

## 小学校における初步的粒子概念導入の試み

～イメージ図作成の授業実践から～

お茶の水女子大学附属小学校

増 田 伸 江

### I はじめに

### II 研究目的

### III 研究方法

### IV 研究の実践

#### 1. 5年生「ものの溶け方」の実践

- (1) はじめに
- (2) 単元目標
- (3) 実践方法
- (4) 単元構成（12時間）
- (5) 子どものイメージ図の変容
- (6) 考察
- (7) 粒子概念定着性を調べる調査

#### 2. 4年生の粒子に関する単元の実践

- (1) はじめに
- (2) 「閉じこめられた水と空気」
- (3) 「物のあたたまり方」
- (4) 「変身する水を調べよう」
- (5) 理解度調査

### V 研究の考察と今後の課題

謝辞、参考文献

## I はじめに

日本の子どもたちの理科離れや、理数教科の学力低下が問題となり、様々な機関で、改善すべく調査を行い、問題点を明らかにし、改善しようと呼ばれてひさしくなる。理科教育の様々な学会においても、子どもたちの理科教育改善の試みが行われている。

各種調査の結果、教員養成系の大学生においても化学を履修していなかったり、高校生の学力調査でもイオン理解が定着していないことがわかり、中学校における分子・原子の学習で理科嫌いや理科離れを起こしているのではないかということが考えられるようになってきた。そこで、中学校に入学して、理科の内容が抽象的になり、小学校の学習実態とかけ離れているのではないかと考えられ、小学校の段階から粒子の概念を取り入れた理科の学習ができないかという課題で、岩手大学の村上祐の科研費基盤研究「粒子概念の早期定着をめざす小・中連携教育カリキュラムの実践研究(2007)」の研究グループとともに研究することとなった。

研究グループの菊地らが提唱する粒子概念に関わる最も基本的な要素とは、次の①～⑦である。①物質は全て小さな粒でできている。②粒と粒の間は隙間である。③粒は消滅しない。④粒の質量は変わらない。⑤粒の体積は変わらない。⑥粒は熱運動している。⑦粒は互いに引き合う性質がある。この中から①～⑤までは、小学校においても導入することが可能ではないかと考えた。

平成23年度より実施される新指導要領においても、理科は、内容も増え、中学校高校までの統一された内容の精選がなされ、4つの大きな柱で構成されることとなった。今まで「A生物とその環境」「B物質とエネルギー」「C地球と宇宙」の領域に内容を分けていたが、今回の改訂で、「エネルギー」「物質～粒子～」「生命」「地球」の4つの柱をたて、中学校へ内容が連続していくようにスパイラルな学習を試みるようになった。ここで、今まで「物質とエネルギー」としていた区分を「物質」として独立させ、また、「粒子」ということばで表し、小学校から粒子概念を形成していくことうという考えが窺える。以上のことから、小学校において、初步的な粒子概念を導入することを試みた。

## II 研究目的

小学校の段階から、初步的粒子概念を導入し、物質の性質を粒子で理解していくことを目的に、粒子概念導入の時期や単元、具体的な学習方法について研究し、その成果を調査していく。

## III 研究方法

初步的な粒子概念を小学校から導入するに当たり、粒子の概念をどのように導入するか。小学生の発達段階から考慮して、子ども自ら「物質は小さな粒でできている」ということに気づくことは難しい。また、菊地らによる粒子の基本概念は、教師側から教える必要があるのではないかと考えられる。一方、実験観察を通して子どもが自ら気づき、子ども同士の話し合いを元に理論や法則を構築していくことを大切にする本校自然部の方針からすると、教師側から、結論を教え込むことにはやや抵抗がある。そこで、「ものの溶け方」の単元で、ある段階で、教師から、物質は小さな粒からできていることを示唆するクラスと、溶解現象から子どもが「粒」という概念を自ら獲得するまで、教師側から何も示唆しないクラスで対照研究を試みることにする。

物質の溶解や水の三態変化等の現象を説明するときに、目に見えない部分はどのようにになっているのかを、子どもに想像させ、イメージ図を描かせる。描くことで自分の考えを整理し、また、友だちとイメージ図を見合うことによって互いに影響しあい、やがて「粒」で現象を説明することが有効であることに気付かせることを目標にする。このように粒子の概念を持ち、粒で考えるようになった子どもに、学習終了後、アンケートや理解度調査を行い、学習内容や粒子概念の定着を調べる。

## IV 研究の実践

### 1. 5年生「ものの溶け方」の実践

#### (1) はじめに

小学校5年生という発達段階を考え、そろそろ目に見えない世界を想像しながら、抽象的な考え方もできるようになりつつあるので、溶解という現象を通して物質の本質的な性質について考えさせ、物質は目に見えないほど小さな粒からできていることを理解させようと試みた。

#### (2) 単元目標

いろいろなものを水に溶かし、水の温度や量による溶け方の違いを調べ、物の溶け方の規則性についての考えをもち、粒子を用いて説明できるようにする。

#### (3) 実践方法

段階ごとの実験結果から目に見えない部分を想像させ、イメージ図を描かせ、発表させることによって、友だちどうしで見合い、影響し合いながら、子どもたちが徐々に粒子のイメージを持つようにさせる。そのときある段階で教師が物質は小さな粒子からできていることを示唆するクラスと、あくまでも子ども自らが粒子の存在に気づくまで待つクラスで対照比較をする。

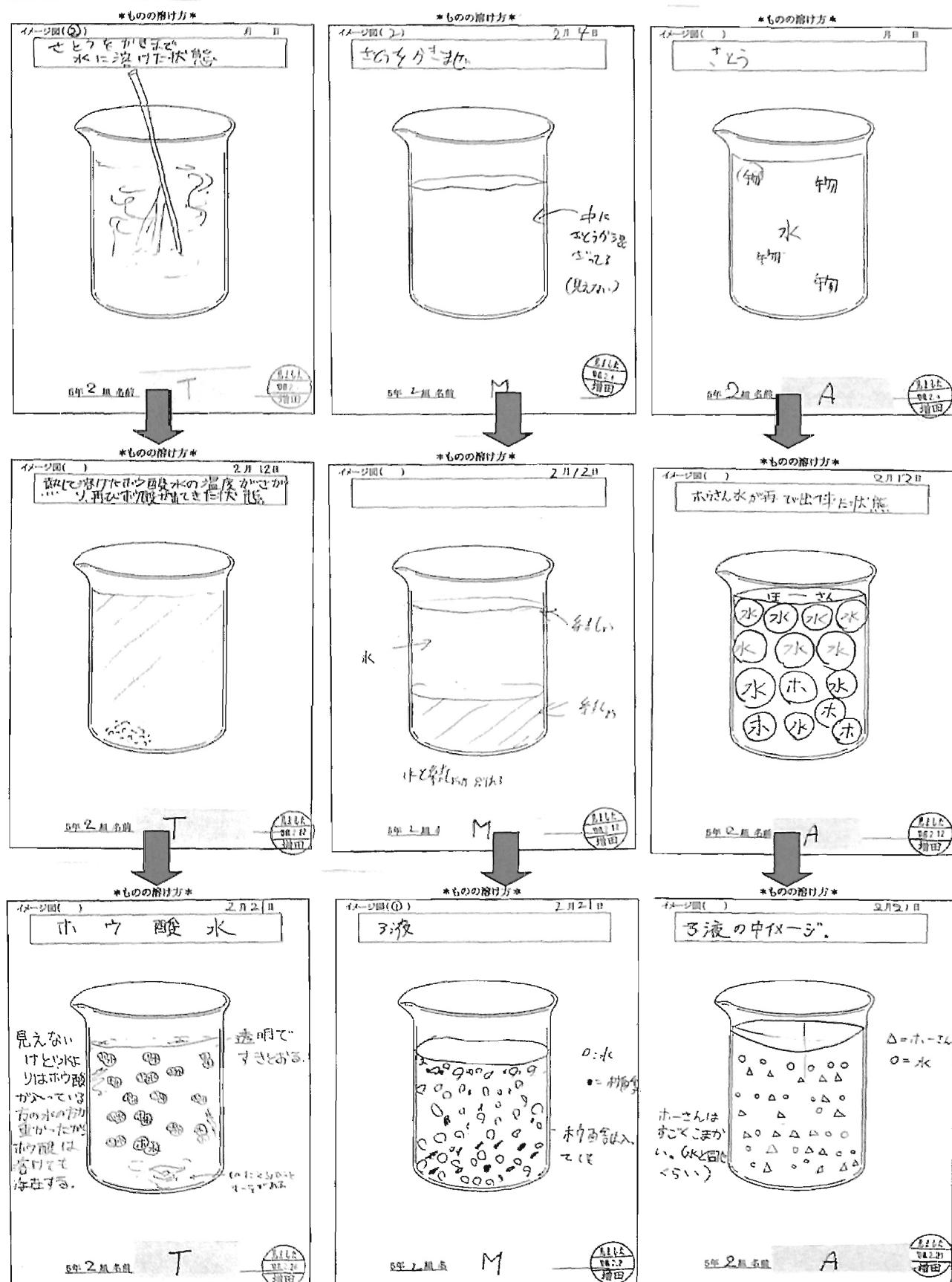
#### (4) 単元構成 (12時間)

時間	主な課題と実験	留意点
1, 2	<p>課題1：いろいろな物を溶かしてみよう</p> <p>実験1 氷砂糖がどのように溶けていくか観察する。</p> <p>○話し合い　・もやもやと溶けていく。 ・上から下へ流れていく。 ・下にたまって行く感じがする。 ・氷砂糖はどんどん小さくなっていく。</p> <p>実験2 いろいろなものを溶かしてみよう。</p> <p>○方法　水50mlを入れたビーカーに、食塩、砂糖、片栗粉、食紅、コーヒーシュガー、泥を入れ数日おいておく。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物が溶けていくようすをじっくり観察させる。</li> <li>・拡散状況、シュリ…レン現象を確認させる。</li> <li>・溶け方の違いに気づかせる。</li> </ul>
3	<p>課題2：溶けている物と溶けていない物</p> <p>○結果（実験2） 無色透明な水、色つきの水、濁っている水、沈殿し透明になっている水</p> <p>○話し合い この違いは何か。</p> <p>○疑問 完全に溶けきったビーカー内で、溶けた物(溶質)はどのようにになっているのだろうか。……イメージ図①</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「溶ける」と「混じる」の違いに気づかせる。</li> <li>・水溶液の定義</li> <li>・一度溶けきったものは、何日たっても出てこない。</li> </ul>
4	<p>課題3：重さはどうなっているのか。</p> <p>実験3 水50mlに食塩10gを溶かし、よくかきませ、完全に溶かした後、全体の重さを量る。</p> <p>○話し合い　・重さは水の重さだけ ・水の重さ+食塩の重さ</p>	

	<p>・軽くなる</p> <p>○結 果 水の重さ50 g + 食塩の重さ10 g = 食塩水60 g</p> <p>○疑 問 重さが残っているのなら、どのような形で食塩は水の中に存在しているのだろうか。</p>	<p>・形は見えなくなつても重さは残っていることを、数値から理解させる。</p>
5, 6	<p>課題4：食塩は水に限りなく溶けるのだろうか。</p> <p>○話し合い</p> <p>実験4 水50mlに食塩5 gずつ量って入れよくかき混ぜ、完全に溶けきったことを確認してから、次の5 gを入れる。</p> <p>○結 果 各グループより発表…15 g～22 gの間</p> <p>○疑 問 ほかの物質にも溶解の限界はあるのだろうか。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>実験5 水50mlホウ酸20 gを入れよくかき混ぜる。</p> <p>○結 果 食塩よりたくさん溶け残った。</p> <p>○疑 問 溶けたものと、溶け残ったものはどのような様子で存在しているのか。</p>	<p>・溶解には限界があることを理解させる。</p>
7, 8	<p>課題5：溶け残った食塩やホウ酸を溶かすにはどのようにすればよいか。</p> <p>○話し合い</p> <p>実験6…グループで話し合い実験方法を決める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水を温める。</li> <li>・水を足す。</li> <li>・冷やす。</li> </ul> <p>○結 果 水温による溶解度は食塩とホウ酸では違う。</p> <p>*実験で温めた食塩水とホウ酸水を次回まで 保存</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>・温度による溶解度の違いに気付かせる。</p>
9, 10	<p>ホウ酸が析出してきた。……イメージ図②</p> <p>課題6：溶かしたものを取りだそう。</p> <p>実験7 温度が下がり析出したホウ酸をろ過する。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>○疑 問 ろ液の中にはホウ酸は含まれていないのだろうか。</p> <p>○予 想 ・もうホウ酸は含まれていない。 ・まだ少し含まれている。</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>・ろ過によって析出したホウ酸を取りだすことができる。</p>
11, 12	<p>課題7：ろ液の中にも溶かしたものは含まれているのだろうか。</p> <p>○話し合い どのような実験方法で確かめられるか。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ろ液を蒸発皿に入れ熱する。(蒸発乾固体)</li> <li>・ろ液をさらに冷やす。</li> <li>・顕微鏡で観察する。</li> <li>・重さを量る。</li> <li>・ろ液を温める。</li> </ul> <p>実験8 ろ液にも溶質がふくまれているかどうかを、グループで話し合って決めた方法で実験する。</p> <p>○結 果 ホウ酸がさらに析出した。……イメージ図③</p>	<p>・蒸発乾固によってろ液にもホウ酸が含まれていることを理解させる。</p>

(5) 子どものイメージ図の変容

- ① 教師が粒子の概念を示唆しなかったクラス  
【イメージ図】



【イメージ図から】

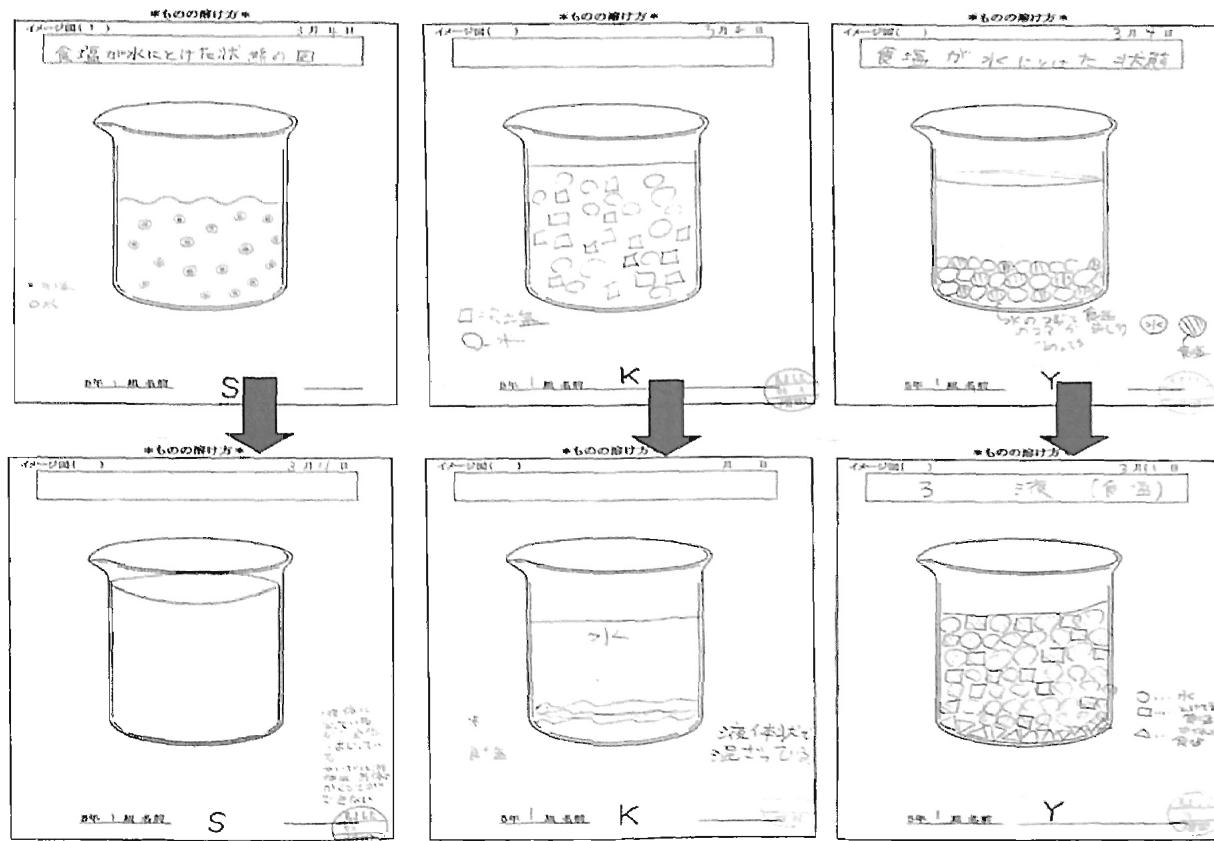
T子は、最初は、目に見得ない部分を想像することが難しく、見たままの様子を描いている。砂糖をかき混ぜ、完全に溶けているビーカーの中の様子は、溶けていくときのシュリーレン現象を描いている。次に、熱して溶けたホウ酸が、水の温度が下がることによって析出してきたときの、液体の部分を想像して描いたが、やはり自分の目で見た様子を描いており、下の方にたまっているホウ酸を描き、無色透明の液体の部分は斜線で表わしている。しかし、その後実験を重ね、蒸発乾固などによって、いったん溶けてしまい、姿が見えなくなった溶質も、存在がなくなったわけではなく、水の中に存在していることが確かめられると、最後のろ液の中のイメージ図においては、粒を使ってホウ酸の存在を示している。しかも、溶媒である水も粒で表わし、ホウ酸と水が結びついているように描いている。

M男は、最初は、目に見えない部分を想像することができず、何も描げず、「中にさとうが混ざっている。(見えない)」と文字で表現している。次に、析出したホウ酸水を描くときも、やはり、見たままの様子を描いている。最後のろ液のイメージ図では、水とホウ酸をそれぞれ違う色の粒で表現し、全体に均一に拡散しているように描いている。この子も実験によって自分の目で確かめたことによって、無色透明の水も、実はその中にホウ酸が存在していると理解し、それを小さな粒で表現している。

A子は、最初のイメージ図の段階から、目に見えないがそこには何か存在していると考え、「物」「水」という文字表現で、水の中を表わしている。次の析出したホウ酸では、水を丸で囲み、「粒」をイメージしている。ホウ酸も丸の中に「ホ」で表現し、粒の状態で混ざっているようにイメージしている。ただ、析出してきた部分に「ホ」と書き、それ以外は「水」と書き、見えない部分にはホウ酸は存在しないように考えている。最後のろ液のイメージ図では、ホウ酸を△、水を○で表わし、両方ともビーカー全体に拡散しており、「ホウ酸はすごく細かい。(水と同じくらい)」という文章も書き添えてある。実験を進めていくうちに、ろ液全体に、細かくなかったホウ酸の粒が存在していると実感し、このような表現に至ったと考える。

② 教師が示唆したクラス

【イメージ図】



### 【イメージ図から】

S子は、最初は食塩が水に溶けた状態を、食塩の粒と、それを包むようにしている水の粒でイメージ図を描いているが、実験を何回か行い、イメージ図を描き、最後のろ液のイメージ図では、「液体になっているが、全体に混じっている」と、文章で表現しており、粒は描いていない。教師から、粒の存在を示唆された直後は、粒で、溶質も溶媒も表しているが、その後、粒の表現はしなくなり、見たままの状態を描いている。

K男は最初、食塩を□、水を○で表し、溶媒も溶質も粒で表現しているが、やはり、最後のろ液を表すときは、粒は用いず、「液体状でまざっている」と文章で表現し、線だけで溶けて混ざった食塩を表している。この2人のように、最初は、粒を用いてイメージ図を描いていたが、最後は、粒を使わず、全体に色を塗ったり、線で描いていたりする子が多くいた。

Y子は、最初から最後までずっと粒で描いており、目に見えない部分にも、小さな粒がぎっしりと並んでいると想像している。最初のイメージ図では、水に溶けた食塩が、下の方に描かれているのにに対して、最後のろ液のイメージ図では、水に溶けた食塩を□で表し、ビーカー中に広がって描いており、溶けたものは、均一に拡散することも理解している。Y子のように、最後まで、粒で表現している子どもは、クラス全体の中では少数であった。

### (6) 考察

子どもたちのイメージ図からは、教師側から粒子の概念を示唆しない方が、自由に子どもの発想が広がっているように見える。最初にイメージ図を描かせた時は、目には見えない部分を自分で想像することが難しく、どのように描いていいのか、困ってしまう子どもがたくさんいたが、友だちが描いたイメージ図を互いに見合うことによって、他者の表現方法を真似たり、一部取り入れたりしながら、自分の考えを深めたり、新たな気づきがあり、よりイメージに即した表現をするようになっていった。また、ろ液にも溶質が存在していることを蒸発乾固などの実験によって確かめたことにより、実感を伴って、無色透明の水溶液の中にも、確かに溶質が存在していることに納得し、目に見えなくても存在する物質という物を実感していた。このことを説明するときに、「目に見えないくらい小さな粒となって存在している」という表現をする子どもが多くいた。つまり、教師側から「粒」ということばを教えなくても、子どもたちは、自然と現象から「粒」ということばで表現するようになると感じた。一方、教師側から「物質は小さな粒でできている」と教えたクラスでは、最初のイメージ図では、すぐに粒子を使って表現していたが、発想の広がりがあまりなく、子ども同士で影響し合う場面もあまり見られなかった。単元が進み、次々とイメージ図を描いていくと、実験結果から考えて粒子の表現に至ったのではないためか、表現の変容はあまり見られなかった。



子どもは、自分で気づいたこと、もしくは、友だちが気づいたことは、納得して認識し、自分の概念として取り入れているように見える。納得するためには、実際に実験をし、自分の手や目で確かめ、五感を通した発見が必要である。考えたことを文や絵で表現するのは難しく最初はうまくできない子どもも、同じ実験をし、時間と場所を共有してきた友だちの表現に触発され模倣することから、納得した自

分の表現方法に至る。最初はうまくいかず、また、時間もかかるが、最終的には、教師が示唆しない方が子ども自ら発見し、納得して粒子の概念を獲得しているように考えられる。

### (7) 粒子概念定着性を調べる調査

岩手大学の村上らの研究グループの高橋らによる「粒子概念理解度調査」を行った。

**問題1**

袋の中に入れたエタノールの液体をあたためると液体は気体に変わって「かさ(体積)」が大きくなりました。この2つの袋の中に入っているものを「つぶ(粒)」にしてかきました。気体の方には「つぶ」と「つぶ」の間にすきまがあります。この「すきま」はどうなっているのでしょうか。次の中から1つ選んでください。

ア エタノール イ 空気 ウ 酸素  
エ 水蒸気 オ 何もない カ その他

**結果**

選択肢	お茶小5年	岩手県小5
ア	20	8
イ	10	18
ウ	10	38
エ	33	35
オ	26	0
カ	2	2

**問題2**

注射器に入れた液体は押しても縮みませんが、注射器に入れた気体は押すと縮まりました。これはどうしてだとおもいますか。  
図と文章で説明しなさい。

**結果**

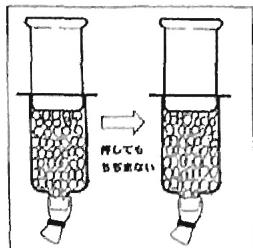
選択肢	お茶小5年	岩手県小5
A1	20	18
A2	30	16
A3	3	3
A4	5	0
A5	3	3
A6	10	20
B,C,D	35	42

A1 圧縮後も空気の粒間の隙間が大きい(正答)  
A2 圧縮後の空気の粒間の隙間が小さい(準正答)  
A3 圧縮前でも水も空気も粒の隙間が大きい。  
A4 圧縮の際に空気の粒が変形した  
A5 圧縮の際に空気の数が減った  
A6 その他の粒による間違った表現  
B,C,D その他の作図、作図なし、「わからない」

## 第2問の解答例

「第2問」  
注射器に入れた液体は押しても伸びませんが、注射器に入れた気体は押すと縮む  
ります。これはどうしてだと思いましょうか。因と気体を説明してください。

液体（押してもちぢまない）

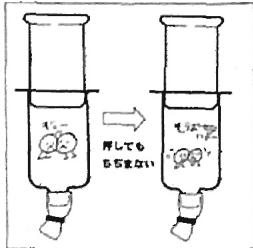


書ける人は、図の説明もしてください。

元々、大部分が気体に比べて凝縮され、詰まっているために、外から力を加えても、「押し出される」場所がないので、押される力と同じ方で押し返すので、図のように「壓力吸収しない」。

「第2問」  
注射器に入れた液体は押しても伸びませんが、注射器に入れた気体は押すと縮む  
ります。これはどうしてだと思いましょうか。因と気体を説明してください。

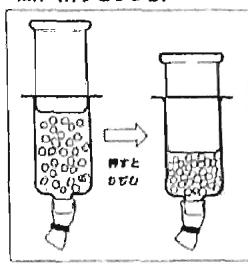
液体（押してもちぢまない）



書ける人は、図の説明もしてください。

液体がさうきゅうたる液体は  
ないので、引き抜かないから  
ちぢまない

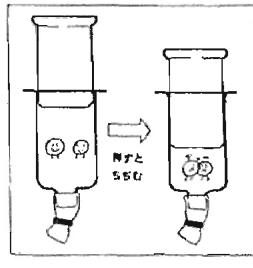
気体（押すとちぢむ）



書ける人は、図の説明もしてください。

気体は、吸引と排斥の作用が  
大きく、自由に動きあわいでいるた  
め、力を加えると「引き寄せ」  
すると言えられるので、次々と  
凝縮されてゆき、「引き寄せ」の  
線や限界まで、力を加える事が  
できる。

気体（押すとちぢむ）



書ける人は、図の説明もしてください。

気体は液体のようにきゅう  
きゅうにうき、いのへでなく  
引き寄せはまかに  
あひていますからちぢむ

### 【調査結果から】

問題1は、気体の粒は自由に飛んでいて、粒と粒の間は隙間であるということを理解しているかどうかを問う問題であった。閉じこめられた空気を押すと縮む様子を、粒で表現した経験があったので、「縮むことができるのは、粒と粒の間には隙間があるからだ」と理解している子どもが多くいた。その結果、岩手県内の小学生は正解が0%であったのに対して、本校の児童は26%が正解であった。また、クラスごとに見てみると、物質が小さな粒子からできていることを教師が示唆したクラスは正解が0%で、子どもが粒子の存在に気付くまで教師は何も示唆しないクラスは正解が35%であった。これは、教師から教わったクラスは、早くに粒子の存在を理解し、イメージ図などにも応用している子どもも多くいたが、時間がたつと定着が悪くなったり、ほかの状況で粒子の概念を応用することが難しいようであった。一方、教師側からは粒子の概念を示唆せず、子どもたちがイメージ図で表現する過程で粒子で説明を始めたクラスは最初は皆が粒子で表現していたわけではないが、何回かイメージ図を描き、互いに発表で見合ううちに、友だちの表現方法や説明がわかりやすく、自分もその手法を取り入れ、次の説明にも自ら粒子を用いるようになっていった子どもが少なからず存在していた。教えられた粒子の概念ではなく、自ら獲得していった粒子の概念の方が定着が良いように考えられる。

問題2は、説明に粒子を使えるかどうかを問う問題であった。本校の児童の正解が48%であったが、教師からの示唆があったクラスの正解は26%で、示唆がなかったクラスは56%であった。問題1の正解率と同様に、教師から粒子の示唆があったクラスの方が、正解率が低い結果となった。また、問題2の説明に「隙間」を使っている者も、教師から示唆があったクラスは19%で、示唆がなかったクラスは57%となり、明らかに示唆がなかったクラスの方が、「粒子および隙間」の考え方ができる子どもが多くなる結果となった。

## 2. 4年生の粒子に関する単元の実践

### (1) はじめに

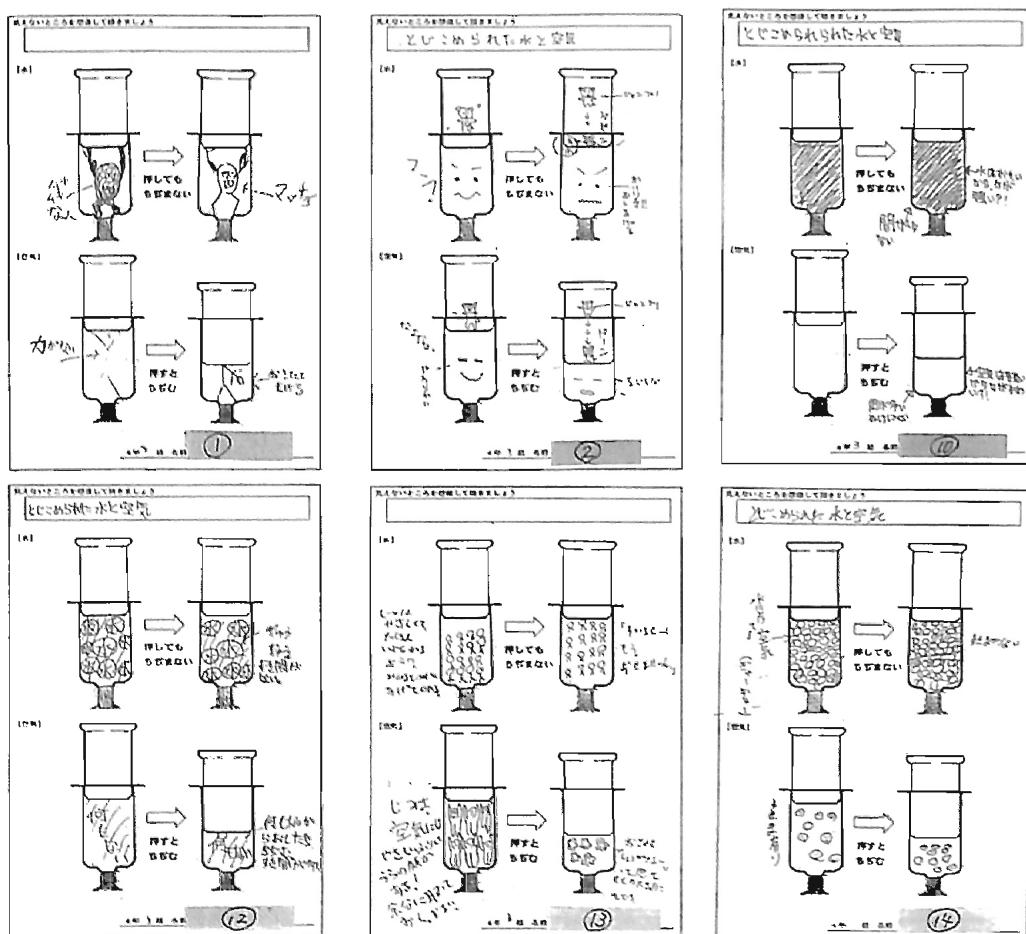
目に見えないほど小さな物の存在を理解するためには、抽象的な考え方でき、見えない物を想像する力が発達してくる時期にならないと難しいと考え、粒子概念の導入は、5年生の頃かと仮定し、「物の溶け方」の単元で導入をしてみたが、さらに一年早め、4年生での導入を試みた。目に見えない粒子をどこまで理解できるか、粒子に関する3単元において実践を試みた。

### (2) 「閉じこめられた水と空気」



ビニール袋に空気を閉じこめ押したり、上に乗ったり、水に浮かべたりしながら、空気の柔らかさと固さを肌で感じ取りその後空気鉄砲を使い、空気は押されることによって収縮し、また反発力も増し、限界まで収縮すると、元に戻ろうとする大きな力を発揮することを学ぶ。このとき、同時に、水も実験する。ビニール袋に水を入れ押してみたり、注射器に水を入れピストンで押したりしてみる。空気と比べて水の方が手応えがあり、ピストンで押してもほとんど動かない。これらのことから、子どもたちは、水の方が空気と比べて固いイメージを持つようになる。また、空気の方が軽く、自由に動きまわることができると考える。そこで、ピストンの実験で、空気は押せば収縮するが、水はほとんど縮まない現象から、空気と水の中はどのようにになっているのかを考えさせ、目に見えない部分がどのようにになっているのかを想像させ、イメージ図を描かせた。

【ピストンで押したときの水と空気のイメージ図】



5年生にイメージ図を描かせたときは、「描けない」「どのように描いたらいいのですか。」というような困っている児童の声が多く、見えない部分を想像することの難しさを感じたが、4年生は、楽しそうにすんなりと描いてしまった。理屈で考えようしたり、理論的な根拠を求めたりせず、素直に自分が感じたままを、表現していたようである。特に、①や②のような擬人化したイメージ図が約4割あり、これが4年生の特徴である。押した時の手応えや固さから、水は強いイメージをもち、「かいりき」と表現している。一方空気の方は、すんなりと収縮してしまったことから、柔らかく、優しいイメージを持ち「なよなよ」と描いている。

一方、⑭のように、最初から粒を使って表現する子も3割ほどいた。粒の数までは考えずに描いているが、水はぎっしりと詰まっているので、押してももう縮むことができないと考え、空気の方は、粒と粒の間に隙間があり、そのため押すとその隙間の分だけ縮まると説明している。

そして、中間のようなイメージ図が⑯のようなものである。粒で考えているが、まだ擬人化した考え方があり、粒に手足をつけたイメージ図になっている。空気は、もともと手足を伸ばして並んでいるので、押されたらいつでも縮むことができ、水の方は最初から整列していてもう余分がない状態なので、押されてもそれ以上縮むことはできないと考える。さらに⑯は「実は、空気は優しいふりをして、余分にとっている」という註釈をついている。このように、4年生という発達段階では、見たままの現象と、そのようになるには性質・性格の要素もあると考え、物質の性質を人間の性質のように考えているところがある。このような表現をしている子が約2割いた。

その他には⑩や⑪のように、目に見えない部分の想像が難しく、見たまましか考えが及ばず、全体に斜線を引く子、全体に一様に色をつける子などが約1割いた。

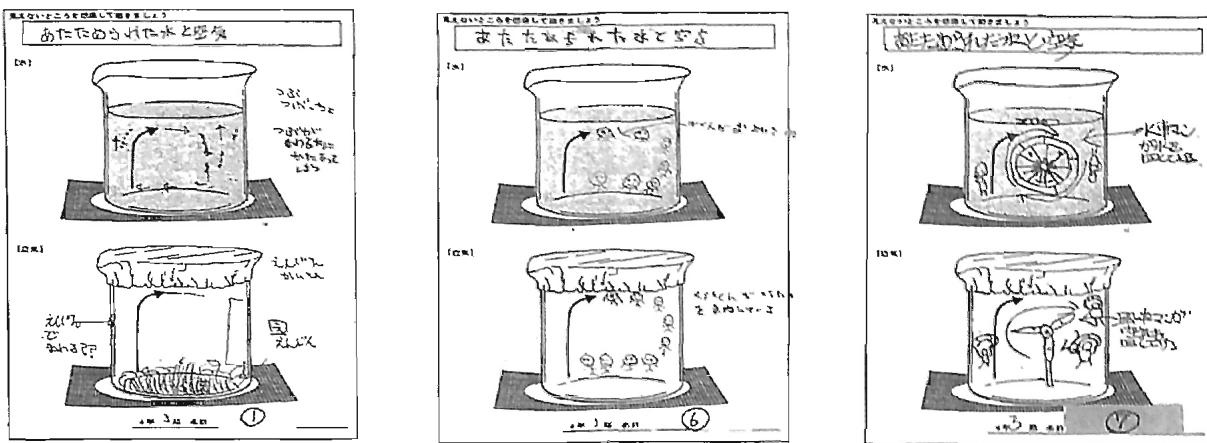
全員がイメージ図を描き、それをプロジェクターで映して、一人一人に自分のイメージ図を説明させた。互いのイメージ図を見合ううちに、自分と考えが似ていたり、まったく違う発想に驚いたり感心したりしながら、このような図の説明だと、実際の現象がなぜ起きるのか納得できるようになった。やがて、自分もその描き方を真似してきたり、取り入れたりするようになり、なかなか描けなかつた子が擬人化の手法を取り入れ、楽しそうにイメージをふくらませていた。また、擬人化したイメージ図を描いていた子が、粒を用いて表現するようになったりして、イメージ図がこの後変容していった。

### (3) 「物のあたたまり方」



金属、水、空気の順に学習を進め、どのように温まっていくのかを予想し、確かめる実験方法をグループごとに考えさせ、独自の実験から得た結果から理論を導き、それぞれの物質の温まり方を学んでいった。そのとき、前単元と同様に、イメージ図を描かせた。実験中に、よく温まっていく様子を観察し、水の中、空気の中を想像させ、なぜこのような現象が起きるのかを説明するために、空気や水の目に見えない部分はどのようにになっているのかを描かせた。

【水と空気のあたたまり方のイメージ図】



水も空気も対流によって温まることがわかり、それをイメージ図に描いたところ、D男のように「対流」の現象が印象に残り、対流を擬人化し、風車や水車で表わす子がいた。何か、動力となるものが空気中や水中にあり、それが回転し水や空気の流れをつくり、対流が起こると考えていた。また、E子は、今までの学習から、粒のような物で表現しているが、やはり、対流している現象に合わせ、見たままの水や空気の動きに、粒を当てはめてたことにすぎず、本当の意味での粒子で表現しているわけではない。この単元においては、粒子で表現することはあまり発展しなかった。

(4) 「変身する水を調べよう」

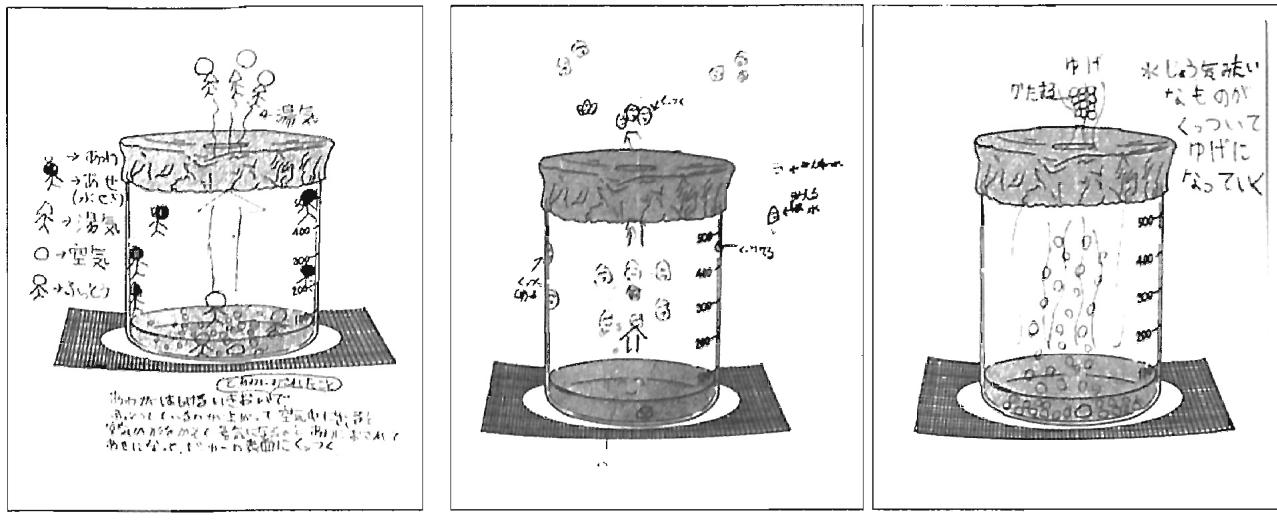


水が沸騰する様子を1分ごとに記録し、温度変化とともに状態がどのように変化していくのかを、グループ4人で協力して観察した。沸騰という現象は、日常の生活の中でも経験しており、水が温められるとぶくぶくしてくる、という程度のことはほとんどの子どもが知っている。しかし、その様子をずっと観察し続けた経験はなく、「こんな風になってくるんだ」と、あらためて驚いている子どもも多くいた。

結果として、フラスコの外側が曇ってくる、小さな泡が出てくる、フラスコの口から湯気が出る、大きな泡がぶくぶく発生してくる、フラスコの内側に水滴が付く、

温度計の外の部分にも水滴がつく、火を消すとフラスコ内の水の量が減っていた、などの発見があった。このことから、フラスコ内の水が変身して、外に逃げて行ったのではないかと推論した。フラスコ内の水は目に見え、また、沸騰しているときは大きな泡が発生していることも観察している。その後、フラスコ内では、見えなくなり、また、フラスコの口から湯気が発生している様子も観察できる。一方フラスコ内の水の上の部分は何も見えないが、フラスコの内壁には、水滴が付き汗をかいているようだという声もあった。これらの観察結果から、水は熱を加えられ、 $100^{\circ}\text{C}$ 近くになると、沸騰し、大きな泡に変身し、その後見えなくなるが、再び、フラスコの内側のガラスに水滴となってくれたり、フラスコの口から湯気となって外へにげていったりする。という考え方で、子どもたちは納得した。そこで、フラスコ内でいったん見えなくなった水はどのようにになっているのだろうか、という課題で、イメージ図を描かせた。3回目のイメージ図だったので、楽しみにしている様子もあり、また、今まで友だちのイメージ図を見ていて、わかりやすいと思った物は積極的にその書き方を取り入れていくように進めてきたので、徐々にイメージ図も進化してきていた。

## 【沸騰している水のイメージ図】



F男

G子

H男

F男やG子はまだ擬人化はしているが、粒で考えており、水面・水中から泡が発生し、水の上部に出ると、透明でみえなくなると考えて、点線などで表わしている。また、空气中に出てしまうと湯気としてみえる、と描いている。F男は形が三角に変わり「ゆげ」と描いているが、G子とH男は、見えなかった粒がいくつか固まって湯気となり、大きくなつたから目で見えるようになったと描いている。このイメージ図から、H男は、水は小さな粒からできており、温められるとその粒が目に見えない粒（一つ一つがバラバラになっている状態）になる。このように、粒の離合集散によって、水全体の姿が変わり、液体の水であつたり、気体の水蒸気になつたり、また少し冷やされて湯気となつたりしていると説明していた。G子やH男の説明に、納得する子どもも多く、粒で説明することがわかりやすいと共通認識されるようになった。

## (5) 理解度調査

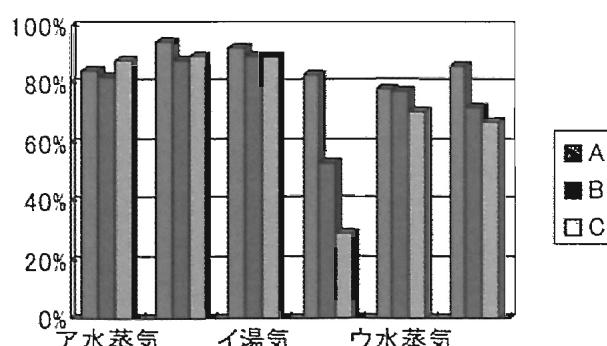
水や空気の全単元が終了した約2ヶ月後に理解度調査を実施した。対象はA：イメージ図を描きながら単元学習を進め、粒子概念を獲得しつつある4年生1クラス（36名）、B：イメージ図を描かずに従来通りの単元学習を終えた4年生2クラス（75名）、C：教員養成系の大学2年生（75名）の3群である。調査問題は、岩手大学の村上らの研究グループの小原らが岩手県内の小学生の理解度調査に使用したものである。

## &lt;問題&gt;

②水を熱したときのようすについて答えなさい。

①水は、右の図のそれぞれの場所で、どのようなすがたになっていますか。□  
と□の中にはてはまるこことばを、□からえらんでかきなさい。

水じょう氣	ゆげ	水 気体
えき体		固体



理解度調査結果より、A（粒子概念を形成しつつある集団）は、すべての問題で正答率が高く、特に他の集団との差が著しく出たのは、イの「湯気は液体である」という問題である。B、Cの集団は「湯気は気体である」という誤答が多く、湯気がゆらゆらとしている様子から、「気体」と捉え、誤認識しているようである。特に、C（教員養成系大学2年生）の集団においては、学習した記憶はあるものの、10年も前のことでの記憶は薄れており、液体・気体の定義も曖昧なままであるようであった。

## V 研究の考察と今後の課題

小学校4年生と5年生において、初步的な粒子概念を形成することが「物質～粒子～」の単元理解を深め、さらに粒子の考え方の基礎を作ることで、中学校以降の「理科」の学習において、分子・原子・イオンの考え方へ、スムーズにつなげていくことができるのではないかという仮説の元、研究を行った。

小学生においても、実験を行い、物質の変化を実感しながら現象を説明する段階で、自らその手段として「粒」を用いて説明することは可能であると考えられる。このとき、教師側から示唆すると、その場面では理解しても、その後、他の問題では「粒」で説明することは自発的に行う子どもは少なかった。一方、教師側から「粒」について示唆せず、子どもたちの中から「粒」の考え方が出てくるのを待つと、現象を説明できず困っていた子どもも、「粒」を使うことの有用性がわかり、納得して「粒」で考えるようになるように見られた。その限りでなく、「粒」で考え、「初步的な粒子概念」を身につけるためには、教師側から示唆するよりも、子ども側からの自発的な気づきを待つ方が有効であると考える。

「初步的な粒子概念」の導入時期であるが、研究当初は、抽象的な思考ができ、目に見えない部分を想像する力が育っている時期として、5年生を想定した。最初はなかなか見えない部分を想像することが難しく、描けない、という声が多かったが、実験をかさねていくうちに、その結果から考えて、現象を説明するためには、自然と「粒」を使う子どもが増えていった。また、友だちの表現方法をまねている子もあり、互いに良い影響を与えているようであった。5年生の「溶解」の単元で、初步的粒子概念を導入することは、十分に可能であると考える。

5年生で可能であると考えたので、翌年は、4年生で「初步的粒子概念」の導入を試みた。4年生の方がまだ幼いせいか、擬人化したイメージ図を描く子どもが多く、5年生よりも楽しそうに取り組んでいた。収縮可能な空気は隙間があり、収縮できない水は隙間がないと考える子どもが多くいた。このとき、擬人化表現をしていた子どもも、単元が進むにつれて、友だちからの影響もあり、やがて「粒」を用いた表現に変容していった。また、学習終了後2ヶ月たっても、学習内容の定着がよく理解度調査の結果も他クラスや他の小学校よりも良い結果であった。これらのことから、4年生においても、初步的粒子概念を導入することは可能であり、また、水や空気の性質を理解し、考えを深めることに有効であると考える。しかし、個人差もあり、いつまでも擬人化した表現にこだわり、物質の本質を見極めようとせず、手段としてのイメージ図にこだわり、空想の世界を楽しむことが目的となっている子どももいた。これは、5年生ではほとんどない現象であり、やはり1年幼いと、抽象的思考が、空想的な思考になり、科学的な考え方とはそれてしまう子どもが少なからずいた。このことからも、イメージ図を使った初步的粒子概念導入の方法は、小学校4年生からが適切なのか、それとも5年生からがよいのかは、検討すべき問題である。

また、小学校においてこのような学習経験がある子どもたちが、中学校以降の理科の学習において分子・原子・イオンの学習にスムースに接続できるのかを追跡調査してみると必要があると考える。小学校で、初步的な粒子概念を形成することができていれば、中学校で、分子や原子の内容に入った時に抵抗なく、粒で物質を考えることができるのでないかと考える。また、スパイラルに学習していくことの重要性も感じる。一度に理解できなかつた内容も、学年が上がり、心身ともに発達をすると、今度はスムースに理解できるという場合もある。何回も繰り返し学習することも大切であると考え、その意味でも、小学校から、粒子の概念を学習していくことは、大切であると考える。

## 謝　　辞

本研究を遂行するにあたり、岩手大学の村上祐先生、菊地洋一先生、科学技術振興機構の佐藤明子先生、北上市立北上北中学校の高橋治先生、お茶の水女子大学附属中学校の菌部幸枝先生、村上祐先生を中心とした粒子研の皆様から、ご指導・ご助言、多大なご協力をいただきましたことを心より感謝申し上げます。

本研究の一部は、平成19－21年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（C）「粒子概念の早期定着をめざす小・中連携教育カリキュラムの実践研究」、課題番号19500715、研究代表者村上祐（岩手大学教育学部））によって行われました。記して感謝の意を表します。

### 【参考文献】

- 1) 村上祐、他「小・中理科における望ましい粒子概念教育の提言—国調査結果の背景および独自調査の分析から—」岩手大学教育学部研究年報 第69巻 p73-87
- 2) 菊地洋一、他「粒子概念の位置づけと物質学習カリキュラム」日本理科教育学会 理科教育研究2008, 49(1) 35-51
- 3) 高橋治、他「児童・生徒の粒子概念の認識に関する調査研究」第32回 日本科学教育学会 年会 (3G1-C4) 2008
- 4) 菌部幸枝、他「原子・分子・イオンの授業実践と粒子概念の定着性」第58回 日本理科教育学会2008, p375
- 5) 菌部幸枝、他「『水溶液』学習を通して原子・分子・イオンの粒子概念導入のあり方を探る」第59回 日本理科教育学会2009, p. 323
- 6) 小原大祐、他「水の沸騰時の泡の正体を捉えさせる教材開発と粒子概念」第59回 日本理科教育学会2009 p. 232
- 7) 尾崎尚子、他「小学校における粒子概念の導入(その2「水のすがたとゆくえ」における授業実践)」第60回 日本理科教育学会2010
- 8) 増田伸江、他「小学校における初步的粒子概念形成の試み—5年「物の溶け方」の実践を通して—」第58回 日本理科教育学会2008, p376
- 9) 増田伸江、他「小学校における初步的粒子概念形成の試み—4年「変身する水を調べよう」の実践を通して—」第59回 日本理科教育学会2009, p. 324