

異学年集団における相互教授が概念獲得にもたらす影響[†] ：イオンの学習を事例として

佐藤美千代*

湯沢市立雄勝中学校

岩田 吉弘**

秋田大学教育文化学部

中学生の異学年集団に対して、相互教授を取り入れてイオンの概念を獲得する授業を実施した。探究活動を通して、身の回りの水溶液を用いて銅片の表面をエッチングし、銅イオンを含む水溶液からイオン化傾向によって銅を析出させる実験を行った。素朴概念では説明できない事象が提示されると、生徒の対話が活発になり、概念の獲得に有効であった。生徒のワークシートや発言のプロトコルを分析したところ、化学変化やイオンについて理解を深めることができたことが明らかになった。課題は、第1学年と第2学年の生徒ではイオンの概念の理解に差が見られたため、化学変化や原子・分子について第1学年の生徒への指導法の改善にある。

キーワード：科学的概念の獲得、化学変化、原子・分子、イオン、異学年集団、相互教授

1. はじめに

子どもは、学校で理科の授業を受ける前に、すでに日常生活の中から彼ら自身にとっては意味をもつ自然解釈の理論を構成している。この考え方を素朴概念という (Clement, 1982)。この素朴概念は、理科の授業で教えられる科学的概念とは異なっていることが多い。子どもは、この素朴概念に基づいて授業を解釈するため、通常の授業によって素朴概念を組み替えるのは困難である (村山, 1994)。子どもがそれまでもっていた素朴概念を新しい科学的概念へと概念変容させるためには、子どもに素朴概念と科学的概念の間で認知的葛藤を生じさせ、新しい科学的概念を納得し、それを受け入れさせなければならない (Posner et al., 1982)。そのためには、これまでもっている素朴概念では説明できない現象を提示し、結果を考察させ、自分が抱いていた素朴

概念について再考する場面を設ける必要がある。

高垣 (2001) は、概念変容の教授方略を基本的枠組みに据え、素朴概念が生じた根本である経験や既有知識にはたらきかける教授を取り入れることで、概念変容に有効であることを明らかにした。

ところで、相互教授とは生徒どうしあるいは生徒と教師が共通の課題を成し遂げていく中で、本来は個人内で行われる学習の方略を、個人間の役割として明確化し、対話による相互作用を通して学習活動を進めていく教授法である (Herrenkohl et al., 1999)。高垣ら (2005) は、この科学的概念の獲得の相互教授の教授方略に、概念変容の教授方略 (高垣, 2001) を関連付けて概念変容を促す授業方略の開発を行った。小学校第4学年の「電流」の理科授業を実践したところ、ある一定水準までの電流・電圧の概念の獲得は、相互教授の教授方略 (Herrenkohl et al., 1999) が有効であるが、「混乱」のような大きな認知的葛藤が生じた場合に概念の変容を促すためには概念変容の教授方略 (高垣, 2001) が必要であることが示唆された。この実践は、各学習グループに1名ずつ評価役の教員や大

2017年11月27日受理

[†]The impact of reciprocal teaching in different grade groups brings to the concept acquisition

*Michiyo SATO, Ogachi Junior High School

**Yoshihiro IWATA, Faculty of Education and Human Studies, Akita University

学生が配置され、教師のガイドがある状況で行われた。グループ学習においてリーダーシップを発揮する生徒を育成する必要性があるとしている（高垣ら、2005）。

本実践の学習内容はイオンである。イオンを含む原子や分子などの粒子は、子どもたちにとって目に見えないものを想像するため、イメージをもつことは抽象的で非常に難しい（今村、2010）。菊池（2010）は、教師が知識として教えるのであれば、中学校第1学年でも原子、分子、イオンの概念を獲得することが可能であることを明らかにした。本研究の実践では、イオンの概念を教師が知識として与えるのではなく、相互教授を取り入れた探究活動によって生徒がイオンの概念を獲得することが可能であるか検討する。その際に、異学年集団による学習活動も取り入れ、高垣ら（2005）の研究におけるガイド役の教師の代わりに上級学年の生徒に担わせることが可能かどうかについても検討する。

2. 授業実践

2-1. 授業のねらい

本単元「ピカピカ大作戦」では、水溶液中の金属がイオンとなって存在しているという科学的概念を獲得することをねらいとしている。具体的には、身の回りの水溶液を使って銅片が純粋な銅の色と金属光沢となるようにエッチングし、どのような仕組みで水溶液が銅片をピカピカにしたのか明らかにする。さらに、実験後の水溶液から、銅を取り出す実験を通してイオンの性質やイオン化傾向の概念の獲得を目指した。

2-2. 粒子概念

イオンについて理解するためには、原子・分子などの粒子に関する概念の獲得も必要である。

小学校、中学校学習指導要領解説・理科編（文部科学省、2008、2008）では、小学校第3学年から中学校第3学年までの7年間で、粒子概念を段階的に身に付けていくことが重要であると説明されている。中学校学習指導要領解説に示されている粒子についての基本的な見方や概念を養う学習内容を表1に示す。

本実践では、子どものもっている素朴概念では説明できない現象の提示として、身の回りの水溶液を使って銅片を溶かし、溶かした水溶液から再び銅を取り出す課題を設定した。素朴概念と科学的概念の

表1 粒子についての学習内容

学年	学習内容
中学校2年	A：物質は原子や分子からできている。原子には多くの種類が存在する。 B：原子や分子の結合の変化によって化学変化が起きる。 C：化学変化では物質を構成する原子の組み合わせが変わる。
中学校3年	A：原子は原子核と電子からできている。原子核は陽子と中性子からできている。原子が崩壊して放射線が出る。 B：イオンの生成は原子の成り立ちに関係する。

A：粒子の存在 B：粒子の結合 C：粒子の保存性

間で認知的葛藤を生じさせるためには、素朴概念を使ってある程度解決の見通しを立てることができる教材でなければいけない。

水溶液に金属を溶かす実験として、例えば、小学校第6学年の水溶液の学習の単元において、塩酸にアルミニウム片やスチールウールを入れて様子を調べ、溶けた物を蒸発乾固して取り出す実験がある（毛利ほか、2013）。この学習では、酸性の水溶液は金属を溶かし、水溶液には金属を変化させるものがあることをとらえることをねらいとしており、扱う対象として、水溶液は薄い塩酸、薄い水酸化ナトリウム水溶液、金属は鉄やアルミニウムがあげられている（文部科学省、2008）。

本研究では、家庭で使用される水溶液を使用した。家庭で使用される水溶液は、レモン汁のように溶媒に対して複数の溶質が溶けているものが多く、複雑な化学変化が起きる。教科書に掲載されているような化学変化ではなく、子どもたちがもつ素朴概念では説明できない現象も起きる。金属のイオンを溶かした水溶液から再び銅を取り出す実験は、例えば中学校第3学年の塩化銅水溶液の電気分解で実験する（岡村ほか、2013）。

銅はイオン化傾向が小さく、水に少量しか溶けないため、電気分解以外の方法で水溶液中に存在することを確認することが困難である。第1学年と第2学年の生徒は、酸は金属を溶かすという知識から水溶液中に銅が存在するという予想は立てられるが、水溶液の蒸発乾固や炎色反応では水溶液中の銅の濃度が薄いため存在を確認できないことから、水溶液中に本当に銅が溶けていたのかという疑問をもつ。ここで、第3学年の生徒からイオンという科学

的概念を紹介されることで原子・分子の概念で現象を説明するよりも理にかなっていることに気づき、イオンの概念を受容させることができると考える。

2-3. 対象と実施時期

授業実践は、X中学校の科学クラブの1年生4名、2年生2名、3年生2名を対象に、2015年8月27日～9月27日の4週間の間に、延べ4時間で行った。8月27日は、X中学校理科室で行い、9月6日、27日は、秋田大学教育文化学部の理科教育実験室で行った。実施日と参加生徒を表2に示す。

表2 授業の実施日と参加生徒

実施日	回数	参加生徒 (生徒識別記号 F:First S:Second T:Third)
8月27日 (木)	第1次	3年生2名 (T1, T2) 2年生1名 (S1), 1年生4名 (F1, F2, F3, F4)
9月6日 (日)	第2次	2年生2名 (S1, S2), 1年生4名 (F1, F2, F3, F4)
9月27日 (日)	第3次	2年生2名 (S1, S2), 1年生3名 (F1, F3, F4)

この授業は放課後や休日を使って実践したため、生徒は自由参加とした。そのため、実施日によって参加人数や参加生徒が異なる。

2-4. 授業実践の概要

(1) 授業設計方針

この単元は4時間の授業から構成し、宿題として行った実験とその結果についての発表を基にグループまたは全体で話し合いを行わせた。この話し合いの場面において、Herrenkohl et al. (1999) の示した教授方略である①予想と理論化、②発見の要約、③証拠と予想・理論の調整を用いて進めた。そして、この話し合いで出てきた新たな疑問や発見した事について調べるための実験を行わせた。

(2) 授業の概要

「ピカピカ大作戦」の実践概要を表3に示す。

以下に、各授業の概要を述べる。

第1時：銅をピカピカにする水溶液を選ぶ

本単元のテーマ、方針について説明した。銅の化合物について理解させるために、銅を含む鉱物（黄銅鉱）を用いて化合物の特徴について紹介した。宿題で行う、身の回りの水溶液を使って銅をピカピカにする実験で個別に仮説を立て、使用する予定の水溶液を選ばせた。相互教授の「予想と理論化」を用

いて選んだ水溶液とその理由をグループ内で発表させ、自分の選択が適切であるか検討させた。

グループはAグループ（2年生1名、3年生2名）、Bグループ（1年生4名）とした。

第2時：水溶液の性質を調べる

宿題でピカピカにしてきた銅片を全員で観察し、どの水溶液が最も効果があったか検討させた。資料として、生徒が選択したのと同じ水溶液を使って、教師が実験した銅片も用意した。水溶液の性質が銅をピカピカにする働きに関係しているのではないかという予想を確かめるために、水溶液の性質を調べる実験を個別に行わせた。相互教授の「証拠と予想・理論の調整」を用いて、実験結果を基に、水溶液の性質と銅片の変化について全員で話し合いをさせた。

第3時：水溶液中の銅の存在を確かめる

水溶液中に銅が存在していることを確かめる方法を考えさせ、同じ方法を考えた生徒でグループを作り実験させ、相互教授の「発見の要約」を用いて、実験結果とそこから明らかになったことについて発表させた。グループと実験方法を表4に示す。

水溶液からイオン化傾向によって銅を析出させることができることを演示し、宿題として、水溶液の種類や反応時間などの細かな実験の条件を自分で決めて、イオン化傾向によって銅を析出させてくるように指示した。次回、発表させることを説明した。

第4時：イオン化傾向によって銅を析出した実験について発表する

イオンの反応の仕組みについて理解させるため、原子の構造やイオンの構造、電子の受け渡しなどのイオンの反応について説明した。続いて宿題のイオン化傾向によって銅を析出させる実験についてPowerPointファイル形式でスライドを作成させた。宿題の結果の発表をそれぞれに行わせた。発表後に、相互教授の「証拠と予想・理論の調整」を用いてそれぞれの主張について検討する時間を確保し、必要に応じて教師が補足説明を行った。

最後に、生徒にピカピカ大作戦の単元の振り返りをさせた。また、学習のまとめとして教師が塩化銅水溶液中に亜鉛片を入れて銅樹を作り、イオンから金属銅が析出する様子を紹介した。

表3 「ピカピカ大作戦」の実践概要

回数	時間	テーマ	授業形態	概要	宿題
第1次	第1時	銅をピカピカにする水溶液を選ぶ	一斉	本単元のテーマ、方針について説明した。銅の化合物について理解させるために、銅を含む鉱物（黄銅鉱）を用いて化合物の特徴について紹介した。 宿題の「身の回りの水溶液を使って銅の表面をきれいにする実験」で使用する予定の水溶液を個別に選ばせた。 【ワークシート1 銅をピカピカにする水溶液を選ぼう】 選んだ水溶液をグループ内で発表させ、自分の選択が適切であるか検討させた（予想と理論化）。	身の回りの水溶液を3種類選び、それぞれの水溶液に銅片を24時間入れ、銅片の変化の様子を調べる。【ワークシート2 銅をピカピカにしよう】
			個別		
グループ					
第2次	第2時	水溶液の性質を調べる	一斉	宿題で実験した銅片の様子を全員で観察し、どの水溶液が表面の様子をきれいにするのに最も効果があったか検討させた。 酸が銅をきれいにする働きに関係しているのではないかとこの予想を確かめるために、水溶液のpHを調べる実験を個別に行かせた。【ワークシート3 水溶液はどうして銅をピカピカにできたのか】 水溶液のpHを調べる実験の結果と、演示実験の結果を基に、酸性の水溶液が銅片の表面をきれいにする仕組みについて全員で話し合いをさせた（証拠と予想・理論の調整）。	
			個別		
			一斉		
第3次	第3時	水溶液中の銅の存在を確かめる	個別	水溶液中に銅が存在していることを確かめる方法を考えさせた。 同じ方法を考えた生徒でグループを作り実験させ、その結果について発表させた（発見の要約）。【ワークシート4 溶けた銅はどうなったのか】 全グループの発表が終わってから、水溶液中の銅について個別に結論をまとめさせた。 実験に使用した水溶液からイオン化傾向によって銅を析出させる演示実験を提示しながら、宿題の説明をした。	イオン化傾向によって実験に使用した水溶液中から銅を析出させる。細かな実験の条件設定（水溶液に入れる時間など）は各自で設定する。次回実験について発表する。【ワークシート5 水溶液に溶けた銅ができてきた】
			グループ		
			個別		
			一斉		
第3次	第4時	銅を析出させる実験について発表する	一斉	イオンの反応について確認させるために、原子の構造やイオンのモデル、イオンが電子を受け取って原子になる反応や、原子が電子を失ってイオンになる反応について、教師がスライドを用いて説明した。 宿題の実験についてPowerPointファイル形式でスライドを作成させ、発表させた（証拠と予想・理論の調整）。 塩化銅水溶液に亜鉛板を入れて銅樹を作る演示実験を提示し、イオン化傾向の学習のまとめとした。 「ピカピカ大作戦」の単元の振り返りを行った。	
			個別		
			一斉		

表4 グループと実験方法

グループ	実験方法	生徒
a	炎色反応	2年生1名 (S1)
b	電気分解	2年生1名 (S2)
c	水溶液に流れる電流	1年生1名 (F2)
d	蒸発乾固	1年生3名 (F1, F3, F4)

3. 実践授業の効果検証

3-1. 目的

化学変化やイオンの概念について、授業を通してどのように変容したか、授業直後どのくらい学習内容が定着しているか、更に時間が経過し3ヶ月後にどのくらい学習内容が定着しているかを調査し分析することが目的である。

3-2. ビデオカメラによる映像

実験や発表などの生徒の活動の様子を見るために

ビデオで撮影した。

3-3. ICレコーダーによる音声・発話

生徒の発言が他の生徒の概念にどのような影響を与えるのか検証するために、ICレコーダーで発言を記録した。話し合いの場面において音声をもとにプロトコル分析を行った。その際に、表象的トランザクション（他者の考えを引き出したり、単に表象したりする対話）と操作的トランザクション（論述に揺さぶりをかけて、他者あるいは自己の考えを認知的に操作したり、変換させたりする対話）に分類した。本研究では、高垣（2005）のTD（Transactive Discussion）のカテゴリー項目を参考にしながら分類した。

3-4. ワークシートの記述

ワークシートの記述より、生徒が使用したイオンに関する語句に着目して分析した。

3-5. 発表で作成したスライド

スライドにおいて、どのような概念を用いて実験結果を説明しているかに着目して分析した。

3-6. 質問紙調査

学習内容の定着を調査するために質問紙法を用いた。調査は授業直後の事後アンケート調査と3ヶ月後の遅延アンケート調査として2回実施した。参加者の学習内容の変容を調査するため、質問事項は2回のアンケートで共通で、質問項目は「それぞれのプログラムで学んだこと」とし、回答は自由記述とした。

4. 結果

4-1. 汚れを取り除くことができる水溶液を根拠をもって選び、実験の仮説を立てる（第1時）

銅をピカピカにすることができると思われる水溶液をそれぞれの生徒が選び、グループ内で水溶液を選んだ根拠を説明させた。

S1の生徒は、小学校の水溶液の学習で酢やレモン汁などを使って10円玉をきれいにする実験を行っており、その経験をもとに水溶液を選んでしたが、他の生徒（T1）の発言を参考に、水溶液を変更する様子が見られた。その際のプロトコルを表5に示す。

同様にプロトコル分析によると、このような意見交換を通して、経験をもとに水溶液を選んでいた生徒（F2, F3, S1）が、化学変化を根拠として水溶液を選ぶことができた。

表5 第1時のAグループのプロトコル

発話番号	発言者	プロトコル
a 01	T1	〔銅片の表面にあるのが〕エナメルかなと考えたんですけど、どうやって溶かそうかなと思ったときに、酸性の薬品とアルカリ性の薬品と両方やってみて、どっちかで溶けるのかなと思ったので、そうすると酸性とアルカリ性で最も手に入りやすいかなと思うのが、酸性が酢でアルカリが石けん水だったので、それでやってみようかなと思っていて。あと、タバスコって書いたんですけど、以前小学生ぐらいの時に、10円玉をきれいにしてみようという実験をやって、タバスコと、水溶液かどうかわからないんですけど、しょうゆでやって、純粋な銅の色を取り出せたなという記憶があったので、うまくいくかわからないんですけど、こっちの方法でやってみようかなというので選びました。
a 02	S1	最初に思い浮かんだのはタバスコなんですけれど、理由が同じで小学校の時に10円玉をきれいにするっていう実験で、きれいにしたという記憶があって選びました。次に、酸性ってことで酢を選んだんですけど、もう一つ、今、話を聞いてアルカリ性のものも試してみようかなと思いました。

〔 〕は分析者による補足を示す。

表6 第1時の授業のねらいに対する生徒の達成状況

ねらい	仮説を立てることができる		
生徒	◎	○	▲
F1		*	
F2	*		
F3	*		
F4	*		
S1	*		
T1	*		
T2		*	
計	5	2	0

- ◎ 根拠として化学変化をあげて水溶液を選んでいる。
- 根拠として経験をもとに水溶液を選んでいる。
- ▲ 上記以外

発言の要旨及びワークシートの記述例

- ◎ 「アルカリに傾けて変化が見られなければ、酸性が原因といえる（F2）」「さびが酸性で溶ける（F4）」「アルカリで中和して汚れが落ちる（F4）」「酸が菌のエナメル質を溶かす（T1）」「酸が物質を変化させる（S1）」「より酸性が強いときれいになる（F3）」
- 「10円玉をきれいにした（F1, T2）」「接着剤はプラスチックを溶かす（F1）」

第1時の授業のねらいに対する個々の生徒の達成状況を表6に示す。

4-2. 実験の結果を解釈して、酸性の水溶液が銅の表面の汚れを取り除く仕組みを考える。(第2時)

宿題の実験の結果、酸性の水溶液でも実験後の銅片の様子に違いが見られた。それぞれの銅片の観察結果を全員で検討した結果を表7に示す。水溶液が銅片の表面の汚れを取り除く仕組みを考えるために、水溶液のpHを調べさせた。この結果も表7に示す。pHはpHメーターによる測定結果である。

表7 水溶液ごとの銅片の様子について観察した結果と水溶液のpHを調べた結果

水溶液	銅片の様子	pH
レモン汁	◎	2.4
液体石鹼	○	7.9
タバスコ	△	2.9
炭酸水	△	4.9
酢	×	2.9
醤油	×	4.9

◎とてもきれい ○きれい △少しきれい ×汚れが増した

表7の結果を基に、生徒たちが水溶液の性質と銅の表面の汚れを取り除く仕組みについて話し合いを行った。生徒の考えが明らかになった話し合いの冒頭の部分を表8に示す。

表8の生徒たちの発言から、水溶液が銅をきれいにする仕組みについて、「酸性が銅をきれいにする(β01 F1 下線部, β04 F4 下線部).」「酸性またはアルカリ性がきれいにする(β02 F3 下線部, β03 F2 下線部, β05 S1 下線部).」「酸やアルカリの働きが大きければ大きいほど強い(β06 S2 下線部).」という3つの考えがあることが分かる。

表6に示したように仮説の段階では、酸の働きできれいになると考えていた生徒(F2, F3, F4, S1, T1)のうち、3名の生徒(F2, F3, S1, *T1はこの日は参加していない)が「実験結果からアルカリ性でもきれいになるのではないか」という考えに変更している。素朴概念で説明できない状況に対し認知的葛藤が生じ、問題を解決するために、水溶液の性質を調べた実験結果をもとに発見の要約の議論が行われた。その結果、表7に示したように、弱アルカリ性(pH7.9)の液体石鹼が銅片の表面をきれいにしたことと、F2の発言(β03)にあるよう

表8 水溶液のpHと銅片をきれいにする効果について話し合う場面のプロトコル

発話番号	発言者	プロトコル
β01	F1	僕のをまず最初に。1つだけアルカリ性だった石鹼なんですけど、[pH] 7.9っていう、どっちかっていうと確かにアルカリ性だけど、中性とか酸性の方にアルカリ性のなかだと近いんじゃないかなという感じで、まあちょっとアルカリ性っていうのはそんなあれで、たぶん、酸性っていうのが銅をピカピカにする条件なんじゃないかなと。酸性に近いのがそういう条件なんじゃないかなと思いました。
β02	F3	アルカリ性と酸性に関係なく、銅をきれいにすると思います。酸性の水溶液の中に何か共通する成分が入っていて、それが酸化物と反応してきれいになるのだと思います。
β03	F2	酢とタバスコだとか、炭酸水と醤油は、かなり性質が似ているのに、酢とタバスコならば、きれいにできるのはタバスコだけということがあるので、酸性が条件というのは、なるほどなと思ったんですけど、基本的にあまり性質は関係ないのかなと思いました。
β04	F4	酸性の液はやっぱり、どの酸にも入っているんで、関係あるのかなと思いました。ただ、アルカリ性っていうのは、弱いアルカリ性なので、そういうのがピカピカにできるのかなと思います。
β05	S1	僕はまあ、この液に関して、中性がまずないので、中性が共通だときれいにならないってことで、まあ例えば水だったらならないかもしれないので、まあ結論として中性ではなく酸性もしくはアルカリ性の水溶液であるということですよ。でも、まあ、これだけで言えるものではないので、他の要因があるっていうのも考えた方がいいと思います。
β06	S2	僕もまあ、おそらく中性のところにはこのpHを見ると集まっていないので、おそらく水溶液の性質が酸かアルカリのどちらかで、極端というか、その働きが大きければ大きいほど、銅をピカピカにする働きが強いんじゃないかなと思いました。

[]は分析者による補足を示す。

に「酢とタバスコは性質が似ているのにきれいにできるのはタバスコだけ」という結果からこのように考えたと思われる。

そこで、演示実験を行い塩酸に銅片を入れた様子を観察させ、再び水溶液がどのような仕組みで銅片

をきれいにしたのか、証拠と予想・理論の調整の議論が行われた。その結果、塩酸に入れてすぐの銅片は表面がきれいだったことや、3日間入れたままにした銅片は表面が変色している様子を見て、酸が銅を溶かすという化学変化の他に、塩素と銅が化合する化学変化も起きていることに気づくことができた。その際のプロトコルを表9に示す。

塩酸に入れた銅の表面にできた物質について、第2学年の生徒の「酸化しちゃう (γ10 S2)」の発言に対して、第1学年の生徒が「酸化なの? (γ11 F2)」と疑問を投げかけたことから、銅の表面で起きた化学変化についての議論を行った。最初に「酸化」と発言した (γ10) 生徒 (S2) は第2学年であり、化学変化について既習していた。生徒にとって、自転車のさびなどの生活体験から、金属表面に見られる変化は酸化によるもの (γ10~γ25) という素朴概念があり、他の化合物である可能性に気づいていなかった。銅の表面が酸化したという主張に対して、第2学年の生徒が化学反応式を書きながら矛盾点を指摘することで揺さぶりをかけ、他者あるいは自己の考えを変換させる対話が見られた。このような議論の結果として、表面にできた物質は塩化銅であるという結論を導き出している (γ29)。

第2時の授業のねらいに対する個々の生徒の達成状況を表10に示す。

4-3. 宿題の実験で使った水溶液の中に銅が存在していることを理解する (第3時)

生徒たちは、第2時の学習から、酸によって銅片の表面が溶けることで銅片がきれいになったので、水溶液中に銅が存在しているという予想を立てた。そこで、水溶液中に溶けている銅を取り出す方法を個々に考えさせて、実験させ、その結果について発表させた。グループはaグループ (1年生3名)、bグループ (1年生1名)、cグループ (2年生1名)、dグループ (2年生1名) で、同じ実験方法を考えた生徒でグループを構成した。各グループの実験の内容と、生徒たちが自分のグループの実験結果から導き出した結論を表11に示す。

ここでは、銅が化合物になっているという考えの生徒が4名 (F1, F3, F4, S1)、イオンになっているという考えの生徒が1名 (S2) だった。F2は、水溶液中に銅が溶けてはいるが、どのような形で溶けているかについては触れていない。また、aグループの3名 (F1, F3, F4) とcグループの1名 (S1)

表9 第2時の演示実験の結果を基に水溶液が銅片をきれいにする仕組みについて話し合う場面のプロトコル

発話番号	発言者	プロトコル
γ01	F3	おお、何か油とかが塩酸の中に浮き出ている。
γ02	F1	何か色が一回きらつきらになった。
γ03	S2	これは、あ、きれい、元の色。
γ04	F2	ここ〔黒っぽいところ〕とれば、きれい。
γ05	S1	ああ、何か浮き出ている。確かに。
γ06	Te	どうしてこう〔3日入れた銅〕なったの?
γ07	F3	火であぶると黒ずんじゃう。
γ08	F1	溶かしすぎた?
γ09	S1	やりすぎちゃった。
γ10	S2	やりすぎると酸化しちゃうってことか。
γ11	F2	酸化なの? じゃあこれは〔黒ずんだところ〕。
γ12	S2	塩酸に入れて酸化っておかしくない?
γ13	S1	酸化ってあれでしょ。空気中の酸素と結びつくから。
γ14	F2	リトマス紙とか放置しておくとも赤くなっていくよ。
γ15	S1	えっとHClの化学式はこうだから (化学反応式を書きながら)。えっと銅と塩酸は反応する?…するか?
γ16	S2	銅プラス…ん?…何?…塩化銅。
γ17	Te	よく知っているね。塩化銅知っている?
γ18	S2	いや、何かこの組み合わせ的に。酸素は出るかな。酸素じゃない、水素は出そうな気がする。これとこれがこうなるから。
γ19	F1	じゃあ、ここでマッチをバツとやったらどうなるんですか。
γ20	Te	水素ってすごく軽いのね。だから、もしここで発生したとしてもすぐに逃げちゃう。しかも、気泡見えますか?
γ21	F3 F4	見えなです。
γ22	S2	えっ、じゃあ、塩化銅の色が、もしかしてこのかわいそうな。
γ23	Te	そうだね、その可能性はあるよね。つまり、銅の表面に何が付着しているの?
γ24	F1	酸化銅?
γ25	F4	酸素?
γ26	F3	塩素?
γ27	S1	塩化銅。
γ28	Te	そうだね、先輩がこう書いて〔化学反応式〕くれているものね。
γ29	S2	あつ、てことは、最初のうちは表面のところだけやってくれるからいいんだけど、やりすぎると塩化銅になっちゃう。
γ30	Te	そういう可能性あるよね。
γ31	F1 F2	おお、なるほど。

Teは教師 (Teacher) の識別記号、() は発話者の行為、[] は分析者による補足、…は短い沈黙、? は上昇音調を示す。

表10 第2時の授業のねらいに対する生徒の達成状況

ねらい	実験の結果を解釈して、酸性の水溶液が銅の表面の汚れを取り除く仕組みを考えることができる		
生徒	◎	○	▲
F1	*		
F2		*	
F3		*	
F4	*		
S1	*		
S2	*		
計	4	2	0

- ◎ 酸が金属を溶かすことで銅片の表面がきれいになるが、強い酸性の水溶液では、時間が経つと新たな化合物ができて変色する。
 ○ 酸が金属を溶かすという性質によって銅片の表面が溶かされてきれいになる。
 ▲ 上記以外

発言の要旨及びワークシートの記述例

- ◎ 「塩酸で、酸化銅が銅へ、銅→塩化銅 (S1)
 $2\text{HCl} + \text{Cu} \rightarrow \text{CuCl}_2 + \text{H}_2$ (S1, S2)
 「黒ずんだのもちょっとの時間だったらきれいになっていたのかもしれない (F4)
 「つけすぎるとこう [黒く] なる (F1)」
 ○ 「酸化したものは酸性に溶ける (F2, F3)」

[] は分析者による補足を示す。

表11 実験の内容とグループの結論

グループ	実験の内容 (生徒)	グループの結論
a	実験前後の酢をそれぞれ蒸発乾固し、残った物質の様子を比べる。(F1, F3, F4)	黄銅鉱のように色々なものが化合しているか、[水溶液中に] 銅は入っていない。
b	実験前後の炭酸水と酢にそれぞれ10Vの電圧をかけ、電流の大きさを比較する。(F2)	いずれも実験後の水溶液の電流値が低くなったので、銅が溶けて水溶液に影響を与えている。
c	実験後の酢を使って炎色反応が出るか確かめる。(S1)	銅の化合物ができていないか、反応が見られなかったため銅が溶けていないかもしれない。
d	実験後のレモン汁と酢を電気分解する。(S2)	レモン汁で陰極に銅が付着したので、銅がイオンになって水溶液中に溶けている。

[] は分析者による補足を示す。

表12 第3時の授業のねらいに対する生徒の達成状況

ねらい	水溶液中に銅が存在していることを理解する		
生徒	◎	○	▲
F1		*	
F2		*	
F3	*		
F4		*	
S1	*		
S2	*		
計	3	3	0

- ◎ 銅が水溶液中にイオンとなって存在している
 ○ 銅が水溶液中に存在している
 ▲ 上記以外

発言の要旨及びワークシートの記述例

- ◎ 「水溶液中に溶けた銅は、元とは違う形で存在している。→銅イオン(Cu^{2+})の形で存在している。(F3, S1, S2)」
 ○ 「溶けているが、量が微量 (F1)」「水溶液に銅の影響が出たので溶けている (F2)」
 「水溶液に溶けて別のものになってしまった (F4)」

は、水溶液中に化合物となって銅が溶けているとしているが、銅が溶けていない可能性もあることを述べていた。発表後の話し合いでは発見の要約の議論が行われ、主張に対してフィードバックを要請したり、内容を言い換えたりする対話が多かった。水溶液中の銅の状態に関する知識が乏しいため、銅が水溶液中でイオンとなっているのか、化合物として存在しているのか、認知的葛藤が起きにくかったと考えられる。

この発表の後に、もう一度水溶液中の銅について、個々に結論をまとめさせた結果を表12に示す。S2のイオンについての発表(表11下線部)を参考にしたと思われる、発表後にイオンについて記述している生徒(F3, S1, S2)が3名に増えた。他の生徒(F1, F2, F4)はいずれも水溶液中に銅が存在しているという考えをもっているが、イオンについては記述してない。

4-4. 実験(宿題)の結果についてイオンの概念を使って説明できる。(第4時)

銅を溶かす実験後の水溶液中に含まれる銅を、イオン化傾向によって別の種類の金属の表面に析出させる実験の結果について、生徒に説明させた。生徒たちが考えた結論を表13に示す。

F3は第3時のワークシートには、「銅は溶けているが別の形(イオン)になっている。(表12)」と記

述していたが、発表では「銅が他の物質になって溶けている。(表13下線部)」と発言し、スライドファイルにも「酢の中に溶け込んだ銅は、水溶液の中の別の物質と化合して金属以外のものになった。」と記述しており、「イオン」という語句を使って説明していない。

次に、銅片やクリップの表面に付着した物質についての記述を見ると、第2時では、金属表面に見られる変化は酸化によるもの(表9の中の $\gamma 10 \sim \gamma 25$)というとらえ方だったが、表13の波線部で示したように「金属と何か別の物質が化合した化合物である」というとらえ方をしている(F1, F4, S1)。

発表後の話し合いでは証拠と予想・理論の調整が主に使われた。話し合いのプロトコルを表象的トランザクションと操作的トランザクションで分類した結果を表14に示す。

表14より、第1学年の生徒の発表に対しては操作的トランザクションが多くなる傾向が見られ、第2

表13 実験の内容と生徒が考えた結論の要旨

生徒	実験の内容 結論の要旨
F1	水溶液にクリップを入れる時間によって析出する銅の量に違いがあるか調べた。 銅はイオンとなって溶けていて、イオン化傾向で取り出すことができる。取り出せない場合は、銅はイオンになっていない。この場合、銅は酸化している。または、銅に別の物質が結合している。
F3	水溶液の種類による銅の析出量の違いを調べた。 銅を溶かしたので、水溶液の中に銅が他の物質になって溶けている。水溶液の中に入っていた銅が少ないと、クリップの一部にしか銅がつかない。
F4	水溶液の種類による銅の析出量の違いを調べた。 酢とレモン汁では銅が析出するが、液体石鹸はクリップに変化が見られず、代わりに液体の色が青く変色したので、銅が液体石鹸の成分と結びついたから出てこなかった。
S1	水溶液の種類による銅の析出量の違いを調べた。 銅はイオンとして水溶液中に存在していて、クリップの鉄と反応してクリップに付いた。酢ではクリップが何かと化合してしまって色が黒く変化してしまっただけではないか。
S2	水溶液に入れる金属の種類によって、析出する金属の種類や量に違いがあるか調べた。 金属表面に酸化被膜ができていると、イオン化傾向の実験が成功しない。2種類の金属のイオン化傾向の差が小さいと金属が析出しない。

表14 第4時の発表の場面のプロトコルを発話内容で分析した結果

生徒	項目	表象的トランザクション	操作的トランザクション
F1	発話数	1	1
	割合(%)	50	50
F3	発話数	117	58
	割合(%)	67	33
F4	発話数	75	39
	割合(%)	66	34
S1	発話数	47	11
	割合(%)	81	19
S2	発話数	4	0
	割合(%)	100	0
全体	発話数	244	109
	割合(%)	69	31

表象的トランザクション(相手の意見を引き出したり言い換えたりするトランザクション)の例

クリップに付着した物質を葉匙でこすりながら、付着した物質が何なのか検討する場面

S2 これ、ん、何でこう?何なの一体?
S1 ただ、何かはがれてくる感じだな。これは。
F1 いや、何かきれいになっていませんか?
F4 お、きれいになった。
F3 その、もともとの色だ。

操作的トランザクション(相手の意見を操作したり変形させたりするトランザクション)の例

クリップの質量を測り、クリップの変色が銅の析出によるものかどうか、明らかにしようとする場面

S2 銅がついたらその分だけ重くなっているんじゃない?
S1 [クリップの質量が]元から同じかわからない。だって、鉄[と銅イオン]が交換したらわからなくなるんじゃない。ここ(クリップを指して)の長さ違うし。

[]は分析者による補足、()は発話者の行為を示す。

表15 第4時の授業のねらいに対する生徒の達成状況

ねらい	イオンの概念を使い実験結果について説明できる		
生徒	◎	○	▲
F1	*		
F3			*
F4		*	
S1	*		
S2	*		
計	3	1	1
計	3	3	0

◎ 銅イオンがイオン化傾向によって銅原子になって析出した。
○ 水溶液中に銅イオンが存在していた。
▲ 上記以外

発言の要旨とスライドファイルやワークシートの記述例

- ◎ 「銅はレモン汁の中にイオンとして溶けていて、そこにイオン化傾向が銅よりも高い鉄を入れることで、銅がクリップに付くということがわかった。(F1)」
 「 Cu^{2+} 〔水溶液〕とFe〔クリップ〕だったものが、Cu〔クリップについた〕と Fe^{2+} になった。(S1)」
 「この実験で使う金属は、銅よりイオン化傾向が大きすぎてもいけないし、近すぎてもいけない。ある条件を満たした金属だけがいく。酸化物という膜に反応が邪魔された。マグネシウムは酢やタバスコに入ると泡を出してとけた。イオン化傾向が大きいのが、電子が銅イオンでなくて水素イオンと結びついた。(S2)」
- 「石鹸と Cu^{2+} が結びついているからFeは変化なし(F4)」
- ▲ 「銅が他の物質になって溶けている (F3)」

[] は分析者による補足を示す。

学年の生徒の発表に対しては表象的トランザクションが多くなる傾向が見られた。

それぞれの発表に対する発話数を比べると、F1とS2の発表では発話が少なく、F1とS2は主張の根拠となる実験のデータが揃っており、それぞれの主張の内容について他の生徒たちが納得することができたと思われ、質問などが出なかったと考えられる。一方、F3、F4、S1は主張の根拠が明確に示されていなかったり(表13 F4結論の要旨)、データの解釈が曖昧(表13 S1、F3下線部)だったりしたため、聞き手の生徒たちが主張に対して疑問を持ち、それが議論を活発にすることにつながったと考えられる。

第4時の授業のねらいに対する個々の生徒の達成状況を表15に示す。

4-5. 質問紙調査にみる獲得したイオンの概念

第4時の事後に実施した質問紙調査で「それぞれのプログラムで学んだこと」という質問項目に対して、生徒が記述したイオンに関する内容を表16に示す。事後アンケートで回答した生徒は、5名(F1、F3、F4、S1、S2)である。

同じ質問項目で3ヶ月後の1月16日(土)に遅延アンケートとして実施した結果を表17に示す。遅延アンケートで回答した生徒は、3名(F1、F3、S1)である。

事後と遅延のアンケートのイオンに関する記述を比較すると大きな違いが見られないので、知識が保持されていると考えられる。

表16 事後の質問紙調査 イオンに関する記述

時間	テーマ	イオンに関する記述 (生徒)
第2時	水溶液の性質を調べる	・酸性のものが多く、石鹸などのようにCuよりイオン化傾向が大きい金属が含まれているものはアルカリ性である(S2)。
第3時	水溶液中の銅の存在を確かめる	・〔イオン化傾向で〕銅を取り出すには水溶液にクリップを入れるとよい(F4)(F3)(S1)。 ・イオン化傾向という言葉を知った(F1)。 ・イオン化傾向の大きい金属を使うか、銅と結びつきやすい物質を利用する。後者は銅の化合物となる(S2)。
第4時	銅を析出させる実験について発表する	・水溶液中の銅は銅イオンに変化していた(F4)(F1)。 ・そのままの銅ではなく、別の物に〔なって〕とけていた(F3)。 ・イオンの観点から、 Cu^{2+} 、Feなどの電子の移動にイオン化傾向から調べることができた(S1)。 ・イオンの形になり水溶液に溶けている(S2)。

[] は分析者による補足を示す。

表17 遅延の質問紙調査 イオンに関する記述

時間	テーマ	イオンに関する記述 (生徒)
第3時	水溶液中の銅の存在を確かめる	・イオン化傾向が関係している(F1)。 ・〔イオン化傾向で〕銅を取り出すには水溶液にクリップを入れるとよい(F3)(S1)。
第4時	銅を析出させる実験について発表する	・イオンになっていたため、目では見えなかった(F1)。 ・そのままの銅ではなく、別の物に〔なって〕とけていた(F3)。 ・電子の移動、イオン化傾向(S1)。

[] は分析者による補足を示す。

5. 成果

5-1. 化学変化の概念の獲得

第1時で、課題に対して各自が予想したことを説明し合う学習活動(予想と理論化)を行った。その

結果、4-1に示したように、経験をもとに水溶液を選んでいた生徒 (F2, F3, S1) が、酸による化学変化を根拠として水溶液を選ぶことができた。

第2時の授業のプロトコル (表9頁10, 11, 14, 24, 25) から、生徒たちは金属表面で化学変化によって起きた変色が、酸化によるものという素朴概念をもっていただと考えられる。第2学年の生徒の発言 (表9頁12) をきっかけとして、第2学年の生徒 (S1, S2) が第1学年の生徒に対して、塩酸と銅の化学反応式を証拠として示しながら、銅片の表面でどのような化学変化が起きたのか説明した (表9頁15, 16, 18) (証拠と予想・理論の調整)。これによって、銅片の表面にできた物質は酸化銅ではなく、塩化銅であるという考えに収束していった (表9頁27, 29, 31)。

このように「ピカピカ大作戦」の単元で生徒たちは、様々な化学変化を体験した。これによって、酸化の他にも化学変化が存在することに気づき、第4時の発表では表13の波線 (F1, F4, S1) に見られるように、銅が酸素以外の物質と結びついた可能性を考えることができるようになったと考えられる。

5-2. イオンの概念の獲得

第3時の水溶液中の銅の存在を確かめる実験についての発表で、第2学年の生徒 (S2) の「銅がイオンになって水溶液中に溶けている (表11).」発言を参考にしたと思われ、発表ではS2のみがイオンについて述べていたが、授業後に回収したワークシートにイオンについて記述した生徒は3名であった。この段階では、半数の生徒がイオンについて理解していない。その後、宿題でイオン化傾向による銅の析出の実験を行い、第4時で宿題の結果について相互教授を用いて説明する学習活動を行ったところ、イオンの概念を使って説明した生徒が4名 (F1, F4, S1, S2) に増えた。この4名のうちの2名 (F1, F4) は、第3時でイオンについて理解できていなかったと思われる生徒である。新たに得たイオンの知識を使って実験したり、その結果について他者に説明したりするなど、知識を活用することで、定着させることができたと考えられる。

5-3. 相互教授の影響

素朴概念では説明できない事象が提示されると、相互教授の証拠と予想・理論の調整が多く行われ、素朴概念で説明しようとする生徒と科学的概念で説明しようとする生徒の間で対話が活発になり、概念

の獲得に有効であった。また、表14で示したように第2学年の生徒が科学的概念を主張すると、表象的な対話が多くなった。一方、第1学年の生徒が主張すると、操作的な対話が多くなった。

6. 課題

6-1. イオンの自然科学的な理解の深化

事後の質問紙調査の記述 (表16) によると、第1学年の生徒と第2学年の生徒ではイオンに対する理解に違いが見られる。第1学年の生徒は「水溶液中の銅は銅イオンに変化していた (表16下線部)」というように、粒子としての銅イオンの存在について述べている。一方、第2学年の生徒は表16波線部に見られるように、「 Cu^{2+} , Feなどの電子の移動 (S1)」「イオン化傾向の大きい金属を使うか、銅と結びつきやすい物質を利用する (S2).」と、化学変化とイオンの概念を結び付けて思考しようとしている。第2学年の生徒は化学変化や原子・分子について履修しており、それらの知識と結び付けてイオンについて理解を深めることができたのかもしれない。

また、F3は第3時ではワークシートに「イオン」という語句を用いて実験結果の説明を書いていたが、第4時の発表や事後の質問紙調査において「イオン」という語句を使っていない。F3は、「銅が他の物質になって溶けている。(表13下線部)」という認識はある。スライドファイルには「酢の中に溶け込んだ銅は、水溶液中の中の別の物質と化合して金属以外のものになった。」という記述があるため、第3時から第4時までの3週間で知識の剥落が起きたために、イオンと化合物の区別ができていないものと思われる。第1学年の生徒にとって、「ピカピカ大作戦」の単元は新しく学習する内容が多かったため、このような混乱が生じたものと思われ、第1学年の生徒については、中学校第2学年「化学変化」レベルの知識を獲得することが事前に必要であったのかもしれない。

7. 結論

相互教授によって協同で実験・課題・議論に取り組むことによって、実験を通して発見したことについて再検討したり、疑問に感じたことを議論したりする様子が見られた。第1学年の生徒にとっては化学変化など未履修の学習内容が多く含まれていたが、このように疑問について話し合っ解決する場

を設定することが、新たな知識の獲得につながったと考えられる。今回の相互教授では、第2学年の生徒が司会者や評価役としての役割を果たしており、それが議論を進める上で有効であったと考えられる。今後、この効果を検討するために同学年集団による実践も行い、比較することで検証したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大のご指導・ご協力をいただきました秋田大学教育文化学部川村教一教授と田口瑞穂講師に、この場をお借りして深く感謝申し上げます。

引用文献

- Clement, J. (1982) : Student's preconceptions in introductory mechanics. *American journal of Physics*, 50, 66-71.
- Herrnkohl, L. R., Palincsar, A.S., DeWater, L. S., & Kawasaki, K. (1999) : Developing Scientific Communities in Classrooms: A sociocognitive Approach. *The Journal of the learning sciences*, 8 (3 & 4), 451-493.
- 今村哲史 (2010) : 「粒子」の見え方や考え方－小・中・高等学校の学習内容を見通した視点から－. *理科の教育*, 59 (12), 48-51.
- 菊地洋一 (2010) : 中学校の早い段階に「原子, 分子, イオン」の概念を導入するための実践的研究. *岩手大学教育学部研究年報*, 第69巻, 45-58.
- 文部科学省 (2008) : 小学校学習指導要領解説 理科編. 大日本図書, 東京, 105pp.
- 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, 東京, 149pp.
- 毛利 衛, 黒田玲子ほか32名 (2013) : 新編新しい理科6年. 東京書籍, 東京, 208pp.
- 村山 巧 (1994) : 科学教育. 児童心理学の進歩－1994年版－, 171-193.
- 岡村定矩, 藤嶋昭ほか49名 (2013) : 新しい科学3年. 東京書籍, 東京, 272pp.
- Posner, J., Strike, K., Hewson, P., and Gertzog, W. (1982) : Accommodation of Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- 高垣マユミ (2001) : 高さのプリコンセプションを変容させる教授ストラテジーの研究. *教育心理学研究*, 49, 274-284.
- 高垣マユミ, 田原裕登志 (2005) : 相互教授が小学生の電流概念の変容に及ぼす効果とそのプロセス. *教育心理学研究*. 53, 551-564.

Summary

For the different grade groups of junior high school students, through reciprocal teaching, the author have conducted a class for acquisition to the concept of ions. Through research activities, students clean the surface of the copper pieces using familiar aqueous solution. And they observed the deposition of copper metal from an aqueous solution containing copper ions by taking advantage of the concept of ionization tendency. And can't be explained in existing concept event is presented, students of dialogue becomes active, it was effective in the acquisition of the concept. The author analyzed of the students worksheet and protocol. For finding results that author revealed that students more understand the chemical change or ions. A subject of reference is difference of understanding of ions in the first grade students and the second grade students. The author will improve the teaching methods of chemical change and atoms and molecules to the first grade students.

Key Words : acquisition of scientific concept, chemical change, atoms and molecules, ions, different grade groups, reciprocal teaching

(Received November 27, 2017)