

理 科

見えない世界を思考する力を育む理科授業

—第4学年児における粒子の概念形成を中心に—

升 岡 智 子

1 問題の所在と研究の目的

PISA調査の「科学的リテラシー」として注目されている能力¹⁾や、現行学習指導要領における問題解決の三つの重点の考え方²⁾から、理科の学習においては、子どもが疑問を持ち、様々な証拠を収集、分析し活用に結び付けていくことが重要であることを示していると言える。

また、平成24年度全国学力・学習状況調査結果の「理科についての教師の意識と平均正答率に関する分析」³⁾では、「児童の視点をより意識した学習指導が重要」⁴⁾とのべられている。さらに「児童一人ひとりの考えを顕在化しながら、児童が問題解決を自分のこととして展開できるように指導することが大切である。」というポイントも示されている⁵⁾。このことから、子どもが疑問を持って、様々な証拠を収集、分析し活用に結び付けていく問題解決の流れを効果的に行うためには、子ども一人ひとりが参加した学習を進めることが重要であると言える。

子どもの学習へのかかわりは様々なものに影響される。学習内容や教材に対するもの、仲間とのかかわりに関するものといったものである。

まずは、学習内容や教材に対するかかわりについて考える。これには子ども一人ひとりのレディネスが大きく関わってくる。小学校段階においては、レディネスは既有的知識だけでなく子どもの認知の発達段階も考えなければならないであろう。角屋(2013)は四段階にわけられた子どもの認知の発達段階のうち、七歳から十一歳までの具体的操作期に獲得する操作や概念を挙げている。操作は①系列化、②分類、③保存性、④可逆性、⑤同

一性、⑥補償の六点である。概念では、数や空間、時間、速度が獲得されるとある。また、十一歳から十五歳までの形式的操作期では、内容と形式を分離できる論理的思考が成立し、可能性の問題や事実に反する仮定的な出来事について仮説演繹法などが適用できるようになると述べている⁶⁾。このことから十歳前後の小学四年生は、具体的操作期から形式的操作期に移行し始める準備期間とも言える。この時期に子どもがモデルを使って説明する活動を仕組むことは、発達段階において効果をもたらすのではないかと考えられる。

また、教材との出合わせ方も大切である。八嶋(2009)は、追求すべき事象に子どもの目を向けるためには、「追求の対象となる事物・事象の視点を教師がしっかりと定め、子どもとの楽しい出会いを演出する」導入の工夫が必要である⁷⁾と述べている。さらにその工夫には、どこでどのように提示するかも必要である。野々村(1986)が述べているように、単元の導入、終末か単位時間の導入、終末といった4つの場面⁸⁾のどこを活用していくのか教材に合わせて考えておかなければならない。出合わせ方によって教材の問題が自分自身の課題となり得ると考えられる。

次に、子ども一人ひとりが学習へ参加するために有効と考えられるのは、課題設定から考察までの間に取り入れることのできる仲間とのかかわりである。話し合い活動を行うためには、自分自身で理解したことを説明し、友だちが言っていることについて考えることが必要となってくる。自己説明による学習の促進については、伊藤(2007)が他者説明を行った場合、被説明者にわかるように「筋を通す」ことが必要だという働きによって、

結果として理解へとつながり、逆に自己説明のみの場合は自らの理解状態をモニタリングするのみで終わってしまい、なぜそうなるのかという深い理解にまで到達しないという示唆をしている⁹⁾。このことから、容易に解決しない問題を子どもが話し合い、お互いに納得し合いながら解決していく過程を経る学習を仕組みれば、より深い理解へと達することができると考えられる。

ここで、容易に解決しない問題の判断材料として、現行学習指導要領下の各検定済み教科書¹⁰⁾で教科書会社によって扱いに差があるものを考える。小学校理科の内容においては、現行の学習指導要領によって整理された粒子分野の扱いにあいまいさが顕著にみられる。例えば、第4学年「空気と水の性質」に関する単元を調査すると、空気や水の圧縮されるイメージ図を、粒のみを使用して表現しているものは3社、それ以外のモデルと粒モデルを併用しているのが1社、色の濃さや矢印、雲など粒以外のモデルを使って表現しているものは1社であった。さらに、5年、6年で使用する教科書の多くが発展内容や、モデル図として粒を使用しており¹¹⁾、子どもたちは粒子というものについて考える十分な経験を経ずに、いつのまにか物質を構成しているものは粒であるという教科書のモデル図を目にすることになるのである。

しかし、酸素や二酸化炭素という物質については6年でふれるものの、原子や元素について学ぶのは中学2年になってからである。小学校の実践事例として、小林(2013)によるCGアニメーションの活用¹²⁾や、菊池(2013)が提唱するつぶつぶシート¹³⁾の使用によって、粒子の概念形成を助けることの有用性は示されているものの、いずれも先に粒子というものの存在を教授した上での学習となっている。

そこで、本研究においては、第4学年段階における子ども一人ひとりの主体的な理科学習に必要な内容の研究として、見えない世界である粒子の概念の元となる図を子どもたち同士で説明し合う活動を助けとして、一人ひとりが考えて描くことができるかどうかを確かめるものとする。

2 研究の方法

(1) 研究の方法

他者を意識した主体的な問題解決を基盤とし、子どもたちがお互いに認めたモデル図の変遷を調査することによって、子どもが直接見ることでできない粒子へとつながる概念形成が行われるかを検討した。また、主体的な問題解決が行われたかどうかは、子どもたち自身による課題設定の有無、学習に対する意識調査を検討材料とする。

(2) 研究の対象と時期

本研究で対象としたのは、広島県内の小学校第4学年の1クラス(39名)で実施された「物の体積と力」「物をあたためると」の単元である。授業は2013年9月から2014年1月に行った。

当初に予定したそれぞれの単元計画は以下の通りであった。

「物の体積と力」

第1次 空気を押すと・・・2時間

第2次 水を押すと・・・2時間

「物のあたたまり方」

第1次 金属のあたたまり方・・・3時間

第2次 水のあたたまり方・・・6時間

第3次 空気のあたたまり方・・・3時間

(3) 子どもの見方・考え方の事前調査と分析

平成25年9月3日に38名、9月13日に39名で対象の4年生に事前調査を実施した。

設問1では、金属の温度の伝わり方の認識度を確認した。TIMSS2007 調査問題を改訂して「金属の定規に、バターで豆がくっつけられている様子をかいたものです。定規の一方のはしを温めた場合、豆はどうなると思いますか。できるだけくわしく書きましょう。」という設問を設定した。

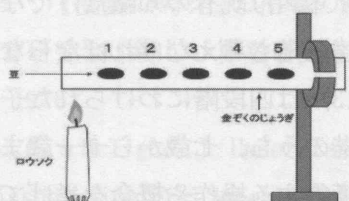


図1 設問1の図¹⁴⁾

表1 設問1の回答

熱の移動と関連付けて書いている	18名	46%	熱の移動を意識している
熱の移動と関連付けて書いていない。全部の豆が落ちることのみ書いている	4名	10%	熱の移動を意識しているか不明
熱の移動と関連付けて書いていない。熱源に近い一部の豆のみ落ちると書いている。	12名	31%	熱の移動を意識しているか不明
問いに対する答えが書いていない	5名	13%	誤答

調査結果では、豆が1から順に落ちていくという熱の移動を根拠として考えることができている子どもは約半数であった。また、全部の豆が落ちると回答しているものの順序性や熱の移動に関わるものが書かれていないものは、熱の移動を意識しているかどうかは不明であると考えられる。さらに、1の豆のみ、1から3の豆のみ落ちるといった回答は約3割であった。この回答に関しては、2種類の原因が考えられる。一つ目は、金属は熱移動が起こらないと考えている場合であり、二つ目はろうそくの火が小さいため端のバターが溶けるほどの熱はないと考えている場合である。そこで、調査後に子どもにマッチやろうそくに火をつけたことがあるかどうかを問うたところ、3分の1程度の子どもは自分でマッチやろうそくに火をつけたことがないという状況であった。

これらのことから、金属の熱の伝わり方については経験から知り根拠として挙げるができる子どももいるが、子どもたち同士で話し合いをするためには、実際に金属を温めて調べてみる体験が必要であると考えた。

設問2では、TIMSS2007 調査問題「ストローを使って水に息をふきこむと、あわができて上の方

にうきあがります。なぜあわは水の中でうきあがるのでしょうか。」を用いた。これは、空気と水の違いについて意識できているかを調査する問題として行った。

表2 設問2の回答

空気の重さに言及している ：正答	8名	21%	正答割合 67%
空気の性質（経験等）を書いている ：正答	14名	36%	
空気の重さについては書いていない ：正答	4名	10%	
重さや質問の問いに対する答えが書いていない ：誤答	13名	33%	誤答割合 33%

今回、空気の重さについて回答を分けたのは、第4学年の子どもたちにとっては浮力といったものの見方はまだ身につけていないことや、第3学年までの学習を根拠として考えるならば、あわが上にいくかどうかは重さで判断する方法が最も身近であることなどの理由からである。しかし重さ以外の根拠でも「空気が水から追い出される」などの回答や空気の性質にふれているような回答は正答とした。回答のうち表2の上から3番目は空気の重さについてふれずに書いているものでも、あわが水に対して軽いと考えているものについては正答とした。

また誤答としたものは約三分の一であったが、この中の回答ではあわは息や空気であると考えたところまでしか記述していない子どもが5名いた。この子どもたちは、考え方によっては正答となる場合も予想される。残りの8名のうち、「水圧によって引かれていく空気を押している」「力をぬけば浮かぶ」という回答に関しては、学習を進めていくうえで子どもたち同士の話し合いでも出ていきたいと考えた。

設問3「外で大きなお風呂をわかします。どの場所で火をたいたら一番早くわくと思いますか。」では、お風呂を効率的に温めるためには、どの位

置に熱源を置いたら良いのかということの水の対流をふまえ、考えているかどうかを調査した。

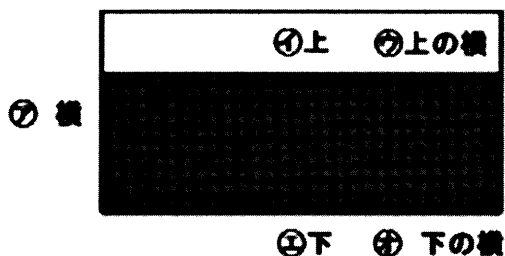


図2 設問3の図

表3 設問3の回答

温まった水の対流あり	3名	8%
熱の移動	0名	0%
対流か熱の移動か不明	14名	36%
生活経験などから	18名	46%
質問の回答になっていない等	4名	10%

回答では、約半数の子どもが今までの生活経験から考えている。ほとんどの子どもが料理の状況を考え、数名の子どもが風呂を実際にたいているところを見たことがあると答えている。

しかし、対流を挙げた子どもは3名であり、水の温まり方には熱の移動か対流か不明の子どもを合わせても半数以下であることから、ほとんどの子どもが水の温まり方や温まった水の対流を意識する場面が今までになかったと推測される。

そこで単元「物のあたたまり方」では、今まで子どもたちが考えることがあまりなかった対流というイメージをどのように持たせ考えていくかが重要になってくる。単元の流れとして、初めに考えやすい金属の熱移動を扱った後で水の対流を扱い、子どもたちの見方や考え方を養っていききたい。

(4) 方策

方策は、次の5点を中心に行った。

- ①自分たちで問題が見出せるよう、身の回りへの子どもの意識を高める。
- ②子どもたちが見出した疑問をもとに、子どもた

ちが主体となって課題を作る。

- ③単元内で系統性と発展性を持たせた学習内容とする。単元途中での改編も可能とする。
- ④内容に応じてグループ構成人数、実験の人数を変える。
- ⑤子どもたち自身が学習過程を見渡せるノート記録を行うようにする。
- ⑥どの課題についてもモデルを使った説明活動を取り入れる。

これらのうち、一人ひとりが学習に参加するための方策としては、方策①、②、④、⑤を主に活用する。また、他者を意識した主体的な問題解決を促すためには、方策④、⑥を主に活用する。さらに、粒子という見えない世界を可視化する手段として方策⑥を活用する。以下方策①～⑥について具体的に述べる。

方策①自分たちで問題が見出せるよう、身の回りへの子どもの意識を高める。

学校生活や身近なものの中に多くの知らないことがあることに気がつくよう、教室内で加湿器を入れると言った環境に配慮したり、つぶやきを取り上げていったりする。また、事前調査から子どもたちのレディネスを図り疑問をもつように演示実験等も検討する。さらに他単元や日常生活とも組み合わせて学習の幅を広げられるようにする。

方策②子どもたちが見出した疑問をもとに、子どもたちが主体となって課題を作る。

子どもが見出した疑問のうち、話し合いや実験・観察が、子どもたち自身が自分たちにとって必要だと判断したものを課題として設定していく。学習内の実験方法についてもできるだけ子どもたちが考えられるようにお互いの意見を出し合う時間を確保するようにする。実験方法については、グループ毎に異なるものも認め、協同的な学びづくりの素地を養っていく。

方策③単元内で系統性と発展性を持たせた学習内容とする。

子どもたちが作った課題を中心に計画を立てていくが、順番については意図的に学習が展開していくようにしていく。単元の途中でさらなる疑問

が出た場合は追加の課題を作成し単元内に入れるなどの検討をし、発展性をもたせるようにする。

特に本単元では、粒子についての見方・考え方を養うために空気や水を構成しているものがどういった状態になっているかという見えない部分の原因を考えていけるような単元内配列を意図する。

方策④内容に応じてグループ構成人数、実験の人数を変える。

一人ひとりが考えながら活動できるように人数編成を変えながら活動を行う。お互いのアイデアを出し合いながら実験を行う必要がある場合は4～5人のグループ編成とし、確かめの実験などは1～2人などが考えられる。

また本単元では、様々な実験結果から比較・検討していく視点を養うためグループ同士の結果を見ながら考えていく全体の場合も設けていきたい。

方策⑤学習過程が子どもたち自身で見渡せるノート記録を行うようにする。

特に本単元では、連続してモデル図を描いていくことを行い、単元全体を通して説明できる現象の要因について考えていくことができるようにする。図やイメージについては、自分で考えたものや話し合いや実験を行って考えたものなど自分自身の考えの変化などが分かるように記録する時間を確保するようにする。

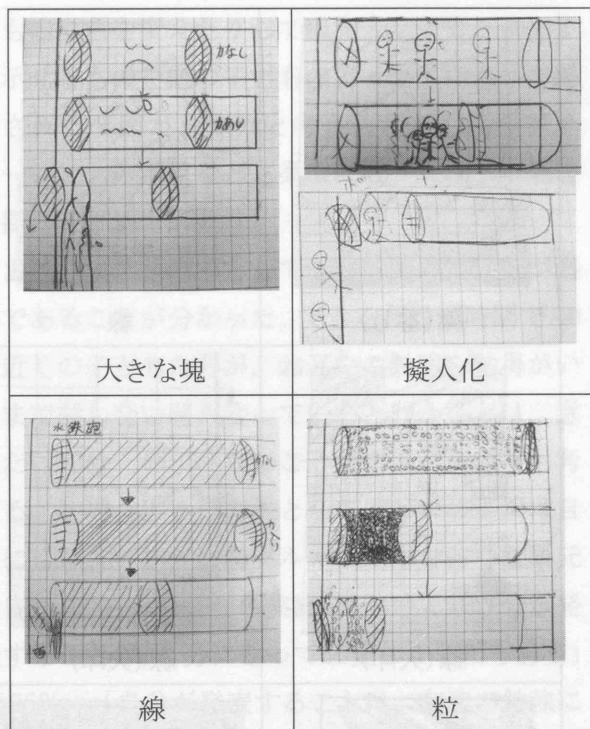
方策⑥どの課題についてもモデルを使った説明活動を取り入れる。

鷲見(2004)は、子どもの科学的イメージを引き出す6つの技法を「自由に表現できる場をつくる」、「見えない世界を焦点化する」、「繰り返す」、「図で考える」、「文字に頼らない発表」、「グループでの協同活動」としている¹⁵⁾。これらの技法も取り入れ、さらに一人ひとりがモデルを考えた上でのグループ活動を行うようにする。その上で、お互いが納得できるモデル図の検討を行っていく。

3 学習の実際

表4は始めに子どもたちが空気鉄砲を使った実験結果から空気の力を説明するために描いた図である。

表4 子どもによる空気の圧縮モデル

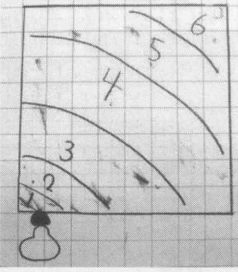
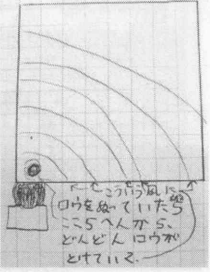
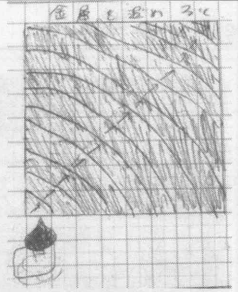
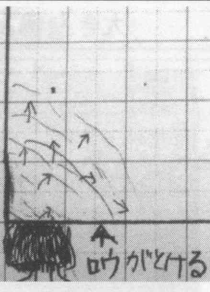
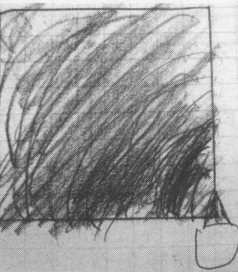
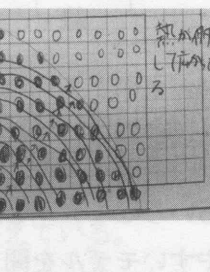
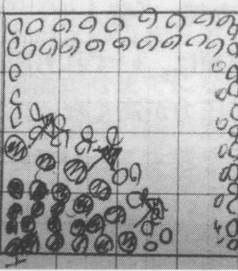
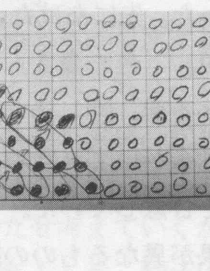


この時には、「大きな塊」「擬人化」「線」「粒」「色の濃さ」があり、大きな塊が一番多かった。いろいろなモデルを紹介したあとに子どもに分かりやすいモデルを聞くと、一番多かったのは「擬人化」で、次は線で表しているものであった。子どもたちは、それぞれの図を示しながら説明を行った。先にあげた「大きな塊」「擬人化」「線」「粒」「色の濃さ」の5種類は、いずれも圧力がかかる前、押し棒を押して圧力が高くなっている時、玉がはずれた時の様子を表すことができていると合意していた。また、水の実験でも空気とは結果が異なるものの図に変化はほとんど見られなかった。

次の単元では、金属の温まり方を扱った。子どもによる金属の温まり方のモデルを表5に示す。金属のあたたまり方を図に表した場合、前単元の空気と水の力を表すのに使った「擬人化」「大きな塊」といったものを描いた子どもはいなかった。金属という硬いものを表して説明する場合には使いにくかったものと推察される。この段階で残っ

たモデルは大きく分けて線と粒の2種類に大別される。

表5 子どもによる金属の温まり方のモデル

 <p>線(番号)</p>	 <p>線</p>
 <p>線(矢印)</p>	 <p>線(矢印)</p>
 <p>線(色の濃さ)</p>	 <p>粒と線(矢印)</p>
 <p>粒(矢印)</p>	 <p>粒(矢印)</p>

次は水の温まり方についての学習を行った。この実験では、子どもたちの発想が粒子の存在に関わるものになってきた。金属の温まり方を行ったあと、水はどのように温まっていくのだろうかという疑問から課題設定を行った。茶葉、砂、みそ、糸、温度計、サーモインクを加工して粒状にした

サーモインク、棒状にしたサーモヘビを使って実験を行った。それぞれの実験結果を伝え合った後、子どもたちの中で問題になったのが、熱だけ移動するのか、水だけ移動するのか、水が温まって移動するのかということである。熱だけ移動するという意見の根拠としては、金属は見た目も動いておらず、熱だけが移動したからというものであった。次に水が移動するという考えは2名であった。水が温まって移動するという考えを持った子どもは一番多かった。彼らは他の実験も複合的に合わせて考えて意見を出しており、最終的に温まった水が移動するという考えを持った子どもは3分の2程度に増加したが、全員とはならなかった。話し合いでは結論が出なかったために、子どもたちは結論を出すための実験を行うことを決めた。そこで全部の班で、サーモインクとみそを使って水の場合とその水を温めた場合についての観察を行うこととした。全ての実験を行った後に子どもが描いたモデル図を表6に示す。

表6 子どもによる水のあたたまり方のモデル

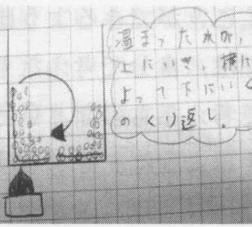
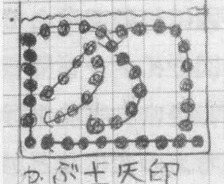
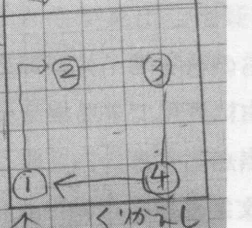
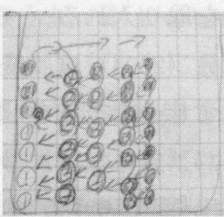
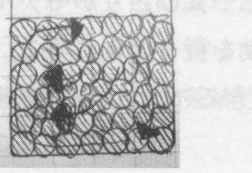
 <p>粒(矢印)</p>	 <p>粒(矢印)</p>
 <p>粒(矢印)</p>	 <p>粒(矢印)</p>
 <p>粒(矢印)</p>	

表6のモデル図を見ただけでは、金属の温まり

方と同じようなものも見受けられたが、モデルの図には絵として盛り込めなかったものの子どもたちは前時までの活動から見た目をもとにして金属は動かず熱だけ移動し、水は温まった水が動くと言葉によって結論づけていた。

なお、単元後の事前と途中の調査(平成25年5月、11月実施39名)で、行った子どもの意識調査では、「理科が好きだ」が85%と82%となっており、意欲の高さは続いていると考えられる。

4 成果と課題

子どもがお互いに説明をし合っていく中で、現象を表すのに使いにくいモデルが淘汰されてきた。最終的には、本当に小さい粒であるかどうかは確認できないけれども、粒で考えると友だちも自分も納得できる説明がしやすいということに気付いた子どもが多く、39名中36名の子どもが粒によって表現することを選んでいった。粒を選ばなかった3名の子どもは、矢印を積み重ねる方法を選んでいる。このことから、粒の考えに傾きながらも、見た様子を表すには、粒子のようなものについてのイメージより大きな塊の中で動きがあるというモデルの方が分かりやすいと考えた可能性が考えられる。

全員が表6のモデルを描いた際に、金属は動かず熱だけ移動し、水は温まった水が動くと言語づけることはできた。つまり金属は同じ場所で粒が熱をもっていき、水は温まったものから上へ移動していくという違いをも発見している。科学史においてドルトンがたどったように、自分の考えを十分吟味できるような環境があれば、説明のために最適なモデルの取捨選択を行っていく子どもが多いと推察されるのである。

しかしながら、今回の研究では大きな課題が2点残った。固定された平面図に描く難しさと、子どもたちの必要とする時間数の確保である。

固定された平面図に、変化するモデルを描く難しさは子どもたちの行動により明らかとなった。金属を温めるモデルを示した際に、子どもの一人

が粒を描くのではなく、粒を紙で作ってそれをもとに熱を帯びる様子を、色を変えることで示すと、その方が分かりやすくなったことである。最終的に粒を支持するようになったのも実際に動かせるものや色を変えたりして時間変化が分かりやすく示せるものを他の子どものアイデアによって提示された要因が大きいと考えられる。CGアニメーションの活用なども柔軟に取り入れる可能性も探っていきたい。

また、新たな課題として学習時間の短縮化が必須であることが分かった。できるだけ短時間で40人近くの子どもたちが、お互いの説明を納得がいくまで話し合い聞き合っていくということは、意欲だけでは十分ではないことも立証されたとも考える。学習を進める方法としてモデルの選択は自由に行い、毎回説明をグループの中で行った単元途中の調査(11月39名実施)において「自分が発表することは、自分にとって必要なことだと思う」で95%、「自分が発表することは、友達の勉強に役立つと思う」で全員、「自分の意見を人に伝えることは好きだ」76%という結果から意欲を保っているからこそ納得するまで確かめていきたいという思いが生まれていたのだとも考えられる。そのため、話し合いの時間が予定していたを超過することが多かった。原因としては、自分の考えを反映したモデル図や考えを説明するための言葉が簡潔にまとめられなかったことが挙げられる。これらのことから自分たちが得た材料を吟味するための話し合い能力の高さを向上させることで意欲を保ちつつ時間短縮を行うことができると考えられる。そこで、今後は他教科も巻き込みながら子どもたちの話し合いの能力を高めたうえで、実践を行いたい。

5 終わりに

今回は見えないものをイメージして表現していくことで粒子という概念形成をどのように子どもたちの中で、形成していくべきかを検証した。

子どもたちは方策②、③、⑥より、自分たちで

確かめるために必要だと考える実験と交流を繰り返した。この学習方法によって行うことで、現段階での粒子の概念形成は現象に最もふさわしいモデル図として粒を選ぶ形で行われたと考えられる。

今後は、課題の解決のためにも子どもの考えを収束させていくための教材研究や子どものレディネスの測定を今以上に細やかに行っていきたい。

<注および引用・参考文献>

- 1) PISA調査で「科学的リテラシー」として注目されている能力に「疑問を認識し、新しい知識を獲得し、科学的な事象を説明し、科学が関連する諸問題について証拠に基づいた結論を導き出すための科学的知識とその活用」がある。
- 2) 現行学習指導要領で問題解決の三つの重点の一つに「児童が観察、実験などの結果を整理し、考察、表現する活動を行い、学んだことを生活とのかかわりの中で見直し、自然の事物・現象についての実感を伴った理解をはかる」がある。
文部科学省（2008）「小学校学習指導要領解説 理科編」大日本図書。
- 3) 教育課程研究センター：「理科の学習指導の改善・充実に向けた調査分析について[小学校]」, pp. 2-4, 2013, 国立教育政策研究所。
- 4) 根拠として以下の分析が示されている。「理科の指導について、学校の意識の高さよりも、児童生徒の意識の高さの方が、児童生徒の平均正答率の高さへの影響が大きい」⇒「学校の積極的な取り組みも必要だが、児童の視点をより意識した学習指導が重要」
- 5) 理科についての教師と児童の意識と平均正答率に関する分析には、以下のものもある。「理科に関する指導を意図的・計画的に『よく行った』または『どちらかといえば行った』と肯定的な回答をしている学校において、児童は必ずしもその指導をしっかりと受け止めているわけではなく、否定的な回答が見られる」「理科の授業に対する児童の意識が高いと平均正答率が高い傾向がみられる」
- 6) 角屋重樹：「なぜ、理科を教えるのか 理科教育がわかる教科書」, pp. 39-42, 2013, 文溪堂。
- 7) 八嶋真理子：「子どもが意欲的に考察する理科授業」, pp. 19-23, 2009, 東洋館出版社。
- 8) 野々村雅美：「学習課題を導くための3つの方策」, 広島大学附属三原小学校, 「理科学習の個性化と学習課題づくり」, pp. 39-44, 1986, 明治図書。
- 9) 伊藤貴浩：「被説明者の違いが学習に及ぼす影響」, p. 170, 2007, 日本教育心理学会第49回総会発表論文集。
- 10) 調査した検定済教科書は以下の通りである。
「新しい理科 4年」東京書籍
「たのしい理科 4年」大日本図書
「小学校理科 4年」教育出版
「小学校理科 4年」学校図書
「わくわく理科 4年」啓林館
- 11) 5年生で粒子に関するただ1つの単元「物のとけ方」では、発展教材や読み物として粒を利用したイメージを使って説明を行っているのが4社、記述をしていないのは1社であった。また、6年の「燃焼の仕組み」で、粒を利用したイメージを使って説明を行っているのが4社、粒による記述がみられなかったのは1社であった。なお、調査に使用した検定済教科書は、10)に記述した会社の該当学年のものである。
- 12) 小林和雄：「目に見えない事象を説明する仮説設定能力を高める指導 CGアニメーションによる粒子モデルの工夫を中心にして」, p. 134, 2013, 日本理科教育学会 第63回全国大会北海道大会論文集。
- 13) 菊地洋一：「粒子概念を柱とした小学校の物質学習」, pp. 71-72, 2013, 日本理科教育学会第63回全国大会北海道大会論文集。
- 14) 国立教育政策研究所：「TIMSS2007 理科教育の国際比較—国際数学・理科教育動向調査の2007年調査報告書」, p. 125, 2012。
- 15) 鷲見辰美：「使える理科ベーシック4 子どもの科学的イメージをひき出す6つの技法」, p. 30, 2004, 学事出版。