

(様式5)

令和4年度 研究報告書

派遣者番号	R3J02	氏名	岩淵 寛
研究主題 —副主題—	授業での生徒実験が科学的な知識や思考法の定着に与える影響について —高等学校化学の取組の分析から—		
派遣先大学	東京学芸大学大学院	指導担当者	宮内 卓也 教授
所属	東京都立日比谷高等学校	所属長	梅原 章司

キーワード：生徒実験 科学的知識 知識定着 単元別比較 学校間比較
追跡調査 統計的処理 記述分析

要旨：本研究では、探究のプロセスを十分に経ずとも、生徒実験が科学的知識の定着に寄与するのではないだろうかということをはっきりさせるために、問題演習を軸として育てるような手続的知識の定着に、定量的な題材を扱った生徒実験がよい効果を与えるのかに着目して研究をした。授業において理論の解説(講義)と実験の実施の順番を入れ替えたり(各論Ⅰ)、実験の実施の有無を設定したり(各論Ⅱ)して授業をし、分析した。確認テストの結果、理論の解説と実験の順番を入れ替えても、科学的知識の中の手続的知識(数量的処理能力)の定着には影響がないことが分かった。また、確認テストの結果、科学的知識の中でも数量的処理を伴うような、一般に問題演習をこなすことで解答する力を付けることがよいとされる問に対して、生徒実験をすることが有用であることが分かった。

授業での生徒実験が科学的な知識や思考法の定着に与える影響について -高等学校化学の取組の分析から-

岩淵 寛

1. 背景と目的

1.1 理科の授業における生徒実験の実施状況と課題

理科の授業における実験は、生徒が協働しながら問題を解決し、事象を深める力を育む効果が高いとされ、実験によって学ぶものは多いとされる¹⁾。

しかし、三次ら(2021)が高等学校理科の教員を対象に質問紙による調査を実施したところ、高等学校理科「化学基礎」における実験について、大半の教員が年に1、2回しか生徒実験を行っていないことが分かった²⁾。同時に、教員の意識調査では、実験を実施しない理由として、実験を実施する必要性は認識しているものの、授業時間の不足や授業準備以外の仕事の多さ、準備や片付けの時間の不足など、時間的な理由とともに、大学入試への対応のための指導に時間を取られるといった理由が挙げられた。三次らは「実験は必要であるという意識はありつつも、知識の定着を中心とした授業形態に自然となってしまっている可能性」があることを指摘した²⁾。高等学校の学習範囲の履修や大学入試対策のために、実験をする時間を削減し、知識の定着を図っている可能性が示唆された。

1.2 理科の授業における実験の果たす役割と意義

中央教育審議会答申(2016)では、「理科においては、課題の把握(発見)、課題の探究(追究)、課題の解決という探究の過程を通じた学習活動を行い、それぞれの過程において、資質・能力が育成されるよう指導の改善を図ることが必要である。」と記された。審議の過程では、特に高等学校において、知識・技能中心の授業となっていたり、観察や実験どころではなく、教科書すべてを網羅することに力点が置かれていたり、様々な課題が指摘された³⁾。中教審答申を受けた学習指導要領(文部科学省、2019)では高等学校における、理科「化学基礎」の目標を次のように掲げている。

物質とその変化に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、物質とその変化を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。 (1) 日常生活や社会との関連を図りながら、物質とその変化について理解するとともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。 (2) 観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。 (3) 物質とその変化に主体的に関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。

学習指導要領の解説(文部科学省、2019)では、見通しをもって観察、実験を行うことが重要であり、「何のために行うか、どのような結果になるかを考えさせるなど、予想したり仮説を立てたりしてそれを検証するための観察、実験を行わせること」の必要性を打ち出した。

1.3 仮説実験授業とメタ認知の活性化による科学的知識の定着の研究

知識の定着において、理科の実験授業はどのように位置付けられてきたのか。先行研究では、理科の実験のあり方として様々な提案がされてきた。

井藤(1965)は理科実験の使命として、理科教育に用いられる理科実験と、自然科学の研究に用いられる研究実験を比較したうえで、それらの違いを見出した。理科教育に用いられる理科実験には「科学的知識(Information)の伝達を目的とすると共に、科学の研究方法を

育成しようとの目的をもっている。」とし、科学的知識は「客観的、普遍的知識であり、未知の場面を予測し、制御し得るもので、単なる知識ではない」した上で、「科学的知識を伝達するためには、直接経験による観察や実験、すなわち生徒実験の場合が最も効果的である。」としている⁴⁾。しかし、効果について実践を元にした根拠が示されていない。

板倉(1971)は、理科授業における理科実験を①ある現象自体を知らせる実験、②すでに知っている現象を正確に捉え、現象論的な法則を確定する実験、③ある理論の確からしさを証明するための実験の3種類に分類し、①や③は授業において実験が必要だが、②は、学習者の側に疑問も問題意識も生ずるわけではなく、理論を精緻化するだけであるから、認識論的には省略しても問題ないとした⁵⁾。また、岡本(2009)は「教育の場においても、その実験で何を明らかにしようとするのかという問題意識がないまま実験しても、十分に意味のある実験とはならないだろう」と述べた⁶⁾。実験の授業では仮説が重要であることを提案し、様々な検討がなされてきた。

宗像(2019)は、問題解決能力のために科学的な思考を学ぶことは重要であると考え、①問題発見、②問題明確化、③仮説生成、④仮説吟味、⑤仮説検証という五つの側面を意識した科学的思考を学ぶことが、教科理科の学習の意義であるとし、特に、④仮説吟味、⑤仮説検証の段階に着目し、問題解決の過程において、分からないことに対して確からしい予想を立てて吟味していくことは重要であると述べた⁷⁾。実験は、学習者に疑問を与え、仮説を立てたことを解決させるために実施することがよいとした。

理科の実験が科学的知識の定着に一定の効果を示すといった先行研究がある。草場ら(2010)は、高等学校理科の実験活動におけるメタ認知が科学的知識の定着に及ぼす効果に着目した。自身がデザインしたメタ認知の活性化をはかった実験を含む授業展開を実施し、木下ら(2005)が開発したメタ認知の尺度⁸⁾を用いて、自分自身のメタ認知と、他者との関わりによるメタ認知を分析したところ、有意に高いことが分かった。また、評価テストにおいて、生徒の科学的知識の理解に関する平均値が有意に高いことを示した。「高等学校理科(化学)の実験活動において、メタ認知を活性化させ、さらに科学的知識の理解と定着を達成するためには、従来行われてきたような科学的知識の帰納のため、あるいは検証のための実験活動だけでは十分ではなく、学習した科学的知識を、実際の課題で活用して、主体的・協同的に解決する必要がある」とした⁹⁾。理科の実験が、生徒の科学的知識の定着に一定の役割を果たしていることを明らかにした。

しかし、科学的知識については、必ずしも探究のプロセスを経ずとも、実験を行うことで、定着を図ることができるのではないだろうか。

1.4 本研究の目的

先行研究では、仮説の設定やメタ認知などの探究のプロセスを通して学ぶことが、科学的知識の定着に効果があるとされている。しかし、全ての単元で実験を通じた探究的なプロセスを経ることは、時間的な制約を理由に忌避されていると考えられる。探究のプロセスを経ずとも、実験を行うことが、科学的知識の定着に寄与するのではないだろうか。そこで、科学的知識の中でも、特に問題演習を軸として育てるデータを基に物質量を求めるような手続的知識に着目した。本研究では、実験の実施の有無や、理論の解説(講義)と実験の実施の順番が、科学的知識の定着にどのような影響を与えるかについて明らかにすることを目的

とした。

2、研究の方法

理科の実験が科学的知識の中の手続的知識(数量的処理能力)にどのように影響するのかを、二つの方法で、実験計画をデザインし、グループ分けをした上で、評価テストによって検証した。

2.1 学習内容と到達目標の設定

2021年9月から12月にかけて、化学基礎(2単位)において、三つの学習内容を検証の対象とした。それぞれの学習指導要領の記述に基づき、表1のような到達目標を設定した。

【単元A】は酸・塩基と中和から、中和反応における量的関係の計算ができることを、【単元B】は、化学反応式の係数比を使って、量的計算ができること、【単元C】は化学反応式の係数比を使って過不足を踏まえたうえで量的計算ができることを、それぞれの到達目標とした。

表1 各単元と学習指導要領の内容

単元名	内 容		到達目標	
単元A	物質の 変化	化学反応	酸・塩基と中和	中和反応における量的関係の計算ができる。
単元B		化学	化学反応式と	化学反応において、化学反応式の係数を使って 量的関係の計算ができる。
単元C		反応式	量的関係	化学反応の量的関係を、過不足を踏まえたうえで計算ができる。

2.2 授業の計画のデザインと検証内容

上記の単元について、2種類の指導計画を計画した。1単位時間は50分である。

- (1) 実験を実施した場合としない場合における科学的知識の定着の検証(表2)【単元A】
- (2) 解説と実験の順番を代えて授業をしたときにおける、科学的知識の定着の検証(表3)【単元B】・【単元C】

いずれも、実験の授業と、まとめの授業は4人1班を構成しグループ学習をした。

表2 実験の実施の有無における授業計画

	実験あり群 (n=120)	実験なし群 (n=120)
第1時	理論の解説	理論の解説
第2時	実験	演習問題→確認テスト
第3時	演習問題→確認テスト	実験

表3 解説と実験と順番を入れ替えた授業計画

	事前群 (n=120)	事後群 (n=120)
第1時	理論の解説	実験
第2時	実験	理論の解説
第3時	まとめ	まとめ
第4時	確認テスト	確認テスト

(1)では、実験の授業を実施した上で確認テストをしたグループを「実験あり」群とし、実験の授業を実施しない状態で確認テストをしたグループを「実験なし」群として設定した。「実験あり」群は、第1時に理論の解説、第2時に実験、第3時に問題演習を実施した上で、確認テストを実施した。「実験なし」群は、第1時に理論の解説、第2時に問題演習をした上で確認テスト、第3時に実験を実施した。確認テストの結果から、実験の有無が、科学的知識の中の手続的知識(数量的処理能力)の定着に、どのような影響を及ぼして

いるのかを検証した。

(2)では、理論の解説を実施してから実験をしたグループを「事前」群、理論の解説をしないまま実験をした「事後」群というグループを設定した。「事前」群は第1時に理論の解説、第2時に実験、第3時にまとめ、第4時に確認テストを実施した。「事後」群は、第1時に実験、第2時に理論の解説、第3時にまとめ、第4時に確認テストとし、第1時と第2時を入れ替えることで、第4時の確認テストを実施した。確認テストの結果から、理論の解説が、実験を実施した後の科学的知識の中の手続的知識(数量的処理能力)の定着に、どのような影響を及ぼしているのかを検証した。

2.3 研究対象とグループ分け

東京都内の公立の高等学校、1年生6クラス(240名)を対象に検証した。実験の作業手順等を示したワークシートは事前に配布し、実験時まで読んでおくように指示を出すことで、実験の操作手順の理解を促し実験における安全性を確保するようにした。それぞれのグループについて学力の差のないことを、定期試験の結果を用いて検証することとした。

(1) 実験を実施した場合としない場合における科学的知識の定着の検証【単元A】

「実験あり」群と「実験なし」群について、「化学基礎」の定期試験の点数を使って、t検定(有意水準5%)したところ、 $t = 1.865$ 、 $df = 235$ 、 $p = 0.063$ となった。グループ間の学力に有意差は見られなかった(表4)。

表4 実験あり群と実験なし群の定期試験のt検定の結果

	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差	t値
実験あり	119	68.48	15.59	1.429	1.865
実験なし	118	64.73	15.36	1.414	

* $p < 0.05$

(2) 解説と実験の順番を代えて授業をしたときにおける、科学的知識の定着の検証

「事前」群と「事後」群について、「化学基礎」の定期試験の点数を使ってt検定(有意水準5%)したところ、 $t = 1.121$ 、 $df = 233$ 、 $p = 0.263$ となった。グループ間の学力に有意差は見られなかった(表5)。

表5 事前群と事後群の定期試験のt検定の結果

	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差	t値
事前群	119	64.58	12.61	.138	1.122
事後群	116	62.79	11.79	.142	

* $p < 0.05$

2.4 確認テストの検討

確認テストでは、各単元の実験内容が反映されるような問題を、過去の大学入試センター試験(現大学入学共通テスト)の問題を参考にして作成した。大学進学を主な進路とする高等学校においては、大学入学共通テストの解答する力の程度は、進学を目指している生徒やその保護者の関心事であり、進学指導における一つの指標である。本研究は、手続的

知識(数量的処理能力)の定着についての検証である。到達目標を達成しているかどうかを判断するには、答を導き出せることが到達点であると考え、択一式選択問題である同試験を採用した。

3、研究の成果

3.1 【単元A】 酸・塩基と中和 中和滴定による濃度の決定

3.1.1 生徒実験の概要

酢酸 CH_3COOH は、水酸化ナトリウム水溶液 NaOH 水溶液と中和反応する〈1〉。



実験では、あらかじめ標準溶液であるシュウ酸水溶液によって濃度を決定させた水酸化ナトリウム水溶液を使って、食酢中に含まれる酢酸のモル濃度を決定する。濃度を決定するためには、反応に使用された水溶液の体積を正確に測定する必要があるため、図1のような器具を使用する。水酸化ナトリウム水溶液の濃度と反応させた体積から、食酢中に含まれている酢酸の濃度(酸度)を決定する。食酢は10倍希釈する。

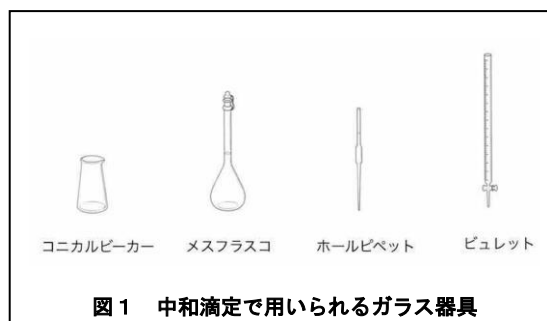


図1 中和滴定で用いられるガラス器具

中和点におけるpH変化を確認できるpH指示薬を使用する。今回はフェノールフタレイン溶液(無色 pH8.8-pH 10.0赤色)を使用する。濃い赤色になるまで水酸化ナトリウム水溶液を注入すると、中和点を越えてしまうため、中和点を越えない注入量を操作する、滴定実験における特有の技術的要素がある。実験時に技術的要素を説明した。

3.1.2 到達目標に達することを判断するための科学的知識の中の手続的知識について

この実験では、予め決定された水酸化ナトリウムの濃度 $a[\text{mol/L}]$ と、水酸化ナトリウムを入れたビュレットの体積 $c[\text{mL}]$ と、ホールピペットの体積を使って、食酢に含まれる酢酸の濃度 $x[\text{mol/L}]$ を求めることができる。酸・塩基それぞれの価数を考慮する必要があるが、今回はどちらの価数も1であるため、両辺に1をかけている〈2〉。

水素イオン H^+ の物質量 $[\text{mol}]$ = 水酸化物イオン OH^- の物質量 $[\text{mol}]$ より

$$x[\text{mol/L}] \times \frac{1}{10} \times \frac{10.0[\text{mL}]}{1000} \times 1 = a[\text{mol/L}] \times \frac{c[\text{mL}]}{1000} \times 1 \quad \cdots \langle 2 \rangle$$

3.1.3 理論の解説内容

理論の解説では、中和滴定の原理、および、〈2〉式の水素イオンと水酸化物イオンの物質量が等しくなること、測定した各溶液の体積と濃度、および価数の積から各イオンの物質量が計算されることについて、講義形式で学習した。

3.1.4 問題演習と確認テストについて

問題演習を全体で実施した後、同授業時間内で、確認テストを実施した。確認テストは

大学入試センター試験の2011年本試験の内容を、一部改題して作成した(図2)。

次の文章を読み、下の問いに答えよ。

酢酸水溶液 A の濃度を中和滴定によって決めるために、あらかじめ純粋な水で洗浄した器具を用いて、次の**操作1～3**からなる実験を行った。

操作1 ホールピペットで A を 10.0mL とり、これを 100 mL のメスフラスコに移し、純粋な水を加えて 100 mL とした。これを水溶液 B とする。

操作2 別のホールピペットで B を 10.0mL とり、これをコニカルビーカーに移し、指示薬を加えた。これを水溶液 C とする。

操作3 0.100 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液 D をビュレットに入れて、C を滴定した。

問1 **操作1～3**における実験器具の使い方として**誤りを含むもの**を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① **操作1**において、ホールピペットの内部に水滴が残っていたので、内部を A で洗ってから用いた。
- ② **操作1**において、メスフラスコの内部に水滴が残っていたが、そのまま用いた。
- ③ **操作2**において、コニカルビーカーの内部に水滴が残っていたので、内部を B で洗ってから用いた。
- ④ **操作3**において、ビュレットの内部に水滴が残っていたので、内部を D で洗ってから用いた。
- ⑤ **操作3**において、コック(活栓)を開いてビュレットの先端部分まで D を満たしてから滴定を始めた。

問2 操作がすべて適切に行われた結果、**操作3**において中和点までに要した D の体積は 8.50mL であった。酢酸水溶液 A の濃度は何 mol/L か。最も適当な数値の一つ選べ。

図2 単元Aの確認テストの内容

3.1.5 確認テストの分析

「実験あり」群と「実験なし」群(表2)の確認テストの結果を、独立性の χ^2 検定(有意水準5%)を実施したところ、問1、問2については、有意差は認められなかったが、完答については有意差が認められた(表6)。

表6 単元Aの確認テストにおける χ^2 検定の結果

問1	正答	誤答	合計
実験なし	55	61	116
実験あり	66	53	116
合計	121	114	235

$\chi^2 = 1.52$ $p = 0.217$

問2	正答	誤答	合計
実験なし	21	95	116
実験あり	32	87	119
合計	53	182	235

$\chi^2 = 2.60$ $p = 0.107$

完答	正答	誤答	合計
実験なし	10	106	116
実験あり	24	95	119
合計	34	201	235

$\chi^2 = 6.33$ $p = 0.012$

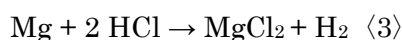
3.1.6 実験における活動の様子

「実験あり」群、「実験なし」群の様子を見取ると、どちらの群でも、中和点を超えない注入量を操作するといった、滴定実験における特有の技術的要素があるにもかかわらず、適切な操作によって濃度を求めることができた班を見取ることができた。また、モル濃度を質量パーセント濃度に換算する計算を用いて、食酢のラベルに添付してある酸度の数値と一致すると、生徒の喜んだ姿が見られた。実験には積極的に取り組む姿が見られた。

3.2 【単元B】化学反応において、化学反応式の係数を使って量的関係の計算ができる。

3.2.1 生徒実験の概要

表面をきれいに磨いたマグネシウムリボンMgの質量[g]を正確に測定し、過剰量の塩酸HClを加えて、発生する気体を水上置換法でメスシリンダーに集めて、気体の体積を測定する(3)。



発生する気体は水素 H_2 であり、発生量は、塩酸が過剰量であるため、マグネシウムリボンの質量から計算することができる。化学反応式の係数比から、発生する水素の物質質量

[mol] はマグネシウムリボンの物質質量[mol]と等しくなることが分かる。

この水素の物質質量 n [mol]から、気体の発生する体積の理論値[mL]を算出する。ただし、実験室は標準状態ではないので、実験条件下における1molあたりの気体の体積[mL]を、気体の状態方程式より予め算出する必要がある〈4〉。

実験室の絶対温度 T [K]と、大気圧 P_{all} [Pa]、水上置換の水温から求められる水蒸気圧 P_{H_2O} [Pa]とすると、

$$V[\text{mL}] \times 10^{-3} = \frac{1[\text{mol}] \times R \times T[\text{K}]}{(P_{all} - P_{H_2O})[\text{Pa}]} \quad R = 8.31 \times 10^3 [\text{Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})] \quad \cdots \langle 4 \rangle$$



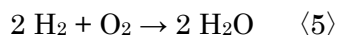
図3 実験の様子

この計算は、高等学校「化学」の範囲であるため、教員で予め計算して、生徒に与えた。

実際に測定された水素の体積[mL]と、マグネシウムの物質質量から算出された水素の体積の理論値を比較する。この実験の場合、反応が閉鎖系に近い状態で実施されるため(図3)、生徒が実験の操作に不慣れでも、5%程度の誤差でデー

タを得ることができる。

また、発生した水素を試験管に水上置換法で移して、水素の着火実験をすることができる。ここでも、化学反応式の係数比を使った量的計算の関係が出てくる。このとき、試験管の容量に対して、水素を100%集めて着火する生徒が多いが、試験管内に酸素 O_2 が供給されないため、気体の水素への着火時に聞くことができる爆鳴音は発生しない。ここで、次の化学反応式にたどりつく生徒が多い〈5〉。



ここで、気体反応の法則から、試験管内の体積比を H_2 と O_2 は2:1にすればよいが、酸素は空気からしか供給できないため、主成分の N_2 と O_2 は4:1を考慮し、 H_2 と O_2 と N_2 は体積比で2:1:4、 H_2 と空気の体積比は2:5にする必要がある(図4)。



図4 検討の様子

3.2.2 理論の解説の内容とまとめの授業の内容

ここでは、実験における2種類の化学反応式〈3〉と〈5〉を使って、化学反応式の量的関係の計算を理解させる講義を実施した。質量を化学反応式の係数比にあてはめる計算ができないことや、物質質量を使うことで、化学反応式の係数比にあてはめて計算ができること、さらに、質量保存の法則が成立することなどを扱った。まとめの授業では、実験の内容について、理論値と実測値を使って考察する時間や、水素の燃焼実験の体積比について理解を深める時間とした。

3.2.3 到達目標に達することを判断するための科学的知識の中の手続的知識について

化学反応量の量的関係が物質質量を経由して正しく導き出せることを到達目標とした。また、気体の体積比と物質質量比が同条件下では物質質量比と等しいことを挙げ、数量的処理ができることを目標とした。

次の問いに答えなさい。
ただし、原子量は H:1.0 Cl:35.5 Al:27、1 気圧 24℃における 1 mol あたりの気体の体積量を 24.0 L とする。

A アルミニウムを化学反応に十分な濃度の塩酸と反応させて、水素を発生させる。いま、アルミニウムの単体(アルミニウム箔)を 0.054 g 用意した。発生する水素の体積[mL]を計算で求めることにした。

$$2\text{Al} + 6\text{HCl} \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2$$

問1 アルミニウムの物質質量を求めなさい。
 問2 アルミニウムから発生する水素の物質質量を求めなさい。
 問3 発生する水素の体積[mL]を求めなさい。ただし、実験は 1 気圧、24℃で実施されたものとします。

B 次の問いに答えなさい。ただし、原子量は H:1.0 O:16 とする。

問4 水素 H₂を十分な酸素 O₂を含む空気と反応させて、水 H₂O を発生させた。そのとき、発生した水 H₂O の質量[g]を測定したところ、5.4[g]だった。反応させた水素 H₂の質量を、思考・計算過程を示し、答えは次の選択肢から記号で選びなさい。

図5 単元Bの確認テストの内容

3.2.4 確認テストの内容

確認テストでは、問1、問2は問3の誘導のための問題、問3が到達目標に則した問題を作成した。また、問4は、水素の燃焼の化学反応式を自分で組み立て、物質質量を経由して、対象とした質量を導き出す問題とした(図5)。

3.2.5 確認テストの分析

実験の授業の前の授業で解説をした「事前」群と実験の授業の後で解説をした「事後」群(表3)の確認テストの結果を独立性の χ^2 検定(有意水準5%)によって検討したところ、到達目標に則した問題である、問3・問4、および完答のいずれも、有意差は認められなかった(表7)。

表7 単元Bの確認テストにおける χ^2 検定の結果

問3	正答	誤答	合計	問4	正答	誤答	合計	完答	正答	誤答	合計
事前	38	78	116	事前	42	74	116	事前	26	90	116
事後	36	75	110	事後	43	67	110	事後	24	86	110
合計	74	152	226	合計	85	141	226	合計	50	176	226

$\chi^2 = 0.00 \quad p = 0.996$

 $\chi^2 = 0.20 \quad p = 0.655$

 $\chi^2 = 0.01 \quad p = 0.914$

3.2.6 授業における活動の様子

まとめの時間では、自分たちの実験結果が理論値とどのくらいずれが生じていたかを、班で検討する時間を設け、実験結果を検討させた。その後、演習問題を示すと、生徒は教え合いながら、問題を解いている姿が見られた。

事前群と事後群の様子を見取ると、事前群では、実験の授業において、操作をこなしながら、理論値を求めることができた生徒が見られた。また、実験結果の誤差が小さく、期待される数値が出た生徒がみられた。一方、事後群は、実験結果の誤差が大きく、計算に

辿り着かない生徒が見られた。理論の解説の段階では、解説によって理解が深まった生徒と、計算を終わることができず、十分に理解ができなかった生徒を見取ることができた。事後群では、実験の原理は理解している生徒がみられたものの、実験中に理論値を求められた班は少なかった。

3.3 【単元C】 化学反応の量的関係を、過不足を踏まえた上で計算ができる。

3.3.1 生徒実験の概要

炭酸水素ナトリウム NaHCO_3 の質量を、1.0[g] (0.012[mol])から5.0[g] (0.060[mol])の範囲で、5段階で変化させて、0.020molの硫酸 H_2SO_4 と反応させた〈6〉。



化学反応式の係数比が NaHCO_3 と H_2SO_4 で2:1であるため、炭酸水素ナトリウムが、硫酸の物質量の2倍量 (0.040[mol]) を超えるまでは、炭酸水素ナトリウムが完全に反応し、発生する二酸化炭素 CO_2 の物質量は、炭酸水素ナトリウムの物質量に等しくなる。一方、硫酸の物質量の2倍を超える炭酸水素ナトリウムを加えると、硫酸が完全に反応し、炭酸水素ナトリウムがビーカー内に残る。このとき、発生する二酸化炭素 CO_2 の物質量は、硫酸の2倍の物質量(0.040[mol])で一定になる。二酸化炭素の発生した質量[g]は、反応前と反応後の全質量の差を求めることで得られる。

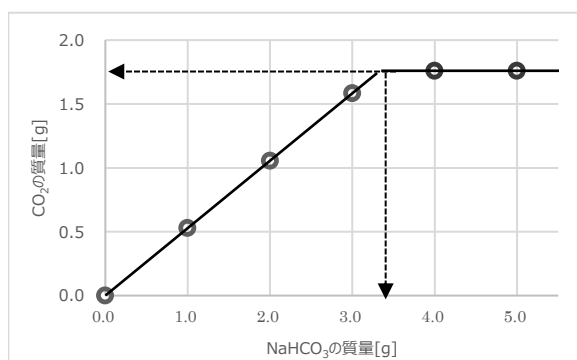


図6 加えた NaHCO_3 の質量と発生した CO_2 の質量の関係

分析では、横軸に炭酸水素ナトリウムの質量[g]、縦軸に発生した二酸化炭素の質量[g]をとって、グラフを描く。炭酸水素ナトリウムが硫酸の物質量の2倍量を超えるまでは、右上がりの傾きを持つグラフを描くことができるが、この値を超えた後は、傾きがないグラフが描かれる。グラフの交点が、炭酸水素ナトリウムと硫酸が過不足なく反応したときの、横軸、縦軸の質量となる(図6)。

3.3.2 理論の解説の講義内容

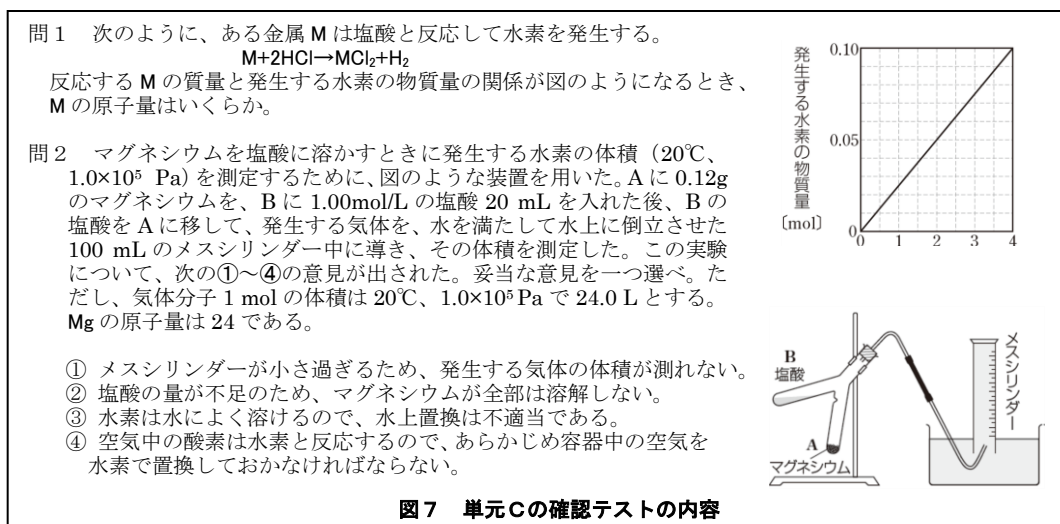
理論の解説では、今回の実験に用いる化学反応式〈6〉を使って、炭酸水素ナトリウムと硫酸の物質量を比較しながら、過不足が生じる条件を比較する講義を行った。また、グラフを正確に描かなければ、最終的な結果を得られないことができない。まとめの時間において、グラフを完成させられるようにするため、グラフの描き方を指導しながら、班でグラフを完成させられるように授業を行った。

3.3.3 到達目標に達することを判断するための科学的知識の中の手続的知識について

今回は、グラフを使って化学反応と量的関係を求めることや、過不足が生じるような化学反応を、過不足を踏まえたうえで計算ができることを到達目標としている。したがって、グラフの問題や、実験条件の整合性を、数量的処理によって、適切に求められることを目標とした。

3.3.4 確認テストの内容

確認テストでは、大学入試センター試験の2015年本試験、および、1982年本試験から一部改題して作成した(図7)。2題出題し、問1は、グラフの値を読み取って、化学反応式と物質質量を使って原子量を求める問題。問2は、過不足を踏まえて判断しながら、実験計画の妥当性を問う問題とした。



3.3.5 確認テストの結果と分析

実験の授業の前の授業で解説をした「事前」群と実験の授業の後で解説をした「事後」群(表3)の確認テストの結果を確認テストでは、事前群と事後群の結果を独立性の χ^2 検定(有意水準5%)によって検討したところ、問1・問2・完答のいずれも、有意差は認められなかった(表8)。

表8 単元Cの確認テストの χ^2 検定の結果

問1	正答	誤答	合計	問2	正答	誤答	合計	完答	正答	誤答	合計
事前	77	43	120	事前	21	99	120	事前	17	103	120
事後	76	40	116	事後	22	94	116	事後	19	97	116
合計	153	83	236	合計	43	193	236	合計	36	200	236

$\chi^2 = 0.05$ $p = 0.828$
 $\chi^2 = 0.09$ $p = 0.771$
 $\chi^2 = 0.22$ $p = 0.636$

3.3.6 授業における活動の様子

まとめの時間では、事前群、事後群ともに、理論の解説において学んだグラフの描き方を使いながら、交点を求めることができた。

事前群と事後群の様子を見取ると、事前群の方が、より交点が理論値に近づく傾向がみられた。事前群は、グラフの交点を、ある程度予測しながら実験を行っていることが示唆された。

4、研究の考察

4.1 実験を実施した場合としない場合における科学的知識の定着の検証

【単元A】「酸・塩基と中和における中和反応と中和滴定による濃度の決定」では、実験の授業を実施した上で確認テストをしたグループを「実験あり」群、実験の授業を実施しない状態で確認テストをしたグループを「実験なし」群として分析し、完答において有意差が認められた。

個々の問の解答には有意差が認められず、完答においてのみ有意差が認められた背景として、「実験なし」群は、それぞれの問を別々に捉えて解いている可能性があり、「実験あり」群は、個々の問の意味を有機的につなげて、より深い理解によって解くことができた生徒が多いと考えられる。

問を見てみると、問1は、実験の器具の適切な使用法を問うだけではなく、より緻密なデータを得るための実験操作を問うものであった。問2は、その得られたデータに基づき、化学変化にともなう物質の数量的処理を求める問であった。問1においても、問2においても、有意差はないものの、実験を経た「実験あり」群の方が、正答が増加する傾向にあった。さらに、問1と問2を完答した生徒に注目すると、実験をした方が有意に増加していることは、当該の技能の意味を理解し、数量的処理と関連付けながら理解していることを示しているのではないかとと言える。問1が解けて、問2も解けるということは、問1の実験操作を数量的な操作としてみる経験が、問2で問われている数量的処理の能力を向上させ、また、問2で数量的処理をする経験が、問1の操作を数量的な価値として、確立させる働きをもつのではないかと推測される。

4.2 解説と実験の順番を代えて授業をしたときにおける、科学的知識の定着の検証

【単元B】「化学反応において、化学反応式の係数を使って量的関係の計算ができる」と、【単元C】「化学反応の量的関係を、過不足を踏まえたうえで計算ができる」では、理論の解説を実施してから実験をした「事前」群と、理論の解説をしないまま実験をした「事後」群の間に、有意差は認められなかった。

実験の様子を見取ると、実験の精度においては、理論の解説をしてから実験を実施した事前群は、理論に近い結果を導き出している。これは、実験の意味をよく理解して、ある程度の予想に基づき、見通しをもって観察、実験をしたからであると考えられる。

ただし、理論の解説と実験の順番を入れ替えても、科学的知識の中の手続的知識(数量的処理能力)の定着には影響がないことが示唆された。

4.3 検証から見られた考察

本研究では、科学的知識の中の手続的知識(数量的処理能力)の定着には、実験の実施が、効果があることが明らかになった。また、実験の実施において、理論の解説と実験の順番を入れ替えても、影響がないことが分かった。

今回、【単元A】において、数量的処理を伴うような、いわゆる、一般に問題演習をこなすことで解答する力を付けることがよいとされる問であっても、「実験あり」群の方が、問題を完答できる割合が有意に高いことが示された。今回の問の特有の可能性は否定できないが、大学入試問題を解答する力を身に付けさせる上でも、実験をすることが有用

である可能性がある。

一般的に、探究的なプロセスを経た方が科学的知識の定着が図ることができると考えられる。しかし、全ての単元において、探究的なプロセスを経る指導を実施することは、時間がかかるので、難しいと考えられる。本研究では、時間がないなどの理由で探究的なプロセスを踏むことが忌避される中でも、少なくとも、実験を実施しないよりも、実験を実施した方が、科学的知識の定着には有意に効果があるということが分かった。

高等学校の理科では、科学的知識の定着を図るために、講義の時間や、大学入試問題対策等における問題演習に取り組む時間を増やす結果、実験を実施しないといった選択がされている実態がある。今回、科学的知識の中でも、特に問題演習を軸として育てる力とされる、データを基に物質量を求めるような手続的知識の定着において、実験の効果があるということが分かった。

さらに、科学的知識の定着において、理論の解説と実験の順番は影響がないことから、実験室の使用条件やスケジュール等において、順番が入れ替わるような事情が生じたとしても、実験は実施した方がよいと考えられる。

理科の実験を実施することは、講義や問題演習といった座学よりも、準備や技術、安全管理といった点で難しさがある。理科の実験を計画し、実施できるのは、理科の教員である。理科の実験が多く的高等学校で実施される状況になることを願うとともに、今後も、授業において、理科の実験を実施していきたい。

5、まとめと課題

今後、高校生の時に実験を多く経験した大学生や社会人が、今の自分自身の研究や学び等にどのような影響を与えているかなどを明らかにしたい。また、実験の実施による科学的知識の定着を、より詳細に調べるために、それらを見取ることができるような優れた択一式選択問題の開発をしたい。

6、参考文献

- 1) 寺田光宏 実験の実施による理解度と学習意欲への影響 日本理科教育学会 2006
- 2) 三次徳治・工藤万依 高等学校理科「化学基礎」の実験実施状況と教員の意識 九州地区国立大学教育系・文系研究論文集 第7巻 第2号
- 3) 中央教育審議会(2016): 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及び必要な方策等について(答申)(中教審第197号)
- 4) 井藤芳喜 理科実験の使命 島根大学論集教育科学 14、29-40、1965-02-05
- 5) 板倉聖宣 科学と仮説 季節社、1971、p. 64-65
- 6) 岡本正志 科学的知識の確立における実験の意義 物理教育 第57巻
- 7) 宗像恵太 課題解決的な活動を取り入れた理科授業実践の開発研究 東京学芸大学教職大学院年報 2019-03-20
- 8) 木下博義・松浦拓也・角屋重樹:「理科の観察・実験活動におけるメタ認知の実態とその要因構造に関する研究」、日本教育工学会論文誌、Vo1. 30、No. 4、pp. 355-363、2007.
- 9) 草場実ら メタ認知を活性化する観察・実験活動が科学的知識の定着に及ぼす効果 日本教科教育学会誌 2010.12 第33巻第3号