

平成 18 年度修士論文

探究学習と科学概念の形成に関する研究

— “とける” 概念をテーマとして —

京都教育大学大学院 教育学研究科
教科教育専攻 理科教育専修

箕浦 優樹
(学籍番号 055061)

指導教員 広木 正紀
指導教員 村上 忠幸

目次

はじめに	1
第1章 探究学習と本研究の位置づけ	
1 探究学習について	3
2 粒子概念の扱われ方について	6
3 本研究の位置づけ	6
第2章 小中学校理科の教科書調査	
1 はじめに	8
2 調査資料	8
3 調査方法	8
4 結果	9
5 考察	13
第3章 “とける” ことに関する探究活動	
1 節 固体の密度測定	
1 はじめに	20
2 砂糖と食塩の密度測定	21
3 カリミョウバンと塩化アンモニウムの密度測定	29
4 考察	36
2 節 溶解による溶液の体積変化の測定	
1 はじめに	37
2 砂糖と食塩を水に溶かしたときの溶液の体積変化	37
3 カリミョウバンと塩化アンモニウムを水に溶かしたときの溶液の体積変化	44
4 溶解による溶液の体積変化とイオンの関係	46
5 考察	53
3 節 考察	55
第4章 授業実践および分析	
1 節 はじめに	57
2 節 授業実践 その①	
1 はじめに	58
2 授業での実施実験—実験①	58
3 授業内容	61
4 考察	63

3 節	授業実践 その②	
1	はじめに	65
2	授業での実施実験—実験②	65
3	授業内容	66
4	授業の経過と分析	68
5	考察	77
4 節	アンケート分析	
1	実施アンケート	78
2	各項目についての分析	79
3	概念形成に着目した分析	87
4	考察	88
5 節	考察	90
	参考文献	93
	謝辞	95

はじめに

今日、私たちの生活の周りには科学技術の進歩により生み出されたものが溢れかえっている。それら自動車、パソコン、携帯電話などは私たちの生活には欠かすことのできないものとなっており、その多くは日本で開発され、製造されている。このように、世界での有数の科学技術立国といわれる日本で、「理科離れ」が依然として問題とされている。

このような状況に対して、探究的な学習は効果を発揮すると考えられる。特に理科の授業において、探究的な学習は重要になってくるだろう。理科の大きな目標の一つは、子どもが科学的な思考を身につけ、科学的な態度を養うことであると思う。科学的な思考や態度を養うには、物事を観察したり、実験をしたり、あるいはこれまでの経験などから仮説を立て、検証し、ある結論に辿り着く学習を経験することが欠かせない。探究的な学習では、まさに科学的な思考や態度を必要とする。探究的な学習の中では、自分自身で考え、判断し、活動する場面が多く存在し、客観的に、論理的に思考していく上で、思考に矛盾が出てくることもある。そういった状況になれば、要因を考え、再試行、あるいは新たな思考を組み立てていくなどして、一つの結論に辿り着く。この経験は、自分の意思で判断する力や、諦めずにやり遂げる力につながるだろう。また、自分自身で試行錯誤をし、一つの結論に辿り着いたことで、その過程、結論は子どもの中で大きな意味を持つことになり、学ぶことへの興味・意欲が高まり、“学習＝面倒くさい”から“学習＝面白い、楽しい”へと意識が変わっていくことを期待できる。

高校 3 年生の秋、あるテレビ番組で、水に音を聴かせると、水の結晶の形が変わるという現象を知った。そのときは、特に結晶について興味を持つことはなく、物理が好きだったこともあり、音は波であり、その波動の影響を受けることで結晶の形が変わるのだろうとは思ったが、それ以上考えるということにはなかった。ただ、漠然と面白い現象だなとは思っていた。それから 3 年後、本屋でのテレビ番組の内容の本を見かけた。目を通してみると、そこに載っている様々な結晶の形に惹かれた。「ありがとう」という言葉やヒーリング・ミュージックを聴かせると形のきれいな、エネルギーあふれる結晶ができ、逆に「ばかやろう」という言葉やヘヴィメタルの曲を聴かせると、形に見えないようなきたない結晶ができることがとても面白く、まさに感情を表現しているような結晶の数々を見ているうちに、こんな神秘的な世界を見させてくれる結晶へ興味を持つようになった。

また、大昔に結晶となったときに周りの水を取り込み、現在まで一度も溶けることなく地底に存在していた塩の結晶が発掘され、その塩の結晶が取り込んだ水の中から、当時の細菌やプランクトンなどの生命が発見されることもあるという。これまで生命が存在していなかったとされていた時代の塩の結晶に取り込まれた水から、生命が発見されたということも聞いたことがある。結晶に関わる様々な興味深い現象や話を知るにつれ、結晶への興味は高まっていった。

このような経緯から私は、卒業研究で結晶について研究した。結晶を作ることから始まり、結晶を作っていく中で発生した不思議や疑問を自分なりに追究していき、私の中の結晶の世界は大きく広がった。

修士論文でも引き続き、結晶に関わるテーマを研究することにしたが、特に“とける”という概念について広く様々な視点から追究したいと考えた。そして、その追究した内容を活かして、探究的な教材・プロセスを開発し、授業実践して することを目指した。

そこで、本研究の目的を以下のように設定する。

1. 現在の理科学習において、“とける” ことに関する学習がどのように展開されているのかを調査し、“とける” ことの学習ではどのような概念形成を促せばよいのか明らかにする。
2. 自分自身の“とける” ことに関する興味・関心を基にした探究活動を行い、自分の中でどのような概念が形成されたのか明らかにする。
3. 自分自身の探究活動を反映した探究的な教材・プロセスを開発する。
4. 開発した教材を授業実践し、学習者の概念形成について分析する。

第1章 探究過程と本研究の位置づけ

1. 探究学習について

理科教育における探究学習（活動）とは、仮説－検証－結論という、いわゆる科学的な探究過程を理科の学習に持ち込んだものとして一応の解釈がなされている。すなわち、学習者が「こうではないか」と考え、実験や観察などで検証を行い、「やはりこうであった」と結論（知識）を得ていく過程である。

平成10年に公示された、学習指導要領に「生きる力」の育成をキーワードに自ら学ぶ態度や思考力、判断力、表現力などを身につけさせることを示されたのは記憶に新しい。これを受け、理科教育においては、自然体験や、観察、実験などを通して問題を見つけ、解決方法を考えたり、推論したり、表現するなど、すなわち探究的な活動を行うことが「生きる力」を育てることであると考えられている（江田，2004）。このような認識のもと、理科教育においてその必要性が強調されるようになってきている。

しかしながら、探究学習（活動）には、多くの課題が山積している。村上（2005c）は、以下のように、課題を指摘している。

- ・ 探究学習の必要性が叫ばれ、価値を認め、実践しようとされているのにうまくいかない現実がある。
- ・ 探究学習を実践的に議論するときの適切な理論・モデルが存在しないため混迷がある。
- ・ 国内外における探究的な要素を持った実践・研究（授業、カリキュラムなど）の適切な評価・分析が必要である。
- ・ 探究学習を実現できる教員の意識、資質、能力について調査・分析および評価が必要である。
- ・ 興味・関心という観点（欧米では強調されていない）にたった、いわゆる日本型の探究の構築が必要である。
- ・ 日本には欧米に比べて探究学習に適応した教材・プロセスが少なく、これらの開発が必要である。
- ・ 探究の評価（いわゆる絶対評価）が先行し、学習目標、内容の検討が手薄になっている。

日本に探究学習が導入されてから 30 年以上も経過したのにもかかわらず、探究学習（活動）が機能しない原因として、江田（2004）の指摘するように、探究をパターンに当てはめようとし無理が生じていることが挙げられる。パターン化された多くの探究の授業は、科学的な探究過程（仮説－検証－結論）を重視するあまりに、学習者の興味・関心をないがしろにして行われていたと言わざるを得ない。

このようなことから、探究学習（活動）を進めていく上で、学習者の視点に立った（学習者を学習の主体にすえた）展開を推し進めていくことが必要であると考えられる。その際に、重要となるのが学習者の興味・関心の発生である。学習者自らが、不思議や疑問を見出すことによって、探究は破綻なく推し進めていくことができると考えられ、不思議や疑問を見出すためには学習者自身が興味・関心を示さなければ成立しない。このように、探究学習（活動）などの探究過程に基づく学習にとって最も必要なことのひとつは、興味・関心の発生であるという立場から、村上（2004a；2005a など）によって、探究過程の理論的な側面を支持できるモデルとして、前仮説段階を考慮した探究モデル（図 1-1）が提案された。このモデルの特徴は、学習者の興味・関心の発生は科学的な探究過程である「仮説－「検証」－「結論」のプロセスに入る以前の段階に起こっていると捉えているところにある。この、興味・関心の発生する科学的探究過程の前の段階を、「前仮説段階」と呼ぶ。前仮説段階では、探究の“場”を設定することにより、4つの要素（「実験・観察」「知識・アイデア」という演繹的な要素と「生活体験」「自然体験」という帰納的な要素）が相互に有機的な関係性を結び、好奇心の反映である興味・関心の発生と高まりが期待できると考えられる。ここで、“場”の周辺部に位置づけられる4つの要素を表にまとめておく（表 1-1）。

前仮説段階を考慮した探究モデルの有用性は、様々な授業や学習について、探究的な過程に照らし合わせたときの分析ツールとしての役割が認められる。つまり、探究的な学習として設定された時間枠の中で、学習の動的な状況の設計段階、実施段階、評価段階で理論的に解釈することが可能となる。しかし、このモデルから意図的に、探究的な学習をデザインし、教材やプロセスを開発できるかどうかについては実践的に検討されている段階である（村上，2004a）。

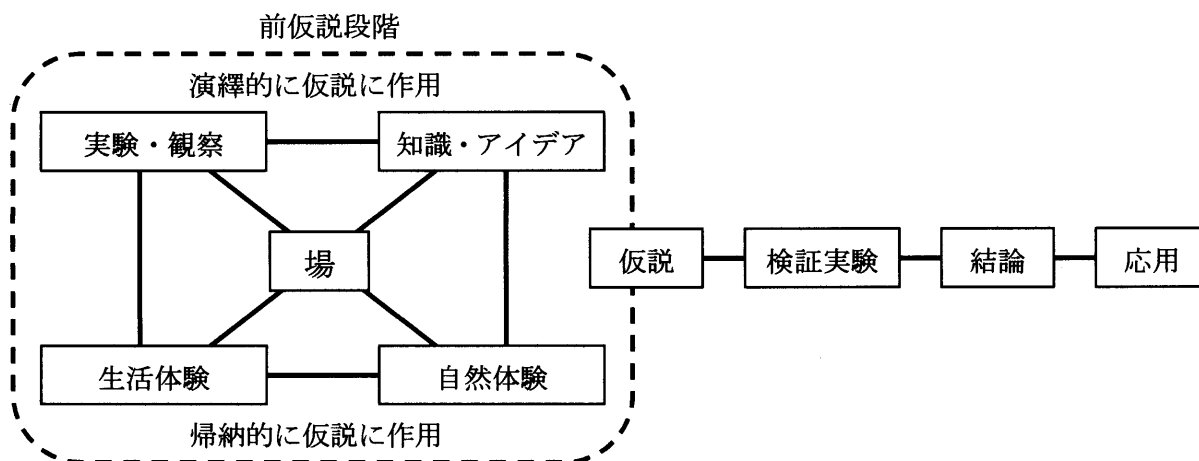


図 1-1 前仮説段階を考慮した探究過程モデル（村上、2005a より抜粋）

表 1-1 場の周辺部に位置づけられる 4 つの要素 （村上、2005a より作成）

要素		解説
演繹的に仮説に作用	実験・観察	学習者に提供される実験や観察、主体的に（時には能動的）行われる実験・観察がある。例えば、探究を始めるにあたり興味を引くインパクトのある実験、探究の過程において学習者に揺さぶりをかける実験・観察、学習者の自由試行として行われる実験・観察など。
	知識・アイデア	学習者の既存の知識・アイデア、探究の際、外部から供給される知識・アイデア、学習者が必要に応じて主体的に求める知識・アイデアなどの探究過程において学習者に関わる知識アイデアの総体。
帰納的に仮説に作用	自然体験	学習者がすでに日常的に体験していること、および探究過程において新たに（能動的もしくは受動的に）体験する要素。知識・アイデアおよび実験・観察との違いは獲得するのに時間的な短縮が困難な点にある。帰納的な性格の強いこれらの要素は、学習者間の差異が大きく、探究への動機付けに対しても寄与が大きい。
	生活体験	

2. 粒子概念の扱われ方について

現行の理科学習指導要領において、粒子概念が明確に導入されるのは中学校理科第 1 分野「化学変化と分子・原子」の単元である。この単元では、物質を構成している単位は原子・分子であることを、物質を分解する実験を通して理解させていく。また、化合や分解における化学変化を分子・原子のモデルを用いて考察させることや、化学反応において互いに反応する物質の質量の比が一定であることを分子・原子のモデルと関連付けてみることに よって微視的な見方や考え方を養うようにしている。

しかし、これより前の単元でも粒子的な視点で現象を捉えている内容はある。それは、中学校 1 分野「水溶液」の単元における物質の溶け方についての内容である。大日本図書株式会社発行の 2006 年度用中学校理科 1 分野上の教科書には、砂糖が水に溶けていく様子について、「固まっている砂糖の粒と粒の間に水が入り、砂糖がくずれていき、小さい粒になっていく。さらにどんどん小さくなって水に溶け、かき混ぜなくても水の中全体に散らばっていく。」と記述されている。ここでの“粒”というのは砂糖分子のことではなく、砂糖の小さな固体結晶を指していると思われるが、最終的には見えなくなるほど小さい“粒”になっているという意味を含んだ記述であり、粒子的な視点で現象を捉えていく内容となっている。

粒子概念の導入については、これまでも数多くの研究がなされてきた。前園（1983）は、中学 2 年生の生徒について、「物質の粒子性が認識される過程」を溶解の内容を通して調査したところ、物質の粒子性は生徒が発見することは殆どなく、物質の粒子性は、物質の大切な見方として指導者が教示するべきであると述べている。また近年では、福島ら（2000）による小中学校を対象とした動的粒子概念の早期導入への試みも報告されている。

3. 本研究の位置づけ

一般的に探究学習においては、「ある科学的な概念を獲得するための探究」（概念獲得型）と「ある科学的な概念を活用する探究」（概念活用型）があるとされている（江田、2004）。この 2 種類の探究学習について、村上（2005a）は探究過程と科学概念の関わりを次のように述べている。概念獲得型の探究学習は、不思議な現象を解明することにより、ある科学概念を形成していくという流れを持ち、科学概念が探究過程の結論として位置づけられる。概念活用型の探究学習では、ある科学概念を現象を解明するという必然性のもとで活用す

ることになり、科学概念が探究過程の前仮説段階における「知識・アイデア」として位置づけられる。

本研究では、現在の理科学習における“とける”ことに関する学習活動の分析、自らの興味・関心に基づく探究活動、概念獲得型の探究学習の実践などを通して、“とける”概念をテーマとした概念形成について様々な視点から論じていく。

第2章 小中学校理科の教科書調査

1. はじめに

本節では、“とける” ことについて研究を進めていく手がかりとして、小・中学校の理科の教科書において“とける” ことに関する学習がどのように展開され、どのようにして現象を理解させ、概念を形成させようとしているのかを調べ、検討した。

2. 調査資料

現行の第6期学習指導要領（1998）に準拠した小中学校教科書を使用した（表2-1）。また、出版社は統一性を図るため、株式会社啓林館のものを用了。

表2-1：“とける” ことに関する活動教材を抜き出した資料（教科書）

校種	書名	著者	発行年	出版社
小学校	新版せいかつ1年 新版せいかつ2年	武村重和 ほか16名	2000年 (平成12年度用)	啓林館
	理科3年 理科4年上 理科4年下 理科5年上 理科5年下 理科6年上 理科6年下	竹内敬人 ほか35名	2002年 (平成14年度用)	啓林館
中学校	理科1分野上 理科1分野下 理科2分野上 理科2分野下	吉川弘之 ほか38名	2002年 (平成14年度用)	啓林館

3. 調査方法

- i) 表1で示した資料から、「“とける” ことに関する活動内容」を一つ一つ項目として抜き出し、カード化した。
- ii) カード（項目）を似たもの同士で集めてグループ化し、分類の視点を探した。
- iii) いくつか出てきた視点の中から、次の2つの視点をメインに分類を行った。

「溶解か、融解か」— “とける” の種類

「“とける” 概念の獲得を意図した活動か、“とける” ことを応用・利用した活動か

—活動の種類

「溶解か、融解か」の視点、即ち“とける”の種類という視点について、溶解の内容についてはさらに「溶媒が水か、水でないか」、「溶質が固体か、液体か、気体か」という3段階にし、「“とける”概念の獲得を意図した活動か、“とける”ことを応用・利用した活動か」の視点、即ち活動型の視点については、さらに活動の目的として2つずつの視点を取り上げて、分類を行った。

4. 結果

抜き出した項目を、方法に従って表に入れた各欄の項目数の結果を表2-2に示した。また、具体的な活動の内容を記載した結果を表2-3に示した。

表2-2：“とける”ことに関する活動教材の項目数（全59項目）

			“とける”概念の獲得を意図した活動		“とける”ことを応用・利用している活動	
			“とける”とはどういうこと かを調べる活動	“とける”に関連する内容 (概念)を調べる活動	何らかの内容(概念)を調べ ることを意図した活動	何かを作る、作ったものを 使うことを意図した活動
溶解	水	固体	5	9	6	11
		液体	0	1	1	4
		気体	1	4	0	0
		区別無	0	0	2	0
	水でない	固体	0	1	6	0
		液体	0	0	0	0
		気体	0	0	0	0
融解		2	5	1	0	

作表した結果から読み取れることを、以下に箇条書きする。

① “とける” 種類による分類から読み取れること

- ・ 溶解と融解の内容では、溶解の項目数のほうがはるかに多かった(59 項目中 51 項目)。

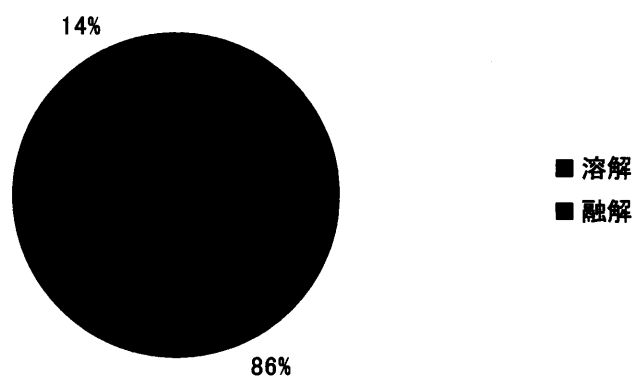


図 2-1：“とける” 種類による分類の項目数の割合

- ・ 溶解の内容の中で、溶媒として取り扱われているのは、ほとんどが水である (51 項目中 44 項目)。

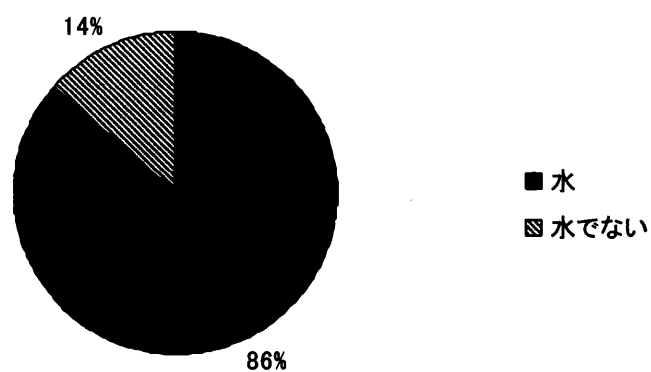


図 2-2：溶媒の種類による分類の項目数の割合

- ・ 溶解の内容の中で、溶質として取り扱われているのは、固体状態のものの割合が圧倒的に高く（51 項目中 38 項目）、液体状態と気体状態のものはほぼ同程度の項目数であった。溶媒が水ではない項目（7 項目）に限れば、溶質が液体状態、気体状態の項目は 1 つもなかった。

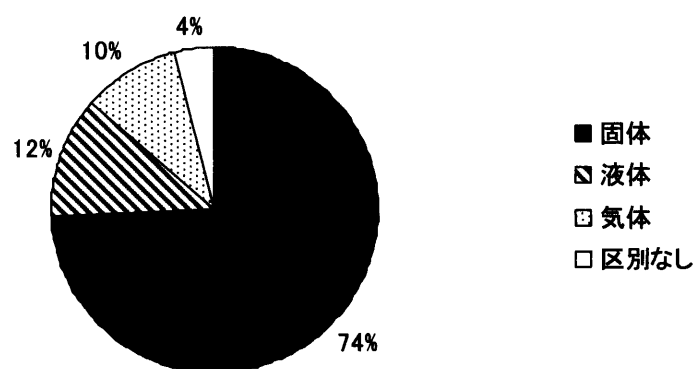


図 2-3：溶質の種類による分類の項目数の割合

② 活動の意図・目的による分類から読み取れること

- ・ “とける” 概念の獲得を意図した活動（28 項目）と、“とける” ことを応用・利用している活動（31 項目）はほぼ同じ項目数だった。

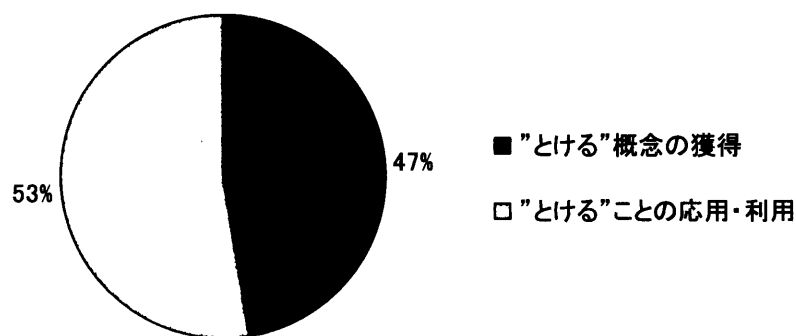


図 2-4：活動の目的・意図（第 1 段階）による分類の項目数の割合

- ・ “とける”とはどういうことかを調べる活動は少なかった（59 項目中 8 項目）。溶解の内容で溶媒が水ではない活動では、“とける”とはどういうことかを調べる活動の項目は 1 つもなかった。

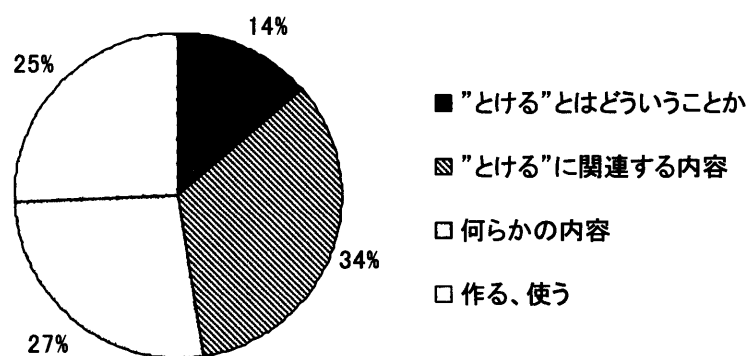


図 2-5：活動の目的・意図（第 2 段階）による分類の項目数の割合

- ・ 溶解の内容では、“とける”ことを応用・利用している活動の項目数のほうが多い（51 項目中 30 項目）が、融解の内容では、“とける”概念の獲得を意図した活動の項目数のほうがはるかに多い（8 項目中 7 項目）。

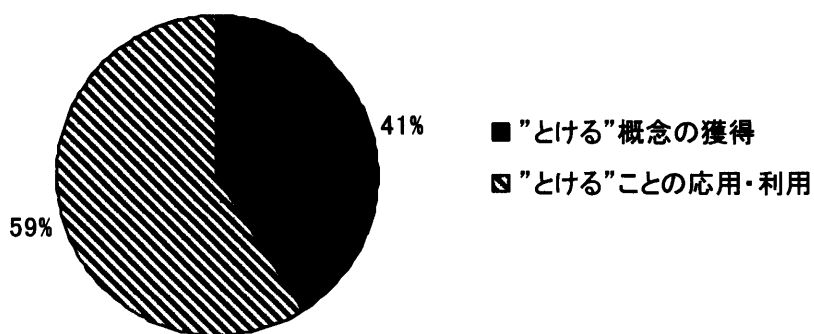


図 2-6：溶解の内容で活動の目的・意図（第 1 段階）による分類の項目数の割合

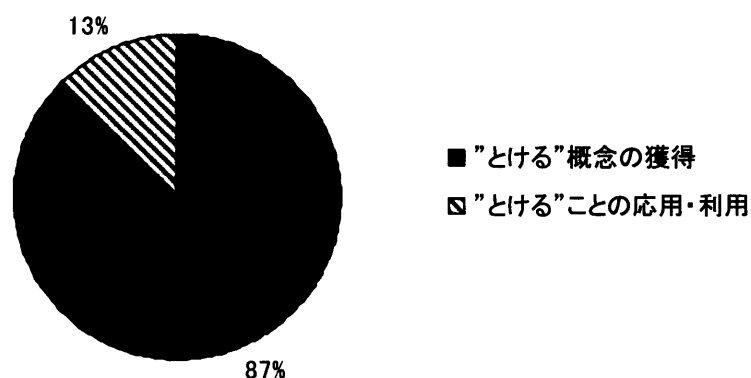


図 2-7：融解の内容で活動の目的・意図（第 1 段階）による分類の項目数の割合

5. 考察

①溶解と融解―“とける”種類の視点について

溶解と融解の“とける”種類の視点による分類では、溶解の項目数のほうが圧倒的に多い（図 2-1）。活動の目的・意図の視点を含めてみると、溶解の内容では、“とける”ことを応用・利用している活動の項目数のほうが多いが、融解の内容では、“とける”概念の獲得を意図した活動の項目数のほうがはるかに多い（図 2-6、2-7）。このことから、教科書において溶解と融解は異なる形で取り上げられていることが明らかとなった。

この理由の一つとして、溶解には水溶液という溶解に深く関係し、理科においてだけでなく、日常でも触れる機会の多い内容が学習単位としてあることが考えられる。そのため溶解の学習では、“とける”とはどういうことを学び、関連する内容を学び、そして応用・利用するという流れができています。一方、融解については、“とける”ことを応用・利用した活動が少ないため、決してそんなことはないのだが、どこか身近な現象ではない感じを受けてしまう。このことを改善する一つの提案として、融かすことでのもの作り活動を試みてはどうだろうか。例えば、ろうそく作りや、ガラス細工作り、実験で使うガラス器具の加工などである。こういった活動をすることで、融解を少しでも身近に感じるができるのではないだろうか。

②溶媒、溶質の視点について

溶解の内容の中で、取り扱われている溶媒はほとんどが水であり（図 2-2）、溶質は大半

が固体状態のものである（図 2-3）。

水は、最も身近に存在する最も有名な溶媒なので、取り扱われる溶媒のほとんど水であることは当然といえば当然である。溶媒が水以外の項目をみると、酸の水溶液に金属を溶かすという内容の活動が多く、この現象にはイオン化傾向などイオンの概念が入ってくるため、イオンを扱わない現行の教科書においては、“とける”メカニズムなどに触れることができないため、気体が発生するかどうかを調べる程度の扱いでしかない。

溶質が固体状態のものが多いことについては、溶解を視覚的に捉えさせようとする意図があると考えられる。“とける”とはどういう現象なのかということを突き詰めていくと、イオンや極性、水素結合などの概念が出てくるため、小中学校段階では深く踏み込むことができない。そこで、小学校でも中学校でも、見えていた物質が見えなくなったことで“とけた”と認識させるようになっている。このため、溶媒（水）との区別がつきにくい液体や、目に見えない気体を溶質として扱う内容が少なくなっていると考えられる。

③活動の目的・意図の視点について

注目したのは、“とける”とはどういうことかを調べる活動が少ないことである（図 2-5）。本来なら、“とける”ことを学習する基礎になる最も大切な活動であるはずである。このことに、“とける”という現象のメカニズムを突き詰めていくことが、小中学校段階では困難であると考えられていることが表れていると思う。活動一つ一つをみても、視覚的に溶質が見えなくなることで、“とけた”と認識させることや、水分を蒸発させて何も残らなければ、その水溶液には気体が溶けていたとすることなど、ある意味“とける”本来の姿をごまかしたような活動が多い。確かに、“とける”という現象のメカニズムを理解するのは非常に難しい。少しでも子どもがスムーズに理解できるように工夫されているのわかる。しかし、そのことが原因で“とける”ことに対する子どもの誤った認識が生まれてしまっているのも事実である。例えば、“溶ける”の判断を溶質が見えなくなることにしたことで、溶けた物質は消えてなくなったとイメージしてしまう子どもが少なくない（堀、2000）。物事を理解していくには、イメージがとても重要になってくる。一つの提案として、“とける”という現象を、小学校段階では視覚的に捉えることが限界であるかもしれないが、中学校段階からは現象を視覚的に捉えるだけでなく、もう一步踏み込んで、粒子的に現象をイメージさせていける工夫をしていくべきであると思う。粒子的なものの見方に立って現象を捉えていく姿勢を持つことを、“とける”ことの学習を通して是非とも伝えていきたい。“とける”という現象は、粒子概念の導入として非常にいい機会にな

ると考える。

④溶かしたときの体積変化について

融解の内容では、中学校 1 分野上において、二酸化炭素が昇華したときや、ロウが凝固したときの体積と質量の変化を調べる活動がある。一方で、溶解の内容では、小学校、中学校ともに、物質を水に溶かしたときの水と物質全体の質量を比べる活動はあるが、体積の変化について調べる活動はなかった（表 2・3）。溶解の前後で全体の質量は保存されることを学習すれば、おのずと体積はどうなるのだろうかという思いを持つ子どもも少なくはないはずである。私自身、卒業研究で結晶を作った際に、水に食塩を溶かす前後で溶液全体の体積が減少していることに気づき、以来ずっと不思議に思っていた。質量が保存されるということも、体積は保存されないということがあってこそ、“すごいことだ”ということになる。このようなことから、溶かしたときの体積変化について取り入れていくことには大きな意味があると考え。メカニズムを突き詰めていくことは困難であるとしても、中学校段階までで扱えるように簡略化したモデルの開発など考えていけるはずである。

表 2-3：“とける” ことに関する活動教材の分類結果 () 内は各項目を抜き出した資料と掲載ページを表す

		“とける” とはどのようなことを調べる活動	“とける” に関連する内容 (概念) を調べる活動	何らかの内容 (概念) を調べることを意図した活動	何かを作る、作ったものを使うことを意図した活動
溶解	溶媒が水である 溶質が固体である	●食塩を水に入れ、溶かした液を観察する。(5 年下 p. 26-27) ●コーヒージャガーをお茶パックに詰め、水の中につけ、様子を観察する。(5 年下 p. 26-27) ●コーヒージャガーを水に溶かし、溶質 (コーヒージャガー) はどのようなになるか観察する。(1 分野上 p. 61) ●コーヒージャガーを水に入れて、そのまま放置する。コーヒージャガーが溶けて、次第に茶色が全体に広がっていく様子から、水溶液の性質をみつける。(1 分野上 p. 62) ●食塩水をスライドガラスなどに取り、蒸発させる。(6 年上 p. 52)	●水に食塩を溶かし、溶かす前後の全体の重さを比べる。(5 年下 p. 29) ●水 25ml に食塩をさじで 1 杯ずつ入れてはよく混ぜ、溶け残りが出るまで何杯入れたかを記録する。さらに、水を 50ml にしたときも同様に調べる。(ミヨウバンについても同様に調べる。)(5 年下 p. 31) ●常温で溶け残りのあるミヨウバンや食塩の水溶液を、約 20℃になるまで温め、溶け残りが出るまでさじで何杯溶けるか調べる。さらに、約 20℃で溶け残りのある水溶液の温度を、約 40℃および約 60℃に上げ、溶け残りが出るまでさじで何杯溶けるか調べる。(5 年下 p. 32-33) ●水の温度を上げて作ったミヨウバンの水溶液が冷えて、液の中から現れたミヨウバンの粒を、ろ紙でこして取り出す。(5 年下 p. 35) ●ろ過したミヨウバンの液を試験管にとり、氷水で冷やす。粒が現れるか調べる。(5 年下 p. 36) ●物質 (食塩) を水に溶かし、溶かす前後の全体に質量を比べる。(1 分野上 p. 62) ●一定量 (100g) の水に溶ける物質の質量を、水の温度を変えながら測定する。(1 分野上 p. 63) ●ミヨウバン、塩化ナトリウム、コハク酸、硝酸カリウムの 4 種類の 60℃の飽和水溶液から 1 つ選んで、溶けている物質をとり出す。また、とり出した物質の形を顕微鏡で観察する。(1 分野上 p. 65) ●ミヨウバンの水溶液 (30～40%) を入れた容器 2 つを湯につけて、1 つは途中で氷水に移す。冷え方と結晶のでき方で	●水を入れたビーカーの底の端に、絵の具または朱液を入れ、絵の具の動いていく (上) の底を温める。絵の具の動きを温まり方 (対流) を調べる。(4 年下 p. 34) ●酸素系漂白剤に約 80℃の湯を加えて、酸素を発生させる。(1 分野上 p. 56) ●発泡入浴剤に湯を注ぐ、ふろがま洗浄剤に湯を注ぐ、入れ歯洗浄剤に水を注ぐ、配水管洗浄剤に湯を注ぎ、発生した気体が何であるか調べる。(1 分野上 p. 59) ●炭酸水素ナトリウムを加熱し、加熱後に残った物質と炭酸水素ナトリウムを水に溶かして、フェノールフタレイン液を加えたときの変化を比べる。(1 分野上 p. 7) ●水酸化ナトリウムなどを水に溶かした水溶液に電流を通す。(1 分野下 p. 10-11) ●塩化銅水溶液に電流を通す。(1 分野下 p. 12)	●せっけんをお湯で溶かして、しゃぼん玉液を作る。(せいかつ 1 年 p. 39) ●洗剤を水やお湯に溶かして、いろいろなところを洗う。(せいかつ 1 年 p. 47) ●水を入れた試験管をビーカーの中に立て、そのまわりに水を入れて、2 分毎に試験管の水の温度と様子を記録する。(4 年下 p. 45) ●約 60℃のミヨウバンの濃い水溶液をつくり、モールで好きな形を作ったものを吊るし、水溶液が急に冷えないように箱などに入れておく。(5 年下 p. 38) ●湯 50ml に寒さじの小さじ 1 杯のどんぶ (カタクリ粉など) をいれ、ガラス棒でよくかき混ぜて作ったうすいどんぶんの液に、唾液を加えてよくかき混ぜる。(6 年上 p. 18) ●レーザーの光をセッケン水にあてたときの様子を観察する。(1 分野上 p. 4, 12) ●40℃くらいのミヨウバンの飽和水溶液を作り、形の美しい結晶を釣り糸で縛って飽和水溶液の中に吊るし、発泡ポリスチレンの箱に入れ放置する。(1 分野上 p. 66) ●よく冷やした水を炭酸飲料用のペットボトルに入れ、炭酸水素ナトリウムを加えて、レモンのしぼり汁を加える。すばやくふたをして軽く振り混ぜ、炭酸水素ナトリウムを完全に溶かし、炭酸水を作る。(1 分野下 p. 96) ●加えるホウ砂の量を変えて、濃さの違うホウ砂の水溶液を 2 つ作る。PVA 洗剤に水を加えてよく混ぜたものを 2 つ作り、濃さの違うホウ砂の水溶液を加え

		違いを調べる。(2分野上 p. 60)		て再びよく混ぜて、ねばりけの違う2つのスライムを作る。(2分野上 p. 56) ●スライドガラスに10%砂糖水を1滴落とし、その上にホウセンカやカボチャの花粉を落とす。顕微鏡で花粉管ののびる様子を観察する。(2分野下 p. 41) ●ふるいに通したいろいろな場所の土をそれぞれペットボトルに入れる。土を入れないペットボトルも用意し、それぞれのペットボトルに1%ブドウ糖水溶液を入れる。ペットボトルに栓をして、25～30℃で1日間保ち、二酸化炭素用気体検知管でペットボトル内の気体に違いがあるか調べる。(2分野下 p. 88)
				●透明な水槽に仕切りを立て、片側にはインキで着色した冷たい水を、もう片側には温かい水を入れておいて、仕切りの板をはずす。インキがどのように動くかを観察する。(2分野下 p. 22)
溶質が液体である		●水とエタノールの混合物を加熱し、発生した気体を氷水で冷やし、液体(エタノール)をとり出す。(1分野上 p. 51)		●消毒用のヨードチンキを水でうすめたものを、調べたいものの切り口にたらし。(5年上 p. 7) ●液体肥料を溶かした水を、植物に与える。(5年上 p. 10-11) ●着色した水(赤いインキ、食紅などを溶かした水)にさしておいた植物の茎をかみそりの刃で輪切りや縦切りにして、切片を双眼実体顕微鏡で観察する。(2分野上 p. 21) ●いろいろな野菜を集めて、食紅などを溶かして色をつけた水につける。(2分野上 p. 37)
溶質が気体である	●塩酸や炭酸水をスライドガラスなどに取り、蒸発させる。(6年上 p. 52)	●炭酸水から出る気体を、試験管や集気ビンに集めて、石灰水を加えたり、ロウソクの火を入れたりして気体の性質を調べる。(6年上 p. 53) ●ペットボトルに半分ほど水を入れ、ポンペの二酸化炭素を吹き込んで蓋をし、ペットボトルをよく振る。(6年上 p. 53) ●二酸化炭素を溶かした水溶液と炭酸水のそれぞれに石灰水を加えて、両者の変化を比べる。(6年上 p. 54) ●乾いたフラスコの中にアンモニアを入れて、フェノールフタレイン液を5,6滴加えた水を吸い上げる。(1分野上 p. 58)		

				●いろいろな水溶液で電流を通すかどうか調べる。(1分野下 p.76) ●いろいろな場所から汚水を持ってきて、簡易水質検査試薬で水の汚れを調べる。活性汚泥を汚水に入れ、エアープンプで酸素を送りながら一晩置き、再び簡易水質検査試薬で調べる。(2分野下 p.89)	
				●鉄とアルミニウムの小片を別々の試験管に入れ、それぞれにうすい塩酸、食塩水、水酸化ナトリウム水溶液を加える。(6年上 p.46-47) ●ペーキングパウダーにうすめた食酢を加えて、二酸化炭素を発生させる。(1分野上 p.56) ●亜鉛や鉄などの金属にうすい塩酸を加えて、水素を発生させる。(1分野上 p.57) ●酸性を示す水溶液やアルカリ性を示す水溶液にマグネシウムリボンを入れる。気体が発生するか調べる。(1分野上 p.68) ●いろいろな水溶液や金属板を組み合わせて、電気エネルギーがとり出せるかどうか調べる。(1分野下 p.75) ●一部をアルミニウムはくで覆ったふ入りの葉に、よく光を当てた後、熱湯につけ、90℃の湯につけたエタノールにつけて脱色し、ヨウ素液につける。(2分野上 p.27)	
区 別 が ない				●うすい塩酸に金属を溶かした液を、少量蒸発皿に取り加熱し、蒸発皿に残ったものにうすい塩酸を加える。もとの金属にうすい塩酸を加えた場合と違いはあるか調べる。(6年上 p.49)	
	溶 媒 が 水 で ない	溶 質 が 固 体 で ある			
					溶 質 が 液 体 で ある

	溶質が気体である				
融解		●液体窒素を使い、エタノールや水銀を冷やす。(1分野上 p.45) ●塩化ナトリウムをるつぽに入れて強く加熱する。(1分野上 p.45)	●水を入れた試験管をビーカーの中に立て、そのまわりに水を入れて、水に食塩を混ぜたものを水にかけて、2分毎に試験管の水の温度と様子を記録する。(4年下 p.45) ●ドライアイス (固体の二酸化炭素) と液体のロウをそれぞれ入れて密閉した容器をデジタル天秤にのせ、しばらく放置する。体積や質量が変化するかどうか調べる。(1分野上 p.47) ●パルミチン酸を試験管に入れて加熱したときの温度変化の様子を調べる。パルミチン酸は一度融かして冷やし固めたものを使う。(1分野上 p.47) ●セタノール、パルミチン酸、ナフタレンを細かい粉末にしたものを、細いガラス管にそれぞれつめ、ビーカーの水の中につける。弱火でゆっくりとビーカーを加熱していき、物質が融ける瞬間の温度を読み取る。(1分野上 p.49) ●ロウを融かしたときの温度変化を調べる。(1分野上 p.50)	●金属棒や、金属板にロウを塗り、棒や板の端を温める。ロウが融けていく様子を観察して、金属の温まり方を調べる。(4年下 p.30-31)	

第3章 “とける” ことに関する探究活動

1 節 固体の密度測定

1. はじめに

卒業研究で結晶を作ったときに、水に物質を溶かす操作を何度も行った。水に物質を溶かす操作をしている中で、水に食塩を溶かしたときに、食塩が溶ける前と溶けた後では体積が減少していることに気づいた。それまで水に物質が溶けることで溶液全体の体積が減少するとは思っていなかったため、私にとって新たな発見となった。他の物質ではどうなるのだろうかに興味を持ち、また、なぜ体積が減少するのだろうか疑問を抱いた。そこで、溶解による体積変化について自分なりに、自由研究のように追究していくことにした。

溶解における体積変化（第2節）では、（溶解前の）溶質と溶媒の体積の和に比べて、（溶解後の）溶液の体積がどうなっているのかを調べることにした。溶媒と溶液については液体なのでメスシリンダーを用いれば体積を直接測定することができる。しかし、溶質についてはほとんどが固体のものであるため、固体の体積を求める必要が出てきた。

固体の体積の求め方には、固体をその固体を溶かさな液体の中に入れ、その液体の増加体積を測定する方法（以後、直接法とよぶことにする）と、固体の質量を測定し、質量と密度から求める方法（以後、間接法とよぶことにする）がある。直接法は、最小目盛の10分の1は目分量となる測定のため、密度が分かっているのであれば、間接法のほうが精確である。

以上のことから、溶解における体積変化を調べる方法として、溶質、溶媒、溶液の質量を測定し、質量と密度から換算してそれぞれの体積を求めていくことにした。そのため、溶質となる物質、溶媒となる物質、それらを溶かした溶液の密度の値が必要になった。

密度の値を求めるには体積測定が伴う。溶媒となる物質と溶液の密度については、ホールピペットを用いることで精度を確保することができるが、溶質となる物質の密度については直接法による体積測定を伴うため、精確に求められるのか疑問が残る。

溶質となる物質は、砂糖や食塩など身近なものから始めて、その後にカリミョウバンなどの薬品に移ろうと考えている。どの物質にしても、密度の値は既に文献値として求められている。文献値をそのまま使うのも一つの方法ではあるが、なるべく自分が実験をして得た値を使いたいという思いがある。そこで、溶質となる物質として選ぶであろういくつ

かの固体物質について、直接法で固体物質の体積を測定し、密度を求めた。

2. 砂糖と食塩の密度測定

溶解における体積変化を調べるにあたって、溶質、溶媒の組み合わせはいくつもある。その中でまずは、自らの調べてみたいという思いと、日常生活で非常に身近に存在している物質であり、溶かす機会も多いという面から、市販の砂糖と食塩を水に溶かしたときの体積変化を調べることにした。

2-1 2種類のメスシリンダーによる密度測定

体積の測定は 10ml メスシリンダーを用いて行った。ここでは、内径の小さい細形メスシリンダーと、内径の大きい太形メスシリンダーの 2 種類のメスシリンダーでそれぞれ測定を行った。

<準備物>

10ml メスシリンダー（細形：内径 9.55mm、0~10ml までの距離 14.00cm、太形：内径 10.85mm、0~10ml までの距離 10.63cm）（ともに最小目盛り 0.1ml）、デジタル天秤（最小単位 0.001g）、超音波洗浄器、薬さじ、薬包紙、紙で作った筒、n - ヘキサン

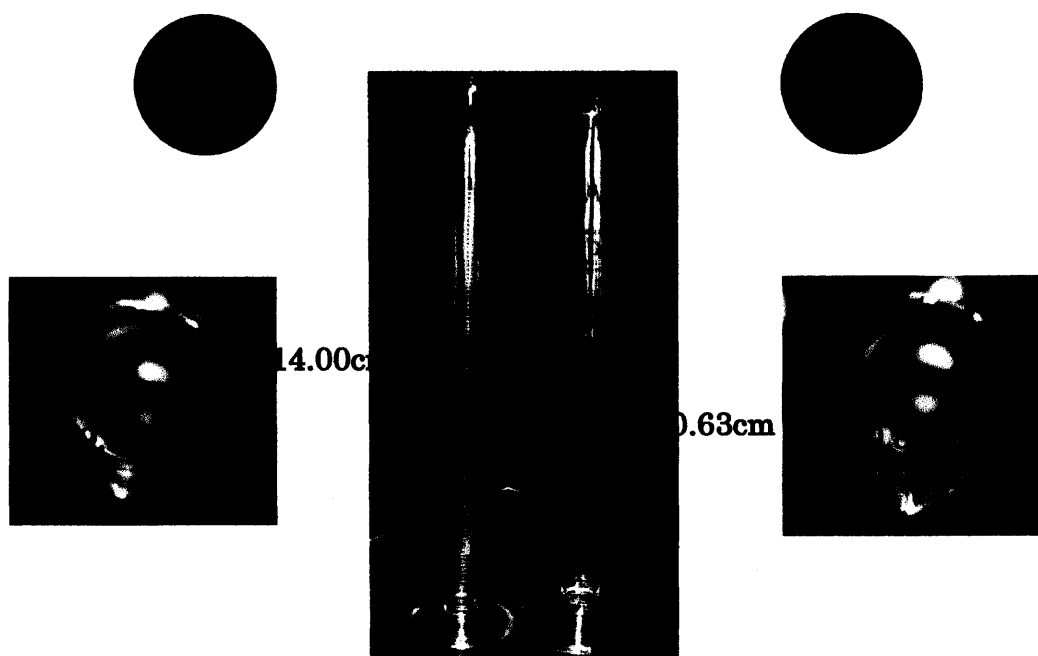


図 3-1-1 測定に用いた 2 種類の 10ml メスシリンダー

<測定試料>

砂糖（市販）、食塩（市販）



図 3-1-2 測定試料

<実験手順>

- i) メスシリンダー（内側に水分が残っていた場合はティッシュペーパーなどを詰め込み拭き取った）に n -ヘキサンを入れた。
- ii) 試料を入れたときにメスシリンダーの内側の壁面に付着しないように、紙の筒でメスシリンダーの内側の壁面についている n -ヘキサンを吸い取った。
- iii) 測定する試料を測り取った。※1
- iv) メスシリンダーを含めた全体の質量と、 n -ヘキサンの体積を測定した。
- v) 試料を n -ヘキサンの中に入れ、メスシリンダーを超音波洗浄器にかけて中の気泡をとばした。
- vi) メスシリンダーを取り出してメスシリンダーに付着した水分をふき取り、メスシリンダーを含めた全体の質量と、物質が入った状態の n -ヘキサンの体積を測定した。
- vii) 質量増加と体積増加から、 n -ヘキサンの中に入れた試料の密度を求めた。
- viii) i) ~vii) の操作を、砂糖、食塩の各質量について細形メスシリンダー、太形メスシリンダーでそれぞれ 5 回ずつ試行し、平均値を求めた。

※1 測定する試料の質量は約 0.5g から 0.5g 刻みに約 3.0g まで行った。

<結果>

砂糖と食塩の密度の測定結果をグラフにまとめた（図 3-1-3、図 3-1-4）。比較をしやすいように、細形メスシリンダーと太形メスシリンダーによる測定結果を並べて示した。また、密度の測定値にはその±SE の範囲を示し、各図には赤いラインで文献値（国立天文台、2004）（砂糖はスクロース、食塩は塩化ナトリウムの値）を示した。

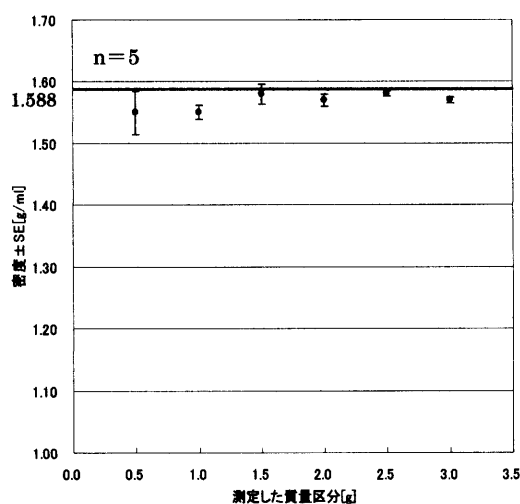
SE とは、一般に、平均値の標準誤差 standard error of mean の意味で使われる略語で、平均値の信頼区間を表すのに使われる。その大きさはデータ数 n に依存し、SD の $1/\sqrt{n}$ になっている。SE を求める式は次の通りである。

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}}$$

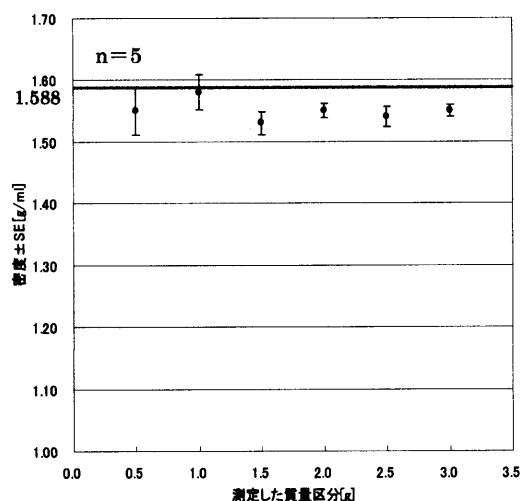
以後の記述においては、SE を「値のバラつき」と呼ぶことにした。

砂糖と食塩どちらの場合も、測定した質量が大きくなれば、密度の値は文献値に近い値となり、値のバラつきも小さくなった。測定した質量が小さい場合は、密度の値は文献値よりも小さい値になり、値のバラつきは大きい傾向があった。

また、細形メスシリンダーのほうが太形メスシリンダーよりも全体的に密度の値が文献値に近い値となり、値のバラつきも小さかった。

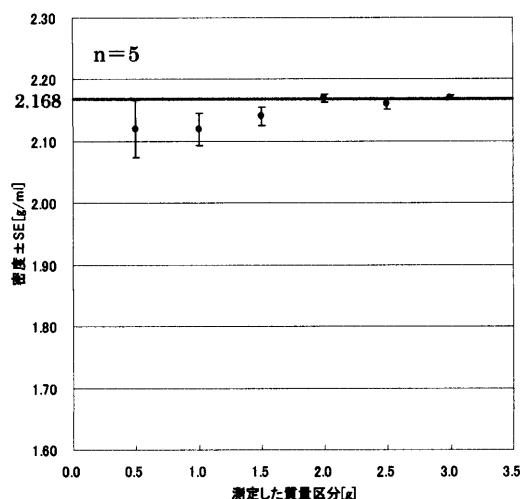


細形メスシリンダー

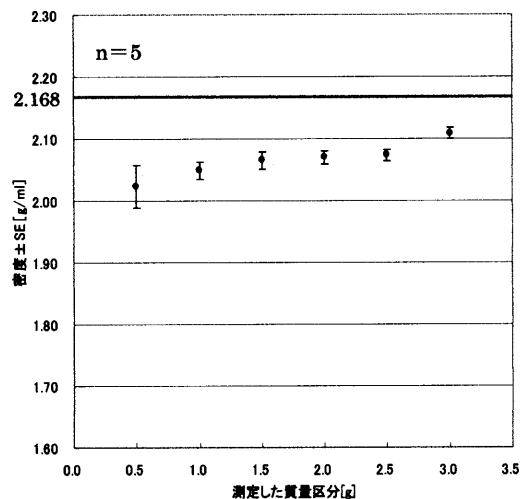


太形メスシリンダー

図 3-1-3 砂糖の密度測定結果（平均値±SE）



細形メスシリンダー



太形メスシリンダー

図 3-1-4 食塩の密度測定結果 (平均値±SE)

<考察>

本測定から、細形のメスシリンダーを用い、測定する質量を大きくすることで、食塩の密度は文献値に近い値が測定できることが分かった。値のバラつきも含めると、5回の測定で測定する質量を 2.0g 以上にすると、SE は 0.01%以下となり、密度を精確に測定することができるといえる。砂糖の密度についても同様に、測定する質量を大きくすることで文献値に近い値が測定できるようになる傾向があった。また、砂糖と食塩のどちらの場合も、太形メスシリンダーは密度測定には適しておらず、細形メスシリンダーを用いても、測定する質量が小さいと、密度を精確に測定することはできない。

本実験では、質量と体積を測定しているが、質量については精確に測定ができているといえる。しかし、体積については最小目盛りの 10 分の 1 を目分量で読み取るため、読み取りによる誤差が生じてくる。今回用いた 2 種類のメスシリンダーは最小目盛りが 0.1ml で同じであり、細形のほうが 0~10ml の目盛りまでの高さ（長さ）が大きいため、一目盛りの間隔が大きい。そのため、最小目盛りの 10 分の 1 の値が読みやすくなり、読み取りの誤差が小さくなったことが、全体的に細形メスシリンダーの測定精度が高かった要因と考えられる。また、測定する質量が小さい場合については、体積の増加量も小さいため、体積を読み取る際の誤差の影響が大きくなる。そのため、測定値のバラつきが非常に大きくなったと考えられる。これらのことから、密度の測定精度には体積の測定精度が大きく影響しており、体積測定の際の読み取り誤差の影響を小さくすることで、直接法で物質の体積を

測定する方法でも密度を精確に求めることができるといえる。

このように考えると、今回の測定では 3.0g までしか測定していないが、太形メスシリンダーを用いた場合でも、測定する質量をさらに大きくしていけば精確な値が出せる可能性はあるといえる。しかし、測定する質量を大きくしすぎると、 n -ヘキサンに物質が浸かりきらなくなってしまうため、液体の増加体積の測定ができなくなってしまう。また、測定する物質の量が大きいと、物質も多く必要になり、測定にも時間がかかる。これらのことから、やはり太形メスシリンダーは今回の測定方法には適していないといえ、以後の測定は細形メスシリンダーを用いて行っていくことにする。

以上のように、条件を整えれば、砂糖と食塩の密度を精確に測定できることが分かったが、細形メスシリンダーを用いた測定質量の小さい場合、及び太形メスシリンダーを用いた場合に密度の測定値が文献値より小さい値になったことについて疑問が残る。測定した質量が小さい場合は、測定値にバラつきがあり、文献値よりも大きい値が出ることもあった。しかし、太形メスシリンダーでは測定した質量が大きくなると、密度の測定値は文献値よりも常に小さい値で安定した。このことは、先に述べた体積測定の読み取り誤差では説明をつけることはできない。密度の値が常に小さくなるということは、増加体積の値が常に大きく測定されているということになるが、なぜ増加体積の値が大きくなってしまうのか、その要因をつかむことはできず、課題となったが、以下のことが考えられる。

- ・ 結晶表面に付着した空気の影響
- ・ 結晶間の空気を脱気しきれなかった影響
- ・ 粒子の大きさによる影響

2-2 粒子の大きさによる密度測定

2-1 において砂糖と食塩の密度を精確に測定することができた。しかし、固体の密度をその粉末を用いて精確に測定するのは困難であるといわれている。確かに、市販の砂糖や食塩の結晶の大きさは小さいが、粉末と呼ぶには大きい感じがする。そこで、砂糖と食塩の結晶の大きさを変え、結晶の大きさが密度測定に与える影響について調べた。2-1 の考察より、細形のメスシリンダーを用いて測定を行った。

<準備物>

10ml メスシリンダー（内径 9.55mm、0~10ml までの距離 14.00cm）（最小目盛り 0.1ml）、デジタル天秤（最小単位 0.001g）、超音波洗浄器、薬さじ、薬包紙、紙で作った筒、n - ヘキサン、ガラス棒、乳鉢、乳棒

<測定試料>

砂糖（乳鉢で 20 回すったもの、50 回すったもの、100 回すったもの）、食塩（乳鉢で 20 回すったもの、50 回すったもの、100 回すったもの）

<実験手順>

- i) 砂糖と食塩をそれぞれ乳鉢で 20 回すったもの、50 回すったもの、100 回すったものを作った。
- ii) メスシリンダー（内側に水分が残っていた場合はティッシュペーパーなどを詰め込み拭き取った）に n - ヘキサンを入れた。
- iii) 試料を入れたときにメスシリンダーの内側の壁面に付着しないように、紙の筒でメスシリンダーの内側の壁面についている n - ヘキサンを吸い取った。
- iv) 測定する試料を約 2.5 g 測り取った。
- v) メスシリンダーを含めた全体の質量と、n - ヘキサンの体積を測定した。
- vi) 試料を n - ヘキサンの中に入れ、メスシリンダーを超音波洗浄器にかけて中の気泡をとばした。
- vii) メスシリンダーを取り出してメスシリンダーに付着した水分をふき取り、メスシリンダーを含めた全体の質量と、物質が入った状態の n - ヘキサンの体積を測定した。
- viii) 質量増加と体積増加から、n - ヘキサンの中に入れた試料の密度を求めた。
- ix) ii) ~viii) の操作を各資料について 5 回ずつ試行し、平均値を測定密度とした。

<結果>

砂糖と食塩の結晶の大きさを変えて密度を測定した結果をそれぞれグラフにまとめた（図 3-1-5、3-1-6）。また、密度の測定値にはその±SE の範囲を示し、各図には赤いラインで文献値（国立天文台，2004）を示した。

砂糖も食塩の場合も、乳鉢で 50 回すったもの、100 回すったものは市販状態のものより

も密度の測定値が小さくなり、文献値との差が大きくなった。

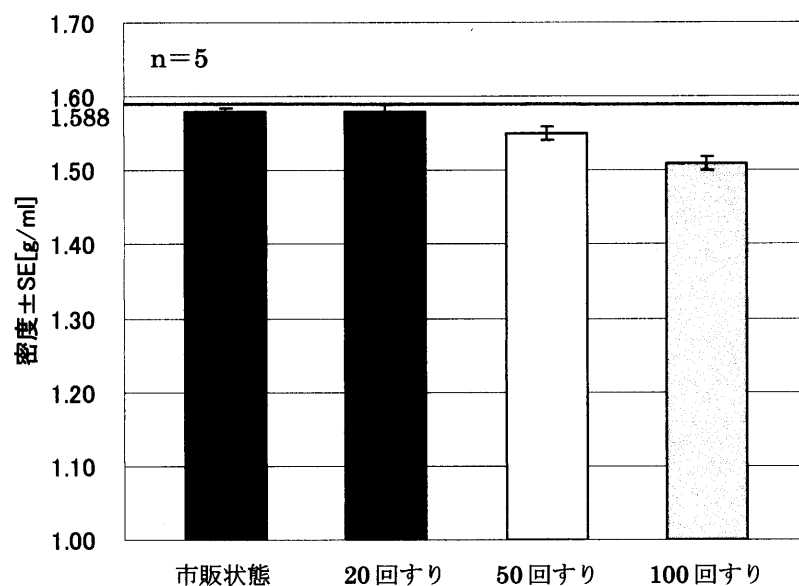


図 3-1-5 結晶の大きさの違いによる砂糖の密度測定結果 (平均値±SE)

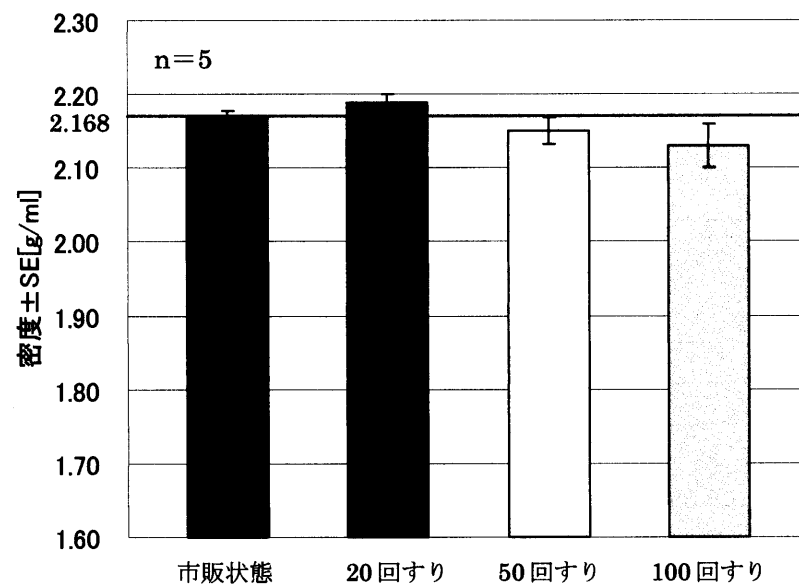


図 3-1-6 結晶の大きさの違いによる食塩の密度測定結果 (平均値±SE)

<考察>

砂糖、食塩共に乳鉢で 50 回すったもの、100 回すったものが市販状態のものよりも密度の測定値が小さくなったことから、結晶粒子の大きさが小さくなると、直接法で物質の体積を測定する方法では密度を精確に求めることができなくなるといえる。

化学大辞典には、「固体微粒子のような試料には適当な比重瓶を用い、密度既知の液体で空所を満たし秤量して計算する。」とある。比重瓶を用いた固体粒子の密度測定方法を図 3-1-7 に示した。

質量 $m_1 \sim m_4$ を測定し、計算する。減圧下で滴下し恒温槽で温度一定に保つ（液体の密度に影響）。

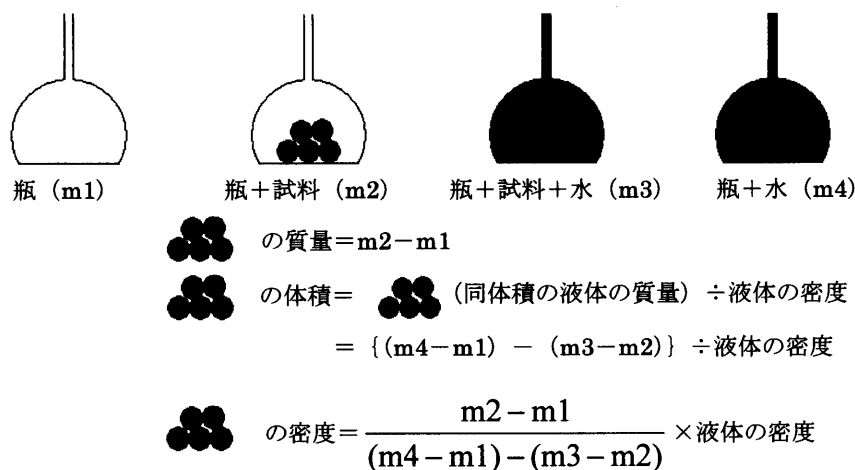


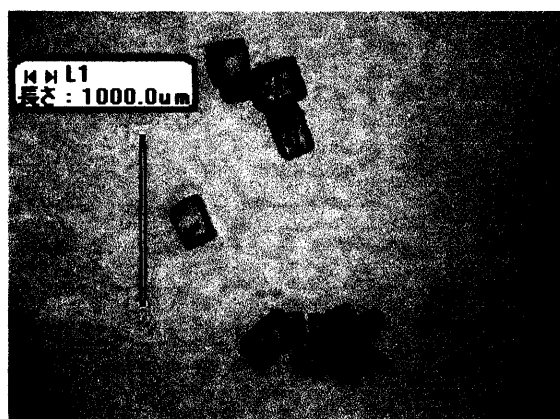
図 3-1-7 比重瓶を用いた固体粒子の密度測定方法

このように、比重瓶を用いた密度測定では物質の体積を比重（密度）を通じて間接的に求めるため、体積を直接測定することはない。私の行った実験との大きな違いであり、体積を直接測定していることが結晶粒子の小さいものの密度を精確に測定できなかった要因であると考えられる。

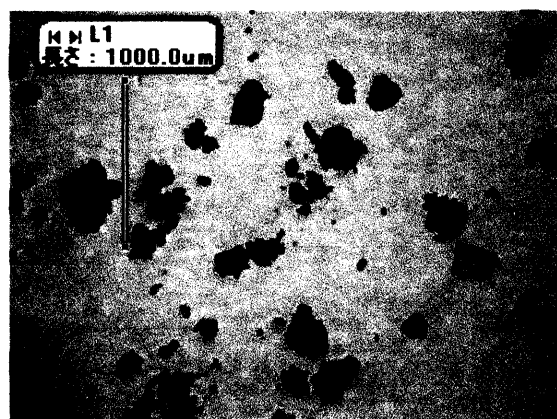
結晶粒子の小さいものの密度の測定値が小さくなるということは、 n -ヘキサンが増加体積の値を実際よりも大きく読み取っているということである。つまり、結晶粒子が小さくなると、増加体積の測定値が大きくなってしまうということである。結晶粒子が小さくなると、同じ質量での結晶の表面積が大きくなる。また、今回の実験では結晶をすりつぶしたことによって結晶表面が凸凹になっている（図 3-1-9）。このため、結晶表面に空気が付着しやすくなり、超音波を当てても脱気が十分にはできず、空気の体積の影響により n -ヘキサンの増加体積が大きくなったと考えられる。

また、実験操作においても結晶粒子が小さくなったことの影響がはっきりとみられた。100 回すったものはほぼ粉末状であり、メスシリンダーの中の n -ヘキサンに入れようとすると、どうしても少量の物質がメスシリンダーの内側の側面に付着してしまうなど、測定を正しく行うこと自体が困難になった。

今回の実験では結晶をすりつぶして結晶粒子を小さくしたため、結晶の形（表面の凸凹など）が変わってしまい、結晶粒子の大きさが密度測定に与える影響だけでなく、結晶の形による影響もあると考えられるが、結晶をすりつぶしことで、密度を精確に測定することができなくなることはわかった。市販状態の砂糖や食塩は、物質の体積を直接法で測定する方法で密度を求めることのできる結晶粒子の大きさや形をしているということがいえる。

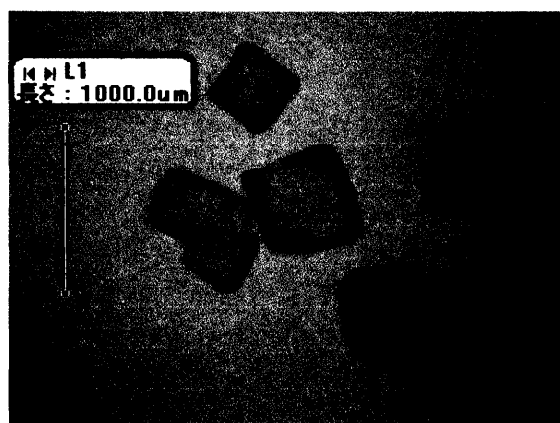


市販状態のもの

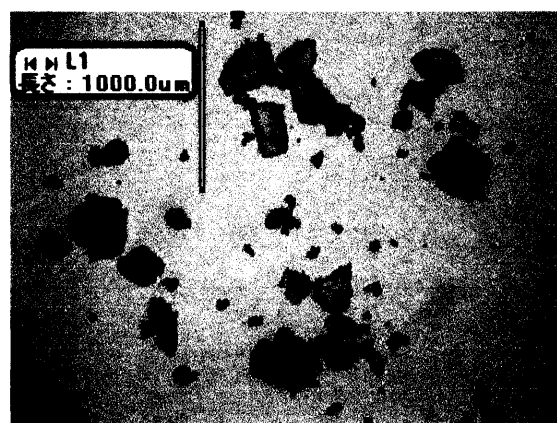


100回すったもの

図 3-1-8 砂糖の結晶粒子



市販状態のもの



100回すったもの

図 3-1-9 食塩の結晶粒子

3. カリヨウバンと塩化アンモニウムの密度測定

溶解における体積変化を調べる溶質と溶媒の組み合わせとして、砂糖、食塩を水に溶かすという身近な組み合わせの次は、教科書や溶解に関する教材において扱われている組み

合わせで調べることにした。選んだのは、結晶作りで扱われているカリミョウバンと水の組み合わせ、再結晶を利用して雪を降らせる（横須賀，2000）で扱われている塩化アンモニウムと水の組み合わせである。

3-1 密度測定

カリミョウバンと塩化アンモニウムの密度測定を細形メスシリンダーを用いて行った。

<準備物>

10ml メスシリンダー（内径 9.55mm、0~10ml までの距離 14.00cm）（最小目盛り 0.1ml）、デジタル天秤（最小単位 0.001g）、超音波洗浄器、薬さじ、薬包紙、紙で作った筒、n - ヘキサン

<測定試料>

カリミョウバン（硫酸カリウムアルミニウム、 $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ）、塩化アンモニウム（ NH_4Cl ）

<実験手順>

- i) メスシリンダー（内側に水分が残っていた場合はティッシュペーパーなどを詰め込み拭き取った）に n - ヘキサンを入れた。
- ii) 試料を入れたときにメスシリンダーの内側の壁面に付着しないように、紙の筒でメスシリンダーの内側の壁面についている n - ヘキサンを吸い取った。
- iii) 測定する試料を測り取った。^{※1}
- iv) メスシリンダーを含めた全体の質量と、n - ヘキサンの体積を測定した。
- v) 試料を n - ヘキサンの中に入れ、メスシリンダーを超音波洗浄器にかけて中の気泡をとばした。
- vi) メスシリンダーを取り出してメスシリンダーに付着した水分をふき取り、メスシリンダーを含めた全体の質量と、物質が入った状態の n - ヘキサンの体積を測定した。
- vii) 質量増加と体積増加から、n - ヘキサンの中に入れた試料の密度を求めた。
- viii) i) ~vii) の操作を、カリミョウバン、塩化アンモニウムの各質量について 5 回ずつ試行し、平均値を求めた。

※1 測定する試料の質量は約 0.5g から 0.5g 刻みに約 3.0g まで行った。

<結果>

カリミョウバンと塩化アンモニウムの密度の測定結果をグラフにまとめた（図 3-1-9、図 3-1-10）。また、各図には赤いラインで文献値（国立天文台，2004）を示した。

カリミョウバン、塩化アンモニウムのどちらも、測定する質量が大きくなると密度の値のバラつきは小さくなった。これは 2-1 の砂糖や食塩の場合と同じである。しかし、砂糖や食塩の場合と違い、測定する質量が大きくなっても密度の値は文献値に近づいてこず、文献値よりも小さい値で安定した。

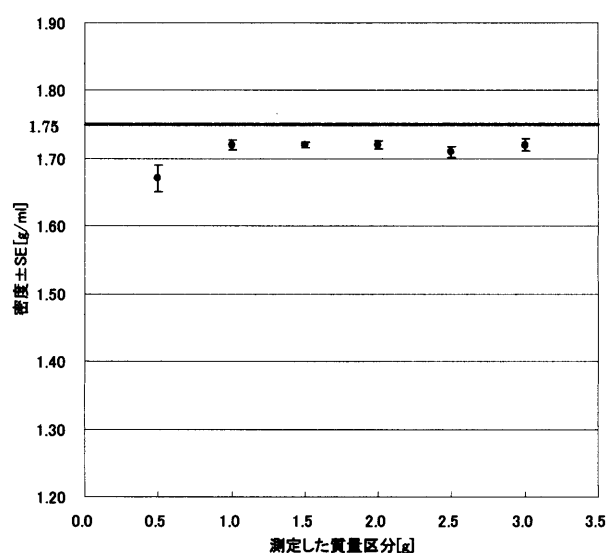


図 3-1-9 カリミョウバンの密度測定結果（平均値±SE）

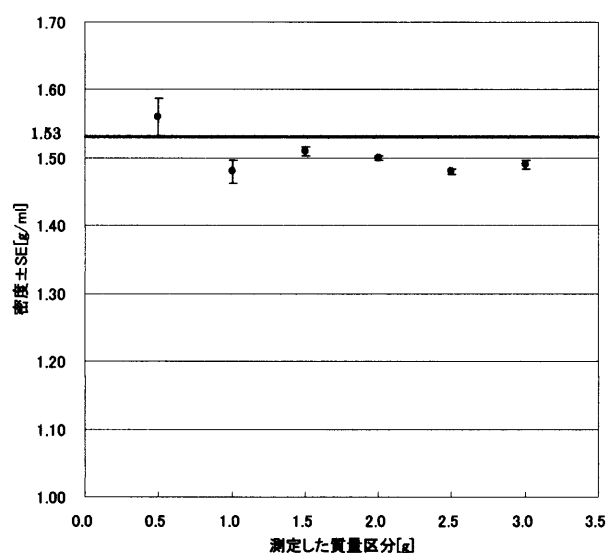


図 3-1-10 塩化アンモニウムの密度測定結果（1）（平均値±SE）

<考察>

測定した質量が大きくなると密度の値のバラつきが小さくなったのは、2・1 で述べたように、測定した質量が大きくなることで体積を読み取る際に生じる誤差の影響が小さくなったためと考えられる。

問題は、2・1 において太形メスシリンダーを用いた場合と同様に、測定した質量が大きくなると文献値より常に小さい値で安定し、文献値に近い値が測定できなかったことである。カリミョウバンと塩化アンモニウムの密度測定値で、それぞれ文献値に最も近かった値の文献値に対する相対誤差は、カリミョウバンでは-1.7%、塩化アンモニウムでは-1.3%であった。測定精度はまずまず高いといえるかもしれないが、砂糖や食塩の密度測定と比べると文献値と測定値との差が大きい。このことは、体積を読み取る際に生じる誤差の影響で説明をすることができない。

そこで、カリミョウバンと塩化アンモニウムの結晶粒子を観察してみると、市販の砂糖や食塩の結晶粒子との違いとして、次の2つのことがわかった。1つは結晶粒子の大きさのバラつきが大きいということ、もう1つは結晶の形が直方体ではないということである。市販の砂糖と食塩の結晶粒子は、粒子の大きさにあまり差がなく、形は直方体に近い形をしている(図3-1-8、3-1-9)。それに比べ、カリミョウバンや塩化アンモニウムの結晶粒子は、結晶粒子の大きさにバラつきがあり、結晶粒子の形は、カリミョウバンは丸っぽいものや八面体のような形、塩化アンモニウムは丸っぽい形をしている(図3-1-11、3-1-12)。このうち、結晶粒子の形が直方体でないことは増加体積の値が大きくなったことと関係しているのではないかと考えられる。直方体同士であれば、粒子同士は隙間なく敷き詰まることができる。しかし、球状であったり、形がいびつであったりすると、粒子が敷き詰まったときに粒子同士の間に隙間ができる。カリミョウバンや塩化アンモニウムでは、n-ヘキサンの中に敷き詰まったときに、結晶粒子同士の間に隙間があり、超音波を当てても十分に隙間の空気が除去できていなかったと考えられる。しかし、これもあくまで推測の域を出ず、明確な理由であるとはいえない。

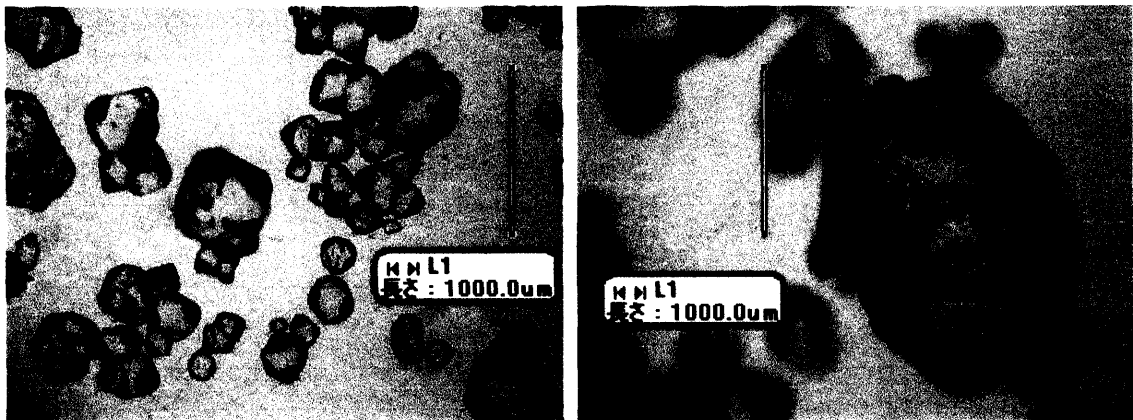


図 3-1-11 カリミョウバンの結晶粒子

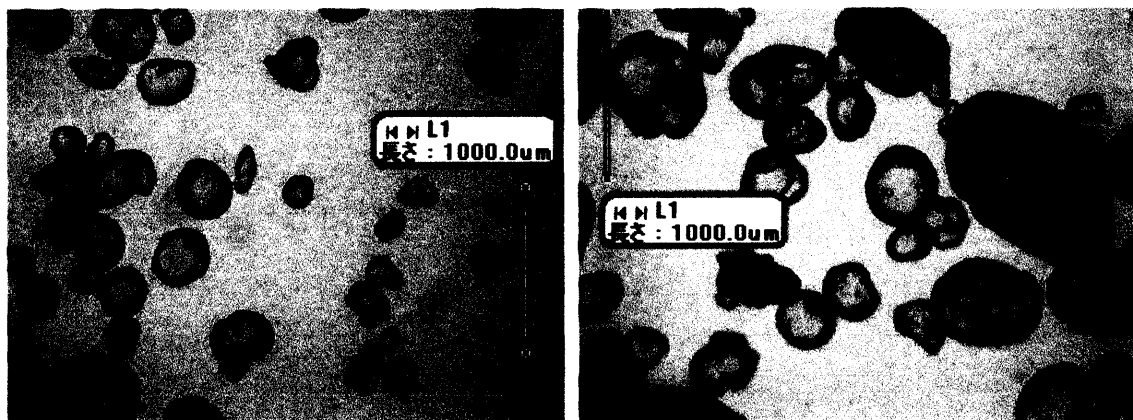


図 3-1-12 塩化アンモニウムの結晶粒子

これまでは、直接法で固体物質の体積を測定して密度を求める測定法でカリミョウバンと塩化アンモニウムの密度が文献値に近い値を求められなかったことについて、測定した固体物質に要因があるとして考えてきたが、明確な結論に辿り着くことはできなかった。そこで、実験操作上に要因があるのかもしれないと考え、実験操作を振り返ってみたところ、超音波を当てていることが気になり、超音波洗浄器の原理について調べた。

超音波洗浄器の仕組みは、液体に強力な超音波を照射することで、液体中にキャビテーション気泡（小さな真空の泡）が発生し、それが超音波の作用により潰れる（圧壊する）ときに、液体中に衝撃波を放射して、それが固体上の汚れなどを削り落とすということであった。つまり、超音波を当てることによりできた気泡がはじけたときのエネルギーにより強力な洗浄力を発揮している。

超音波洗浄器の原理から考えられるのは、気泡がはじけたときのエネルギーによって液

体（*n*-ヘキサン）の温度が上昇する可能性があるということである。*n*-ヘキサンの温度が上昇すれば、*n*-ヘキサン自体の体積が大きくなる。つまり、物質を投入したことによる体積の増加以外に、*n*-ヘキサン自体の体積増加も入ってくることになり、増加体積が物質の体積分よりも大きく測定されてしまい、結果として密度の測定値が小さくなる要因になっていると考えられる。このことから、超音波を当てることが密度測定に与える影響について調べる必要があると考えた。

3-2 超音波を当てることによる影響

カリミョウバンと塩化アンモニウムの密度測定において、文献値に近い値が得られなかった要因に超音波の影響があると考え、超音波を当てることが密度測定に与える影響について調べた。

<準備物>

10ml メスシリンダー（内径 9.55mm、0~10ml までの高さ 14.00cm）（最小目盛り 0.1ml）、デジタル天秤（最小単位 0.001g）、超音波洗浄器、薬さじ、薬包紙、紙で作った筒、*n*-ヘキサン

<測定試料>

塩化アンモニウム（ NH_4Cl ）

<実験手順>

- i) メスシリンダー（内側に水分が残っていた場合はティッシュペーパーなどを詰め込み拭き取った）に *n*-ヘキサンを入れた。
- ii) 試料を入れたときにメスシリンダーの内側の壁面に付着しないように、紙の筒でメスシリンダーの内側の壁面についている *n*-ヘキサンを吸い取った。
- iii) 塩化アンモニウムを測り取った。^{※1}
- iv) メスシリンダーを含めた全体の質量と、*n*-ヘキサンの体積を測定した。
- v) 塩化アンモニウムを *n*-ヘキサンの中に入れ、メスシリンダーを含めた全体の質量と、塩化アンモニウムが入った状態の *n*-ヘキサンの体積を測定した。
- vi) 質量増加と体積増加から、塩化アンモニウムの密度（超音波なし）を求めた。

- vii) メスシリンダーを超音波洗浄器に 30 秒間かけた。
- viii) メスシリンダーを取り出してメスシリンダーに付着した水分をふき取り、メスシリンダーを含めた全体の質量と、物質が入った状態の n -ヘキサンをの体積を測定した。
- ix) 質量増加と体積増加から、塩化アンモニウムの密度（超音波あり）を求めた。
- x) i) ~ix) の操作を、各質量について 5 回ずつ試行し、平均値を求めた。

※1 測定する試料の質量は約 0.5g から 0.5g 刻みに約 3.0g まで行った。

<結果>

塩化アンモニウムの密度の測定結果をグラフにまとめた（図 3-1-13）。また、赤いラインで文献値（国立天文台，2004）を示した。

測定した全ての質量において、超音波を当てなかった場合のほうが文献値に近い値が得られた。

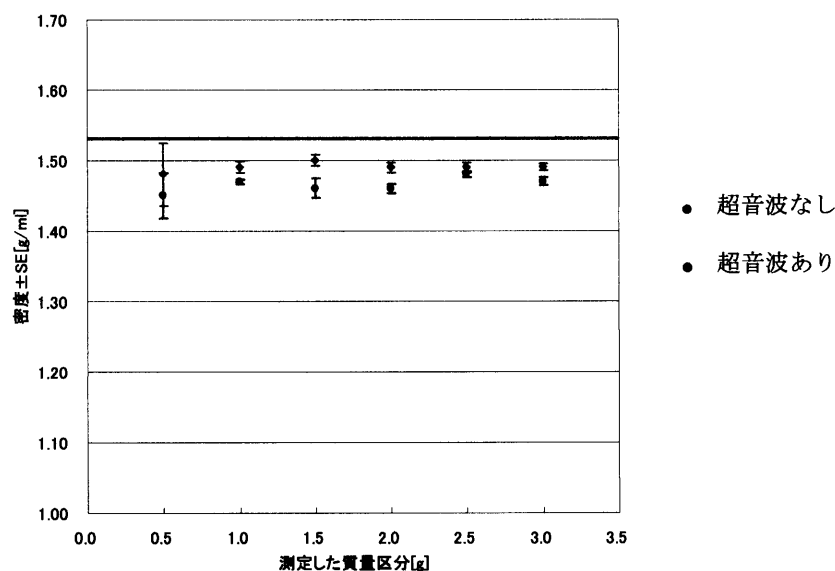


図 3-1-13 塩化アンモニウムの密度測定結果（2）（平均値±SE）

<考察>

超音波を当てる前と後では、当てた後の方が n -ヘキサンの体積が増加し、密度の測定値が小さくなることがわかった。つまり、超音波を当てることは密度の測定値を小さくしている要因であるといえる。

しかし、超音波を当てる前に測定した密度の値も文献値より小さかったことから、塩化アンモニウムの密度の測定値が文献値よりも小さくなる最たる要因は超音波による影響でなく、その他の要因による影響であると考えるのが自然である。また、食塩や砂糖の密度測定においては精確に密度を求めることができたことから、結晶表面の空気や結晶間の隙間の空気を脱気するために超音波を当てることに意味はあるといえる。

一連の実験から、カリミョウバンや塩化アンモニウムは条件を整えても（細形メスシリンダーを用い、測定する質量を大きくしても）、直接法で物質の体積を測定する方法では密度は文献値に近い値が求められない物質であるといえる。

4. 考察

本節の実験は、次節で溶解における体積変化を調べる際に用いる溶質の密度の値を、文献値をすぐに使うのではなく、自分で求めた密度の値を使うことを目的として行った。最初は固体物質の密度を文献値に近い値を求めることを目的として密度測定を行っていたが、文献値に近い値が求められないものが出てくると、なぜ文献値に近い値が求められないのか、何が要因となっているのかということに関心が向いていき、結晶粒子の大きさが与える影響、超音波の与える影響という面から考察し、固体物質の体積を直接法で測定して密度を求める方法で密度を精確に測定できる物質や、直接法で体積を測定して密度を求める方法の問題点について把握するに至った。

物質の体積は質量を測定し、密度の値から換算して求めると精確に求めることができるということや、粉末の体積は精確に求めることが困難であるというのは聞いたことがあったり、知識として知っているだけであったが、本節の実験を通して、実感を伴った認識へと変わった。

以上のことを踏まえると、本節で行った活動は、単なる固体の密度測定に止まらず、物体の体積ということについての認識を深める教材として活用していける可能性を含んでいるといえる。

2 節 溶解による溶液の体積変化の測定

1. はじめに

結晶作りを行っていた中で、水に入れた食塩を溶かすと、溶ける前よりも溶液の体積が減っていることに気づいた。それまで溶解という現象に接してきた中で、体積に対しての意識が全くなかった私にとっては、大きな驚きと共に、体積ということに目を向けるよい機会となった。

溶解という現象を体積に着目して考えたことのなかった私は、溶解による体積の変化について全く知らなかった。「物質を水に溶かしたら体積はどうなりますか？」と聞かれたら、間違いなく「変わらない。」と答えていたはずである。しかし、実際に水に食塩を溶かすと体積が減少しているのを見て、なぜだろうと不思議に感じた。そこで本節では、水にいろいろな物質を溶かし、溶解の前後で全体の体積がどうなったのかを調べた。溶質、溶媒、溶液の体積は、前節の＜1. はじめに＞で述べたように、質量を測定し、質量と密度の値から換算して求めた。

2. 砂糖と食塩を水に溶かしたときの溶液の体積変化

前節の＜2.砂糖と食塩の密度測定＞でも述べたように、自らの調べてみたいという思いと、日常生活で非常に身近に存在している物質であり、溶かす機会も多いという面から、まずは市販の砂糖と食塩を水に溶かしたときの体積変化を調べた。砂糖と食塩の密度の値は、前節の＜2.砂糖と食塩の密度測定＞において測定した密度の値から、最も文献値に近い値を用いた。

＜準備物＞

デジタル天秤（最小単位 0.001g）、10ml ホールピペット 5 本、安全ピペッター、ガラス棒、ビーカー2 つ、薬さじ、薬包紙、

＜測定試料＞

砂糖（市販）、食塩（市販）

<実験手順>

- i) 10ml ホールピペットを用い、水（イオン交換水）10ml の質量を測定した。測定は 5 回行い、その平均値から水の密度を求めた。
- ii) ビーカーに水（イオン交換水）を約 100g 入れ、水の質量を測定した。
- iii) 水に試料を入れ、水+試料の質量を測定した。
- iv) 加えた物質をすべて溶かし、溶液を作った。
- v) 10ml ホールピペットを用い、溶液 10ml の質量を測定した。測定は 5 回行い、その平均値から溶液の密度を求めた。

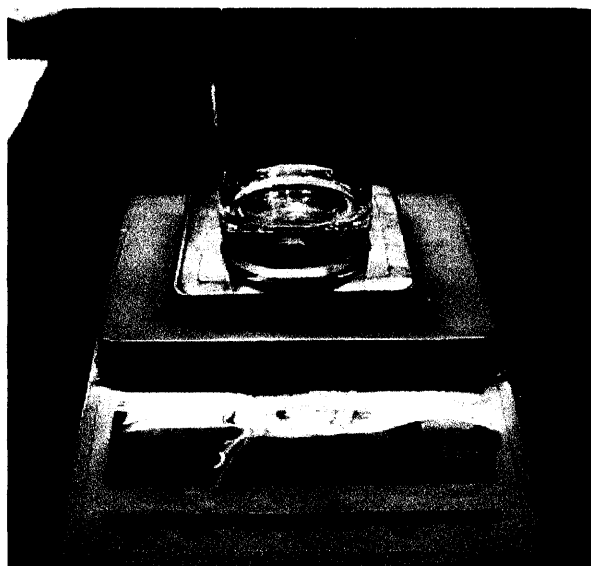


図 3-2-1 測定の様子

- vi) 測定した質量の値、求めた密度の値から、水に物質を溶かしたときの体積変化を次の計算により求めた。

$$\begin{aligned} & \text{本来の溶液の体積に対する実際の溶液の体積の割合 [\%]} \\ &= \frac{\text{実際の溶液の体積}}{\text{本来の溶液の体積}} \times 100 \\ &= \frac{\text{溶液の体積}}{\text{水の体積} + \text{物質の体積}} \times 100 \\ &= \frac{\text{溶液の質量} / \text{溶液の密度}}{\text{水の質量} / \text{水の密度} + \text{物質の質量} / \text{物質の密度}} \times 100 \end{aligned}$$

- vii) 加える試料の質量を変えて i) ~vi) の操作を行い、各質量での体積変化を求めた。

<結果>

砂糖と食塩をそれぞれ水に溶かしたときの体積変化の測定結果をグラフにまとめた（図3-2-2、3-2-3）。グラフの横軸には水の質量に対する溶質の質量の割合[%]を、縦軸には溶解前の水と溶質の体積を足し合わせたもの（これを“本来の体積”とする）に対する溶解後の溶液の体積（これを“実際の体積”とする）の比[%]をとり、100%のラインを赤色で示した。縦軸の値が100%であれば、溶解によって体積は変化しなかったことを表す。100%より大きい値であれば、溶解によって体積が増加したことを、100%より小さい値であれば、溶解によって体積が減少したことを表す。

砂糖を水に溶かした場合は、溶解によって体積はほとんど変化しなかった。食塩を水に溶かした場合は、溶解によって体積が減少し、水に溶かす食塩の質量を大きくするほど体積の減少は大きくなった。

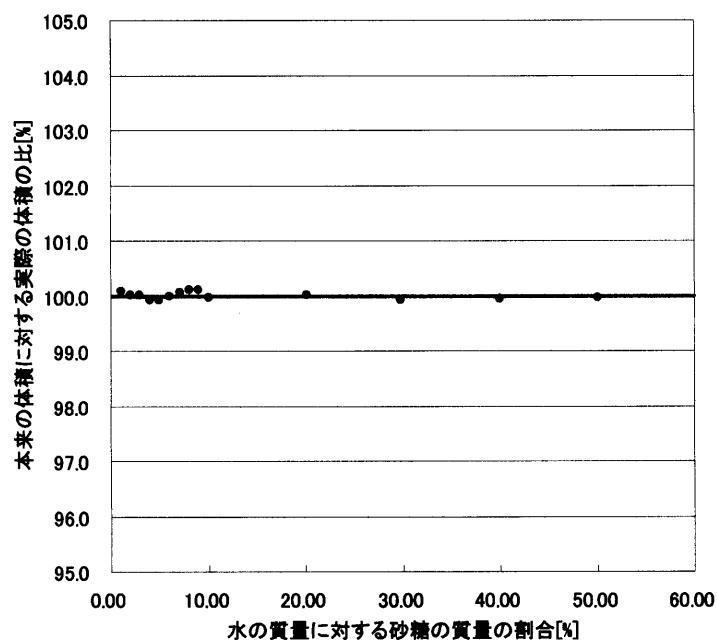


図 3-2-2 水に砂糖を溶かしたときの体積変化の測定結果

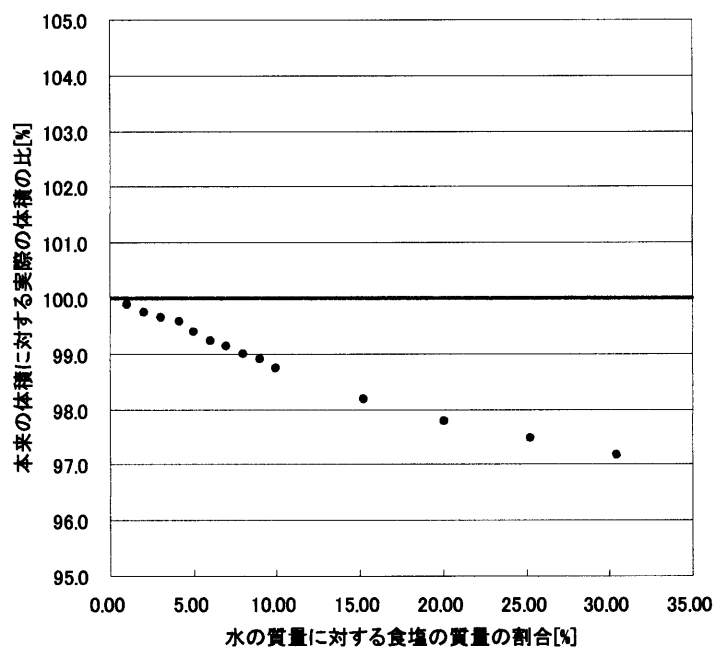


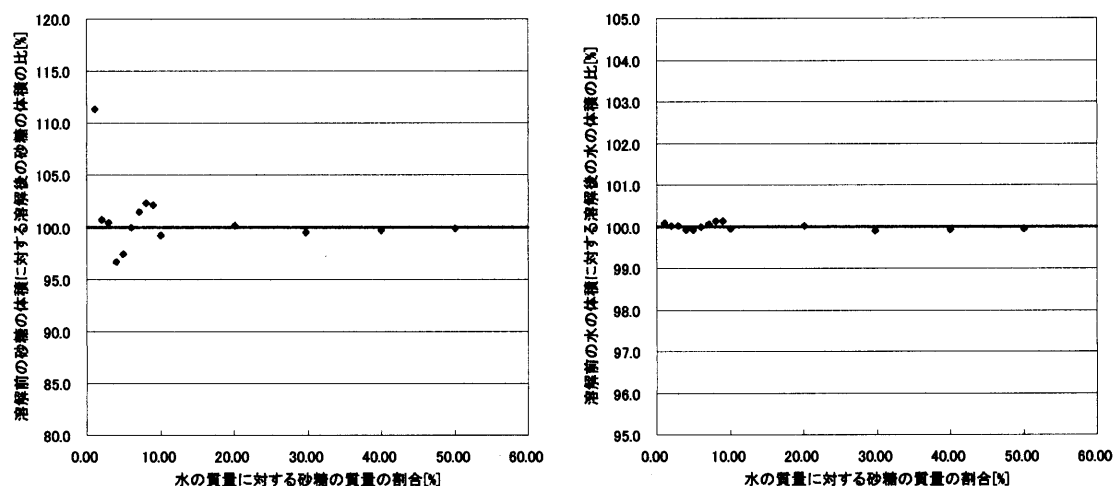
図 3-2-3 水に食塩を溶かしたときの体積変化の測定結果

<考察>

砂糖を水に溶かした場合と食塩を水に溶かした場合では、溶解による体積変化の仕方が違うことが分かった。砂糖（スクロース）は分子性物質であり、スクロース分子に存在する多くのヒドロキシ基・OH に水分子が水素結合によって水和する一方で、スクロース分子間の結合はしだいに切れはじめ、“水和分子”の状態となって水中に拡散していくことで水に溶ける。食塩（塩化ナトリウム）はイオン結晶であり、結晶表面にある多くの Na^+ や Cl^- に対して水分子が静電気力により引きつけられて水和がおこり、イオン結晶を構成するクーロン力が弱められる。各イオンは周囲にいくつかの水分子が取り巻いた水和イオンとなり、水中へ拡散していくことで水に溶ける。このように、砂糖と食塩では、水和の仕方や水和した溶質粒子の形（イオンであるか分子であるか）が異なる。この溶解の様子の違いが溶解による体積変化の仕方の違いと何らかの関係があると考えられる。

ここで視点を変えて、溶解による体積変化では、溶質と溶媒のどちらか一方の体積だけが変化していると考えてみることにした。そこで、砂糖を水に溶かした場合と食塩を水に溶かした場合の両方について、(i)溶解による体積変化が全て溶質の体積変化による（溶媒の体積は変化していない）と仮定したグラフと、(ii)溶解による体積変化が全て溶媒の体積変化による（溶質の体積は変化していない）と仮定したグラフをそれぞれ作成した（図 3-2-4、

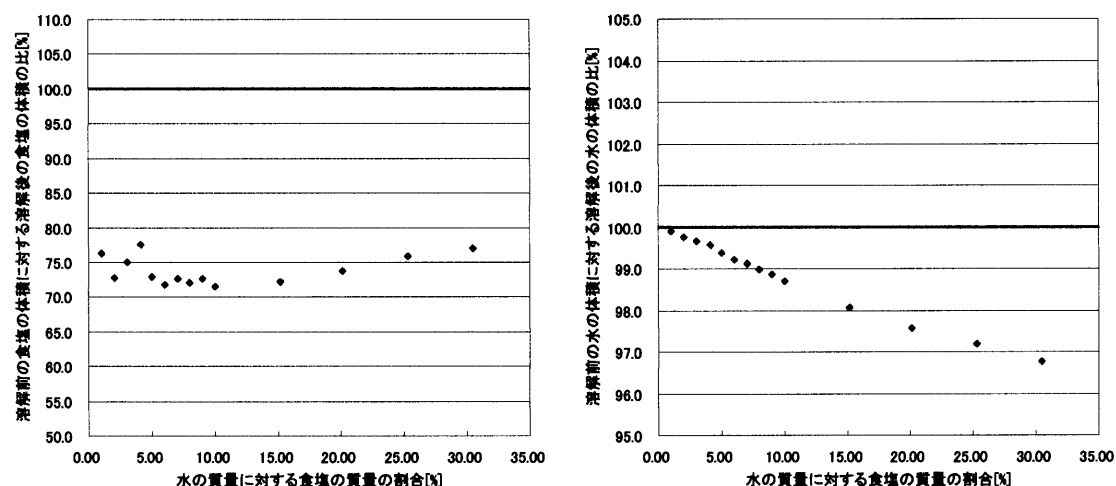
3-2-5)。(i)溶解による体積変化が全て溶質の体積変化によると仮定したグラフでは、縦軸に溶解前の溶質の体積に対する溶解後の溶質の体積の比[%]を、(ii)溶解による体積変化が全て溶媒の体積変化によると仮定したグラフでは、縦軸に溶解前の水の体積に対する溶解後の水の体積の比[%]をとった。



(i) 全て溶質の体積変化によると仮定した場合

(ii) 全て溶媒の体積変化によると仮定した場合

図 3-2-4 砂糖を水に溶かしたときの体積変化



(i) 全て溶質の体積変化によると仮定した場合

(ii) 全て溶媒の体積変化によると仮定した場合

図 3-2-5 食塩を水に溶かしたときの体積変化

これらのグラフと図 3-3-2、3-2-3 を見比べると、(ii)溶解による体積変化が全て溶媒の体積変化によると仮定したグラフが溶液全体の体積変化の結果に近いことが分かる。これより、溶解による体積変化では、主に溶媒（水）の体積が変化していると考えることができそうではあるが、単純にそうはいえない。なぜなら、溶質の質量が小さい場合は、溶媒（水）

の質量が溶質の質量に比べてかなり大きい。溶液においてそのほとんどが溶媒であり、全体の体積と溶媒のみの体積の値がそれほど変わらないので、溶質の体積の影響が小さく、体積変化を溶液全体でみた場合と溶媒だけでみた場合が似たグラフになるのは当然だからである。また、全体の体積に対して溶質の体積が小さいので、体積変化を溶質だけでみた場合に変化が大きく出るのも当然である。これらのグラフの性質を考慮に入れた上でさらに考えていく。

まず、砂糖を水に溶かした場合は溶かす砂糖の質量が大きくなっても、溶解による全体の体積はほとんど変化をせず（図 3-2-2）、体積変化を溶質だけでみた場合も溶媒だけでみた場合も体積の変化はみられない（図 3-2-4）ので、溶解による体積変化において、溶質と溶媒のどちらの体積が変化しているのかを考えることができない。そこで、食塩を水に溶かした場合について考えてみる。

溶解による体積変化は全て食塩の体積が変化したこととおきていると考えると、溶解後の食塩の体積は溶解前の約 70~80%になっているということになる（図 3-2-5(i)）。溶解により食塩の体積が減少するのは、結合していたイオンがバラバラになり、イオン間の隙間が減少したためと考えられる。なぜなら、イオン自体の体積が減少するとは考えられないからである。ここで、食塩（塩化ナトリウム）の単位格子の体積に占めるイオンの体積の割合を求めると、

単位格子の 1 辺の長さ： $5.64 \text{ \AA} = 5.64 \times 10^{-8} \text{ cm}$

Na^+ のイオン半径： $1.16 \text{ \AA} = 1.16 \times 10^{-8} \text{ cm}$ Cl^- のイオン半径： $1.67 \text{ \AA} = 1.67 \times 10^{-8} \text{ cm}$

単位格子の体積： $(5.64 \times 10^{-8})^3 \div 1.79 \times 10^{-22} [\text{cm}^3]$

Na^+ の体積： $4/3 \times \pi \times (1.16 \times 10^{-8})^3 \div 6.53 \times 10^{-24} [\text{cm}^3]$

Cl^- の体積： $4/3 \times \pi \times (1.67 \times 10^{-8})^3 \div 1.95 \times 10^{-23} [\text{cm}^3]$

単位格子内に存在する Na^+ と Cl^- の数はそれぞれ 4 個であるから、

$$\frac{\text{イオンの占める体積}}{\text{単位格子の体積}} = \frac{4 \times 6.53 \times 10^{-24} + 4 \times 1.95 \times 10^{-23}}{1.79 \times 10^{-22}} \times 100 \div 58 [\%]$$

となる。つまり、溶解により食塩の結晶格子が崩れ、イオンがバラバラになり、イオン間の隙間が減少したことで体積が減少したと考えると、食塩の体積は約 58%に減少するはずである。しかし、測定結果では溶解前の約 70~80%にしか減少していない。これは、イオンが水和した際に水分子との間に新たな隙間が生じ、その隙間の分だけ体積の減少が小さくなったのではないかと考えられる。しかし、水和は食塩と水との相互作用によっておき

ているわけであり、水和による体積変化を含むと考えるとすると、食塩だけで体積変化がおこっているという仮定に反することになる。

一方、溶解による体積変化は全て水の体積が変化したことでおきていると考えると、その結果は溶液全体の体積変化の結果と近い。溶解による溶液全体の体積変化と水の体積だけが変化したと仮定した場合の結果を図 3-2-6 にまとめて示した。水に溶かす食塩の質量が小さいときの体積変化の値はほぼ等しく、水に溶かす食塩の質量が大きくなるにつれて体積変化の値には差が出る。水に溶かす食塩の質量が大きくなると、溶液全体の体積と水のみの体積の値との差が大きくなるため、体積変化を溶液全体でみた場合と水のみでみた場合で体積変化量の与える影響にも差が出てくるためである。つまり、食塩の質量が増えてくると、食塩の体積の影響が大きくなっていくわけである。このことから、水に溶かす食塩の質量が小さいときは、食塩の粒の数の比が小さいため、その体積変化の影響が小さいが、食塩の質量が増えてくると、食塩の粒の数の比が大きくなるので、その体積変化の影響が大きくなっていくということがいえ、つまりは、食塩の体積も変化しているということになり、溶解による体積変化が全て水の体積が変化しているという仮定に反する。

このように、体積変化が溶質と溶媒のどちらかだけでおこっていると仮定して考えたことからいえることは、溶解による溶液全体の体積変化では、溶質の体積と溶媒の体積のどちらかだけが変化しているのではないということである。このことから、溶解による体積変化は溶質とその周りの溶媒（水）の影響によっておきていると考えられる。

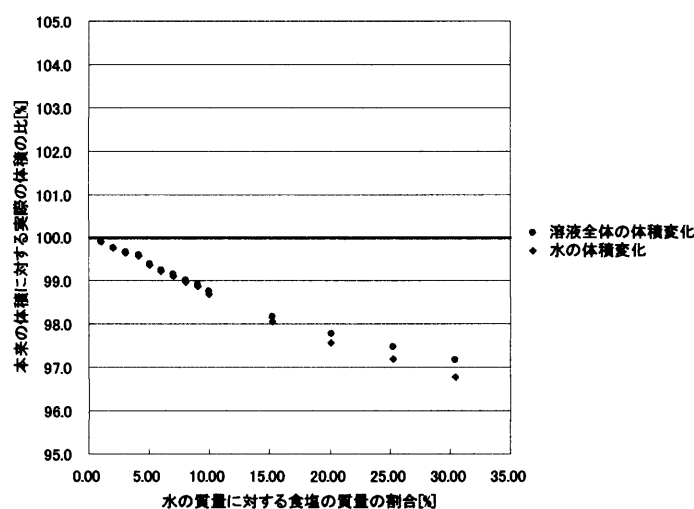


図 3-2-6 溶解による溶液全体の体積変化と水の体積変化

3. カリミョウバンと塩化アンモニウムを水に溶かしたときの溶液の体積変化

砂糖を水に溶かしたときと食塩を水に溶かしたときの体積変化の仕方は異なることがわかった。溶解による体積変化の要因について知見を得るために、測定する試料の数を増やしていくことにした。そこで、次の試料として、教科書や溶解に関する教材においてよく扱われているカリミョウバンと、塩化アンモニウムを対象とした。それらを水に溶かした場合について、それぞれの溶解における体積変化を調べた。なお、カリミョウバンと塩化アンモニウムの密度の値については、前節の〈3. カリミョウバンと塩化アンモニウムの密度測定〉において文献値に近い値が得られなかったため、本項では文献値を用いることにした。

〈準備物〉、〈実験手順〉については、〈2.砂糖と食塩を水に溶かしたときの体積変化〉のところで行った実験と同じである。

〈測定試料〉

カリミョウバン（硫酸カリウムアルミニウム、 $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ）、塩化アンモニウム（ NH_4Cl ）

〈結果〉

カリミョウバンと塩化アンモニウムをそれぞれ水に溶かしたときの体積変化の測定結果をグラフにまとめた（図 3・2・7、3・2・8）。

カリミョウバンを水に溶かした場合は、溶解によって体積が減少し、水に溶かすカリミョウバンの質量を大きくするほど体積の減少は大きくなった。一方、塩化アンモニウムを水に溶かした場合は、溶解によって体積が増加し、水に溶かす塩化アンモニウムの質量を大きくするほど体積の増加は大きくなった。

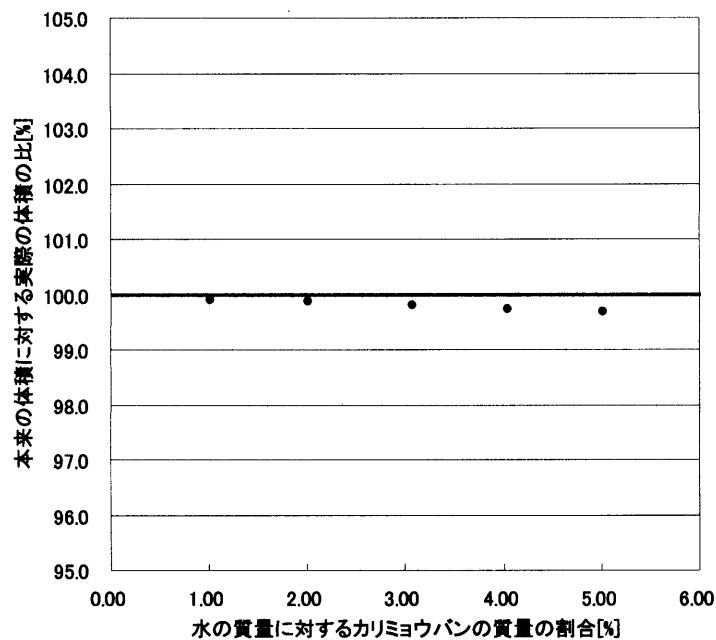


図 3-2-7 水にカリミョウバンを溶かしたときの体積変化の測定結果

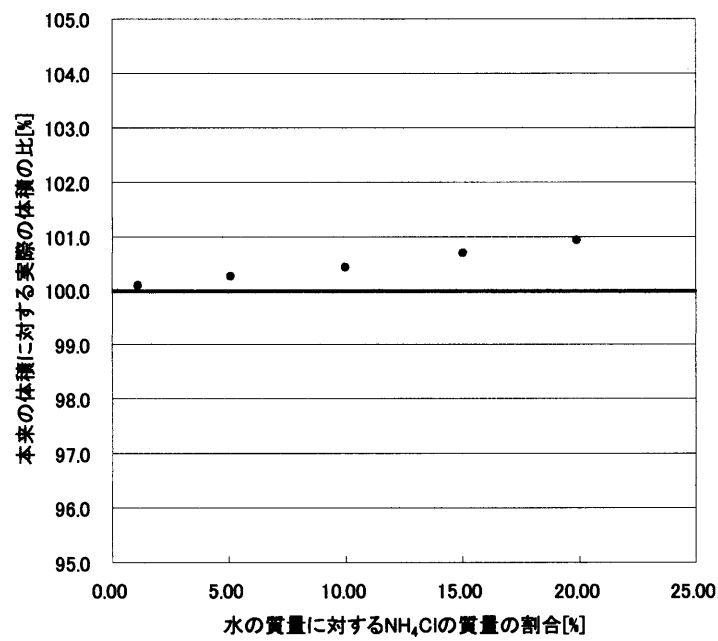


図 3-2-8 水に塩化アンモニウムを溶かしたときの体積変化の測定結果

<考察>

カリミョウバンを水に溶かした場合は、体積変化の割合は小さいが食塩を水に溶かした場合と同じように溶液の体積が減少することがわかった。カリミョウバンは水和物であり、

結晶水による影響もあるのではないかと考えられる。

塩化アンモニウムを水に溶かした場合は、溶液の体積が増加した。これは、同じ塩化物イオンを含む食塩（塩化ナトリウム）の場合とは全く逆の変化であり、溶質を構成している陽イオンのアンモニウムイオンとナトリウムイオンの違いが、水に溶解したときの体積変化に関係していることを示していると考えられる。特にアンモニウムイオンは水との相互作用により、体積が増加する要因があることが示唆される。

4. 溶解による溶液の体積変化とイオンとの関係

食塩（塩化ナトリウム）を水に溶かした場合と塩化アンモニウムを水に溶かした場合との体積変化の違いから、水に溶かした際の溶液の体積変化には、溶質を構成しているイオンと何らかの関係があると考えられる。そこで、いくつかのイオンと、それらのイオンで構成される物質を水に溶かしたときの体積変化との関係について調べた。

＜準備物＞、＜実験手順＞については、＜2.砂糖と食塩を水に溶かしたときの体積変化＞のところで行った実験と同じである。

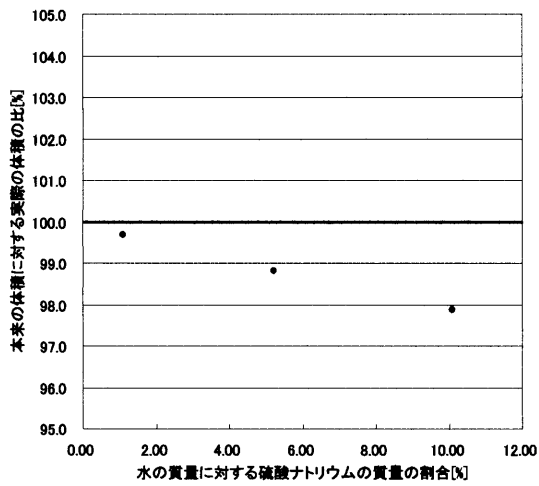
＜測定試料＞

硫酸ナトリウム (Na_2SO_4)、硝酸ナトリウム (NaNO_3)、塩化カリウム (KCl)、硫酸カリウム (K_2SO_4)、硝酸カリウム (KNO_3)、硫酸アンモニウム ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)、硝酸アンモニウム (NH_4NO_3)、フッ化アンモニウム (NH_4F)、臭化アンモニウム (NH_4Br)

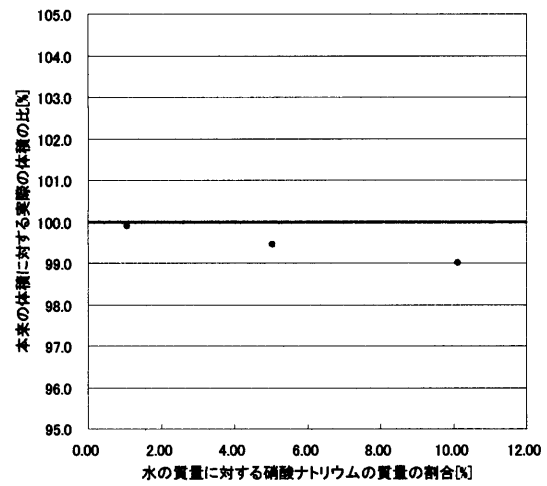
＜結果＞

各試料を水に溶かしたときの体積変化の測定結果をグラフで示した（図 3・2・9）。

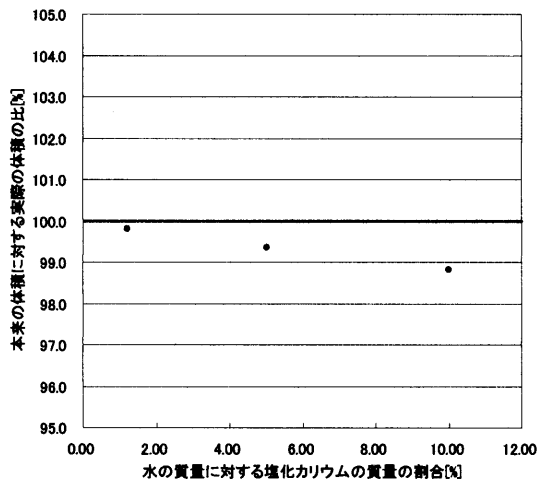
水に溶かしたときに溶液の体積が減少した物質は、硫酸ナトリウム、硝酸ナトリウム、塩化カリウム、硫酸カリウム、硝酸カリウム、硫酸アンモニウム、フッ化カリウムであり、臭化アンモニウムでは増加し、硝酸アンモニウムではわずかながら増加する傾向がみられた。いずれの物質でも、溶かす物質の質量が大きくなるほど、体積変化の割合は大きくなった。



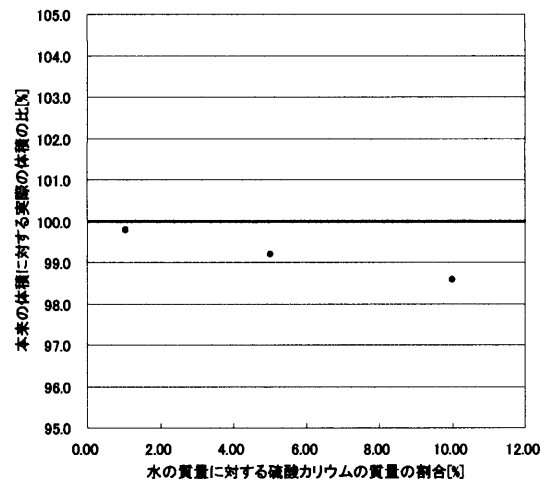
(a) 硫酸ナトリウム



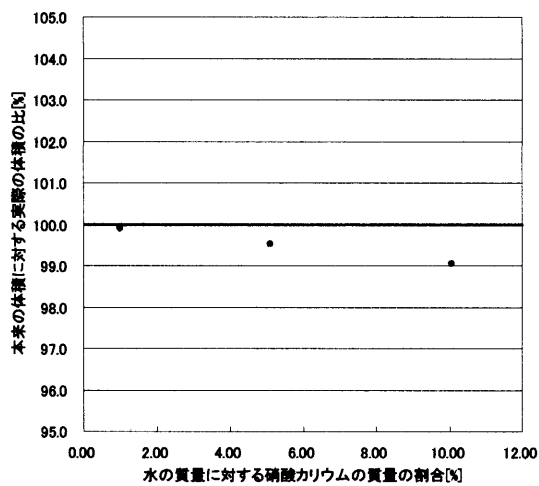
(b) 硝酸ナトリウム



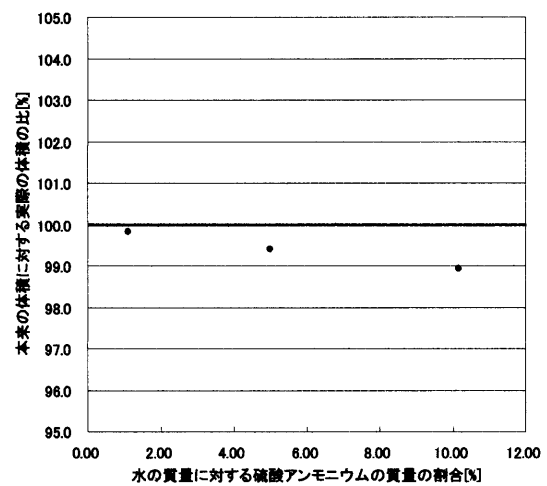
(c) 塩化カリウム



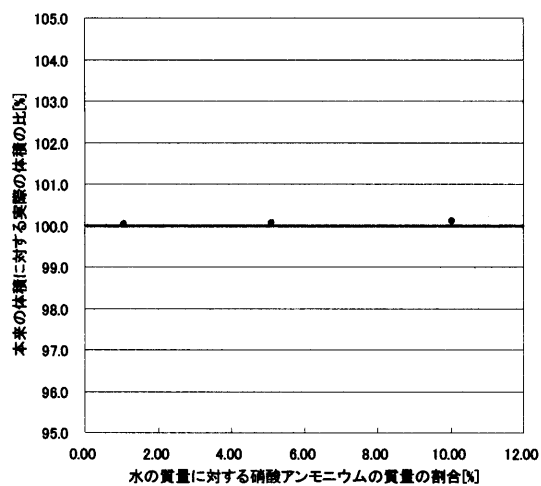
(d) 硫酸カリウム



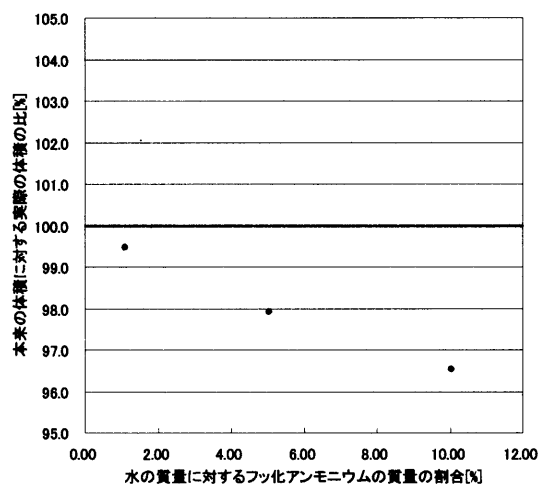
(e) 硝酸カリウム



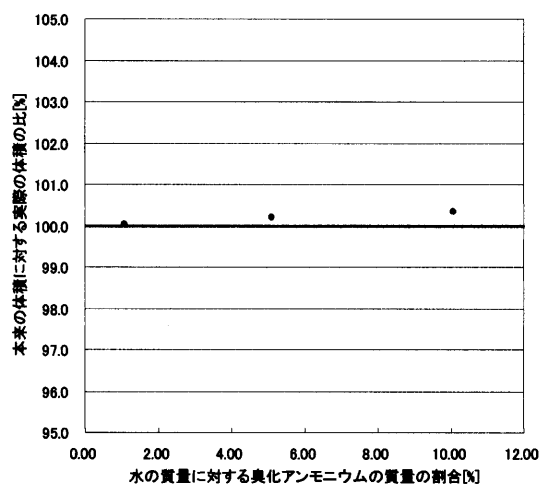
(f) 硫酸アンモニウム



(g) 硝酸アンモニウム



(h) フッ化アンモニウム

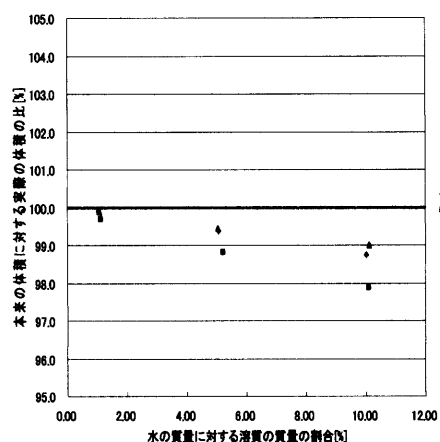


(i) 臭化アンモニウム

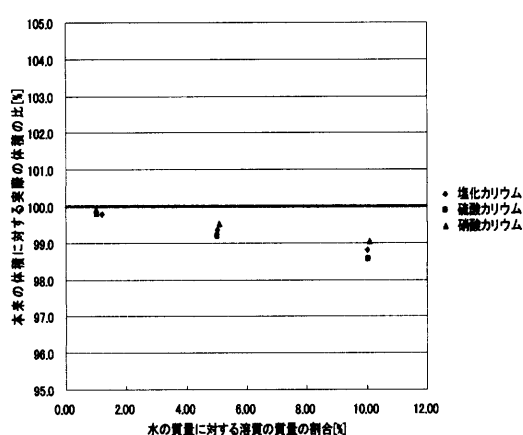
図 3-2-9 各試料を水に溶かしたときの体積変化の測定結果

<考察>

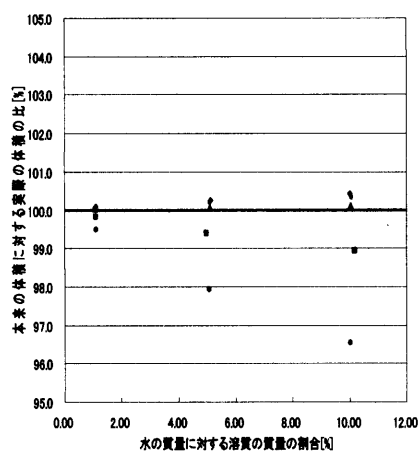
溶解による体積変化とイオンとの関係を考えるために、共通するイオンを含む物質の結果をまとめたグラフを作成した (図 3-2-10)。



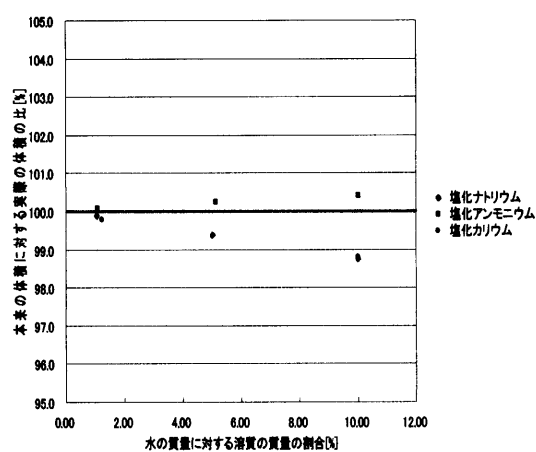
(i) ナトリウムイオンを含む物質



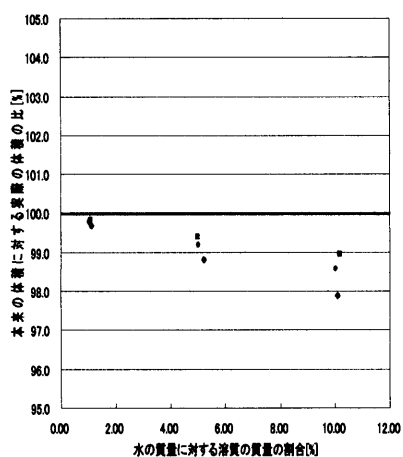
(ii) カリウムイオンを含む物質



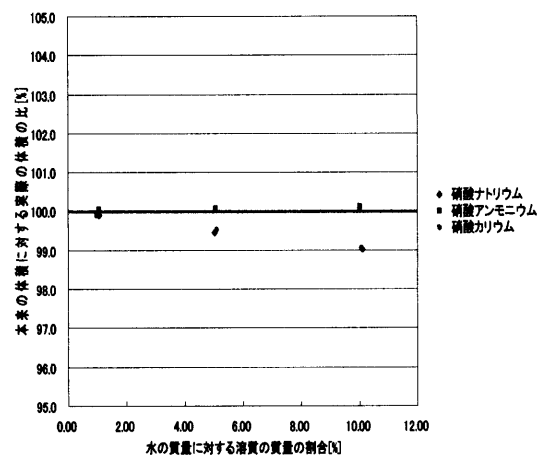
(iii) アンモニウムイオンを含む物質



(iv) 塩化物イオンを含む物質



(v) 硫酸イオンを含む物質



(vi) 硝酸イオンを含む物質

図 3-2-10 共通するイオンを含む物質の水への溶解による体積変化の比較 (1)

グラフから読み取れることを以下に箇条書きする。

陰イオンによる比較(同じ陽イオンから成る物質での比較)(図 3-2-10 (i)、(ii)、(iii)を参照)

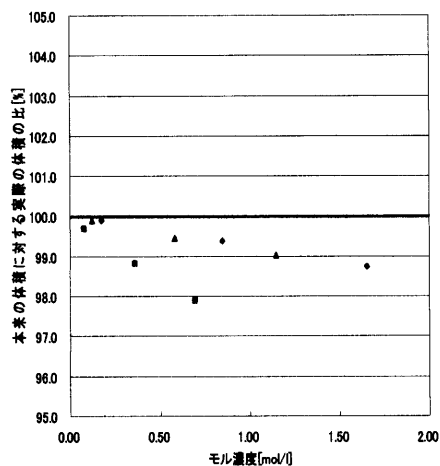
- ・ 硫酸イオンとの化合物を溶解させたときの体積減少率が最も大きかった。
- ・ ナトリウム塩とカリウム塩では、硝酸イオンとの化合物を溶解させたときの体積減少率が最も小さかった。しかし、アンモニウム塩では、塩化物イオンとの化合物を溶解させたときの体積増加率が最も大きかった。
- ・ アンモニウム塩では陰イオンの種類によって、溶解させたときに体積が、増加するものと減少するもののどちらもあった。体積増加率が最も大きかったのは塩化アンモニウムであり、体積減少率が最も大きかったのはフッ化アンモニウムであった。

陽イオンによる比較(同じ陰イオンから成る物質での比較)(図 3-2-11 (iv)、(v)、(vi)を参照)

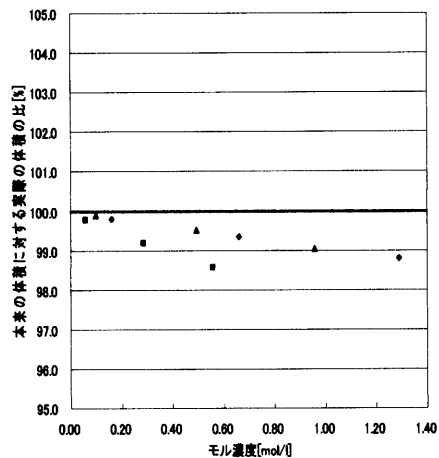
- ・ アンモニウムイオンとの化合物を溶解させたときのみ体積が増加し、体積が減少した硫酸アンモニウムについても、硫酸ナトリウムや硫酸カリウムを溶解させたときより体積の減少率は小さかった。
- ・ 塩化物イオンから成る物質と、硝酸イオンからなる物質では、ナトリウムイオンとの化合物とカリウムイオンとの化合物を溶解させたときの体積減少率はほぼ同じであったが、硫酸イオンイオンから成る物質の場合は、ナトリウムイオンとの化合物とカリウムイオンとの化合物を溶解させたときの体積減少率に差があった。

このように、溶質を構成しているイオンの種類によって、溶解による体積変化にある程度の傾向があるといえる。

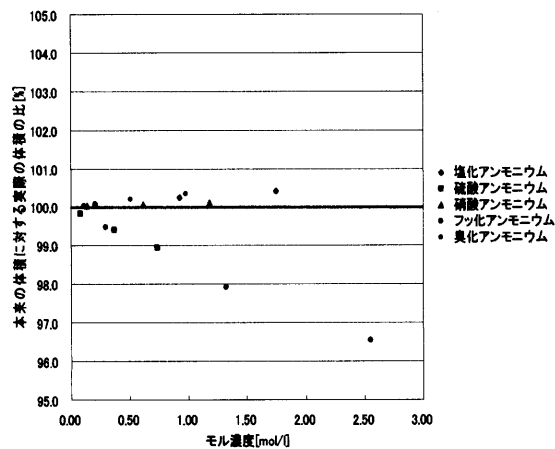
これまでのグラフでは、横軸には水の質量に対する溶質の質量の割合[%]をとっていた。この表し方では、横軸の値が同じであっても、物質によって水に溶かした溶質粒子の数(イオンの数)が異なることになる。溶解による体積変化をイオンの種類のみではなく、溶解したイオンの数も含めて比較していたことになる。そこで、横軸をモル濃度[mol/l]にしたグラフを新たに作成した(図 3-2-12)。このグラフでは、横軸の値が等しければ、溶解した溶質粒子の数が等しいということになり、溶解による体積変化を溶質を構成するイオンの種類のみで比較することができる。



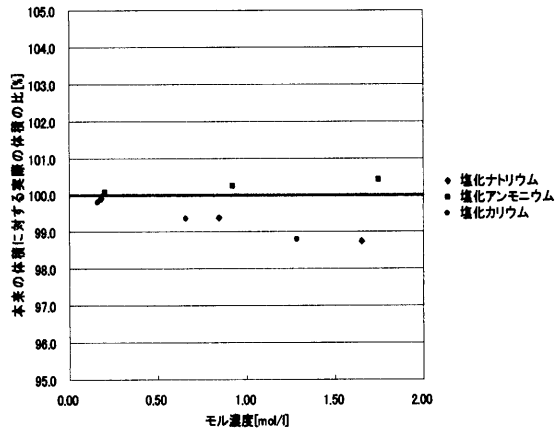
(i) ナトリウムイオンを含む物質



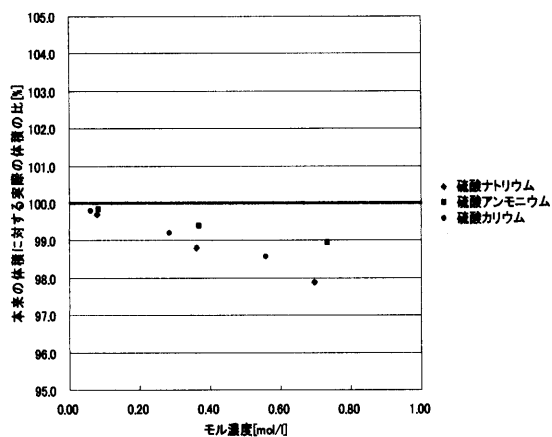
(ii) カリウムイオンを含む物質



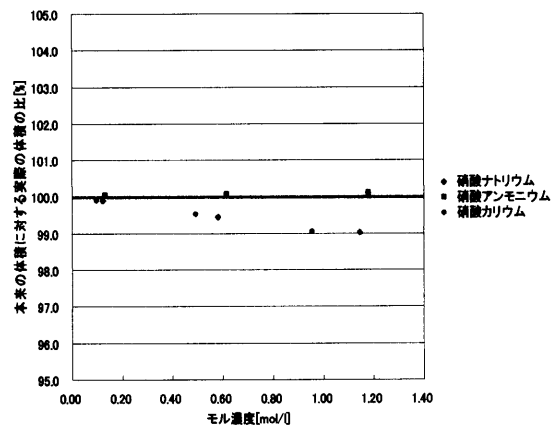
(iii) アンモニウムイオンを含む物質



(iv) 塩化物イオンを含む物質



(v) 硫酸イオンを含む物質



(vi) 硝酸イオンを含む物質

図 3-2-11 共通するイオンを含む物質の水への溶解による体積変化の比較 (2)

グラフから読み取れることを以下に箇条書きする。

陰イオンによる比較(同じ陽イオンから成る物質での比較)(図 3-2-11 (i)、(ii)、(iii)を参照)

- ・ 硫酸イオンとの化合物を溶解させたときの体積減少率が最も大きかった。
- ・ 塩化物イオンとの化合物と硝酸イオンとの化合物では、体積の変化率がほぼ同じであった。
- ・ アンモニウム塩では陰イオンの種類によって、溶解させたときに体積が、増加するものと減少するもののどちらもあった。体積増加率が最も大きかったのは臭化アンモニウムであり、体積減少率が最も大きかったのは硫酸アンモニウムとフッ化アンモニウムであった。

陽イオンによる比較(同じ陰イオンから成る物質での比較)(図 3-2-11 (iv)、(v)、(vi)を参照)

- ・ アンモニウムイオンとの化合物を溶解させたときのみ体積が増加し、体積が減少した硫酸アンモニウムについても、硫酸ナトリウムや硫酸カリウムを溶解させたときより体積の減少率は小さかった。
- ・ 塩化物イオンから成る物質と、硝酸イオンからなる物質では、カリウムイオンとの化合物を溶解させたときの体積減少率が最も大きかった。しかし、硫酸イオンから成る物質の場合は、ナトリウムイオンとの化合物を溶解させたときの体積減少率が最も大きかった。

このように、溶質を構成するイオンによって溶解による体積変化に傾向がみられるということからも、溶質を構成するイオンの種類と、それらのイオンで構成されるイオン性物質を水に溶かしたときの溶液全体の体積変化には何らかの関係性があるといえる。本節の<2. 砂糖と食塩を水に溶かしたときの溶液の体積変化>の項で、溶解による体積変化は溶質とその周りの水の影響によっておきると考えられたため、溶質を構成しているイオンと、溶媒である水との作用、つまりは水和によっておきていて、イオンによって水和がおきた際の体積変化の仕方に違いがあるのではないかと考えられる。

溶解により体積が増加する物質に共通するのはアンモニウムイオンを含むということであった。このことから、アンモニウムイオンが水への溶解によって体積増加の作用をするということはいえそうである。ナトリウムイオンやカリウムイオンとアンモニウムイオン

の水和の仕方の違いを考えると、アンモニウムイオンは水分子との間に水素結合をつくることが挙げられる。このことから、アンモニウムイオンの体積増加の作用は、水分子との水素結合による影響であると考えられる。

5. 考察

本節の活動をまとめると、食塩を水に溶かすと体積が減少するという事への興味・関心から、いろいろなものを水に溶かしたときの体積変化を調べたいという思いから始まった。水に砂糖と食塩を溶かしたときの溶液全体の体積変化について調べ、砂糖と食塩では水に溶けたときの溶液の体積変化の仕方が違うことが分かったと、その他の物質を水に溶かしたとき場合はどうなるのだろうか、溶解による溶液の体積変化という現象への興味はさらに高まった。ここでは、溶解による溶液の体積変化は、溶質と溶媒のどちらかだけでおこっているのではないということが実感に伴って確認できた。そして、カリミョウバン、塩化アンモニウムを水に溶かしたときの体積変化について調べた結果、水に溶かす物質によって、溶解によって溶液全体の体積が減少するもの、ほとんど変化しないもの、増加するものがあるという現象を確認し、イオン性物質の溶解による溶液の体積変化は、物質を構成しているイオンの種類によって違ってくるという仮説を持ち、その仮説を基に、いくつかのイオンとそのイオンから構成されるイオン性物質を水に溶かしたときの溶液の体積変化を調べていった。その結果、イオン性物質の溶液による体積変化は、物質を構成しているイオンと関係があることがわかり、溶解による体積変化は、溶質を構成しているイオンと、溶媒である水との作用、つまりは水和によっておきていて、イオンによって水和がおきた際の体積変化に違いがあるという考察に至った。ここから先は、実際に実験を行い調べたわけではないが、『溶液化学』（大瀧、1985）によれば、溶解による溶液の体積変化は物質が溶解した際の水分子の水和によっておこること、各イオンには水分子との水和による体積変化量が決まっているということだった。これは、イオンによって水分子の引き付け方が異なり、水和した際に水分子のつくる水和層の様子によって体積変化量が異なってくるということであった。私が実験を通して得た仮説がある程度は当たっていたということがいえるのではないだろうか。

このように、最終的にそのメカニズムを突き止めるところまでは至らなかったが、溶解による溶液の体積変化は、「溶けるとはどういうことか」という“溶ける”概念の基礎となる水和の概念と密接に関わっていることから、溶解における溶液の体積変化について考え

ていくことを通して、溶解現象を溶質と溶媒との粒子的な相互作用によっておきる現象であるという視点で溶解現象を捉えていけると考えられる。

3節 考察

本章の研究は、私が卒業論文を行った際に、水に食塩を溶かすと、溶かす前に比べて溶液の体積が減少していることに気づいたことに始まる。大きく分けて、固体物質の密度測定についての探究活動と、溶解による溶液の体積変化についての探究活動を行った。それぞれの活動の流れを振り返ってみる。

固体物質の密度測定についての活動は、固体物質の密度に対して直接的に関心があったわけではなく、溶解による溶液の体積変化を調べるにあたり固体物質の密度の値が必要となったために行った活動である。つまり、活動の動機としては、「固体物質の密度を精確に測定したい」というものであった。市販の砂糖や食塩、すりつぶした砂糖や食塩、カリミョウバンと塩化アンモニウムの密度を測定し、密度を精確に測定できないものが出てくると、「密度を精確に測定できない要因を知りたい」という興味が発生し、その要因を結晶粒子の大きさや形、実験操作で用いている超音波の影響という 2 つの仮説を立て検証していた。

溶解による溶液の体積変化についての活動は、水に食塩を溶かしたときに溶液の体積が減少していることに気づき、興味・関心を持ったことに始まった活動である。「いろいろな物質を水に溶かしたときの溶液の体積変化を調べたい」という動機から始まり、いくつかの物質を水に溶かしたときの溶液の体積変化を調べた。その結果、物質によって水に溶かしたときに溶液の体積が減少するもの、ほとんど変化しないもの、増加するものがあることがわかり、この現象に対する興味・関心はさらに高まった。そして、溶液の体積変化について自分なりに考えることを通して、溶解による溶液の体積変化には物質を構成している粒子と水分子との水和が関係しており、溶解という現象が溶質と溶媒の粒子的な相互作用でおきる現象であることを強く意識するようになった。

これらの探究活動を通じて、探究活動を進めるにあたって重要になることをいくつか感じた。まずは、思いついたことを実際に何でもやってみて、実際におきている結果、現象をよく認識するということである。活動者自身の興味・関心を基にした探究活動では、まずは、自分が興味・関心を持っていることについて何でもやってみようという形で活動が展開されていくことが多い。その活動を通して発生した疑問や不思議、新たな興味に対してさらに活動が広がっていくことが期待されるが、疑問や不思議の発生には、現象をしっかりと観察することが何より必要であることを実感した。その次は、発生した疑問や不思議について、自分なりにしっかりと考えるということである。この段階がおろそかにして

ただ実験を進めても、実験をしていても何を調べようとしているのか、どういう考えの基に実験を行っているのかわからず、活動自体に手応えの無さを感じるがあった。このような試行錯誤は、探究過程で興味・関心、達成動機の低下は生じるが、それだけ手応えや見通しを得たときの喜びはひとしおである。むしろ、このような試行錯誤を辛いと感じず、楽しめることが本来の探究のあるべき姿なのかもしれない。

第4章 授業実践および分析

1節 はじめに

第3章では、卒業研究を行っている際に気づき、それ以来ずっと不思議に思い、疑問を抱いていた溶解が起こった際の体積変化を中心に自分なりに探究した。この活動を通して私は、溶解という現象が溶質と溶媒の粒子的な相互作用によって起きる現象であるという認識をはっきりと持つことができた。

第2章の教科書調査から、溶解による体積変化については現在の小中学校の理科では扱われていないことが分かった。また、溶解の学習では溶質に着目した学習がほとんどであることも分かった。

以上のことから、溶解による体積変化について学習することで、学習者が溶解について、溶質と溶媒の粒子的な相互作用であるという本質的な認識を獲得していける可能性は大きいと考えた。溶解による体積変化について探究していく中で、溶解現象を溶質と溶媒が粒子的に相互作用して起こる現象であるという認識の獲得へとつながる授業の流れを目指し、中学生を対象とした授業作りを行った。

2 節 授業実践 その①

1. はじめに

溶解による体積変化の内容を取り入れた授業では、生徒が水に物質を溶かしたときの体積変化について調べる実験を行うことを想定した。溶解による体積変化について実際に実験をして調べることを通して、水に物質を溶かしたときに質量は保存されるが体積は保存されないということを認識することが、溶解による体積変化について、さらには溶解という現象について考えを深めていくスタートになると考えるからである。しかし、私が第 3 章で行った実験をそのまま行うとなると、体積の変化を直接的に観察せず、密度を用いた計算を通じて求めるため、溶解によって体積が変化することを生徒が感覚的に認識できない可能性が高い。そこで、そのような点を考慮して、授業において行うのに適した実験方法を考え、実践した。

2. 授業での実施実験—実験①

水に溶かしたときに溶液の体積が増加するもの、減少するもの、ほとんど変化しないものがあるということを調べる実験案を考えた。

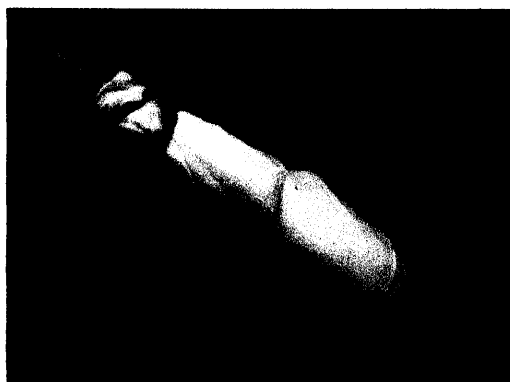
<測定試料>

溶解により体積がほとんど変化しないものとして砂糖、減少するものとして食塩、増加するものとして塩化アンモニウムを選んだ。

<測定器具、実験手順>

溶解における体積変化という現象を認識させるためには、溶解における体積変化を目で見て観察することができる実験であることが望ましい。そこで、100ml メスシリンダーを用いて、溶解による体積の変化を直接観察する実験を考えた。実験の手順と、予備実験を行った際の結果を示す。

- i) 100ml メスシリンダーに水を約 50ml 入れ、拭き取り棒 (図 4-2-1(a)) でメスシリンダーの内側に付着した水分を拭き取る。その中にかき混ぜ棒 (図 4-2-1(b)) を入れる。
- ii) 水の中に物質を入れ、直後の水面の目盛りを読み取る。
- iii) かき混ぜ棒でかき混ぜ、物質を溶かす。物質が完全に溶けたら、溶液の体積を読み取る。



(a) 割り箸にティッシュを巻いた拭き取り棒



(b) ステン針金で作ったかき混ぜ棒

図 4-2-1 実験器具

この実験手順に沿って予備実験を行った。各物質のそれぞれの質量について 5 回ずつ行い、体積が変化したものについては、その変化量の平均値を求めると、表 4-2-1 のようになった。また、予備実験の際の体積変化の様子は次ページの図 4-2-2 のように観察することができた。実際に授業で行う際には、授業時間に応じて測定回数は 3 回ずつとするなど変化することも想定している。

表 4-2-1：水に溶解させたときの体積変化の観察結果

	砂糖	食塩	塩化アンモニウム
1g	変化なし	変化なし	変化なし
5g	変化なし	0.5ml減少した	変化なし
10g	変化なし	1.0ml減少した	0.4ml増加した

この結果から、この実験方法で溶解による体積変化を観察することができるといえる。また、変化量を定量的に測定することにより、溶かす物質の量が増えるほど体積変化の量が大きくなることにも気づくことができる。



溶解前



溶解後

砂糖 10g



溶解前



溶解後

食塩 10g



溶解前



溶解後

塩化アンモニウム 10g

図 4-2-2 溶解における体積変化の観察

3. 授業内容

2006年12月4日(月)4校時(11:45~12:35)

宇治市立北宇治中学校3年選択理科(SPP)(31名 授業担当;西川光二教諭)

実際に行った授業の経過を示した。

表 4-2-1 授業経過

過程	事物・現象	学習者の活動	教師の役割	科学的方法
(前仮説) 観察	岩塩、溶解、シュリーレン現象		生徒を前に集めた。 【演示①】岩塩を水の中に吊るし、溶ける様子を見せた。	観察
観察 現象との出会い	アルコール、溶解による体積変化		【演示②】水にアルコールを溶かすと体積が減少することを見せた。 今から、岩塩を溶かしているほうの体積はどうなっているのかを調べることを告げ、実験方法を説明した。	
実験・観察		【実験①】岩塩を水を入れたビーカーの中に吊るし、岩塩が水に溶けるときの体積の変化を観察した。		実験・観察
現象の認識			岩塩もアルコールと同じように、水に溶かしたときに体積が減少することを確認した後、「どんな物質でも水に溶けると体積は減るのだろうか?」と問いかけ、他の物質を水に溶かすと体積はどうなるのか調べることを告げた。実験方法を説明した。	
実験	砂糖、食塩、塩化アンモニウム	【実験②】砂糖、食塩、塩化アンモニウムをそれぞれ水に溶かしたときの体積変化を調べた。		実験・観察
現象の認識			水に溶かす物質によつ	

			て、体積が減少するもの、変わらないもの、増加するものがあることを確認した。	
--	--	--	---------------------------------------	--

実験として、砂糖と食塩と塩化アンモニウムを水に溶かしたときの溶液の体積変化について調べさせた。実験内容について解説した実験プリントは以下の通りである。

【実験 2】水に固体の物質を溶かしたときの体積変化を調べよう

<溶かす物質>

砂糖、食塩、塩化アンモニウム

<実験方法>

- ① 100ml メスシリンダーに水を約 80ml入れる。
- ② メスシリンダーの壁面についた水滴をふき取り棒でふき取る。
- ③ メスシリンダーの中にかき混ぜ棒を入れる。
- ④ 水の中に物質を約 16g入れ、直後の水面の目盛りを読み取る。メスシリンダーは目盛りの $\frac{1}{10}$ まで読み取ること。
- ⑤ かき混ぜ棒でかき混ぜ、物質を溶かす。物質が溶けたら、溶液の体積を読み取る。(メスシリンダーの底に物質が少し残る程度はかまわない。)
- ⑥ 物質を溶かすことで体積がどれだけ変化したかを、溶かす前の物質と水の体積の和に対する溶液の体積の比[%]で求める。

$$A[\%] = \frac{\text{溶液の体積}}{\text{物質の体積} + \text{水の体積}} \times 100[\%] = \frac{\text{の測定値}}{\text{の測定値}} \times 100[\%]$$

かき混ぜ棒はずっと水の中につけたまま値を読み取ること、メスシリンダーは目盛りの 10 分の 1 までしっかり読み取ることを、実験方法を説明した際に特に注意した。

各班の実験結果を表にまとめた (表 4-2-2)。

測定を終えたところで授業時間が終わり、最後に結果をまとめ、水に溶かすことで体積が減少するもの、増加するもの、ほとんど変化しないものがあることを全体で確認して終

わった。

表 4-2-2 各班の A の値[単位は%]

	1班	2班	3班	4班	5班	6班	7班	8班
砂糖	101.1	100.0	99.7	100.0	99.8	98.9	98.9	
食塩	97.6	97.7	98.4	98.8	98.3	97.7	98.8	100.0
塩化アンモニウム	101.1	102.2	99.7	100.4	101.1	101.1	100.0	100.2

○：増減について良好なデータが得られた

4. 考察

溶解による溶液の体積の変化量を大きくして体積の変化を観察しやすくするために、予備実験よりも水の量、物質の量ともに大きく設定して行った。変化量を大きくして体積の変化を観察しやすくしたため、測定回数は 1 回だけにした。この実験のねらいは、変化しなかったのか、減少したのか、増加したのかという定性的な結果が得られればよく、1 回の実験で結果は十分に出ると考えていたためである。ただ、計算で体積の変化率を求めさせたのは、砂糖の場合は実験の操作上の影響で体積が増加もするし減少もすることが考えられたので、変化率がほぼ 100%となり、ほとんど変化していないということを生徒に認識させるためであった。生徒たちの実験結果を見ると、食塩を溶かしたときの体積変化は 8 班を除いては良好に実験観察できていたようである。また、砂糖と塩化アンモニウムについてもほぼ全ての班が良好にできた。実験を行っている様子を観察していると、良好なデータが得られない原因として、かき混ぜ棒を激しく上下させすぎて液がメスシリンダーの外へ飛び散っていたり、メスシリンダーの値を最小目盛りの 10 分の 1 まで読み取っていないかった班もあり、測定自体がしっかりと行えていなかった班もあった。このことから、この実験内容には、かき混ぜ棒の扱いに慣れるまでに時間がかかること、メスシリンダーの値の読み取り方を指導する必要であることなどの問題点が挙げられる。

また、1 回ずつの測定しかしていないにもかかわらず、実験をするだけで授業時間が終わってしまったことから、実験内容自体が 1 時間の授業には多すぎ、結果、疑問の共有化が図れなかった。どの班もしっかりとした結果が出ていたとして、実験結果から溶解による溶液の体積変化について考えていくとしても、減少するものもあれば、増加するものもあるし、変化しないものもあるとなれば、どう考えてよいのか混乱してしまう可能性は大きい。水に溶かす物質によって、溶解したときに溶液の体積が減少するもの、増加するもの

の、ほとんど変化しないものがあるという事実を認識することは大切である。この授業では、時間的な制約があり、現象の認識をねらいとすることになったが、本来的には生徒たちが現象を認識することだけでなく、その現象について考えていき、溶解現象を粒子的な視点で捉えることや、溶質と溶媒の相互作用でおこる現象であるという認識を得ることである。このことに向けて、さらに実験を改良し、授業を行うことにした。

3 節 授業実践 その②

1. はじめに

溶解における体積変化の内容を取り入れた授業を実践した。実験は実験①を改良し、実験②を用いた。1時間の授業としてまとめるには、実験案①の内容は多すぎると判断したからである。授業構成は探究学習が成立することに配慮した。

2. 授業での実施実験—実験②

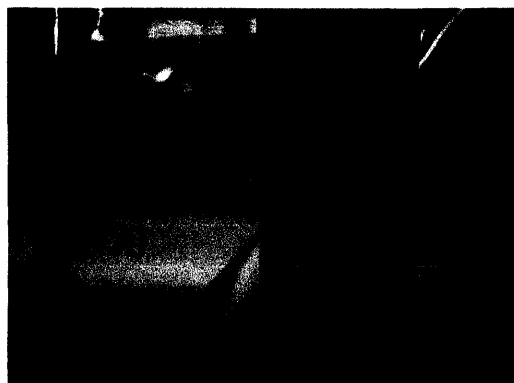
物質を水に溶かしたときに溶液の体積が減少するということを認識するための実験を考えた。

<試料>

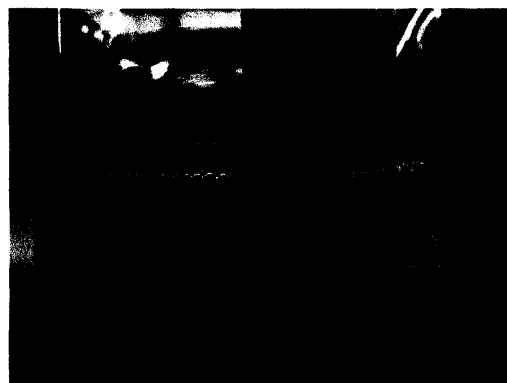
食塩

<実験手順>

- i) 200ml ビーカーに水を約 150ml 入れる。
- ii) ガラス棒を入れ、テープを貼る。
- iii) 食塩を入れ、入れた直後の液面の高さテープにラインを引く。
- iv) ガラス棒で食塩をかき混ぜて溶かす。溶けたら液面の高さをラインと比べる。



食塩を入れた直後



食塩を溶かした後

図 4-3-1 水に食塩を溶かしたときの溶液の体積減少の観察

この実験内容では、溶かす食塩の量を多くしておけば間違いなく溶液の体積が減少することが観察できるはずである。実験操作も容易であり、実験時間は短くて済み、その後に考えを深めていく時間を確保できる。また、食塩を溶かしたときに溶液の液温が下がることにも気づく可能性がある。

3. 授業内容

<対象>

京都教育大学附属桃山中学校 1 年 1 組 (40 名)、1 年 2 組 (39 名)、1 年 3 組 (39 名)

3 学級ともに理科 (授業担当 ; 土田弘幸教諭) の時間に実施した。溶解について学習する水溶液の単元に入る前の段階で行った。

<日時>

2006 年 12 月 13 日 (水) 2 校時、3 校時、4 校時

2 校時 (9:45~10:35) : 2 組

3 校時 (10:45~11:35) : 3 組

4 校時 (11:45~12:35) : 1 組

<授業のねらい>

水に物質を溶かすと、溶液全体の体積が減少するという不思議な現象について、どのように考えればうまく説明することができるかという形で考えを深め、溶解現象についての粒子的な視点の発生と、溶解現象を溶質と溶媒の相互作用であるという、溶解現象を捉える重要な 2 つの視点を形成することをねらいとして授業を行った。

3 学級ともに基本的には同じ内容の授業を実施した。

<本時の展開>

授業の展開を示した。

表 4-3-1 : 授業展開

過程	事物・現象	学習者の活動	教師の役割	科学的方法
① (前仮説)	授業プリント		水に食塩を溶かしたときに体積がどうなるか調べることを告げる。結果を増える、減る、変化しないの 3 つから予想させ、その理由も考えさせる。	
知識 生活体験		結果を予想し、その理由を考える。	予想した結果を挙手させ、人数を数える。	知識・経験・予想
②				
実験・観察 現象との出会い	食塩、溶解による体積変化	【実験】水に食塩を溶かし、溶ける前後で全体の体積がどうなるか調べる。	実験方法を説明する。	実験・観察
現象の確認			水に食塩を溶かすと、溶ける前後で体積が減少することをクラス全体で確認する。	
③				
観察	アルコール、溶解による体積の減少		【演示】水にアルコールを溶かすと体積が減少することを見せる。このとき、溶かす前後で全体の質量は変化していないことも確認する。	観察
現象への認識		食塩以外にアルコールも、水に溶けると体積が減少することを確認する。		
④				
話し合い		なぜ溶けることで体積が	なぜ溶けることで体積が減少したのかを考えさせる。	知識・経験・

		減少したのか、どのように考えればうまく説明できるか班ごとに議論し、画用紙に絵を使ったモデルを描く。		科学的思考・表現
⑤ 仮説の共有			各班のモデルを黒板に貼り、それぞれの班の考えを共有させる。	
仮説の発生 検証実験		食塩や水は大きさの異なる粒からできていて、大きさの異なる粒と粒が混ざると、小さな粒が大きな粒の隙間に入り込み、粒が詰まり、密な状態になるために体積が減少するという説明ができることを認識する。	ビー玉と BB 弾をイオンと水分子に見立てた粒子モデルを用いて、溶解によって体積が減少することについての 1 つの考え方を検証する。	知識・理解

なお、授業の過程を次の①～⑤の段階に分け、以下の分析を行うことにした。

- ① 水に溶かすと全体の体積はどうなるか予想する
- ② 水に食塩を溶かして、体積はどうなるか調べる
- ③ 物質が水に溶けると、体積は保存されずに減少することを認識する
- ④ 溶解による体積減少について考える
- ⑤ それぞれのモデルを共有し、検証する

4. 授業の経過と分析

3 学級で行った授業全体を通しての経過を、授業を撮影したビデオで観察し、分析を行った。分析は、先に示した①～⑤の段階に分けて行った。

① 水に食塩を溶かすと全体の体積はどうか予想する

授業の導入で、今日の授業では、水に食塩を溶かしたときに体積はどうかを実験で調べ、溶けるとはどういうことなのかを考えていくことを伝えた。まず、水に食塩を溶かすと溶液全体の体積はどうかと全体に質問し、増える、減る、変わらない、の3つから選ばせ、その理由も合わせて考えさせ、授業プリントに記入させた。授業プリントは次ページの通りである。

<予想> 水に食塩を溶かすと、液の体積はどうか。

増える

減る

変わらない

(そう思う理由)

その際、水に食塩を入れる前と、水に食塩を入れた直後と、入れた食塩を溶かした後の3つの状態のどれとどれの体積を比べるのかを生徒たちが十分に把握していなかったため、水に食塩を入れた直後に比べて、入れた食塩を溶かした後の体積はどうなっているか予想することを再度伝え確認した。挙手をさせて全員の予想を聞いたところ、ほとんどの生徒は体積は変わらないと予想していた。

② 水に食塩を溶かして、体積がどうか調べる

全員の予想をクラス全体で確認した後、水に食塩を溶かすと溶液の体積がどうかを班ごとに実験をして調べさせた。実験内容について解説した授業プリントは以下の通りで

ある。

【実験】水に固体の物質を溶かしたときの体積変化を調べよう

＜溶かす物質＞ 食塩

＜実験方法＞

- ⑦ 200ml ビーカーに水を 150ml ほど入れる。
- ⑧ 水の中にガラス棒を入れる（ガラス棒は最後まで抜かない）。ガラス棒を入れた状態の液面の高さにテープの上からラインを引く。
- ⑨ 水の中に食塩を薬さじで山盛り 8 杯入れる。食塩を入れた直後の液面にテープの上からラインを引く。この値が、**食塩を水に溶かす前の全体の体積**になる。
- ⑩ ガラス棒で食塩をかき混ぜ、すべて溶かす（少しくらはは溶け残りがあってもよい）。
- ⑪ 食塩が溶けた後の液面にラインを引く（ガラス棒は入れたまま）。この値が、**食塩を水に溶かした後の全体の体積**になる。

（注意！）泡が発生して液面に泡がついていても、泡は気にせずに液面にラインを引くこと。

①の段階で結果を予想した際に見られた、溶解における体積変化についてどの状態とどの状態の体積を比較するのかという混乱は実験を行った際には見られなかった。生徒達は何を調べるのかをしっかりと理解して実験を行っていた。この実験では、溶解による体積の変化がはっきりと表れるように、水に入れる食塩の量を多く設定していた（約 30g）。そのため、こんなにたくさんの食塩が溶けるんだと驚いている生徒も多かった。ほとんどの生徒はこの実験で、水に食塩を溶かす前後で溶液全体の体積が変化することを初めて知ることになり、体積が減少していることを目の当たりにして驚いている生徒が多く、予想と違う結果になぜだろうと不思議がっている様子であった。班ごとに結果を挙手させたところ、3 クラスで計 30 班あったうち、数班では体積が変化しておらず、体積の減少を観察できていなかった。

③ 物質が水に溶けると、体積は保存されずに減少することを認識する

食塩を水に溶かすと、全体の体積は減少することが実験で分かったところで、生徒を前に集め、演示で水 50ml にアルコール 50ml を溶かすと、体積が 100ml にはならず減少す

ることを見せた。その際に、生徒から「アルコールをちゃんと移しきれていないのではないか」、「メスシリンダーの中にまだ残っているのではないか」という声が聞こえたので、アルコール 50ml にアルコール 50ml を入れるとほぼ 100ml（わずかに 100ml に達していなかった）になることを実際に見せ、水に物質が溶けることで体積が減少するという現象への認識を促した。また、「アルコールが蒸発したのではないか」という意見もあり、溶解による体積の減少について考えを深めていく手がかりを与えるためにも、全体の質量はほとんど変化していない（わずかに減少していた）ことをデジタル天秤で測定して確認した。体積減少の理由が、アルコールが残っていたことでも、アルコールが蒸発したことでもないことの確認を通して、生徒達は水に物質が溶けることで体積が減少することを納得した。しかし、アルコールや全体の質量のわずかな減少にこだわる生徒もおり、やっぱりアルコールがちゃんと移しきれていなかっただけだという認識や、アルコールが蒸発したために体積が減ったんだという認識を持った生徒もいたようであった。

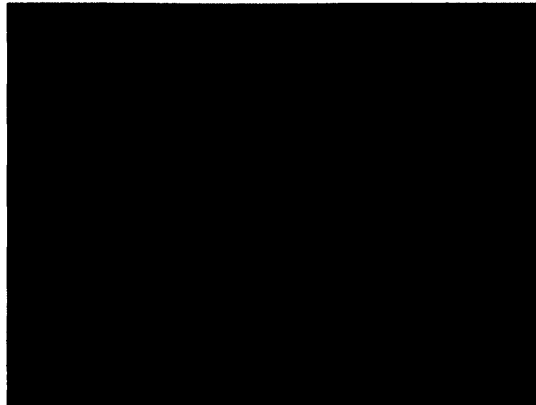
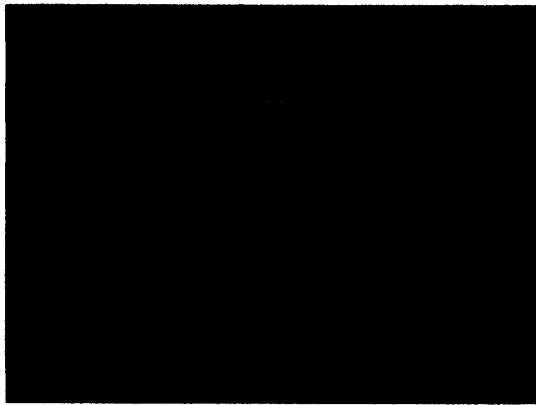
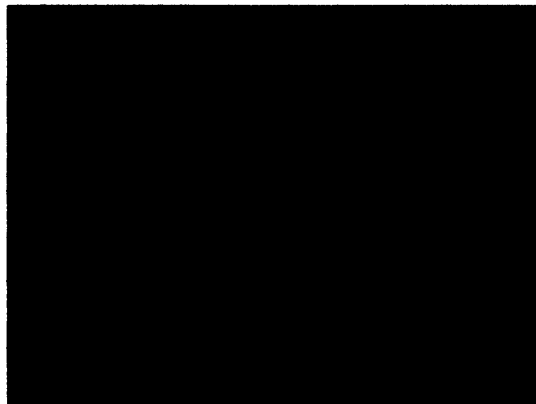
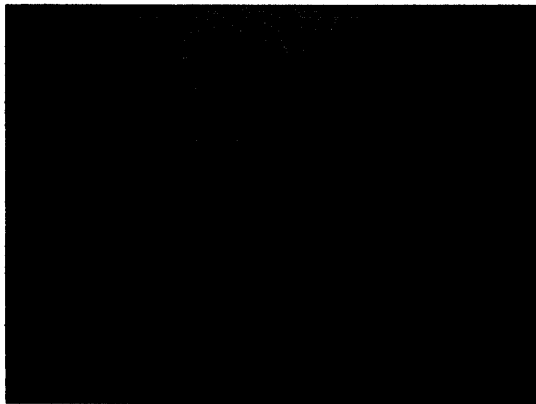
④ 溶解による体積減少について考える

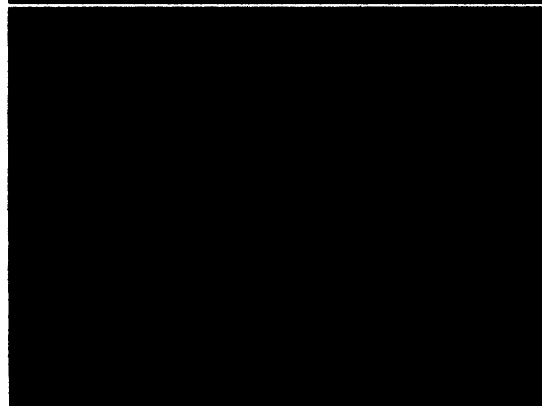
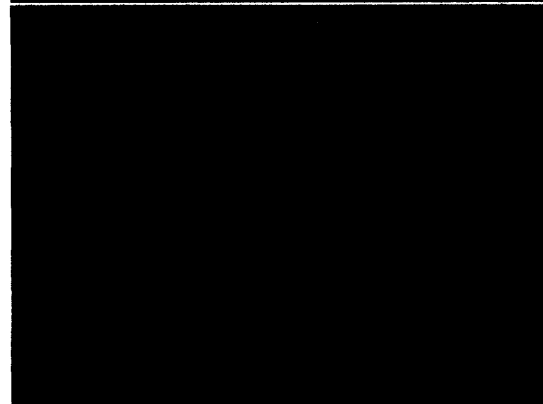
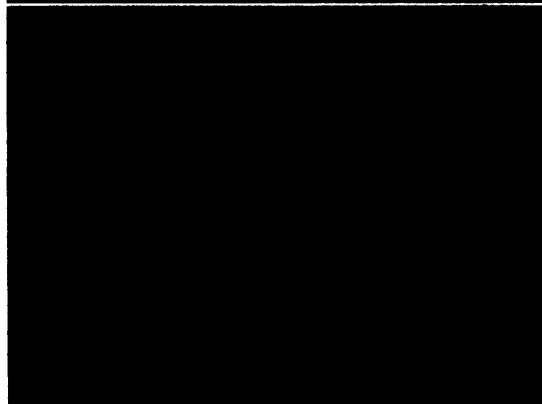
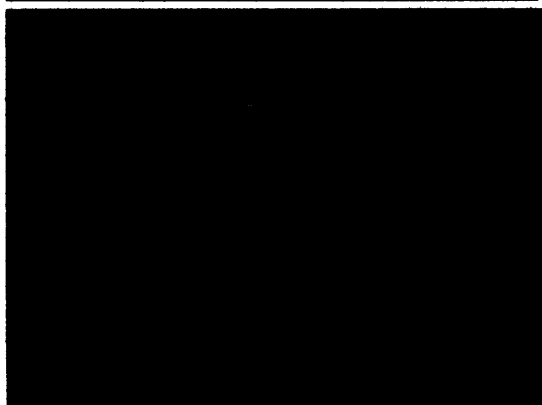
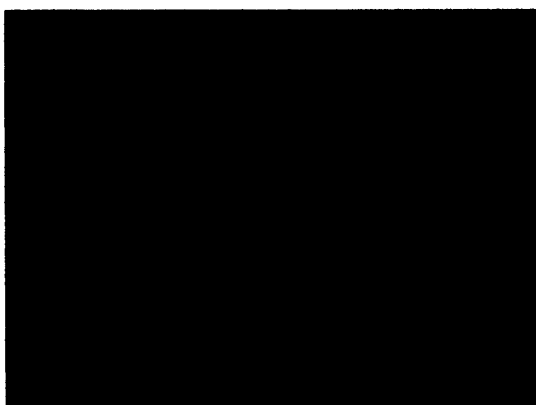
物質が水に溶けることで体積が減少するという現象への認識を持たせたところで、なぜ物質が水に溶けると体積は減少するのかを考えさせた。その際、生徒からのアイデアが出やすくするために、班での話し合いの形をとり、物質が水に溶けると体積が減少することをどのように考えればうまく説明できるか、そのモデルを考えるように指示し、画用紙に描かせ、自分たちの考えを表現させた。各班から出てきたモデルを次ページから載せておく。5分程度しか時間をとることができなかったが、多くの班が何かしらのモデルを示すに至った。

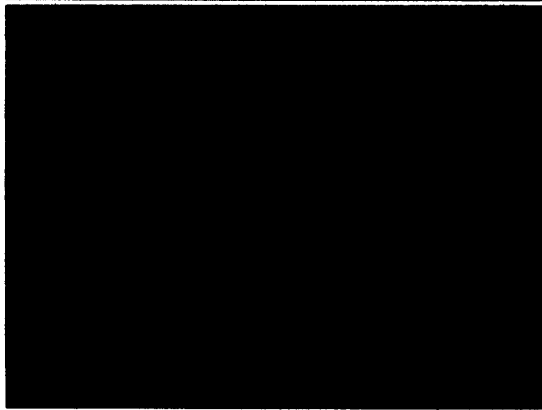
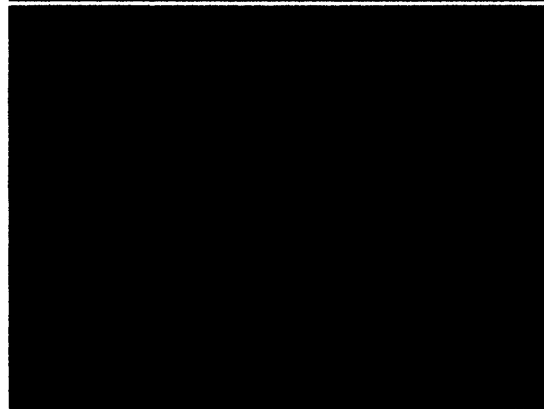
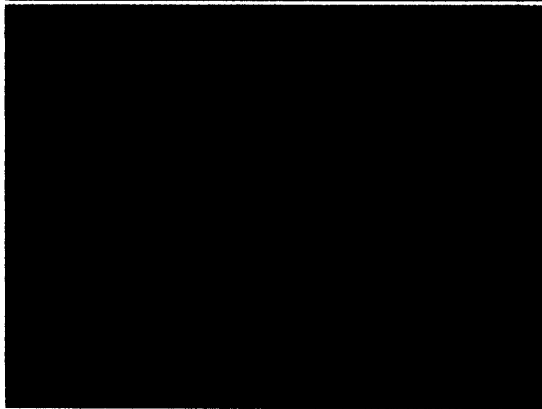
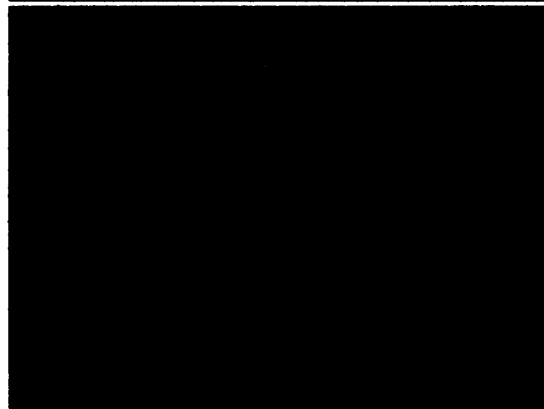
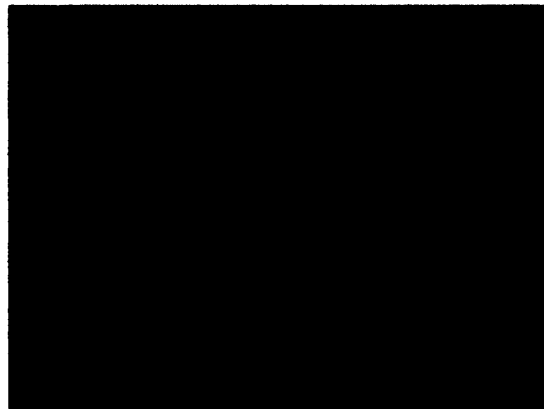
⑤ それぞれのモデルを共有し、検証する

画用紙を黒板に張り、各班が考え出したモデル（図 4-3-2 ①~⑩）を紹介し、クラス全体でそれぞれのモデルを共有した。各班が考え出したモデルの中で最も多かったのは、図 4-3-1 の④や⑨のように、水の粒の間に食塩の小さくなった粒が入り込む（もしくは食塩の粒の間に水の粒が入り込む）ことで体積が減少するというものであった（30 班中 12 班）。各班の話し合いの様子を観察していると、班員のうちの誰かが、食塩は溶けると目に見えないくらい小さな粒になるということを知っていた、もしくはそのような考えを出した班の多くは、粒と粒の間に小さな粒が入り込むことで体積が減少するというモデルを示した。こ

のモデルについては、どこかの班からは出てくると予想していたので、あらかじめ用意しておいたビー玉と BB 弾を用いて、大きさの違う 2 種類の粒であれば、大きな粒の間に小さな粒が入り込み体積が減少するのかどうか演示で確かめた。授業のまとめとして、生徒たちが考えたモデルを明確な仮説にしていく必要があり、この演示により、生徒たちの仮説を純化させていき、同時に仮説の検証を行った。ビー玉と BB 弾を用いた体積減少のモデルは、非常に明解であり、生徒たちからは「おー！」という声が聞こえた。また、このモデルは単に大きな粒の隙間に小さな粒が入り込むということに止まらず、2 種類の粒が接し合う様子や、粒の詰まり方が密になる様子は、水和の概念に通じるものがあり、溶解を説明するモデルとしては有用であると考えられる。しかし、授業においては、あくまでもこのように考えればうまく説明することはできるという程度に止めておいた。なぜなら、この段階では水と食塩が大きさの違う粒であるということ自体が仮説であるからである。実際、大きな粒の間に小さな粒が入り込むと体積が減少することには納得できても、「粒の大きさがわからないから、そうとも言えないんじゃないか」とか、「間に入り込めるくらい大きさに違いがあるのか」などの疑問を投げかけてくる生徒がいた。







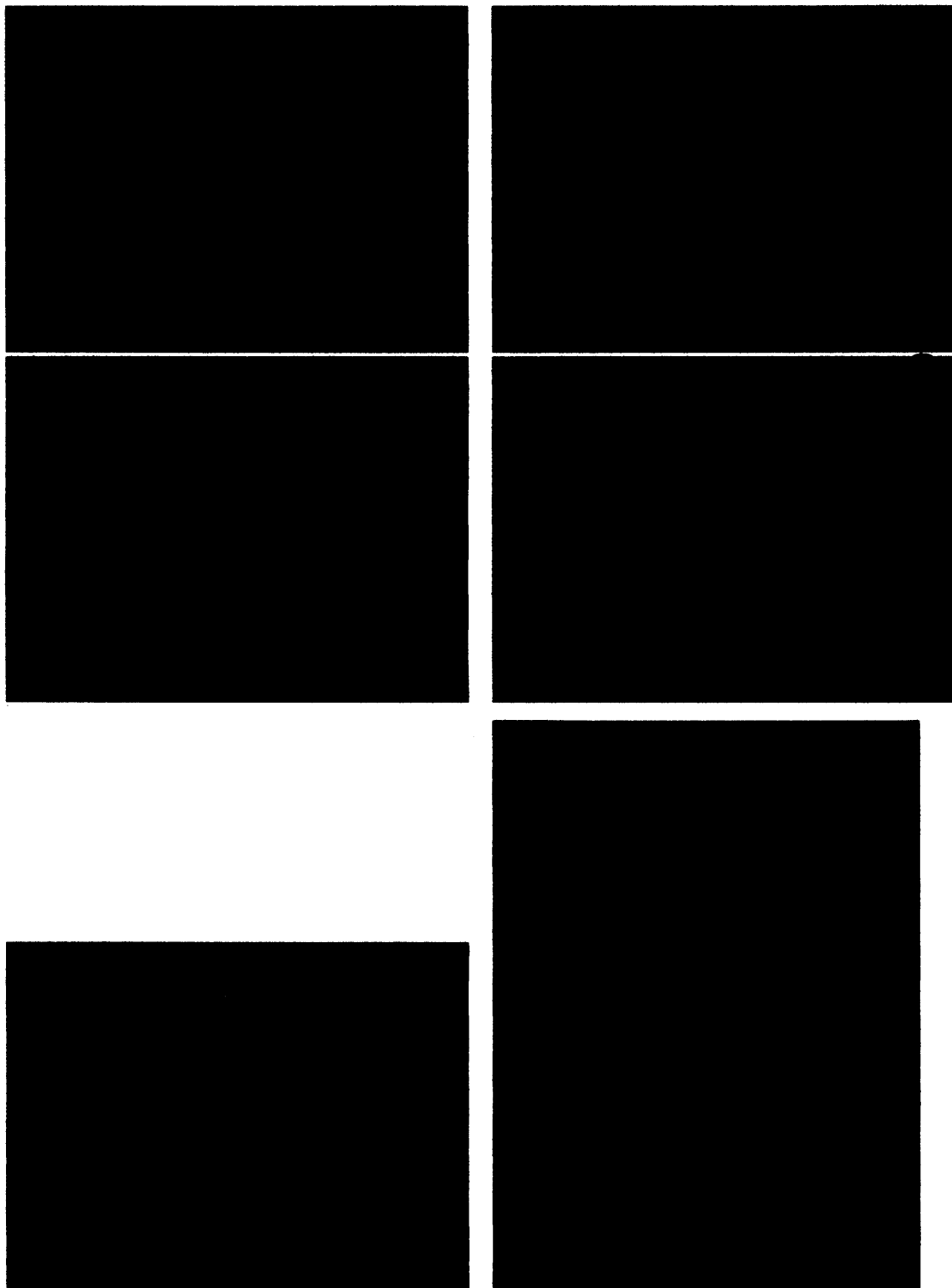


図 4-3-2 各班が考え出したモデル

5. 考察

この授業のねらいの一つは、水に物質が溶けることで溶液の体積が減少するということ
を認識することであった。実験では、全ての班とはいかなかったが、ほとんどの班で食塩
を水に溶かしたときに溶液の体積が減少したことを観察でき、さらに演示でアルコールに
水を溶かしたときも溶液の体積が減少することを観察させたことで、生徒は水に物質が溶
けることで溶液の体積が減少するという現象への認識を持つことができていたと思われる。

授業のもう一つのねらいは、水に物質が溶けることで溶液の体積が減少するという不思議
な現象に対して考えていくことで、生徒たちの中から粒子的な視点や、溶解という現象
を溶質と溶媒の相互作用でおきているという視点が浮かび上がってくることであった。各
班が考え出したモデルから、水に物質が溶けることで溶液の体積が減少するという不思議
な現象に対して、各班がそれぞれに考えを深めたことが読み取れる。生徒たちが考えたモ
デルが正しいかが重要なのではなく、水に物質が溶けることで溶液の体積が減少す
るという不思議な現象に対して、生徒たちが考えられる範囲でどれだけ考えを深め、こ
う考えられるのではないかと仮説を立てることが大切なのである。溶解についての学習をす
る前の段階ということもあり、物質が水に溶ける前後で全体の質量が保存されるというこ
とを最初は理解していなかった生徒もいたようだが、演示のときに質量は変化していない
ことを確認したことで、生徒たちも物質がなくなったわけではないことは意識して考えを
深めていたようである。授業のねらいは達成されていたと考えられる。

ここで生徒たちが考えたモデルはあくまで仮説であり、自分たちのモデルが正しいのか
検証するための実験方法を考え、実際に自分たちで検証していくのが本来の探究の流れで
ある。ビー玉と BB 弾のモデルを見せた後も、生徒たちは自分の考えたモデルも正しいの
ではないか、そのモデルがほんとうに正しいとはいえないのではないかと考えを深めている
様子がうかがえた。このような生徒の様子からも、溶解による溶液の体積減少について生
徒が真剣に考え、自分たちの立てた仮説にこだわりを持っていることがわかり、探究にお
いて最も重要である現象を認識し仮説を立てるという流れは成立していたと思われる。

4 節 アンケート分析

1. 実施アンケート

3 節で実践した授業の開始時と終了後に行ったアンケートの概要について述べる。

<調査項目>

具体的な内容は以下の通りである。なお、実施したアンケート用紙は末尾に掲載した。

事前アンケート

- ①既存の不思議の調査項目 『溶けることを見て何か不思議に思ったことはありますか。それは、どんなことですか。複数ある場合は、不思議に思う順に番号をつけてください。』
- ②溶解現象に対する認識の調査項目 『水に何か物質を溶かすことについて質問します。
(1)あなたは、どのようになったとき、物質は水に“溶けた”と言いますか。(2)物質が水に溶けると、どのようになると考えますか。図なども使って書いてください。』

事後アンケート

- ①気づきについての調査項目 『今日の活動をして、気づいたことを書いてください。』
- ②疑問や不思議についての調査項目 『今日の活動をして、不思議や疑問に思ったことを書いてください。』
- ③今後やってみたいことの調査項目 『今日の活動を通して、自分で調べてみたい、やってみたいと思うことを書いてください。』
- ④溶解現象に対する認識の調査項目 『物質が水に溶けると、どのようになると考えますか。図なども使って説明してください。』

<アンケート回収人数>

各アンケートの回収人数は表 4-4-1 の通りである。

表 4-4-1 アンケート回収人数

アンケートの種類	人数
事前アンケート	112 人
事後アンケート	117 人
事前・事後アンケート	111 人

2. 各項目についての分析

アンケートの各項目について、同一の内容を記述した生徒の人数を数え、その記述内容と人数を示した表を作成した。また、その内容を記述した生徒の全体に対する割合を、円グラフで表した。なお、円グラフにおいて記述内容を表すアルファベットは、各項目の記述内容と人数の表における記述内容のアルファベットに対応している。

事前アンケート①について

“溶ける”ことに対する既存の不思議の調査項目である。生徒が不思議に思っていることで最も多かったのは、「溶けるとなぜ物質が見えなくなるのか」というものであった。また、質問文が溶解の内容に絞ったものではなかったため、融解の現象についての不思議を記述している生徒も多く、「体積はどうなるのか」などのように、溶解についての記述なのか、融解についての記述なのか判断できない記述もあった。

表 4-4-2 事前アンケート①の記述内容と人数

記述内容	人数
A) 回答なし	38
B) 溶けたらなぜ（物質が）見えなくなるのか	15
C) なぜ溶けるのか	13
D) 溶けた後の物質はどうなるのか	3
E) 物体が液体状態になること	3
F) なぜ物質がなくなるのか	3
G) 体積はどうなるのか	3
H) 物の溶けるスピードは、物によって違うのか	2
I) （物質が）消えること	2
その他) なぜ溶けるものと溶けないものがあるのか 氷がとけるとき、どこからとけるのか 溶けかたがそれぞれ違うこと 水とお湯で溶ける速さが違うのはなぜか 気体が溶けること など	各 1 計 34

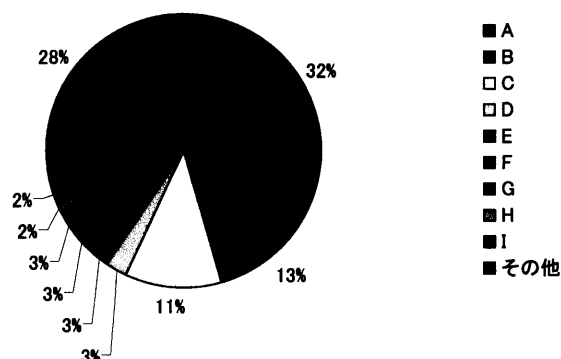


図 4-4-1 事前アンケート①の記述内容の割合

事前アンケート②-(1)について

“溶ける”ことに対する既存の認識の調査項目である。生徒の半数以上が、「物質がみえなくなったとき」に物質が水に溶けたと判断していることが分かった。ここで気になったのは、「固体が液体になったとき」という記述が 7 名いたことである。この質問は溶解についての質問であるため、溶解は固体が液体になる現象であると捉えている生徒が 7 名いたということである。また、「固体ではなくなったとき」という記述にも、共通する部分があると思われる。

表 4-4-3 事前アンケート②-(1)の記述内容と人数

記述内容	人数
A) (物質が) 見えなくなったとき	61
B) 透明になったとき	19
C) (物質が) なくなったとき	17
D) 固体が液体になったとき	7
E) 回答なし	4
F) 固体ではなくなったとき	2
G) ろ過しても何も残らないとき	2
H) 水に入れた量より、物体の量が少なくなったとき	2
I) 水の色が全て同じになったとき	2
J) 色が変わったとき	2

その他) どこも均等になったとき	各 1
紅茶に砂糖を入れて甘くなったとき	計 10
熱しないかぎり、溶かしたものを取り出せない	など

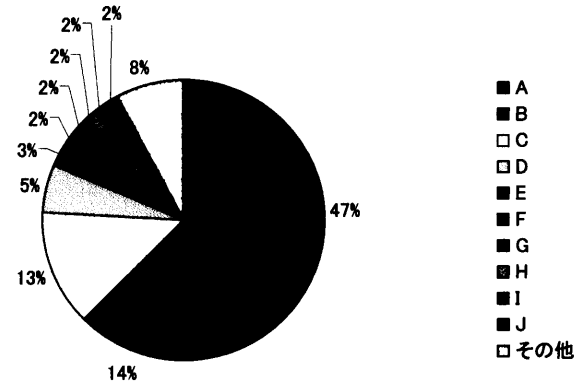


図 4-4-2 事前アンケート②-①の記述内容の割合

事前アンケート②-②について

“溶ける” ことに対する既存の認識の調査項目である。多くの記述が、溶解現象を溶質の変化のみに着目して捉えている記述であることが分かる。質問の仕方が、溶けた物質はどうなったかというニュアンスになっていることも影響してしまっている可能性は考えられる。溶質と水との作用として捉えている記述は、「すき間に物質が入る」、「水と物質が一緒になる、合体する」というものが多かった。その他としては、溶液の色や味などの性質による記述が多く見られた。

表 4-4-4 事前アンケート②-②の記述内容と人数

記述内容	人数
A) 回答なし	21
B) 透明になる	13
C) (物質が) 見えなくなる	9
D) すき間に物質が入る	6
E) 物質が見えないほど小さくなる	5
F) 体積が増える	5
G) 水と物質が一緒になる、合体する	5

H) 物質がなくなる	5
I) 色が変わったり、味が変わる	5
J) 水がにごる	3
K) 量が増える	3
L) 溶ける前後で全体の質量は保存される	2
M) 重さが増える	2
その他) 肉眼で見えない粒子が水を回る 水と塩が結合する 水の成分に物質が含まれる など	各 1 計 28

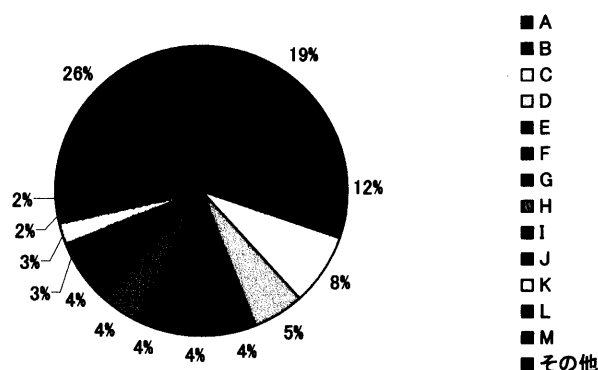


図 4-4-3 事前アンケート②-(2)の記述内容の割合

事後アンケート①について

授業をして気づいたことの調査項目である。「体積が減る」、「かさが減る」、「量が減る」など細かい記述に違いはあったが、半数以上の生徒が「水に物質（食塩）を溶かすと体積が減る」という内容の記述していた。「物質（食塩）は水と水の間に入り込んで溶ける」という記述や、「大きいもののすき間に小さいものが入る」という記述が続いて多かったのは、ビー玉と BB 弾を使ったモデルで検証を行ったことによる影響があると考えられる。

表 4-4-5 事後アンケート①の記述内容と人数

記述内容	人数
A) 水に物質（食塩）を溶かすと体積が減ること	64
B) 物質（食塩）は水と水の間に入り込んで溶ける	10

C) 大きいもののすき間に小さいものが入る	6
D) 回答なし	5
E) 食塩は水に溶ける量が決まっている	3
F) 水が小さな粒の集まりだった	2
その他) 水に食塩がたくさん溶けること 食塩は溶けにくい かきまぜるとよく溶ける など	各 1 計 30

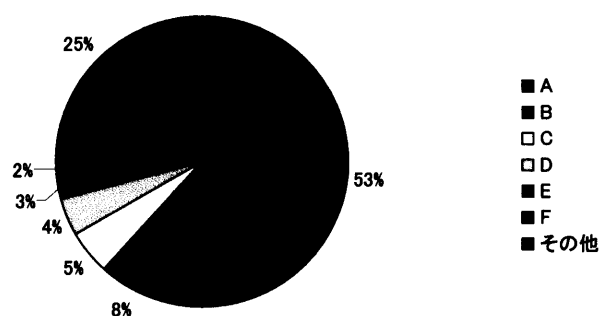


図 4-4-4 事後アンケート①の記述内容の割合

事後アンケート②について

授業をとしての疑問や不思議の調査項目である。「なぜ体積が減るのか」という記述が多かったのは、ビー玉と BB 弾のモデルで、体積が減少する仮説を検証したが、あくまで仮説であり、その他の考え方も正しいかもしれないというまとめ方をしたことによると考えられる。また、「水の間に食塩が入り込むのか、食塩の間に水が入り込むのか」という記述や、「水や食塩の BB 弾やビー玉のようなものは何か」などの記述は、ビー玉と BB 弾で検証したモデルから仮説が明瞭化し、実際はどうなのかということへ関心が向いているものと考えられる。

表 4-4-6 事後アンケート②の記述内容と人数

記述内容	人数
A) なぜ体積が減るのか	35
B) 回答なし	29

C) なぜ溶けると見えなくなるのか	5
D) 他の物質ではどうなるのか	5
E) なぜ溶けるのか	4
F) なぜ溶けると透明になるのか	3
G) 水の間に食塩が入り込むのか、食塩の間に水が入り込むのか	3
H) 食塩や水の粒の大きさはどれくらいか	3
I) 水と水の間にすき間はあるのか	3
J) 水や食塩の BB 弾やビー玉のようなものは何か	2
K) すき間に入り込むこと	2
L) なぜアルコールと水は混ざりやすいのか	2
その他) なぜ混ぜるとよく溶けるのか 食塩を入れたとき、なんですぐにまざらないのか 上の方と下の方で溶け具合が違う など	各 1 計 22

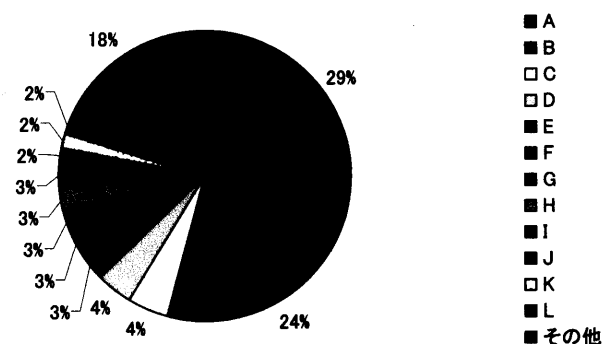


図 4-4-5 事後アンケート②の記述内容の割合

事後アンケート③について

授業をして、今後やってみたいことの調査項目である。「他の物質ではどうなるのかやってみてみたい」という内容の記述が圧倒的に多かった。また、「水の粒と食塩の粒を見てみたい」という記述や、「食塩の粒と水の粒のどちらが大きいのか」という粒について調べたり、観察したいという記述もあった。

表 4-4-7 事後アンケート③の記述内容と人数

記述内容	人数
A) 他の物質ではどうなるのか	52
B) 回答なし	15
C) なぜ体積が減ったのか	5
D) 水の粒と食塩の粒を見てみたい	4
E) ビー玉と BB 弾の実験をしたい	3
F) 水以外の液体に物質を溶かしても同じようになるのか	3
G) 食塩の粒と水の粒のどちらが大きいのか	2
H) (物質が) なぜ目に見えなくなるのか	2
I) 食塩はどれくらい溶けるのか	2
J) 混ざりやすい液体を調べたい	2
K) ものが溶ける様子、瞬間を見てみたい	2
その他) すき間に入り込むことを調べたい 物質を混ぜる量によって水の減り方は変わるのか いろいろな物質の大きさ など	各 1 計 25

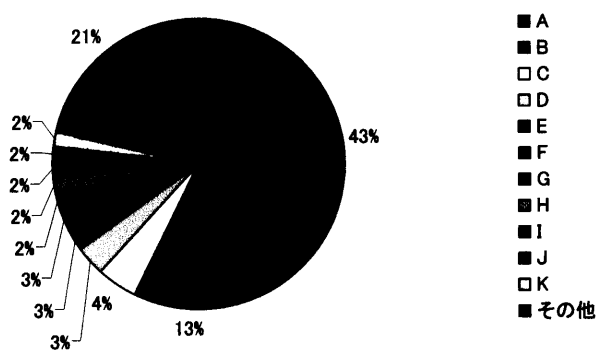


図 4-4-6 事後アンケート③の記述内容の割合

事後アンケート④について

授業を終えた段階での溶解現象に対する認識の調査項目である。記述内容の多くは、粒子的な視点で溶解現象を捉えているといえる。「水の粒の間に食塩の粒が入り込む」という

記述が最も多かったことから、水の粒と食塩の粒では水の粒のほうが大きいと考えている生徒が多いと考えられる。

表 4-4-8 事後アンケート④の記述内容と人数

記述内容	人数
A) 水の粒の間に食塩の粒が入り込む	19
B) 大きい粒の間に小さい粒が入り込む	14
C) 体積が減る	13
D) 水の粒と食塩の粒が混ざっている	11
E) (物質が、物質の粒が) 見えなくなる	9
F) 透明になる	7
G) 大きい粒と小さい粒がまざる	6
H) 回答なし	5
I) 水のすき間に食塩の粒が入り込む	4
J) 食塩の粒の間に水の粒が入り込む	3
K) 水の粒の間に食塩の粒 or 食塩の粒の間に水の粒が入り込む	3
L) 水の粒の間に物質（粒でない）が入る	3
M) 水の粒の中に食塩の粒が取り込まれる	2
その他) 食塩の間に水（粒でない）が入り込む 水が食塩に包み込まれる 水の粒と物質の粒が合体（結合）する など	各 1 計 18

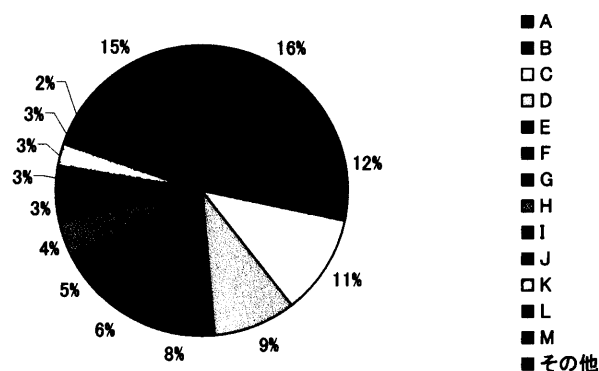


図 4-4-7 事後アンケート④の記述内容の割合

3. 概念形成に着目した分析

<方法>

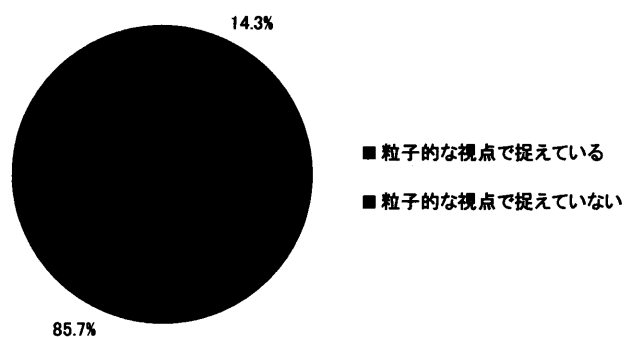
授業の前後における、生徒の溶解現象に対する認識について、事前アンケートの項目②－(2)と事後アンケートの項目④の記述を中心に、次の2つの視点で分類を行った。

- ・溶解という現象を、溶質と溶媒が相互に作用しているものであると捉えているか
- ・溶解という現象を、粒子的な視点で捉えているか

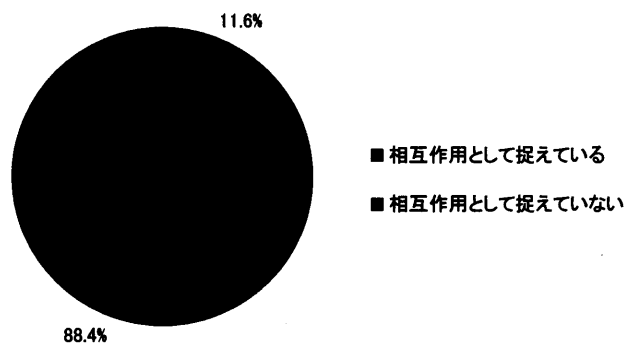
<結果>

授業前の溶解現象に対する認識（事前アンケート 項目②－(2)の記述から）

- ・溶解現象を粒子的な視点で捉えていた生徒は全体の14.3%であった(112人中16人)。

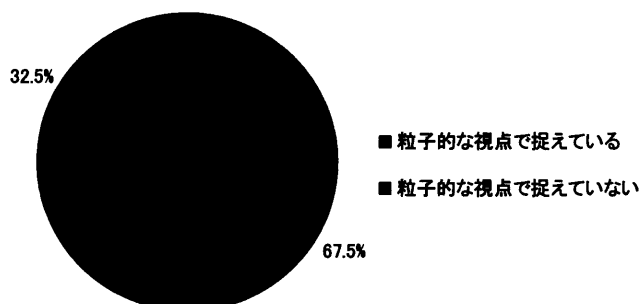


- ・溶解現象を溶質と溶媒の相互作用であると捉えていた生徒は全体の11.6%であった。
(112人中13人)

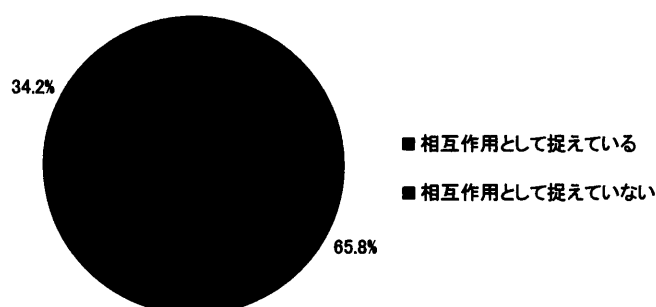


授業後の溶解現象に対する認識（事後アンケート 項目④の記述から）

- ・ 溶解現象を粒子的な視点で捉えていた生徒は全体の 67.5%であった（117 人中 79 人）



- ・ 溶解現象を溶質と溶媒の相互作用であると捉えていた生徒は全体の 65.8%であった（117 人中 77 人）。



4. 考察

溶解現象を粒子的に捉えている生徒の割合、溶質と溶媒（水）の相互作用であると捉えていた生徒の割合ともに、授業後では多くなっていた。このことから、実践した授業を通して、溶解現象を粒子的な視点で捉えるようになり、また、溶質と溶媒（水）との相互作用であると捉えるようになった生徒は多いということがいえる。

しかし、溶質と溶媒の相互作用であると捉えている中にも、考え方には違いがあることが分かる。「大きい粒の間に小さい粒が入り込む」という仮説は、ビー玉と BB 弾を用いた検証により、多くの生徒の中で明瞭化されていたはずである。その上で、「水の粒の間に食

塩の粒が入り込む」と回答した生徒が「食塩の粒の間に水の粒が入り込む」と回答した生徒よりも多かったことから、水の粒と食塩の粒では水の粒のほうが大きいと考えている生徒が多いと考えられる。この要因としては 2 つのことが考えられる。一つは、食塩は溶けると見えなくなるほど小さな粒になるという考えの上に成り立っているため、食塩の粒＝見えている水よりも小さい、というように考えている生徒が多いということである。もう一つは、ビー玉と BB 弾のモデルによるところである。ビー玉と BB 弾のモデルによる検証では、BB 弾を下に、ビー玉を上敷き詰めた状態から混ぜ合わせた。生徒たちはこの状態を水に食塩を入れた直後の状態として見ていたのではないだろうか。つまり、下に敷き詰まった BB 弾＝ビー玉の底に溜まった食塩としてモデルを実際の現象に当てはめて認識していたということである。そのため、食塩の粒のほうが小さいと捉えた生徒が多かったと考えられる。

大きな粒の隙間に小さな粒が入り込むことで体積が減少したという仮説を明瞭化し、検証したことで、溶解現象を大きな粒の隙間に小さな粒が入り込むと捉えるようになった生徒が多くなったことは明らかである。それが本当の溶解の姿かといえそうではないが、溶解現象を溶質と溶媒が粒子的に作用している現象であるという視点の形成には効果があったといえる。また、数人の記述に「水の粒と食塩の粒が合体する」というものや、「食塩の粒が水の中に粒の中に入り込んで合体する」というものがあつた。生徒が描いていた図によると、「合体」とは「結合」の意味合いであり、これこそ溶解の際の溶質と溶媒の作用である“水和”に限りなく近いモデルであるといえる。

また、授業をして、今後やってみたいことでは「他の物質ではどうなるのかやってみたい」という内容の記述が圧倒的に多かったことから、溶解による溶液の体積減少に興味・関心を持った生徒は多かったと考えられる。「粒を見てみたい」などの記述もあつたことから、粒子自体へ興味・関心を持った生徒もいたと思われる。

5 節 考察

授業実践では、私が第3章で探究した溶解による溶液の体積変化についての内容を扱い、この不思議な現象について考えを深めていくことで、溶解現象を粒子的な視点と溶質と溶媒の相互作用であるという視点で捉えていくことをねらいとした。

溶解による溶液の体積変化についての私自身の探究活動は、結晶作りの過程で水に食塩を溶かしたときに溶液の体積が減少していることに気づき、興味・関心を持ったことに始まる。やはり、探究活動のエネルギーとなるのは、探究を行う者の興味・関心であり、授業においては、生徒の興味・関心を基に探究学習を進めていくのが本来の姿であると考ええる。そういった面から考えると、どのようにして生徒に現象に対して興味・関心を持たせることができるかが探究学習を成立させる上で重要になってくる。

実践した授業では、水に食塩を溶かすことで溶液の体積が減少するという不思議な現象に出会わせることで、生徒の興味・関心の高まりを期待している。そこには、「溶けても体積は変わったりはしないだろう」という、ある意味素朴概念的なものに働きかけて、興味・関心を惹きつけようとしている面もある。溶解によって溶液の体積が減少するという現象自体がとても不思議なものであるため、生徒たちに考えさせるエネルギーを与えることができ、探究的な授業は成立していたといえる。

しかしながら、それはあくまで与えられた興味・関心であり、学習者自身から発生した興味・関心ではない。やはり、生徒自身から発生した興味・関心こそが、探究学習を進めていく上で最も大切にすべきものである。つまり、私が食塩を水に溶かすと溶液の体積が減少しているということに結晶作りの過程で気づいたように、水に物質が溶けることで溶液の体積が減少することへ生徒自らが気づく活動の場を与えることが、溶解による溶液の体積変化について探究的に考えていく授業の成立には必要であると考ええる。本章での実践のように、1時間の授業では時間的な制約から困難であるが、水にいろいろなものを溶かしてみる活動をするなどが考えられる。

組 番 班 氏名

事前アンケート

1. 溶けることを見て何か不思議に思ったことはありますか。それは、どんなことですか。複数ある場合は、不思議に思う順に番号をつけてください。

2. 水に何か物質を溶かすことについて質問します。

(1) あなたは、どのようなになったときに、物質は水に“溶けた”と言いますか。

(2) 物質が水に溶けると、どのようなになると考えますか。図などを使って説明してください。

組 番 班 氏名

事後アンケート

1. 今日の活動をして、気づいたことを書いてください。
2. 今日の活動をして、不思議や疑問に思ったことを書いてください。
3. 今日の活動を通して、自分で調べてみたい、やってみたいと思うことを書いてください。
4. 物質が水に溶けると、どのようなになると考えますか。図などを使って説明してください。
5. 今日の活動を通しての、感想や意見を聞かせてください。

ご協力ありがとうございました。

参考文献

- 江田稔（2004）「生きる力」を育てる探究活動．化学と教育 52 号 9 巻；616－619.
- 堀哲夫（2000）論争を呼ぶ“用語・概念”のベスト 10 と指導のヒント（化学）．楽しい理科授業 408 号；11－13．明治図書出版株式会社、東京
- 福島いずみ（2000）理科教育における粒子概念の導入について—小中学校を対象とした教材研究と実践例—．修士論文
- 伊藤昌訓（2006）前仮説段階の“場”に着目した探究学習についての研究—燃焼の学習に着目して—．修士論文
- 国立天文台（2004）理科年表 平成 17 年．丸善株式会社、東京
- 前園律子（1983）粒子概念育成における—考察—生徒の実態調査から—．京都教育大学教育学部附属桃山中学校研究論集；12－20
- 箕浦優樹（2005）結晶作りからはじまる探究的活動とその教材化．卒業論文
- 文部省（1999a）小学校学習指導要領（平成 10 年 12 月）解説．国立印刷局、東京
- 文部省（1999b）中学校学習指導要領（平成 10 年 12 月）解説—理科編—．国立印刷局、東京
- 村上忠幸（2005a）前仮説段階を考慮した探究プロセスと教材の開発．京都教育大学教育実践研究紀要 5 号
- 村上忠幸（2005b）興味・関心の高まりを意図した探究モデルの構築と教材・プロセスの開発．平成 15、16 年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(2)課題番号：15500586）研究成果報告書
- 村上忠幸（2005c）理科・化学の探究学習を実現するために必要なこと．化学と教育 53 (1)；28－31
- 大瀧仁志（1985）『溶液化学』．裳華房、東京
- 社団法人 日本化学会（1995）『溶液の分子論的描像〔季刊 化学総説 No.25〕』．学会出版センター、東京
- 武村重和ほか 16 名（2000）新版せいかつ 1 年．株式会社新興出版社啓林館、大阪
- 武村重和ほか 16 名（2000）新版せいかつ 2 年．株式会社新興出版社啓林館、大阪
- 竹内敬人ほか 35 名（2002）理科 3 年．株式会社新興出版社啓林館、大阪
- 竹内敬人ほか 35 名（2002）理科 4 年上．株式会社新興出版社啓林館、大阪
- 竹内敬人ほか 35 名（2002）理科 4 年下．株式会社新興出版社啓林館、大阪

竹内敬人ほか 35 名 (2002) 理科 5 年上. 株式会社新興出版社啓林館、大阪

竹内敬人ほか 35 名 (2002) 理科 5 年下. 株式会社新興出版社啓林館、大阪

竹内敬人ほか 35 名 (2002) 理科 6 年上. 株式会社新興出版社啓林館、大阪

竹内敬人ほか 35 名 (2002) 理科 6 年下. 株式会社新興出版社啓林館、大阪

ト部吉庸 (2005) 『化学 I・II の新研究』. 株式会社三省堂、東京

横須賀篤 (2000) 塩化アンモニウムを使った再結晶の授業実践—5 年生: 物の溶け方にて
一. 理科の教育 8 月号 (通巻 577 号); 61—63. ㈱東洋館出版社、東京

吉川弘之ほか 38 名 (2002) 理科 1 分野上. 株式会社新興出版社啓林館、大阪

吉川弘之ほか 38 名 (2002) 理科 1 分野下. 株式会社新興出版社啓林館、大阪

吉川弘之ほか 38 名 (2002) 理科 2 分野上. 株式会社新興出版社啓林館、大阪

吉川弘之ほか 38 名 (2002) 理科 2 分野下. 株式会社新興出版社啓林館、大阪

吉川弘之ほか 46 名 (2006) 未来へ広がるサイエンス第 1 分野 (上). 株式会社新興出版社
啓林館、大阪

吉川弘之ほか 46 名 (2006) 未来へ広がるサイエンス第 1 分野 (下). 株式会社新興出版社
啓林館、大阪

吉川弘之ほか 46 名 (2006) 未来へ広がるサイエンス第 2 分野 (上). 株式会社新興出版社
啓林館、大阪

吉川弘之ほか 46 名 (2006) 未来へ広がるサイエンス第 2 分野 (下). 株式会社新興出版社
啓林館、大阪

謝辞

この論文を作成するにあたって、多くの方々の協力がありました。まず、協力してくださったすべての方に感謝の意を表したいと思います。

私は理科教育研究室に在籍していた3年間で多くの方に出会うことができました。平成16年度、17年度、18年度の理科教育研究室のみなさんには、談話会だけでなく、日頃から研究に対してたくさんの助言やアドバイスをしていただきました。ありがとうございました。

また、高橋先生、谷村先生、開田先生、藤井先生、服部先生には、研究に対する助言だけでなく、それぞれの経験や教育現場の現状など多くの話をしていただき、私にとって参考になることばかりでした。理科、教育に対して真剣に向き合っておられる先生方からは、その行動からも学ぶべき点が多く、先生方と接することができたことは私にとって大きな財産となりました。ありがとうございました。

また、附属桃山中学校の土田先生、北宇治中学校の西川先生にはお忙しい時期にも関わらず、授業実践の場を提供していただきましたことをお礼申し上げます。アシスタントとして授業の準備段階から協力してくれた宅間君、戸田君にも本当に感謝しています。ありがとうございました。

理学科の先生方には、学部1回生の頃から大学生活のあらゆる面でご指導をしていただきました。特に芝原寛泰先生には、大学院の授業でも私の研究内容を考慮に入れた授業をしていただき、ゼミ生でもない私の相談に嫌な顔一つせず、親身に対応していただいたことを大変感謝しております。私は学部生の4年間だけでなく、さらに2年間も先生方のご指導を受けられたことがとてもうれしく、本当に幸せなことであると思っています。ありがとうございました。

指導教員である広木正紀先生には、本当に多くのことを学ばせていただきました。先生との初めての出会いは、大学の推薦入試の面接試験のときでした。当時の私は科学や理科

教育についてほとんど考えたことがなく、面接ではほとんど何を言っているのかわからず、完全にパニックに陥ってしまっていました。そんな中、広木先生は私の発言を内容はともかく、しっかりと受け止めてくださっていたように感じました。そのことが今でもとても印象に残っています。理科教育に入ってから、どんな小さな気づきや発見でも認めてくださり、どんな意見にも一生懸命向き合ってくくださったことを大変感謝しております。先生の温かい人間性に触れられたことは、私にとって大きな幸せでした。ありがとうございました。

最後になりましたが、学部生のときからの担当教員である村上忠幸先生には、言葉では言い表せないほどの感謝の気持ちでいっぱいです。思い起こせば3回生の後期、理科教材論実験での活動が、私が理科教育研究室に入ることになった大きなきっかけでした。それまでの私は、理科の教師になりたいという思いは持っていましたが、なぜ理科の教師になりたいのか、理科の教師になって何がしたいのかということをほとんど考えたことがありませんでした。そんな私に、理科教材論実験で出会った探究教材の数々は理科という教科の魅力を教えてくれました。そして何より、先生の探究教材には、先生の教材に対する強い思い、こだわりが詰まっていることを強く感じ、ここまで理科を面白く、魅力あるものにする事ができることに驚きの連続でした。村上先生の下で勉強したいという強い思いを持ち、理科教育研究室のメンバーとなって早くも3年が経とうとしています。この3年間、村上先生には多大なるご指導をしていただきました。私はどうしても素直でなく、注意を受けても平然を装ってしまうことが多く、先生には不快な思いや苛立ちを与えてしまったことも多かったはずです。修士論文作成にあたっては、最後の最後までご迷惑をおかけすることになり、本当に申し訳なかったと反省しています。そんな私に最後まで真剣に向き合ってくくださったことを心から感謝しています。私が理科教育研究室で3年間活動できたのは、何よりも先生の明るい人間性、そして優しさがあったからだと思います。本当にありがとうございました。

理科教育研究室で学んだ3年間の誇りに、これから先の人生を歩んでいきたいと思えます。