

## 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「空気と水の圧縮性」で活用する授業 —

菊地洋一\*, 尾崎尚子\*\*

(2019年2月15日受理)

Yoichi KIKUCHI, Naoko OZAKI

A Practical Study of Systematic Material Learning in Elementary School:  
The Introduction of a concept of particles into the “Change of State” Unit  
and its application to the “Compressibility of Air and Water” Unit

### 1. はじめに

物質学習において粒子概念は全体を貫く最も基本的な概念である。すべての物質は基本となる粒子でできているので、物質学習は粒子概念によって個別の学習内容がつながり、個々の学習場面の位置づけを見出すことができる。物質の現象は、物質を構成している粒子の振る舞いに起因するので、その解釈には粒子概念が必要になる。したがって系統的学習や科学的思考力の育成にとって粒子概念はまさにカギとなる。言い換えれば、粒子概念の基本を押さえれば初期の物質学習の内容構造は単純である。これは物質学習の大きな特徴である。

しかし物質を構成する粒子は目に見えないのでイメージが持ちにくい。したがって粒子概念の導入についての適時性が問題となる。これらのことから小学校段階に粒子概念を導入するか?については、物質学習の大きな論点となっている。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>1)-4)</sup>や授業実践研究<sup>5)-12)</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。その一方、小学校の教育現場では粒子概念を活用する授業はあまり行われていないとの実態調

査がある<sup>13)</sup>。また研究授業等で粒子概念を扱い、まとまりのつかない授業になってしまう事例も散見される。これらの状況から単純に小学校に粒子概念を取り入れるべきかどうかを結論することは難しい。粒子概念をどのように取り扱うかによって全く別の授業になってしまうからである。

さらに粒子概念を活用する授業は単独場面での評価に加えて、系統的に活用する視点が重要である。粒子概念を系統的に活用することの重要性はしばしば指摘されているが、実際に授業レベルでの具体的な実践研究はあまり行われていない。実践研究の例としては、山下と小野寺による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<sup>10)</sup>や、竹内による小学校4年の年間を通して粒子を活用する実践研究<sup>11)</sup>がある。また我々も小学校4年「水の三態」で粒子概念を導入し、5年「もののとけ方」で活用した授業実践<sup>12)</sup>について報告している。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さらに盛んな研究が期待される。

このような背景の下で、我々は小学校段階に粒子概念を導入し系統的に活用することの可能性を

\* 岩手大学教育学部, \*\* 岩手県滝沢市立滝沢第二小学校

探るための研究プロジェクトを行っている。この研究プロジェクトは、物質学習の特徴に基づいて小学校の物質学習を通しての全体構想と、その具体となる個々の場面の授業について実践的に検討するものである。その中で、系統的な粒子概念の活用をサポートするための教材として、多様な単元の授業で共通に活用できる学習シート「つぶつぶシート」の導入を提案している。本報はこの研究プロジェクトの一環として、小学校4年「水の三態」で導入した粒子概念を4年「空気と水の圧縮性」の場面で活用する授業実践について報告する。

## 2. 系統的物質学習プロジェクト

我々が進めている物質学習構想について簡単に紹介する。小学校の物質学習では、原子・分子・イオンの区別をする前の初歩的粒子概念を活用する。その際、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し、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、以後の学習に活用することができる。

小学校に初めて粒子概念を導入するとともに「つぶつぶシート」を作る授業場面には、4年「水の三態」を選んだ。ここでは、水蒸気、水、氷を学習する。教科書に沿った一通りの学習をした後、“なぜ、水は見えて、水蒸気は見えないのだろう

### <つぶつぶシート> 基本シート

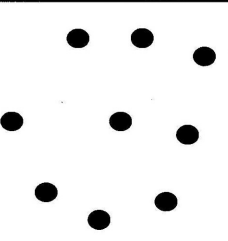


	気体	液体	固体
例	水じょう気, 空気	水, アルコール	氷, 金属球
小さな粒で表現してみよう。			
目に見えますか?	見えない	見える	見える
なぜ目に見えるのか? / なぜ目に見えないのか? 小さな粒で説明しよう。	小さな粒がばらばらに広がっているから	小さな粒がたくさん集まっているから	小さな粒がたくさん集まっているから
自由に形を変えることができますか?	できる。	できる。	できない。
なぜ形を変えることができるのか? / なぜ形を変えることができないのか? 小さな粒で説明しよう。	粒が自由に動くことができるから	粒が自由に動くことができるから	粒と粒が強く結びついて、粒が自由に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

図1 「つぶつぶシート」

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」を作成する．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「その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<sup>14)</sup>を参照されたい．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．本報は4年「空気と水の圧縮性」の場面で活用する授業実践の詳細を報告するものである．

なお，上述のように粒子概念の導入と「つぶつぶシート」作成は4年を基本としているが，この計画通りに実施することが難しい場合には，活用する授業の直前に上記授業を行うなど柔軟に進めることも可能である．

### 3. 実践授業（空気と水の圧縮性）の概要

小学校理科4年には，物質の三態（固体，液体，気体）の性質について学習する内容が多くある．身近な物質として，気体の代表には「空気」，

液体の代表には「水」，固体の代表として「金属」を取り上げている．一般的には，はじめに学習する場面は「とじこめた空気と水」で，ここで空気と水の圧縮性の違いについて学ぶ．その後，温度変化に関係する三態の違いや水の三態（氷，水，水蒸気）について学ぶ構成になっている．我々の研究プロジェクトでは，学習者に初めて粒子概念を導入する学習場面として水の三態（氷，水，水蒸気）の場면을推奨している．ここで粒子概念を導入し，学習シート「つぶつぶシート」を作成して，その後の学習で活用する流れである．

以上のことから本研究では次の流れで学習を進めた．

- ①「とじこめた空気と水」について，教科書通りの内容を実験主体に学習した．注射器に閉じ込めた空気はピストンを押すとおし縮めることができる．注射器に閉じ込めた水はピストンを押してもおし縮めることができない．これらについて実験を通して学習した．このとき子どもから「なぜそうなるのか？」の疑問が出たが，ここでは解決せずに後日取り扱う予告をした．
- ②水の三態（氷，水，水蒸気）の学習場面で，粒子概念の導入と「つぶつぶシート」の作成を行った．
- ③上記①で保留にしていた問題「なぜ水はおすと

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
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

図2 小学校の系統的物質学習

体積は変わらないのに、空気はおすと体積が小さくなるのだろうか？」を学習課題とした授業を行った。

本研究は②で導入した粒子概念と「つぶつぶシート」を、異なる単元である③場面に活用する授業について報告するものである。授業は岩手県内の小学校（4年，1クラス，35名）において1時間構成で実施した。なお「つぶつぶシート」は机上にあり授業中にいつでも参照して良いと指示をしている。以下に授業概要をまとめた。

### <導入>

#### 1) 既習事項の確認と問題提起

前単元で学習した注射器に閉じ込めた水と空気の圧縮性の違いについて、演示実験を行いながら確認した。なぜこのような違いが生じるのか？の疑問をあらためて子どもから引き出し、本時はその理由を考える時間にとすることとした。

#### 2) 本時の課題

本時の課題として「なぜ水はおすと体積は変わらないのに、空気はおすと体積が小さくなるのだろうか？」を設定した。また水の三態（氷，水，水蒸気）の学習場面で導入した「物質はすべて小さな粒できている。」と「その小さな粒の大きさは変わらない。」を、あらためて確認した。

### <展開>

#### 3) 思考活動

学習プリントで個人の予想時間を取った後、班毎に討論した。班で討論する際にはホワイトボード上の粒子モデルを用いた。ここで粒子モデルは丸型のマグネットを用い、子どもが自由に必要な数だけ使用する設定である。

その後、各班の結果を発表し、全体で意見交流した。最後に黒板上のモデル図を用いて全体の意見を確認した。

### <まとめ>

#### 4) まとめ

子どもの言葉を引き出しながら「水は小さな粒が集まっていて、すきまが小さいのでおしても体積が変わらない。空気は小さな粒がバラバラに広

がっていて、すきまが大きいのでおすと体積が小さくなる。」とまとめた。

## 4. 授業実践の結果

上記の流れで授業を行った結果は以下の通りであった。

### (1) 課題設定

本時の課題は前の学習時間（3-①）に出された子どもの疑問をそのまま取り上げている。本時はその解決を行う時間として子ども達を楽しみにしていた時間である。その間に粒子概念を学習（3-②）し、その活用を行う腕試しの機会でもある。自ずと子ども達の学習意欲は高く、スムーズに課題設定ができた。

### (2) 思考活動：個人の予想

学習プリントに記入した個人予想は2つのパターンに分かれた。代表的な作図を図3A・Bに示す。図3Aパターンが7人、図3Bパターンが28人であり、全員がどちらかの図を描いていた。図3A・Bはともに水は粒が詰まっていて隙間が小さいために圧縮できないことを表現している。また空気は圧縮前の粒間の隙間が大きいため圧縮できることを表現している。ここで全員が水の図でも空気の図でも、それぞれピストンを押す前後で粒の数が変わらないように描いてあった。これらのことは本時の課題の解答として大筋正しいものである。

図3Aと図3Bの違いは、圧縮後の空気の図で粒間に隙間を確保しているか／いないかである。空気は気体なので図3Aのように圧縮後も粒間に隙間があることが正答である。図3Bは本時の課題に答える要素は満たしているが、圧縮後の空気の表現は気体としては妥当ではないという点のみ欠点がある。この点については、次の意見交流場面でクラス全員で修正していった。

### (3) 思考場面：意見交流

個人予想を班で集約したモデル図はやはり図3Aか図3Bと同様の図であった。いくつかの例を

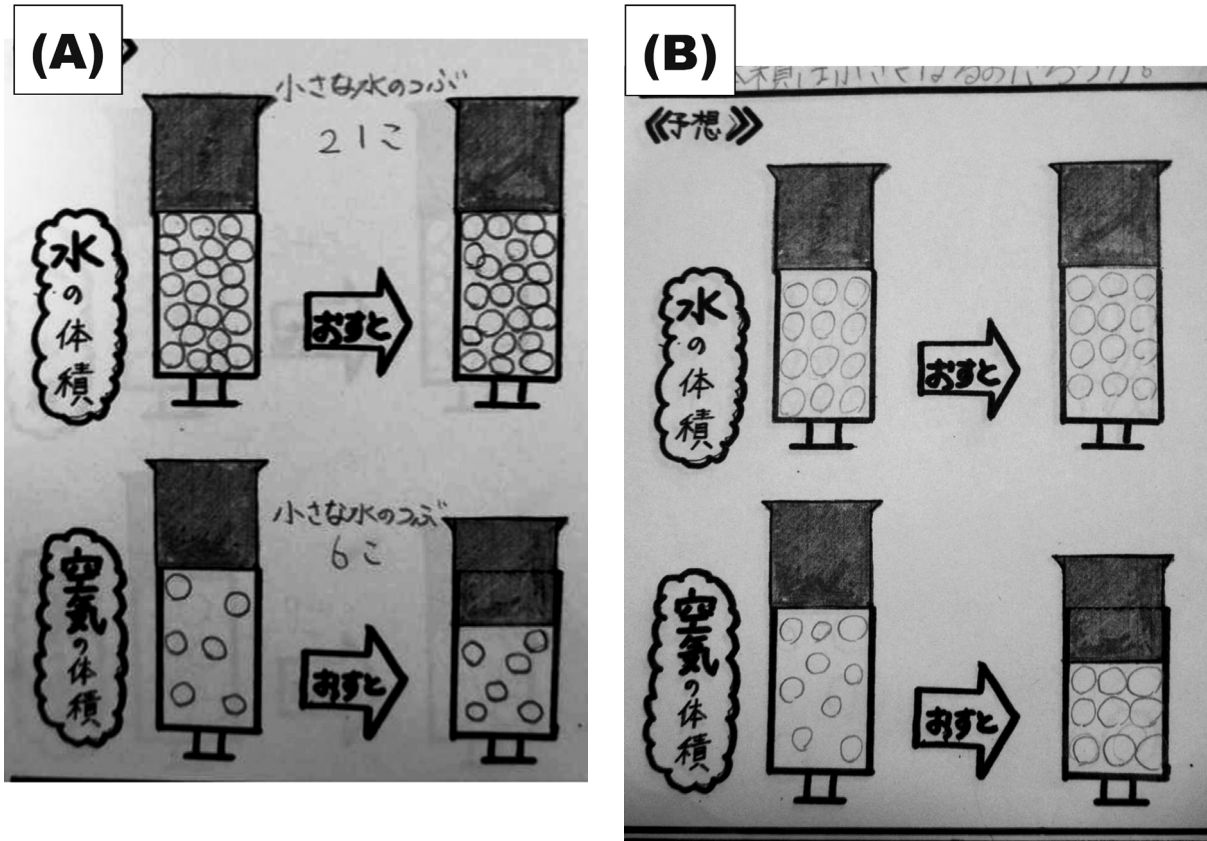


図3 個人予想の作図

図4に示す。この中には圧縮後の空気について、粒が集まっているのになぜ目に見えないのか？という疑問を記入している班もあった。班のパネルを用いて、班の考えの発表と意見交流を行った。ここでの発言を以下に再現する。

【子ども①：図の班の考えの説明】… 前の学習で水は小さな粒が沢山集まっているから目に見えると学習しましたよね。水はこのように粒が沢山集まっているから押ししても体積は変わりません。気体は小さな粒がバラバラに広がっています。空気が押せるのは粒がバラバラに広がっているから、粒と粒の間に隙間があるので押しと体積が小さくなると思います。皆さん、どうですか？

【子ども全体】… いいと思います。

【子ども②】… いいと思うのだけどちょっと疑問があります。押した後、空気の粒が集まっているのに、なんで空気は目に見えないのか疑問ですが、わかりますか？

【子ども①】… 今、言われて私も疑問になりました。

【教師】… だれか答えられる？

【子ども③】… このモデルでは粒が集まってくっついていないじゃないですか。粒がくっつくくと水のように目に見えるので、僕は空気の粒は集まってもくっつかない程度に集まっていて、体積は小さくなくても空気は目に見えないと思います。

【子ども④】… もしピストンをゼロ目盛まで押ししたら粒は集まって目に見えることになるんですけどどう思いますか？

【子ども③】… 実際はゼロ目盛まで押すことはできないので…粒が離れている状態までが人間が押せる状態だと思います。

【子ども⑤】… 少しの隙間では液体みたいじゃないかと思うのですが、どうですか？

【子ども③】… 液体にならない程度の集まり方ではないかと思います。

【子ども⑤】… (モデルのピストンを動かして

空気の体積を少し広げ、空気の粒を動かしながら)このぐらいに隙間を大きくすると良いと思います。

【子ども⑥】…モデルでは水は粒が8個で空気は粒が3個なのはいいのですか？

【子ども⑦】…「つぶつぶシート」のように液体と気体を表現するために、わかりやすくするために、数を変えたと思います。

【子ども⑥】…わかりました。

【子ども⑧】…空気は気体ですよ。

【子ども全体】…はい。

【子ども⑧】…「つぶつぶシート」の気体を見

てください。ピストンの中の空気には隙間があるんですよ。

【子ども全体】…うんうん。

【子ども⑧】…空気は押して体積が小さくなくても隙間があるんだと思います。粒の大きさは変わらないので、ピストンをずっと押すと隙間がなくなって粒が小さくなるしかなくなるので、それはおかしいので、この程度にして、ピストンはもう押せなくて、空気の場合は隙間があるのだと思いました。

【子ども⑨】…実験のときピストンは半分ぐらいまで縮まりましたよね。半分だったら空気には隙間が残ります。

【教師】…みんなが言っていることで共通していることはなに？

【子ども全体】…空気の体積が小さくなっている。空気の粒はバラバラに広がっていて押すと隙間は小さくなるけど押しても隙間がある。

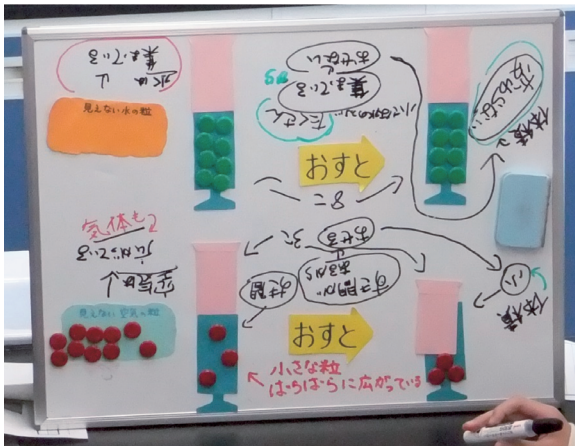


図4 班でまとめた図

以上のように大変活発な意見交流が行われた。この間、教師は内容についてまったく介入していないが、子ども達が疑問点をぶつけ合いながら議論を深め正しい結論に到達していった。

#### (4) 授業後アンケート

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。その結果は以下の通りであった。

##### 1) 授業は楽しかったですか？

- … ①とても楽しい(83%), ②楽しい(17%), ③あまり楽しくない(0%), 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(11%), ②難しい(69%), ③あまり難しくない(17%), ④難しくない(3%)

##### 3) 授業はわかりましたか？

- … ①とてもよくわかった(91%), ②わかった(9%), 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授業の「難易度」については、「②難しい」の回答が約7割で多く、次に「③あまり難しくない」の回答が多かった。「①とても難しい」や「④難しくない」の回答もある。子ども達の認識は分かれているが、難しいと感じた子どもが多かったようである。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。目に見えないミクロの粒子概念を使って物質の現象のしくみを解き明かす内容なので、子どもにとって難しく感じるのは無理もないことである。それでも学習の楽しさを感じ、理解した実感を持っていることがわかった。

## 5. 考察

### 5-1 学習指導要領や教科書の状況と本時の関係

平成20(2008年)年版学習指導要領・理科において物質学習分野は「粒子」が柱として明示され、小・中・高校の系統的学習が謳われた。しかし小学校の学習指導要領解説理科編には粒子の取り扱いを具体的に明記していない<sup>15)</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の説明を図や絵を用いて表現させる指示が頻繁に出てくる。本研究で対象とした学習場面については、「…また、力を加える前後の空気の体積変化について説明するために、図や絵を用いて表現することができるようにする。」と書かれている。科学的な説明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。

それでは教科書はどうなっているのか?現在の教科書の例では、空気鉄砲の図と固定したピストンの図があるがどちらも趣旨は同じである。粒を用いた表現、色の濃淡、矢印表現、ばねを用いた表現、雲の形など、擬人化による圧力表現も含めながら多様な図が示されている<sup>16)-20)</sup>。体積変化の理由を説明するには粒を使う必要があるため、その他の図は圧力変化の表現に意味を込めていると

受け取れる。いずれにしても空気をおし縮めた様子の図として例示され、さらに自分の考えを図にしてみる事が促されている。これらのことから教科書では「力を加える前後の空気の体積変化について説明するための図」とは、空気をおし縮めた様子の図を自由に書いてみることに解釈されているようである。

子どもが実験事実を図にしてみることは、あらためて実験事実に向き合いことによって探究心や新たな気づきを促したり、知識を定着させるなどの効果が考えられる。また科学の方法としての学習経験を積むことでもある。ただし、ここに科学的な要素をどれだけ入れるかの考え方は教科書によって幅があり、気になるところである。本研究の授業は、この場面を明確に科学知識(粒子概念)に基づいた科学的思考を働かせる場面として位置付けた事例である。

### 5-2 本研究の授業

本研究の授業では、前の時間(3-①)のときに実験結果はわかっても「なぜそうなるのか?」についてとても不思議に思っていた子ども達が、本時の個人予想段階で、全員がほぼ正しい答えにたどり着いたことに驚いた。この間に行われた粒子概念の導入と「つぶつぶシート」を作る学習(3-②)を経たことにより、疑問に対する大筋の答えを個人の力で解決したことになる。

3-②の「つぶつぶシート」を作る学習は、水の三態について水と水蒸気を取り上げ「目に見える/見えないのはなぜか?」、水と氷を取り上げ「自由に形が変わる/変わらないのはなぜか?」を扱った授業である。それぞれの問を考えるヒントとして「物質はすべて小さな粒でできている」と「その小さな粒の大きさは変わらない」を教師から与え、子ども達が課題解決する授業である。

本時(注射器問題)においても「物質はすべて小さな粒でできている」という粒子概念の主文に加え、「その小さな粒の大きさは変わらない」という粒子の基本性質が前提知識として重要な要素である。これを前提知識にしないと空気を圧縮し

たときに粒が小さくなるという発想が生まれる。これは子どもの発想として素直なものだが、実験や議論等を通じてその間違いを子どもに提示することができない。このような知識は前提知識として教師が教えた方がよい。問題解決型の学習が盛んな小学校理科では、できるだけ教師から知識を教えない方向を模索する傾向にあるが、場面と内容による判断が必要である。その判断には、教師が与えた知識を子どもがうまく受け取ることができるかが一つの要素となるであろう。粒子概念を扱う授業で粒を作図させる活動は、子どもが粒を自由に表現できることから粒の基本知識についての理解を推し量る機会になる。本時の個人予想は学習プリントの作図であったが、圧縮後の空気において粒を小さく描いた子どもはいなかった。すなわち3-②の場面で学習した粒子の性質を、全く異なる学習場面であり、なおかつ圧縮という付加をかけた場面においても正しく活用することができていた。

この粒の大きさの知識だけではなく、3-②の学習は三態の違いについて今回の課題とはまったく異なる視点で学習しているにもかかわらず3-②の学習を本時の課題解決に活用できたということは、子ども達は粒子概念と「つぶつぶシート」の内容を場面に依存しない普遍的な内容としてしっかり捉えていると考えられる。本時の意見交流の中にもそのことが明示されている。3-②の学習では水蒸気が目に見えない理由を思考し、粒がバラバラに広がっているからであると学習した。4-(3)に示した本時の意見交流のなかで、子ども達は水蒸気も空気も気体として一般化を行い、気体は粒がバラバラに広がっているという根本を拠り所として、目に見えない理由と圧縮できる理由の異なる個別事象について整合性を取りながら自分たちで理論の修正を図っていった。小学4年生の主體的で建設的な議論であった。この議論の助けとなっているのが「つぶつぶシート」と考えられる。「つぶつぶシート」には物質の三態に関して多くの学習場面で活用できる基本的事項が粒子概念に基づいてまとめられている。子ども

達が仮に既習内容を忘れても「つぶつぶシート」をみれば思い出すことができる。また対話的学習をする際には、子ども達の共有の基本知識を担保するものとなる。4-(3)の意見交流のやり取りには、このようなことが作用して建設的な意見交流となっていることが表れている。

### 5-3 小学校における粒子概念の活用

物質学習において初歩的粒子概念を活用する学習段階は重要である。初歩的粒子概念で扱う主な内容は物質の三態と溶解現象であるが、この学習段階では物質毎の個性よりも基本的な概念の学習が主になる。その後の粒子概念を原子概念・分子概念・イオン概念に分離して扱う学習段階に入ると、個別の物質についての学習内容も多くなる。そこで学習者が化学式や化学反応式などの暗記学習に埋没せずにその根底にある基本概念を受け取るためには、その素地と訓練を積んでおくことが望ましい。初歩的粒子概念を活用する学習段階は、その貴重な機会となる。

前節(5-1)で小学4年「空気と水の性質」における指導要領と教科書の様子を示したが、粒子概念の取り扱いに関するあやふやさは小学5・6年においても同様である。したがって現在、明確に初歩的粒子概念を活用する学習が位置づけられているのは中学1年の1単元の一部だけに限られている。中学2・3年には原子概念・分子概念・イオン概念の導入と活用が待っている。初歩的粒子概念を活用する学習は十分な学習機会が保証されているとはいえない状況である。したがって物質学習のカリキュラムデザインから考えても小学校からの積み上げはやはり必要に思える。

ここで小学校に初歩的粒子概念を導入して活用することが可能か？が問題になるが、本研究の結果はその可能性を示している。本報の授業は、単純な構成であり、また教師の介入もほとんどない。それでも子ども達が粒子概念を活用し、対話しながら自力で課題を解決している。これは本時だけでできることではなく、系統的に粒子概念を活用する仕組みが作用したからである。我々は小学校



4年「水の三態」で粒子概念を導入し、5年「もののとけ方」で活用する授業実践<sup>12)</sup>についても報告しているが、その際も子ども達は粒子に基づき課題を解決しながら理解を深めていた。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た。粒子概念に関わる授業実践を行うと、子どもは知りたがっていると強く感じる。小学校に初歩的粒子概念を導入するかどうかの問題は、この気持ちに応えようとするかどうかの問題でもある。しかし闇雲に粒子概念を活用しようとしても難しい場合がある。本研究は小学校に初歩的粒子概念を導入して活用するための一つの方略を提示している。

## 6. 結語

本研究は系統的物質学習プロジェクトの一環として、小学校4年「水の三態」で導入した粒子概念を4年「空気と水の圧縮性」の場面で活用する授業実践について報告した。この授業は、単純で教師の介入もほとんどないが、子ども達が建設的に対話しながら自力で課題を解決している。これは系統的に粒子概念を活用する仕組みが作用したからである。物質学習は粒子概念のいくつかの基本があると、学習がつながり深めていくことができる。このような流れは小学校段階でも十分に可能であると考えられる。

小学校理科では実験観察を通して自然現象に向き合い、しっかりと現象を捉えることがまずは重要である。これが主になる。その中で本研究の提案はいかにも理屈っぽいわけだが、それぞれの単元に1-2時間分の授業を組み入れるかどうかである。これを系統的に加えていくかどうかで物質に対する理解が大きく違ってくると考えられる。

このような系統的な学習が比較的容易に構想できるのは、本報冒頭に書いたように、物質学習は粒子を基本にすると内容構成が単純だという特徴があるからである。この学習分野はこの特徴を生かすカリキュラムデザインをしないとったいな

い。汎用的な力として、基本となる(科学)知識を根拠にして思考する志向と力、一見多様に見える現象の中に共通する根本要素があることを見出す志向と力などの資質・能力の育成が期待できる。

## 参考文献

- 1) 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)
- 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) 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)
- 4) 小林由季, 「小学校理科における粒子概念の形成に関する研究: 「物の溶け方」に焦点を当てて」, 『岐阜大学教育学部研究報告 人文科学』第66巻, 第2号, pp. 91-98 (2018)
- 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) 岩本知美心, 「小学校の教材に粒子の概念をとり入れた試み」, 『福島大学教育実践研究紀要』第12号, pp. 41-50 (1987)
- 9) 森下浩史・市瀬智嗣, 盛内秀学, 「小学校理科における粒子概念育成の試み - 「二酸化炭素学習」へのドライアイス活用の授業実践 -」,

- 『教育実践総合センター紀要』第7号, pp. 173-187 (2008)
- 10) 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)
  - 11) 竹内淳, 「小学校段階における系統性を意識した粒子概念の形成 - 金属の温まり方と粒子概念 -」, 『教育実践研究』第28集, pp. 79-84 (2018)
  - 12) 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, 第3号, pp. 335-346 (2014)
  - 13) 石川聡子・高崎裕太, 「小学校理科の学習指導案における粒子概念の内容とその特徴 - 平成20年学習指導要領改訂前後の比較を通して -」, 『大阪教育大学紀要 第V部門』第62巻, 第2号, pp. 1-16 (2014)
  - 14) 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巻, pp. 33-43 (2014)
  - 15) 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)
  - 16) 毛利衛・黒田玲子他, 『新編新しい理科4年』, p. 92, 東京書籍 (2016)
  - 17) 有馬朗人他, 『新版たのしい理科4年』, p. 42, 大日本図書 (2017)
  - 18) 霜田光一・森本信也他, 『みんなと学ぶ小学校理科4年』, p. 28, 学校図書 (2017)
  - 19) 養老孟司・角屋重樹他, 『未来をひらく小学理科4』, p. 99, 教育出版 (2015)
  - 20) 石浦章一・鎌田正裕他, 『わくわく理科プラス4』, p. 76, 新興出版社啓林館 (2017)