

[理 科]

粒子概念形成のための系統的な指導の工夫

－「空気と水」「自然の中の水」の指導を通して－

飯田 智博*

1 はじめに

平成29年度告示の新学習指導要領では、「自然の事物・現象についての理解を図り、観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。」「観察、実験などを行い、問題解決の力を養う。」「自然を愛する心情や主体的に問題解決しようとする態度を養う。」ことを理科教育の目標としている。この目標を達成するために、新学習指導要領では小学校、中学校、高等学校を通じた理科の学習内容の構造化を図っている。構造化の柱となっているのは、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」の科学の基本的な4つの領域である。それに加え、それぞれの概念にかかわる単元を学習する中で「理科の見方・考え方」を働かせることにより、先に挙げた目標を達成するとともに、様々な現象についての問題を、科学的に解決するための資質・能力を育成できると記されている。「理科の見方・考え方」とは、例えば「エネルギー」の概念であれば量的・関係的な視点、「粒子」の概念であれば質的・実体的な視点のように、それぞれの領域における特徴的な視点のことを表す（表1）。いずれの概念においても、教師側が、児童の見方・考え方を働かせるように授業展開を工夫していくことが重要である。しかし実際は、児童の見方・考え方を働かせることが容易な単元もあれば、そうでない単元もあるというのが教師側の実情である。特に「粒子」の単元においては、目に見えないものを扱うということもあり、児童・教師ともに苦手意識がある。あるいは、教師側は教えたつもりであっても児童が十分に理解できていないという実態がある。それは、全国学力・学習状況調査の結果を見れば明らかである。調査後の報告書（2018）によると、粒子概念にかかわる問題の正答率は50%を切っているのである。この課題を改善するための手立てとして多く挙げられているのが「粒子のモデル化」である。菊池ほか（2008）は、粒子概念をモデル化してイメージすることにより、概念の形成に有効であり、一旦導入されれば、多くの場面で活用しながら学習内容の理解を深めることが可能であると述べている。粒子概念を用いた学習は、「空気と水」「水の3つのすがた」「ものの体積と温度」「ものの温まり方」（平成20年度告示 学習指導要領）と、第4学年に多く位置付けられており、竹内（2018）は、「ものの体積と温度」の学習に着目しながら、年間を通して、意図的に系統性を意識した単元構成や授業構成をすることにより、粒子概念を使い現象を捉える力が育成されることを先行研究で示した。さらに、菊池ほか（2014）は、原子やイオンの学習前に、それらを「小さな粒」と表現し、小学校段階で活用することのできる初歩的粒子概念を提唱し、第4学年「水の3つのすがた」で活用している。しかし、従来、そして現行の指導要領において第4学年で粒子を初めて扱うのは、「空気と水」の単元であり、粒子を扱う単元の初めに位置付けることで、概念形成が深まるのではないかと考える。そこで本研究では、第4学年「空気と水」の学習において初歩的粒子概念を導入し、その後「地球」分野に位置づけられているが、水から水蒸気の変化を扱う「自然の中の水」でも同概念を活用した授業を行うことを通して、粒子概念の形成がどのように深まっていくかを研究し、考察した。

表1 理科の見方・考え方

理科の見方				
領域(概念)	エネルギー	粒子	生命	地球
見方	量的 関係的	質的 実体的	多様性 共通性	時間的 空間的
	原因と結果 部分と全体 定性と定量			
考え方				
3 学年	比較しながら、差異点や共通点をもとに、問題を見出す。			
4 学年	関係づけながら、根拠のある予想や仮説を発想する。			
5 学年	条件を制御しながら、解決の方法を発想する。			
6 学年	多面的に調べながら、より妥当な考えをつくり出す。			

2 研究の目的

小学校第4学年「空気と水」「自然の中の水」の2つの単元について、初歩的粒子概念の考え方を取り入れた授業構

*新潟市立山潟小学校

成を継続的に行った。各単元の説明場面や考察場面における児童の記述を分析し、第4学年後半に位置付けられている粒子分野の単元学習に生かすことのできる概念の素地が形成されるかどうかを検証した。

3 研究の方法

本研究は新潟市立Y小学校第4学年1学級（33名 男子16名 女子17名）で、令和2年4月～9月までの期間行った。「空気と水（粒子領域）」、「自然の中の水（地球領域）」の学習において、粒子概念を用いた説明や考察を組み込んだ授業を継続的に行い、児童の変容を分析した。授業実践においては、次の点に留意しながら分析を行った。

(1) 初歩的粒子概念の共有を図る。

菊池他（2008）は、「粒子概念は全ての物質に共通の事項であり、いったん導入されると多くの場面で活用しながら学習内容の理解を深めることができると考えられる。」と述べている。しかし、粒子概念を、根拠を踏まえて子どもたちに説明させることは非常に困難である。なぜなら、小学校4年生の段階における、子どもたちがもつ粒子概念の予備知識は非常に乏しいからである。また、小学校段階の実験で、粒子概念を確実に証明できる方法がほとんどないからである。そこで、菊池（2008）が提唱する初歩的粒子概念（図1）の一部分を、両単元を通しての共通事項として、児童に指導し、粒子を意識しながら現象について考えさせた。

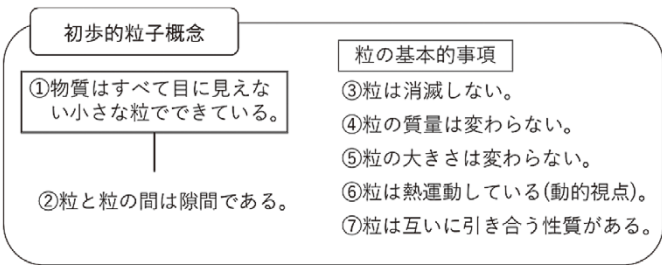


図1 菊池他（2008）が提唱する初歩的粒子概念

(2) イメージ図をもとにして、現象をステップで示す。

両単元における、現象を説明する場面においては、粒子概念を用いたイメージ図と言葉を用いて、①現象の前 ②現象の後、または①現象の前、②現象の途中、③現象の後の2～3ステップで説明する。初歩的粒子概念の指導後、粒子がどのように動いているのか、または変化しているのか、児童一人一人がどう思考しているのかを、具体的に見取ることができると考える。

4 研究の実際

(1) 「空気と水」の実践

本単元は、表2の単元計画表に沿って学習を進めた。児童がもつ、空気や水に関する潜在的・経験的な知識を共有したのちに、初歩的粒子概念の指導を取り入れた。その後、知識として得た粒子概念を活用して、問題解決を行う場を設定した。

① 閉じ込めた空気の特徴を実感する活動

まず、単元の導入で児童がもつ「空気」と「水」の知識を共有した。空気に関しては、「見えないもの」「触れない」というように、実体がないものとして捉える児童もいれば、「実は触っている」「風は空気が顔に当たっている」のように、実体的に捉える児童もいた。また、「昨日の朝、霧がすごかった！霧は水の仲間だね。」「お風呂の湯気を触ると手が濡れるよ。」など、水の状態変化に触れる発言をする児童もいたが、この時点で、粒子概念に触れた説明をする児童は一人もいなかった。その後、初歩的粒子概念の共通理解を図った。児童には ①すべてのものは、目に見えないほどの大きさの粒でできている（空気も水も、目に見えない粒が集まってできている）、②粒同士の間は隙間が空いている、③閉じ込めた粒は消滅したり、増えたりしない の3つを基本事項として指導した。指導後、ビニール袋に空気を閉じ込め、感触を確かめたり、乗ったりしながら、思い切り遊ぶ活動を設定した。児童のやり取りを以下に示す。

表2 「空気と水」単元指導計画

第1次	第1時	袋に閉じ込めた空気で遊ぶ (初歩的粒子概念の導入)
	第2時	筒に閉じ込めた空気の性質 (初歩的粒子概念の活用)
	第3時	空気鉄砲の仕組み
第2次	第4時	筒に閉じ込めた水の性質 (初歩的粒子概念の活用)
第3次	第5時	空気や水の性質の応用

T1：閉じ込めた空気について分かったことはありますか。

C1：袋の中に空気をたくさん入れたほうが、ポンポン跳ねて、上に高く上がりました。

T2：袋の中に空気がないと、高く上がりにくいということですか。

C2：うん、全然いかないよ！

T3：どうしてですか。説明できる人はいますか。

C3：僕たちが袋を勢いよく叩くと、中の空気の粒が一度にたくさん動いて、袋を押し上げるのだと思う。

C4：中の空気の粒が、手と反対側（上）に当たって、また下に戻って（手の側）、さらにまた上へあがって袋を押し上げているのだと思う。

見えない現象について、袋に閉じ込めた空気の様子をイメージしながら考えている。粒子概念の指導後であるため、「空気の粒」というワードを活用しながら、初歩的粒子概念を意識し、粒の動きと実際に起きた現象とを結びつけながら説明しようとする姿が見られた。

② 筒に閉じ込めた空気の性質を調べる活動

第2時では、プラスチックの筒に空気を閉じ込め、押したときの手ごたえや、手を離すと押し棒が戻る現象について、図と言葉で説明をする活動を行った。本時では、「閉じ込めた空気を押すとき、中の空気はどのようなになっているのだろうか。」という学習課題を設定し、児童に投げかけた。始めに、前時で学んだ初歩的粒子概念を確認し、筒の中で起きている現象を3ステップで説明するよう児童に指導した。児童が考えたイメージ図は大きく3つの考えに分けることができた（図2）。Aの考えは、「始めは空気の粒が筒の中に広がり、ふわふわ浮いたり動いたりしている状態である。」というように、粒子間の空間の隙間に着目している。そこから押し棒を押すことにより、粒子間の隙間が狭くなる。粒子が広く自由に動き回れる隙間を求めため、その力によって押し棒が押し戻されると捉えている。対して、Bの考えは、現象の始めはAと同じように空気の粒が広がり、粒同士の間に空間もある。しかし、押し棒を押して行くにつれて粒子の形そのものが圧縮されるという捉えでイメージ図を描いている。そして、手を離すと同時に、粒の大きさが元に戻る力で押し棒が押し上げられるという考えである。Cの考えは、上記の2つと同じく、空気の粒が広がり、動いている状態から始まる。押し棒を押すことによって空間が狭まり、空気の粒子が結合するが、粒同士が分裂しようと反発し、押し棒が元に戻るという考えである。個々で思考する場面では、「先生、粒の数は何個にすればいいですか。」「10個の粒が全部つぶされて…。」「合体したところから手を離すと、元の粒の数に戻る。」と、現象の前後における、粒子の数や大きさ、動き方などの着目しながら考えを整理している様子が見られた。初歩的粒子概念が、空気中の粒子をイメージしやすくするための手助けになっているということが分かる。学級での、それぞれの考えをもつ児童の人数は【A：21名 B：8名 C：4名】であった。また、AとBの考えにおいては、ほぼすべての児童が、現象の前後において、筒中の空気の粒の個数を変えずにイメージ図を描いていた。見えない空気の粒子が、形あるものとして認識されており、「現象前の粒子の数＝現象後の粒子の数」が、児童の思考の中で自然に成り立っている。これは、第5学年「もののとけ方」で学習する、「質量保存の考え方」の定着につなげることができると考える。授業のまとめでは、空気の粒の形は変化しないこと、

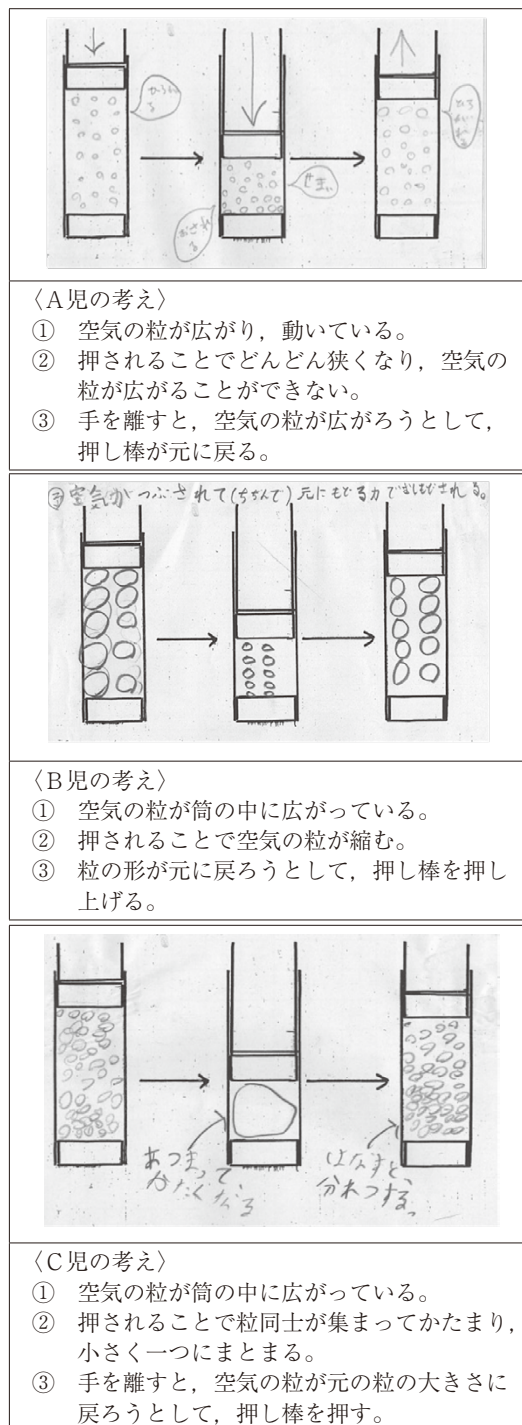
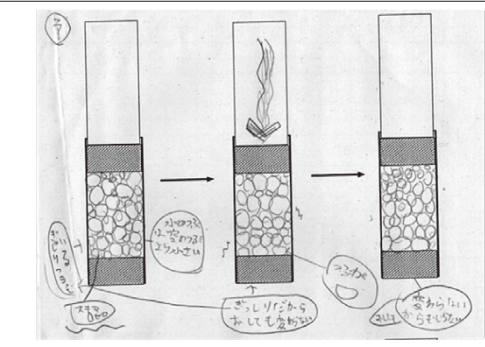


図2 閉じ込めた空気のイメージ図と説明

合体して分裂するわけではないということを指導し、Aの考えを本時のまとめとした。

③ 閉じ込めた水の性質を調べる活動

第4時では筒に閉じ込めた水の性質について学習した。第2時と同様に、イメージ図を用いて、3ステップで現象の説明をする活動を行った。閉じ込めた水の性質では、D児のように「空気の粒に比べて、水の粒は隙間なくぎっしり詰まっているから、押しても縮んだりもとに戻ったりすることはない。」という捉え（図3）であり、この考えを本時のまとめとした。第2時のイメージ図と比較すると、水の粒の形や大きさ、数に着目しながら考えを整理している児童が多く見られた。特に、現象前後の粒の数については、どの児童も前後で数を統一し、密閉空間で質量が変化しないことを意識的にイメージすることができていた。



〈D児の考え〉

- ① 水の粒はぎゅうぎゅうに集まっていて、隙間がない。
- ② 隙間がないから、押しても縮まない
- ③ 縮まないで、戻らない。

図3 閉じ込めた水のイメージ図と説明

(2) 「自然の中の水」の実践

本単元は、小学校理科「地球」の領域に分類されている。この領域では、主に「地球の内部と地表面の変動」や「地球の大気と水の循環」等について学習する。そのため、「粒子」を単元内で扱う必要はない。しかし、新学習指導要領では、本単元の学習において「水は、水面や地面などから蒸発し、水蒸気になって空気中に含まれていくこと。また、空気中の水蒸気は、結露して再び水になって表れることがあることを指導すること。」と記載されている。更に「天気や自然界の水の様子について追求する中で、既習の内容や生活経験を基に、天気の様子や水の状態変化と気温や水の行方との関係について、根拠のある予想や仮説を発想し、表現すること。」とあり、粒子概念に関わる「水の状態変化」にも単元内で触れるよう明記されている。そこで、「空気と水」の単元で扱った、初歩的粒子概念を導入しながら学習することを通して、児童の粒子概念の更なる定着を図った。

表3 「自然の中の水」単元指導計画

第1次	第1時	地面や容器の中の水が減る現象についての仮説設定 (初歩的粒子概念の確認)
	第2時	現象の確認と考察 (初歩的粒子概念の活用)
第2次	第3時	身の回りの水蒸気 (初歩的粒子概念の活用)
	第4時	自然の中の水蒸気

① ビーカーの水がなくなる現象について仮説を立てる活動

第1時、2時では、地面やビーカーの水がなくなる現象について、個々で仮説を立てる活動を行った。はじめに、乾く前と後の地面とビーカーの写真を比較し、どうしてこのようなことが起こるか、児童に問いを投げかけた。その時の児童とのやり取りを以下に示す。

T1：グラウンドの水たまりはいつの間にか消えていますよね。あれはなぜですか。

C1：水たまりの水が地面にしみこんでいるからです。

T2：そうですね。それは、前回の「雨水のゆくえ」の学習で学びましたね。では、ビーカーの水は何で減ってしまったのですかね。不思議ですね。分かる人はいますか。

C2：水が空気と同じようにふわふわ浮いて、ビーカーの上から出ていったんです。

C3：水が蒸発していなくなったから、水の量が減ったんだと思います。

T3：え、蒸発ってどういうことかな。みんな蒸発って分かりますか。

C4：水が上の方から乾いていくことだよ。

C5：空気と混ざりながら上に上がっていくんだよ。

C6：付け足しで、日光が当たって、温かくなって水が上に上がるのだと思います。

児童は個々で、ビーカーの中の水がなくなる現象のイメージをもっていた。しかし、現段階では「蒸発」「乾燥」「日光」「温度」などの様々な用語を、十分な意味を理解せずに扱い、説明をしていた。そこで、不確定的なイメージを明

確にするため、個々がイメージする現象の様子を、図と言葉で説明する活動を行った。個人思考の前に、「空気と水」の単位と同様に、初歩的粒子概念①から③を確認し、水の粒がどう変化することにより、ビーカーの水が減るのかを、2ステップ（現象の前後）で記述するよう指導した。児童の記述を分析すると主に2つの表し方に分けることができた（図4）。E児は「はじめは、水の粒がくっついてぎっしり詰まっています。水の粒が日光によって温められて、空気と同じようにふわふわ浮くことのできる状態になります。そして、空気と混ざりながら上に上がっていくと思います。」と、ノートに記述した。「最小単位の水の粒が集まることで、水として肉眼で見えるようになること」、「温められることにより粒同士が引き離されて空気中に広がること」という仮説である。学級内では、この仮説が最も多かった。一方F児は「水の粒は、もともと一粒一粒が空気の粒より大きい。それらが集まって水をつくっている。それが、日光（熱）によって、さらに小さくなって空気中に出ていく。」とノートに記述した。イメージ図では、水の粒が複数集まってできた大きな粒をビーカー内に描き、日光が当たることによって最小単位の水の粒まで碎かれ、空気中に出ていく様子を表した。

初歩的粒子概念を導入することにより、水から水蒸気に変化する流れを、粒を用いて整理することができていた。特に、E児のように、最小単位の水の粒を整然と並べ、粒の数を数えやすいように工夫したり、大きさをそろえたりしながら考えを整理する姿が多く見られた。学級内では【E：25名 F：4名 その他：5名】という比率で考えが分かれた。その後、ラップをしたビーカーと、ラップをしていないビーカーの比較実験を行い、ラップをしたビーカーの内側に水滴がつくことを全体で確認した。考察場面では「ビーカーの中の水の粒は、いったん目に見えない粒になってラップにくっつき、その粒がラップにどんどんたまって目に見えるようになった。ラップをしていないビーカーは、くっつく場所が上にないので、そのまま空気中に出て行った。」「ビーカーの水は、湿気（見えない粒）になって空気中に出て行った。ラップに水滴がついたのは、湿気がラップについたから。」というような児童の記述が見られた。本時のまとめは、子どもたちの言葉を用いて「水は、水面から目に見えないとても小さな水のつぶ（水じょう気）となって、空気中に出ていく。」とした。また水蒸気は、これ以上分けることのできない小さな水の粒であるということも全体で共有した。

② 空気中の水蒸気を水滴に変える実験

前時の学習では、初歩的粒子概念を扱うことにより、水を構成する粒（粒子）を意識しながらビーカーの水が減る現象の仮説を立てることができた。しかし、仮説を立てる段階では、水の粒の捉えが、最小単位の粒（水蒸気）として表す児童と、水滴（水蒸気が集まってできた粒）として表す児童とに分かれ、初歩的粒子概念指導後においても、粒子の捉えた方に差があるということが分かった。そこで、第3時では、身の回りにはある水蒸気を水滴に変える実験を通して、水蒸気と水についての理解を深めた。本時は「水蒸気はどんなところに存在するのだろうか。」という課題を児童に提示した。「目に見えないくらい小さい粒だから、どこにでもあると思う。」「締め切った棚の中なら、水蒸気が少ないかもしれない。」と、意欲的に予想する姿が見られた。水蒸気は冷やすことで水滴になることを教師実験で確認し、各班で実験を行った。その後、考察時に水蒸気が水滴になる様子を図で整理する活動を行った。G児は「水じょう気の粒が、容器の周りに集まって冷やされ、水てきになる。水じょう気はとても小さいので、どこにでもあると分かった。」と記述し、

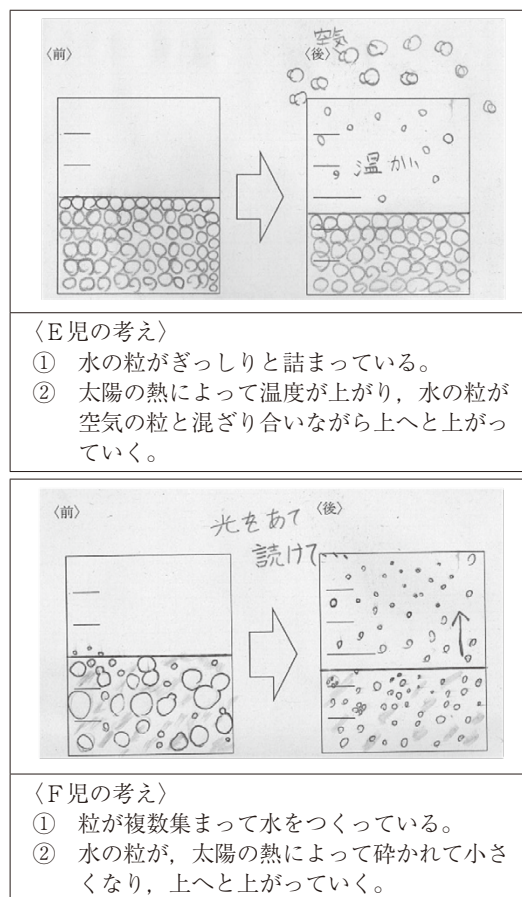


図4 ビーカーの水がなくなるイメージ図と説明

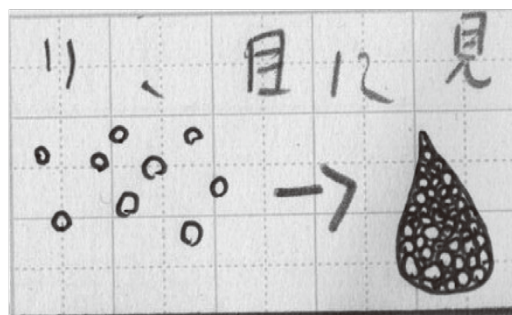


図5 G児が描いた状態変化のイメージ図

図5のイメージ図を描いた。G児のイメージ図を全体で共有し、本時のまとめに加えた。

5 今後の成果と課題

(1) 成果

今回の実践では、「空気と水」「自然の中の水」の2つの単元に初歩的粒子概念を取り入れ、児童の粒子概念形成に有効かどうかを検証した。「空気と水」の単元では、初歩的粒子概念を取り入れることにより、密閉空間で圧縮されたときの空気及び水の粒子の変化について、児童が粒子を実体的に捉え、より明確なイメージをもって考えを整理することができた。特に、実験前後での粒子数や大きさをそろえてイメージ図を描くことは、質量保存の考え方の定着につながると考えた。この単元においては87%の児童が粒の大きさや変化に着目しながらイメージ図を描くことができた。また、「自然の中の水」では、蒸発前後の水の粒を数えやすいように工夫したり、大きさをそろえたりして思考を整理していた。初歩的粒子概念の導入と継続的な活用は、児童の粒子概念の素地形成に大きく影響するということが分かった。

(2) 課題

初歩的粒子概念を取り入れることにより、児童が水の粒（粒子）に目を向けて、現象のイメージをもつようになった。しかし、「自然の中の水」の学習を行う中で、「目に見えないほどのとても小さな水の粒＝最小単位の粒（粒子）」としてすぐに認識できない児童がいた。「それ以上分けることのできない、最も小さい粒」という考え方が、児童には理解しにくい考え方であるということが分かる。目に見えない世界を図に表現しながら説明する活動を積極的に取り入れ、可能な限り、事象に合致したイメージ図を描けるようにしていかなければならない。

6 今後の展望

児童に自由に発想させ、自然の事象を説明させることはとても大切だと考える。しかし、自由に発想させすぎてしまうことにより、教師側が考えを集約できなかったり、多様な考えが出すぎてしまうことによって児童が混乱したりする場合もある。それを防ぐためにも、ある程度の基礎的知識を共有し、全体で土台をそろえてから自由に発想させることは必要な手立てだといえる。本研究では、2つの単元で初歩的粒子概念を取り入れ、継続的に指導を行った。「水の3つの姿」「ものの体積と温度」等、本研究以降も続く粒子領域の単元においても継続した指導を行い、現象を質的・実体的に捉える力を養っていきたい。

7 引用及び参考文献

- 1) 文部科学省：「小学校学習指導要領（平成29年告示）解説 理科編」，2017
- 2) 文部科学省 国立教育政策研究所：全国学力・学習状況調査報告書，2018
- 3) 菊池 洋一，武井 隆明，三田 正巳，高橋 治，村上 裕：「粒子概念の位置づけと物質学習カリキュラム」理科教育学研究，Vol49，No1，2008
- 4) 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，2018
- 5) 菊池 洋一，高室 敬，尾崎 尚子，黄川田 泰幸，村上 裕：「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，No3，2014
- 6) 学校図書「新しい理科 小学校6年」，2020
- 7) 三木 勝仁：「物質のつくりに対する児童の認識の更新を表現する，モデル図を活用した系統的な指導」北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要，第26号，2014