

## 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

菊地 洋一\*, 高室 敬\*\*, 尾崎 尚子\*\*, 本宮 勇希\*\*, 近藤 尚樹\*\*\*, 村上 祐\*  
(2014年2月6日受理)

Yoichi KIKUCHI, Takashi TAKAMURO, Naoko OZAKI, Yuki MOTOMIYA,  
Naoki KONDO, Tasuku MURAKAMI

A New Learning Sheet “Tubu-tubu sheet” to Utilize Efficiently a Particle Concept Through the Study of Matter  
in Elementary School

[キーワード] 小学校, 系統的物質学習, 粒子概念, つぶつぶシート

### 1. はじめに

平成20年版学習指導要領・理科は、小・中・高等学校を通じた内容の構造化と系統的な学習を重視している。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。しかし同要領・小学校では粒子の取り扱いを具体的に明記していない<sup>1)</sup>。その一方、同要領は科学的思考力や表現力の育成を強調しており、要領解説の小学校・物質分野では物質の現象を図や絵を用いて表現させる指示が頻繁に出てくる。科学的に正しい表現には粒子概念が必要だが、同要領では粒子概念の導入を意図しているのか、あるいはそれ以外でどのような作図が想定されているのか、あいまいな状況である。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、これまでも理科教育における重要な論点であったが、現在はさらに教育現場において差し迫った重要課題となっている。

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。

山下と小野寺は、溶解現象について小学校5・6年の学習で一貫して粒子モデルを用いる授業研究を行い、その効果について報告している<sup>8)</sup>。今後このような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。そこで本報では、小学校に粒子概念を導入・活用し系統的な物質学習を構想するための具体的な提案として、物質学習に関わる多様な単元の授業において、共通して活用できる新規学習シートの導入について提案する。

### 2. 学習シート（つぶつぶシート）の提案

物質と粒子の関係は以下の2点に集約される。

1) 物質はすべて小さな粒（原子・分子・イオン）

\* 岩手大学教育学部, \*\* 岩手大学教育学部附属小学校, \*\*\* 岩手県八幡平市立田山小学校

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。

これらのことは物質を理解する根本となることである。このことを教育の視点で考え、小学校段階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。

(1) 小学校においても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?, ○○○とはどういうことか?の学習)

(2) 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)

(3) これまで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)

小学校において物質の種々の性質や現象を学習する。ここでメリット(1)は、前述の物質と粒子の関係の2)に対応しており、粒子概念は物質の現象の本質や原因を解釈する際の考える基であり考えるツールとなる。メリット(2)は、物質と粒子の関係の1)および2)がすべての物質に共通の事項であることから派生する。ここで本質的につなげて理解するとは、現象の解釈も含めて学習内容をつなげていくことを意味している。メリット(3)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。粒のモデルで説明した方が実態のあるものとして理解しやすいであろうということである。

上記メリットからわかるように粒子概念は、活用する概念として大変重要である。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。小学校ではここまで踏み込まないというのも1つの考え方であろう。一方、もし踏み込むならどのようなやり方があるかを検討することも重要

である。本報は後者の立場から小学校における系統的物質学習の具体的構想を提案する。

小学校の物質学習では、物質の三態の性質や違いを扱う内容が中心である。そこで物質の三態の違いを粒を用いてまとめて整理する学習シートを作成し、活用することを考えた。この学習シートを図1に示す。これを「つぶつぶシート」と呼ぶこととする。この学習シートの趣旨は、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(メリット(3))、現象の解釈の考える基になり(メリット(1))、異なる学習内容をつなげる基になる(メリット(2))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。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。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。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。

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が近い。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。図1を基本シートとして、以後の学習でシートを増やしていき物質学習全体をまとめていくことも考えられる。

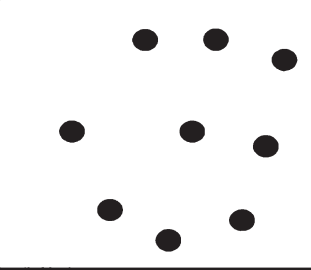
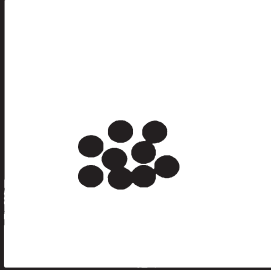
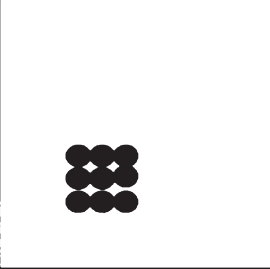
	気体	液体	固体
例	水じょう気, 空気	水, アルコール	氷, 金属球
小さな粒で表現してみよう.			
目に見えますか?	見えない	見える	見える
なぜ目に見えるのか? / なぜ目に見えないのか? 小さな粒で説明しよう.	小さな粒がばらばらに広がっているから	小さな粒がたくさん集まっているから	小さな粒がたくさん集まっているから
自由に形を変えることができますか?	できる.	できる.	できない.
なぜ形を変えることができるのか? / なぜ形を変えることができないのか? 小さな粒で説明しよう.	粒が自由に動くことができるから	粒が自由に動くことができるから	粒と粒が強く結びついて、粒が自由に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

図1 「つぶつぶシート」

### 3. 「つぶつぶシート」を作成するもとなる授業

「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。ここでは水蒸気、水、氷を学習する。教科書の内容を一通り終えた後の発展的な授業として2つの授業を構想した。2つの授業とは「つぶつぶシート（図1）」の下段にまとめた2点を、それぞれ本時の課題とする授業である。岩手県内の小学校（4年）において、2011年度（2012年2月、1クラス、34名）に以下の授業を行った。その後「つぶつぶシート」を作成した。同様に2012年度（2012年12月～2013年1月、3クラス、113名）にも以下の授業を行った。その後「つぶつぶシート」を作成した。

#### 3-1 水と水蒸気（1時間目）の授業

「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?」を本時の課題とする授業である。この授業については、今回の構想に先駆けて2008年度から岩手県内のいくつかの小学校ですでに実践を行ってきている。授業後の確認テストの結果は良好であり、授業内容の子どもの理解度は高いと考えられる。この授業は小学校で初めて粒子概念を導入する授業の提案と位置づけ、すでに菊地らによって報告されているので詳細は前報を参照されたい<sup>9)</sup>。授業の概要は次の通りである。

授業の導入において、子どもとの対話の中で上記の課題を設定すると、子どもは大変興味を示すとともに難しそうと感じる。そこでこの課題を解くヒントとして、「物質はすべて目に見えない小さな粒からできている。」と「その粒の大きさは

変わらない。」を教えた。すなわち、「なぜ？」の課題を解くツールとして教師から粒子概念を導入した。展開では、大きさが変化しない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たちが実際に操作しながらグループ毎に思考活動をした。その結果、子どもたちは『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、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。最後に子どもの言葉を引き出しながら上述『』の内容をまとめた。

2011年度と2012年度の授業実践の際の演示実験は、実験内容の趣旨は菊地ら<sup>9)</sup>と同じだが、方法が少し異なる実験を行った。小原らは、水の沸騰時に発生する泡の正体を捉えるための教材を開発し、報告している<sup>10)</sup>。2011年度と2012年度はこの教材を応用して演示実験を行った。これは三方コックのついたプラスチック製注射器に、水の沸騰から得た水蒸気を捕集した後、コックを閉じると水蒸気から水に変化する過程が観察できるものである。教材の詳細は小原ら<sup>10)</sup>に記載してある通りで、手軽に実験できるものである。水蒸気は体積が大きい(=粒が広がっている)から水になると体積が著しく減少する(=粒が集まる)ことを直接観察できる。今回の授業でも、子どもから「水蒸気は目に見えない小さな粒がばらばらに広がっているけど、それが、小さな粒が集まってきて目に見える水になるのだと思います。」などの発言がありクラス全体で同意していた。マクロの現象を(= )内に記した学習事項と結びつけながら考えることができていたと考えられる。

### 3-2 水と氷(2時間目)の授業

水と水蒸気の授業の次の時間に、水と氷の違いを取り上げた授業を行った。この授業は2011年度と2012年度に実施した。授業の概要を以下に示す。

#### <導入>

##### 1) 既習事項の確認と問題提起

水と水蒸気を粒で表現する復習から授業を始めた。そのまとめとともに、「物質はすべて目に見えない小さな粒からできている。」と「その粒の大きさは変わらない。」ことを再確認した。次に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。子どもから、水は形を変えることができるが、氷は形が変えられないという意見が出るので、本時はその理由を考える時間にする事とした。

##### 2) 本時の課題

本時の課題として「水は自由に形を変えられるのに、氷は自由に形を変えられないのはなぜだろうか？」を設定した。

#### <展開>

##### 3) 思考活動

学習プリントで個人の子予想時間を取った後、班毎に相談した。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プラスチックブロックを用いた。ここでは水と氷に加えて前時に学習した水蒸気も考える対象とした。すなわち班毎に多数のブロックをわらし、水蒸気(気体)、水(液体)、氷(固体)の違いをブロックで表現しながら考えさせた。子どもたちは班で話し合いながら作業を進め、ブロックをばらばら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することができていた。ブロックは元々くっつけたりばらばらにしたりするための玩具なので、この場面でブロックをモデル教材とすることが適度なヒントになっていたと考えられる。子どもが完成させたモデルを図2に示す。また子どもたちはブロックで表現しながら、「氷は小さな粒が集まっていて強く結び付いているので、目に見えるし形が変わらない。」「水は小さな粒が集まっているが強く結びついていないので形が変えられる。」「水蒸気は粒がばらばらに広がっていて形が変えられる。」ことを意見としてまとめた。



4) 班の予想発表と全体交流

各班の意見発表を行いながら意見交流を行った。どの班も上記の意見にまとめることができていた。

5) ブロックモデルと実物の摺合せ (演示による確認)

教卓上に水と氷のブロックモデルと実物を提示し、各班のモデルと同じであることや形が変わる／変わらない理由を確認した。教卓上の提示物を図3に示す。

〈まとめと一般化〉

6) まとめ

子どもの言葉を引き出しながら「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。

7) 実感を高めるための実験と一般化

固体と液体の状態変化について、氷 $\leftrightarrow$ 水以外の例を挙げさせた。ろうそくや鉄の例があがった。最後に学習内容の実感を高めるために、ブロックの粒子モデルで学習した内容を実際の物質とつなげる活動を行った。具体的にはろうそくを加熱して溶かした後、個人毎の容器に入れて冷やし新たなろうそくを作る実験を行なった。この実験と並行して、その現象をブロックでも表現させることにより、マクロの事象をミクロの視点で再現する活動を行い、本時の学習内容について確認した。ろうそく実験の写真を図4に示す。

またろうそくが冷えて固まる時間を利用して、溶融鉄と南部鉄器の写真（および南部鉄器の鉄瓶の実物）を提示し、本時の学習内容は水と氷だけの内容ではないことを説明した。

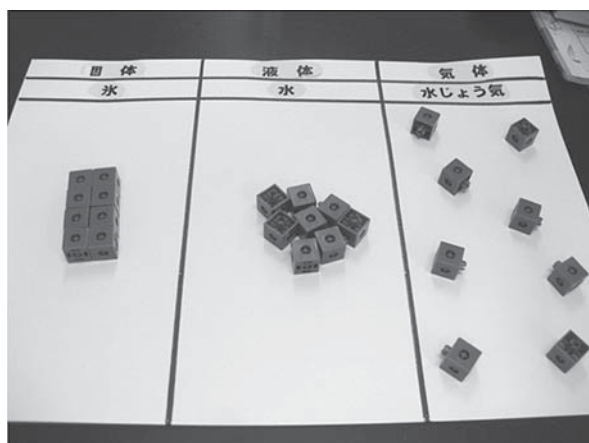


図2 子どもがまとめた氷, 水, 水蒸気の粒子モデル



図3 水と氷の実物と粒子モデル

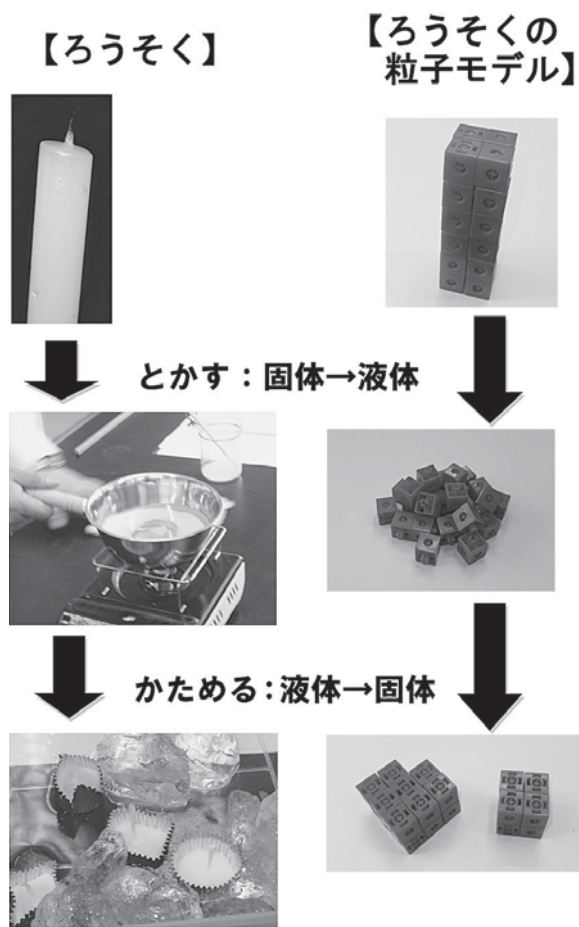


図4 ろうそく実験の流れ

### 3-3 「つぶつぶシート」の作成と授業評価

上記の2つ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。このシートは今後長く活用することを念頭に置いて、できるだけきれいな形で完成させることを考えた。そこで厚めの白紙にシート内の表の枠と1行目(気体, 液体, 固体), 2行目(例)および1列目(問の部分)を印刷したものと、問の答えに当たる部分を別紙に印刷したものを配布し、答

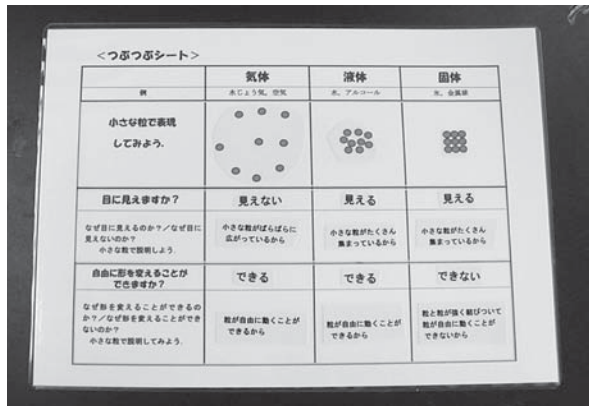


図5 子どもが作成した「つぶつぶシート」

えを切り貼りしてシートを完成させた。子どもが作成したシートの例を図5に示す。2時間の授業で教師から与えた知識は、「物はすべて目に見えない小さな粒でできている」と「粒の大きさは変わらない」ことだけである。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」を作成したこととなる。

今回の授業について次のような授業評価を行った。2011年度の授業実践の一か月後に「つぶつぶシート」の内容とその応用問題について、事後テストを行った。テスト問題を図6に示す。解答者数は34名である。問1は「つぶつぶシート」の内容をあらためて再現できるかを確認する問題である。完全正答とした解答の例を図7に示す。(図7中の吹き出し部分は、子どもの実際の記述で読み取りにくい部分を著者が再現したものである。) 多少の表現の違いはあっても同様の答えが多く、完全正答者は94% (32/34) ととても高い比率であった。

**事後テスト**

問1 下の<つぶつぶシート>をかいてください。モデル図は、気体、液体、固体が次の(ア)、(イ)、(ウ)のどれになるか? えらんで、似たようにかきましょう。 砂ぼ? (1)と砂ぼ? (2)は文をかきましょう。

(ア)

(イ)

(ウ)

<つぶつぶシート>	気体	液体	固体
例	空気, 水蒸気	水, アルコール	金属球, 木
小さな粒を使ってモデル図をかいてください。			
目に見える?	見えない	見える	見える
砂ぼ? (1) 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,	小さな粒が,	小さな粒が,
自由に形を変えることができるか?	できる,	できる,	できない,
砂ぼ? (2) 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? / 小さな粒で説明してみよう。	小さな粒が,	小さな粒が,	小さな粒と小さな粒が,

問2 <つぶつぶシート>をヒントにして、次の注射器の問題に答えてください。

(1) 注射器に水を入れてせんをした。この注射器のピストンを押したけど水は縮まらなかった。そのわけを水の小さな粒を使って説明してください。(ピストンを押す前も押した後も温度は変わりません。)

わけ

(2) 注射器に空気を入れてせんをした。この注射器のピストンを押したらどうなるか答えてください。そのわけを空気の小さな粒を使って説明してください。(ピストンを押す前も押した後も温度は変わりません。)

ピストンを押したら・・・  
わけは、・・・

図6 事後テスト問題

事後テスト 名前

問1 下の「つぶつぶシート」をかいてください。粒子図は、気体、液体、固体が次の(ア)、(イ)、(ウ)のどれになるか？えらんで、似たようにかきましょう。  
 粒？(1)と粒？(2)は文をかきましょう。

(ア)

(イ)

(ウ)

<つぶつぶシート>	固体	液体	気体
例	氷、金属、木	水、アルコール	空気、水じょう気
小さなつぶを使って粒子図をかいてください。			
目に見える？	見える	見える	見えない
粒？(1)なぜ目に見えないのか？/なぜ目に見えるのか？ 小さなつぶで説明しよう。	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。	小さな粒が、ばらばらに広がっているから。
自由に形を変えることができる？	できない	できる	できる
粒？(2)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ないのか？ 小さなつぶで説明しよう。	小さなつぶとつぶが、がっしりと強く結びついていて自由に動けないから。	小さなつぶが、自由に動くことができるから。	小さなつぶが、自由に動くことができるから。

小さなつぶとつぶが、がっしりと強く結びついていて自由に動けないから

小さなつぶが、自由に動くことができるから

図7 問1の正答例

問2は「注射器に水を入れると押し縮めることができないが、空気は押し縮めることができるのはなぜか。」を解答させた。この間の現象は前単元で実験を行って学習しているが、その結果の理由については全く学習していないものである。子どもにとっては突然、「つぶつぶシート」を作成した水の状態変化の場面とは別の学習場面の現象について、理由を解釈するように応用問題を突き付けられた形となる。今回の「つぶつぶシート」の内容を自主的に応用して、どれだけ解答できるものかを試してみた問題である。結果は、完全正答者が82% (28/34) と高い比率であった。問2の典型的な答えは以下の通りである。

<A君> (1:水) わけ: 水は小さなつぶが集まっているからちぢまらない。(2:空気) ピストンをおしたら…体積が小さくなる。ちぢむ。わけ: 小さな粒が広がっていてすきまがあるから。

<B君> (1:水) わけ: 水はえき体なので小さなつぶが集まっているのでおせません。(2:

空気) ピストンをおしたら…体積が小さくなった。わけ: 空気は気体で小さなつぶがばらばらに広がっているの、ピストンをおしたらちよつと集まって小さくなると思いました。

<C君> (1:水) わけ: 小さなつぶが少しのすき間しかないくらい集まっていて、小さなつぶの形は変わらないから。(2:空気) ピストンをおしたら…ちぢんだ。わけ: 小さなつぶがバラバラに広がっていてすき間がとてもあるので、おすと少し集まるだけだから。

正答者に入れなかった解答例は以下の通りである。

<D君> (1:水) わけ: 水はおされても体積が変わらないから。(2:空気) ピストンをおしたら…おせる。わけ: 空気はおしちぢめることができるから。

<E君> (1:水) わけ: 小さなつぶが強く結びついているから。(2:空気) ピストンをおしたら…おせません。わけ: 小さなつぶが自由にすがたを変えられて結びついていないから。

<F君> (1:水) わけ: 水は体積が小さくならず、小さなつぶもピストンにじゃまされているから。(2:空気) ピストンをおしたら…空気はおしちぢまった。わけ: 空気は体積が小さくなって小さなつぶがにげていくから。

D君は注射器の中をミクロの視点で捉えていない。E君は「つぶつぶシート」の内容を意識して記述していると思われるが、粒の隙間よりも結合に意識が向いている。F君の水の解答の意図はよく読み取れない。空気については問題設定が十分に伝わっていないと考えられる。これらのD-F君の答えは多様であるが、「つぶつぶシート」を作成する授業(水蒸気、水、氷の三態)の内容を、すぐには注射器に閉じ込められた水と空気の性質に応用できなかったものである。しかし1つの場面で学習したことを突然の応用問題で発揮することは難しいことである。問2の内容は、本来ならば授業を通して子どもに考えさせ、議論しながら理解を深めていくのによい内容である。その際に「つぶつぶシート」を傍らに置いて活用すれば、



子どもたちは議論していく上での基礎知識を共有化したうえで議論を進め、現象についての理解を深めていくことができると考えられる。その過程で「つぶつぶシート」の内容の使い方を教え合うこともできるであろう。またこのような授業を繰り返すことにより「つぶつぶシート」の内容が種々の事象に応用できる共通性の高い内容であることを醸成していくこともできると考えられる。今後、このような応用場面について「つぶつぶシート」を活用する授業実践を行いたい。

今回は、授業を経ないで突然の応用問題として試しに出題したため、正答率はそれほど高くないと予想していた。それにも関わらず「つぶつぶシート」の内容を用いて高い正答率が得られた。このことは子どもたちが「つぶつぶシート」の内容を、今後の授業で十分に活用できる可能性を示唆している。

以上のように事後テストの結果は良好であった。「つぶつぶシート」を作るもとなる授業は小学校4年生でほぼ理解できると考えられる。また適切な問題設定をすれば、物質の現象の本質や原因について「つぶつぶシート」を活用して考えていく授業構想も可能になると考えられる。

次に2012年度の授業実践後には、子どもに授業についてのアンケート調査を行った。回答者数は113名である。その結果は以下の通りであった。

＜水と水蒸気（1時間目）＞

1) 授業は楽しかったですか？…①とても楽しい(75%), ②楽しい(23%), ③あまり楽しくない(2%), ④楽しくない(0%)。

2) 授業は難しかったですか？…①とても難しい(6%), ②難しい(53%), ③あまり難しくない(29%), ④難しくない(12%)。

3) 授業はわかりましたか？…①とてもよくわかった(75%), ②わかった(24%), ③あまりわからなかった(1%), ④わからなかった(0%)。

＜水と氷（2時間目）＞

1) 授業は楽しかったですか？…①とても楽しい(79%), ②楽しい(20%), ③あまり楽しくない(1%), ④楽しくない(0%)。

2) 授業は難しかったですか？…①とても難しい(8%), ②難しい(41%), ③あまり難しくない(35%), ④難しくない(16%)。

3) 授業はわかりましたか？…①とてもよくわかった(81%), ②わかった(19%), ③あまりわからなかった(0%), ④わからなかった(0%)。

アンケート調査から2時間の授業の傾向はほぼ同じであった。授業の「難易度」については、「②難しい(1時間目 53%, 2時間目 41%)」の回答が多く、次に「③あまり難しくない(1時間目 29%, 2時間目 35%)」の回答が多かった。「①とても難しい」や「④難しくない」の回答もあって、子ども達の認識が分かれている。一方、授業の「楽しさ」と「理解度」は、圧倒的に楽しく、理解したと評価している。2時間の授業はいずれも物質の本質的な問を課題として設定し、その答えを明確にした。アンケート結果から、小学校段階でもこのような内容について楽しさを伴って授業を行うことは可能であると考えられる。また、2011年度の事後テストの結果は好成績であったが、今回のアンケートから子どもたち自身も授業を理解したという実感を持っていることがわかった。

#### 4. 「つぶつぶシート」の活用

「つぶつぶシート」は種々の学習場面での活用が期待できる。以下にいくつかの場面について「つぶつぶシート」の活用構想の例を簡単に示す。

＜例1：物のかさと温度（4年）＞

温度を上げると物質が膨張する場面に、「つぶつぶシート」(図1)上部の三態を粒で表現したモデルを活用する。膨張することは実験で確認する。その現象を小さな粒で表現する学習を取り入れる。すなわち物質が膨張することは、ミクロの視点では粒と粒のすきまが大きくなることに対応することをイメージできるようにする。

この内容を応用シートとして図8に示す。図8のモデル図のイメージができると、温められた



空気や水は上昇するという内容についても密度概念につながる形で取り扱うこともできる。

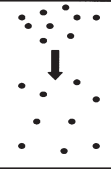
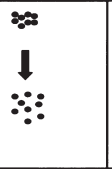

＜つぶつぶシート＞ 応用シート 4年 物のかさと温度			
	気体	液体	固体
温度を上げるとかさはどうなるだろうか？	とても大きくなる。	大きくなる。	少し大きくなる。
小さな粒で表現してみよう！			

図8 「4年：物のかさと温度」での応用シート

＜例2：物の温まり方（4年）＞

気体と液体は対流であたたまり、固体は熱の伝搬であたたまる内容について、「つぶつぶシート」(図1)の一番下行(粒が自由に動くことができるかどうか)を活用することができる。この部分を根拠として、対流(気体と液体)と伝搬(固体)の違いを説明することが期待できる。

＜例3：物のとけ方（5年）＞

図8と同じようにこの場面での活用内容を応用シートとして図9に示す。ここでは「つぶつぶシート」(図1)上部の液体と固体の粒のモデル図を活用して、溶解現象を粒でイメージできるようにする。図9のモデル図(左)は溶解前のモデル図で○は水の粒(水分子)を、●の集合は固体を表現している。子どもたちはモデル図(左)から溶質の粒(●)を溶媒中にどのように配置するかを考えることになる。溶質が溶液全体に均一に分布していることは実験的に確かめることができるので、モデル図(右)のように溶質の粒(●)が、ばらばらに全体に分布しているイメージを導くことができる。また溶質が溶けた後、見えなくなることは、「つぶつぶシート」(図1)の気体が見えないこととその理由(小さな粒がばらばらに広がっているから見えない。)に対応する内容である。これは溶解の均一性の予想段階での活用や実験結果を補強する事実として活用できる。さらに図9のモデル図(右)ができると、目に見えなく

とも溶質の粒(●)が存在していることはイメージできるので、溶解における質量保存の理解も進むと期待できる。

このように「つぶつぶシート」は種々の学習場面で活用しながら、それぞれの学習内容をつなげて理解することにも有効である。「つぶつぶシート」を活用した授業の実践的な研究が今後の課題である。

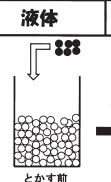
＜つぶつぶシート＞ 応用シート 5年 物のとけ方			
	気体	液体	固体
水に塩や砂糖を溶かしたようすを図にかこう。			
溶けた塩や砂糖が目に見えないのはなぜだろうか？		とけず前 とけた後(水よう液) ばらばらに広がっているから目に見えない。	
溶かす前後で全体の重さはどうなる？		目に見えなくても粒はなくなるので、重さは変わらない。	

図9 「5年：物のとけ方」での応用シート

5. 考察

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。この学習過程の中で、物質の現象の本質や原因をさぐる学習を対象として思考力や表現力を育成する場面が多く含まれている。物質学習の系統的な学習を構築することは、粒子概念を基にすると単純な構造であるといえる。このことが種々の学習分野の中における物質学習分野の特徴といえる。これは平成20年版学習指導要領・理科の物質学習分野で示されたように、包括的なキーワードである「物質」に代わって根本的なキーワードである「粒子」を柱にできることとつながる。

系統的な学習や科学的思考力・表現力の育成は、学習の適時性ととも学習分野の特徴に合わせて、その具体を構成していくことが望ましい。本研究の趣旨は上記の物質学習の特徴を活かした系統的な学習を、具体的に進めるための1つの方策

として, 新たな学習シートを提案するものである。

本研究では提案した「つぶつぶシート」の現実性を示すために「つぶつぶシート」を作成するものとなる授業を構想し, 授業実践を行った。その結果, 「つぶつぶシート」の作成のものとなる授業は, 子どもたちに好意的に受け入れられ, 授業内容の理解度も高いことがわかった。よって「つぶつぶシート」の内容を理解しながら「つぶつぶシート」を作成することは小学校4年生段階で可能と考えられる。その後の学習場面において, このシートを活用し科学的な思考力や表現力を育成する具体的な授業を開発し, 実践していくことが今後の課題である。

今回の試みの中で子どもに与えた知識は, 「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」である。それを基に三態のイメージ化を図って活用していく構想である。物質の現象をさらに深く理解するためには粒の自発的な運動(熱運動)は重要な要素であるが, 今回は粒の熱運動については取り扱っていない。これまで述べたように, 粒子概念を入れることによって物質の現象の本質や原因を探る学習を行うことができるようになる。すなわち「なぜそうなるのか?」を学習対象にできる。しかし「なぜ?」は, 次々と「なぜ?」を誘発する可能性があり, 突き詰めていくとかなり高度な学習内容が必要になっていくことでもある。したがって学齢に応じて到達目標をどこに置くかの割り切りが必要になってくる。粒の熱運動を入れると物質の「なぜ?」について説明できる内容が大きく広がる。その一方, 一度取り入れるとその後の学習では熱運動を意識した授業作りが求められることになり, 子どもの考える要素が多くなる。これらのことを勘案しながら, 小学校段階で粒の熱運動を取り入れるべきかどうか考える必要がある。この問題は小学校段階に粒子概念を入れる際の大きな論点である。

本研究では初めて粒子概念を取り扱う子どもたちが混乱しないように, 学習内容をできるだけ単純にすることを心がけた。その結果, 粒の熱運動

には触れない方針とした。図1の「つぶつぶシート」でも「粒は自由に動いている」ではなく, 「粒は自由に動くことができる」との表現にとどめている。上述のように本研究の内容での子どもたちの理解度は高い。また応用例に示したように粒の熱運動を入れなくとも多くの内容に活用していくことができる。今後, さらに物質の現象の解釈を深めるために, 粒の熱運動まで取り入れた構想が可能かどうかは, 実践的な研究を経ながら考えていくべき課題である。

## 6. 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。その中で子どもの自由な発想を最大限引き出す授業も重要であろう。本研究はそのことを否定するものではなく, 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。それでも物の見方は大きく変わると考えられる。

「つぶつぶシート」は粒子概念を用いて三態の基本をまとめたものであるが, その内容はシンプルでも活用範囲が広い。それは粒子概念による基本知識が, 物質の多様な現象の説明において共通の基になるからである。このことは物質学習分野の大きな特徴と言える。この特徴を活かして系統的なカリキュラムを構築することを提案したい。その中で「つぶつぶシート」の活用は, 根拠となる知識を持ってものを考える訓練としても効果的であると考えられる。

本論文は教育内容論的な見地から系統的な物質学習の在り方について, 具体的な提案を行ったものである。今後, 「つぶつぶシート」を活用した実践的な研究を重ね, 本提案を評価・改善していくことが今後の課題である。

## 謝辞

本研究の一部は, 2010~12年度科学研究費(基盤研究C)「初歩的粒子概念導入による「なぜそうなるのか」を重視した小学校物質学習の構築と

実践」(課題番号22500840), および平成24年度岩手大学教育学部プロジェクト推進支援事業の助成を受けて実施した。記して謝意を示す。

10) 小原大祐・菅原尚志・菊地洋一・武井隆明・村上祐, 「水の沸騰時に発生する「泡」の正体を捉えさせる教材開発」, 『初等理科教育』, 4月号, pp. 68-71 (2011)

## 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) 山下修一・小野寺千恵, 「小学校5・6年の溶解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, 第1号, pp. 85-92 (2009)
- 9) 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』, 8月号, pp. 62-65 (2012)