

# 「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—

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\*\*\*\*\*

\*岩手大学教育学部，\*\*岩手大学教育学部附属小学校，\*\*\*岩手県普代小学校，

\*\*\*\*岩手県北教育事務所，\*\*\*\*\*岩手大学教育学部附属中学校

(平成26年3月7日受理)

### 1. はじめに

平成20年版学習指導要領・理科では、小・中学校を通じた内容の構造化と系統的な学習の重視、および科学的思考力・表現力の育成の重視などが強調されている。物質学習分野では「粒子」がその柱に据えられ、「粒子概念」の取り扱いが系統的な学習を構築する際のポイントである。

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年に粒子モデルが新たに加わった。2年では従来通り化学変化とともに原子・分子を学習する。3年では前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、中学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となっている。今後さらに本質を押さえた上で理解しやすい授業構想の検討が期待される。

一方、同指導要領は小学校での粒子の取り扱いについては具体的には明記していない<sup>1)</sup>。科学的思考力や表現力の育成の観点から物質の現象を図や絵を用いて表現させる指示は頻繁に出てくる。本来、物質の現象を科学的に正しく表現するには粒子概念が必要だが、同指導要領では小学校段階での粒子概念の導入を意図しているのか、あいまいな状況である。このことを反映するように、数社の教科書について物質の同じ現象(例えば、「4年：閉じ込められた空気を圧縮した場面」や「5年：水にものを溶かす場面」など)を解釈する図を見比べても、子どもの自由な発想に委ねた(科学的な要素を含まない)作図の例から本格的に粒子を用いて科学的に解釈している例まで、教科書による違いは実に幅広い。

小学校理科での粒子概念導入の可否や導入するとすればどのように取り扱うかは、子どもの実態に即した適時性と問題解決学習のありようとも関係し、理科教育における大変重要な論点であり、採用する教科書によってこれほど取り扱いに違いがあってよいのか疑問である。したがって現在、小学校における粒子概念の扱いは、教育現場において差し迫った重要課題といえる。

これまでに小学校段階における粒子概念に関わる調査研究<sup>2)-4)</sup>や授業実践研究<sup>5)-7)</sup>が報告されており、粒子概念導入の可能性や有用性が示唆されている。しかしこれらの授業実践研究は単独の場面を取り上げたものであり、系統的な学習のつながりの観点については、授業レベルでの具体的な研究はあまりされてこなかった。粒子概念は系統的物質学習のポイントとなることから、今後、系統的な視点からの授業実践や授業レベルでの具体的な提案についても盛んな研究が期待される。

このような状況を背景に、我々は、小学校段階に粒子概念を導入し系統的物質学習を構築することが可能かについて、全体構想とともに具体的な授業開発を行い、実践的に検証することを目的として研究を行った。この研究は岩手大学教育学部プロジェクト推進支援事業の一環として行った研究であり、本報はその一部を報告するものである。本報では、はじめに研究を進める中で整理してきた物質学習における粒子概念の取り扱いについての考え方を述べた。次に系統的な学習のための具体的な提案を行った。最後にまとめを行った。

## 2. 粒子概念はなぜ物質学習において重要なのか

我々の眼には連続体に見えるコップの中の水や金属棒も微視的には小さな粒子の集合体である。またこれらの物質の状態や性質は、物質を構成している粒子の振る舞いで決まることである。これらのことはすべての物質に共通のことである。したがって物質を理解する上で、以下の2点が最も根本的な共通要素である。

- (1) 物質はすべて小さな粒（原子・分子・イオン）からできている。
- (2) 物質の現象は、それを構成する粒の振る舞いに起因する。

このことを教育の場面に投影して考え、物質学習に粒子概念を導入する場合のメリットをまとめると、以下の3点が挙げられる。

- (A) 粒子概念を導入することにより、物質の現象の本質や原因を対象とした学習が可能になる。（「なぜそうなるのか?」、「oooとはどういうことか?」の学習）
- (B) 粒子概念を導入することにより、異なる単元の学習内容を本質的につなげて理解することができるようになる。（学習内容の相関的な理解、統一的な理解）
- (C) 目に見えないためにイメージしにくくて理解しにくい傾向にあった学習内容が、粒子概念を導入し、粒子モデルで可視化することにより、理解しやすくなる可能性がある。（代表例：水蒸気、溶液の均一性、水の空気の状態の違い など）

理科では物質の種々の現象を、実験を通して学習する。ここで“なぜそのようになるのか?”について子どもたちは大変興味を示し、この先に本格的な科学的思考力を鍛える学習が構成できる。そのためには上記(2)から、粒子概念が不可欠である。粒子概念を入れることによってメリット(A)が可能になる。このことは物質学習の大きな転換点である。すなわち粒子概念の導入によって物質の現象の本質や原因を探る学習に踏み込むことができるため、粒子概念の導入はその前後の物質学習の質を大きく変えることとなる。

また上記(1)(2)により粒子概念は物質学習全体を貫

く共通の根本要素である。したがって粒子概念を活用した学習の積み重ねは、メリット(B)を誘導する構造となっている。したがって粒子概念は系統的な物質学習の柱となる。

これらのこと（下線部）は物質学習における粒子概念の最も重要な意義である。

なおメリット(C)は、粒子概念を粒子モデルの形で導入することにより、学習内容のイメージ化を図ることの効果である。例えば「水蒸気」は言葉だけで学習しても子ども達には得体のしれないものであり実感が持てない。このような学習内容は一般に子どもの理解度が低い。これは粒子概念を導入しない学習での問題点（限界）である。粒子概念（粒のモデル）の導入により改善が期待される。

小学校に粒子概念を導入するのであれば、ここで示したメリットを生かす形で入れるべきである。明確な指針も無しに導入するのは混乱の元となる。

## 3. 粒子概念の活用

粒子概念は、知識としての重要性も然る事ながら、活用する概念として大変重要である。粒子概念を活用する基礎として、粒子概念に関わる最も根本的な事項を図1に整理して示した。はじめに粒子概念を大きく2段階に分けて整理した。初期段階は、粒子概念を原子概念、分子概念、イオン概念に区別をしないで「小さな粒」と表現する段階である。これを初歩的粒子概念として考える。次の段階は、この「小さな粒」の正体を原子、分子、イオンに分けて扱う段階で、この段階では物質の個性（種類、性質の違い）に着目することができるようになる。小学校では初歩的粒子概念が対象となる。

図1では、初歩的粒子概念として①「物質は全て小さな粒でできている。」に加えて、その粒の基本的な事項をまとめてある。②は①と表裏一体の関係であり、③～⑦が粒の基本的性質である。この①～⑦の中のいくつかの組合せによってマクロの現象を説明することができる。例えば、「閉じ込められた水はおし縮めることはできないが、空気はおし縮めることができる（小学校4年）」の理由を説明するには、①、②、③、⑤が必要になる。さらに厳密な理解あ

るいは「おし縮められた空気はなぜおし返すのか？」まで説明しようとする場合には、⑥が必要になってくる。このように対象とする現象や説明の深さに応じて、①～⑦の何が必要になるのかが決まってくる。

そこで粒子概念を活用する授業を構想する場合には、その授業で対象とする現象と目的とする解釈の程度に応じて、①～⑦の何を扱うのか明確に意識した方がよい。その上で教師から教える知識と子どもから引き出そうとする内容を整理することにより授業の構造が明確になる。この段階を経ないと粒子概念を扱う小学校の授業は、発散的になり明確な結論を得ないで終わる授業になりがちである。

#### 4. 粒子概念を取り入れた授業の考え方

小学校理科では実験・観察を中心として、その結果から子どもの考えを引き出し、まとめていく授業が多く行われている。ここで教師はあまり知識を教えずに子どもの自由な発想を大事にすることが最大限尊重される考え方も強い。その一方、そのような授業スタイルには無理があり、教えるべきことは教えた上で考えさせる授業スタイルの重要性も指摘されている<sup>8), 9)</sup>。

これらのことは学習内容に応じて使い分けが必要であろう。ここで粒子概念の取り扱い、教えるべきことは教える代表的な学習内容であると考

える。その理由とともに粒子概念を導入する授業の考え方を以下に述べる。

(1) 必要な知識を教えない場合、粒子概念について根拠をもって予備知識のない子どもから引き出すのは難しく、また小学校段階での実験結果から直接的な証拠を示すのも難しい。よって粒子概念を子どもの自由な発想の中から導き出すのは、普遍的な授業としては構想しにくい。

また仮に子どもの中から粒を用いた表現が出てきた場合でも図1の③～⑦に示した粒の性質については認識されていない場合が多い。例えば、粒の大きさが自由に变化するという誤概念は子どもの思考の中にしばしば見られることであるが、それを否定できるのは教師の知識によることである。このような関係にある要素が、授業の課題解決の中心に位置づく内容なら教師が教えない限り明確な結論を出さない授業になってしまう。このような授業は、積み上げを意図する系統的な学習に組み込むのは難しくなる。また明確な結論を出さない授業を繰り返すのは子どもの学習意欲を減退させる心配がある。

(2) 粒子概念は目に見えない世界に導くことであるから、その導入は子どもたちにとって唐突感があると思われる。これを緩和するためには授業の課題設定が子どもにとって興味関心が高く、その課題を解くために粒子概念を使う必要感が生まれるような場

面を考える必要がある。そのため粒子概念を取り扱う授業は、上記のメリット(A)「物質の現象についてなぜそうなるのか？」を課題として行われる授業がほとんどである。ここで重要なことは「なぜそうなるのか？」で子どもを引き付けた授業は、やはりその答えを明確に示す形で終わるべきであろうということである。

そのための授業方策は、前提となる知識を教えることにより子どもの思考対象を広げすぎずに明確にすること、授業をあまり複雑にしないでシンプルに課題解決につ

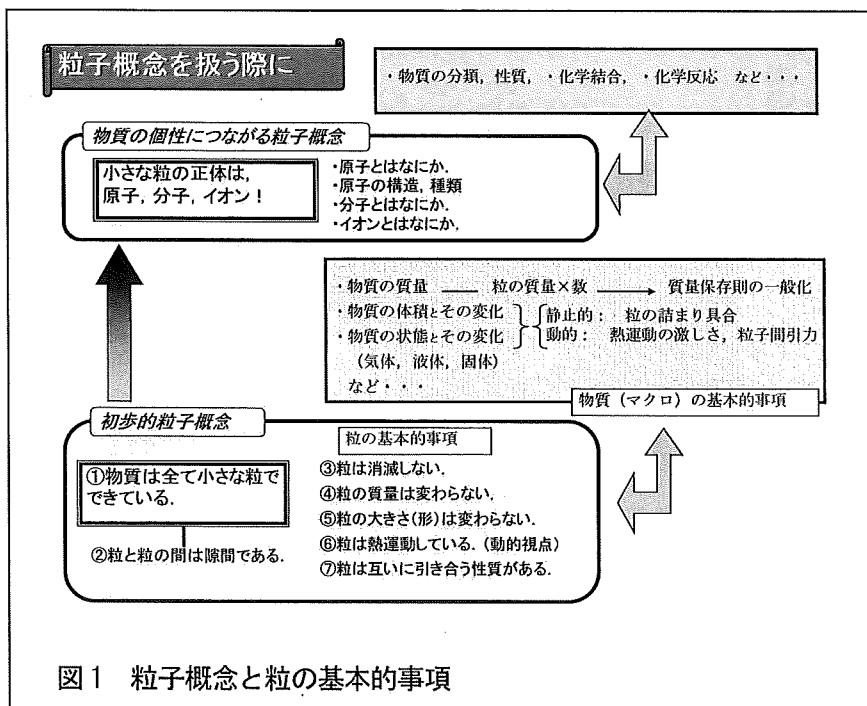


図1 粒子概念と粒の基本的事項

ながる構造とすることである。教師は、子どもの思考対象を狭めたり、授業を単純化することにつまらなさを感じるかもしれないが、後述で紹介する我々の授業実践では、すっきりと謎が解けることで子どもは興奮するほど満足感を示した。このことは粒子概念を取り扱う学習内容の特徴と言える。

## 5. 系統的物質学習を行うための学習シート

### 「つぶつぶシート」の提案

ここまで物質学習に粒子概念を導入する際の考え方について述べてきた。これらの考え方に基づいて系統的物質学習のための具体的な提案を行う。

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、物質の三態の特徴を粒を用いて整理した学習シートを作成し、活用することを提案したい。この学習シートを図2に示す。これを「つぶつぶシート」と呼ぶこととする。この学習シートの特徴は、一つの授業や単元に限定した学習シートということではなく、単元を越えていつでも参照できる基本シートとすることである。その意味では周期表の位置づけにイメージに近い。この学習シートは、前述の3つのメリット(A)–(C)を活かすもので、物質の現象についてイメージを持って学習を進めることができ、種々の現象のしくみを考える基になり、異なる学習内容をつなげる基になるものである。

つぶつぶシートの上段は、物質の三態の違いを

イメージできるように粒子モデルを描いてある。

下段にはマクロの視点での三態の違いについて2点あげて整理してある。1点目は、目に見えるかどうかである。2点目は、自由に形を変えることができるかどうかである。この2点は三態を子どもの視点で区別するポイントでもあると考えた。シートにはその理由を粒で説明した内容がまとめである。これらの視点で三態のイメージ化ができ、整理されていれば、その後の多くの学習内容の思考の基礎となる。

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とを考えた。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。この授業のはじめに教師から「物はすべて目に見えない小さな粒でできている(図1①)」と「粒の大きさは変わらない(図1⑤)」ことを知識として教えた。このことを基礎知識として子ども達は物質の三態の違いについて学習し、その内容のまとめとしてつぶつぶシートを作成した。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別報(岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要で現在印刷中。本誌はインターネットで全文を無料ダウンロードできる。)に報告するので参照されたい<sup>10)</sup>。

## 6. 系統的物質学習の授業実践

我々が行った授業実践をいくつか紹介する。

### (1) 3年：「形と重さ」の授業

この単元は小学校における物質学習のはじめに位置している。子どもの科学的な思考力や表現力を育成する効果的なツールと

＜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	金球、木
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2 「つぶつぶシート」

して、プラスチックブロックを活用しながら考えさせる内容を取り入れた。さらにブロック学習が粒子概念につながる布石となることを意識した。

本単元の前半部「ものの重さをしらべよう」で、種々の実験を通して“物は置き方や形をかえても重さはかわらない”ことを学習した後の1時間として、ブロック学習(本時)を設定した。本時では、形(重さ)の異なる2種類のブロック(三角ブロック、四角ブロック)を用い、形の違う8体のロボットを提示し、それぞれの班毎に、ロボットの重さが何グラムかを考えることを課題とした。

ロボットの重さを当てるといふ謎解きに、子どもたちは夢中になって取り組んでいた。本時を通して子どもたちはブロックの数に着目して重さについて考え、定量的に説明することができた。また異なるブロックが混ざっていても重さは足し算が成り立つ量であることを自らの作業を通して見出した。5ヶ月後に実施した事後テストの結果も良好であった。

ブロックはものの重さのしくみを子どもが表現するのに大変役に立つ。また表現に至る過程で科学的思考が定量的に深まるツールである。さらにその思考・表現内容は粒子概念による質量保存の本質的な解釈に合致するものである。本単元でのブロックの活用は大変有効であった。なお本実践の詳細は前報に報告してあるので参照されたい<sup>11)</sup>。

#### (2) 4年：「水の姿とゆくえ」の授業

つぶつぶシートを作るもとなる授業である。本単元の教科書の内容について一通りの学習をした後、2時間の授業を行った。

1時間目は、水と水蒸気の違いを取り上げ、課題「水は見えて、水蒸気が見えないのはどうしてなのだろうか？」を考える授業である。そのヒントとして「物はすべて目に見えない小さな粒でできている(図1①)」と「粒の大きさは変わらない(図1⑥)」ことを知識として教えた。小さな粒のモデルとして円形のマグネットを用い、ホワイトボード上で子ども達実際に操作しながらグループ毎に事象を考察した。その結果、子ども達は「水は目に見えない粒が集まっているから見える、水蒸気は見えない小

さな粒がばらばらに広がっているから見えない。」を見出すことができた。このことを全体で共有した後、水蒸気が水に変化する演示実験を通してマクロの事象をミクロの粒で想像して説明する学習を行った。この授業は、子ども達にとって初めて粒子概念を学習する場面の授業である<sup>10), 12)</sup>。

2時間目は、水と氷の違いについて取り上げた。マクロの視点で水と氷の違いについて意見を引き出した後、「水は自由に形を変えられるのに、氷は自由に姿を変えられないのはなぜだろうか？」を課題として設定した。今回は、粒の結び付きを実感しやすくするため、小さな粒のモデルとしてブロックを用いた。班ごとに多数のブロックをわたし、水蒸気(気体)、水(液体)、氷(固体)をブロックで表現させた。子ども達は、ブロックをバラバラに配置して水蒸気を、寄せ集めて水を、くっつけて氷を表現していた。次に、固体は自由に形が変わらないのはなぜかについて説明させた。「水は、小さな粒が自由に動くことができるので形が変わる。氷は、小さな粒が強く結び付いて自由に動くことができないので形が変わらない。」とまとめることができた。最後に学習内容の実感を高めるために、ろうそくを加熱して溶かし、新たなろうそくを作る実験を行いながら、その現象をブロックでも表現させることによってマクロの事象をミクロの視点で再現する活動を行った。

2時間の授業が終わった後、学習内容をつぶつぶシートにまとめる作業を行った。子ども達は戸惑うことなく作業することができた。実践一月後の事後テストの結果も大変良好であった<sup>10)</sup>。

#### (3) 4年：「空気と水の性質」の授業

つぶつぶシートを活用する授業である。すでに「物の体積と力」単元で、“空気はおされると体積が小さくなる。水はおされても体積は変わらない。”ことを、実験を通して学習している。本時はこの現象について、つぶつぶシートを活用してその理由を考える授業である。個人の予想を立てさせた後、ホワイトボードと円形マグネットを使い、班で意見交換し考えをまとめさせた。班毎の意見を発表しながら全体で議論を行い、全体でまとめを行った。

子どもたちは本時を通して、水と空気を表すマグネットのすきまに着目しながら体積変化を説明することができた。はじめは加圧後の空気について粒が密集したモデルが出てきた。これをめぐって活発な議論が行われ、加圧後も気体なのですき間が残るモデルに修正することもできた。これらの過程でつぶつぶシートは大変有効に活用されていた。3ヶ月後に実施した事後テストの結果も良好であった。

#### (4) 授業実践のまとめ

これらの授業はいずれも科学の本質的な問題を課題として設定していることから子ども達は大変興味を持って積極的に取り組んでいた。実践後のアンケート調査からは、授業内容を「やや難しい」と感じるが、「楽しく」、「わかった」という結果が得られた。またどの授業の事後テストの結果も大変良好である。これらの授業は、本報前半で述べた考え方に基づいて構想している。このような授業を、子どもたちの興味を引き付けながらわかる授業として実施することは、小学校で十分に可能と考えられる。

つぶつぶシートの作成と活用も良好な結果を得ている。今後、さらに活用場面を増やし小学校全体の系統的モデルカリキュラムを提示したいと考えている。

## 7. おわりに

小学校理科では実験・観察に基づいてマクロの現象を中心に展開される。物質学習の中でも子どもの自由な発想を引き出す授業も大事である。本研究はそれらを否定するものではない。むしろミクロの視点が中心の授業は、時数としてもそれほど多くなくてもよいだろう。それでも本研究で述べた系統的な学習は構成できる。

物質学習は粒子についての少しの基本知識が多くの学習場面に活用できて、それによって学習がつながり、深めていくことができる。系統的学習がやりやすい分野と言える。また根拠となる知識を持って、ものを考える訓練をする分野としても向いている。本研究のもとになる重要なことは、物質学習という学習分野の特徴(下線部)を活かした教育を構築しようという提案である。学習は、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。

## 引用文献

- 1) 文部科学省、『小学校学習指導要領解説 理科編』、大日本図書(2008)
- 2) 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、第3号、pp. 13-22(2000)
- 3) 高野圭世・堀哲夫・平田邦男、「粒子概念の理解に関する研究 — 「空気の温度による体積変化」を事例にして」、『日本理科教育学会研究紀要』第32巻、第2号、pp. 91-100(1991)
- 4) 葉山優・小嶋美也子・勝呂創太・圓谷秀雄・金田知之・下條隆嗣、「小学校理科への物質の粒子像導入の可能性 — 児童のもつ粒子像についての調査」、『東京学芸大学紀要自然科学系』第58巻、pp. 15-39(2006)
- 5) 宗近秀夫、「小学生の溶解認識における概念変容の研究」、『理科教育学研究』第43巻、第2号、pp. 1-13(2002)
- 6) 福島いずみ・芝原寛泰・西村彰高・山田鈴子、「小学校理科授業における粒子概念の導入の新しい試み」、『京都教育大学教育実践研究紀要』第1巻、pp. 67-80(2001)
- 7) 久田隆基・萱野貴広・天野真一・成瀬英明、「科学的思考力を育むための理科教材の開発研究 — 小学校の気体概念および科学的な見方に対する認識状況—」、『科学教育研究』第29巻、第2号、pp. 146-156(2005)
- 8) 川上昭吾、『教への復権をめざす理科授業』東洋館出版社(2003)
- 9) 市川伸一、鍋木良夫、『教えて考えさせる 理科 小学校』図書文化社(2010)
- 10) 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』、印刷中。
- 11) 尾崎尚子・菊地洋一、「思考力や表現力を高め科学の本質にもつながる教材の活用 — 小学校3年「ものの重さ」をブロックで考える授業実践—」、『初等理科教育』、第47巻、3月号、pp. 22-25(2013)
- 12) 菊地洋一・尾崎尚子・黄川田泰幸・高室敬、「小学校理科に粒子概念を初めて導入する場面の授業実践 — 4学年「水の姿とゆくえ」単元での実践—」、『初等理科教育』、第46巻、8月号、pp. 62-65(2012)