

# 初歩的粒子概念を柱として小学校と中学校をつなぐ物質学習

佐々木聡也\*，坂本有希\*\*，尾崎尚子\*\*\*，菊地洋一\*\*\*\*，

\* 岩手大学教育学部附属中学校，\*\* 花巻市教育委員会，\*\*\* 岩手大学教育学部附属小学校，

\*\*\*\* 岩手大学教育学部

(平成29年3月9日受理)

## 1 はじめに

現学習指導要領・理科（平成20年版）では、「エネルギー」，「粒子」，「生命」，「地球」の4つの柱により教育内容の構造化が図られた<sup>1)</sup>。物質学習分野では「粒子」を柱とした系統的な学習が求められている。同指導要領解説は、小学校における粒子概念の取り扱いについて具体的に記述していないが、「粒子」を柱にしたこともあって、教育現場では小学校で粒子概念を取り入れる授業研究が盛んに行われており、公開研究会での提案授業も多い。しかし小学校における粒子概念の取り扱いの中身は実に多様である。

このような状況の中で、我々の研究プロジェクトでは、小学校段階に粒子概念を導入し、それを系統的に活用する小学校全体での物質学習構想を検討してきた<sup>2),3)</sup>。この中心となる考えは、物質学習の教育内容の特徴は、粒子についての少しの基本的な知識があれば、種々の学習場面の内容を結びつけて学習していくことがやりやすいということであり、その特徴を具体的に活かす学習構成を考えることである。小学校で扱う粒子は原子・分子・イオンの区別をする前の単純な粒子を指し、これを初歩的粒子概念と呼んでいる。我々の具体的な構想では、小学4年の「水の姿とゆくえ」場面で初歩的粒子概念を導入する。また、それをを用いて物質の三態の基本をまとめた学習シート（「つぶつぶシート」，図1）を作成する。このシートにまとめた要素を単元や学年を越えて活用しながら、種々の学習場面で子ども達が主体的に科学的思考を働かせて問題解決していく。これらのことについて具体的な授業実践研究を行い、検証してきた。その結果、我々の物質学習構想は十分に小学校段階でも実現する可能性があることを示してきた。

中学校のはじめの物質学習単元は、1年「身のま

わりの物質」である。ここでの学習内容の多くはすでに小学校で学習したことを確認しながら、さらにその内容を深める構成となっている。小中学校の橋渡しの意図を感じる単元である。ここで物質の三態とその変化（状態変化）および溶液・溶解の基本は、原子・分子・イオンに区別する前の初歩的粒子概念で取扱うことができる内容である。前中学校学習指導要領では初歩的粒子概念での取り扱いはなかったが、現指導要領では中学1年の上記学習において粒子概念を取り扱うように指示されている<sup>1)</sup>。これによりそれぞれの現象についてイメージをもって思考・解釈し、理解を深めることが期待される。

山下と小野寺は、小学校5・6年の溶解の学習において、一貫して粒子モデルを用いることが有効であることを報告している<sup>4)</sup>。また菊地らは小学校4年の状態変化で導入した初歩的粒子概念を5年の溶解で活用する実践的研究を行い、基本的な概念を統一的に活用することの有効性について報告している<sup>5)</sup>。さらに小学校から中学校の学習に移る際に、一貫して活用する基本概念が明確になっていけば学習のつながりを実感することができると考えられる。物質学習においては小学校で学習した初歩的粒子概念が中学校においても有効に活用できることを学ぶことにより、一過性の概念ではなく、有用性のある概念として生徒に根付いていくと考えられる。また一貫した基本概念の活用で現象の解釈を深めることにより、物質への統一的な見方を高めることが期待できる。

そこで我々の研究プロジェクトでは、小学校段階に活用した初歩的粒子概念と「つぶつぶシート」の内容を中学校での学習の始めに引き継ぎ、中学校の学びにそって発展させながら現象の深い学びへと導く授業について検討することとした。本研究は岩手大学教育学部プロジェクト推進支援事業（教育学部G P）の「小中学校理科における物質学習の

実践的研究」の一環として実施している。本報では、小学5年と中学1年で学習する溶液・溶解学習を取り上げ、小中学校の学習のつながりの中で理解を深めていくための授業について、実践結果を報告する。

<つぶつぶシート> 基本シート

|  | 気体                 | 液体                | 固体                           |
|--|--------------------|-------------------|------------------------------|
| 例  | 水じょう気, 空気          | 水, アルコール          | 氷, 金属球                       |
| 小さな粒で表現してみよう。  |                    |                   |                              |
| 目に見えますか?   | 見えない               | 見える               | 見える                          |
| なぜ目に見えないのか? / なぜ目に見えるのか? / なぜ目に見えないのか? / 小さな粒で説明しよう。 | 小さな粒がばらばらに広がっているから | 小さな粒がたくさん集まっているから | 小さな粒がたくさん集まっているから            |
| 自由に形を変えることができますか?                                    | できる。               | できる。              | できない。                        |
| なぜ形を変えることができるのか? / なぜ形を変えることができないのか? / 小さな粒で説明しよう。   | 粒が自由に動くことができるから    | 粒が自由に動くことができるから   | 粒と粒が強く結びついて、粒が自由に動くことができないから |

図1 つぶつぶシート

## 2 小・中学校で扱う初歩的粒子概念

初歩的粒子概念の内容は図2のようにまとめることができる。①～⑦は物質の諸現象を解釈する上で基本となる重要な要素である。それぞれの学習ステージや具体的な授業場面において、どの要素が重要になるのか授業者は十分に留意して学習内容や授業を計画する必要がある。このことを意識しないで粒子概念を用いる授業を行うと、子どもは何を考えてよいのか不明確な授業、あるいは授業が発散してまとめを導くことができない授業などになりがちである。

我々が小学校で提案している「つぶつぶシート」(図1)は、クラス全体の共通知識として活用する。一つの授業や単元に限定ではなく、単元や学年を越えて、いつでも参照できる基本シートの位置づけで、

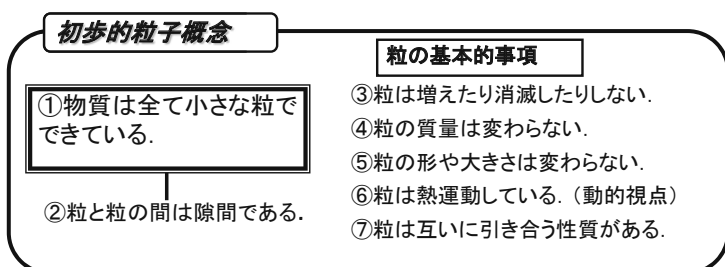


図2 初歩的粒子概念

それぞれの授業場面と授業目的に応じて必要な部分を活用すればよい。ここで「つぶつぶシート」は図2の中の⑥を表現していない。「つぶつぶシート」における三態のモデルは、粒子同士の距離と整然としているかどうかで表現されている。説明文の中に粒子が自由に動くことが可能かどうかの記述はあるが、自ら熱運動していることについては触れられていない。本来、粒子の熱運動は重要な要素で、熱運動を入れることで子どもの思考がさらに広がる。しかし小学校における子どもの発達段階を考慮した場合、粒子概念を用いて現象を解釈する内容を単純に構成した方がよいとの意図で、我々は小学校段階では粒子の熱運動を予め計画的に盛り込む構想はしていない。

中学1年の「身のまわりの物質」単元において、溶解・溶液の学習場面と物質の三態・状態変化の学習場面で初歩的な粒子概念(粒子モデル)を活用することが現学習指導要領で指示されている。さらに物質の三態・状態変化の学習場面では粒子の運動を扱うことになっている<sup>1)</sup>。この粒子の熱運動の考え方を取り入れることにより、物質の状態をより実像に即したモデルで示すことができる。また、状態変化にともなう熱の出入りや体積変化などを粒子の持つ運動エネルギーと関連付けて説明できるなど、多くの現象の理解を深めることができるようになる。学習指導要領には記述されていないが、溶解・溶液の学習においても粒子の熱運動を取り入れることで学習内容の理解を深めることができる。

そこで本研究では、中学1年の溶解・溶液の学習において、「つぶつぶシート」の内容を引き継ぎながら、さらに粒子の熱運動を加えることにより、理解を深めていく授業実践を行った。

## 3 粒子の熱運動を見出す授業の実践

授業実践は岩手大学教育学部附属中学校で行った。同中学校1年生には、入学前の岩手大学教育学部附属小学校の段階で「つぶつぶシート」を用いて初歩的粒子概念を学習している生徒と、初歩的粒子概念について未学習の生徒が両方含まれている。そこで中学校1年の物質単元に入る際、「つぶつぶシート」の内容や初歩的粒子概念の考え方について、既知の生徒が未知の生徒に教える時間をとり、全員が初歩的粒子概念(図2の①, ③,

④、⑤) を使える状態で単元の学習をスタートした。

単元のはじめに、溶液・溶解に関わる事前調査を行った。水溶液の均一性に関わる問い「水に食塩を完全にとかした後、2 ヶ月間放置した食塩水の濃さは上部と下部でどうなるか」を選択式解答で質問した。その結果、正答率は56.5%であり、「上部が濃くなる」が4.5%、「下部が濃くなる」が39.0%の誤答があった。小学校5年生で、水に溶けた物質は水溶液中で均一に広がっていることを学習してきたはずだが、一度完全に溶けても時間の経過とともに沈殿していくと考えている生徒が4割近くもいることが分かった。溶液の下部の溶質濃度が高いという素朴概念は、これまでの調査でも指摘されてきたことである<sup>6),7)</sup>。この誤概念を、粒子の熱運動に関連させ、正しい理解へと導いていくことをねらいとし、授業の構想を行った。



図3 硫酸銅が溶けていく様子

授業の導入では、図3のように時間の経過とともに溶質（硫酸銅）が広がっていく様子を示したあと、「硫酸銅はどうして時間が経つと均一に広がっていくのか」、「均一に広がった硫酸銅がいつまでたっても均一なのはなぜか」という二つの問いを行った。生徒は粒子モデルを使って予想を立てた。概念①をもとに、溶質と溶媒をどちらも粒子で考える生徒や、概念③をもとに、溶質が溶ける前と溶けた後の粒子の数をそろえるなどする生徒が多く見られた。問いに対する考えの土台として既習の初歩的粒子概念が機能している様子が伺われた。また、小学校での学習を想起し、「溶質の粒子は均一に広がるから…」と述べる生徒も見られた。

はじめは、「ボトル内に大きな対流があるのではないか」、「溶液は濃い方から薄い方へ移動するのではないか」と、溶媒と溶質の粒子の大きな移動を示す生徒が多く見られたが、「温度差がないのにどうして対流が起こるのか」という反論や「一度

濃さが均等になったら粒子の移動は全くなくなるのか」という質問などが出され、討論が展開された。討論の中心になったのは、溶媒や溶質の粒子が移動する（動いている）かどうか、どのように移動するかということであった。そこで水溶液を顕微鏡で観察してみることにした。その際、溶媒の粒子も溶質の粒子も顕微鏡では観察できないくらい小さい粒子になっていることを確認し、顕微鏡で観察することのできる絵具の顔料を混ぜたコロイド溶液を観察した。すると、図4のような画像においてコロイド粒子の運動（ブラウン運動）が観察できることから、生徒からは驚きの声が上がった。ブラウン運動は水の粒子が細かく運動していることによって観察できる現象であることを教師側が提示し、これを粒子の熱運動として、粒子概念の⑥を導入した。生徒は、水溶液の均一性が絶えず起こっている熱運動によって保たれていることを深く理解したようであった。

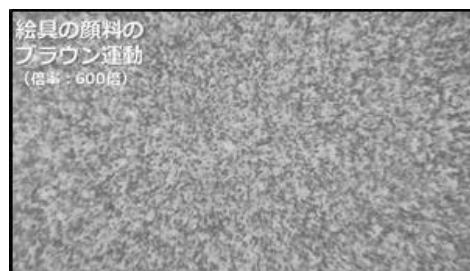


図4 ブラウン運動の観察

ブラウン運動の観察から水分子の熱運動を認識し溶解現象を理解することは、坂本らの実践研究においても有効な手立てであることが報告されている<sup>8)</sup>。本実践でもそのことが確認された。本実践ではさらにブラウン運動を通して粒子の熱運動を学習した後、「水の温度が異なっても、粒子の熱運動の様子は変わらないか」という問いを行い、討論を行った。5℃の水と95℃の水のブラウン運動を観察すると、95℃の水のブラウン運動の方が激しいことが分かる。また、氷になった状態ではブラウン運動が観察できないことも確認した。これらの観察結果から、生徒は温度が高いほど粒子の運動は激しくなり、温度が低いほど粒子の運動は緩やかになることを理解した。このことは温度の概念とともに粒子の運動について、より実感を高める内容となる。また三態変化やその体積変化と粒子の運動の関係性を理解させることにも有効であると考えられる。

単元の終わりに、事前調査と同じ問題で事後調査を行った。食塩水の均一性の問いの正答率は96% (+40%)と大きく増加した。小学校で学習した初歩的粒子概念を活用して、溶質、溶媒ともに粒子モデルで考えたことや、ブラウン運動の観察を通して、溶媒粒子の運動によって均一性が保持されていることを明らかにしたのが有効であったと考えられる。

#### 4 種々の水溶液を考える授業

前項の授業によって、初歩的粒子概念に粒子の熱運動を加えることができた。本項においては熱運動も加えた粒子概念を用いて、あらためて種々の水溶液について考える授業を紹介する。

水溶液についての事前調査として「(A) 水にホウ酸を入れとけ切っていないもの、(B) それを加熱し全てとけ切ったもの、これらはそれぞれ水溶液か」という問いを行った。これに対して、「どちらも水溶液である」という正答が33.1%、「Aは水溶液だがBは違う」が4.5%、「Bは水溶液だがAは違う」が59.7%、「どちらも水溶液ではない」が2.6%であった。(A)を水溶液と考えない解答が6割であり、「とけ切っていないと水溶液とは言わない」と判断している生徒が多いということがわかった。この誤概念を、粒子概念を活用して正しい理解へと導いていくことをねらいとし、授業の構想を行った。

授業のはじめに、「食塩、デンプン、水酸化カルシウムの中で水にとけていると言えるのはどれか」という問いを行った。生徒のほとんどは、物質を水に入れた時の様子から、「水にとけているのは、とけ切っている食塩だけである」と予想した。しかし、ろ過→蒸発の過程を経ると、水酸化カルシウムも水に少量とけていることが分かる。生徒は、見た目では完全に溶け切っていないものでも、水溶液である可能性があること、ろ過→蒸発によってそれらを確かめられることに気付いた。

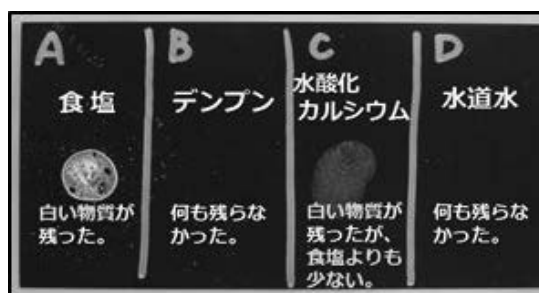


図5 3種類のろ液を蒸発させた様子

図5は上記の3種類の液体をろ過後、ろ液を蒸発させたものである。また、溶媒は水道水を用いるため、3種類の物質をとかしている水道水をろ過した液体も蒸発させ、違いを観察する必要性についても、実験の計画を立てる際に確認している。

生徒は以上のような結果から、種々の水溶液について図6のような粒子モデルを使って考察を行った。まず、概念⑤を用いて、水にとける(ろ紙を通り抜ける)食塩や水酸化カルシウムを小さい粒子で描き、水にとけない(ろ紙を通り抜けない)デンプンを大きな粒子で描いている。また、水に溶けない理由として「デンプンの粒子が大きすぎて、水の粒子の熱運動では全体に広がっていかない」など、概念⑥を用いて説明する生徒も見られた。食塩と水酸化カルシウムの水への溶けかたの違いについては、水の粒子の中に広がっている溶質の粒子の数の違いで表しており、溶液の濃度を、粒子を用いた形で表すことができていた。これが後の溶解度の考え方に繋がっていくと考えられる。

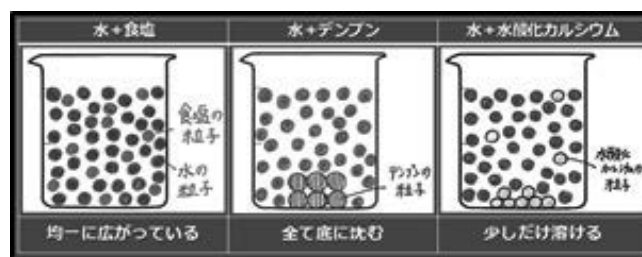


図6 3種類の液体の粒子モデル

#### 5 おわりに

本研究は小学5年と中学1年で学習する溶液・溶解学習を取り上げ、小中学校の学習のつながりの中で理解を深めていくための授業開発を目指した。そのために我々の研究プロジェクトにおいて取り組んできた小学校で扱う初歩的粒子概念を、さらに中学校でも扱いながら新たな概念(粒子の熱運動)を加えて溶液・溶解学習の理解を深めていく授業の実践を行った。

今回の授業を行ってみて、小学校で扱った「つぶつぶシート」を中学校でも改めて提示し初歩的粒子概念を想起させることで、中学校の学習内容と小学校の学習内容をつなげて考えようとする生徒の姿がみられた。またその結果として小・中学校では扱う物質が違っても、確立された概念に沿

って考えれば、答えにたどり着くことができることを多くの生徒が実感したようであった。らせん構造を持つ学習内容では、中学校の学習は小学校の学習の上に構想されることは当然のことであるが、生徒はそのことを実感として受け取りにくい。今回は「つぶつぶシート」という具体物や図2にまとめた基本概念を明確に提示していることが、学習のつながりを意識する上で役立っていると考えられる。

また類似のことが同じ教科だけでなく、基本的な概念や学習内容の本質は、様々な教科で繋がっているのだという教科横断的な視点を養うことにも効果があると感じた。

今回報告した内容は、研究としてはまだまだ改善点も多く完成したものではない。小中学校のつながりを計画的に研究するには、小中一貫校以外では困難さが伴う。今回の研究環境のもとでは小学校で「つぶつぶシート」や初歩的粒子概念を扱ってこなかった生徒に対する手立てをさらに厚くする必要がある。中学校で初めて粒子という言葉を目にする生徒にとっては、粒子概念は与えられたものでしかない。既習の生徒も未習の生徒も、同じ土俵で粒子概念を扱えるような工夫が必要であると感じた。また形成的な評価も含め生徒の考えを見取る仕組みと授業改善を加えたいと考えている。

さらに、ここで扱った初歩的粒子概念から原子・分子・イオン概念への深化を柱としながら中学校3年間の系統的物質学習のデザインと具体的な授業開発も今後の課題である。

## 引用文献

- 1) 文部科学省, 『小学校学習指導要領解説 理科編』, 『中学校学習指導要領解説 理科編』 大日本図書 (2008)
- 2) 菊地洋一, 武井隆明, 村上祐, 尾崎尚子, 高室敬, 黄川田泰幸, 橋戸孝行, 坂本有希, 佐々木俊, 小室孝典, 灘山正和, 「「粒子」を柱とした系統的な物質学習 —小学校理科に粒子概念を導入し活用するための考え方と授業提案—」, 『岩手大学教育学部プロジェクト推進支援事業教育実践研究論文集』, 第1巻, (2014)
- 3) 菊地洋一, 高室敬, 尾崎尚子, 本宮勇希, 近藤尚樹, 村上祐, 「小学校の物質学習を通して粒子概念を有効に活用するための新規学習シート「つぶつぶシート」の提案」, 『岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要』, 第13

号, pp. 33-43 (2014)

- 4) 山下修一, 小野寺千穂, 「小学校5・6年の溶解の学習に一貫して粒子モデルを用いた効果」, 『理科教育学研究』, 第50巻, No.1, pp. 85-91 (2009)
- 5) 菊地洋一, 高室敬, 尾崎尚子, 黄川田泰幸, 村上祐, 「小学校における系統的物質学習の実践的研究 —粒子概念を「状態変化」で導入し「溶解」で活用する授業—」, 『理科教育学研究』, 第54巻, No.3, pp. 335-346 (2014)
- 6) 堀哲夫, 松森靖夫, 浜田清彦, 「水溶液概念の理解に関する基礎的研究 —水溶液を二分したときの濃さを中心にして—」, 『日本理科教育研究紀要』, 第38巻, No.3, pp. 189-203 (1998)
- 7) 宗近秀夫, 「小・中学生の溶解概念に関する実態調査」, 『理科教育学研究』, 第40巻, No.3, pp. 13-22 (2000)
- 8) 坂本有希, 菊地洋一, 武井隆明, 村上祐, 「異なる学習課題が中学生の溶解現象の理解に及ぼす影響」, 『岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要』, 第15号, pp. 101-110 (2016)