

子どもの科学的な学びを創造する理科授業に関する研究（1）

—「化学変化と原子・分子」の単元を事例として—

風呂 和志 山崎 敬人 柴 一実 三田 幸司
升岡 智子

1. 問題の所在

平成20年改訂の学習指導要領では化学領域の学習においてこれまで以上に粒子概念の育成が前面に打ち出されている。中学校においては1年生で単元「身の回りの物質」、2年生で単元「化学変化と原子・分子」、3年生で単元「化学変化とイオン」を学ぶようになっていく。これらの単元では既習内容が次の学習の基礎となるように配列されている。例えば、中学校1年生では物質の性質が変わらない状態変化の学習を通して物質の粒子性や運動性を理解させる。2年生ではその学習を基礎として、物質の性質が変わる化学変化の学習を通して粒子の成り立ちに着目させ、原子・分子の概念を導入していく。つまり、物質をつくっている粒子には段階的、階層的な構造があることをふまえて指導し、物質の粒子性に関する概念を徐々に深化させていくようになっているのである。では、系統的に学習内容が配列されているならば、どのような点に注意して学習指導計画を立案すればよいのだろうか。

村上の調査¹⁾によると原子・分子を学習した後でも、中学・高校生には粒子概念が定着していないことが明らかにされている。肉眼でとらえることができない粒子のふるまいや原子構造などの学習内容は非常に抽象的で、容易に習得できないのである。

平成22年1月に「身の回りの物質」の学習後に広島大学附属三原中学校の1年生81人を対象にした状態変化に関する調査（回答者79人）でも、粒子概念の習得は容易ではないことが明らかになっている。例えば、ドライアイスを入れて密封した袋が膨らむ現象について、二酸化炭素の粒子の運動が原因であるとしてとらえていても、そのことを図で正しく表現できる生徒は79人中22人しかいなかった。また、言葉による表現と図による表現の間には、ずれがあった。先にあげた現象について、「気体になって（粒子が）飛び回っているから」と説明した生徒が、図1の粒子のように特定の方

向にしか動いていない様子を描いていた。図1に類似した図は他に24人の生徒の回答にも認められた。これは思考と表現が一致していない例であり、粒子概念が十分に習得されている状況とはいえない。

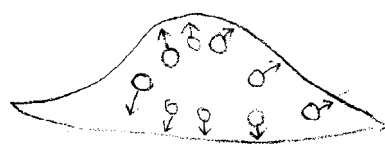


図1 生徒が描いた二酸化炭素粒子のふるまい

思考と表現が一致しない原因の1つとして、教科書の記述や説明による言語情報よりも現象からの視覚情報の方が優先されていることがあると思われる。この課題を解決するためには、生徒の学習状況の把握だけでなく、物質の現象を粒子概念を使って表現させ、それを自らが評価していく活動が必要になる。

以上のことから、粒子概念の育成と深化を図っていくためには単元の学習指導や教材の工夫だけでなく、単元間のつながり、特に前に配置されている単元の学習内容を踏まえながら、思考と表現を繰り返させる学習指導が大切であるといえる。単元間のつながりを意識して学習指導計画を立案・実施していけば、粒子概念の育成と深化に効果があると予想される。

ところが、改訂された学習指導要領では単元配列によって学習内容の系統性は示されたが、単元間をつなぐための指導に関して具体的な方策は示されていないのが現状である。例えば、「化学変化と原子・分子」の学習指導は物質が分解する観察・実験を通して原子概念を導入していくのだが、これは学習指導要領が改訂される以前も同様であった。以前と同様の学習指導を行うなら、粒子の段階的、階層的な構造を踏まえた指導にならない。また、粒子概念のような習得が容易でない科学概念を生徒の学習状況を踏まえず、深化させることはできない。粒子概念の育成と深化を目指す

授業を作っていくためには、教育内容からの視点と学習者からの視点の2つが必要であると考え。

そこで本研究では、「身の回りの物質」と「化学変化と原子・分子」の単位をつなぐ小単元を生徒の学習状況を踏まえて開発および授業実践を行い、その効果の検証を通して粒子概念の育成と深化を図る学習指導のあり方を提言していくことを目的とした。

2. 小単元開発のための実態調査

(1) 実態調査の概要

「化学変化と原子・分子」の学習につなぐための小単元開発のために、平成22年7月に広島大学附属三原中学校第2学年の生徒を対象として、前年度の「身の回りの物質」の学習による粒子概念の習得状況に関する質問紙調査を実施した。回答者は76人であった。調査内容は表1に示したようにエタノールの状態変化を粒子のふるまいで記述させるもので、生徒の記述を⑦⑧とともに正しいものをA、どちらか正しいものをB、どちらも正しくないものをCとして評価した。なお、回答全体の文脈を通して記述内容が誤りであるものはCとして評価した。調査内容は「身の回りの物質」の学習で実験として扱っており、実験後に粒子のふるまいで説明する活動も行っている。

表1 粒子概念の習得状況に関する調査問題

<p>ペシャんこの袋に入れた液体のエタノールをあたためると、すべて気体になった。これについて「粒子」のふるまいを考えながら次の問いに答えなさい。</p> <p>⑦ どうやって気体になったのか説明しなさい。</p> <p>⑧ 袋の変化とそのわけを説明しなさい。</p>

(2) 調査結果

結果を整理したところ、それぞれの評価に当てはまる生徒の数は、表2のようになった。また、質問⑦と⑧に対する記述の正誤の人数をクロス集計すると表3のようになった。

表2 評価結果

評価	人数 (%)
A	39 (51)
B	22 (29)
C	15 (20)
合計	76 (100)

表3 質問⑦と⑧の正誤のクロス集計 (人)

		質問⑧		計
		正	誤	
質問⑦	正	39	11	50
	誤	13	13	26
計		52	24	76

評価Aの生徒は39人で全体の51%であった。質問⑦と⑧の正解の基準は、それぞれ「エタノールの粒

子の動きが激しくなって気体状態になる」ことと、「気体の粒子の衝突によって袋がだんだんふくらんでいく」ことを説明していることとした。評価Aを単元「身の回りの物質」で粒子概念を十分に習得している状況であるとするならば、半数の生徒しか粒子概念を十分に習得できていないといえる。評価Bの生徒は22人、評価Cの生徒は15人であった。質問⑦と⑧に対して誤った回答をした生徒はほぼ同じ人数であった。質問⑦の誤答には、「エタノールの粒子が膨らむ」や「粒子が蒸発した」などの素朴概念がそのまま表現されたものが多かった。また、エタノールが水蒸気に変化したという記述もあり、粒子の集まり方で状態変化が説明できることが理解できていない生徒は26人で、全体の34%も占めていることが明らかになった。

質問⑧は袋の膨らみの原因を粒子の運動で説明させるのがねらいである。誤答には「袋のまわりに気体がついた」や「気体の方が粒子が大きい」などの素朴概念が表現されたものの他に、「空気が増えたから」や「粒子が増えたから」などがあつた。粒子の運動の特徴を十分に理解できていない生徒は24人で、全体の32%も占めていることが明らかになった。

以上のことから、約半数の生徒は「身の回りの物質」の学習で目標とする粒子概念を身につけることができているが、残りの約半数の生徒は素朴概念を科学概念に変容しきれていなかったり、学習内容を間違えて理解したりしていることが明らかになった。

3. 「化学変化と原子・分子」の学習につなぐための小単元の開発と実践

(1) 小単元の構想

生徒の実態調査から半数の生徒は液体から気体への状態変化を考える際に、気体状態に関して粒子の集まり方や運動を具体的にイメージすることができていないことが明らかになった。この課題を解決していくために、気体による現象や固体・液体・気体のそれぞれの状態の物質の燃焼を粒子モデルで考える活動を取り入れた小単元を文献や先行研究^{2~6)}を参考に構想・開発した。

まず、気体による現象を粒子モデルで考える活動を取り入れることで、肉眼で見えない気体の粒子の存在や運動に気づき、生徒自身が気体に対して具体的なイメージを持たせることができると考えた。扱う現象は、二酸化炭素の拡散とした。また、固体・液体・気体のそれぞれの状態の物質の燃焼を粒子モデルで考える活動を取り入れることで、粒子の集まり方のちがいが燃焼の激しさの違いになって表れることを見出すことができるようになると思った。燃えるという身近な化学

変化を題材にすることで、生徒の興味・関心を高めるとともに、物質の状態と粒子の集まり方の違いや気体としての酸素の運動を理解させることができ、さらに燃焼は「化学変化と原子・分子」でも扱う現象なので、教材のつながりからも適していると考えた。

以上のような構想に基づき、「化学変化と原子・分子」の導入となる全4時間の小単元を開発した。下の表4に、開発した小単元の学習活動と目標を示す。

(2) 授業実践の概要と結果及び考察

開発した小単元は平成22年11月に広島大学附属三原中学校の第2学年2クラス81人を対象に実施した。

①第1時

ア) 授業実践の概要

二酸化炭素を入れた集気瓶と空気の入った集気瓶を用意し、生徒の前で二酸化炭素が入った集気瓶が下になるように口と口を合わせた。これを40℃に保った恒温器の中に5分置いた後に、それぞれの集気瓶の中に石灰水を加えたときの変化のようすを選択肢の中から選択させた。

二酸化炭素の比重は空気よりも大きいので、下にある二酸化炭素はそのままになっているという予想を立てた生徒が40人もいた。それぞれの選択肢を選んだ根拠を発表させた後、石灰水を加えて結果を確認した。上下どちらの瓶でも石灰水が白く濁ったので、多くの生徒が予想外の結果に驚いていた。

この拡散現象を確認した後、空気と二酸化炭素が混じり合った理由を考えさせた。その後、空気と二酸化炭素の粒子が実験の前後で移り変わったようすを粒子モデルで表現させた。なお、空気には窒素と酸素の粒子が存在することを確認した上で、便宜上1種類の粒子の図で表現するように指示した。

イ) 結果と考察

空気と二酸化炭素が混じり合った理由のうち、あたためると粒子の運動が活発になると考えた生徒は50人であった。そのうち、空気と二酸化炭素の両方の粒子の運動について言及できた生徒は15人で、二酸化炭素については26人、空気については8人、不明1人であった。

また、気体粒子の運動の表現を粒子につけられた矢印の有無で分析した。その結果、矢印をつけた生徒が10人に対して、68人の図には矢印が全くなかった(図2参照)。

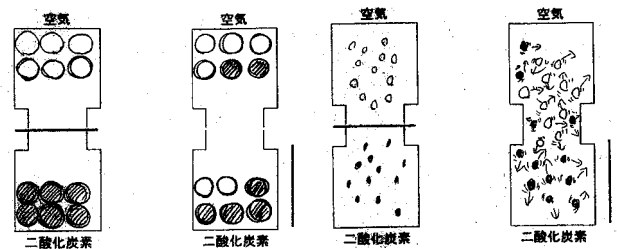


図2 生徒の描いた粒子モデルの例

(左：運動の表現がないもの、右：運動の表現があるもの)

これらの結果から、熱と物質をつくる粒子の運動の関係に着目して現象を説明できるが、粒子の運動のようすを図で表現する方法は十分に習得できていない状況であることが明らかになった。熱と物質をつくる粒子の運動の関係や粒子の運動を図で表現することを習得することは容易ではないといえる。また、間違っただ理由の中には、空気中の気体の性質を間違っ理解していたり、粒子自体の変化を原因であると理解していたりする生徒が10人もいるなど、第1学年の学習内容が十分に定着していないことも明らかになった。

②第2時

ア) 授業実践の概要

二酸化炭素と空気が混じり合う理由を説明した文章と図を各クラスで5つずつ教師が選択し、それらの中でどの説明と図が実験結果をうまく説明できるかを考えさせ、評価させた。文章と図は同一生徒が書いたものとし、状態変化における熱と物質をつくる粒子の運動の関係と活発に動き回る粒子の表現手段を生徒全員に理解させるために代表的なものを意図的に取り上げた。説明と図に対する支持の評価は4段階(「支持す

表4 小単元の学習活動と目標

時数	学習活動	観点別到達目標
第1時	二酸化炭素の拡散現象を粒子の運動で説明する。	関：二酸化炭素の拡散に関心を持ち、粒子のふるまいで説明しようとする。
第2時	拡散現象を説明した文章と図の吟味を行い、熱と粒子の運動について理解する。	思：既習の粒子概念を用いて説明した文章と図の良い点や改善点を指摘することができる。 知：臭素の拡散の観察から熱と粒子の運動の関係を理解できる。
第3時	かたまりと粉末の燃焼の違いを粒子モデルで説明する。	関：固体の燃焼に関心を持ち、粒子のふるまいで説明しようとする。 思：かたまりと粉末の燃焼の違いを見出すことができる。
第4時	液体と気体の燃焼の違いを粒子モデルで説明する。	関：液体と気体の燃焼の違いに関心を持ち、粒子のふるまいで説明しようとする。 思：液体と気体の粒子の集まり方や運動の違い、熱の発生を見出すことができる。 知：粒子の集まり方によって物質の状態が変化することや燃焼によって熱が発生することを理解できる。

※関：関心・意欲・態度，思：思考・表現，知：知識・理解

る」「どちらかという支持する」「どちらかという支持しない」「支持しない」とし、資料を配布した後、班で良い点と改善点を考えた後、全体で良い点と改善点を交流した後の合計3回行わせた。その際、教師は生徒や学級に対して第1学年の学習内容に触れないようにするとともに、5つの資料の良し悪しを指摘するような発言を控えた。授業の最後に臭素管を用いて冷却と加熱による状態変化を観察させ、粒子モデルで気体の状態を表現させた。

イ) 結果と考察

生徒たちが5つの資料について評価した視点は、拡散前後の気体粒子の数と気体粒子の運動のようすを示す矢印の有無の2点であった。粒子の数が変わっていたり粒子の動きが示されていなかったりする図は支持が低いか、だんだん支持されなくなったりしていた。逆に矢印で粒子の動きが示されていたり、数が変わっていない図は支持されていた(図3参照)。

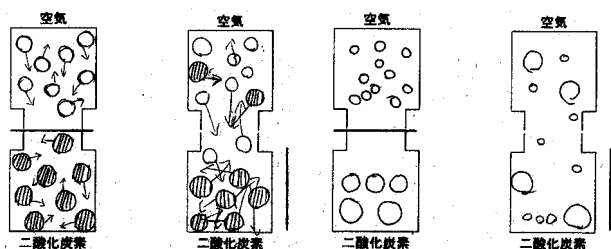


図3 評価の高い図(左)と低い図(右)

粒子の数に着目することは質量保存の概念につながるため、非常に大切である。「化学変化と原子・分子」の学習内容にもつながるこの視点が、生徒集団の中から挙げられたことは大きな成果であった。第1時では粒子の動きを表現していない生徒が多かったが、第2時でこの点が評価の視点に挙げられたことから、第1時の時点では表現手段が十分に理解できていなかったのではないかと考えられる。この活動を通して、気体の粒子の動きは矢印で表すことが生徒全員に共通理解されたと考える。

③第3時

ア) 授業実践の概要

デンプンについて既習事項を生徒に質問した後、燃焼皿に入れたデンプンに火をつけるとどうなるかを予想させた。予想は選択肢から選ばせた。燃焼さじの上でデンプンを燃やす実験をすでに経験していたため、うまく燃えないという予想をした生徒は13人しかいなかった。うまく燃えないという予想外の結果であったため、燃えない理由を真剣に追求していた。

次に、デンプンを燃やすためにはどうすればよいかを

考えさせた。燃焼のためには酸素が必要であるという意見が出され、デンプンの粒と粒の間に空気を送り込めばよいという結論になった。

そこで、デンプンを茶こしに入れガスバーナーの炎の上でふるう演示実験を行った。デンプンが激しく燃える結果に生徒は納得したようすであった。授業の最後に皿に入れたデンプンと茶こしでふるい落としたデンプンの燃焼の違いを粒子モデルを使って表現させた。

イ) 結果と考察

粒子モデルを使った表現(図4参照)を分析した結果は次のようになった。

- ・79人中77人の生徒が酸素の粒子を表現できていた。
- ・茶こしからふるったデンプンの燃焼を表現した図では、デンプンの粒子の間に酸素の粒子を描いている生徒は76人であった。
- ・酸素の粒子の運動を矢印で表現できている生徒は32人であった。

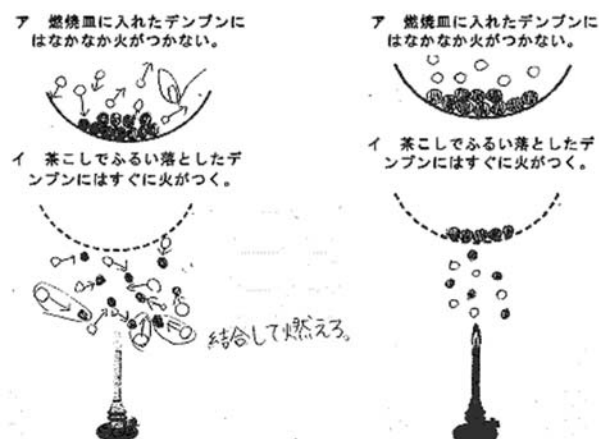


図4 2つの燃焼の違いを表現した図

(左: 粒子の運動が表現されている例, 右: 粒子の運動が表現されていない例)

デンプンの粒子と粒子の間に酸素が入ることが燃焼するための条件である。2つの実験結果の違いが起きた原因をデンプンと酸素の粒子の位置関係で表現させることで物質の粒子性を意識させることができたといえる。しかし、酸素の粒子の運動を矢印で表現することについては十分定着していたとはいえない。粒子の運動の表現は視点を与えないと表現できないことも明らかになった。

④第4時

ア) 授業実践の概要

第3時と同様に、皿に入れたエタノールに火をつけるとどうなるかを予想させた。予想は選択肢から選ばせた。エタノールがおだやかに燃える様子を観察させ、

予想を確かめた後、ガスバーナーの炎に霧吹きを使って吹き付けるとどのように燃えるかを考えさせた。演習実験では、生徒の予想通り、皿に入れたときよりも激しく燃えるようすが観察できた。

エタノールの粒子を細かくすれば激しく燃えることが確認できたところで、エタノールを最も小さい粒子にする方法とその時の粒子の燃焼の様子を考えさせた。最も小さい粒子にする方法として、エタノールを蒸発させて、気体にすればよいという意見がすぐに出された。また、気体にして火をつけると爆発するのではないかという予想も出された。そこで、すべての班にエタノールの爆発を実験させた。大きな音を立てて爆発するようすに生徒はとて驚いていた。

授業の最後に皿に入れたエタノールの燃焼とエタノールの爆発前後のようすをそれぞれ粒子モデルで表現させた。

イ) 結果と考察

生徒の描いた図(図5参照)を分析した結果は、下記のようになった。

- ・エタノールの爆発前後の粒子の数は79人全員の生徒が変化しないように表現できていた。
- ・皿に入れたエタノールの燃焼の様子を粒子モデルで表現した図では、矢印を記入していない生徒が22人に対して、エタノールと酸素の粒子のどちらか一方に矢印をつけた生徒は56人、このうちエタノールの粒子につけた生徒は45人であった。
- ・エタノールの爆発前後を粒子モデルで表現した図では、前後どちらかの図で気体の粒子に矢印をつけた生徒は70人、エタノールと酸素の粒子のどちらか一方に矢印をつけて気体の粒子の不規則な運動を表現できている生徒は54人であった。

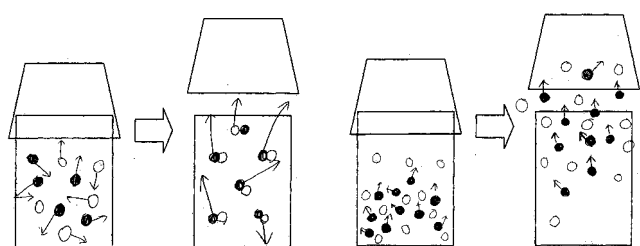


図5 エタノールによる爆発を表現した図

(左：粒子の運動や化合に着目しているもの、右：エタノール●の運動にしか着目していないもの)

以上のことから、物質の状態を的確に表現することはできる生徒が多くなったことがいえる。また、粒子の運動については粒子の図に矢印をつけて表現できる生徒が多くなっていった。爆発という肉眼でとらえられる現象を扱ったため、粒子の運動に着目することがで

きたと思われる。

しかし、この実践では「身の回りの物質」での学習のように着目した1つの物質だけしか表現できない生徒が多かった。エタノールの燃焼は2つの物質が関係する化学変化であるが、エタノールの粒子だけが動いていて、酸素の粒子は空間に浮かんでいるように表現する生徒が多かった。表現した図に関する意見を交流する授業は開発した小単元では第2時だけであったため、学級内に2つの粒子の関係とその表現について共通理解に至らなかったことがその一因であると思われる。

4. 小単元の効果

小単元実施の効果を検証するために、小単元の終了後、「化学変化と原子・分子」の授業に入った時点で、質問紙調査を2回実施した。対象者は授業実践を行った中学校2年生81名で、第1回(平成22年11月実施)は74名、第2回(平成22年12月実施)は78名の生徒から回答を得た。第1回の調査内容は、状態変化を表した粒子モデルの間違いを指摘することとドライアイスの状態変化によって袋がふくらむ現象を粒子モデルで表現をするというものであった。第2回の調査内容は、酸化銀の成り立ちに関することとその分解の結果できる物質のようすを粒子モデルで表現するというものであった。表5にそれぞれの問いの評価事項と正答率を示す。

(1) 第1回調査結果の分析

状態変化に対する理解や表現の調査の結果から、90%以上の生徒が状態変化を正しく理解し、粒子モデルを使って表現できるようになったといえる。第1回

表5 調査結果

	問	評価事項	正答率
第1回調査	(1)	粒子はあらゆる方向に運動していることを理解しているか。	95%
		状態変化しても粒子の形は変化しないことを理解しているか。	96%
		状態変化では粒子自体の体積は変化しないことを理解しているか。	99%
		状態変化では粒子の数は変化しないことを理解しているか。	100%
(2)	粒子モデルを使って袋が膨らむ現象を正しく表現しているか。	91%	
第2回調査	(1)	銀原子と酸素原子の結びつきを見出すことができるか。	99%
	(2)	酸化銀の成り立ちを理解しているか。	97%
	(3)	粒子モデルを使って化学変化(分解)を原子・分子の概念を用いて正しく表現できているか。	59%

調査の間（1）に用いた図は、これまでの調査で生徒たちが表現したものであった。それらの誤りを適切に指摘し、表現し直すことができた生徒が90%に達していたことは、学習前の課題がほぼ解決したといえよう。これは、生徒自身が身につけた粒子概念を活用し、表現したものを相互評価する活動を通して、状態変化における粒子概念が学習集団の中に一つの同意事項として形成されたからではないだろうか。

（2）第2回調査結果の分析

粒子モデルから銀原子と酸素原子の結びつきや酸化銀の成り立ちを読み取ることはほとんどの生徒ができるようになっていた。

ただ、粒子モデルを使って分解によって得られる銀（固体）と酸素（気体）をともに正しく表現できる生徒は59%にとどまっていた。この結果を詳しく分析すると、銀の表現は83%の生徒ができていたのに対して、酸素の表現は69%しかできていなかった。これは「身の回りの物質」や実施した小単元の学習では正しかった気体の表現が、分子の概念を学習した後では誤りになることを十分理解できていないことが原因であろう。

小単元の学習を通して、粒子の数が変化しないことがクラスの中で確認事項となっていた。そこで粒子の種類と数に関して回答を分析すると、約88%の生徒が種類と数を正しく読み取っていた。また、酸素の運動を矢印で表現していた生徒は約91%であった。気体の粒子は運動しているという理解が多くの生徒に定着しつつあるといえよう。

以上のことから、酸素分子の表現には課題があるが、小単元の実施によって質量保存の概念や粒子の運動性を多くの生徒に定着させることができたと言えるであろう。

5. 成果と課題

以上のことから、本研究で開発した小単元の実施と学習指導によって多くの生徒に物質の粒子性を再度気づかせることができた。また、粒子モデルを用いて物質の三態を表現することができるようになった。そして、粒子モデルを用いて物質の状態を表現する際の観点として、状態変化前後の粒子の数を同じにしなければならないことや粒子の運動を矢印で表現することが生徒の意見交流の中から学習集団の同意事項として承認されたことが大きな成果となった。状態変化の前後で粒子の数が表現の観点に挙げられたことは、「化学変化と原子・分子」で学習する化学変化の前後における質量の保存を理解したり、化学式や化学反応式を作ったりすることに大きなプラスとなるだろう。また、

粒子（原子や分子）の運動は、これまでの「化学変化と原子・分子」の学習指導ではほとんど扱われていない観点である。これまでの原子・分子モデルは静的で思考のための符号に過ぎなかったが、運動を表す矢印を付け加えるだけで、化学変化をよりダイナミックなものとして生徒に理解させることができると考える。

課題としては、小単元における粒子の表現に限界がある点が挙げられる。開発した小単元では状態変化の学習を踏まえて粒子は構造を持たないものとして指導していった。しかし、実際は物質をつくる粒子には原子の結びつきによる構造がある。小単元では正しかった酸素の粒子モデルは、「化学変化と原子・分子」の学習では原子を表現しており、分子ではないため、科学的に正しい表現とは言えなくなる。化学領域の学習配列が既習内容を基礎とするようになってきているために当然起き得ることである。これに対して、本研究で開発・実践した小単元を含む一連の「化学変化と原子・分子」の学習指導では分子概念の導入を工夫していったが、調査結果では酸素を原子で表現してしまう生徒が約30%もいた。また、小単元では、エタノールの燃焼の際にエタノールと酸素が結びつくような表現をした生徒もいた。小単元で扱う事象を工夫することで、物質をつくる粒子には構造があることを気づかせることができるのではないかと考える。これは、今後の検討課題である。

引用・参考文献

- 1) 村上 祐「小・中学校における望ましい粒子概念教育の提言―国の調査結果の背景および独自調査の分析から―」, 岩手大学教育学部研究年報, 第69巻, pp.73-87, 2010
- 2) 小野瀬倫也, 藤枝央真, 森本信也「中学生の粒子概念構築支援のための教授方策に関する考察」, 理科教育学研究, Vol.50, No.2, pp.21-30, 日本理科教育学会, 2009
- 3) 板倉聖宣, 「熱と分子の世界」, pp.77-92, 仮説社, 2004
- 4) 大石真司, 鈴木康治「平成19年度静岡大学教育学部附属島田中学校研究紀要（理科）」, pp.12-22, 2007
- 5) 堀 哲夫「自然科学にかかわる基本概念を核として展開する理科授業や学習のあり方」, 理科の教育, Vol.56, 通巻658, pp.4-7, 2007
- 6) 片平克弘「基本概念の有用性と授業を行う際の留意点―「エネルギー」と「粒子概念」の場合―」, 理科の教育, Vol.56, 通巻658, pp.12-14, 2007