

<実践報告>

しくみが目でとらえにくい事象を科学的に説明する力を
つけていく指導に関する実践研究

秋山 極 中野市立中野平中学校
三崎 隆 信州大学教育学部理数科学教育講座
村松久和 信州大学教育学部理数科学教育講座

A Study on the Use of Models to Facilitate Scientific Thinking

AKIYAMA Kiwamu: Nakanodaira Lower Secondary School
MISAKI Takashi: Faculty of Education, Shinshu University
MURAMATSU Hisakazu: Faculty of Education, Shinshu University

研究の目的	事象がおこるしくみを，目でとらえられる事象に置き換えた上で既習事項を基に考察する学習が，生徒の水溶液の混合前後における体積の変化についての理解を促すことを明らかにすることを目的とする。
キーワード	粒子概念 体積 目でとらえにくい事象 モデル 中学校理科
実践の目的	モデル化を図る指導法の教育実践の有効性を実証することを目的とする。
実践者名	秋山極・三崎隆・村松久和
対象者	公立N中学校1年生（39名）
実践期間	2009年1月～2月
実践研究の方法と経過	水に溶ける砂糖やエタノールなどの溶質の粒子をプラスチック球，水の粒子をガラスビーズとし，薄型容器に入れることで，水の粒子が溶質の粒子を拡散しているようすや体積が減少する様子を容易に観察できるようにした指導法を実践し，生徒の粒子の理解についての変容を分析した。
実践から得られた知見・提言	事象がおこるしくみを，目でとらえられる事象に置き換えた上で既習事項を基に考察する学習は，生徒の粒子概念形成に有効に機能する。

1. はじめに

文部科学省は学習指導要領改訂の基本方針で「科学的な概念の理解など基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、第1分野については『エネルギー』、『粒子』などの科学の基本的な見方や概念を柱として、理科の内容の構造化を図る」とあげている(文部科学省 2008)。これらがかかわる事象は、その変化がおこるときのしくみを目でとらえることが困難なものが多い。科学的な概念を確実に定着させていくためには、しくみが目でとらえにくい事象を科学的に説明する力をつけていくことが求められる。本研究においては「科学的に説明する」ことを、事象がおこるしくみを把握する意味合いにおいて思量するものとする。

「身のまわりの現象」の「音の世界」(平成20年9月に第1学年で実践)では、弦の振動のようすと音の大きさや高さとの関係を説明する学習を位置付けた。一人の生徒は、弦をはじく強さを変化させたときに異なる大きさの音が出るしくみを、既習事項の「物体の振動が空気を振動させて音を伝えていく」を基に、弦を強くはじくことで弦と周囲の空気の振幅が大きくなり、音も大きくなることを説明できた。また、音の高さについては「弦の長さを変えると音の高さが変わる」と実験結果を記入し、音の高さが変化する要因をまとめた。そして考察の場面では、弦より長い電線の、目でとらえられるゆっくりとした振動のようすから、弦の長さとの関係に着目して、それらと音の高さとの関係について、「弦が長くなるとゆっくり振動し、音は低くなる」という仮説を設定した。そして、振動の速さが目でとらえられる定規を使い、振動する部分の長さを変化させて自分の設定した仮説を確かめた。生徒のこのような姿から、しくみが目でとらえにくい事象を科学的に説明する力をつけるために、目でとらえられる事象に置き換えた上で既習事項を基に考察する学習が有効であろうと考えられる。そこで、第1学年の「水溶液の性質」において、水とエタノールとの混合による体積変化を調べ、結果がそのようになったしくみを粒子の考え方で説明していく学習を構想することとした。そのために、あらゆる物質が決まった大きさの粒子からできていることや、粒子の間にすきまがあり他の粒子が入り込むことで溶ける現象がおこることを習得できるように単元を展開する。その上で、水とエタノールが混合したときに体積が小さくなるしくみを、目でとらえられる事象に置き換えた上で既習事項を基に考察する学習を位置付ける。このことにより生徒は、しくみが目でとらえにくい事象を科学的に説明していくことによって、科学的な概念を確実に定着することが期待できるものである。

2. 研究目的

本研究では、事象がおこるしくみを、目でとらえられる事象に置き換えた上で既習事項を基に考察する学習が、生徒の水溶液の混合前後における体積の変化についての理解を促すことを明らかにすることを目的とする。

3. 研究方法

3.1 単元名・学年・時期

単元「身のまわりの物質」の小単元「水溶液の性質」

公立N中学校第1学年1クラス (39名)

実践時期：2009年1月～2月

3.2 教材化

1) 単元に寄せた教材化

文部科学省は学習指導要領改訂の基本方針で、四つの科学の基本的な見方や概念をあげ、それらを柱として、理科の内容の構造化を図ると示している（文部科学省 2008）。そこで小単元「水溶液の性質」では、四つの柱の一つである「粒子」について、学習内容の配列を見直した。第1時から第3時では、生徒は様々な実験結果から、あらゆる物質が粒子からできていることや、粒子が水溶液中で均一に広がることを見いだしながら、粒子の存在や保存性を習得していく。そして第4時から生徒は、溶質が溶媒に溶けることでおこる体積変化や再結晶などのしくみを粒子の考え方を活用して考察し、説明していく。これらの学習を通して生徒は、しくみが目でとらえにくい事象を科学的に説明する力をつけていくことができると考え、小単元「水溶液の性質」の学習内容を構想した。

2) 素材の教材化

水に溶ける砂糖やエタノールなどの溶質の粒子をプラスチック球、水の粒子をガラスビーズとし、薄型容器に入れることで、水の粒子が溶質の粒子を拡散しているようすや体積が減少する様子を観察できるようにした（図1）。

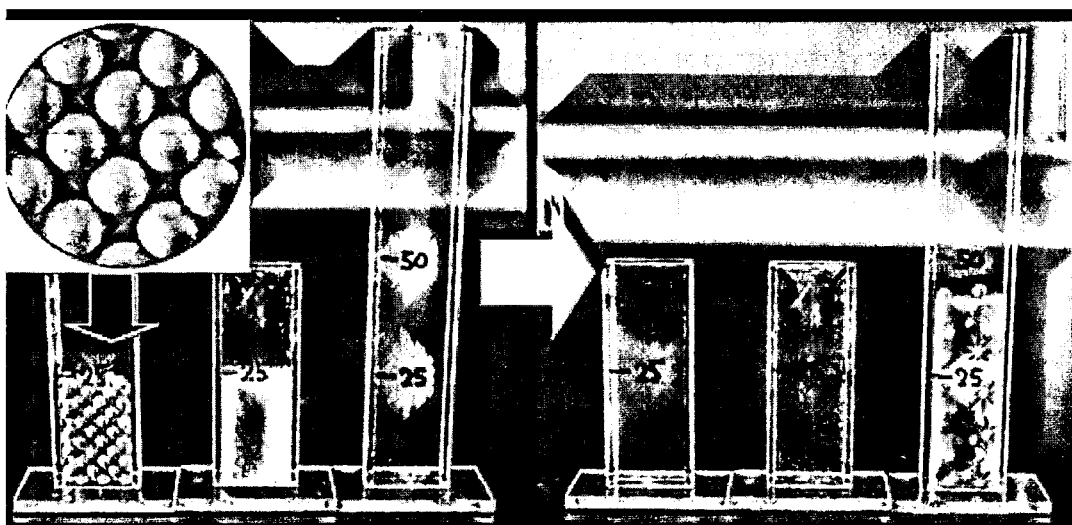


図1 素材の教材化

3.3 小単元の展開

全6時間扱い（本時は第4時）

○学習活動	学習問題	◇教師の指導・援助 事象提示	時
①デンプンとコーヒーシュガーに水を加えたも	、	コーヒーシュガーとデンプンの混合物に水を加えたものを	1

<p>のが、ろ紙を通り抜けたり通りぬけなかったりする事象について考える。</p>	<p>ろ過し、コーヒーシュガーは通り抜け、デンプンは通り抜けない事象を提示する。</p>	
<p>コーヒーシュガーとデンプンの混合物をろ過したときに、コーヒーシュガーだけがろ紙を通った理由は何だろうか。</p>	<p>◇「溶けている」「溶けていない」事象の違いを明確にするため、コーヒーシュガーとデンプンに水を加えてかき混ぜた様子から、コーヒーシュガーは透明になり、デンプンにはにごっているようすを観察できるようにする。</p>	
<p>②溶けたデンプンがろ過できるかを考える。 お湯に溶かしたデンプンをろ過するとデンプンと水は分けられるだろうか。</p>	<p>デンプンにお湯に入れると溶けて透明になり、ろ紙を通り抜けるようすを提示する。 ◇デンプンの水溶液は顕微鏡で観察しても粒子が見えないことや、前時で用いたろ紙を通り抜けることを確認する。</p>	1
<p>③溶質が溶媒にとけるしくみを説明する。 水に入れた氷砂糖がとけていくとき、質量はどうなるだろうか。またその理由は何だろうか。</p>	<p>水 100g に石 20g を加えたものと、水 100g に氷砂糖 20g を水に入れたものとを提示する。 ◇物質が粒子からできている意見を全体に取りあげ、粒子の考え方で質量変化を考えられるようにする。</p>	1
<p>④水とエタノールを混ぜたときに体積が小さくなる事象の理由について考える。 水とエタノールを混合したときに、体積が小さくなる理由は何だろうか。</p>	<p>水とエタノールを混合したときに体積が小さくなる事象を提示する。 ◇根拠を明確にして予想と仮説を設定できるように、粒子の大きさに着目した意見を全体に位置付け、液体を混合したときに体積が小さくなることを確かめる方法を問う。</p>	1 本 時
<p>⑤温度によって物質が溶ける量にどのような違いがあるかを調べる。 水溶液を冷やしたときに塩化アンモニウムの固体だけがでてくるのはなぜだろうか。</p>	<p>60℃の飽和塩化アンモニウム水溶液と飽和食塩水を試験管に入れ冷やすと塩化アンモニウムの固体だけが析出する事象を提示する。</p>	1
<p>⑥溶解度について知り、これまでの学習をまとめる。</p>	<p>◇温度変化による溶解度の変化については、食塩や塩化アンモニウムの溶解の観察から、温度による溶け方の違いを想起するように促す。</p>	1

図2 単元の展開

3.4 本時

1) 本時の主眼

水とエタノールを混合したときに体積が小さくなる理由を考える場面で、粒子の大きさの違いに着目し、同じ大きさの粒子と異なる大きさの粒子をそれぞれ混合したときの体積変化を比較することを通して、大きな粒子のすきまに小さな粒子が入り込むことで液体を混合したときの体積が小さくなることを説明できる。

2) 本時の展開

学習活動	予想される生徒の反応	◇教師の指導・援助	時
1 水と	ア 水とエタノールを混合したら、体積は元	◇水とエタノールを混合したとき	1

<p>エタノールを混合したときに体積が小さくなるしくみを予想する。</p>	<p>の体積の和になると思ったけれど、小さくなった。なぜこのようなことがおこるのか知りたい。</p> <p>イ 水と水では体積の変化はおこらなかった。エタノールが水に溶けたことで何かがおこり、体積が変化している。</p> <p>ウ 液体を混合して体積が小さくなるように、粒子モデルを混合しても体積が小さくなるはずだ。また水と水の粒子の混合では体積は変わらないはずだ。</p>	<p>に、体積が小さくなる事象を提示する。</p> <p>◇エタノールが均一に拡散していることから、エタノールが水に溶けたということを伝える。</p> <p>◇イのような発言を受けて学習問題を設定する。</p> <p>◇ウのように発言を受けて学習課題を設定する。</p>	<p>8分</p>
<p>2 液体の混合と粒子モデルの混合を比較する。</p>	<p>エ 大きさが違う水とエタノールの粒子モデルを混合したら、体積は小さくなった。大きな粒子のすきまに小さな粒子が入り込んでいる。これは砂糖が水に溶けていくようすとよく似ている。</p>	<p>◇次の観点で机間指導を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・測り取るときに粒子の上面を平らにし、目盛りを真横から見ているか。 	<p>10分</p>
<p>3 液体を混合したときに体積が小さくなるしくみを説明する。</p>	<p>カ モデル実験のようすから、体積が小さくなるしくみは、エタノールと水の粒子の大きさが異なり、エタノールの粒子のすきまに水の小さな粒子が入り込むことで体積変化がある。(B評価)</p> <p>キ 砂糖が水に溶けたときに体積が少し小さくなったが、砂糖の粒子のすきまに水の粒子が入り込んで体積が小さくなり、今回と同じようなしくみで液面が少し下がったのだ。(A評価)</p>	<p>◇液体を混合して体積が小さくなったしくみを、粒の混合による事象に置き換えた上で、これまでの学習を基にして考え、ワークシートにまとめることを確認する。</p> <p>◇粒子の大きさの違いに着目してしくみを説明できない場合は、大きな粒子に小さな粒子をゆっくり入れたときのようすを共に観察して、すきまに多少小さな粒子が入り込んでも体積が変化しないことに気づけるようにする。</p>	<p>15分</p>
<p>4 本時の追究を振り返る。</p>	<p>ク 学習してきた粒子の考え方を使うことで、溶ける現象を説明できた。他の現象も粒子の考え方を使えば説明できるかもしれない。</p>	<p>◇本時の振り返りの中から、科学的な見方や考え方が高まっている生徒の振り返りを紹介する。</p>	

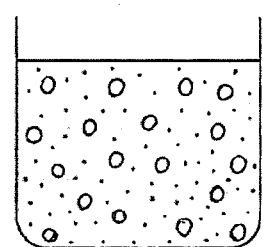
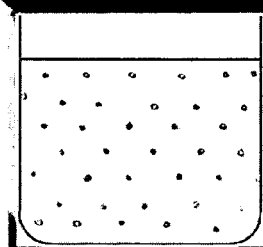
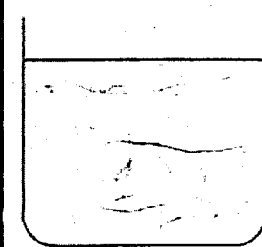
図3 本時の展開

4. 結果と考察

4.1 学習前後での理解の変容

図4は、授業実践の前後において、「物質が水に溶けているとき、水溶液の中はどのようなになっていますか」と質問したときの、生徒の回答を示している。2×3のクロス表を作成してFisherの直接確率計算を行った結果、5%の有意水準で統計的に有意差が認められた(両側検定： $p=0.0000$, $p<0.05$)。生徒は、学習前に解けているものは透明になって見えなくなっているという認識であったものが、粒子として水溶液中に存在しているという認識に変容していることが明らかになった。

質問 物質が水に溶けているとき、水溶液の中はどのようなになっているか

			
設問に対する言葉を用いた説明の例	<ul style="list-style-type: none"> 溶媒と溶質が均一に混合している。 大きな粒子のすきまに小さな粒子が入っている。 	<ul style="list-style-type: none"> 目に見えない小さな粒子として存在している。 粒が時間がたっても沈まない状態 	<ul style="list-style-type: none"> 溶けているものが見えなくなる。 水となじんでいる。 水に溶けて透明になる。
実施前(人)	0	12	27
実施後(人)	15	19	5

※授業学級生徒39名に、小単元終了1週間後に調査を行った。

図4 授業前後の結果の比較

また、予想や考察の場面で、生徒は班の友との意見交換を通して、事象を粒子の考え方で説明していけばよいことに気づき、そのため主眼を達成した姿もあった。しくみが目でとらえにくい事象を説明するために、仮説を位置づけるだけでなく、追究の過程で友とのかわりが必要であることが明らかになった。事象がおこるしくみを目でとらえられる事象に置き換えた上で既習事項を基に考察する学習が生徒の理解を促す上で有効に機能しているものと考えられる。

4.2 特徴的な生徒の変容

1) 体積変化を目でとらえられる事象に置き換えて既習事項を基に説明したAの事例

第3時に、水に溶かす前後で質量が変化しない理由を説明する場面で、砂糖と水の粒子モデルをかき混ぜることでそのようすを観察し、質量が変化しなかった実験結果をまとめることはできたが、とけるしくみを図や文章で説明することはできなかった。第4時に教師は、水 25cm^3 とエタノール 25cm^3 を混合し、体積が 50cm^3 よりも小さくなる事象を提

示した。そして体積が小さくなるのは、違う種類の液体同士を混合した場合だけであることを全体で確認し、学習問題を「水とエタノールを混合したときに、体積が小さくなる理由は何だろうか」と設定した。Aは事象提示の実験を実際に行った際、液体からわずかな気泡が発生していることに気づき、予想の場面で次のような意見交換を班で行いながら考えていった(図5)。図中のA、B、Cは生徒、Tは授業者、数字は発話順を表している。

- A1：なんかシュワシュワってなっていたね。でも何でこうなる(混合して体積が小さくなった)のかわからない。
- B1：気体になって出てしまったのかもしれない。それで体積が小さくなる。
(全員で少し考え込む)
- B2：(気泡が出る以上に体積が減少していることに気づき)でも減りすぎだと思う。
- A2：確かに・・・。(考え込む)
- T1：(黒板の既習事項を指しながら)前の時間に勉強したこのようなことを参考にしたら何か手がかりになるものはありますか。
- C1：(黒板の既習事項を見て)エタノールは粒子なんだよ。
- A3：(既習事項を確認して)ということはエタノールの粒子と水の粒子が混ざったんだ。
- C2：粒子がくっつくということ。
- A4：合わさるといふか混ざるといふ感じだと思う。

図5 意見交換場面でのAのプロトコル

全体で予想を確認した後、教師は前時で用いた粒子を目でとらえられる大きさにしたモデル(プラスチック球とガラスビーズ)を用いて、水と水が混合した場合は体積が変化せず、水とエタノールが混合した場合は体積が小さくなるはずだと全体で仮説を設定した。Aの班は水の粒子をガラスビーズ、エタノールの粒子をプラスチック球に置き換えて、水と水の混合では体積は小さくならないが、水とエタノールの混合では体積が小さくなることを確認し、Aはワークシートに実験結果を記入した。その後、図6のような意見交換を班で行いながらAは体積が小さくなったしくみをワークシートにまとめた。

- A5：しくみってどんなことを書けばいいのかわからない。
- B3：(粒子モデルの装置を指して)これを図に書けばいいと思う。
- A6：最初は水から入れたから・・・。
- M1：だから水を下に書くと思う。
〔Aは小さな粒子を底に敷き詰めるように記入する。〕
- A7：(混合前と混合後を指し示して)こっちが混ぜる前で、こっちが混ざった後。(混合後は)なんか詰まっている。
- B4：私もそんな感じになったよ。(混合後は)あまりすきまがないんだね。

図6 意見交換

意見交換の後、Aは体積が小さくなったしくみを文章でまとめた。その際、黒板の既習

事項「粒子の大きさは物質によって決まっている」や「粒子の間にすきまがある」を何度も確認し、語を選びながらワークシートに記入した(図7)。

体積が小さくなったしくみを全体で確認した後、Aは振り返りをワークシートに記入した(図7)。第4時、学習問題に対する予想を班で意見交換する場面で、Aは混合した液体から気泡が発生したことに気づき、友の意見(B1)と重ねあわせて、気泡が発生した分体積が小さくなったと考えた。しかし、気泡が発生する量以上に体積が小さくなっていることに気づい

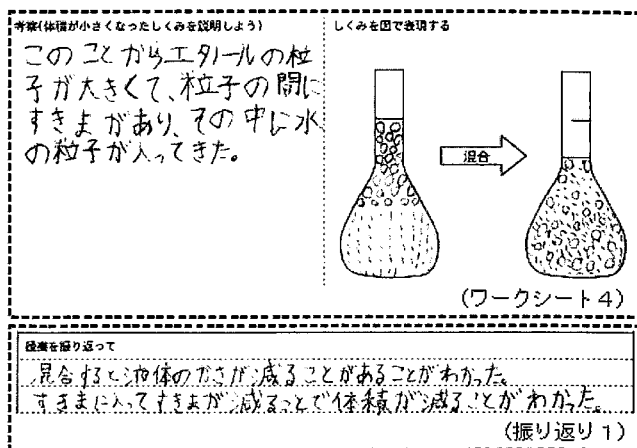


図7 Aのワークシート

た友の意見(B2)を聞き、気泡が発生すること以外の別の変化が起きていることに思い至ったが、粒子の考え方で液体の混合をとらえることができず、理由を予想するまでには至らなかった。その後の友の意見と教師の助言(C1, T1)から、水もエタノールも粒子であることを想起し、水とエタノールが混合することは粒子同士が混合したことであると班の友に伝えた(A3)。これは既習事項である「すべての物質は粒子からできている」という考え方を想起したことによるものだと考えられる。しかし、予想の段階では粒子のすきまに着目することができなかった。これは、目でとらえることができない水やエタノールの粒子が集合している事実や、粒子が集合したときのようすを想像することができなかったからだと考えられる。

液体の混合を粒子モデルの混合で置き換える実験を行う場面でAは、モデルに置き換えても体積が小さくなったことをワークシートにまとめた。考察の場面で、Aは友の意見(B3)を参考にして粒子モデルを観察し、混合したようすを図で描くことで(ワークシート4)、混合前より混合後の方が、粒子が詰まっていることを見いだすことができた(A7)。そして、友の意見(B4)を聞き、粒子のすきまが減少したことで体積が小さくなったことをワークシートに記入することができた(振り返り1)。

これは、水とエタノールの混合を目でとらえられる粒子モデルの混合に置き換えた実験結果と、粒子にかかわる既習事項を基にして、混合した液体の体積が小さくなったしくみを考察する場面を位置付けたことで、液体を粒子としてとらえて考察しながら、粒子のすきまにもっと小さな粒子が入り込むことで液体の体積が小さくなることを説明できた姿であると考えられる。これらのことから、事象がおこるしくみを、目でとらえられる事象に置き換えた上で既習事項を基に考察する学習は有効に機能していると考えられる。

2) 水とエタノール混合のしくみを砂糖が溶けるしくみと関連付けて説明したKの事例

第3時にKは、砂糖が水に溶けるしくみを「砂糖の大きな粒子の集まりが、水の小さな

粒子によってばらばらにわかれて見えなくなる。溶けて質量が変わらないのは粒子が容器から飛び出さないから数が変わらないからだ。」と説明した。第4時の事象提示の際、授業者は水とエタノールが混合したときに着色したエタノールが均一に広がっていることから、「水がエタノールに溶けたとも言える」と伝えた。予想の場面でKは、水とエタノールが粒子からできているという既習事項を想起し、班の友と意見交換（図8）を行いながら、それらが混合することで体積が小さくなる理由を考えていった。

K1：粒子と粒子が混ざって体積が減るんだよね。

W1：水（の粒子）があるね。最初ばらばらだね。エタノール（の粒子）が大きめだね。混ぜると・・・ばらばらになって。

I1：水の粒子がエタノールの粒子に入り込んで・・・

W2：水の粒子がエタノールの粒子に入り込んで混ざって、スペースの節約みたいな感じ。

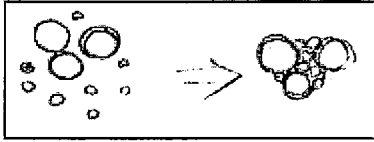
K2：スペースの節約って何。エタノールも砂糖みたいにばらばらになるんだ。

W3：分かれるものにも、固まっていないよ。

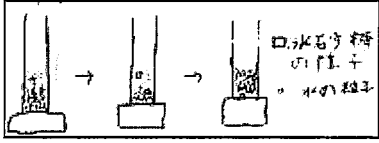
K3：固体じゃないから、（エタノールの粒子が）ばらばらになっているものが水ですらにばらばらになった。

W4：（自分のワークシートに図示しながらK生、I生に説明する）こうやって書くとスペースの節約になるよ。

K4：だから節約になるんだ。



W生のスペースの節約の説明の図



T生の前時の溶けるようすの図

図8 班内での意見交換

Kは水の粒子をガラスビーズ、エタノールの粒子をプラスチック球に置き換えて、水と水の混合では体積は小さくならないが、水とエタノールの混合では体積が小さくなることを確認し、ワークシートに記入した（ワークシート5）。考察の場面でKは、粒子モデルで表した水と水の混合と水とエタノールの混合を比較しながら体積が小さくなったしくみをワークシートにまとめた。その際、混合前と混合後では粒子数が変化しないことを、図で描き表した（ワークシート6）。その後、考察を全体で確認する場面で、他の班の生徒が「前の時間に氷砂糖に水を加えて少しだけ体積が減りましたが、砂糖の粒子の間に水の粒子が入り込み体積が少し減った」と前時の砂糖を水に溶かして体積が小さくなったしくみを発表した。それを聞いたKは、水とエタノールの混合と砂糖が水にとけるしくみを関連づけてワークシートに記入した（振り返り2）。

第4時、学習問題に対する予想を班で意見交換する場面で、Kは水とエタノールの粒子が混合することまでは導きだしたが、粒子の大きさやすきまに着目することができなかったため、体積が小さくなる理由を予想できなかった。意見交換をする中で、Kは友の意見

(W1)を聞くことで、既習事項である粒子の大きさの違いやすきまに着目できた。そして「粒子がばらばらになる」という意見(W1)を聞き、砂糖が水に溶けるようすを説明した前時のワークシートと重ね合わせて、今回も同じように粒子がばらばらになることを想像できたと考えられる(K2)。Kの意見を聞いたWは、エタノールは液体で砂糖は固体であることから、水に砂糖が溶けるしくみと、水とエタノールが混合するしくみを同じように考えてよいのかとK生に自分の疑問を伝えた(W3)。Kは、エタノールの粒子の集合体は結晶のように規則正しく並んでおらずばらばらであり、水を加えることでその粒子が分散してばらばらになる、と固体と液体の粒子の集合体がそれぞれどのような状態になっているかを考えながら説明することができた(K3)。しくみを説明する場面でKは、液体の体積は小さくなるが粒子の数は変化していないことを、描く粒子の数を同数にすることでワークシートに示すことができた(ワークシート6)。さらにしくみを全体で確認する場面で友の意見と自分の考えとを重ね合わせることで、振り返りに砂糖が水に溶けるしくみと水とエタノールが混合するしくみを関連づけて説明できた。これは、粒子の集合体が液体と固体でどのように違うかを考えながら、水とエタノールが混合するしくみを砂糖が溶けるしくみと関連付けて説明できた姿であると考えられる。これらのことから、事象がおこるしくみを、目でとらえられる事象に置き換えた上で既習事項を基に考察する学習が有効であるものと考えられる。

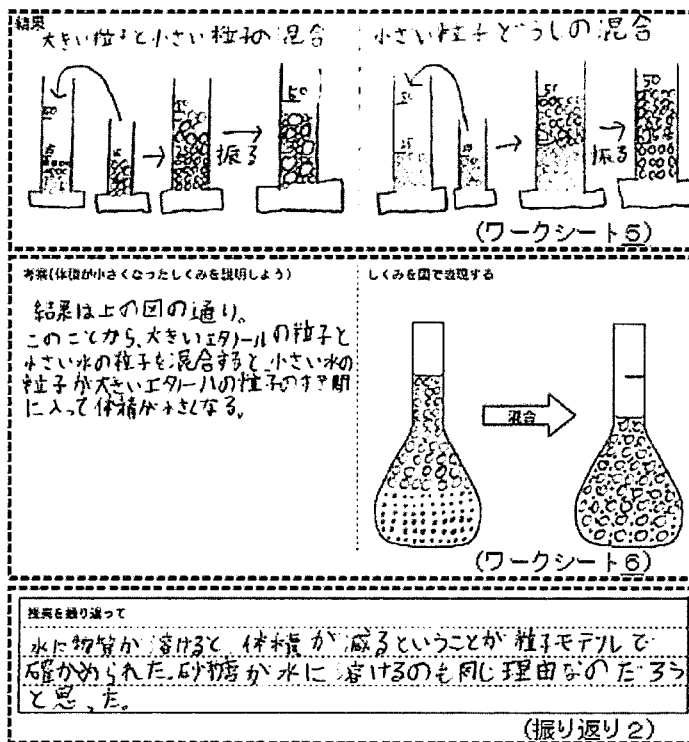


図9 Kのワークシート

文献

文部科学省, 2008, 中学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書, 東京.

(2009年6月26日 受付)