

# 琉球大学学術リポジトリ

《理科》生徒同士の相互作用から科学的概念を形成するための授業づくり：  
生徒の見方や考え方のみとりを中心として

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: 2016-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 比嘉, 司, 平敷, りか, 宮城, 将吾, 濱田, 栄作, 岩切, 宏友, Higa, Tsukasa, Miyagi, Syogo, Hamada, Eisaku, Iwakiri, Hiroto メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/35347">http://hdl.handle.net/20.500.12000/35347</a>

## 生徒同士の相互作用から科学的概念を形成するための授業づくり

- 生徒の見方や考え方のみとりを中心として -

比嘉司\* 平敷りか\* 宮城将吾\* 濱田栄作\*\* 岩切宏友\*\*

\*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

ひとは生後間もない頃から、身のまわりの自然の事物・現象に直面したときに生活で得た経験や学習から自分なりの理解をつくりあげている。こうしてつくり、保持され、利用される概念は、素朴概念と呼ばれ、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異なるものである。素朴概念は学校での科学的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に報告されている<sup>(1)</sup>。

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<sup>(2)</sup>。このことから、知識構成型ジグソー法は、他人と一緒に課題を解いていく過程で、素朴概念を科学的概念へと変化させるのに有効な手立てとなるのではないかと考えられる。

本校理科は前次研究で「科学的な見方や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」をはぐくむ授業に取り組んできた。その結果、科学的な見方や考え方をはぐくむためには教師と生徒並びに生徒間の対話が重要であることが確認された<sup>(3)</sup>。

以上の観点から校内研修の全体テーマである「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踏まえ、主題を「生徒同士の相互作用から科学的概念を形成するための授業づくり」として設定した。

昨年度の主要な成果として、理科の特性を生かした観察・実験を取り入れた教材づくりを行うことができたことが挙げられる。定着度の低い単元において実験

をベースとした教材作成や教科書の内容を基本としたジグソー教材の開発・資料のつくり込みに重点をおくことができた。また、学習者側の変化として、日頃の授業においても、問題解決のための話し合いをする場面がよく見受けられるようになった。これは、生徒自身が対話に慣れ、それが問題解決に効果的であることを実感するようになったためと考えられる。

一方で、生徒に課題を解く価値を生み出せるような「問い」をいかに創り出すかという点について引き続き検討が求められている。すなわち、(1)授業者が、生徒の言葉で解を書いてみて、その上で「問い」が成立するのか、(2)教師側のプリコンセプションには問題がないか、(3)エキスパート資料の切り分け方に無理はないか、(4)認知的葛藤の生成から解消という一連のサイクルにおいて、特に「解消」の仕方を工夫する必要があることなどが挙げられた<sup>(4)</sup>。

以上の2年間の取り組みを踏まえて、今年度は、生徒が自然の事物・現象に対峙する際、どのような見方や考え方をもっているのかを把握することから始めることとした。

そこで得られた知見を、知識構成型ジグソー法の教材づくりに活かし、単元を貫く問いの作成を試みたい。併せて授業前後のみとりからその評価を行っていく。さらに、協調的な学びの実践を積み重ねながら、生徒一人ひとりに科学的概念を形成する授業づくりに取り組んでいきたい。

### II 本研究の目的

本研究では、協調学習の手法を取り入れた探究過程の中で概念変化を生起し科学的概念を形成させることを主な目的とする。そこで、生徒のものの見方や考え

方をもとにした授業づくりを行っていききたい。また、協調学習によって科学的概念が形成されたかについての検証も行っていきたい。

### Ⅲ 研究内容

#### 1 協調による科学的概念を形成するための授業づくり

概念変化については、多くの研究者による報告がなされている。Posner ら(1982)は、概念変化が起こりやすい条件を①既存の概念に葛藤が生じていること②わかりやすい新しい概念があること③新しい概念はもっともらしいこと④新しい概念は、他の現象にもあてはめられることとしている<sup>5)</sup>。この考えは、協調学習による科学的概念の形成をめざす本研究においても大いに参考になるものである。そこで知識構成型ジグソー法の授業の流れに上述の①～④をあてはめ概念変化を促す授業を考えていく。

- ・問いの提示 「①既存の概念との葛藤」

生徒の中にこれまでの考えでは説明できない混乱が起き、その整合性を回復しようとするはたらきを生じさせる。

- ・エキスパート活動「②わかりやすい新しい概念」

提示された問いを説明するのに、これまでになかった新たな考えに触れるさせる。

- ・ジグソー活動「③新しい概念がもっともらしい」

それぞれのエキスパートを寄せ集め統合することで、問いを説明するのに、より確かな考えを得させる。

- ・クロストーク「④新しい概念は、他の現象にもあてはめられる。」

質問したり答えたりする過程で、ジグソー活動で得られた考えを多面的・多角的に捉え、不足なところに



図1 浮沈子の浮き沈みの不思議に触れる生徒達

気づき、補うことで、より確かな考えが構築される。この考えが、他の事象や現象にも汎用できることを確認する。

協調学習によって概念がどのように変化し、科学的概念の形成に至ったかを知ることは、本研究の取り組みを評価する上で重要なことである。そこで、表出される概念の状態を基準に照らし合わせ、授業前後での比較を行うことで概念変化を捉えていきたい。表1は、本校理科で想定する知識構成型ジグソー法を用いた授業における概念変化レベルである。これは白水(2010)によって提示された協調による概念変化レベル<sup>6)</sup>を参考に作成した。ここで、レベル1とは、学習の出発となる各自の最初の意見、言わば予想できる段階を指す。レベル2では、エキスパートの資料をもとに自分なりの考えをもつことができる段階を、レベル3では、協調の過程で知識や経験で互いの仮説を共有し吟味することで説明モデルを構築することができる段階である。最終段階のレベル4になると科学的と認められる説明を構築する段階となる。

授業においては、協調学習による授業を通して生徒一人ひとりが、少なくとも説明モデルの構築以上の段階に到達できることを目標にしたい。

表1 知識構成型ジグソー法による概念変化レベル

(白水 2010、改変)

	レベル	説明
他人の意見も統合する活動	4.形式理論原則	科学的と認められる説明を構築する。
	3.協調による説明モデルの構築	他人と意見を交換しながら仮説の吟味を経て説明モデルを構築する。
個人のできる活動	2.初期理解	エキスパートの内容をもとに自分なりの考えを持つ。
	1.初期仮説	自分一人で問いに対する予想をする。

#### 2 生徒のもつ素朴概念の傾向とその把握

子どもは、日常生活体験や学習の結果から、自分なりのものの見方や考え方をすることが知られている。これは、素朴概念、ミスコンセプション、プリコンセプション、こどもの科学などと呼ばれている<sup>7)</sup>。本校理科では、「素朴概念」という表記に統一している。

堀 (1988) は、素朴概念を「子どもの学習前や学習後にもっている科学的に精緻化されていない知識、概念、見方、考えおよび考え方」としている<sup>8)</sup>。生徒のもつ素朴概念は多くの場合、日常生活の中で積み上げられ、無意識の内に形成、獲得されるものである。フィッシャー (1985) は、素朴概念のもつ性質について、専門家のもつ概念と異なること、日常的な経験や言葉からの影響を受けていること、多くの人に共有されていること、変化が容易でないことなどを挙げている。つまり、学習前に生徒がもっている素朴概念は、生徒の生活体験に裏打ちされた自分なりのものであり、授業者が期待するような科学的なものではない場合が多いのである。授業で教えたはずの内容がなかなか定着しないことに教師が悩むことがよくある。これは、素朴概念の特性の理解を欠いたまま、知識や考えが一方的に伝達されたために起こると考えられる。

そこで、本研究では、生徒が学習前にどのような見方や考え方で自然の事物・事象に接しているのかを知り、その傾向を知ることから始めたい。素朴概念の把握は描画法や素朴概念調査法などがあるが<sup>9)</sup>、本研究においては、対象学年以外の生徒や他教科の教員などにインタビューすることで問いを作成し、その問いに対する反応を調べることで直接的に素朴概念を探りたい。そのことで、学習者の素朴概念により近くはたらきかけることができる問いが設定され、生徒同士の相互作用から科学的概念を形成させることが可能になると考えられる。

### 3 授業をコントロールする因子

教師は、日頃の授業実践の中で授業が様々な因子でつくりあげられ、それらをコントロールすることでより良い授業が行われることを知っている。しかしながら、それぞれの因子自体については漠然と把握していることが少なくなく、そのため、授業の営みが思うようにいかないということも往々にして起こる。実際、期待したよりも生徒の反応が悪かったり、想定していたよりも理解度が低かった授業を振り返ると何かが足りなかったことに気づくことがある。丸野 (2010) は絶えず変化する教師や生徒の状態を把握し授業の営みをコントロールする方略として次の5つをあげている<sup>10)</sup>。

①教師の認知的特性についての知識

②教材やカリキュラムについての知識

③状況や課題についての知識

④学び手の認知特性についての知識

⑤教え方の方略についての知識

これらの各項目についての理解を深めることは、知識構成型ジグソー法の授業を行う際に大いに有効であると考えられる。

ここで昨年度の実践から「②教材について」の認識の必要性を痛切に感じさせられた事例を紹介する。3年「地球と宇宙」の単元で地球の公転を考えさせる際、生徒に地軸を傾けた地球儀を手渡し、「地球はどのように太陽を公転しているのかな?」と質問した。これは、教室でよく見られる光景であり、授業者自身、何ら疑問を抱かなかつた。事実、教科書にも太陽の周りを公転する地軸を傾けた地球が描かれている。しかし、地軸を傾けた地球儀で学習を進めることにはひとつの教え込みが含まれている。図2は、地球の公転を考える際の公転面と地球の地軸の関係を示している。つまり科学的前提に基づいて考えると、太陽を中心とした水平な公転面上を、地球が地軸を傾けたまま回っていることになる。しかし、視点を変えると、公転面そのものが傾き、その上を地球が回っているため地球儀の地軸は垂直でもいいという発想もありうる。このように、公転面から地球を見るのか、地球から公転面を見るのかという、視点変換による関係性に気づく学びがないと公転面を意識しないままで「地軸は傾いている」と機械的に覚えさせる状況を教師がつくってしまうこと

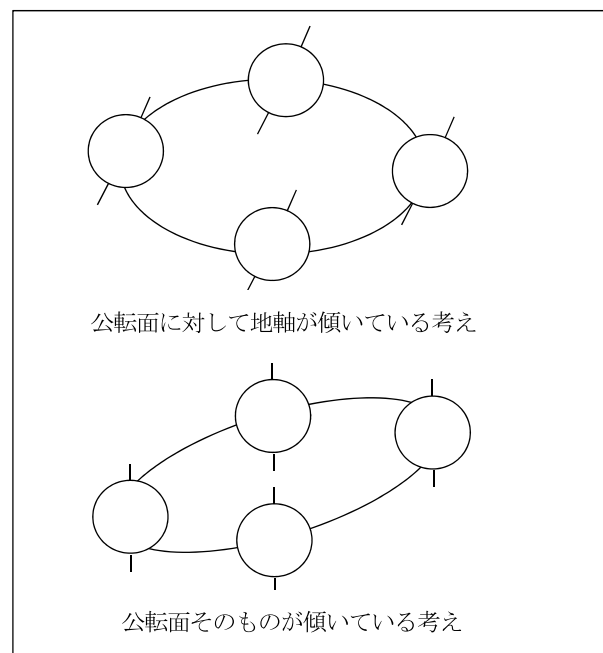


図2 公転面と地球の地軸に関する考え



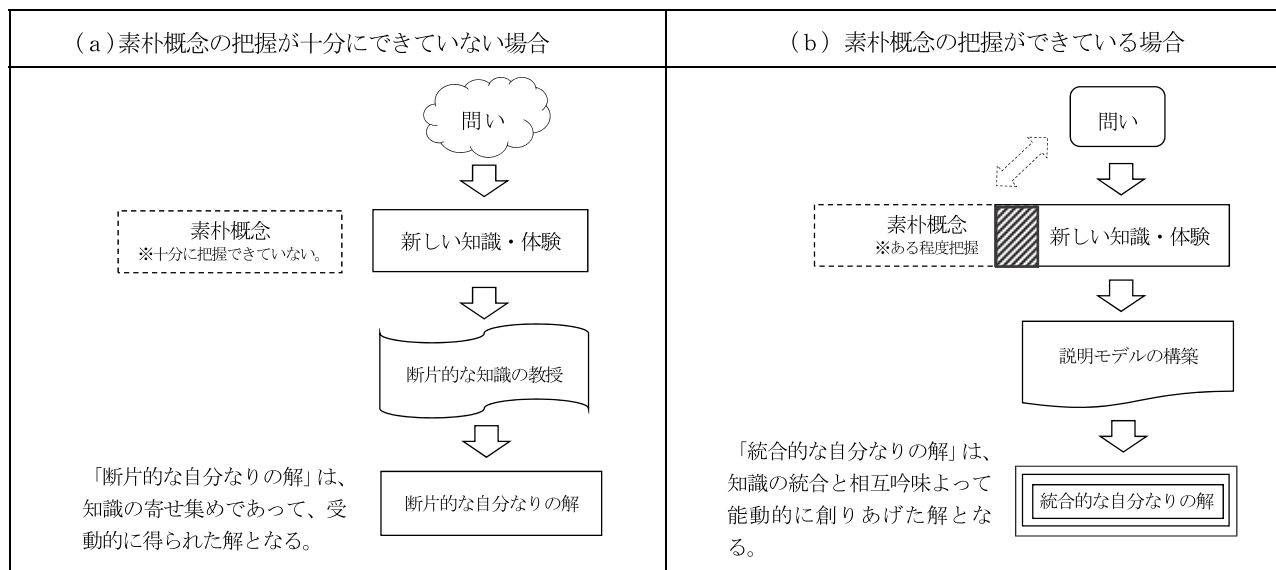


図3 素朴概念の把握と問いにより個が導き出す解の関係

になる。

また、「④学び手の認知特性」は、学習者の素朴概念を含むことから、「③課題（問い）」の在り方に影響していることに気づかされる。授業の教育的効果の高低は偶発的に生起するものではなく、先述した因子のコントロールに起因する。本研究の目的を達成するためにも因子への認識を深めつつ授業づくりに取り組んでいきたい。

#### 4 生徒の素朴概念をもとにした問いの工夫

##### (1) 実践からみえてきた問いの在り方

本校理科では、平成25年度から2年間にわたり知識構成型ジグソー法による授業づくりを行ってきた。そこで、実践者がよく口にすることは、問いの設定の重要性である。扱う題材や資料が同じでも、問いによって授業がまったく別のものになるということである。

知識構成型ジグソー法の学習における問いは、学習の中心に据えられるものであり、学習者は、問いをもとにエキスパート課題を統合して解に迫っていく。問いは、学習者を解という目的地に導くための重要な役割を担っているのである。以下に、これまでの実践から、教育効果が高かった授業の問いに共通する事項をまとめる。

- ① どの生徒にも分かりやすい表現で提示されていること
- ② 知的好奇心を喚起する内容であること
- ③ 既有的の考えだけでは、納得のいく説明ができないこと
- ④ 簡単すぎず、難しすぎず、仲間と協力することで解けるような気がする

①、②については知識構成型ジグソー法に限らず、他の学習方略にもあてはまるものである。しかし③、④については、協調学習の授業を活性化するための特有な事項と言えよう。これらについては、以下に詳しく述べていく。

##### (2) 協調的な深い理解を引き起こす問いとは

先述したように、協調による深い理解を引き起こすためには、前掲の③と④を考慮した問いを設定することが求められる。そのためには、生徒が学習前にどのような素朴概念をもっているのかを知ることが鍵となる。図3に、いずれも問いで始まる知識構成型ジグソー法の授業の流れを示す。図3(a)は、素朴概念の把握が十分にできていない場合、図3(b)はそれをある程度把握できている場合である。

素朴概念の把握が十分にできていない場合、提示する新しい知識・体験は、素朴概念とどのような位置関係にあるか分からないまま授業が進行していく。そのため、大半の生徒は、問いの答えを見いだす手続きを踏むことに力を注ぐ傾向にある。言わば、エキスパート活動で知識を得、ジグソー活動で伝え合う形式だけの知識構成型ジグソー法の学習になると思われる。結果として学習者の概念変化レベルは、説明モデルを構築するまでに至らないということになる。

一方、学習前の素朴概念を把握した上で問いを設定した場合、新しい知識・体験と素朴概念に重複する領域の設定が可能となる。そのため、学習者が、問いに

直面したとき一人で答えを出したくなる状況を創出することができる。その結果、エキスパート活動、ジグソー活動から得た自分の考えを他者の考えと統合し、クロストークを経て自分の考えを再考・再構築するという深い学びが引き起こされるのである。最終的に得られた解は、相互吟味を繰り返す中で、本研究がめざす科学的概念へと近づきやすくなる。

## 5 科学的概念のみとり方

### (1) ワークシート分析

学習の前後における生徒個々の理解の変化をみとるためにワークシート(図4)を分析した。特に「授業前」の考えと「クロストーク後」の生徒個々のまとめの比較は重要である。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的概念の方向に理解を深めたかを見とることができる評価資料だと考える。教師は課題に対する「期待する解」を予想される生徒の思考から明確にし、どの程度記述されたかみとった。

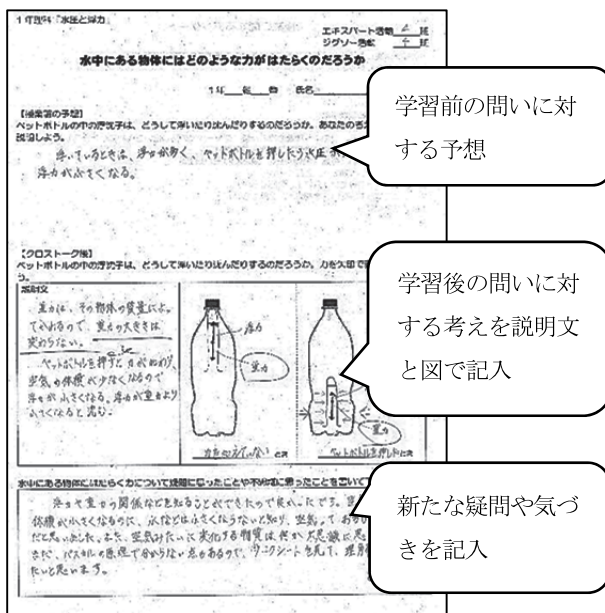


図4 みとりに使った生徒のワークシート

### (2) アンケート・発話分析

知識構成型ジグソー法により協調的な学びが引き起こされているかワークシートでのみとりが難しい点については、アンケートやインタビューで授業分析を行った。また、必要に応じて動画撮影を行いICレコーダーの録音と併用して授業づくりの振り返りに用いたり、生徒の活動の振り返りを行った。

## IV 授業実践

### 1 1学年実践事例「浮力」

#### (1) 主題

浮沈子は、どうして浮かんだり沈んだりするのだろうか。

#### (2) 目標

- ・浮沈子が、浮き沈みする現象を観察させることで水中にある物体にはたらく力について興味・関心を喚起する。
- ・物体にはたらく浮力と重力を矢印で表記させることで相互の関係から浮沈子の浮き沈みを自分なりに説明できるようにする。

#### (3) 本実践の目的

「浮力」は、第1学年の単元「力と圧力」の中で扱われる。単元では①水中の物体には、「浮力」がはたらくこと、②「浮力」の大きさは、水中の物体の体積によること、③「浮力」は、物体の上面と下面に作用する水圧の差によって生じることの3点を理解することをねらいとしている。「浮力」については、学習内容の定着が難しいこと、誤概念が生じやすいことなどが指摘されており、教授に工夫が必要な箇所でもある。そこで、実践に先立ち事前調査やインタビューを行い、生徒が「浮力」についてどのような見方や考え方をもっているかを知ることからはじめた。その上で、得られた結果を踏まえ生徒間の相互作用を促す問いやエキスパート資料を作成し授業を行った。単元終盤、生徒の「浮力」の考えがどのように変化していくのか事後調査を行い、みとりを行った。

授業では、栓をしたペットボトルに力を加えたり緩めたりしたときの浮沈子の浮き沈みを観察させ、水中にある物体にはたらく力について考えさせる。生徒は、水中にある物体の浮き沈みについて浮力の有無だけで考えがちである。つまり、浮沈子が浮くときには浮力がはたらき、沈むときには浮力がなくなるというものである。そこで浮沈子にはたらく浮力と重力を矢印で表記させることで浮沈子の浮き沈みを相対的に理解させたい。単元の導入で知識構成型ジグソー法による授業を行うことで「水圧と浮力」に関する興味・関心を喚起するだけでなく、自分なりの深い理解を得ることができると考えられる。生徒に、単元の最初で既有知

識では説明できないことに気づかせたりすることでその後の学習に課題意識をもって取り組ませることができると考えられる。本実践が、最終的には「水圧と浮力」の正しい知識の定着に繋がることを期待した。

#### (4) 実践内容

##### ① 事前調査

本実践に先立ち生徒が「水圧と浮力」をどのように捉えているか中学3年生38名、2年生40名、1年生156名を対象に調査を行った。調査については、新里ら(2014)の調査を引用にした<sup>41)</sup>。内容は次の通りである。

質問1 物体が受ける水圧の大きさを選択する問題  
 質問2 水深の異なる2つの物体が受ける水圧の大きさを矢印を用いて図示する問題  
 質問3 水深が異なる2つの物体に働く浮力の問題

調査の結果を図5に示す。物体が受ける水圧の大きさを正しく答えられた生徒の割合は、中学3年生で21%、2年生30%、1年生32%となり水圧を学習する前よりも学習後の2年生、3年生で低く、学習内容の定着が低いことが分かった。水圧の矢印を正しく描けた生徒の割合は、3年生で8%、2年生で18%、1年生で7%となった。この結果は全ての学年で質問1の割合よりも低かったことから、水圧を量的に捉えさせることに課題があることが分かった。水深の異なる物体に働く浮力を正しく答えられた生徒の割合は、中学3年生で43%、2年生で28%、1年生で22%となり、3年生で他の学年よりも高くなる傾向が見られた。3年生では、質問1

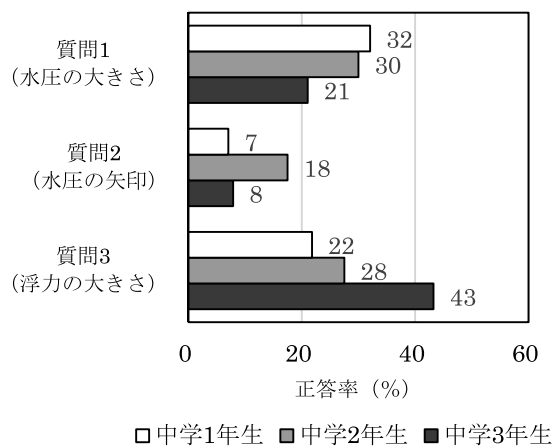


図5 水圧と浮力に関する質問に対する正答率

で水圧が水深に関係なく一定と誤って答えた生徒が最も多く、質問3で浮力が水深によらず一定であると正しく答えた生徒が多かった。このことから生徒は、水圧と浮力を混同して捉える場合があることが分かった。

以上を踏まえ次の点に考慮して問いを作成した。

- ・力を矢印で表記させることで、力を量的に捉えさせる。
- ・水圧は圧力であり、浮力は物体にはたらく力であることを意識させることで水圧と浮力の混同をさげさせる。
- ・浮力と体積の関係（アルキメデスの原理）を理解させる。

##### ② 本時の授業

###### (ア) エキスパート活動

エキスパート活動は、くじで決めた男女混合の3人班で行った。活動は15分とし、時間内にまとまらない場合でも時間を延長しないこと。班で意見交換しても分からない場合は、隣の班に聞きに行ってもいいことを伝えた。

###### 資料A パスカルの原理（概略）

- ・パスカルの原理は私たちの身近で応用されていること
- ・密閉された容器内の気体や液体に加えた力は気体や液体の中で伝わり容器の面に垂直に加わること



図6 エキスパートAで用いた密閉容器内の液体に加えた力が面に垂直に加わることを説明する図

###### 資料B 浮力（概略）

- ・水中では、物体に上向きの力が生じ、これを浮力ということ
- ・浮力は、物体の水中部分にある体積が大きいほど大きく、深さに関係しないこと
- ・水中にある物体の浮き沈みは浮力と重力の大きさの関係によること

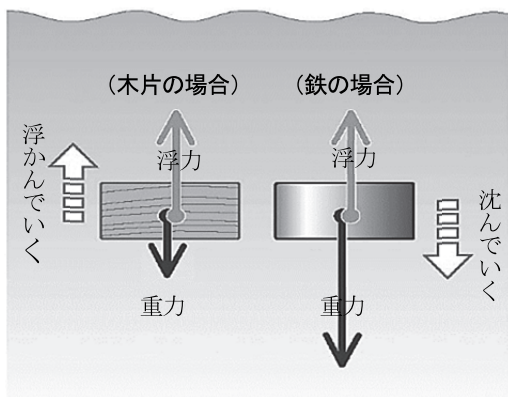


図7 エキスパートBで用いた物体が浮き沈みするときの浮力と重力の関係を説明する図

資料C 力の表し方 (概略)

- ・物体にはたらく力は、矢印で表せること
- ・力の合成では、2つの力が直線上に同じ向きにはたらくとき、矢印を合わせることができること、また逆向きにはたらくとき矢印を差し引きできること

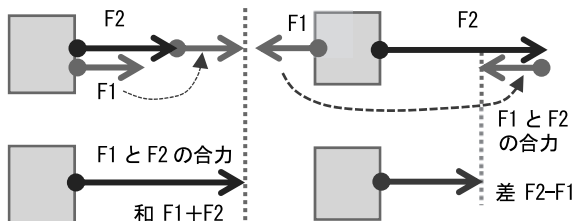


図8 エキスパートCで用いた2力(F1とF2)が直線上にはたらいた時の力の合成と合力を説明する図

(イ) ジグソー活動

ジグソー活動は、予めくじで決めた男女混合の3人班で行った。時間は、それぞれのエキスパート資料の紹介と質疑応答に5分、課題「浮沈子はどうして浮かんだり沈んだりするのか力を矢印で表し説明しよう」に10分とした。活動中、分からない箇所があった場合は、自分だけで悩まず班員に聞いてもいいこと、相談を受けた場合は班員同士で助け合い理解を得ることを伝えた。活動中、教師は生徒が書いたホワイトボードの内容に目を配りつつ巡回した。先行実施クラスで、全ての班の考えを出させることに注力してしまい、考えが早くまとまった生徒のやる気を削いでしまったり、考えの浮かばない生徒に答えを無理強いすることにもなってしまった。この反省を受けて、考えのまとまった班から順に発表させ生徒の思考がより活発になるよ

うはたらきかけた。

(ウ) クロストーク

クロストークは、次時に行った。ここでは、ジグソー活動で得られた各班の考えを発表することからはじめた。説明を聞いている生徒の表情を観察し、状況に応じて質疑・応答に入った。質問がなかった場合は、教師の方から質問を投げかけ、考え方の違いに目を向けさせた。クロストークでは、教師は解を導き出すための知識や考え方に気づかせることに注力した。生徒のようすを見計らい一人まとめの時間をとった。その際、自分の考えが学習前と変わってもいいこと、説明文だけでなく図を用いてわかりやすくまとめることを伝えた。

③ 事後調査

事前と事後の調査結果を比較することで生徒の考え方の変化をみとった。なお、事後調査は中学1年生で実施し、事前調査と同じ質問を用いた。結果については、後段で詳述する。

(5) 実践内容

① 生徒の学習の評価

授業では、浮沈子の浮き沈みを実験で体験させた後、課題「浮沈子はどうして浮かんだり沈んだりするのか力を矢印で表し説明しよう」に取り組ませた。図9に課題に対して生徒に答えて欲しい解答を示した。

**【説明文】**  
 ペットボトルに力を加えると浮沈子内の空気の体積が減るため浮力が小さくなる。このとき、浮力は重力よりも小さくなるため浮沈子は沈む。力を緩めると浮沈子内の空気の体積が増えるため浮力も大きくなる。浮力が重力よりも大きくなるため浮沈子は浮かぶ。

**【図】**

<力を加えたとき>

<力を緩めたとき>

図9 課題に対する想定解 (説明と図)



生徒の学習の評価は、学習前、学習後、単元終了後に記入してもらったワークシートの記述内容を図9の想定解に照らし合わせて行った。また、生徒個々が浮沈子の浮き沈みをどう捉え、その考えが学習の前後や単元終了後でどのように変容していくのか記述内容の分析を行った。課題に対する想定解にたどり着くために必要な視点は表2の通りである。ここでは、3名の抽出生徒の浮沈子が浮き沈みする考え方が変化していくようすを紹介する(表3)。

表2 想定解に到達するのに必要となる視点

①力を加えると空気は圧縮され体積は小さくなる。
②空気の体積が小さくなると浮力は小さくなる。
③空気の体積が変化しても浮沈子の質量は変化しない。そのため重力も変化しない。
④浮き沈みは浮力と重力の相対関係で決まる。
⑤力を量的に捉え力を矢印で正しく表すことができる。

生徒Sは、思考が深くじっくり考えるタイプの生徒である。生徒Sは、ペットボトルに力を加え、何度も同様の操作を繰り返していた。学習前の記述から生徒Sは既に浮沈子の浮き沈みが空気の体積変化に起因することを予想している。学習後には①～⑤の考えを得、自分なりに表現している。生徒Sは、最終的に重力を1Nとし、数値で説明するまでに至っている。クロストークの際、浮沈子の質量が変化することが浮き沈みの原因と主張する生徒に「水中にある試験管(浮沈子)に水が入っても質量が大きくなるっていの？」と質問したり、分からない生徒には、浮沈子をイラストで描き何度も説明していた。生徒Sのはたらきかけは、誤概念をもった生徒へ考えを修正するためのきっかけになったと思われる。

生徒Tは、理解力はあるが自分の考えをもつまでに時間を有するタイプの生徒である。生徒Tは学習前、独自の視点で水の動きに着目し、「重力が大きくなり沈む」と誤った考えをもっていた。授業中も、「浮沈子って水が入るから重くなるよね」と班員に終始確認していた。授業後、この誤概念は正されたが、浮力と重力を正しく矢印で表すことはできていなかった。感想欄に「空気の体積が小さくなったぶん試験管の中に水が入ると重さが重くなるのでは？なぜ重力は変わらないの？」とすっきりいかない様子であった。単元終了後には①～⑤の全ての考えをもつようになっていたが、後日、インタビューしたところ、クロストークで議論

となった「重力は変わるのか、変わらないのか」で、浮沈子が試験管とその中の空気から成ることの説明を聞き、納得を得るに至ったことを知った。

生徒Aは、直感的にものごとを捉え、深く思考するのが苦手な生徒である。実験中、「オー、何これ！」とはしゃいでいた。生徒Aのワークシートには、力を加えたら浮沈子が沈む事実の記載のみであった。学習後、力を加えると空気の体積が小さくなり、浮力も小さくなることは説明できていたが、浮き沈みについて重力と浮力の相対関係で説明するまでには至ってなかった。また、生徒Aは、生徒Tと同様に質量が大きくなるという誤概念をもっていた。この生徒の大きな変容は、浮力と重力を矢印で表そうとするようになったことである。相対的な捉えまでには達していないが、作用点を書き、そこから矢印を表そうとしたことは力を学ぶ上で大きな一歩と言える。特筆すべき点として、生徒Aは、単元終了後の調査で「重力の大きさは変わらないという言葉が印象に残った」と記していたことがあげられる。これは、単元の導入で知識構成型ジグソー法による授業を行うことで、その子なりの疑問が持続し、分かりたいというモチベーションを高めたことを示唆するものと言えよう。

中学1年生における事前・事後の調査結果を図10に示す。全ての質問で学習前より学習後の方が正答率が高くなっていることから、水圧と浮力に関する正しい知識の定着が図られていることが分かる。質問1と質問3の両方の正答率が向上したことから、問いの工夫が、水圧と浮力の混同の解消に一定の効果をもたらしたと言えよう。また、質問2で学習前7%と低かった正答率が48%に推移した。水圧や浮力を学習する上でこの成果は大きいと考えている。それは水圧や力を量的

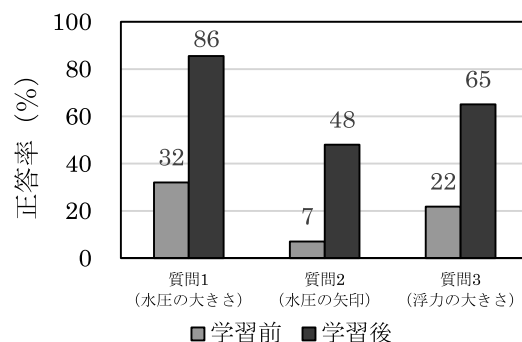
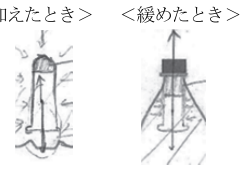
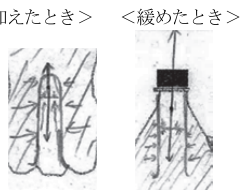
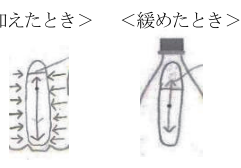
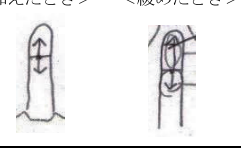
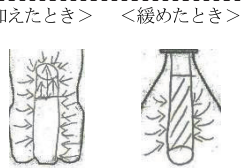
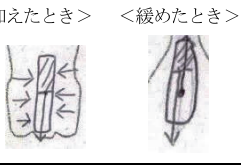


図10 1年生を対象とした水圧と浮力に関する質問に対する正答率の比較(学習前後)



表3 課題「浮沈子はどのようにして浮いたり沈んだりするのか力を矢印で表し説明しよう」に対する抽出生徒の解の変容（学習前、学習後、単元終了後）（原文のまま）

	記述内容	視点						
		①	②	③	④	⑤	誤	
S	【学習前】 試験管の中に入っている空気の体積がペットボトルを押すことで小さくなったから（空気の体積以外は変化していない。）	△	×	×	×	×	×	
	【学習後】 密閉された容器の中で力を加えると物質すべてに力がかかる。でも水の体積は小さくならない。しかし空気の体積は圧縮され小さくなる。すると体積が小さくなったことで浮沈子にかかる浮力は重力よりも小さくなり沈む。		○	○	○	○	○	×
	【単元終了後】 密閉されたペットボトルに力を加えると浮沈子の中にある空気の体積が小さくなります。浮いているときにかかる重力が1Nだとしたとき浮力はそれ以上かかっています。しかし空気の体積が小さくなると浮力が小さくなり重力1Nより小さくなったので沈んだと思います。		○	○	○	○	◎	×
生徒T	【学習前】 力を加えると居場所を失った水たちが空気の中に入るので <u>重力が大きくなり沈む</u> 。	△	×	×	×	×	●	
	【学習後】 手でおすと垂直に力が加わるので浮力が小さくなり、空気の体積が小さくなる。重力は質量が変わらないと変わらないのでしずむ。		○	○	○	△	×	×
	【単元終了後】 ペットボトルを押すと空気の体積が小さくなり重力が浮力より大きくなるので沈む。逆に浮かんでいるときは、空気の体積は変わらないので浮力が重力より大きいので浮かぶ。		○	○	○	○	○	×
生徒A	【学習前】 手でペットボトルを握って押したから。	×	×	×	×	×	×	
	【学習後】 浮いている時は空気が圧縮されていないため浮力が大きい、沈んでいる時は空気が圧縮されているため、浮力が小さくなるので <u>質量が重くなり沈む</u> 。		○	○	×	×	×	●
	【単元終了後】 浮いている時は空気が圧縮されていないから浮力は大きい。沈んでいる時は空気が圧縮されているから浮力が小さい。浮力は空気が圧縮されるかされていないかによって大きさは変わるが、重力の大きさは変わらない。		○	○	○	△	×	×

視点①力を加えると空気は圧縮される。（または体積は小さくなる。）

②空気の体積が小さくなると浮力は小さくなる。

③空気の体積が変化しても浮沈子の質量は変化しない。（または重力は変化しない。）

④浮き沈みは浮力と重力の相対関係で決まる。

⑤力を量的に捉えることができる。（正しく図示することができる。）

※ 下線部は、誤概念を含む生徒の表記を示す。

に捉え、正しい矢印で表すことは生徒にとってハードルの高い概念だからである。本単元の後、大気圧の学習を行った際、一部の生徒が簡易式真空装置内の風船が膨張するようすを風船の内と外に矢印を書き説明していた。その生徒は風船内の矢印の長さは変化せず、外の矢印が変化すると大気圧を相対的に捉えていた。これは、本実践で培った力を量的に捉える概念が大気圧の理解を深めることに繋がった例である。

次に抽出学級 39 名の学習前、学習後、単元終了後での、生徒の想定解に対する到達状況から授業を振り返る(図 11)。ワークシートの評価は次のような基準で行った。浮沈子が浮き沈みする理由を視点①～⑤を用いて説明できた場合を満足できる段階とし「A 評価」とした。「B 評価」は、概ね満足の段階で視点①～④を自分なりの表現で述べているが表 2 の視点⑤の力を量的に捉え図示することが欠如している場合とした。また、記述はされているが説明が十分でなかったり、根拠のはっきりしないものを不十分な段階「C 評価」とした。

学習前の予想では、39 名中 32 名(82%)が何らかの記述を行っていたが、学習前でもあり科学的な根拠に乏しかった。時間を延長することなく切り上げたこともあり 7 名(18%)が無答であった。学習後の記述では、21 名(54%)が A 評価、18 名(46%)が B 評価、に達することができた。

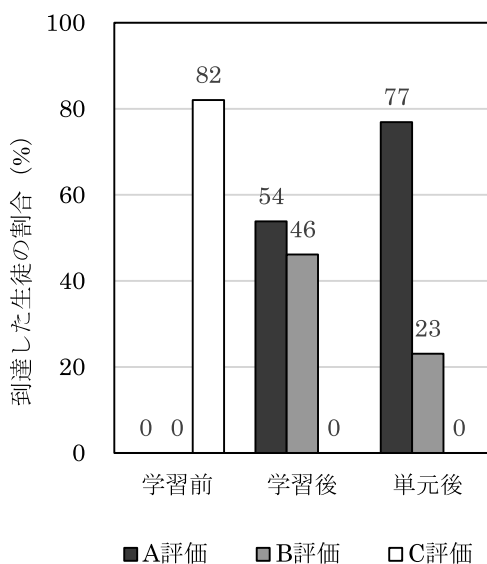


図 11 想定解に到達した生徒の割合  
(学習前、学習後、単元終了後)

単元終了後には、30 名(77%)の生徒が A 評価に到達できたが、9 名(23%)が B 評価に留まった。単元導入時の知識構成型ジグソー法による授業を行った直後には、概ね満足の B 評価に約半数もの生徒がいたが、単元終了後には、約 2 割となっていた。授業後、教師はあえて答え合わせをせず「水圧と浮力」の学習に入った。このことから、生徒は、導入直後に完全な形で説明できなくとも、学習の流れの中で欠けていた知識や考えを得、十分な説明ができるようになることが分かった。一部の生徒の発言や表情から導入時に抱いた気づきや新たな疑問がその後の学習に向かう意欲を高めているように思われた。

## ② 実践を踏まえた授業の改善点

本実践では、単元「水圧と浮力」の導入時に知識構成型ジグソー法による授業を行い、生徒の見方や考え方が授業前、授業後、単元終了後でどのように変容しているかを知ることをねらいの一つとした。

実践を通して、2つのことを改善点としてあげたい。1つは、想定解の設定である。当初、生徒が浮沈子の浮き沈みを説明する際、重力と浮力の大小関係で捉え、それを矢印で量的に説明できるようになることをねらいとした。しかし、生徒の中には、浮沈子が浮いている場合と沈んでいる場合では重力が変化するという考えが生じていた。前半実施の 2つのクラスでは、その重要性をあまり感じず授業を行った結果、授業後に想定解に達した生徒が全体の 2 割程度とかなり低かった。その反省を踏まえ重力の変化に触れている班の意見を取り上げクロストークさせることで重力が変化するという考えの拡散が収束へと変わることが分かった。

このように、授業者にとって教科論で先述した「④ 学び手の認知特性」を意識することの重要性を痛感させられる結果となった。今回の場合、ゴールを予め 2 つ設定し、1 つの目の重力と浮力の関係性に気づかせた後、最終ゴールに向かわせることで生徒の理解を高めることができたと考えられる。

2 つ目は、単元導入後の授業の構成である。協調学習の後、生徒の思考は深くなると言われる。これをその後の実験や授業とどう結びつけば更なる思考の深化を促し効果の高い学習がなされるのかということである。そのためには、単元の中で生徒に身につけさせたい力を明確に捉え、その達成に協調学習という授業形態がどのような効果を及ぼすかを知り活用することが必要と考える。

## 2 2学年実践事例「電流の性質とその利用」

### (1) 主題

電流の正体は一体何か

### (2) 目標

電流の正体は、物体を移動する電子であるということを微視的な視点で理解する。

### (3) 本実践の目的

本実践においては、単元の前後に電流の正体である電子をイメージさせる活動と時間を一人ひとりに確保することで、より効果的に電流の性質について微視的な視点で理解させることを目標としている。

生徒同士の相互作用から電流の正体について科学的概念をつくるために、単元をつらぬく「問い」をたて、新たに得た知識をどのように結びつけて理解していくのかについて明らかにすることを目的とした。本単元に取り組んだ約3ヶ月間の生徒の記述内容から理解のようすを分析した。分析には抽出学級の1クラス40名全員のワークノートを用いた。

電流単元の学習内容は、目に見えない現象を扱うことや計算問題を扱うことなどから、中学理科において苦手意識の高い分野である。一般的な単元の進め方としては、電流の正体を扱う前に「電流の性質」から入ることが多い。そのため、生徒は、電流とは一体何であるかを考えないまま、電流や電圧の測定方法を習得することになる。もちろん、その場合は電流の水流モデルなどを用いて理解を助けているが、生徒に単元の見通しを持たせないまま授業を進めていくことに多少違和感があった。

そこで、単元の導入時にガイダンスも兼ねて、これから授業で扱う学習内容を知識構成型ジグソー法のエキスパート活動の資料に落とし込んで授業を計画した。その後、「電流の性質」「電流の正体」「電流と磁界」という小単元構成で授業を行った。また、「電流と磁界」の小単元に入る前に、復習として教科書を用いて知識構成型ジグソー法の授業を取り入れた。

電流の単元が苦手な生徒を観察していると大抵の場合、回路における電流の出入りのイメージを持っていないことが多い。そこで、導線の中を電流が流れる場合には電流の向きは一定であるという概念以外に「非常に小さな粒が回路を流れている」という概念を単元

2. 今の知識で考えられる、答えを書いてみましょう。

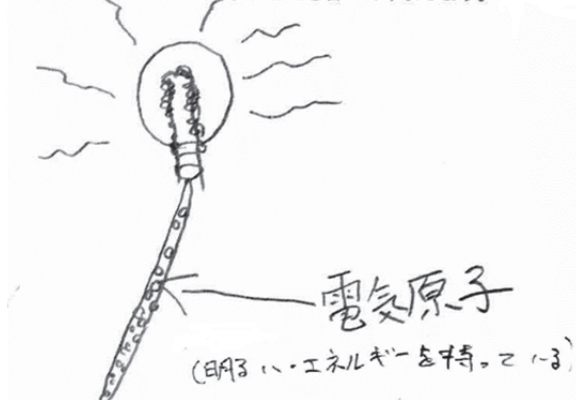


図12 電流の正体について生徒Aが授業前に描いた図

の導入段階で押さえておけば、苦手意識の軽減につながるのではないかと考えた。

また、協調学習を活用すれば、電流のイメージについて容易に生徒個々の考えを引き出すことができ、それら进行交流させる活動と時間が確保されるので生徒同士の相互作用が期待できる。単元の導入時に電流のイメージを拡散させつつもある程度つかませて、単元を通して終盤で再度「問い」を変えて電流の性質について聞いてみる活動を計画した。

単元導入時の生徒のワークノートの記述と、単元の終盤の生徒のワークノートの記述を抽出学級の全員分を分析し、協調学習によって生徒の理解がどのように進んでいくのかのみとりを行った。

### (4) 実践内容

授業に入る前に、生徒が問いに対してどのような考えを持っているのかワークノートに書かせてから(図12)、エキスパート活動に入っていった。これらの授業前の考えは、単元を通してどのような考え方に変容するのかをみとりの材料として活用した(図15)。

#### ① エキスパート活動

エキスパート活動で用いる資料は、単元の導入で用いる教材なので、生徒がこれから学習する単元について全体の見通しが持てるような工夫を行った。具体的には「静電気」「雷」「原子の構造」という3つの視点、これからの学習内容と関連のあるものと日常生活で目にする自然現象とを結びつけられるようなものにした。

班の構成は、授業の初めにトランプを配布し、そのマーク(♥♠)でエキスパート活動時に担当する資料を決めた。またトランプの数字(A~K)でジグソー班の

テーブルに移動してもらった。これまでの協調学習の授業において、エキスパート資料の理解の度合いが、最終的な理解を妨げることへの影響はさほど大きくないという経験から、班は意図的な構成にはしていない。エキスパート活動の資料概要は以下の通りである。

**エキスパートAの資料内容**：静電気のしくみ

- ・電気には＋と－がある。
- ・ものどものを擦り合わせると静電気がおきる。片方がプラスに、もう片方がマイナスに帯電する。
- ・摩擦帯電列の記載。

**エキスパートBの資料内容**：雷のしくみ

- ・雷雲の中にある氷の粒が、上昇気流のせいでこすれ合っているうちに、雲の中に電気がたまる。
- ・電気は＋と－の性質がある。
- ・雲にたまった－の電気と地上にたまった＋の電気が引き合って、電気が一気に放電される。

**エキスパートCの資料内容**：原子の構造

- ・原子は原子核と電子で構成。
- ・原子核は陽子と中性子で構成。
- ・陽子は＋の電気を持ち、－の電気をもった電子が同数個の場合、打ち消し合って外へは出ない。電子は原子核の周りを飛んでいるが、飛び出しやすい。

## ② ジグソー活動

ジグソー活動においては、エキスパート活動で取り組んだ「静電気」「雷」「原子の構造」の視点を持ち寄り、電流の正体が電子であるということをつかむことを想定した。

## ③ クロストーク

エキスパート活動からクロストークの一連の流れは



図13 クロストークで電流の正体を説明している様子

1時間想定で進めた。1学級に班は13あるが、時間内で3班発表できた(図13)。授業中、班を回りながらほとんどの生徒のワークノートを見ると「電流の正体は電子である」という捉えが出来ていそうだったので、次時へクロストークを持ち越す必要性はないと判断した。

発表した3つの班は、静電気現象と雷現象を一般化して、擦り合わせた物体間で電子の移動が起こると説明していた。

## ④ 想定している解

クロストークを経て、ワークノートに書いて欲しい答え想定している解は、導入段階の解であるので、以下のように、端的な説明レベルから詳細な説明レベルまで幅を持たせた。

- ・電気の正体は、物体を移動する電子である。
- ・静電気の場合は、ものどものをこすることによって電子がとび出てきて、物体どうしを引きつけ合ったり、反発したりしている。雷の場合も、雷雲の中にある氷の粒が擦れ合っているうちに、雲の中に電気がたまって地表へ向かって電子が移動する。このどちらも電子が移動するので、電流の正体は、電子が移動することである。

## (5) 実践内容の分析

### ① 単元前後に活用する協調学習の授業デザイン

電流とその利用という単元(導入、章末まとめを含む全32時間)における標準的な扱いは、「電流の性質(16時間)」「電流の正体(6時間)」「電流と磁界(8時間)」という3つの小単元からなる。今回の試みは、協調学習を単元の導入(Jigsaw 1:Fig.1)と単元の終盤(Jigsaw 2:Fig.2)に取り入れることによって、電流の基本的な性質についての科学的概念を形成しやすくなるのではないかと考え授業デザインしたことである。

その結果、予想外だったのは「電流の性質」と「電流の正体」のつながりを重要視したデザインとしたつもりであったが、「電流と磁界」に登場する「モーターのしくみ」や「電磁誘導」「発電機のしくみ」については、教師が教授しなくても教師の発問による班の話し合いだけで学習内容を理解することが出来るようになった。導入で電流の正体についてある程度の理解が出来ていたために、後半の授業の理解が



進んだのか因果関係は不明だが、少なくとも電流について話し合う雰囲気は単元の最初につくられたので、生徒の相互作用が起きやすかった可能性がある。

生徒の相互作用がみえたエピソードとしては、単元の終盤でジグソー活動の最中に、理科の得意な生徒 C が、電流の動きを擬人化して理科の苦手な生徒 T に説明していたことがある。生徒 C は「休み時間は俺たち、教室をあちこち走り回っているけど、ベルが鳴ると一斉に教室に入るよね。僕らは電子で、ベルが鳴るのは電圧が・・・」と例えて説明した。

生徒 T は、「なら、サッカーでも説明できるかも」と思い立ったようで、電圧がかかっていないときの電子の動きをゴールのないサッカーのパスゲームで説明し、電圧がかかったときの電子のふるまいは試合時の選手の動きに例えてきちんと整理して説明していた(図 14)。

クロストークで発表してもらうと、クラスメートにその説明だとすごく分かったと褒められてうれしそうであった。上手い説明だったので、他のクラスのクロストークの時にその説明を紹介すると他のクラスでも感心する声が上がった。授業後の生徒 T のワークノートには、授業はよく分かったこと、クロストークのときに図を書いて説明すればもっと良かったと前向きな感想を書いていた。

生徒 T は導入時の協調学習では電流の正体については各々の情報を統合的に知識として構成することはできなかったが、単元の終盤でようやく好きなサッカーに置き換えて説明モデルを考え、理解を深めていた。電流の正体をそれ以降の授業でも意欲的になり、授業中の表情が生き生きとするようになった。

協調学習では、教師の説明や表現では理解できない生徒にとっては、多様な表現にふれる機会と新しく得た知識を試してみる時間が確保されている。また、協調学習の授業では授業者は進行役に回れるので、教師主導の授業に比べて生徒同士の対話から生徒固有の考え方に立ち会える機会が多くなる。そのため、授業者は生徒の誤概念も含め、それらのやり取りから次の授業づくりに反映させるサイクルも生まれる。

生徒のみとりに関して言えば今回の事例のようにある生徒の説明が契機となって自分なりの理解の方法で科学的概念をつくっていく様子を垣間見することも可能だ。多様な理解の生徒同士の相互作用によって、科学的概念を形成させるために協調学習を単元に組み込ん

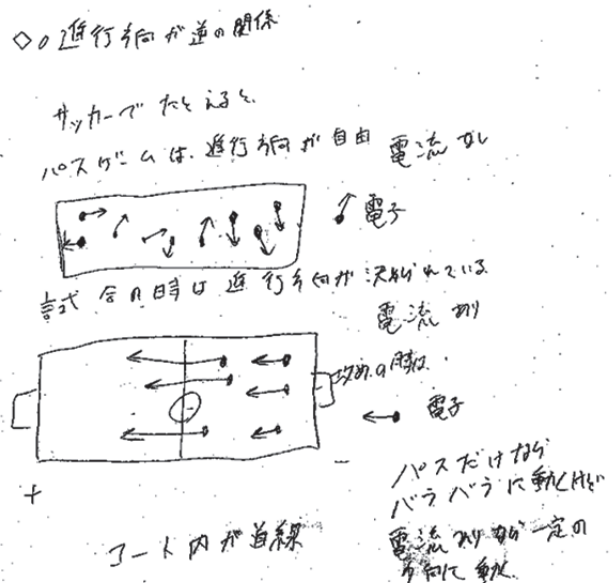


図 14 金属内の電子の動きについて、生徒 T がサッカーのゲームの比喩で表現したワークノート

だ授業デザインは役割を果たしていると推察できる。

② 電流単元における形成的評価と総括的評価

公開授業における公立学校からの参観者からよく「先生がまとめを言わないでいいのかわかるようになるのか」などという質問や指摘が多い。生徒の思考にそっていきと授業は 1 時間だけで完結する場合は少なく、次時で腑に落ちることや単元の終盤に理解できるようになることはよく経験している。それらを可視化するために、協調学習を通して生徒はどのように科学的概念を獲得していくのか、生徒が書いたワークシートをもとにクラス全員(40名)の理解の変容を追跡した。これまで本校理科では 1 単位時間のみとりにには取り組んでいたが、約 3 ヶ月間の単元を通して電流の正体に関する概念のみとりに行ったのは初めてである。

図 15 の各線は、電流単元の導入時と終盤で協調学習(知識構成型ジグソー法)をした際の一人ひとりの理解状況を、枠内網掛けは誤概念を示す。注目して欲しいのは、導入時の授業前に答えに近い知識を持っていた生徒(点線)でも単元終盤では記述内容がより精緻になっていた点である。また、導入時に無回答の生徒(太実線)と誤概念(細実線)を持っていた生徒の割合は 90%であったが、授業後には 8%に減少していた。



協調学習の各授業における問い  
Jig.1 の Q : 電流の正体は一体何か？

Jig.2 の Q : 導線を通る電流は電子とどのような関係があるのか？

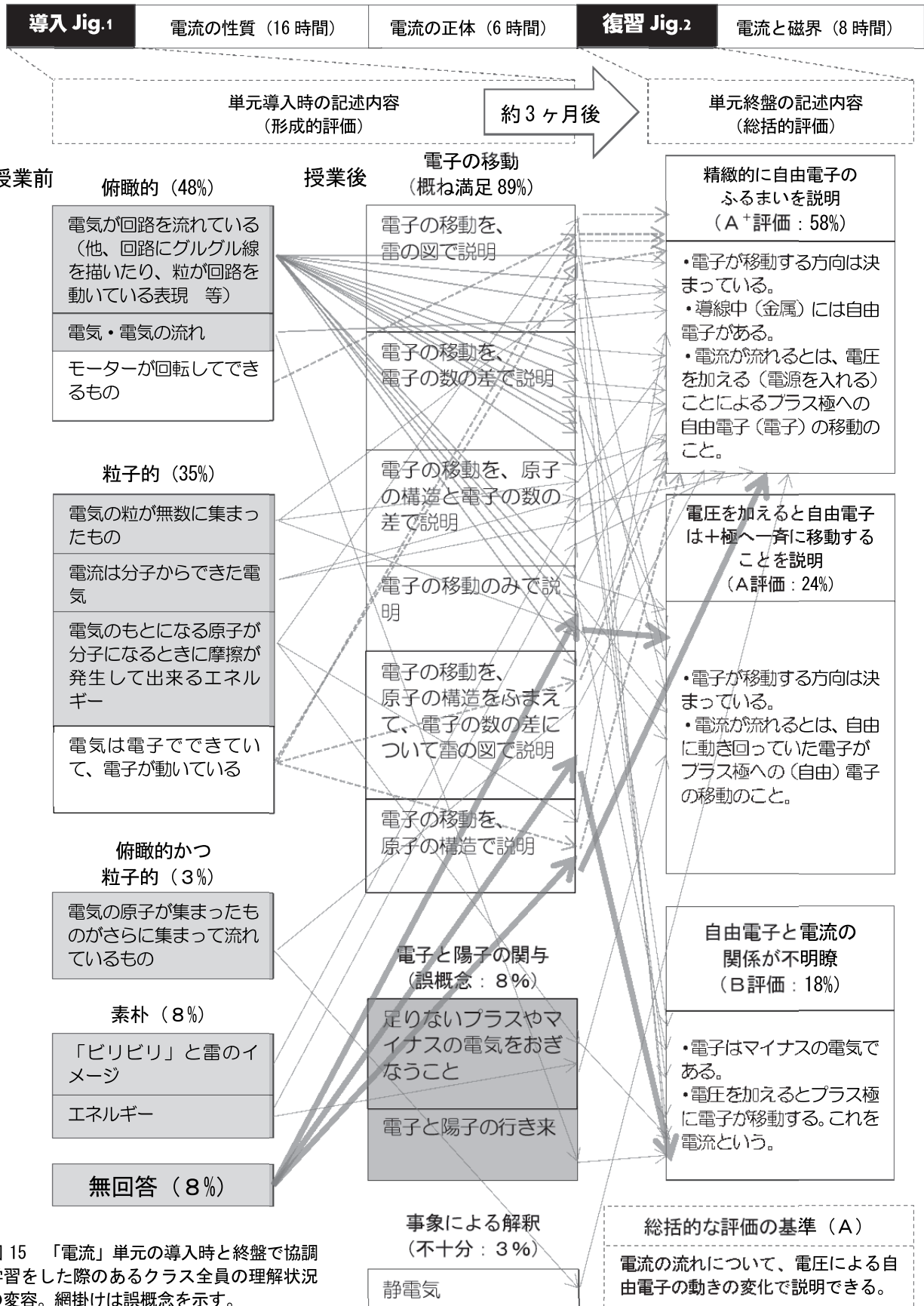


図 15 「電流」単元の導入時と終盤で協調学習をした際のあるクラス全員の理解状況の変容。網掛けは誤概念を示す。

図 15 に示すように、無回答の生徒 3 名のうち (太実線)、2 名は授業後には概ね満足の記事をし、そのうち 1 名は単元の終盤には精緻な説明記事を行った。一方、導入時の授業では誤概念が解消されなかった生徒は 40 名中 2 名いた。また、授業時に電流に関して素朴なイメージしか持っていなかった生徒が、単元の終盤では A 評価に達していた。総括的な評価基準の A 評価に 82% の生徒が到達、B 評価は 18%、C 評価はいなかった。B 評価の生徒でも記事に誤概念を含むものではなく、視点が足りないというものであった。

このことから、教師が授業の終盤でまとめを行わなくても、生徒同士の相互作用から学習事項の理解は可能であるといえる。むしろ一斉授業に比べて生徒の理解が深く、しかも全員が何かしらの答えを書けるという点は大きな効果だといえる。

今回取り組んだように、単元を通じた協調学習の実践は、学習内容の理解を深めるチャンスが広がる可能性を示唆している。

### ③ 実践を踏まえた授業の改善点

今回の実践の目的は、生徒同士の相互作用から電子の正体について科学的概念を形成することであった。導入で用いたエキスパートの視点として、「雷」や「静電気」を用いたことは身の回りで目にする現象なので比較的取り組みやすそうだった。しかし、エキスパート C 「原子の構造」の視点は難しそうであった。2 学年で原子・分子を扱っているのに、3 学年の学習内容であっても原子構造からのアプローチが理解しやすいと想定していたが、若干飛躍しすぎたようであった。

エキスパート活動においては教師の補足説明が必要であったことから、改善が必要だと思われる。2 章に登場する「金属と電子」を視点に入れた方が良かったのかもしれない。

資料の B の雷の現象についても、電子の動きと電流の流れる方向の説明が足りなかったために、混乱する様子が見られた。この点を改善したい。

単元の初めの問いは「電流の正体は一体何か」であった。単元の終盤ではこれまでの学習の学び直しとしての位置づけであったので、あえて同じ問いにはしなかった。授業者としては単元の導入時に聞かれたことに近いのですぐに解けそうだったと思ったが、「電流の正体は一体何？」から「電流と電子の関係は？」というように問いを少しずつらしたので、どう書けば良い



図 16 ジグソー活動の様子。自然発生的に 3 つの班が集まってきてクロストークが始まった。

のか戸惑う様子が見られた。

そのため、導線を通る電流について電子を使って説明できるかと補足説明を加えたところ、対話が活発になった。「問い」については、どのように答えればいいのか分かりにくいことに気づいたためにすぐに修正ができたが、次回の実践では改善する必要がある。

電流単元において次に概念形成に関する教材を作成したいところは「電圧」の概念である。電圧のイメージは生徒が困難とするところなので、これまで共に教材づくりに取り組んできた理科教諭のネットワークを活かしながら授業案を作成したい。

協調学習では、一斉授業では中々前へ出て発表しない生徒でも嫌がらずに発表する機会が多い。また、エキスパート活動やジグソー活動においても、分からないときは他の班に出かけて聞いてみるのも良いことを了解しておく、分からない生徒同士が集まった場合でも他の班に行って説明を聞き、考えをそのまま受け売るのではなく、自分なりに解釈している様子が認められた。

また、更に納得がいかない場合には、近くの班同士で自然発生的にクロストークを行っていた (図 16)。このことから、協調学習では教師の指導を越えて自分たちで学びをつくっていく姿勢が自ずと出来上がるしくみが備わっているように思う。

今後、他の単元デザインを提案する際には、単元を通してその授業で何をねらっているのかいう点と、そのみとりまでセットで提示するようにすると、理科で協調学習を行う意義がみやすくなるかもしれない。

### 3 3学年実践事例「力と物体の運動」

#### (1) 主題

エアートラック上の物体は、なぜ速さが一定で移動し続けるのか。

#### (2) 目標

等速直線運動は、なぜ速さが一定で移動し続けるのか、理由を物体にはたらく力から考え、力の矢印や文章で説明することで、物体にはたらく力と運動についての規則性を見いだす。

#### (3) 本実践の目的

本単元では、物体にはたらく力と物体の運動のようすについての規則性を見いだすことが主なねらいである。それは、「物体に力を加え続けたときには、時間の経過に伴って物体の速さが変わることが理解させる。一方、物体に力がはたらかないときには、運動している物体は等速直線運動を続け、静止している物体は静止し続けようとする性質がある」ということであり、運動の基礎である。しかし、運動に関わる身近な現象には摩擦力の影響が大きい。これが生徒の素朴概念に大きな影響を与え、力と物体の運動の学習を行う際の妨げになっていると考えられる。等速直線運動をする物体を観察し、物体にどんな力がはたらいているか問うと、ほとんどの生徒が「物体は運動しているので、物体に進行方向へ力がはたらき続けている」と答える。これは、運動の速さを感覚的な捉えから矢印で表してしまい、物体にはたらく力の矢印と混同してしまっていることが要因であると考えられる。その素朴概念によって物体にはたらく力と運動の規則性を明確に理解して説明することができない生徒が多いのではないかと感じている。具体例をあげると「斜面を下るボールにかかっている力を矢印で表しなさい」という課題に対し、誤概念を持った生徒は、速さの増加に伴い、矢印の長さが長くなっていく図を示してしまう(図17)。そこで、本実践で物体にはたらく力と運動の速さを明確に捉えさせることをねらいとした。

生徒は、1学年で「力のはたらき・種類・はかり方・表し方」本単元で前時までには「力のつり合い・合成・分解」を学習している。エアートラック上の物体がトラックの穴から出る空気が押し上げている力と物体にはたらく重力がつり合い、浮いた状態を保っているこ

とは力の矢印で表し、「浮いた状態なので摩擦が生じないから減速しない」と説明することはできると考える。しかし、運動の進行方向への矢印を表し、「力が物体にはたらき続けているため速さが一定になる」と説明する生徒も多いと予想する。物体にはたらく力と運動の速さを明確に区別し、力を矢印で表し、速さが一定で移動し続ける説明がされているかが、本実践の評価基準のポイントになると考える。

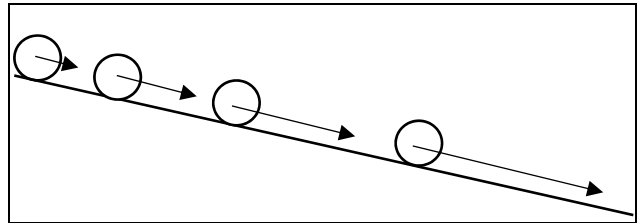


図17 誤概念を持っている生徒が示す力の矢印の例

本時の最後に生徒に答えて欲しい解としては、「物体には重力と吹き出す空気の押す力がはたらいている。その力はつり合っているので、上下方向では少し浮いたまま静止しており、(摩擦は起きないことを力の矢印と文章で表されている) 水平方向では、何も力がはたらいていないので、(力の矢印は表さない) 同じ速さで移動する(図18)。」という表現で説明できることを期待している。

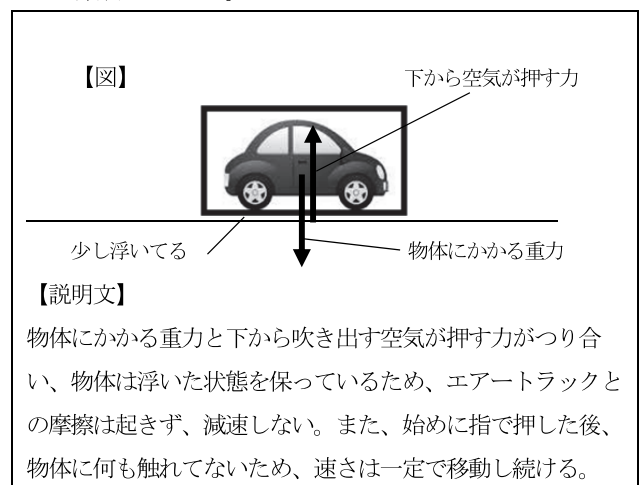



図18 本時の最後に期待する解

#### (4) 実践内容

本単元「力と物体の運動」は全7時間で計画し、第1時の最後にエアートラック上の運動を演示実験し、連続写真で運動の速さが一定であることを確かめた上で、力と物体の運動の関係を学習する導入としての位置づけで、本時を実施した(表4)。

表4 本単元の学習の流れ

流れ	学習内容
これまで	力のつり合いと合成・分解
1/7時	物体の速さを調べよう
2/7時 (本時)	「エアートラック上の物体は、なぜ速さが一定で移動し続けるのか？物体にはたらく力から考えて説明しよう」 
3/7時～ 5/7時 (3時間)	「力がはたらき続けると物体はどのような運動をするのだろうか。」(実験) 運動の進行方向や逆向きに力がはたらく運動を記録タイマーで調べる。
6/7時	力がはたらいていないのと同じ状態のときの運動・慣性の例(実験、資料)から慣性の法則について学ぶ。
7/7時	「物体間で力はどうにはたらくのか」
これから	3章「仕事とエネルギー」

## ① エキスパート活動

エキスパート活動の資料は、物体に力がはたらいているときとはたらいていないとき、物体にはたらいている力がつり合っているときの運動のようすをいくつかの事例で説明している資料になっている。

**資料A** 物体に力がはたらき続けているときの運動

事例1：落下するボール

事例2：斜面を下るボール

事例3：摩擦がはたらいて減速する車

物体に力がはたらき続けている運動の速さの変化について、はたらく力が進行方向の場合は加速し、逆方向の場合は減速していく。

**資料B** はたらく力がつり合っているときの運動

事例1：一定の速さを保って走る自転車

事例2：静止し続ける物体

事例3：空中で吹き玉が斜めに静止している

物体に加わる力がつり合っている場合、力がはたらいていないのと同じ状態になり、運動の状態は変化しない。

**資料C** 物体に力がはたらいていないときの運動

事例1：台車の上に置いたドライアイスが台車を急

に引いてもその位置から動かない。

事例2：力がはたらかない宇宙空間で宇宙遊泳、船外活動をする宇宙飛行士。

宇宙空間や無重力、物体に力がほとんどはたらかない場合、運動している物体は変化できず、静止している物体はそのまま静止する。

エキスパート活動の班は、通常の授業の席で各班3・4名の各パート4班になるよう人数調整して構成した。ジグソー活動に時間を十分にとりたいと考え、活動は7分間に設定し、資料理解が不十分な班があってもジグソー活動へ進めた。

各資料に対する生徒の理解度やジグソー活動の様子を生徒観察から、以下のことが見とれた。

- ・エキスパートAの資料に関しては、力がはたらき続けることで運動が加速、減速をすることはイメージできていた。資料の中の「運動している物体に力がはたらき続けると物体の運動の状態はどうなるだろう？」という問いに対して、ほとんどの班が答えられていた。
- ・エキスパートBの資料の中で示した現象の一定の速さで走る自転車に対して、生徒から「自転車に進行方向にこぐ力と地面との摩擦や空気抵抗の力がつり合うと止まるでしょ！」という声が聞こえた。自転車が走っている中、こいで速さを一定に保っている様子がイメージできていない生徒が数名いたが、イメージできている生徒が一生懸命説明していた。そのため、資料の中の「物体にはたらいている力がつり合っている場合、物体の運動の状態はどうなるだろう？」という問いには、答えられていた。
- ・エキスパートCの資料は、実際に目にしていない事例だったので、資料だけでは自分の中でイメージできず「運動している物体に力がはたらいていないとき、物体の運動の状態はどうなるだろう？」という資料の中の問いに資料の読み込みだけで答えを出している班が多かった。

## ② ジグソー活動

ジグソー活動の班は、各エキスパート13人に同じマークのトランプ13枚を配布し、13班あるジグソー班のテーブルに数字(A～K)で移動する方法で構成した。そのため、トランプを配布し、ジグソー班に分かれるまで、メンバーはわからないことになる。

教室には、4台のエアートラック実験装置を設置し、



自由に触りながら話し合えるようにした。個人に配布したワークシートと同じ図がある B4 のワークシートを各班に配布し、話し合った内容を記入させた。ジグソー活動の時間は 12 分間に設定した。

生徒観察から以下のことがみとれた。

- ・資料は、写真や図を他の生徒に見せるために使用していたが、ほとんど書かれてある文章は読まず、自分の言葉で説明している姿が印象に残った。
- ・話し合いで出た疑問や説明したことの確認のため、班のメンバーで実験装置を囲って考えていた。
- ・記入用の班ワークシートは紙のため、ペンで書くとき訂正しづらいので、記入し始めるのが遅かった。



図 19 ジグソー活動中、実験装置に集まる生徒の様子

### ③ クロストーク

エキスパート活動からクロストーク、個人活動までを 1 時間で実施する計画で進めた。13 班のジグソー班がある中で、ほとんどの班が物体にはたらく重力とエアートラックからの空気が押す力のつり合いで物体が浮いた状態で静止し、摩擦が起きない理由は説明できていた。速さが一定で移動し続ける説明の中で、運動の速さとはたらく力のとらえ方がちがう 3 つのパターンを以下の順序で 4 つの班に発表させた (図 20)。

- ・進行方向に一定の力がはたらき続けていることで速さが一定で移動する。(班 A、班 B)
- ・最初に加えた力が進行方向にはたらき続け、進行方向とは逆の方向にはたらく空気抵抗の力とつり合うことで速さが一定で移動する。(班 C)
- ・水平方向には、物体に力がはたらいていないため速さが一定で移動し続ける。(班 D)

はじめの班 A、班 B が説明した後、最初に手で押し

た力に着目しすぎていると感じたため、補助発問として、「みんなに考えてもらいたい部分は手で押した後の運動しているところだよ、その物体にどんな力がはたらいているか考えて説明するんだよ」と確認した。次の班 C は、空気抵抗の存在から進行方向の矢印の存在を出してきたので、「この進行方向の矢印は物体にはたらいている力かな？」と問いかけてみた。最後の班 D の後は、自分なりに考えてもらうため、個人活動にそのまま進めることにした。

授業後のインタビューとワークシートのみとりから、期待する解に達しない生徒や疑問を持った生徒が多かったので、もう少しクロストークが必要と考え、次時の前半 15 分程度クロストークを実施し、もう一度、同じ課題について個人活動で考えさせた。



図 20 話し合ったことをプロジェクターで実験装置を使いながら説明している生徒

### (5) 実践の考察

#### ① 生徒の学習の評価から見る概念変容と定着度

##### (ア) 本時、次時の評価から見る生徒の概念変容

授業前に、エアートラック上の物体の運動を見せたあと、物体はなぜ速さが一定で移動するのか個人活動で予想させ、クロストーク後に再度、個人活動で課題に対する解をワークシートに書かせた。授業前の予想を見ると、ほとんどの生徒が、エアートラック上の物体が下からの空気に押される力と物体にかかる重力によって、浮いた状態になっていることに気づいていた。しかし、35 人の生徒が一定の速さで運動しているのは、進行方向へ力がはたらき続けるためであるという説明を矢印で表されており、授業後も変容しなかった生徒



が多くいた。これは、運動の速さを感覚的に表してしまふ矢印と物体にはたらく力の矢印と混同してしまっていることが要因ではないかと考えた。そこで、「物体にはたらく力と運動の速さを明確に区別し、力を矢印で表されているか」に着目し、評価基準を次のように設定した。そして、授業前後、次時でのクロストーク後に評価を行うことで、概念の変容を見とることにした(表5)。

**A 評価** 運動の速さと物体にはたらく力の捉え方が明確に区別され、速さが一定で移動している理由を力の矢印と文章で説明されている。(期待する解)

**B 評価** 速さが一定で移動している理由を矢印と文章で説明されているが、運動の速さとはたらく力の捉え方が曖昧である。(文章で説明はできている)

**C 評価** 運動の速さとはたらく力を同じものと捉えてしまっている。矢印や文章で説明できていない。

授業前は、C 評価が 35 人で、ほとんどが誤概念を持った解であった。授業後は、15 人の生徒が A 評価に到達することができたが、B 評価、C 評価合わせて 23 人が誤概念を持ったまま授業が終了している(表5)。

本時を振りかえると、クロストークの中で 1 つの班が「最初に加えた力が進行方向にはたらき続け、進行方向とは逆の方向にはたらく空気抵抗の力とつり合うことで速さが一定で移動する。」と誤概念であるが、説得力のある発表をしたため、多数の生徒が引っ張られてしまったように感じた。

その後、期待する解に近い班の発表で引き戻しを図ったが、難しかったようである。そこで、次時のクロストークで「運動の速さに影響があるほど、空気抵抗の力がはたらいているなら、つり合っている力は何の力？」等の補助発問を行った。C 評価の生徒は 5 人と半数以上減ったが、B 評価の生徒は 17 人と逆に増えてしまった。その中に授業後は A 評価とされているが、

次時では B 評価になってしまっている生徒が 7 人もいた(表5)。その 7 人のワークシートの記述と授業後のアンケートの記述から、誤概念に引き戻ってしまった要因が見とれると思われる例として、生徒 A の授業後と次時クロストーク後のワークシートと本時の授業後にとったアンケートを紹介する(図21)。

授業後のワークシートから、生徒 A は、ジグソー活動やクロストークで物体の水平方向に力がはたらいていないことに気づき、そのため加速も減速もしないこ

表5 実践授業の学習対象者 38 人の授業前後と次時、実践3ヶ月後の評価のみとり

No	授業前	授業後	次時	単元後
1	C	B	B	C
2	C	B	B	A
3	A	B	A	A
4	C	A	B	A
5	A	B	B	A
6	C	C	A	A
7	C	A	C	A
8	C	B	A	A
9	A	C	B	B
10	C	C	C	C
11	C	A	B	A
12	C	C	A	C
13	C	B	B	A
14	C	A	A	A
15	C	B	C	A
16	C	B	B	A
17	C	B	C	A
18	C	A	A	A
19	C	C	B	A
20	C	A		C
21	C	A	B	A
22	C	A	A	A
23	C	C	A	A
24	C	C	B	C
25	C	C	B	A
26	C	B	A	A
27	C	A	A	A
28	C	A	A	A
29	C	A	B	A
30	C	C	A	A
31	C	A	A	A
32	C	A	A	A
33	C	C	B	A
34	C	B	C	A
35	C	A	A	A
36	C	C	B	A
37	C	A	B	A
38	C	B	B	A

	…A評価	評価	授業前	授業後	次時	単元後
A	…A評価	A	3人	15人	16人	33人
B	…B評価	B	0人	12人	17人	0人
C	…C評価	C	35人	11人	5人	5人

とは理解できているように見える。しかし、「なぜ、力がはたらいていないのに運動するのか？」という誤概念を感じる疑問をもったまま授業を終了している(図21)。そのため、次時では、空気抵抗と進行方向の力のつり合いの概念から離れられない班に賛同してしまっ、誤った解を記述したのではないかと考えられる。生徒 A の他にも、以下の疑問を持っている生徒がいた。

- ・他にもこんな現象をつくることのできるのか？
- ・なぜ動き続けているのか理解できない。
- ・エアートラックの物体は、1 回押したら力を加えていないのに何で跳ね返ってまた進むのか。

このような疑問を感じている生徒は、「物体に力がはたらいていないときや、力がはたらいていてもそれらがつり合っている場合、物体はその運動の状態を保ち続ける」「慣性の法則」の存在に気づいているが、自分の誤概念とぶつかり、不思議に感じているのではないかと考えられる。

実践後、次時のクロストーク後の評価から、半数以上の生徒が誤概念や疑問が残ったままであるのは把握していたが、本実践は導入時であり、エキスパート資料で使用した内容は今後、観察や実験を通して学んで

**【授業後】**

「力がはたらいていない」と記述、進行方向への矢印は図示していない。予習したのか、慣性の法則も入れてある。

**【アンケートで記述した疑問】**

☆ 今回の授業で疑問に思ったことや、もっと知りたくなったことがあれば書いてみてください。  
 ( どうして力がはたらいていないのに運動するのか？ → 何か法則があるのか ) ☆  
 がわかりたい。

「どうして力がはたらいていないのに運動するのか？何か法則はあるのか知りたい。」と疑問を持って授業終了。

**【次時のクロストーク後】**

「進む方向への力と空気抵抗の力が釣り合っている」と記述し、進む力として進行方向の矢印と空気抵抗からの力としての矢印が図示されている。

図 21 生徒 A のワークシート記述

いく計画になっているので、その過程で誤概念や疑問を解消しようと考え、そのまま、単元を進めていった。

**(イ) 本実践の定着度について**

本時の実践が単元後もどのくらい定着しているのか、調べるため、本単元「力と物体の運動」が終わり、「仕事」「力学的エネルギー」「エネルギーの変換」を学習した3ヶ月後頃に調査を行った。エアートラック実験装置の演示実験だけ見せて、同じ課題を個人活動で解かせた。その結果、38人中35人がA評価の期待する解を出し、高い割合で定着していることがわかった。

他の3人はC評価であったが、本時の授業のことを聞くと、誰がどんな発言をしたなど、覚えている生徒が多かった(表5)。この結果は、他3学級にも見られた。生徒の評価、概念変容のみとりから以下のことが考えられる。

- ・誤概念を持ったままだと、その授業では理解した気になり、期待する解に達するが、すぐに引き戻され、間違っ了解を出してしまう。
- ・単元の学習理解を妨げていると思われる誤概念を導入時に扱うことで、単元が進みながら自問自答し、教師側も何度か授業でも取り上げるので、多くの生徒が修正でき、定着率が高まったのではないかと考える。

このことから、単元の学習理解を妨げている要因と思われる誤概念を導入時に扱うことで、単元全体を通して修正し、定着を図ることができると考える。

**② 実践を踏まえた授業の改善点**

本実践で一番大きな反省は、授業者側が生徒の想定解や想定発言の検討が乏しかったことが原因で、的確な補助発問ができなかったことである。

本実践は協調学習を多く実践している他県の教員と授業デザインの検討を行った。その中で「空気抵抗の存在を生徒達は取り除くことができないのではないか」というアドバイスがあった。しかし、そのことに対する補助発問を十分に用意することができず、クロストークの発言「空気抵抗は必ずかかっているはずだから…」で引っ張られてしまった生徒たちの誤概念を解消できなかった。

エキスパート資料は、生徒同士で、短時間に理解できるような内容にすることを意識して作成した。しかし、エキスパートCの「物体に力がはたらかない運動」の事例は、日常的に目にするものがなく、実際に再現することも難しい現象のため、容易にイメージができなかったようだった。また、ワークシートへの作図の際、力の矢印の作図が不十分な生徒が多くいたことも、本時で誤概念を修正できなかった要因になっていると考えたので、エキスパートCとして1学年の「力の表し方」にしてはどうかと感じた。

今後、他教科の教師や実践対象外の生徒にアンケートやインタビュー、普段の授業ワークシートからの生徒理解を行って課題に対する多くの想定発言、想定解を用意する必要がある。このことは、課題設定、エキスパート資料作成にも重要なので重点的に実施したい。

## V 成果と課題

### 1 科学的概念を形成するための授業づくり

3年間の実践から実感するのは、教室が生徒の生き生きとした表情や「これってどうなの？」という疑問の声で満ちあふれるようになったことである。一人ひとりが自分なりの納得を得ようと教材や友達との対話を通して学び合う姿勢が必然的に発生するのである。

協調的な学びは科学的概念を形づくっていく際に特に効果を発揮するように思える。「電流」、「天体」、「力学」などの単元を例にとると高いイメージ力や複合的な考え方が必要となる。観察・実験で得た結果を説明するのに、与えられた断片的な知識を寄せ集めただけでは説明できないのである。ある生徒は、「電流」の単元でよく目にする「水流モデル」ではなく「サッカーのゲームモデル」で導線内に流れる電子を説明するに至っている。この生徒にとっては、水流の中の水粒子ではなく、サッカーボールが電子としてしっくりいったのである。このように協調的な学びは自分なりの納得を得ることができるからこそ科学的概念の形成に繋がると考えられる。

今年度、本校理科では、協調学習による授業を通して生徒に科学的概念を形成させることをねらいとして問いを工夫した授業を展開してきた。学習前後と単元終了後の生徒のワークシートの記述から、程度の差はあるもののどの生徒の考えもより科学的概念に近づいていることがみとれた。昨年度までは、生徒が最終的に想定解にどの程度到達することができたのを中心に評価を行ってきたが、今年度は、その視点に加え想定解に至るまでの考えの変容を追うことができた。この取組は、生徒の思考が多様であり解に至るまでに自分なりの経路をたどることを教えてくれた。3学年「力と物体の運動」では、物体にはたらく力について正しく説明できていても、それが自分なりに納得を得た正しい概念でない場合、再び誤った考えに戻るということがわかった。

概念変化を生起し科学的概念を形成させるためには、誤概念を持ちやすい単元や知識の教え込みで済ませていた単元に焦点化することが起点となった。その次に誤概念が表出するような活動を考え、問いを立てた。その授業のワークシートのみとりから、形成的評価を行って問いや資料、活動、補助発問などの工夫改善に活かした。生徒も教師も単元のはじめに考えた事象に

ついて意識しながら事後の授業に取り組んだ。その中で、色々な生徒の考え方に触れることで、自分なりの考えを出発点として絶えずその生徒なりの吟味がなされていたと推察される。そこでも尚誤概念が解消されない場合には教師が、誤概念の対立軸をあぶり出し、説明をさせる活動につなげた。これらのやり取りの中で最終的には科学的概念が形成させていくのではないだろうか。この点で学びの多様性を保障する協調学習を授業に取り入れる意義は大きいと感じている。

課題としては、他の単元においても生徒がどのような素朴概念をもっているのかを明らかにすることからはじめたい。そして素朴概念にはたらきかける問いの設定に繋がりたい。また、生徒が自分なりの説明モデルを作った上で科学的概念に昇華させるには、それを検証させる手立てを検討する必要があるように感じている。

### 2 協調学習における授業づくり

#### (1) 授業づくりの視点の移り変わり

知識構成型ジグソー法は、理科のどの単元で行うと協調的な学びを引き起こすことができるだろうか。これは我々が研究当初、直面した課題である。初年度は、生徒にとって興味を引きそうな不思議な現象を教材化したため教科書とは離れた発展的な内容に偏ってしまった。2年次はその反省を踏まえ、教科書の内容とどめ、理科の特性である観察・実験を取り入れた教材とした。しかし、同一単元を教材化した先進校の授業を見たとき、我々のエキスパート資料（活動）の視点は生徒の思考に合わせたものではないということに気づかされた。最終年次である今年度は、生徒の既存の概念を知り、そこで得た知見を問いや資料に反映させた教材開発ができた。

また、他県へ出向き、先進的実践者の授業を参観することで建設的相互作用を引き起こす授業デザインについて見聞を深めたり、CoREFのメーリングリストなどを活用して共通の授業案をベースに授業者のねらいに応じて教材をアレンジすることができた。

#### (2) 授業づくりのプロセス

知識構成型ジグソー法の授業は、教師主導の一斉授業とは異なり、生徒主体で動いていくため、授業者の事前の想定をしっかり行うことが求められる。つまり、



生徒の思考を左右する問いやエキスパート資料(活動)の内容で学習効果が決まるのである。教材づくりは「問い」「エキスパート資料(活動)」「ゴール(想定解)」を頭の中で描きながら行っていく。その手順は教師により異なる。ある教師は、「課題」→「ゴール(想定解)」→「エキスパート資料」とイメージを膨らませるのに対し、別の教師は「ゴール(想定解)」→「問い」→「エキスパート資料」とすることもある。順序は決まっていないが、どの教師も口にするのは、教材をイメージしている最中、教師の思考は「問い」「ゴール(想定解)」「エキスパート資料(活動)」を往還させている。つまり教師は、生徒がエキスパートの資料を受け取ったときにどのように説明してくれそうかという想定や、エキスパートの資料(活動)は問いを解くための材料になり得ているのかという2つの思考を巡らせているのである。

授業者は、教材の方向性が見えてきたら他の教師や他学年の生徒に、問いとエキスパート資料がどのように絡むかインタビューを行うこともある。特に他教科の教師の反応は生徒の反応に近いので、参考になることが多い。それは、授業者が資料(活動)づくりに没頭するあまり、学習者の視点で教材を捉えづらくなってしまふことがあるからである。他者目線とシミュレーションが教材の完成度を支えているという点に気づけたことは成果である。生徒の見方や考え方を把握する取り組みを他の単元にも広げていき、そこから問いを立てるといった授業づくりは継続した課題である。

### 3 理科教師として

実践を通して、大きく変わったことがある。それは、我々理科教師の視点である。生徒が変わったという前に実は、教師自身が、生徒がなぜそのような考えに至ったのか、この問いや資料だと生徒はどのような反応をするだろうか、というような子どもの思考まで推し量り評価するようになったことである。

また、知識構成型ジグソー法による授業を実践するようになってから授業者が他の教師に声をかけやすい雰囲気が出てきている。同教科の教師のみならず他教科の教師にも声をかけることで教材の客観性が図られるようになってきている。更に付け加えることとして、いつも授業のネタ探しをしている自分の存在である。これらは、協調学習の学びの形態がもたらしたも

のかかもしれない。

これからは、科学的概念を形成するために知識構成型ジグソー法の授業をどの単元で、どこに位置づけ活用するのが効果的なのかを吟味していきたい。そのためには、単元のねらいを熟考した上で、生徒の見方や考え方に配慮すること、腑に落とさせるための事象提示の方法やタイミングなど実践していく中で工夫改善を行うことが必要である。

### 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) 琉球大学教育学部附属中学校 『研究紀要第27集』 2015年、p. 81-96
- (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) 白水 始「協調学習と授業」 高垣マユミ(編) 『授業デザインの前線II』 北大路書房、2010年、p. 147-148
- (7) 杉本良一・松尾映子「子どもの生活に根ざした理科学習に関する研究」 『地域学論集』 第1巻第3号、2005年、p. 81-109
- (8) 堀哲夫「子どもの素朴概念」 日本理科教育学会(編) 『東洋出版社』 1998年、p. 206-211
- (9) 堀哲夫「学びの意味を育てる理科の教育評価」 『東洋館出版社』、2003年、p. 89-101
- (10) 丸野俊一「メタ認知と授業」 高垣マユミ(編) 『授業デザインの前線II』 北大路書房、2010年、p. 56-58
- (11) 新里和也・古屋光一「中学生から大学生までの水中の「浮力」に関する認識調査」 『理科教育学研究』、Vol. 54 No. 3 2014年 p. 403-417