

基礎的な化学実験操作からの学生実験の 実践能力の調査

出川 強志*¹, 渥美 太郎*²

The Research of Student's Progressive Approaches Ability through the Operation of
Fundamental Chemical Experiments

Tsuyoshi DEGAWA, Tarou ATSUMI

We reported the research of student's progressive approaches ability through the operation of fundamental chemical experiments such as preparation of the solution and dilution of solution.

KEYWORDS : progressive approaches ability , fundamental chemical experiments , preparation of the solution and dilution of solution

1. まえがき

小山高専物質工学科 1 年生において化学 I¹⁾ の講義で学習したこと (物質量の計算, 濃度の計算) と化学基礎実験²⁾ で実践し学習したこと (実験器具の使用法) が双方で連携し理解されていることは, 重要かつ切実な問題である。双方の高次元での理解は, 与えられた問題からどのような実験をしたらよいかを自分で考え, 適切な実験器具を選択することを可能とする。結果としてたとえば任意の濃度の溶液の調製などをおこなうことが出来るようになると思われる。これらの能力は彼らが高学年に進級した際創造力を求められる学生実験の基礎としても必要な能力でもある。そして 5 年生の卒業研究においても, 溶液の調製は重要な技

術である。実験目的にあった溶液の調製を実験者自らが行うことにより, 適切な濃度の溶液を作製することができる。これは実験の成否に直接的に関わり, また必要量のみ調製することは実験廃液を最小にし, 環境への配慮からこれからの学生実験においても必要なことである。しかし高学年になっても, 任意の濃度と容量の溶液を作製することが出来ない学生が多い。また重量%とモル濃度の関連について出来ない学生が多く問題である。これは物質量 (モル) についての理解ができていないのか, 実験操作の基礎が不十分なのか, 濃度が理解できていないのか, 等々の様々な原因が予想されるが, 本当の原因はわからない。高学年になってもできないということは, 学生自身どこがわからないか気づいていないと思われる。したがって学生にアンケートをとって見ても, 原因を突

*1 技術室 (Technical Office) E-mail: degawa@oyama-ct.ac.jp

*2 物質工学科 (Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering)

き止めることはできない。経験論的に推測するにはこれらを解決するには低学年の1年生学生実験から、溶液調製能力を養うために、低学年の学生実験より実験毎ごとのすべての実験溶液調製を学生自ら行う実験を導入すべきであるが、学生実験の実験時間は限られており、実験テーマを行うのに精一杯で、必要な試薬の溶液調製に割り当てる時間はない。また学生の調製した溶液は濃度の正確さに不安を残し、実験の失敗を招く可能性が増大する。教員及び技術職員が指導するには人数的に足りない。これらのことより、従来1年生の学生実験においては、技術職員が溶液を調製し、2年生になってはじめて溶液の調製を行ってきた。これらの過程において溶液調製能力に必要とされるスキル醸成のためにどのような問題があるかを把握できていない。そこで、1年生に簡単な溶液の調製、希釈の実験をごく基本的な知識を与えて行わせ、自分たちで実験操作を考えて、それを行わせた。その実験過程を調査することにより、学生がおかした実験の誤りから学生が理解していない部分を突き止め、適切な指導を行う方向性を探ることおよび、彼らには自分が何を理解していないかを気づかせることにより高学年に進級した際創造力を求められる実験の基礎の醸成を目指した。今回準備的段階として実験過程とレポートの調査を行ったので報告する。

2. 方法

2.1 実験前説明

本実験は物質工学入門Ⅰの時間に表1に記す日時に行われた。

表1

日時
1日目平成23年10月19日(水)1,2時限
2日目平成23年10月26日(水)1,2時限
場所
基礎化学実験室
実験者
物質工学科1年生 40名

実験内容は簡単な溶液調製作業と希釈作業であり、これは平成23年度物質工学科1年生前期のカリキ

ュラム³⁾中の講義「化学Ⅰ」および学生実験「化学基礎実験」において、履修済みの内容からこの時点で容易に理解できると推測される塩化ナトリウム溶液の調製と濃硫酸(模擬)の希釈実験を行った。また使用した実験器具はすでに終了した実験において使用した経験のある実験器具から選択した。したがって器具の使用方法はすべてわかっているはずである。加えて1日目実験前の事前説明を行った。まず電子天秤の使用方法を説明した。具体的には電子天秤は水平を保つこと、移動、振動は厳禁であること、風防扉を開けるのは秤量瓶、薬包紙、試薬の出し入れの時のみとし、秤量の際は必ず閉める。薬包紙は皿の部分以外、後の壁、風防扉等に触れないようにすることなどである。また測容器具の説明を行った。液体の体積を量る器具を見せながら説明した。また、ビーカーの目盛は目安であり、測定する器具ではないことを注意した。これらの説明には約20分の時間をかけて説明した。表2に説明内容を記す。

表2

メスフラスコ	受け用の測容器具。例えば、100 mLメスフラスコの標線に液体のメニスカスの下部を合わせたときに内容量が100 mLになるが、そこから出した量は100 mLではない。50 mL、100 mL用等のサイズがあり、一定体積を精密に量り取るときに用いる。
ホールピペット	出し用の測容器具。例えば、10 mLホールピペットの標線に液体のメニスカスの下部を合わせ、そこから出した液体の量が10 mLとなる。メスフラスコ同様、一定体積を精密に量り取るときに用いる。
メスピペット	出し用の測容器具。ホールピペットよりも精度は低い。目盛の範囲内で任意の体積を量り取ることができる。
メスシリンダー	受け用の測定器具。メスフラスコよりも精度は低い。精度が低く、またメスピペットの容量が25 mLと少ないことが多いので、実際には体積が大きいものに対して出し用に用いられることも多い。目盛の範囲内で任意の体積を量り取ることができる。
ビュレット	定量分析に用いる。滴下した液体の体積を量る。

レポートについては方法のみを報告すること、実験で行ったことをそのまま書くことを指示した。

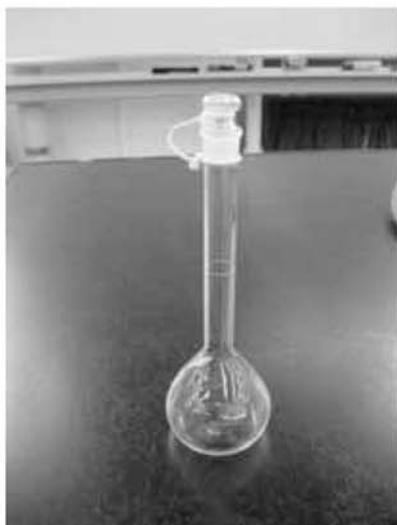


図1 メスフラスコ



図2 電子天秤

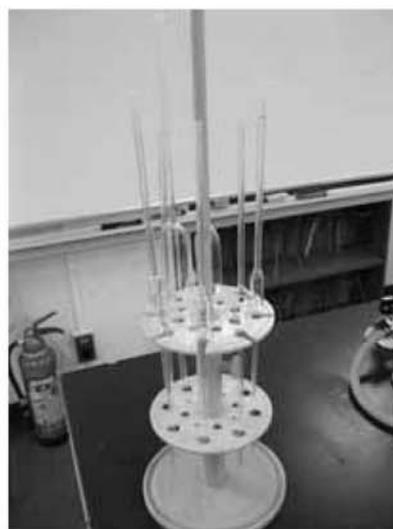


図3 ホールピペット

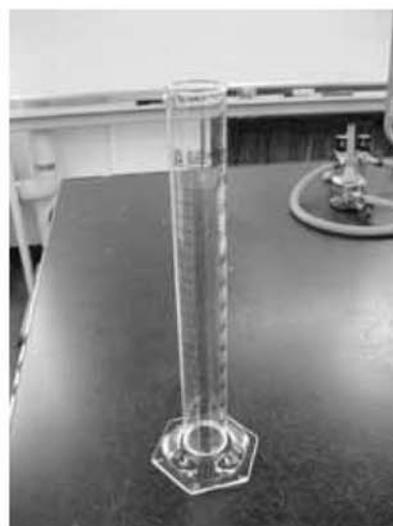


図4 メスフラスコ

2. 2 実験

実験は1年生物質工学科40名を4人1組10グループに分けて行わせた。1日目に 1 mol L^{-1} 塩化ナトリウム水溶液の調製、2日目は1週間後濃硫酸の希釈の実験を行わせた。実験時には実験机上には実験器具のみを置き、塩化ナトリウムおよび濃硫酸(実際に使用したものは高濃度ショ糖溶液。学生には濃硫酸と告げている)を試料台に置いた。実験室内ホワイトボードに表3の内容を板書し、教科書等は使用させずこの情報のみで自分達で考えて実験を行わせた。危険性のある行為を除き口頭による助言は行わないようにした。

表 3

1 mol L ⁻¹ 塩化ナトリウム水溶液の調製
1 mol L ⁻¹ の塩化ナトリウム水溶液を 100 mL 正確に調製せよ。塩化ナトリウムの式量は 58.5 とする。
濃硫酸の希釈
18 mol L ⁻¹ の硫酸を用いて 1.8 mol L ⁻¹ 硫酸水溶液を 100 mL 正確に調製せよ。次に 0.18 mol L ⁻¹ 硫酸水溶液を 100 mL 正確に調製せよ。硫酸に水を加えると発熱して溶液がはねることがあるので、水に硫酸を少しずつ加えること。

3. 結果および考察

3.1 1 mol L⁻¹塩化ナトリウム水溶液の調製

評価はこちらが妥当とした実験方法設定しこれとの比較により行った。実験方法は図 5 を想定した。(B)の経路が正しい方法であるが、(A)の経路でも正しい方法と判断した。

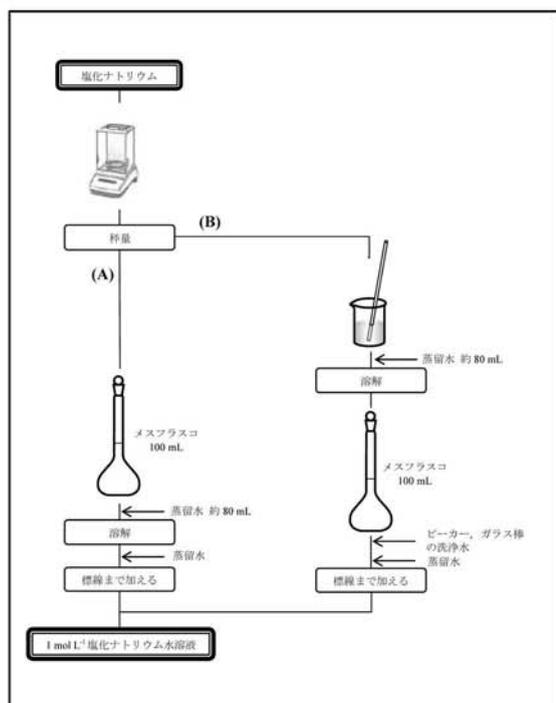


図 5 塩化ナトリウム溶液調製のフローチャート

評価項目は表 4 に記す。

表 4

① 実験方法
② 器具の使い方
③ 実験の報告の仕方
④ 濃度の理解

①と②は実験操作を班別で実験中観察により、③と④は個人の提出レポートの内容より行った。
①実験方法の評価は次の 2 点を着目して行った。
・器具の選択が適切か。 ・溶液の調製。
この 2 点において ABCD の 4 段階評価をした。結果を表 5 に記す。

表 5

A. 器具を正しく選択し、溶液の調製はできている。	5
B. 器具の選択は間違っているが、溶液の調製はできている。	1
C. 器具の選択は正しいが、溶液の調製ができていない。	1
D. 器具の選択、溶液の調製ともにできていない。	3
計 (班)	10

半数の班は両方とも理解している。しかし B, D は器具の使用法がわかっておらず、「化学基礎実験」によるトレーニングが不十分な可能性がある。これは②器具の使い方の評価項目で具体的な内容を調査した。また C, D は濃度について理解できておらず、「化学 I」の講義の理解が不十分な可能性がある。これは④濃度の理解の評価項目で具体的な内容を調査した。

②器具の使い方についてはメスフラスコの使用方法、電子天秤の使用方法を中心に好ましくない方法を ABCD4 項目あげて、これに該当する行為をしたときカウントした。表 6 に記す。(重複あり)

表 6

A. メスフラスコ。メニスカスの下部が標線に合っていない。	6
B. メスフラスコ。標線に合わせるためにピペット等を使用。	7
C. 電子天秤。薬包紙が皿以外の部分に触れている。	5
D. 電子天秤。秤量するとき風防扉を閉めていない。	1
計 (件数/10 班)	19

A のメスフラスコの標線合わせは目線をメニスカスにたいして水平に見ていないという基本的なミスである。また攪拌後標線を合わせておらず溶解後に溶液の体積が変化する実感が無い。

B のメスフラスコの標線合わせの際のピペットの使用は不正解であると思っていたが、「化学基礎実験」テキストに書いてあるので不正解とは言えず評価項目として適当ではないかもしれず、今後の再考が必要である。

C, D の電子天秤の使用法は事前に注意したにもかかわらず、できていない学生が見られた。話を聞いていない可能性が高い。

③実験の報告の仕方については実験後提出したレポートから調査した。下記表 7 の ABC の 3 段階評価をした。(報告者数 39 名)

表 7

A. 実験を詳細に報告している。	21
B. 報告に過不足がある。	12
C. 報告されていない。	6
計 (人)	39

A は全体の半数ほどであったが、B や C も多くレポートの書き方についての基本的な知識がないものと思われる。これは 1 年生化学基礎実験に置いては穴埋め式のプリント提出のみで実験レポートを書いた経験がほとんどないためである可能性がある。この B の内訳を大別した表 8 に記す。(重複あり)

表 8

B-1. 実験器具についての記録がない。	4
B-2. 秤量についての記録がない。	11
B-3. 行っていない操作が加筆されている。	1
B-4. 方法よりも仮定(たれば)の記述が加筆されている。	2
計 (人)	18

また C は他の班を写したものや教科書の写しを掲載したものであった。

④ 濃度の理解においても提出したレポートから調査した。下記表 9 の AB2 段階評価をした。

(報告者数 39 名)

表 9

A. 濃度の計算ができていない。	4
B. 濃度の計算ができていない。	35
計 (人)	39

ほとんどの学生が濃度の計算ができない。しかし全員が加えるべき塩化ナトリウムのモル数は計算できている。モルの理解ができないと予測していたが想定外であった。この B の内訳を大別したものを表 10 に記す。

表 10

B-1. 蒸留水 100mL に塩化ナトリウム 5.85g.	9
B-2. B-1 から溶液 100mL を取り出す。	5
B-3. 蒸留水 94.15mL に塩化ナトリウム 5.85g.	8
B-4. 蒸留水 94.15g に塩化ナトリウム 5.85g.	3
計 (人)	25

さらに詳細に内容を検討すると間違っているパターンが大きく分け 2 つあった。

- ・ (B-1, B-2, B-3) 単位が理解できていない。分母が何か理解できていない。実験操作はやるが、なぜその操作をしているのかわかっていない。
- ・ (B-4) 蒸留水と塩化ナトリウムの合計を 100g とし、溶液の密度を 1g/mL と仮定して溶液 100mL と計算している。密度の仮定の根拠がなく実験操作もどうしたらよいかわからない。単位を深く考察することが出来ていない。その上で実験操作を計画することができていない。

3. 2 濃硫酸の希釈

実験方法は図 6 を想定した。

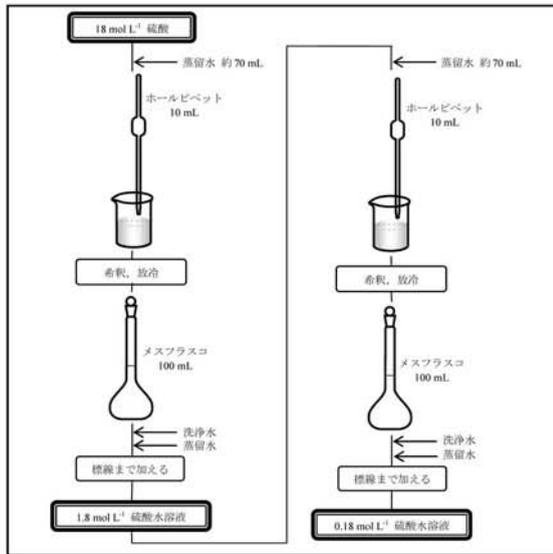


図6 濃硫酸希釈のフローチャート

濃硫酸の希釈の実験は塩化ナトリウム溶液の調製実験前に以下の注意を行った。

- ・実験操作の正解
- ・不正解によって点数の差がつくことはない。
- ・レポートは実際行った操作を他人が読みながら同じ実験操作ができるように書いてあるものを評価する。操作が不正解だからと言って減点することはない。他人の写しや本の丸写し等は評価の対象としないとした。

評価項目は表 11 に記す。

表 11

① 実験方法
② 器具の使い方
③ 実験の報告の仕方
④ 濃度の理解

①と②は実験操作を班別で実験中観察により、
③と④は個人の提出レポートの内容より行った。

①実験方法の評価は次の2点で評価した。

- ・器具の選択が適切か。
- ・溶液の調製。

この2点においてABDの3段階評価をした。

結果を表 12 に記す。

表 12

A. 器具の選択および用法が正しく、希釈ができています。	1
B. 器具の選択または用法は間違っているが、希釈はできています。	7
D. 器具の選択、用法、希釈、すべてできていない。	2
計 (班)	10

器具の選択、用法双方が正しいのは1班しかない。
Bが多いためこれの内訳を調べた結果を表 13 に記す。

表 13

B-1. 器具の選択は正しいが、用法が間違っている。	2
B-2. ビーカーとホールピペット使用。	2
B-3. ビーカー、ビュレット、ホールピペット使用。	2
B-4. ビーカー、ビュレット、メスシリンダーを使用。	1
計 (班)	7

器具の選択の正解はビーカー、メスフラスコ、ホールピペットであり、求められる希釈作業の考え方や事前説明での器具使用法の連携した理解が難しいことを示している。

③ 実験の報告の仕方については提出したレポートを調査した。下記表 14 のABC3段階評価をした。(報告者数 40 名)

表 14

A. 実験を詳細に報告している。	29
B. 報告に不足がある。	11
C. 報告されていない。	0
計 (人)	40

75%の学生がよく書けている。2回目にして3年生のレポートに匹敵するほど良く書けている学生が数名いた。実験器具についての記録や実験器具の名称間違い、文章表現の曖昧さ、話し言葉の使用のミスがあったが、今後の実験でレポートを書くことによって直ると思われる。

このBの内訳を大別した表 15 に記す。(重複あり)

表 15

B-1. 実験器具についての記録がない.	3
B-2. 実験器具の名称が間違っている.	5
B-3. 文章に省略, あいまいな部分が多い.	3
計 (人)	11

④濃度の理解においても提出したレポートを調査した. 下記表 16 の AB2 段階評価項目をした. (報告者数 40 名)

表 16

A. 希釈ができています.	32
B. 希釈ができていない.	8
計 (人)	40

B の例として蒸留水 100mL に硫酸 10mL を加え, 11 倍希釈するということが挙げられる.

こういう間違いは学生に多く高学年でもよく見られる. なぜそう考えるのか今後の調査が必要である.

4. まとめ

学生はいつも実験テキストに記載されている詳細なフローチャートをみて学生実験を行っており, たとえ簡単な実験であっても与えられた知識と最低限の指示から自分の頭で考えて実験を行うと, 非常に間違い・勘違い多い. 考えて実験をしていない学生が多く問題である. 今回は準備的段階であり, それら学生がおかした実験の誤りから溶液調製の過程において学生が理解していない部分を突き止めることに関しては, はっきりした像が浮かび上がってこなかった. したがって実験指導に対して具体的な方向性を打ち出す段階まで行っていない. 今後問題設定などにおいて再考が必要である. また彼らが高学年に進級した際創造力を求められる実験の基礎としても必要な能力の形成の助けになったかは今後の継続的な追跡調査が必要である.

今回の実験は両方とも実験時間は 2 時限の時間いっぱいを費やし余裕がなかった. テーマの難易度の妥当性について更なる考慮が必要と思われる. 今後も様々な面で改良しつつ今研究を継続してい

きたい.

参考文献

- 1) 佐野博敏, 花房昭静 他 21 名 : 高等学校改訂化学 I 第一学習社 (2007)
- 2) 井上, 鈴木, 村田編 : 改訂化学実験ノート, 大日本図書 (1986)
- 3) 小山工業高等専門学校編 : 平成 23 年度シラバス

【受理年月日 2012年 9月28日】

