

水溶性物質の溶解による浮力の変化と質量保存 —深い学びのための異単元をつなぐ教材開発の一例として—

村上 祐*, 菊地洋一**, 武井隆明**

(令和3年2月1日受理)

MURAKAMI Tasuku, KIKUCHI Yoichi, TAKEI Taka-aki

The Decrease of Buoyant Force and the Conservation of Mass while Dissolving Water-soluble Substances

:A case study of teaching materials connecting different units for deep-learning

1. はじめに

(1) 学校教育に求められている指導・改善の方向性について

2018年度から施行されてきた小・中学校の新学習指導要領¹⁾(全面実施:小学校20年度、中学校21年度)により、特に「主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善」が求められるようになった。これまでの学習指導要領において主に示されてきたものは「何を教えるか」という指導内容に関する部分であったが、今回は「何を教えるか」に加え「何ができるようになるか」を重視した改定と言われている。「(理科の)指導計画の作成と内容の取り扱い」²⁾においては、「理科の見方・考え方」を、習得・活用・探究という学びの過程の中で働かせ、深い学びの実現に向けて取り組むことの重要性が指摘されている。すなわち、「深い学び」の実現を目指し、「探究の過程を通して学ぶことにより、理科で育成を目指す資質・能力を獲得するようになっているか」、「様々な知識がつながって、より科学的な概念を形成することに向かっているか」、「新たに獲得した資質・能力に基づいた『理科の見方・考え方』を、次の学習や日常生活などにおける問題発見・解決の場面などで働かせているか」などの視点を重視しながら授業

改善を進めていくことが求められている。

また、「このような視点を重視した授業により、『深い学び』を実現できるか否かは、教師の専門性にかかっている」と指摘されている^{3,4)}。たしかに、児童・生徒が、「習得と活用の往還による探究過程を通して学ぶ」、「様々な知識を組み合わせる科学的な概念を形成する」、「獲得した知識を次の学習や日常に生かす」ようになるためには、教師の役割が重要であり、教師の深い専門的知識が必須であると思われる。

一方、大学教育においても、すでに2014年12月の中教審答申⁵⁾によって、「大学において育成すべき力を学生が確実に身につけるためには、大学教育において『教員が何を教えるか』よりも、『学生が何を身につけたか』を重視し、学生の学習成果の把握・評価を推進することが必要である。」として、質的転換が求められてきた。実際、卒業後直ちに教育現場に出る教員の養成を主目的とする教育学部では、「学生が身につけるべきこと」を重視した学習課程としている。しかし、学部4年だけの教育では、上述の「児童・生徒の深い学び」を支えるための教師としての深い専門性(特に、教科に関する専門性)を育成するまでは時間的に十分手が回らない恐れもある。昨年(2020年)12月

*岩手大学名誉教授, **岩手大学教育学部

に公表された2019年の国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS) では教師の最終学歴も調べており、日本の大学院卒の教師が指導している子どもの割合が小4算数5% (国際平均28%)、中2数学12% (同35%)、小4理科4% (同29%)、中2理科15% (同38%) で、いずれも調査国 (小学校58国・地域、中学校38国・地域) 中最低であった。専門性の高い教員の養成の遅れが浮き彫りになったと指摘されている⁶⁾。

(2) 児童・生徒が身につけるべき知識・技能と教師の役割

今回の指導要領改定の審議では、教科や学校種の枠にとらわれない議論をする「教育課程企画特別部会」を新たに設け、18歳までに身につける力とはどういうことかなどを横断的に検討したことが特徴的である。具体的には、子供たちの学力等の現状や、近年の学力・学習に関する学問的な進展、世界的な潮流などを踏まえ、これまでの指導要領を「育成を目指す資質・能力」の視点で再整理した上で、「主体的・対話的で深い学びの視点からの授業改善」や「カリキュラム・マネジメント」など、各教科や学校種を超えて必要とされる考え方を「論点整理」として示した⁷⁾。この「論点整理」に基づいて、中教審の各教科等の部会が検討を進めてまとめたのが今回の学習指導要領である。この「学習指導要領の改定へ向けての各教科や学校種を超えた論点整理」は、日本の教育史上初めてのことである。

この論点整理の「学習プロセス等の重要性を踏まえた検討」項目中の「児童・生徒が身につけるべき知識・技能」については、以下の点が重要とされている。

個々の事実に関する知識を習得することだけが学習の最終目的ではなく、新たに獲得した知識が既存の知識と関連づけられたり組み合わせられたりしていく過程で、様々な場面で活用される基本的な概念として体系化されながら身につけていくということが重要である。技能についても同様に、獲得した個別の技能が関連づけられ、様々な場面で活用される複雑な方法とし

て身につけ熟達していくということが重要であり、こうした視点に立てば、長期的な視野で学習を組み立てていくことが極めて重要となる。

これは学習指導要領改定へ向けた指針であり、「長期的な視野で学習を組み立てていく」ことを教師個人に求めているわけではない。しかし、個々の授業で児童・生徒に「新たに獲得した知識を既習の知識と関連づけたり、組み合わせたりして、基本的な概念を体系化して身につけていく」ように指導するのは教師である。学習指導要領(理科)解説の『『主体的・対話的で深い学び』の実現に向けた授業改善の推進』でも、留意すべき一つの点として、「1回1回の授業ですべての学びが実現されるものではなく、単元や題材などの内容やまとまりの中で、学習を見直し振り返る場面をどこに設定するか、生徒が考える場面と教師が考える場面をどのように組み立てるかを考え、実現を図っていくものであること」を挙げている。

上記改善に向けての授業計画や授業開発を行うのは教師の力量が問われることである。そこでこれからの教育を担うことが期待される教員養成段階の学生に対しても、早いうちから上記の視点を意識させ、教員に向けての研鑽を積み重ねることは重要である。そこで本研究では、教員養成学部の理科学生を対象として、総合的な視点で教育内容を考えるための具体例を検討した。その結果、小中学校における学年・学校種を超えた学習内容を関係づけて、理科の基本的な内容を深く理解させうると考えられる実験教材を開発したので提案する。

2. 本研究で提案する実験

本研究で提案する実験は、小学5年で学習する「物の溶けかた」や「重さの保存」(今回の学習指導要領の改定で一部が中学1年から移動)と、中学1年で学習する「力のつり合い」(中学3年から移動)および中学3年で学習する「水中の物体に働く力」と「浮力」(中学1年から移動)を関係づけ、水の中に紐で吊した水溶性物質が溶けていく

際に見られる質量と浮力の変化から、「物は溶けても、質量は変わらない」だけではなく「吊るされた物が溶けていく間でも、質量が保存される」を確かめることが内容である。また、この実験内容は、2008年の指導要領改訂で中学校の学習内容に付加された「力の大きさとばねののびの関係」や「浮力」の理解を深めることにもなる。さらには、異なる学校種や学年で学習する内容を組み合わせた実験を行うことにより、前述の「基本的な概念を体系化して身につけていく」ことを経験する良い機会と考えられる。

この実験を思いついた背景は以下の通りである。前学習指導要領下の中学1年の「身の回りの物質」の中で、「質量」や「密度」を学習した後「水溶液の性質」で物が水に溶ける現象を学習する（ここでは初めに小学校で学習した「溶解と質量保存」を復習する）。「溶解現象」を観察する実験には、紐で吊した固体物質（氷砂糖・食塩・飴玉など）を水に入れる、あるいは、ティーバッグに砂糖・コーヒーシュガーなどを入れて水に浸す様子が示されている。このような「水が入った容器に、上から紐で吊した物質を入れる」構図は、同学年の「浮力」の実験「ばねばかりに吊した物体を水に入れると浮力がはたらき、ばねばかりで測る物体の質量が軽くなる」とよく似ている。したがって、これらを合せた本実験は、両方を学習している生徒に受け入れやすいとともに、少し複雑な実験結果を論理的に整理・考察する能力を生徒につけさせる教材として適切ではないかと考えた。さらに、「身の回りの物質」で学習する「密度」と「液体中における物体の浮き沈み」を、「身の回りの現象」で学習する「浮力」と関係づけることにも繋がる。

今回の学習指導要領の改定により、主として中学1年で学んでいたこれらの学習内容は小学5年と中学1年および3年と大きく離れて配置された。このため、生徒用の実験としては中学3年の「水中の物体に働く力」と「浮力」の学習後ということになり、時間的には無理が生じてしまう可能性がある。しかし、異なる学校種・学年にバラバ

ラになった学習内容を関係づける本実験は、特に将来教員となる理科学生にとって、水中で物質に作用する溶解・浮力、物質の密度および質量保存等を深く学ぶのに格好なテーマであると考えられる。さらに、本実験の装置と操作の工夫を体験することは、実際に教える立場になったときの教材開発にも役立つと期待される。

3. 浮力と重力の釣り合い、そして質量保存へ

(1) 装置と操作の工夫

新学習指導要領では、中学1年で「物体に働く2力の釣り合い」を学習する。このため、ばねばかりによる物体の重さの測定は、図1⁸⁾のようにばねによって支えられている力（ばねの張力）と物体にかかる重力が釣り合っている（ばねの張力＝重力）ことで理解できる。また、3年では物体を水に入れたときの浮力を学習する。この浮力の測定は、図1に示したように、ばねばかりに吊した物体を水に浸すことで行われる。一方、中学1年では物質の密度を学習する。密度の大小を水中での浮き沈みから捉え、密度が水より大きい物質は水に沈むことを学んでいる⁹⁾。したがって、図1における物体の密度は水より大きいことが前提にある。水に浸した物体には重力と反対方向に浮力が作用し、その分だけばねばかりに示される物体の重さ（ばねの張力）が小さくなる。すなわち、この時の浮力は、浮力の大きさ＝重力の大きさ－（小さくなった）バネの張力の大きさを示される。

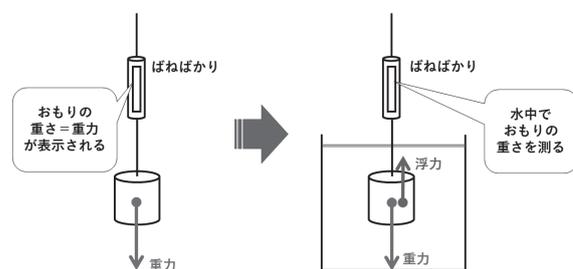


図1 ばねばかりと浮力⁸⁾

物体の質量は、物体を水に浸しても変わらないはずである。このことを、ばねばかりと電子天秤（台ばかり）を使った簡単な実験で確かめることができる¹⁰⁾。上の図で、水を張った水槽をあらかじめ

め電子天秤に載せて表示をゼロにしておく（ばねばかりに吊るした物体を水に入れたときの変化だけを表示するように、ゼロにしておく）。ばねばかりに吊るした物体を水に浸したとき電子天秤で示される値は、物体の質量より小さくなっている。小さくなったのは、水中で物体に上向きに働くばねの張力のためである。このときのばねの張力は、上に述べたように、浮力分だけ小さくなったものである。したがって、水に浸した物体の質量は、電子天秤で示された質量とばねばかりで測られる重さを加えたものとなる。これがもともとの物体の質量と変わらないことを、今回用いる実験装置で容易に示せることを以下で確認した。

(2) 実験装置

通常中学校で使う「ニュートンばかり」は小スケールの実験に適さないので、本実験ではケニス目盛り付きばね実験器MBを用い、ばね定数約10 g/50 mmのばねを2個繋いだ2連ばねとした。この2連ばねのばね定数の測定例を次に示す。

2連ばねの下に実験用指標（約4 g）、その下にエナメル線（ $\phi=1$ mm）で作ったカゴ（約4.5 g）をつけ、カゴに上皿天秤用分銅を入れてばねの伸びを測定した（図2）。ばねばかりの30cmスケールの最小目盛りは1 mmであるが、実験用指標の位置の読み取りには、指標線に幅があるため ± 0.2 mm程度の測定誤差がある。結果を表1に示す。

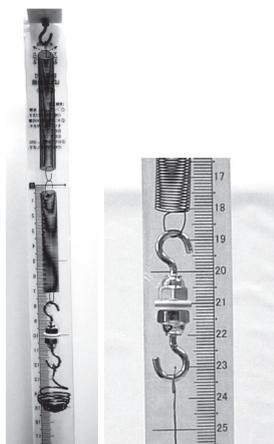


図2 エナメル製カゴ付き2連ばねと指標

各分銅で1 gあたりのばねの伸びがほとんど同じとなったこの実験結果は、分銅の質量とばねの

伸びが比例していることを示している。このことからこの2連ばねのばね定数を5.00 g/53.5 mmとし、このばね定数を使う限りこの2連ばねの目盛を「質量目盛」と見なすことができる。ばねの伸びは温度で変わるので、精密な測定には、同じばねを使う時でも室温を確かめてばね定数を決定しておく必要がある。本研究では、試料の質量の違い等によってばね定数約10 g/50 mmのばね3個を繋いだ3連ばね（ばね定数5.00 g/79.0 mm）とばね定数約10 g/25 mmのばね1個と約10 g/50 mmのばね2個を繋いだ3連ばね（ばね定数5.00 g/67.5 mm）を使い分けている。

表1 ばね定数の測定例（約10 g/50 mmのばね2個を繋いだ2連ばね）（室温20℃）

分銅/g	指標の位置/mm	「分銅なし」からの伸び/mm	1 gあたりのばねの伸び/(mm/g)
なし	135.3	—	—
2	156.8	21.5	10.7 ₅
4	178.0	42.7	10.6 ₈
5	189.0	53.7	10.7 ₄
6	199.5	64.2	10.7 ₀
7	211.0	74.7	10.6 ₇

(3) 物質を水の中に入れたときの質量保存

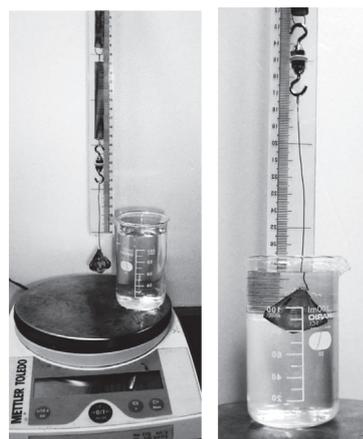


図3 ガラス玉の実験

電子天秤で測った質量5.76 gのガラス玉に瞬間接着剤で細い（ $\phi=0.5$ mm）エナメル線（0.09 g）をつけ、2連ばねの下の実験用指標に吊ると（図

3)、ばねは62.5 mm伸びた。したがって、ばねばかりで測定した「ガラス玉+エナメル線」の質量は

$$62.5 \text{ mm} \times 5.00 \text{ g}/53.5 \text{ mm} = 5.84 \text{ g}$$

となり、ばねばかりの測定誤差にもかかわらず電子天秤での測定値5.85 gとほぼ一致した。水を満たした100 mLのトールビーカーを電子天秤に載せ、天秤の表示を0.00にする。ばねばかりに吊るしたガラス玉全体が水に浸かるように水の中に入れて、電子天秤の表示する値と、ばねばかりの指標の位置を読み取る。電子天秤が示す値は4.82 gで、ばねばかりの指標の位置は水に入れる前と比べて51.6 mm上昇した。この指標を上昇させた力が浮力である。ガラス玉を水に入れたときのばねの伸びは10.9 mmであり、ばねばかりにかかる重さは

$$10.9 \text{ mm} \times 5.00 \text{ g}/53.5 \text{ mm} = 1.02 \text{ g}$$

となる。したがって、水に浸した物体の質量は、4.82 g + 1.02 g = 5.84 gとなり、(1)で述べた「水に浸した物体の質量は、電子天秤で示された質量とばねばかりの張力で測られる重さを加えたもの」が、本装置と操作で示せることを確かめることができた。この時の浮力は、指標の51.6 mm上昇に表れている。浮力によりばねばかりにかからなくなった重さは

$$51.6 \text{ mm} \times 5.00 \text{ g}/53.5 \text{ mm} = 4.82 \text{ g}$$

である。この値は電子天秤で示された値と同じである。すなわち、このとき上向きの浮力（ばねばかりが示す値の減少分）と下向きの重力（天秤で計られる値）が釣り合っている^{9,10}ことが確かめられた。

浮力の大きさは、水中の物体の体積と同体積の水の重さである（アルキメデスの原理）。5.76 gのガラス玉を水に入れたときの浮力は4.82 gである。実験温度20℃における水の密度0.998 g/cm³からガラス玉の体積を求めると4.82 g/0.998 g/cm³ = 4.83 cm³となる。したがって、ガラス玉の密度は5.76 g/4.83 cm³ = 1.19 g/cm³となり、水よりも密度が大きいため浮き上がらなかったことが確認できた。

4. 水溶性物質の溶解と質量保存

3で述べた装置と操作で水溶性物質でも以下のような結果が得られた。水溶性物質をばねばかりに吊り下げ水に入れる場合、水に溶けないガラス玉とは事情が異なる。溶け始める前はガラス玉と同じ状態であるが、物質が水に溶けていくにつれて水溶液の質量が増える一方、溶けて容積が小さくなった分ばねばかりで測られる重さおよび物質にかかる浮力も小さくなる。溶けていく過程においても、物質の質量はなくなるはずである。ガラス玉の実験で確かめられた「水に浸した物体の質量は、電子天秤で示された質量とばねばかりの張力で測られる重さを加えたもの」が、水溶性物質でも成り立つかどうか、いくつかの試料を用いて実験した。

(1) 硫酸銅五水和物の場合

硫酸銅(II)の濃厚水溶液にエナメル線（φ=0.5 mm）の先にCuSO₄・5H₂Oの豆結晶をつけて吊るして入れ、放置して得た大きな結晶（図4）を試料とした。電子天秤で測定すると、エナメル線付きの結晶の質量は5.93 gであった（この実験終了後エナメル線の重さを測ったところ0.14 gであったので、試料としたCuSO₄・5H₂Oは5.79 gである）。

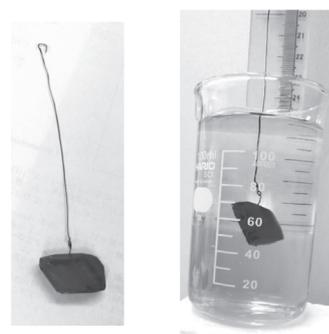


図4 CuSO₄・5H₂Oの結晶と溶解途中

これを、3連ばね（ばね定数5.00 g/67.5 mm）につけた指標に吊り下げたところ、ばねは80.0 mm伸びた。したがってばねばかりで測った「試料+エナメル線」の質量は 80.0 mm × 5.00 g/67.5 mm = 5.93 g となり、電子天秤の値と一致した。

水をほぼ満たした100 mLのトールビーカーを電子天秤に載せ、天秤の表示を0.00にする。ばね

表2 硫酸銅五水和物(5.79 g)をエナメル線(0.14 g)でばねばかりに吊り下げ、水に入れたときの電子天秤の数値とばねばかりの指標の位置(室温23.5℃)

電子天秤の質量/g	指標の位置/mm	ばねの伸び/mm ²	ばねにかかる質量/g ^{*3}	合計質量/g
0.00	129.5 ^{*1}	—	—	—
2.54	175.3	45.8	3.39	5.93
2.80	171.6	42.1	3.12	5.92
3.20	165.9	36.4	2.70	5.90
3.50	161.4	31.9	2.36	5.86
4.00	155.0	25.5	1.89	5.89
4.50	148.1	18.6	1.38	5.88
5.00	141.0	11.5	0.85	5.85
5.70 ^{*4}	131.4	1.9	0.14	5.84

- *1 試料を吊り下げなかったときの指標の位置
 *2 129.5mmからの伸び
 *3 ばねの伸び×5.00 g/67.5 mm
 *4 電子天秤5.00 gでの測定後、溶け残った結晶が全てエナメル線から落下した

ばかりに吊り下げた結晶全体が水に浸かるように入れ、直後に電子天秤の数値とばねばかりの指標の位置を読み取る。結晶が溶けていく間、一定の間隔で両者のデータを同時に記録する。なお、この実験中では、電子天秤のAUTO OFF機能をoffにして、途中で表示が0に戻らないようにしておく。表2には電子天秤の数値とばねばかりの指標の位置およびそれらから計算される試料の質量を示す。

この実験から得られた結果は、次の通りである。

- 結晶を水に入れた直後は、試料全体(硫酸銅+エナメル線)の質量5.93 gが電子天秤とばねばかりの合計で再現された。しかし、溶けていくにつれてその合計質量がやや小さくなっていくことがわかった。
- 結晶が全て落下したとき、ばねばかりで測られるのはエナメル線の質量であり、電子天秤で測った数値と一致した。最後に電子天秤に表示された5.70 gは水に溶け落ちた硫酸銅の質量であるが、0.09 g少なくなっている。これについては、のちに詳しく論じる。
- 試料を水に入れた直後電子天秤に示された値は、水に浸した結晶の体積と同体積の水の質量

である。測定温度23.5℃での水の密度0.997 g/cm³から2.54 gの水の体積は2.55 cm³である。したがって、この結晶の密度は、5.79 g/2.55 cm³=2.27 g/cm³となる。文献¹¹⁾にはCuSO₄·5H₂Oの密度2.286 g/cm³(18℃)と記載されており、よく一致している。

(2) 黒鉛の場合

次に身近にある水溶性個体物質として市販の黒鉛を使用した実験を紹介する。試料がほぼ溶け終わるまでエナメル線から落下しないようにするため、鉛玉をカッターナイフで2つに割り、割った面をガスライターで炙って溶かし、間にφ=0.5 mmのエナメル線を挟んでくっつけた。エナメル線(0.18 g)付きの黒鉛の質量は電子天秤で4.72 gであったので、黒鉛自体の質量は4.54 gとなる。これを試料として、硫酸銅の場合と同じ手順で実験した。使用したのはばね定数5.00 g/79.0 mmの3連ばねで、エナメル線付きの黒鉛を吊ると74.4 mm伸びた。ばねばかりによる「黒鉛+エナメル線」の質量は74.4 mm×5.00 g/79.0 mm=4.71 gとなり、電子天秤による数値とほぼ一致した。

黒鉛の場合も水に入れた直後の質量は電子天秤とばねばかりの合計で再現されることがわかった。また、硫酸銅の場合と同様に、試料が溶けていくにつれて合計質量がやや減少していく。鉛が全て溶け落ちた時点では、電子天秤の表示は鉛の

表3 黒鉛(4.54 g)をエナメル線(0.18 g)でばねばかりに吊り下げ、水に入れたときの電子天秤の数値とばねばかりの指標の位置(室温22℃)

電子天秤の質量/g	指標の位置/mm	ばねの伸び/mm ²	ばねにかかる質量/g ^{*3}	合計質量/g
0.00	163.5 ^{*1}	—	—	—
3.04	190.0	26.5	1.68	4.72
3.20	187.4	23.9	1.51	4.71
3.40	183.8	20.3	1.28	4.68
3.60	180.8	17.3	1.09	4.69
3.80	177.5	14.0	0.89	4.69
4.00	174.3	10.8	0.68	4.68
4.50 ^{*4}	166.2	2.7	0.17	4.67

- *1 試料を吊り下げなかったときの指標の位置
 *2 163.5mmからの伸び
 *3 ばねの伸び×5.00 g/79.0 mm
 *4 電子天秤4.00 gでの測定後、溶け残った黒鉛が全てエナメル線から落下した

質量分4.54 gが表示されるはずであるが、0.04 g減少している。この質量の減少について次に考察する。

(3) 測定中の質量の減少について

上に記載した硫酸銅と黒飴の実験の前に、いくつかの水溶性物質で実験を繰り返したが、全ての場合、試料が溶けていくにつれ電子天秤とばねばかりで測る質量の合計が減少していた。その減少には多少ばらつきがあったので、はじめは、ばねばかりの指標の位置の読み取り誤差によると思われる。しかし、最後に試料が溶け落ちたときの電子天秤の表示がその試料の質量より小さいのは、ばねばかりの読み取り誤差では説明がつかないことである。もう一つ気づいたことは、この電子天秤における質量の減少は試料が溶け終わるまでの時間と関係がある（測定時間が長いほど、質量の減少が大きい）ことである。試料（結晶）の大きさと溶けやすさにより、試料ごとに測定時間が異なる。例えば、上の硫酸銅五水和物の結晶の場合にはエナメル線から小結晶が落ちるまで2時間近くかかり、黒飴の場合では40分ほどであった。結論的に、それらの質量の減少（表2、表3よりそれぞれ0.09 gと0.04 g）は水の蒸発によると思われる。そこで、実験で使用した100 mLトルビーカーと比較のため通常のビーカーに水をいっぱい張り（それぞれ水約180 g）、電子天秤に載せて時間をおいて質量が減少することを確認した。その結果を表4に示す（ビーカー内の水温は室温とほぼ同じ）。

表4 100 mLビーカーからの水の蒸発量/g (室温25℃、湿度約80%)*¹

	0.5hr	1hr	1.5hr	2hr	2.5hr
トルビーカー	0.03 (0.02)	0.07 (0.04)	0.11 (0.06)	0.14 (0.08)	0.18
ビーカー	0.05 (0.03)	0.10 (0.06)	0.15 (0.09)	0.19 (0.12)	0.24

*1 下段の()内の数値は室温22℃、湿度約85%のとき

どちらのビーカーでも時間が経つにつれて質量が減少することがわかった。その減少量は、水面の面積が通常の100 mLビーカー（約40 cm²）より

狭いトルビーカー（約36 cm²）の方がやや少ないことが確認された。水の蒸発については、小学校4年の「水のすがたとゆくえ」で学習する。ここでは温度によって蒸発の速さが変わることに触れている。硫酸銅の溶解実験では室温23.5℃（湿度約85%）、黒飴の場合は室温22℃（湿度約80%）という条件で行われており、厳密には表4の実験条件とは異なっている。しかし、硫酸銅や黒飴の実験でも溶解途中での合計質量の減少が徐々に大きくなっていること、しかも測定時間の長い硫酸銅における質量減少が大きいことは、表4の水の蒸発による質量減少と同じである。したがって、硫酸銅や黒飴の実験における質量減少は水の蒸発によると結論することができ、水溶性物質の溶解過程においても質量が保存されることを確認できた。このように、測定値と予想された理論値が異なる結果になった場合でも、それを単なる測定誤差と片付けるのではなく、あらゆる可能性を探索し究明することが重要である。また、改めて「質量測定」の制度の良さも認識できた。

5. おわりに

本論文で紹介した2実験の外にいろいろな水溶性物質を試してみた。化合物としては、塩化マンガン、カリミョーバン、身近にあるものとして、氷砂糖、飴、キャラメル、金平糖など。また、ばねばかりに吊り下げるためのエナメル線をうまくくっつけられない場合は、小さめの試料を上述のばね定数決定の際用いたエナメル製カゴに入れて行うこともできる¹²⁾。この場合、カゴの体積も無視できないので、カゴ自体に作用する浮力もあらかじめ求めておく必要があるなど、実験やデータの取り扱いがやや煩雑になる。

これらの試料の中には、キャラメルのように溶解中に泡を生ずるものがあり、実験には不向きである。小学5年のカリミョーバンの再結晶を体験させる学生実験で作った結晶を使うことができれば、関係する単元が増え、さらに興味が増す。しかし、再結晶で生成したものには、全体が透明なものとは部分的に白くなったものがあった。後者は

中に空気を含んでいるためこの実験には使えないので注意する必要がある。

数年前この実験を本学の教員養成課程理科の2年次実験に追加テーマとして課したことがある(図5)。この実験に対する学生からのコメントを以下に紹介する。



図5 学生実験の様子

- ・この実験は複数の単元の関係づけがうまくできている。また、電子天秤やばねばかりの扱い方、浮力、溶解の様子、質量保存など、短時間で多くの要素に触れることができ、それらを駆使して一つの問題を解決する力を養うことができると感じた。
- ・ばねばかりや浮力を関連づけて学習できるので、より深く理解する手助けとなる。
- ・試料の溶解中は測定する値が変化していくが、計算すると一定の範囲で一致するので面白かったし、溶けても質量が保存されることがわかりやすい。また、ばねばかりの示す値の変化によって、浮力の存在を目で見てわかる点も良いと思った。
- ・質量保存の概念、特に水中でも成り立つことが体験的にもわかるので、非常に効果的と感じた。
- ・ばね定数まで自分で定めていったので、ばねばかりのしくみを理解する良い機会となった。
- ・しっかりと一致する数値が出るので感動した。作業に少し時間と手間がかかるが、とても面白い実験だと思った。
- ・他にも様々な物質を試してみたい。

以上のように、この実験は教員養成課程理科の2年次学生に概ね好評であった。「学生に、教材開

発に興味を持ってもらう」と「異なる単元の内容を結びつけた思考力向上に寄与する」という当初の目的を達成できたと考えられる。この時は試料を入れる「カゴ」を使ったので、データの処理がやや煩雑になった。しかし、少し複雑な実験データを論理的に整理し、考察能力を付けさせる教材としては適切と考えられる。

本論文は2015年8月に開催された日本理科教育学会第65回全国大会(京都教育大学)での報告¹²⁾を、その後の実験結果や考察等を加えて大幅に加筆修正したものである。

謝辞

本研究の一部は、2020-2022年度科学研究費(基盤研究C)「教育内容の特徴を生かし深い学びを実現する小・中学校の物質学習」(課題番号20K03222)を受けて実施した。記して謝意を示す。

引用文献

- 1) 文部科学省「新しい学習指導要領の考え方」(2017年告示)
www.mext.go.jp/a_menu/.../09/.../1396716_1.pdf
- 2) 文部科学省「中学校学習指導要領(2017年告示)解説、理科編」。
- 3) 森藤義孝(2019)「『深い学び』を支える理科教師の専門性」、理科の教育、07, pp.5-8。
- 4) 工藤周一(2019)「深い学びを実現する教師の役割」、同上、pp.25-28。
- 5) 中央教育審議会「新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について(答申)」(2014)。
www.mext.go.jp/b_menu/shingi/.../1354191.htm
- 6) 朝日新聞2020年12月9日の記事から。
- 7) 文部科学省中央教育審議会教育課程企画特別部会 論点整理(2015年)。
www.mext.go.jp/b_menu/shingi/.../1364306

htm

- 8) <https://chuugakurika.com> の中 1 物理 浮力とは から引用。
- 9) 江崎士郎 (2018) 理科の教育、11、pp.62-63。
- 10) 例えば、mimizuku-edu.com および www.max.hi-ho.ne.jp/lylle/vector3.htmlなどを参照。
- 11) 中原勝儼 (1997) 「無機化合物・錯体辞典」講談社。
- 12) 村上 祐、菊地洋一、武井隆明、吉村泰樹、坂本有希 (2015) 「水溶性物質の溶解による浮力の変化と質量保存」日本理科教育学会第65回全国大会、p.230。