

科学的思考力と言語能力を育むための初等中等理科
教材の開発研究：
物質の溶解の様子を粒子モデルを用いて説明する中
学校理科授業での実践事例

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-11-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 萱野, 貴広, 久田, 隆基, 植田, 三起子, 山田, 勇介 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00002721

科学的思考力と言語能力を育むための初等中等理科教材の開発研究 —物質の溶解の様子を粒子モデルを用いて説明する中学校理科授業での実践事例—

Study on Developing of Science Teaching Materials to Foster Scientific Thinking and
Linguistic Competence for Primary and Lower Secondary Schools
—A Case of Science Lessons Using Particulate Models of Substances
at a Lower Secondary School—

久田隆基*・萱野貴広*・植田三起子**・山田勇介***

Ryuki HISADA, Takahiro KAYANO, Mikiko UEDA and Yusuke YAMADA

1. はじめに

平成14～18年度にわたり、文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究「新世紀型理数科系教育の展開研究」が推進されている¹⁾。その中の研究項目の一つに、「論理的思考力や創造性、独創性を育むための教育内容や指導方法、教材等の研究」がある。それを受けて、本研究では、児童生徒の科学的思考力と言語能力を育成するための実験を授業の核にした理科授業実践プログラムの開発をねらいとしている。

科学的思考力の育成は理科教育の目標のひとつであり²⁾、種々の思考をする上で言語は不可欠である。したがって、言語能力の育成にも密接に繋がっていくものと考え。ここでいう言語能力とは、記述力・発言力・聞き取り能力・読解力・コミュニケーション能力の他、科学の専門用語を扱う能力なども含むものとする。本研究のねらいは、「考える力」の育成に他ならず、文部科学省が現在推進しようとしている政策³⁾と軌を一にすることでもある。また、平成17年末に示された「PISA調査（読解力）の結果分析と改善の方向」⁴⁾を受け、「読解力」の向上が、今叫ばれ、実施されようとしているが、本研究でねらう「言語能力の育成」もまさに今求められていることであると言ってよいだろう。

これらのねらいを達成する方法として、授業で子どもたちが先ず自分の考えを持ち、それを豊かに表現したり、教師と子どもや子ども同士の対話を重視した様々な活動を行うことが有効であると考えた。具体的には、目に見えない事象やものを追究する中で、既知の知識・経験等から類推したり、想像力を子どもたちに発揮させたりすることを通して、子どもたちが自分の考えを持つことができるような題材を選ぶことが肝要である。そして、そこから出てくるアイデアや考え等を豊かに表現し、教師と子ども、子ども同士の対話という過程を通して様々な活動を協同的に行っていくなかで、児童生徒の科学的思考力と言語能力が育まれると考える。ここで重視することは、子どもたちの持つ自然事象に対するイメージであり、協同的な学びである。これらについては、既にこれまでも識者が指摘していることでもある^{5,6)}。要は、それをどう実現するかが課題である。

*静岡大学教育学部 **静岡市立清水第二中学校 ***熱海市立多賀中学校

本報告では、このねらいを達成することを目指して、授業実践を行った中学校での事例について述べる。その授業では、「目に見えないもの」としての分子や粒子を題材としたものである。具体的には、水とエタノールを混ぜたとき、その混合液の体積の和は保存されず、体積が少し減少する現象を目の当たりに観察させる。そして、子どもたちに既有知識と想像力を発揮してもらい、かれら自身によるディスカッションや追究活動で進める授業を実施した。以下に、実践結果と科学的思考力、協同的な活動の実態とそこから見えてきたことの実際について述べる。

II. 実践授業の概要

1. 授業のねらい

物質の溶解の様子を粒子モデルを用いて説明する活動を通して科学的思考を促す機会を生徒に与えることとし、次のような具体的な目標を立てた。

(1) 水とエタノールを混ぜると、混合液の体積の和が少し減少する現象について、その理由を物質が粒からできているという既習事項をもとに推論することができる。

(2) 上の学習の後、二酸化炭素が水に溶解する性質を利用し、二酸化炭素と水を入れて密閉したペットボトルを振ることにより、ペットボトルがへこむ理由をモデルを用いて説明することができる。

2. 授業の対象と実施日、時間数

(1) 授業実施学校・学年・人数：静岡市立A中学校・2年生・1学級 36名

(2) 授業者：植田三起子

(3) 実施日・時間数：2004年11月17～24日・4時間構成

3. 授業の概略

第1時：「エタノール20cm³と水20cm³を混ぜたら何cm³になるだろうか」という課題を提示し、混合液の体積の和が保存されずに体積が減ることを班実験させた。次いで、体積が減る理由を検証する実験方法を班ごとに考えさせた、自分たちの計画に基づき、自由に実験を行わせた。

第2時：前時の続きで、先ず各班に実験結果の発表をさせた。次いで、班によって実験結果が必ずしも一致していなかったため、教師実験で体積が減ることを確認した。その後、体積減少の理由をモデル化して考えさせるため、エタノール、水、混合液の中をそれぞれ拡大してみると、どう見えるのかと尋ねた。先ず個人で考え、そのイメージ図（モデル図）とそう考えた理由を書かせた。そして、班で話し合いをさせ、班ごとのイメージ図を描かせた。

第3時：第2時の続きで、各班のイメージ図の完成と体積が減る理由について班内討論を行う時間を取った後、各班のイメージ図を黒板に張り出し、発表してもらった。そして、教師は、それまでの活動のまとめとして、物質の粒子構成理論を説明し、粒の大小に起因するすきまへの侵入によって、体積が減るということを説明した。また、実際に大きさの異なる発泡スチロール小球を使って、そのことを生徒たち自身に確認させた。

第4時：ペットボトルに水と二酸化炭素を入れ、しっかりと栓をして振ると、ペットボトルがへこむ。その理由を、図を使って説明しようと生徒に投げかけ、ワークシートに自分の考えを書かせ、班で話し合った後、全体発表を行わせた。

4. 授業の記録と分析方法

(1) 授業記録

- ・授業の様子を2台のデジタルビデオカメラ（DV）に録画・録音する。
- ・教師と生徒の発言は全員に持たせたICボイスレコーダに記録する。

(2) 分析方法

- ・授業の流れや生徒の活動の様子はDV記録と授業の際の授業観察記録から分析する。また、音声記録から教師の発言と一部の生徒の発言やつぶやきを文字化し、その内容を分析する。
- ・生徒の描いたイメージ図、記述物、授業終了後の感想文から生徒の実態や思考の様子を分析する。

III. 授業実践結果と考察

1. エタノールと水との混合液の体積減少についての説明とその現象のモデル化の実態（第1時・第2時・第3時）

授業では、まず生徒実験としてエタノールを水と20cm³ずつ混ぜ合わせた。その際、混合液の体積が40cm³に保存されずに減少することに驚きをおぼえた生徒も少なくなかった。ここでは、通常は教師側から実験の手順が詳細に説明され、実験実施に導かれる場合が多いが、その手法はとらずに、体積が減る理由やそれを検証する実験方法を班ごとに検討させ、ワークシート1（図1）に記入させた後、自分たちで考えた実験方法で自由に実験させた。第1時と第2時での各班の考えや活動、結果等を表1に示す。熱、温度、化学反応、蒸発などが関係するのではないかというアイデアのもと、エタノールと水を別々にあるいは混合液を温めたり、混ぜ合わせる量を変えたり、順序を変えたりした実験を行っていた。しかし、いずれの班も体積が保存されないことを確認したものの、体積が減る理由についての有力情報をえることはできなかった。7班と9班は、「水とエタノールを混ぜたとき、触ったら温かくなっている」ことに気がついている。このことから、「温度が関係しているのではないかと」、間違っているもの、かれらなりの科学的思考を行っていることは注目に値しよう。

教師は、ここで、生徒に発表させたり、体積が減ることを確認はしたが、いわゆる「正しい答」は語らず、授業を次の段階に進めた。

実験報告書		(7)班 No.(1)
【目的】	エタノールと水を混ぜたとき、全体の体積が減る理由を探る。	
【予想】(理由も)	水+エタノールとき、さわったらあたたかくなって、混ぜたから減るのは温度が関係してると思った。	
【方法・結果】	水をお湯にして、エタノールと混ぜた お湯 エタノール 20cm ³ 20cm ³ ✓ 38cm ³ になった。	
【結論】	あまりかわりはないが、水とエタノールのときより減った。	

図1. ワークシート1と記述例

生徒が混合前後のエタノールと水、そして混合液の様子を微視的にどのように捉えているのかを探るという意図も含めて、物質の微視的モデルを導入するために、個人別にそれぞれをモデル図で表すよう求めた。ここでは、各液体の一部分を拡大したときに見えるであろう様子のイメージを図2に示すワークシート2に描くよう求めた。正誤はともかく、ほとんどの生徒(30名、4名は未提出)が粒子モ

表1. 第1時の確認実験の各班の考え、実験方法、結果と結論

班	予想・考え	実験方法	結果	結論
1	加熱したら、減るのではないか	エタノールと水を温めてから、同じ量入れた	水、エタノールともに変化なかった	エタノールは水の中に溶けてしまったから減った
2	エタノールは水と反応をおこすのではないか	水と水、エタノールとエタノールをたしたときの差が出るかどうか調べた	すべて体積が減った	よくわからない
		エタノールと水の混合物を温めた	73℃の時体積が増えた	加熱すると体積は増える
3	加熱したら、減るのではないか	エタノールと水の混合物を温めた	あまり変わらなかった	あまり変わらない
4	水とエタノールが混ざった	エタノールと水の重さを測り比べた	17.6g+15.1g→31.3gになった	水とエタノールのどっちかが溶けた
	エタノールと水の比率を変えたらどうか	エタノールと水の比率を変えて調べた	エタノールが多いときに体積がたたくさん減った	エタノールは水に溶けている
5	蒸発すると全体の体積がふえるのではないか	エタノールだけを加熱した	エタノールの体積が増えた	エタノールは加熱すると液体の体積が増える
6	それぞれの量を変えてみたらどうか	エタノール水との量100mlに変えて混ぜた	体積が減った	体積は減る
7	水とエタノールを混ぜたとき、触ったら温かくなっていて、体積が減ったから、温度が関係しているのではないか	エタノールとお湯にした水と混ぜた	体積が減った	別にかわらない
8	エタノールが蒸発したから減った	エタノールと水を温めてから、同じ量を入れた	体積が減った	なぜ減るのかわからない
		エタノールと水の混合液を3種類用意してを温めた	どれも変化なかった	体積が減るのは蒸発したからではないことがわかった
9	混ぜたときあたたかくなっていたから、加熱したら、減るのではないか	エタノールと水の混合物を温めた	体積が増えた	温めても意味がない

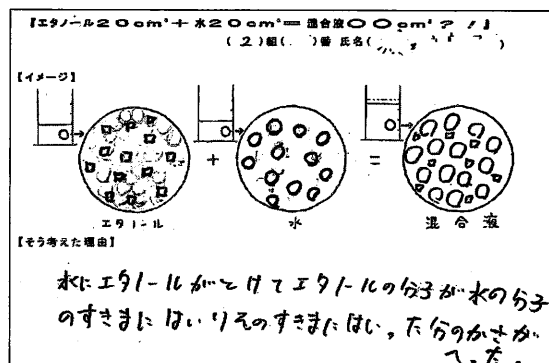


図2. ワークシート2と記述例

分子式などの分子概念がそれまでの授業において既に導入されているからであろう。正誤は別として、各班ともにユニークなアイデアが出されていることがわかる。

一方、授業者側はエタノールと水やそれらの混合液の一部分を拡大したときに見える様子をイメージさせることによって、体積減少の原因を説明しやすくさせるだろうと想定して図2のワークシートを提示したが、ボイスレコーダー記録から、次に示すように、その提示や生徒の既知知識が思わぬ方向に行ってしまったケースも見られた。

Aさんの班(8班)は、当初エタノールと水を混ぜている間に蒸発したと考えたので、エタノール、水、混合物をそれぞれ試験管にとり、40℃くらいまで温めて蒸発する速さを早め、体積の変化を調べた。その結果、変化がなかったため、蒸発によって体積が減っているのではないということを確認した。しかし、拡大して考えてみようという先生の発言から、分子で考えなければいけないのだと考えた。そこで、水中には肉眼ではみることのできないプランクトンなどの微生物がいることを思い出した。そして、先生の「デンプンと糖ってどうなった？」というヒントによって、分解されて小さな分子になったのだと考えた。そして、エタノールの分子を水の中の微生物が更に小さな分子に分解したのだと考えた。また、エタノールの中の栄養分を水の中のプランクトンが食べると考えた。つまり、分子が小さくなり、数が少なくなったことにより混合液の体積が減ったのだと考えた。過去に学習したことがかえって混乱をもたらしたことになるが、既習事項と結びつけて思考を行っている様子はよくわかる。

他方、Bさんの班(2班)はエタノールと水とが反応するのではないかと考えたので、エタノール+エタノール、水+水、エタノール+水(全部20cm³ずつ)の混合を行ったときの体積変化を調べた。Bさんの予想では、同じもの同士を合わせても体積は変化しないという考えだったが、実験結果は期待通りにはならず全部減ってしまった。その後、教師による混合に伴う体積減少の確認実験によって同じもの同士は体積変化しないことが確認された後も、Bさんは、まだ反応したから体積変化があったのだと考えていた。エタノールと水を混ぜたとき泡がでるので、化学反応していると考えたのである。化学変化だとすると、銅と酸素で酸化銅ができるように、エタノール(C₂H₅OH)と水(H₂O)がくっついてC₂H₅OHH₂Oのような物質ができるから体積が減るのだと考えた。つまり、△の物質の隣に○の物質がくっついてしまうのではないかと考えた。しかし、班の生徒から○と△がくっついても体積は変わらないので、水溶液の体積は減らないのではないかという意見が出された。そこで、エタノールを大きな○で考え

デルで表していた。そのあとで、個々のモデル図を持ち寄り、班ごとに検討を加え、画用紙(前の黒板に張りだすため)に班モデル図を描かせた。第2時の終了までには描き終わらなかった。

第3時には、冒頭から再度話し合いをさせ、モデル図を描かせた。授業開始から完成までに約26分を要した。各班の描いたモデル図を図3に示す。どの班も粒子モデルを用いて描いている。なかには、3班のように分子モデルで描いている班もある。これは、分子、

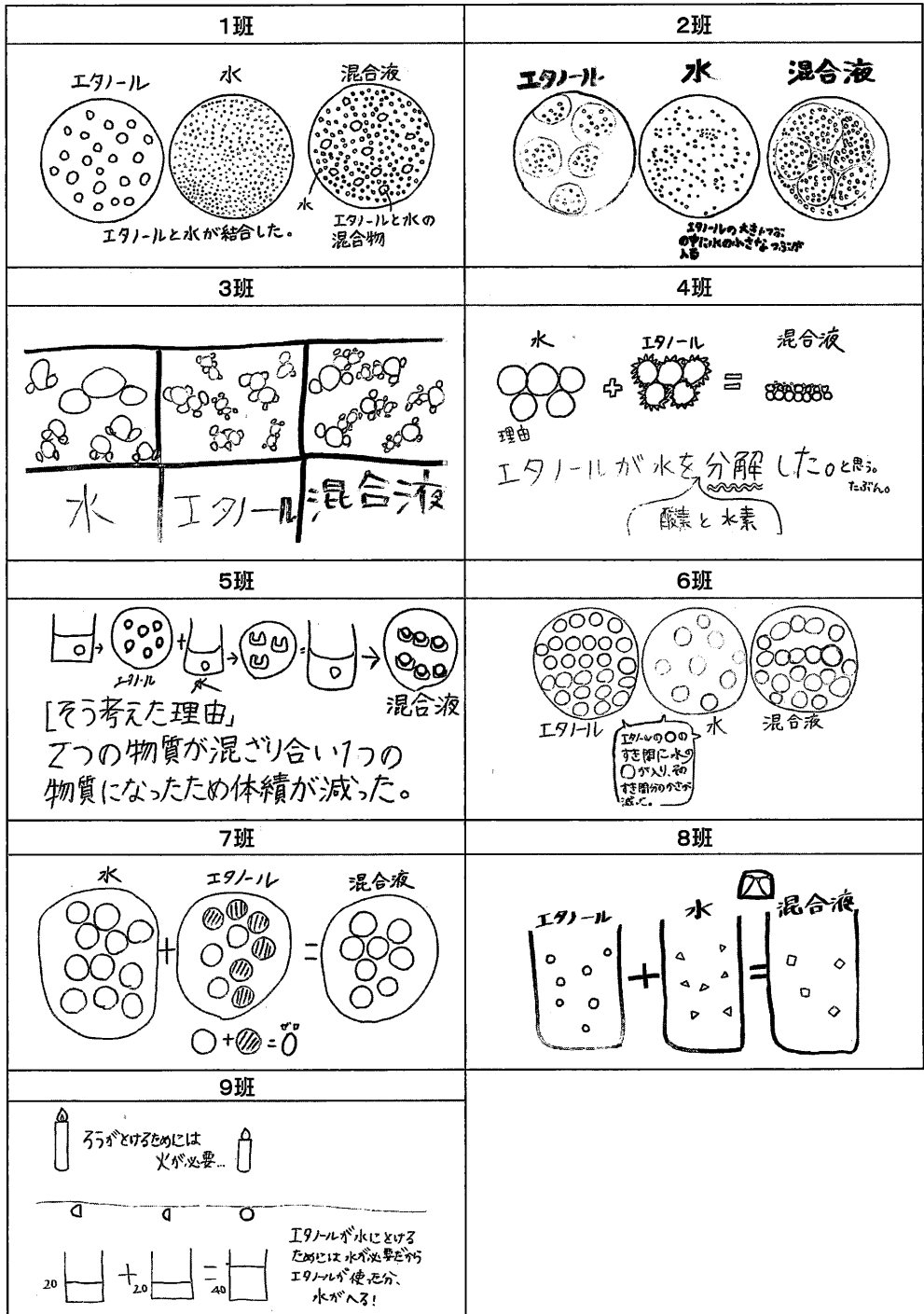


図3. エタノール、水と混合液の中を拡大してみたときの各班別イメージ図

て、隣にくっつくのではなく、エタノールの中に水の小さい分子が入って合体するのだと考えた。そうすることによって、全体での粒の数が少なくなる。また、エタノールの粒は水の粒を吸収して大きくなるが、エタノールの中の水の粒の密度も上がるので、全体としての体積は減るのではないかという意見にまとまった。また、エタノールの粒より、水の粒の方が数が多いのでエタノールが吸収できなかった。そのため、水の粒は吸収されずにそのまま残ると考えた。このように、「泡」に気づき、それがかえって、別の理由を考えたということになったが、Bさんなりに科学的思考を駆使したことがわかる。エタノールと水の化学式まで持ち出しているのである。これは、このような知識を持っていても、この問題には対処できないことも示している。その後、班での話し合いで、納得のいく説明の方向に進んでいった。このことは班で学習することの意義がよくあらわれていると考える。

第3時では、はじめ、班討論を続けさせた後、混合液の体積が減る理由について、図3のモデル図を使って各班の考えを順に発表させた。その結果を表2に示す。すきまに入り込むという説、合体説、分解説などが出てきている。これらの種々の考え方をまとめる形で、教師は、すべての物質が粒子からできていることと物質によって分子の大きさが違っていることが現在の学説であると改めて解説し、そしてエタノールと水の場合も分子の大きさが違って、粒子の大小によるすきまへの侵入によって、体積減少の理由を説明した。また実際に径の異なる発泡スチロールの小球を使って、実際に混ぜて振ってみる体験を生徒に行わせ、自分たちの考えてきたモデルの妥当性について確認させた。

表2. 第3時における班討論後での体積減少の理由についての考え方

班	考え方	討論後の班発表時での考え方
1	すきま侵入説	それぞれが粒からできていて、水とエタノールを混ぜたときに合体して全体としての粒の数が減っているから体積が減るの方がすきまが多く、その間にエタノールが入り込んで体積が減る
2	すきま侵入説／合体説	エタノールの大きい粒の中に水の小さい粒が入り込んで合体する
3	合体説	粒同士が合体したから体積が減った
4	分解説	エタノールが水を酸素と水素に分解し、体積が減った
5	すきま侵入説／物質生成説	粒で混ぜるとへこみにはまって1つの物質になり、体積が減る
6	すきま侵入説	それぞれが粒からできていて、エタノールの粒のすき間に水の粒が入り、そのすき間分のかさが減った
7	打ち消し合い説	混ぜると、打ち消し合いゼロになるから
8	合体説	粒からできていて、水が細かくエタノールと合体する
9	消滅説／合体説	エタノールが水にとけるためには、水が必要だから、エタノールが使った分、水が減る

2. エタノールと水の混合液の体積減少についての学習における班および対話活動の実態

ボイスレコーダー記録とDV記録から班ごとの発言や活動の実態をまとめてみると、次のようになる。

- ・ 1班：検証実験の発表では、エタノールが水に溶けたので体積の減少が起きたという予想を発表していたが、班員間で話し合いがなされず、予想の根拠が出されていなかった。イメージ図の作成では、検証実験のときよりも話し合いが行われ、図に対してこだわりを持つ場面が見られた。しかし、ここでも妥当性の追及はなされなかった。
- ・ 2班：検証実験の発表では、水とエタノールが化学反応を起こしたため体積の減少が起きたという予想を発表していた。班員間である程度話し合いが行われたが、実験方法の不手際により結果が間違っしまい混乱してしまった。この混乱は教師によって解消された。イメージ図の作成では、検証実験のときよりも体積の減少をうまく説明するためにはどうしたらよいかという目的を持って話し合いが行われ、妥当性を追及することができた。その結果エタノールの分子と水の分子というモデルがイメージ図に見られた。
- ・ 3班：検証実験の発表では、エタノールが蒸発したために体積が減少したという予想を発表していた。班員の人間関係ができておらず、話し合いがほとんど行われなかった。蒸発という予想も1人の班員が勝手に考え出したもので、妥当性の追及は全くなされていない。イメージ図の作成でも、話し合いが行われず、発表されたイメージ図はひとりの班員が勝手に考え出したものであった。
- ・ 4班：検証実験の発表では、予想が述べられなかった。考えることができなかったのではなく、この班では別のところに興味が行っていた。体積の減少が水とエタノールを混ぜた瞬間に起きているということを確認するために、メスシリンダーの中に残っている液体がないかを確認していった。話し合いが活発になされ、妥当な方法で検証していた。イメージ図の作成では、話し合いが活発になされ妥当性を追及していた。エタノールが水を分解するというモデルがイメージ図に見られた。
- ・ 5班：検証実験の発表では、エタノールが蒸発したために体積が減少したという予想を発表していた。検証実験に取り掛かる前に十分に班員で話し合いが行われている。温度に注目して実験をしており、妥当性を追及して活動ができている。イメージ図の作成では、自分の持つイメージを班員にうまく伝えようと積極的に発言している様子が見られた。体積の減少を自分たちなりの考えで説明できた。
- ・ 6班：検証実験の発表では、予想が発表されていなかった。しかし、話し合いの中では、蒸発によって体積が減少したと考え検証していった。イメージ図の作成では初めから活発に意見が出され、検証実験のときの蒸発という予想をイメージ図でも用いた。
- ・ 7班：検証実験の発表では、温度が関係しているというあいまいな予想を発表していた。話し合いでは、予想を立てることの重要性を班員同士で指摘し合っていた。イメージ図の作成の際には、話し合いの中で物質の粒が消えることで体積が減少すると考えるにいたった。自分たちなりの考えで体積の減少を説明した。
- ・ 8班：検証実験の発表では、エタノールが蒸発したため体積が減少したという予想を発表した。話し合いの中で予想を立てること、実験の結果をどう処理するかということの重要性に気づいた。実験結果から、エタノールが蒸発したから体積が減少したのではないという結論を述べていた。イメージ図作成でも話し合いが活発に行われ、自分たちのイ

メージ図の妥当性を追及できた。自分たちなりに体積の減少を説明することができた。

- ・ 9班：検証実験の発表では、エタノールと水の混合物を加熱すると体積が減るという予想を立てて実験を行ったが、結果は体積が増えたと発表した。話し合いとイメージ図の作成に当たっては、ひとりの生徒が強く提案し、班員に理解を求めたが、結局、班として明快な説明はできなかった。

イメージ図の発表では、図3にあるように、「ロウソクだってさ、火が燃えるためにはロウが減っていくじゃん。それと一緒に、エタノールが溶けるためには水が必要になるから、エタノールが使った分、水が減る」と説明していたが、他の班員には理解できなかったようだ。

上の班ごとのまとめを含め、班全体の会話記録から、検証実験における班活動の様子を見ると、5つの班（2・4・5・6・8班）では、体積の減少を探る実験方法の妥当性を追及しながら考え、実行することができていた。それができた要因として、（1）班員間で十分に話し合いが行われ、多くの意見が出せたこと、（2）意見に対して疑問や同意を述べ、1つの意見を班員で吟味したこと、（3）体積の減少をうまく説明するという目的を最後まで持ち続けられたこと、が挙げられる。また、残りの4つの班（1・3・7・9班）では、体積の減少を探る実験方法の妥当性を追及しながら行うことができていなかった。妥当性の追及がなされず、体積の減少を説明する考えが練られなかった。その要因として、（1）班員で話し合える関係が築けていなかったこと、（2）体積の減少をうまく説明するという目的が最後まで保持できなかったこと、が挙げられる。要するに、個人の能力ではなく班員とのコミュニケーションをいかにとれるかが、重要な要素であると言えよう。ただし、この検証実験課題は、自由実験という子どもたちにとってあまり慣れていない学習活動であり、内容自体も難しかったことも勘案する必要がある。しかし、これまで見たように、生徒のアイデアを引き出させるよい機会になり、実際にアイデアが出たことは科学的思考という面から評価できよう。

次に、イメージ図作成の場面に関して見てみると、水・エタノール・混合液を拡大して考えるイメージ図の作成においては、すべての班が物質を粒で表していた。今回の授業実践以前に、物質は粒で構成されているということ子どもたちは学習しているので、イメージ図作成の場面において、この既習事項を利用することができたと考えてよい。このように、既習事項を用いて新たな現象を考えるということは、子どもたちが科学的思考力を高めていくために有効である。しかし、体積の減少を的確に説明するイメージ図を作成できた班はなかった。水とエタノールを混ぜた混合液の体積が保存されないという現象は、原子や分子の知識をはじめ種々の知識を用いなければ的確な説明をすることができない。そういう中で、今回の授業実践での班活動において、子どもたちの多くに自分たちなりの考えを用いて現象を説明する姿が見られたことは確かである。この班活動において班員同士の話し合いが活発に行われ、子どもたちが思考していたのである。今回の現象を科学的に的確に説明するに至らなくても、このようなコミュニケーション活動を通して妥当性を追及することで、子どもたちの科学的思考力を育成するという目標を達成することの可能性を示唆しているように思われる。子どもたちの話し合い、つまり班活動中のコミュニケーション活動を積極的に行うということを授業の目標に積極的に設定することを提案したい。また、教えることと考えさせることをよく検討しておき、考えるための知識を事前に与えておくのも教育的に意味のあることである。

3. 粒子概念を使って説明しよう：二酸化炭素の水への溶解に伴い、ペットボトルがへこむ現象の理由の説明についての授業（第4時）

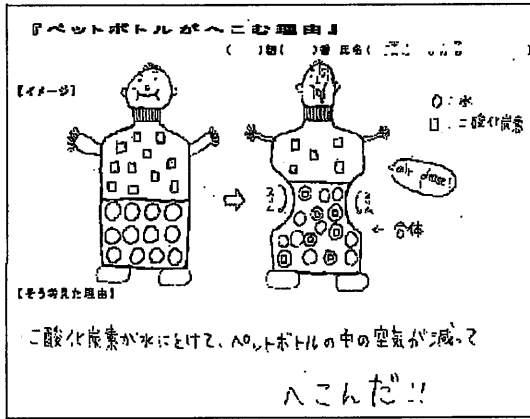


図4. ワークシート3と記述例
(図中の顔、手、足は生徒が記入)

第4時には、水上置換で二酸化炭素を約半分満たしたペットボトルに栓をして振ると、ペットボトルがへこむ現象を生徒たちに実際に体験してもらった。そして、ペットボトルの内部の変化前後のイメージ図とペットボトルがへこむ理由について図4に示すワークシート3に描くよう求めた。個人別のイメージ図を類型化し、各類型に属する数を示すと図5のようになる。図5には、各類型の代表的なモデル図を示す。また、生徒の書いたペットボトルがへこむ理由についての生徒の記述結果を表3に示す。図5と表3からわかる

ように、ペットボトルがへこむ理由として全員が二酸化炭素が水に溶け込むことをコメントしている。

27名(82%)の生徒が粒でモデルを描いていた。類型Fの斜線で示す「濃い・うすい」という言わば連続説による記述は1名であったが、A'とB'のあわせて5名は粒と斜線を併用して描いている。類型Dの塊もしくは雲状での表現も2名いた。前の3時間で分子や粒子のことについて考えたり、自由実験・討論を行ってきただけの学習の成果が表れていると言ってよいだろう。ペットボトルのへこむ理由にかかわり、「圧力」に言及をした生徒は11名(30%)であった。この「圧力」に関わらせて説明することは、いくつかの知識をつなぎ合わせて科学的な説明をすることが求められ、まさに科学的思考での重要な視点である。その意味で、こういうタイプの学習は科学的思考力を育成するのに効果的だと考える。モデル図の描画、理由の説明や上の30%という本授業の結果からすると、本教材は中学校2年生にとってもかなり難しい課題であることを意味しているとも言える。

しかし、第1時の混合物の体積の減少にかかわる現象やペットボトルがへこむ現象などを考えさせることは科学的思考力を発揮し、コミュニケーションスキルを向上させるためのディスカッションのテーマとしても最適であり、正答率からも適度な難度であると考えられる。1時間くらいかければ、生徒たち自身で合意に達せられるだろうからである。

4. 本授業実践に対する生徒の授業後の感想文からの知見

全4時間のうちの前の3時間にわたる授業について、感想や思いを【授業の感想】と題して生徒たちを書いてもらった。それらの一部を表4に示す。

表4での生徒17のような生徒もいたことは確かであるが、考えることよさや班での活動のよさを書いている生徒も少なくない。その意味で本授業のねらいの一部は達成されたものと考えられる。

また、生徒の全感想文から、本授業の評価にかかわると思われる「ことば」に着目して、単語レベルでその記述者数を調べてみた。その結果は表5である。これらのことばからも、この

類型	振る前 → 振った後	書いた人の数	類型	振る前 → 振った後	書いた人の数
A	二酸化炭素の粒が水の粒の間に入り込む (水に溶ける)	13	Aで、斜線併用		3
					
B	二酸化炭素の粒が水の中に入り込み、水の粒と合体し、水と二酸化炭素の合わさった粒となる	5	Bで、斜線併用		2
					
C	二酸化炭素の粒が水に溶けて一か所に集まる	2	二酸化炭素が水に溶ける様子を粒でなく、塊あるいは雲状で表現		2
					
E	粒で表現、ただし意味不明	2	二酸化炭素が水に溶ける様子を粒でなく、斜線で表現		1
					
G	力を矢印でのみ表現	1	H	図なしで、水に溶けて体積が減ったという表現あり	1
総数 (未提出者4名を除く)					32

図5. ペットボトルがへこむ前後の様子を示すモデル図の類型とそれらの人数

授業に対して子どもたちが感じ取った様子を読み取れよう。つまり、「考えること」を子供たちが正面から受けとめた授業であったと言ってよいのではあるまいか。

IV. まとめ

これまで述べてきた取り扱い内容、授業過程、イメージ図作成、班でのコミュニケーション活動などの実際についてまとめてみると次のようになる。

今回実施した本授業では、物質の粒子性という「目に見えないもの」に着目し、それをイメージし、表現する活動を行った。子ども同士の話し合いで、予想・検証実験の方法・考察を考えさせた。難しい活動でありながら、子どもたちは妥当性を追及し、活発に思考することが

表3. 「ペットボトルがへこむ理由」についての生徒の記述事項（白紙1名；4名未提出）

生徒	ペットボトルがへこむ理由
A	CO ₂ が水にとけて、CO ₂ のあったところがへこんだ。
B	二酸化炭素はすこし水にとけるためとけた分、なかの気圧がへり、外の気圧に負けるためペットボトルがへこむ。
1	CO ₂ の分子とH ₂ Oの分子がいっしょになって体積が減った
2	気圧がへる
3	空気+水では、へこまないけど、酸化炭素+水ではへこむ。二酸化炭素が水にとけた。
4	炭酸水は二酸化炭素がとけているので水に二酸化炭素がとけると思ったから。
5	二酸化炭素が水について（溶けて）一定の場所にあつまってへこんだ。
6	二酸化炭素が水にとけこんだ分、体積がへった。
7	二酸化炭素が水に溶けた分、体積がへこんだ。中の気圧が下がった(外の気圧に負ける)
8	二酸化炭素が水にとけた分の体積がへこむ。
9	二酸化炭素が水にとけて、空気の体積が減りへこんだ。
10	二酸化炭素が水にとけて、その分体積が減った。
11	二酸化炭素が水に溶けて、減った分の体積がへこむ。中の気圧が下がった。(外の気圧に負ける。)
12	二酸化炭素が水にとけて、ペットボトルの中の空気が減って、へこんだ！！
13	二酸化炭素と水だけが入ったペットボトルをふることによって、水に二酸化炭素が溶けてそのなくなった部分がへこんだかな。
14	二酸化炭素と水に溶けて、二酸化炭素があった空間がへこんだ。
15	二酸化炭素は最初バラバラになっていて、振ったときに、その二酸化炭素は、一つに集まって、ペットボトルがへこむと思う。混ざり合う。
16	ヒント、溶ける。中の気圧が下がった。二酸化炭素が水に溶けた分体積がへこんだ、外の気圧に負ける
17	ふったため二酸化炭素が少し混ざったその分へこんだ。
18	ふることによって二酸化炭素の分子の大きさが変わる。水に少しとけた（ふることによって、水と二酸化炭素が結合する）
19	ペットボトル内の二酸化炭素が水に溶けて、中の気圧が下がったから。
20	ペットボトルの中には二酸化炭素があつて、その二酸化炭素が水にとけたので、ペットボトルに入っていた二酸化炭素の体積の分だけへこむ。
21	ペットボトルの中には二酸化炭素があつて、その二酸化炭素が水にとけたので、ペットボトルに入っていた二酸化炭素の体積の分だけへこんだ。
22	ペットボトルの中の二酸化炭素が水に溶けてその分中の気圧が減り、外の気圧に負けるからペットボトルがへこむ。
23	ペットボトルをふったことによって、二酸化炭素が水に溶けて、二酸化炭素分の質量が減り、ペットボトルがへこんだ。
24	ペットボトルをふったことによって二酸化炭素が水にとけて二酸化炭素分の質量が減ってペットボトルがへこんだ。(中の気圧が下がった)
25	ペットボトルをふったことによって二酸化炭素が水にとけて二酸化炭素分の質量が減りペットボトルがへこんだ。(中の気圧が下がった)
26	ペットボトルをふることによって、二酸化炭素がとけた。二酸化炭素分の質量が減り、ペットボトルがへこんだ。
27	水がおしつぶされた？あつりよくによわい？さんそではどうなる？
28	水に二酸化炭素がとけた。二酸化炭素が水に溶けた分へこんだ。体積は中の気圧が下がった分(外の気圧に負ける)へった。
29	私は水がかかむようにしてへっこんでいると思います。

表4. 本授業についての感想文の一部（アンダーラインは著者による）

生徒	授業の感想
A	今までの実験はもうすでに指示されたことをするだけでした。もちろんそれも楽しんでできましたが、 <u>今回のように自分たちで一からできて本当に楽しかったです。これからは自分の意見を持って授業に参加したいです。</u>
B	いろいろな実験ができてよかった。早くエタノール+水のとぎへるのかを説明して欲しいと思った。 <u>こういう実験をするのが科学だと思った。自分がやった実験をもっとくわしくやってみたいと思う。</u>
8	いろいろなことを自分で考え自分で実験や班の人と考えるととても楽しかったし、可能性を信じた結果、 <u>班それぞれの考えが違ってみんなの考えを聞いてとても楽しかった。</u> たまには、 <u>こういう考える授業もいかなと思った。</u>
4	<u>この実験は人により考えがちがい、たくさんの予想が出るので、いつもよりよく考えて、予想・実験ができたので楽しかった。</u>
24	最初の時は、 <u>なんで混合液の量が減るのか不思議でなりません</u> でした。でも班の人と相談したり、 <u>実験を繰り返していくうちに自分なりの結論をみちびくことができて、うれしかったです。</u> まだまだわからないことがたくさんあるので、興味のあることはどんどん追究していきたいです。
23	班で、いろいろな考えを述べ、いろいろな考え方があることを知りました。 <u>考えることがおもしろかった。</u> 各班の考え方を見て、また違う考え方も見て、良かったと思います。また、 <u>このような実験をしたい</u> と思います。
22	僕はこの三時間の授業を通して、 <u>理科は面白いなあ</u> と思いました。水とエタノールを同じ量混ぜたのに <u>どうして量が減るのかなあ</u> と不思議に思いました。みんなで予想を立てたり、 <u>実験するのがとても面白かった</u> です。これからは興味を持ったものについてもっと追求していきたいです。
3	私は、 <u>実際正確な結果の出ていないという実験をするのは、初めて</u> でした。だからこそ、 <u>自分からあれこれ考える楽しさを体験することができた</u> と思います。昔の科学者の方が一生懸命考えた実験を私たち中学生は、ほんの少し学習して次ぎに進んでしまうのが事実です。しかし、そのわずかな時間にも、 <u>科学者の方は、どう考えて実験を行ったのか</u> を考え、 <u>これからの学習を発展させたい</u> と思います。
30	エタノールと水の授業で、 <u>自分達で実験を考え、自分たちで結果をだす</u> ということは、 <u>とてもたいへんだ</u> と感じました。昔の人とかは、 <u>もっといろいろな工夫をして、いろいろと</u> 考えて、 <u>ここまでいろいろ結果を出してきたんだ</u> と思いました。
17	<u>よく実験の意味がわからなかった。</u> もうちょっと説明をしつかりしてほしい。

表5. 感想文における「ことば」の記述者数

ことば	記述者数
考えた・考える・考え	15
班	10
楽しかった・楽しい	7
よかった	7
興味深い・興味を持った	6
おもしろい・おもしろかった	2
難しかった	2
わからなかった（理解）	1
予想	4

できた。決まりきった答えではなく、多様な考えを持てるということが子どもたちの思考を活発にさせたものと考ええる。

班活動中の会話記録から、話し合いが活発に行われた班では、妥当性の追及という科学において必要な行為がなされていたのに対して、話し合いが行われなかった班では、この行為が行われなかったということがわかった。子ども同士の関わり合いが、科学的思考力の育成のために重要であることを示していよう。

イメージ図の作成では、物質は粒で構成されているという既習事項を用いて、体積の減少を自分たちなりに説明しようとしていた。第4時のペットボトルがへこむ理由でのイメージ図の作成を通して、今回の現象と粒子概念とを結びつけることができるようになったと考ええる。最終的に、検証すること自体が難しく、子どもたちは水とエタノールの混合液における体積が減少することの的確な理由には完璧にはたどり着けなかったかも知れないが、生徒は自分たちなりの考えを持ち、それを自分たちで吟味し妥当性を追及することを行い、それを肯定的に評価していたと言えよう。

また、上述したように、当該の教材開発に向けての提言として次のことを挙げたい。

1. 授業の全体構想として、子どもたちが自分の考えを持ち、それを豊かに表現し、教師と子ども、子ども同士の対話を重視した様々な活動を行う授業を計画する。
2. 学習内容として、目に見えない事象やものを追究する中で、子どもたちに既有的知識・経験等から類推したり、想像力を発揮させたりすることを通して、子どもたちが自分の考えを持つことができるような題材を選ぶ。より具体的には、(1)目に見えない事象と目に見える事象をつなぐことのできる学習内容、(2)できる限り生徒(たち)自身で解決方法を追究できる内容、(3)既習事項や経験の延長で「考える」ことのできる学習内容、であることが好ましい。
3. 授業では、生徒のアイデアや考え等を大切に、それらを豊かに表現し、教師と子ども、子ども同士の対話という過程を通して様々な活動を協同的に行っていくようにする。

V. おわりに

本授業のように、子どもたちに考えさせたり、話し合いの多い授業を実践するとなると、多くの授業時間が必要である。現行の学習指導要領のもとでは時間が確保できないという悲鳴が先生方から聞こえてきそうである。それに対しては、「その通りである」としか言えない。しかし、すべての単元で行う必要はないし、本研究のような授業を計画する場合にも、教えるべきことは徹底して教え、情報を与え、その上で、考えさせる授業を構想することが大切である。これこそ、文科省が、〈これからの学校教育の目指す方向〉と題し「多くの知識を教え込む教育」から、「自ら学び自ら考える力を育てる教育」の実現³⁾への道であると信じる。

こういうタイプの授業は科学的概念形成の進展についても効果的であると考えるが、その根拠を示すことは今後の課題である。

付記

本論文で述べた授業の実施にあたり、多大なご協力を賜りましたA中学校の校長先生をはじめ諸先生方、そして生徒の皆さんに心より感謝を申し上げます。

本研究は、平成15～16年度文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究・新世紀型理数系教育の展開研究：科学的思考力と言語能力を育むための初等中等理科教材の開発研究」（研究代表者：久田隆基、課題番号：15020229）の交付を受けて行われた研究成果の一部である。

なお、本稿は、日本理科教育学会第53回東海支部大会（2006年11月、於：名古屋女子大学）において口頭発表した内容を大幅に加筆・修正したものである。

文献

- 1) 文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究「新世紀型理数系教育の展開研究」
URL： <http://risuka.ei.tohoku.ac.jp/rsroot/index2.html>.
- 2) 文部省（1998）：「中学校学習指導要領」，大蔵省印刷局，p. 44.
- 3) 文部科学省（1999），
URL： http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/11/04/990406e.htm.
- 4) 文部科学省（2005），読解力向上に関する指導資料—PISA調査（読解力）の結果分析と改善の方向—，
URL： http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku/siryo/05122201.htm.
- 5) 吉田 淳（1995），「理科学習におけるイメージの役割」，理科の教育，44巻5号，東洋館出版社，pp.4-7.
- 6) 角屋重樹（2006），「授業における「コラボレーション」について 互いに異なった考え方を深め合い、統合する理科学習の創造」，理科の教育，55巻9号，東洋館出版社，pp.4-7.