

[理 科]

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 -

竹内 淳*

1 はじめに

小・中学校を通じた理科学習内容の一貫性が重視され、小学校および中学校の学習指導要領解説には、学習内容の系統性を表にして示すことでカリキュラムの構造化を図っている。構造化の柱は、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」という科学的な見方や概念である。また、学年ごとの単元の系統性も合わせて記載され、学習内容と単元両者の視点から系統性を重視している。小学校理科の学習内容を見ると、単元ごとの系統性は指導書等に明記してあり、系統性を考慮した指導計画を作成し実践している。しかし、学習内容の系統性に関しては系統性を意識した授業を展開しているかと問われれば、答えにくいのが現状である。系統性の強い理科において、獲得した学習内容を基盤とし、その学習内容に系統性を持たせて実践し発展させていくことは小学校段階においても重要であると感じていた。中でも目に見えない現象を「粒子」という科学的な見方や概念（粒子概念）をモデル化して捉えることは、重要な概念形成の一つである。このことは、中学校での粒子概念形成に向けて、土台作りができ、小中のつながりが生まれてくるものと考え。粒子概念をモデル化することに対して、漆畑（2015）は、「粒子を用いて説明するには、粒子モデルを取り入れた環境をデザインし、指導を展開していくことが有効ではないかと考える。粒子モデルを用いる実践的な研究は、単元における粒子の位置づけを明確にする上で有用な示唆が得られる可能性がある。」と述べている。粒子概念をモデル化する際に大切なことは、単発の実践で終わることなく継続させていくことである。そのため、年間を通して粒子概念の系統性をもたせた継続的、発展的な単元構想ならびに授業実践の必要性を感じ取り組んだ。第4学年理科では、「とじこめた空気と水」「物の体積と温度」「水のすがたと温度」「物のあたたまり方」と、粒子を用いて現象を捉える学習が多く配列されている。しかし教科書において、粒子をモデル化して現象を捉える単元は、「とじこめた空気と水」のみであり、年間を通して粒子概念を活用しながら現象を捉えるようには構成されていない。液体や気体の温まり方を粒子概念を用いて捉えた先行研究はあるものの、年間を通じた研究ならびに金属の温まり方に着目した研究は見られない。本研究では、「とじこめられた空気と水」で形成された粒子概念を活用・発展した授業を構想し、実践することにより、小学校段階における粒子概念がどのように創り出され、創り変わっていくことを「物のあたたまり方」を中心に考察、分析した。

2 研究の目的

小学校第4学年において、年間を通して「粒子」の科学的な見方や考え方に特化した単元を構想し、教材と学習過程を工夫して実践した。身の回りの事物・現象を粒子概念を用いて説明したり捉えたりすることを分析することで、年間を通じた実践の有効性を明らかにする。

3 研究の方法

授業実践は、J市小学校第4学年1学級（24名、男子12名、女子12名）で、平成28年9月～平成29年2月まで期間行った。「とじこめた空気と水」「物の体積と温度」「水のすがたと温度」「物のあたたまり方」の4単元において、粒子を用いて現象を捉えることを中心に授業構想および実践を通して、子供の捉える粒子概念の変容を分析した。授業実践では以下の3点を意識して行うことにした。

① 現象とのかかわりから生まれる思いや疑問を基に探究する

現象を観察・実験することで課題を見だし、課題解決方法を考え、実験で得た結果を基に、考察し結論を導き出すことは、科学的な見方や考え方を高める。この過程で大切なことは、現象と十分にかかわることにより生まれてくる個々の思いや疑問を大切に、探究活動を構想することである。これまで養われた資質・能力を発揮しながら、自分の

* 上越市立大手町小学校

事として課題に向かう姿勢を培うためには、課題を解決する場と時間を確保することと、子どもなりの考えを意味付けし、認めることが大切であると考え。

② 活動と生活経験とをリンクすることにより、活動の有用性を実感する

本研究で実践する4単元の内容について、日常生活の中で個人差はあるものの何らかの経験をしている。生活経験と学習活動と絡めて進めていくことは、子どもにとって学習活動がより身近なものとなり探究力を発揮しながら取り組めるものになると考える。さらに、理科を学習する意義を体得できるものと考え。金属の温まり方では、素材の異なる鍋で調理し、具材の温まり方の違いに出会う場を設定することで、他の素材ならどうなるのかと課題追究へとつながりが生まれてくるであろう。課題追究による熱伝導率の差異が実生活で活用されていることに気づくことにより、活動の有用性を実感できるものと考え。

③ 段階を経ること、イメージ図を用いることで、自分の考えを創り上げる

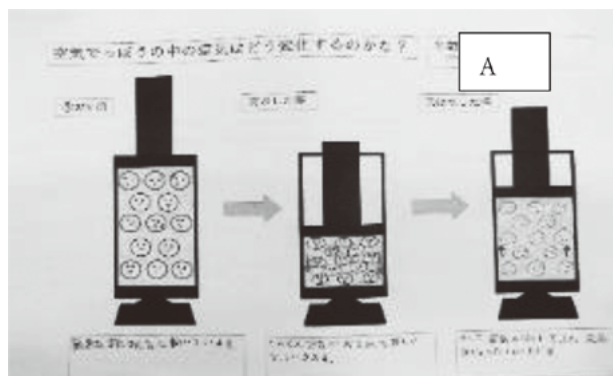
目の見えない世界で起こっている現象を子ども自らが考え、関係付けることは論理的思考力を発揮する上では重要である。その際、言葉だけの表出には限界がある。そこに年間を通して培ってきた粒子概念の考えをイメージとして取り入れることにより、子どもなりに捉えた現象を創り出しやすくなると考える。

4 研究の内容及び実践

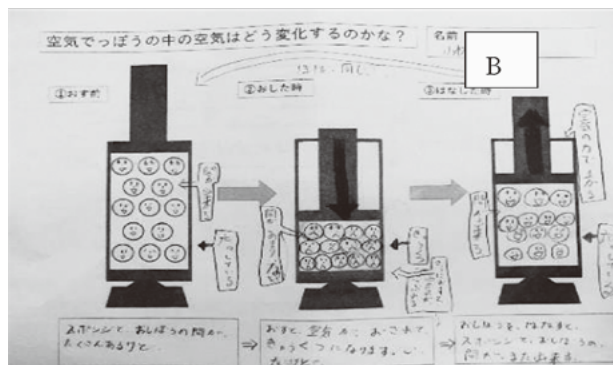
系統性を意識した年間を通した実践

(1) 「とじこめた空気と水」の実践

導入では、空気でっぼうを使い、思いっきり遊ぶ活動からスタートした。的あて、射的、遠く飛ばしなど子供たちが思考を凝らした遊びを展開した。その過程で子供たちは、「速く飛ばしたい」「遠くに飛ばしたい」という思いや願いを持つようになり、試行錯誤しながらその方法を探っていった。その過程で、後玉が前玉に触れる前に前玉が飛び出たことを疑問に感じ、その現象を観察し、空気でっぼう内部の様子を空気を粒子として捉えて表記するイメージ図を取り入れ考えていった。子供たちの創り上げたイメージ図を示す(図1)。教科書にも取り上げられているため、比較的スムーズに思考していった。そのイメージ図を分析していくと、図に内在した粒子概念を用いた考えの相違が読み取れた。2人のイメージ図は一見すると相違なしに見とれるが、図に付加した言葉を読み取るとその違いが見えてきた。押す前では、Aは「最初は空気は元気に動いています」と空気は自由な状態にいると捉えているが、Bは「スポンジと押し棒の間がたくさんある」と粒子に加えて粒子間の空間概念を用いている。さらに離れた時では、「そして空気がおして、元気な状態に戻ります」と粒子に着目して捉えているが、Bは「押し棒を離すとスポンジと押し棒の間がまたできる」と粒子間の空間に着目して考えている。イメージ図に表れていることとイメージ図に内在した考えには相違が見られ、粒子概念を用いて考えを創る際には、イメージ図に内在した意味を言葉で表出させることで、子どもなりの考えがより明確になることが分かった。粒子で現象を捉えていくうえで抑えなければならないことが、粒子の数である。押す前の粒子の数と押した後の粒子の数が増えている子供には、全体に投げかけ空気は漏れていないので空気の量は変化しないこと＝粒子の数も変化しないことを確認した。さらに、イメージ図で表現する価値



〈押す前〉	〈言葉〉最初は空気は元気に動いています
〈押した時〉	〈言葉〉どんどん空気がおされて苦しくなっています
〈離れた時〉	〈言葉〉そして空気がおして、元気な状態に戻ります



〈押す前〉	〈言葉〉スポンジと押し棒の間がたくさんあるけど
〈押した時〉	〈言葉〉おすと空気がおされてきゅうくつになります
〈離れた時〉	〈言葉〉押し棒を離すとスポンジと押し棒の間がまたできる

図1：児童のイメージ図

を実感させたいと考え、各自のイメージ図の妥当性を立証すべく、検証実験に取り組んだ。検証実験と言っても、目に見えない空気の変化を可視化することは非常に難しい。しかし子供たちは、可視化させることに興味を示し、生活経験をもとに空気の可視化方法を考えていった。様々な検証方法を考え、実験可能な方法を共有し、「空気でっぽうにシャボン玉を入れると、シャボン玉の形がイメージ図のように変化するのではないか」とする考えを創り出した。そして検証実験を行った(写真1)。検証実験では、シャボン玉が何層にも重なり、シャボン玉が空気に置き換えられたと捉えた。そして力を加えるとシャボン玉が縮まり、離すとともに戻る現象を観察することで、自分のイメージしたことを目の前で見る事ができた。描いたイメージが科学的に正しいかどうかは別として、目に見えない空気の変化をイメージし、そのイメージを検証することで、粒子概念を用いたイメージ図の有効性を実験を通して立証することができた。



写真1：検証実験

(2) 「あたたまり方のひみつ」の実践

本活動に系統性がある「物の体積と温度」の学習では、空気や水、金属を温めたり冷やしたりすると体積が増減することを学習した。その中で素材によって体積の増減量には差異があることを明らかにした。金属や水、空気に対する関心を高めた子どもは、探究力を発揮しながら活動していた。鉄板を温める実験から「火から離れたところも温まっている」、「どんな順序で温まっていくのか」など気付きや疑問を抱き、鉄板の中を熱が伝わることで温まる現象を自分なりにイメージ図で表現し現象に対する考えを創り上げた。その過程で子どもは、他の素材ならどうかと思考をつなげていった。素材には、熱伝導率が鉄【 $80.4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 】と比べて高い素材の銅【 $396 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 】と低い素材のステンレス【 $16.7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 】を取り上げた。子どもは、実験を通して温まる速さの差異に出会い、素材の中で起きている現象を粒子を用いて論理的に説明してきた経験を生かし、鉄板のイメージ図を基に創り変えることで、現象を自分なりに捉えていく。単元の展開は以下の通りである。

第一次「金ぞくのあたたまり方」

- ・鉄を温める実験を行い、鉄の温まり方についてイメージし考察する。
- ・様々な素材の温まり方について実験を行い、温まり方の違いをイメージし考察する。
- ・厚さの異なる素材の温まり方について実験を行い、温まり方の違いをイメージし考察する。

第二次「水のあたたまり方」

- ・水の温まり方についてイメージし、検証方法を考えて実験し考察する。

第三次「空気のあたたまり方」

- ・空気の温まり方についてイメージし、検証方法を考えて実験し考察する。

ア 鉄板の温まり方についてイメージし考察する活動

鉄板をアルコールランプで温め、その温まり方をイメージ図で表現し温まる現象を捉えた。具体的には、鉄板上に感熱紙を貼り、感熱紙の変化により目に見えない熱伝導を視覚的に捉えるようにした。児童は温めた場所から同心円状に熱が伝わっていくことについて、イメージ図を用いて温められた鉄の粒子が近隣の粒子へと熱を伝えていくようなイメージを創っていた(図2)。

Cは、熱が温めた中心部から同心円状に広がっていくことを捉えていた。中心部の粒子が温まり、その後ろの粒子へと熱が伝わって行くことを矢印と温度の変化で表現していた。そして同

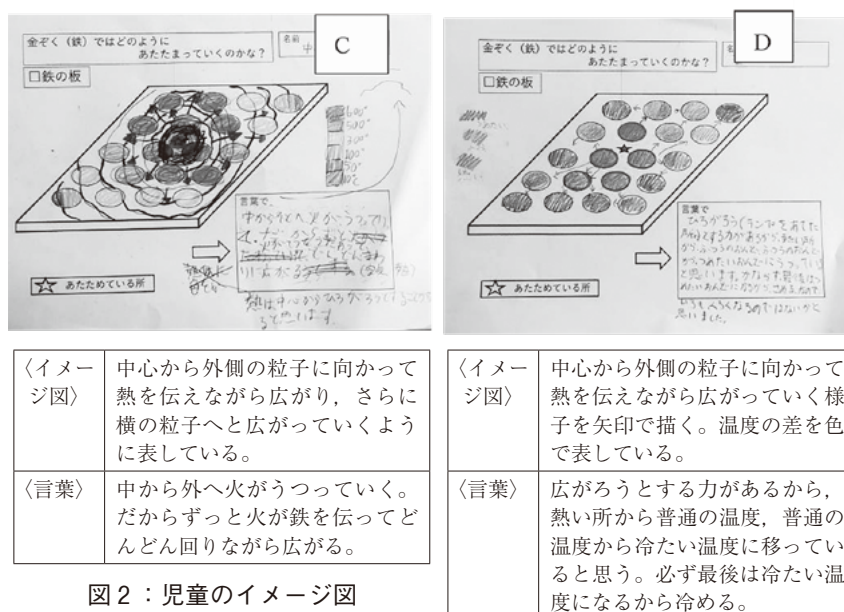


図2：児童のイメージ図

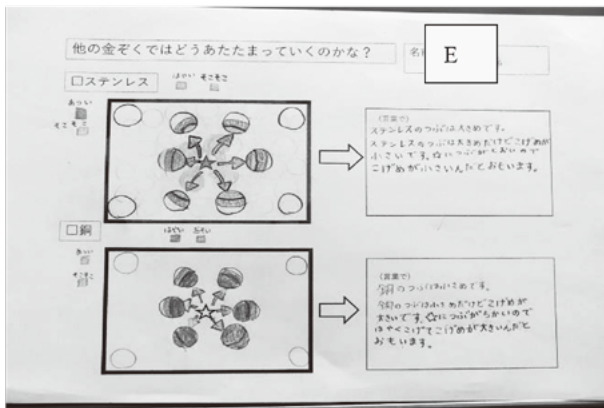
心円状に熱が伝わっていくことから外部粒子への熱伝導の速さは同じであることを捉えていた。Dは、中心部の熱が、外部の冷たい粒子へと移っていくため、時間差が生まれるが、最後には全体の粒子に熱が伝わり温まると捉えていた。

イ 様々な素材の温まり方について

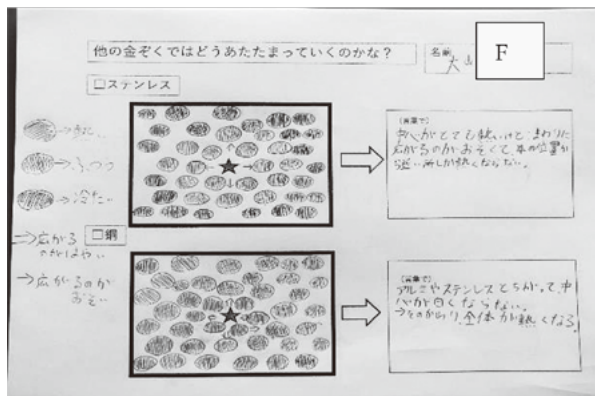
鉄と見た目では同じような素材の銅板とステンレス板を提示し、どのように温まっていくのだろうと問うことから始めた。素材の色や光沢が異なるが同じ金属であることから、当然子どもは鉄と同じように温まっていくと予想した。実験では、金属板の表面に感熱紙（加熱により黒く変色する）を貼り、温まり方の変化を観察した（写真2）。アルコールランプを当てると当てた個所から徐々に温まっている様子が見られた。その際、一瞬で終わる現象を再度観察できるようにipadを用意し録画しながら実験を行った。ipadで録画すると再生できる上、時間表示があるため、温まり方の違いを捉える上で有効であった。銅板では、アルコールランプの当たる場所がすぐに黒く変色し、その後素早く同心円状へと黒く変色していった。一方、ステンレス板では、銅板と比べて、変色が始まるのに時間がかかり、それに伴い全体の変色にも時間がかかった。この結果から、銅板の方があたたまるスピードが速いことが明らかになったため、現象から見いだした熱の伝わる速さが異なることをこれまで培ってきた粒子概念を活用しながらイメージ図で表現した。見た目は同じような金属板でも温まる速さは異なることを説明しようと取り組み、イメージ図(図3)を創り上げた。



写真2：活動の様子



〈ステンレス〉	〈図〉 粒子間の距離を広くとっている 〈言葉〉 ステンレスの粒は大きめです。ステンレスの粒は大きめだけど、焦げ目が小さいです。中心に粒が遠いので、焦げ目が小さいと思います。
〈銅〉	〈図〉 粒子間の距離をステンレスより狭くしている。 〈言葉〉 銅の粒は小さめです。銅の粒は小さめだけど、焦げ目が大きいです。中心に粒が近いので早くこげて焦げ目が大きんだと思います。



〈ステンレス〉	〈図〉 ステンレスの方が粒子間の距離が広い。 〈言葉〉 中心がとても熱いけど、まわりに広がるのが遅くて、中心の位置から近い所しか熱くならない。
〈銅〉	〈図〉 ステンレス・銅粒子の大きさは同じである。 〈言葉〉 アルミやステンレスとちがって、中心が白くならない。そのかわり全体が熱くなる。(白は黒の誤記)

図3：児童のイメージ図

Eは、粒子の大きさを大き目にしているが両者とも大きさに差異はない。図を見るとステンレスの方が粒子間の距離を広くなっているため、温まる速さが遅くなるかと表現している。言葉では、ステンレスでは、「ステンレスの粒は大きめです。ステンレスの粒は大きめだけど、焦げ目が小さいです。中心に粒が遠いので、焦げ目が小さいと思います。」（筆者下線）と記述し、銅では、「銅の粒は小さめです。銅の粒は小さめだけど、焦げ目が大きいです。中心に粒が近いので早くこげて焦げ目が大きんだと思います。」（筆者下線）と記述していた。Eは、ステンレスが遅くなる理由を、「粒の大きさ」「粒子間の距離」の2点で説明していた。

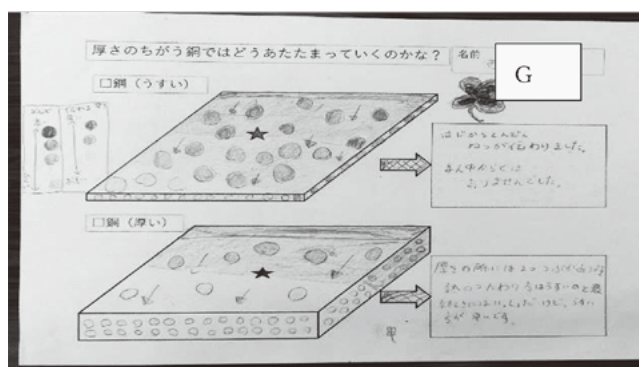
Fは、図では、ステンレス・銅粒子の数、大きさは同じであるが、ステンレスの方が粒子間の距離を広く描いている。

熱の伝わる様子を「→」と「⇒」で表すことで、熱の伝わり方の違いを表していた。言葉では、ステンレスでは「中心がとても熱いけど、まわりに広がるのが遅くて、中心の位置から近い所しか熱くならない。」と記述し、熱が中心にとどまり、まわりに熱が伝わりにくくなっていることを説明していた。銅では、「アルミやステンレスとちがって、中心が黒くならない。そのかわり全体が熱くなる。」（筆者下線）と記述し、中心の熱がその場にとどまらず、外へと伝わっていき全体が温まっていくことを説明していた。

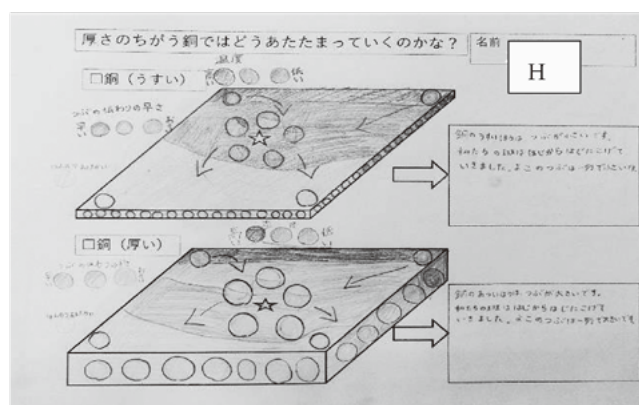
E, Fともに、金属により温まる速さの違いを粒子間の距離の差で説明していた。さらに、粒子の大きさの違いに着目し、粒子が大きいほど保持する熱量が大きくなり、粒子に含まれる熱が満タンになるまでに時間がかかるため外へと熱を伝えづらいと解釈できる考えを創っていった。

ウ 厚さの異なる素材の温まり方について

厚さの異なる銅板を提示し、どのように温まっていくのだろうと問うた。前活動では、ステンレス板より銅板の方が速くあたたまっていくことを見つけ出した。その経験を生かし、子供たちは薄い銅板の方が速くあたたまるのではないかと予想し実験を行った。その後、銅板を温める実験を行った。薄い銅板では、アルコールランプの当たる場所がすぐに黒く変色し、その後素早く同心円状へと黒く変色していった。一方、厚い銅板では、薄い銅板と比べて、変色が始まるのに時間がかかり、それに伴い全体の変色にも時間がかかった。この結果から、薄い銅板の方があたたまるスピードが速いことが明らかになったため、これまで同様に理由をイメージ図で表現した(図4)。



〈銅：薄い〉	〈図〉 銅板の断面には1つの粒子を描き、中心から外側の粒子へと熱を伝えている。 〈言葉〉 熱はどんどん伝わっていきました。
〈銅：厚い〉	〈図〉 厚い銅板では2つの粒子を描いている。 〈言葉〉 厚さの所にはつぶが2つあります。熱の伝わり方は、薄いのと最終的には一緒だけど、薄いほうが速いです。



〈銅：薄い〉	〈図〉 粒子の大きさは厚い方より小さく描いている。中心から外側の粒子へと熱を伝えている。 〈言葉〉 薄いほうは粒が小さいです。横の粒は一列で小さいです。
〈銅：厚い〉	〈図〉 薄い方より、粒を大きく描いている。断面にはかなり大きい粒を描いている。 〈言葉〉 厚い方は、粒が小さいです。横の粒は一列で大きいです。

図4：児童のイメージ図

Gは、銅板の厚さを断面の粒子の数で表し、薄い銅板の断面の粒子の数は1つ、厚い銅板の粒子の数は2つとし、熱が粒子から粒子へ伝わるまでに時間がかかることから、薄く粒子が1つの銅板の方が早く温まるのではないかと考えを創った。そして両者とも最終的には銅板全体に熱が伝わったと記述し、熱は伝わるが速さだけに差異が生じることにも気づいていた。それに対してHは、粒子の大きさに違いを付けていた。薄い銅板は小さい粒子を描き、逆に厚い銅板は大きい粒子を描いていた。粒子の大きさによって、熱がいっぱいになる時間に差が生じ、熱がいっぱいになると外側の粒子へと熱を伝えることで、熱伝導の時間差を表現していると解釈できる。これまでの学びを生かし、条件が違う場合でも粒子概念を使いながら表現する姿が見られた。

5 研究の考察

① 現象とのかかわりから生まれる思いや疑問を基に探究する

今回の研究では、導入時における体験をいかに創り、疑問や課題を創るかがポイントであった。「とじこめた空気と水」の実践では、空気であらうで遊ぶことで、遠くに飛ばすためにはどのようにしたらいいのかという課題を解決するため、粒子概念を用いたイメージ図の作成、その妥当性を証明する検証実験を行った。また、「あたたまり方のひみつ」の実践では、種類の異なる鍋でホットケーキを作ることから始め、熱伝導の違いを粒子概念を用いて捉えた。本研究を通して、体験から生まれる疑問を探究してこそ学びが生まれると感じ、理科教育で大切にしなければならない部分が明らかになった。

② 活動と生活経験とをリンクすることにより、活動の有用性を実感する

空気の体積変化や熱伝導率の違いを粒子概念を用いて捉えることが、自分たちの生活経験とつながり、日常生活と密接な関係があると実感できるようにした。現象を粒子概念を用いて明らかにすることが、実生活における様々な仕組みを解き明かすことになる有用性を実感することができた。

③ 段階を経ること、イメージ図を用いることで、自分の考えを創り上げる

熱伝導は中心の粒子に熱が帯び、外側の粒子へと熱を伝えていく現象を粒子概念を用いて現象を捉えていくことは4年生段階では可能である。目の前に起こる現象を粒子概念を用いて何とか説明する子供の姿、様相、イメージ図等から有効性は明らかになった。しかし、イメージ図だけでなく、言葉でイメージを言語化する必要があった。イメージ図には子ども自身が捉えた様々な要因が内在している。その要因をイメージ図のみから意味付けするには限界がある。そのため、イメージ図と言葉とを連動させることで子供が考える粒子概念がより明確に構築されてゆくことが明らかになった。

6 研究のまとめ

今回の実践では、年間を通して粒子概念を中心に科学的な見方や考え方を育成し、現象を自分なりに説明していく姿を目指して行った。また、現象を正しくとらえるだけでなく、小学校4年生段階で粒子概念を用いてどのような学びを創っていくのか、単元ごとの積み重ねによりどのように変容していくのかを考察した。現象を粒子で考えていくことは難しくはない。しかし粒子を使って現象を捉えていくためには、現象を科学的に見たり捉えたりする力やスキルが必要となる。そして意図的に系統性を意識した単元構成や授業構成により、粒子概念を使い現象を捉える力が育成される。粒子概念をモデル化してイメージすることは、4年生段階で難しく、誤解念を形成してしまう恐れがあるとの指摘もある。しかし、理科における小学校での「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」の内容の系統性を意識した単元づくりは、中高の素地を養うという意味が大きい。大切なことは、ただ単に粒子を取り入れたとしても考えは生まれてこない。年間を通して繰り返し考えることで自分なりの考えが構築されていくのである。そのためには、年間を見通した中での単元構成があり、その中で培って初めて生まれてくると考える。

7 引用および参考文献

- 1) 文部科学省：「小学校学習指導要領解説理科編（平成20年8月）」、2008
- 2) 森本信也著：「考え・表現する子どもを育む理科授業」東洋館出版社、2007
- 3) 森本信也著：「子どもの学びにそくした理科授業のデザイン」東洋館出版社、1999
- 4) 片平克弘：「物質概念を形成するための「粒子」という見方をどのように考えるか物質概念形成に必要な粒子的な見方や考え方の育成－粒子理論の論争と子どもの粒子観から見えてくるもの－（理科の教育2008年10月号）」東洋館出版社、2008
- 5) 漆畑文哉：「小学校理科「物の温まり方」の変遷と指導上の課題－学習指導要領と教科書の分析より－」日本科学教育学会研究会研究報告Vol.29, No.9, pp.1-6, 2015