

# 化学実験がもたらす内容理解と

## 化学実験を活かした授業構成

M19EP032 西尾 郁哉

### 1. 問題設定

高校化学の分野では、実験について多く記されており、例えば東京書籍では、化学基礎には18個、化学には33個が記載されている。一方で化学基礎の授業時間は70時間、化学の授業時数は140時間である。さらに試験等により授業時数は短くなる。このように化学の授業は時数に対して、あまりに多くの実験項目が設定されており、実際に行う実験は教師が効果を考えて選定しなければならない。

そこで、実験によって学習効果が得られるのか、また数多くの実験からどの実験を扱うのが良いのかを調べるために、具体的に「実験が授業内容の理解につながるか」を評価すること及び「どのような種類の実験が効果的か」を明らかにすることを本研究の目的として掲げた。

### 2. 研究方法

本研究は1年生と3年生を対象に行った。3年生での研究は3コマ構成で実験ありとなしの2パターンで実施した。3年生の実験ありの場合では、1コマ目は研究対象のクラスの学力を測るために冒頭の5分間でプレテストを実施し、45分間で授業を行った。2コマ目は50分間実験を行い、3コマ目で15分間ペーパーテストを行った。3年生の実験なしの場合では1コマ目に5分間のプレテストと45分間の授業を行い、2コマ目に15分間のペーパーテストを行った。研究の影響で授業の理解度に差が出ないように、3コマ目に50分間実験を行った。

1年生の研究では、プレテストは担当する授業外で実施され、2コマ構成で実験ありと実験なしの2パターンで実施した。実験ありの場合では授業と実験を1コマで行い、2コマ目にペーパーテストを実施した。実験なしの場合では1コマ目に授業を行った後、実験の代わりに演習を行い、2コマ目にペーパーテストを実施した。

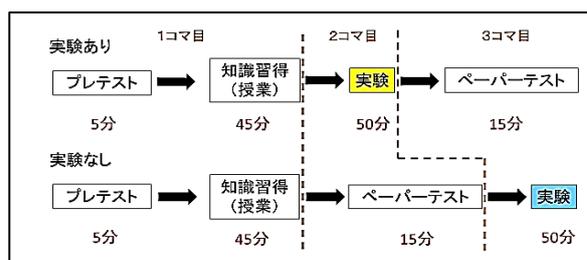


図1：3年生授業実践スケジュール

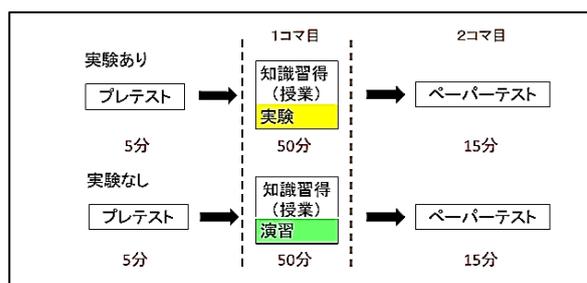


図2：1年生授業実践スケジュール

### 3. 評価方法

本研究の評価は3つの観点から行う。1つ目は実験ありの場合と実験なしの場合でのペーパーテストのスコアを比較し、どのように差が生じるかを分析することである。

2つ目は設問ごとの正答率を比較し、その

差の原因を明らかにするとともに、実験がもたらす効果を明らかにすることである。

3つ目はプレテストとペーパーテストの相関分析である。これにより、ペーパーテストのスコアの差が実験の有無によるものか、また各単元で実験を行うことは適当であったかを明らかにする。

#### 4. 授業実践

##### ①3年生 プレテスト

実施日：3年A組 2019年7月4日

3年B組 2019年7月4日

3年A組とB組の化学の理解度を測るため、簡単なテストを行った。問題は全て化学基礎で履修した内容とし、5分間以内に解けるよう計算問題に関しては扱いやすい値を用意した。

結果はA組もB組も10点満点中6, 7, 8点が多くを占めるという傾向が見られたため、ほとんど同じくらいの学力を持つ生徒であることが分かった。

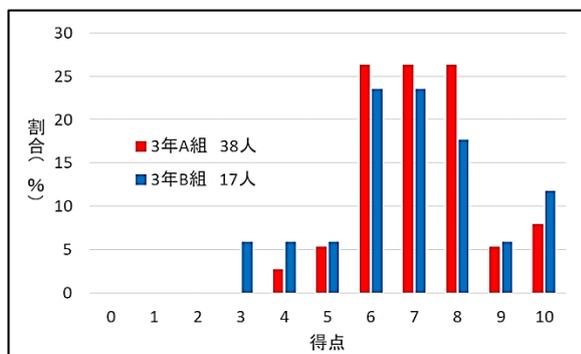


図3: 3年生プレテスト 結果

##### ②1年生 プレテスト

実施日：1年A組 2019年10月24日

1年B組 2019年10月24日

1年A組とB組の化学の理解度を測るため、簡単なテストを行った。未履修の物質質量計算は問題から除いた。

結果はA組もB組も9点満点中5, 6, 7点が多くを占めるという傾向が見られ

たため、ほとんど同じくらいの学力を持つ生徒であることが分かった。

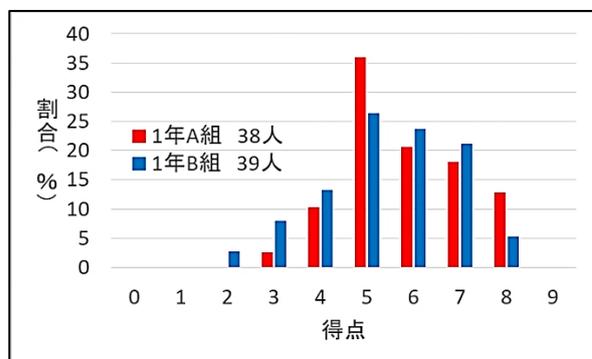


図4: 1年生プレテスト 結果

##### ③3年生 無機 金属イオンの分離

実施日：3年A組 2019年7月18日

実験あり

3年B組 2019年10月17日

実験なし

実験ありの3年A組も実験なしの3年B組も授業では、金属イオン  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  の分離を行うのに必要な知識を習得するための授業を行った。これらの金属イオンを分離するには塩酸、硫化水素、硝酸、アンモニア水を試薬として用いることが一般的である。試薬を加え沈殿物をろ過することにより  $\text{AgCl}$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  をそれぞれ取り出すことができる。その際の注意事項として加える薬品の順序が挙げられる。何通りかの分離方法の内、授業では塩酸、硫化水素、硝酸、アンモニア水の順番で加える方法を紹介した。

3年A組で行った実験は、授業で紹介した通りの方法で3名ないし4名構成の班毎に行った。最後にアンモニア水を加えて  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  の黄褐色の沈殿を生じさせた際に、深青色の溶液の状態になっている班があった。これは、その前の手順で  $\text{Cu}^{2+}$  を硫化水素と反応させて沈殿させるのが十分でなかったため、 $\text{Cu}^{2+}$  が残り、アンモニア水によって  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  が生成されたと考えられる。そこで、何が生

じたから深青色になったのかを1コマ目の授業を参考に考えさせ、考察にまでたどり着いた。

ペーパーテストを図5に示す。全て授業や実験で取り扱った内容である。

小テスト  
3年 組 番 氏名 \_\_\_\_\_

1.  $Ag^+$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  を分離させるために実験を行った。使用した試薬、生じた沈殿物、ろ液を全て答えよ。ただし、①～③は選択肢1から、④～⑥は選択肢2から選択するものとする。同じ選択肢を何度も選んでも良い。

選択肢1  
A: 塩酸 B: 硫酸 C: 酢酸 D: 硫化水素  
E: アンモニア水

選択肢2  
あ:  $[Ag(NH_3)_2]^+$  い:  $Ag_2S$  う:  $AgCl$  え:  $Ag^+$   
お:  $Ag_2SO_4$  か:  $CH_3COOAg$  き:  $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$   
く:  $CuS$  け:  $CuCl_2$  こ:  $CuSO_4$  さ:  $Cu^{2+}$   
し:  $(CH_3COO)_2Cu$  す:  $Fe(OH)_3$  せ:  $FeCl_3$   
そ:  $FeS$  ぜ:  $FeSO_4$  ち:  $(CH_3COO)_2Fe$   
な:  $Fe(OH)_2$  て:  $Fe^{2+}$  と:  $Fe^{3+}$

ろ液①

ろ液②

ろ液③

ろ液④

ろ液⑤

ろ液⑥

① \_\_\_\_\_ ② \_\_\_\_\_ ③ \_\_\_\_\_ ④ \_\_\_\_\_ ⑤ \_\_\_\_\_ ⑥ \_\_\_\_\_

2. 硝酸を加えた理由を答えよ。

⑦ \_\_\_\_\_ ⑧ \_\_\_\_\_ ⑨ \_\_\_\_\_

3. ③、④、⑤で生じた沈殿の色を答えよ。

⑩ \_\_\_\_\_ ⑪ \_\_\_\_\_ ⑫ \_\_\_\_\_

図5: 3年生 無機 ペーパーテスト

#### ④3年生 有機 エステル化, けん化, 弱酸の遊離

実施日: 3年B組 2019年7月18日

実験あり

3年A組 2019年10月17日

実験なし

実験ありの3年B組も実験なしの3年A組も授業では、主にエステル化, けん化, 弱酸の遊離について教えた。酢酸をエタノールでエステル化し、生成された酢酸エチルをけん化して酢酸ナトリウムを生成し、弱酸の遊離により酢酸を遊離させるという実験の予想を立てさせつつ、構造式を用いてどの官能基とどの官能基が何の試薬によって反応するのかなどを解説した。また、実験結果の予想を立てる際には生成物の臭いと水溶性に着目させた。

3年B組で行った実験では、授業で予想した結果通りになるのかを確かめるという形で

実験を行った。エステル化はどの班もうまくいったが、けん化が未反応だった班があった。これは、熱の供給が不十分だったためと考えられる。また、弱酸の遊離で酢酸の臭いがかすかな程度にとどまったのは、溶液の量が多くなって酢酸のモル濃度が小さくなったためと考えられる。実験結果から臭いや水溶性について確認した。さらに考察として化学反応式と反応機構を学習した。

ペーパーテストを図6に示す。ほとんどが授業や実験で取り扱った内容である。特に2.

(4)は弱酸の遊離をただ暗記しただけでは解くことができない。酸の強弱を理解し、比較することで解ける問題となっている。このような思考力を問う問題も設けた。

小テスト  
3年 組 番 氏名 \_\_\_\_\_

1. 以下の反応を化学反応式で示しなさい。

① エタノールと酢酸の混合溶液に濃硫酸を加え振り混ぜる。

② ①の反応によって生成された物質に水酸化ナトリウム水溶液を加え、温水中で温める。

③ ②の反応によって生成された物質に硫酸を加える。

2. 前問1の実験に際して以下の問いに答えなさい。

(1) ①の反応の名称を答えよ。

(2) ①において濃硫酸を加えた理由を答えよ。

(3) ②の反応の名称を答えよ。

(4) 前問1の③で硫酸ではなく炭酸を用いたときの反応についてあてはまるものに○を付け、理由を述べよ。理由は元素記号を用いて答えて良いものとする。

反応する      反応しない

理由:

図6: 3年生 有機 ペーパーテスト

#### ⑤1年生 アボガドロの法則

実施日: 1年A組 2019年10月31日

実験あり

1年B組 2019年10月31日

実験なし

実験ありのA組と実験なしのB組も授業では、気体の体積と物質量の関係についてアボガドロの法則とモル体積を中心に説明した。加えて、気体の密度とモル質量についても学習した。

授業を20分間行った後にA組はアボガドロの法則は本当に成り立つかを実験で確かめた。実験は時間が足りなくなり考察までたどり着くことができなかつた。また、気体の質量の測り方が雑な班があり、このまま実験の考察を行っても意味のある考察はできないと判断し、実験の延長はしなかつた。

一方B組は実験の代わりに演習を行った。物質量を用いて体積も求めたり、密度から質量を求めたりする演習を行った。したがって、厳密には実験ありで演習なしのA組と実験なしで演習ありのB組の比較となる。

ペーパーテストを図7に示す。

小テスト  
1年 期 番 氏名 \_\_\_\_\_

原子量：H=1 C=12 N=14 O=16 アボガドロ数=6.0×10<sup>23</sup>[mol<sup>-1</sup>]

1. 以下の問いに答えなさい。

(1) 0℃、1気圧で0.5molの窒素の体積は何リットルか。

(2) 0℃、1気圧で0.5molの二酸化炭素の体積は何リットルか。

(3) 0℃、1気圧で体積1.12Lのある気体の質量は5.6gであった。この気体の分子量を求めよ。

(4) 0℃、1気圧で酸素分子1.2×10<sup>23</sup>個の体積は何リットルか。

(5) 0℃、1気圧で15.68Lの体積を占める窒素のなかには、窒素分子が何個含まれているか。

2. 次の空欄に当てはまる語句または数値を埋めなさい。  
同じ数の分子を含む気体は、気体の温度と圧力が同じであれば、気体の種類に関係なく、同じ体積を占める。これを (a) という。例えば、0℃、1気圧のことを (b) とい  
い、(b) のときの酸素分子1molの体積も窒素分子1molの体積もほとんど同じで (c)  
Lである。

(a) \_\_\_\_\_ (b) \_\_\_\_\_ (c) \_\_\_\_\_

図7：1年生 ペーパーテスト

## 5. 研究結果と考察

### ①ペーパーテストのスコア分析

#### I. 3年生 無機

ペーパーテストの結果を図8に示す。実験ありのグラフを見ると12点満点中10、11、12点の割合が非常に高いことが分かる。よってペーパーテストのスコアから評価すると、実験が授業内容の理解に効果的であったことが明らかである。また、低得点者の割合が非常に少ないことから、化学をあまり得意としない生徒の内容理解も促すことができたと考えられる。

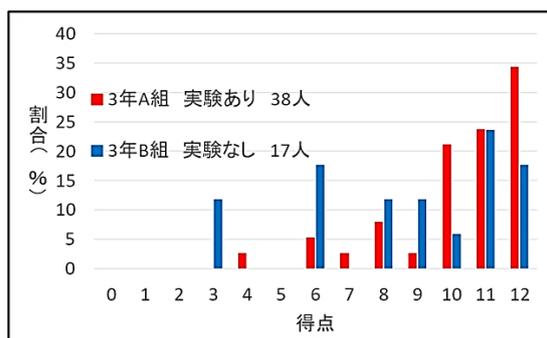


図8：3年生 無機ペーパーテスト 結果

#### II. 3年生 有機

ペーパーテストの結果を図9に示す。実験をしたB組は中間点の他に最低点と最高点にピークがあり、実験をしなかつたA組は8点満点中4、6、7点の割合が高くなった。よってペーパーテストのスコアから評価すると、実験をすることで伸びる生徒もいれば、逆に実験結果に対する考察ができない等の理由により困惑し、スコアが下がってしまう生徒もいると言える。

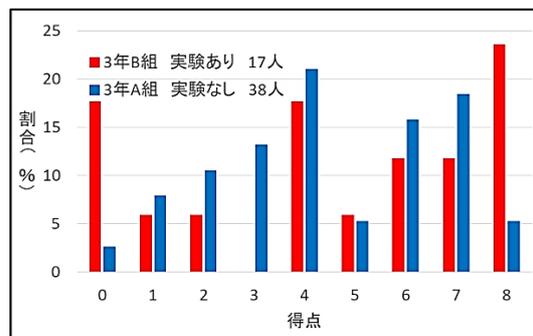


図9：3年生 有機ペーパーテスト 結果

### Ⅲ. 1年生 アボガドロの法則

ペーパーテストの結果を図10に示す。実験をしたA組も実験をしなかったB組も8点満点中1, 2点がほとんどであった。よってペーパーテストのスコアから評価すると実験の効果が認められないと言える。

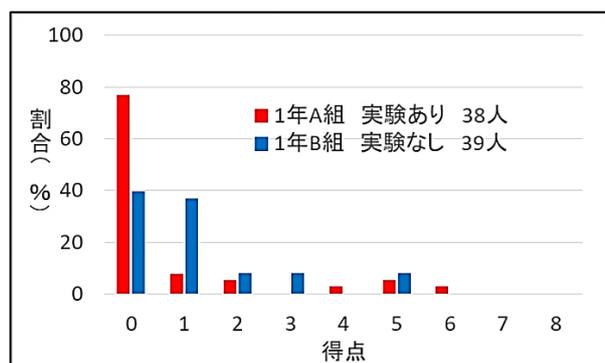


図10: 1年生 ペーパーテスト 結果

#### ②設問ごとの分析

設問は表1, 2, 3のように分類して分析した。各数字はクラスごとの正答率[%]を表しており、赤で塗られた箇所は実験なしのクラスよりも正答率が10ポイント以上増加したことを表している。青で塗りつぶされた箇所は実験なしのクラスよりも正答率が10ポイント以上減少したことを表している。

#### I. 3年生 無機

実験で正答率が10ポイント以上上がった箇所は実験が良い方向に働いたものと考えられる。実際に操作を行い、どの試薬とどの試薬が反応したか、また生成物の色は何色だったのか等を、実物を見ることによって体験的に学習できていたと考えられる。やはり、自ら操作し現象を確かめることは記憶に残りやすく、学習内容の理解の手助けとなっていることが明らかとなった。

実験で正答率が10ポイント以上下がった箇所は実験が悪い方向に働いたものと考えられる。硫化水素を加える際に反応が不十分な班が出て、その後の実験に支障が生じた。実

験結果に対する考察ができずに困惑した生徒がいたのではないかと考えられる。

実験をすることで学習内容の理解を促進させることは可能だが、それと同時に実験に滞りがあり、結果に対する考察ができないとかえって学習内容の理解を妨げることもある。考察にかける時間はもっと増やし、生徒たちが完全に納得するまで説明する必要があった。

表1: 3年生 無機 設問ごとの分析

		3年B組 実験なし	3年A組
Ag <sup>+</sup>	沈殿物	95	95
	沈殿物の色	73	87
	ろ液	64	72
Cu <sup>2+</sup>	沈殿物	95	85
	沈殿物の色	68	87
	ろ液	82	85
Fe <sup>3+</sup>	沈殿物	59	87
	沈殿物の色	55	82
溶液	加える試薬	77	79
	順序	77	79
	硫化水素(還元剤)	41	10
	硝酸(酸化剤)	41	82
その他	全く分からない	0	0
	記述力不足	14	10
	完全回答	14	33

#### Ⅱ. 3年生 有機

実験で正答率が10ポイント以上上がった箇所は実験が良い方向に働いたものと考えられる。この実験は嗅覚を必要とする実験であり、また水溶性を確かめる際には視覚も必要とするため、他の実験よりも五感を使って体験的な内容となっている。特に酢酸や酢酸エチルの臭いに関しては強い印象を与えることができた。

実験で正答率が10ポイント以上上がった箇所はどちらも反応名を問う問題となっている。反応名は実験で覚えられるようなものではない。つまり知っているか知らないかの暗記事項であって、実験したことによって点数が下がったという訳ではない。暗記事項に関しては授業の際に、いかに強い印象を与える紹介ができるかが肝心であると考えられる。

この実験を行うと嗅覚と視覚を働かせ、体

験的な活動ができるため化学反応式や反応機構についての理解が深まるが、暗記事項に関しては実験で覚えられるという訳ではないことが明らかとなった。

表 2 : 3 年生 有機 設問ごとの分析

		3年A組 実験なし	3年B組 実験あり
エステル化	化学反応式	41	76
	反応機構	41	71
	濃硫酸の役割	62	59
	反応名	87	41
けん化	化学反応式	44	71
	反応機構	38	65
	反応名	79	59
弱酸の遊離	化学反応式	56	65
	反応機構	54	65
	酸の強さ	26	47
その他	全く分からない	8	24
	記述力不足	26	41
	完全回答	5	12

### Ⅲ. 1 年生

実験で正答率が 10 ポイント以上上がった箇所はなく、10 ポイント以上下がった箇所のみとなった。こうした結果となったのは実験が考察まで及ばなかったことが原因であると考えられる。実験結果の考察ができないような場合は悪い影響が出ることがあると考えられる。また、物質質量に関する 1 年生の理解が不十分であることが分かった。実験を行う以前に、物質質量の授業の際に使う教材を再検討する必要性を感じた。

表 3 : 1 年生 設問ごとの分析

		1年B組 実験なし	1年A組 実験あり
アボガドロの法則	体積と物質質量	21.1	10.3
	体積と分子量	5.3	2.6
	体積と粒子数	1.3	9.0
	法則名	26.3	2.6
	標準状態	17.1	12.8

### ③相関分析

図 11, 12, 13, 14 の散布図は、横軸をプレテストの得点、縦軸をペーパーテストの得点としたときの各クラスの分布を表している。

#### I. 3 年生 無機

実験ありとなしの相関係数はそれぞれ 0.37 と 0.27 となった。どちらも弱い正の相関が見られたことからプレテストの成績が良い生徒のペーパーテストのスコアが伸びている傾向にあることが分かり、本実験の効果を高めるにはそれなりの予備知識があった方がよいことが明らかになった。また、実験ありの散布図の方が高得点に偏っていたため、実験をすることで知識の定着を促すことができたと考えられる。

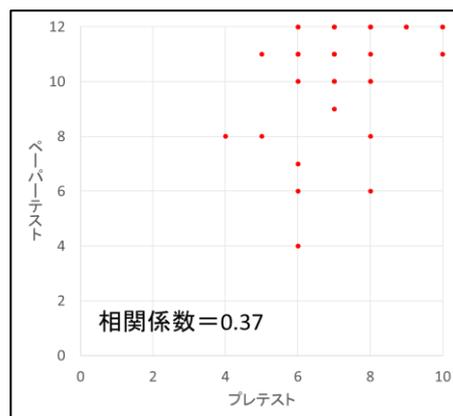


図 11 : 3 年 A 組 無機 散布図  
プレテスト⇔ペーパーテスト

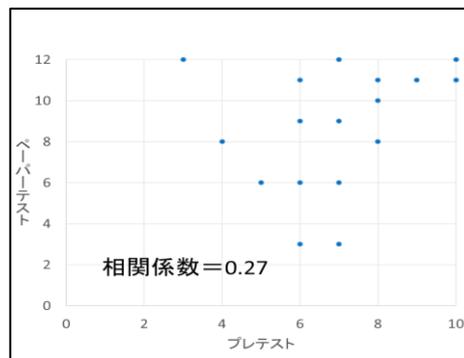


図 12 : 3 年 B 組 無機 散布図  
プレテスト⇔ペーパーテスト

## II. 3年生 有機

実験ありでは相関係数が **0.57** であり正の相関が見られた。実験なしでは相関係数が **0.30** であり弱い正の相関が見られた。強弱があるにせよ正の相関が見られたことからプレテストの成績が良い生徒のペーパーテストのスコアが伸びていることが明らかになった。ここでも本実験の効果を高めるためにはそれなりの予備知識があった方が良いことが明らかになった。散布図を比較すると、実験ありのデータの方が縦に広がらずまとまっていることから実験を行うことで既に持っている知識に応じた知識の定着ができていたのではないかと考えられる。

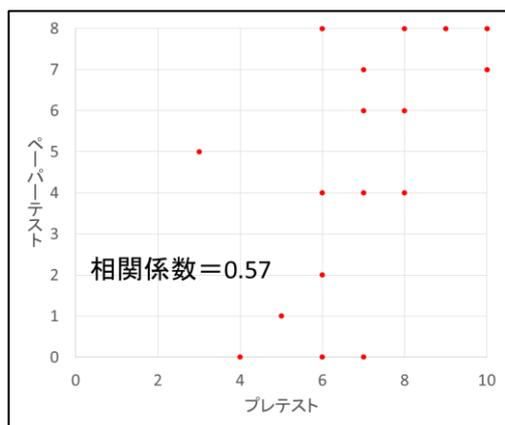


図 13 : 3年 B組 有機 散布図  
プレテスト⇄ペーパーテスト

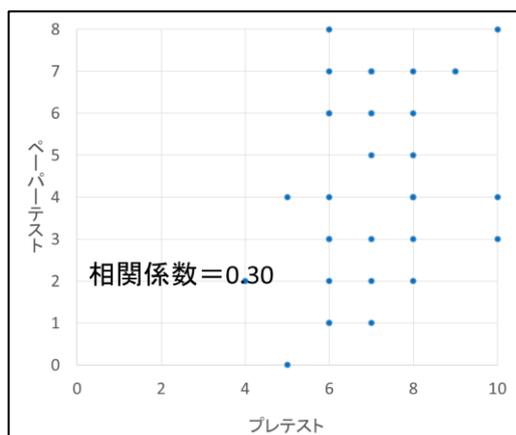


図 14 : 3年 A組 有機 散布図  
プレテスト⇄ペーパーテスト

## III. 1年生

実験ありの相関係数は **0.01** で実験なしの相関係数は **0.20** であり、どちらのクラスもプレテストとペーパーテストの間には相関がないことが明らかになった。そもそもペーパーテストの 0, 1 点の割合が高いことから、実験や演習で物質量計算の考え方が修得できていないことが分かる。したがって授業での教材開発、指導方法を再検討するべきだと考えられる。

### 6. まとめ

#### ①実験の利点

ペーパーテストのスコア、設問ごとの分析から、実験すると現象や操作が記憶に残りやすいことが明らかになった。特に反応機構や生成物の色、臭い等は、板書を写し教師の話を聞くだけの一斉教授型の授業だけでは学習することができない。実験を行い、五感を使った学習を通して初めて知識と技能の定着がなされると考えられる。

相関分析の際に用いた散布図から、実験をしたときのデータの方がペーパーテストの点数の広がりが小さい。つまり実験することにより知識の定着を促すことができることも明らかとなった。しかし行う実験の難易度によっては理解を妨げてしまうこともある。

実験には、「化学的・物理的性質を確かめる定性実験」と、「測定を行い、量的関係を示す定量実験」がある。3年生の授業で扱った定性実験は、生徒が試薬をはかり取る操作を必要としないため比較的行きやすい実験となっていた。

#### ②実験の問題点

1年生の分析結果から得られたこととして、実験が円滑に行われないことにより結果や考察に困惑する生徒もいることは十分留意しなくてはならない。今回は予備実験を十分に行い実験に臨んだが、予想される失敗を生徒の立場で考えることや、反応を促進させるため

の条件等で留意すべき点はあった。

実験によって全ての学習内容が定着できるわけではない。3年生の有機や1年生の設問ごとの分析から見られたように、反応名や法則名等の暗記事項に関しては実験しても覚えることにつながらないことは明らかである。したがって、実験だけに力を注ぐのではなく、日ごろの授業でしか教えられないこともあるのだということを意識する必要がある。

3年生では定性実験を行ったが、1年生では定量実験を行った。実験をする際に「このくらいなら大丈夫」と言い、気体の質量の測り方がいい加減だった生徒がいた。定量実験では測定を行う必要があるため、定性実験よりも注意深く行う必要がある。このように実験のスキルや測定値の扱いを重視する定量実験は初学者向きではないことが明らかになった。だからといって定量実験を避けていては実験のスキルの向上はしない。定量実験を行う際には、測定における留意点を事前に知らせることや、なぜ精度に注意して測定値を扱わなくてはならないかなどを共通理解させることによって解消できると考えられる。

## 7. 結論

本研究の目的としていた「実験が授業内容の理解につながるか」に関しては、実験が授業内容の理解を促していたことから実験が授業内容の理解につながったと判断できる。しかし、実験が円滑に行われないことにより困惑する生徒もいる。予想外の結果が出たとしても生徒が納得できる考察ができるようにしなければならない。

「こういった種類の実験が効果的か」に対しては、初学者には定性実験の方が効果的であることが示唆された。しかし、実験のスキル向上のためには定量実験も行う必要がある。定量実験を行う際には測定の注意事項や測定値の取り扱いについて共通理解が必要である。

## 8. 今後の課題

本研究では3つの実験を行った。全ての実験においてミスなくできた訳ではない。したがって、本研究で明らかになった、実験における留意点をまとめる必要がある。また、実験のみならず授業においても視覚的に分かりやすい教材や身近なものを用いて実感がわきやすいような教材の開発も必要であると強く感じた。

1年生のペーパーテストの結果から物質質量で躓きを感じる生徒が多いことが明らかとなった。物質質量は化学基礎、化学において量的関係を導き出すには不可欠な内容である。平成30年度に告示された高等学校学習指導要領解説理科編理数編では、化学基礎、化学の目標が「知識及び技能」「思考力、判断力、表現力等」「学びに向かう力、人間性等」の3つに分けて書かれている。どの目標にも「科学的に探求する」というキーワードが書かれている。最終的な目標である課題探求に到達するためには、化学基礎、化学において最も基礎的な物理量である物質質量を自在に扱い量的関係を導き出す力が必要となる。そこで、物質質量について生徒が理解するためにどのような教材が効果的か、またどのような実験を行うことが望ましいかを今後の研究で明らかにしたいと考えている。

## 9. 参考文献

- ・相原惇一 実教出版 新版化学基礎
- ・竹内敬人 東京書籍 化学
- ・竹内敬人 東京書籍 化学基礎
- ・文部科学省 平成30年度 『高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編』