

# 思考の変換を中核に据えた理科学習の提案

—中学校第3学年「電流をモデルで表そう」の授業実践より—

水島 正隆\*・松本 謙一

## The Science Learning that laid the Conversion of the Conception in the Core

—By Practice on “Let’s Express an Electric Current in a Model” in the Junior High School 3<sup>rd</sup> Grade—

Masataka MIZUSHIMA and Ken-ichi MATSUMOTO

キーワード：水溶液とイオン，電流，電子

keywords：water solution and ion, current, electron

### I 研究目的

中学校理科の目標には、『目的意識をもって観察、実験などを行い、(中略)、科学的な見方や考え方を養う』(文科省2008<sup>(1)</sup>)とある。これは、理科では問題に対して観察や実験を通して解決することを重視する方向性を示しているといえる。

一方、学習内容に目を向けると、「水溶液とイオン」で扱う原子の構造やイオン、「遺伝の規則性と遺伝子」で扱う染色体のように、抽象的な事象・現象を内容として扱うことから、必ずしも実験や観察ができるとは限らない。

これらのことから、理科学習では、たとえ実験や観察ができない場合においても、問題に対してだれもが納得できる考えを練り上げる問題解決的な学習過程こそ大切であると、筆者らは考えた。

ところで、国立教育政策研究所の調査(2007)<sup>(2)</sup>では、約5割の生徒が「観察・実験は好き」という結果がみられるのに対して、「観察や実験の結果をもとに考察したり、結論を出そうとしている」生徒は約2割しか見られないことが報告されている。つまり、実験・観察は好きでも、考察することを苦手としている生徒が多いという指摘である。

以上の考えを併せて、実験や観察を行えない内容を学習する際、本当に生徒は学習に価値を見だし、意欲的に問題を解決することができるのか、という懸念を筆者らは抱いた。観察・実験ができる内容は

まだしも、そうでない内容では、納得できる考えをつくる学習が大切になるにもかかわらず、考察が苦手な生徒が多いからである。

考察することは、実証性や客観性などの科学的な見方に直結すると考えられるため、理科学習には欠かせない。中学生以降、たとえ観察・実験ができない内容であったとしても、意欲的に考察することができる生徒を育成しなければいけないのではないだろうか。

そこで本論文では、抽象的な内容について意欲的に考察し、考えを練り上げていくことができる生徒の育成を目指し、中学校第3学年「電流をモデルで表そう」を構想・授業実践し、子どもの動きから、その学習展開の妥当性と可能性を検討することを研究の目的とする。

### II 研究の概要

#### 1 研究の目的

- (1) 単元「水溶液とイオン」を、電子の動きから見直し、新しい単元展開を提案する。
- (2) 授業実践を行い、結果を分析・考察し、提案する新展開の妥当性と可能性を検討する。

#### 2 研究の方法

- (1) 電子の動きに着目し、考えを組み換えていくことを中核に据えた新単元を2人で構想する。
- (2) 富山市立大沢野中学校第3学年全5クラスで神保孝司が授業実践し、水島が生徒の反応を集積

\*富山市立東部中学校

する。

(3) 授業記録やワークシートをもとにカンファレンスを通して授業分析を行い、生徒の反応の分析・考察から、その効果の妥当性と可能性を2人で考察する。なおカンファレンスは水島・松本の他、現職教員、大学院生、学部生を含めて計12名で行った。

### III 実践の概要

#### 1 提案する単元の特徴：電子の動きから見直す「水溶液とイオン」

本単元で扱う現象は、主に塩化銅水溶液の電気分解とボルタの電池の2つである。1社の教科書<sup>(3)</sup>と4社の補助教材<sup>(4)(5)(6)(7)</sup>によると、両者とも水溶液中の物質の様子『イオン』を中心に据えて学習を進めている。しかし、それでは何が原因で事象が起きているのか、あるいは現象の結果として何が起きているのか、といった因果関係が明確にならないのではないだろうか。筆者らは、電流が流れること、つまり電子の動きこそ、この内容の本質ではないかと考えた。

一見、異なった現象に思える電気分解と電池には、「電流が流れる回路」が存在するという共通点がある。それぞれの現象を回路上での現象として捉え、塩化銅水溶液の電気分解は、電圧を加えたこと、つまり電子を動かそうとしたことが原因となり、結果として電気分解が起きると考えることができる。またボルタの電池では、水溶液中の物質の変化、つ

まり起電力が生じることが原因で、結果的に電子の動きが起きる。

このように、それぞれの現象を電流が流れる回路と関連付けて考えることで、電子の動きと、水溶液中での物質の様子について、生徒が因果関係に着目しながら解釈することができるのではないかと考えたのである。

#### 2 提案する単元の概要

中学校第3学年理科単元「電流をモデルで表そう」の概要を図1に示す。全9時間のうち、第1次は電圧を加えた際の電子の動きの学習、第2次は電圧が自然に生じた際の電子の動き（電池）についての学習とする。

そして、電子という抽象的な事象について『自らの考えをモデルで表す活動』を全単元で連続させることにより、電流の流れ方について、既習概念を変容させていくことを中核に据えた問題解決的な学習になると考えた。

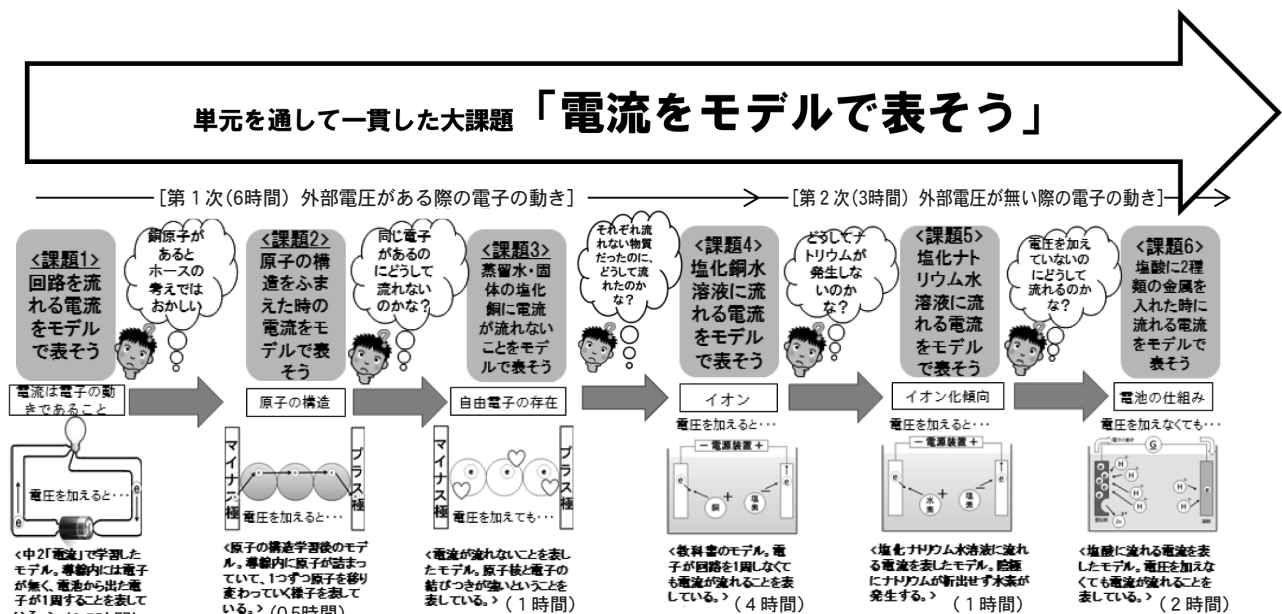
### IV 実践を通しての考察

#### 1 課題ごとの生徒の動きと考察

##### (1) 課題1「回路を流れる電流をモデルで表そう」

###### ① 概要

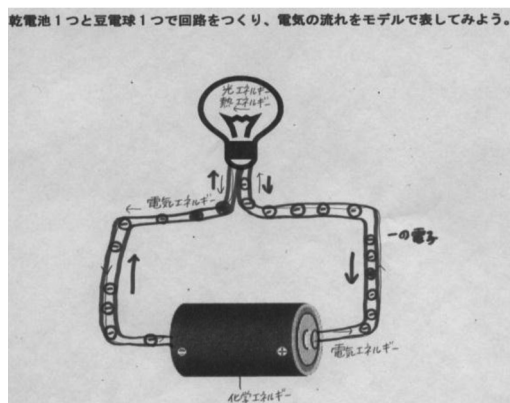
導入では、乾電池と豆電球を描いたイラストを提示し、教師が「回路をつくって、電流をモデルで表してみましょう」と指示し、各自がモデルを書き、紹介し合った。



【図1：提案する単元の概要(全9時間)】

## ② 生徒のモデルの具体

生徒は、「電流の正体は電子の流れである」という中学校第2学年の学びを活かし、モデルを考えた。モデルは、導線をホースのように表現し、回路として意味をもつホースの中を、電子が移動する様子を表現した。モデルは次の2種類に大別できる。



【図2：間隔を空けて電子を表現したモデル (C39の例)】



【図3：間隔を空けずに電子を表現したモデル (C21の例)】

1つは、間隔を空けて電子を描いたモデル(図2)であり、もう一方は間隔を空けずに電子を描いたモデル(図3)である。後者のモデルを考えた生徒2名は、授業中に理由を聞かれた際、「絶えず電流が流れている様子を表した(C21)」、「電池から出た電子がだんだん詰まっていく様子を表した(C10)」と発言している。前者のモデルは、間隔を空けた理由についての記録は特にないが、無意識的に間隔を空けたものだと考えられる。

いずれにしても、導線をホースのように表現していることが共通している。

## (2) 課題2「銅原子の構造をふまえた時の電流をモデルで表そう」

### ① 概要

課題1のモデルについて、既習経験とつなげ、話し合いによりそれぞれの考えを認め合えた段階で、教師から「ところで導線という物質は何からできていますか」と投げかけ、その後、導線が銅原子でできていることを告げた。そして、「実は銅原子も電子をもっています」と告げた。その後、原子の構造を説明し、銅原子にも電子があることを示した。

このように、課題1でのモデルとは矛盾する銅原子の構造をこの段階で提示することにより、生徒は「ホースようになった導線のままのこれまでのモデルでは、電流が流れることが説明できない」という新たな問題状況にぶつかる。ここで課題2「銅原子の構造をふまえた時の電流をモデルで表そう」を教師が提示し、生徒はこれまでのモデルを修正し、新しいモデルを考え始めた。

### ② 生徒のモデルと考察

図4は、電圧を加えると、銅原子がもっている電子が、隣の銅原子へ次々と押し出されて電流が流れる様子を表している。36人中20人(56%)がこれに類似するモデルを考え出した(図4)。



【図4：電子が銅原子をやり変わっていくモデル (C42の例)】

課題1での導線がホースのように表現されているモデルとは異なり、「導線は銅原子からできていること」という新たな情報や、「銅原子が元々もっている電子の存在」や「原子は電氣的に中性である」という新たな事実を与えられたことにより、導線に電流が流れるモデルを変容させている。この考え(図4)が生徒全員に受け入れられた。

## (3) 課題3「電流が流れないことをモデルで表そう」

### ① 概要

第2時のはじめ、ガラス棒を提示し、ガラスには電流が流れないことを確認した。そして、「ガラスも銅と同じく電子をもっているのに、どうして電流が流れないのかな?」と教師が投げか



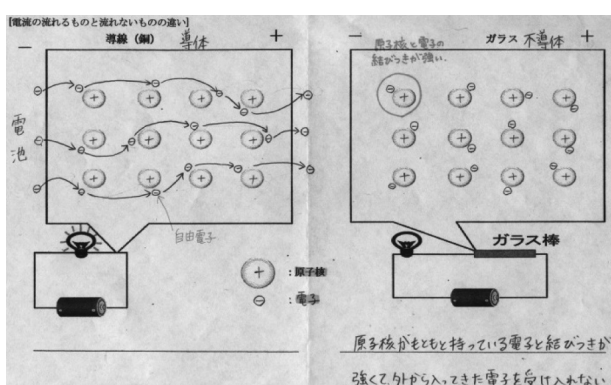
けた。電流の流れないガラスにも電子が存在することを確認し、第1時の学びと矛盾する現象を提示したのである。

ここでワークシートを配布し、電流が流れる物質のモデルと比較しつつ、生徒に物質に電流が流れないことをモデルで表現しようと投げかけた。

## ② 生徒のモデルと考察

電流が流れるモデルについては、電圧を加えると原子核の周りにある電子が次々と動いていく様子を表現した(図5左)。

それに対して、電流が流れないモデルについては、電圧を加えても電子が動かない様子を表現した(図5右)。36人中29人(81%)がこれに類似するモデルを考えた。中には、原子核と電子にハートマークを書き、「結びつきが強いから電子が動かない」と書いた生徒もいたが、クラス全員がこれに納得した。



【図5：左は電流が流れる様子、右は電流が流れない様子を表したモデル】

モデルを考えた後、教師が「銅などの金属は『自由電子』という電子をもっています」と『自由電子』の存在についてまとめ、電流が流れるものと流れないものの違いを明確にした。これにより、「電子をもっているからといって電流が流れるわけではない」という考えが、生徒に定着した。

## (4) 課題4「塩化銅水溶液に流れる電流をモデルで表そう」

### ① 概要

課題3のモデルの妥当性について、話し合いにより共通理解できた段階で、純水と固体の塩化銅を提示し、これらの物質もガラス同様に電流が流れないことをそれぞれ実験を通して確認した。

次に、これらを混ぜ塩化銅水溶液にし、電圧を加えた。すると、塩化銅水溶液には電流が流れるのである。この事実を目の当たりにした生徒からは、「それぞれ流れない物質だったのに、どうして電流が流れるようになったのか」などと、あちこちから驚きの声が上がリ、多くの生徒が疑問をもった(写真1)。第2時はここで終了した。



【写真1：演示実験の様子】

第3時では、もう1度、生徒自身が塩化銅水溶液に電圧を加える実験を行い、塩化銅水溶液に電流が流れる事実を確認した。その際は、陰極に銅が析出し、陽極に塩素が発生する事実も生徒は見いだしていた。その後、「電流が流れたことを原子や電子のモデルで表そう」と課題を示し、「まずは個人で考えましょう」と指示した。それ以降、グループに分かれてモデルを考える活動や、モデルの発表、そして各モデルへの意見交換をする活動を通して、生徒は次々と自らの考えるモデルを変化させていった。

## ② 生徒のモデルと考察

この部分の詳細は、第3節に記すので、ここでの生徒の反応は省略する。

## (5) 課題5「塩化ナトリウム水溶液に流れる電流をモデルで表そう」

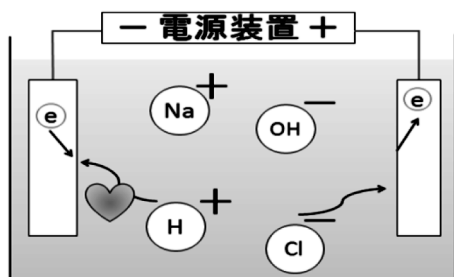
### ① 概要

第6時終盤に塩化ナトリウム水溶液を提示し、「電圧を加えると両極にどんな物質が出るかな?」と投げかけた。すると生徒は、課題4における「塩化ナトリウムは水溶液中で  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  に電離している」というイオンの学びを活かし、「陽極には塩素、陰極にはナトリウムが発生する」と予想した。しかし演示実験の結果、陰極には予想していたナトリウムではなく、水素が発生するとい

う事実を目の当たりにする。ここで生徒は、ナトリウムではなく、水素が発生することについて疑問を抱いた。そこで、「どうして水素が発生したのか、モデルで考えてみましょう」と投げかけ、課題5を提示した。そして、モデルを考える手立てとして、「純水もわずかに電離しています( $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ )」と伝え、このことと実験結果を照らし合わせて生徒にモデルを考えるように促した。

## ② 生徒のモデルと考察

図6は、水溶液中の $\text{Na}^+$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{OH}^-$ のイオンのうち、 $\text{H}^+$ と $\text{Cl}^-$ だけが極板に引きつけられ、電子を受け渡しし、物質となって発生するモデルである。このモデルの背景には、 $\text{H}^+$ より $\text{Na}^+$ の方が陽イオンになりやすい、というイオン化傾向の概念があり、モデルを考える過程で、その概念の基盤が築かれていったと考えることができる。36人中18人(50%)がこのモデルを考えた。



【図6：塩化ナトリウム水溶液に電流が流れる様子を表したモデル】

## (6) 課題6「塩酸に2種類の金属を入れたときに流れる電流をモデルで表そう」

### ① 概要

第7時の終盤に、塩化銅水溶液にスチールウールを浸す演示実験を行い、スチールウールが溶けて銅が析出する様子を観察させた。その中で教師が意図的に「今、電圧を加えたかな？」と投げかけた。これにより、今までは電圧を加えた結果として電極に物質が発生していたが、今回は電圧を加えなくても物質が発生している、という事実注目させた。そして、「今度は電離している水溶液に2種類の金属を入れたらどうなるか」と投げかけ、次時に実験を行うことを示唆した。

次時の第8時では、銅板(Cu)、亜鉛板(Zn)、マグネシウムリボン(Mg)の3種類の金属のう

ち2種類を塩酸に入れ、電流が流れるかどうかを電圧計で確認しながら、金属や水溶液に起こる変化について観察した。その結果、表1に示す結果となり、クラス全員が確認した。これにより生徒は、3種類の金属の内、Cuは必ずプラス極、Mgは必ずマイナス極になることを見いだした。

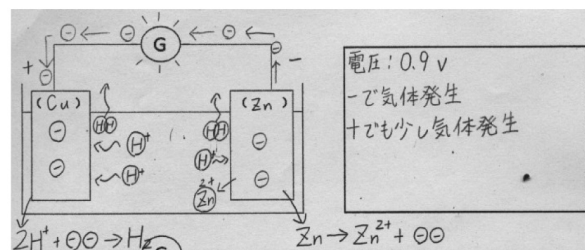
【表1：実験結果をまとめたもの】

	＋極	－極	電圧(V)	変化の様子
①	Cu	Zn	0.85	＋極から少し、－極から大量の水素が発生した。また亜鉛は溶けたが、銅が溶けなかった。
②	Cu	Mg	1.6	＋極から少し、－極から大量の水素が発生した。またマグネシウムは溶けたが、銅が溶けなかった。
③	Zn	Mg	0.8	両極から大量の水素が発生した。また亜鉛、マグネシウムとも溶けた。

そして、銅と亜鉛板に注目し「銅板と亜鉛板を用いた時に電流が流れたことをモデルで表そう」と課題を提示した。また、モデルを考える手立てとして、MgとZnと $\text{H}_2$ とCuのイオン化傾向( $\text{Mg} > \text{Zn} > \text{H}_2 > \text{Cu}$ )を伝え、これを実験結果と照らし合わせて生徒はモデルを考えた。

## ② 生徒のモデルと考察

図7に生徒の考えたモデルを示す。亜鉛板から亜鉛が陽イオンとなって溶け出したことにより電子の流れが生じ、水素が発生する様子を表している。36人中6人(17%)がこのようなモデルを考えることができた。少人数ながら、イオン概念を用いてモデルを考えることができた。



【図7：塩酸に銅と亜鉛を浸し、電流が流れる様子を表したモデル(C40の例)】

## 3 課題4「塩化銅水溶液に流れる電流をモデルで表そう」の詳細な考察

ここでは課題4の詳細な授業展開や生徒の考えたモデルについて詳しく考察する。

(1) 生徒のモデルとモデル分類の視点

表2は、この場面で考えられた19人のモデルを整理したものである。モデルを考えるにあたり、多

くの生徒が自らのもつ電流に関するそれまでの考えを手がかりに、個性的に考察した結果であると考えられる。

【表2：生徒が考えたモデルの詳細】

分類	モデル	説明	考察
電子が一周しないモデル	A	塩化銅水溶液中には、プラスの電気を帯びた銅とマイナスの電気を帯びた塩素が存在する。プラスの電気の銅は陰極に引きつけられ、陰極から電子を受けとり銅になる。マイナスの電気の塩素は陽極に引きつけられ電子を渡す。これによって電子の流れが生じるので電流が流れる。	電気を帯びた粒子の存在はこれまでの学習では無かった。しかし、課題2で学習した「原子の構造」を活かすことにより、推測することができる。
	B1	塩化銅水溶液中には、マイナスの電気を帯びた塩素があり、陰極から電子を受け取って陽極まで運ぶ。陽極でもっている電子を渡すことによって電子が1周し、電流が流れる。銅はプラスの電気を帯びているので、陰極に発生する。	課題2の学習で、「物質は電気を帯びていない状態である」と学習している。 しかしこのモデルは、銅の析出について、プラスの電気を帯びたままになっているので、実験結果と合わない。
	B2	塩化銅水溶液中には、固体の塩化銅が溶けている。電圧を加えると塩化銅は陰極に引きつけられ、銅と塩素に分解される。そして、陰極から塩素だけが電子を受けとり、陽極へ運ぶ。塩素は陽極で電子を渡し、電流が流れる。その結果、陰極には銅、陽極には塩素が発生する。	課題3の学習では、塩化銅は電流が流れないので、電気を帯びていないと学習した。しかし、このモデルだと塩化銅が陰極に引き付けられているため、塩化銅がプラスの電気を帯びていることになってしまい、矛盾している。
	D1	固体の塩化銅は水溶液中で微小な粒子となって存在している。その塩化銅を用いて陰極から陽極までを連結させて回路を作り、そこを電子が移動することによって電子が回路を1周し、電流が流れる。	課題3の学習で、固体の塩化銅は電流が流れないと学習しているので、その点で矛盾する。また銅と塩素の発生理由については説明されておらず、不十分なモデルである。
	D2	塩化銅水溶液中の塩化銅は銅と塩素に分かれている。その銅を用いて、陰極から陽極までを連結させて回路を作り、銅の橋を電子が移動することによって電子が回路を1周し電流が流れる。	この場合、両極に銅が析出することになり、実験結果と矛盾している。 また、このモデルが正しいとすれば、水溶液中に銅の粉の橋が観察されるはずだが、そのような観察結果はない。
	D3	塩化銅水溶液中には、プラスの電気を帯びた銅、固体の塩化銅、マイナスの電気を帯びた塩素が存在する。プラスの銅は陰極に付き、マイナスの塩素は陽極に付く。そして、その間を固体の塩化銅が埋め回路を作って、そこを電子が移動して電流が流れる。	課題3の学習で、固体の塩化銅は電流が流れないと学習しているので、矛盾する。 またマイナスの電気を帯びている塩素が電子を受けとるという点も、中学2年の静電気の学習とも矛盾している。



表2で示した全6通りのモデルは、まず回路の捉え方により、次の2つに大別できる(図8)。

### ① 電子が1周するモデル(図8左)

これは、実験装置を電気回路として考えたとき、電源装置の負極から出た電子が、陰極から陽極まで何らかの手段で移動し、最終的には必ず電源装置の正極にたどり着くモデルである。これが「電子が回路を1周する」の捉え方であり、これによって電流が流れることを表している。モデルD2を例にすると、陰極から陽極の間を、電流が流れる性質のある銅を連結させて回路を作り、そこを電子が移動して1周していくというモデルである。

この考え方の背景には、小学校第3学年「電気の通り道」で学習する電流が流れる回路の概念をはじめ、「電流は電子の流れである」という中学校第2学年「電流」での学習経験があると考えられる。また、生徒の生活経験にも多く当てはまる考えであることから、自らの経験を基盤に考えたモデルであると捉えることができる。

### ② 電子が1周しないモデル(図8右)

これは、先述の電子が1周するモデルとは異なり、電源装置の負極から出た電子が、正極までたどり着かなくても電流が流れる、という考え方のモデルである。モデルAを例にすると、水溶液中にはプラスの電気を帯びた銅と、マイナスの電気を帯びた塩素が存在し、陰極ではプラスの電気を帯びた銅が電子を受け取り、陽極ではマイナスの電気を帯びた塩素から電子を受け取ることで、電子の動きが生じて、電流が流れることを表している。このように、陰極は何か電子を受け取り、陽極は別の何かから電子を受け取ることで、電子の動きが生み出され、それぞれの極板と電源装置の間で電子の動きが生じ、電流が流れることを表している。

この考え方は、既習事項や生活経験からでは、考えられにくいモデルである。つまり「電子が回路を1周しなくても電流が流れる」という概念を、実験から得られた新たな事実をもとに生み出したモデルであるといえる。ただ、生徒の中には、教科書を見て鵜呑みにきちんと理解しないまま自分のモデルにそのまま用いた生徒もいると思われ

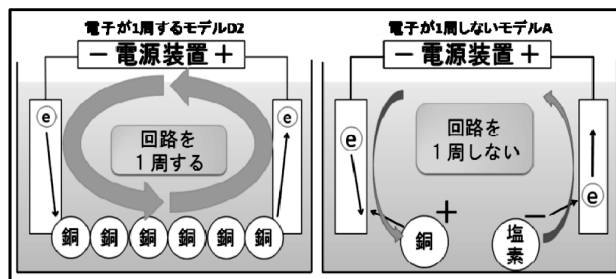
る。

このような回路の捉え方によるモデルの表現の違いは、同時に生徒のもつ物質観の違いを表している。

上述のように、「電子が1周する」モデルは既存の知識や経験から考えられている。そして、その背景には「物質は全て違った粒子からできている」といった物質観がある。「電子が1周する」考えは、必ず1つの電子が元の物質の元へ戻ってくることを表しているである。

一方で、「電子が1周しない」モデルの背景には、「物質は全て同じ粒子からできている」といった物質観がある。「電子が1周しない」考えは、電子が動いた結果、物質が元々もっていた電子とは違った電子が戻ってくるからである。

したがって、生徒のモデルを、①電子が1周するモデル、②電子が1周しないモデルに大別することで、生徒のもつ電流が流れる回路の捉え方を明確にすることの他、生徒のもつ物質観までも明らかにできるので、筆者らはこのようにまず大別することが妥当であると考えた。



【図8：電子が1周しないモデルと電子が1周するモデル】

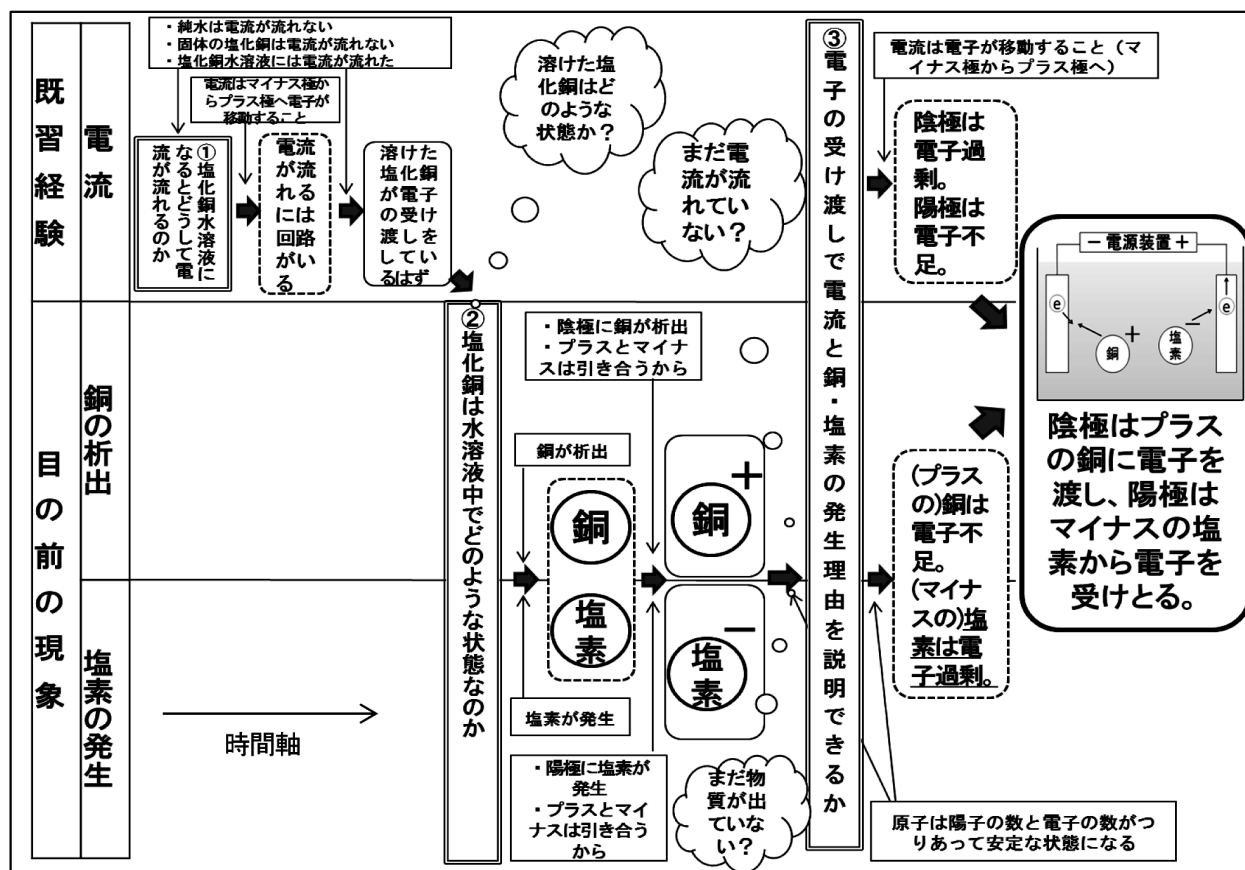
### (2) モデルとして表現するまでの生徒の思考

ここでは、ワークシートの記述から、代表的な数名の生徒がモデルを考えていく過程を明らかにし、生徒の思考の多様性について考察する。

#### ① 電子が1周しないモデルA

##### A 新たな事象から既習概念を見直したC2

以下に、ノート进行分析し、塩化銅水溶液に電流が流れることを結論付けるまでのC2の考えの過程を構造化したものを示す(図9)。構造化の視点として、縦軸に既習経験と、目の前の実験の現象として観察できた事象からの生徒の考えを整理し、横軸は時間軸を表す。



【図9：C2の考えの構造】

図9からまずC2は、極板に銅と塩素が発生した事実には注目せず、塩化銅水溶液に電流が流れた理由について明らかにしようとしていることが分かる。そして、C2は小学校第3学年以降の学びをまず活かし、「電流が流れるためには回路が必要である」と考えた。さらに、純水や固体の塩化銅では電流が流れなかった、という事実から「水溶液中に溶けている塩化銅が電子の受け渡しをしている」と仮定した。水溶液中の塩化銅については、銅と塩素が別々の極板に発生したことから、「塩化銅は銅と塩素に分かれているはず」としている。さらに、必ず陰極には銅、陽極には塩素が発生していることに注目し、「水溶液中の塩化銅はプラスの電気を帯びた銅とマイナスの電気を帯びた塩素に分かれている」とした。

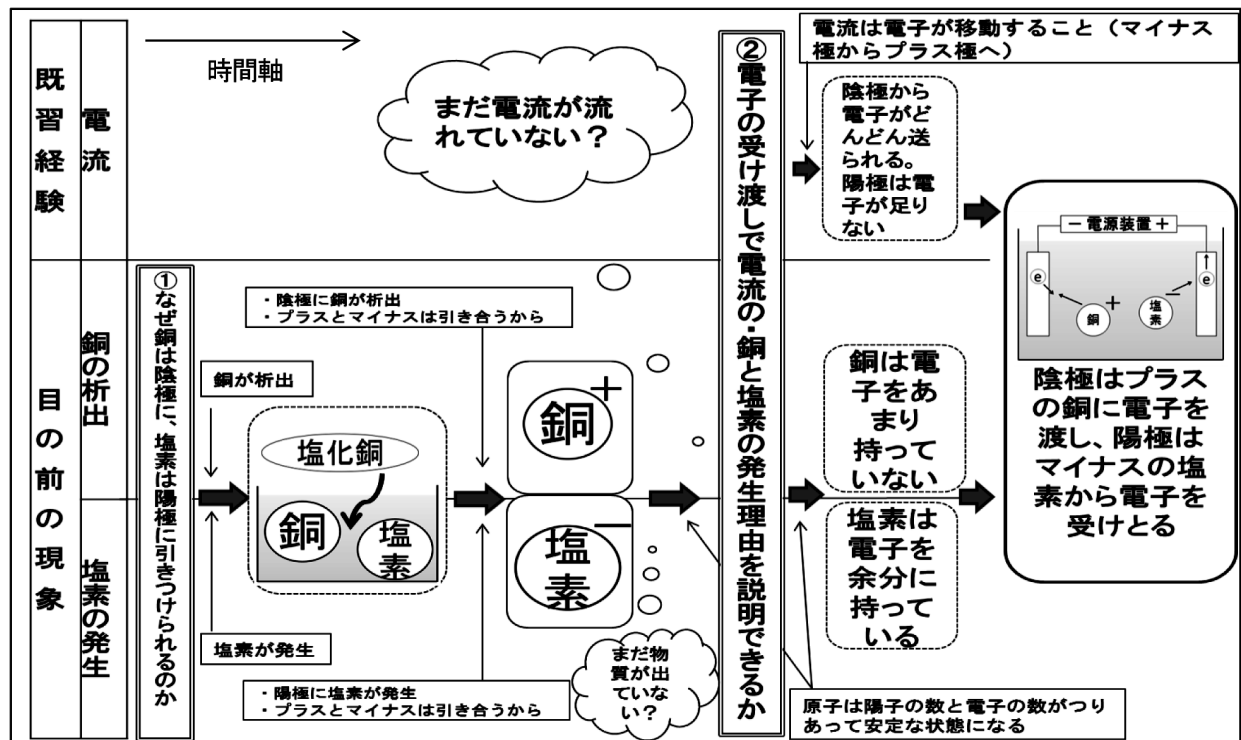
この段階で、まだ電流が流れていないことと、物質が発生していないことの間に問題点を見いだしたC2は、それらを電子の動きで解決しようとする。電流が流れることについて、「陰極は電子過剰。陽極は電子不足。」とし、物質の発生については「(プラスの電気の)銅は電子不足。(マイナスの電気の)塩素は電子過剰」として、既習事

項と目の前の現象とを合わせて考え、最終的にモデルを考えた。この事例は、モデルを考える過程で、電流に対する概念を変容させた例である。塩化銅水溶液に電流が流れたことに対して、はじめは「回路がある」と考えていたC2であったが、両極に銅と塩素が発生したことについて考えを進めていくうちに、回路の考え方を改め、「電子が動けば電流が流れる」といった見方に自分の考えを修正したと考えることができる。

### イ 現象を基点に思考を深めたC31

図10はC31の思考を構造化したものである。まずC31は、銅が必ず陰極に析出し、塩素が必ず陽極に発生したことについて明らかにしようとしているといえる。そして、その結論として、「銅は水溶液中でプラスの電気を帯びている、塩素はマイナスの電気を帯びている」とした。これ以降は先述のC2と同様で、この段階では、まだ電流が流れていないこと、物質が発生していないことに問題点を見だし、それを電子の動きで解決していこうとしたC31である。





【図10：C31の考えを構造化したもの】

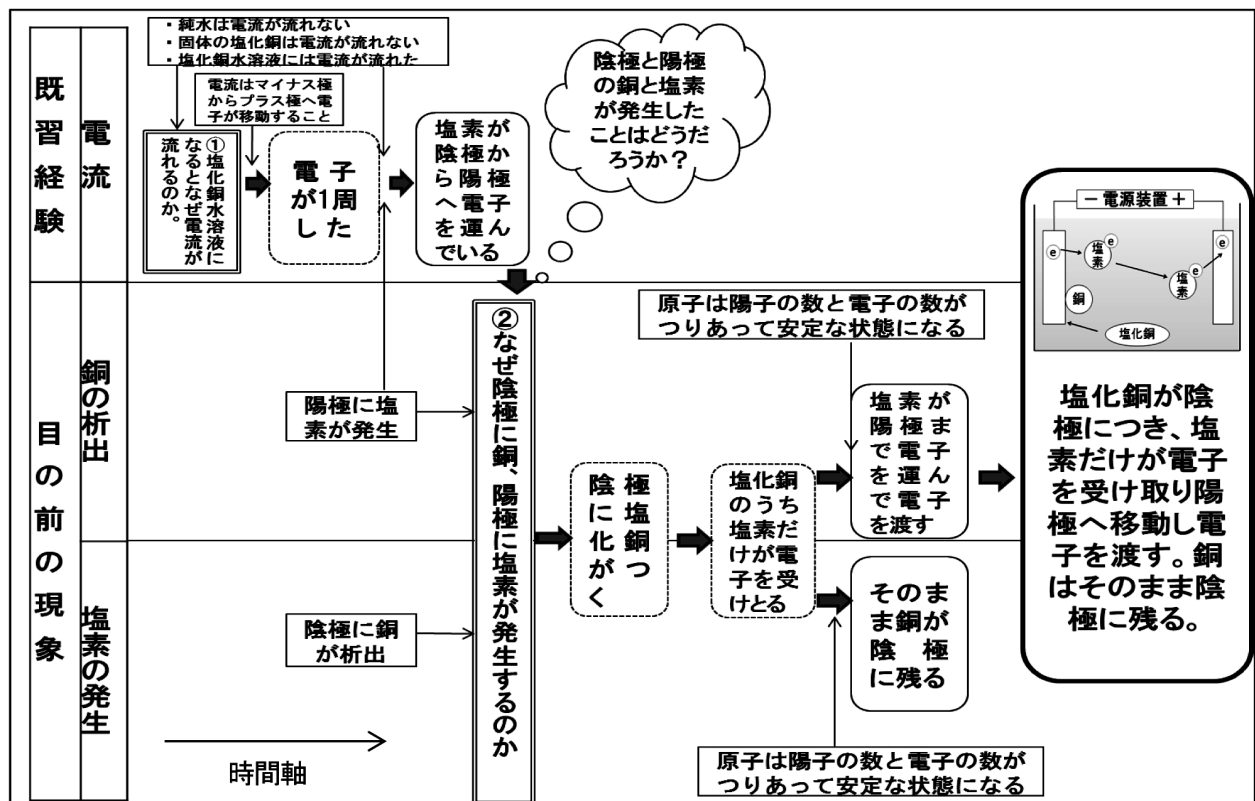
② 電子が1周することを基点に思考を深めた C4

図11は、C4の思考を構造化したものを示す。

まずC4は、塩化銅水溶液に電流が流れたことについて明らかにしようとしており、陰極から陽極まで塩素が電子を運んでいると結論付けた。そ

の後は両極に物質が発生したことを解決しようとし、陰極に付いている塩化銅のうち塩素だけが電子を受け取り陽極へ移動して電子を渡して塩素が発生、銅はそのまま陰極に析出するとしている。

この事例は、電流に関する既習の「回路」の考



【図11：C4の考えを構造化したもの】

えをあくまで不変の真理として置き、そのことを基点に自らの考えを変えなかった例である。塩化銅水溶液に電流が流れたことを明らかにする際、「電子が1周しなければならない」という考えが絶対的なものになっているため、これをもとにして考えを構築しているのである。そして、電子が1周しないモデルを考えた生徒は、初めの段階で例外なく電子が1周する回路の存在を断定して、思考を進めている。

### (3) 授業の詳細とクラス全体の変容

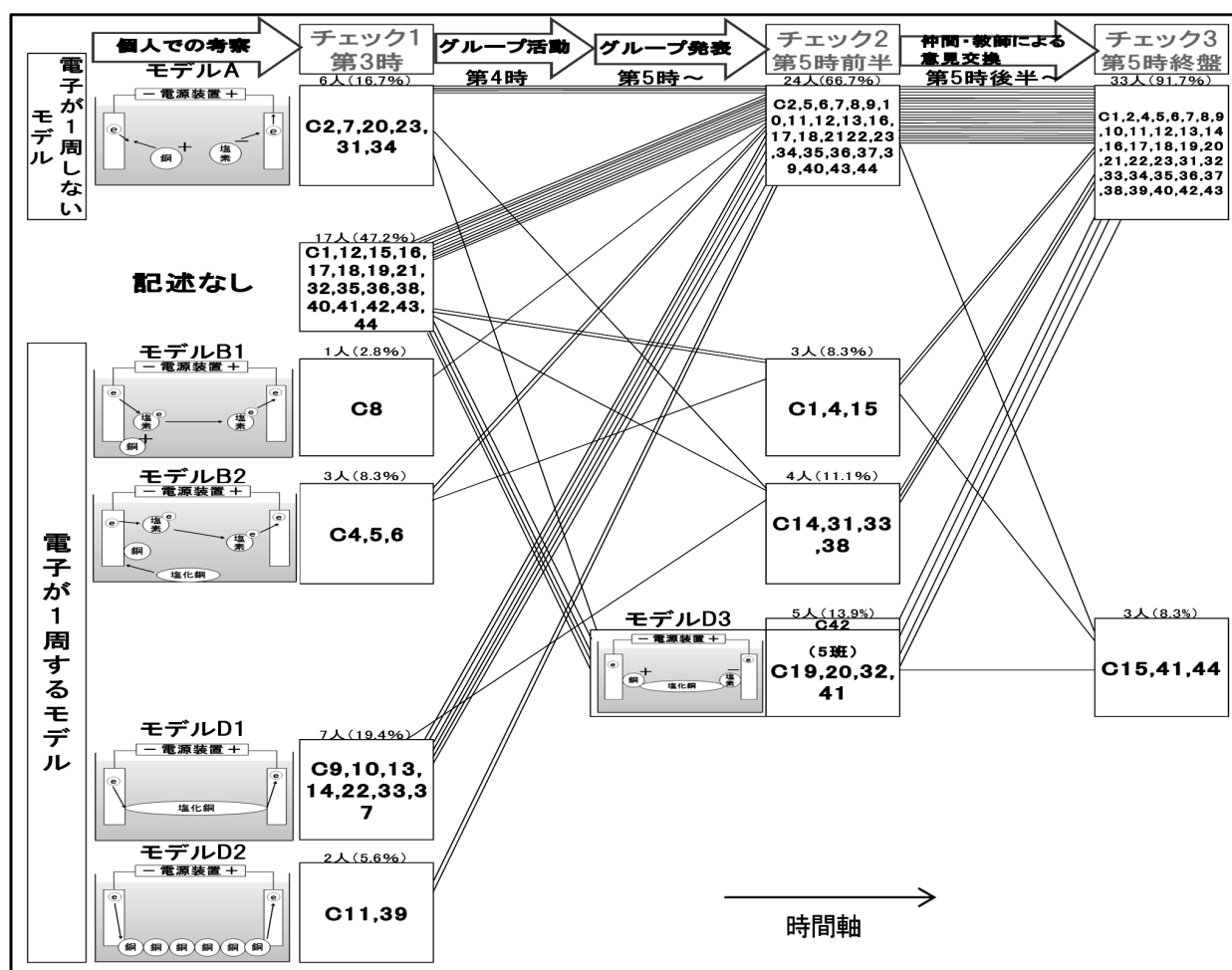
図12は、課題4の学習展開に沿った生徒のモデルの学級全体の変容図である。縦軸は生徒のモデル、横軸は時間を表し、右に進むにつれて授業が展開していく。チェックポイントを3つ（個人による考察後、グループによる話し合いとグループ毎の発表後、仲間や教師によるモデルへの意見後）設け、その段階での生徒の考えを記録した。以下、それぞれのチェックごとの授業の詳細を記す。

#### 《チェック1 第3時：実験・個人での考察》

塩化銅水溶液に電圧を加える実験から、陰極には必ず銅が析出すること、陽極には必ず塩素が発生するという事実を全ての生徒が見だしている。そこで教師が「得られた事実と矛盾しないように、まずは個人で電流が流れたことをモデルで考えよう」と投げかけ、生徒はモデルを考えた。その結果、図中のチェック1に示す5通りのモデルが考えられ、36人中19人(53%)がモデルを考えることができた。

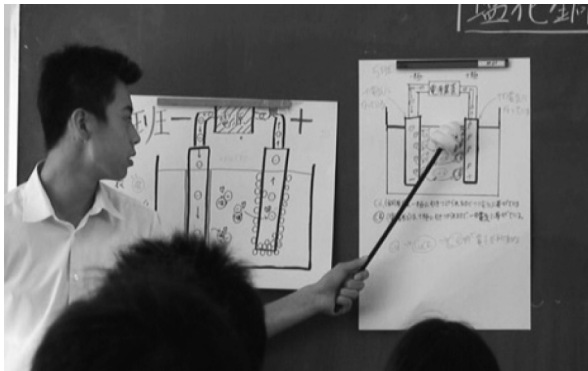
#### 《チェック2 第4時～第5時前半：グループ活動・発表》

第4時では、6つのグループに分かれ、「各自のモデルを修正してグループ全員が納得できるモデルを考えよう」と指示し、グループで考察を行った。そして、第4時の終盤から第5時前半にかけてクラスの前でモデルを発表する場を設けた(写真2)。発表の後「今どんなモデルを支持しますか?」と聞



【図12：生徒のモデルの学級全体としての変容図】 \*C1~C44は生徒の番号を表す

いたところ、チェック2に示す結果となった。



【写真2：グループの代表者による発表場面】

顕著な変容としては、電子が1周しないモデルを支持する生徒が、グループ活動後は、6人から24人と大きく増えている点が挙げられる。電子が1周しなくても電流が流れるという考えは、生徒らの既習経験・生活経験からは生み出しにくい。しかし、仲間の意見を聞き、自分の考えと比較することにより、電子が1周しないモデルに対しても科学的な客観性を認めたため、「そう考えればたしかに事実が説明できる」と考え進めていくことで、このような変容があったと考えられる。

また、個人の考察でモデルを考えることができなかった生徒全員が、何らかの考えをもつことができたことも、顕著な変容の1つである。

もう1つの顕著な変容としては、グループ活動の段階でモデルD3という新たな考えが生まれたことに注目したい。これは個人の考察では無かったモデルで、第5グループ(C16,19,20,21,32,41)がグループ内の話し合いによって新たに生み出された。また、個人の考察では見られたモデルD1, D2がグループ活動の段階で無くなっている。グループ内の話し合いにより、これらのモデルの客観性が得られなかったため、無くなったと考えることができる。

#### 《チェック3 第5時後半：各モデルへの指摘》

グループ発表の後、発表されたモデルに対して意見交換する場を設け、クラスの仲間や教師から科学的根拠が弱い部分について指摘があった。その後のモデルの変化を、図中のチェック3に示す。最終的に、36人中33人(92%)が、電子が1周しないモデルを考えていることが分かる。ではどのような指摘があったのか、第6グループが発表したモデルB2に対する指摘場面を表3に記す。

【表3：第6グループが発表したモデルB2への指摘場面】

#### 【授業の実際】

【凡例】教：教師 C 数字：生徒番号 番号：発言番号

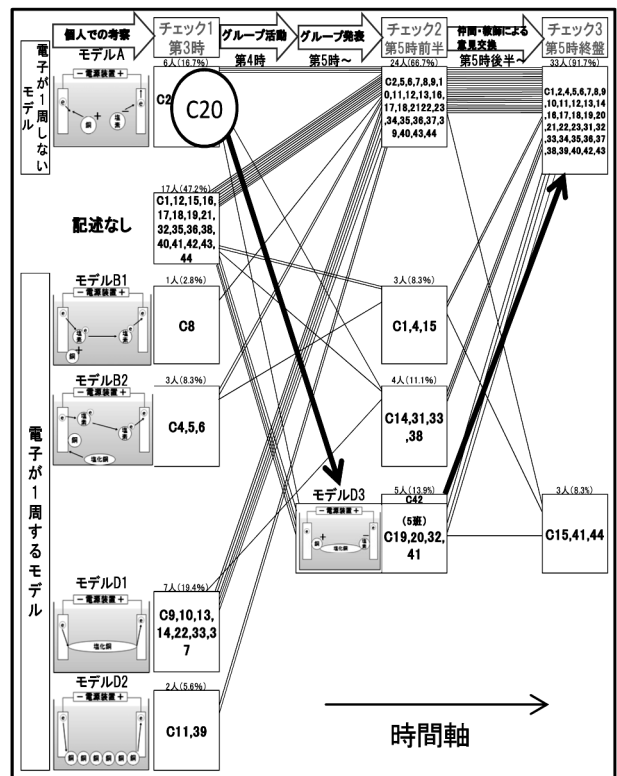
T①：塩化銅は溶かす前は電流が流れない性質だったよね。なら塩化銅全体としてはプラスマイナス0のはずだよね。(中略)。プラスマイナス0なのにどうして陰極と引き合ったのかな？

C0：本当だ。おかしいな。

「塩化銅を水溶液に入れて電圧を加えると、水溶液中の塩化銅が陰極に引き付けられる」と主張した第6グループに対して、教師が「固体の塩化銅は電気を帯びていなかった」と既知の事項とは矛盾することを確認し、詳細な説明を求めた。しかし、生徒は答えることができなかった。このように、発表されたモデルについて、既習事項と矛盾する点があれば指摘していくことで、生徒は自らの考えを見直す契機となった。

#### (4) C20の追究(図13)

ここではC20に焦点を当て、課題4の中でどのように考えを組み換えていったのか考察する。



【図13：C20に焦点を当てた学級全体の変容図】



① チェック 1→チェック 2 での変化

まず C20は、個人の考察では、電子が1周しないモデルAを書いていた。しかし、それはC20にとって本当に自信があって書いたものなのか、筆者らは疑問を抱いた。なぜなら、グループ発表の場面にて、モデル B2 が発表された直後に、次の発言をしているからである(表4)。

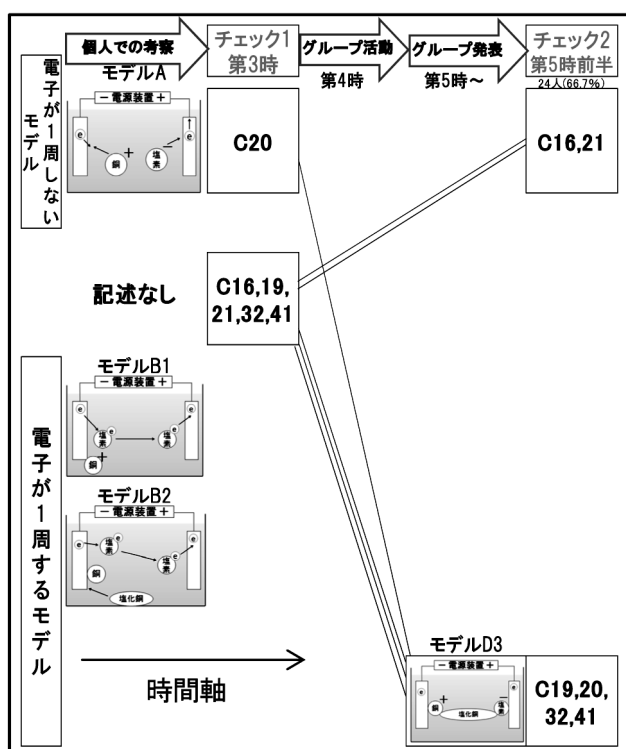
【表 4：授業中の C20の発言】

【授業の実際】

C20: ①電子をもった塩素がそのまま陽極に移動したのか、それとも ②塩素が電子を受け渡ししていった電流が流れたのか。

表4の発言は、C20が電流の流れ方について、  
下線部に示す2通りの考えをもっていることを示している。しかし、それはいずれにせよ、電子が1周して電流が流れる、という考え方である。そのため、最初の段階では、電子が1周しないモデルAを書いていたが、この段階では電子が1周していないという意識はあまりなく、電子がどのようにして水溶液中を運ばれて1周するのか、ということに意識を変えていったC20であると考えられる。

したがって、電子が1周して電流が流れるという考え方をもっていながらも、陰極・陽極から



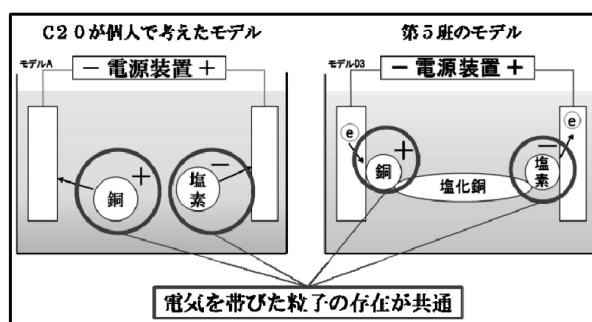
【図14：第5グループの変容図】

それぞれ銅・塩素が発生したという事実から、イオンという物質の存在を推論し、電子が1周しないモデルAを書いたと考えられる。C20の個人での考察を以上のように捉えてみたとき、グループ活動で新たなモデルD3が考え出されたこと、そしてC20がそれに考えを変えていることが納得できる。

図14に第5グループの生徒に焦点を当てたモデルの変容を示す。

新たなモデル D3 を考え出したのは C20 を含む第5グループで、C20以外の生徒は、個人の考察の段階では何の記述もなかった。一般的には、誰も考えをもたない場合、考えをもっている者が中心となって話を進め、そしてその中心人物である C20 が発言すれば、その人物の考えであるモデル A になることが一般的であろう。しかし、結果的には新たな考えになっている。ではなぜ、C20 は考えを変えたのだろうか。

ここで、C20が個人で考えたモデルAと、モデルD3を比較してみる(図15)。



【図15：モデルAとモデルD3の共通点】

これらのモデルを比較すると、プラスの電気を帯びた銅とマイナスの電気を帯びた塩素が、それぞれ陰極と陽極に引き付けられている、ということが共通していることが分かる。

つまり、C20はグループでモデルを考える際、電気を帯びた粒子、つまりイオンが両極にあるという個人での考察の部分を残しつつも、両極の間に塩化銅を介すことで、電子が1周して電流が流れる納得したモデルを考えたとされる。そこには、グループ活動やグループ発表を通して、水溶液中を電子が1周して電流が流れる、という自分の考えについて自信をもったC20の姿があると認めることができる。

## ② グループ活動後→討論後の変化についての考察

グループ発表後、発表された各モデルの科学的根拠が乏しい部分について、教師が指摘した。以下に、第5グループが発表したモデルD3について、教師とC20の実際のやりとりの例を表5に記す。

「固体の塩化銅は電子を受け渡しすることができるので、電流が流れる」と主張したC20に対して、教師は「固体の塩化銅は電流が流れなかった」と既知の事項を確認した。その結果、最終的にはC20は固体の塩化銅に電流が流れるようになった理由を説明することができなかった。教師からの指摘により、C20はモデルD3の客観性が乏しいことに気付き、モデルを考え直すきっかけになったと考えられる。

【表5：授業中のC20の発言】

### 【授業の実際】

教⑤：5班のここ。水に溶かすまでは電流流れ無かったよね。(中略)。そんな電子とラブラブなのに、どうして電子もう1個もらったのだろう。

C20①：銅原子が電子もらった時に、銅原子もいらないから……。銅原子もそのマイナス極に付いた時にプラスマイナス0になってしまったから。

教⑥：電子をひゅってもらってプラスマイナス0になったよね。

C20②：だから、それももう電子必要ないから。

教⑦：あ、2つもらうの？くっついたら1個もらってプラスマイナス0になるよね。プラス1マイナス1やからプラスマイナス0だよ。それで？

C20③：電流流れとる間は電子がどんどん来るからもう1個もらって送って……。

教⑧：じゃあ塩化銅はどうして電子をもらうの？これは元々プラスマイナス0だからいらないんじゃないの？

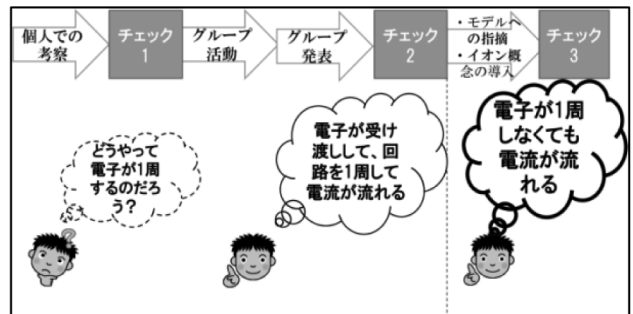
C20④：いや、気まぐれか何かで……。

指摘後、教師から「電気を帯びた原子もある」とイオンの存在を示されると、C20はモデルAへと考えを戻した。このことに対して、授業後の感想で次のように記している(表6)。

【表6：C20の感想】

電流は受け渡しで流れるものだと思っていたが、そうでないことを知ったので、次はそれを活用したい。

これより、C20はチェック2までは電流の流れ方について、「電子が受け渡しし、回路を1周することで電流が流れる」と考えていたものが、既習事項と矛盾する指摘や、イオンというものの存在を学習することにより、「電子が1周しなくても、電流が流れる回路としての意味をもつ」という考えを知ったと考えられる。C20の学習を振り返ると、初めは何となくの自分の考えを、グループ内の話し合いによって自信をつけ、しかしイオンという新たな事実の提示により、それまでの考えを見直し、それに合うように自分の考えを柔軟に変えていくC20であると考えることができる(図16)。



【図16：C20の学習の振り返り】

## V 議論

### 1 思考の変換を中核に据えた理科学習の妥当性

ここでは本実践の学習を、課題に対して実験・観察などを通して解決していく一般的な問題解決的な学習と比較し、今回行った学習展開の可能性を探る。図17-aに、一般的な理科の課題と単元の捉え方を、図17-bに本実践の理科の課題と単元の捉え方のモデルを示す。

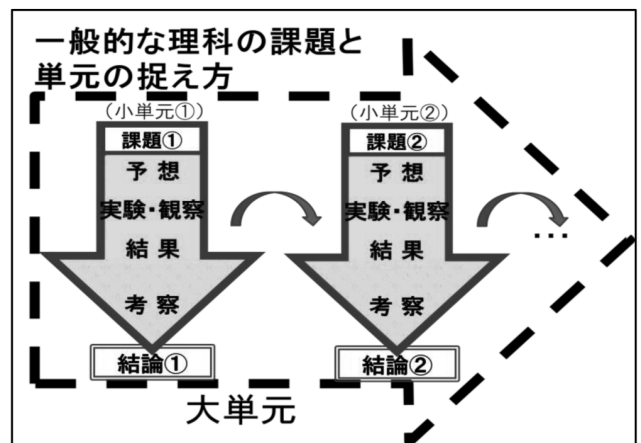


図17-a：一般的な理科の学習過程

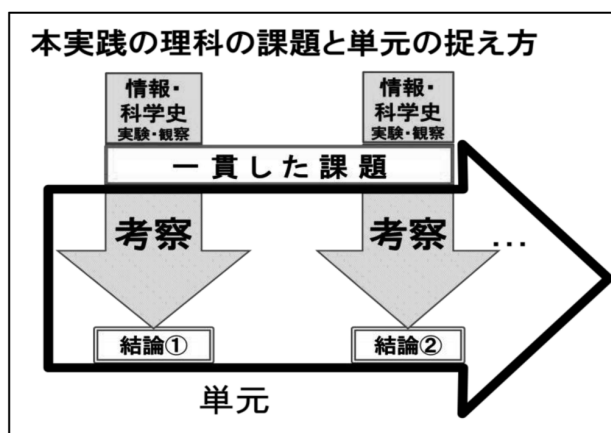


図17-b：本実践の理科の学習過程

水平方向の矢印は単元全体の展開を示し、鉛直下方向の矢印は小単元の展開を示している。

ここでは両者の学習形態の違いを明確に示し、本実践で行った学習の可能性について以下に述べる。

今回の理科の学習過程は、一般的な理科の学習過程と次の2点において大きく異なる。

#### (1) 実験・観察を行う意義

文科省(2008)<sup>(8)</sup>によると、理科の目標に『目的意識をもって観察、実験など行い』とある。ここでいう目的意識とは、生徒が「問題・課題を解決したい」、「自分の仮説を確かめてみたい」といった、生徒の意欲を背景にした問題解決的な学習の中に位置づけられた観察・実験であると考えることができる。これより、文科省の定義する実験や観察とは、主に課題を解決するためや、自らの主張を裏付けるために行うものであると捉えることができ、このことは左巻・内村(2009)<sup>(9)</sup>も同様に述べている。つまり、理科教育の中で、自らの考えを検証するための観察や実験は一般的であり、生徒の主体的な問題解決の過程の中で、自然とそういった意味をもってくるのである。

これに対して今回の実践は、問題・課題を解決するためではなく、主に問題・課題を見いだすために実験や観察、あるいはそれらの活動で得られた結果を提示している。これによって、問題解決の過程の中の「予想」や「結果」が省略され、「考察」に重点が置かれ、考えることを中核に据える学習になることを示している。

ところで、実験や観察は、ただ単に問題を解決するためだけに行うものだろうか。たとえば、丸本(1984)<sup>(10)</sup>によれば、導入で興味を示す実験や驚く

ような現象を提示すれば、子どもたちは活動に熱中し、多面的な課題をとらえることができたことを報告している。

本実践では、課題を見いだすために、生徒の先行経験や既習概念と矛盾する実験や観察、あるいはそれから得られる結果を提示した。つまり、既知の経験と矛盾する観察・実験とを対比させたのである。今回、第3時で行った塩化銅水溶液の電気分解実験、第6時で行った塩化ナトリウム水溶液の電気分解は、いずれも生徒の先行経験とは矛盾する結果が得られるものである。丸本(1984)<sup>(10)</sup>は、『この矛盾や対立を解明しようとするのが課題意識であり、これを止揚して新しい考えを生み出そうとするのが、問題解決の学習である』と述べており、その結果、課題後の自由な考察の時間が確保され、科学的にものを考える力が養われていくと述べている。今回も、この矛盾する現象を提示することで、モデルに示すという課題解決への原動力にしているといえる。

#### (2) 「課題」の質

例えば1つの単元の中に3つの小単元が存在するとき、一般的にはそれぞれの小単元ごとに課題の過程を踏んだ学習を行う。しかし、小単元ごとの学習で完結してしまうので、そこで得た科学的な概念を「普遍の真理」として捉えてしまうことが懸念される。

これに対して、今回の実践では、単元全体を通して一貫した課題を設定したことにより、自らの考えを修正していく学習になっている。具体的に、第1次では、「電流は、電子が回路を1周しないと流れない」から「電子が回路を1周しなくても流れる」という変化があり、また第2次では、「電圧を加えないと、水溶液に浸した極板に物質は発生せず、電流も流れない」から「電圧を加えなくても、極板に物質は発生し、電流が流れる」という変化があった。

このように、単元を通して自分の考えを組み換えていくことを単元全体の課題とした学習を展開することにより、「現在の科学は絶対だ」という普遍の真理ではなく、「科学は新たな発見から常に変化する」という動的科学観に立った科学的な見方や考え方ができる生徒の育成が期待できる。

#### 2 「電流をモデルで表そう」の可能性

本実践では、電流の流れ方についての一貫性のあ



る単元の一部にイオンを置き、学習指導要領上の「エネルギー」と系統性をもたせた。しかし、本来であれば「水溶液とイオン」の単元は「粒子」に位置付けられている。そこで、ここでは「水溶液とイオン」の単元の存在意義について考え直してみたい。

鈴木(2010)<sup>(11)</sup>は、単元「水溶液とイオン」で養いたいものは、三大物質(原子でできた物質・分子でできた物質・イオンでできた物質)という物質観であると述べており、生徒がミクロな物質の世界について捉えることができ、物質観が豊かに深められていくと考えている。つまり、「水溶液とイオン」では、電解質水溶液中の物質の状態に注目し、原子でも分子でもない粒子であるイオンの存在を学ぶべき、ということである。この扱いは「水溶液とイオン」の学ぶべき内容であるという学習指導要領に沿ったものとして捉えることができる。

しかし、それが本当に子どもにとって価値のあることなのだろうか。筆者らは、イオンの存在を中心にこの単元を学習するのではなく、電流の流れ方を中心に考えていく中でイオンというものの見方を学ばせることこそ重要であると考え。

課題4の直前、電流が流れない物質である固体の塩化銅・純水を混ぜ、塩化銅水溶液にすると電流が流れる、ということを目の当たりにした授業終了後の感想を整理したところ、自由記述にも関わらず、36人中19人と、半分以上が電流が流れたことに意識を向けていることをすでに報告した。これから、生徒にとって解決したいことは、『電解質水溶液に電流が流れたこと』と捉えるのが妥当であり、水溶液中の物質ではないと考える。

物質を構成している原子をさらに微視的に見ると、陽子・中性子・電子からできている。そして、それぞれの粒子の数が異なるだけで、物質としての役割が違って来る。「物質としての役割は微小な粒の数のみに依存する」こと、言い換えれば、「世の中の物質は全て同じ粒子からできている」ということである。これこそが、この単元で学ぶべき物質の価値観であり、電流についての議論を重ね、「電子が1周しなくても電流が流れる」というモデルにたどり着くことこそ、まさに、この価値観を表しており、「水溶液とイオン」で学ばせたいことではないだろうか。

## VI まとめ

### 1 結論

- (1) 単元「水溶液とイオン」を、電子の動きを中核に据えた展開にすることで、因果関係を明確にした考え方が可能な単元となる。
- (2) 実験や観察を行い難い単元においても、単元を一貫した課題を設けることで、生徒は問題解決的な学習が可能となる。

### 2 残された問題

- (1) 課題4の場面について、考えがもてない生徒への支援、また生徒による討論の場面においては、さらに学習展開を吟味し、実践的な考察が必要である。

### 【謝辞】

本研究のための実践にご協力くださいました富山市立大沢野中学校校長の山形延良先生、神保孝司先生に深く感謝いたします。また、たくさんの資料をご提供くださいました富山大学人間発達科学部附属中学校の玉生貴大先生に深く感謝いたします。

### 【引用文献】

- (1) 文部科学省(2008)「中学校学習指導要領解説 理科編」大日本図書 18
- (2) 国立教育政策研究所教育課程研究センター研究開発部(2007)「特定の課題(理科)に関する調査」110～139
- (3) 霜田光一ほか25名編(2011)『中学校科学3』, 学校図書株式会社 74～117
- (4) 教育出版株式会社編集局(2010)『理科第3学年平成22年度用補助教材』, 教育出版株式会社 8～19
- (5) 高橋迪夫・藤井敏嗣・渡辺正ほか43名編(2010)『新版中学理科3年平成22年度版以降教材』, 大日本図書 20～37
- (6) 新編新しい科学編集委員会・東京書籍株式会社編集部(2009)『平成21年度用補助教材新編新しい科学3年21プラス』, 東京書籍株式会社 18～31
- (7) 塚田捷・山極隆・森一夫・大矢禎一ほか25名編(2010)『未来へ広がるサイエンス3年(1・2分野)平成22年度用補助教材』, 株式会社新興出版社啓林館 10～26

- (8) 文部科学省(2008)「中学校学習指導要領解説 理科編」18
- (9) 左巻健男・内村浩(2009)『授業に活かす！理科教育法中学・高等学校編』, 東京書籍 141～162
- (10) 丸本喜一(1985)『自由な試行活動による発想を育てる理科の授業 第3学年』, 初教出版株式会社 7～16
- (11) 鈴木邦夫(2010)「子どもたちの物質観が広がる化学教育を实践しよう」 科学教育研究協議会編『理科教室』, 株式会社日本標準 Vol.53 No.6,4～5

(2012年10月 1 日受付)

(2012年12月19日受理)