

溶解と拡散の概念変容を目指した理科授業

—タイムラプス映像教材の応用—

Challenges to Conceptual Changing of Solution and Diffusion in Science Classrooms
—An Application of Time-lapse Image Material—

土田 理*・西牟田 京**・桑 鶴 明 人***
TSUCHIDA Satoshi・NISHIMUTA Misato・KUWAZURU Akito

キーワード：中学校理科、水溶液、溶解と拡散、粒子運動、タイムラプス映像

目次

- 1 水溶液の均一性についての子どもの認識
- 2 粒子運動モデルの構築を促す教材の必要性
- 3 本研究の目的
- 4 教材作成
 - 4-1 教材の概要
 - 4-2 溶質の決定
 - 4-3 インターバル撮影と静止画からの動画作成
- 5 授業前調査
 - 5-1 調査内容
 - 5-2 調査方法と人数
 - 5-3 調査結果と考察
- 6 理科授業への導入
 - 6-1 授業について
 - 6-2 授業プロトコルと考察
- 7 教材の効果について
 - 7-1 授業後の調査について
 - 7-2 授業前後の変化
- 8 まとめと課題
- 9 参考文献

1. 水溶液の均一性についての子どもの認識

物の溶け方は小学校5年生で扱われた後、中学校理科第1分野で再び出てくる。中学校理科では水溶液を、溶質が溶媒にとけた液が溶液であり、溶質が水の場合を水溶液という、としている¹⁾。

* 鹿児島大学教育学部理科教育
** 高尾野町立高尾野中学校
*** 鹿児島大学教育学部代用附属鹿児島市立伊敷中学校

教科書では「溶質」、「溶液」、「溶媒」、「水溶液」が太ゴシックなどで印刷されているので、生徒らにとってはそれらの言葉が重要な項目、つまりテストにでるかもしれない項目としてインプットされる。しかし、生徒の科学的な見方や考え方を育てるということに注目した場合、先の文章で重要な言葉は「とけた」である。ここで「とけた」は「溶けた」である。溶けたという言葉は、我々も日常的に使用している言葉なのであるが、溶けるというメカニズムや状態を深く考えてみると、その複雑さに気づく。

ここで「溶ける」とは別に「混ざる」という言葉がある。両者の違いは、分散しているものが分子またはイオンの状態となるときに溶けるといい、粒子の大きさに関係しないで述べる時を「混ざる」という²⁾。したがって、混ざるの中に溶けるが含まれている。これから考えると、「食塩は溶けて見えなくなりました」という生徒の言葉の裏には、「食塩はナトリウムイオンと塩化物イオンとなって均一に分散し、目に見えなくなりました」という説明があってはじめて「溶ける」を認識していることになる。

上島・森川は、中学校で「物質のとけ方」の学習前に生徒が持っている「とける」ということについての調査を行っている³⁾。その中で「氷砂糖がとけたとき、水の中はどのようになっていると思いますか。モデル図をかいて、説明してください。」という質問項目に対して、約50%の生徒が下が濃いと回答している。そして、10年前に買って缶をあけないまま静かに置いてあるコーラに溶けている炭酸の濃度については、約50%の生徒が

上が濃いと回答している。また、杉本は、授業を担当している小学生を対象に、食塩水中での食塩の粒についてよく溶かしてから数日後の図を描かせたところ、容器の底部付近に粒を多く描いた児童が半数いたことを報告している⁴⁾。そして、その理由として児童は「食塩は重いから下にたまる」、「溶けて均一になっていると思ったけど、水を多く含んだ大粒は下に沈む」などをあげている。また、中学校理科学習指導要領でも、観察、実験を通して、水溶液では溶質が均一に分散していることに気づかせることになっている⁵⁾。しかし、ただ単に食塩や砂糖を水にとかす実験や観察を行っても、溶質が均一に分散するとはどのようなことをいっているのか、生徒は気付くことができないのである。これは、物質の構成を考えるとときに用いる静的粒子モデルだけでは解決できない問題である。

溶液中の均一性について森本は、子ども達は溶質の行方について興味はあるものの、それが溶媒中に「均一に分散している」ということにはついては関心は示さないはずである、と述べ、均一に分散しているという認識自体が、物は支えがないと落下するという子供にとっての日常的な知識からは成立が困難としている⁶⁾。その上で、重力に逆らうかのような均一性の概念は、重力に逆らって物を支える存在である溶媒の認識の成立を待つ必要があるとしている。つまり、支える物がないとき地上で物は下に落下するし、砂糖や食塩を水に溶かすときも初めは下に落ちていくという日常的な経験から、支える物（溶媒である水）が見えない食塩水や砂糖水などの水溶液も時間とともに底の方に砂糖や食塩が落ちていくと子供（大人も）は考えているのである。

2. 粒子運動モデルの構築を促す教材の必要性

水溶液が均一性を保っているのは、巨視的な水の移動と微視的な分子運動によっている。巨視的な水の移動とは、溶液をかき混ぜた直後の水の運動や熱的対流などのような目で見える可能性のある大きな移動である。児童・生徒は目で見ることのできる水の運動が起こっている間は、粒子も一

緒に回っているから均一かもしれない、という考えには到達できる。しかし、一見して運動が見られない場合は、前述したように溶けている物は下に落ちると考える。微視的な分子運動を五感を用いて捉えることができれば、異なった考え方も出てくると予想される。

そのためにブラウン運動を観察させたり、コンピュータ・シミュレーションで容器の中を飛び交う分子モデルを提示する中学校理科の教材や、モーターで微少な金属球や発泡ポリスチレン球を動かす実験装置などがこれまで作られてきた。例えばコンピュータ・シミュレーションによって運動する粒子の動画を提示した場合、提示されるのは生徒が考えたモデルではなく教師が作った粒子運動モデルである。しかしモデルは提示されるものの、なぜそのモデルが必要なのか、どのような思考経路を経てそのモデルに到達したか、ということに対しては情報を与えてくれないのである。教師はこの「なぜ」や「どうして」に対して説明するかもしれないが、それは教師の説明であって、生徒が考えた説明やモデルではないのである。

このような状況を解決するため、柿原は水の入ったビーカーに赤インクを数滴落とすと、時間とともにインクが拡散し均一になっていく現象を説明する効果的な演示方法を示している⁷⁾。これは、スターラの上に水を入れたビーカーと白い発泡ポリスチレン球を入れたビーカーを並べ、水にインクを落とすと同時に発泡ポリスチレン球が入ったビーカーには色の付いた発泡ポリスチレン球を数個落とすという方法である。インクが拡散していく様子と白い発泡ポリスチレン球の中に、色の付いた発泡ポリスチレン球が混ざる様子が比較できるとしている。

3. 本研究の目的

そこで、先行研究から得られた知見を基に、生徒に粒子運動モデルへの気づきを促す映像教材の開発を行い、その教材を理科授業に応用した際の効果を調べることを本研究の目的とした。

4. 教材開発

4-1 教材の概要

上にある物は下に沈むという生徒の素朴概念を打破するためには、ビーカーなどの底にたまっている溶質が拡散する様子を生徒に見せることが効果的と予想される。実際に拡散していく様子を見せることで、それまでの生徒の予想を覆す「えー、本当?」、「うそー」、「どうして?」という驚きと不思議を感じさせると同時に、これまで抱いていた認識について疑問を持ち、粒子運動モデルが生徒から提案されることが期待されるのである。

しかし、攪拌なしの溶解と拡散は長い時間が必要なため、授業中の観察では変化を見ることは困難である。また、通常のビデオ録画機を用いても、記録できる時間は3時間から10時間が限界である。映像番組制作の場合、長時間にわたる微少な変化を記録するには、特殊な業務用タイムラプスビデオを用いるのであるが、機器が高価である。そこで本研究では、デジタルスチルカメラのインターバル撮影機能を利用して長時間の映像撮影を行い、撮影された静止画をコンピュータ上で動画へ変換するという方法を用いることにした。これによって、長時間の現象を短縮して見ることが可能となる。また、使用する機器が安価であり、中学校などの教育現場において、だれでも再現実験を行うことも可能となる。

4-2 溶質の決定

この教材で求めている溶質の性質としては、水溶性であり、水に溶けた後、有色透明であることが条件となる。さらに、生徒が身近な経験をもとに推論を行うためにも、家庭で用いている物であることが理想的である。また、家庭で用いる物である場合は、長時間の撮影中に腐敗が生じないことも必要である。そこで、予備実験を行った結果、食紅とブラウンシュガーを固めた砂糖が適切であることを確認した。当初、赤インクを主たる溶質としていたのであるが、拡散が2層に分かれることが判明し、本実験には適さなかった。これは着色成分が2種類から作られているため、簡易ペーパークロマトグラフによる分離によっても確認された。また、入浴剤も候補であったが、防腐剤として加えられているパラベンの影響で、うまく拡散が見られなかった。

4-3 インターバル撮影と静止画からの動画作成

静止画撮影から動画作成までの流れを図1に示した。1dotあたりの情報量が24bitで、VGA相当(640dot×480dot)の静止画をJPEG規格で標準的な圧縮を行った場合、128MBのコンパクトフラッシュメモリに約1000枚の撮影が可能である。1分間隔で撮影を行うと約17時間、5分間隔で撮影を行うと約3日間の連続撮影が可能である。これを越える撮影は、2枚のメモリカードを交互に入れ替えることで対応することにした。

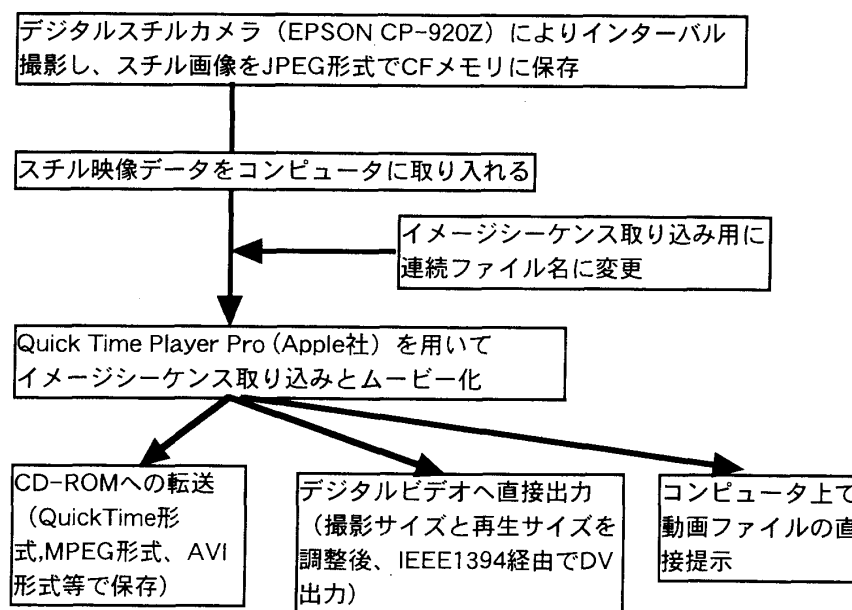


図1：撮影からムービー化までの流れ

複数回の試行実験より、各溶質ごとに次のような手順で初期設定を行うことが適切であることがわかった。

[食紅]

- ①100mlのメスシリンダーに水を汲み置きしておく。
- ②食紅の水溶液を作る。
- ③②の水溶液の上澄み部分をスポイトでとり、①のメスシリンダーの底に水流を起こさないように静かに入れる。
- ④蒸発しないように、ラップでふたをする。

[ブラウンシュガーを固めた砂糖]

- ①100mlビーカーに約40℃の水を入れる。
- ②ビーカーの底に静かに角砂糖を沈める。
- ③蒸発しないように、ラップでふたをする。

撮影時は、ロール紙などで白い背景をつくり、試料を置いた。照度と温度の変化を抑えるために、蛍光灯で間接照明を行い、設置場所では振動を極力さけた。時間間隔を変えて撮影を行った中から、映像が鮮明でかつ動画提示時間が適切である次の条件の映像を選択し、授業に用いた。

[食紅水溶液の拡散映像]

2001年9月22日15:54から9月23日14:05までは5分間隔、2001年9月23日14:05から10月6日14:20までは20分間隔で、合計約1200枚のjpeg静止画を撮影し、1秒30コマ再生で54秒の動画を作成。

[ブラウンシュガーを固めた砂糖の拡散映像]

2001年11月1日15:17から11月2日20:36までは1分間隔、2001年11月2日20:36から11月8日12:35までは5分間隔で、合計約3400枚のjpeg静止画を撮影し、1秒30コマ再生で1分53秒の動画を作成。

5. 授業前調査

5-1 調査内容

本研究で作成した映像教材を用いる授業の前と後に、食紅水溶液を均一に混ぜてからメスシリンダーに入れて放置した場合と、水の入ったメスシリンダーの底部に静かに沈めてから放置した場合の2種類の初期状態に対して、経過時間と溶質の拡散に関する描画と自由記述による実態調査を

行った。自由記述には、コメント法⁸⁾を活用した。今回の調査では、小学校5年生を対象に予備調査を行い、その結果をもとに質問内容と方法の最適化を行い、本調査問題を作成した。本調査で用いた経過時間と溶質の拡散に関する質問紙は、資料1に示した。

5-2 調査方法と人数

経過時間と溶質の拡散に関するとらえ方を調査するためには、被験者一人一人に、例えば1時間から1ヶ月までの経過時間と溶質の拡散との関係について連続して質問を行うことが理想的と考えられる。しかし、予備調査の結果より、1時間後、24時間後、1週間後、1ヶ月後と時間を追って予想を立てさせると、「時間を追って質問しているのだから、たぶん状況が変化するのでは」と、現象に関する予想とは別に、質問の方法から回答を行う被験者が存在する可能性がみられた。

そこで、実験の初期状態2種類それぞれについて被験者をランダムに4つのグループに分けて、グループ順に1時間後、24時間後、1週間後、1ヶ月後の4種類の異なる経過時間の内から一つだけ与えて、本調査を行うことにした。

調査期間は、平成13年10月13日から10月30日で、被験者数は鹿兒島市立伊敷中学校1年210人である。予想する状態と経過時間の被験者数は表1に示した。

表1：予想する状態と経過時間の被験者数(人)

	予想する状態	
	かき混ぜて放置	底にためて放置
1時間	21	27
24時間	26	29
1週間	27	26
1ヶ月	30	24
計	104	106

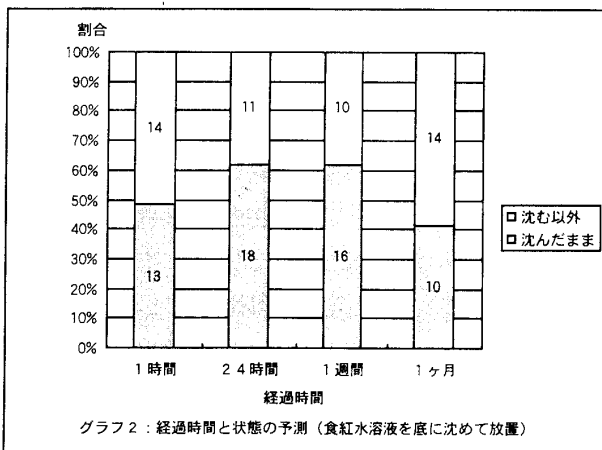
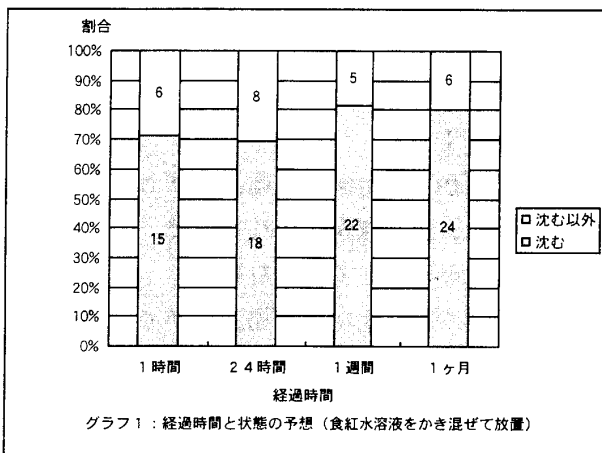
また、特に授業前の調査では、食紅を用いた実験の状況を全被験者に等しく把握させるため、手順の言葉による説明に合わせて実験手順を撮影したカラー写真の提示も行った。さらにメスシリンダーにはラップをかけて水分が蒸発しないようにし、水も腐敗しないように蒸留水を用いていることを伝えた。

5-3 調査結果と考察

食紅水溶液を均一に混ぜてから放置した場合の回答は、各グループ共通に「下に沈む」という考え方がもっとも多く見られた。「下に沈む」という回答以外には、「変化しない（均一のまま）」、「固まる」、「上下に分離」などの回答が少数ではあるが見られた。グラフ1は、回答を「下に沈む」と「それ以外」との2つに分けて示したものである。

グラフ1から、4つの経過時間すべてで傾向に差がなく ($\chi^2(3)=1.59, ns.$)、70%から80%程度の生徒が、放置した場合は食紅は下に沈むと考えていることがわかる。

食紅水溶液を底部に静かに沈めてから放置した場合も、各グループ共通に「沈んだまま」という考え方がもっとも多くみられ、「上に上がる」、「上と下に分離」、「メスシリンダーの横に付く」などの少数の回答があった。グラフ2は、回答を「沈んだまま」と「それ以外」との2つに分けて示したものである。



均一に混ぜて放置した場合と比べて、1時間後から1週間後までは「沈んだまま」という回答数に若干の増加傾向が見られ、1ヶ月後では逆に「沈む以外」が多くなっているようにグラフ2からは読み取ることができる。しかし、それぞれの回答で傾向に差がない ($\chi^2(3)=3.19, ns.$)ことから、経過時間に関係なく約半数の生徒は「沈んだまま」と考えていると予想される。

以上、授業前調査より、先行研究で示されていた「下に沈む」という考え方をもち生徒が多いという傾向は、本研究で対象とした中学校1年生にも同様に見られる特徴であることが明らかになった。

6. 理科授業への導入

6-1 授業について

溶質が「下に沈む」や「沈んだまま」という授業前調査で見られた考え方に変容を起こさせるため、中学校1年理科第1分野「水溶液」の単元で、本研究で作成した映像教材を用いる授業を行い、その効果を調べた。この単元の指導計画表と本授業の展開表は、資料3、資料4に示した。

授業における教材の効果を調べるため、本研究では会話のプロトコル分析を行うことにした。そのために、活発に意見を述べるグループや、おもしろい考えをよく発表する生徒がいるグループを2グループ選び、テープレコーダーによる音声記録を行った。さらに、2台のビデオカメラで、抽出グループとそれ以外のグループについてビデオ記録を行った。授業期間は、平成13年11月14日～11月16日で、対象は鹿児島市立伊敷中学校1年の3つのクラス各1コマ（50分）である。

6-2 授業プロトコルと考察

抽出グループについては、ビデオ記録と音声記録から生徒の判別を行い、会話のプロトコルを書き起こした。また、抽出グループ以外は、ビデオ記録から音声情報を聞き取り、同様に会話プロトコルを書き起こした。書き起こしたプロトコルより、物の溶け方や粒子性、拡散と運動のメカニズム、均一性に関する概念を表していると思われる言葉をキーワードに抽出を行った。

プロトコル中でSは生徒、Tは教師を示してい

る。また、S1やS2などは特定できた生徒、Snは不特定の生徒を示している。

(1) 教材提示時の様子

初めにメスシリンダーに水を入れて底部に食紅水溶液を沈めた実物を提示し、数日間放置したときの状態について、生徒の予想を述べさせた。その後、本研究で作成した映像を実験室のテレビを用いて提示した。

次の事例1と事例2は、映像を提示した直後からの会話例である。

事例1

[食紅の提示時]

(食紅の教材を見せる)

- Sn 変わらないよ。
- Sn 変わってる、変わってる。
(食紅が次第に拡散していく)
- Sn 早い。何か今動いたぞ。
- Sn あっ、本当だ。動いてる。
- Sn 本当だ、動いた。おーっ、すげーっ。
- T 何時間かおきに撮ったんですよ。
- Sn はあっ、何で?
- Sn 温度を上げてる、水の……
- Sn ああーっ、そうか。
- Sn 何か上に集まってない?
- T どうなっていってる?
- Sn 溶けてます。
- Sn 溶けて、また水に混ざってる。
- Sn 上にいく。
- Sn 軽いから?
- Sn 浮力で浮いたんだ。

事例2

[ブラウンシュガーを固めた砂糖の提示時]

- S1 砂糖は混ざらないと思います。
- Sn 混ざらないと思います。
- S1 混ざらないと思う。
- Sn 混ざらないと思う。
- S1 だって砂糖重いもん。混ざらないと思う。

- Sn 絶対混ざる。
- S1 絶対混ざらない。
- Sn 絶対混ざる。
- S1 絶対混ざらない。
- Sn 上に上がると思う。
(砂糖が溶けて、下部の色が濃くなった)
- T (砂糖が)なくなりました。下が非常に濃い茶色になった。
- S1 えーっ、まじで。はあっ。
- Sn 上がってる。
- Sn 変わらない。
- Sn うん、変わらない。
(下部から拡散していく)
- S1 おおーっ。
- Sn はっきり上に上がってる。
- T 何か変わってますか。
- S1 変わってない。
- Sn 変わってる。
- Sn はっきり上に上がってるよ。
- Sn 微妙に上がってるよ。
- Sn これで何日ぐらいかかっているんですか。
- T これで1週間。
- S1 上がってないよ。
- Sn 上がってるよ。
- Sn (周囲から)上がってる。上がってる。
- Sn 何かね、上の方が茶色くなった。
- S1 暗くなったりして見えない。
- Sn (周囲から)上がってる。上がってる。
- T 最初の色からするとどうですか。
- Sn 薄くなった。
- Sn 上がってきた。

両方の事例とも放置したメスシリンダーの中で食紅が拡散していく映像やブラウンシュガーを固めた砂糖が溶けて、色が次第にビーカーの上に広がっていく映像を見て、予想が覆されて非常に驚いている様子が言葉に表れている。事例2では、S1の生徒が最後まで頑固に拡散していることを事実として受け入れていない。これは拡散するにしたがって砂糖の色が薄くなるため、座っている位置によっては途中の判断が困難であったことも考

えられる。しかし、S1の周囲の生徒が色が上がっていくことを観察していることから、理論負荷を受けてS1には途中の様子が観察されなかったとも推察される。この点については、更なる授業事例の分析が必要である。

(2) 教材提示後の話し合い中の様子

映像を提示後、どのような仕組みで食紅や砂糖は広がっていったのか、グループで話し合いをさせ、その結果を絵や文章でまとめさせた。

グループでの話し合いと、発表用の説明図作成過程では、様々な言葉が飛び交っていることがプロトコルよりわかる。そして、教科書や問題集で出てくる用語ではなく各生徒が自分の言葉で現象を説明しようとしていることも読み取ることができる。これは、映像提示前の予想の根拠となっていた既存の知識体系に疑いが生じ、説明のための新しい枠組み構築が始まったことによると考えられる。特に、溶媒や溶質が動いているメカニズムを解釈するための理由に、このことが見られる。

話し合い中のプロトコル全体から、特に粒子概念と粒子の運動メカニズムについて説明している事例を、以下に取り上げる。各事例は3つのクラスにまたがっているが、同じグループではない。

1) 粒子の重さに着目した事例

事例3

- S3 うん、でも何でこうなるか……
- S2 水溶液の……。丸い砂糖の固体は崩れてどんどん細くなり、顕微鏡でも見えない小さな粒になると思います。
- S3 砂糖の粒の間に水が入り込んで。食紅と砂糖どっちを描く？
- S1 食紅の方が色がついてるからいいよ。
- S3 固体に水が入って重くなって、いや違う。今まで重かったのが軽くなった。
- S2 それで上にいった。
- S4 もう描いていい？均等に描いていい？
(S4が描いているのを見て)
- S1 それじゃあ溶けてるって感じしないよ。いっぱい、いっぱい。
(粒をたくさん描き始める)
- S3 最初大きかった粒が小さくなって軽くなる。

- S1 そんな説明でいいの？
- S4 次は？軽くなるの？重くなるの？
- S3 上に行く途中で溶けた。いいがこれで。

事例4

- S1 水と食紅が衝突して、粒の間に……
- S2 混ぜり合って。
- S3 混ぜるから、こう縮小されていくじゃん。
- S1 粒の間に水が入って浮く。
- S2 何で、粒の間に水が入ったら浮くの？
- S1 粒は水に浮くでしょ。
- S2 浮かない粒もあったらどうするの？
- S1 1粒で水がこんなにあったらどっちが浮く？
- S4 粒って何の粒？
- S3 粒じゃなくて食紅にしたらいいよ。

事例5

- S3 浮力で上に上がって……
- S1 溶けるっていうのは？
- S3 溶けるっていうのは、新しい物質が出来ること。
(間)
- S3 浮力で浮いて。
- S2 地球の引力で？
- S1 軽いからだんだん浮いてきて。
- S3 でも最初沈んでたよね。粒子が小さくなるのかも。
- S2 多分バクテリアが食べたんだな。
- S3 少しは溶けるんじゃない？浮力でぶわぶわぶわーって浮いてきて。
- S1 浮いてきて全体的にね。
- S3 何で混ぜると思いますか。
- S2 僕が思うに、月の引力で混ぜる。
- S1 月に引力あるの？
(間)
- T 何かいいアイディア出た？
- S3 少しずつ溶けていって、浮力でぼわーって上がってきた。

- S1 軽くて。
 S2 軽くて。あっ、分かった。水よりも小さかったから。
 T 水よりも何が小さいの？
 S2 いや、軽い。
 T あっ、軽いの。
 S1 でも、最初沈んだじゃん。
 T まあ最初は無理矢理、こう一番底までもっていったからね。
 S2 いや、違います。水を吸収して軽くなった？
 S3 水吸収したら重くなるよ。溶けるっていうことは新しいものができることですよ。
 S2 絶対違う。
 T 食紅はもともと軽いんだ。軽いから浮力がはたらいて、しまいにはどうなるの？
 S1 上にたまる。
 S2 あっ、違う。
 T 今のところどうなるか考えをまとめて。
 S3 混ざるっていうことは、食紅と水がこう入れ代わって1つになること。
 T 重さに関連付けたわけね。食紅と水でしょ。それがもともと軽い？あるいは水を吸収して重さに違いができたの？
 S3 水吸収したら重くなるんじゃないんですか。

事例3と事例4では、友達に自分の意見をわかってもらった過程で言葉の言い換えが行われ、後半には「粒子」という言葉を用いるようになっていくことがわかる。粒子の大きさによって浮き沈みが行われるという考えであり、物体の密度による浮き沈みと同じように捉えている。

事例5では、事例3と事例4と同様の考え方をS3が「浮力」という言葉で示そうとしている。S3は発話回数が多いのであるが、グループの問題解決に向けての意見調整を行う立場にはなっていない。S2は、指導者の発問を受けて、言葉を変えて説明しようとしているが、説明が続かない状態である。結果として、グループで最も妥当という意見まで到達することができなかった。

事例6

- S2 どうして、どうしてあがるのけー。
 S3 間が経つからじゃないの。
 S1 月とか他の星の引力で混ざったと思う。月に引力がこうきて、食紅も引力に引かれてこう…
 …
 S4 月って引力あるの？ないでしょ。
 S1 あるでしょ。だから月の引力で食紅が引かれて混ざった。
 S4 食紅が温かくなって、メスシリンダー（の中の水）と合併した。
 S3 水があそこ（メスシリンダー）の中でぐるぐるぐるぐる回ってて、それで赤くなった。
 S1 これって何で回ったかを知りたい。
 S3 だから、風とかで……地震？何かで水がぐるぐるぐるぐる回ってて。
 S1 月と地球の引力で混ざった。誰かがぐるぐる回ってって言ったでしょ？まとめて、月と地球の引力で水がぐるぐる回って食紅と混ざった。
 （書きながら）
 S1 水がぐるぐる回って。
 S2 色が赤くなる。
 S1 そして食紅が水に混ざった、溶けた。
 S4 うーん、うちの班は絶対おかしい。
 S1 これはかなりいい理論だぞ。

事例6では事例5と同様に引力を想定しているが、この「月の引力」が影響しているという考え方は、別のクラスでも見られた考え方である。おもしろいアイデアで水の運動を考えているが、案を出した生徒自身にも根拠を説明することができない状況となっている。

ここであげた事例3から事例6は、粒子という考え方までは到達しているが、地球上で通常の物が落下したり浮かび上がったたりする現象と同じ浮力や引力などを用いて運動を解釈しようとしている。そのため、溶媒である水との密度比較を行っている。この時、生徒が想定している粒子の大きさが明らかではないが、自由に動き回ることができる大きさとは考えていないようである。

2) 溶媒の動きや溶質の性質に着目した事例
事例7

T 混ぜなくても、回ってるの？見ても回ってように見えない。目に見えないけど回っているの？
S1 同じ水だから回ってるようには見えない。だめですか。
T いいんじゃないですか。
S1 ついでに食紅も回る。ゆっくりですよ。すごくゆっくりだから。
S2 時間がかかる。1周に1日かかる。
S1 でもありえないかな。
(書きながら)
S1 回転している。巻き込まれる、だから……

事例7では、溶質の運動を説明するために、溶媒の運動に着目している。S1は、溶媒である水の動きが認識できないことについて、「同じ水」が「すごくゆっくり」と回っているから観察できない、という核心に迫るアイデアを出している。しかし、回るメカニズムを説明しきれないため自ら納得できない様子がわかる。

次にあげる事例8では、構成員である生徒がグループで出てくる意見の不備を指摘しながら、もっとも妥当な意見にグループを引っ張っていった状況をみることができる。

事例8

S1 私が考えたのは、少しずつ下のが溶けてはじけるように全部に混ざった。
S2 はじけるように？はじけてるの？
S1 粒が……小さな粒々が……
(間)
S1 私が考えたのは、少しずつ下のが溶けてはじけるように全部に混ざった。
S2 はじけるように？はじけてるの？
S1 粒が……小さな粒々が……
S2 液体の方が軽いから？でも（食紅は）液体に溶けてるんだよ。
S1 溶けてても、小さな粒々があるの。

S2 溶けてるんだよ。
S3 難しい。
S2 僕は、水は全体を同じ濃さにする働きがあると思う。
(間)
S2 結局この試験管の中で液体の粒がぱーっ、ぱーっ。
S1 じゃあ、いいがこれで。
S3 俺、分かったよ。こうあるでしょ。中の空気がこうなるの。
S1 あーっ、私ははじけると思う。
T S2君は？
S2 はじけるっていうのは、この粒だけがはじけながら、こう上に上がっていくらしいんですよ。
T それではおかしいと思うわけ？
S3 空気が上に上がるから。空気の流れがこう。
S1 「少しずつ下のが溶けてはじけるように全部混ざった」でいいの？
S3 いいよ、それで。
S2 他の考える？
S1 空気が混ぜる……無理かー。
S3 うーん。
S1 下からどんどん混ざっていく。あっ、水が下にきて、それで混ざる。
S2 だったら、水が沈殿しているものを同じ濃さにするはたらきがあるでもいいと思わない？
(間)
S3 水が？
S1 考えてよ、それは。
S2 だから水が下にあるものを全体に同じだけ混ぜようとする力があるんじゃないの？
S3 水が？回ってるのかな。
S1 2つ考えたんだけど、水が下にいて、こうもりあがって混ざり合ったと思う。
S3 おれは磁石の力だと思う。
S2 だから、磁石の力なんてどこにあるのよ。上に磁石置いてないよ。まず食紅が磁石に溶けるのかも分からないし。磁石に引きつけられるか分からない。
S3 重力は？
S2 重力は重力がない限り、無理だと思う。食紅は。

- S3 洗剤？
 S2 だから洗剤入ってないでしょ。
 S1 この考えもあるんだけど、何か変な感じ。
 T 水が下に下にいくのね。食紅も下に落ちるの？水もだけど食紅にも重さがあるよね。
 S2 食紅の方が軽いから上にこう上がってくる。
 T 重さに違いがあるということね。軽いから上に上がる？じゃあずっとしたらどうなると思う？今、全体が赤いよね。上だけ赤くなるの？
 S1 砂糖の時は、溶けていくのと一緒に、溶けだしたら軽くなって。
 T 溶けだしたら軽くなって？
 S1 混ざる。
 T やがては全部上にいくの？
 S1 泡になって……こんな感じ。
 S2 水は、全部が2つに分かれてたりしたら、同じ濃さにしようとする働きがある。
 S2 だって砂糖が溶けたやつはどう考えても……
 S1 あのかたまりがあった。砂糖は最初。
 S2 だったらこう同じ濃さにしようとする働きがあって、下にたまってたら同じ濃さにする。
 S2 洗剤と一緒に。
 (書き始める)
 S2 水に全体を同じ濃さにしようとする力がある。

S2は、既習事項の用語などを使っていない。これは、食紅や砂糖が自然に拡散していく現象は、既習事項では説明できないと捉えているためと考えられる。既習事項で説明できない場合、いろいろの意見が出てくるのは当然であるという立場に立ちながらも、既習事項や実験条件と矛盾のある意見は取り除いていく必要性を捉えている。そのため、グループで出てくる「はじける」、「空気」、「磁石」、「洗剤」などを削除していくことが可能になっている。結果として、水は全体を同じ濃度にしようとする力があるという拡散の基本的な概念にせまる推論に達することができた。

7. 教材の効果について

7-1 授業後の調査について

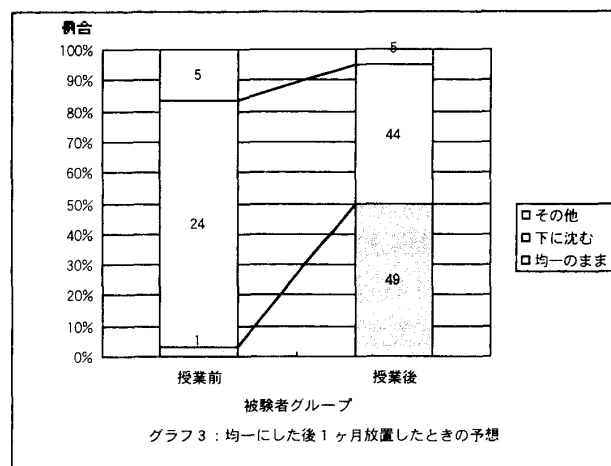
本研究で作成した映像教材を用いた授業の後、

砂糖をよくかき混ぜて均一にとかした水溶液を、1ヶ月間放置した場合の変化に関する調査を行った。

調査期間は11月13日から12月21日の間で、授業記録を行った1年の3つのクラス(98名)が被験者である。授業後調査問題は、資料2に示した。調査に際して、事前調査と同様に、ピーカーにはラップをかけて水分が蒸発しないようにし、水も腐敗しないようにしていることを伝えた。

7-2 授業前後の変化

授業前後で「均一のまま」と「下に沈む」についての回答率の変化をグラフ3に示した。授業前には1ヶ月後の予想を行った30人の中、24人(80%)が「下に沈む」と答え、わずか1人の生徒だけが「均一のまま」と答えていた。しかし、授業後は98人の中、49人(50%)の生徒が「均一のまま」と回答し、「下に沈む」と答えたのは44人、割合にして45%に減少していた。



授業後、均一とする理由としては、砂糖がはじめによく水に溶けているから(15人)というもの以外に、食紅と同じように全体に拡がるから(7人)、溶けた物質は決して下に沈まないから(5人)、砂糖の隙間に水が入って分散するから(2人)、水は絶えず動いていて、その衝突で混ざるから(1人)、目に見えない砂糖が動いているから(1人)、目に見えない速さで水が回転しているから(1人)があった。これらの理由には、授業前に見られなかった溶媒の存在と、その動きが加わっていた。

このような反面、授業後も下に沈むと答えている生徒の理由として、日がたつにつれて食紅が沈

むからとしている生徒が15人あった。この原因としては、

- ・提示した教材は、食紅も砂糖も、その後も均一であった、という事実を授業最後に伝えなかった。
- ・食紅や砂糖が拡散した理由を分子の運動として最後に解説しなかった。

という、授業構成の問題点が考えられる。

さらに、生徒の中に「水に溶けているものはいつか下に沈む」という非常に堅牢なとらえ方の存在と、スプーンで注いだ砂糖粒は下に落ちるなどの砂糖に対する日常的イメージから離れることができない実態が、影響していることも考えられる。

8. まとめと課題

授業前後の調査結果からも、本研究で作成した教材と理科授業への活用は、溶解と拡散という現象について生徒に変容をもたらす効果があり、一定の成果を上げることができたと考えている。また、提示した映像教材と現象についての生徒のイメージについて、「びっくりした」、「不思議だった」、「すごい」と授業後の調査で回答していた生徒が約70%もいた。さらに「感動した」、「よかった」、「神秘的だった」、「もう少し調べてみたい」という意見もあった。これらをもみても、作成した教材を通して溶解の不思議さに触れさせることができたと思われる。

今後の課題としては、

- ・溶質の工夫と撮影技術の向上
- ・溶質と溶媒の化学的、または物理的性質と拡散との関連性についての詳細な考察
- ・グループ討議における教師の役割分析
- ・他の事例についてのプロトコル分析
- ・根拠のある推論に基づいたモデル創作を生徒に習慣づける理科実験の構築
- ・被験者であった生徒の溶解概念の追跡調査

などがあげられる。

中でも、生徒の観察・実験などが単なるHands-Onに終わることなく、根拠のある推論に基づいた方向性のある知的活動となることは重要である。このためにも、附属学校や代用附属学校

との連携を通して、理科の内容に基づいた評価基準の確立、生徒の観察・実験中の教師の役割分析、実験グループ内の生徒の役割分析など、質的研究を今後さらに進める必要がある。

最後に、授業前調査の予備調査に対して、多大なる協力をいただいた、本学部附属小学校池浦也寸志理科主任と、困難な現象を目のあたりにしながらも、ユニークで様々な意見をだしてくれた生徒諸君に感謝申し上げる。

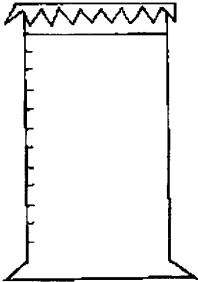
9. 引用文献

- 1) 例えば、新しい科学1分野上、p. 59、2001、東京書籍
- 2) 伊勢村尋三『水の話』、p. 61、1984、培風館
- 3) 上島章弘、森川めぐみ「物質の溶解に対する生徒の日常知とそれに基づく「物質のとけかた」の授業『理科の教育』1月号、pp. 23-25、1997、東洋館出版社
- 4) 杉本美穂子「対話と協同の中での学びを生かした授業デザイン」『理科の教育』12月号、pp. 46-49、2000、東洋館出版社
- 5) 文部省『中学校学習指導要領解説 理科編』、p. 36、1999、大日本図書
- 6) 森本信也著『子どもの理論と科学の理論を結ぶ理科授業の条件』、pp. 83-84、1993、東洋館出版社
- 7) 柿原聖治「液体の分子運動」『理科の教育』10月号、pp. 42~43、2000、東洋館出版社
- 8) 松森靖夫「子どもが有する真偽判断の理論に適合した評価方法の提案」『理科教育学研究』、Vol. 40、No. 2、pp. 33、1999

資料1：質問紙（授業前調査）

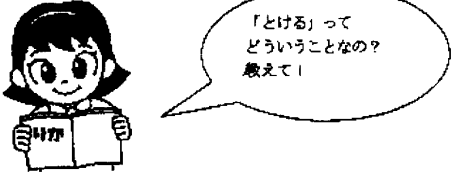
理科についての調査
 1年 組 性別(男・女) 名前()
 これは試験ではないので、みなさんの成績には関係しません。

1. _____後の容器の中はどうなっていると思いますか。考えや思ったことを自分の言葉と絵でできるだけ詳しく説明してください。



<上のようなになると考えた理由>

2. 小学校6年生のりかちゃんには分からないことがあるようです。

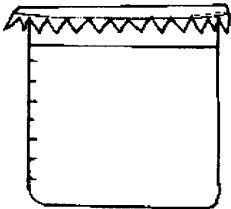


困っているりかちゃん分かるように教えてあげてください。

資料2：質問紙（授業後調査）

理科教材についての調査
 1年 組 性別(男・女) 名前()
 これは試験ではないので、みなさんの成績には関係しません。

1. 水に砂糖をよく溶かしたものがビーカーに入っています。これを一ヶ月間、温度変化のないところに放置しておきました。蒸発しないようにしてあります。ビーカーの中はどのようなになっていると思いますか。自分の考えや思ったことを自分の言葉と絵でできるだけ詳しく説明してください。



<上のようなになると考えた理由>

2. 今回の授業で下にたまっていたものが時間とともに全体に広がっていくビデオを見ました。ビデオを見た感想をできるだけ詳しく書いてください。

<感想>

資料3：指導計画表

配当時間	学習内容	指導目標
2	単元オリエンテーション	・単元の学習内容に興味を持ち、学習の見通しを持つことができる。
1	・身近な自然現象を探求してみよう 海水から取り出す 湖水面に写る山 紙の容器で水を加熱する 水を入れた時計皿を使って、黒い紙を焦がす	・身の回りの自然現象に興味、関心を持たせる。
3	1 水溶液に溶けている物を調べよう ガスバーナーの使い方 5つの水溶液の性質を調べる	・実験器具の操作や記録の仕方など、実験技能の修得を図る。
2 本時 (2/2)	2 物質が水に溶けるとはどんなことか 水に溶ける固体の様子を調べる ・溶液中の溶質の状態	・物質が水に溶けることをモデルに表すことができるようにする。 ・水溶液中の溶けない物質を取り除く方法を考えさせる。
3	3 物質はどれだけ水に溶けるか 一定量の水に溶ける物質の量を調べる ・メスシリンダーの使い方 ・上皿てんびんの使い方 ・再結晶 ・質量パーセント濃度	・観察、実験を通して、一定の水に溶ける物質の量には限度があることを理解させる。 ・再結晶の操作や上皿てんびん、メスシリンダーの使い方を身につけさせる。
4	4 気体にはどんな性質があるか 気体を発生させ、その性質を調べる ・各気体の発生方法と性質 ＜調べる気体＞ 酸素、二酸化炭素、アンモニア、水素 ・気体の捕集方法 ・身の回りの物質から気体を作る	・身の回りのある気体の発生や捕集、調べる実験を通してそれぞれの特徴を理解させる・事故に十分注意して気体発生を行い、性質に応じて捕集できるようにする。 ・身の回りの物質から気体を作る

資料4：授業展開表

過程	時間	学習活動	教師の支援及び留意点
事象提示	5	はじめ 事象提示① 学習課題の確認②	・メスシリンダーの底に食紅の水溶液を沈めたものを提示し、溶解について興味・関心をわかせる。
課題把握	3	＜学習課題＞ 水の底に沈めた食紅は、時間がたつとどうなるだろうか？	
予想	5	結果の予想・発表③	・「粒は重い」と考えている生徒が多いと思うので、その考えを大切にする。 ・③のような考えの生徒に揺さぶりをかけるような発問をする。 (混ぜてないのにどうして?) ・机間巡視を行い、生徒同士の討論が活発になるようにする。 ・粒子性や粒の動きに気付かせる。 ・他のグループの考えを知ることで自分たちの考えをもう一度振り返らせる。
教材提示	7	ビデオ教材の提示④	
考察	20	「なぜ混ぜないのに拡がるか？」 グループで考え、意見交換⑤	
発表	7	グループごとに発表⑥	
まとめ	3	本日のまとめ⑦ 終わり	