

粒子概念を活用する物質学習と実感を伴った理解

菊地洋一*，坂本有希**，尾崎尚子・高室敬・黄川田健・菅原純也***

*岩手大学教育学部，**岩手県野田村教育委員会，***岩手大学教育学部附属小学校

(平成28年3月2日受理)

1 はじめに

原点に戻るような話であるが、授業は、教授法、適時性ととも学習内容の特徴を活かして、その具体を構成していくことが望ましい。それでは物質学習の特徴とは何であろうか？理科の中にあつて物質学習分野の大きな特徴の一つは、物質の諸現象を科学的に思考するものが、粒子概念に集約されるという単純な構造をしていることである。すなわち粒子概念の限られた知識を活用して、諸現象を統一的・系統的に説明できる。これは、全ての物質が小さな粒子（原子・分子・イオン）によって構成されており、物質の現象はこの構成粒子の性質や振る舞いに起因するからである。

よつて平成20年版学習指導要領・理科で提示されたように物質学習全体について粒子概念を柱として系統的学習を構築することができる¹⁾。またそのなかで科学的思考力・表現力を育成する授業を作りやすい。同指導要領において中学校の物質学習カリキュラムは充実が見られる。中学1年に初歩的な粒子概念が新たに加わり、2年では従来通り化学変化とともに原子・分子概念を学習する。3年では前学習指導要領で削除されていたイオン学習が復活した。微視的概念の取り扱いにはまだまだ課題も多いが、3年間で粒子概念を柱として一通りの内容を学習する構成になっている。一方、同指導要領は小学校における粒子概念の取り扱いについては明確にしていない。現在、教育現場で小学校における粒子概念の取り扱いについて盛んな研究が行われており、公開授業における提案授業も多い。教育現場における重要課題となっている。

そこで我々はプロジェクト研究の一つとして小学校理科における「粒子」を柱とした物質学習のカリキュラム構想について検討している。これまで述べたように、物質学習は粒子概念を柱にす

ることによつて系統的学習の構造が単純であり、科学的思考力・表現力の育成を図る授業も構成しやすい。我々はこの特徴を活かす形で物質学習の展開を考え、授業実践による検証を進めている。前報では物質学習における粒子概念の位置づけを整理したうえで、系統的物質学習の構想（「つぶつぶシートプロジェクト」）について報告した²⁾。

目に見えない概念を扱う学習は、実感を伴った理解を導くことに難しさがあると考えられている。このことは粒子概念（初歩的粒子概念、原子概念、分子概念、イオン概念）を取り扱う物質学習において常に付きまとう問題であり、このことも物質学習の特徴として捉えておくべきことであろう。そこで本報ではこの問題に焦点を当てたい。すなわち我々のプロジェクト研究での物質学習構想を、実感を伴った理解との関係で考察し報告する。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GP）の一環として行つており、本報はその成果の一部を報告するものである。なお本研究における新たな授業実践の詳細については、あらためて論文として公表する予定である。

2 「つぶつぶシート」プロジェクト

小学校理科で我々が進めている物質学習構想を簡単に紹介する。小学校の物質学習では、物質の三態の性質を扱う内容が中心である。そこで小学校の物質学習の全体構想として、まずは物質の三態の特徴について粒を用いて整理した一枚の学習シートを作成する。これをその後の学習において、基本となる共有知識として活用する。この学習シートを図1に示す。これを「つぶつぶシート」と呼ぶ。この学習シートは一つの授業や単元に限定ではなく、単元を越えていつでも参照できる基本シートとする。その意味では周期表の位置づけに近い。

ただしシートを初めから作成しておき子どもに

活用を促しても、子どもには唐突でありシートの内容もあまり理解できないことが考えられる。そこでまずはこの学習シートの内容を、あらかじめ授業を通して学習する。その後、その学習内容をまとめる形で、子どもが自分たちでシートを作る。この段階を踏むことにより子どもはシートの中身を理解した上で、以後の学習でシートを活用することができる。

「つぶつぶシート」を作る授業場面は、4年「水の姿とゆくえ」を選んだ。ここでは、“なぜ、水は見えて、水蒸気は見えないのだろうか”、および“なぜ、水は形を変えられるのに氷は変えられないのだろうか”の2時間の授業を行い、授業内容をまとめて「つぶつぶシート」を作成した。この授業のはじめに教師から課題のヒントとして「物はすべて目に見えない小さな粒できている」と「粒の大きさは変わらない」ことを教えている。「つぶつぶシート」の考え方、シートを作るための授業の詳細は前報を参照されたい³⁾。

この「つぶつぶシート」を図2に示したように種々の学習場面で活用する。我々はそれぞれの学習場面でシートを活用しながら物質の現象のしくみを解き明かす授業を構想し、実践研究を行っている。いずれの学習場面でも、子ども達は「なぜ？」と投げかけた科学のしくみに迫る謎解きに大変興味を示し、そのしくみが明確になることによって充実感を示している。事後の定着も良く、小学校段階で十分実施可能な内容と考えられる。個々の授業実践の詳細は、それぞれ論文にまとめる予定である。また現時点では6年「水溶液の性質」はまだ授業実践を行っていないが、それも含め今後さらに研究を進めていく予定である。

小学校の物質学習における授業実践

粒 子 (小学校での物質学習)			
3年	粒で考える布石	物と重さ ・形と重さ ・体積と重さ	
4年	物の体積と力 ・空気の圧縮 ・水の圧縮	粒子概念の導入 「つぶつぶシート」の作成	物の体積と温度 水のすがたとゆくえ 物のあたたまり方
5年	「つぶつぶシート」の活用	「つぶつぶシート」の活用	物のとけ方 ・物が水に溶ける量の限度、変化 ・重さの保存
6年	物の燃え方と空気 ・燃焼の仕組み	水溶液の性質 ・酸性、アルカリ性、中性 ・気体が溶けている水溶液 ・金属を変化させる水溶液	「つぶつぶシート」の活用 ①金属の水のあたたまり方の違い？ ②あたためられた水は、なぜ上に移動する？

図2 小学校の物質学習

3 実感を伴った理解との関係

我々の進めている物質学習構想を、実感を伴った理解との関係で整理する。平成20年版小学校学習指導要領において、理科の目標に実感を伴った理解を図ることが明記された。要領解説によると実感を伴った理解とは、①「具体的体験を通して形づけられる理解」、②「主体的な問題解決を通じて得られる理解」、③「実際の自然と生活との関係の認識を含む理解」であると説明されている¹⁾。これらの観点は従来から理科教育で重視されてきたことでもある。

「実感」とは個人の主観的な感情であるから「実感を伴った理解」は理解した内容の真偽を含んでいない。当然、理科の目標では正しい理解に導くことを意図しているわけだが、「実感を伴った」だけが独り歩きすることに注意が必要である。誤った解釈によって学習者が思い込みを強くしている場合があり、それは上記の①～③によって無条件に改善される保証はない。例えば上記①である。上記①は実験・観察などの直接体験を通じての理解である。理科では実験・観察結果による実証によって結論を導く展開が行われる。話だけではなく、自らが行った実験・観察の結果から結論を導くことにより、結論に実感が持てるということが期待される。ここで、実験・観察結果は客観的なもので、そこから導き出される結論は誰もが同一

<つぶつぶシート> 4年「水の姿とゆくえ」で作成

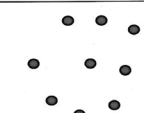


	気体	液体	固体
例	空気、水蒸気	水、アルコール	金属球、氷
小さな粒で表現してみよう。			
目に見える？	見えない	見える	見える
なぜ目に見えないのか？／なぜ目に見えるのか？ 小さな粒で説明しよう。	小さな粒がばらばらに広がっているから	小さな粒がたくさん集まっているから	小さな粒がたくさん集まっているから
自由に形を変えることができる？	できる。	できる。	できない。
なぜ形を変えることができるのか？／形を変えることができるのか？ 小さな粒で説明してみよう。	粒が自由に動くことができるから	粒が自由に動くことができるから	粒と粒が強く結びついて、粒が自由に動くことができないから

図1 「つぶつぶシート」

のものとなるか？という問題がある。このことについて、学習者は個々が先行して保持しているそれぞれの理論に依拠して実験・観察の結果を解釈するため、異なる理論を保持する人が同じ現象を見ても異なる結論を導く可能性があることが指摘されている。ハンソンの「観察の理論負荷性」の指摘である⁴⁾。このようなことは科学史におけるフロギストン学派の「負の質量」などが知られているが、学習時の子ども達にも起こっていることである⁵⁾。したがって実験・観察の結果を単に客観的な事実と捉えるのは危険であり、場合によっては学習者の誤った思い込みに本人なりの実感を加えることになりかねない。

上記のことは学習者が事前に保持している科学的知識や見方の重要性を示唆している。ベースになる知識が科学的に正しく、さらにクラスで共有されていけば、新たな実験結果を解釈する場面においても建設的な議論が期待される。このことは上記②「主体的な問題解決」においても重要な要素である。

特に物質学習では、実験によって起こる物質の現象はマクロ的に学習者の視覚に認識できたとしても、その現象の基になるミクロ的な粒子の振る舞いを視覚的に認識することはできない。マクロの現象の解釈を粒子に関する予備知識なしに行うことは困難である。そこで我々の取り組みでは思考の基となる知識を「つぶつぶシート」にまとめ、学習者が共通に保有する科学的な予備知識として作用することを目論んでいる。この方法は上記①、②を有効に働かせ実感を伴った理解に導くためのベースになる。

遠西は、学習者の本当の理解は、自然の総体の中で多くの事象と矛盾なく調和的に位置づけられたものとして育まれることを指摘している⁶⁾。学習者の知識が多くの自然現象の理解に矛盾なく活用できることによって、学習者は科学的な見方や考え方を育むとともに科学知識や現象の理解を確かなものにしていく。この中に学習者の本当の実感が生まれると考えられる。

我々の物質学習構想は、「つぶつぶシート」を共通の考える基として、図2に示したような多くの学習場面に活用する。子ども達は、種々の物質の現象に対して共通要素を活用するなかで、学習内容の関係や共通性を自ずと認識していくことが期待できる。例えば我々の実践では、4年生の学習

で水蒸気が目に見えない理由について「小さな粒がばらばらに広がっているから」と学習したことを、5年生の学習で水溶液中の溶質が目に見えない理由を考えたときに活用し、「溶質の小さな粒が溶液全体にばらばらに広がっているから」という結論に納得していた⁷⁾。また4年生で水と氷の違いを「小さな粒が自由に動くことができるかどうか」で学習したことを、水と金属の温まり方の違いに活用し、納得していた。このような授業を子どもにとって身近な事象と結び付けながら展開している。このように我々の物質学習構想は、獲得する知識が粒子という根本要素で有機的につながっていると感じながら理解を確かなものにするとともに、実際の自然と生活との関係の認識も含めて物質というものに対する科学的な見方や考え方を育成することを目論んでいる。

このように考えると物質学習分野は、必ずしも実感を伴った理解を得にくい要素だけではない。むしろ系統的学習構造の単純さを活かすことができれば、知識のつながりの中で得られる確かな理解という形で学びに実感を深めることができると考えられる。これらは科学的思考力・表現力の育成とともに、我々のプロジェクト研究のねらいである。

4 可視化モデルの活用

前項で、我々の物質学習構想と実感を伴った理解との関係を述べた。物質学習の特徴を活かした全体構想の視点である。それでは個々の授業場面ではどうであろうか？やはり実際の授業場面の中には目に見えない粒子で思考することの難しさがあるであろう。それは一般的な学習内容としてマクロの現象とミクロ的解釈の融合が主題のひとつとなっている中学校段階の物質学習でも同様である。ここでは実験で見られるマクロの現象とミクロの粒子による思考を仲立ちするものとして、作図や操作する粒子モデルの活用が重要になる。そこでマクロとミクロの学習を効果的にすり合わせるために、我々の授業実践の経験から粒子モデルの使い方について有効だと思うポイントを2つ紹介する。

我々の授業実践では学習プリント上に粒子モデルの作図をすることに加えて、ホワイトボード上で粒子に見立てた球状マグネットを使った思考

場面を多く取り入れている。班活動などで便利である。マグネットは何度でも置き換えることができるため試行錯誤しながら議論するのに向いている。そしてさらに重要なことは大きさの変わらない粒子のモデルとして活用できることである。粒子概念を用いた思考をする際に粒子の基本的な性質が重要になってくる。詳細は前報²⁾にまとめているので省略するが、その一例として、科学的に正しい結論に達するためには、粒子の大きさは変わらないことが前提となる思考場面が多くある。その場合には大きさの変わらない粒子モデルを扱うことが有効である。もし粒子モデルの操作を作図だけで行えば、子どもは自由に粒の大きさや形を変えて議論する。この場合、子どもが納得する形で授業をまとめることは難しくなる。我々は授業実践の中でマグネットを粒子モデルとして使用し「粒の大きさは変わらないのだから、きつこうだよ！」などつぶやきながら議論を深めていく子どもの姿を何度も見ている。

粒の大きさの事例と同様に、学習内容に応じて粒子の基本的な性質の何に留意するべきかを考え、それに適したモデルを用意することが一つのポイントとして挙げられる。これはマクロの現象とミクロ的解釈を橋渡しすることを円滑にする配慮である。

もう一つの有効なポイントは、立体モデルの活用である。いくつかの授業のまとまりの中で、実験による現象の確認（マクロ的内容）があり、粒子モデルによる思考場面（ミクロ的内容）がある。当然これらの関係性を強く意識して授業を構成するわけだが、学習者はミクロの世界に没頭するほどマクロ的内容の意識が弱くなりがちである。このような学習者は実験による現象（マクロ的内容）と粒子モデルによる思考（ミクロ的内容）を別々の内容と捉えてしまう。このような場合には立体モデルを用いて初めの実験を再現する活動を取り入れることが有効である。我々は「実験による現象の確認（マクロ的内容）」→「粒子モデルによる思考場面（ミクロ的内容）」→「立体モデルによる実験の再現（マクロとミクロのすり合わせ）」の流れで授業を行っている。いくつかの例を以下に示す。

＜小学校4年「氷（固体）と水（液体）」³⁾＞

「水は自由に形を変えることができるが、氷は自由に形を変えることができないのはなぜだろう

か？」を課題として、固体と液体の違いについて学習する場面である。ここではブロックを粒子モデルとして使用し、「水は小さな粒が自由に動けるから形を変えることができるが、氷は粒が強く結びついて自由に動けないので形を変えることができない。」とまとめている。その後、固体と液体の一般化を図るためろうそく実験を行った。「固体のろうそく」→「加熱して液体のろうそく」→「型に入れて冷やし自分のろうそくを作る」の流れで実験を行うが、これと並行してミクロの思考モデルとして使ってきたブロックで現象の再現を行う。その様子を図3に示す。この活動を取り入れることによりあらためてミクロで学習した内容の意味が確認できる。

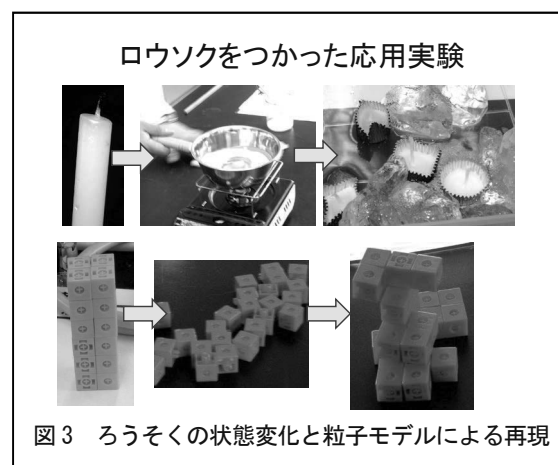


図3 ろうそくの状態変化と粒子モデルによる再現

＜中学1年「溶解」＞

砂糖を水に溶かした水溶液について、溶けるとは？、溶質が小さな粒となって溶液全体に分散することを学習した。このことを立体モデルを使って再現した。その様子を図4に示す。図4左から始め、水槽を揺らすことによって溶質の粒が全体に広がっていく様子を再現した。水分子の熱運動も含めての再現実験である。

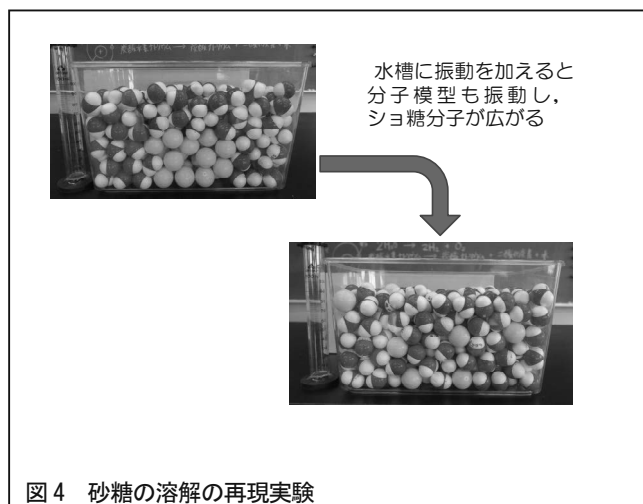


図4 砂糖の溶解の再現実験

＜中学2年「化学変化と原子・分子」＞

状態変化と化学変化を対比させながら授業を進めた。砂糖を教材に用いるとどちらも容易に観察できる。はじめに砂糖を弱く加熱して融ける様子（状態変化）を観察した。つづいて、強く加熱して水と炭に分解する様子（化学変化）を観察した。その後、粒子モデルや分子模型を使いながら化学変化、原子、分子の概念を学習した。班ごとに砂糖分子を分子模型で組み立てる学習もした。砂糖の分子模型を作製した後、これを用いてあらためて砂糖が融ける様子（状態変化）と水と炭に分解する様子（化学変化）を再現した。その様子を図5に示す。状態変化と化学変化の意味を明確に区別して理解することができると考えられる。

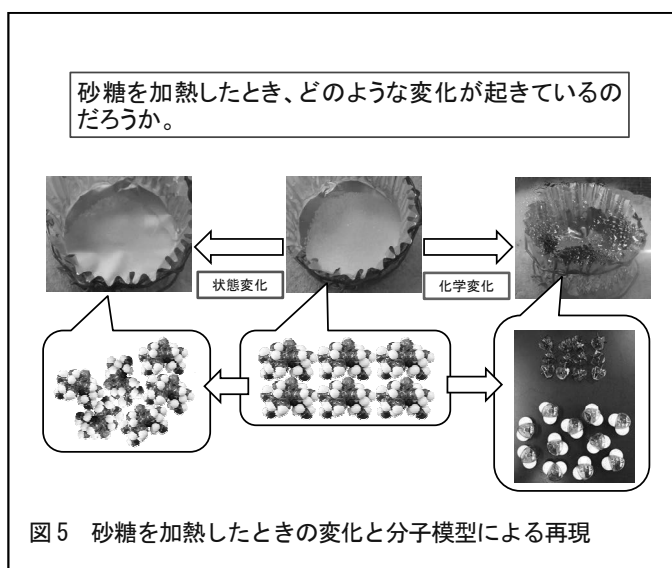


図5 砂糖を加熱したときの変化と分子模型による再現

以上の事例は、実験での観察とミクロで解釈した学習を行った後、あらためて実感を持ちやすい立体モデルで疑似再現実験することによって、マクロとミクロをすり合わせる活動である。物質学習の授業場面では目に見えない粒子で思考することの難しさがあると考えられるが、立体モデルを用いた再現実験は、マクロとミクロのすり合わせに実感を持たせる有効な手立てと考えられる。立体モデルの活用場面は学習内容に応じて柔軟に考えられる。今後も検討を続けていく予定である。

5 おわりに

我々は小中学校における物質学習について、内容論的アプローチを行っている。物質学習の特徴を捉えた学習を構想し、授業実践を通して検証し

ている。本報ではこれまでの研究成果を踏まえて我々の進めている物質学習と実感を伴った理解との関係を論じた。

物質を構成している小さな粒は目に見えないため、子どもたちにその存在はイメージしにくい。したがって粒子概念を活用する物質学習は実感を持ちにくい側面がある。しかしその一方、粒子についての少しの基本的な知識を使うことができれば、物質学習は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。このような学習は、新たな知識を確かなものとして獲得する実感を導きやすい。我々のプロジェクト研究はこの視点で物質学習構想を進めている。これまでの授業実践の結果から上記の学習スタイルは小学校段階でも十分可能であると考えている。

また本報では、物質学習におけるマクロとミクロの学習を効果的にすり合わせる粒子モデルの使い方についても述べた。

今後さらに効果的な粒子モデルの使い方も組み込んで、小中学校の物質学習全般について学習分野の特徴を活かした系統的学習のありようを、具体的に検討していく予定である。

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、46-51(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、33-43(2014)。
- 4) ハンソン、N. R. (村上陽一郎訳)、『科学的発見のパターン』講談社学術文庫(1986)
- 5) 遠西昭壽、「理科授業における観察と実験の役割」、『理科教育研究』、第7号、13-18(1997)
- 6) 遠西昭壽、「「実感を伴った理解」とはどういうことか」、『理科の教育』、第2号、13-16(2011)
- 7) 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』, Vol.54,
No.3, 335-346 (2014).