

琉球大学学術リポジトリ

《理科》 確かな科学概念を身につけるための授業づくり

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部附属中学校 公開日: 2015-12-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 木山, 淳一, 平敷, りか, 比嘉, 司, 吉田, 安規良, 濱田, 栄作 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/33006

確かな科学概念を身につけるための授業づくり

木山淳一* 平敷りか* 比嘉司* 吉田安規良** 濱田栄作**

*琉球大学教育学部附属中学校 **琉球大学教育学部

I 主題設定理由

近年、理科教育においても機械的に原理・法則を覚え科学概念を形成していくよりも、課題を自分たちのものとしてとらえ、解決していく中で、新しい概念を獲得していく資質や能力が求められている。

子どもや成人の多くは、自然の事物・現象にであったときに自分の生活経験や学習の結果から特有の概念で物事をとらえることがわかっている。これらは過去に多くの科学者の研究活動の成果として形成されてきた科学概念とは異なり、素朴概念と呼ばれている。これらの素朴概念は学校での科学的な概念の教授にかかわらず、変化が生じにくいことがこれまで報告されている⁽¹⁾。

一方、三宅(2011)は協調学習の一形態である知識構成型ジグソー法を用いた学習において、生徒は他人と一緒に問題を解く中で各自の考えを表現し、確認し合い、統合しようとする活動によって、理解を深め、新しい知識を獲得している様子がうかがえたことを報告している⁽²⁾。このことから、他人と一緒に課題を解いていく知識構成型ジグソー法は素朴概念から科学概念へと変化させる手立てとなるのではないかと考える。

本校理科は昨年度まで「科学的な見方考え方をはぐくむ授業づくり」をテーマに「実生活において遭遇する課題に対して、理科で学んだことを活かし、客観的・実証的・論理的に物事を分析し、判断し、行動する力」をはぐくむ研究に取り組んできた。その結果、科学的な探究の過程において、ワークシートやレポートへの予想や考察の記述指導を通して、科学的な根拠をもとに記述できる生徒が増えてきた。記述させることは、生徒自身で学習の構造を把握することにつながり、科学的な見方や考え方を深める

ことができることが示唆された。また、実践していく中で科学的な見方や考え方をはぐくむためには教師と生徒、生徒間の対話が重要であることが確認された⁽³⁾。

一方、グループ活動では、自分の考えに自信が持てない生徒や、伝えることが苦手な生徒は他のメンバーの話し合いを傍観しているようすも見られた。そのため、教師は授業を設計する上で、話し合い活動への参加を意図的に仕掛けなければならないことも課題としてあげられる。

本年度から本校の研究テーマが「未来を切り拓く対話からの学び」へと変わり、新たな研究がスタートした。本校理科では昨年度までの教科の成果で得られた、科学的な考え方をはぐくむ授業づくりを活かし、対話を通して建設的な相互作用を引き起こさせることで生徒個々の理解を深め、確かな科学概念を身につけることをめざしていきたいと考える。そこで、本研究のテーマを全体テーマである「未来を切り拓く対話からの学び」を理科という教科の特性をふまえ、「確かな科学概念を身につけるための授業づくり」と設定した。

II 本研究の目的

本研究では、協調学習の視点から確かな科学概念を身につけるために科学的な探究過程の中で概念変化をめざす授業づくりを行い、協調学習によって確かな科学概念を身につけられたか検証することを目的とする。

Ⅲ 研究内容

1 「確かな科学概念」の基盤づくり

一般的に「科学概念」とは科学的な見方・考え方を通して得られた自然についての知識体系を指す。学習の初期段階では生徒たちの持っている科学概念の枠組みが小さいため、自然の事物・現象を素朴概念でとらえてしまう。学習が進んでいくにつれ、科学概念の枠組みを大きくできれば概念に対する適応範囲も広がり、自然の事物・現象を科学概念でとらえるようになることが十分想定できる。また、科学概念が広がりを見せる中でその内側にある概念がより強固となり深まりをみせる場合もある。この広がったり深まったりした科学概念を「確かな科学概念」ととらえ、素朴概念でとらえていた自然の事物・現象を科学概念でとらえるようになることを概念変化と考える(図1)。素朴概念は日常生活の知覚や認知体験などから得た「経験則」の積み重ねによって、徐々に形成されてくため、自分では納得のいく概念である。三宅(2012)が述べているように、科学概念として事象をとらえるようになるためには、他人の考えを聞いたり、他人に説明したりすることを通して、自分の「経験則」を修正し、他人の意見と統合し、再度抽象度の高い原理を納得して使う活動が前提として必要になってくると考える⁽⁴⁾。確かな科学

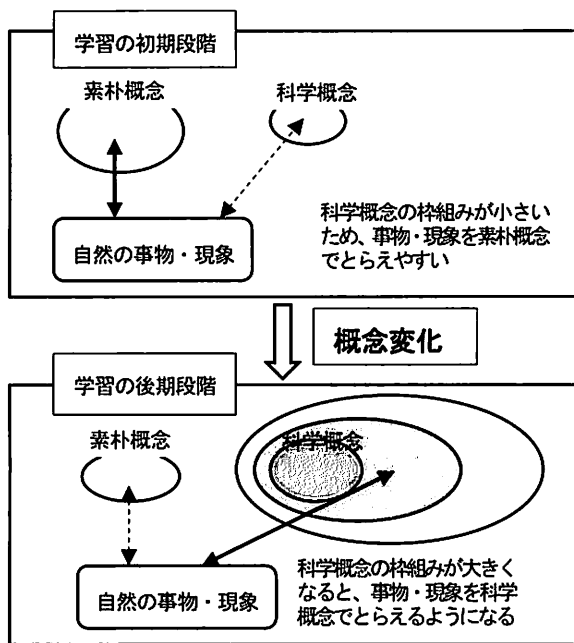


図1 本校理科のとらえる概念変化の例
(素朴概念と科学概念がかけ離れている場合)

概念を形成するために、その基盤づくりとなる素朴概念にはたらきかける活動を行っていきたい。

2 理科における「対話」と「深い理解」

(1) 理科がめざす対話とは

本校理科がめざす対話を「自然の事物・現象」「自己」「他者」の3つの視点から、知識構成型ジグソー法の活動の流れにそって図2に示した。理科で想定する対話は次のようなやりとりが起こることを想定している。

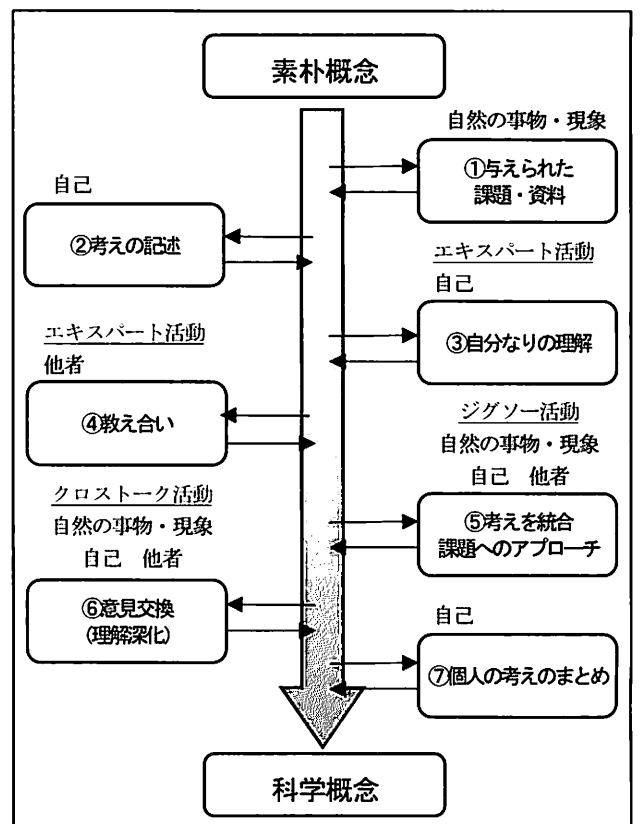


図2 概念変化を促すための理科における対話

以下の番号は図2中の①～⑦の説明文である。

- ①柱となる課題との出会い(自然の事物・現象との対話)
 - ・今までの経験と比べる「何がこうなるのか」「どのようにしてこうなるのか」「なぜこうなるのか」
- ②考えの記述(自己との対話)
 - ・自分の考えを持つ「〇〇ということかな」
 - ・自分の考えを記述する「何て書こうかな」
- ③エキスパート活動における自分なりの理解(自己との対話)
 - ・部品(課題)を自分のとらえ方でとらえる「ど

う説明しようかな」「これで合っているのかな」「ここがわからないな」

④エキスパート活動における教え合い（他者との対話）

- ・自分のとらえ方を相手に説明する「〇〇だから△△だよ」
- ・相手の考えを聞きながら、確認し合う「そうなんだ、本当にそうなの、〇〇がわからない」
- ・お互いの知識を高め合う「もう少し教えて、これでいいのかな」

⑤ジグソー活動における考えの統合と課題へのアプローチ（自然の事物・現象、自己、他者との対話）

- ・自分の考えを説明する「〇〇だから〇〇だよ」
- ・相手の説明を聞く「そういうこともあるんだ」
- ・お互いの知識の不確かな点を明確にしあう
- ・お互いの部品を用いて課題を解く「〇〇だから〇〇なのかな」
- ・自分の納得度を深める「こういうことなんだ」

⑥クロストーク活動における意見交換（自然の事物・現象、自己、他者との対話）

- ・自分たちの班の考え方を説明する「自分たちは〇〇だと思う、それは〇〇だからだ」
- ・他の班の考えを聞く「自分たちの考え方と似ているな」「自分たちの考え方とちょっと違うな」

⑦個人のまとめ（自己との対話）

- ・授業を振り返り、自分の言葉で説明を今回する「〇〇について〇〇と思う、それは〇〇だからだ。」

(2) 理科がめざす「深い理解」とは

本研究においては科学の基本的な概念や原理法則などを通し、それを単に記憶再生ができれば理解できたとはとらえてはいない。知識構成型ジグソー法の型を使って、問題解決の過程を通して、自然の事物・現象についての理解が形作られ、知識が獲得されていくと考える。

本校理科では、生徒に次のような姿が見られたときに深い理解が得られたとする。

- ・他人の考えを聞いたり、他人に説明したりすることで、自分の見方・考え方を修正できること
- ・他人の考えと自分の考えを統合し、学習課題（問い）に対して科学的な見方や考え方にもとづき、納得して説明できること

3 確かな概念をはぐくむ授業づくりの工夫

理科学習における概念変化についての研究は多く行われているが、その中でもよく引用される Posner *et al*(1982)は概念変化が起こるモデルとして以下の点を上げている⁶⁾。

- ①既存の概念に葛藤が生じている
- ②わかりやすい新しい概念がある
- ③新しい概念はもっともらしい
- ④新しい概念は、他の現象にも当てはめられる

このモデルを知識構成型ジグソー学習法に当てはめて考えてみたい。

生徒が新しい情報（事象）に出会った際、既存の概念の中にうまく位置づけられず、混乱が生じたときにその整合性を回復しようとするはたらきが生じる⁶⁾。この「①既存の概念に葛藤が生じている」ような事象の提示を行いたい。また、ジグソー活動を機能させるために、「②わかりやすく新しい概念」で「③新しい概念はもっともらしい」概念を見出せるようなエキスパート活動をつくっていききたい。クロストークの中や最終段階の個人の考えのまとめでは、「④新しい概念は、他のものにもあてはめられる」と生徒の思考が広がり、別の事象をその概念を用いて説明したりする活動にもつながるような授業づくりを心がけたい。

(1) ジグソーの柱となる課題について

知識構成型ジグソー法の課題はその問い自体が学習活動を大きく左右する。先にも述べたが扱う課題は生徒の既存の概念では説明できない事象を取り上げたい。単元が進んでいくと教師は既習概念が既存概念であると思い込んでしまいがちであるが、既習概念が常に既存概念であるとは限らない。ヴィゴツキーの発達の最近接領域 (Zone of Proximal Development: ZPD) 理論によれば、協調学習の中では、常に一人でするときよりも多くのことをすることができるといわれている⁷⁾。つまり、周囲の子どもたちの考え方ややり方を見て学び、できないこともできるようになるということである。一人のできるときの課題より少しだけ難しい課題を設定すると、子どもたちの協調学習がより効果的にはたらくと考えられている（図3）。

これらをふまえると、単元の中において生徒の既存概念の把握をしっかり行い、なおかつ一人でできる時の課題より少しだけ難しい課題を設定すると協調学習における概念変化が起こりやすいと考える。

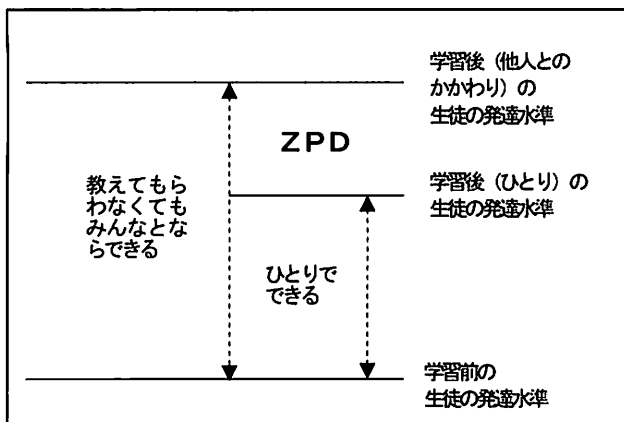


図3 発達の最近接領域理論の説明図
(Mitzub'ixi Quq Chi'j[®] 改変)

(2) エキスパート活動における納得度

エキスパート活動はジグソー活動に向けて、部品とよばれる課題に取り組んでいく。生徒は課題を取り組み、そこで得た結果や知識をジグソー活動で説明しなければならない。そのため、エキスパート活動で何とか理解しようとするあまり、生徒は内容を丸暗記してしまう可能性がある。しかし、エキスパート活動においては丸暗記するよりも、自分なりに理解させることを重視したい。その場で完全に理解できないでも、ジグソー活動の対話の中で納得できる可能性もある。さらにお互いが納得しない状態のほうが対話がより効果的に行われる可能性も大きいと考える。そのため、エキスパート活動に時間をかけ、個人が部品を納得するまで取り組むよりも、「なんとなくこんな感じかな。」程度で構わないととらえている。

(3) クロストーク活動における足場かけの工夫

理科では確かな概念の習得をめざしているが、協調学習の中で必ずしも教師がたどりついてほしい考えに到達しない場合や違う考えへ到達してしまう場合もある。そのときに、教師の考え(科学的に正しい概念)を押しつけるような説明は避けたい。そこで足場かけとしてその概念を説明できるヒントを与

えたり、論点の比較や整理をさせたりすることで、教師が期待する考えに持ってけるようにすることが望ましいと考える。

本年度は、以上の3つの点を視野に入れ、確かな概念を形成するための授業づくりの工夫していきたい。

4 確かな科学概念のみとり方

(1) レポート・ワークシート分析

学習の前中後における生徒の個々の理解の変化をみとるためには生徒のレポートやワークシートを分析する。特に「授業前」の考え(素朴概念)、「ジグソー活動後」のメモ、最後に「クロストーク後」の生徒の記述内容を分析し、生徒がどう学んでいったかを評価したい。また、クロストーク後の個人の記述はどれだけ個として課題に対する解に迫れたか、素朴概念から教師の期待する科学概念の方向に理解を深めたかがみとれる重要な評価資料だと考える。教師が課題に対する解の「期待する要素」(評価基準)を明確にし、それらがどの程度記述されていたかみとっていきたい。

(2) 発話分析

知識構成型ジグソー法を通して生徒が協調的な学びを行ったかどうかは、あらかじめ抽出生徒を決め、ICレコーダー等を用いて生徒の発話やエキスパート、ジグソー活動でのやりとりの記録を追っていき、どのように考えが変化していったのか、変化したきっかけについてみとってきたい。

(3) アンケート・インタビュー分析

ワークシートや発話分析には、みとりにくい(外化されていない)点のみとることをアンケートやインタビューで行っていく。例えば、言葉では表現しにくかった解、教師の声かけの効果、班活動等における有用感をアンケートやインタビューで、みとってきたい。

IV 授業実践

1 1学年「状態変化 ー気圧と沸騰ー」

(1) 単元について

- ① 主題 高山でお米を炊くと生煮えになるのはなぜだろうか
- ② 目標 水の沸騰は気圧によって変動することに気づき、沸騰のしくみを理解する。

(2) 本実践の趣旨

生徒は、本単元において物質の状態変化と温度の関係については学習しているが、水の沸点が 100℃であることは、1 気圧という条件下の場合であることについて中学 1 年では扱わない。そのため、水の沸騰は常に 100℃で起こる現象であると捉えてしまっている生徒がほとんどを占めていることが予想される。そこで、高山における炊飯という場面を設定することで、水の沸騰は必ずしも 100℃にならないことに気づき、沸騰という現象を大気圧と関連づけて考えさせる教材を作成した。ジグソー課題においては、生徒に次の内容を説明できるように想定した。

ジグソー活動に続くクロストークにおいては、この考えを踏まえ「では、高山で調理するにはどうすればいいのか」と更に問いを追加した。そこで生徒が圧力に気づき、圧力鍋というアイデアや圧力を高める方法を見いだすことが出来れば、本課題が十分理解できたと判断できる。

(3) 実践内容

① エキスパート活動の概要

エキスパート活動は、「デンプンの糊化」「沸騰」「標高と気圧」の 3 つの視点を用意した。エキスパート活動にかけた時間は、およそ 10 分である。

資料 A：お米をおいしく炊くには

資料 A は、デンプンの糊化について説明したものを用意した。難易度は中程度である。生米がご飯になるには、水分 15%の米を加水して、20 分間 98℃以上で加熱することが必要である。生米はβデンプンと呼ばれ、デンプンの粒同士が結びつき合って固い集合体を形成している。熱をかけると、デンプンの粒の間に水が入り込み、固い結合がゆるんでデンプンが糊状になる。これをα化といい、やわらかいデンプンはαデンプンと呼ばれる。

資料 B：沸騰するとはどういうことか

資料 B は、水の加熱によって液体中に水蒸気の泡ができるしくみを大気圧と水蒸気の圧力で説明したものを用意した。また、温度と蒸気圧の関係のグラフも添付した。難易度はやや高めである。水が加熱されると水中で水が水蒸気に変化する。それが泡となってでてくるときに、泡の内外の気圧がつりあうことで泡がつぶれなくなる状態が連続しておこることを沸騰という。水では 1 気圧、100℃でその状態になる。2 気圧では 120℃になる。沸騰するのは必ずしも 100℃ではない。

資料 C：標高が高いと何が起こるのか

資料 C は、気圧が空気の積み重なりによる重さによって生じるため、上空に行くほど空気がうすくなり気圧が下がることを説明している資料である。難易度は 3 つの資料の中で低い。麓で買ったお菓子の袋が山頂付近ではパンパンにふくらむ現象について気圧を使って解説している。また、気圧が低くなると、水の沸点も変わることにもふれている。標高 3776 m の富士山では沸点が 87℃、8850 m のエベレスト山では 70℃で沸騰することが資料中に示されている。

② ジグソー活動の概要

ジグソー活動は、持ち寄られた資料 A～C について、各々の担当者に説明をさせることから始めた。説明の際には、資料の図やグラフは相手に見せてもよいが、文章は見えないようにすること、聴きながら大事なところはワークシートにメモをするように指示をした。一通り説明が済んだか、確認をしながら早い班はジグソー課題「高山でお米を炊くと生煮えになるのはなぜだろうか」に取り掛かるように声かけをおこなった。ジグソー活動にかけた時間は 25 分程度である。

③ グループ編成の方法

頻繁な席移動で時間のロスを生じさせないように、エキスパートは日頃の授業の席の状態を開始した。理科室の生徒用実験台は床に固定されており移動が出来ないので、人数では変則的になっている。

エキスパート活動で用いる資料は列単位で配布し、2 名～4 名の 12 グループで活動に取り組んだ。そしてジグソー活動時には、配布されたエキスパート資料に書かれた番号が同じ人同士が集まって 3 名～4 名の 13 グループで班を編成した。ジグソー活動

では、配布された資料に書かれた番号がジグソー活動のテーブル番号とし、誰と組むかは分からなくじ引き式とした(図4)。理科室では、3名を基本とする活動を行うと机が足りなくなるので、実験台の間に可動式の机を入れた。

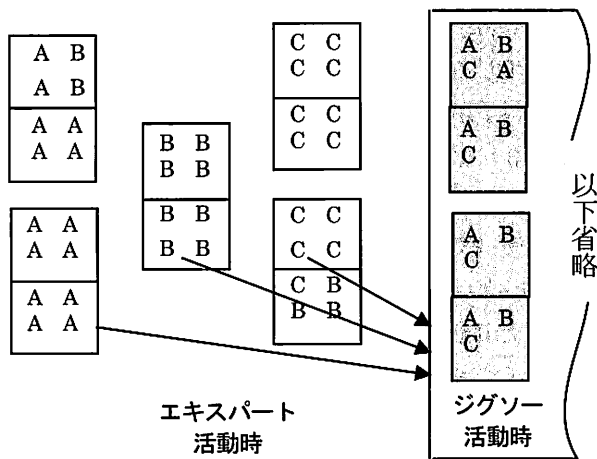
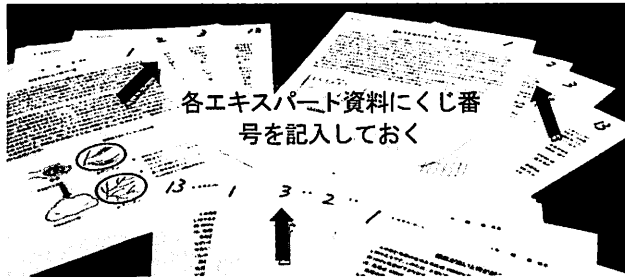


図4 エキスパート活動とジグソー活動時のグループ編成の方法。ジグソー活動時には各資料に書かれたくじ番号ごとに座る。

(4) 授業実践の分析

① これまでに行った授業の改良点

不具合 その1 あるクラスで同様の内容で授業を行ったところ、エキスパート活動において、課題の視点とは関係の無い部分に反応するケースがあったので、余分な説明は削除した。その結果、別のクラスでは説明活動がスムーズになった。

不具合 その2 エキスパート資料に、論点を整理させるつもりで小問題を課したが、説明の段階で戸惑いが見られたので、本時においてはエキスパート資料中の小問題は削除した。その結果、ジグソー活動の時間確保につながった。

不具合 その3 教師が介入しすぎて、本来の建設的相互作用を教師が妨げているとの指摘を受けたので、授業者は極力介入しないと決め、ワークシートだけを配布し、すぐにエキスパート活動に入ったが、

指示が明確でなかったので、流れだけは説明するようにした。その結果、戸惑いもみられず、自分たちで進める雰囲気醸成された。以前に比べ、内容を教師に確認しようとする生徒がいなくなった。

不具合 その4 エキスパート活動で生徒は文章をまるまる書き写そうとしていたので、ワークシートではメモ程度で良いことを強調した。その結果、文章に頼らず、自分で別の図を書く生徒が増えた。

不具合 その5 エキスパート活動では、自分で説明が不安な生徒は、相手に資料をそのまま見せ、対話が成立しない班があった。そのため、相手に文章は見せずに、図やグラフは見せてもよいと指示をした。その結果、自分の言葉で説明することができるようになった。

不具合 その6 最初にこの授業を行った生徒のワークシートを分析してみると、課題に対する結論部分に、デンプンに関する記述が少なかったため、デンプンの糊化の資料は新たに作り直した。詳細は後で述べるが、その結果、文章中に糊化の条件にふれる記述が増した。

② 理解の深まりに対するエキスパート資料のつくりこみの効果

前述した授業の改善を踏まえて、次のクラスで再度授業をおこなった。本校理科で先に実施した授業者からクロストークの時間を次に回してしまうと、生徒のモチベーションが持続しないことが課題に挙げられていた。そのため、なんとか1時間内にクロストークまで終わらせるように授業デザインを考えた。

本時においては、授業開始後すぐに課題に対する予想を書かせた。目立った予想としては、寒いから火がつかないという記述が多かった。火はついた状態でも生煮えになると伝えると、「なぜ？」という声があちらこちらから聞こえた。このことから、課題としての動機付けは上手くいったように思う。エキスパート活動やジグソー活動はある程度の時間がきたらやや早めに進行して、クロストークに移行した。クロストークでは、ジグソー活動時に特徴的な対話を行っていた班を取り上げ、全体で論点のすりあわせを行った。その結果、クロストークを通じて発表者の考えを踏まえ、考えの不備を皆で指摘し、考えを修正していく様子が観察された(次頁左枠下

線部前後)。実際、課題に対して解となる視点である「標高と気圧の関係」「沸点の低下」「糊化の条件(熱)」の出現率がそれぞれ71%、92%、89%であった。大部分の生徒が各視点を活用して説明が出

学習内容の実践記録(授業の進行通りに記述)

導入 約3分

課題 「高山でお米を炊くと、
生煮えになるのはなぜだろう」

1. 課題の確認をし、自分の予想をワークシートに記入させた。

※予想に書かれた生徒の記述例

- ・高山は寒いから、温度が低くなって火が消えてしまう。
- ・高山は酸素が少ないから燃えない。
- ・空気が少ないから

2. 授業の流れの説明

エキスパート活動 約10分

A: デンプンの糊化 B: 沸騰 C: 標高と気圧

ジグソー活動 約25分

※各資料について説明を行ったあと、課題について考えさせた。

※特徴的な生徒の表現に注視しながら班を巡回。

クロストーク 約10分

※発表で出された考えをつなぎながら、全体で意見の交流を行った。

・Kさんが、「高山では早く沸点に達するから、ご飯を炊くには時間が足りなかった。時間をかければ、沸点が上がったかも。」という趣旨の説明をしたので、その点に関して他のグループの意見はないかとふった。

・別のグループのRさんに発表させると、「米を α 化するには98℃を維持しないといけないが、気圧が低く、沸点が下がったため、沸騰できなかった。」と説明した。すると、Gさんが「ちがうよ。沸騰はするね。沸騰するけど沸点が低いんだよ」「だから、時間をかけても変わらないよ。だって沸騰が始まったら、温度は一定になったじゃん」と前日の「エタノールの沸点」の実験を思い出し、説明を追加していた。

では、どうすれば高山でお米を炊くことが出来たのでしょうか?

・Gさんが「圧力鍋を使う!」と発言すると、別の生徒が「ふたを押さえれば良いじゃん」などと、圧力に気づいた生徒が発言し、やりとりをみている生徒はそういうことかと納得した様子であった。

ワークシート回収

来るようになった(図5下)。

資料の改良前には完全回答の生徒は24%に留まったが、改良後に実施したクラスでは61%であった。資料の改良後には、図5に示すように、記述内容に視点の抜けが減少し、表現に精緻化がみられた。資料の改良は、デンプンの糊化のパートのみであったが、他の解の要素の出現率も向上した。このことから、資料の一部を変更するだけで生徒の理解深化に大きな影響を及ぼすことが示唆された。

③ ジグソーを通してみえた個々の学びと相互作用

Tは、ひらめきは良いが、内容理解に関してはもう一歩というところをしていた生徒である。本時では、彼の班に貼り付いて対話を聞いてみたところ、Tは「気圧と沸点がなぜ関係があるのか」にこだわってYと議論していた。しかし、Yはそうなるのだからの一点張りでは説明ができなかった。この生徒のこだわりをクロストークで取りあげたところ、Tを納得させようと、数名が代わる代わる必死に説明を試みるも、納得させることは出来なかった。それを見かねた隣の班のSが、「水は温度が高くなると水蒸気の泡に変化してとんとんとできるけど、できた泡は、まわりの大気圧が大きいと泡をつぶしていくんだよ。でも、標高が高くなってまわりの気圧が低い

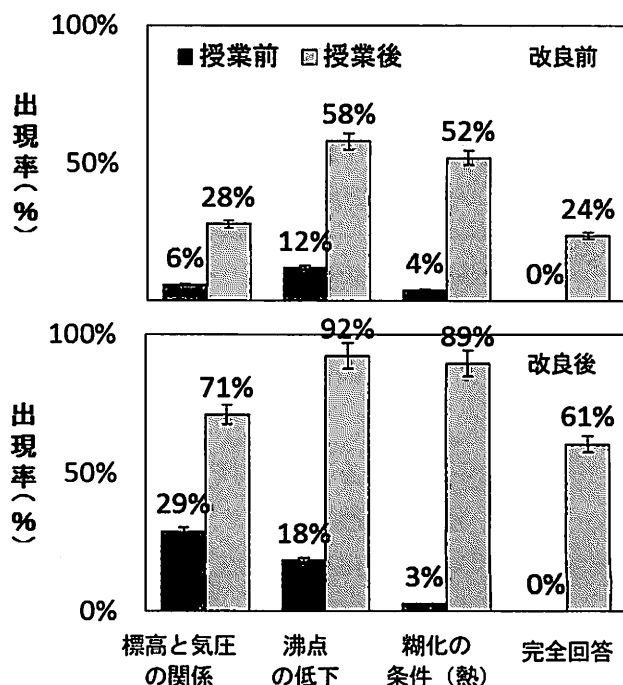


図5 高山でお米を炊くと生煮えになるのはなぜか、に対する回答。エキスパート資料の改良前後の比較(上下)。

と泡の中からもふくらんでつぶれなくなるから、沸騰しやすくなって沸点がさがるんだよ」と説明してくれた。それを聞いたTはようやく納得した様子であった。授業終了後のYのワークシートを見てみると、Tに説明が出来なかったのは、沸騰と気圧の関係が不十分な理解にとどまっていたためであることが記述にも現れていた(表1波線)。一方、対話では深い理解が出来ていたにも関わらず、Tは文章として外化できなかつた。女子は対話よりもワークシート上で自分の考えを外化する傾向があるが、男子は対話に力点を置いているため、ワークシートの評価のみでは十分に見とれない可能性をはらんでいることが示唆された。

表1 課題に対する解の要素の記述レベルの分析
※生徒のワークシートより原文ママ

生徒	授業	記述内容	気圧	沸点	糊化
T	前	冷たくて炊けなかった。	×	×	×
	後	炊けるための温度にならないから。	×	×	○
Y	前	高い山では <u>チッ素が少ない</u> から米がしけている。	×	×	×
	後	<u>アルファ化は95℃からじゃないと始まらない。高い山に行くほど、沸点が下がるので、アルファ化が始まらない。泡も上がってこない。なのでちゃんと沸騰できない。</u>	×	△	○
S	前	気圧が低い <u>ため物をもやす</u> ために必要な酸素が少なくなるから。そのため、水が <u>沸点</u> しなくて生煮えになる。	○	×	×
	後	生米から米になるには、 <u>98℃以上を20分間以上熱しない</u> といけない。でも、 <u>高い山だと気圧が低く</u> なってしまう、 <u>沸点も87℃まで下</u> がってしまう。(大気圧と沸点は釣り合っているから)その為に、 <u>98℃以上になる前に沸騰してしま</u> い、米がしっかりたけない。	○	○	○

発話分析は、筆者自身の評価の仕方・授業のあり方を大きく変えた。従来の方法ではあるこだわりを持って授業を受けていたであろう生徒への配慮が足りなかったと反省した。協調学習だからこそ生徒のこだわりを拾い出し、寄り添っていく機会が生まれるのだと感動した。発話分析は、ジグソーをやる以上、必ず取り組むべきだと痛感した。

④ 相互作用で磨かれる科学的概念

Mは他の教科でも思考の深さが評判になる生徒であるが、この生徒の存在が他の生徒へどのような影響があるのか発話分析を行った。同じ班のHは対話をリードしている生徒であるが、その説明に対してMが「え、そうなの?」と聞き返し、それに答える形で班の対話が進んでいった。Sにとっては自分の説明内容が磨かれていくのが楽しいようで、授業終了後「俺たち凄いい話をしていたぜ!先生レコーダー聞いてね!」と得意気であった。事実、Mの発話「標高が高くなると地上に比べ小さなエネルギーで水を沸騰させることができるわけ…」を契機として、K「小さいエネルギーで沸騰するなら、小さいエネルギーでお米が炊けてもいいんじゃない?」、M「だからデンプンの結合をゆるめるほどのエネルギーではないわけ…」といった資料にはない抽象的な概念を持ち出し、まわりの生徒もまねをして説明するといった相互作用がみられた。しかし、その考えを説明したMのワークシートにはその事が書かれておらず、発話と評価をいかに効率的に結びつけるかが課題であると感じた。

ジグソーでは一人の生徒の学びが個の中でつながっていると感じる瞬間、更に個と個がつながっていったと感じる瞬間をみるのが頻繁にある。ジグソーの型を使うと、日頃の授業に比べ授業が立体的になったと思う実感、教室の至る所でパラレルに生徒の学びが進行しているという実感がある。ジグソー法の授業を実践した一番の成果は、教師がナビゲーターとなって生徒に目を向けるゆとりができた事ではないだろうか。本取り組みを通じ、科学的概念の形成には、生徒の素朴概念を正すような問いや複数の視点から事象をつなげていく力、他の事象に転用する力が如何に重要かを垣間見た気がする。今後は、他の単元や、エキスパートで実験を取り入れたジグソーの教材も作成していきたいと考える。

2 2 学年「化学変化と原子・分子」

(1) 単元について

① 主題 水 50 mL とエタノール 50 mL を混ぜたときに 100 mL にならなかったのはなぜだろうか

② 目標

・水にエタノールを溶かしたときに体積が減少するのはなぜかという課題に向け、エキスパート活動で得た知識をもとに対話を通して、原子・分子の視点で自分なりの理解を深めて説明することができる。

(2) 本実践の趣旨

小中学校の理科の学習において、児童・生徒はそれぞれの発達段階に応じた学習活動を通して粒子概念を構築していく。その中で、中学校第1学年までは身のまわりの現象を説明する際に「粒」という概念を用いて表現していく。この段階までは児童・生徒はこの粒が原子や分子であることを理解していない。本単元である「化学変化と原子分子」で、初めて物質が「原子」という粒子からできていることを学習する。

本時の位置づけとして、物質はどこまで分解できるかを通して、すべての物質は原子・分子からできているという学習を終わった後の直後に設定した。同じ液体同士を混ぜたら体積は保存されるという生徒の既有概念に対し、「水とエタノールを混ぜると体

積が減少する」という生徒の既有概念をくつがえすような事象を課題として設定し、それを解決していく中で、身の回りの現象を微視的に捉える見方をつけさせていきたいと考えている。課題に対する解は次の通りである。

水分子、エタノール分子とも分子同士が水素結合を行っており、分子同士の間に若干の隙間がある。水にエタノールが溶けるとエタノール分子同士の水素結合が弱くなり、エタノール分子一つで存在するものができる。そのエタノール分子が水分子同士によってできる空間に入り、体積が減少する。

(3) 実践内容

① 導入・課題提示

授業の導入段階として、教師は「水 50 mL とエタノール 50 mL を混ぜると体積はどうなるか」と質問した。多くの生徒は「100 mL になる」と答え、その理由は「50+50=100 だから」という理由がほとんどだった。実際に水とエタノールを混ぜて、体積が減少することを確認した。生徒は体積減少という既有知識と異なる現象に驚いた。そこで本時の課題を「水 50 mL とエタノール 50 mL を混ぜると体積が減少するのはなぜか」と設定した。

エキスパートA資料

分子どうしの関係

水分子がたくさん集まって液体の水を作っていますが、水の中では水分子は単独で存在していない場合もあります。水分子どうしは「水素結合」と呼ばれる弱い力で結びついています。この水素結合どうしで結ばれた水どうしはある一定の距離を保っています。そのため、水分子どうしにはぎっしりとくっついておらず、ある程度の距離があります。

液体の水は水分子 1 個で存在している場合もありますが、2~5個が水素結合をしている場合もあります。特に 4 個、5 個水素結合をした水は右の図のように水分子どうしの中にある空間ができます。この空間はエタノール分子より大きな空間です。

エタノールもエタノール分子どうしで水素結合をしています。そのため、エタノール分子の間に小さな空間が存在しています。

ところが水分子とエタノール分子を混ぜるとエタノール分子どうしの水素結合が弱くなり、エタノール分子一つで存在するものが出てきます。

エキスパートB資料

ものが水に溶けるとは何か

今まで、食塩や砂糖などを水に溶かした経験はあるはずです。小学校や中学校 1 年生でも水に溶けるとは？ということ学習してきました。その中でもものが水に溶けたときの徴として以下があげられました。

- 1 透明である(色のついた透明もある)
- 2 濃さはどの部分も同じである

このとき、食塩や砂糖などは水に溶けると目に見えにくい小さな粒に分かれています。そのため、透明に見えるのです。たとえば砂糖を水に入れてすぐには砂糖の粒は人の目には見えません。これは砂糖の分子がたくさん集まって、砂糖の粒をつづっているからです。これが水に溶けると砂糖の分子が分かれていき、最後には砂糖分子 1 個がバラバラになっていきます。これらが水の中に均一に広がって水と混ざった状態を砂糖が水に溶けたといえます。

ところで、水に溶けるものは食塩や砂糖のような固体だけではなく、水には固体だけでなく、気体が水に溶けることもあります。みなさんがよく知っている炭酸水がその代表的な例です。炭酸水は二酸化炭素が水に溶けてできたものです。炭酸飲料の栓を開けたときに出てくるシュワシュワの気体の正体は、実は二酸化炭素なのです。同じように当てると、固体や気体だけでなく、液体が水に溶けるという現象もおこります。

エキスパートC資料

水とエタノールの構造について

水とエタノールはどちらも透明な液体です。見た目は透明な液体ですがエタノールと水の化学式は全く異なります。水は水素原子2個と酸素原子1個が結びついてH₂Oという分子をつくっています。一方、エタノールは炭素原子2個、水素原子6個、酸素原子1個でC₂H₅OHという分子を作っています。

原子1個の大きさや量は原子によって異なることは学習しました。水とエタノールの分子1個あたりの大きさや量も異なります。水素原子1個の量を1とすると、炭素原子の量は12、酸素原子の量は16となります。そのため、水素原子1個の量を1とすると、水分子の量はおよそ18、エタノール分子1個の量は46になります。

水とエタノールの分子1個あたりの大きさも異なります。水分子もエタノール分子も球形ではないため、分子のどこをはかるとより大きさは異なりますが、平均すると水分子 1 個の大きさは 0.3nm、エタノール分子 1 個の大きさは 0.45nm といわれています。(1nm の大きさは1nm の 1000 万分の1、つまり 1nm = 10000000nm です。) * nm : ナノメートル

物質名	水	エタノール
化学式	H ₂ O	C ₂ H ₅ OH
原子のつらばりしている様子	H-O-H	H H H-C-C-O-H H H
分子モデル		

図6 本時で使用したエキスパート資料

② エキスパート活動

エキスパート活動では3種類の資料を用意した。資料は「分子の相互作用」「水に溶ける」「分子構造」について作成した(図6)。

エキスパート資料A：分子どうしの関係

水は分子がたくさん集まってできているが、水分子は水素結合と呼ばれる弱い力で結びついているため、単独で存在せず、2～5個がくっついて存在している。そのときに、水分子の間に空間ができる。その空間はエタノール分子の大きさより大きい。また、エタノール分子も水素結合を行っているが、水とエタノールを混ぜると、エタノール分子の水素結合が弱くなる。

エキスパート資料B：ものが水に溶けるとは

ものが水に溶けるとは溶けた液体が透明であることと濃度が均一であることである。透明であるとは溶質の粒が細かくなって最終的には分子単位でバラバラになるということである。固体が水に溶けるばかりでなく、液体や気体が水に溶けるものもある。

エキスパート資料C：水とエタノールの分子構造

エタノールも水も原子が組み合わさってできており、その化学式は H_2O 、 C_2H_5OH である。原子には重さがあるため、水の重さとエタノールの重さは異なる。また、水とエタノールの大きさも異なる。

エキスパート活動は3～4人でグループを作り、10分間を設定した。ホワイトボードやモデルは必要であれば、使用してもよいこととした。時間内に各資料の内容を理解し、余裕があれば自分たちの資料の視点から課題を考えるように指示した。教師は生徒の話し合いに介入することを避け、質問があった場合には解に結びつくような内容の場合は答えな



図7 ジグソー活動での話し合いのようす

った。話し合いがどうしても進まない場合には、話し合いの方向性を提案した。

③ ジグソー活動

ジグソー活動は各エキスパートグループで学習した生徒を1名ずつ集め、1グループ3人で行った。20分の時間を設定し、各班で学習した資料の説明を行った後に、課題に向けての話し合いを行った。ホワイトボードやモデルの使用、教師の介入についてはエキスパート活動と同様にした。生徒は話し合いの中で自分の考えを出しながらその理由を検討していった。ジグソー活動後の班の考えを分類すると、大きく分けて、二つの考えが出てきた。一つは「水にエタノールが溶けると、エタノール分子の水素結合がとれ、単独で存在するエタノール分子が、水分子の隙間に入り込み、体積が減少する」、もう一つは「エタノールが水に溶けて気体として出ていき、体積が減少する」という考え方である。

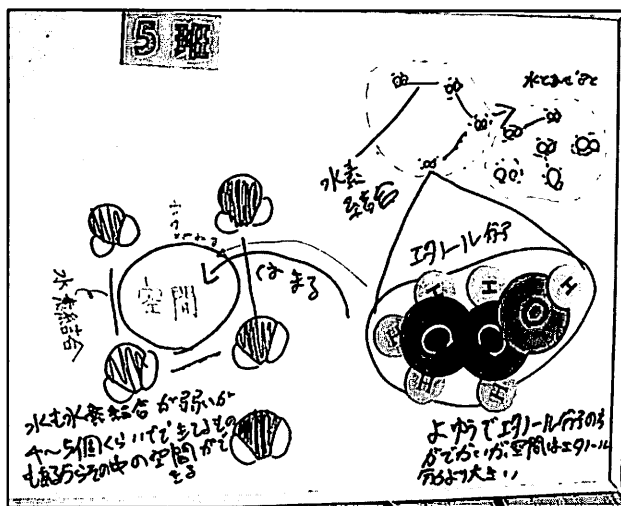


図8 ジグソー学習後の班の考え
(ホワイトボードの記入内容)

④ クロストーク活動

クロストーク活動では本時の課題に対しての班の考えを発表させた。その中で、ジグソー活動で出た疑問や曖昧な点も盛り込ませた。疑問や曖昧な点に対しては他の班で答えるように促した。その際、班での話し合い、全体でのやりとりを繰り返し、自分たちの考えを表出させるような声かけを行った。どうしても自分たちだけでは解決できないような疑問に対しては教師が介入し、補助説明、演示実験を行いながら、生徒の疑問の解決へ導いた。解は途中、

拡散の方向を示しながらも、最終的には収束を行った。

(4) 実践内容の分析

① ジグソー学習における学び

生徒が各活動において対話を通して、どのような学びを行っているのか、対話の中から生徒同士の相互作用が見られるのかをみとった。10 台の IC レコーダーを設置し、生徒の発話内容を録音した。それらを取り取るなかで、次のような場面が見られた。

- ・曖昧な理解が確かな理解になる
- ・新たな視点に気づく
- ・補足、反論しながら、考えの修正を行う
- ・生徒が多様な視点で物事を考えている
- ・現象と理論を結びつけて考えている

以下にその例を具体的にあげていく。次の発話は資料Aを用いたエキスパート活動を行っている班の発話内容である。

S	これでしょ。水と混ぜることによりエタノールのくっつく力が弱くなってごつごつのやつが離れてからそれがこっちに入ってくっつくの？
M	くっつくんじゃない。
S	こっちの水素結合で？
M	水素結合の間にじゃん。
S	間に入ることによってこれがきて、なるほどね。
M	わかった。
K	こうやってからもし、5人くらいで手をつないでいるとするさあ。部屋はこんだけだわけ。だけどあと二人はいたいって言って入ったわけさ。だから真ん中に入ったんじゃない。
M	あー、そしたら、他の空間が埋まるみたいな
S	あーはー

班員は資料Aを見ながらエタノール分子が水分子の中に入っていくしくみを話し合っている場面である。話し合いの途中で、Sの生徒は水素結合が弱くなり、体積が減少することについて疑問を持っている。Mが水素結合の話をして一見分かっているかのように見えるが、それでもいまひとつ腑におちない様子である。Kの生徒が分子を人に、一定の空間を部屋に例えて説明し、それにMが「他の空間が埋まるみたいな」の補足説明をすることにより、Sは「あーはー」と納得をしている。このように、お互いが納得するために、分子というモデルを人と空間に例えるなど、自分の身の回りのものに再モデル化することにより、理解を促す様子が見られた。Sはジ

グソー場面において、ここで納得した説明を他のメンバーにも細かく、説明している姿が見られた。

次の会話はジグソー活動中の会話内容である。

AとOが水とエタノールを混ぜたときに、体積が小さくなることに疑問を持ち、Yがその疑問に答え

A	で、なんで、体積が小さくなるの？
O	なんで体積が小さくなるんだって？ ～中略～
Y	ここに空間があるわけさ。何も無いところにあるね。
A	エタノールと水を混ぜたら、これがこれで後1個あるんだけど、バラバラになるやつも出てくるわけさ、
Y	そうなの？
A	でこれ（エタノール分子）が、1つがここ（水素結合によってできた水の空間）の中に入る
O	確かにか？この大きさが、ここに入るわけないよこれの方が小さいって
A	マジ？
O	言ってたさ。水分子の空間よりこれは小さいって、でこの間にこれが入って、で一つ塊になるから、体積が小さくなる。オー、なるほど！
A	

ている場面である。AはYからの説明を受け、途中何となく分かっているように見受けられる。Oが納得していないために、YがOに対して、水分子によってできる空間の大きさと、エタノール分子の大きさの補足説明をしている。その補足説明をしながら、最後には自分が納得をしている。このとき、Aは「水分子によってできる空間とエタノールの空間の大きさ」と「水分子によってできる空間にエタノール分子が入る」という2つの現象を別々のものとして理解をしていた。しかし、ジグソー学習を行いながらこの2つの現象が結びつき、自分自身で深い理解を行っているようすがうかがえる。

この3名は普通の授業でも同じ班で学習活動を行っているが、YとOは理解力が弱く、いつもはAが教えている場面が多いため、二人はAを頼っている。しかし、ジグソー活動の中では話し合いのスタートの時点では他人の持っている情報は知らないため、YがAに教えており、普通の授業とは異なった生徒同士の関係が見られた。このように、ジグソー学習はお互いの学力や理解力に関係なく、それぞれの場面で、互いに補足、反論を繰り返しながら、自分の考えを修正し、お互いに学びあおうとする姿が見られた。

また一方で、ジグソー活動を終えた時点で誤った考えを持った班があった(図9)。この班は「エタノールが水に溶けてそのエタノールが気体になり、その気体が発生して体積が減少する」という考えを持った班であった。この班の主張としては水とエタノールを混ぜたときに気体が発生したからだというものである。現象の確認の際に、水とエタノールをガラス棒を使わなくても混ぜるように高い位置から混ぜたため、周りの空気を巻き込んで生じた空気であった。教師が思っていた以上に現象を詳しく観察した証でもある。この考えに対しては、生徒間でのやりとりでは納得しなかったため、教師が高い位置から水に入れた場合と、低い位置から入れた場合の演示実験を行うことにより解決した。一斉授業の中ではこのような誤概念が表出されることは少なく、生徒は納得しないまま正解を覚えるだけとなってしまうがちになる。これでは現象と理論が結びつかないこととなる。このように事象と理論を結びつけるには生徒の誤概念の表出も大事であると考える。

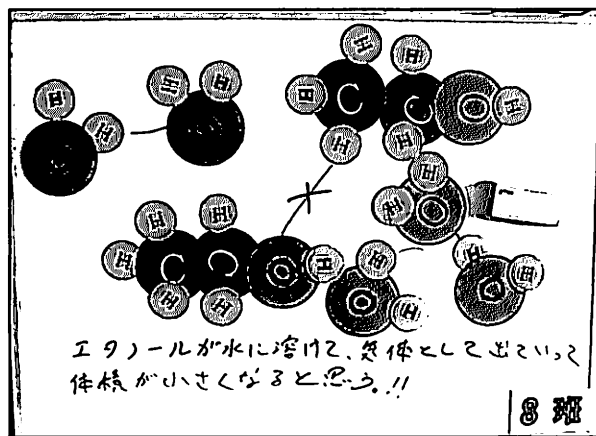


図9 ジグソー活動後の班の誤概念

② ジグソー活動の学習のみとり

授業後にワークシートに「水とエタノールを混ぜたときに体積が減少する理由」を書かせ、次の要素が記述されているか確認した。

- 1 エタノールが水に溶ける
- 2 エタノールの水素結合が弱くなる
- 3 水素結合による空間とエタノール分子の大きさの比較
- 4 水分子の隙間にエタノール分子が入り込む
- 5 モデル等の図を用いている

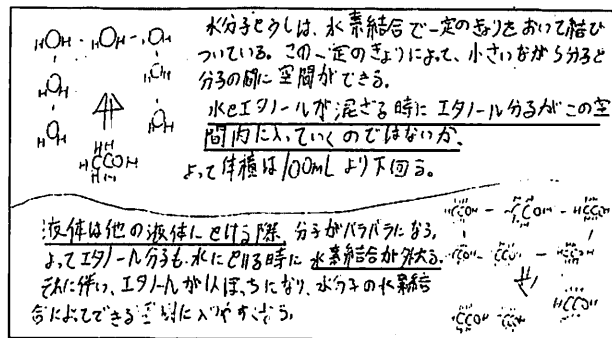


図10 生徒のワークシートのみとりの例(下線部は要素)

図10の生徒は「溶ける」「水素結合」「隙間」「図」の内容が記述されており、期待する解に対して、十分ではないがある程度は記述されている。

エキスパート活動の内容の違いが生徒の理解に影響するかをみるために、各エキスパート後の要素ごとの記述内容の有無を調べ、2×3フィッシャーの直接確率計算法(両側検定)を用いて、有意差を調べた(表2)。するとすべての要素において、各エキスパート担当において記述内容の有無に有意差は見られなかった。生徒は一つの資料(自分がエキスパート活動で担当した資料)から解を導こうとしているのではなく、複数の資料から解を導いていることも確認できた。

生徒の発話記録の分析、ワークシートの記述の有無の点からみると、エキスパート活動、ジグソー活動、において、相互作用が見られ、それにより生徒は新たな知識を獲得できたことが推察される。

表2 エキスパート資料の違いによるワークシートの出現する解の要素の有無

	資料A		資料B		資料C		p値
	有	無	有	無	有	無	
溶ける	7	4	9	4	3	7	p=0.1932
水素結合	10	1	11	2	9	1	p=1.0000
大きさ	3	8	3	10	1	9	p=0.6651
隙間	10	1	12	1	10	0	p=1.0000
図・モデル	10	1	11	2	10	0	p=0.7610

③ エキスパート活動資料は適切だったか

知識構成型ジグソー法は生徒が対話を通して主体的に学習を行っていくためにエキスパート活動の資料の内容が大事である。そこで、授業者が意図した記述内容が生徒のワークシートに記載されていたか

を調べ、二項検定（両側検定）を用いて有意差を調べた（表3）。「水素結合」「隙間」「図・モデル」の要素については記述した人数が有意に多く、「大きさ」の要素に対しては記述した人数が有意に少なかった。また、「溶ける」の要素については有意差が見られなかった。

表3 ワークシートで出現する解の要素の有無

	有	無	p値
溶ける	19	15	$p=0.6076$
水素結合	30	4	$p=0.0000$
大きさ	7	27	$p=0.0008$
隙間	32	2	$p=0.0000$
図・モデル	31	3	$p=0.0000$

また、発話記録からエキスパート資料Bに対して誤解を招くような表現があったことを確認した。図11の下線部の表現を「砂糖の分子がバラバラになって最後には分子1つになっていく」と解釈した班と「砂糖の分子がバラバラになって最後には原子になっていく」と解釈した班があった。このことから、教師によるエキスパート資料の内容の検討や表現の修正の重要性を改めて感じた。

このとき、食塩や砂糖などは水に溶けるときに目に見えないくらい小さな粒に分かれていきます。そのため、透明に見えるのです。たとえば砂糖を水に入れてすぐには砂糖の粒は人の目に見えます。これは砂糖の分子がたくさん集まって、砂糖の粒をつくっているからです。これが水に溶けると砂糖の分子が分かれていき、最後には砂糖分子1個がバラバラになっています。これらが水の中に均一に広がって水と混ざった状態を砂糖が水に溶けたといえます。

図11 間違った解釈がされたエキスパート資料の一部

ジグソー学習後に今回の授業に対する理解度についてアンケートをとったところ、「とても理解できた」「まあまあ理解できた」という肯定的な回答をした割合が、全体の63.1%だった。この割合は2学年全体の80.2%と比較すると決して高い値ではない。これは今回のジグソー学習の課題の難易度は高かったことを示す。

今後はさらなる実践を積み重ねながら、生徒の実態に合わせた課題の難易度の設定やエキスパート資料の改善を通して、生徒が協調的な学習に対してその価値観を見いだし、互いに理解し合い、高めていけるような教材の開発を行っていきたい。

3 3学年「化学変化とイオン」

(1) 単元について

① 主題

食塩水を電気分解すると陽極と陰極で何が起こるかイオンのモデルで説明しよう

② 目標

食塩水を電気分解すると陽極に塩素、陰極に水素が発生する過程を、イオン化傾向並びにイオンと電子の挙動の視点で捉えイオンのモデル説明することができる。

(2) 本実践の趣旨

水溶液の電気分解では、一般的に塩酸や塩化銅水溶液の実験が取り上げられている。そのため、多くの生徒が、水溶液中に存在するイオンのほとんどを取り出すことが可能だと考えている。そこで本実践では、食塩水（塩化ナトリウム水溶液）の電気分解を取り上げる。食塩水は身近な水溶液ではあるが、その電気分解を説明するためにはイオン化傾向（標準酸化還元電位）を理解する必要が出てくる。中学校理科の教科書においてイオン化傾向は、発展的内容として扱われ、電池のしくみの学習で補足的に紹介される程度である。しかし、イオン化傾向を知ることが、電池のしくみを深く理解することに留まらず、酸と金属の反応の学習にも大いに役立つ知識である。実践前に別のクラスで授業を行ったところ、各極から発生する物質を予想させただけではエキスパート活動、ジグソー活動が意図しない方向に進み、期待する解には至らなかったことから予想後に確認として演示実験を行うことで改善を図った。そうすることで予想と反する結果から、生徒に「なぜ?」「どうして?」の疑問を抱かせ好奇心を揺さぶりたい。その後、エキスパート活動の場において「イオン化傾向」の知識を与えることで陰極にナトリウムが析出しない理由を考えさせたい。また、単元の終盤には、イオン化傾向の大きいナトリウムの性質やナトリウムなどの金属単体でも融解塩電解で得ることができることも紹介する。

本実践では協調学習の手法を取り入れた授業づくりを行う。生徒一人ひとりが食塩水の電気分解で両極に起きる現象を微視的に捉え、自分なりに説明できるようにすることを期待する。

(3) 実践内容

① 授業の流れ

<1/2時>
【導入】 3分
 食塩水を電気分解すると陽極と陰極では何が発生するか予想しよう

【演示実験】 10分
 「食塩水の電気分解」を観察する

食塩水の電気分解を観察し、陰極にはナトリウムが析出せず気体が発生すること、陽極から気体が発生することを確認する。但し、各極で発生した気体が何なのかについては触れない。

【課題提示】 2分
 食塩水を電気分解すると陽極と陰極では何が起こるのかイオンのモデルで説明しよう

【エキスパート活動】 10分

エキスパートA
 「食塩（塩化ナトリウム）の構造と電離」

エキスパートB
 「イオンになりやすさの尺度-イオン化傾向-」

エキスパートC
 「電解質の水溶液が電流を通すわけ」

【ジグソー活動】 25分

導入の予想では、イオン化傾向についての認識はない。エキスパート活動を経ることにより、必ずしも陽イオンが陰極に析出するとは限らないこと、水素が発生する場合もあること、食塩水に電流が流れるメカニズムなどのスキーマが加わる。これらを統合することにより、課題の解決に迫る。班の考えをホワイトボードにイオンのモデルでまとめる。個人のワークシートにも記載する。

<2/2時>
【クロストーク】 50分

- ・3~4つの班を一つのまとまりとして、ジグソー活動より得られた考えと、その考えに至った根拠を発表し合う。質疑・応答を繰り返す中で、自分の班に足りなかった「部品」を発見し、更に深い理解へと繋げる。
- ・班員で気づいた点を話し合い各人でまとめを行う。班の考えをホワイトボードにイオンのモデルでまとめる。

※最終的には個人の表現で課題をまとめ、一人ひとりが自分なりに納得する。ワークシートにも記載する。

② 班の編成

・ジグソー活動

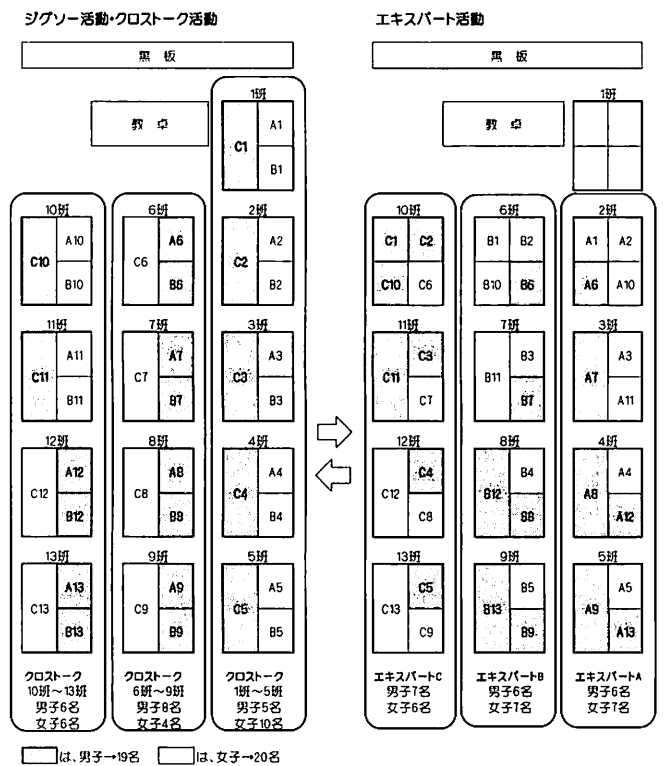
一つの班を3名で編成し、全13班とした。一人ひとりが異なるエキスパート課題を担い、責任をもって学習し、他の2名に内容を伝えることができるようした(図12)。

・エキスパート活動

一つの班を3~4名で編成し、全12班とした。列ごとにエキスパート課題を設定した。黒板に向かって右列:エキスパートA、中列:エキスパートB、左列:エキスパートCに取り組みさせた(図12)。

・クロストーク

4班~5班で3つのまとまりをつくり順番に発表、質問、応答を行わせた(図12)。



③ エキスパート活動

授業では、エキスパート活動の課題としてA「食塩（塩化ナトリウム）の構造と電離」、B「イオンになりやすさの尺度-イオン化傾向-」、C「電解質の水溶液が電流を通すわけ」を設定した(表4)。

表4 エキスパート課題の概略

	概略	ポイント
食塩の構造と電離	<ul style="list-style-type: none"> 食塩は、ナトリウムイオンと塩化物イオンが静電的な引力で結びついており、そのままでは電子は自由に動くことができない。よって電流を通さない。 水に溶かすことで結合が切れてイオンは自由に動くことができるようになる。価電子も活発に動くことができるようになる。 	<ul style="list-style-type: none"> 食塩は水に溶かすと電流を通すようになること
イオン化傾向	<ul style="list-style-type: none"> 水溶液中の元素（主に金属）は、イオンになりやすいものとそうでないものがあり、その相対的な尺度はイオン化傾向と呼ばれている。 水溶液中に水素よりもイオン化傾向が大きい金属が存在した場合、陰極には金属は析出せず、水素が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> イオン化傾向によって陰極で発生する元素が決まること
電解質の水溶液が電流を通すわけ	<ul style="list-style-type: none"> 水溶液の電気分解は、イオンと電極との間に生じるクーロン力による。塩酸の場合、陰極から電子1個を受け取った水素イオンH⁺は、水素原子Hになり、陽極に電子1個を与えた塩化物イオンCl⁻は、塩素原子Clになる。 原子は、不安定なので分子をつくる。陰極からは、水素分子H₂、陽極からは塩素分子Cl₂が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> 電解質の水溶液に電流が通るのは、陽イオン、陰イオンの電子の授受によること

④ ジグソー活動

ジグソー活動のメイン課題として「食塩水を電気分解すると陽極と陰極では何が起こるのかイオンのモデルで説明しよう」を与えた。生徒は、前時で「塩化銅水溶液の電気分解」を実験しているが、食塩水の電気分解で両極に起きる現象は、これまでの電気分解での学習内容だけでは科学的に説明できない。それは、食塩水の電気分解を説明するためにはイオン化傾向を理解する必要があるからである。そこで前述したエキスパート活動で得た知識を持ち寄ることで、イオン化傾向の大きいナトリウムは、ナトリウムイオンとして溶液にとどまり、水素イオンが陰極から電子を受け取り水素分子となって出てくるまでのメカニズムをイオンのモデルを用いて推察することが可能となる。

(4) 実践内容の分析

① 理解の深まりと知識の定着について

食塩水の電気分解について授業前半、ジグソー後、

クロストーク後で、生徒の考えがどのように変容していくのかワークシートの記述内容を基に分析を行った。また、授業実践から60日後に行われた定期テストの結果から知識の定着についても分析を試みた。授業前半、生徒に「食塩水を電気分解すると陽極と陰極で何が発生するか予想しよう」の課題を課した。前時までに塩酸や塩化銅水溶液の電気分解の実験を行っており、大半の生徒は、これまでの実験で得た既有的知識を用いて陽極から塩素、陰極からナトリウムと解答していた。この結果は、イオン化傾向の知識がない場合、予想できないと想定した通りであった。その後、エキスパート活動を経て、ジグソー活動で課題「食塩水を電気分解すると陽極と陰極で何が起こるのかイオンのモデルで説明しよう」について互いの資料を持ち寄り推察させた。その結果、各極で発生する元素名を答えられた生徒は、39名中36名であった。しかし、その根拠を問われると、正しく答えられたのは、わずか9名の生徒に留まった(図13)。

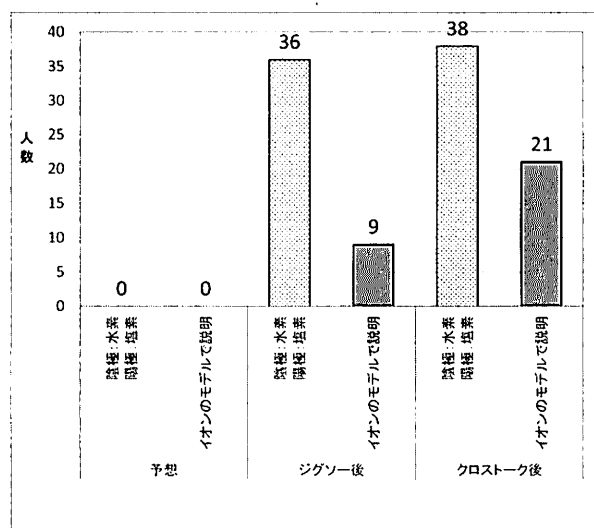


図13 あるクラスにおける「各極から何が発生するか」の正答数の比較（予想、ジグソー後、クロストーク後）

このことは、エキスパート資料から各極で起こる事象を知り、発生する物質を答えることはできても、その拠り所を科学的に深く理解できていないことを示唆するものである。その後、クロストークを経て再びジグソー班にもどり熟考させた。その結果、元素名を正しく答えられた生徒は、38名、根拠を正しく答えられた生徒は、21名となりジグソー後の2.3倍にも及んだ。記述内容を比較すると、ジグソー後

理科

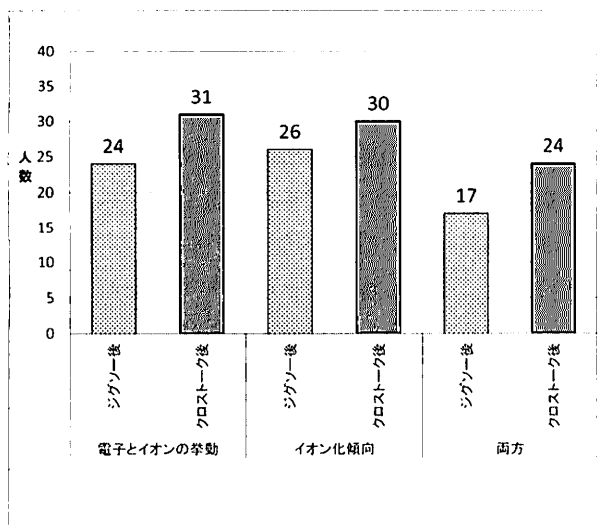


図14 食塩水の電気分解の記述内容の変化(ジグソー後、クロストーク後)

よりもクロストーク後に「電子とイオンの挙動」、
「イオン化傾向」の両方の視点で事象を説明する記述が増加する傾向も見られた(図14)。

また、各電極で発生する物質と発生までの過程をイオンのモデルで描かせたイラストからも変容が見てとれた。図15は、ある生徒のジグソー後とクロストーク後のイラストの比較である。この生徒は、ジグソー後においても陰極にナトリウムが析出すると考えていた。しかし、クロストークを経ることでイ

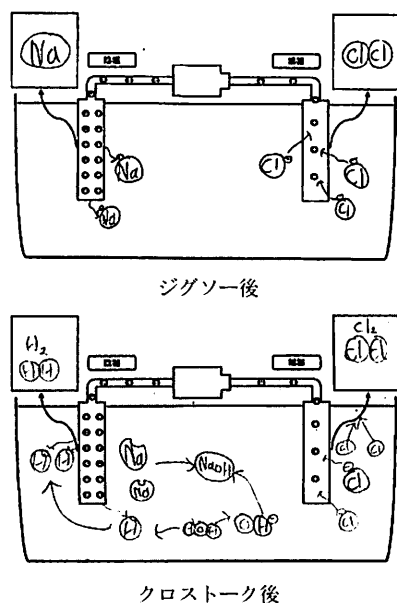


図15 ある生徒が描いた電極で発生する物質と発生までの過程(ジグソー後、エキスパート後)

オン化傾向並びに電子とイオンの挙動の二つの視点を得、表現するに至っている。

これらのことは、クロストークの場において互いの考えを確認したり、補い合いあったりする相互作用がはたらき、生徒は、考えをより科学的な根拠を伴ったものとして捉え直していることを表していることを示唆するものである。

次に、授業で得た知識が定着しているか、授業から60日後に行われた定期テストの結果を分析した。各極で発生する物質の問いに「陽極から塩素、陰極から水素」と正しく解答した生徒は、67%、誤答が33%であった。誤答の中には、発生する元素として塩素と酸素を挙げてはいるものの、発生する極を逆に解答している生徒が7%、発生する物質を間違えて答えた生徒は26%であった(図16)。

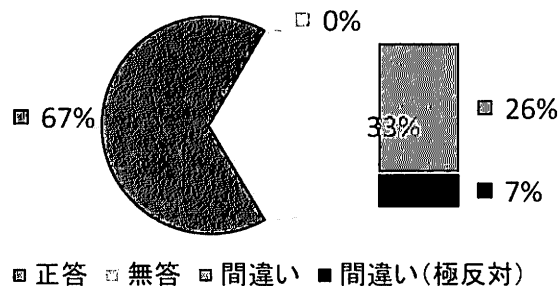


図16 あるクラスでの「各極で発生する物質」への解答状況(実践から60日後)

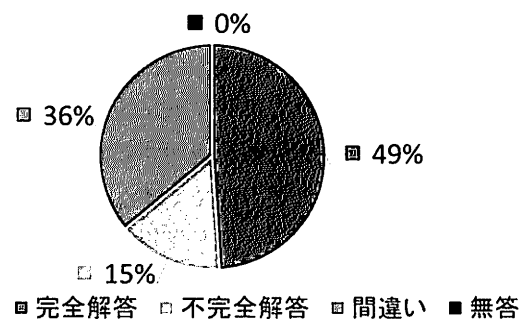


図17 あるクラスでの「発生過程の説明」への解答状況(実践から60日後)

また、発生した物質について、発生するまでの過程を「電子とイオンの挙動」と「イオン化傾向」の両方の用語を用いて説明できた生徒は、49%、用語を断片的に用いて説明できた生徒は、15%、誤答36%

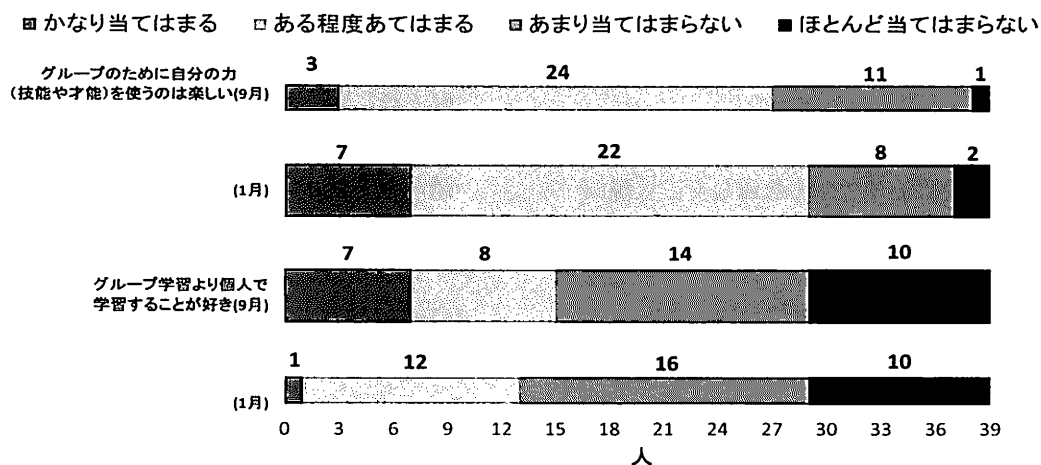


図 18 協調学習に関する生徒の意識調査

であった(図 17)。クロストーク後に事象を完全に説明できた生徒が 24 名(62%)であり(図 14)、60 日後の同様な問いに完全、断片の両方で 64%の生徒が説明できたことは、学習内容の定着に一定の成果が見られたと考える。学習方法によって定着の度合いにどのような差異が生じるかについては、今後の研究の課題と言えよう。更に特記すべき事項として、ほとんどの生徒が、疑問に思ったことを記述するようになったことが挙げられる。電気分解により生じた OH^- については、数名の生徒が更に詳しく知りたいと記述していたことから、その後の授業で取り上げるまでに至った。このような自発的な問いや、問いを追求する積極的な姿勢は、これまでの授業形態であまり見ることはできなかったものであり、協調学習の凄さを実感させられた。

② 建設的相互作用による知識の構築について

今回、3 人の生徒を抽出し各活動での発話を記録した。そのどれにおいて程度の差はあるものの対話がみられていた。一例としてエキスパート C 班の発話の一部を紹介する。M は、「電解質の水溶液が電流を通すわけ」の課題を読み、「イオンの濃度の差」について納得できず K、I に質問している。両者も同様な疑問を抱いている。互いの会話は不十分な内容ではあるが、教師が違った視点を与えるだけで解決への糸口を見出している。M は、「ああ〜」と腑に落ちる機会を得、自分なりの表現で B にも説明している。最後には、モニター役となっていた I の口からも電解質水溶液に電流が通ることを言葉として表

<発話内容の抜粋>

エキスパート C 「電解質の水溶液が電流を通すわけ」

M: 「イオンの濃度ってどういうこと? 数ってこと?」

K: 「ああ〜」

I: 「濃度の差って何? イオンの数?」

M: 「んん〜数かな〜」

K: 「どういう意味かな濃度って」

M: 「イオンの移動と電子の移動があるから回路に電流が流れるってことだよ、んん〜やっぱりイオンの濃度って何?」

M: 「先生、いいですか(教師を呼ぶ)。「イオンの濃度ってどういうことですか? 数の差ですか?」

教師: 「溶液の真ん中付近と電極付近の比較で考えてみては? どっちがイオンの数が多い?」

K: 「こっち(真ん中付近を指して指す)」

M: 「ああ〜」

K: 「えっ電極付近の方は、濃度が濃いのが薄い?」

M: 「電極付近は、すぐに吸いとられてしまうから、薄いよね。だから真ん中付近からそれを補うために移動するってことだよ。」

K: 「OK, OK, 納得」

I: 「えっえっ、だからさイオンも電子も動いているってこと? だから電流が流れるってこと?」

M: 「んん、そうだよ。」

現する機会を与えている。また、事前・事後アンケート結果の比較から、生徒は、協調学習を経験することで、グループのために自分の力を使うことを楽しいと感じたり、グループ学習に好意を寄せる傾向が見られた(図 18)。また、データは記載しないが、学習の成果や知識の構築についても前向きな回答も得られている。反面、対話がなされている様に見えても、自分の考えに固執したり、他の意見に左右され考えが定まらない生徒もいた。このような生徒ほど知識の定着度が低く意識調査でも前向きな回答を得ない傾向も見られた。学習の過程で生徒間に相互作用がはたらき知識の構築は確実になされている。

一部の生徒に知識が十分に定着していないことについては今後の課題として研究を深めていきたい。

V 成果と課題

本年度は知識構成型ジグソー法を通して、「確かな科学概念を身につけるための授業づくり」を目指す授業実践を行ってきた。今回の実践だけで科学概念が身についたかを検証するまでには至らなかったが、研究を行う中で、次のような成果と課題があげられる。

1 成果

- ・ジグソー学習を通して、生徒個々が自分の考えを外化させる事ができた。外化により、対話が生まれ、補足、修正を繰り返しながら考えを磨く授業づくりを行った（自分の考えの外化）。
- ・クロストーク活動により、今までの一斉授業では現れることの少なかった誤概念が表出されるようになった。誤概念にはたらきかけることができた（誤概念の表出）。
- ・今まで授業に積極的に関わっていなかった生徒も意図的に話し合いに参加する状況が生じるため、自分の考えを持って話し合いに臨んでいる様子が出た（学習に対する主体的な関わり）。
- ・発話分析を行うことで、教師が生徒の考えに意識的に目を向けるようになってきた。これが教材、資料、発問等の修正につながり、授業改善につながっていくと感じた（発話分析の効果）。

2 課題

- ・ジグソー学習の柱となる課題の難易度が低いと、生徒間の相互作用が生まれにくい。また、課題の難易度が高いと下位の生徒が積極的に授業に参加しにくい。そのため、課題の設定と資料の難易度の検討・改善が必要である（課題の難易度の工夫）。
- ・エキスパート資料の視点の置き方や切り分け方の工夫を行い、ジグソー学習が活性化するような資料づくりが必要である。（資料の工夫）。
- ・生徒は対話の中である一定の理解を示しているが、対話によって生まれた考えをワークシートに図や文章でうまく表現できない生徒もいる。自分の考

えをもれなくワークシートに記入できるような記述指導が必要である（記述指導の必要性）。

- ・説明に苦手意識がある生徒への手立てとして、正解主義に陥らせず、わからないからこそみんなでわかろうという雰囲気作りを行う必要がある（協調学習の雰囲気作り）。

今年度は新テーマ研究の一年目であり、課題や資料の内容や難易度についても試行錯誤を行ってきた。次年度は教科の特性を生かし、観察・実験を盛り込んだ教材づくりや通常の授業では生徒が理解を示しにくいような単元での教材づくりを行ってきたい。また、教科書の内容を基本とした教材の開発にも取り組み、実践を積み重ねながら、科学概念を身につけるような授業づくりを行ってきたい。

参考文献・引用文献

- (1) Clement, J. 「Student' s preconceptions in introductory mechanics」『American Journal of Physics』50、1982年、p. 66-71
- (2) 三宅なほみ「概念変化のための協調学習過程」『心理学評論』Vol. 54 No. 3 心理学評論刊行会、2011年、p. 328-341
- (3) 琉球大学教育学部附属中学校『研究紀要第25集』2013年、p. 57-68
- (4) 三宅なほみ「協同学習の可能性～学習科学の視点から～」上条晴夫編集代表『授業づくりネットワーク No. 4 協同学習で授業を変える！』学事出版、2012年、p. 76-83
- (5) Posner, G. J. et al 「Accommodation of Scientific conception : Toward a theory of conceptual change」『science Education』66、1982年 p. 211-227
- (6) 湯澤正道「科学的概念への変化」『心理学評論』Vol. 54 No. 3 心理学評論刊行会、2011年、p. 206-217
- (7) Vygotsky, L. S. 柴田義松訳『思考と言語』新読書社、2001年、p. 297-304
- (8) <http://www.cscd.osaka-u.ac.jp/user/rosaldo/090113ZPD.html> (2014/02/23 アクセス)
- (9) 長濱文与他「協同作業認識尺度の開発」『教育心理学研究』第57巻 第1号 教育心理学研究、p. 24-37