

要 旨

生徒は抽象的な思考や表やグラフからの関係の読み取り、グラフを使っての科学的な事象の説明を苦手としている。そこで第1学年1分野の「水溶液」の単元において、物質が水に溶けるという現象についてイメージ図を使って指導した。次に、このイメージ図と表やグラフを関連付け、実験結果の予想をさせたところ、結果の予想や考察が容易にできるようになるという効果が見られた。

〈キーワード〉 ①科学的思考力・表現力 ②イメージ図 ③実験結果の予想

1 研究の目標

実験の予想場面において、図を使って考えさせることで、考察する力をはぐくむ指導の在り方を探る。

2 目標設定の理由

平成20年度佐賀県教育の基本方針では、「本県の子どもたちは教科の基礎的な知識の定着の程度はおおむね良好だが、学んだ知識を活用して、考え、判断・表現する力には課題もある。」¹⁾、また平成20年9月に発行された新中学校学習指導要領解説理科編では、「目的意識をもって観察、実験などを行うことは、観察、実験を行う際、生徒自身が観察や実験を何のために行うか、観察や実験ではどのような結果が予想されるかを考えさせるなど、観察や実験を探究的に進める上で大切である。」²⁾と記されている。このように課題である思考力、表現力の育成には、目的意識をもたせ、実験結果を予想させてから取り組ませることが重要であると考えられる。本校の平成19年度佐賀県小・中学校学習状況調査（理科）を見ると、各学年ともに各領域で県平均を超え、基礎的な知識の定着の程度は良好といえる。しかし、圧力など抽象的な思考を必要とする単元を生徒は苦手としていた。

森本は「自然事象という具体の世界と科学的概念という抽象の世界の架け橋となるのが、表現としてのイメージ画である……」³⁾と述べている。そこで抽象的な事象の概念構成をさせるためには、科学的な事象をイメージ図に表すことが有効ではないかと考えた。理科の授業で用いられるイメージ図は生徒の思考を自由に表現させたものや科学的な事象の一場面のみを模式的に表したものが多い。今回用いたイメージ図は、実験結果の表やグラフに対応した絶対変数の変化に従い従属変数が変化する自然現象をイメージとして表したものである。

本研究では思考力、表現力を「イメージ図を使って説明できる力」と定義した。この場合、「イメージ図を使って説明できる。」とは生徒がイメージ図を使って科学的な事象を理解し、更にイメージ図と表やグラフを使って実験結果の予想を説明できるという意味である。第1学年の「水溶液」の単元において、生徒に物質が水に溶けるというイメージ図とその使い方を理解させた上で実験結果の予想を立てさせれば、実験後の考察する力の育成ができると考え、本目標を設定した。

3 研究の仮説

習得や活用する実験で、イメージ図とその使い方を理解させた後、イメージ図と表やグラフを関連付けて考えさせれば、生徒は実験結果の予想や考察を行うことができるであろう。

4 研究の内容と方法

(1) イメージ図、科学的思考力、表現力を高める工夫などについて、文献や先行研究の資料を基に理

論研究を行う。

- (2) 水溶液の単位における溶解度や再結晶に対する生徒の既有知識や誤概念についての事前調査を質問紙法で行い、その結果を分析し、考察する。
- (3) 仮説に基づいて、十分な検討を行い、指導案及びワークシート、教具などを作成し、検証授業①（習得3時間）、検証授業②（活用3時間）、事後調査を行う。
- (4) 検証授業①、②、事後調査について検証を行い、仮説の有効性を考察し、研究のまとめを行う。

5 研究の実際

(1) 文献による理論研究

ア 中学校学習指導要領解説理科編では、「観察、実験などを行うに当たっては、表やグラフの作成、モデルの活用、コンピュータなどの活用、レポートの作成や発表などを通して、思考力や表現力などを養うことが重要である。」⁴⁾と明記されている。しかし、生徒に実験結果の表やグラフを作成させるだけでなく、これらとモデルの活用としてのイメージ図とを相互に関連付けさせることによって科学的な事象を理解させる。その後、それらを使って考えさせれば、イメージ図を使って説明できる力（思考力、表現力）を伸ばすことができると思われる。

イ 森本は「自然事象という具体の世界と科学的概念という抽象の世界の架け橋となるのが、表現としてのイメージ画であると考えられます。理科の授業において考える授業を成立させる手立てとしてイメージ画は有効であります。」³⁾と述べている。そこで、溶解度、再結晶のような目に見えない抽象的な思考を必要とする学習内容の指導には、具体と抽象の世界を結び付ける道具としてのイメージ図を生徒に与え、これを科学的な事象の理解のために使わせることが有効であると考えられる。

(2) 研究の全体構想

水溶液の単位での学習では、図1の左側のように①課題の提示、②予想、③実験、④考察・まとめ、⑤溶解度の表やグラフの指導、という授業の流れになる。しかし、授業において、②～④と⑤とのつながりが悪くなり、実験と溶解度の表やグラフを十分に関連付けた指導が難しい。そのため、溶解度の表やグラフから必要な情報を収集したり、それを使って考えたりすることを苦手とする生徒が増える。本単元は中学校の化学分野において初めて粒子の概念を取り扱い、第2学年での化学変化の微視的な見方、

従来の水溶液の学習	検証授業の学習の流れ
① 課題の提示	① 見通しをもたせるための実験
② 予想	② 溶解度の表やグラフの指導
③ 実験	③ イメージ図とその使い方の理解(検証Ⅰ)
④ 考察・まとめ	④ イメージ図による表やグラフの理解(検証Ⅰ)
⑤ 溶解度の表やグラフの指導	⑤ イメージ図による実験結果の予想(検証Ⅱ)
	⑥ 実験
	⑦ 考察・まとめ(検証Ⅲ)

図1 研究の全体構想と学習の流れ

考え方を育成するためには重要な単元である。そこで、本研究では、図1のように、従来の学習での予想の部分に溶解度の表やグラフとイメージ図との関連付けを取り入れた。その内容は、①見通しをもたせるための実験、②溶解度の表やグラフの指導、③イメージ図とその使い方の理解、④イメージ図による溶解度の表やグラフの理解（関連付け）、⑤イメージ図による実験結果の予想、⑥実験、⑦考察・まとめというものである。この指導過程では、イメージ図を初めて授業に導入するので、その意味と使い方について、確実な定着のために段階的な学習を取り入れ、前時を振り返りながら学習を進めることとした。また、検証の視点は次の3点とした。

ア 物質が水に溶けるという科学的な事象に近いイメージ図を生徒に与え、その意味と使い方を指導した後、生徒は理解が十分にできているか、また、このイメージ図と表やグラフを相互に関連付けて、再結晶の起こる仕組みを理解できているかをワークシートで検証した。【検証Ⅰ】

イ 硫酸銅の溶解度の表とグラフを与え、硫酸銅水溶液の温度が下がったときに再結晶の現象が起こる水溶液の条件である「飽和水溶液の状態になる」ことを理解させた。その後、溶解度の表やグラフを使った硫酸銅の再結晶の析出温度を予想させた。ワークシートの記述から、生徒は実験結果の予想ができていたかを検証した。【検証Ⅱ】

ウ 実験結果と溶解度の表やグラフから考察を行わせ、再結晶の仕組みについて、生徒は科学的な用語を用いて説明できるかどうかをワークシート内の記述の内容を見て検証した。【検証Ⅲ】

(3) 授業の実際

ア 検証授業① 第1学年 単元名「水溶液」(全3時間)

検証授業①では、見通しをもたせるために食塩、ミョウバンを用いて溶解度や飽和水溶液の温度を下げると再結晶する実験を行わせた。この実験結果を示す溶解度の表やグラフの指導を行った後に、バスを模したイメージ図(図2)の説明を行った。溶解度をバスの定員に見立て、「温度が下がると定員が減り、バスから降車せねばならない。これが再結晶である」と説明し、表やグラフとこのイメージ図を関連付けて「温度低下による座席数の減少により、バスに乗れなくなる人(再結晶)が生じる」として理解させた。また、このイメージ図を用いて、硝酸カリウムの飽和水溶液の温度を下げたときの結晶の析出量を予想させ、実験させた。生徒の反応もよく、実験結果も指導学級33人中、75%(25人)の生徒が正しく予想できた。授業後の生徒の感想でもこの図を用いての水溶液の学習内容を59%(20人)の生徒が「よく分かった」、41%(13人)が「ほぼ分かった」と回答し、「分からなかった」という回答はなかった。この点では、このイメージ図での指導は効果があったと考えられる。しかし、このイメージ図について、以下の問題点が残った。それは、「①水溶液では分子が均一に散在し、目に見えない状態である。再結晶時に凝結し、初めて固体として見えるものであるが、この図では、バスと見立てた水の中にある溶質の状態自体が、既に凝結しているように見ることもでき、温度が下がり、バスから降りるときに水溶液中に拡散するように生徒は判断する可能性がある。②生徒の関心を引く点では面白いが、定員が変化するバスは実際になく、誤解を生む。」というものである。このまま指導を継続すると新たな誤概念を生む可能性もあり、物質が水に溶けるという状態により近い形で表すイメージ図に改良し、検証授業②に取り組んだ。

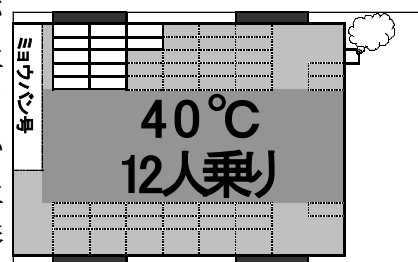
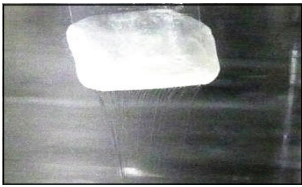


図2 バスを模したイメージ図

イ 検証授業② 第1学年 単元名「水溶液」(全3時間)

(ア) 授業記録(1/3, 2/3)

学習の様子(③イメージ図とその使い方の理解～④イメージ図による表やグラフの理解)と主な教師の支援	
導入	1 見通しをもつ 水溶液が再結晶するとき、水溶液の状態はどのようになっているだろうか。 ○ 写真1のように角砂糖のシュリーレン現象の揺らぎを観察させることで、溶質が溶けていくときに徐々に見えなくなり、小さい粒子になって水に紛れていくことを説明し、物質が水に溶ける様子を想像させた。 ○ ここで、角砂糖が水に溶けて小さい粒子になり見えなくなることを説明した後に、イメージ図(次頁図3)を与え、その意味や使い方について指導した。このイメージ図では、点線部分の○を物質の溶解度に応じて、1個の点線の○が「1gの溶質が溶けて入り込む場所」と定義した。温度上昇に伴い、点線の○は溶解度に応じて増える。溶質を●で表し、溶ければこの点線の○の中に入り込み、塗りつぶせる。次頁図4の左図は水の温度が低いときの飽和水溶液の状態であり、すべて塗りつぶされている。次頁図4の右図は水の温度が高いときの水溶液で、塗りつぶされている数が少なく、まだ溶かすことができる状態であることを表している。
	 写真1 シュリーレン現象

導

- スキルアップのため、ワークシート内のイメージ図を使わせて図5のような課題に取り組ませた。
- 生徒は、再結晶のときや溶け残りが出たときには飽和水溶液(図6)になっていることに気付いた。
- 図4～6では物質が水に溶けている状態を表せるが、この様子は目には見えないことも付け加えた。
- 理解促進のため、グループで教え合いをさせた。

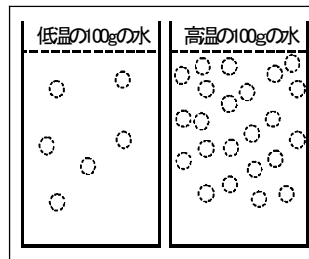


図3 イメージ図

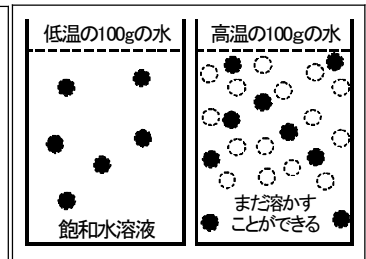


図4 イメージ図の使い方

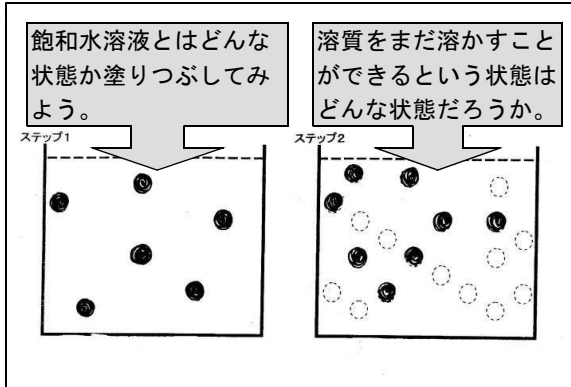


図5 イメージ図使用のスキルアップ

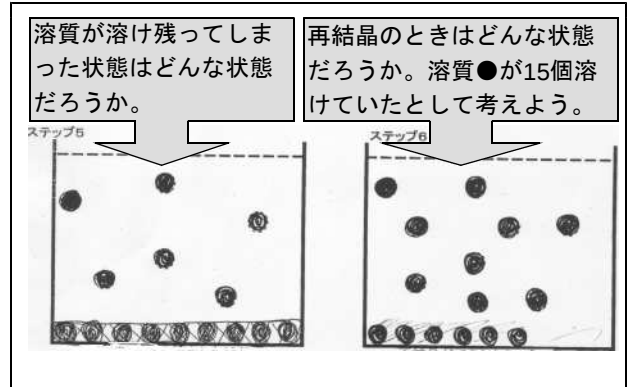


図6 溶け残りの状態や再結晶のとき



写真2 人間と座席モデル①



写真3 人間と座席モデル②



写真4 人間と座席モデル③

入

表1 人間と座席モデルによる再結晶の起こるようす

	溶質を溶かす前(写真2)	溶かした後(写真3)	温度が下がったとき(写真4)
科学的な事象との関係	座席を溶解度、生徒を溶質に見立てた。	混ぜると溶けて目に見えなくなる(着席すること、この状態を「完全に溶けた」ということを説明した。	温度が下がると言って座席を減らす。このとき、座れない生徒が結晶になることを説明した。

- より理解を深めさせるために座席モデルによる説明(写真2～4)を行った。これは表1のように座席を溶解度に見立てて、水溶液の温度が上がると座席の数が増え、生徒(溶質)は着席できる(水に溶ける)、反対に温度が下がると座席が減り、着席できない(溶けた状態で存在できない)というものである。着席できない生徒は水溶液中では結晶になるというものである。生徒は、このモデルを実演したり、見たりしながら温度と溶解度の関係や再結晶の仕組みを理解できた。

2 予想する

- ・ 再結晶が起こるときは飽和水溶液になっている。

展

3 課題の解決

- 次頁図7のように水溶液の温度を下げていったときの様子についてワークシートにイメージ図を使って説明させた。

4 情報の共有化

開

- イメージ図を互いに見比べさせたり教え合いをさせたりして理解を深めさせた。
- 次頁の検証Iで再結晶の様子をイメージ図で説明できるか検証した。

課題 下のグラフはある物質Xの溶解度を表している。点線の○1個を1gの物質が溶けて入り込める場所とする。60℃の水100gに物質Xを10gだけ溶かした。この水溶液の温度を20℃まで下げていくとどんなことが起こるだろうか。

- ① 各温度のビーカー内に点線の○を溶解度に合わせて書き込んでみよう。
- ② 60℃の水にXを10g溶かした。60℃のビーカー内はどんな状態だろう。
- ③ 順に40℃、20℃の状態も書き込んでみよう。

温度	0℃	20℃	40℃	60℃
溶解度	1g	5g	10g	20g

展	○ 上の表より、温度が60℃のときは溶解度が20 gなので図7の60℃の部分に点線の○が20個描ける。ここで、溶質を10g溶かしているので10個分が塗りつぶせる。温度が下がると40℃では溶解度が10gになり、点線の○は10個に減り、飽和水溶液となる。20℃では点線の○が5個になり、5 gしか溶けないので5 gが析出し、結晶になる。	
開	検証 I B グループの協力で、物質が水に溶ける様子や再結晶の仕組みをイメージ図で説明できる。 A 一人で物質が水に溶ける様子や再結晶の仕組みをイメージ図で説明できる。	図7 水溶液の変化のイメージ図
ま	5 まとめ	
と	水溶液が再結晶するときは一度、飽和水溶液になっている。更に温度を下げると結晶が出てくる。	
め	6 次時予告	

図7 水溶液の変化のイメージ図

5 まとめ

水溶液が再結晶するときには一度、飽和水溶液になっている。更に温度を下げると結晶が出てくる。

6 次時予告

(1) 授業記録 (3 / 3)

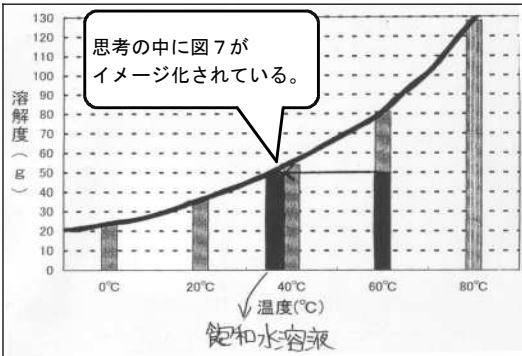


図 8 実験結果の予想

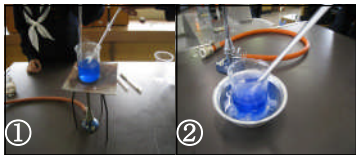


写真5 再結晶の実験

水溶液の温度が下がると、物質の溶けり量も減る、
温度を高くして物質を溶かし、さらにそれを
飽和水溶液して温度を下げると、溶けきれな
くなり再結晶する。

(飽和水溶液にしたら溶解度の量をはかりかき
再結晶する。)

図 9 再結晶の説明

(4) 授業の考察

ア 検証Ⅰ

指導学級33人に「イメージ図の意味とその使い方の理解」と「再結晶の仕組みについてイメージ図で説明できるか」をワークシートの記述によって検証した(図10)。検証Ⅰの「個人で再結晶の仕組みについてイメージ図で説明できた」生徒が37% (12人), 「グループでの教え合いで分かった生徒」が63% (21人) であり, 教え合い活動をさせた上で全員が理解できた。前頁の図7のように水溶液の温度変化に伴い, 水溶液中の「溶質が溶ける場所」の数が減少し, 水溶液中に存在できなくなった溶質が再結晶する様子をほとんどの生徒が正しく表すことができていた。

イ 検証Ⅱ

溶解度の表やグラフを使って, 「硫酸銅水溶液の温度を下げたときに再結晶が起こる温度を予想できるか」について, ワークシートの記述から検証した。温度が下がり飽和水溶液になることが再結晶の条件であるが, イメージ図を使っている途中でこれに気付き, グラフから結晶がで

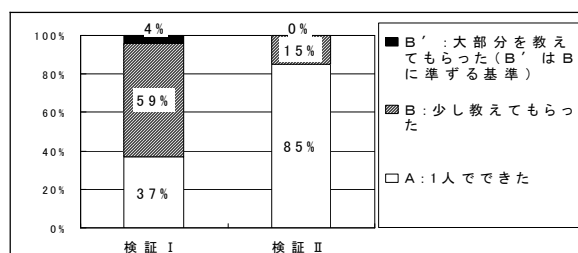


図10 課題の解決方法について

き始める温度を読み取れるようになった。ここでは更に理解が進み, 「個人で予想ができた」という生徒が85% (28人) になった(図10)。C基準の「分からなかった」という生徒はおらず, グループでの教え合いで全員が理解できた。ここでは, 検証Ⅰで生徒がイメージ図を自分の思考の道具にすることが可能になったと判断し, あえてイメージ図の使用をさせなかった。しかし, 前頁図7の再結晶の仕組みが思考に取り入れられていたため, 前頁図8のようなグラフの作成を基に, 温度が下がり, 飽和水溶液になる温度から再結晶が起こる温度を予想できたといえる。

ウ 検証Ⅲ

検証項目としては高度だが, 「科学的な用語を使って再結晶の仕組みを説明できるか」をワークシートで検証した。56% (18人) の生徒が「科学的な用語を用いて説明」し, 33% (11人) の生徒が文章では書けなかったものの「グラフのどの部分が再結晶になるか」は表せていた。4人の生徒が記述できなかった。再結晶の起こる様子としてはまったくの誤答ではないが, 水溶液から「押し出される。」水の中に「入れない。」といった表記が目立ち, 文章表現が稚拙であった。イメージはできるが, 文章にすることは難しい生徒が多いことが課題として残った。

(5) 事前調査及び事後調査

ア 事前調査

検証授業①, ②に先駆けて, 「水溶液」の単元についての既有知識や誤概念について質問紙法で事前調査を実施した。対象は検証授業実施予定の第1学年1学級33人である。生徒は小学校第5学年の「もののとけ方」の単元で, 本単元の「水溶液」とほぼ同様の学習をしており, 溶解度, 再結晶の科学的な用語は取り扱わないが, 「水の温度や物質の種類による溶け方の違い」や「水溶液の温度を下げると結晶が得られること」を学習している。表2は事前調査における設問1から5までの内容を示している。次頁図11は表2の設問1～4までの正答率を, 次頁図12は設問5の事前, 事後調査の正答率の比較を表している。設問1～4までは第5学年での基礎的事項の内容を問うており, 設問5は本単元を学習する上で, 再結晶の仕組みまで理解しているかを問う発展的な内容である。第5学年時には溶質を大量に溶かした水溶液を冷やすと再び結晶が析出することを生

表2 設問ごとの内容

設問番号	各設問毎の内容
1	ある温度でのホウ酸の水に溶ける量を与えられた表から読みとれるか。
2	ホウ酸を水に溶かすことができる限度の量を超えて溶かすことができるかを判断できるか。
3	温度が上がると物質は水によく溶けるようになることを知っているか。
4	溶け残った物質を溶かす方法を知っているか。
5	水に溶ける限度の量まで物質を溶かした液を冷やすと, 再び結晶ができることを知っているか。またその仕組みを説明できるか。

徒は現象面のみ学習している。よって、温度による溶け方の違いと温度を下げたときの結晶の析出とを関連付けて理解している生徒は少ないと予想された。結果を見ると、設問1～4の基礎的な内容については正答率も高く定着していると思われる。しかし、設問5では、図12の結果のように「温度を下げると再び結晶が得られる事象とその仕組みを正しく答えた」生徒は21%（7人）「事象のみ正しく答えた」生徒は27%（9人）だけで、温度を下げると再結晶が起こることについては約半数の生徒しか知らないことが分かった。また、「どうなるか分からない」という生徒が40%（13人）もあり、事前調査前の予想通り、溶解度（表やグラフ）と再結晶（科学的な事象とその仕組み）について、関連付けて理解できていないことが分かった。

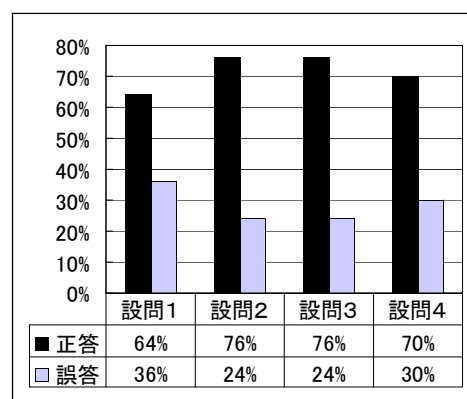


図11 設問ごとの正答率

イ 事後調査

事前調査の前頁表2，設問5の正答率が低かったため再度調査した。図12は事前，事後調査の設問5の結果を対比させたものである。比較すると，答えとその仕組みの両方を正解できた生徒が7人から27人に増え，誤答や分からないが計2人に減ったことが分かる。特に事前調査の「溶質を大量に溶かした水溶液の温度を下げると再結晶するという事象は知っているが，その仕組みは分からない。」という答えのみ正答の生徒が，事後調査では事象もその仕組みも正しく説明できるようになった。

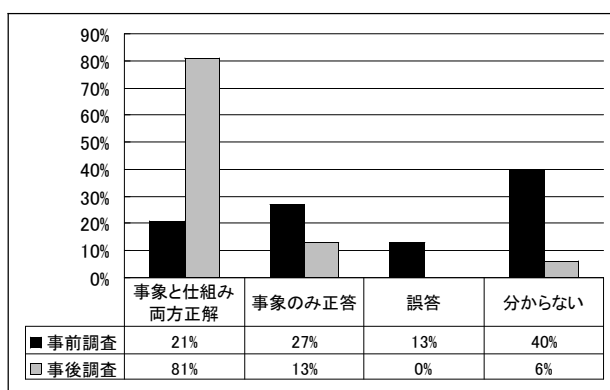


図12 設問5の事前，事後調査の比較

ウ 生徒の意識調査

イメージ図を使った授業の理解について，生徒に4段階評定尺度のアンケート調査を実施したところ，52%の生徒が「よく分かった」，48%の生徒が「分かった」と答えていた。授業の感想については「図が分かりやすかった」や「溶質が水に溶けるときの様子や再結晶が起こる仕組みなどがよく分かった」など肯定的な意見が多く，このイメージ図での指導は，生徒の「物質が水に溶ける」や「再結晶が起こる仕組み」などの概念を形成するのに有効だったと考えられる。

エ 学習状況調査との比較

平成20年12月に行われた佐賀県小・中学校学習状況調査第2学年理科の大問1の設問（4），水溶液の単元のグラフにおいて，「種類が異なる3つの溶質の飽和水溶液の温度を下げたときに，どの水溶液から最も多くの結晶を取り出せるか。」を問う活用の問題を指導学級33人で実施した。指導学級は，正答率が県のこの設問の正答率66.3%（おおむね達成40%，十分達成60%）と比較して90.1%（30人）と高く，指導が効果的であったといえる。

(6) 抽出生徒の変容

抽出生徒Aは抽象的な思考が非常に苦手で，事前調査では再結晶の起こる仕組みを「分からない」と答えていた。検証Ⅰの際の生徒Aの記入した次頁図13のイメージ図では，ビーカー底部に沈殿している溶質の様子を描いてはいるが，記述が乱雑であり，課題の解決方法の自己評価でも選択肢の「大部分を教えてもらってできた。」と答えていた。適宜，個別指導や教え合いをさせたところ，この授業の後半ではイメージ図の使い方に慣れ，溶質の数の数え間違いはあるが，再結晶の仕組みを次頁図14のようにイメージ図を使って思考できた。検証Ⅱの実験結果の予想では次頁図15のよう

なグラフを作成し、実験結果の予想を「36℃で結晶がで始めるだろう。」と個人で正しく予想でき

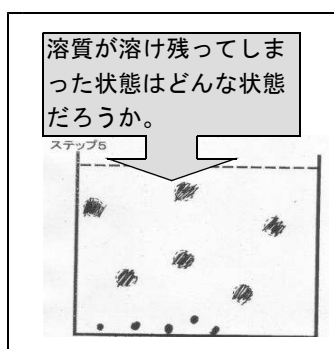


図13 イメージ図

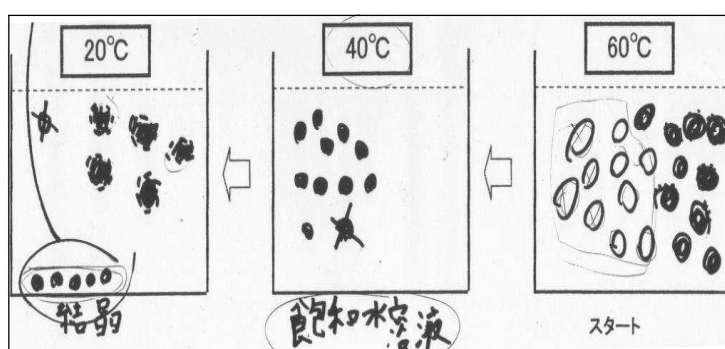


図14 生徒Aの再結晶の仕組みのイメージ図

た。検証Ⅲでは、文章記述が苦手なため、思考をやめてしまい、記述できなかった。この文章記述については、この生徒に限らず、他の生徒も苦手にしており、今後他教科ともタイアップして克服に取り組んでいかねばならない問題である。しかし、前述の佐賀県小・中学校学習状況調査の活用を問う問題では正解できていた。生徒Aにもこのイメージ図は効果的であったと思われる。

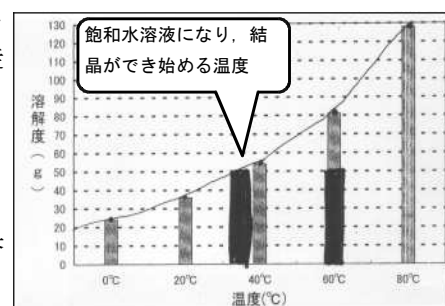


図15 実験結果の予想

6 研究のまとめと今後の課題

(1) 研究のまとめ

従来の学習の中で、教師がイメージ図を使って生徒に指導をすることはあったが、今回、イメージ図を生徒に使用させて考えさせるという試みを行った。まだ分子・原子の学習をしていない第1学年の段階で、再結晶が起こる仕組みを生徒に習得させるには、どのようなイメージ図を与え、使わせるかで試行錯誤したが、検証授業②のイメージ図は生徒の反応もよかった。ワークシートの記入や事後調査から、温度変化に伴う溶解度の変化や再結晶の仕組み、実験結果の予想などを生徒は実験結果の表やグラフと関連付けながらイメージ図を使って考え、正しく理解することができたと思われる。初めてのイメージ図の使用ということで理解を深めるための段階を踏まえた学習の取組もうまくいき、理解ができにくいという生徒は少なかった。また、このように実験結果の予想段階でイメージ図を使って十分に思考ができていたため、実験後の考察もスムーズに進み、生徒も実験から分かったことを意欲的に発表したり、ワークシートに記入したりしていた。

(2) 今後の課題

抽象的な思考を必要とする事項の指導において、生徒にイメージ図を使わせることは効果的であった。ただ、科学的な用語による再結晶の仕組みについての説明では文章表現力に課題が残った。今後、湿度、電流や圧力などのように絶対変数の変化に従い従属変数が変化する場合の科学的な事象のイメージ図を開発したい。そして、これを生徒に与え、目で見ることができない部分と科学的な事象を結ぶための思考の道具として使わせたい。

《引用文献》

- 1) 佐賀県教育委員会 『平成20年度佐賀県教育の基本方針』 平成20年4月 p. 4
- 2) 4) 文部科学省 『中学校学習指導要領解説理科編』 平成20年9月 p. 19, 24
- 3) 森本 信也 『考え・表現する子どもを育む理科授業』 2007年 東洋館出版社 p. 70