

<実践報告>

一人一人がこだわりをもって科学的に探究していく理科指導に関する実践研究

水野真二郎 信州大学教育学部附属松本小学校
 三崎 隆 信州大学学術研究院教育学系
 神原 浩 信州大学学術研究院教育学系
 村松久和 信州大学学術研究院教育学系
 伊藤冬樹 信州大学学術研究院教育学系

A Practice Study on Science Instruction for Facilitating the Ability to Research Scientifically by Oneself

MIZUNO Shinjiro: Matsumoto Elementary School Attached to Faculty of Education, Shinshu University

MISAKI Takashi: Academic Assembly, Shinshu University

KAMBARA Hiroshi: Academic Assembly, Shinshu University

MURAMATSU Hisakazu: Academic Assembly, Shinshu University

ITO Fuyuki: Academic Assembly, Shinshu University

研究の目的	個別に計画，実験させる活動を位置付けることが，こだわりをもって探究する力を高める理科の指導に有効に機能することを明らかにすることを目的とする。
キーワード	こだわり 個別実験 探究する力 浮力
実践の目的	中学校の理科授業の授業改善を目的とする。
実践者名	水野真二郎・三崎隆・神原浩・村松久和・伊藤冬樹
対象者	公立 M 中学校第 1 学年生徒 (40 名)
実践期間	2013 年 10 月～2014 年 2 月
実践研究の方法と経過	一人一人がこだわりを持って探究することのできる単元を設定して，授業実践を行った。また，調査前の実態から特定の生徒を抽出し，当該生徒の実践における変容を追跡し，分析を加えた。
実践から得られた知見・提言	個別にこだわりを持って実験計画を立てて観察，実験させることを通して，探究する力を高める理科の指導を行うことは，生徒の概念形成に有効に機能する。

1. はじめに

理科の授業においては、生徒が日常生活の中にある自然事象と出会い直し、自ら問題を見だし、その生徒なりの探究の方法で解決を図り、実証性・再現性・客観性を友と検証し、自然事象をより科学的な見方や考え方でとらえていくことが必要であると考え。

筆者らが実践した水溶液の単元において、砂糖が水に溶けたときの様子について、生徒が「肉眼では見ることができないけれど、顕微鏡なら見える大きさの粒が散らばっている」という予想をもっていることを見いだした。それは、これまでの日常生活の中で「ジュースとかをよく見ると、粒が見えるときがある」経験が生徒の背景にあるからであろうと考えられる。自分の経験に基づくこだわりをもった生徒の観察、実験においては、実際に顕微鏡で観察していく中で砂糖の粒子を観察できない事実と直面することとなる。探究の過程で、肉眼でも顕微鏡でも粒子を観察できない生徒は、顕微鏡でも見えない粒子の大きさなのかもしれないと仮説を立てても確信を持ってないが、考察の段階での他の生徒の「もともと小さい粒が集まって砂糖になっていて、それが溶けるときにばらばらになる」という考えを聞いて、自分の発見したことと関連づけて「集まっていた小さな粒子がばらばらになった」と結論づけていく様態が認められるようになる。これは、微視的な視点で見たり考えたりしていなかった自然事象について、自分のこだわりのある仮説を確証できないために何度も働きかけ直したり、他の生徒と考察の妥当性を検討したりすることを通して、見方が広まることによるものと考えられる。

本研究においては、生徒が日常生活の中にある自然事象と出会い直し、素朴な疑問や驚きをこれまでの経験を基に自分の問いとして立ち上げ、経験に基づいた根拠をよりどころにしたその生徒らしい探究方法によって観察、実験を行なう姿をこだわりのある姿ととらえることとする。それが、結果について他の生徒と分析、解釈しながら実証性、再現性、客観性を見いだす過程で、科学的な見方や考え方を更新していく姿を導出させることにつながり、今後の理科授業改善に寄与するものとともに、期待されることとなっている。

2. 研究目的

本研究では、一人ひとりがこだわりをもって科学的に探究していく理科指導の有効的な機能性について、中学校1年生の化学領域と物理領域における実践を基にして事例的に明らかにすることを目的とする。

3. 授業実践1

3.1 単元名・授業学級・実施時期

(1)単元名「探ろう！姿を変えたエタノールの謎」(1年「状態変化～蒸留～)」全5時間

授業学級：1年C組(計40名)

実施時期：平成25年10月

状態変化と粒子に対する概念について、前単元までの生徒の姿からとらえる。そし

て、生徒の姿や学習カードへの記述を基に、単元を通して抽出生徒の状態変化に対する見方や考え方がどのように変容していったのかを考察する。

(2) 単元名「解明！浮力のきまり」（1年「いろいろな力の世界～浮力～」）全6時間

授業学級：1年C組（計40名）

実施時期：平成25年12月

浮力に対する概念について、前単元までの生徒の姿からとらえる。そして、生徒の姿や学習カードへの記述を基に、単元を通して抽出生徒の浮力に対する見方や考え方がどのように変容していったのかを考察する。

3.2 単元設定の理由と単元の目標

(1) 単元設定の理由

《このような生徒に》

○水は温度によって水蒸気や氷に変化することを、生活経験を通して学ぶ生徒。

○水やロウが状態変化するときの体積の変化や質量の保存について、粒子モデルを用いて考えることの良さを実感する生徒。

○水以外の物質に自ら働きかけて調べた経験が少なく、どの物質でも沸点は100℃だと思う生徒。

《このような手だてで》

○アサリの酒蒸しを調理し、エタノールのにおいや味が全くなくなる現象を提示した後、「エタノールが飛んだのではないか」という疑問を取り上げ、日本酒で調理した残り汁と水だけで調理した残り汁の体積を比較する場を設定することで、エタノールのにおいが無くなる理由について液体の状態変化を手がかりに考えていくことができるようにする。

○調理中の気づきを共有する場面で、「日本酒が沸騰しているときにふたを取ると、エタノールのにおいがツーンとした」という気づきを取り上げた後、「エタノールは沸騰する温度が低いのかもしれない」と疑問をもつ生徒の姿を待ち受け、エタノールの温度変化を測定する場を設定することで、エタノールの沸点は水よりも低いことや、エタノールも水と同じように沸騰している間の温度は一定であることを見いだすことができるようにする。

○エタノールの沸点を測定した後、「水とエタノールを混ぜた日本酒の沸点はどうなるのだろう」という願いを取り上げ、日本酒を加熱したときの温度変化を調べる場を設定することで、混合物の温度変化は純粋な物質の温度変化と異なり、沸騰が始まっても一定にならないことを見いだすことができるようにする。

○日本酒の温度変化をグラフ化したときに「78℃で温度変化が一定にならなかったけど、エタノールは全て気体になって、残っていないのだろうか」と疑問をもつ生徒の姿をとらえ、「沸騰中に出てくる液体は、温度によってどのように変化していくのだろうか」と問い、蒸留装置を用いて加熱し、出てきた液体の性質を調べる場を設定することで、沸点の低いエタノールが先に取り出せることを確かめ、アサリの酒蒸しでもエタノールが先に気体になったからにおいが無くなったと結論づけることができるようにする。

《このような力をつける》

○物質によって沸点にちがいがあるとは考えていなかった生徒が、蒸留装置を用いて物質を取り出し、出てくる液体の性質を調べて比較することを通して、沸点のちがいを利用することで日本酒からエタノールを取り出せることを見いだすことができる。

○日本酒の蒸留について微視的な見方や考え方で粒子モデルを操作することを通して、物質によって沸点が違うため、取り出した液体に含まれる物質の割合が異なることを説明することができる。

(2)単元の目標

【自然事象への関心・意欲・態度】物質による状態変化の温度のちがいに関心を持ち、蒸留の仕組みについて進んで調べようとするすることができる。

【科学的な思考・表現】純粋な物質が状態変化する温度が固有であることや、混合物が蒸留で分けられる仕組みについて粒子モデルを用いて説明することができる。

【観察・実験の技能】沸点の測定や蒸留を正しく行い、温度変化を時間ごとに記録し、結果をグラフに表すことができる。

【自然事象についての知識・理解】物質が状態変化する温度は固有であり、沸点のちがいを利用して混合物から物質を分離できることや、その方法が社会で利用されていることを理解することができる。

3.3 本時案

(1)主眼

日本酒を加熱したときに出てくる液体は温度によってどのような変化していくのかを考える場面で、蒸留装置を用いて出てくる液体を取り分け、取り分けた液体の性質を比較することを通して、沸点のちがいを利用して日本酒からエタノールを取り出せることについて粒子モデルを用いて説明することができる。

(2)指導上の留意点

・考察に十分時間をとるために、前時までに学習問題を設定し、検証方法や注意点を確認し、実験装置を組み立てておく。

・試験管を取り替える分担の生徒には軍手をはめさせたり、取り出した液の検証実験ではエタノールの炎が見づらいので電気を消して観察させたりする。

図1は、学習指導案の一部を示している。

過程	学習活動・学習形態【 】	予想される生徒の反応や意識	支援（・）と評価	時間
導入	1 学習問題に対する予想や実験の注意点を確認する。 【全体】	<p>学習問題：日本酒を加熱したときに出てくる液体は、温度によってどのように変化していくのだろうか。</p> <p>◎水とエタノールが混ざっているのだから、混ざったまま出てくると思う。 ◎酒蒸しを作ったときも、前回実験を見たときも、沸騰が始まってすぐは、エタノールのにおいがした。だから、エタノールが先に出てくると思う。 ◎水は 100 度近くにならないと沸騰しないけど、純粋なエタノールは約 78 度で沸騰することが確かめられたから、エタノールが先に出てくると思う。</p>	<p>支援（・）と評価</p> <p>・前時に作成した日本酒の温度変化のグラフを確認している生徒の姿を全体に広め、沸騰が始まって温度がなだらかに上昇したことを確認することで、出てくる気体の温度の関係に着目する意識づけができるようにする。</p>	5
展開	2 日本酒を加熱し、出てくる液体の性質を調べる。 【班】	<p>学習課題：出てくる液体を取り分けてにおいなどに着目して性質を比較し、粒子モデルを用いて説明しよう。</p> <p>◎1 本目は 40℃から 80℃くらいで、無色透明で、エタノールのにおいがした。肌につけるとひんやりして蒸発した。火をつけるとよく燃えた。 ◎2 本目は 80℃から 90℃くらいで、無色透明で、エタノールのにおいがした。肌につけるとひんやりしたが、乾ききらなかった。火をつけると燃えたが、1 本目よりも早く消えた。 ◎3 本目は 90℃以上でにおいがなかった。火はつかなかったし、手につけてもひんやりしなかった。 ◎加熱後のフラスコ内の液に火を近づけても、燃えない。</p>	<p>・蒸留装置の内壁の様子を観察することを促すことで、出ていく気体と温度変化の関係に着目できるようにする。 ・集めた液体をしみこませるろ紙の大きさを統一しておくことで、火をつけたときの燃焼時間の差を明確に比較し、エタノールの割合に着目していけるようにする。</p> <p>・1 本目と 2 本目のちがいを問うことで、エタノールの割合が減り水の割合が増えてきていることを見いだせるようにする。</p> <p>沸点のちがいを利用して日本酒からエタノールを取り出せることを見いだすことができたか、学習カードの記述や発言から評価する。</p>	25
開	3 実験結果をもとに考察する。 【個人・全体】	<p>◎1 本目（沸騰が始まってすぐ）はエタノールのにおいが強くてよく燃えたから、エタノールが出てきたと言える。 ◎2 本目（80℃から 90℃）のときは、エタノールのにおいがしたけれど少し弱く、燃える時間も短かったから、エタノールに水が混じっていると思う。 ◎3 本目はアルコールのにおいがしなかったし、手につけてもスースーしなかったから、水だけが出てきたと考えられる。 ◎沸騰が始まって、温度が低いうちはエタノールの気体が出て、温度が上がっていくと次第に水も出てくるといえる。 ◎沸騰が始まったばかりの温度では、</p>	<p>・沸点のちがいに着目して考えられない生徒には、加熱後の液体と 1 本目の試験管の液体の性質のちがいを比較するよう促すことで、エタノールが先に沸騰して気体になったことを見いだすことができるようにする。</p>	15

		<p>エタノールだけが出て、中間の温度ではエタノールと水が混じって出て、温度が90度以上になると水だけが出てくる。</p> <p>◎（粒子モデルを操作しながら）水とエタノールが混ざり合っているけど、沸点の低いエタノールの方が水より先に沸騰して気体になると言える。</p> <p>◎アサリの酒蒸しをするとエタノールのにおいがしなくなったのは、78℃から沸騰が始まったときはエタノールが気体になって出ていき、100℃になる前にエタノールが先に全て気体になったからなんだ。だから、子どもが食べても大丈夫なんだ。</p>	
終末	<p>4 学習の振り返りを書き、発表をする。 【個人・全体】</p>	<p>◎沸点のちがいを利用すると、混合物の液体から純粋な物質を取り出せることがわかった。</p> <p>◎もっとこまめに試験管を取り替えば、中間の温度でも水が混ざらないでエタノールだけ取り出せるのではないかな。</p> <p>◎ウィスキーや化粧品のコマーシャルで、蒸留ってきたことがあるけど、このことなのかな。</p> <p>◎粒子モデルで考えると、沸騰しているときの温度が一定にならない理由が分かった。2本目の水とエタノールが混ざったものは、もう一度加熱すると分けられると思う。</p>	<p>5 「今日の実験を通して、自分の見方や考え方が深まっていったことを振り返ろう」と促すことで、自分の学びの過程を振り返ることができるようにする</p>

図1 学習指導案の一部

3.4 結果と考察

日本酒を加熱したときに出てくる液体は温度によってどのように変化するのか考える場面で、M生は出てきた液体に含まれるエタノールの割合にこだわっていった。M生は火を近づけて燃えるかどうか確かめる場面で、「先生、空いた容器はまだありますか。水だけ入れたときに、火を近づけたらどうなるか確かめてみたいんです」と対照実験をやりたいことを伝えてきた。教師は、その願いを価値付け、すぐに空の容器を渡した。M生はその容器に水だけを入れ、そこへ火のついたマッチを近づけた。火が燃え移らない結果を見て、「やっぱりね。だから、はじめの方はエタノールが多く出てきて、だんだん水が出てくるんだよ」と班員に説明していた。沸点の低いエタノールが先に出てくることについて、対照実験をやることでより確信した姿だと教師はとらえた。

M生は考察に「アルコールがなくなっていった」と枝つきフラスコの液からエタノールがなくなっていくことは記述したが、残った液が黄色みがかってきたことを特に観察したり、記録したりする姿は見られなかった。しかし、友の「残った液からパンのようなにおいがしたから、残った液にはうま味成分が含まれているかもしれない」という発言を聞き、うま味成分も含めて粒子モデルを操作することで、アサリの酒蒸しを食べるときにはアル

コールが抜けてうま味成分が残るから味がつくことを結論づけた。M生は、日本酒の蒸留によって出てくる液体を比較し、沸点の低いエタノールが先に出てくることに気づいたが、蒸留後の枝つきフラスコ内に残った黄色い液については目が向いていなかった。この時点でのM生の蒸留に対する見方は、「沸点の低いエタノールが先に出てくる」という見方だけだととらえられる。しかし、友の「残った液にはうま味成分が含まれているかもしれない」という考えを聞き、友と意見交換しながら水の粒子とエタノールの粒子に、うま味成分の粒子も含んだ日本酒の粒子モデルを操作することで、最終的にうま味成分が残ることを結論づけていくことができた。これは、結果の要因となる目に見えないものをモデルで表すことによって、科学的な見方を広げていった姿ととらえられる。

4. 授業実践2

4.1 単元名・授業学級・実施時期

単元名「解明！浮力のきまり」（1年「いろいろな力の世界～浮力～」）全6時間

授業学級：1年C組（計40名）

実施時期：平成25年12月

浮力に対する概念について、前単元までの生徒の姿からとらえる。そして、生徒の姿や学習カードへの記述を基に、単元を通して抽出生徒の浮力に対する見方や考え方がどのように変容していったのか考察する。

4.2 単元設定の理由と単元の目標

(1) 単元設定の理由

《このような生徒に》

○液体によって沸点に違いがあることを予想していなかった生徒が、蒸留装置を用いて物質を取り出し、出てくる液体の性質（におい、燃え方など）を調べて比較することを通して、沸点の違いを利用することで日本酒からエタノールを取り出せることを見いだすことができる生徒。

○日本酒を蒸留した結果について友と意見交換しながら粒子モデルで表すことを通して、液体によって沸点が違うため、液体によって取り出した物質の割合が異なることを説明することができるようになる生徒。

《このような手だてで》

○水中にあるボーリング球と板状コンクリートを持ち上げた生徒が「空中だと浮力がはたらかないから重く感じる」とつぶやく姿を待ち受け、ばねばかりを用いて浮力を測定し、ボーリング球にはたらく浮力の方が板状コンクリートにはたらく浮力よりも大きいことを比較する場を設けることで、浮力の大きさを決める要因について自らの問いをもつことができるようにする。

○実験に用いることができそうなもの（ばねばかり、おもり、フィルムケース、ペットボトル、タッパー、密度測定用金属、糸、水槽など）を提示し、自らの問いの解明に必要な

実験道具を家から持ち込んだり自作したりすることを提案することで、個別に立てた実験計画を基に浮力を測定し、浮力の大きさは物体の体積によって決まることを見いだすことができるようにする。

○浮力は水圧の差によって生じるのではないかという気づきをとらえ、水圧測定器を用いて深さと水圧の関係を調べ、水圧の向きと大きさを矢印モデルで表す場を設定することで、物体の上面に下向きにはたらく水圧と物体の下面に上向きにはたらく水圧の差が浮力になることを見いだすことができるようにする。

○「質量がどれだけ大きくても、体積が大きければ物体は浮くのかな」とつぶやく生徒の姿をとらえ、鉛で作ったタンカーやフェリーの模型船が浮く事象を提示し、模型船を作ってどのようなときに浮くか着目することを促すことで、物体にはたらく重力と浮力の大きさが等しいときに浮くことを理解することができるようにする。

《このような力をつける》

○浮力の要因について自分なりの予想を立て、変える条件と揃える条件を明確にした検証方法を自分で考えたり、検証の過程で再実験したり検証方法を修正したりすることができる。

○目に見えない水圧を矢印モデルで表現し、見えない水圧を見えるようにすることで、物体が浮くという目に見える現象を目に見えない水圧という要因でとらえていく科学的な見方を広げていくことができる。

(2)単元の目標

【自然事象への関心・意欲・態度】浮力の大きさを決める要因に関心をもち、自分の予想を進んで検証していこうとすることができる。

【科学的な思考・表現】浮力を決める要因とそれを決めだした根拠に着目して変える条件と揃える条件を明確にした実験計画を立て、物体にはたらく上向きと下向きの水圧の差が浮力になることを見いだすことができる。

【観察・実験の技能】変える条件と揃える条件を制御し、ばねばかりを用いて浮力を測定したり、水圧測定器を用いて水圧を測定したりすることができる。

【自然事象についての知識・理解】物体にはたらく重力と浮力の大きさが等しいときに物体が水に浮くことや、水圧はあらゆる方向から物体にはたらき、物体が深いところにあるほど水圧が大きいことを理解することができる。

4.3 本時案

(1)主眼

浮力の大きさは何によって決まるのかを考える場面で、物体の水中での深さや量、物体の形、質量、体積、表面積、底面積に着目し、その中から変えるものと揃えるものを明確にしてばねばかりを用いて浮力を測定することを通して、浮力の大きさは物体の体積によって決まることを見いだすことができる。

(2)指導上の留意点

・物体が浮いた状態で浮力を測定すると実験結果の解釈が難しくなるため、物体が完全に水に沈んだ状態で浮力を測定していくようにする。

・再実験をしたり異なる要因について次の実験をしたりする際には、変える条件と揃える条件を明確にしてより精度の高い測定ができるようにする。

図2は、学習指導案の一部を示している。

過程	学習活動・ 学習形態【 】	予想される生徒の反応 や意識	支援（・）と 評価 [-----]	時間
導 入	1 学習問題に 対する予想や 実験の注意点 を確認する。 【全体】	<p>学習問題：浮力の大きさは何によって決まるのだろうか。</p> <p>◎1メートル以上深くなれば、浮力は大きくなっていくと思う。2メートル水槽で確かめてみたい。《深さ》</p> <p>◎浮力というのは下から押し上げられる感じがするから、同じ質量や体積でも、三角錐と円錐みたいな形だと浮力は大きくなると思う。《形・向き》</p> <p>◎質量の軽い物体は水に浮くから、軽い方は浮力が大きいと思う。フィルムケースに入れるおもりの量を変えていけば、体積は同じで質量だけ変化させて調べられそう。《質量》</p> <p>◎ボーリング球の方が体積は大きそうだから、体積が関係すると思う。小さいタッパーと大きいタッパーにおもりを入れ同じ質量にして比べれば調べられそう。《体積》</p>	<p>・「〇〇が大きいほど浮力が大きくなるのかを確かめるために、他に揃える条件はないか」と問うことで、条件を制御して正確に測定できるようにする。</p>	3
展 開	2 変える条件と揃える条件を明確にしなが ら、個別の実験計画に基づいて浮力を決める要因を調べる。 【個人】	<p>学習課題：変えるものと揃えるものを明確にして、ばねばかりを用いて浮力を測定し、浮力の大きさを決めるものは何か解明しよう。</p> <p>◎2メートル水槽でやってみても、深さによって浮力が変わらないぞ。どうしてだろう。《深さ》</p> <p>◎同じ質量、同じ体積でいろいろな形にしても浮力の大きさは変わらない。底面積が大きい方が浮力は大きいと思ったのに、関係ないぞ。《形・</p>	<p>・「結果がはっきりしない」とつぶやく生徒をとらえ、「条件を揃えてもう一度やってみたり、同じ条件に着目している〇〇さんと情報交換したりしたらどうか」を促すことで、自分の予想は浮力を決める要因になるのかどうか判断できるようにする。</p> <p>[-----] 浮力の大きさは物体の体積によって決まることを見いだすことができたか、学習カードの記述や発言から評価する。 [-----]</p>	32

	<p>3 実験結果を基に、浮力の大きさを決めるものは何か考察する。 【個人・全体】</p>	<p>底面積》 ◎軽い物体の方が水に浮くと思っただけ、質量の大きさは浮力に関係ないぞ。《質量》 ◎深さや質量は浮力に関係ないことが分かったけど、何が関係するんだろう。 ◎体積が大きいほど浮力は大きいぞ。タッパーの中に入れておもりを入れても、浮力の大きさは変わらなかった。《体積》 ◎浮力の大きさは、物体の水に沈んでいる部分の体積によって決まる。 ◎浮力の大きさは、物体の水に沈んでいる部分の体積が大きいほど大きくなることが分かった。 ◎ところで、浮力はどうして体積によって決まるんだろう。</p>	<p>・体積が要因であることを見いだせていない生徒には、体積を変えて実験した生徒と交流したり、体積の異なる2つのペットボトルを天秤につるした装置を水槽に沈めて浮力を比較したりすることで、浮力は物体の体積によって決まることを見いだすことができるようにする。</p>	10
終末	<p>4 学習の振り返りを書き、発表する。 【個人・全体】</p>	<p>◎体積が変わらないように同じ容器を使って質量を変えたけど、質量によって浮力が変わらないことが分かって意外だった。 ◎浮力の大きさは体積によって決まることが分かったけど、どうして体積が大きくなると浮力が大きくなるのか、次回調べてみたい。</p>	<p>・「自分がこだわった予想についての自分の追究の方法はどうだったか振り返ろう」と促すことで、自分の追究の過程を振り返ることができるようにする。</p>	5

図2 学習指導案の一部

4.4 結果と考察

M生は、単元「解明！浮力のきまり」の本時で「体積が小さいと浮力も小さいのだろうか」という問いを解決するために、フィルムケース3つをつなげた物体とタッパーとの比較をした。次の時間、M生に差を大きくして再実験することを促すと、体積が大きいほど浮力が大きくなることを見だし、満足げな表情を浮かべるM生に出会うことができた。

以上、授業実践1及び2のことから、こだわりを持たせた探究が有効に各単元において有効に機能するものと考えられる。

(2014年6月30日 受付)