

小・中学校理科における粒子概念の形成について

西 嘉之

1. はじめに

教育課程の小・中学校の円滑な接続に関して2017年告示の新中学校学習指導要領⁽¹⁾においては、「教育課程の編成に当たっては、次の事項に配慮しながら、学校段階間の接続を図るものとする」「小学校学習指導要領を踏まえ、小学校教育までの学習の成果が中学校教育に円滑に接続され、義務教育段階の終わりまでに育成することを目指す資質・能力を、生徒が確実に身に付けることができるように工夫すること。」と明記している。そして、中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編⁽²⁾（以下、「中学校理科解説」）では、「科学的な見方や考え方」を養うための四つの柱として、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」領域の内容構成が示され、小・中学校間の指導内容が系統的に示されている。これにより、それぞれの領域ごとに児童・生徒の発達段階に応じて、系統的に科学概念の育成を図ることが求められている。また、「粒子」領域の系統表では「粒子の存在」「粒子の結合」「粒子の保存性」「粒子のもつエネルギー」という図1のような構成が示されている。

この「粒子」領域における生徒の学力の実態として、2018年度中学3年生に実施した全国学力・学習状況調査の結果では、化学変化と原子・分子の問題において、「化学変化の前後で原子の種類と数が変化しないという知識を活用して、化学変化を表した原子や分子のモデルを検討して改善することに課題があり、指導の充実が求められる」と記載されている。⁽³⁾また、これまでの様々なアンケート結果により、この「粒子」領域は教えるに、学ぶに、とされている。⁽⁴⁾

十河（2013）によれば、香川県内の中学2、3年生に実施したアンケートでは、苦手またはどちらかという苦手という回答が多かった単元は「化学変化と原子・分子」（78%）、「電気の世界」（74%）、「化学変化とイオン」（72%）であった。他の領域では苦手とする

図 1

学年	粒子			
	粒子の存在	粒子の結合	粒子の保存性	粒子のもつエネルギー
小3			<ul style="list-style-type: none"> ものと重さ 形と重さ 体積と重さ 	
小4	<ul style="list-style-type: none"> 空気と水の性質 空気の圧縮 水の圧縮 			<ul style="list-style-type: none"> 金属, 水, 空気と温度 温度と体積の変化 温まり方の違い 水の三態変化
小5			<ul style="list-style-type: none"> 物の溶け方 重さの保存 物が水に溶ける量の限度 物が水に溶ける量の変化 	
小6	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼の仕組み 燃焼の仕組み 	<ul style="list-style-type: none"> 水溶液の性質 酸性, アルカリ性, 中性 気体が溶けている水溶液 金属を変化させる水溶液 		
中1	<ul style="list-style-type: none"> 物質のすがた 身の回りの物質とその性質 気体の発生と性質 		<ul style="list-style-type: none"> 水溶液 水溶液 	<ul style="list-style-type: none"> 状態変化 状態変化と熱 物質の融点と沸点
中2	<ul style="list-style-type: none"> 物質の成り立ち 物質の分解 原子・分子 		<ul style="list-style-type: none"> 化学変化 化学変化 化学変化における酸化と還元 化学変化と熱 	
			<ul style="list-style-type: none"> 化学変化と物質の質量 化学変化と質量の保存 質量変化の規則性 	
中3	<ul style="list-style-type: none"> 水溶液とイオン 原子の成り立ちとイオン 酸・アルカリ 中和と塩 			
	<ul style="list-style-type: none"> 化学変化と電池 金属イオン 化学変化と電池 			

単元は約20～50%であることから、物理領域では「エネルギー」、化学領域では「粒子」に対する苦手意識が強いことがわかる。⁽⁵⁾そしてそれは、目に見えないエネルギーや原子・分子などの粒子を想像しながら思考することが生徒に求められるからであると推察される。本稿では、児童・生徒が理科の学習過程でつまづくことなく物質の粒子概念を形成していくことができるような指導はどうあるべきかを考察したい。

2. 理科教育の柱としての粒子概念について

1998年改訂の学習指導要領では生きる力の育成をねらいとし、「総合的な学習の時間」が創設されるとともに教育内容の厳選が行われた。また、2002年度からは学校5日制が完全実施となり授業時数が減少したことに伴い、2002年改定指導要領では学習内容が約3割削減された。その結果、理科においては粒子の取扱いが大きく変わった。特に中学校理科ではこれまで学習してきた「イオン」が高校へ移行したことの影響は大きく、堀（2001）、菊地ほか（2005）など様々な批判の声が挙がった。⁽⁶⁾また、PISA2003で日本の順位が低下した⁽⁷⁾ことやTIMSS2003で正答率が下がった問題が多かった⁽⁸⁾ことなどを背景に、2005年には中央教育審議会に対して学習指導要領の見直しが求められた。

その結果、2011年改定指導要領では、ゆとり教育によって低下したとされる理数系学力の向上のため「小中学校における理数系教育の充実」が重点の一つとされた。この指導要領では「基礎的・基本的な知識・技能の定着」のため「エネルギー」や「粒子」など科学の基本的な見方や概念を理科教育の柱とするとともに、小・中・高を通じて一貫性を持ってそれらの内容を指導するようになった。また、指導内容の充実を図るため、それまでの指導要領では高校に移行していた「電子」「イオン」「遺伝」などを再び中学校段階で学ぶことになった。「中学校理科解説」では、知識・技能を無理なく身に付けていくために、学習内容の系統性を考慮するとともに、資質・能力の育成を図る学習活動が効果的に行われるように学習内容を見直し、一部を他学年に移行したり、整理統合したりして学習内容の改善を図っている。

こうして小学校3年生から中学校3年生までの7年間で学習する「物質」に関する内容が「粒子」領域として系統性を考慮して配置され、「粒子の存在」「粒子の結合」「粒子の保存性」「粒子のもつエネルギー」の4つの観点から構成されることとなった。

3. 粒子概念の系統的な学びについて

子どもの粒子概念に関する研究として、例えば小学校段階から粒子概念を導入する可能性については、菊地ほか(2008)が、その具体的なカリキュラム構想を示すとともに事例研究を行い、小学4年生児童の理解度および意欲ともに良好な結果を得たことを報告している。⁽⁹⁾また、片平(2013)も、物質の粒子性に焦点を当て粒子概念形成の有効なアプローチを探り、その効果を実際の理科授業で検証している。⁽¹⁰⁾

これらの研究結果からも、小学校の段階から粒子概念の導入と系統性を重視した指導を行い、物質の性質や見えない変化を粒子イメージでとらえ思考・表現させることにより、見えない事象への理解を深めることができ、具体から抽象へ移行する中学校段階での粒子概念へと無理なく形成されることが期待されると言える。その際、児童・生徒の発達段階を考慮すると、「粒子」領域における内容の取扱いとして小学校段階では粒子の存在への気付きやメタファーを重視することが大切であると言える。また、中学校においては粒子概念を様々な自然現象とともに3年間を通して段階的、総合的に身に付けさせることにより、児童・生徒の苦手意識を減らすことができるのではないかと考えられる。

4. 小学校における粒子概念形成のアプローチ

小学校の新学習指導要領⁽¹¹⁾においては、粒子の存在について直接的に取り扱うことはしていない。とは言え、小学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編⁽¹²⁾(以下、「小学校理科解説」)の「内容の取扱い」によれば実際の授業において、粒子の存在に気付いたりイメージを持ったりするような説明や学習過程が必要であることが随所で述べられている。例を挙げると、第4学年の「空気と水の性質」では、「空気や水の存在や力を加える前後の空気や水の体積変化を図や絵を用いて表現するなど、空気や水の性質について考えたり、説明したりする活動の充実を図るようにする。」とある。また、第5学年の「物の溶け方」では「物が溶けるということを、図や絵などを用いて表現したり、「水溶液」という言葉を使用して説明したりするなど、物の溶け方について考えたり、説明したりする活動の充実を図るようにする。」とある。

このように、「小学校理科解説」では、粒子概念の指導の在り方について「図や絵(など)を用いて表現」させると述べられているのである。そこで、第4学年の実際の授業におい

ては、空気と水の性質を理解するとともに、目に見えない空気や水の粒子の存在に気付かせたり、それを図や絵にして表させたりするような活動を取り入れる必要がある。また、第5学年の授業においては、水に溶ける溶質を小さな粒で表現してその様子を説明させることが考えられる。さらに、空気や水、溶質を他の物でイメージしてそこで起きている現象を説明できることにも気付かせていくような展開が考えられるのである。

その実践の一例として、「小学校理科における『粒子概念』を活用した学習指導の工夫」⁽⁵⁾で引用)がある。この例では第6学年「動物のからだのはたらき」での実践が行われているが、この単元は「小学校理科解説」では「粒子」領域に位置付けられた単元ではない。しかし、「消化」の学習で取り扱う「消化液（唾液）のはたらき」を調べる実験は、でんぷんが唾液中の消化酵素によって化学的に変化する事象である。これまでの生物領域としての取扱いでは、ヨウ素反応の違いから「消化液（唾液）にはでんぷんを別のものに変えるはたらきがある」という考察を導き出していた。実践はこの消化を化学変化ととらえ、この場面で粒子概念を活用して目の前の試験管の中で起こっている見えない変化を粒子のイメージで考えようとする取組である。このことにより、でんぷんの変化を粒子の集合体であるでんぷんの結合を唾液が切る、というイメージでさらに深く理解できるように図っているのである。授業では、ワークシート上に粒子のモデル図で実験結果を表現させるようにしている。事前に消化液による食物の分解が、小腸壁での養分の吸収に有効かつ不可欠なはたらきであること、でんぷんの粒はさらに小さな粒子がいくつも集まって構成されていることを学習している児童たちのほとんどは、でんぷんの粒子が唾液のはたらきによって分解されていく様子をモデル図で表現することができている。粒子の大きさが変化したり、粒子の数が変化したりするととらえる児童もいるが、ここでは定量的な取扱いよりも、目に見えない粒子が分解されていくイメージを持ち、それを図で表現させること重視している。

また、横浜市小学校理科研究会によりメタファーを生かして科学概念をより実感的理解につなげる実践が行われている。⁽¹³⁾この実践は、目の前の自然現象を子どもたちなりの言葉で説明する際のメタファー表現⁽¹⁴⁾から児童の自然観を見取るとともに、そのメタファー表現を児童から引き出し、話し合い活動で生かすことにより、児童相互の豊かな自然観を高めていくというものである。実践は第3学年「太陽と地面のようす」で行われたものであるが、鏡によって集められた光の明るさについて「光の粒がぶつかりあって強くなる」という児童の説明や、光の暖かさについて「光の粒の中にあるあたためパワーが、

なにかにぶつかってあたたかくなる」という説明などが紹介されている。これまでも児童自身が目にしたり感じたりしていた自然現象を、授業を通して今一度見つめ直し、自分の身近なものに置き換えて説明することにより、実感を伴う理解へとつながっていくことがわかる。さらに、そのような表現活動を行う話し合いの場面で、メタファー表現は児童が言葉を共有しながら説明したり、さらなる問題を深めたりすることにもつながる、としている。このことは、新学習指導要領で述べられている授業の質的改善の視点「主体的・対話的で深い学び」を実現する上でも、メタファー表現の活用が有効であることを示唆している。

これらの実践例のように、各学年において粒子領域にとどまらず様々な領域において粒子概念を取り入れた学習指導を繰り返し行うことにより、次第に児童たちに粒子概念が形成され、やがて、抽象的な概念を扱う中学校段階に進んでも、そこでの学習内容をつまづくことなく理解できるようになると期待されるのである。

5. 中学校における粒子概念形成のアプローチ

2011年改訂指導要領までは、粒子の概念がないまま「物の溶け方」「状態変化」「酸・アルカリ・中和」などの学習をしたり、基本的な粒子の一つであるイオンを教育課程で扱わなくなったりしたことから、生徒に系統的に粒子概念を形成していくような学習プロセスは無かった。そこで、生徒に正しい粒子概念を身に付けさせるために、中学校3年間を通して目に見えない粒子のイメージをどのように持たせるかという点で、指導者による様々な工夫が行われていた。

三輪ほか(2007)の実践では、抽象的で理解しづらい粒子について、最初は「構造を持たない物質を構成する単純な粒子」として導入し、生徒の思考の流れに沿うように学習内容を配列し直し、3年間で段階的に粒子概念が形成されるような試みを行った。⁽¹⁵⁾ そのカリキュラム(1学年部分)は図2のようなものである。

この実践では、1年生の段階でも指導を重ねるに従って生徒の粒子概念が深まり、進んで粒子概念を用いて現象を説明しようとする生徒が増えていることがわかる。つまり、構造を持たない単純な粒子として扱えば、1年生から粒子概念を導入することは有効であると言えるのである。また、身近な現象の考察場面で粒子モデルを取り扱う場面を計画的に配置することにより、根拠を持って結論を導き出す上での有効な手立てとなり得るよう

だった。何より、説明で粒子モデルを用いることにより、見えない変化を可視化でき「わかりやすい」と感じる生徒が多かった。この結果からも、授業時数や学習内容の削減とともに粒子の取扱いが無くなったことが、いかに生徒の理解を妨げることになっていたかが実証された実践であったとも言える。

図2 第1学年の学習内容例

単元	粒子概念との関わり
物質のつくり	・物質が粒子からできていることを知る。
物質の状態変化	・固体、液体、気体の違いや状態変化における体積変化の理由を粒子の結合状態の変化で説明する。
状態変化と温度	・物質の温度を粒子の運動状態や結合状態の違いで説明する。
物質の密度	・状態の違いによる密度の変化を単位体積あたりに存在する粒子の数の違いで説明する。
水溶液	・溶解現象を粒子の分布状態の違いで説明する。 ・ろ過の原理を粒子の大きさの違いで説明する。
酸性・アルカリ性の水溶液	・性質の異なる粒子の存在から中和の現象を説明する。

(第1学年の単元は2002年改定指導要領による)

2011改定指導要領からは「粒子」領域の指導が復活し、さらには解説編において指導の在り方が具体的に記述されている。「中学校理科解説」における各単元の粒子の取扱いについて整理したものが図3である。

図3 「中学校理科解説」粒子領域における取扱い

単元	粒子の取扱い
物質のすがた	
・身の回りの物質とその性質	—
・気体の発生と性質	—
水溶液	
・水溶液	物質の水への溶解を粒子のモデルを用いて微視的に捉えさせるようにするとともに、粒子のモデルで均一になる様子について説明させる。

状態変化	
・状態変化と熱	状態変化は物質が異なる物質に変化するのではなくその物質の状態が変化するものであることや、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させ、粒子のモデルと関連付けて理解させる。粒子のモデルと関連付けて扱う際には、状態変化によって粒子の運動の様子が変化していることにも触れる。
・物質の融点と沸点	—
物質の成り立ち	
・物質の分解	—
・原子・分子	原子の初歩的な概念を導入し、原子は質量をもった非常に小さな粒子として取り扱う。また、分子については、幾つかの原子が結び付いて一つのまとまりになったものであることを扱う。
化学変化	
・化学変化	物質同士が結び付く反応と、「(ア) 物質の成り立ち」で学習した分解における化学変化を、原子や分子のモデルを用いて考察させ、微視的に事物・現象を捉えさせるようにする。その際、模型を用いるなどして目に見えない原子や分子をイメージしやすいように工夫する。 化学変化を化学反応式で表すことは化学変化に関係する原子や分子の種類や数を捉える上で有効であることにも気付かせる。
・化学変化における酸化と還元	酸化や還元反応を原子や分子のモデルを用いて考察させ、反応の前後では原子の組合せが変わることに気付かせる。
・化学変化と熱	—
化学変化と物質の質量	
・化学変化と質量の保存	—
・質量変化の規則性	金属の質量と反応する酸素の質量のグラフから金属と酸素が一定の割合で反応することを見いださせるとともに原子や分子のモデルと関連付けて微視的に事物・現象を捉えて表現させる。

水溶液とイオン	
・原子の成り立ちとイオン	現象を捉えやすい電解質水溶液として、うすい塩酸や塩化銅水溶液などに適切な電圧をかけ電流を流す実験を行い、陽極と陰極に決まった物質が生成することに注目させ、電解質の水溶液中に電気を帯びた粒子が存在することを理解させ、イオンの概念を形成させる。イオンの生成と関連して、原子は電子と原子核からできていることを扱う。その際、原子核は陽子と中性子からできていること、同じ元素でも中性子の数が異なる原子があることにも触れる。
・酸・アルカリ	—
・中和と塩	塩酸と水酸化ナトリウム水溶液をイオンのモデルで表し、中和反応においては水素イオンと水酸化物イオンから水が生じることにより酸とアルカリがお互いの性質を打ち消し合うことや、塩化物イオンとナトリウムイオンから塩化ナトリウムという塩が生じることをイオンのモデルを用いて考察させ理解させる。
化学変化と電池	
・金属イオン	金属を電解質水溶液に入れる実験を行い、金属が水溶液に溶けたり水溶液中の金属イオンが金属として出てきたりすることなどを見だし、イオンのモデルと関連させて理解させる。
・化学変化と電池	電池の電極における変化についてイオンのモデルを用いて表現させることを通して、電極で生じた電子が回路に電流として流れることを理解させる。

こうしてみると、「中学校理科解説」では小学校段階で図や絵で表していた目に見えない物質の成り立ちや現象、さらには抽象的な概念を粒子のモデルで説明することにより、生徒が具体的なイメージを持って理解できるように図っていることがわかる。

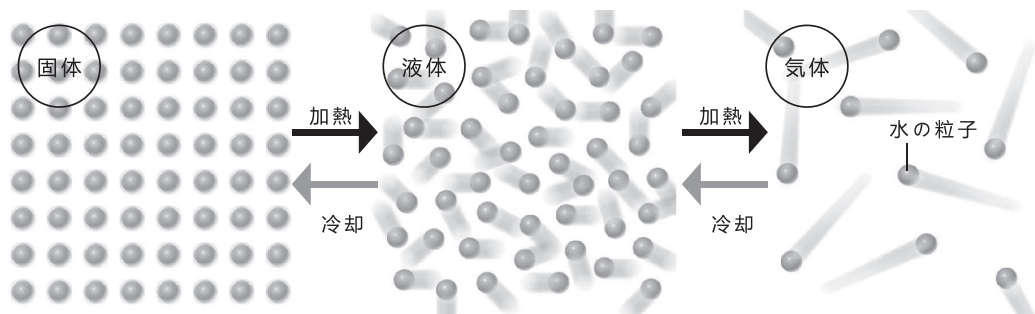
一例を挙げると、第2学年の原子・分子の単元では物質が粒子でできていることを学ぶのであるが、それ以前の第1学年で学習する「溶解」や「状態変化」も微視的にとらえて粒子で説明すると理解しやすい内容である。そこで、教科書では粒子のモデル図を用いて説明されている。

ある教科書では、例えば第1学年の「状態変化」に関して3ページにわたって物質の状態変化と粒子の運動について説明している。⁽¹⁶⁾そこでは、粒子について詳しくは2年の

「化学変化と原子・分子」で学ぶとしながらも、「物質のつくりをいろいろな方法で調べると、物質はその性質を示す小さな粒子がたくさん集まってできている」と記述されている。そして、状態変化では体積は変化するが、粒子の数や大きさ、質量が変化しないことを説明している。また、粒子の運動の様子についても説明し、図4のようにまとめている。

さらに教科書ではこの図に続けて、固体、液体、気体における粒子の様子を「教室でイメージしてみると…」として、「固体」では授業中の教室での生徒の様子、「液体」では、休み時間の生徒の様子、「気体」では放課後の生徒の様子をイラストにして示している。

図4



他社の教科書の説明も同様であり、この例のように中学校理科の粒子領域の記述では、小学校段階で身に付けた粒子概念やメタファー表現を活用して、実感を伴う理解ができるような工夫が見られる。したがって、中学校の粒子領域を学ぶ上では、小学校でどのように粒子概念を身に付けてきたかが大変重要であることがわかる。

6. おわりに

ここまで述べてきたように、理科の様々な学習内容においては繰り返し物質の性質や見えない変化を粒子イメージでとらえ思考・表現させることによって、粒子概念の形成を図っていくことが望まれる。ここで重要になるのは、小学校段階における「粒子」の取扱いである。「小学校理科解説」の記述は「図や絵」にするという表現であることから、指導者がどのように指導するかという具体的な授業イメージとしてはとらえにくい。粒子の概念形成を系統的に行う上では教科書や指導者の工夫任せにするのではなく、中学校3年までの見通しをもって段階的、計画的に行われるべきであろう。その点で、横浜市教育委

員会が「横浜版学習指導要領」「横浜版学習指導要領指導資料」⁽¹⁷⁾を作成し、小中一貫教育に関して市立学校が基準とするベースカリキュラムを示していることには大きな意味がある。

また、本稿では小・中学校間の接続について述べたが、さらには高校理科への接続も考えるべき内容である。「化学」ではこれまでも基本的な考え方の中に粒子概念を踏まえた内容構成がされているが、さらに「化学結合」などで中学校での概念形成の延長線上でとらえた取扱いが重要であると考えられる。その点で今後、高等学校理科の教育課程における粒子概念形成の研究・実践が深まることを期待したい。

【注・参考文献】

- (1) 「中学校学習指導要領（平成29年告示）」（文部科学省 平成29年3月）
- (2) 「中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編」（文部科学省 平成29年7月）
- (3) 「平成30年度全国学力・学習状況調査報告書【中学校/理科】」（文部科学省 国立教育政策研究所 平成30年7月）
- (4) 「系統性を踏まえた理科の授業づくり」（岡山県総合教育センター 平成27年2月）
など
- (5) 「小学校理科における『粒子概念』を活用した学習指導の工夫」（十河淳 香川県教育センター 平成25年）
- (6) 「教育内容厳選の基準の検討に関する一考察」（堀哲夫 カリキュラム研究 2001）、「イオン学習をどのように位置づけるか」（菊地洋一他 理科教育学研究 2005）
- (7) PISA2003 (http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/001/04120101.htm 文部科学省)
- (8) TIMSS2003 (<http://www.nier.go.jp/kiso/timss/2003/gaiyou2003.pdf> 文部科学省)
- (9) 「粒子概念の位置づけと物質学習カリキュラム」（菊地洋一ほか 理科教育学研究 2008）
- (10) 「粒子理論の教授学習過程の構成と展開に関する研究」（片平克弘 学校教育学研究 紀要 2013）
- (11) 「小学校学習指導要領（平成29年告示）」（文部科学省 平成29年3月）

- (12) 「小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編」（文部科学省 平成29年7月）
- (13) 「メタファーを生かして，科学概念のより実感的理解へ」（辻健，森本信也 日本理科教育学会 2007）
- (14) 「メタファー表現とは，子どもの目の前にある自然現象を日常語レベルで表現した物や，子どもの素朴な科学概念を子どもなりの表現方法で表出したもの。それは言語だけでなく，絵や音，動作などで表現されるものも該当すると解釈する」（横浜市小学校理科研究部会）
- (15) 「中学校理科における生徒の粒子概念形成に関する研究」（三輪俊一ほか 茨城大学教育学部紀要 2008）
- (16) 「理科の世界 1年」（大日本図書 平成23年）
- (17) 「横浜版学習指導要領」「横浜版学習指導要領指導資料」（横浜市教育委員会 2010）