

## 試してみる化学

### —食塩と砂糖の分離・精製—

田淵 嘉子\*・土脇 眞治\*・小川 治雄

化学科\*\*

(1992年3月18日受理)

TABUCHI, Y., TUCHIWAKI, S. and OGAWA, H.: Familiar Chemistry Performed in Junior-and/or Senior High School. -Separation and Purification of Mixtures of Cooking Salt and Sugar into Their Components. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Sect. 4, 44: 29-45 (1992) ISSN 0371-6813

An approach to make a new science experiment programs concerning chemistry has been studied. Living things are consciously used in the programs taking into account their familiarity causing smooth motivation to subjects. This paper reports the possibility to make a experiment program of "Separation and Purification" using a mixture of cooking salt and sugar as teaching materials. The paper is composed of three contents; survey of living things and separation-purification handling in text books used in primary school, junior-and senior high school, questions concerning chemistry to the students in this university (58 pre-service students in teachers college), and trials for the separation and purification of mixtures of cooking salt and sugar. The text book implied that "Separation and Purification" experiment programs are not so many and not so effectively illustrated. Answers and opinions say that the experiment programs in text books were not so sufficiently effective and that living things facilitate for students to study chemistry presumably through smooth motivation to the subject. Trials carried out reveal that the purpose can be achieved at least by the recrystallization technique and paperchromatography. (in Japanese)

KEY WORDS: experiment program, separation and purification, living things, science curriculum.

*Department of Chemistry, Tokyo Gakugei University, Koganei-shi, Tokyo 184, Japan.*

### 1. 緒 言

物質の性質や変化を、分子・原子・イオンなどの振舞いを基に研究する化学では、シンプル

\* 第一学習社 (102 千代田区一番町15-21)

\*\* 東京学芸大学 (184 小金井市貫井北町4-1-1)

な系から本質を捉える方法論が多くとられることから、純粋な物質を取り扱うケースが多い。しかしながら、自然界は言うまでもなく、身の回りにある比較的身近な物質は、混合物である場合が多く、混合物中から純粋物質を取り出す分離・精製法は化学を進める上で欠かせない技術となる。化学を学習する者が物質を扱う場合においても、物質がどのような状態であるのかを的確に把握しておくことは、諸現象を捉えようとする化学の学習を進める上で重要なこととなる。物質の状態は、学習者にとっても研究者と同様に、むしろ複雑な混合系よりもシンプルな単一物質の系が現象の本質を捉え易くする。

本研究は、身近な物質を扱い、分離・精製の技術を学習者が自主的に体験・習得する学習プログラムの作製を目指す。身近な物質を学習に取り入れることは、学習者の化学への興味関心が高まることから、スムーズな学習への一助となり、これを指向する化学に関する著書等<sup>1-7)</sup>も数多く刊行されるに至っている。本プログラムの対象者は中学・高校生であり、ここでは小学校からよく扱われている食塩と砂糖が教材として使われる。食塩または砂糖を扱う最近の学習プログラムでは、例えば食塩を用いた、しきい値に関する学習プログラムの試行が上げられ<sup>8)</sup>、ここでは食塩を構成するCl<sup>-</sup>イオンのモール法<sup>9)</sup>による定量が生物のしきい値に見立てられている。また、糖に関しては、加水分解酵素による反応の実験プログラムの開発の報告がなされている<sup>10)</sup>。本報告では、分離・精製実験のプログラムを完成すべく、小学校、中学校、そして高等学校の現行教科書の調査、それを履修してきた者へのアンケート調査、そしてNaClとショ糖の混合物からの分離の試行実験の結果を報告する。

## 2. 教科書の調査

表1 小学校教科書で扱われている主な身近な物質

小学校、中学校、高等学校での理科や化学の学習に身近な物質がどのように取り込まれているかを、また分離・精製に関わる内容の記述がどのようになされているかを、現行の教科書の調査により把握しようと試みた。教科書としては、現在全国に普及していると思われたものを取り上げた。教科書は小学校では5社<sup>11-15)</sup>、中学校では5社<sup>16-20)</sup>、そして高等学校では8社<sup>21-28)</sup>のものを対象とした。

### 2. 1. 扱われる身近な物質

身近な物質は多くの機会に数多くの種類が扱われていた。小学校で扱われている身近な物質の使われ方の頻度の高さは、食塩>砂糖>ホウ酸>石灰水の順であった。特に食塩は4年次以上の全ての学年でほぼ全ての教科書で扱われている。砂糖は4年

物質名	学年	単元名	教科書*	備考
食塩	4年	もののとけ方	東 学	
	4年	ものをとくかそう	大	
	4年	水の3つのすがた	教、啓	寒剤として使用
	4年	空気と水	東 学	寒剤として使用
	5年	食塩のとけ方	東 学	食塩水の蒸発 水と塩の分離
	5年	食塩水のごさと重さ	教、東	食塩水の蒸発 水と塩の分離
砂糖	5年	水溶液のごさと重さ	啓 大	食塩水の蒸発 水と塩の分離
	5年	水溶液とごさ	啓 大	食塩水の蒸発 水と塩の分離
	6年	水溶液の性質	教、啓	
	4年	もののとけ方	学、啓、学	
	4年	ものをとくかそう	大	
	4年	ホウ酸と水	大	水砂糖、コーヒーシュガー
ホウ酸	5年	食塩のとけ方	大	コーヒーシュガー
	5年	水溶液のごさ	大	コーヒーシュガー
	4年	もののとけ方	東、啓	温度変化と溶け方
	4年	ものをとくかそう	大	温度変化と溶け方
オキシドール	4年	ホウ酸と水	教	
	5年	食塩水のごさと重さ	教	
	4年	もののとけ方	学	
石灰水	4年	ホウ酸と水	教	
	5年	火と空気	教、学	二酸化マンガンとの反応 酵素の発生
ステールウール	5年	酸素と二酸化炭素	東、啓	二酸化マンガンとの反応 酵素の発生
	5年	火と空気	教、学	
炭酸水	5年	酸素と二酸化炭素	大、東、大、教	
	5年	水溶液の性質	学	
食紅	5年	火と空気	学	
	5年	酸素と二酸化炭素	教、東	
てんぷん	5年	酸素と二酸化炭素	啓	
	6年	水溶液の性質	教、学	
アルコール	6年	水溶液の性質	大、東	
	4年	もののとけ方	啓	
アルコール	4年	ものをとくかそう	啓	
	4年	空気と水	東	

a) 東=東京書籍、学=学校図書、啓=啓林館、教=教育出版、大=大日本図書



## 2. 2. 扱われる分離・精製的手段と実験

中学校と高等学校で扱われるものを対象とした。小学校では物質の分離・精製に関する事項は殆ど扱われていなかった。中学校で扱われる分離・精製的手段としては、蒸留、濾過、そして再結晶法が全ての教科書で扱われている。その他の手段としては蒸発乾固法が2社、昇華法が1社で扱われている(表3)。また、それらの実験設定では、濾過が4社で、蒸留が4社で扱われ、蒸発乾固が2社で、再結晶が1社で扱われている(表4)。

表3 中学校教科書で扱われている分離精製的手段

分離精製の操作	教科書 <sup>a)</sup>	内容
蒸留	啓, 学 教, 東 教, 学 大	食塩水から水を取り出す 食塩水から水を取り出す 水とエタノールの混合物からエタノールを取り出す みりんを成分の物質に分ける
ろ過	大 教 東 大	水に混じった細かい砂を分ける 食塩水に混じった砂を取り出す 食卓塩を水に溶かし、塩化ナトリウムと炭酸マグネシウムに分ける
結晶・再結晶	学, 啓 学  啓 東  大  教 教	食塩とパラジクロロベンゼンの混合物を分ける 少量の塩化ナトリウムが混じった硝酸カリウムから純粋な硝酸カリウムを取り出す 食塩水から食塩を取り出す ミョウバンの結晶をつくる 少量の塩化ナトリウムの混じったホウ酸から純粋なホウ酸を取り出す 食塩水から食塩を取り出す、ほう酸水からホウ酸を取り出す ミョウバンの結晶をつくる 食塩水から食塩を取り出す 食塩水の水を蒸発させる
蒸発乾固 昇華	教, 学 啓	ヨウ素、ナフタレンの昇華

a) 東=東京書籍, 学=学校図書(平成元年度版)、啓=啓林館(平成元年度版)、教=教育出版, 大=大日本図書(平成元年度版)

高等学校では、蒸留、濾

過、再結晶、蒸発乾固、昇華、抽出、透析、クロマト法が教科書で扱われており、教科書によりどれを採用するかが異なっている(表5)。また、それらの実験設定では、実験として採用される数は非常に少なく、内容は濾過、蒸留、蒸発乾固法であり、中学校で扱った内容に留まるものであった(表6)。

表4 中学校教科書で扱われている分離・精製の実験

実験内容	含まれる分離・分析の操作	教科書 <sup>a)</sup>
食塩とナフタレンの混合物を分ける	濾過, 蒸留, 蒸発乾固	学
食卓塩を水に溶かして、白く濁るわけを調べる	濾過	大
みりんを成分に分ける	蒸留	大
食塩とでんぶんの混合物からでんぶんを取り出す	濾過	啓
食塩とでんぶんと水の混合物から各々の物質を分離する	濾過, 蒸留, 蒸発乾固	教
食塩水から純粋を取り出す	蒸留	啓
使い捨てカイロの成分を分離する(自由研究)	濾過, 蒸留, 磁石で分ける	啓
ミョウバンの結晶を作る(自由研究)	再結晶, 濾過	啓

a) 学=学校図書, 大=大日本図書, 啓=啓林館, 教=教育出版

表5 高等学校教科書で扱われている分離精製の手段

分離精製の手段	教科書 <sup>a)</sup>	内容
ろ過	三省, 第一 啓林 東書, 清水	砂と食塩を分ける 泥水の泥, 液中に生じた沈澱の分離
蒸留	三省 第一, 東書 啓林	食塩水から水を取り出す 海水から水を取り出す 海水から水を取り出す 有機物の分離 石油の精製
再結晶	清水 三省, 第一 実教 啓林 東書, 清水 大日 三省 啓林	塩化ナトリウムを含む硝酸カリウムか ら純粋な硝酸カリウムを得る 海水中の塩の分離
抽出	第一 東書, 清水 東書, 三省 啓林, 清水 第一, 大日 実教 学図 三省 第一	四塩化炭素で, ヨウ化カリウム水溶液 からヨウ素を抽出する ジエチルエーテルで大豆中の油脂を 分離する 油脂の抽出
透析	第一 東書, 清水 東書, 三省 啓林, 清水 第一, 大日 実教 学図 三省 第一	でんぷんと塩化ナトリウムの分離
クロマトグラフィー	三省, 第一 啓林 三省 清水	カラムクロマト; 2種類の色素の分離 ペーパークロマト, 薄層クロマト
昇華	三省, 第一 啓林	ヨウ素の昇華 ヨウ素, ナフタレンの昇華
吸着	三省 清水	活性炭による色素の吸着
遠心分離		

a) 第一=第一学習社, 三省=三省堂, 啓林=啓林館, 学図=学校図書, 大日=大日本図書, 東書=東京書籍, 清水=清水書院, 実教=実教出版

表6 高等学校教科書で扱われている分離・精製の実験

実験内容	含まれる分離・精製の手段	教科書 <sup>a)</sup>
炭酸カルシウムと硫酸銅(II)5水和物に蒸留水を加えてかき混ぜ、これを各々の物質に分ける	濾過, 蒸留, 蒸発乾固	東書
使い捨てカイロの成分を分離する	濾過, 蒸発乾固, 磁石で分ける	学図

a) 東書=東京書籍, 学図=学校図書

### 3. アンケート調査

本研究では, 身近な物質を扱い, 分離・精製の技術を学習者が自主的に体験・習得する学習プログラムの作製を目指す。また, この学習プログラムは化学が不得意な学習者にも受け入れられ易いよう作製上心がける。このため調査の対象者として, 現行の教科書を履修済みの東京学芸大学で“一般化学”を履修している理科選修でない学生を抽出し, 化学実験の経験, 分離・精製の手段・操作に関する経験, 実験に関する興味や関心などを調査した。総人数は58人であり, アンケート(試料1)の回答時間は40分とし, 時間の延長を必要とした者には更に時間を与えた。その総時間は最大で80分であった。

試料1 化学アンケート

1/31/1991

— 類 科 —

1. これまで化学を勉強してきた中で、面白いと思っただけを挙げて下さい。
2. 下に示す①～25の項目の実験の中で、
  - 1 今までにおこなったもの ( )
  - 2 演示(教師がおこなう)で見たもの ( )
  - 3 面白いと感じたもの ( )
  - 4 やってみたいと思うもの(経験の有無に関わらず) ( )

を、それぞれ番号で答えて下さい。

①分子量の測定	②混合物の分離	③反応熱の測定
④コロイド溶液	⑤中和滴定	⑥電気分解
⑦酸化還元反応	⑧ナトリウムと水との反応	⑨塩素の性質
⑩金属イオンの分離と分析	⑪明礬中のカルシウムの定量	
⑫硫酸の性質	⑬炎色反応	⑭化学平衡の移動
⑮溶解度	⑯水溶液の性質を調べる	⑰結晶を作る
⑰気体の発生とその性質	⑱アルコールの酸化	⑲エステルの合成
⑲エチレン、アセチレンの合成と性質		
⑳タンパク質の性質	㉑糖類の性質	
㉒アニリンの合成と性質	㉓ナイロン66の合成	

3. 今までに、何回自分で化学の実験をおこないましたか。また、演示実験を見たことは、何回ありますか。当てはまるところに丸を付けて下さい。

実験 (0回 1~3回 3~6回 6~10回 10~15回 15回以上)  
 演示 (0回 1~3回 3~6回 6~10回 10~15回 15回以上)

4. 今までにおこなった化学の実験で、印象に残っているものを具体的に挙げて下さい。

5. 次のa~dの項目中の実験のうち、どちらを、面白いやってみてみたいと思いますか。各々の項目について、選んで丸を付けて下さい。

- a エタノールと水の混合物の蒸留  
 ウィスキーの蒸留  
 どちらでもない
- b 硫酸銅の結晶をつくる  
 砂糖の結晶をつくる  
 どちらでもない
- c アスピリンからアセチルサリチル酸を分離する。  
 しょうゆから食塩を分離する  
 どちらでもない
- d シュウ酸を水酸化ナトリウムで中和滴定する。  
 食酢を水酸化ナトリウムで中和滴定する。  
 どちらでもない

6. 次の①～⑥の分離・精製法で、今までに自分でやったことのある方法に丸を付けて下さい。また、小学校、中学校、高等学校、のどこで扱ったかについても、丸をつけてください。

(試料1 続き)

- ① ろ過 (小・中・高)
- ② 蒸留 (小・中・高)
- ③ 再結晶 (小・中・高)
- ④ 抽出 (小・中・高)
- ⑤ 昇華 (小・中・高)
- ⑥ 透析 (小・中・高)
- ⑦ クロマトグラフィー (小・中・高)
- ⑧ その他 (操作名) (小・中・高)

7. 6. の分欄・精製法①~⑧で、あなたが自分で再度実験できると思われるのはどれですか。番号で答えて下さい。

( )

8. 以下①~⑤に示すような混合物があるとき、これを分けることが、一般に可能だと思いますか。“はい”“いいえ”のどちらかに丸を付けて下さい。また、出来るとしたら、どんな方法を用いれば良いと思いますか。6. の方法①~⑧の中から選んで下さい。そのほかの方法がありましたら、簡単に書いて下さい。

①塩と砂 (はい・いいえ)

方法

②砂糖と砂 (はい・いいえ)

方法

③塩とほう酸 (はい・いいえ)

方法

④塩とナフタレン (はい・いいえ)

方法

⑤砂糖と塩 (はい・いいえ)

方法

9. 8の①~⑤の混合物で、
- a 分けやすいと思う混合物から、順番に並べて下さい。
  - b やってみたいと思うものを一つ挙げて下さい。

( )

10. 今、砂糖と塩の混合水溶液があるとき、あなたなら、これをどうやって分けますか。できるだけ具体的に書いてください。

ご協力ありがとうございました。

### 3. 1. 既習化学のおもしろい点

アンケートの設問1により調査した結果を表7に示す。事象の変化を実際に体験できる実験が多くの方に把持されていた。また、今まで知らなかったことを知ったり、分かったりした時に面白いと感じたという答えも多かった。一方、無解答が58人中12人、面白くない、特にないという答えが58人中4人となり、両者を合わせると16人となった。これは全体の約3割に相当し、化学に対する興味関心が比較的低いと思われる者、または嫌いである者がかなりの割合でいることが分かった。

### 3. 2. 化学実験への興味

化学実験における実験内容への興味の傾向をみるため、アンケートの設問2により調査した。そこでは実験項目が予め設定され、選択された。結果を図1に示す。既習実験の内容では、無機化学や物理化学分野の実験が比較的多く、有機化学の分野の実験(19~25)は極端に少なかった。演示実験では化学実験に較べて既習したと答えた数が極端に少なかった。内容においては、無機化学や物理化学分野、有機化学の分野の実験が比較的的平均的に取り扱われる結果となった。既習した化学実験及び演示実験の中でも面白いと感じた実験は、炎色反応、電気分解、結晶を作る、中和滴定、そして気体の発生とその性質に集中していた。

既習化学実験及び演示実験にとらわれず、やってみたくと思う実験については、卵殻中のカルシウムの定量、炎色反応、結晶を作る、ナイロン66の合成などが多かった。変化が比較的容易に見えるもの、色がきれいなもの、また、身近な物質を

表7 既習化学で面白かったこと

回答の内容	回答数*
何かを新たに知ったとき、分かったとき <内訳>	19
化学と身近な現象・物質との関わり	(5)
化学反応	(4)
原子・分子の構造	(3)
気体の状態方程式	(1)
有機化学の体系	(1)
コロイド粒子の構造	(1)
チンダル現象	(1)
タンパク質の性質	(1)
酸化	(1)
物質を純粋化する方法がいろいろあること	(1)
実験 <内訳>	21
実験全般	(8)
実験で理論を実践したとき	(4)
水の電気分解	(2)
ナイロンの糸を作る	(1)
炎色反応	(1)
結晶を作る	(1)
身近なものを使った実験	(1)
金属イオンの分析	(1)
酸性・中性・アルカリ性を調べた実験	(1)
透析	(1)
その他 <内訳>	4
元素記号の覚え方	(1)
化学史	(1)
化学式の計算	(1)
化学の先生	(1)
面白くない・特にない	4
無回答	12

a) 総数58人

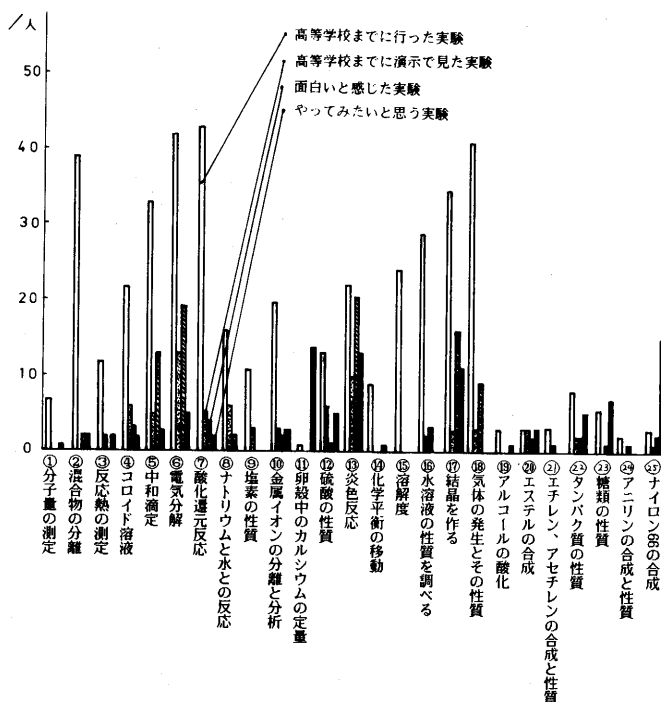


図1 化学実験の履修と関心



扱った実験に興味を持たれるという傾向を示した。

### 3. 3. 既習化学実験及び演示実験回数

設問3により調査した結果を図2に示す。アンケートでは意識的に実験回数に重なりを持たせたが、これは把握の不確かさを考慮し、どちらかを選べるようにした。高等学校までに経験した実験の回数は15回以上が全体の約半数を占めており、比較的实验が行われていた。

一方、演示実験では3~6回と15回以上と答えた者が

多く、各々25.8%と24.1%となった。演示は実験と較べて回数が少ない。化学の授業に多くの演示実験が取り入れられている実情を考慮すると、この少ない値は必ずしも現状の実態を反映しておらず、むしろ、演示実験は化学実験に較べて印象に残りにくいものと判断される。このことは、既習演示実験数を問うた設問に対して無回答者が多くなったこと(3.4%→15.5%)からも裏付けられる。

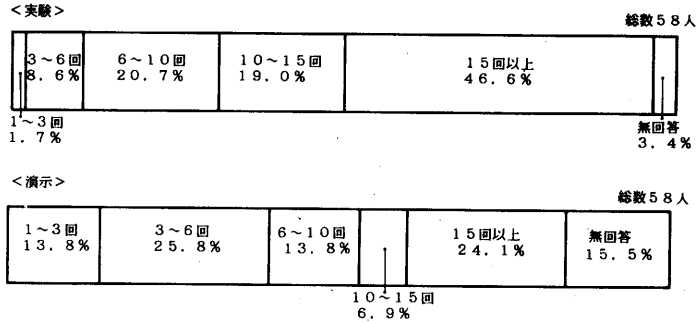


図2 高等学校までに履修した実験・演示の回数

### 3. 4. 印象に残る化学実験

設問4により、既習化学実験及び演示実験で印象に残る実験項目を具体的に記述させた。具体的に記述する作業により、先の3. 2項での化学実験への興味で評価した関心よりも更に印象に残る実験項目を引き出すことを狙ったが、印象に残った実験項目は電気分解、中和滴定、気体の発生、炎色反応などとなり、3. 2項で関心がもたれた項目に準じた内容が挙げられた(表8)。無解答者数は58人中10人となり総数の約17.2%となった。

### 3. 5. 実験における身近な物質への興味

設問5により、化学実験に用いる物質が身の回りにある比較的身近な物質が、通常の化学実験で使われる物質と較べて興味の対象となり得るかをみた(図3)。実験項目は蒸留、結晶化、分離、中和反応と比較的経験していると思われるものを選び、身近な物質としては日常生活で使われるものを

表8 印象に残っている化学実験

回答内容	回答数 <sup>a)</sup>
電気分解	10
(水の電気分解)	(5)
中和滴定	9
炎色反応	4
銀鏡反応	3
酸素の発生	3
水素の発生	2
水素の爆発	1
マグネシウムの燃焼	1
結晶作り	2
(イオウの結晶)	(1)
金属イオンの分離と分析	2
金属樹	1
糖類の性質	1
水溶液の性質	1
ミステリーパウダー	1
液体窒素を使った実験	1
蒸留水を作る	1
混合物の分溜	1
リトマス試験紙	2
塩酸で指紋が消えそうになったこと	1
身の回りの物の実験	3
(せっけん, ホカロンなど)	
色のついた実験	2
なし	3
無回答	10

a) 総数58人

選んだ。a~dの項目を通じて選択枝のii)が身近な物質を扱うように設定されている。a~dのどの項目でも選択枝のii)が優先して選択されたことより、身近な物質を扱う実験が興味を引くことが明らかとなった。項目bの“硫酸銅の結晶を作る”と、“砂糖の結晶を作る”の数の余り差が見られなかったことは、硫酸銅の結晶が鮮やかな青色をしていることも

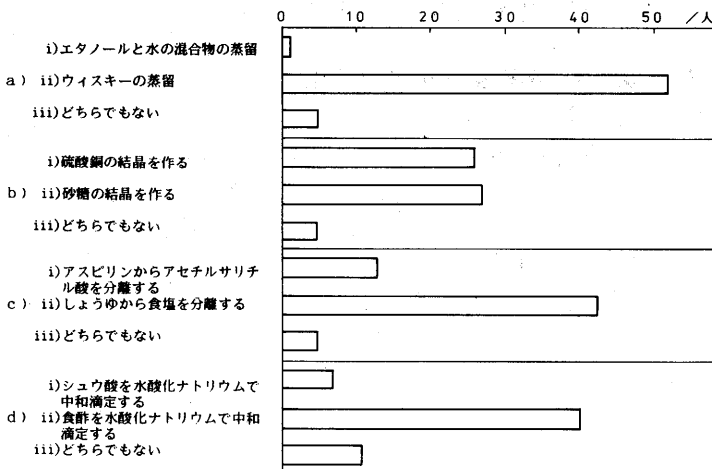


図3 扱う教材による実験への興味関心の差異

手伝って、硫酸銅が学習の履歴の中でかなり身近な物質として位置づけられていることが反映されたものと解釈される。

### 3. 6. 既習分離・精製法

設問6により、これまでに経験した分離・精製実験法を調べた。図4より、濾過法の経験者数が最も多く58人中50人に達しており、蒸留法、再結晶法がこれに続き高い経験率であることが分かる。その他の方法は何れも5割以下となった。透析法やクロマト法の経験率は高等学校で高い。

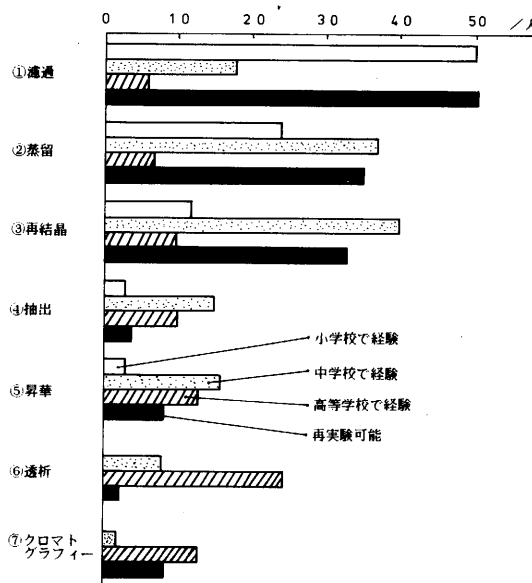


図4 高等学校までに経験した分離・精製実験

### 3. 7. 既習分離・精製実験の再現の可能性

設問7で問いかけた既習の分離・精製実験を再び自分で行えるかについては、3. 6項の結果がそのまま反映された結果となった(図4)。すなわち、経験率の高かった濾過法、蒸留法、再結晶法、その他の経験率の低い方法共に自分で再び行えると答えた。例外として透析法が挙

げられ, 再現できるとした数は僅か2人となった。

### 3. 8. 分離・精製の可能性の判断

設問8での5つの混合物は何れも分離可能な組合せであり, 特に食塩と砂, 食塩とホウ酸, そして食塩とナフタレンは教科書でも扱っている実験における組合せである。物質は食塩, 砂糖, 砂, ナフタレン, ホウ酸の5つに限定してあり, 食塩, 砂糖, 砂は身近で親しみのある物質として, また, ナフタレンとホウ酸は比較的馴染みが薄い物質として取り上げた。回答結果を図5にまとめた。

分離・精製が可能かどうかという問いに対し, “いいえ”と答える数はホウ酸やナフタレンが組合わさると急激に多くなり, それに伴い無回答者数も増した。また, その具体的分離方法を選択する間に対しては, ナフタレンまたはホウ酸を用いた組合せで, 更に無回答者数が増え, 食塩とホウ酸の組合せで半数以上の者が無回答であった。砂糖と食塩の組合せでは, 両者が比較的馴染みが深く日常手にできる物質にも関わらず, “いいえ”と答えた者が17人, 無回答者が7人と不正解者数が多い。この分離・精製が困難とする答えは, 具体的方法を選ぶ際にも顕著に表れ, 無回答者数が39人(67%)にも達した。砂糖と食塩の分離の困難さのイメージの強いことが窺える。

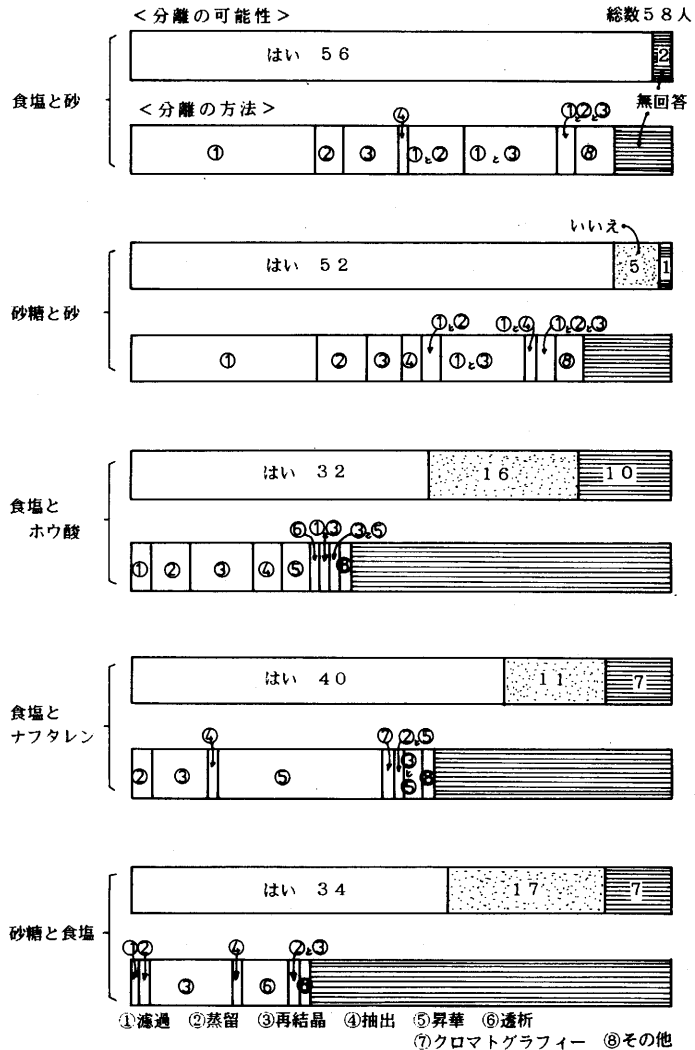


図5 分離・精製の可能性

### 3. 9. 分離・精製の難易度のイメージ

設問9により先の5つの混合物を対象に分離しやすいと思われる順に序列をつけてもらった。得られた序列より, 一番分離しやすい組合せ, 一番分離しにくい組合せ, そして, やってみたいと思う組合せについて各々まとめた(図6)。図は, 3. 8項での“はい”と“いいえ”の増減

と同じ傾向を示している。すなわち、5つの組合せ①～⑤の順に分離がしにくくなると感じている。分離の難易度とは別に、本人がやってみたい組合せを選ばせる設問では、図より砂糖と食塩の組合せが最も多く、29人(50%)となった。分離の難度が高いこの組合せに人気が集まったことは、必ずしも難しい事象に挑戦しようとする心意気だけでなく、

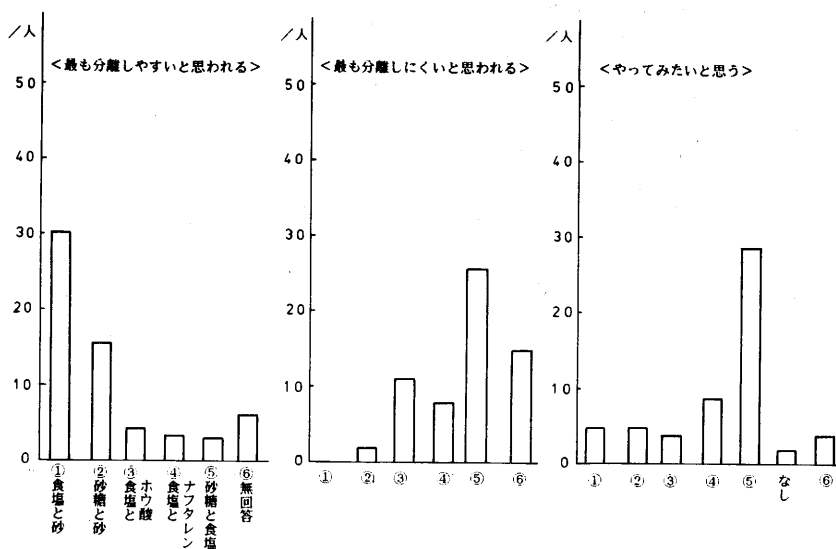


図6 分離の難度と関心

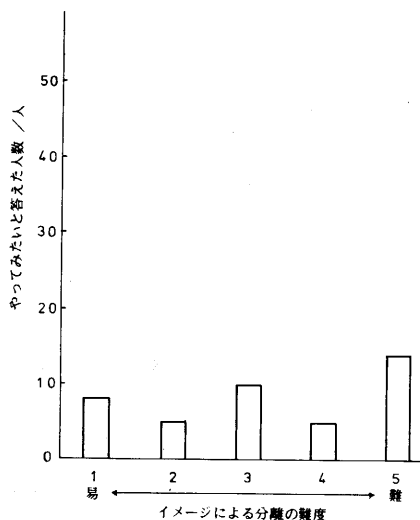


図7 分離の難度イメージと実験意欲

3. 8項で触れた砂糖と食塩の持つ親しみやすさのイメージが加わった結果と思われる。このことは図7により更に裏付けられる。図7は、アンケートの設問9で分離実験をやってみたいと思う組合せが、分離の難易度の順位で何番目に当たるかを集計したものである。この図より、分離の難度が5の組合せが必ずしも優先的に選択されておらず、平均して選択されており、難易度とは無関係に選択されていることが分かる。砂糖と食塩の持つ親しみやすさが実験への興味を引き起こすものと推察され、この組合せの教材としての適性が窺える。

表9 食塩と砂糖の混合からの分離法

回答内容	回答数*
具体的分離方法について回答あり <内訳>	19
再結晶	(11)
透析	(2)
熱する	(2)
水を蒸発させてから、アリに分けさせる	(2)
飲んで、砂糖はエネルギー塩は血液に分ける	(1)
一粒ずつ分ける	(1)
具体的方法が思い付かない	13
無回答	26

a) 総数58人

### 3. 10. 砂糖と食塩の混合物の具体的分離法を上げる。

設問10により, 3. 9項で興味関心が持たれた砂糖と食塩の混合物からの具体的分離法を上げさせた。58人中19人(32.8%)が具体的な方法を紙上に記した。その方法の要約と回答数を表9に集計した。表より, 再結晶のイメージで分離しようとする意図のある者が最も多く11人(回答者の57.9%)となった。蟻により分離する方法や生命体の代謝を利用する方法も考え出されている。

## 4. NaClとショ糖の分離・精製の試行実験

食塩と砂糖の持つ親しみやすさが学習者の興味を引き起こすこと, そして, 分離・精製実験においてのこの組合せの教材としての適性がアンケートにより見通されたため, 分離・精製の可能性を試行実験により確認した。

試行実験において用いる器具・材料等は, できる限り身近に調達できるようなものを選んで用いた。方法は再結晶法, ペーパークロマトグラフィー, そして薄層クロマトグラフィーを採用した。

この試行実験は本研究の目指す学習プログラムを作製する際の基本データとなるべき位置づけで行った。

試行実験では食塩と砂糖の代表として, それぞれ試薬特級NaClとショ糖を用いた。

### 4. 1. 再結晶法による分離・精製

混合物の水溶液からNaClの結晶を析出させ, NaClを分析する試みを行った。

この方法により, NaClを析出させることができれば, 混合物からのNaClの分離・精製が可能となる。

実験は, 所定の混合比のショ糖とNaCl混合物を蒸留水に溶かし, 室温放置乾燥を行いNaClの結晶を析出させることにより行った。析出した結晶は, 濾過(東洋濾紙No.2)後, 飽和NaCl水溶液で洗浄された。

飽和NaCl水溶液による洗浄の収量への影響は, ほとんどなかった。

すなわち, 約0.2gのNaClを10mlの飽和NaCl水溶液で水洗後, 乾燥し, 回収量をみたところ, 数回の実験で何れも99.5%以上(末回収量で0.001g以下)の回収率を与えた。

結果を表10に示した。実験誤差を考慮にいとると, NaClの回収率は混合比にあまり依存せず, 80%以上の量を分離できることが分かった。一方, 析出した結晶の状態は, 混合比に依存し, 混合比がNaCl量の多い系で大きな結晶が, 少なくなるにつれ小さな結晶が析出した。この実験では水の蒸散速度が組成比により一定ではなく, 混合物総量の多い(混合比の小さい)系の速度が遅くなる傾向となった。

表10 再結晶によるNaClの分離

混合比	NaCl/g	ショ糖/g	残水量/g	分離NaCl量/g
10:1	3.00	0.30	0.85	2.70
3:1	3.00	1.00	0.92	2.39
1:1	3.00	3.00	0.34	2.64

混合比	析出したNaCl結晶の形状
10:1	大きい結晶は約0.5cm角のキュービック
3:1	大きい結晶は約0.3cm角、小さい結晶は約0.1cm角のキュービック 0.3cm角のキュービックの割合は、全体の約1割
1:1	0.1cm角のキュービック

同条件下での実験ではNaClの析出が開始される時間は、混合比の大きい(混合物総量の少ない)系ほど早かった。

#### 4. 2. クロマトグラフィーによる分離・精製

混合物の水溶液からのNaClとショ糖の分離の試みを行った。この方法により両者を分離することができれば、混合物からのNaClとショ糖の同時分離・精製の可能性を探れる。

##### 4. 2. 1. NaClとショ糖の混合溶媒系への溶解度

クロマトグラフィーで混合物を分離する際に、分離能の高い展開剤を得ることが必要となるため、展開剤の候補として考えられるエタノール-水系、酢酸-水系、そしてエチレングリコール-水系の混合溶媒系を選び、それらへのショ糖とNaClの簡易な溶解度実験を行った。

実験は、恒温槽(25.0±0.2°C)中の摺合わせ栓付き三角フラスコに所定量の混合溶媒を加え、その中へ精秤した溶質であるショ糖またはNaClを溶かすことにより行った。

結果を図8に示した。どの溶媒系においてもショ糖の溶解度がNaClのものよりも高くなる傾向を示した。エチレングリコール-水系においてエチレングリコールの組成比が大きい領域で両者の溶解度に逆転が見られた。

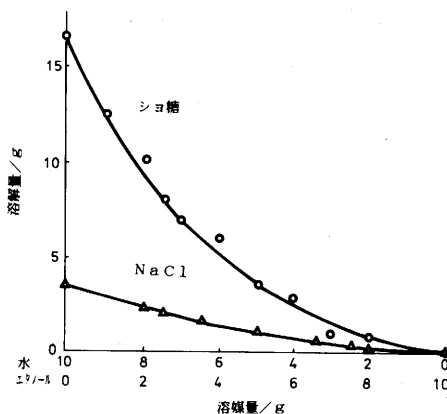


図8a 水-エタノール系溶媒へのNaClとショ糖の溶解

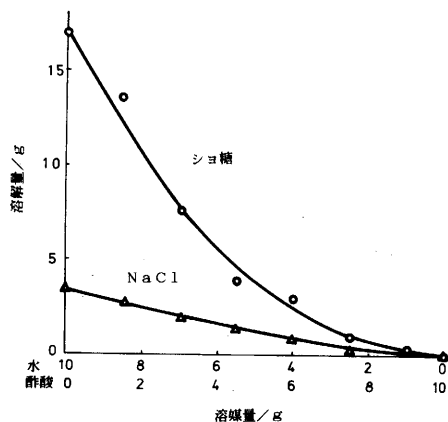


図8b 水-酢酸系溶媒へのNaClとショ糖の溶解

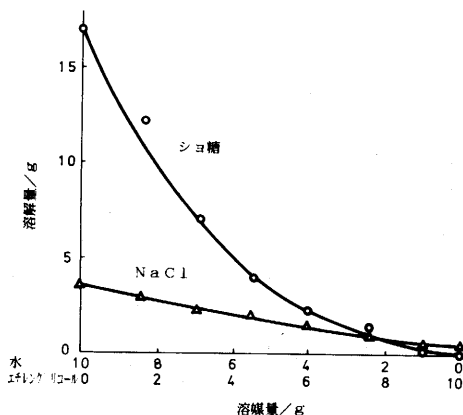


図8c 水-エチレングリコール系溶媒へのNaClとショ糖の溶解

##### 4. 2. 2. ペーパークロマトグラフィーによる分離

実験は、濾紙(東洋濾紙No.2; 10cmx10cm)にNaClとショ糖のそれぞれ1.0wt%の水溶液

を毛細管でスポットし、濾紙を円筒状にして展開剤を入れたビーカーの中に立て、ビーカー上部をポリエチレンシートでラップし展開させることにより行った。展開後のNaClとショ糖の検出は以下のように行った。NaClは、硝酸銀水溶液を噴霧してから放置により感光させることにより、ショ糖は、尿素 (5 g), 2 N HCl (20 ml), 95%エタノール (100ml) の混合溶液を噴霧し加熱することにより、それぞれ発色させ検出した。展開剤の選択は、4.2.1目の結果を参考にした。

結果を表11に示した。酢酸：水=9：1の展開剤ではRf値（溶媒が移動した距離に対する溶質の移動距離の割合）に差がみられ、試した展開剤では最も分離に適していることが分かった。

表11図 ペーパークロマトグラフィー

No.	展開剤	Rf 値	
		NaCl	ショ糖
1	メタノール	0.14~0.87(帯状)	0.56
2	エチレングリコール	1.00	1.00
3	エタノール：水(4:1)	0.56	0.40
4	酢酸：水(4:1)	0.81	0.61
5	エタノール：水(3:2)	0.78	0.71
6	酢酸：水(3:2)	0.88	0.73
7	エタノール：水(9:1)	0.33	0.40
8	酢酸：水(9:1)	0.79	0.38

#### 4. 2. 3. ペーパークロマトグラフィーによる分離と回収

先の4.2.2目で適当と思われた酢酸：水=9：1の展開剤により、NaClとショ糖混合水溶液からの各々の分離・回収を試みた。

実験は、濾紙（東洋濾紙No.2；16cmx16cm）7枚にNaCl (201mg) とショ糖 (203mg) の混合水溶液（1ml）を毛細管で帯状にスポットし、4.2.2目での実験と同様の操作により行った。展開終了後、濾紙を乾燥させ、Rf値0.66の位置で濾紙を切断した。このRf値0.66は展開終了後の濾紙の一部（濾紙全体の4%）を用いたモニタリングにより決定した。すなわち、モニタリングによりショ糖の濾紙上の移動先端のRf値が0.90、NaClでは0.64であることが分かり、見かけ上両者が重なっていないRf値0.66で濾紙を切断すれば、両者を単離できると判断された。切断された各々の濾紙を水（50ml）で3回抽出を繰り返し、抽出液から水を蒸発・乾固することにより、NaClとショ糖を得た。これらの結晶は以下の方法により精製した。NaClは4.1項の再結晶法により精製を行い、ショ糖は酢酸臭と淡黄色の着色が見られたため、水溶液にしてから活性炭（顆粒状）を加えて脱臭・脱色した。

結果は、NaClが128mgとショ糖が72mg単離できた。これは回収率で各々63.7%と35.5%となった。得られたNaClとショ糖は精製の操作を経ており、ほぼ純物質と思われる、ペーパークロマトグラフィーによる再分析はそれを指示した。

#### 4. 2. 4. その他の方法

カラムクロマトグラフィーで分離する試みで、その前段階の薄層クロマトグラフィー(TLC)による分離を試みたところ、分離できておらず、透析法でも今のところ分離できていない。すなわち、TLCでは、展開剤としてエタノール-水=1：1、4：1、9：1、そして、酢酸-水=3：2、9：1を採用し、何れもRfに重なりが見られた。透析法では、NaCl (3.0g) とショ糖 (3.0g) の混合水溶液 (16.0g) を市販の工作用セロファン紙を用い25℃で透析実験を行ったところ、NaClとショ糖の両者がセロファン膜を透過することが、ペーパークロマトグラフィーにより確認された。

## 5. ま と め

教科書の調査より現行の学習では分離・精製の実験が少ないこと、アンケート結果より分離・精製の理解が必ずしも深くないこと、また分離・精製実験を行うならば、身の回りにある身近な物質を扱うと実験への興味が高まる可能性の高いことが分かった。そして、身近な物質を用いる分離・精製の試行実験では、NaClとショ糖の混合物からの分離は、少なくとも再結晶法とペーパークロマトグラフィーで可能であることが分かった。

学習における実験が学習者にとって興味・関心が持てて親しみのあるものであれば、化学を学ぶ上でスムーズな導入となる。注意したいことは、学習における化学への親しみの強調は、高いレベルでの事象の把握においては必ずしも必要とされないことであり、むしろ事象的的確な把握の障害となることも有り得ることである。このことは、次のような解釈にもつながるであろう。すなわち親しみの持てる実験が化学を学ぶ者にとって必ずしも必要とは限らないことであり、化学の進展上必要とされる原理・概念の把握を目的とする実験が必ずしも学習者にとって親しみのあるものとは限らないことである。しかしながら、学習者が化学に対し親しみを感じることは、化学への関心を持つことにつながる。身近な物質を教材にした学習により、授業成立の必要条件となる動機付けがスムーズに行われ、それによる効果的な学習が成立し、化学への興味・関心が高まることが期待できる。特にこれから化学を学ぼうとする者にとっては、化学への親しみが重要となり、身の回りにある身近な物質そのものが興味を引く対象であることから、それらを用いることは、学習者の化学への興味・関心を高める一助となることであろう。

## 参 考 文 献

- 1) 下沢 隆ら：“身のまわりの化学”裳華房 (1987)。
- 2) 山崎 昶ら：“生活の化学”裳華房 (1989)。
- 3) 日本化学会編：“身近な現象の化学 台所の化学”培風館 (1989)。
- 4) 日本化学会編：“実験による化学への招待”丸善株式会社 (1987)。
- 5) 米田昭二郎ら：“たのしい化学実験”講談社 (1984)。
- 6) 飯利雄一ら：“図解中学校理科観察と実験の方法”大日本図書 (1986)。
- 7) 林良重ら：“理科実験指導シリーズ化学”講談社 (1982)。
- 8) 渡辺賢寿 (分担執筆)：“文部省特定研究報告書 (代表：藍 尚禮)” pp.136-142 (1990)。
- 9) W. John Williams: “Handbook of Anion Determination” School of Chemistry, University of Bath (1979) .
- 10) 谷水 聡：東京学芸大学修士論文 (生物学講座) (1981)。
- 11) “小学校理科3～6”学校図書株式会社，東京 (1989)。
- 12) “新改訂理科3～6”株式会社新興出版社啓林館，大阪 (1989)。
- 13) “改訂小学校理科3～6”教育出版株式会社，東京 (1989)。
- 14) “新訂たのしい理科3～6”大日本図書株式会社，東京 (1989)。
- 15) “新訂新しい理科3～6”東京書籍株式会社，東京 (1989)。
- 16) “改訂中学理科”学校図書株式会社，東京 (1990)。
- 17) “新改訂理科”株式会社新興出版社啓林館，大阪 (1990)。



- 18) “改訂中学理科” 教育出版株式会社, 東京 (1990)。
- 19) “新訂中学校理科” 大日本図書株式会社, 東京 (1990)。
- 20) “新訂新しい科学” 東京書籍株式会社, 東京 (1990)。
- 21) “高等学校新編化学” 株式会社第一学習社, 広島 (1989)。
- 22) “化学” 東京書籍株式会社, 東京 (1989)。
- 23) “高等学校化学新訂版” 株式会社新興出版社啓林館, 大阪 (1989)。
- 24) “化学三訂版” 株式会社三省堂, 東京 (1989)。
- 25) “化学改訂版” 実教出版株式会社, 東京 (1986)。
- 26) “改訂化学” 大日本図書株式会社, 東京 (1986)。
- 27) “高等学校化学” 学校図書株式会社, 東京 (1986)。
- 28) “高等学校化学新訂版” 株式会社清水書院, 東京 (1986)。

