

粒子概念形成のための中学校1年理科の授業実践

高 橋 里 美

はじめに

児童生徒の学力の総合的な状況を把握するために、特定の課題に関する調査が行われ、平成19年11月に国立教育政策研究所がその調査結果を発表した。小学校5年生と中学校2年生が調査対象であるが、その中に、右のような質問項目があり、正答率が小学校5年生が57.4%、中学校2年生が54.4%であった。このことについて、国立教育政策研究所は、「食塩を水に溶かす前後の質量に関する問題について、小学校第5学年の調査した結果と比較したところ、中学校では状態変化や化学変化の学習で質量の保存に関する学習をしているにもかかわらず、その理解が深まっているとは言い難い状況であった。こうしたことから、状態変化の学習では小学校で学習した物の溶け方と、また、化学変化の学習では物の溶け方や状態変化とのつながりを生かして、相互に関連をもたせながら、計画的に指導することが大切である。」と分析・考察を発表した。粒子概念は、それぞれの発達段階の学習を経て徐々に形成されていくが、粒子は目に見えないために、生徒にとって実体としてとらえにくいものである。上記の例では、溶解によって見えなくなった食塩の物質そのものがなくなったと考えたり、質量が減ってしまうと考えるようである。

そこで、中学校1年の「身のまわりの物質」単元において、粒子モデルを使って自然事象を思考させ、水溶液については、溶液の均一性と保存性についての正しい科学認識をもたせるための単元構想を展開して、粒子概念の形成を目指すための研究を行うことにした。

花子さんは、食塩がとける前ととけた後の水よう液の重さについて調べました。食塩がとけた後の水よう液の重さは、どうなりますか。次の①から④までの中から、あなたの考えに近いものを1つ選び、その理由を書きましょう。

- ① 100gになる
- ② 100gより重く、120gより軽い
- ③ 120gになる
- ④ 120gより重い

1. 研究の方法

(1) 素朴概念調査

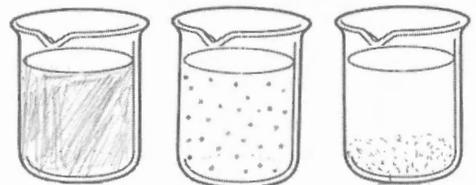
島根大学教育学部附属中学校平成22年度1年生139名を対象に、事前に水溶液に関する素朴概念調査を行い、単元構想を考える資料とした。結果として、次のような実態を把握した。

- ① 資料1のように、水に溶けた食塩水の様子を図示させたと、93%の生徒が「つぶ」を使って表現した。学習指導要領に基づく小学校5年生の学習において、「図や絵などをいって、表現するなどして考察する」という学習の成果であると思われる。

- ② 資料2のように、「水100gに食塩20gを入れて溶かしたときの質量」がどうなるかについては、95%の生徒が120gの正答を答えた。これは、上記に示した国立教育政策研究所の調査とは大きく異なる結果であった。しかし、その理由は、資料3のように

資料1

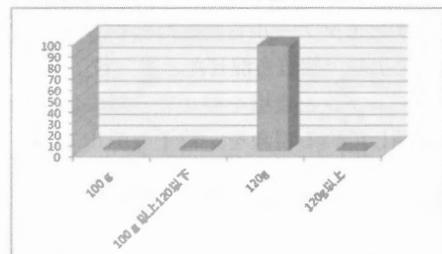
①もし『水に溶けた食塩』のようすを見ることのできる透明な容器に水の中の食塩はどうなっているか、図と言葉で説明してください。



粒子モデルで表現した生徒: 93%

資料2

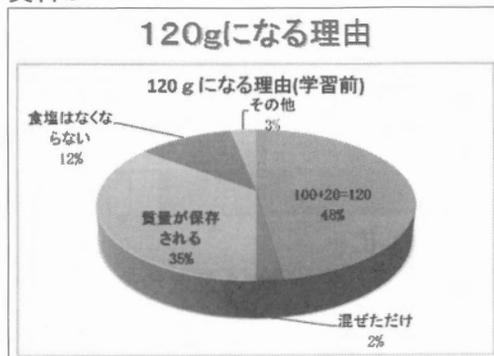
②水100gに、食塩20gを入れると、全部の食塩が溶けました。食塩水の質量は？



120g……95%

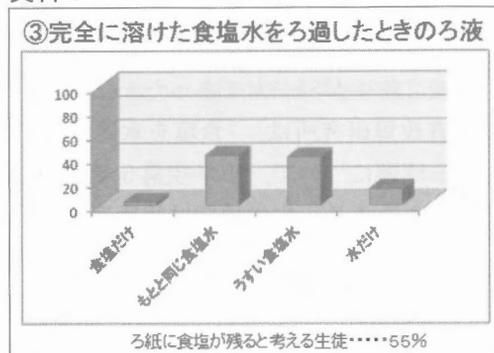
「 $100+20=120$ 」「混ぜただけだから」などがこのうちの50%で、「質量が保存されるから」「食塩はなくなるならない」など、質量の保存の概念を踏まえて記述したものは全体の35%であった。本校は、入学に当たっては、筆記による入学試験を実施しており、小学校5年生の学習内容について、受験対策として学習をしたために、国立教育政策研究所の調査結果とは異なるものになったとも考えられる。したがって、これは、浅い知識としての学習であるため、正しい粒子概念は形成されていないものと思われる。

資料3



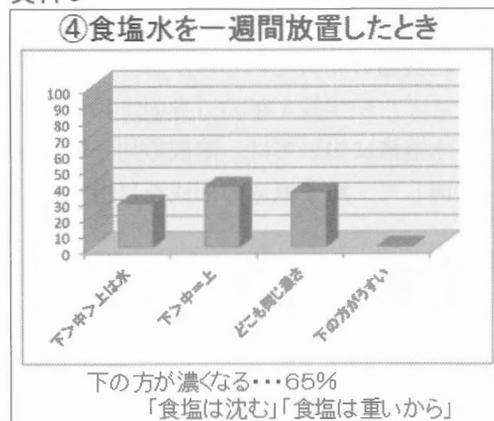
- ③ 資料4のように、「完全に溶けた食塩水をろ過したときのろ液はどうなっているか」の質問については、「もとの食塩水と同じ濃さの食塩水」と答えた生徒は42%で、「うすくなる」が41%、「水だけ」が14%で、合計するろ紙に食塩が残ると考える生徒が55%であった。小学校の理科のろ過の基礎操作の学習を、溶け残りのある食塩水で行っており、この記憶による誤概念もあり、このような結果が出ると考えられる。物質が水に溶けたときの粒子の大きさがいかに小さいのかについての正しい概念はないものとわかった。

資料4



- ④ 資料5のように、「完全に溶けた食塩水を一週間放置したとき」について、65%の生徒が下の方が濃くなっていると回答した。その理由として、「食塩は沈む」「食塩は重いから」という記述が目立った。①の食塩水の様子の図示においては、77%の生徒が均一の粒子モデルを描いているが、食塩の重さが溶解の誤概念をうみ出していると思われる。

資料5



(2) 単元構想

素朴概念調査を踏まえて、「身のまわりの物質」の単元構想を以下のように考えた。

- I 「気体の性質」の学習で、酸素中でのスチールウールの燃焼によって容器内の気圧が下がる現象や、アンモニアの噴水の現象を図や言葉で説明させることにより、物質が粒子でできていることをとらえさせる。
- II 「水溶液」の学習の前に「状態変化」の学習を行い、状態変化を粒子モデルで説明することにより、粒子が運動していることを捉えさせる。
- III 水とエタノールを混ぜたとき、質量は保存されるが体積は減少することを、粒子モデルで説明させることにより、物質を混ぜたとき、粒子と粒子の間に別の物質の粒子が入っていることを想起させる。
- IV デンプンと食塩を混ぜてろ紙に包んで水に入れたとき、デンプンはろ紙を通過しないが、食塩はろ紙を通過している現象を、粒子モデルで説明させることにより、溶けた溶質の粒子の大きさについての認識をもたせる。
- V 水に硫酸銅の固体を入れて放置し、次第に拡散していく現象と、1ヶ月以上放置しても硫酸銅が底にたまるようなことはなく均一である事実を見せる。

2. 研究の実際

自分の考えや班で話し合ったことを発表し、学級全体で高め合う学習形態

本校では、科学的な思考力を高めるために、科学的に表現させることを大切に、自分なりの言葉や図やモデルを使って説明する場を設定している。右の資料6は、班の話し合いの様子である。班は、男子2人女子2人の4人で構成し、1クラス9班を編成する。ホワイトボードを班で話し合う時の学習ツールとして、班の考えをまとめてかき、学級全体で学び合う。班の話し合いをする前に、必ず自分の考えをまとめる時間を設定し、ワークシートやノートに記録しておく。学級全体で学び合った後、再び学習したことを自分なりにまとめ、自分自身の学びの変容を見つめられるようにしている。

資料6

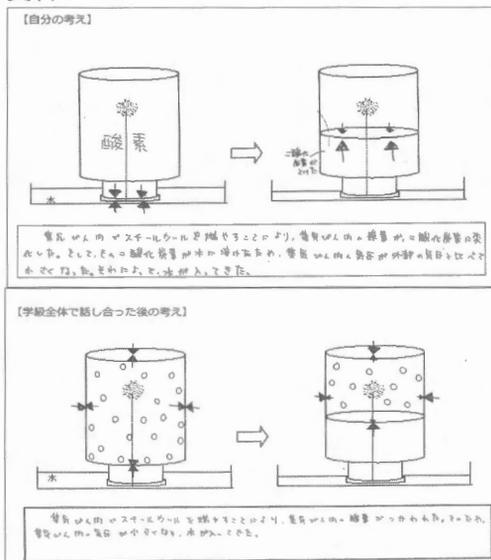


班での話し合いや学級全体で話し合うことにより、生徒は多様な意見や考えに触れることができる。教師は、生徒の思考を促して学びが深まるようにはたらきかけるようにしている。

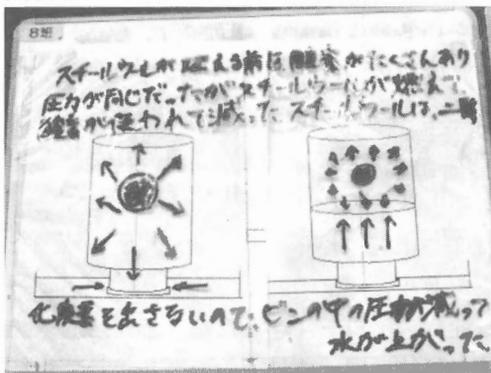
単元構想Ⅰ-① 酸素中でのスチールウールの燃焼によって容器内の気圧が下がる現象

集気びんの中に酸素を入れ、スチールウールに火をつけると、スチールウールが酸化鉄になるときに酸素を使うので、集気びんの中の気圧が下がる。集気びんを逆さまにして、水を入れたバットの上でこの実験を行うと、使われた酸素の体積分の水が集気びんに入ってくる。この実験を、「気体の性質」の学習で、酸素が物質の燃焼に必要な物質であることを確認するために行った。生徒は、この単元で「金属の性質」や「有機物と無機物」の学習をしているが、物質を粒子として捉える見方はしていない。物質が粒子であると捉えさせるには、固体や液体で考えるよりも気体の方がわかりやすいと考えたので、この現象が起こる理由を生徒が考えて説明するとき、生徒の方から物質を粒子として捉える見方が出てくることを期待した。資料7は、この学習におけるある生徒のワークシートである。上の段は、初めの自分の考え、下の段は、班の話し合いや学級全体での話し合いの後の考えである。この生徒は、気圧の変化が起きていることに初めから気が付いたが、気体が粒子であるという捉えはなかった。しかし、資料8のような記述をした班の発表を聞いて、酸素を粒子で表したうえで、気圧の変化を説明している。気圧の変化を粒子で表すことのよさを認識したうえでの変容であると考えられる。初めの自分の考えで、気体を粒子で表現した生徒が全体の47%あった。学級全体で話し合った後の考えで、気体を粒子で表現した生徒は88%であった。

資料7



資料8

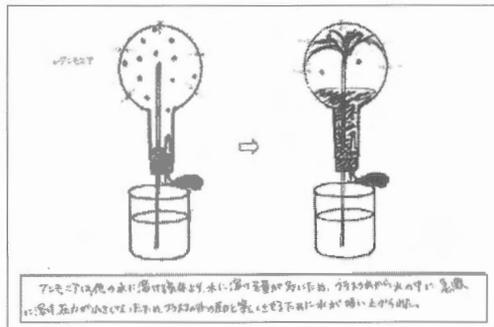


また、この生徒は、初めはスチールウールが燃焼すると酸素を使って二酸化炭素が出てくると考えている。「有機物と無機物」の学習で、無機物が燃えたとき二酸化炭素は出てこないことを学習しているが、この生徒のように二酸化炭素が発生すると考えた生徒が全体の45%もいた。二酸化炭素は水に溶けやすいから、集気びんの内圧は下がるという説明をしている。小学校での植物体の燃焼の学習が定着している一方で、全ての物質の燃焼において二酸化炭素が発生するという誤概念が生徒にはある。この実験は、この誤概念を払拭するための学び直しのよい機会にもなった。

単元構想Ⅰ-② 丸底フラスコの中でアンモニアが水に溶け、内圧が下がって噴水ができる現象

丸底フラスコにアンモニアを入れて、水を少し入れるとアンモニアが水に溶けて内圧が下がり、噴水となってフェノールフタレイン溶液がフラスコ内に入ってくる。この実験について、噴水ができる理由を図や言葉を使って説明をする学習を行った。資料9は、この学習後のある生徒のワークシートの記述である。初めの自分の考えを記入したとき、アンモニアを粒子で表した生徒は全体の63%であった。スチールウールの燃焼の学習では、初めの自分の考えをかいいたとき粒子で表現した生徒は、47%であったので、粒子で表すことのよさを認識した生徒が増えたと言える。

資料9

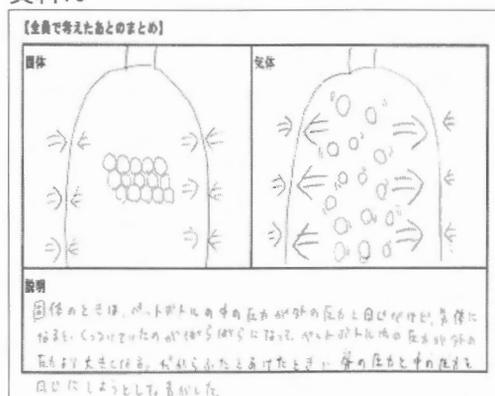


初めの自分の考えをかいいたとき、フラスコの外と中の圧力の違いを矢印を使って表した生徒は、30%いた。学級全体で話し合った後の考えで、矢印を使って表した生徒は75%であった。学級全体で話し合った後、この現象を粒子と矢印の両方を使って表した生徒は65%であった。しかし、気体を粒子で表しても、気体の密度の違いと気圧の違いを関連づけて認識している生徒は少ないように思えた。粒子が運動しているという概念と結びつけなければ、正しい認識は得られないと思える。物質が粒子であるということとともに、粒子が運動していることを「状態変化」の学習で認識させたいと考えた。

単元構想Ⅱ 状態変化を粒子モデルで説明する

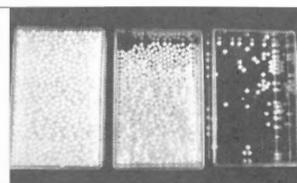
ペットボトルに少量のドライアイスを入れてふたをして、ペットボトル全体の質量を測っておき、しばらく置くとドライアイスが気体になって見えなくなる。再び質量を測っても変化はない。ペットボトルのふたを開けると、プシューと音がする。この状態変化の実験を、モデルを使って説明させた。資料10は、学級全体で話し合った後のある生徒のワークシートの記述である。この生徒は、はじめの自分の考えでは、気体になったときの粒子の運動を表現する記述はなかった。「ふたを開けたときに、プシューと音を立てて気体が逃げる様子から、ペットボトルの内圧が高くなったことがわかる。」という発言などによって、学習後は、粒子の運動を表現し、ペットボトルの内圧の変化も表現している。資料11は、小さな発泡スチロール球を透明なケースに入れて、固体・液体・気体の同一体積でのモデルとして生徒に見せた。気

資料10



資料11

左から
固体
液体
気体



体は、粒子が自由に動き回ることができるが、固体は互いに結びついており、ほとんど動かないことを説明した。

この学習によって、状態変化の前後の粒子の運動について認識させることができた。また、状態変化の前後で質量が保存されることは、粒子の数を揃えて表現するとよいことを押さえることができた。

単元構想一Ⅲ 混合物を粒子モデルで説明する

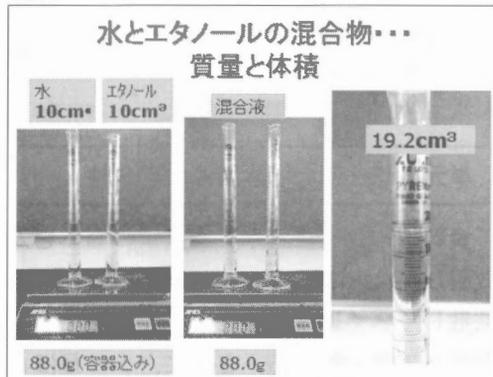
資料12のように、水 10cm^3 とエタノール 10cm^3 を混ぜ合わせたとき、質量や体積はどうなるかを考えさせた。67%の生徒が、体積は変わらないと予想した。減少すると予想した生徒は23%，増加すると予想した生徒は9%だった。体積が減少すると予想した生徒は、粒子のすきまに粒子が入り込むと考え、体積が増加すると予想した生徒は、粒子どうしがうまく重ならなくて増えると考えている。いずれも、水やエタノールを粒子として捉えることによって予測している。体積が変化しないと予想した生徒は、粒子としての捉えはない。

実際に、水とエタノールの混合物をつくり、質量は変化しないが体積が減少するという現象を見せてから、なぜ、この現象が起きるのかをモデルを使って説明させた。現象を見た後は、エタノールと水を粒子として捉えて、現象を説明するモデルを資料13のように表した。

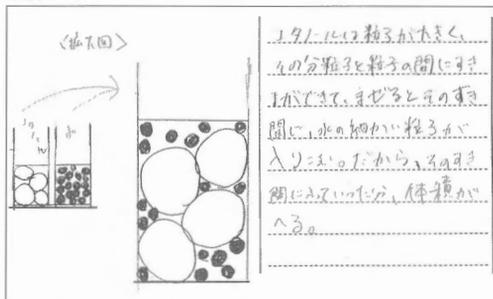
さらに、資料14のように、大きさの違う粒子モデル(ビー玉と釣り用のおもり)を混ぜ合わせたとき、質量は変わらないが、体積が減少することを演示によって示した。

この単元構想一③の学習で、物質によって粒子の大きさが違っており、混ぜ合わせると粒子と粒子のすきまに別の粒子が入り込むことと、水も粒子であることを捉えさせた。

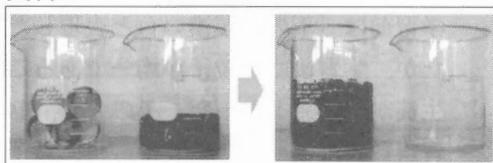
資料12



資料13



資料14

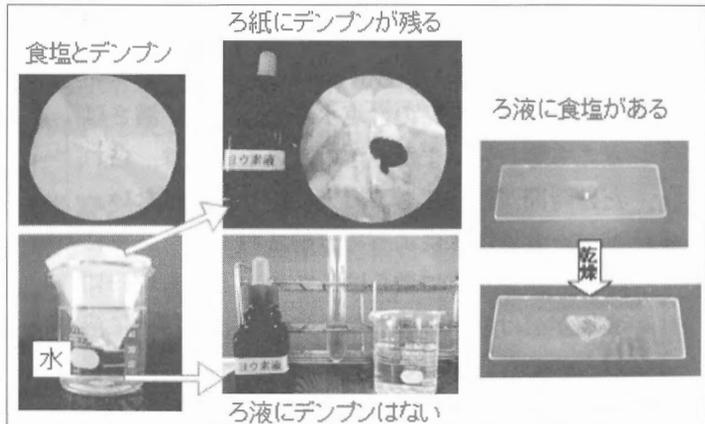


単元構想一Ⅳ デンプン・食塩の粒子の大きさとろ紙

資料15のように、食塩とデンプンを混ぜてろ紙に包んで水に入れたとき、デンプンはろ紙の穴を通過しないが食塩はろ紙を通過していることを確かめることができる。この現象から、物質が水に溶けるとはどのようなことかを考えさせた。

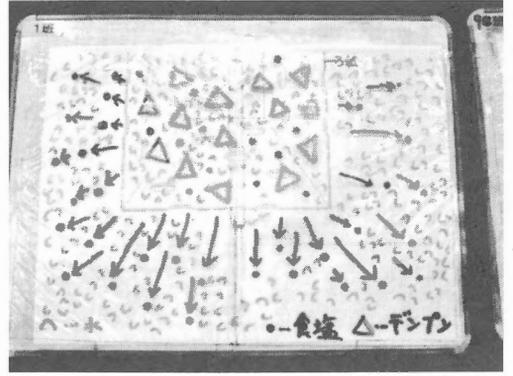
自分の考えをかかせたとき、全員の生徒がデンプンの粒子の方が食塩の粒子より大きいことに気がついた。さらに、ろ紙の穴の大きさとデンプンの粒

資料15



子の大きさと食塩の粒子の大きさを比較して表現した生徒は87%であった。生徒は、「食塩は、水に入るとだんだんと小さな粒子に分かれていって目に見えないほどの小さな粒子になり、ろ紙の穴を通過していく。デンプンは、水に入れても小さな粒子に分かれないで、ろ紙の中に残る。」という説明をした。さらに、資料16のように、水も粒子としてモデルで表し、食塩の粒子が水の粒子の間に入り込んでいくということを表現したグループがあったので、単元構想③の学習と関連させて捉えさせることができた。

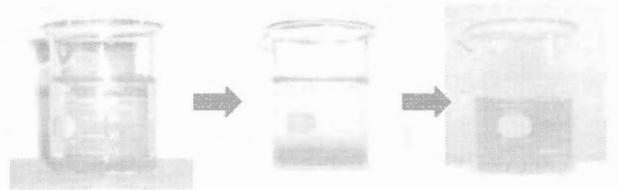
資料16



単元構想Ⅴ 水溶液の均一性

資料17のように、水に硫酸銅の固体を入れて放置し、次第に拡散していく現象を観察させた。拡散していく速度は非常に遅くて、1ヶ月以上かかって均一になる。さらに、1ヶ月ほど放置しておいても、水溶液は均一であることを見せた。硫酸銅の粒子が拡散していくことや、水溶液の均一性が保たれることを、粒子の運動と関連させて捉えさせておくと、より理解は深まったと思われる。今回は、現象の把握に止まった。

資料17

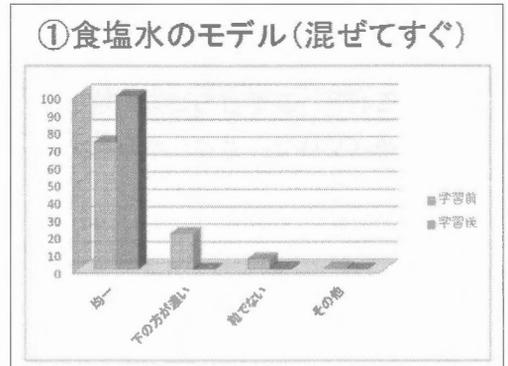


3. 研究の成果

この単元の学習の後に、素朴概念調査と同じ質問項目の学習後調査を行った。素朴概念調査と比較すると、次のような成果が現れた。

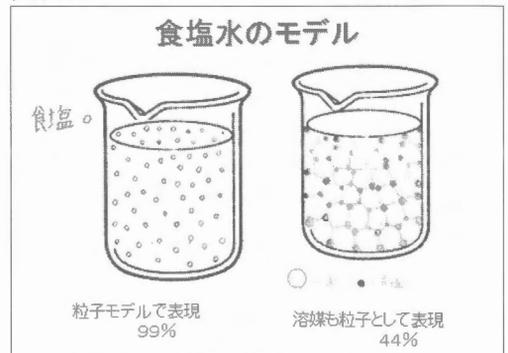
- ① 食塩水のモデルをかかせたとき、資料18のように、学習前は「下の方が濃い」と表現した生徒が20%いたが、学習後は、粒子が均一であることを表現した生徒が、99%であった。そのうち、44%の生徒が、資料19の右側の図のように、水も粒子として捉え、水の粒子の間に食塩の粒子が入り込んでいるモデルを表現した。また、モデルについての説明に次のような記述があった。

資料18



- 水に溶けた食塩は、全体に均一に散らばっている。だから、どこの食塩水をとっても、濃さはどこも等しい。また、溶けている食塩は、どれだけ時間が経っても下の方に沈むことはない。
- 溶けた食塩は水によって分解されてバラバラになり、四方八方に散らばるため、どこも均一に食塩が溶けている。ちなみに、どこも均一に溶けているから食塩の濃度は同じ。
- 同じ物質の粒子一つ一つの大きさは全て同じで、

資料19



食塩の粒子が水の粒子の隙間に入り込んでいる。また、食塩と水は完全にくっついていてではなく、離すこともできる。食塩と水は均等に混じり合っていてどこをとっても濃さは同じ。

○水の隙間に食塩が入り込んでいる。食塩の濃さはどこも同じ。水と食塩は合体していないから水溶液を加熱すると食塩が出てくる。

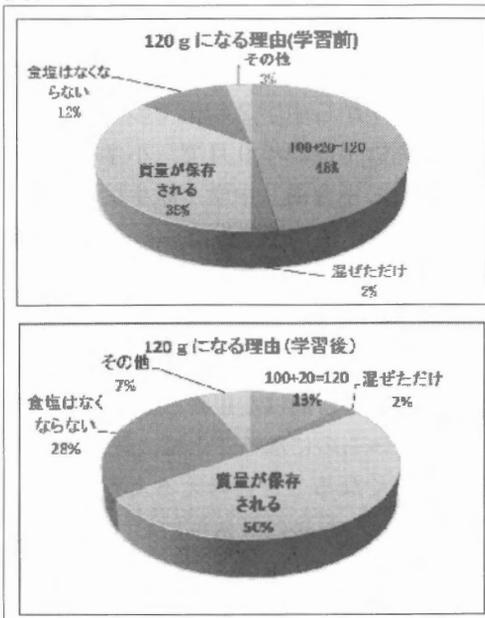
○水の粒と粒の間に、どこも同じ個数の割合で食塩の粒が入っている。食塩と水の粒はくっついてはならず、離れたりぶつかったりできる。

② 「水100gに食塩20gを入れて溶かしたときの質量」がどうなるかについては、素朴概念調査の段階で95%の生徒が120gの正答を答えた。学習後調査では、99%の正答率であったが、その理由については、資料20のように変化が見られた。「 $100+20=120$ 」「混ぜただけだから」が17%に減少し、「質量が保存されるから」が48%、「食塩はなくなるならない」が28%となった。溶質が溶けたとき、目には見えない小さな粒子となって溶液の中に存在するという「保存性」についての科学認識を得ているものと思われる。

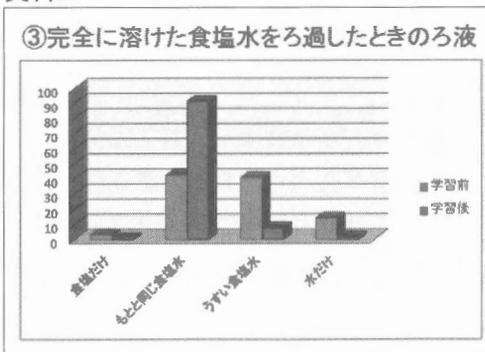
③ 「完全に溶けた食塩水をろ過したときのろ液はどうなっているか」の質問については、素朴概念調査では、ろ紙に食塩が残ると考える生徒が55%いたが、資料21のように、「もと同じ食塩水」と答えた正答率が、91%であった。理由として、「食塩はろ紙を通るから」「水に完全に溶けた食塩の粒はろ紙の穴の大きさより小さい」などがあり、単元構想Ⅳにおける学習の成果であると考えられる

④ 「完全に溶けた食塩水を一週間放置したとき」について、素朴概念調査では65%の生徒が下の方が濃くなっていると回答したが、資料22のように、学習後調査では「どこも同じ濃さ」と全員が回答した。

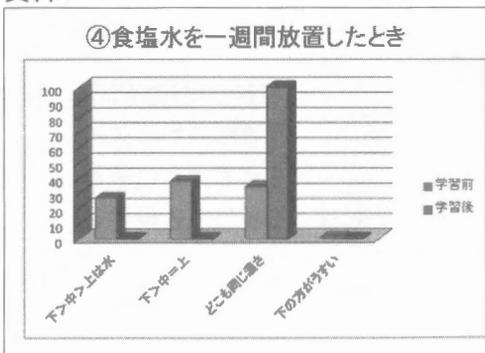
資料20



資料21



資料22



4. 小学校理科「もののとけ方」の学習との関連研究

中学校理科学習指導要領の解説に、「小学校第5学年では、物が水に溶けても、水と物とを合わせた重さは変わらないことを学習している。ここでは、物質が水に溶ける様子の観察、実験を行い、水溶液においては溶質が均一に分散していることを粒子のモデルと関連付けて理解させることがねらいである。」と記載されている。小学校5年生の「もののとけ方」で、物質の溶解度のことと、溶解における質量保存を学習する。そして、中学校1年生の「物質の溶解」で、溶質の均一性を学習するこ

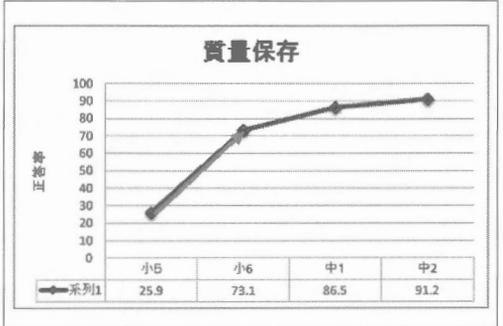
ととなる。そこで、物質の溶解について、子どもの科学概念がどのように変化していくかを調査することにした。対象は、島根大学教育学部附属小学校と附属中学校の小学5年から中学2年までの児童・生徒である。調査実施時期は平成23年9月で、小学校5年生は、「もののとけ方」の学習前、中学1年生は、「物質の溶解」の学習前である。中学2年生は、上記の研究を実施した学年である。

資料23は、水に食塩を溶かしたときの質量保存に関する質問の正答率の変化である。小学校5年生で「もののとけ方」の学習前は、正答率が25.9%である。食塩が目に見えないものになることは、児童にとっては物質そのものがなくなることと考えるようである。「もののとけ方」を学習した後は、溶解における質量保存の概念が身につくにつれ、小学校6年生で73.1%まで正答率が上がる。その後、次第に正答率は上がることがわかるが、子どものもつ素朴概念は根強いものがあるので、何度も学び直したり問い直したりするような学習を積み重ねさせることによって、正しい科学認識に導いていく必要があると言える。

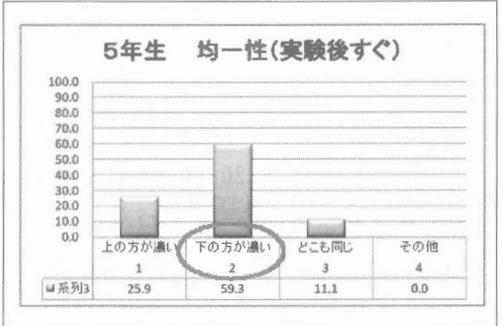
資料24は、水に食塩を入れて完全に食塩が見えなくなるまでかき混ぜたとき、食塩の濃さはどうなっているかについての、小学校5年生の結果である。「どこも同じ」と回答した正答率は11.1%で、「下の方が濃い」が59.3%である。完全に溶けて目に見えなくなっても、食塩の「重さ」によって下の方に集まっていると考えていると思われる。資料25からわかるように、「もののとけ方」を学習した後、小学校6年生で65.4%まで正答率が上がる。小学校5年生の学習内容に、均一性についての学習はないが、小学校理科学習指導要領の解説に、「物を溶かす前と後でその重さは変わらないことについて、定量的な実験を通してとらえるようにすること考えられる。その際、図や絵などを用いて表現するなどして考察し、適切に説明できるようにすることが考えられる。」と書かれている。図や絵などを用いて表現しながら、質量保存や溶解度について学習する中で溶解における均一性の概念が形成されているものと思われる。

ところが、完全に溶けた食塩水を一週間静かに放置しておいたとき、食塩の濃さはどうなっているかについては、資料26のような結果が出た。「もののとけ方」を学習して、かき混ぜたすぐ後は、食塩が均一であるという認識を65.4%の児童が得ている（資料25）が、一週間後に「どこも同じ」と回答した児童は19.2%で、69.2%が「下の方が濃い」と回答している。この傾向は、中学校

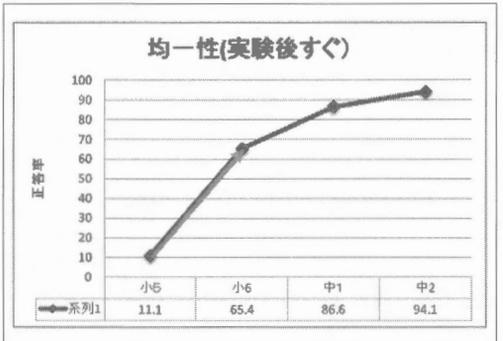
資料23



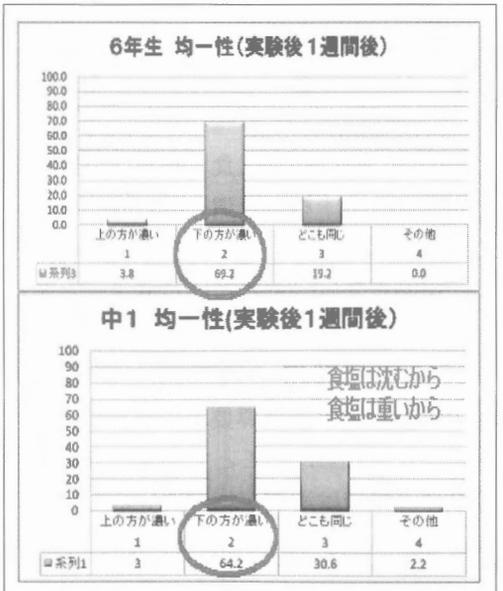
資料24



資料25

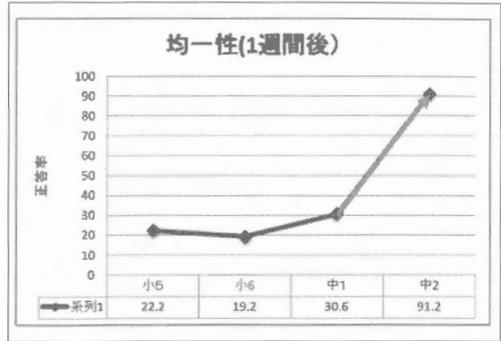


資料26



1年生でも同様で、一週間後は「下の方が濃い」と回答した生徒が64.2%いた。その理由として、「食塩は沈むから」「食塩は重いから」と答えている。資料27は、一週間後の溶解の均一性に関する正答率の学年変化を表している。中学校1年生の「物質の溶解」の学習によって、中学校2年生では91.2%まで正答率が上がった。素朴概念を踏まえた単元構成を行った本研究の成果であると考える。

資料27



5. まとめ

平成24年度に完全実施となった理科学習指導要領に次のように記載されている。

○物質の溶解について

小学校第5学年では、物が水に溶けても、水と物を合わせた重さは変わらないことを学習している。ここでは、物質が水に溶ける様子の観察、実験を行い、水溶液においては溶質が均一に分散していることを粒子のモデルと関連付けて理解させることがねらいである。

○状態変化と熱について

(略) 状態変化は物質そのものが変化するのではなくその物質の状態が変化するものであることや、状態変化によって物質の体積は変化するが質量は変化しないことを見いださせ、粒子のモデルと関連付けて理解させることがねらいである。

粒子のモデルと関連付けて扱う際には、加熱や冷却によって粒子の運動の様子が変化していることにも触れる。

学習指導要領において、水溶液や状態変化を粒子モデルと関連付けて理解させることとなった。水溶液については、「溶質が均一に分散していることを粒子のモデルと関連付けて」とあるが、状態変化で水を粒子として表し、水溶液では溶媒である水を粒子として表さないことは、生徒にとって混乱が起きる。溶質だけを粒子モデルで表すことによって溶質の「重さ」や「大きさ」が強調されて、均一性についての誤概念が生じるのではないかと考える。「状態変化と熱」で学習する粒子の運動と関連付けた単元構想を工夫することにより、正しい粒子概念を形成することができるのではないかと考える。

平成24年度使用の中学校理科の5社の教科書を、調べてみた。教科書の順序が、「状態変化」と「溶解」がどうなっているか調べると、「状態変化」の学習後に「溶解」の学習をするようになっている教科書が、2社であった。また、溶媒の水を粒子モデルで図示したものを掲載している教科書が、2社あった。学習指導要領が解釈され、多くの検討をしながら作られた教科書である。我々教師は、生徒の実態に応じて、生徒の素朴概念を把握した上で、どのように単元を構想していくかをしっかりと見極めて、授業を展開していかなければならない。

参 考 文 献

- ・「特定の課題に関する調査(理科)調査結果」平成19年11月 国立教育政策研究所
- ・渡辺健幸・丹沢哲郎(2008)『溶解概念の形成を目指した小学校理科学習プログラムの開発』日本科学教育学会 研究会研究報告 pp5-8
- ・品川区小中一貫教育 「一創造一 理科」平成18年4月 品川区教育委員会
- ・堀哲夫(2005)『学びの意味を育てる理科の教育評価』東洋館出版社

(たかはし さとみ 理科 s-takahashi420@edu.shimane-u.ac.jp)