

2018年度の化学概論より —受講者層の変化と化学の学び方—

中川 邦明

要旨：2018年度1年生の化学概論の受講者について、毎回の授業開始時に行う小テストの得点を比較したところ、昨年度以前には存在した低位層が消え、全体として向上していることが明らかとなった。これを入学者の専攻別募集の廃止との関連について論ずる。低位層不在の状況で、逆に普通の学生の化学を学ぶ姿勢の問題点が、特に酸化還元反応の領域で現れてきた。様々な物質と化学反応を整理して筋道立てて理解しようとする姿勢が、形式的・機械的な手順操作に終始してしまい、個々の物質の性質や化学反応の多様性に向き合う姿勢が弱くなっている。基礎的経験と系統的理解の双方をバランス良く組み合わせた化学教育が重要であると考ええる。

キーワード：化学基礎教育，酸化還元反応，化学反応式の組み立て，経験主義と系統性，専攻振り分け

1. はじめに

初等教育課程の入学者迎え入れは2018年度から、従来の専攻別に代えて課程一括となった。このため、筆者の担当してきた中高理科教員免許のための教科専門必修科目「化学概論」も、理科専攻学生に対する1年前期開講から、専攻振り分け前の初等教育課程1年生に対する後期開講に変わった。その授業実践の中で、受講学生の平均的な授業の理解度が、昨年度までよりも高いという印象を持った。本報告では、この経年変化を検証し、さらに期末試験と毎回の授業で行なっている小テストの解答状況から、学生諸君の化学の学びの特徴を考察する。

2. 化学概論について

化学概論は理科専門科目化学区分の「一般的包括的な内容」を含む科目であり、上述のように免許必修科目に位置づけられている。1994年に筆者が担当するようになった当初は、当時の多くの大学の理系学部の1年次基礎科目の化学に準じて、物理化学的な視点に立った一般化学の内容を学生の理解度に合わせながら扱った¹⁾。しかしながら何年か進めていくうちに、高等学校化学までの内容が不確実な学生が少なくないことが明らかになり、それが確実でないのに徒に物理化学的な内容を学んでも無意味であると感じるようになった。そこで高等学校化学レベルの内容を次第に増やしていき、1999年頃には、基本的には現在の考え方²⁾に近い内容となった。あれこれ模索の中、当時の筆者が考えていたことは、恩師に宛てた手紙³⁾の次の一節に現れている。

結局たどりついた考えは、「もっと極々基本のところで大穴があいたままで、形だけ難しいことを教えても仕方がない。」ということです。例えば、水素が（常温常圧で）気体であることを知らない人（これが実際に理科専攻の学生

にいました！)に水素分子の量子論を(勿論定性的にですが)教えても仕方がないと思うわけです。

その後、化学反応での物質の量的関係の計算を次の学期の授業に移して現在と同じ内容となり、科目名は教職課程の変遷に伴い基礎化学I、化学Iを経て再び化学概論に戻り、その間、小テストを毎回の授業最初に必ず実施、webを利用した自習テスト⁴⁾を併用、などの工夫改善を加えながら継続してきた。なお水素分子(および等核二原子分子)の化学結合についての量子論的な視点を取り入れた定性的説明は、化学区分の最終段階の講義で行なってきたことを念のため付言しておきたい。

3. 小テストの得点分布の過去3箇年との比較

上述のように化学概論では毎回の授業の最初に15~20分程度の小テストを実施し、前回は学んだ授業内容の確認を実施している。この小テストは、毎年基本的には同じ形式で、具体的に扱う物質を変えたり、周期表の異なる族に変えたりして問題を変えながら実施し、採点后、次の回の授業で簡単な講評とともに返却し、また学内webの授業用ページで、成績上位者の氏名、全体の得点分布、詳細な講評を公表している。ただ「正解」は敢えて公表していない。「正解」を憶えることがテストを受けた後での学習だと考える学生が少なくないからで、「どのようなことを身に着けておけば次回から同じような問題が出された時に正解に辿りつけるか」を、各自で考えることがテスト後の勉強である、と学生諸君には強調している。

毎回の小テストは満点が50点になるように換算し、全13回(初回の授業では小テストなし、最終回の授業では、欠席した回あるいは不本意な結果の回など、各自が希望する回の追再小テストを実施)の換算点数の合計(650点満点)を改めて100点満点に換算し、小テスト点数として成績評価に用いている。ちなみにシラバスに記した「成績評価の方法及び基準」は次の通りである。

(A) 各小テストの換算点数の総計を100点満点に換算した点数

(B) 定期試験を100点満点に換算した点数

「(B)の点数」と「(A)の点数と(B)の点数の平均」のうち高い方の点数にレポート(課した場合)および平常点を加点し、欠席1回につき5点、遅刻および授業態度不良は1~4点を減点する。

この得点が60点以上を合格、50点未満は不合格とする。50点以上60点未満の場合は、(A)の点数が60点以上の場合を合格、それ以外を不合格とする。

冒頭にも記したように、本年度の受講学生は平均的な授業の理解度が高い印象があった。

そのことを裏付けるために、過去3年間の小テスト点数と本年度のものを、再履修者を除いた1年生受講者について表1に比較した。2015~2017年度の3年間については平均点が殆ど変わっていないが、本年は7~8点上がっており、本年度の受講学生の平均的な授業理解度が高いことが確認できた。さらに図1の点数

表1 化学概論小テスト点数の年度比較

年度	平均	標準偏差	人数
2015	68.1	16.6	23
2016	68.2	13.6	17
2017	67.0	16.8	23
2018	75.0	11.0	25

分布を見ると、2015～2017年度では主な得点集団から離れて、低得点側に何名かいるのに対し、2018年度にはこの低位グループがないことが見て取れ、授業を担当して感じた上記の印象が裏付けられた。

この低位層の消失は、冒頭に述べた入学者の専攻別募集の廃止と関係していると推察している。2017年度までは、小学校教員となることを念頭に、専攻教科を特に強く意識していない志願者も、志願の段階で第1志望の専攻を選択する必要があり、また第2志望を書くこともできた。理科専攻に入学して来た学生の中には、「何となく」、あるいは「入りやすそう」という理由から、理科専攻を志願し、合格(あるいは第2志望合格)したから入学した、という志願理由の弱いケースが少なくなかった。その中には高校で理科を十分に学ばなかった学生も含まれ、中高理科免許を取得しようという強い動機もないまま、理科専攻のカリキュラムに沿って化学概論を履修することになり、それが低位層を形成していたのではないかと推察できる。

低位層消失のもう一つの原因として考えられるのは、専攻振り分けによって生まれた学生間の競争意識である。今年度、専攻志望者数に著しいアンバランスがあった場合は、大学入学後の成績を考慮して選抜する可能性がある」と予告したため、学生間に競争意識が生

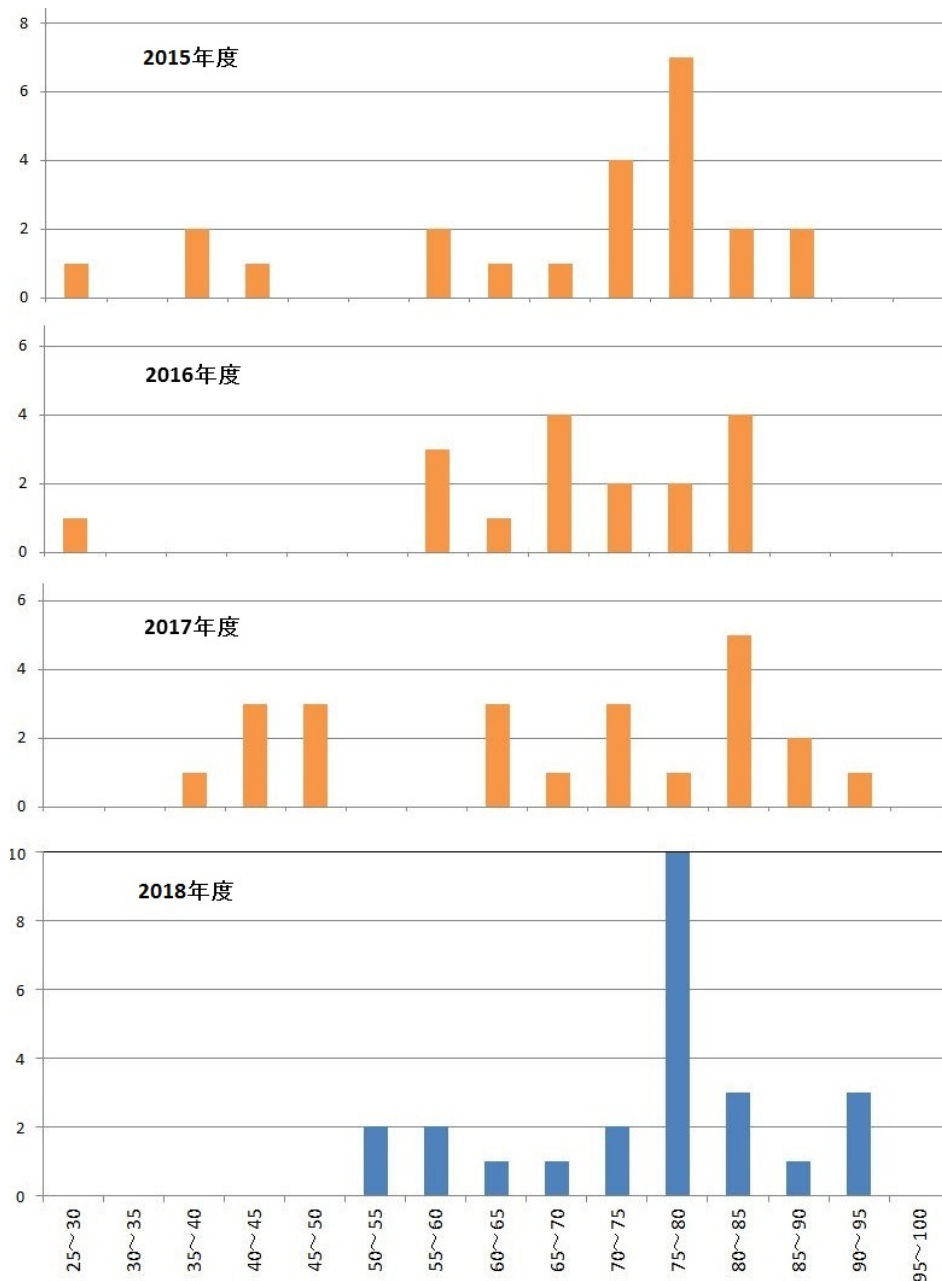


図1 小テスト点数分布の年度比較

という知識を、具体的な場面で引き出せるか見ようとした、やや発展的な問いで正解率はさほど高くなかろうと予測した。設問文が直接のヒントにならぬよう留意したので、試験時間中に1名の学生から「どのように書けば良いのか」という質問されたが、「それも評価対象なので自分で考えなさい」と答えるにとどめた。

前半の問について、授業ではこの反応の反応式の導き方を、酸素原子を授受媒体としたやり方（銅が酸化されて酸化銅となり、塩基性酸化物である酸化銅が酸である硫酸と反応して塩である硫酸銅ができると考える）と、高等学校化学で扱われている電子を授受媒体としたやり方との両方で導き、同じ化学反応式となることを説明した。熱濃硫酸が酸化剤として働く半反応式の導き方は第11回の小テストで出題し、さらに次週の第12回的小テストでは、亜鉛と稀硫酸の反応と並んで、銅と熱濃硫酸の反応について半反応式を組み合わせ化学反応式を導く問題を出題している。その間に先立って、列挙した金属を酸化されやすさ（いわゆるイオン化系列）の順に並べ換えさせる問（正答率は9割に達した）、および銅は水素よりも酸化されにくいために稀硫酸には溶けないことも問題中で解答させている。このような経過で出題したので、前半の問は「点を取らせる問題」と思って出題したことは上述の通りである。その解答状況は表2に示す通り、気体Aを水素とした誤答が、正答の二酸化硫黄を上回っていた。さらにこの授業の最終評価別に見ても、優をとった学生中にも水素とした者が複数いたこと、逆に良以下では不可まで含めて、ほぼ3分の1の割合で正答者がいたことも意外であった。

表2 最終評価別の気体Aの解答

	SO ₂	H ₂
秀	1	0
優	4	2
良	2	4
可	5	9
不可	2	4
計	14	19

上記第12回小テストでは、「熱濃硫酸は酸化剤として働き、自身は還元されて二酸化硫黄となる。」ことを前提にした流れで話が進んでいるので、「銅と熱濃硫酸の反応で生ずる気体」という発想が抜け落ちてしまったかと推察している。さらに何より、「銅と熱濃硫酸の反応」を実際に見ていない学生が大部分なのであろう。筆者は1966年、中学校2年生の時にこの実験を体験した。使っていた教科書⁶⁾のページには、硫酸飛沫による焦げ跡も残っている。その後、高等学校でもこの実験は（亜鉛と熱濃硫酸の実験⁷⁾も含めて）行ったなじみ深いものである。1970年代の「カリキュラムの現代化」以前で、経験主義時代の流れが残り、様々な物質の様々な反応が教科書に取り上げられていた時代であった。

理科専攻の学生は3年次の化学実験で、この「熱濃硫酸と銅の反応」を各自体験する。注意深く観察していると銅板がさっと黒化し、同時に二酸化硫黄の発生が始まる。そして刺激臭を避けるために各自の実験台からドラフトに急いで移す。その経験を経た後に、同じ問題にどう解答するか、興味深いところではある。

後半の問は固体Bの名称として「硫酸銅無水物」あるいは「無水硫酸銅」と正答した学生は5名(15%)で、ほぼ予想の範囲内である。ただ正答の5名のうち、前半の気体Aも正答できた学生は3名(9%)であった。

4.2 化学反応式の組み立て

この授業の到達目標の一つとして「基本的な化学反応の反応式を自分で組み立てることができる」がある。まず周期表の族をもとに単原子イオンの符号と価数を整理して記憶し、

オキソ酸の陰イオンは中心元素の酸化数を周期表の族と関連付けて系統的に整理する。次に陽イオンと陰イオンを電気的中性を満たすように組み合わせることで化合物の化学式が正しく書けるようにする。最後にイオンの組み換えとして酸塩基の反応あるいは気体発生、沈殿生成を系統立てて整理しておく。このようにして、イオンの組み替えで起こる反応は、今年度はかなりの学生が書けるようになってきている。しかし酸化還元反応については、正答率が大幅に低下する。

現在の高等学校化学では、酸化還元反応はすべて電子の授受として整理している。しかしながら、授受媒体は酸素原子 (O) あるいは水素原子 (H) としても整理でき、また授受媒体は相互に変換できる。その手順を知っていれば、酸化剤あるいは還元剤の半反応式をそれぞれの反応を、化学的なイメージとして自然な (従って記憶しやすい) 授受媒体で記憶しておき、必要に応じて授受媒体を変換すれば良い。

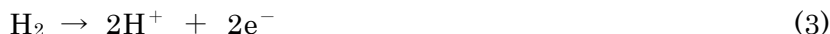
例えば、水素分子が還元剤として働く半反応式は、水素原子(H)を授受媒体とした次の式で記憶するのが最も容易であろう。



この式を電子 e^- を授受媒体とした式に変換するには、水素原子(H)と電子 e^- を含み、他には水溶液中に一般的に存在する H_2O , H^+ (あるいは OH^-) のみを含む式



と、(1) + 2×(2) のように組み合わせると (H) を消去し、



のようにすれば良い。

授業での説明の翌週に第 11 回小テストとしてこの筋道に従って反応式を書かせた。全 33 名のうちそれぞれの正答者数は、(1)式 12 名 (36%)、(2)式 27 名 (82%)、(3)式 6 名 (18%) であった。(2)式の正答率が高いのは、授受媒体の変換式として広く使うので重要であるとの認識が行きわたっており、さらに毎年の小テストでこの部分は共通で、「過去問」の解答を記憶するだけでも正解できるのだろう。しかし(1)式が正答できてもそれとうまく組み合わせ(3)式を導くことができる学生は半数である。

(2)の誤答の中に、 $(\text{H}) + e^- \rightarrow \text{H}^+$ というものがあった。中学校で最初に化学反応式を学ぶときに、左辺と右辺で元素ごとに原子数が釣り合っていないといけないことを学ぶ。その後、イオンが登場すると、電荷についても同様の釣り合いが必要であることを学ぶ。このような基本をしっかり押さえないまま、うろ覚えで書くからこのような誤りを起こす。このような電荷のアンバランスの解答は、(2)式の 6 名の誤答中 1 名、(3)式の 27 名の誤答中 5 名で、一定の割合でこのような誤りが出ている。

図 3 に示したのは、期末試験の問題【3】で試薬を混合した時に起こる化学変化について穴埋め問題とその化学反応式を書かせる 6 つの小問のうちの最後の問である。酸化還元

【3】 次の化学変化の記述の _____ を適切に埋め、その化学反応式を下の _____ に書け。

<(1)~(5)は省略>

(6) 硫酸で酸性にした _____ 色のヨウ化カリウム水溶液に過酸化水素水を加えると、 _____ 色の {溶液となつ、沈殿が生成} した。 _____

図 3 2018 年度後期化学概論期末試験【3】(6)

を伴う反応では、その変化が、色の変化、気体の発生等を伴って目に見えることが多い。それらをきちんと把握していることが必要と考え、このような形式の出題とした。

問題の反応は高等学校の化学基礎の教科書にカラー写真とともに出ている反応であるが、答案を見て驚いた。化学反応式の正解者が5名(15%)しかいなかったことは措くとしても、その5名全員が、反応に伴う溶液の色の変化を正しく答えられなかった。ヨウ素が生成するので紫とか赤紫とか誤答するのは許容範囲としても、ヨウ化カリウムが無色であることが知識として定着していない。やはり自分の目で反応を見ることなく学んできたということだろうか。この反応も3年次の化学実験で各自試みるので、その時に思い出して頭の中で繋がることを願っている。私自身の経験を振り返ってみても、意味がよく分らないままに形式的な処理を繰り返すうちに、ある時、何かのきっかけで「ああ、そういうことだったのか!」と気づくことがあったと思う。

酸化還元反応の化学反応式を導くには、酸化剤が還元されて何になり、一方、還元剤が酸化されて何になるかをきちんと把握していれば、それを適切な授受媒体を使った半反応式で表現すれば良い。本問の場合、ヨウ化物イオンが酸化されてヨウ素となる反応は、電子を授受媒体とした式



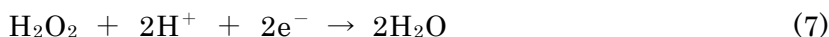
を書くのが最も簡単だろう。過酸化水素が酸化剤として働く反応は、(O)を授受媒体として



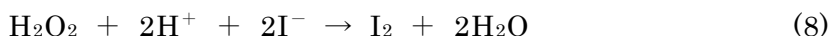
と、書くのが自然である。ここで、(5)式の授受媒体を電子に変えるために、



を用いて、(5)+(6)のように組み合わせて、(O)を消去すると



となって、電子を授受媒体とした半反応式ができる。ここで電子供与側の(4)式と電子受容側の(7)式を、(4)+(7)のように組み合わせて電子を消去すると、次の式を得る。



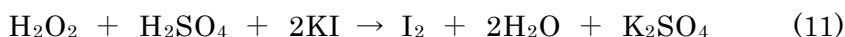
ここで水素イオンは硫酸の電離



ヨウ化物イオンはヨウ化カリウムの電離



で、それぞれ生じていることから、(8)+(9)+2×(10)のように組み合わせてイオンを消去し、右辺に残ったイオンを組み合わせて物質の化学式にすると、最終的な反応式



を得る。

先に第11回小テストに関係して述べた通り、化学反応式の左右両辺の原子数、電荷のバランスがとれていない誤答が多い。期末試験では、そのような誤答は零点ではなくさらに減点するとした。その結果、特に酸化還元反応の化学式を書かせる問題で、無理やり左右両辺を釣り合わせたような式が逆に目につくようになった。

例えばこの化学反応式を、 $2\text{KI} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{KOH} + \text{I}_2$ のように解答した学生が6名いた。これはヨウ素が生成することは記憶していて右辺にヨウ素を入れ、さらにKOHを入れると原子数のバランスがとれることに気付いたのか。この解答はまんざら見当違いで

はなく、硫酸酸性下で KOH と中和すると考えると(11)式に達する。右辺を $K_2O + H_2O$ とした解答も3名あったが、これは酸化カリウムと水が反応しないと不自然だと気付くべきである。一方、ヨウ素が生成することが押さえられていないと、形式的に左右両辺の原子数を合わせても $2KI + H_2O_2 \rightarrow 2HI + K_2O_2$ というような不思議な誤答(3件)となる。酸塩基反応的発想で K と H をただ機械的に置き換えただけのようだ。

5. おわりに

様々な物質と化学反応を整理して筋道立てて理解しようとする姿勢が、形式的・機械的な手順操作に終わってしまい、個々の物質や反応に向き合う姿勢が弱くなっているようだ。筆者が常に実感していること⁸⁾であるが、教師が現在持っている体系だった理解を学生に伝えようとしても、その体系の素材となる個別の事実を学生が十分に自分のものとして体得していないと学生に浸透せず、うわべだけのものになってしまう。かと言って、それらを体験させるところから始めようとしても、授業時間が足りない。「這い回る経験主義」と「経験のないところで、一体何を系統立てるのか」の矛盾は、教育の本質に根差した永遠の矛盾で、旗幟鮮明なスローガンに惹かれてどちらかの極端に走ることがまま見られるが、現場の教育に携わる者はその両側に切り立った尾根の上を自らバランスをとりながら進んでいかなければならないと思う。

参考文献

- 1) 中川邦明, 常葉学園大学研究紀要 教育学部 **1995**, 16, 85–103.
- 2) 中川邦明, 教育研究実践報告誌 常葉大学教育学部初等教育課程 **2017**, 1(1), 101–110.
- 3) 中川邦明, 朽津耕三 宛 **2000**年4月23日付 私信.
- 4) 中川邦明, 常葉大学教育学部紀要 **2016**, 36, 175–188.
- 5) 進学振り分け制度については, 例えば次の URL を参照。(2019年2月24日閲覧)
<https://today.info/shinfuri/> <http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/agc/news/47/satomi.html>
- 6) 茅誠司, 服部静夫 編, 新編 新しい科学 2年(昭和40年4月10日 文部省検定済 2東書 理科 8024) 東京書籍(1966).
- 7) 中川邦明, 化学と工業 **1992**, 45, 757.
- 8) 中川邦明, 常葉初等教育研究 **2017**, 2, 43–54.