

「粒子モデル」等の教材開発や実験方法の改善を 活用した問題解決活動の指導についての研究

—小学校5年理科「物の溶け方」の実践を通して—

塚本令子

社会の激しい変化は、教員に教育活動以外の様々な要請への対応を求めるようになった。そのことが、特に小学校教員の多忙化を招き時間的なゆとりがなくなることで、理科指導にも影響が及んできている。そのような現状にある教員の授業実践の一助となることを期待し、小学校5年理科「物の溶け方」の単元を取り上げ、問題解決活動の手順の中で「粒子モデル」に着目した教材開発や実験方法の改善を提案し実践を行った成果と課題を報告する。

〈キーワード〉粒子モデル、教材開発、問題解決活動、教員の多忙化、理科指導の苦手意識

I 主題設定の理由

(独) 科学技術振興機構理科教育支援センター・国立教育政策研究所教育課程研究センター「平成20年度小学校理科教育実態調査集計結果」によると、学級担任として理科を教える教員の約50%が、理科全般の内容の指導が「やや苦手」か「苦手」と感じていることが分かった。また、小学校で理科を担当している教員が、理科の授業実践において一番困るのは、準備・後始末・教材研究・予備実験の時間が不足していること、実験をしても結果を出せず、再実験したいが時間の関係でできないことも多々あるという声をよく耳にする。以上のことから、教員が教材研究等の時間の確保が困難であることや、仕事を持ち帰っても、理科の場合予備実験を行うことができないために、授業に不安感を持ちながら臨むようになり、苦手意識を持たざるを得ない状況があるのではないかと考えられる。

しかし、ここでなぜ理科を学ぶのかを再考してみると、現在では当然ある理科という教科も歴史的に見れば、教科及び授業として成立するまでに長い月日を要したことを見逃してはいけない。その中で、理科教育の意義の一つとしてよく挙げられているのが、論理的思考力の習得である。具体的には問題解決活動を体得することにあるといえる。従って科学の方法の基本である問題解決を根底に据えることに重要な意味を見いだすことができる。

一方、現行の学習指導要領では、「粒子」が科学の基本的な見方や概念として扱われるようになった。また、平成24年度全国学力・学習状況調査小学校理科において、「水溶液の均一性」の問題が出題され、目に見えない物について考察する際に、図や絵などを用いて、自分の考えを顕在化することが大切であると解説されている。

以上から、教材開発や問題解決活動を中心とした授業改善の工夫を提案することにより、教員の日々の授業実践の一助となることを目指して、この主題を設定した。

II 研究の目標

小学校5年理科「物の溶け方」において、「粒子モデル」等の教材開発や扱いにくい実験方法の工夫改善を通して、課題設定や予想・実験・考察といった問題解決活動指導の充実を提案し、実践化を図ることが、教員の理科授業の一助となるために効果的であるか検証する。

III 研究の方法

1 問題解決活動についての調査

理科における問題解決活動の経緯を把握する。

2 目に見えない「粒子」についての指導法の調査

当研究所で行う小学校理科研修講座の受講者を対象にアンケート調査を行う。

3 小学校5年理科「物の溶け方」の授業実践と、教員研修の実施

研究協力校での授業実践や研修講座・要請研修の実施と、実施後のアンケート調査結果をまとめる。

IV 研究の内容

1 問題解決活動についての調査

問題解決活動（学習）は、1915年以降のデューイの「反省的思考を通しての問題解決」にまで遡る。昭和22年、昭和27年、平成元年等の指導要領改訂により問題解決の過程が改善され、現在の課題設定→予想→実験→結果→考察に至っている。ただ、昭和22年、昭和27年においては、「活用の段階」があり、その目的は、観察・実験の結果得られたことをもとにして、実生活への応用・活用に心がけるといふものであった。平成24年度全国学力・学習状況調査、同年第61次福井県学力調査により、理科は好きであるが、生活に役立っていると思わない児童が多いことが報告され、理科と生活との結びつきを深めることが喫緊の課題となっている。「活用の過程」の復活を望むわけではないが、生活の中から課題を見つけるとともに、学習した視点で生活を見直す意識を教員がもつことは重要であると思われる。

2 目に見えない「粒子」についての指導法の調査

研修講座受講者（小学校教員38名）を対象に、水溶液の「粒子」等、直接見ることのできない物を扱う教材の指導法についてアンケート調査を実施した。（図1）その結果、模型やモデル図を使って指導する教員が最も多く、「粒子」をモデル化して、児童にイメージをもたせたり、考える手段とさせていることが分かる。次に多い実験で確かめるは、重さを測定して数値化したり、水を蒸発させたりしてあくまで児童の目で確かめていく方法で、視覚できることで納得・理解を図る指導法である。また、ICT活用の中には、NHK番組、DVD教材、デジタル教科書、理科ネットワークのコンテンツの利用等、教材を研究して指導に活用していることが分かる。

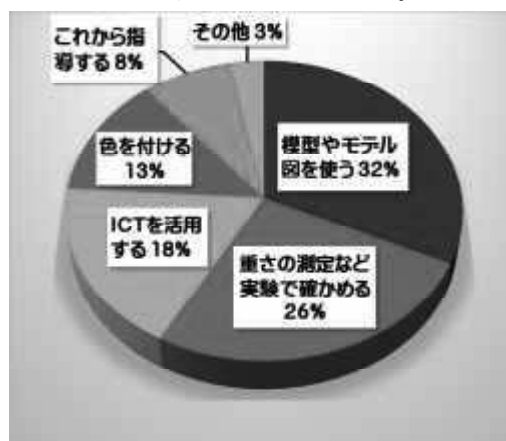


図1 目に見えない「粒子」の指導法

3 小学校5年「物の溶け方」の授業実践と、教員研修の実施

授業実践対象：福井市木田小学校 5年生4学級 128名
教員研修：27名

(1) 単元の目標と内容 小学校学習指導要領解説理科編より

物を水に溶かし、水の温度や量による溶け方の違いを調べ、物の溶け方の規則性についての考えをもつことができるようにする。

ア 物が水に溶ける量には限度があること。

イ 物が水に溶ける量は水の温度や量、溶ける物によって違うこと。また、この性質を利用して、溶けている物を取り出すことができること。

ウ 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。

図2に、小学校・中学校・高等学校の、「粒子」を柱とした内容の系統性を示す。

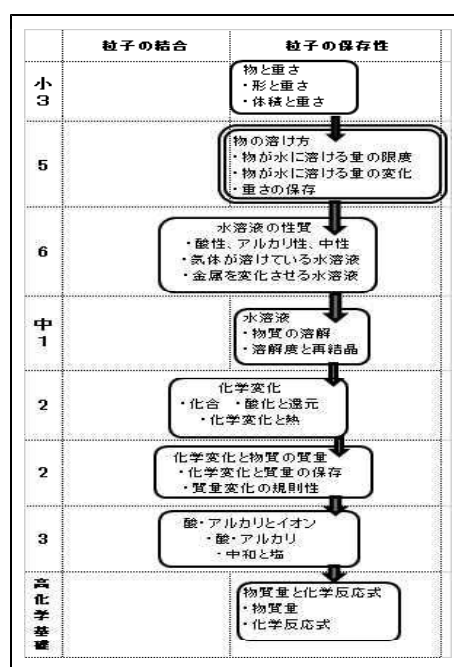


図2 「粒子」の内容の系統性

(2) 指導計画と指導の工夫・実験のポイント (※を報告する)

学 習 活 動	時間	ページ	教材の開発・実験方法の改善
第1次 食塩のとけ方を調べよう ・食塩がとけるようすを観察し、水溶液について知る。 ・食塩を水にとかしてから、教科書p111のアイの問題について予想し、確かめる実験の計画を立てる。 (以下のアイの順序は、入れかえてもよい。)	6(7) 1	108 ～ 111	<導入 実験1から課題づくり> 導入の課題づくりで1 mパイプを利用する。 茶こしでシュリーレン現象を見る。※
ア食塩は、水にとけると重さが変わるか調べる。(実験①) イ食塩は、水にどれぐらいとけるか調べる。(実験②) ・水の量や温度を変えて食塩のとける量を調べる。(実験③)	4(5)	112 ～ 115	<実験2>観察・実験レシピ集5年p11 食塩に水を加えて溶かす方法で実験する。 <提案1>さじ1杯か重さをはかって溶かすか検討する。※ (提示1) 水の量を増やすときの実験の手順やワークシートを提示する。※
・アイの結果から、食塩のとけ方についてまとめる。	1	116 ～ 117	<提案2>マグネット玉とマグネットシートを利用して、目に見えない粒子を視覚化し、実験結果について考察する際の一助とする。身体表現や粒子の動きのアニメーションを紹介する。※
第2次 水にとけた食塩をとり出すことはできるか ・水にとけた食塩をとり出すことができるか調べて、まとめる。(実験④)	1 1	118 ～ 120	(提示2) 食塩では5時間扱いであるが、それが先行経験となるということで、ホウ酸は3時間扱いとなっている。時間的にどうか、実験内容を提示する。
第3次 物によってとけ方はちがうか ・ホウ酸は、水にとかすとどのようなとけ方をするか、食塩のときと同じ条件で調べる。(実験⑤) ・ホウ酸のとけ方を、食塩のとけ方と比べて表やグラフにまとめる。	3(4) 3(4)	121 ～ 124	<実験3>ホウ酸が食塩に比べて常温で溶けにくいことの考察として、顕微鏡写真を見たり、スターラーを使って比較実験をしたりする。※ <提案3>ホウ酸と食塩の溶け方を比べてグラフに表すときの工夫。
第4次 ホウ酸をとり出そう ・ホウ酸が析出したホウ酸水をろ過した液に、ホウ酸がとけているかを調べる。(実験⑥) ・ホウ酸をろ過した液についてまとめ、ホウ酸と食塩のとけ方について考える。 ・物のとけ方について、学習したことをまとめる。	3(3) 2 1	125 ～ 127 128 ～ 129	<実験4>ホウ酸水をろ過し、ろ液を氷水で冷やす実験をする。 <実験5>冷凍したタレビンや保冷剤をホウ酸水に直接入れる実験をする。 (提示3) モールを利用した結晶づくりの紹介。

(3) 問題解決活動の各過程における教材開発や実験方法の改善と、実践後のアンケート調査結果等

① 課題設定

食塩が溶ける様子をよく観察し、児童が気づいたことをカードに書き、黒板に整理したり、教材提示装置を利用して発表したりして、課題づくりをするとともに、これからの学習についての見通しをもつようにしていく。

ア 約1mのパイプの一方をゴム栓でふさぎ、水を入れ、図3のように固定し、食塩やホウ酸を少しずつ上から入れて、溶けていく様子を観察する。

イ 図4のように、300mLビーカーに水を入れて、茶こしをのせ、その中に食塩を入れたお茶パックをのせて、シュリーレン現象を観察する。（茶こしのみだと、食塩の粒が茶こしの穴を通り抜けることがある。また、お茶パックの中を見えるようにして、食塩が減っていくことを児童に気付かせておくと、水の中のもやもやのものが食塩であることを確認することができる。）

（発展）飽和食塩水を入れたビーカーをもう1つ用意し、茶こしを、それぞれのビーカーに交互につけるようにすると、シュリーレン現象と、はね返り現象が観察できる。

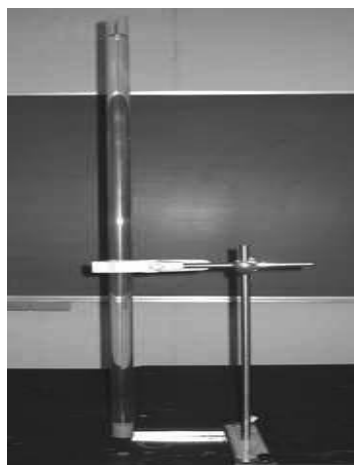


図3 水を入れたパイプ

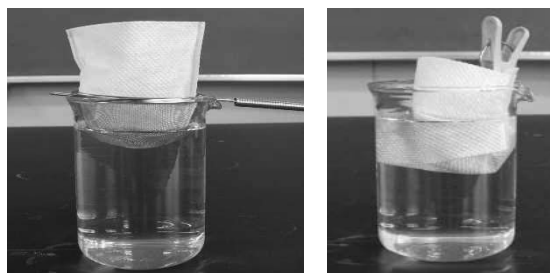
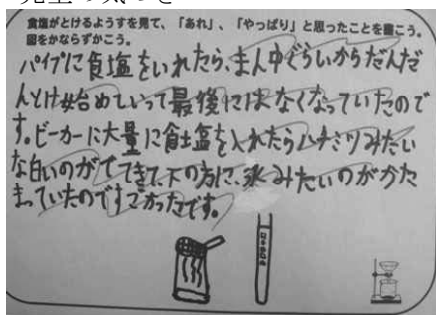
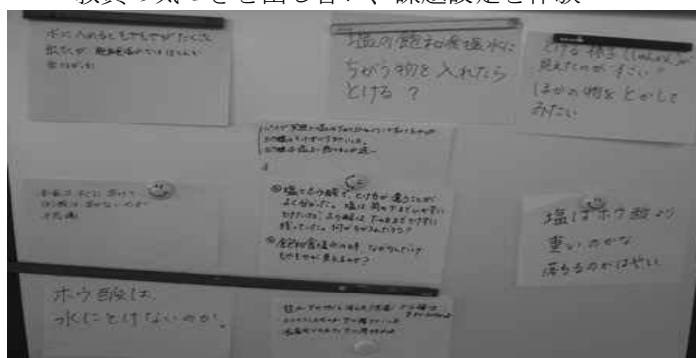


図4 お茶パックをのせた茶こし

児童の気づき



教員の気づきを出し合い、課題設定を体験



アンケート調査より（教員）

食塩がみるみる消えていくことに、児童は驚き、児童をよく引きつけることができた。また、溶けるということや、溶けた物の状態を考えさせるのに結びつく教材だった。教員自身が食塩の解け方を目の当たりにして興味深く観察できた。課題設定の仕方を参考にして取り組みたい。また、課題設定についての以前からの疑問にヒントを得ることができた。

② 実験

ア 食塩は、水にどれくらいとけるか調べる実験

図5のように、食塩をさじ1杯ずつ溶かすのではなく、重さを量って溶かす方法を用いる。

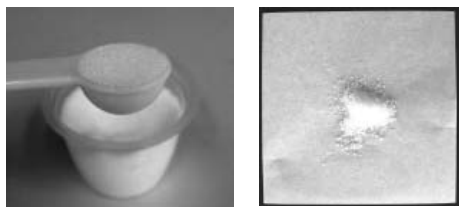


図5 さじ1杯(左)と、重さを量る(右)

イ 食塩を溶かす水の量を増やす時等、食塩を溶かすために時間がかかるので、実験の効率化を図るために、図6のように手順を示したり、図7のようにワークシートを工夫したりする。



図6 実験の手順(拡大コピー)



図7 ワークシート

・アンケート調査より(教員)

実験中は、教科書等を片付けてしまうので、手順を確認するためにも黒板に拡大コピーが貼ってある方がよい。また、教科書は食塩のページが書いてあるだけなので、ホウ酸の実験で、必要だと思った。デジタル教科書も、そのページにリンクするように作られていた。

③ 考察(予想との対応も含めて)

ア 「粒子モデル」の教材開発

水溶液において大切なのは溶媒(水)の存在である。食塩等の溶質に着目しがちであるが、溶媒(水)がないと水溶液を作ることができないことを児童に意識させることが大切である。そして、食塩は一定の量の水にいくらかでも溶けるのか話し合いながら、学習の課題を「食塩が水に溶けるとき、限界はあるのだろうか。」と設定していく。児童は生活経験から、何かを溶かした時に全部溶けきれずにコップの底にたまったこと等を想起して、予想を立てる。(例 限界はある、海の水を考えると限界はない等) 実験してみるとはじめはよく溶けた食塩も溶ける量に限界がくる。この結果を基に、予想と照らし合わせて考察していく。この時に「粒子」をモデル化して用いるようにする。

まず「食塩が水に溶ける」ことについて、食塩が水に溶けている様子が見えるとしたらどのようなになっているか図で表してみ

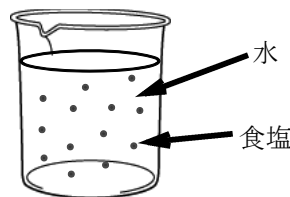


図8 児童の溶解を表現した図

ようと投げかけると、図8のようにかく児童が圧倒的に多い。長年にわたり調査しているがだいたいこのような図である。他の考えや表現はないのかと思うが、分析すると、食塩が水全体に広がって均一になっていることを表し、実は「溶ける」ということをよく理解している表現であるとも捉えられる。先述したように「粒子」が科学の基本的な見方や概念として扱われるようになったために、溶質のみ、溶質と溶媒の両方をモデル化したような表現が教科書に掲載されるようになった。

次に、食塩を水に溶かしていくと、限界がくる。「限界とは何か。」「なぜ溶け残りができるのか。」「溶け残りはモデルでどう表したらいいのか。」今回の実践では特にこの課題を重点化した。なぜなら、溶け残りは溶ける限界によって起こり、頭の中ではもうこれ以上溶けない事だなということは理解できても、それを図やモデルで示していくことは容易ではないからである。ここで児童が、マグネット玉とマグネットシートを用いて溶け残りをどう表したらよいか考え操作する活動を取り入れた。

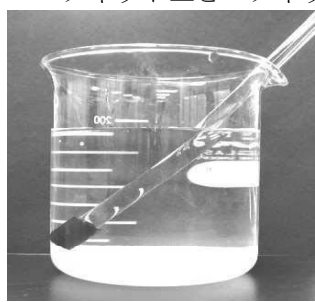


図9 食塩の溶け残りの様子

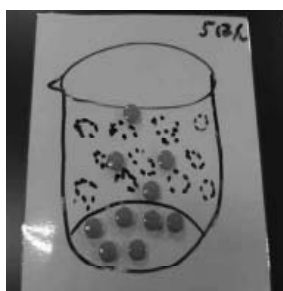


図10

図9の食塩の溶け残りの様子をマグネット玉で表現するとビーカーの底に全部のマグネット玉を集めて置くグループが多かった。しかし図10のグループは、図9の水溶液の透明な部分には食塩が溶けていることを理解し、点線の円で示している。（食塩だけをマグネット粒で表した場合。）

次に、食塩を白のマグネット玉、水を青のマグネット玉で表す活動を行った。はじめは、図9のイメージで、図11のように食塩の溶け残りをビーカーの底に置いて、水と分けていたグループもあったが、グループ発表や全体での話し合いの中で、図9の水溶液の透明な部分に食塩が溶けていることに児童が気づき、図12や図13のように表すようになった。図13では、図9の水溶液の透明な部分を溶けている食塩として、点線で囲んで表している。マグネット玉の操作活動は、図14のように、グループで協力して話し合いながら行うことができた。



図11

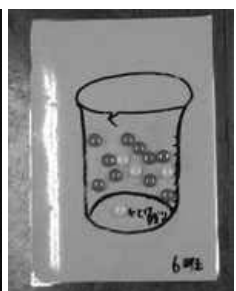


図12

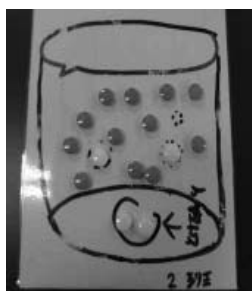


図13



図14 マグネット玉を使った話し合い

ここで、食塩が水に溶ける現象をモデル化するために、水和（食塩の粒が水に取り囲まれること）を提案した。食塩1粒が4つの水粒に取り囲まれたら、溶けたと表現する方法である。高等学校の化学の教科書で、塩化ナトリウム（塩）のナトリウムが水粒4つに取り囲まれるモデルが示されている。

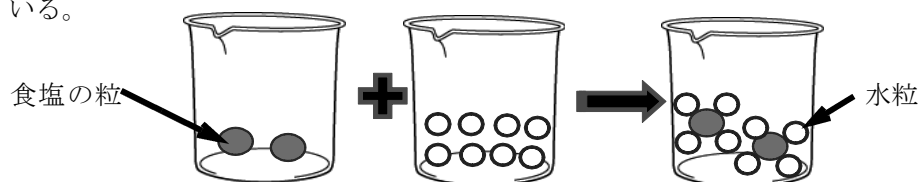


図15 食塩が水に溶ける時の粒子のモデル図



図16 溶けた状態のモデル図

この考察の場面では、結果を基に思考したことを図にかいたりモデル化したりして、それを基に話し合いを進めた。自分なりの考えをもちそれを表出することで、表現力の育成を図った。

・ アンケート調査より (児童)

食塩を粒 (●) で表すことについて、対象児童の97%が分かりやすいと回答した。

主な理由 ・溶けて全体に広がる様子が分かりやすい。

・溶けている様子や溶け残りの様子が目立って分かりやすい。

・どこに食塩があるか分かるから。 ・粒だと見やすい。 ・説明がしやすい。

食塩と水を粒 (●・○) で表すことについて、対象児童の98%がより分かりやすいと回答した。

主な理由 ・食塩と水の区別がついて、溶け残りなどがよく分かった。

・水も粒で表すと、水の様子が分かりやすい。

・説明がしやすいし、みんなの考えが分かる。

・見えないものを表せていたのでよく分かった。

・全体的な広がり方や、食塩と水がどういうふうになっているのかが分かりやすかった。

・ アンケート調査より (教員)

マグネット玉を利用したことについて、自由に動かすことができるので、話し合いの中で試行錯誤しながらイメージを確かなものにしていくことにつながった。見えないものを見えるようにして考えさせることで、「溶ける」とはどういうことなのかをうまくイメージしながら説明させるのに役立った。

イ ICT活用 (アニメーションソフト)

アで提案した、「粒子」のモデルについて、Galop (反復再生可能型描画ソフト開発プロジェクトで開発されているアニメーション作成支援ソフト、中山迅 (宮崎大教授)・林敏浩 (香川大准教授) 共同プロジェクト) を用いて、「粒子」に動きを付けて提示した。この時粒子のアニメーションを単に児童に見せるのではなく、先述したマグネット粒や図を用いて説明した後5人グループに前に出してもらい、1人が食塩の粒、4人が水の粒になって、食塩の周りを水が取り囲む状態を身体表現で示すようにした。そばにいる教師が食塩とすると誰も取り囲んでくれないので、溶け残りとなること、水4人に席に戻ってもらうと、水が蒸発して残った食塩 (食塩役が1人) が析出する様子であることを示してから、「粒子」のモデルのアニメーションを提示した。この流れは効果的で、特に身体表現は、実際に児童が粒子になって動いてみたことから親しみやすかったといえる。図17は、Galopの画面である。Polkaというソフトで粒子などの素材をかき、Galopでアニメーション化する。

・ アンケート調査より

(児童)

「粒子」のアニメーションについて、対象児童の98%が分かりやすいと回答した。

主な理由

- ・実験では一瞬のことでもゆっくりビーカーの中がどういう状態になっているか見れるのはいいと思う。
- ・アニメーションで粒が動くと、どういうふうに変っていくのかよく分かった。

・食塩と水の関係がよく分かった。 ・図より分かりやすい。

・水が蒸発する様子や、食塩が溶けても重さが変わらない様子もよく分かった。

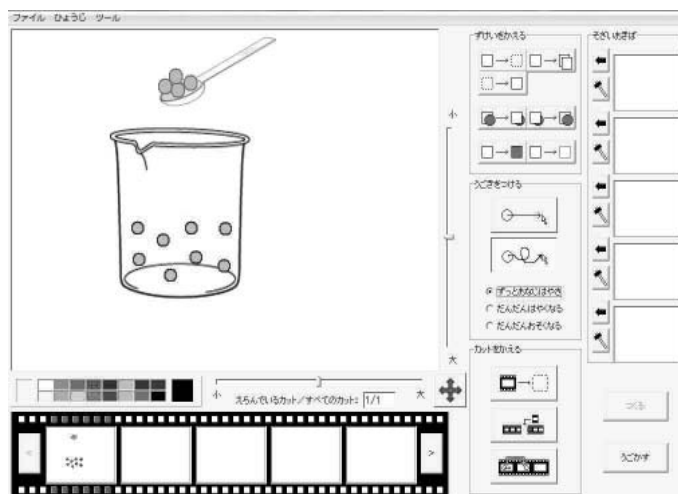


図17 Galopの画面

・アンケート調査より（教員）

「粒子」の動きの一つのイメージを提案したが、児童はそれを興味深く見て、マグネット玉の操作との関連性やイメージの違いを感じることができたようだった。

ウ ホウ酸が食塩に比べて常温でなぜ溶けにくいかを考える時に、図18のように、ホウ酸や食塩の粒の顕微鏡写真やその粒に水を加えた動画を提示した。

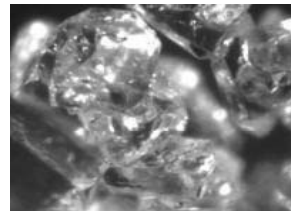
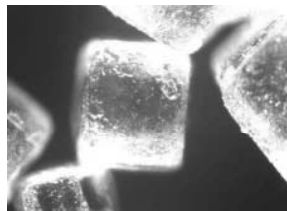
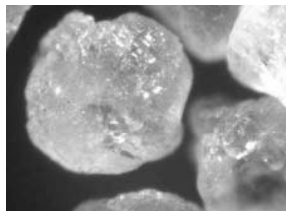


図18 顕微鏡写真 ホウ酸

食塩

さとう

・アンケート調査より（教員）

食塩とホウ酸のミクロ的な比較をしたことで、児童は溶けにくさの実感をもつことができた。

V 研究のまとめ

1 考察

図1の目に見えない「粒子」についての指導法の調査結果にあるように、水溶液に色を付けると分かりやすいのではないかという回答があったので、図19、20のように、色の違いで溶けている物や溶け方を考える方法を試行してみた。今後教材化を図っていきたい。



白砂糖 ざらめ コーヒーシュガー 三温糖 黒糖

図19 種類の違う砂糖が水に溶けた時の色の違い

実践後の教員へのアンケートから食塩の溶け方を観察するパイプや茶こしは、シュリーレン現象等、目に見える現象の限界を示すことで、疑問や気づきを誘発し、そのことから単元を見通した学習の課題を設定することが可能となる教材であることが分かった。今後それを用いた指導の仕方の一案として、図21のようなビデオクリップを制作したので、利用していただきたい。

粒子モデルのマグネット玉、アニメーション、食塩やホウ酸の粒の顕微鏡写真も、児童の理解を促すための教員の指導に効果的であることが分かった。粒子モデルについては、今回の実践では、「溶け残り」を重点化し、「溶ける」、「質量保存」、「水溶液の水の蒸発」についての表現を提案して実践した。しかし、「溶ける」、「溶け残り」を考えることに絞り、教員が児童の多様な考えを児童とともにアニメーション化していく方がより学習が深化するのではないかとと思われる。ここで水に溶けること（水和）を充分議論することで、6年生の水溶液における化学反応との違いを理解する道が開けるとと思われる。

一方児童のアンケートに、児童や教師が食塩や水になって考える身体表現が印象に残ったという記述

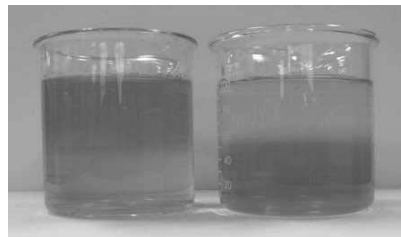


図20 濃度の違う食塩水



図21 ビデオクリップ

が何名か見られ、「食塩やホウ酸もしゃべれたらいいのにな」という素直な感想があった。身体表現の有効性は先述したが、現象を何かに置き換えて説明する時に、極力自分や自分の回りの物が含まれていることが児童の思考や理解に役立つと思われる。また、一見子どもらしいと思えるが、言葉を発しない現象からのメッセージを、観察や実験という方法で受け取り、言葉や絵図に表し理解していくことが理科の手続きかもしれないこと、また児童が自分なりの考えを持ち表現できることの意義を再考し、与えられた能力を充分活かすことの必要性を教員に気付かせてくれた言葉であるといえる。さらに、「一番心に残ったのは、実験で確かめること。最初にこうだと思って理由も当たっていたらうれしいし当たっていなかったら何でだろうと思うからおもしろい。」という感想があった。まさしく問題解決活動についての記述である。このような児童の声に耳を傾け児童主体の授業展開を図っていくことが重要である。

授業実践後、教員の意識が変わったことについてお聞きしたところ、「中学校の水溶液の分野（水溶液の定義、飽和、再結晶等）の学習を意識して指導していきたい。」「なぜこのような結果になるのかを、モデル等を用いながら考え、説明させることが大事だと思うようになった。」というご意見をいただいた。小中の系統性や、現象を単に現象として捉えるのではなく、なぜかを考えることの大切さを意識していただいたことに、今回の実践の意義をわずかなりとも見いだすことができた思いである。

2 今後の課題

本研究は「物の溶け方」の一単元であったが、今後単元数を増やして、教員の教材研究や予備実験に役立つような「粒子モデル」等の教材開発やビデオクリップの制作に取り組んでいきたい。

また、小学校の理科指導に自信を持って臨んでいただくために、人的ネットワークは重要であると思われる。教員の協働・同僚性に目を向け、高学年理科の教科担任制の取り組みのように、教員が共通理解を図りながら多くの教員の目で児童を見ることがや小中連携・地域、企業との連携も多岐にわたる指導面において効果的である。また、校内研修の充実によって、教師間の縦・横のコミュニケーションを図り、お互いにアイデアを出し合い協力し合うことも重要である。校内一斉の研修だけでなく、日々の小さな研修（同じ学年の先生方との意見・情報交換等）は、あまり言及されていないが実はOJT（日常的な職務を通して、必要な知識や技能、意欲、態度等を、意識的、計画的、継続的に高めていく取り組み。平成25年4月東京都教育ビジョン第3次）として非常に意義のあるものである。なぜなら、同じ土壌での話し合いであり、児童の指導に直結しているからである。今後そういった身近なOJTや、理科の環境整備の一助としても、本研究内容や教育研究所の研修講座・要請研修が活用されることを期待したい。

最後に、本研究の実施にあたり、アンケートにご協力いただいた研修講座受講者、要請研修受講者、そしてご多忙の中、研究協力員として多大なご協力を賜りました、福井市木田小学校の吉田和代先生、稲津公子先生、有島直孝先生、丹後明史先生に心より厚く御礼申し上げます。

《参考文献》

- (独) 科学技術振興機構理科教育支援センター・国立教育政策研究所教育課程研究センター「平成20年度小学校理科教育実態調査集計結果」(2009)
- 戸田浩史(2009)「ゆとり教育」見直しと学習指導要領のあり方
- (独) 科学技術振興機構(2012)「小学校理科教員支援策検討合同委員会報告書」
- 教育新社(2011.7)『SYNAPSE』
- 東洋館出版社(2010.8)日本理科教育学会編集『理科の教育』
- 伊佐公男(2010)「小学校教員養成における理科の授業改善(Ⅰ)」仁愛大学研究紀要
- 伊佐公男(2011)「小学校教員養成における理科の授業改善(Ⅱ)」仁愛大学研究紀要
- 伊佐公男(2012)「小学校教員養成における理科の授業改善(Ⅲ)―地域連携を活用した―」仁愛大学研究紀要
- (1993)日本理科教育学会編『理科教育学講座1・3・4・6・7』東洋館出版社
- 数研出版(2011)『化学基礎』