

理 科

古瀬健太郎・中山貴司・土井 徹・野添 生

I 研究の経緯

1 昨年度までの研究

現行学習指導要領では、小学校から高等学校までの学習内容は、「物質」「エネルギー」「生命」「地球」の4つの鍵となる概念により系統性が確保されることとなった。

本校理科部では、小学校と中学校との接続、連携の視座から、過去2年にわたって、学習内容の系統性を授業レベルで具体化し、小・中学校理科における学びがつながる授業づくりに関する実践的研究を行ってきた。その結果、以下の点が明らかになった。

2011 年度	【目標】小・中学校の電気に関する学びをつなぐ授業法に関する知見を得る。 【結果】 ・小学校第4学年において、現象の説明を児童が自分なりに行うことを、「児童が自由な活動を基本として行う」ことは「教師の丁寧な学習指導を基本として行う」ことよりも、学習効果が高いとは言えないが、試行錯誤しながらの自由な活動を保障することが、科学的概念形成の素地を培うことを促す可能性が高い。 ・小学校6年生の電熱線の長さ・太さの違いと発熱の関係についての学習において、キャラクターモデルよりも、抽象度が高くかつ電流・電圧・抵抗およびそれら相互の関係を表すことができる水流モデルの提示した方が、児童に電流ばかりでなく電圧や抵抗の概念形成を促進する。 ・中学校3年生では、理科で学習する科学的知識や科学的概念と日常生活での経験を結びつけることを意図した授業が、抽象的思考を行う場面で有効にはたらし、「理科における学びの深化」へと繋がる。
2012 年度	【目標】観察・実験レポートを書く技能を高める指導法に関する知見を得る。 【結果】 ・児童がレポートを書く際に、結果と考察を区別して書くことを促す指導方略を探るために、朱書きでコメントを行う学習群と、朱書きでコメントをせず3段階評価を行う学習群の学習効果を比較検討した。その結果、両群の学習効果に有意な差はないことがわかった。 ・小学校6年生児童が中学校3年生を相手にマンツーマンでプレゼンテーション行う活動が、児童に与える影響を検討した。その結果、活動後はプレゼンテーションへの意欲が有意に向上したことがわかった。また、プレゼンテーション前の児童の様子や、学習後の児童の自由記述から、年上を相手にプレゼンテーションを行う活動は、実験・観察レポートを書く技能を高めるための有効な手段となる可能性がある。 ・“socio-scientific issues”（科学技術が関連する社会的諸問題）を授業の中に取り入れたA群と取り入れなかったB群の間で、ループリックに基づく実験レポートを採点した結果、A群の平均値がB群のそれよりも有意に高かった。従って、A群はB群よりも、実験レポートにおいて質の高い記述ができていると解釈した。検証授業の結果、「日常知」と「学校知」を双方向に繋げる新しい視座として“socio-scientific issues”を授業の中に取り入れた場合とそうでない場合を比較すると、A群の表現力（実験レポート）の方がより高まることが明らかになった。

2 今年度の研究

今年度は、「粒子の保存性」に焦点化して、小・中学校の学びがつながる授業のあり方を探る。

粒子の保存性を扱う小・中学校理科の単元と学習内容を表1に示す。なお、斜体字部分の学習内容が特に「粒子の保存性」と直接関連する内容である。

表 1 「粒子の保存性」を扱う小・中学校理科の単元と学習内容（斜体字部分）

学年	単元名	学習内容
小学校 3 年	物の重さ	・物は、形が変わっても重さは変わらないこと。 ・物は、体積が同じでも重さは違うものがあること。
小学校 4 年	なし	※「金属、水、空気と温度」で、「金属、水及び空気は、温めたり冷やしたりすると、その体積が変わること」を学習する。
小学校 5 年	物の溶け方	・物が水に溶ける量には限度があること。 ・物が水に溶ける量は水の温度や量、溶ける物によって違うこと。また、この性質を利用して、溶けている物を取り出すことができること。 ・物が水に溶けても、水と物を合わせた重さは変わらないこと。
小学校 6 年	水溶液の性質	・水溶液には、酸性、アルカリ性及び中性のものがあること。 ・水溶液には、気体が溶けているものがあること。 ・水溶液には、金属を変化させるものがあること。
中学校 1 年	水溶液	・物質が水に溶ける様子の観察を行い、水溶液の中では溶質が均一に分散していることを見いだすこと。 ・水溶液から溶質を取り出す実験を行い、その結果を溶解度と関連付けてとらえること。
	状態変化	・物質の状態変化についての観察、実験を行い、状態変化によって物質の体積は変化するが質量は変化しないことを見いだすこと。 ・物質の状態が変化するときの温度の測定を行い、物質は融点や沸点を境に状態が変化することや沸点の違いによって物質の分離ができることを見いだすこと。
中学校 2 年	化学変化	・2種類の物質を化合させる実験を行い、反応前とは異なる物質が生成することを見いだすとともに、化学変化は原子や分子のモデルで説明できること、化合物の組成は化学式で表わされること及び化学変化は化学反応式で表わされることを理解すること。 ・酸化や還元の実験を行い、酸化や還元が酸素の関係する反応であることを見いだすこと。 ・化学変化によって熱を取り出す実験を行い、化学変化には熱の出入りが伴うことを見いだすこと。
	化学変化と物質の質量	・化学変化の前後における物質の質量を測定する実験を行い、反応物の質量の総和と生成物の質量の総和が等しいことを見いだすこと。 ・化学変化に関係する物質の質量を測定する実験を行い、反応する物質の質量の間には一定の関係があることを見いだすこと。
中学校 3 年	酸・アルカリとイオン	・酸とアルカリの性質を調べる実験を行い、酸とアルカリのそれぞれの特性が水素イオンと水酸化物イオンによることを知ること。 ・中和反応の実験を行い、酸とアルカリを混ぜると水と塩が生成することを理解すること。

注意深く表を見ると、例えば、小学校3年の「物の重さ」の学習が、中学校3年の「酸・アルカリとイオン」の学習につながっていることがわかる。「物は、形が変わっても重さは変わらない」のは、その物を形成する粒子が、物の形が変わっても「なくなっていない」からであるし、「酸とアルカリを混ぜると水と塩が生成する」が、その酸とアルカリの溶液中にあった粒子は「なくなっていない」のである。同様に、「物が水に溶けても、水と物を合わせた重さは変わらない」（小学校5年）のは、物を形成する粒子と水の粒子が「なくなっていない」からであるし、「金属、水及び空気は、温めたり冷やしたりすると、その体積が変わる」（小学校4年）けれども、金属、水及び空気を形成する粒子は「なくなっていない」のである。すなわち「粒子の保存性」は「なくなっていない」ということである。

ここで重要となってくるのは、表1に示す単元が全て「粒子の保存性」を扱う単元であり、相互につながっている学習内容であることを教師自身が意識して授業を行うことである。しかしながら、特に小学校では理科を苦手とする教師が多く、概念の系統性を意識しながら学習指導を行っている教師はおそらく極めて少数と推察される。他方、小・中学校の学びのつながりを考慮した「粒子の保存性」に関する中学校生徒を対象にした研究はほとんど見当たらないことから、中学校においても小学校と同様に概念の系統性を意識しながら学習指導を行っている教師はおそらく多くはないと思われる。これでは、「概念の系統性」は「絵に描いた餅」である。関連単元の学習内容を考慮した時に、小学校・中学校における「粒子の保存性」を扱う授業は、どのような授業になるであろうか。このことを明らかにすることは、小学校の教師にとっても、中学校の教師にとっても有用性のある情報となるであろう。「粒子の保存性」に限らず、概念の系統性を確保するための理科の小中接続に関する先行研究は必ずしも多いとは言えない。以上の認識から、筆者らは、小・中学校理科における「粒子の保存性」についての学びがつながる授業づくりに関する知見を得るために、研究を開始した。授業実践研究を行うにあたり、表2に示す「粒子の保存性」に関する到達目標を設定した。

表2 「粒子の保存性」に関するⅠ期、Ⅱ期、Ⅲ期の到達目標およびStage

【Ⅰ期の到達目標】	
「粒子の保存性」に関する実験、観察で、比較しながら調べることを通して、実感を伴った理解とともに、「粒」を使って説明することができる。	
Stage1	物質の重さや体積の違いを比較しながら、物質の性質を調べることができる。
Stage2	物質は形が変わっても重さは変わらないこと、体積が同じでも重さが違うものがあることについて実感を伴った理解をしている。
Stage3	物質は形が変わっても重さは変わらないこと、体積が同じでも重さが違うものがあることを「粒」を使って説明できる。
【Ⅱ期の到達目標】	
「粒子の保存性」に関する実験、観察で、条件を制御しながら、事物・現象についての要因や規則性、関係を推論しながら調べ、結果を分析・解釈することを通して、実感を伴った理解とともに、粒子モデルと関連付けて理解し、表現することができる。	
Stage4	物質が水に溶ける現象について条件を制御しながら、ものの溶け方の規則性を調べることができる。
Stage5	高い温度で溶かした水溶液を冷やすと溶けていたものが出てくること、ものが水に溶けても水とものを合わせた重さは変わらないことについて実感を伴った理解をしている。
Stage6	高い温度で溶かした水溶液を冷やすと溶けていたものが出てくること、ものが水に溶けても水とものを合わせた重さは変わらないことを「粒」を使って説明できる。
Stage7	水溶液の性質や金属の質的变化について図や絵、文を用いて推論したことを表現することができる。

Stage8	気体が溶けている水溶液があること、水溶液に金属を入れると溶けて気体を発生することについて実感を伴った理解をしている。
Stage9	気体が溶けている水溶液や、金属が溶けた水溶液から溶けているものを取り出して調べたことを「粒」を使って表現することができる。
Stage10	物質が水に溶ける様子や物質の状態が変化する様子についての観察、実験を行い、結果を分析して解釈することができる。
Stage11	水溶液中では溶質が均一に分散していること、溶解度を利用して水溶液から溶質を取り出すことを粒子モデルと関連付けて理解し、表現することができる。
Stage12	状態変化によって物質の体積は変化するが質量は変化しないことを粒子モデルと関連付けて理解し、表現することができる。
【Ⅲ期の到達目標】	
「粒子の保存性」に関する実験、観察の結果を分析・解釈することを通して、事物・現象についてのイオンモデルと関連付けた理解とともに、日常生活や社会の事象に適用することができる。	
Stage13	化合及び酸化や還元、化学変化の前後における物質の質量を測定する実験を行い、結果を分析して解釈することができる。
Stage14	化合は2種類以上の物質が結びついて反応前とは異なる物質が生成する反応であること、酸化や還元が酸素の関係する反応であることを原子や分子のモデルと関連付けて理解し、日常生活や社会の事象に適用することができる。
Stage15	化学変化の前後で物質の質量の総和が等しいことを原子や分子のモデルと関連付けて理解し、日常生活や社会の事象に適用することができる。
Stage16	中和反応の実験を行い、結果を分析して解釈することができる。
Stage17	中和反応によって水と塩が生成することをイオンモデルと関連付けて理解し、日常生活や社会の事象に適用することができる。
Stage18	中和反応においては酸とアルカリがお互いの性質を打ち消し合うこと、中性にならなくても中和反応は起きていることをイオンモデルと関連付けて理解し、日常生活や社会の事象に適用することができる。

3 中学校卒業時のめざす生徒像に向けた授業仮説

科学的な見方や考え方ができる生徒

＝自然を科学的に探究する能力（知識・技能・思考力・表現力）・態度がある

自然についての理解が深まっており、知識が体系化している（＝科学的概念が形成されている）

いろいろな事象に対して、これらを総合的に活用することができる

上記のめざす生徒像に向けて、以下の授業仮説を設定した。本研究では、特に「粒子の保存性」に焦点を当てている。

I 期

放っておいたら児童が目を向けないことに教師が目を向けさせて、子どもの世界を広げていく指導を行うことで、児童の学びの基盤が形成され、全ての児童が Stage 3 の目標段階まで到達できるのではないだろうか。

Ⅱ期

自然の事物・現象について教師からモデルづくりの手立てを提示し、適宜、軌道修正をかけながら児童・生徒にモデルづくりを行わせる指導により、児童・生徒の学びが充実し、全ての児童・生徒が Stage12 の目標段階まで到達できるのではないだろうか。

Ⅲ期

毎時間の授業において、職業理解や社会参加、環境問題などの日常生活や社会と関連付けた実践性や実用性を重視した内容―“socio-scientific issues”―を取り上げ、「日常知」と「学校知」を双方向に繋げる指導を行うことで、生徒の学びが追求され、全ての生徒が Stage18 の目標段階まで到達できるのではないだろうか。

Ⅱ 本年度の研究計画

1 研究の目的

中学校3年生が「粒子の保存性」に関する到達目標に到達することを可能にするⅠ～Ⅲ期における「粒子の保存性」の授業のあり方について知見を得る。

2 研究の方法

- (1) 学習指導要領及び教科書の記載を検討し、「粒子の保存性」に関する各学年の到達目標（表2）と授業仮説を設定する。
- (2) Ⅰ期では、教師から粒子モデルを紹介する学習群をA群、粒子モデルを紹介しない学習群をB群とする。Ⅱ期では、教師からモデルづくりの手だてを提示する学習群をA群、手だてを提示しない学習群をB群とする。Ⅲ期では、単元中の毎時間の授業で“socio-scientific issues”を取り上げる学習群をA群、単元の前半では自然科学の学問を中心とした系統的な理科学習を行い、後半で“socio-scientific issues”を取り上げる学習群をB群とする。
- (3) 以下の検証授業を実施し、授業前後の児童・生徒のパフォーマンスを分析することによって、授業仮説を検証する。

①Ⅰ期 小学校3年

A群：単元導入時に「全てのものは粒でできていると考え、身の回りの様々な現象がうまく説明できる」ことを児童に紹介した上で、形が変わっても重さはかわらないことや、同じ体積でも重さが違うものがあることの理由を表現するよう指導する。

B群：単元導入時に「全てのものは粒でできていると考え、身の回りの様々な現象がうまく説明できる」ことを児童に紹介せず、形が変わっても重さはかわらないことや、同じ体積でも重さが違うものがあることの理由を、自分なりに表現するよう指導する。

「ものの重さ」（←研究会当日の授業）

まず、「ものがあると判断する基準」を確認した上で、空気の有無について考える。続いて、空気を圧縮する前後の重さの違いを「粒」を用いて表現する。児童はおそらく「圧縮した後の空気は、圧縮する前の空気に比べて「粒」の数が増えているから重くなる」ことに気づくと思われる。この考えを用いて、鉄とプラスチックは同体積でも重さが違うことを「粒」を用いて表現する。おそらく一様でない表現が見られると思われる。このことから、小学校3年生における「粒子の保存性」に関する授業方略について検討する。

②Ⅰ期 小学校4年

A群：物質の状態変化と温度変化との関係について、教師による説明を聞きながら考える授業を経て、空気は温めることで、体積が大きくなることを「粒」で表現するように指導する。

B群：物質の状態変化と温度変化との関係について、教師による説明は行わずに、児童が各自で、あるいは数名で考える授業を経て、空気は温めることで、体積が大きくなることを「粒」で表現するように指導する。

「ものの温度と体積」（←研究会当日の授業）

「空気を加熱すると、空気の体積は大きくなる。」

このことを、二つのへこんだボールを用いて、一つには空気を入れること、もう一方はあたためることで、ボールが膨らむ現象を観察・比較することから考察していく。

空気を入れて膨らんだボールとあたためて膨らんだボールの内部の空気の粒はどのように変化したのか。粒を用いて表現する。その後、自分で描いた粒の図を矛盾のないよう説明をする。説明を聞き合いながら、「空気の温度変化による空気の粒のふるまい」について考えを深めていく。

③Ⅱ期 小学校5年

A 群：単元導入時に「エタノールと水を混ぜて体積が減少する」という現象を見せて、その理由について「粒」で考えると説明がつくことを全体で確認し、その後の単元内における様々な実験結果の理由について「粒」で考え表現するように指導を行う。

B 群：単元導入時に通常の「物（食塩）を水に溶かして物が見えなくなる」という現象を見せて、その理由について「粒」で考えると説明がつくことを全体で確認し、その後の単元内における様々な実験結果の理由について「粒」で考え表現するように指導を行う。

「物のとけ方」（←研究会当日の授業）

本時の授業は「物の溶け方」の単元導入場面である。本研究においては、「エタノールと水を混ぜて体積が減少する」という子どもにとって不思議な現象を見せて、その理由について考え表現させるようにする。そして、その理由について、既習事項や経験を思い出したり、具体的な実験を行ったりしながら全体で軌道修正していく中で、大きさの異なる「粒」で考え表現するという考え方を導き出していく。

④Ⅲ期 中学校3年

A 群：単元中の毎時間の授業において、職業理解や社会参加、環境問題などの日常生活や社会と関連付けた内容—“socio-scientific issues”—を取り上げ、「日常知」と「学校知」を双方向に繋げるように指導を行う。

B 群：単元の前半では自然科学の学問を中心とした系統的な理科学習を行い、後半では職業理解や社会参加、環境問題などの日常生活や社会と関連付けた内容—“socio-scientific issues”—を取り上げ、「学校知」と「日常知」を区分して指導を行う。

「酸・アルカリとイオン」（←研究会当日の授業）

水溶液中のイオンの種類や数の変化を粒子モデルで考えさせ、中和して性質が打ち消されることは水溶液中にもともとあったイオンがなくなっていることではないという「粒子の保存性」に力点を置きながら、実験結果を科学的に思考・表現させる学習活動を取り入れる。その際、自然科学の学問を中心とした系統的な理科学習と、日常生活や社会と関連付けた実践性・実用性を重視した内容—“socio-scientific issues”—を区分して学習するのではなく、50分の授業の中でその双方を取り入れることにより、生徒たちが「日常知」と「学校知」を双方向に繋げることのできる授業を展開する。

(3) 検証方法

- ・授業前の児童・生徒のパフォーマンスを5段階のルーブリックで評価する。授業前に児童・生徒に「粒子の保存性」に関する正誤判断問題に回答させる。以上をプレテストとする。

- ・授業後の児童・生徒のパフォーマンスを5段階のルーブリックで評価する。授業後に児童・生徒に「粒子の保存性」に関する正誤判断問題に回答させる。以上をポストテストとする。

- ・A群とB群のポストテストの結果を比較し、授業仮説を検証する。検証の視点は、到達目標に到達したか否かである。プレテストの児童・生徒のパフォーマンスを類型化し、ポストテストの結果から類型毎に授業仮説の検証も行う。