f 上皿はかりから受ける力 : N

注射器及びゴム栓全体の質量 : $m_{\text{全}}$

(2) ピストンにはたらく力のつりあい

気体の圧力 : p ピストンの断面積 : S

大気圧 : p_0 ピストンの質量 : m_p

④ 実験の準備

$$p_0 = \boxed{\quad} \text{ Pa} \quad m_{\text{全}} = \boxed{\quad} \text{ kg} \quad m_p = \boxed{\quad} \text{ kg}$$

$$S = \boxed{\quad} \text{ m}^2$$

⑤ 実験の予想



⑥ 実験の結果

気体の体積 : V [$\times 10^{-5} \text{ m}^3$]	10	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0
はかりから受ける力 : N [$\times 10^{-3} \times 9.8 \text{ N}$]						
指が押す力 : f [$\times 10^{-3} \times 9.8 \text{ N}$]						
気体の圧力 : p [$\times 10^5 \text{ Pa}$]						
圧力の逆数 : $1/p$ [(10^5 Pa) $^{-1}$]						

【 $p-V$ グラフの概形】



【 $1/p-V$ グラフの概形】



まとめ

気体の量、及び温度が一定のとき、気体の圧力は体積に する。

⑦ 考察及び感想

4 断熱変化の演示実験

断熱変化についての簡単な演示実験例について紹介する。ここでのねらいは実験を行うことによって生徒に物理現象のイメージをもってもらうこと、物理現象についての興味・関心を高めることである。

(1) 断熱圧縮による発火

断熱圧縮による発火の実験と言えば、断熱圧縮器を用いる学校がほとんどであると思うが、断熱圧縮器がなくても、写真のような簡単な実験器具で断熱圧縮による発火の実験を行うことができる。

筒はアクリル製の筒であり、手で押すところは大きめのゴム栓、ピストンの部分はゴム栓の先を切ったものである。ポイントは底の部分に木を入れると発火しやすいと教えていただいた。また、これは私の個人的な感覚ではあるが、ゴム栓部分にグリースをよく塗ることにより、気体の気密性を高めるとより発火しやすい。材料は全てホームセンター等で入手することができる。

・アクリル製の筒：内径 9 mm

外径 15 mm

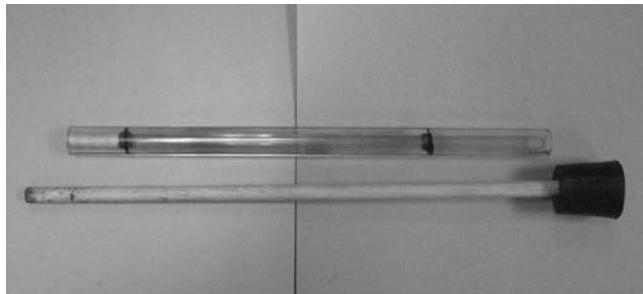
長さ 25 cm

・木の棒 : 直径 7.5 mm

長さ 29.5 cm

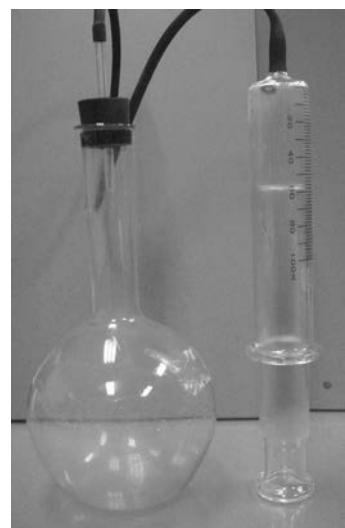
・ゴム栓 : 6号のゴム栓

・ピストン : ゴム栓の先端を切ったもの



(2) 断熱膨張による水蒸気の凝縮

教科書によく掲載されているとおりの実験である。少量の線香の煙を入れ、内側に水滴をつけたフラスコと太い注射器を接続し、注射器のピストンを急激に引く。断熱膨張により空気の温度が下がり、水蒸気が凝縮する。簡単な準備で実験を行うことが出来る。



この実験に関するアンケート結果

(回答した生徒：43名)

①今回の実験は、現象をイメージするのに効果的でしたか。

回答	非常に効果的	まあまあ効果的	どちらとも言えない	あまり効果的でない	効果的でない	無回答
数	17人	21人	5人	0人	0人	0人

②今回の実験は、興味・関心を高めるのに効果的でしたか。

回答	非常に効果的	まあまあ効果的	どちらとも言えない	あまり効果的でない	効果的でない	無回答
数	21人	16人	6人	0人	0人	0人

③授業に、積極的に参加することができましたか。

回答	できた	概ねできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかった	無回答
数	14人	21人	6人	0人	0人	2人

④今回の実験に関する自由記述（主な意見）

- とても興味深い実験だった。
- イメージをもちやすく、分かりやすかった。
- 実験からイメージしやすくなった。
- 今でもイメージが強く残っている。
- 興味が湧いた。おもしろかった。
- 遠くから見ていたので、何をやっているのか分かりにくかった。

アンケート結果からも分かるように、いずれの実験も非常に簡単な実験ではあるが、断熱膨張・断熱圧縮のイメージを確かめる実験としては良かったと考えることができる。また生徒の興味・関心を高める上でも良い実験ではないかと思う。

5 生徒実験 絶対零度を求めよう！～シャルルの法則の検証実験～

(1) ねらい

ガラス管内に封入した気体について、温度と体積の関係を調べることで、シャルルの法則が成り立つことを検証する。またグラフを作図することにより、体積がゼロとなる時の温度を求めることで、絶対零度を求める。この生徒実験を通して、物理に対する興味関心を高めるとともに、実験の技能を身に付ける。

(2) 準備

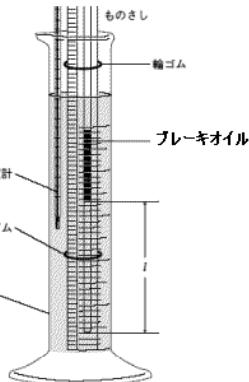
気体を封入したガラス閉管、ものさし、温度計、かきませ棒、解析用のノートPC、メスシリンダー（300mL）、ビーカー（100mL）、大量のお湯

(3) 実験の手順

- ① 冷水を約300mLメスシリンダーに入れ、かきませ棒で冷水をかきませる。
- ② この中に閉管、ものさし、温度計を入れて、温度が一定になるまで約1分待つ。
- ③ 温度が一定になったところで、その温度 t [°C] を読みとり、気柱の長さ ℓ [cm] をものさしではかる。
- ④ 温度計、ものさしを取り出しビーカーに熱湯をとり、メスシリンダーに入れて気柱の温度を上昇させる。
- ⑤ ②～④をくり返し、8回測定する。
- ⑥ 測定した t [°C] と気柱の長さ ℓ [cm] の表をつくる。

気柱の断面積を S [cm²] とすると、気柱の体積は $V = \ell \times S$ [cm³] である。

- ⑦ 横軸に t [°C] 、縦軸に ℓ [×Scm³] をとってグラフをかく。このグラフを温度の低いほうへ延長し、 t 軸と交わる点を読みとる。



(4) 気体を封入したガラス閉管の作成法

ア 材料

- 内径2mmのガラス管（開管）、ブレーキオイル（オートバイ用）、エポキシ樹脂
- ・ガラス管：内径が小さいほうが気柱の変化が大きく、実験がしやすくなる。
 - ・気体封入用の液体：不揮発性で粘性が小さく表面張力が大きい液体が良い。水銀が理想的であるが、安全性の面で問題がある。代替物質として水やシリコンオイルを試したが、水の場合は水蒸気圧の補正が必要になり、シリコンオイルは高価である。そこで、オートバイ用のブレーキオイルを使用することにした。
 - ・エポキシ樹脂：ホームセンターで購入。ガラス管を閉じるのに使用する。

イ 作り方

35cm程度に切ったガラス管の片側からブレーキオイルを流し込む。もう片側からも1cm程度流し込んで、気体を閉じ込めエポキシ樹脂でガラス管の片側を閉じて、気柱を作成する。気柱の長さは長いほうが体積の膨張率が大きくなるので、実験しやすくなる。

(5) 実験プリント (次ページ)

絶対零度を求めよう！～シャルルの法則の検証実験～

____月____日実施

年 組 番 氏名

気温：_____ °C

●目的

シャルルは、「シリンダーの中に空気を入れて圧力を一定に保ち、シリンダー内の温度を上げていくと、温度が1°C上昇するにつれ、温度が0°Cのときの体積の1/273だけ体積が増加する」という関係があることを発見した。これをガラス管内にブレーキオイルで封入した気体について確かめる。このとき、封入した気体の圧力は一定に保たれる。またこの検証実験を通して、絶対零度を求める。

●実験理論及び実験予想

シャルルによれば、0°C、 t [°C] のときの体積をそれぞれ V_0 [m³]、 V [m³] とすると、次の式が成り立つ。

$$V = V_0 + \frac{t}{273} V_0 = \frac{273+t}{273} V_0$$

よって圧力が一定という条件のもとで、温度 t [°C] における気体の体積 V [cm³] を測定すると、 $V-t$ 図は

() 線のグラフになり、このグラフの体積が0 ($V=0$) となるときの温度は () °C すなわち絶対零度になるはずである。これは、気体の種類や気体の圧力などの条件を変えて同様の測定をしても成りたつ。

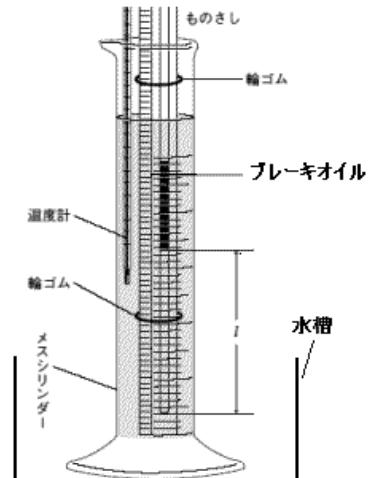
●準備

気体を封入したガラス閉管、ものさし、温度計、かきまぜ棒、水槽、電卓、秒針付き時計

メスシリンダー (300mL)、ビーカー (100mL, 200mL)、熱湯

●手順

- (1) 気柱の下端をものさしの目盛り 2 cm の位置に合わせる。
- (2) 冷水を約350mLメスシリンダーに入れ、かきまぜ棒で冷水をかきまぜる。実験は水が溢れても良いように、水槽の中で行う。このとき、冷水の量は多いほうが測定中の水温が一定に保たれてよい。
- (3) この中に閉管、ものさし、温度計を入れて、温度が一定になるまで約1分待つ。
- (4) 温度が一定になったところで、その温度 t [°C] を読みとり、気柱の長さ ℓ [cm] をものさしではかる。
(1～4回目は50mL、5～8回目は100mL)
- (5) 温度計、ものさしを取り出し100mL(200mL)ビーカーに熱湯を約50mL(100mL)とり、メスシリンダーに入れる。水温が約5°C上昇する。
- (6) (3)～(5)をくり返し、8回測定する。
- (7) 測定した t [°C] と気柱の長さ ℓ [cm] の表をつくる。気柱の断面積を S [cm²] とすると、気柱の体積は $V = \ell S$ [cm³] である。
- (8) 横軸に t [°C]、縦軸に $\ell (\times S)$ [cm³] をとてグラフをかく。このグラフを温度の低いほうへ延長し、 t 軸と交わる点を読みとる。



●結果

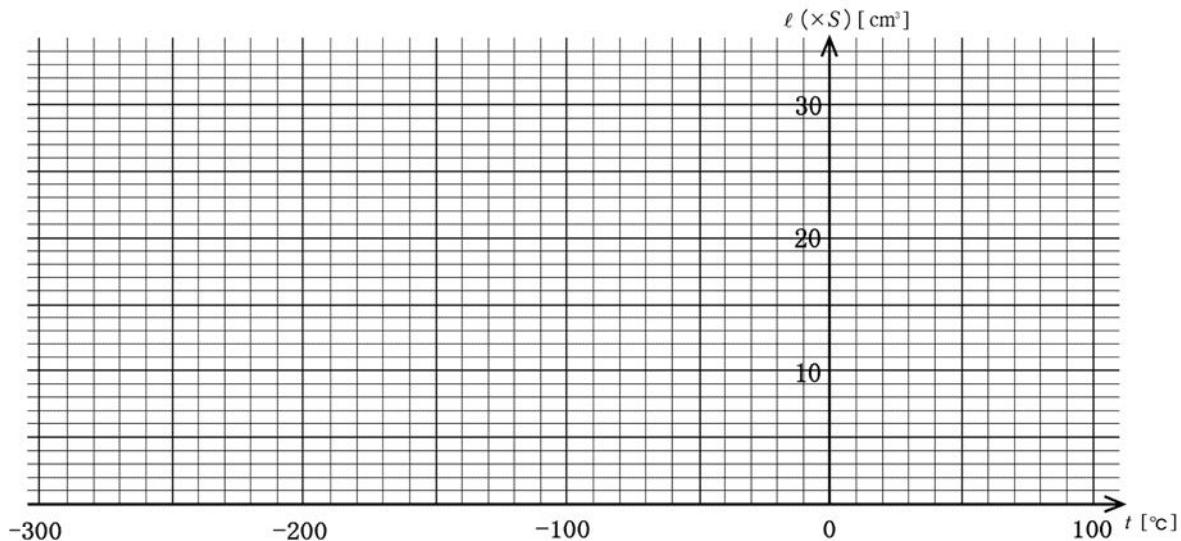
(1) 測定した t [°C] と気柱の長さ ℓ [cm] の表をつくる。※ものさしの値から2 cm 引くことを忘れない。

温 度 t [°C]											
気柱の長さ ℓ [cm]											

(2) 横軸に t [°C] 、縦軸に $\ell(\times S)$ [cm³]をとった下の $V-t$ 図に結果をプロットし、絶対零度を求める。

[$V-t$ 図より求められた温度]

[コンピューターで求めた温度]



●考察・感想

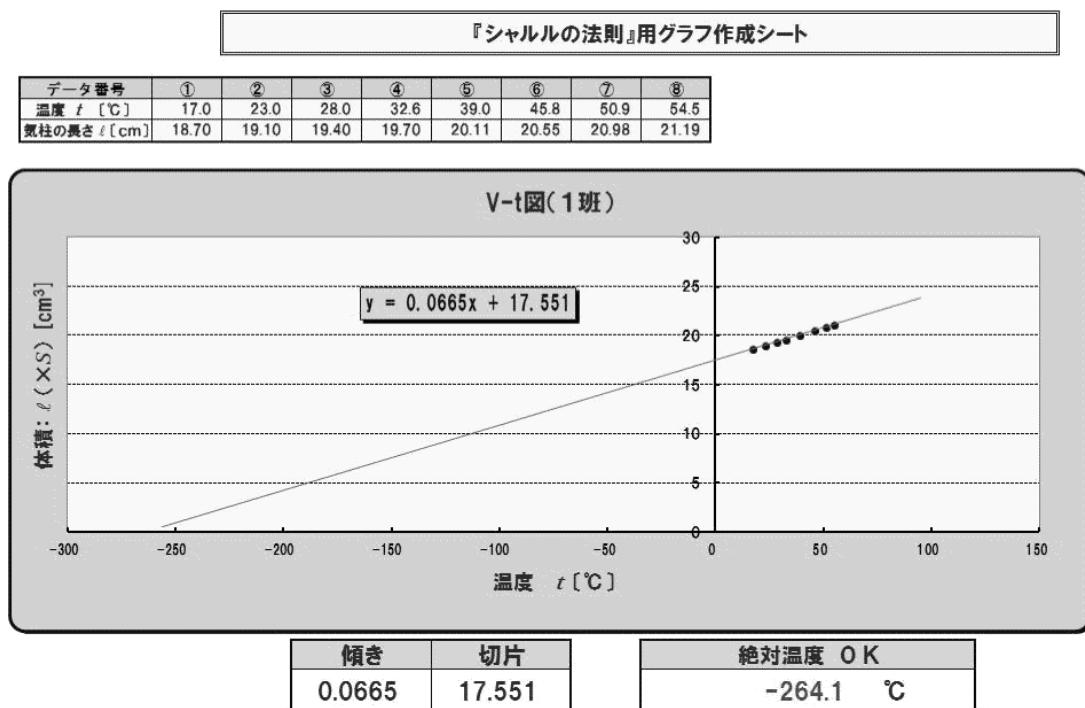
(1) $V-t$ 図の直線と横軸との交点の温度は、理論値（−273°C）に対してどれくらいの誤差を含んでいるだろうか。
誤差の原因についても考察しよう。

(2) この実験の結果から、シャルルの法則が成りたつと判断してよいかどうかを考えよう。

(3) この実験で気がついたこと及び感想を書こう。

(6) 実験結果

どの班もV-t図は下図のような直線となり、シャルルの法則の検証を行うことが出来た。



各班の絶対温度の結果を示す。

1班	2班	3班	4班	5班	6班	7班	8班	9班	10班	11班
-264.1	-252.9	-247.2	-260.1	-252.7	-246.6	-255.8	-224.1	-237.7	-260.9	-266.6

どの班もそれなりに良い値が出ていることが分かる。

<感想>

- ・シャルルの法則についての理解が深まった。
- ・もっとちゃんとしたデータが取れるようになるまでチャレンジしたい。
- ・実際に実験したことで、より深い理解につながったと思う。
- ・シャルルの法則が成り立つことを身をもって確かめることができた。
- ・法則どおりにいかないことが多いと思った。
- ・絶対零度が実験で求められるのは面白いと思った。感動した。
- ・すれば多少あるものの、本当に比例していて驚いた。
- ・理想の数値にはなかなか近づかなかったが、その原因を考えるのも面白いと思った。
- ・この実験によってシャルルの法則のイメージが出来た。
- ・実験をしてみると、誤差が生じるのがよく分かった。



(3) 「物理」における実践のまとめ

今回は、生徒アンケートを中心に授業の改善を行った。その際、以下の2つを特に意識した。

- ① 実験を多く取り入れて、イメージを大切にする。
- ② 自分で考える時間を意識的に取り入れる。

最後にとったアンケートでは、様々なスタイルの授業を受けた上で、最も理解を深めるのに適していると思うものについて聞いた。その結果は次のようになつた。

(回答した生徒：44名)

○あなたは一番どのような授業形式が理解を深めることができますか。

回答	これまでのような板書を利用した授業	プリントを用いて一人で考える授業	グループ討論をする授業	演示を多く取り入れた授業	その他 ・無答
数	4人	9人	14人	17人	0人
主な意見	・自分の字が一番印象に残る。自分が意識して書くことで頭にインプットされる。プリント学習は単なる穴埋めになってしまう。	・板書を写すより効果的だと思う。 ・プリントだとじっくり出来た。 ・一人で考える時間があるから。	・互いの意見を交換して、理解を深め合えるから。 ・考える時間は必要。 ・自分から考えるだけでなく、色々な人の考え方を知ることが出来るから。 ・考えることで理解が深まるし、友達の説明だと聞きやすいし、分かりやすい。 ・分からぬところと一緒に考えることが出来るから。	・イメージがしやすい上、授業がより楽しくなる。 ・実験をしたほうが理解が深まる。 ・興味をもたなければ、理解も進まないため。 ・イメージしやすく、覚えやすい。 ・実験をすると興味が湧き、授業に積極的に取り組めるから。やる気が出る。	

上記のアンケート結果から分かるように、やはり理科は実験を行うことが一番大切なことであると改めて認識した。実験を行うことで興味・関心を高めることができる上、イメージもしやすくなる。更に、理解度を深めたり、授業での積極性を高めるためには、生徒に考えさせる時間を意識的につくることが大切であると感じた。

また事例研究を行う中で、授業の中で生徒を評価し、理解度を把握しながら授業を展開していくことの大切さを改めて認識した。評価と指導の一体化の大切さである。またそのためには普段の授業の中で、やはり教師がどのように生徒を評価するかの仕掛けを考えることが何よりも重要であると感じた。今後さらに仕掛けづくりについて研究を深めていきたい。

参考文献

- ・「物理 教授資料」（教研出版）
- ・「見て体験して物理がわかる実験ガイド－演示実験・生徒実験集－」（学術図書出版社）
- ・東レ株式会社Webサイト「東レ理科教育賞受賞作一覧 平成21年度（第41回）『シャルルの法則の検証』」（http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/h21_04.pdf）

3 「化学」における指導実践例

事例 小項目「電離平衡」に関する指導事例 ～ 学習内容の定着を図るために ～

I 科目「化学」の中で扱う小項目「電離平衡」について

現行の学習指導要領の科目「化学Ⅱ」で扱っていた「電離平衡」を、新学習指導要領の科目「化学」の大項目「物質の状態と平衡」に続く2番目の大項目「物質の変化と平衡」の中で扱うことになった。新学習指導要領解説には、「酢酸やアンモニアのような弱酸や弱塩基の水溶液を取り上げ、電離定数を扱う。その際、塩の加水分解や緩衝液にも触れる。また、水の電離平衡として水のイオン積も扱う。pHについては、水のイオン積と関連付けて扱う。」と記載されている。本小項目内における扱いは科目「化学Ⅱ」内での扱いと大きくは異なるものの、これまででは、科目「化学Ⅰ」の大項目「物質の種類と性質」の学習後に指導していたものが、科目「化学基礎」で同様の内容を扱わないので、多様な物質に触れて物質観を身に付けることなく本小項目を扱うことになった。

「電離平衡」の学習では、電離定数を利用して、酸・塩基の水溶液のpHや溶解平衡の際の水溶液の濃度を算出する際に、複数の方程式を連立させたり、近似を用いて式変形したりすることが必要となる。これまで生徒の多くは、電離平衡にある水溶液中の各物質・イオンを定量的に考える場面では、まず教科書に例示された式の導出を覚え、問題の解法を身に付けることに終始していた。水溶液中で起きている現象や粒子間の相互作用等を想像しないため、注意すべき諸条件に目を向けることなく、行おうとしている近似が妥当であるか、特定の物質・イオンの化学量を本当に無視してよいのかを考えず、算出した数値が用意された解答例に一致するか否かだけに关心を抱く傾向が強かった。そのことも関係し、本報告書の「VI 関連する事例」で報告する、生徒の自己評価による「学習到達度評価」からの調査・分析にあるように、「電離平衡」は、現行の教育課程において、生徒が最も苦手意識をもつ傾向がある学習内容の一つであった。新しい教育課程においては、物質観を十分に養っていない可能性をもつ生徒にとって、さらに理解しにくいものになる可能性が高い。

その対応策の一つとして、観察・実験を通して、実感を伴った「電離平衡」の理解を促すことが重要であると考える。そこで、本調査研究では、生徒実験や探究活動を柱に、生徒の学習活動を開いた。生徒の実態を把握することによって、それらの学習活動がより効果的な活動になるように、確認テストや単元テストなどを利用して生徒の学習到達度を評価しながら、指導方法や教材の工夫と改善を図った。なお、以下に提案する当該項目の指導計画案は、科目「化学」を標準単位数4単位で実施する場合の科目全体の指導計画を立てた後に、調査研究を通して改善したものである。全体の指導計画については、「VII 参考資料（科目「化学」シラバス例）」を参照いただきたい。

ただし、今回の調査研究の対象生徒は、現行の教育課程における科目「化学Ⅱ」を履修する第3学年の主に理科系の四年制大学進学希望生徒である。新しい教育課程における指導においては、生徒がそれまでの学習で身に付けた物質観の実態をこれまで以上に配慮しながら小項目「電離平衡」の綿密な指導計画を立てて実践し、1時間ごとの評価を基に計画を修正していく必要があるものと考える。

II 小項目「電離平衡」及び中項目「物質の変化と平衡に関する探究活動」の展開例（指導計画案）

1 大項目「物質の変化と平衡」の目標（学習指導要領）

化学反応に伴うエネルギーの出入り、反応速度及び化学平衡を観察、実験などを通して探究し、化学反応に関する概念や法則を理解させるとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにする。

2 中項目「化学反応と化学平衡」及び中項目「物質の変化と平衡に関する探究活動」のねらい (学習指導要領解説より)

《化学反応と化学平衡》

化学反応における温度や濃度、触媒の影響などについて観察、実験を行い、反応速度や化学平衡の概念を理解させる。

《物質の変化と平衡に関する探究活動》

物質の変化と平衡に関する探究活動を行い、学習内容の理解を深めるとともに、化学的に探究する能力を高める。

3 小項目「電離平衡」のねらい（学習指導要領解説より）

水のイオン積、pH及び弱酸や弱塩基の電離平衡について理解させる。

4 小項目「電離平衡」及び中項目「物質の変化と平衡に関する探究活動」の評価の観点（例）

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
小項目「電離平衡」			
・水溶液中での電解質の電離においても化学平衡（電離平衡）に達することを理解しようとしている。	・近似処理が可能か否かを判断しながら電離度と電離定数の関係式を導出できる。 ・水が電離する原理を確認し、水のイオン積を利用して水素イオン濃度やpHを算出している。 ・弱酸の水溶液の濃度を変化させながらpHを測定する実験結果を基に、弱酸の電離度とモル濃度との関係を考察し、他者が理解できるようには報告書にまとめている。 ・電離平衡の考え方を用いて、様々な現象の原理を説明している。特に中和滴定に伴う緩衝作用について説明できる。 ・電離定数を用いて、電離平衡時の各イオンのモル濃度やpHを導き出すことができる。	・弱酸の水溶液を必要な器具を適切に使用し、正確なモル濃度に希釀・調製できる。 ・各種pH試験紙を用いて、弱酸の水溶液のpHを正確に測定できる。 ・マイクロスケールでの定量的な滴定を行い、測定結果とこれまでに得た知識を基に滴定曲線を描くことができる。	・酸・塩基の性質の強さと電離定数の大きさとの関係を理解している。 ・電解質の電離度とモル濃度の関係を理解している。 ・塩の加水分解、弱酸・弱塩基の遊離、pHの緩衝作用などの原理を理解し、それぞれの現象に関する知識を身に付けています。

中項目「物質の変化と平衡に関する探究活動」

	<ul style="list-style-type: none"> 実験実施前に実験の目的と内容を理解し、実験結果を論理的に予想して実験に臨んでいる。 これまでに身に付けた学習内容を基に実験班で話合いをしながら実験を進めたり考察を深めたりでき、得られたことを実験レポートにまとめている。 	<ul style="list-style-type: none"> 探究し解明すべきことを整理しながら準備・測定・記録・再測定・情報収集・片付けができる。 	
--	--	---	--

5 小項目「電離平衡」の指導計画及び評価計画（探究活動と合わせて8時間）（例）

時間	学習内容	学習活動とねらい	評価の観点				評価規準 (学習到達目標)	評価方法
			関	思	技	知		
1	電離平衡 事例(1)	・水溶液中での電解質の電離においても化学平衡（電離平衡）に達することを理解し、酸・塩基の性質の強さと電離定数の大きさとの関係を理解する。【板書】	◎				水溶液中での電解質の電離においても化学平衡（電離平衡）に達することを理解しようとしている。	・ノート ・行動観察 ・学習の振り返りシート
2		・電離度と電離定数の関係式を導出し、電解質の電離度とモル濃度の関係を理解する。【板書】【問題演習】		○			酸・塩基の性質の強さと電離定数の大きさとの関係を理解している。	・学習の振り返りシート
3		・水が電離する原理を確認し、水のイオン積を利用して水素イオン濃度やpHが算出されることを理解する。 *科目「化学基礎」の既習事項「酸・塩基と中和」の内容を確認する。 【板書】【確認テスト】 【ワークシート】		○			近似処理が可能か否かを判断しながら電離度と電離定数の関係式を導出できる。	・ノート ・確認テスト
4	事例(3)	・何種類かのモル濃度の酢酸水溶液を調製した上で、それらの水溶液のpHを正確に測定し、弱酸の電離度とモル濃度との関係等を考察して実験レポートにまとめまる。 【生徒実験】	◎				水のイオン積を利用して水素イオン濃度やpHを算出している。	・ワークシート
				○			水の電離による他の電解質の電離平衡への影響を確認し、水のイオン積の活用方法を身に付けています。	・実験レポート
				○			弱酸の水溶液の濃度を変化させながらpHを測定する実験結果を基に、弱酸の電離度とモル濃度との関係を考察し、他者が理解できるように報告書にまとめている。	・行動観察
				○			弱酸の水溶液を必要な器具を適切に使用し、正確なモル濃度に希釈・調製できる。	・行動観察 ・実験レポート
				○			各種pH試験紙を用いて、弱酸の水溶液のpHを正確に測定できる。	

5	<ul style="list-style-type: none"> 電離平衡の考え方を用いて、様々な現象の原理を説明できるようにする。 <p>【板書】</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 塩の加水分解 (2) 弱酸・弱塩基の遊離 (3) pHの緩衝作用 <p>【生徒実験】</p> <ol style="list-style-type: none"> (4) 難溶性の塩の溶解平衡 	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<p>電離平衡の考え方を用いて、様々な現象の原理を説明している。特に中和滴定に伴う緩衝作用について、説明できる。</p> <p>マイクロスケールでの定量的な滴定を行い、測定結果とこれまでに得た知識を基に滴定曲線を描くことができる。</p>	・実験レポート
					・行動観察 ・実験レポート
6	<ul style="list-style-type: none"> 電離定数を用いて、電離平衡時の各イオンのモル濃度や、酸・塩基のpHの計算方法を身に付ける。 <p>【問題演習】【確認テスト】</p>	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<p>電離定数を用いて、電離平衡時の各イオンのモル濃度や、pHを導き出すことができる。</p>	・確認テスト
7 8	<p>探究活動</p> <p>・探究活動を通して、化学的に探究し、レポート等で表現する力を向上させるとともに、溶解平衡、電離平衡及び反応熱の概念を中心に単元「物質の変化と平衡」全体の学習内容を振り返り、自身の理解度を確認する。</p> <p>【探究活動(生徒実験)】</p>	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<p>実験実施前に実験の目的と内容を理解し、実験結果を論理的に予想して実験に臨んでいく。</p> <p>これまでに身に付けた学習内容を基に実験班で話合いしながら実験を進めたり考察を深めたりでき、得られたことを実験レポートにまとめていく。</p>	・探究レポート ・行動観察
					・探究レポート ・行動観察
			<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/>	<p>探し解明すべきことを整理しながら準備・測定・記録・再測定・情報収集・片付けができる。</p>	・行動観察

◎の付いた評価規準：評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況を主に単元の評価の総括資料とする。
 ○の付いた評価規準：評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況に応じた適切な働きかけや指導の手立てを行うことを主に重視する。

本報告書においては、全8時間の指導計画のうち、1時間目の「まとめ」として生徒に記入させる「学習の振り返りシート」、3時間目に実施する「確認テスト」、4時間目に実施する「生徒実験」での指導事例を主に紹介する。また、上記の指導計画には記載していないが、8時間の指導の後に実施した「単元テスト」についても報告する。なお、5時間目に実施する「生徒実験」と7・8時間目に実施する「探究活動」については、使用する教材等を関連事例として紹介する。

III 事例(1) 学習の振り返りシート

1 実施目的

生徒自身が学習内容をおおむね理解しているかを確認するとともに、授業での取組とともに家庭で行っている学習方法が適切であるかを振り返らせる。また、教科担当教師の指導方法が機能しているかを評価し、今後の指導の改善に生かす。

2 実施上の留意点

- (1) 実施前に、実施の目的を生徒に十分に理解させる。
- (2) 解答に必要な計算をする際、シートの余白を利用するように指示する。
- (3) シートの記入状況、回答及び解答の内容から評価した後、返却して家庭学習等に活用させる。
- (4) 教科担当教師が板書した内容や口頭で説明した内容を、生徒がどのようにノートにまとめていくかを併せて確認する。

3 評価規準例

- | |
|--|
| ・水溶液中での電解質の電離においても化学平衡（電離平衡）に達することを理解しようとしている。
（関心・意欲・態度） |
| ・酸・塩基の性質の強さと電離定数の大きさとの関係を理解している。（知識・理解） |

4 評価する際の留意点（例）

関心・意欲・態度が「おおむね満足できる」状況（B）の例

- 質問2(1)に関して
 - ・平衡状態であることを表現した化学反応式（イオン反応式）を記述している。（化学式の誤りは問わない。）
- 質問2(3)に関して
 - ・塩酸と酢酸の電離定数を与えられた条件からそれぞれ計算しようとしている。（計算をせずに直感で選択肢の記号を選択していない。）

関心・意欲・態度が「十分満足できる」状況（A）の例

- 上記の例に加えて以下のことが達成できている。
- 質問1(5)に関して
 - ・学習内容に関して他者と「話をする予定である」と回答し、学習内容を着実に身に付けようとしている。

知識・理解が「おおむね満足できる」状況（B）の例

- 質問2(2)に関して
 - ・電離定数の式を、各化学種のモル濃度で正確に表すことができている。
- 質問2(3)に関して
 - ・電離前と電離平衡時の各化学種のモル濃度の関係を、板書で例示したことにならってシートの余白に表記している。
 - ・「ア」または「イ」を解答し、酸の性質の強弱と電離定数の大小関係を理解している。

知識・理解が「十分満足できる」状況（A）の例

- 上記の例に加えて以下のことが達成できている。
- 質問2(3)に関して
 - ・電離定数を計算し、正答の「ア」を選択している。
- 質問1(4)に関して
 - ・学習内容を定着させるために「家庭で取り組むことを決めている」と回答し、理解できたことや深めたいことが明確になっている。

※ 各項目の内容は、次頁の「学習の振り返りシート」例を参照。

■「学習の振り返りシート」例

学習の振り返りシート 「酸・塩基の電離平衡」

本時の到達目標

水溶液中の電解質の電離においても化学平衡（電離平衡）に達することを理解し、酸・塩基の性質の強さと電離定数の大きさとの関係を理解する。

- 1 授業への取組を振り返ってください。それぞれの質問に対して、当てはまると思われる数字に○をつけてください。

(1) 必要な準備をして授業に臨みましたか。

準備できた 準備できなかつた
4 • 3 • 2 • 1

(2) 先生の説明を、内容を理解しながら聞くことができましたか。

理解しながら聞けた 聞けなかつた
4 • 3 • 2 • 1

(3) 先生が板書したことを、整理しながらノートにまとめることができましたか。

整理しながらまとめられた まとめられなかつた
4 • 3 • 2 • 1

(4) 学習した内容を復習したり定着させたりするために、家庭で取り組むことを決めていますか。

取り組むことを決めている 決めていない
4 • 3 • 2 • 1

(5) 理解できなかつたところや、理解をさらに深めたいところについて、先生や友だちと話をしますか。

話をする予定である 話をしない
4 • 3 • 2 • 1

- 2 授業の内容に関するそれぞれの質問に対して答えてください。（テストではありません。）

(1) アンモニアを水に溶かして電離平衡に達したときの様子を、化学反応式で表しましょう。

〔 〕

(2) 醋酸の電離定数 K_a を、 $[CH_3COOH]$ 、 $[H^+]$ 、 $[CH_3COO^-]$ を用いて表しましょう。

〔 〕

(3) 0.1mol/L塩酸は94%電離して電離平衡に達するのに対して、0.1mol/L酢酸は1.6%電離して電離平衡に達します。塩酸の電離定数は、酢酸の電離定数のおよそ何倍でしょうか。

ア 5×10^4 倍 イ 5×10^2 倍
ウ 5×10^{-2} 倍 エ 5×10^{-4} 倍

〔 〕

- 3 授業の内容についての質問などを自由に書いてください。

〔 〕

IV 事例(2) 確認テスト

1 実施目的

評価規準に照らして、生徒が学習内容をおおむね理解しているか、身に付けた知識を使って思考を深めることことができているかなどの到達度を評価する。また、教科担当教師のそれまでの指導内容や指導方法が十分に機能しているかを評価し、今後の指導の改善と指導計画の立案に生かす。

2 実施上の留意点

実施前に、実施の目的を生徒に十分に理解させる。単元の評価の総括の資料とするときは、単元の始めに、そのことを説明するとともに、実施する時間を周知する。

3 評価規準例（「電離平衡と酸・塩基」を例に）

近似処理が可能か否かを判断しながら電離度と電離定数の関係式を導出できる。また、水のイオン積を利用して水素イオン濃度やpHを算出している。（思考・判断・表現）

4 評価する際の留意点（例）

思考力・判断力・表現力が「おおむね満足できる」状況（B）の例

○問題1に関して

- ・電離度の大きさに着目し、酸性の強弱を説明できている。

○問題2(2)に関して

- ・塩基のモル濃度から水のイオン積を利用して水素イオン濃度を算出している。
- ・「1000倍に希釈する」ことの意味を理解し、濃度を変換できている。

○問題3(1)に関して

- ・酢酸のモル濃度を正確に算出し、酢酸のモル濃度と水素イオン濃度から電離度を算出している。

○問題3(3)に関して

- ・滴定前と中和後の水溶液のpH、中和点付近でのpHの変化の仕方に配慮して滴定曲線を描いている。

思考力・判断力・表現力が「十分満足できる」状況（A）の例

上記の例に加えて以下のことが達成できている。

○問題1に関して

- ・酸性の強さが水素イオン濃度の大小で決定することを説明できている。
- ・酸の種類によって同じ濃度でも電離度が異なることを説明できている。
- ・酸の濃度と電離度の大きさの関係や電離定数にまで言及している。

○問題2(2)に関して

- ・強塩基であるので近似的に電離度が1として計算できることに言及している。

○問題3(1)に関して

- ・電離度を算出する過程を論理的に説明している。
- ・有効数字を考慮して電離度を算出している。

○問題3(3)に関して

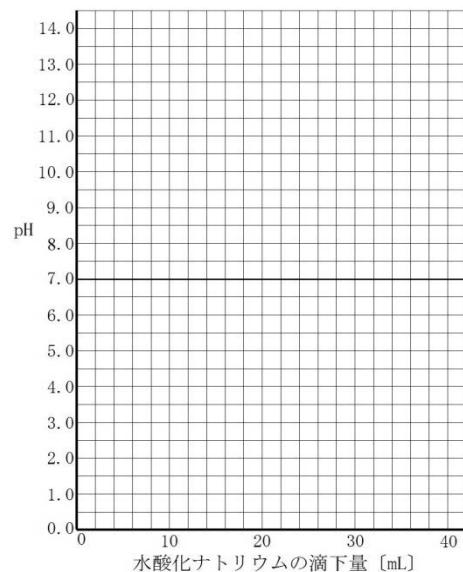
- ・滴定途中のpHを近似的に計算しながら正確な滴定曲線を描いている。
- ・中和前の溶液においては、ルシャトリエの原理によりpHが変化しにくいことを予測しながらpHの変化を表現できている。（緩衝作用は未学習。）

※ 各項目の内容は、次頁の「確認テスト例」を参照。

■確認テスト例 (※ 解答欄は省略している。)

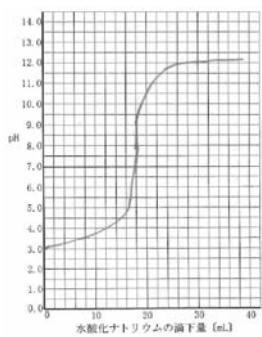
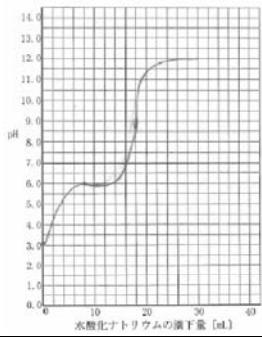
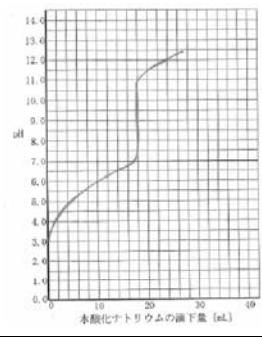
確認テスト 電離平衡と酸・塩基

- 1 酸の種類によって性質の強弱の違いが生じる理由を簡潔に説明しなさい。
- 2 次の(1)～(3)の各問い合わせに答えなさい。
 - (1) pH 2 の水溶液の水素イオン濃度は、pH 9 の水溶液の水素イオン濃度の何倍か。
 - (2) 0.01mol/L水酸化ナトリウム水溶液を1000倍に希釀した水溶液のpHを求めなさい。
 - (3) 0.05mol/L塩酸のpHを求めなさい。ただし、 $\log_{10}2=0.30$ とする。
- 3 酢酸（分子量60）0.216 g をはかりとり水を加えて100mLの水溶液にし、水溶液のpHを測定すると、pHの値は3.0であった。この酢酸水溶液10mLに水酸化ナトリウム水溶液を滴下して中和滴定したところ、18mL加えたところで終点に達した。
このとき、次の(1)～(4)の各問い合わせに答えなさい。
 - (1) 滴下前の酢酸の電離度を求めなさい。
 - (2) 滴定に用いた水酸化ナトリウム水溶液の濃度 [mol/L] を求めなさい。
 - (3) この中和滴定の滴定曲線の概形を描きなさい。
 - (4) 酢酸の電離定数 [mol/L] を求めなさい。



5 評価例

各生徒の答案を分析し、評価規準に照らして評価した。全問題の解答の内容から、調査対象クラスの中の約1割の生徒が思考力・判断力・表現力が「十分満足できる」状況（A）に、約7割の生徒は、「おおむね満足できる」状況（B）にあり、約2割の生徒が、そこまで到達していない状況（C）にあると判断した。状況（A）と判断した「生徒A」、状況（B）と判断した「生徒B」、状況（C）と判断した「生徒C」の答案の一部及び解答の状況を次頁に示す。

生徒A	1 物質に対する電離度を算うため。 少しあ。	3 (3)
	2 (2) $[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-3}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9}$	
	3 (1) $\alpha = \frac{1.0 \times 10^{-3}}{1.0 \times 10^{-5}} = 0.036 \text{ mol/L}$ $\alpha \times [H^+] = 1.0 \times 10^{-3}$ $\alpha = \frac{1.0 \times 10^{-3}}{0.036} = 0.0277 \dots$	
生徒B	1 解答していない。	3 (3)
	2 (2) $\text{① } 10^2 \text{ mol/L} = 0.010 \text{ mol/L} \times 1000 = 0.1 \times 10^{-2} \text{ mol/L} = 1.0 \times 10^{-12}$ $\text{② } 10^{-12} \text{ mol/L} \times \frac{1}{1000} = 10^{-9} \text{ mol/L} = 1.0 \times 10^{-11}$	
	3 (1) $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$	
生徒C	1 解答していない。	3 (3)
	2 (2) $0.01 \times 10^{-3} = 1.0 \times 10^{-2} \times 10^{-3} = 1.0 \times 10^{-5}$ $pH = 4$	
	3 (1) 解答していない。	

生徒Aは、それぞれの問題に対して正答を記述している。問題1及び問題3(1)では、状況(A)の基準に達している。ただし、論理的な説明や有効数字を意識した数値処理などは不十分であり、改善の手立てが必要である。生徒Bは、問題2(2)や問題3(3)では、状況(B)の基準に達しているが問題1や3(1)は、解答を導くに至らなかった。(他の問題の解答内容も勘案して状況(B)としている。)「電離度」について十分に整理できていない状況がうかがえる。生徒Cは、いずれの問題も正答を導いていない。科目「化学基礎」(当該生徒の場合は科目「化学I」)で履修した「酸・塩基と中和」の内容が十分に習得できていない可能性も高いので、次に使用する教材の中に、それらを復習できる内容を加える必要がある。

6 次の指導に向けて立てた方策例

- (1) 観察・実験を通して、電離平衡や電離度について実感を伴った理解をさせる。
- (2) 生徒実験を行い、生徒自身が得た実験値から電離定数や電離度を算出させる。また、算出した値を基に現象に対して再度考察させ、論理的に表現させる。
- (3) 科目「化学基礎」で習得した知識や技能も活用して実験操作を進めたり探究を深めたりすることができる内容に工夫し、これまでに学習したことを再確認させる。

V 事例(3) 生徒実験「酢酸のpHと電離定数を調べよう」

1 実施目的

生徒実験を通して、電離平衡が確認できる現象に触れることで、実感を伴いながら内容の理解を深めさせる。さらに、確認テストを通じた評価から得られた改善事項（前述）を基に、実験の操作、実験結果の整理、結果に対する考察の過程などを工夫し、不十分であると判断した力を補う。また、生徒の実験に取り組む様子や実験結果に対する考察の深め方・表現の仕方を評価し、今後の指導計画の立案に生かす。

2 実施過程等

生徒の到達目標	何種類かのモル濃度の酢酸水溶液を調製した上で、それらの水溶液のpHを正確に測定し、弱酸の電離度とモル濃度との関係等を考察して実験レポートにまとめる。			
本時の評価規準	<ul style="list-style-type: none"> 弱酸の水溶液の濃度を変化させながらpHを測定する実験結果を基に、弱酸の電離度とモル濃度との関係を考察し、他者が理解できるように報告書にまとめている。〈思考・判断・表現〉 弱酸の水溶液を必要な器具を適切に使用し、正確なモル濃度に希釀・調製できる。〈観察・実験の技能〉 各種pH試験紙を用いて、弱酸の水溶液のpHを正確に測定できる。〈観察・実験の技能〉 			
段階	学習内容・活動	指導上の留意点	学習内容・活動に即した評価規準	評価方法
導入 10分	<ul style="list-style-type: none"> 実験の目的及び本時の内容を確認する。 実験操作の留意点、事故防止対策を確認する。 ※実験レポートの【確認事項】の共通理解 	<ul style="list-style-type: none"> 前時に実験レポート用紙を配布し、目的等を事前に確認させる。 プレゼンテーションソフトを使い、常用対数表の使用方法等を確認させる。 		
展開 25分	<ul style="list-style-type: none"> 酢酸水溶液の希釀・濃度調製をする。 pH試験紙を用いて、3種類の濃度の酢酸水溶液のpHを測定する。 測定結果を基に電離度や電離定数等を計算する。 実験班で結果に対する考察を深める。 実験結果を板書し、発表する。 廃液の処理、器具の洗浄・片付けを行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 実験班を回り、実験が安全かつ適切に行われているかを確認する。 対数表を使ってpHから水素イオン濃度が算出できているかを確認する。 結果を発表するための表を板書する。 片付け方法を指示する。 	<ul style="list-style-type: none"> 必要な器具を適切に使用し、正確なモル濃度に希釀・調製できる。〈技〉 各種pH試験紙を用いて、弱酸の水溶液のpHを正確に測定できる。〈技〉 実験結果を基に、弱酸の電離度とモル濃度との関係について考察している。〈思・判・表〉 	<ul style="list-style-type: none"> 器具の洗浄や使用が適切である。【行動観察】 pH試験紙の使用方法や、pH値の決定方法が適切である。また、pH試験紙を正しく選択して使用している。【行動観察】 【実験レポート】 班内で計算結果の妥当性について協議しながら考察を深めている。【行動観察】
まとめ 15分	<ul style="list-style-type: none"> 自班と他班の実験結果を比較し、測定を振り返る。 他班の意見や教師の説明などを参考に、実験レポートを完成させる。 レポートを提出する。 	<ul style="list-style-type: none"> 各実験班の結果について妥当性を確認させる。 考察して得られたことを、口頭にて何人かに発表させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 他者が理解できるよう実験レポートにまとめている。〈思・判・表〉 	<ul style="list-style-type: none"> 実験結果や考察内容を的確・明瞭に記入している。【実験レポート】

3 評価する際の留意点（例）

観察・実験の技能が「おおむね満足できる」状況（B）の例

○濃度の調製に関して

- ・メスフラスコとホールピペットを正しく使用している。（洗浄、共洗いなど。）
- ・正確かつ安全に操作ができている。（標線合わせ、器具の置き方など。）

○pH試験紙を用いたpHの測定に関して

- ・試験紙の色の変化を、試験紙に対応する標準変色表で素早く確認してpHを決定している。
- ・万能pH試験紙での結果を基に適切なpH試験紙を決定して詳しいpHを決定している。
- ・調べる水溶液以外の影響が加わらないように試験紙を取り扱っている。
- ・試験紙によって正確にpHを決定できている。

観察・実験の技能が「十分満足できる」状況（A）の例

上記の例に加えて以下のことが達成できている。

○濃度の調製に関して

- ・濃度調製の過程で気付いたことを適宜記録し、測定誤差の原因究明に生かしている。
- ・手際よく短時間で濃度の調製ができている。

○pH試験紙を用いたpHの測定に関して

- ・測定結果を予測しながらpH試験紙を選択・使用している。
- ・必要な場合には2種類のpH試験紙を使用してpHを測定し、それらの平均値を計算している。

思考力・判断力・表現力が「おおむね満足できる」状況（B）の例

○結果と考察(2)に関して

- ・①の視点まで正しく考えている。
→弱酸のpHが酸のモル濃度と電離度の双方を考慮しなければ決定できないことを説明できている。
- ・他者が読んでも理解しやすい表記で論理的に表現できている。

○結果と考察(3)に関して

- ・電離定数の式に実験値を適切に代入して電離定数の値を導いている。

思考力・判断力・表現力が「十分満足できる」状況（A）の例

上記の例に加えて以下のことが達成できている。

○結果と考察(2)に関して

- ・②の視点まで正しく考えている。
→弱酸のモル濃度と電離度の関係を説明できている。

○結果と考察(3)に関して

- ・電離定数がモル濃度によらず一定であることを断つて、いずれかのモル濃度の結果を基に計算している。
- ・電離定数と酸性の強さの関係にまで言及している。
- ・3種類のモル濃度の結果を基にそれぞれ電離定数を計算し、平均値を求めている。

※ 各項目の内容は、次頁の「生徒実験プリント例」を参照。

4 生徒実験を実施する際の留意点

- (1) 前時に、次頁の「生徒実験プリント例」を配布し、実験の目的等を十分に理解させるとともに、
[確認事項] を実験実施時までに記入させておく。
- (2) 実験プリントとともに配布する常用対数表に、表の使用方法も添える。数学の学習で対数表を
どのように学習しているかについて数学科の担当教師に確認しておく。
- (3) 「生徒実験プリント例」では、各班で希釈する0.1mol/L酢酸水溶液をクラスの代表生徒が調製
することになっているが、考察の時間を確保するために水溶液を予め調製しておいてもよい。そ
の場合は、調製の過程を使用器具を提示しながら簡単に説明する。
- (4) pH試験紙の使用方法については、プレゼンテーションソフトを利用して写真を含むスライドを
使って説明するとともに、実験中も投影しておく。
- (5) pH試験紙を使用せず、pH計を用いて測定してもよい。その際、pH試験紙とpH計双方の特長を確
認させる。
- (6) 白衣と保護メガネを着用させ、安全面への配慮を確認させながら実験を進めさせる。

■生徒実験プリント例

実験 酢酸のpHと電離定数を調べよう

[目的]

濃度が異なる酢酸のpHをそれぞれ正確に測定し、酢酸の電離度や電離定数を決定する。

[準備]

(1) 器具

① 各班で必要なもの

50mLビーカー、10mLホールピペット、100mLメスフラスコ（2個）、安全ピッパー、時計皿、ガラス棒、ピンセット、pH試験紙（万能試験紙及び8種試験紙セット）、標準変色表、常用対数表

② クラスで一組必要なもの

500mLメスフラスコ、50mLビーカー、駆込ピペット、ガラス棒、電子てんびん

(2) 試薬

冰酢酸、純水

[方法]

(1) 0.10mol/L酢酸水溶液の調製（クラスの代表者が行う。）

- ① 50mLビーカーに冰酢酸3.0 g をはかり取り、あらかじめ少量の純水を入れた500mLメスフラスコに移す。
- ② ①の50mLビーカーに少量の純水を加えてビーカーをすぎ、500mLメスフラスコに移す。
＊何度か繰り返す。
- ③ 500mLメスフラスコに純水を加え、500mLの水溶液とする。（A液とする。）
＊A液を20mL程度ずつ各班の50mLビーカーに分配する。

(2) pHを測定する酢酸水溶液の濃度調製（各班で行う。）

※ 具体的な操作は、器具の特徴や使用方法等を考えながら行うこと。

- ① A液を10mLホールピペットと100mLメスフラスコを用いて10倍に希釈する。
(B液(1.0×10^{-2} mol/L)とする。)
- ② B液を10mLホールピペットと100mLメスフラスコを用いて10倍に希釈する。
(C液(1.0×10^{-3} mol/L)とする。)

(3) A液、B液、C液のpHの測定（各班で行う。）

- ① A液を少量時計皿にとる。ガラス棒を使って、A液を万能試験紙に付ける。
- ② A液により変色した万能試験紙を、直ちに万能試験紙の標準変色表と比較し、およそのpHを決定する。
- ③ ②で決定したpHを基に、8種試験紙用の標準変色表により、正確なpHを決定するための試験紙を選択する。
- ④ A液を③で選択した試験紙に付け、直ちに標準変色表と比較し、正確なpHを決定する。
＊該当する試験紙が2種類存在する場合は、それぞれの試験紙で測定し、平均値をとる。
- ⑤ B液とC液についても同様に行う。

(4) A液、B液、C液の水素イオン濃度及び電離度の算出（各班で行う。）

- ① A液、B液、C液それぞれについて、(3)で決定したpHから常用対数表を用いて水素イオン濃度を決定する。
- ② A液、B液、C液それぞれについて、①の値を基に電離度を決定する。

[確認事項]

(1) 実験器具の使用方法について復習しよう。

① 純水で洗った後のホールピペットに水滴がついている場合どのようにすべきか。

② 純水で洗った後のメスフラスコに水滴がついている場合どのようにすべきか。

(2) 酢酸が水溶液中で電離している様子を化学反応式（電離式）で表しておこう。

(3) 常用対数表を用いて、pHの値から水素イオン濃度を算出する方法を確認しよう。

〈例〉測定したpHが2.8であったときの水素イオン濃度を計算してみよう。

（……→使用する対数表中の常用対数 ≈ 0.2 →対応する最も近い数1.58 $\rightarrow [H^+] \approx 1.6 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ ）

[結果と考察]

(1) 測定結果及び算出した値を表にまとめよう。

酢酸水溶液 (モル濃度)	A液 (mol/L)	B液 (mol/L)	C液 (mol/L)
水溶液のpH (使用した試験紙:)			
水溶液の 水素イオン濃度 mol/L			
水溶液の電離度 α			

(2) A液、B液、C液のpHが、それぞれ1、2、3とならなかつた理由を考えよう。

視点①：酢酸のモル濃度に対応してpHが1、2、3よりもそれぞれ大きな値になる理由

視点②：モル濃度を10倍ずつ希釈したにもかかわらずpHが1ずつ大きくならない理由

(3) 水溶液の水素イオン濃度 $[H^+]$ と電離前の酢酸モル濃度 c [mol/L] を基に、酢酸の電離定数を算出しよう。

$(K_a = [CH_3COO^-][H^+] / [CH_3COOH] \approx [H^+]^2 / (c - [H^+])$ 、条件によっては $[H^+]^2 / c$)

5 実施時の様子

調査対象クラスの各実験班ともに、話合いをしながら実験を円滑に進め、ほとんどの生徒が電離度まで算出することができた。pH試験紙の使用方法の周知が十分には徹底できなかつたので、測定結果の誤差が大きい班が見られた。そのため、各班に測定結果を発表させた後、教科担当教師がpH計を用いて各水溶液のpHを確認させた後に、電離度や電離定数に関する考察を進めさせた。



写真1 生徒実験の様子



写真2 対数表で数値の処理する様子



写真3 実験結果を解説する教科担当教師

6 評価例

(1) 「観察・実験の技能」の評価

ア 濃度の調製に関して

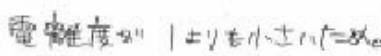
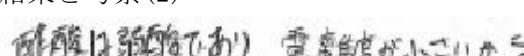
ほとんどの生徒が、ホールピペットやメスフラスコなどの器具を適切に扱い、安全に実験を進めており、観察・実験の技能が「おおむね満足できる」状況（B）にあると判断した。ただし、見通しをもって実験に取り組んだり、濃度調製の際に生じる誤差の原因について着目した生徒は見られず、「十分満足できる」状況（A）にある生徒は見られなかった。

イ pH試験紙を用いたpHの測定に関して

調査対象クラスの約5割の生徒（実験班）は、pH試験紙の選択や標準変色表の使用方法等が適切であり、正確にpHの値を得ることができていた。即ち観察・実験の技能が「おおむね満足できる」状況（B）にあると判断した。さらに、約3割の生徒（実験班）は、必要に応じて複数のpH試験紙で測定し、それらの平均値からより精度の高い値を得ており、「十分満足できる」状況（A）にあると判断した。残りの約2割の生徒（実験班）は、水溶液をpH試験紙に付けてからすぐに変色表と見比べることができなかつたり、適切なpH試験紙を選択できなかつたりするなどして、正確な値を得ることができず、満足できる状況にまで到達していない状況（C）にあると判断した。

(2) 「思考力・判断力・表現力」の評価

各生徒の実験プリント（実験レポート）を分析し、評価規準に照らして評価した。さらに、前述で示した確認テストの評価からの変容をみた。確認テストの全問題の解答の内容から、調査対象クラスの中の約1割の生徒が思考力・判断力・表現力が「十分満足できる」状況（A）に、約8割の生徒は、「おおむね満足できる」状況（B）にあり、約1割の生徒が、そこまで到達していない状況（C）にあると判断した。確認テストの状況（A）と判断した「生徒A」、状況（B）と判断した「生徒B」、状況（C）と判断した「生徒C」が、本生徒実験において、それぞれどのような記述をしていたかを次頁に示す。

生徒A	結果と考察(2) 酢酸は弱酸であるので、水で希釈すると弱いほど電離度が大きくなるため。	結果と考察(3) $K_a = \frac{(1.59 \times 10^{-3})^2}{0.1 - 1.59 \times 10^{-3}} = \frac{2.528 \times 10^{-6}}{98.41 \times 10^{-3}} = 2.56 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$
生徒B	結果と考察(2) 	結果と考察(3) $A: \frac{2.528 \times 10^{-6}}{98.41 \times 10^{-3}} = 2.56 \times 10^{-5}$ $B: \frac{2.528 \times 10^{-6}}{98.41 \times 10^{-3}} = 2.56 \times 10^{-5}$
生徒C	結果と考察(2) 	結果と考察(3) $A: K_a = \frac{(1.59 \times 10^{-3})^2}{0.1 - 1.59 \times 10^{-3}} = 2.56 \times 10^{-5}$ $B: K_a = \frac{(5.37 \times 10^{-4})^2}{0.1 - 5.37 \times 10^{-4}} = 2.87 \times 10^{-7}$ $C: K_a = \frac{(1.94 \times 10^{-4})^2}{0.1 - 1.94 \times 10^{-4}} = 3.85 \times 10^{-8}$

生徒Aは、結果と考察(2)に関して、弱酸のモル濃度と電離度の関係の特徴について正確に表現している。また、結果と考察(3)に関して、電離定数がモル濃度に依存しないことを考慮して、最も正確なpHの測定値から電離定数を算出しており、本生徒実験において状況(A)の基準に達していると判断した(プリントの別の欄に1種類の濃度についてのみ計算した理由が添えてあった)。ただし、それぞれの説明の表現方法に関しては、論理性に不十分な点が見られる。

生徒Bと生徒Cともに、結果と考察(2)に関して、酸性の強さと電離度の関係のみに言及している。また、結果と考察(3)に関しては、3種類の濃度の水溶液それぞれに対して電離定数を計算しようとしている。生徒Bは3種類の濃度の下での電離定数の値を算出したが、平均値を求めず、それぞれの値の分析にも至っていないので、状況(B)の基準までの到達であると判断した。一方、生徒Cは、データを式に代入したものの、電離定数の値の算出に至っておらず、状況(B)の基準には達していないと判断した。

7 次の指導に向けて立てた方策例

- (1) 探究活動等を通して、考察する力を高めさせるとともに、考察して導いた結果や、理解して他人に伝えたいことを文章や式で表現する力を高めさせる。
- (2) 問題演習を通して、電離度や電離定数を活用する利点を確認させるとともに、それらの値を導く力を習得させる。

8 7の方策の実践による生徒の変容度の評価(単元テスト)

小項目「電離平衡」の全ての学習内容を指導した後、単元テストを実施した。単元テストの中に、生徒実験を通しても十分には改善が図れなかつた項目が、満足できる状況に至ったかどうかを調べるために、次の問題を出題してそれぞれの生徒の変容を確認した。

■ 単元テストでの出題例(本調査研究の対象問題のみを抜粋。解答用紙は省略。)

1. 0mol/Lの酢酸水溶液の電離度は 5.3×10^{-3} である。 $\log_{10} 5.3 = 0.72$ として、次の(1)～(3)の問い合わせに答えなさい。
- (1) 1.0mol/Lの酢酸水溶液のpHを求めなさい。
 - (2) c [mol/L] の酢酸水溶液の電離度を α として、酢酸の電離定数 K_a [mol/L] を表す式を導き出しなさい。
 - (3) 酢酸の電離定数 [mol/L] を求めなさい。

「生徒A」、「生徒B」、「生徒C」が、各問題に対して、それぞれどのような解答をしていたかを次頁に示す。

生徒A	(1) 適切に 解答した。	(2)、(3) $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ $c \text{ mol/L}$ α $c\alpha$ $c \text{ mol/L}$ $c\alpha$ $c\alpha^2$ $k_a = \frac{c\alpha \cdot c\alpha}{c} = \frac{c\alpha^2}{c} = c\alpha^2$ $\alpha^2 = \frac{k_a}{c}$ $\alpha = \sqrt{\frac{k_a}{c}}$
生徒B	(1) 適切に 解答した。	(2)、(3)
生徒C	(1) 適切に 解答した。	(2)、(3) 解答していない。

生徒A、生徒B、生徒Cともに、問題(1)においては、酢酸の電離度を用いてpHを正確に導き出すことができた。また、生徒Aと生徒Bは、問題(2)、(3)において、近似処理を行いながら、酢酸の電離度と電離定数の関係を導き出しており、特に生徒Bは電離定数についての理解が深まったものと考える。また、生徒Aと生徒Bは電離定数を導く過程で、化学反応式（電離式）を表記し、モル濃度の関係を示しており、説明に多少の論理性が見られるようになった。

一方、生徒Cは、問題(2)、(3)の解答に至らなかった。生徒Cのように、設定した目標に到達できなかった生徒に対しては、単元テストの解説の後に、単元テストと同様の問題で構成した課題プリントを用意し、十分な期間を与えて取り組ませた。そして、生徒から課題プリントを受け取る際に、生徒が解けなかった問題について解説した。それでも目標に到達できなかった生徒には、教科書や問題集の基本問題に授業外で取り組ませ、ノート等に丁寧に解答させたものを添削指導するのも効果的であると考える。

また、論述の表現力については、全ての生徒において十分満足できる状況に至らなかった。問題演習を進める際や実験レポートをまとめる際など、様々な場面で論述させるための時間を確保し、「他者に分かりやすく伝える」という視点で、繰り返し指導を続けることが大切である。

VI 関連する事例

本報告書においては詳細な報告はできないものの、指導計画の中に挙げた、学習到達目標の達成が期待できる教材例と、高等学校で学習する各内容に対する学習到達度を調べるために評価票例と実際に調査・分析した結果を次頁以降に紹介する。

i 生徒実験「中和滴定に伴うpHの変化について考え方」

1 実施目的

生徒実験を通して、中和滴定に伴う水溶液のpHが変化する原理とpHの緩衝作用について、実感を伴いながら理解を深めさせる。さらに、確認テストを通じた評価から得られた改善事項（前述）を基に、実験値から中和滴定曲線を描く過程を通して、不十分であると判断した力を補う。また、生徒の実験に取り組む様子や実験結果に対する考察の深め方・表現の仕方を評価し、今後の指導計画の立案に生かす。

2 評価規準例

- ・電離平衡の考え方を用いて、様々な現象の原理を説明している。特に中和滴定に伴う緩衝作用について、説明できる。〈思考・判断・表現〉
- ・マイクロスケールでの定量的な滴定を行い、測定結果とこれまでに得た知識を基に滴定曲線を描くことができる。〈観察・実験の技能〉

3 生徒実験を実施する際の留意点

- (1) 前時に、次頁の「**生徒実験プリント例**」を配布し、実験の目的等を十分に理解させるとともに、科目「化学基礎」で既に学習している本実験に関連する内容を復習させておく。
- (2) それぞれの試薬は、事前に点眼びんに入れておき、生徒がすぐに使用できる状態にしておく。
※ 1滴分の滴下量が他の点眼びんと大きく異なるものがまれに存在するので確認しておく。
- (3) 「**生徒実験プリント例**」では、「酸と塩基の4種類の組み合わせのうち、指示された1種類の組み合わせについて行うこと。」となっているが、時間の都合がつくのであれば、各実験班で全ての組み合わせについて同条件で測定を行い、それらを比較する。
※ 考察を深めるために必要な時間から逆算して、測定に費やすことができる時間を決める。
- (4) pH試験紙の使用方法については、プレゼンテーションソフトを利用して写真を含むスライドを使って説明するとともに、実験中も投影しておくとよい。
- (5) 強酸と強塩基の組み合わせでは、水溶液の滴下の状況次第で、中和点のpHが理論値とずれる可能性が高いが、本実験の目的が中和点の決定ではないことを確認し、滴定曲線の概形に着目させる。
- (6) pHの値を決定した後、万能指示薬をそれぞれの水溶液に滴下することで、視覚的にpHの変化を確認させることができる。万能指示薬の調製は、次のように行う。

- ① チモールブルー0.005g、メチルレッド0.012g、プロモチモールブルー0.06g、フェノールフタレン0.1gを300mLビーカーに入れ、さらにエタノールを約100mL注ぎ、よくかき混ぜて完全に溶かす。
- ② ①のビーカーに0.1mol/L水酸化ナトリウムを緑色になるまで滴下して、さらに純水を約100mL加える。

- (7) 他班の万能指示薬による色の変化について共有するために、実物提示装置等を準備しておく。
- (8) 測定に使用する製氷皿は、百円ショップ等で入手でき、セルプレートの代用品として他の実験でも使用できる。なお、本実験では、無色透明のセルプレートよりも、白色不透明の製氷皿の方が、指示薬による色の違いが見分けやすい。
- (9) マイクロスケールで測定を行う意義を、環境教育の視点から確認させる。
- (10)白衣と保護メガネを着用させ、安全面への配慮を確認させながら実験を進めさせる。

■生徒実験プリント例

実験 中和滴定に伴うpHの変化について考えよう

[目的]

- (1) マイクロスケールで中和滴定を行う。pH試験紙を用いて、滴定に伴うpHの変化を測定し、滴定曲線の概形を描く。
- (2) 塩基の滴下が進んでもpHの変化が小さい場合について、その理由を考察する。

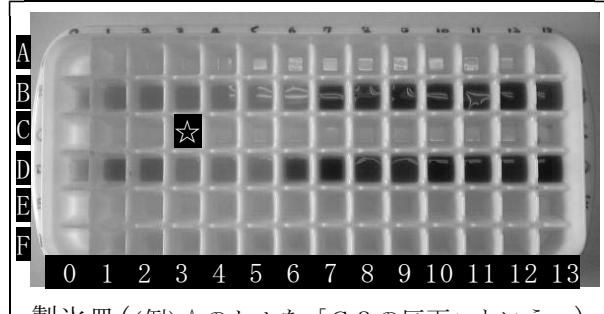
[準備]

(1) 器具

製氷皿（6×14区画）、点眼びん（4本）、
pH試験紙（万能試験紙と8種試験紙セット）、
ガラス棒、ピンセット、標準変色表

(2) 試薬

0.10mol/L塩酸、0.10mol/L酢酸、
0.10mol/L水酸化ナトリウム水溶液、
0.10mol/Lアンモニア水、万能指示薬（チモールブルー、メチルレッド、プロモチモールブルー、フェノールフタレインのエタノール溶液）



[方法]

(1) 準備

塩酸、酢酸、水酸化ナトリウム水溶液、アンモニア水をそれぞれ約10mLずつ同じ規格の点眼びんに入れる。

(2) 測定

- ① 塩酸を製氷皿のB 0～B 13の区画に8滴ずつ入れる。
- ② 水酸化ナトリウム水溶液をB 1の区画に1滴、B 2の区画に2滴、・・・と加える。
- ③ 製氷皿を揺らして溶液を混ぜる。
- ④ B 0～B 13それぞれの水溶液のpHを試験紙で調べ、記録する。
* ガラス棒で液を試験紙に付け、変色した試験紙を標準変色表と見比べてpHを決定する。
- ⑤ ④の結果を基に、グラフ用紙にプロットし、滴定曲線の概形を描く。
- ⑥ B 0～B 13それぞれの区画に万能指示薬を1滴ずつ加え、溶液の色の違いを確認する。
- ⑦ 同様に、C 0～C 13の区画で、塩酸とアンモニア水の組み合わせについて調べる。
- ⑧ 同様に、D 0～D 13の区画で、酢酸と水酸化ナトリウム水溶液の組み合わせについて調べる。
- ⑨ 同様に、E 0～E 13の区画で、酢酸とアンモニア水の組み合わせについて調べる。

※ pH試験紙を用いたpHの測定については、4種類の組み合わせのうち、指示された1種類の組み合わせについて行うこと。他の3種類の組み合わせの結果は、他の班からデータをもらう。万能指示薬は、すべての区画に滴下すること。

[結果]

(1) 塩基の滴下に伴って変化する水溶液のpHを記録しよう。

i) 塩基の滴下数と水溶液のpH

	0	1滴	2滴	3滴	4滴	5滴	6滴	7滴	8滴	9滴	10滴	11滴	12滴	13滴
①														
②														
③														
④														

- ① $\text{HCl}_{\text{aq}} + \text{NaOH}_{\text{aq}}$ ② $\text{HCl}_{\text{aq}} + \text{NH}_3\text{aq}$
 ③ $\text{CH}_3\text{COOH}_{\text{aq}} + \text{NaOH}_{\text{aq}}$ ④ $\text{CH}_3\text{COOH}_{\text{aq}} + \text{NH}_3\text{aq}$

(2) 万能指示薬を滴下したときの様子を見て、
気付いたことがあれば記録しておこう。

[考察]

(1) 中和点前で、滴下数が増加してもあまりpHが
変化していない領域について考えてみよう。

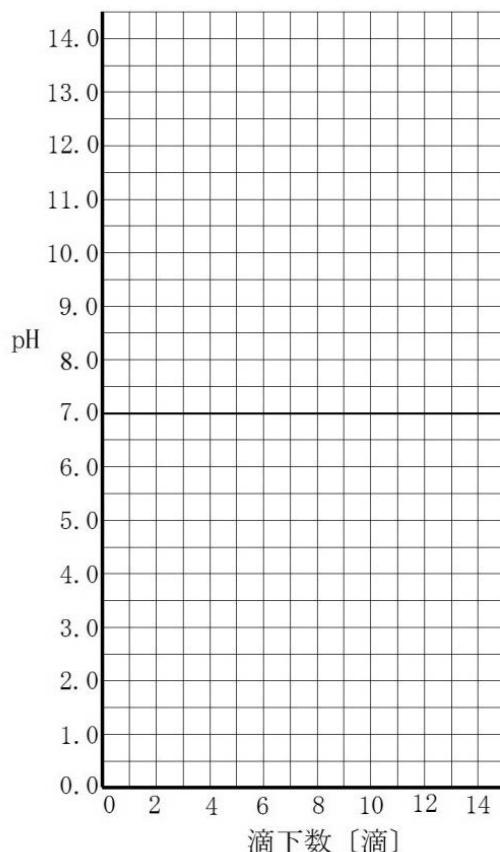
- ① 塩酸に水酸化ナトリウムを加えたとき
(滴下数が _____ 滴から _____ 滴の領域)

〈変化していない理由〉

- ② 酢酸に水酸化ナトリウムを加えたとき
(滴下数が _____ 滴から _____ 滴の領域)

〈変化していない理由〉

ii) 塩基の滴下に伴う水溶液のpHの変化



→ _____ 作用

(2) 酢酸に水酸化ナトリウム水溶液を4滴加えたときのpHを理論的に求めよう。ただし、酢酸の電離定数を $2.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ とし、 $\log_{10} 2.7 = 0.43$ として近似を使って計算しよう。

ii 探究活動「希硫酸と水酸化カリウム水溶液の反応について考えよう」

1 実施目的

探究活動を通して、各小項目で学習した内容それが身に付いているかを確認するだけでなく、一つの現象が起こる原理に対して、複数の知識を組み合わせることで初めて論理的に説明できることを体感させる。特に、物理化学的な知識で実際に起こる化学反応とそれに付随して見られる現象を適切な表現で説明させる。また、それまでに行った生徒実験や単元テスト等を通じた評価から得られた改善事項（前述）を基に、不十分であると判断した論理的な表現力を養う。さらに、生徒の探究活動に取り組む様子や実験結果に対する考察の深め方・表現の仕方を評価し、今後の指導計画の立案に生かす。

2 評価規準例

- ・実験実施前に実験の目的と内容を理解し、実験結果を論理的に予想して実験に臨んでいる。
〈思考・判断・表現〉
- ・これまでに身に付けた学習内容を基に実験班で話合いをしながら実験を進めたり考察を深めたりでき、得られたことを実験レポートにまとめている。〈思考・判断・表現〉
- ・探究し解明すべきことを整理しながら準備・測定・記録・再測定・情報収集・片付けができる。
〈観察・実験の技能〉

3 探究活動を実施する際の留意点

- (1) 2 単位時間のうちの 1 時間目の最初に探究の目的等を十分に理解させ、実験班内で共通理解を図らせる。その上で、実験方法等を確認し、役割分担などの計画をさせる。
- (2) 結果を理論的に予想し、観察できる現象の原理に仮説を立てる作業に時間をかける。各班でえたことをそれぞれ口頭で発表させ、クラス全体で情報交換を行う。実験及び考察は 2 時間目に行う。
- (3) 中和熱を基に考察を進めるので、実験室の室温が 25°C 前後であることが望ましい。室温が著しく低いときには、恒温水槽を用いて 25°C で実験すると望ましい結果が得られる。使用する希硫酸と水酸化カリウム水溶液も、予め恒温水槽に浸しておく。
- (4) 水溶液の体積が小さいため、短時間で水溶液の温度が変化する。
アルコール温度計などでは、温度変化の速さに対応しきれないので、
デジタル温度計を用いる。
※ 本調査研究では、写真 4 のデジタル温度計を用いた。予備実験 写真 4 デジタル温度計
では、反応熱の測定値が誤差 5 % 以内で得られている。
- (5) 水溶液の温度変化のグラフから反応熱の値を得る過程や計算式の詳細は、「ヘスの法則の検証」をする生徒実験で学習したものとして探究プリントには示していないが、必要に応じて時間を確保して説明する。
- (6) 水溶液の密度や比熱の値を、純水の値に近似して計算させており、実験値と理論値の誤差の大きさに必要以上に着目させ過ぎず、確認できた現象を説明するために実験値を生かすように働きかける。
- (7) 測定・観察後の水溶液が入ったビーカーを数日放置すると、析出した硫酸カリウムの結晶が成長し、大きくなっていることがある。
- (8)白衣と保護メガネを着用させ、安全面への配慮を確認させながら実験を進めさせる。



■探究プリント例

探究活動 希硫酸と水酸化カリウム水溶液の反応について考え方よ

[目的]

- (1) 希硫酸と水酸化カリウム水溶液を中和反応させたときに発生する中和熱を測定する。
- (2) 希硫酸と水酸化カリウム水溶液を中和反応させたときに観察できるいくつかの現象を確認し、これまでの学習内容を整理しながらそれぞれの現象を理論的に考察する。

[準備]

(1) 器具

50mLビーカー、ビーカーのふた（ビーカーの径に合わせて発泡スチロールで作製）、
10mLメスシリンドラー、点眼びん、デジタル温度計、ストップウォッチ、ルーペ、黒色の紙

(2) 試薬

1.5mol/L硫酸 ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{aq}$)、3.0mol/L水酸化カリウム水溶液 (KOHaq)、
塩化カリウムの飽和水溶液 (KClaq)

[方法]

- (1) 3.0mol/L水酸化カリウム水溶液10mLをはかりとり、ビーカーに移す。
- (2) デジタル温度計のセンサー部を(1)の水溶液に入れる。
- (3) 1.5mol/L硫酸10mLをメスシリンドラーではかりとる。
- (4) 水溶液の温度を確認し、計時する準備ができた後、(3)の硫酸を(1)のビーカーに手際よく注ぎ、ふたをする。同時に計時を開始する。
- (5) 10秒ごとに水溶液の温度を記録し、同時にグラフ用紙にプロットする。(180秒間。)
- (6) ふたを外し、ビーカーを静置・放冷し、水溶液の変化の有無を観察する。水溶液に変化が見られたときの温度を確認する。(必要に応じてルーペで観察する。)
※ ビーカーの下に黒色の紙を敷くと水溶液の変化が観察しやすい。
- (7) ビーカー内の水溶液に点眼びんに入っている塩化カリウムの飽和水溶液を2、3滴垂らし、水溶液の変化の有無を観察する。

[予想・仮説]

- (1) 希硫酸と水酸化カリウム水溶液を混ぜたときに起こると予想できる中和反応を化学反応式（硫酸と水酸化カリウムが過不足なく完全に中和するときの反応式）で表そう。
- (2) 中和反応に伴って_____熱が発生することが予想できる。(1)を基に、熱化学方程式で表そう。(25°Cのとき、中和によって1molの水が生成するときの熱量は、56.5kJ/molです。)
- (3) 本実験で反応させる硫酸と水酸化カリウムの物質量を基に、発生する熱量 Q [J] を求めよう。

(4) (3)の熱がすべて水溶液の温度上昇 Δt [K] に用いられたと仮定したときに、水溶液の温度が何°Cまで上昇するかを予想しよう。反応前の水溶液の温度が25°Cであり、水溶液の比熱 c [J/(g·K)] は水の比熱 (4.2J/(g·K)) とほぼ等しく、水溶液の密度は1.0g/cm³として計算してみよう。(水溶液の体積は20mLになるので、質量 m [g] は1.0g/cm³ × 20cm³。)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad \text{であるので}$$

(5) 硫酸と水酸化カリウムから生成する塩は、比較的水に溶けにくい。水溶液の温度の上昇が止まった後、どのような現象が観察できるであろうか。

[結果]

(1) 硫酸と水酸化カリウム水溶液を混ぜた後の温度 (※ 0秒の値は混ぜる前の温度)

経過時間 [秒]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
溶液の温度 [°C]											
	110	120	130	140	150	160	170	180			

(2) 放冷・静置して、水溶液にどのような変化が生じたか？

水溶液中に、_____。

(3) 水溶液中に結晶 (_____) が析出したとき

① 結晶が析出したときの水溶液の温度は? _____ °C

〈結晶の様子〉

② 析出した結晶の形状や色などを図と言葉で記録しよう。

(4) 結晶の析出が確認できた後に、塩化カリウム水溶液を滴下すると、水溶液にどのような変化が生じたか？

塩化カリウムが滴下したところから、_____。

(5) (2)～(4)以外に気付いたことがあれば記録しておこう。

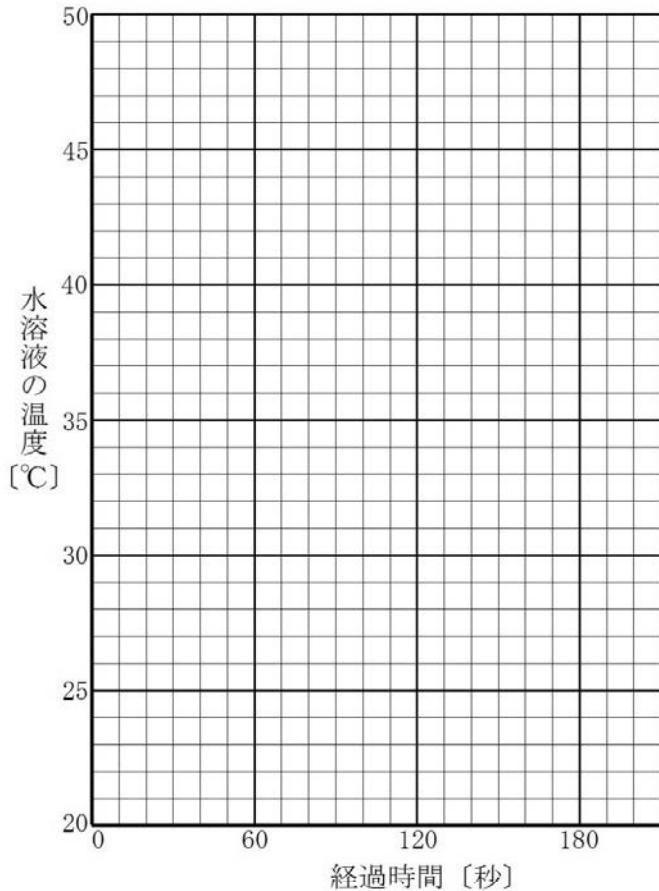
[考察]

(1) 経過時間に対する水溶液の温度のデータをグラフ用紙にプロットしよう。

そして、経過時間と温度降下の関係から、熱の損失が無いと仮定したときの、水溶液の最高温度を推定しよう。

推定できた最高温度は _____ °C
であった。したがって、硫酸と水酸化カリウムの中和反応による水溶液の上昇温度は、

_____ K であった。



(2) (1)で得られた上昇温度から、中和反応によって生じた熱量を算出しよう。

そして、事前に算出した理論値と比較し、熱の損失率 [%] を計算してみよう。

(ただし、水溶液の比熱は水の比熱 ($4.2\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$) とほぼ等しく、水溶液の密度は $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ とします。)

水溶液の質量は、_____ g であるので、水溶液が中和反応の反応熱によって得た熱量は

_____ × _____ × _____ = _____ J
である。一方、反応熱の理論値は _____ J であるので、損失率は次のとおりである。

$$\frac{\text{損失した熱量}}{\text{得られるはずだった熱量}} \times 100 = \underline{\hspace{10em}} \%$$

(3) 結晶が析出した温度が妥当であるかを、右の溶解度曲線を使って検討してみよう。

生成した硫酸カリウムの質量は

$$\underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{g}$$

ビーカー内の水の質量は

$$\underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{g}$$

温度上昇時に水100 g当たりに溶けていた硫酸カリウムの質量は

$$\underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{g}$$

であると考えられるので、溶解度曲線から結晶が析出する温度は、_____°Cである。

一方、本実験で析出が確認できたのは、_____°Cであったので、算出した温度と比較して、_____かった。

(4) (3)で実際の析出温度と溶解度曲線から算出した析出温度が異なる原因を考えてみよう。

(5) 水溶液が溶解平衡（電離平衡）に達しているときのようすを、化学反応式（電離式）で表そう。

(6) (5)の式を基に、水溶液に塩化カリウムを加えたときに起こった現象を考えてみよう。

(7) 本実験の概要を、「反応熱」、「溶解度」、「電離平衡」という語を使って、簡潔な文章で説明しよう。

4 実施時の様子

調査対象クラスの各実験班ともに、実験結果を予想したり、測定手順等を確認したりして探究活動に臨むことができた。さらに、想定していた現象を観察したり、実験値を得ることができたりしていた。また、測定結果に対して考察したり、考察したことをレポートに記述したりする際は、班で議論しながら進めていた。



写真5 探究活動の様子

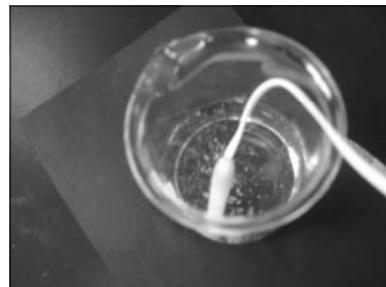


写真6 結晶が析出する様子



写真7 生徒の考察した内容を解説する教科担当教師

探究活動後に提出させた探究レポートの内容から、評価規準に照らして、おおむね学習到達目標を達成したと判断した生徒は、次のように感想を述べていた。

- ・実験の前に理論値を計算してから予測し、実験によって検証することが初めてだったので、わくわくして実験できた。実験値と理論値が意外に近くて嬉しかった。
- ・授業で学習したように中和熱が生じて水溶液の温度が上昇したのが確認できて興味深かった。
- ・硫酸と水酸化カリウム水溶液を混ぜるという簡単な操作だけで、水溶液の温度が上昇したり、結晶が析出したり色々な変化が見られて驚いた。
- ・溶解平衡と難溶性の塩の電離平衡が結びついてよかった。
- ・実験値と理論値との間で差が生じた原因がいくつもあることが実感できた。
- ・実験値の誤差の原因を踏まえて再度実験してみたい。

iii 学習到達度評価票（学習到達度アンケート）（例）

1 実施目的

科目「化学基礎」、「化学」の各学習内容に対する到達度を生徒が自己評価し、今後の学習の指針を見いだす。また、教科担当教師が生徒の実態を掌握し、到達度が不十分な学習内容を補うための参考材料にする。さらには、次の学年の生徒への指導に生かす。

2 実施上の留意点

- (1) 実施前に、実施の目的を生徒に十分に理解させ、できるだけ客観的に自己評価をさせる。
- (2) シラバス等でそれぞれの学習内容に対する到達目標を確認させながら自己評価をさせる。
- (3) 生徒が記入した評価票は直ちに集計・分析した後、速やかに返却し、生徒の家庭学習等に生かせるようとする。(評価票は、○を付けた位置から、到達度が視覚的に分かりやすくしている。)
※ なお本調査は、3学年の理科系クラスに所属する生徒全員を対象に、科目「化学Ⅱ」を全て学習した直後に行った。

■ 「学習到達度評価票」の様式例

学習到達度アンケート（「化学基礎」・「化学」）

これまで学習した化学の各単元の内容を振り返りましょう。それぞれの単元の内容についてどのくらい理解・習得しているかについて、当てはまると思われる数字の欄に○をつけてください。

4：十分に理解している、3：ある程度理解している、2：あまり理解していない、1：全く理解していない

No	科目	単元名（学習内容）	4	3	2	1	チェック
1	化基	物質の探究（単体・化合物・混合物）、熱運動と物質の三態）					
2	化基	物質の構成粒子（原子の構造、電子配置と周期表）					
⋮	⋮	⋮					
7	化基	化学反応（酸化と還元<酸化剤と還元剤の量的関係など>）					
8	化	物質の状態とその変化（状態変化<気液平衡など>）					
9	化	物質の状態とその変化（気体の性質<状態方程式など>）					
⋮	⋮	⋮					

※ このアンケートの目的は、今後の皆さんの「学習の指針」を確認してもらうことです。加えて、アンケートの集計結果を、この後の授業で問題演習を進めるときの参考とします。また、表の「チェック」の欄は、問題演習を進める際などに活用してください。

（クラス） 年 組 (番 号) (氏 名)

3 集計・分析結果

生徒の自己評価の数値の平均値が高かった学習内容としては、「物質の探究」、「物質量」、「化学反応式」（いずれも科目「化学基礎」の学習内容）であった。一方、平均値が低かった学習内容としては、「溶液とその性質<希薄溶液の性質など>」、「溶解平衡<溶解度など>」、「化学平衡とその移動」、「電離平衡」（いずれも科目「化学」の学習内容であり、自己評価の数値平均が2.1～2.2）であった。また、標準偏差から判断できる自己評価の数値のばらつきが大きい学習内容としては、「化学反応と熱・光」、「官能基をもつ有機化合物」、「芳香族化合物」、「炭化水素」が、ばらつきが小さい学習内容としては、「溶解平衡<溶解度など>」（いずれも科目「化学」の学習内容）が挙げられる。本調査研究においては、対象が3学年の生徒だったので、科目「化学Ⅰ」、「化学Ⅱ」での学習成果であり、履修配列も異なることから、科目「化学基礎」、「化学」の場合と単純には比較できないが、学習到達度が低く生徒が苦手意識をもちやすい内容は共通であると考える。また、到達度が特に低くはない学習内容であっても、評価の数値のばらつきが大きい内容では、理解度が不十分である生徒が多く存在することを想定しながら、これまでに行っていた指導方法や使用していた教材等の工夫・改善を図るための方策を立てなければならない。

VII 参考文献等

- ・ 文部科学省 「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」(実教出版)
- ・ 国立教育政策研究所教育課程研究センター 「評価規準の作成、評価方法の工夫改善のための参考資料【高等学校 理科】」(教育出版)
- ・ 栃木県総合教育センター 「高等学校における教科指導の充実 理科《化学領域》「化学基礎」における指導事例」 平成24年3月
- ・ 平成24年度栃木県教育研究発表大会 理科部会(中・高) 発表資料《化学領域》 平成25年1月
- ・ 吉田俊久・稻場秀明 編 「図説 学力向上につながる理科の題材 化学編」(東京法令)
- ・ 鈴木智恵子 「身近な化学の実験と化学の基礎」(東洋館出版社)
- ・ 杉山剛英 編著 「ポピュラー・サイエンス275 わかる！なるほど理科実験」(裳華房)
- ・ 笠原寛泰 佐藤美子 「マイクロスケール実験 環境にやさしい理科実験」(オーム社)
- ・ 荻野和子 田島智子 東海林恵子 金和宏 化学と教育, 49, 348 (1998)
- ・ 松川利行 化学と教育, 61, 582 (2013)
- ・ 山崎勝義 化学と教育, 61, 586 (2013)
- ・ 国立天文台 編 「平成25年第86冊 理科年表」(丸善)

VIII 参考資料（科目「化学」シラバス例）

次に示す表は、生徒が科目「化学」を標準単位数で履修する際に使用するシラバスとして最低限の情報を列記したものであり、学校の実情や生徒の実態に応じて、具体的な評価方法や自己評価の欄、定期試験の出題範囲、関連する補助教材の内容、単元のキーワードなどが加わることを想定している。表中の「実施する実験等」の欄においては、学習指導要領解説で例示されている観察・実験等と各出版社の教科書に取り上げられている観察・実験等を参考にして、実施が望ましいと判断した生徒実験、演示実験及び探究活動を提案する。

■科目「化学」シラバス例

実施月	単元（実施予定期数）	学習到達目標	実施する実験等 【実】：生徒実験 【演】：演示実験 【探】：探究活動	評価の観点			
				関心	思考	観察	知識
				・意欲	・判断	・実験の理解	・態度
4	(1) 物質の状態と平衡	<単元全体の到達目標> 気体、液体、固体の性質を観察、実験などを通して探究し、物質の状態変化、状態間の平衡、溶解平衡及び溶液の性質について理解するとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにする。					
	ア 物質の状態とその変化	(ア) 状態変化 (4時間)					
		<ul style="list-style-type: none"> ・物質の状態変化に伴うエネルギーの出入りや物質の融点・沸点の高低を、粒子間に存在する分子間力や化学結合から考え、判断できるようにする。 ・気体と液体間の平衡状態について確認するとともに、平衡状態における蒸気圧が生じる原理を理解する。 ・蒸気圧と温度との関係及び蒸気圧と状態変化との関係を理解し、蒸気圧曲線から沸点を決定できるようにする。 				◎	◎
		(イ) 気体の性質 (10時間)					
		<ul style="list-style-type: none"> ・理想気体の体積と、圧力や絶対温度との関係を理解し、知識を身に付ける。 ・ボイル・シャルルの法則による関係式を用いた各量の計算方法を身に付ける。 ・理想気体の状態方程式を導出し、方程式を用いた各量の計算方法を身に付ける。 ・理想気体の状態方程式を利用して、揮発性の物質の分子量を実験により決定する。 ・混合気体における各成分気体の分圧と全圧の関係を理解し、モル分率を基に分圧が計算できるようにする。 ・実在気体と理想気体の違いを整理し、理想気体の状態方程式を用いることができるかの判断をすることができるようとする。 				◎	◎
		【演】減圧下での沸騰の観察 【演】シャルルの法則の検証 【実】分子量を測定しよう				◎	○
		○ ○					

5	(ウ) 固体の構造 (4時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・結晶の種類を、分子間力や化学結合の種類等で分類し、それぞれの融点の高低などの特徴を整理しながら理解する。 ・結晶格子モデルを製作しながら、固体の立体構造を結晶格子の概念を用いて表現できることを確認する。 ・結晶中の粒子間距離や粒子の大きさなどを結晶格子を基に計算できるようにする。 <p>・非結晶の固体で存在する物質を確認し、結晶との違いを整理する。</p>	【実】結晶格子モデルを製作しよう	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
				<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	イ 溶液と平衡					
	(ア) 溶解平衡 (5時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・物質が溶解する原理を確認した上で、飽和溶液においては溶解平衡の状態になっていることを理解する。 ・固体の物質が溶解できる量を溶解度で表すことを理解するとともに、再結晶時に析出・回収できる物質の質量などの計算方法を身に付ける。 <p>・気体の物質が溶解できる量を溶解度で表すことを理解するとともに、溶解量がヘンリーの法則に従うことを確認し、ある温度・圧力下での気体の溶解量の計算方法を身に付ける。</p>	【演】色々な固体の水への溶解	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(イ) 溶液とその性質 (5時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・溶媒に少量の物質を加えたときに起る蒸気圧降下、沸点上昇、凝固点降下の各現象や希薄溶液の浸透圧が生じる現象を理解し、知識を身に付ける。 ・体積モル濃度などの濃度について復習するとともに、質量モル濃度を理解し、その計算方法を身に付ける。 ・凝固点降下度、沸点上昇度、浸透圧の各物理量と溶液の濃度との関係を表す式をそれぞれ導出し、式を利用した分子量等の各量の計算方法を身に付ける。 <p>・コロイド溶液とその性質を理解し、知識を身に付ける。</p> <p>・実験を通してコロイド溶液の様々な性質を確認する。</p>	【実】コロイドの性質を確かめよう	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ウ 物質の状態と平衡に関する探究活動 (2時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・探究活動を通して、化学的に探究し、レポート等で表現する力を向上させるとともに、单元「物質の状態と平衡」全体の学習内容を振り返り、自身の理解度を確認する。 	【探】凝固点降下による分子量の測定	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	(2) 物質の変化と平衡	<p>〈単元全体の到達目標〉</p> <p>化学反応に伴うエネルギーの出入り、反応速度及び化学平衡を観察、実験などを通して探し、化学反応に関する概念や法則を理解するとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにする。</p>				

ア 化学反応とエネルギー	(ア) 化学反応と熱・光 (8時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・化学反応に伴う熱の出入り（反応熱）を、各物質固有の化学エネルギーで考えができるようとする。 ・反応熱の種類とそれぞれの特徴を整理し、理解する。 ・化学反応に伴う熱の出入りをエネルギー図と熱化学方程式を用いて表現できるようとする。 	【演】硝酸と水酸化カリウムの反応を観察しよう	◎ ○ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・複数の反応経路が考えられる化学反応の反応熱を、ヘスの法則（総熱量保存の法則）を利用して考え、必要な熱量の計算方法を身に付ける。 ・物質を構成する粒子間の結合エネルギーについて確認した上で、反応熱と結合エネルギーの関係を理解し、必要なエネルギーの計算方法を身に付ける。 ・ヘスの法則を、中和と溶解を含む反応系で発生する熱量を測定する実験を通して検証する。 	【実】ヘスの法則を検証しよう	○ ○ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・化学反応に伴う光エネルギーの出入りを、身近な発光現象や光合成などを例に、化学エネルギーで考えができるようとする。 		○ ○ ○
(イ) 電気分解	(5時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・電気分解に関する基本的な原理を確認し、電気分解では外部から供給された電気エネルギーが化学エネルギーに変換されることを理解する。 ・電解質水溶液の電気分解において、両電極上で、どの物質が酸化（または還元）されているのかを判断し、化学反応式で表現できるようとする。 	【演】電解質水溶液の電気分解	◎ ○ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・硫酸銅(II)水溶液を電気分解する実験を通して、両極でそれぞれ反応する物質の量がファラデーの電気分解の法則に従うことを確認する。 ・電気分解において両極で反応する量や電気分解に要した電気量などの計算方法を身に付ける。 	【実】ファラデーの法則を検証しよう	○ ○ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・化学工業における電気分解の利用例とそれぞれの原理を確認し、人間生活への影響について考察する。 (1)融解塩電解の利用例 (2)イオン交換膜法の利用例 (3)電解精錬の利用例 		○ ○ ○

	(ウ) 電池 (3時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・化学電池の原理を復習するとともに、酸素水素電池を用いた演示実験を観察し、化学電池では化学エネルギーを電気エネルギーに変換して取り出す仕組みであることを理解する。 ・ダニエルの電池と鉛蓄電池を製作し、観察を通して放電・充電により各電極で起こる変化を酸化・還元反応でとらえられるようになり、それぞれを化学反応式で表現できるようにする。 	【演】電気分解と電池 【実】電池をつくろう	◎ ○ ◎ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・日常生活で利用している様々な実用電池を確認し、人間生活への影響について考察する。 		○ ◎ ○
	(1) 乾電池 (2) 燃料電池 (3) リチウムイオン電池			
7	イ 化学反応と化学平衡			
	(ア) 反応速度 (5時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・化学反応が進む速さを反応速度で表すことができることを理解し、反応速度に影響を与える諸要因（濃度、温度、触媒など）を整理する。 ・反応物の濃度と反応速度の関係を定量的に考察し、反応速度や速度定数の計算方法を身に付ける。 ・過酸化水素水から生じる酸素の量を測定・解析し、反応速度や速度定数を決定する諸要因について考察して実験レポートにまとめる。 	【実】過酸化水素水の分解反応の反応速度	◎ ○ ○
	(イ) 化学平衡とその移動 (4時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・多くの化学反応が可逆反応であることを確認するとともに、反応が進むと化学平衡の状態に達することを理解する。 ・化学平衡を反応速度で考え、質量作用の法則（化学平衡の法則）を理解する。 		◎ ○
	(ウ) 電離平衡 (6時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・化学平衡時の物質量の関係を的確にとらえることができるようになり、（濃度）平衡定数や気体反応における圧平衡定数の計算方法を身に付ける。 ・ルシャトリエの原理（平衡移動の原理）を理解し、平衡の移動に影響を与える諸要因（濃度、温度、圧力等）の変化に伴って平衡が正反応・逆反応のどちらへ進むかを判断できるようにする。 	【演】ルシャトリエの原理の検証	◎ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・水溶液中の電解質の電離においても化学平衡（電離平衡）に達することを理解し、酸・塩基の性質の強さと電離定数の大きさとの関係を理解する。 		◎ ○

<ul style="list-style-type: none"> ・電離度と電離定数の関係式を導出し、電解質の電離度とモル濃度の関係を理解する。 ・水の電離による影響を確認し、水のイオン積を利用して水素イオン濃度やpHが算出されることを理解する。 ・何種類かのモル濃度の酢酸水溶液を調製した上で、それらの水溶液のpHを正確に測定し、弱酸の電離度とモル濃度との関係等を考察して実験レポートにまとめる。 	<p>【実】酢酸のpHと電離度を調べよう</p>	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
<ul style="list-style-type: none"> ・電離平衡の考え方を用いて、様々な現象の原理を説明できるようにする。 <ol style="list-style-type: none"> (1) 塩の加水分解 (2) 弱酸・弱塩基の遊離 (3) pHの緩衝作用 (4) 難溶性の塩の溶解平衡 	<ul style="list-style-type: none"> ・電離定数を用いた、電離平衡時の各イオンのモル濃度や、酸・塩基のpHの計算方法を身に付ける。 	<p>【実】中和滴定に伴うpHの緩衝作用を考えよう</p>

夏季休業

8	ウ 物質の変化と平衡に関する探究活動				
	(2時間)	・探究活動を通して、化学的に探究し、レポート等で表現する力を向上させるとともに、単元「物質の変化と平衡」全体の学習内容を振り返り、自身の理解度を確認する。	【探】中和反応に伴う発熱と生成する塩の溶解平衡	◎	○
9	(3) 無機物質の性質と利用	〈単元全体の到達目標〉 無機物質の性質や反応を観察、実験などを通して探究し、元素の性質が周期表に基づいて整理できることを理解するとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにする。			
	ア 無機物質				
	(ア) 典型元素 (14時間)	<ul style="list-style-type: none"> 電子配置と関連付け、周期表を用いながら典型元素を分類することができるようとする。 水素とその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 希ガスの性質を理解し、知識を身に付ける。 ハロゲンとその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 塩素を中心にハロゲン元素の性質を実験を通して確認し、整理する。 酸素・硫黄とその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 窒素・リンとその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 炭素・ケイ素とその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 	【実】ハロゲン元素の性質を確認しよう 【演】硫黄酸化物の性質 【演】窒素酸化物の性質	○	○

		<ul style="list-style-type: none"> ・アルカリ金属元素とその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 ・2族の金属元素とその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 	【演】アルカリ金属の性質	○ ○ ○	○ ○ ○
10		<ul style="list-style-type: none"> ・12～14族の金属元素とその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 ・いくつかの両性元素の性質を実験を通して確認し、それぞれの共通性と相違性を整理する。 	【実】両性金属の性質を確認しよう	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○
	(イ) 遷移元素 (9時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・電子配置と関連付け、遷移元素の性質を、典型元素と比較しながら説明できるようにする。 ・錯イオンの形成の原理、錯イオンの形、命名法を理解し、知識を身に付ける。 	【演】鉄の性質の確認	○ ○ ○	○ ○ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・鉄とその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 		○ ○ ○	○ ○ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・銅とその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 		○ ○ ○	○ ○ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・銀とその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 		○ ○ ○	○ ○ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・クロム・マンガンとその化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 		○ ○ ○	○ ○ ○
		<ul style="list-style-type: none"> ・各金属元素の化合物の性質を整理し、それぞれの性質の違いを利用して金属イオンの分離方法や確認方法を理解する。 ・複数の金属イオンの混合水溶液から、各イオンを分離する手順を検討し、実際に分離できるかどうかを確認する。 	【実】金属イオンを分離しよう	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○
11	イ 無機物質と人間生活				
	(ア) 無機物質と人間生活 (2時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・金属の利用等によってもたらされている人間生活への影響について考察し、レポート等にまとめる。 <ol style="list-style-type: none"> (1) 金や白金 (2) チタンやタングステン (3) 合金 ・セラミックスの合成と利用等によってもたらされている人間生活への影響について考察し、レポート等にまとめる。 <ol style="list-style-type: none"> (1) ガラス (2) 窯業製品 (3) ファインセラミック 		○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○
	ウ 無機物質の性質と利用に関する探究活動				
	(2時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・探究活動を通して、化学的に探究し、レポート等で表現する力を向上させるとともに、単元「無機物質の性質と利用」全体の学習内容を振り返り、自身の理解度を確認する。 	【探】金・銀・銅の性質	○ ○ ○	○ ○ ○

	(4) 有機化合物の性質と利 用	〈単元全体の到達目標〉 有機化合物の性質や反応を観察、実験などを通して探究し、有機化合物の分類と特徴を理解するとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにする。		
	ア 有機化合物			
	(ア) 炭化水素 (10時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・有機化合物の特徴を、無機物質と比較しながら説明できるようにする。 ・炭化水素鎖の構造や官能基の違いにより、有機化合物がどのように分類されるかを理解する。 ・有機化合物の多くは異性体が存在することを理解し、異性体を区別するための有機化合物の表現方法を確認する。 ・元素分析の原理を確認し、分析結果から組成式を求める方法を身に付ける。 ・構造の違いによる炭化水素を分類できるようにし、それぞれの命名法を身に付ける。 ・アルカン及びシクロアルカンの性質を理解し、知識を身に付ける。 ・置換反応や構造異性体を、構造式で表現・説明できるようにする。 ・アルケンとアルキンの性質を理解し、知識を身に付ける。 ・付加反応や幾何異性体を、構造式で表現・説明できるようにする。 ・飽和炭化水素、不飽和炭化水素を生成し、それぞれの性質の違いを分子構造から考察して実験レポートにまとめる。 	◎	○
12	(イ) 官能基をもつ化合物 (9時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・アルコールとエーテルの性質を理解し、知識を身に付ける。 ・有機化合物中の特定の構造を、ヨードホルム反応で確認できることを理解する。 ・アルデヒドとケトンの性質を理解し、知識を身に付ける。 ・アルデヒドやケトンの性質を調べる実験を通して、有機化合物の還元性の有無を、銀鏡反応及びフェーリング液の還元によって確認できることを理解する。 ・カルボン酸の性質を理解し、知識を身に付ける。 ・ヒドロキシ酸分子を中心に、光学異性体について理解を深め、不斉炭素原子を見いだすことができるようとする。 ・エステル及び油脂の性質を理解し、知識を身に付ける。 ・酢酸エチルなどのエ斯特ルを合成し、それらの性質を確認する。 ・油脂をけん化して得られるセッケンの性質を理解しながら、界面活性剤の性質を確認する。 	【実】炭化水素の性質 を調べよう 【演】ヨードホルム反 応の確認 【実】アルデヒドとケト ンの性質を調べ よう 【実】エステルの性質 を確かめよう	○ ○ ○ ○ ○ ○

冬季休業

1	(ウ) 芳香族化合物 (8時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・ベンゼンの性質及び分子構造を理解し、知識を身に付ける。 ・ベンゼンの置換反応を整理するとともに、複数の置換基がベンゼン環に置換する場合に生じる構造異性体について確認する。 ・フェノール類の性質を理解し、知識を身に付ける。 ・芳香族カルボン酸の性質を理解し、知識を身に付ける。 ・アセチルサリチル酸を合成し、フェノール類や芳香族カルボン酸の性質を確認する。 ・芳香族アミン及びアゾ化合物の性質を理解し、知識を身に付ける。 ・アゾ染料を合成して性質を確認するとともに、染色の原理についても確認する。 ・芳香族化合物の性質を整理し、それぞれの置換基の違いから表れる性質の違いを利用した分離方法や確認方法を理解する。 		○	○	◎
		【実】サリチル酸をアセチル化しよう		○	○	○
		【実】アゾ染料をつくろう		○	○	○
		【演】芳香族化合物の分離		◎		○
	イ 有機化合物と人間生活					
(ア) 有機化合物と人間生活 (1時間)	(ア) 有機化合物と人間生活 (1時間)	・生体や食品等を構成する有機化合物を確認した上で、医薬品や染料等の様々な有機化合物の合成と利用等によってもたらされている人間生活への影響について考察し、レポート等にまとめる。		◎	○	
	ウ 有機化合物の性質と利用に関する探究活動 (2時間)	・探究活動を通して、化学的に探究し、レポート等で表現する力を向上させるとともに、単元「有機化合物の性質と利用」全体の学習内容を振り返り、自身の理解度を確認する。	【探】セッケンと合成洗剤の性質	○	○	
2	(5) 高分子化合物の性質と利用	（単元全体の到達目標） 高分子化合物の性質や反応を観察、実験などを通して探究し、合成高分子化合物と天然高分子化合物の特徴を理解するとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにする。				
ア 高分子化合物	(ア) 合成高分子化合物 (7時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・高分子化合物の骨格や合成方法などの違いにより、高分子化合物がどのように分類されるかを理解する。 ・高分子化合物の一般的な性質を理解し、知識を身に付ける。 ・様々な合成繊維の構造及び性質を理解するとともに合成法を確認し、知識を身に付ける。 		◎		○
		【演】ナイロンの合成		○	○	○

		<ul style="list-style-type: none"> ・様々な合成樹脂の構造及び性質を理解するとともに合成法を確認し、知識を身に付ける。 ・フェノール樹脂や尿素樹脂を合成し、熱硬化性樹脂の特性などを確認する。 	【実】熱硬化性樹脂を合成しよう	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	(イ) 天然高分子化合物 (10時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・様々なゴム（天然・合成）の構造及び性質を理解するとともに合成法を確認し、知識を身に付ける。 ・単糖類の性質を理解し、知識を身に付ける。 ・二糖類の性質を理解し、知識を身に付ける。 		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
3		<ul style="list-style-type: none"> ・多糖類の構造及び性質を理解し、知識を身に付ける。 ・セルロースの誘導体（ニトロセルロース、再生繊維、半合成繊維）を確認し、人間生活との関連を確認する。 		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ・実験を通して、代表的な多糖類と单糖類・二糖類の性質の違いなどを確認する。 	【実】糖類の性質を確かめよう	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ・アミノ酸の性質を理解し、知識を身に付ける。特に、水溶液中における双性イオンとしての性質を、電離平衡の下で考えることができるようする。 		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ・タンパク質の構造及び性質を理解し、知識を身に付ける。 ・酵素の化学的特性を確認する。 		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ・タンパク質を加水分解する実験を通して、タンパク質とアミノ酸の性質を確認する。 	【実】タンパク質とアミノ酸の性質を確かめよう	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ・核酸の化学的特性を確認する。 		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
イ	高分子化合物と人間生活					
(ア)	高分子化合物と人間生活 (1時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・種々の高機能性プラスチックの合成と利用、さらにはプラスチックの再利用等によってもたらされている人間生活への影響について考察し、レポート等にまとめる。 	【演】発泡ポリスチレンの溶解と再生	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
ウ	高分子化合物の性質と利用に関する探究活動 (2時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・探究活動を通して、化学的に探究し、レポート等で表現する力を向上させるとともに、単元「高分子の性質と利用」全体の学習内容を振り返り、自身の理解度を確認する。 	【探】多糖類の加水分解 【演】光触媒による加水分解	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

◎印の付いた評価の観点：学習到達目標を達成することで必ず身に付けたい力や態度等である。教科担当教師は、評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況を主に単元の評価の総括資料とする。

○印の付いた評価の観点：学習到達目標を達成することで身に付けたい力や態度等である。教科担当教師は、評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況に応じた適切な働きかけや指導の手立てを行うことを主に重視する。

4 「生物」における指導実践例

高等学校学習指導要領で、科目「生物」の目標は次のように示されている。

生物や生物現象に対する探究心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、生物学的に探究する能力と態度を育てるとともに、生物学の基本的な概念や原理・法則の理解を深め、科学的な自然観を育成する。

また、評価の観点の趣旨は以下のようにまとめることができる。

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
生物や生物現象に関心や探究心をもち、主体的に探究しようとするとともに、科学的态度を身に付けている。	生物や生物現象の中に問題を見いだし、探究する過程を通して、事象を科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	生物や生物現象に関する観察、実験などをを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理し、自然の事物・現象を科学的に探究する技能を身に付けている。	生物や生物現象に関する基本的な概念や原理・法則について理解を深め、知識を身に付けている。

このことを踏まえ、学習指導要領で「(1) 生命現象と物質」「(2) 生殖と発生」「(3) 生物の環境応答」「(4) 生態と環境」「(5) 生物の進化と系統」として示されている内容のまとめの中で、「(1) 生命現象と物質 ウ 遺伝情報の発現 (ア) 遺伝情報とその発現」「(1) 生命現象と物質 ウ 遺伝情報の発現 (ウ) バイオテクノロジー」において、各小項目を単元として以下に示したねらいとともに指導と評価の一体化を目指す取組を行った。

事例のねらい

・事例1について

学習指導要領解説には、「『生物』の内容は、近年の生命科学の急速な進歩を反映した内容を取り入れ、『生物基礎』と合わせて、学習内容の再構築を行っている。また、生物現象の仕組みや概念相互の関係を扱い、『生物基礎』で学習した生物や生物現象の概念の理解を深めさせるよう構成している。」とある。事例1で扱う「遺伝情報とその発現」では、以下に挙げたようなつながりが見える。

生物基礎	生物
イ 遺伝子とその働き (ア) 遺伝情報とDNA (イ) 遺伝情報の分配 (ウ) 遺伝情報とタンパク質の合成	ウ 遺伝情報の発現 (ア) 遺伝情報とその発現 (イ) 遺伝子の発現調節 (ウ) バイオテクノロジー

このことを踏まえて、「生物基礎」の既習内容の確認を行いながら「生物」へのスムーズな接続を意識するとともに、生徒の状況を把握しながらの指導を試みた。

・事例2について

事例2で扱うバイオテクノロジーに関しては、メディア等で多く取り上げられており、その言葉自体は多くの生徒が耳にしている。しかし、具体的な内容まで理解している生徒は少ないと思われ

る。そこで、この単元を学習するに当たって診断的な評価を行い、それをもとに授業計画を立てて指導に臨むこととした。

生徒への事前アンケートでは、やはり、言葉としては聞いたことがあるものの技術の原理などは、よく理解していないことがうかがえた。このことから、単元を通して、グループ学習や発表などの言語活動、実験を取り入れ、理解の深まりや思考を促した。

ここでは、バイオテクノロジーの技術や原理について、講義で学習した内容を実験により深め、遺伝子を扱った技術について、その原理と有用性の理解を促すことを目標とした指導を試みた。

事例 1 遺伝情報の発現

～生物基礎とのつながりを意識した取組～

1 単元名

遺伝情報の発現

2 単元の目標

DNAの複製の仕組み、遺伝子の発現の仕組み及び遺伝情報の変化を理解する。

3 単元の指導観

中学校では、遺伝子の本体がDNAであること、遺伝子に変化が起きて形質が変化することがあることなどを学習している。さらに「生物基礎」で、DNAが複製されることやDNAの情報に基づいてタンパク質が合成されることについて学習している。ここでは、DNAの複製の仕組み、遺伝子の発現の仕組み及び遺伝情報の変化について理解させることがねらいである。「生物基礎」で大きく捉えたDNAの構造・複製・タンパク質合成について詳細な仕組みを理解させ、DNAからタンパク質が合成される流れを説明できるようにする。

4 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
<ul style="list-style-type: none">・DNAの複製の仕組みをDNAの構造と関連付けて意欲的に探究しようとしている。・遺伝情報発現の仕組みに関心をもち、意欲的に探究しようとしている。	<ul style="list-style-type: none">・DNAの複製の仕組みについて、仮説を立て検証するという過程を通して科学的に思考し、表現している。・遺伝情報が発現する過程を理解し、コドンとアミノ酸の関係を考察し、的確に表現している。		<ul style="list-style-type: none">・DNAの構造、複製の際にはたらく酵素、DNA合成の方向性や岡崎フラグメントの意味を理解している。・DNAの塩基配列からRNAが合成される仕組み、スプライシングの過程を理解している。・タンパク質合成に関わる各RNAのはたらきを理解している。・塩基配列の変化の種類とそれに伴う形質への影響を理解している。

5 単元の指導計画及び評価計画（7時間）

時間	学習内容	学習活動とねらい	評価の観点				評価規準	評価方法
			関	思	技	知		
1	DNAの構造と複製	<ul style="list-style-type: none">既習内容を確認する。 【実践1】DNAの構造を理解する。				◎	<ul style="list-style-type: none">DNA及びその構造を理解している。	確認プリント 小テスト
2		<ul style="list-style-type: none">DNAの複製の仕組みについてメセルソンとスタールの実験事例を通して考察する。	○				<ul style="list-style-type: none">DNAの複製の仕組みをDNAの構造と関連付けて意欲的に探究しようとしている。	ワークシート 行動観察

			◎		・DNAの複製の仕組みについて、仮説を立て検証するという過程を通して科学的に思考し、表現している。	ワークシート
3	遺伝情報の発現	・DNAの複製の仕組みについて分子レベルで理解する。		◎	・複製の際にはたらく酵素、DNA合成の方向や岡崎フラグメントの意味を理解している。	小テスト
4		・遺伝情報の流れを確認する。 ・転写とスプライシングを理解する。	◎		・遺伝情報発現の仕組みに関心をもち、意欲的に探究しようとしている。	行動観察
5		・翻訳を理解する。		◎	・DNAの塩基配列からRNAが合成される仕組みを理解している。 ・真核生物ではスプライシングを経て完成されたmRNAとなることを理解している。	小テスト
6		・コドンとアミノ酸の関係を考察する。 【実践2】	◎		・遺伝情報が発現する過程を理解しコドンとアミノ酸の関係を考察し、的確に表現している。	ワークシート
7		・遺伝情報の変化と形質への影響を理解する。		◎	・塩基配列の変化の種類とそれに伴う形質へ影響を理解している。	小テスト

◎の付いた評価規準：評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況を主に単元の総括の資料とする。

○の付いた評価規準：評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況に応じた適切な働きかけや指導の手立てを行うことを重視する。

6 実践1 「生物基礎」から「生物」へつなげる指導

DNAの構造やDNAからタンパク質が合成される流れについて、生徒はすでに中学校や「生物基礎」においてその概要を学習している。そこから「生物」へつながるように、単元最初の授業の導入部において既習内容の定着度を把握し、今後の学習に不可欠な理解を補い、より詳細な「生物」の学習内容に対応できるように指導を試みた。ここでは、確認プリントの扱いにのみ触れる。

(1) 確認プリントの作成

中学校や生物基礎において学習した内容を確認するための確認プリントを作成した(図1)。自由に書き込んでもらうため、特に文章などで指定せず、記入する欄だけのシートとした。

プリントの使い方は、

- ①DNAについて思いついたことを記入する。(一人の活動)
- ②書き出したことを隣の席の生徒と説明し合う。(他の生徒と共有)
- ③再度、まとめる。
- ④クラス全体で確認する。

という4段階で構成する。最終的にはDNAの発見の歴史、

確認プリント DNAについて考えよう
()年()月()日()歳()歳)

(1) DNAについて今まで学習したこと、まずは書き出してみよう。ただし、教科書・ノートなどを参考のこと、自分で知識でもほしい。
(2)他の人に書き出したことを共有しよう。
(3)他の人から説明を聞く、内容をメモしながら聞いていく。
(4)お互いに説明したことを持ちえて、もう一度DNAについて覚っていることをまとめてみよう。ペンの色を変えたり、間違がある事項を赤で点々たりして頭の中を整理しよう。



図1 確認プリント

DNAの構造、DNAからタンパク質への関係などについてすべての生徒が確認プリントに記入できた状態を目指した。

(2) 授業の様子

①では、既習内容を数多く思い出し次々と記入できる生徒もいたが、あまり記入できず手が止まってしまう生徒もいた。書き出した生徒もそれぞれ内容は異なった。そのため、全く手が動いていない数名の生徒に、

「DNAはどのように発見されたのか」、「DNAを構成しているものは何か」、

「DNAはどんな構造だったか」、「DNAとタンパク質はどんな関係か」

などの発問を行った。その結果、全く手が動かなかった生徒もいくつか記入することができた。

②では、確認プリントを見せ合ったり、自分が思いついたことを他の生徒に説明したりしている様子が見られた。他の生徒の説明を聞きながらメモを取ったり、色ペンで自分の確認プリントに加筆したりする姿も見られ、既習内容を整理してまとめていた。

③では、他の生徒から聞いたことや説明の途中で思いついたことなどを再度記入し、大部分の生徒は既習内容をおおむね確認できたようである。

④では、記述に不十分な部分を無くすために、再度ポイントを伝えながら、数名の生徒に説明させ確認した。確認後、

「なぜDNAはこのような構造をしているのか」、「4つの塩基が相補的に結合する利点は何か」など、複製やタンパク質合成等の今後の内容につながる質問を行い、話し合う時間を設けた。

(3) 確認プリントの記述及びその後の指導に向けて

ここでは、授業導入部において今後の学習に不可欠な理解を補うという目的のもと、DNAに関する既習内容とともに、それらの関連性まで記述されているかという規準で確認プリントを評価した。既習内容とはいえ、生徒たちの学習前の知識には、ばらつきが多く、それらを確認し、押さえておいてもらいたい内容を統一できたことは、生物の授業内容へと展開する上で有効であった。生徒の記述より、既習内容を一通り確認できていることがうかがえたが、内容が曖昧な生徒や不足している生徒、用語のみの記述であり、それらつながりを考えてもらいたい生徒には、コメントを記入し、コメントに対する回答を調べた上で再提出させることで知識の定着を促すことを目指した。例えば、コメントとしては「アデニンとチミン、グアニンとシトシンが結合する」のみの記述には「塩基のこの関係性は何という?」、「タンパク質合成」と漠然とした記述には「DNAの情報からタンパク質が合成されるまでの流れを示してみよう」などである。

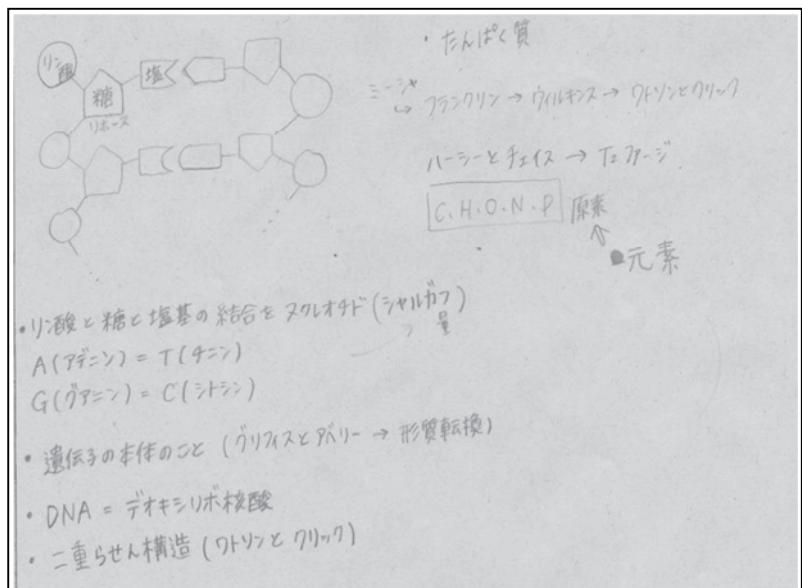


図2 確認プリントの記述の例

7 実践2 思考学習を通して知識・理解の定着を目指す指導

「生物基礎」では、翻訳に関しては「R N Aの塩基配列がアミノ酸に読みかえられる過程」として扱い、「3個の塩基がアミノ酸を指定する」までしか触れない。この学習した内容から、「3個の塩基と指定されるアミノ酸の関係」「なぜ3個の塩基が必要なのか」へと深めるために、ワークシートを作成し、思考学習を通じた理解の深まりへつなげるための指導を試みた。

(1) ワークシートの作成

D N Aからタンパク質が合成される仕組みを学習後、コドンとアミノ酸の関係をより深く理解するためには「遺伝暗号表」に触れる前に、思考学習を取り入れた。ニーレンバーグの実験内容及び結果を用い、トリプレット説や遺伝暗号について理解が深まるようにワークシート(p88)を作成した。

(2) 授業の展開

題目	コドンとアミノ酸			
準備	ワークシート			
段階	具体目標	学習内容・活動	指導上の留意点	評価
導入 10分	・既習内容を確認する。	・翻訳までの流れを確認する。	・積極的に活動できるように、ヒントを与える。	
展開 30分	・ニーレンバーグの実験内容を読み、考察する。	・文章を読み、内容を理解する。 ・考察ア～エについて取り組む。 ・遺伝暗号表の読み方の説明を聞く。	・実験内容が理解できるようにヒントを与える。 ・考えが進まないようなら、トリプレット説から考えるよう指示する。	・コドンとアミノ酸の関係を考察し、的確に表現している。 【思考・判断・表現】
まとめ 10分	・分かったことをまとめ、他の人に説明する。 ・自己評価をする。	・分かったことをまとめる。 ・自己評価する。	・コドンが異なっても同じアミノ酸を指定することがあることに気付くように指示する。	

(3) 授業の様子

ワークシートを進める上で、トリプレット説に気付かず、どのように考えていいのか全く分からぬ生徒に対して、

「塩基は何種類か」、「タンパク質を構成しているアミノ酸は何種類か」、
「アミノ酸1個を指定するのに、塩基は何個ずつの組み合わせパターンにしたらいいか」などのヒントを段階的に与え、トリプレット説に気付くようにした。その結果、多くの生徒は気付くことができた。

トリプレット説が理解できると、多くの生徒はコドンとアミノ酸の推定及び判定へ自力で進めるようになった。推定の進まない生徒には、実験概要と実験1の内容を説明した。その結果、すべての生徒が実験内容の塩基の組み合わせパターンを確認し、コドンを推定することができた。

(4) 評価規準と評価例

- ・遺伝情報が発現する過程を理解し、コドンとアミノ酸の関係を考察し、的確に表現している。

【思考・判断・表現】

「おおむね満足できる状況」(B)：コドンにより指定されるアミノ酸を判定している。

「十分満足できる状況」(A)：コドンにより指定されるアミノ酸を判定するとともに、一つのアミノ酸を指定するコドンが複数あることに気付いている。

(5) ワークシートの記述、感想及び自己評価並びにその後の指導に向けて

- (3) アミノ酸の指定についてまとめよう

3個の塩基で1つのコドンになります。

コドンの種類により、指定されるアミノ酸が特定されます。

- 3個の塩基でアミノ酸1つを指定できます。

例えれば、GUGの場合、バリン UGUの場合、システインなど

また、バリンにはGUGの他にも、異なった塩基の組み合せがある

図3 ワークシートの記述の例

- ・アミノ酸の指定には、塩基の組合せが大切であることが分かった。
- ・塩基の違いでアミノ酸が変わることが分かった。
- ・最初は難しかったがだんだん分かってきた。
- ・どんな塩基の組合せで、どのアミノ酸が作られるのか知りたいと思った。
- ・塩基が1つ異なるだけで、全く別のアミノ酸になる点が不思議に思えた。
- ・DNAは楽しいと思った。もっと知りたい。

図4 感想の例

コドンとアミノ酸の関係について理解することができたか。

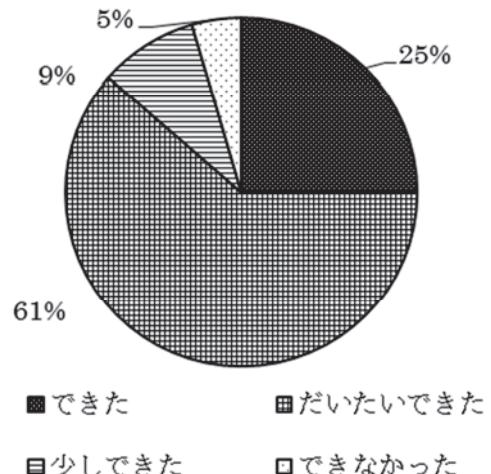


図5 自己評価結果

ワークシートには、図3に示した記述、図4に示した感想が見られた。また、自己評価より「コドンとアミノ酸の関係」についての理解度は、図5に示したグラフのようになった。このことから、生徒の状況を把握しながら、段階をおって授業を展開することで多くの生徒が「コドンとアミノ酸の関係の理解」についておおむね満足できる状況に達していると判断できる。さらに、図4に示した感想の中には、遺伝情報の発現に対し、興味・関心が高まっている生徒がいることもうかがえた。

しかし、自己評価より「少し理解できた」「理解できなかった」生徒が14%いることや次の学習内容が「塩基配列の変化が合成されるタンパク質のアミノ酸配列に変化を及ぼす」ことを扱うことから、コドンとアミノ酸の関係はぜひとも押さえておく必要がある。そこで、不十分な生徒への手立てとして授業導入時に行う確認プリント(p 90)を作成し、次時の授業に臨むこととした。

ワークシート

遺伝暗号の解読（ニーレンバーグの実験）

() 年 () 組 () 番 ()

(1) ニーレンバーグの実験内容を示す次の文章を読み、内容をまとめよう。(5分)

ニーレンバーグらは、大腸菌をすりつぶした抽出液（リボソーム、各種の酵素、各種のアミノ酸、各種のtRNAなど、タンパク質の合成に必要なものがすべて含まれている）に、ウラシル（U）だけからなる人工的に合成したRNA（UUUUU…）を加え、タンパク質合成を行わせた。その結果、フェニルアラニンだけからなるポリペプチド鎖が合成された（1961年）。同様に、特定の塩基配列をもったRNAを人工的に合成し、それを大腸菌をすりつぶした抽出液に加えて、以下の実験1～3のようにタンパク質合成を行わせた。

実験1. UGUGUG…（UGの繰り返し）の塩基配列をもつ人工RNAからは、システインとバリンが交互に配列したポリペプチド鎖が合成された。

実験2. UUGUUG…（UUGの繰り返し）の塩基配列をもつ人工RNAからは、ロイシン、システイン、バリンのいずれかだけからなる3種類のポリペプチド鎖が得られた。

実験3. GGUGGU…（GGUの繰り返し）の塩基配列をもつ人工RNAからは、グリシン、バリン、トリプトファンのいずれかだけからなる3種類のポリペプチド鎖が得られた。

(2) 考察に取り組もう！

ア 実験1の結果から、コドンとアミノ酸の組み合わせについて、どのようなことが推定されるか。

イ 実験2の結果から、コドンとアミノ酸の組み合わせについて、どのようなことが推定されるか。

ウ 実験3の結果から、コドンとアミノ酸の組み合わせについて、どのようなことが推定されるか。

工 実験1～3の結果から、指定するアミノ酸の種類が判明したコドンがあれば、そのコドンとアミノ酸の種類をあげよ。

(3) アミノ酸の指定についてまとめよう。

(4) 自己評価しよう。

できた…4 だいたいできた…3 少しできた…2 できなかった…1

あなた自身の自己評価		できた	だいたいできた	少しできた	できなかった
1	図や文章で表現することができたか。	4	3	2	1
2	ニーレンバーグの実験の概要を理解することができたか。	4	3	2	1
3	コドンとアミノ酸の関係について理解することができたか。	4	3	2	1
4	積極的に活動することができたか。	4	3	2	1
5	隣の人と協力して活動することができたか。	4	3	2	1

感想

確認プリント

確認プリント 塩基配列とアミノ酸について確認しよう

() 年 () 組 () 番 ()

- 以下の遺伝暗号表をみて、次の()に答えよう。

		2番目の塩基								
		U	C	A	G					
1番目の塩基	U	UUU UUC UUA UUG	フェニルアラニン セリン ロイシン ロイシン	UCU UCC UCA UCG	① セリン	UAU UAC UAA UAG	チロシン 終止コドン 終止コドン	UGU UGC UGA UGG	システイン 終止コドン トリプトファン	U C A G
	C	CUU CUC CUA CUG	ロイシン ロイシン ロイシン ロイシン	CCU CCC CCA CCG	プロリン	CAU CAC CAA CAG	ヒスチジン ② グルタミン	CGU CGC CGA CGG	アルギニン	U C A G
	A	AUU AUC AUA AUG	イソロイシン 開始コドン メチオニン	ACU ACC ACA ACG	トレオニン	AAU AAC AAA AAG	アスパラギン アスパラギン酸 リシン グルタミン酸	AGU AGC AGA AGG	セリン アルギニン アルギニン	U C A G
	G	GUU GUC GUA GUG	バリン	GCU GCC GCA GCG	アラニン	GAU GAC GAA GAG	アスパラギン酸 グルタミン酸	GGU GGC GGA GGG	グリシン	U C A G
									3番目の塩基	

(1) AGUに指定されるアミノ酸を答えよ。()

(2) セリンを指定するコドンをすべて答えよ。

() ()

(3) 表中の①より、セリンとそれを指定するコドンには、どんなことがいえるか。

コドンの3つの塩基のうち、1つが()も同じアミノ酸セリンを指定する。

(4) 表中の②より、ヒスチジン、グルタミンとそれぞれを指定するコドンには、どんなことがいえるか。

コドンの3つの塩基のうち、1つが()と違うアミノ酸を指定する。

DNA鎖において、1つの塩基が変化した場合、合成されるタンパク質にはどのような影響が見られるだろうか

8 事例1を終えて

図6に示したように「生物基礎」の学習内容と「生物」の学習内容のつながりは深く、「生物基礎」の学習内容を「生物」で深めている。また、「生物基礎」の教科書には「参考」や「コラム」などが多く、授業の担当者によっても内容の取り扱いが異なることが考えられる。「生物」の授業では、担当者間でその内容をすり合わせながら、より詳しい知識を積み上げていくことが必要である。

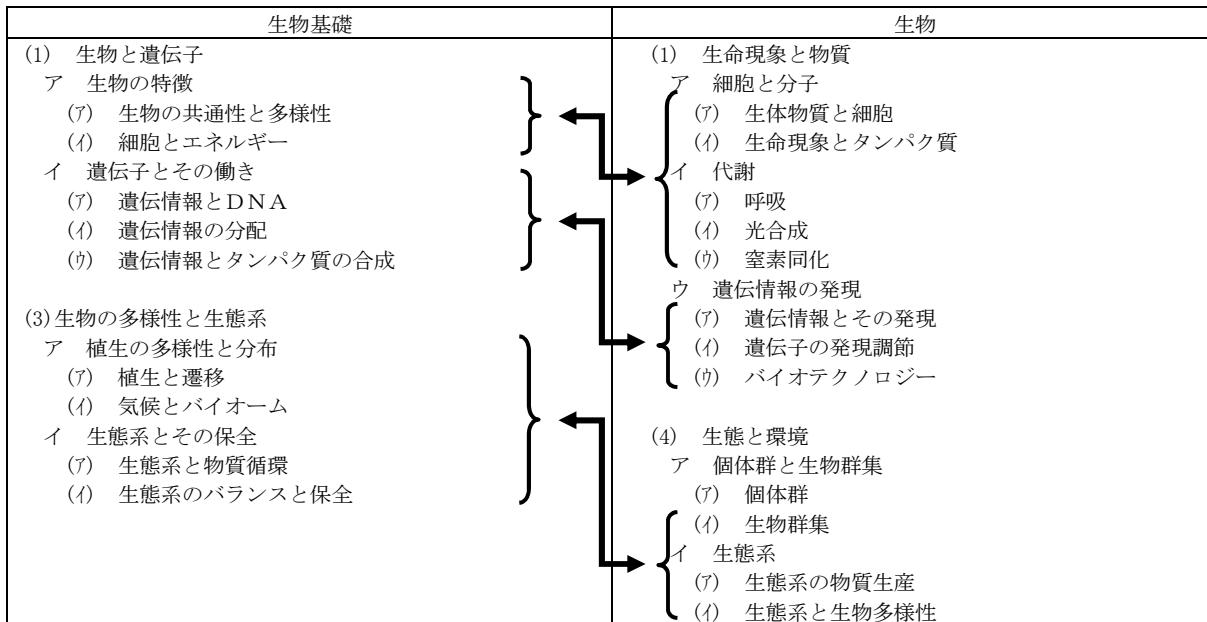


図6 生物基礎と生物の学習内容のつながり

そのために、生徒が既習内容をどこまで習得しているかを確認し、新しい内容へとつなげていくことは重要である。新しい単元に入る前には、事前に到達していくほしのラインに達しているか、授業中は新しい内容への理解が評価規準に達しているかを確認することが必要となる。教員側で生徒が既習範囲をどのくらい習得しているか、新しい内容を理解しているか、理解が不十分な場合の指導ポイントは何か、事前に設定した評価規準に対しおおむね満足している状況かを確認しながら授業をしていくことが大切である。

この事例では、授業中の生徒の様子を観察し、つまずきを捉え、どのような手立てを加えることで、生徒がおおむね満足できる状況に到達できるのかを念頭に授業を実践した。実際に授業を行ってみると、こちらが思っていたよりも生徒の到達度が低いことがうかがえた。また、この程度で解答まで導けるだろうと考えてワークシートを作成してみても、実践2では生徒によって「RNAとは何か」という意外な部分につまずいている場合もあった。そのため、各実践の「授業の様子」で示したように、知識を整理するための発問や思考を促すための発問などが必要であった。特に思考学習では、できるだけ段階的に思考を促しながら生徒が自ら考えて到達できるように、理解が不十分な場合に備えて具体的な発問内容を考えておくことが必要であった。

授業の中で生徒を評価することを通して、理解度を把握しながら授業展開することの大切さを感じた。また、このようにして生徒の習得状況を把握することで、自らの授業を改善していくことが重要であり、「生物」の授業を通して「生物基礎」の授業をも考えるきっかけにもなる。

事例2 バイオテクノロジー

～実験からバイオテクノロジーの有用性の理解へつなげる指導～

1 単元名

バイオテクノロジー

2 単元の目標

遺伝子を扱った技術について、その原理と有用性を理解する。

3 単元の指導観

バイオテクノロジーという単語自体は一般的な用語であり生徒にも聞き覚えがあるが、正確に理解し自分自身で有用性や是非について判断できるとは言い切れない。そのため、さまざまなバイオテクノロジーの技術を学習し、さらに実験を通してバイオテクノロジーに触れ、遺伝子を扱ったバイオテクノロジーについて、その原理と有用性を理解させる。

4 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
<ul style="list-style-type: none">・バイオテクノロジーに興味・関心をもち、意欲的に探究しようとしている。・遺伝子組換え実験に目的意識をもって取り組み、意欲的に探究しようとしている。・バイオテクノロジーの医療への応用や課題について関心を示し、その有用性を考えるとともに、科学者倫理に目を向けていく。	<ul style="list-style-type: none">・バイオテクノロジーに関する実験についてその過程を理解して結果を考察し、自分の考えを実験書にまとめている。・バイオテクノロジーの有用性と将来について考えて、意見を述べている。	<ul style="list-style-type: none">・実験器具の基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。	<ul style="list-style-type: none">・遺伝子組換えの方法、遺伝子導入のしかたやその有用性を理解している。・P C R法、塩基配列の解析の仕組みについて理解している

5 事前アンケート

生徒がどの程度バイオテクノロジーについて理解があるかを把握するためにアンケートを行った。バイオテクノロジーの技術や有用性、日常生活との関連などについて理解しているかどうかを確認する質問内容とした。単元終了後にも同じ内容でアンケートを実施し、理解度を確認できるように作成した。

生徒は「バイオテクノロジー」という言葉は聞いたことがあっても、その意味や技術についての知識がある生徒は少なかった（図1）。

バイオテクノロジーとだけ聞いて「遺伝子組換え」などの単語が出てくる生徒も少数であった。用語として「遺伝子組換え」は聞いたことはあるが、それが「バイオテクノロジー」の技術の一つであるという認識がなかったようである。

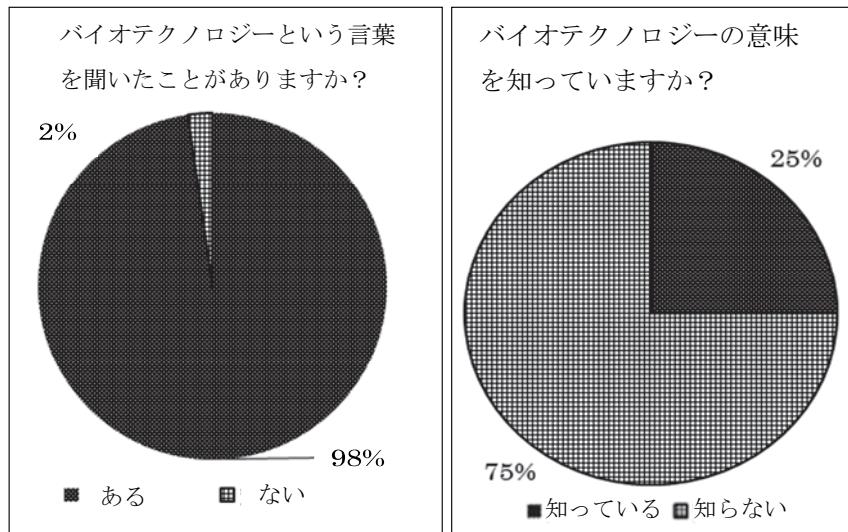


図1 事前アンケート結果

また、いくつかの技術や関連する事柄について聞いたことがあるかどうか質問すると、「遺伝子組換え」「クローン」「iPS細胞」などは聞いたことがある生徒が多かったが、その他の技術については聞いたことがある生徒は少ない。聞いたことがある技術についても、それを説明できるという生徒は少なく、「遺伝子組換え」でも説明できると答えた生徒は約4割であった（図2）。

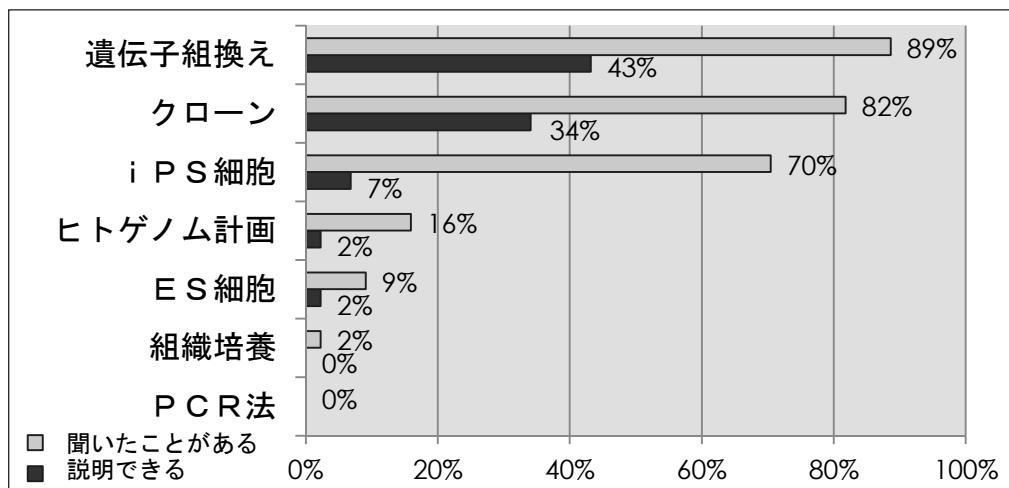


図2 事前アンケート結果

これらの結果から、指導計画には講義形式の授業展開の他に、グループ活動と実験を取り入れることとした。グループ活動では、バイオテクノロジーの医療への応用や課題について調査しまとめ、その説明や自分の考えを発表し合う場を設け、より深い理解を目指した。実験には、酵母菌を用いたものを設定した。酵母菌は「代謝とエネルギー」でも扱っており、身近なパン酵母を実験に利用することによって、遺伝子組換えについても日常的に感じられるようにした。そして、遺伝子組換え技術を身近に感じさせるとともに、遺伝子を扱うことと個々の操作の意味を理解しながら進めているのかが確認できるように、ワークシートを工夫して臨むこととした。

最終的には生徒がバイオテクノロジーの技術と有用性を理解し、説明ができ、今後のバイオテクノロジーについて意見をもつところを目指した。ここでは、実験実施時の事例を取り上げる。

6 単元の指導計画及び評価計画（5時間）

時間	学習内容	学習活動とねらい	評価の観点				評価規準	評価方法
			関	思	技	知		
1 2 3 4 5	バイオテクノロジー	・遺伝子組換え技術、遺伝子導入を理解する。 【事前アンケート】	○				・バイオテクノロジーに興味・関心をもち、意欲的に探究しようとしている。	アンケート
					◎		・遺伝子組換えの方法、遺伝子導入のしかたやその利用について理解している。	小テスト
		・DNAの增幅と塩基配列の決定を理解する。			◎		・PCR法、塩基配列の解析の仕組みについて理解している。	小テスト
		・パン酵母を使った遺伝子組換え実験 【実験】			◎		・実験器具の基本操作を習得とともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。	実験書 行動観察
			○				・実験に目的をもって意欲的に取り組み探究しようとしている。	行動観察 実験書
				◎			・実験の過程と結果をもとに、培地と生育する酵母菌の関係を考察し、実験書にまとめている。	実験書
		・バイオテクノロジーと人間生活について考察する。 【事後アンケート】	◎				・バイオテクノロジーの医療への応用や課題について関心を示し、その有用性を考えるとともに、科学者倫理に目を向けています。	ワーキシート アンケート
			◎				・バイオテクノロジーの利用と将来について考え、意見を述べている。	

◎の付いた評価規準：評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況を主に単元の総括の資料とする。

○の付いた評価規準：評価規準に照らして到達度を確認し、到達度の状況に応じた適切な働きかけや指導の手立てを行うことを重視し、単元の総括の資料としない。

7 実験

(1) 実験書の作成

実験の概要は、ウラシルを合成できない酵母菌に、ウラシル合成とアミラーゼ合成の遺伝子を導入するという実験である。最終的にはアミラーゼを合成できるようになった酵母菌をデンプン培地で生育させ、アミラーゼでデンプンが分解されたかどうかをヨウ素反応で調べる。

実験の際には、滅菌済の器具を袋から出したり、培地のシャーレのフタを開けたりしたときは、その後の作業を素早く行わなければならない。そのため、実験書の【方法】の部分では連続して作業を行う部分がわかりやすいように「-----」で区切る工夫をした。考察の部分では、遺伝子や菌を扱う上での注意事項や実験の全体像をまとめるための欄を作成した。実験開始から結果が出るまで10日間ほどを要し、4回に分けて実験を行うため、その日の部分を実施しているのかを培地の違いから確認ができるように、それぞれの培地で生育できる酵母菌を記入する欄を入れた。遺伝子や菌の扱いには注意すべき点があるため、クリーンベンチを使用する理由や実験後の処理の仕方をまとめる欄も作成した。さらに、これらの実験と授業を通して、バイオテクノロジーについて考えたことをまとめられるような考察を設けた。

実験書

パン酵母を使って遺伝子組換え実験をしよう 年 組 番 ()

【目的】DNAを扱った実験をしながら、操作技術を学び、DNAや遺伝子の発現について理解し、バイオテクノロジーについて考察する。

【準備】実験キット お湯 油性ペン ハサミ 塩素系消毒液

【方法】

<1回目> 遺伝子が導入されていない酵母菌の培養(20分) 2班分

準備 酵母菌チューブ1本 YPD培地1枚 クリーンベンチ

①冷凍保存された酵母菌液をとかす。

②とかした酵母菌のフタを開け、1枚のYPD培地に直接たらし、すぐにフタをする。

③たらした酵母液をシャーレを傾けながら培地全体に広げる。

④室温で1日置く。(30℃で1日培養) ※この培地は実験終了まで保存しておく。



図1

<2回目>酵母菌への遺伝子導入(50分) 1班分

準備 酵母菌培養プレート1/2枚 DNA液1本

遺伝子導入液1本 ループ1本 最少培地1枚

滅菌済スポット2本 スプレッダー1本

42℃湯浴 フロート

①酵母菌をループでできるだけ多く集める(図1)。

※米粒程度が必要。培地まで取らないように注意!

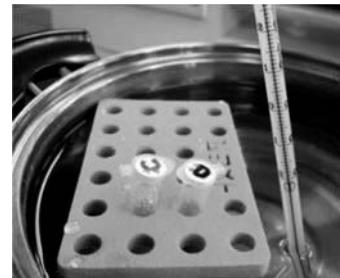


図2

②ループの酵母菌全部を遺伝子導入液に直接入れる。

③滅菌済スポットでDNA液をすべて酵母菌の入った遺伝子導入液に入れる。

④スポットで5回~10回繰り返し液を吸ったり出したりして酵母菌を混ぜる。

⑤フロートにチューブを差し込み42℃で20分間置く(図2)。

⑥新しい滅菌済スポットで酵母-DNA混合液を2~3回スポットで吸ったり出したりして混合し、最少培地の中心に全部の液をたらす。すぐにフタをしめる。

⑦スプレッダーで液をプレート上に均一に引き伸ばし、すぐにフタをしめる。

※水分が残っているうちに引き伸ばしをやめること。

⑧フタに班の番号を記入し、1週間置く。

<3回目>遺伝子導入酵母の観察とアミラーゼ活性の準備(15分) 1班分

準備 酵母菌が生育した最少培地1枚 デンプン培地1枚 滅菌済ループ2本

①デンプン培地の裏に油性ペンで点を2つ書き、片方をT、もう一方をCとする。

②遺伝子導入された酵母菌のコロニーを数個ループで取り、Tに合わせて培地上に塗る。

※5mmくらいの円形にする。培地を破らないように注意!すぐフタをする!

③同様に、保存しておいた<1回目>の培地から導入されていない酵母菌をループで取り、Cに合わせて培地上に塗る。

<4回目>アミラーゼ活性の検出(10分) 1班分

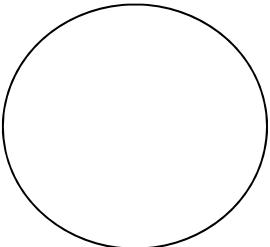
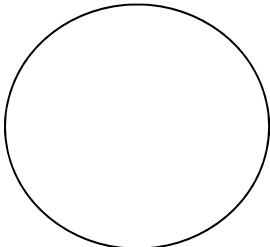
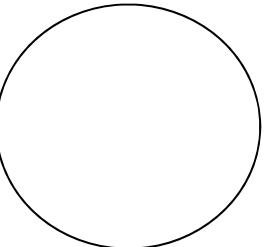
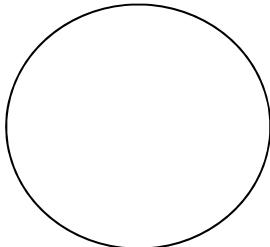
準備 酵母を塗ったデンプン培地1枚

スポット(個別包装でないもの)1本 ヨウ素液1本

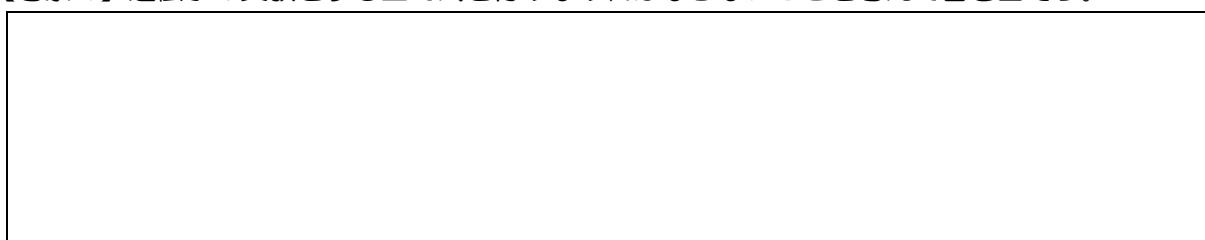
①培地のフタを開けてスポットでヨウ素液を酵母菌の上とその周りにそっと落とす。

②発色する様子を観察する。

【結果】

2回目開始前 () 培地	2回目_____日後 () 培地	3回目 () 培地	4回目 () 培地
			

【考察 1】遺伝子の実験をする上で気を付けなければならないことを考えて書き出そう。



【考察 2】酵母菌を培養する上で気を付けなければならないことを考えて書き出そう。



【考察 3】実験の操作や各培地で生育する酵母菌の予想も踏まえて、今回の実験の流れをまとめよう。



【考察 4】それぞれの培地に生育しているのは、どのような酵母菌か？

YPD 培地	最少 培地	デンプン 培地
		

【考察5】クリーンベンチを使用するのはどうしてか？クリーンベンチがない場合はどうしたらよいのか？

【考察6】実験後、実験器具はどのように処理したら良いか？

培地
スポット等の実験器具
実験台や実験室

【まとめ】今回の実験や授業で学んだバイオテクノロジーについてまとめよう。

①バイオテクノロジーの技術には、どんなものがあるのか？

②それぞれの技術のメリットやデメリットは？問題点は？

③バイオテクノロジーの発展性についてどう思うか？

④今後、どんなことに気を付けていかなければいけないのか？

【感想と自己評価】

できた…4 だいたいできた…3 少しできた…2 できなかった…1

あなた自身の自己評価		できた	だいたいできた	少しできた	できなかつた
1	実験に意欲的に取り組めたか？	4	3	2	1
2	実験前の実験に対するイメージは？ 楽しみ…4 ふつう…3 あまり楽しみでない…2 やりたくない…1	4	3	2	1
3	実験後の実験に対するイメージは？ 楽しかった…4 ふつう…3 楽しくなかった…2 やりたくない…1	4	3	2	1
4	すぐにフタをすることに気を付けてできたか？	4	3	2	1
5	ループで酵母菌を多く集めることができたか？	4	3	2	1
6	スポットで混ぜる作業はうまくできたか？	4	3	2	1
7	スプレッターで均一に延ばすことができたか？	4	3	2	1
8	実験全体の操作はうまくできたか？	4	3	2	1
9	発色液の変化は理解できたか？	4	3	2	1
10	遺伝子組換えについて理解できたか？	4	3	2	1
11	バイオテクノロジーについて理解が深まったか？	4	3	2	1
12	協力して作業することができたか？	4	3	2	1
13	遺伝子の実験をする上での注意事項を理解できたか？	4	3	2	1

感想	<p>培地プレート スプレッダー ループ スポット 0.5 ml 1.0 ml フロート アンモニア</p>
----	--

(2) 評価規準と評価例

- ・実験器具を的確に扱い作業をしている。【観察・実験の技能】
 「満足できる状況」(B)：実験器具を的確に扱っている。
 「十分満足できる状況」(A)：実験器具を的確に扱うとともに、その目的に気付いている。
- ・実験の各培地と生育する酵母菌の関係を考察し、まとめている。【思考・判断・表現】
 「満足できる状況」(B)：各培地と生育する酵母菌の関係が示されている。
 「十分満足できる状況」(A)：各培地と生育する酵母菌の関係が示されるとともに、なぜそのような結果になるのか理由にも言及している。

(3) 授業の展開

この実験は、菌を培養する都合上、4回に分けて展開した。授業の展開は実験書の〈2回目〉の授業について記す。なお、〈1回目〉については、事前に希望する生徒に準備を行わせ、その2日後に〈2回目〉を行い、〈3回目〉については、〈2回目〉の1週間後の授業を行った。さらに、その3日後に〈4回目〉を行った。

題目	パン酵母を利用した組換えDNA実験			
準備	実験キット 油性ペン 塩素系消毒液 42°Cのお湯 ハサミ			
段階	具体目標	学習内容・活動	指導上の留意点	評価
導入 10分	・実験手順を確認する。	・手順を確認する。 ・実験中の注意事項を確認する。	・混入しないように注意を促す。	・手順・注意事項を理解している。 【観察・実験の技能】
展開 30分	・酵母菌に遺伝子を導入する。	・ループで酵母菌を取り、遺伝子導入液に入れる。 ・スポットでDNA液を遺伝子導入液に入れ、混ぜる。 ・42°Cで湯浴させる。	・滅菌済の器具を袋から出したら、一気に作業が出来るように準備を促す。	・実験器具を的確に扱い作業をしている。 【観察・実験の技能】
	・実験の概要をまとめる。	・酵母菌について確認する。 ・既習内容や教師の説明を参考に、遺伝子導入及び実験の全体的な流れをまとめる	・酵母菌について思い出せるようにヒントを与える。 ・まとめる際には、各操作において何が起きるのか、何が分かるのかという視点を加えるよう指導する。	・実験の培地と生育する酵母菌の関係を考察し、まとめている。 【思考・判断・表現】
	・遺伝子導入済の酵母菌を最少培地に植える。	・遺伝子導入済の酵母菌を最少培地に垂らし、スプレッダーで均一に延ばす。	・均一に延ばせるように注意する。	・実験器具を的確に扱い作業をしている。 【観察・実験の技能】
まとめ 片づけ 10分	・片付けをする。 ・次回の実験内容を確認する。	・使用済の器具を塩素系消毒液に入れる。 ・手を洗う。 ・次回の内容を確認する。	・滅菌の仕方に配慮する。	・試料を実験室外へ出さないように処理している。 【観察・実験の技能】

(4) 授業の様子

この実験では、個包装されたループやスプレッダー、スポットを手早く取り出し、いかに滅菌状態を保ちながら、手際よくこれらの器具を使って実験を進めていくかが成功の鍵となる。また、これらの器具はほとんどの生徒が初めて目にするものであり、その扱い方も十分に理解しておく必要がある。そのため、事前に器具の扱いについてシミュレーションを行わせ、教師の目でその扱い具合を確認した。扱いが不十分な生徒に対しては、スポットやはさみの持ち手やシャーレのフタの持ち方などの助言を与え、反復練習をさせた。同時に、このような細心の注意を払う意味を考えさせた。

実験が終わった後には、それぞれの培地や実験器具等の処理に関して発問を投げかけたが、どのような処理を行ったらよいか思い浮かばない生徒もいた。そこで、「今回は人為的に遺伝子操作を行ったこと」を改めて振り返らせることにより、取扱い上の注意点やその理由について考えを促した。

長期間かかる実験なので、今この時期に何が起きているかを把握することは遺伝子組換えの過程を理解する上でポイントになる。授業の流れの記述が進まない生徒には、酵母菌の生存に必要なものという視点から、各培地のもつ特徴及び遺伝子導入前と導入後の酵母菌の形質に着目するように指導した。

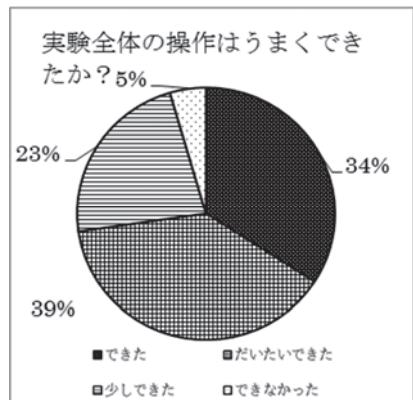


図3 自己評価結果



(5) ワークシートの記述、感想及び自己評価並びにその後の指導に向けて

ア 「実験器具を的確に扱って作業をする」について

【考察2】酵母菌を培養する上で気を付ければならないことを考えて書き出そう。

室内にはほこりが沢山あるので違う菌が入らないように速く実験する。
滅菌されているので実験器具には触れないようにする。
最初培地をとかさにする→ほこりを入れなければいけない。

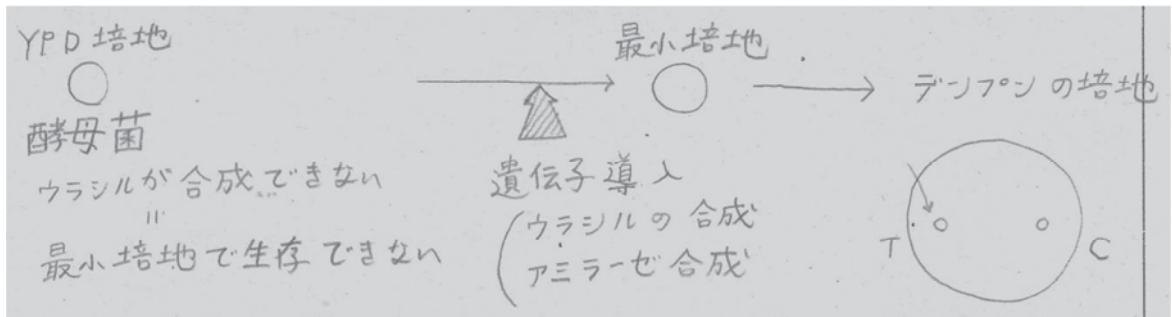
【実験器具の扱い】

	実験全体の操作はうまくできたか。	すぐにフタをすることに気を付けてできたか。	ループで酵母菌を多く集めることができたか。	スポットで混ぜる作業はうまくできたか。	スプレッターで均一に伸ばすことができたか。
できた	3 4 %	6 6 %	5 7 %	5 9 %	4 5 %
だいたいできた	3 9 %	3 4 %	3 0 %	2 7 %	4 1 %
少しできた	2 3 %	0 %	7 %	1 4 %	1 4 %
できなかった	5 %	0 %	7 %	0 %	0 %

表 自己評価結果

イ 「各培地と生育する酵母菌の関係のまとめ」について

【考察 3】実験の操作や各培地で生育する酵母菌の予想も踏まえて、今回の実験の流れをまとめよう。



ウ 感想

- 今まで深く考えたことはなかったが、遺伝子組換えの過程が理解できた。
- 失敗をしてしまったが、実験をしてより理解を深めることができました。
- 新しい形質をもつ生物を作り出すことができる。
- 植物の遺伝子改良や組換えに興味があるので、いろいろ調べたいと思った。

実験への取組は積極的で、実験中の様子から実験器具の扱いも良好であったと思う。培地の扱いや器具の扱いを事前にシミュレーションさせ、その扱いが不得手な生徒に対して、その都度、助言を与えた効果である。その意味については、例えば、「キットの器具が密封されて送られてくること」を考えさせることで理解を深められたと思う。しかし、自己評価の「実験全体の操作はうまくできたか」という問い合わせに対し、28%の生徒が「少しできた」「できなかった」と回答し、各々の器具の操作についても14%の生徒が「少しできた」「できなかった」と回答している。このことは、次年度の授業改善に生かすことが大切である。例えば、実験操作に対する意識をより高めるために、空気に触れさせた培地に数日後にカビ等が発生している様子を実験前に提示したり、実験器具の扱いの習得のために実験器具操作ビデオを作成し、シミュレーションと合わせて視聴させたりすることも一つの手立てであろう。

8 事例 2 及び単元を終えて

この単元の最初に行った診断的な評価をもとに授業計画を立てた上で、単元の実践を試みた。

講義形式の授業の後に、体験的に遺伝子組換えの技術について理解を深められるように、また、遺伝子を扱うことに対する考え方を深められるように事例 2 で取り上げた実験を設定した。そして、今回、事例として取り上げなかつたが、遺伝子組換えや iPS 細胞など医療に関わる技術について調べ学習を行い、グループで説明し合う活動も取り入れた。

単元の授業終了後のアンケート結果では、大部分の生徒がバイオテクノロジーへの理解を深め（図 4）、バイオテク

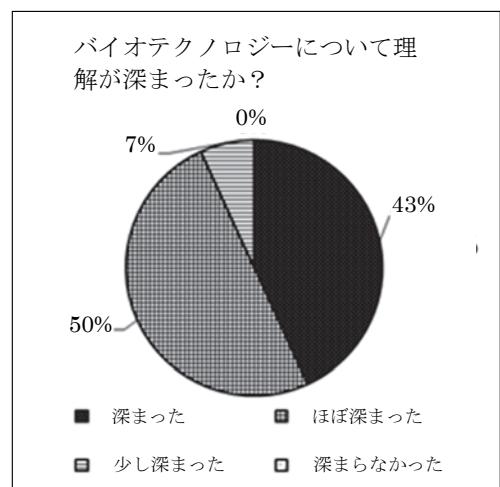


図4 自己評価結果

ノロジーの有用性や日常生活との関わりについても、意識が高まっていることがうかがえる（図5）。また、生徒の感想からは、実験を通して遺伝子組換えのメリットを感じつつも容易に遺伝子導入ができたこと、実験後の処理について生徒の反応を確認しながら展開したことからその扱いには細心の注意を払わなければならないことを多くの生徒が感じ取っていた。さらに、バイオテクノロジーの倫理観に関する記述も多く見られた（図6）。

このことは、これから学習内容に対して、生徒たちの予備知識や興味関心がどのような状況であるかを把握し、生徒たちにどのような力を付けさせたいのかを具体的に意識できたことで、授業の展開方法や指導のポイントを明確にして臨めた効果であろう。指導と評価の一体化を目指す上で、指導計画の大切さを改めて感じた。しかし、理解の深まりを感じられなかった生徒や日常生活の関連性を感じられなかった生徒がいることも事実であり、今後も指導計画の改善、学習指導の改善に向けて取り組んでいきたい。

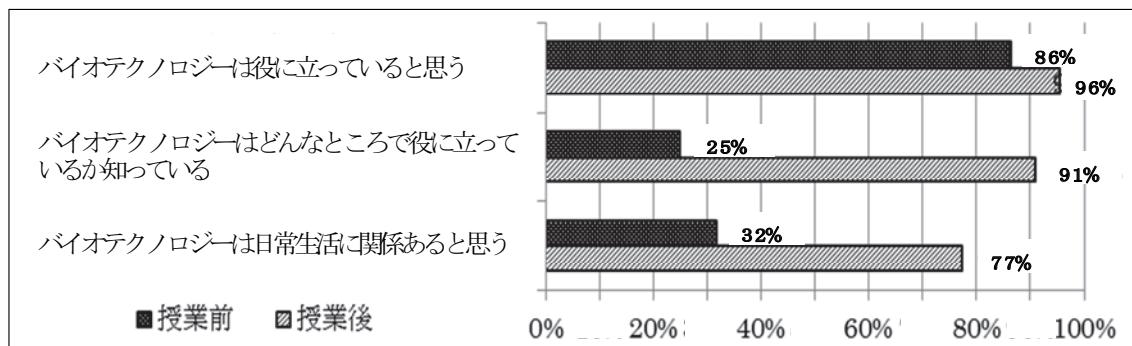


図5 自己評価結果

- ・DNAを変化させることによって医療技術の発展など役立つことが多いが、生態系を乱す恐れもあるのでその扱いには注意が必要である。
- ・バイオテクノロジーには、生命倫理などしっかりと考えていかなければならぬ点が多くある。
- ・植物の遺伝子改良や組換えに興味があるので、いろいろ調べたいと思った。

図6 感想の例

9 参考（パン酵母を利用した組換えDNA実験）

(1) キットについて

ア 内容物（1セット・10班分）

- 酵母液 2本
- DNA液 10本
- 遺伝子導入液 10本
- 発色液 10本
- YPD培地（5枚）
- 最少培地（10枚）
- デンプン培地（10枚）
- スプイト ループ
- スプレッダー
- フロー
- マニュアル
- 予備実験用の1セット



イ 事前準備・片付けなどについて

キットは、冷蔵庫と冷凍庫で3ヶ月程度保存することができる。予備実験用も付いてくるので、予備実験がすべて終了してから生徒実験を行うことも可能である。キット以外には、ハサミ、塩素系消毒液、お湯などを準備した。培養中はインキュベーターで管理する。最終的には、すべての培地は煮沸して破棄した。スポットなどのプラスチックの実験器具は、すべて塩素系消毒液に浸して消毒し、プラスチックゴミとして破棄した。

※教育目的遺伝子組換え実験を実施する際には、守るべき注意事項があるので、以下に記す。

1. 遺伝子組換え実験中の拡散防止措置をしっかりととること

遺伝子組換え実験を行う上で最も大事なことは、実験に用いる遺伝子組換え生物を実験室の外へ拡散させないことである。この拡散を防ぐため、カルタヘナ法（遺伝子組換え生物等規制法）では、実験の種類に応じた「拡散防止措置」をとるよう定めている。しかし、通常の教育目的の遺伝子組換え実験であれば、この拡散防止措置は「P1」と呼ばれるものとなる。次の「P1」チェックリストを参考に、遺伝子組換え実験を始める前に、これらの内容を全て満たすかどうかについてチェックすることが必要である。

拡散防止措置の内容

- ① 実験室が、通常の生物の実験室としての構造及び設備を有すること。
- ② 遺伝子組換え生物等を含む廃棄物（大腸菌などの菌液、廃液を含む）については、廃棄の前に遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講ずること。
（具体例：オートクレーブ装置を用いた滅菌、70%アルコールによる殺菌）
- ③ 遺伝子組換え生物等が付着した設備、機器及び器具については、廃棄又は再使用（あらかじめ洗浄を行う場合にあっては、当該洗浄）の前に②と同様に遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講ずること。
- ④ 実験台については、実験を行った日における実験の終了後、及び遺伝子組換え生物等が付着したときは直ちに、遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講ずること
（具体例：70%アルコールによる拭浄）。
- ⑤ 実験室の扉については閉じておくこと（実験室に入り出すときを除く）。
- ⑥ 実験室の窓等については、昆虫等の侵入を防ぐため、閉じておく等の必要な措置を講ずること。
- ⑦ すべての操作において、エアロゾルの発生を最小限にとどめること。
【具体例：白金耳を菌のついた状態で焼かないこと（焼く前に70%アルコールに浸すと良い）】
- ⑧ 実験室以外の場所で遺伝子組換え生物等を不活化するための措置を講じようとするときなど、実験の過程において遺伝子組換え生物等を実験室から持ち出すときは、遺伝子組換え生物等の漏出や、拡散が起こらない構造の容器に入れること。
- ⑨ 遺伝子組換え生物等が付着し、又は感染することを防止するため、遺伝子組換え生物等の取扱い後における手洗い等必要な措置を講ずること（具体例：実験の前後の手洗い、実験中に髪をさわらない）。
- ⑩ 実験の内容を知らない者が、みだりに実験室に立ち入らないための措置を講ずること
（具体例：「遺伝子組換え実験中につき関係者以外立入禁止」などの表示）。

2. 保管中の拡散防止措置をしっかりととること

数週間にわたって実験を行う場合、作成した遺伝子組換え生物を保管する必要があるが、この場合には、①遺伝子組換え生物が漏出しない容器に入れ、容器に遺伝子組換え生物である旨の表示をすること、②冷蔵庫など決められた場所に保管し、見やすい箇所に遺伝子組換え生物である旨の表示をすることを守る必要がある。

3. 体制を整備すること

カルタヘナ法（遺伝子組換え生物等規制法）では、遺伝子組換え実験を行う際に、その安全な取扱いについて検討する委員会を設置し、検討を行うよう求めているところだが、通常の教育目的の実験であれば、安全管理が容易なことから、こうした委員会の設置は必須ではない。しかし、遺伝子組換え実験の内容や安全管理の方法などを組織として十分に把握した上で、実験を行うことが必要であると考えられる。また、実験を指導する教員は、遺伝子組換え生物等の取扱いについて十分な経験を有していることが望まれる。

ウ キットの申込

山口大学工学部応用化学科

山口県宇部市常盤台2-16-1

TEL: 0836-85-9292, FAX: 0836-85-9201

E-mail: rinji@yamaguchi-u.ac.jp

URL : <http://genetic.eng.yamaguchi-u.ac.jp>

参考文献等

- ・文部科学省 「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」（実教出版）
- ・国立教育政策研究所教育課程研究センター 「評価規準の作成、評価方法等の工夫改善のための参考資料【高等学校 理科】」（教育出版）
- ・改訂版 高等学校 生物Ⅱ（数研出版）
- ・生物基礎（数研出版）
- ・生物（数研出版）
- ・生物（東京書籍）
- ・山口大学大学院医学系研究科応用分子生命科学専攻
<http://genetic.eng.yamaguchi-u.ac.jp>
- ・ライフサイエンスにおける安全に関する取組～遺伝子組換え実験～
<http://www.lifescience.mext.go.jp/bioethics/anzen.html#kumikae>

◇平成25年度高等学校における教科指導の充実 研究協力委員・研究委員（理科）

研究協力委員

栃木県立真岡高等学校	教諭	小平 裕宣	(物理)
栃木県立栃木女子高等学校	教諭	飯野 真人	(化学)
栃木県立鹿沼東高等学校	教諭	宮田 裕美	(生物)

研究委員

栃木県総合教育センター研究調査部	指導主事	岩瀬 英二郎	(物理)
栃木県総合教育センター研修部	指導主事	今井 和彦	(化学)
栃木県総合教育センター総務部	指導主事	大高 裕一	(生物)

高等学校における教科指導の充実

理 科

科目「物理」「化学」「生物」における指導事例

～指導と評価の一体化を目指して～

発 行 平成26年3月

栃木県総合教育センター 研究調査部

〒320-0002 栃木県宇都宮市瓦谷町1070

TEL 028-665-7204 FAX 028-665-7303

URL <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>