

## 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

菊地洋一\*, 故西井栄幸\*\*, 武井隆明\*, 村上 祐\*

(2009年12月9日受理)

### 1 緒言

物質の微視的概念である粒子概念（すなわち「物質はすべて目に見えない小さな粒（原子、分子、イオン）でできている。」という概念）は、物質を理解する上で最も根本的な要素であり、現代の自然科学および科学技術の礎となっている。物質のマクロ的な事象（物質の分類、状態、性質、反応など）を科学的に説明するには、粒子概念が不可欠となる。よって、小・中学校における物質学習のカリキュラムを考える際に、粒子概念の位置づけは大変重要な問題であるといえる。粒子概念をどの時期に導入するか、どのように取り扱うかによって、物質学習の中味が大きく変わる。例えば、小・中学校の理科教育では児童・生徒が、主体的に実験を行い、その結果を整理したり比較したりすることから新たな事実や法則性を見出すような活動が重視されている。この活動は、考える根拠になる科学的知識を持たない学習者にとっては実験事実としての知識の集積の段階である。実験事実内に内在している科学のしくみ、すなわち“なぜそうなるのか？”の疑問、を対象に学習を構成するには、物質学習に関していえば粒子概念が必要となる。よって、粒子概念の導入前後では学習の質に大きな違いが生じることとなる。

粒子概念の位置づけを考えた際に最も重要なことの1つは、粒子概念は物質学習における種々の場面で“活用する概念”だということである。最終的には、学習者が学校教育を終えるまでに獲得した教育内容が適切であるかが問われる。物質学習においては学習者が粒子概念を物質の種々の現象の説明に使えるものとして定着することが重要なポイントとなる。このことが、物質学習で獲得したことが最終的に単なる知識の集積に留まるか、科学的な思考と理解を伴うものとなるかの分岐点となる。粒子概念の扱いはそれだけの影響力を持っているといえる。

我々は上記の視点から、中学生・高校生を対象として、小学校で学習する物質の基本的な現象（空気と水の圧縮性の違い）について粒子概念を用いて科学的に説明できるようになっているのか？を問う調査を行った<sup>1)</sup>。その結果、中学生と高校生の正答率はいずれも非常に低く、粒子概念と種々のマクロな現象を繰り返し学習してきた高校生においても、粒子概念が現象の説明に使えるものとしては定着していないとの結果を得た。

また、2006年1、2月に文部科学省・国立教育政策研究所が実施した理科学力テスト「特定課題調査」の結果が2007年11月に公表された<sup>2)</sup>。対象は小学5年生と中学2年生である。物質

---

\* 岩手大学教育学部

\*\* 岩手県軽米町立晴山中学校

学習に関わる「食塩水の質量保存に関する基本的内容の設問」についての正答率は、小学5年生で57%，中学2年生で54%と低い値であった。この結果は中学生の正答率が小学生を下回ったこともあり、マスコミ等でも注目を集めた。多くの中学生が小学校で学んだ質量保存の考えを深めることができていない理由には、中学生においても粒子概念を用いた本質的な理解が確立していないことが挙げられる。

これらの調査結果は、近年の物質学習カリキュラムに対する重大な問題提起であり、カリキュラムの再構築の必要性を強く感じる。そこで我々は前報において、粒子概念を基軸にした新たな物質学習カリキュラム構想を提案した<sup>1)</sup>。このカリキュラムでは、物質に関わる種々の現象の科学的な理解を深め、生徒の科学的な思考力を育成するために、粒子概念を早期に導入する考えに立っている。ここでカリキュラム案が実現可能かどうかの大きなポイントは、早期に粒子概念を導入する場面の学習が成り立つかどうかである。そこで本報では我々のカリキュラム案の粒子概念の取り扱いを小・中学校の学習指導要領における取り扱いと比較した上で、カリキュラム案のポイントとなる場面として、中学1年での原子・分子・イオンの導入場面を取り上げ、授業実践とその評価を行った。

## 2 小・中学校における物質学習カリキュラムと本研究の授業実践の背景

図1に、我々が提案したカリキュラムの骨子を示した。また比較のため近年の学習指導要領に基づいた粒子概念の導入時期とその後の物質学習の流れも同時に示した。

図1 (A) は、1998年(平成10年)公示の学習指導要領によるものである。粒子概念については、

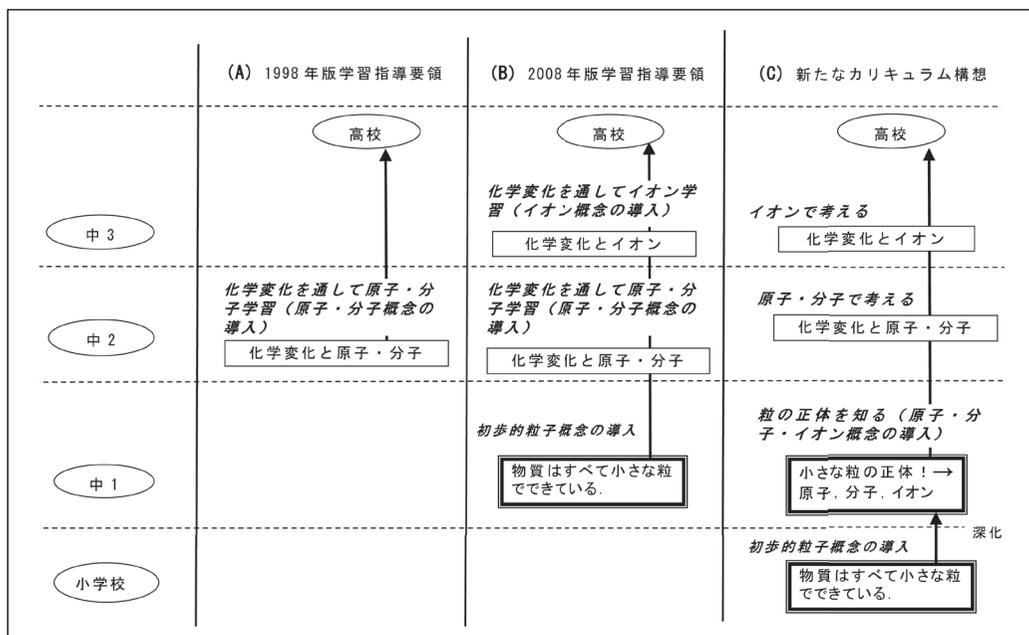


図1 粒子概念の導入と物質学習カリキュラムの関係

学習者は中学2年の「化学変化と原子・分子」で初めて学習することになり、それ以前には触れられていない。また中学2年の導入場面では、初歩的粒子概念（「物質はすべて小さな粒でできている」）を扱わずにいきなり原子概念および分子概念として導入され、しかも化学変化という高度な学習内容と組み合わせられている。この導入時期および導入方法は1988年（平成元年）版学習指導要領でも同様であった。粒子概念が子供にとってイメージしにくい概念であるため、学習時期をできるだけ先送りしたカリキュラムの考えに立っていると考えられる。しかし「化学変化と原子・分子」には原子、分子、化学変化、化学式、化学反応式、定比例の法則など重要な多くの学習内容が入っており、これらと同時に物質の粒子性を初めて学習するのは理解しやすい構成なのか疑問である。事実、我々が2006年に行った物質の基本的な現象と粒子概念の関係に関する理解度調査（対象：中学2年から高校3年）において、粒子概念を学習直後の中学3年生が最も正答率が低い結果となった<sup>1)</sup>。粒子概念を学習していない中学2年生に比べても正答率が低く、中学3年生は「化学変化と原子・分子」の学習を消化し切れてないために、基本的なことが混乱していると考えられた。

なお、1998年（平成10年）版学習指導要領は、「総合的な学習の時間」が新設される一方で、既存の教科については「基礎・基本を確実に定着させる」という名目で教育内容の厳選が行われたものである。その結果、これまで一貫して中学校で学習してきた「イオン」が中学校から削除され、義務教育段階では粒子概念に関わるのは「化学変化と原子・分子」の一単元のみになってしまった。中学校でイオンを学習しないことについては、「酸とアルカリ」や「電池」の学習など多くの学習場面で現象を述べるだけになり、その科学的な説明ができない事態となるなど、多くの問題点が指摘された<sup>3-6)</sup>。イオンは物質を構成する基本的な粒子の一形態であり、本来は物質学習の基礎・基本に位置付くべき概念だからである。この学習指導要領は、学習内容を絞り「基礎・基本」の定着を目指したものであるが、ここでいう「基礎・基本」の意味する内容には疑問を感じざるを得ない。

図1 (B) は、2008年（平成20年）公示の新学習指導要領によるものである。新学習指導要領では、理数系の充実が一つの主要目的として謳われ、小中学校の理科の学習内容や授業時間が大幅に増加した。その中で理科の改訂ポイントとして、①教育内容を「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」の4つのキーワードを柱にして、小中学校を通じた内容の一貫性や系統性を重視したカリキュラム構成としたこと、や、②科学的な思考力・表現力の育成を重視すること、などが挙げられている<sup>7)</sup>。上記①の4つのキーワードを単に教育内容を代表する包括的な言葉として考えるなら「粒子」の代わりに「物質」の方が適していると考えられる。あえて「粒子」を掲げたことは注目に値する<sup>8)</sup>。本論文でこれまで記述しているように、粒子概念は物質学習の根本要素であり、粒子概念によって物質に関わる種々の学習内容が結びつけられ、また粒子概念を用いることによって物質の諸現象の「なぜ？」を科学的に考えたり説明したりすることができるようになるからである。すなわち物質学習に関して上記①の一貫性や系統性、および②を達成するためには、「粒子」はまさにキーワードにふさわしいと言える。

図1 (B) の具体的な構成では、中学1年「身の回りの物質」で初歩的粒子概念が導入されている。その後、中学2年で原子・分子を学習する。中学3年にはイオン学習が1988年（平成元年）版学習指導要領から復活した。なお、イオン学習の中で「原子の構造」を扱うことになっており、これは1969年（昭和44年）版学習指導要領以来のことである<sup>9)</sup>。図1 (B) ではこのように粒子概念を中心として物質学習の段階化と内容の充実について改善が図られている。ただし、

我々の提案するカリキュラム構成（図1（C）、後述）とは考え方が異なる。また、本学習指導要領のポイントとして「粒子」を柱とした小中学校の内容の一貫性・系統性を謳っているにもかかわらず、小学校における粒子の具体的な扱いは学習指導要領解説のどこにも明示されていないことは疑問である。

図1（C）は我々が提案しているカリキュラム案である。義務教育段階で学習すべき内容は図1（B）と大きく変わらないが、概念の導入時期と学習構造の考え方が異なる。図1（C）では、初歩的粒子概念の導入時期を小学校段階に入れた。米国、英国、ドイツなどの諸外国では小学校段階から初歩的粒子概念を導入して物質の諸現象を説明する学習をしており<sup>10)</sup>、我国においても不可能なことではないと考えられる。小学校段階における初歩的粒子概念導入の意義と可否については、現在、授業実践研究を進めており、導入により良好な教育効果が期待できる結果を得ている<sup>11,12)</sup>。

図1（C）の中学校段階での特徴は、小学校で初歩的粒子概念を導入していることを受けて、中学1年に原子、分子、イオンの概念をすべて導入してしまうことである。「小さな粒」としての粒子概念から、「原子、分子、イオン」の概念へ深化することにより、これらの概念は物質の個性を学習対象とした場面での基礎的な科学知識として使うことができるようになる。そこで中学2年、3年の学習では、図1（A）（B）のように化学変化の現象（実験事実）を通して原子、分子、イオン概念を教えるのではなく、すでに学習した原子、分子、イオン概念を用いて化学変化の現象を解釈する学習へ転換する。この図1（A）（B）と（C）の組み立ての違いは、特に中学2年、3年の授業場面における学習方法の違いとなる。我国の理科教育では科学的な思考力育成の方法論として、生徒が実験等を通して新たな知識や概念などを見いだしていく学習方法が色濃く、図1（A）（B）はそれを基に構想されている。その一方で、科学的思考にはその基となる基礎的科学知識が必要であるから教師がそれを教えてから考えさせる重要性が主張されてきている<sup>13,14)</sup>。これらの学習方法の是非については対象となる学習内容や適時性により柔軟に考える必要があると思われる。粒子概念については生徒から導き出すのは困難であるから教師が教える知識とし、その活用を充実した方がよいとの考えから、図1（C）は後者の立場を中学の3年間のスケールで取り入れた形である。すなわち中学1年に導入する原子、分子、イオン概念を3年間の物質学習における先行オーガナイザー的な基礎的科学知識として位置づけ、その後の概念の活用によって科学的思考力を育成するように学習構造を単純化したものである。また原子、分子、イオン概念を早期に導入し、その後繰り返し活用していくことは、原子、分子、イオン概念の確かな定着にもつながることもねらいとしている。

物質学習とは主に化学分野の学習を想起する言葉であり図1（C）では化学分野に絞って記載してあるが、実際は理科教育全体が物質に関わっている。しかし中学における現在の理科教育では、化学以外の分野では物質への意識が弱いと感じられる。微視的な概念を早期にとり入れると、例えば呼吸と光合成の違いや消化の学習を生体内の化学変化とおさえ、二酸化炭素、糖などを小さな粒子（分子）として明確に説明できる。また鉱物の学習を元素と結びつけることにより、鉱物に対する理解とともに化学で学習する物質が天然のものと結びつくことの実感を通して物質観の広がりを生むことができる。電気の学習の科学的な説明も可能になる。このように1年次での原子・分子・イオンの微視的概念の導入は、化学分野に限定された根本要素ではなく、理科全体の基本となる根本要素でもあり、多くの場面での活用が期待できる。

図1（C）のカリキュラム構想の考え方は上述の通りであるが、実際にこの構想が可能かど

うかの1つのポイントとなるのは、中学1年に原子、分子、イオンを導入する場面の学習が可能かどうかである。原子、分子を中学1年で導入することの実践研究や主張は多いが<sup>15-17)</sup>、イオンを中学1年で取り扱うことはそれほど考えられていない。例えば、多数の中学校教員が中心となって独自に作成した検定外教科書（現代人のための中学理科「新しい科学の教科書」）でも、原子、分子は中学1年の物質学習の初めに導入するが、イオンは中学3年で学習するようになっている<sup>18)</sup>。一方、我々はイオンの導入を中心に4時間の授業を構想し実践研究を行い、中学1年におけるイオン学習の可能性を示している<sup>19)</sup>。

本研究ではこのような背景を元に、図1 (C) のカリキュラム構想が可能かどうかのポイントの1つとして、中学1年で原子、分子、イオンを一度に導入する場面の授業を構想し、実践を行った。

### 3 原子・分子・イオンを導入する授業実践

#### 3-1 授業の概要

中学1年に原子、分子、イオンをまとめて導入する授業として、「身の回りの物質」単元の初めに「1章 物質を構成する粒子」の授業を構想した。2006年秋に岩手県の小規模中学校で1年生30人、1クラスを対象に一人の教員が授業実践を行った。大まかな授業の流れは以下のとおりである。

【単元：身の回りの物質，1章 物質を構成する粒子（12時間）】

- (1) 物質は何からできているか（原子、元素）…2時間
  - ・物体と物質を説明する。
  - ・物質はすべて原子でできていることを説明する。…「NHK ナノスペース」ダイジェストビデオと原子の電子顕微鏡写真を見せながら原子を紹介する。
  - ・物質は1000万種以上あるが、元素は約100種類であることを説明する。
- (2) 原子とはどんな粒子か…1時間
  - ・ドルトンの原子説を説明する。
  - ・原子の大きさ、質量のイメージ化を図る。…学習プリントにゼロの数を記入させて説明する。「パワーズ・オブ・テン」ダイジェストビデオ<sup>20)</sup>で視覚的に説明する。
  - ・元素記号、周期表の紹介をする。
- (3) 分子とはどんな粒子か、身近な分子…2時間
  - ・分子模型・図を用いて、分子と原子の関係を説明する。（水、空気中の分子・原子など）
  - ・元素記号と化学式を説明する。
  - ・分子模型・図でアンモニア、ぶどう糖、砂糖（ショ糖）、エタノール、ポリエチレンなど身近な分子の微視的構造を紹介する。
- (4) 分子の大きさ比べ…1時間
  - ・【実験】炭酸飲料中の分子の大きさをセロハンの透過実験<sup>21)</sup>で比較する。
- (5) イオン、イオン性物質…1時間
  - ・ポカリスエット、温泉の成分などからイオンを「原子が（+）や（-）の電気を帯びるようになったもの」として導入する。

- ・イオンからできている物質の代表として、塩化ナトリウム結晶を説明する。
- ・組成式を説明する。
- ・【実験】塩化ナトリウム結晶を割ってみよう<sup>22)</sup>。
- (6) 金属性物質…2時間
  - ・金属箔を周期表の上に貼り付ける。(サンプル付周期表の作成)<sup>23)</sup>
  - ・【実験】各金属の性質を調べる。(電気を通すか、磁石に付くかなど)
  - ・金属性物質の化学式を説明する。
  - ・【実験】密度の違いで金属同士を区別する。
- (7) 原子の構造とイオン…1時間
  - ・原子核と電子からなる簡単な原子構造を説明する。
  - ・同心円の電子配置とイオンの生成を説明する。
- (8) 化学結合…1時間
  - ・イオン結合…金属と非金属の結合を簡単に説明する。
  - ・共有結合……非金属どうしの結合を簡単に説明する。
  - ・金属結合……金属の結合、自由電子を簡単に説明する。
  - ・【実験】鉛の圧着実験<sup>24)</sup>を行う。
- (9) まとめ…1時間
  - ・化学結合のまとめを行う。

### 3-2 授業の評価

授業終了後にそれぞれの内容毎に、生徒の自己評価調査を行った。理解度、楽しさ、興味、難易度、他の学習への有用性についての5段階評価と、わかったこと・感想・疑問を記述式で記入させるアンケート調査である。さらに「物質の分類」まで学習した後、テストを行った。

### 3-3 評価結果

生徒の自己評価調査による5段階評価の平均を表1に示す。ここで「理解度」、「楽しさ」、「興

表1 授業に対する生徒の自己評価 (5段階評価の平均値)

学 習 内 容	理解度 (数値が大きいほど高い)	楽しさ (数値が大きいほど楽しい)	興 味 (数値が大きいほど高い)	難易度 (数値が大きいほど易しい)	有用性 (数値が大きいほど高い)
(1) 物質は何からできているか	4.3	4.2	4.2	3.2	3.8
(2) 原子とはどんな粒子か	4.1	4.3	4.1	3.2	3.7
(3) 分子とはどんな粒子か、身近な分子	4.3	4.4	4.1	3.8	3.8
(4) 分子の大きさ比べ	4.2	4.2	4.0	3.4	3.8
(5) イオン、イオン性物質	4.3	4.8	4.1	3.8	3.9
(6) 金属性物質	4.3	4.6	4.2	3.9	4.1
(7) 原子の構造とイオン	4.1	4.2	4.2	3.4	3.8
(8) 化学結合	4.3	4.5	4.2	3.7	3.8
(9) まとめ	4.2	4.3	4.1	3.5	3.8

味]、「他の学習への有用性」の各項目は数値が高いほど、それぞれの度合いが高いことを示している(例えば、理解度が高い、楽しい、など)。「難易度」は数値が高いほど易しく感じていることを示している。表1より「理解度」、「楽しさ」、「興味」の各項目では、いずれもすべての内容で4以上の良好な結果を得た。今回の学習内容は“教える内容”が多いが、できるだけ実験や視聴覚教材を取り入れることにより、生徒の興味や楽しさが持続したと考えられる。「難易度」は3～4の間の評価で、生徒はそれほど難しいとは感じていなかった。「有用性」もほぼ4に近い評価で良好な結果である。

「わかったこと・感想・疑問」の自由記述欄には多数の記述があった。代表的なものを抜粋して以下に示す。

#### <原子について>

- 1) そこまで考えたことがなかったので、とてもおもしろかった。物質はプラスチックだったらプラスチックという一つの物だと思っていたけど、少ない原子のバリエーションでできているということがおもしろかった。
- 2) ぼくは人の髪の毛や骨まで原子でできていると思わなくてびっくりしたし、原子が100種類しかないのに、物質が1000万種類もあってびっくりした。教科書にのっていないこともこまかく分かって楽しいし、分かりやすく勉強になった。
- 3) 物質が1000万種類以上あるのに対して、原子が100種類しかないというのは初めて知った。原子と原子の間にさらに小さな原子があると思ったけれど、真空があるということは知らなかった。
- 4) 原子がとても小さいことがわかった。なんで原子がくつつくのか不思議に思った。それとどうして丸なのか不思議に思った。
- 5) 原子の記号がついている周期表は小学校にもあったのでなんとなく分かったけど、中学校では全部覚えられるように頑張りたいと思いました。

#### <分子について>

- 6) 原子はくっついて分子になるとは思わなかった。でもそうなるとうっかりどうやってくつつくのが気になった。
- 7) いろいろな分子・原子の形があっっておもしろかった。
- 8) 空気中の原子はくっついていてそれを分子ということがわかった。2、3種類の原子がくっついて酸素や水をつくっていてびっくりした。なぜアルゴンだけ1つなのか疑問に思いました。
- 9) 原子1つ違うだけで、性質が変わることがおもしろかった。植物が光合成でデンプンをつくれる理由が少しわかった。
- 10) 砂糖やブドウ糖などの分子は初めて知った。メタンやプロパンなどは意外にもH、O、Cの原子だけでできていた。
- 11) 同じ原子からたくさん分子ができることがわかった。覚えるのが大変だと思った。
- 12) おもしろい実験だった。分子の大きさが少しわかった。(分子の大きさ比べの実験)

#### <イオン性物質>

- 13) 原子が電気を帯びているものをイオンといい、+と-があることを初めて知った。イオンは規則正しく並んで結晶になっていてびっくりした。すぐに割れておもしろかった。
- 14) こんなにきれいに割れるとは思わなかったし、イオンでできた物質がこんなにもろいと思わなかった。

<金属性物質>

- 15) 金属はすべて電気を通しても、磁石にくっつくのは鉄とニッケル、コバルトととても少ないのがびっくりした。
- 16) 金属はたたくとのびたりするなんておもしろかった。
- 17) どんな金属が分からなくても質量を調べることで判別できるのにびっくりした。水中に入れるだけで爆発する金属があることに驚いた。

<原子の構造とイオン>

- 18) ナトリウム原子からナトリウムイオンにするので、(自分で考えているときは)少し分からなかったけど、(説明を聞いて)簡単だった。…( )内は授業者の補足
- 19) 原子核は知っていたけど、電子もあって原子になるのは知らなかった。他の-の電子を引っ張ったり、取られたりする原子はとてもおもしろかった。
- 20) 原子からイオンに変えるのは結構おもしろかった。

<化学結合とそのまとめ>

- 21) それぞれの結合の仕方にすごく電子が関わっていて、電気の+、-は意外と金属では大抵だった。鉛が自由電子でくっつくのもすごかった。
- 22) ナトリウム原子と塩素原子を合わせるとまったく違う物質ができておもしろいと思う。
- 23) 化学結合について改めて確認することができた。

以上のように、生徒の素直な驚きや興味が多数記述されていた。全体的に授業内容をほぼ的確にとらえた記述が多かった。

テスト問題を末尾(資料1)に示す。テストは周期表を見ながらの解答であり、個々の元素については暗記よりも周期表を使えることに主眼を置いたものである。細かな小問が多いため内容毎にまとめた正答率の平均値を表2に示す。今回の試験は問題数も多く、元素や化合物の記号化(元素記号、化学式)や多くの説明問題も含んでおり、それほど易しい試験ではない。しかし表2からわかるように全体的に正答率は非常に高かった。個別の問題で正答率が7割に達しないのは、やや難しい説明問題などの以下に挙げた4問だけであった。

- ・問9 (5)：塩化ナトリウムの結晶が電気を通さないのに、水に溶かすと電気を通すのはなぜかの説明 (正答率49%)
- ・問10 (3)：金属の性質の原因の説明 (正答率60%)
- ・問12 (2)：化学反応のしくみの説明 (正答率46%)
- ・問13 (1)：物質の分類(イオン性物質を選ぶ)の分類 (正答率67%)

### 3-4 授業実践のまとめと考察

中学1年に原子、分子、イオンをまとめて導入する授業を構想し、実践を行った。この授業の評価には2つの観点が特に重要である。1つはこれまで難しいといわれてきたこれらの概念がどれだけ理解されたかである。もう1つは、原子、分子、イオンの概念を教師が知識として教える授業であっても生徒は興味を持って学習できたかである。これらのことを中心に本実践のまとめと考察を行う。

今回の実践授業は多くの新たな知識を含んでおり、生徒が一度にすべてを理解するのは困難なことも予想された。しかし生徒の自己評価（表1）では、実践全体を通して生徒はそれほど難しいとは感じておらず、理解度も高く評価をしている。生徒の自己評価を裏付けるように試験の結果（表2）も、全体的に正答率が高く良好であった。今回の試験問題には基礎的知識を問う問題の他に説明問題も多く含まれていた。その中で比較的単純な説明問題（例えば、原子から陰イオンができる仕組みの説明、や、ナトリウムイオンと塩化物イオンが引き合う説明など）については、正答率は7割を超えている。複合的な視点を必要とするいくつかのやや高度な説明問題（問9（5）、問10（3）、問12（2））などでは低い正答率であったが、本授業の基本的な学習内容については多くの生徒が理解したと考えられる。

表2 試験の正答率

	正答率の平均値
(問1-5) 原子、分子	97 %
(問6-8) 原子構造、イオンの生成、イオン式	89 %
(問9-12) イオン性物質、金属性物質	78 %
(問13) 物質の分類	80 %
全 体 平 均	86 %

原子・分子についてはこれまでも中学校での早期導入の可能性が示唆されている<sup>17)</sup>。岩間は自らの授業実践結果から中学1年で原子・分子を学習することは可能であることを報告しており<sup>15, 16)</sup>、今回の授業でも同様な結果が示されたこととなる。今回の授業ではさらにイオンを同時に導入している。イオンは重要であるが生徒が理解しにくい概念であると指摘されており、これまでに中学1年で導入する実践例は少ない。堀は中学3年のイオン概念の導入場面として、生徒のボトムアップ的学習から教師によるトップダウン的学習に展開する26時間の授業実践を提案しており<sup>5)</sup>、イオンの導入には大変丁寧な取り扱いがなされている。一方、我々は前報で中学1年でのイオン導入について4時間の授業実践を報告している<sup>19)</sup>。この実践後の生徒の自己評価や試験結果は良好であり、中学1年でのイオン学習の可能性を示した。これらの実践の大きな違いは、新たな基本概念は初めから教師が知識として教えるものという立場をとるかかどうかである。早期に基本概念を導入する場合には、教師が教えるスタイルとなる。この立場の是非についてはカリキュラム全体の中で評価されることである。早期導入の場合にはまずはその場面の授業が成り立つかが問題となり、上述の先行研究は原子・分子とイオンをそれぞれ別に早期導入の可能性を示している。

今回の実践は教師が教えるスタイルとして、中学1年で原子・分子・イオンをまとめて導入する試みである。その結果は、原子・分子・イオンを同時に扱ってもこれらの学習の理解度に大きな差はなく、生徒の自己評価も試験の正答率も良好であった。また今回の授業終了後の授業者からは、難解な概念とされているイオンについて『イオンを「イオン（原子が電気を帯びたもの）」というものがある。』と教えて導入することは難しくないと感じた。』との感想を得ている。義務教育段階の物質学習では物質を構成する粒子として原子、分子、イオンを教えたいので、これらを小出しに学習するよりも一度に導入することができれば全体像が見えることとなり、その後の学習におけるメリットは大きい。前述(2. 小中学校における物質学習カリキュラムと本研究の実践授業の背景)のように、ここでの学習内容は今後種々の場面で活用する知識である。仮に今回の学習で不完全な部分があったとしても今後活用しながら正確なものとして定着していくことができる。今回の実践から少なくともそのもとになる学習は、中学1年の段階で達成可能であると考えられる。

「3-1 授業の概要」からわかるように、今回の内容は教師が教える内容が多い。一見“教え込みのつまらない授業”と批判されがちな内容であるが、この授業スタイルにおいても生徒は「楽しく」、「興味を持って」学習できたと自己評価している。また、「他の学習への有用性」についても高評価している。生徒の「わかったこと・感想・疑問」記述からこれらの評価の元になっていると考えられる生徒の率直な気持ちを読み取れる。生徒の記述にはこの学習で得てほしい本質的な内容について、新たな知に触れた興味や驚きを込めて生き生きと書かれているものが多い。例えば、「すべてのものが原子でできていることの驚き」、「100種類の原子から1000万種類以上の物質ができていることに対する驚き」、「金属の性質に対する興味や驚き」、「原子の構造やイオンの生成に関する興味」や「化学反応や結合に対する興味」などである。なかにはやや不正確な記述も見られるが、今回の授業は扱った内容をすべて正確に定着させることを意図したものではなく、本質的な文脈の中で原子・分子・イオンに関わる基本的な事項を把握することが重要である。個別の正確な知識は前述のように今後の学習で徐々に定着していけばよいと考えている。例えば、自由記述10)の「・・・メタンやプロパンなどは意外にもH, O, Cの原子だけでできていた。」は「H, Cの原子（元素）だけ」の誤りであるが、数種類の元素だけで身の回りの種々の化合物ができていくという本質に着目した記述として高評価できる。

「わかったこと・感想・疑問」記述からは、多くの生徒の微視的な世界に対しての新鮮な驚き、興味に加え、学習したことに対する喜びなどが伝わってくる。このような生徒の反応を引き出した要因は、生徒はもともと科学の本質に関わる知識を知りたがっており、それに呼応する授業が展開できたからと考えられる。そこには次のような授業における工夫も効果的だったと考えられる。

- (i) 微視的概念を実験から導き出すことはできないが、現在は多くの優れた視聴覚教材がある。今回の授業でもVTRや電子顕微鏡写真を効果的に織り込みながら生徒のイメージ化を図った。
- (ii) 分子や結晶の拡大イメージ図には実物がイメージしやすいように空間充填モデル図を用いた。身の回りの物質とのつながりを意識化させるために、例えば分子について単純な分子から生活に密着したやや複雑な分子にも触れさせた。
- (iii) 学習場面に応じて、学習内容を印象づける実験をできるだけ織り込みながら学習を進

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

めた。

- (iv) 微視的な概念をその集合としてのマクロな物質（結晶など）と対として学習することを心がけた。その繰り返しにより、粒子の位置づけが明確になると考えられる。

現在の理科教育では、その授業で獲得すべき知識などの学習内容を実験結果に基づいて生徒が気づき導き出すやり方が多い。実験前の課題設定、予想の段階からできるだけ生徒の主体性を活かした授業スタイルで、生徒の興味・関心や思考力の向上が期待されている。この授業スタイルの是非を包括的に議論するのは難しく、場面や環境に応じた議論が必要であろう。ここで触れておきたいことは、この授業スタイルの中で「実験から生徒が新たな知識を見いだすように計画された実験」と「あらかじめ知識や視点を与えられた上で行う実験」では、行う実験の種類や効果が違ってくる場合があるということである。後者の場合には教師は事象を説明するのに最も効果的と考える実験を自由に計画することが可能であり、実験の注目すべき視点も明確であるから、生徒にとってわかりやすいというメリットがある。上記 (iii) の今回の実験では、このメリットを活かすことができたと考えられる。生徒の「わかったこと・感想・疑問」記述には、実験結果に対する驚き、興味とともに実験のねらいを的確に捉えた内容が多く書かれている。できるだけ印象深く、事象の説明に効果的な実験を選び、実験の視点を明確にしたことにより、生徒は実験内容の意味と新たな知識との一致の過程で知識を確かにし興味を喚起できたと考えられる。

以上より、今回の授業実践は生徒の理解度の上でも興味・関心の上でも良好な結果が得られた。授業は多様な要素によって成り立っているため一度の実践を普遍化することはできない。実践内容についてさらに検討を進めていく必要があると思うが、少なくとも今回の実践の試みの方向には大きな意義と可能性があると考ええる。

## 謝辞

本研究は平成17-18年度文部科学省科学研究費補助金（特定領域研究「新世紀型理数系教育の展開研究」、研究課題「中高一貫教育における「物質学習」の系統的段階化と適時性」、課題番号 17011003、研究代表者 村上祐）によって行われた。記して感謝の意を表す。

## 付記

本研究は下記の研究メンバーによる献身的な努力と活発な議論によって進められた「物質学習のあり方についての研究会（物質研）」の中から生まれた。特に、本研究の授業実践は西井栄幸先生を中心に行われたものである。西井先生は緻密な構成力と豊富な教材研究による授業開発力を発揮した。本実践授業における実験などは実に効果的に子供達の知的好奇心を刺激していたと考えられる。西井先生はなにより子供達に自然科学の本質とすばらしさを伝えたいという強い情熱を持っていた。2009年10月、西井先生は病により故人となられた。誠に残念なことである。ここに謹んで哀悼の意を表します。

最後に、「物質学習のあり方についての研究会（物質研）」の研究メンバー（研究実施時の所属）を紹介する：村上 祐（研究代表者、岩手大学教育学部）、武井隆明（岩手大学教育学部）、菊地洋一（岩手大学教育学部）、佐藤明子（お茶の水女子大学サイエンス&エデュケーションセンター）、石井朋子（お茶の水女子大学附属高等学校）、菌部幸枝（お茶の水女子大学附属中

学校), 原田信雄 (岩手中・高等学校), 高橋治 (盛岡市立黒石野中学校), 菅原尚志 (岩手県立総合教育センター), 三田正巳 (岩手県立総合教育センター), 近藤尚樹 (花巻市教育委員会), 畠山育王 (一関市立真滝中学校), 西井栄幸 (軽米町立晴山中学校), 藤崎聡美 (岩手大学技術部)

## 引用文献

- 1) 菊地洋一, 武井隆明, 三田正巳, 高橋治, 村上祐, 理科教育学研究, Vol.49, (2008), 35-51
- 2) 国立教育政策研究所, 特定の課題による調査 (理科), <http://www.nier.go.jp/kaihatsu/tokutei-rika/index.htm>
- 3) 佐藤明子, 細谷治夫, 科学教育研究, Vol.27, (2003), 362-371
- 4) 菊地洋一, 高橋治, 坂本有希, 佐藤明子, 武井隆明, 村上祐, 理科教育学研究, Vol.46, (2005), 15-23
- 5) 堀哲夫, カリキュラム研究, Vol.10, (2001), 99-111
- 6) 下末伸正, 理科教室, 4月号, (2004), 48-51
- 7) 小学校学習指導要領解説・理科編 (平成20年8月) 2-6, 中学校学習指導要領解説・理科編 (平成20年9月) 7-15, 文部科学省
- 8) 「理科の教育」編集委員会, 理科の教育, 10月号 (特集 理科における粒子とは), (2008), 652
- 9) 日本教材システム編集部, 『中学校学習指導要領新旧比較対照表』 (日本教材システム, 2008年7月), 123
- 10) 佐藤明子, 増田伸江, 菌部幸枝, 高橋治, 菊地洋一, 村上祐, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, Vol.7, (2009), 328
- 11) 高橋治, 近藤尚樹, 中村悟史, 菊地洋一, 村上祐, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, Vol.5, (2007), 69
- 12) 村上祐, 菊地洋一, 尾崎尚子, 武井隆明, 藤崎聡美, 日本科学教育学会年会論文集, Vol.33, (2009), 415-416
- 13) 川上昭吾, 『教への復権をめざす理科授業』 (東洋館出版社, 2003年5月)
- 14) 市川伸一, 『「教えて考えさせる授業」を創る』 (図書文化社, 2008年6月)
- 15) 岩間滋, 理科教室, 10月号, (2002), 32-37
- 16) 岩間滋, 理科教室, 10月号, (2003), 16-23
- 17) 宮城陽, 金岡直美, 米田茂, 浜坂昌明, 化学と教育, Vol.51 (3), (2003), 202-203
- 18) 検定外中学校理科教科書をつくる会, 『新しい科学の教科書 I・II・III』 (文一総合出版, 2003年2月)
- 19) 高橋治, 菊地洋一, 武井隆明, 村上祐, 佐藤明子, 理科教育学研究, Vol.46, (2006), 33-43
- 20) DVD, チャールズ&レイ・イームズ珠玉の映像作品集, 1. パワーズ・オブ・テン (アスミック)
- 21) 中学校理科教育実践講座刊行会 (佐藤美代志), 『SCIRE 中学校理科教育実践講座 第3巻』, (ニチブン, 1995年), 56-60

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

- 22) 高橋匡之, 第24回教師のための化学教育講座テキスト「結晶の学習」, 日本化学会東北支部, (2001) 39-40
- 23) 四ヶ浦弘, 『たのしくわかる化学実験事典「元素のサンプル付き周期表」』, (東京書籍, 1996年), 20-21
- 24) 仮説実験授業研究会, 『仮説実験授業研究 授業書「自由電子が見えたなら」』, (仮説社, 1990年5月) 49-50

<資料1 試験問題>

### 「物質と原子・分子・イオン」の単元テスト

1 物質を構成する粒子(粒)について, 次の問いに答えましょう。

(1) ドルトンが考えた「物質をつくる, それ以上分けることのできない小さな粒」を何と云いますか。

(2) 「原子が粒についてひとかたまりになった粒」を何と云いますか。

(3) 「原子が $+x$ や $-y$ の電気を帯びた粒」を何と云いますか。

2 次の原子の元素記号を書きましょう。

(1) 水素原子 (2) 炭素原子  
 (3) 窒素原子 (4) 酸素原子  
 (5) ナトリウム原子 (6) 銅原子

3 次の元素記号が表す原子を, 日本語で書きましょう。

(1) He (2) P  
 (3) Si (4) S  
 (5) Co (6) Ag

4 次の分子の化学式を書きましょう。

(1) 水素分子 (2) 酸素分子  
 

(3) 水分子 (4) 二酸化炭素分子  
 

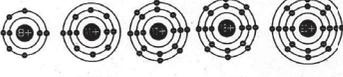
(5) メタン分子 (6) プロパン分子  
 

5 次の化学式が表す分子を, 日本語で書きましょう。

(1) N<sub>2</sub> (2) HCl  
 (3) SO<sub>2</sub> (4) CO

6 次の(ア)～(オ)の原子のモデル図について, 次の問いに答えましょう。

(ア) (イ) (ウ) (エ) (オ)



(1) 原子の中心にある $+x$ の電気をもち, 大きさは小さいが質量はとても大きい部分は何と云いますか。

(2) (1)の周りを回っている $-y$ の電気をもち, 質量のとても小さい粒を何と云いますか。

(3) (2)が(1)から離れずに, まわりを回っているのはなぜですか。簡単に説明しましょう。

(4) (ア)～(オ)のモデル図が表す原子を, 日本語で答えましょう。

(5) 陽イオンになりやすい原子はどれですか。(ア)～(オ)の中から2つ選び, 記号で答えましょう。

(6) 原子から $+x$ の電気をもちた陽イオンができる仕組みを簡単に説明しましょう。

(7) 陰イオンになりやすい原子はどれですか。(ア)～(オ)の中から2つ選び, 記号で答えましょう。

(8) 原子から $-y$ の電気をもちた陰イオンができる仕組みを簡単に説明しましょう。

7 次のイオンを表す記号(イオン式)を書きましょう。

(1) カリウムイオン (2) カルシウムイオン  
 (3) マグネシウムイオン (4) アルミニウムイオン  
 (5) フッ素(フッ化物)イオン (6) 硫酸(硫酸物)イオン

8 次の化学式が表すイオンからできている物質を, 日本語で書きましょう。

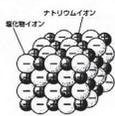
(1) KI (2) CaCl<sub>2</sub>  
 (3) CuO (4) FeS

- 1 -

- 2 -

9 次の図は、食塩の主成分である塩化ナトリウムの結晶をモデルで表したものです。次の問いに答えましょう。

- (1) 塩化ナトリウムの化学式を書きましょう。
- (2) 塩化ナトリウムの結晶は、ナトリウムイオンと塩素(塩化物)イオンが結びついてできています。このようにイオンからできている物質を何といいますか。
- (3) ナトリウムイオンと塩素(塩化物)イオンが引き合うのはなぜですか、簡単に説明しましょう。
- (4) 塩化ナトリウムの結晶を強くたたくときれいに割れ、平らな面があらわれるのはなぜですか、その理由を分かりやすく説明しましょう。
- (5) 塩化ナトリウムの結晶(固体)は電気を通さないのに、水にとかすと電気を通すようになるのはなぜですか、その理由を説明しましょう。



10 次の図は、金属性物質(金属)である鉄の結晶をモデルで表したものです。次の問いに答えましょう。

- (1) 鉄の化学式を書きましょう。
- (2) 金属の性質について述べた次の文中のア～エにあてはまる語句を書きましょう。
  - ① (ア) がある。
  - ② (イ) や熱をよく伝える。
  - ③ たたくと(ウ) (塑性)。
  - ④ 引っ張ると(エ) (延性)。
- (3) 金属には(2)のような性質があるのはなぜですか、簡単に説明しましょう。
- (4) 釣りの鉛の玉の底を、カッターナイフで切って、平らな面をつくり、その2個の鉛の玉を強く押しつけねじり合わせると、鉛の玉どうしがしっかりとくっつきあうことがあります。なぜこのようなことが起こるのか、その理由を説明しましょう。
- (5) 金属の中で強く磁石に引きつけられるものを3つ答えましょう。



11 化学結合について、次の問いに答えましょう。

- (1) 陽イオンと陰イオンがたがいに引き合ってつくる結合を何といいますか。
- (2) 金属原子が自由電子によって結びつけられている結合を何といいますか。
- (3) 原子どうしが電子を共有しあってつくる結合を何といいますか。

12 塩素(Cl<sub>2</sub>)の気体が入った集気びんにナトリウム(Na)を入れておくと、塩素でもナトリウムでもない白い色をした物質ができます。このことについて、次の問いに答えましょう。

- (1) このときにできた白い色をした物質は何ですか。
- (2) (1)は、どのような仕組みでできたのですか。「○○原子」や「□□イオン」、「電子」ということばを使って分かりやすく説明しましょう。

13 次のa～lの物質は、すべて純粋な物質です。次の問いに答えましょう。

	物質	化学式	モノの例
a	アルミニウム	Al	銀色の折り紙
b	水	H <sub>2</sub> O	水道水
c	酸素	O <sub>2</sub>	空気の一部
d	硫黄(イオウ)	S	黄色のもろい固体
e	塩化ナトリウム(食塩)	NaCl	食塩の主成分
f	ナトリウム	Na	柔らかい銀色の固体
g	リン酸カルシウム	[Ca, P, O]	歯の主成分
h	銀	Ag	白銀(粒の表面)
i	エタノール	[C, H, O]	お酒の一部
j	酸化鉄(磁鉄鉱)	[Fe, O]	磁石になる固体
k	砂糖	[C, H, O]	砂糖
l	塩化ビニル	[C, H, Cl]	ビニールホース

※ 化学式が複雑なものは、〔 〕の中に、物質を構成する原子の元素記号だけを書いてあります。

- (1) a～lの物質を、金属性物質、イオン性物質、分子性物質に分類するとします。このとき、イオン性物質に分類できる物質を記号で答えましょう。(3つ)
- (2) a～lの物質を、金属と非金属に分類するとします。このとき、金属に分類できる物質を記号で答えましょう。(3つ)
- (3) a～lの物質を、単体と化合物に分類するとします。このとき、単体に分類できる物質を記号で答えましょう。(5つ)
- (4) a～lの物質を、有機物と無機物に分類するとします。このとき、有機物に分類できる物質を記号で答えましょう。(3つ)