

[理 科]

定量的実験を軸にした科学概念の形成

－「水溶液の均一性」概念の定着を目指して－

戸井 伸泰*

1 はじめに

小学校第5学年「物の溶け方」の単元は、「粒子」についての基本的な見方や概念を柱とした内容で、特に「粒子の保存性」に関わる内容であり、第3学年「物と重さ」、第6学年「水溶液の性質」、中学校第1分野「身の回りの物質」とつながる。次期学習指導要領¹⁾では、以下のように位置づけられている。

【A 物質・エネルギー (1) 物の溶け方】

物の溶け方について、溶ける量や様子に着目して、水の温度や量などの条件を制御しながら調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。

ア 次のことを理解するとともに、観察、実験などに関する技能を身に付けること。

(ア) 物が水に溶けても、水と物とを合わせた重さは変わらないこと。

(イ) 物が水に溶ける量には、限度があること。

(ウ) 物が水に溶ける量は水の温度や量、溶ける物によって違うこと。また、この性質を利用して、溶けている物を取り出すことができること。

イ 物の溶け方について追究する中で、物の溶け方の規則性についての予想や仮説を基に、解決の方法を発想し、表現すること。

そして、「水溶液の中では、溶けている物が均一に広がることにも触れること。」が内容の取扱いに新たに明記され、「水溶液の均一性」についての学習が求められている。現行の小学校学習指導要領にはこの記載はなく、中学校第1分野「身の回りの物質」の内容が下りてきている。

平成24年度全国学力・学習状況調査の小学校6学年理科²⁾において、「水溶液の均一性」の考え方を問う問題が出題されている。教科書では、茶色のコーヒーシュガーを水に溶かし、その色が水全体に均一に広がっていく様子の観察が掲載され、水溶液の濃さはどこでも変わらず均一に溶けていることを学習する。しかし、その活用である全国学力・学習状況調査の問題の正答率は低く、学習内容が定着していないことがうかがえる。実際、子供は理科の実験でも普段の生活の中でも、物が徐々に沈みながら溶けていく様子を見る機会や場面が多くある。授業で学習したとしても、「水溶液は下の方が濃い」という誤った認識をそのまま持ち続けてしまう子供が多く、私自身、指導の難しさを感じている。

また、源田・村井の先行研究³⁾では、小学校段階の子供における、「溶解」に関する素朴概念と学習後の理解度についての調査がなされている。子供が、物を水に溶かした状態を考える場合、溶質そのものの重さへの意識が強く、「重いものは沈む」という素朴概念で現象を捉えようとする。よくかき混ぜて溶かした水溶液でも、「溶けた物が下の方に沈み、たまる」と考える子供の割合が高い。さらに、1週間放置した水溶液に対しては、その傾向がより一層高くなっていると報告している。子供がもつこの素朴概念により、水溶液の均一性の理解に困難が生じるため、正しい科学概念の定着に難しさがあることを指摘している。

このように、「水溶液の均一性」は、原子・分子の考え方を学習していない小学校段階の子供にとって、定着しづらい科学概念であり、「下の方が濃くなる」と捉える子供が多いと考える。また、学校現場では食塩水を蒸発皿で蒸発乾固する実験がよく行われる。この実験では、食塩水から食塩を取り出して観察することはできるが、定量的な検証まで行うには難しさがある。そこで本研究では、小学校第5学年「物の溶け方」の単元において、「水溶液の均一性」の理解と定着に向け、定量的検証が可能で、効果的な教材や実験方法の開発と実践を行い、その有効性を検証することを目的として取り組んだ。

*南魚沼市立六日町小学校

2 研究の方法

水溶液の均一性の理解と定着には、「重さのある粒子は下に落ちていく」という子供の素朴概念は認めつつも、完全に溶かした水溶液中ではそれが成り立たないことを捉えさせる必要がある。子供自身が定量的実験により、数値として明確な結果を導き出し、事実として実感することで、それが可能となると考える。そこで本研究では、小学校第5学年「物の溶け方」の単元の「水溶液の均一性」の学習場面において、モデル図を用いた図式表現と定量的実験を取り入れた授業実践を行い、その有効性を検証する。対象学級は、M市小学校第5学年1学級の26名。授業実践は、平成29年11月10日に実施し、子供の活動の様子やワークシートの記述をもとに分析し、考察する。事後調査問題は、平成30年9月10日に実施し、子供への定着状況を確認する。

3 研究の内容

(1) 教材および実験方法について

教材

図1は授業で子供に提示した教材である。溶け残りのない飽和食塩水を細長いアクリルパイプに入れて、1週間放置したのを見せ、その濃さについて問いを投げかける。今まで見たことのないものや、経験したことのない現象との出会いは、子供の中に疑問や興味関心が生まれやすい。1mもの長いパイプを使用し、1週間放置した状態を示すことで、子供の思考を揺さぶることをねらう。実験をして確かめてみたいという思いが自然と生まれると考える。



【図1 本時提示教材】

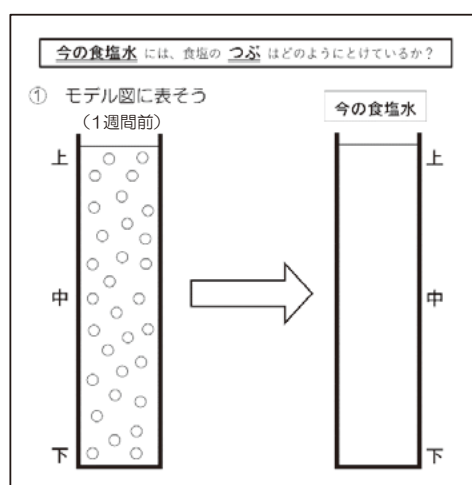
課題の提示

図2は本時で子供に提示した学習課題である。上述の教材を見せ、「どこが濃いと思う？」と場所による濃さの違いについて考えさせる。このとき、子供一人一人に、溶けている食塩の粒を丸印で表現するモデル図で予想を立てさせる。モデル図を描かせることで、言葉よりも簡潔に表現できるので、どの子供にとっても取り組みやすく、自分の考えの視覚化につながると考える。

検証実験の方法

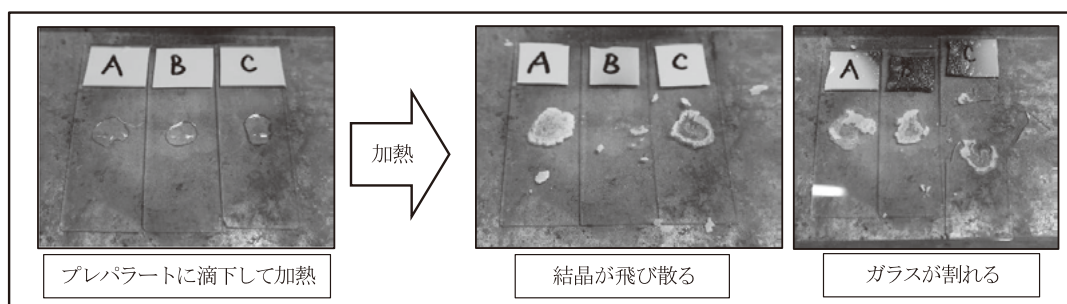
アクリルパイプ内の食塩水の場所による濃度の違いを検証する。パイプ内の食塩水を、上・中・下それぞれの場所から抜き取り、溶けている食塩を蒸発乾固によって取り出す。その質量を電子天秤で量り、比較する実験方法をとる。本時の授業内で予想から実験までを終えることを考え、自然乾燥ではなく、加熱による蒸発乾固の方法を選択した。

食塩水を蒸発皿に入れて蒸発乾固を行う場合、取り出される食塩の質量に比べて蒸発皿の質量が大きく、質量測定の影響が大きくなってしまふ恐れがある。そこで、蒸発皿以外の容器を検討する必要がある。

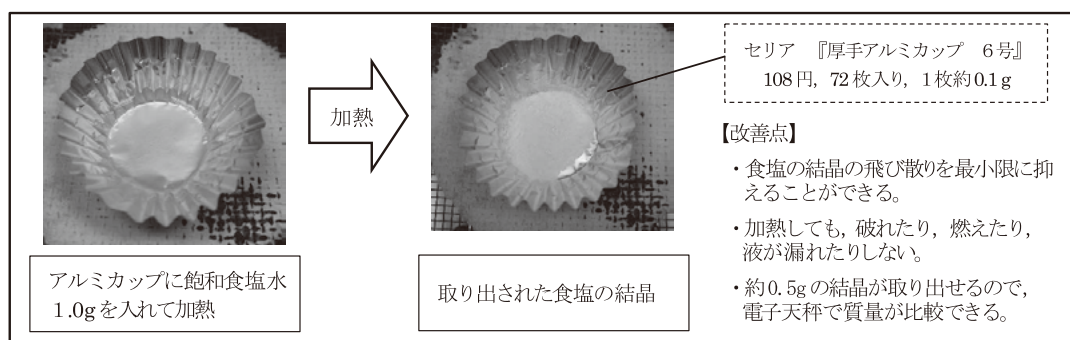


【図2 本時学習課題】

図3は、食塩水をプレパラートに滴下して加熱した様子である。食塩の結晶が飛び散ってしまい正確な測定ができない（問題点1）、ガラスが割れてしまい危険である（問題点2）、液量が少量すぎるので質量比較ができない（問題点3）という問題点がある。そこで図4のように、耐熱のアルミカップに食塩水を入れて加熱する方法を選択した。食塩の結晶の飛び散りを最小限に抑えることができ、加熱しても破れたり、燃えたり、液が漏れたりしない。そして、1.0gの飽和食塩水を加熱すれば、約0.5gの結晶を取り出すことができるので、電子天秤で質量比較ができる。



【図3 食塩水をプレパラートに滴下して加熱した様子】



【図4 食塩水をアルミカップに入れて加熱した様子】

図5は実験方法の手順である。電子天秤にアルミカップをのせ、スポイトで滴下しながら1.0gの食塩水を量り取る方法をとる。ピペットで一定体積を量り取る方法に比べ、速くて容易である。それをカップごと加熱して水分を蒸発させ、食塩の結晶を取り出す。

ばらつきのない定量的結果を求める場合、蒸発乾固の操作は、火の強さや消すタイミングなどを一定にする必要がある。次期学習指導要領でも、実験技能の習得について明記されている。全ての子供が、器具の安全操作に加え、常に一定条件で実験操作することの意義を理解し、実践できることが重要である。そこで、単元全体を通して、蒸発乾固の操作を用いて実験する場面を繰り返し設定し、実験技能の定着を図っておく。

(2) 実験方法の留意点

本実践の実験は、全ての子供が手順や意味を理解して取り組めることに重きを置き、より簡易的で短時間でできる方法をとっている。そのため、以下の3点から、この実験によって得られる結果と理論値との間には差が存在する。しかし、この実験の目的は、溶解度の絶対値を求めることではなく、均一性を示すことである。本実験は、できるだけ同じ条件で操作を行うことによって、ほぼ同じ質量の食塩を得ることができるので、その目的を満たしている。



【図5 実験方法の手順】

① 同質量の食塩水で比較している。

本実験は、各場所の食塩水をスポイトで1.0gずつ量り取り、そこから蒸発乾固によって取り出される結晶の質量で濃さの比較を行う。これは、電子天秤にアルミカップを置き、液をスポイトで滴下することで、同質量の食塩水を素早く簡単に量り取るためである。メスシリンダーで同体積の食塩水を量り取り、比較する方法では、時間がかかってしまう。

② 蒸発乾固では水分を完全には蒸発させない。

本実験では、1.0gの飽和食塩水から蒸発乾固によって取り出される結晶の質量は、約0.4g～0.6g程度である。本来の食塩の溶解度（約26g/100g溶液）から考えると、これはまだ水分を含んでいる状態である。しかし、完全に水分を蒸発させるためにさらに加熱すると、結晶が飛散してアルミカップから飛び出してしまうため、正確な測定が難しくなる。そのため本実験では、蒸発乾固を止めるタイミングを少し早めに設定することで、再現性のある結果が得られるようにしている。

③ 誤差の範囲

本実験では、最小表示が100分の1gの電子天秤を使用した。蒸発乾固で取り出された結晶は非常に微小であり、誤差を考慮すると、もう一桁精度の高い電子天秤が必要である。しかし、一般的に学校で使用されており、学級のグループ数を確保するため、こちらを使用した。

(3) 指導計画

単元名：小学校第5学年 「物の溶け方」 (全13時間 本時13時間目)

小単元	時数	○ねらい	・主な学習活動
1 を 観 察 し よ う	1	○物が溶ける様子の観察を通して、溶けることの意味を考え、気付きをもつことができる。	・ティーパックに包んだ食塩の溶ける様子を観察する。 ・長いアクリルパイプの中で物が溶ける様子を観察する。
	2	○いろいろな物質を水に溶かす活動を通して、共通点や差違点を見出すことができる。	・身の回りにある物（食塩、砂糖、コーヒーシュガー、小麦粉、入浴剤）を水に溶かし、溶ける様子を観察する。
2 水 に 溶 か そ う	3	○物が水に溶けてもその重さは保存され、水と溶かした物の重さの和になることが分かる。	・食塩（溶性）と小麦粉（不溶性）を同じ量だけ水に溶かし、水溶液の質量の変化を調べる。
	4・5	○食塩とミョウバンを水に溶かし、溶ける量には限度があり、物質ごとに違いがあることが分かる。	・食塩とミョウバンを一定量ずつ量り取り、水に溶かしながら、限界量を調べる。
	6	○物をより多く溶かす方法を予想し、検証の計画を考えることができる。	・物を多く溶かす方法を考える。 ・検証するための方法を考える。
	7	○水の量を変えながら物を溶かす実験をし、物が溶ける量と水の量との関係を捉えることができる。	・「水の量」を変えながら、食塩とミョウバンをそれぞれ溶かし、溶ける量を調べる。
	8	○水の温度を変えながら物を溶かす実験をし、物が溶ける量と水の温度との関係を捉えることができる。	・「水の温度」を変えながら、食塩とミョウバンをそれぞれ溶かし、溶ける量を調べる。
9	○水の量や温度を変えながら物を溶かす実験の結果を踏まえ、物の溶け方の規則性についてまとめ、考察することができる。	・「水の量」と「水の温度」を変えながら物を溶かした実験結果を、グラフに表し、比較する。 ・実験から分かることを話し合う。	
3 溶 け た 物 を 取 り 出 そ う	10	○水溶液を冷やすと、溶けていた物が出てくることを理解することができる。	・ミョウバンの水溶液を冷やし、ミョウバンの結晶が析出してくる様子を観察する。 ・析出したミョウバンをろ過によって取り出す。
	11	○水溶液を蒸発させて水の量を減らすことで、溶けていた物が出てくることを理解することができる。	・食塩水やミョウバンの水溶液を蒸発させ、結晶が出てくる様子を観察する。
	12	○濃度の異なる食塩水を蒸発させ、取り出せる食塩の量を比べることができる。	・濃度の異なる水溶液から、溶けている食塩を取り出す。
	13	○実験を通して、食塩水の濃度はどこでも一定であることを確かめ、自分の言葉で考察を書くことができる。	・形状が特殊な容器に入った食塩水の濃さを、容器の場所ごとに実験して確かめる。

4 授業の実際

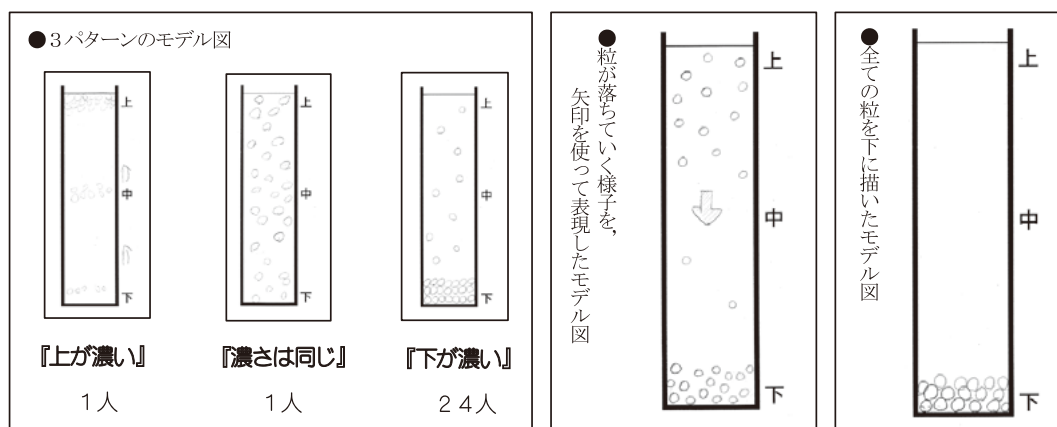
(1) 実験前の子供の予想

本時の導入で、食塩水が入ったアクリルパイプを提示し、溶け残りが無いことを確認した後、「1週間置いておきました。どこが濃いと思う？」と問いかけた。やはり、「下の方が濃い」という反応が多かった。ワークシートを配付し、「今の食塩水では、食塩の粒はどのように溶けているかな？丸印で描いてごらん。」とモデル図で予想を立てさせ、その理由を言葉で記述させた。

図6（左）はモデル図の結果で、3つのパターンが見られた。26人中24人が、下に多くの粒がたまっているモデル図を描き、1週間おいた食塩水は下の方が濃くなっていると考えていた。そのうちの3人は、図6（中）のように、粒が下に落ちていく様子を、矢印を使って表現していた。また、図6（右）のように、全ての粒を下に描いていた子供は1人だけであった。それ以外の子供は、「下の方がとても濃くなっているが、上の方にも粒が少しはあるので、少しだけしょっぱい。」という予想もっていた。

また、「下が濃い」と答えた24人が言葉で書いた理由を見ると、「最初はバラバラだったけど、だんだん下に沈んでくると思ったから下が濃い。」「食塩の重さでだんだん下に下がっていきと考えた。」「時間がたつにつれて粒が下に沈むから。」という内容の記述がほぼ全員で見られた。時間経過によって粒が下に落ちていくと捉えている子供がほとんどであった。

単元の指導計画2時間目に、茶色のコーヒーシュガーが溶けて水全体に均一に広がっていく様子の観察を行い、水溶液の均一性について学習しているが、このような傾向があることから、「重さのある粒子はいずれ下に落ちていく」という子供の素朴な概念を確認できた。



【図6 実験前の子供のモデル図】

(2) 実験中の子供の様子

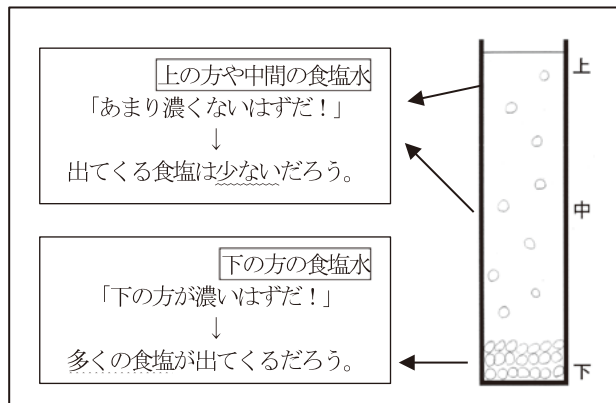
全体で予想を確認した後、アクリルパイプ内の食塩水を上・中・下から抜き取り、班ごとに検証実験を開始した。この時点では、上述のように、「下が濃い」と予想した子供がほとんどであったので、図7のような実験結果を想像していたと考えられる。子供たちは、この結果を実証するために班ごとの実験に入った。

班ごとの実験が進んでいくと、子供から「何かおかしい!」「失敗した!」という声が出てきた。上・中・下それぞれの場所の食塩水から出てきた結晶の質量が、どれも同じであることに疑問を感じたようであった。「もう一度実験をやって確かめたい!」という班があったので、やってもよいと伝え、他の班からも同じ声が上がった。結局全ての班が再実験を行った。繰り返し再実験をしても同様の結果になり、子供たちから疑問の声がたくさん出てきた。その後、「もしかして、結局濃さはどこも一緒なのかもしれない!」という意見が少しずつ出てきたので、それを取り上げ、全体のまとめに入った。

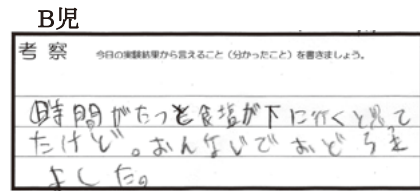
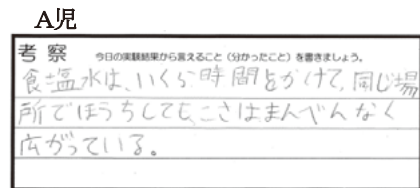
本実践では、子供たちの予想が「下が濃い」という不正解に集中してしまった。しかし、実験で予想通りの結果が得られなかったことが、「もう一度確かめたい!」という主体的な姿につながったと考える。このことは、定量的に数値で結果が得られたことで、どの子供も結果が示す意味を理解することができたためではないかと考える。

図8は、子供が書いた本時の振り返りである。「時間がたっても濃さは変わらない」という事実を、ほとんどの子供が振り返りに書くことができた。特にB児は、普段なかなか自分の言葉で考えを書くことを苦手としているが、しっか

りと書き上げることができていた。



【図7 子供が想像していた実験結果】



【図8 子供が書いた振り返り】

5 事後調査問題

図9は、事後調査問題である。1週間放置したときの食塩水の濃さ(問題1)と、そのときの食塩の粒の溶け方の図式化(問題2)を出題した。その結果、26人中15人が正答であった。「1週間経過しても食塩水の濃さは変わらないこと」、「食塩の粒は均一に散らばったままであること」という水溶液の均一性の概念を理解しており、本時の授業から約10ヵ月後でも、よく定着していることが分かった。

6 考察

実験前の子供の予想から、「重さのある粒子はいずれ下に落ちていく」という素朴概念の影響は大きく、コーヒーシュガーが溶ける様子の観察だけでは、水溶液の均一性の概念の獲得は困難であると言える。

本時の実験では、子供自身が「もう一度確かめたい」という思いをもち、進んで再実験に取り組もうとする主体的な姿が多く見られた。本実践の教材・課題提示・実験方法が子供の学びにとって効果的であったと考える。また、事後調査からも、概念の定着に効果があると言える。

このことから、「水溶液の均一性」の理解と定着には、定量的実験を取り入れた授業を通して、子供自身が明確な結果を導き出し、実感する学びの場が有効であったと言える。

よく混ぜた食塩水を容器に入れ、1週間おいておきました。

(問題1) 食塩水の濃さ(しよっぱさ)はどうなっているのでしょうか。次の①～③から選んで書きましょう。
① 容器の上の方ほど、こく(しよっぱさ)なっている。
② 食塩水の濃さは上・中・下で変わらず、どこでも同じこさ(同じしよっぱさ)である。
③ 容器の下の方ほど、こく(しよっぱさ)なっている。

(問題2) 1週間おいておいた食塩水では、「食塩のつぶ」はどのようにとけているのでしょうか。上の図に「食塩のつぶ」を○でかきこみましょう。

【図9 事後調査問題】

7 まとめと今後の課題

本実践でおこなった蒸発乾固の操作は、手順のポイントやタイミングなどを押さえて練習を繰り返せば、誰でも習得可能で、再現性のある結果が得られるものである。しかし、本実践の実験で述べた実験方法で得られる食塩の量と理論値との間には差が存在し、その点について改善する方法を考案する必要がある。今後、他の授業者や他クラスでも指導可能であることを検証してゆきたい。

8 参考文献

- 1) 文部科学省 「小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編」, 東洋館出版社, 2018年
- 2) 国立教育政策研究所 「教育課程研究センター 全国学力・学習状況調査」 「平成24年度 全国学力・学習状況調査 報告書・集計結果について」
- 3) 源田 智子・村井 義明 「溶解教材における子どもの素朴概念と理解度調査」, 『山口大学 研究論叢: 芸術・体育・教育・心理 55(3)』, 2005年, 31-45 pp