

生成物の元素に着目した、中学生の原子・分子の 認識を深める取り組み[†]

南 伸昌*・室井 萌歩*
宇都宮大学教育学部*

中学生の原子・分子の認識を深めるために、2年生の「化学変化と原子・分子」単元、「酸化銅の還元」において、生成物の水や二酸化炭素を構成する水素原子や炭素原子が、原料となる物質から供給されていることを明示する授業展開を検討した。公立中学校において授業実践し、事後調査、定着度調査を行った結果、得られた成果と課題について報告する。

キーワード：中学2年生、原子・分子、酸化還元、身の回りの物

1. はじめに

現在の学習指導要領において、小中学校理科は、「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」の4つの柱に分けられており、それぞれ「物理」、「化学」、「生物」、「地学」に対応している[1]。化学分野の「粒子」とは原子・分子のことであり、全ての物質はこれらが集まって構成されているということが、分野の基本概念となる。しかし、この「原子・分子の認識」自体が学習者にとって容易ではないことが、指導上の課題となっている。

学習指導要領解説では、「化学変化と原子・分子」の単元において、「化学変化についての観察、実験を通して、化合、分解などにおける物質の変化やその量的な関係について理解させるとともに、これらの事象・現象を原子や分子のモデルと関連付けてみる見方や考え方を養う。」ことが目的とされている[1]。特に、「(イ) 酸化と還元について」では、「物質の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させることがねらい」となっている。方法としては、「酸化や還元の反応を原子や分子のモデルを用いて考察させ、反応

する物質と生成した物質では構成する原子の組合せが変わることに気付かせる」とある。また、日常生活や社会と関連した例として、「酸化では金属がさびることなど、還元では鉄鉱石から鉄を取り出して利用していることなどを扱うことが考えられる。」とある。このように身近な素材を実験に用いることにより、「化学反応は身の回りで起きている変化」という認識は確実に深まっている。

その反応物の成分については、学習指導要領解説の「化学変化と原子・分子 ア 物質の成り立ち (7) 物質の分解」には、「物質を分解する実験を行い、分解して生成した物質から元の物質の成分が推定できることを見出すこと。」とある。この、「生成物から元の物質の成分を推定する」活動は、原子・分子概念の導出のために位置付けられており、化学式導入後は化学変化を化学反応式で表すことに含まれるので、改めて認識を促すことはほとんど無くなってしまふ。そのため、中学校で化学式を学習する物質に関しては、原子・分子から成るという認識は持ちやすいが、それ以外の身近な物質については、授業で化学反応の素材として取り上げたとしても、原子・分子の認識に結びつけるのは難しい状況となっている。

高等学校の化学基礎では大理石を材料として、化学反応生成物を構成している元素を調べることにより、大理石がどのような元素から成っているのかを求め実験がある[2]。これと同様の思考過程を中学2年の化学変化のところで導入することにより、

[†] Nobumasa MINAMI* and Akiho MUROI*:
Trial to deepen the recognition of atoms and molecules of junior high school students, to focus on the element of the product.

Keywords : junior high school second grader, atoms and molecules, redox, familiar articles

* School of Education, Utsunomiya University
(連絡先: minami@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

中学生にも身の回りの物質が原子・分子から成っているという認識を持たせられるのではないかと考え、授業案を検討した。そして、平成28年7月に、栃木県立宇都宮東高等学校附属中学校の2年生1クラス33名を対象に、1校時の授業実践を行った。事前の学習状況としては、酸化銅を活性炭と水素で還元する生徒実験を実施済みであった。授業時間の最後に5分程度時間を取り、理解度を調べる「事後調査」を実施した。また、実施から5ヶ月後の12月に、中学校教員に授業中に10分程度時間を取っていただき、「定着度調査」(28名)を行った。授業実践の様子とそれぞれの調査結果から、得られた成果と課題について報告する。

2. 授業の改善

(1) 従来の授業展開

現行の教科書では、学習指導要領を踏まえ、還元単元では、酸化銅を活性炭や水素を用いて銅に還元する実験を行う[3]。活性炭は主に炭素原子から成り、水素は水素分子のみで構成されているため、実験結果が判りやすく、扱いも容易なので生徒実験で扱われることが多い。

活性炭を用いた実験では、発生した二酸化炭素を石灰水で確認し、銅は薬さじでこすって金属光沢を確認する。水素を用いた実験では、塩化コバルト紙を用いて水の発生を確認する。このように、生成物の成分を実験から明らかにし、化学反応式を用いて、酸化と還元は同時に起こっていることを押さえていく。また、銅以外にも鉄の精製を取り上げたり、身近な素材である砂糖やおかしなどを用いて酸化銅を銅に還元する実験を行ったりすることで、酸化還元反応を身近に感じさせる工夫もなされている[3]。

このように、化学変化は身近な現象であり、身の回りのものも反応物となることを学ぶが、反応物の化学式は、酸化銅、炭素、水素が示されるのみである。

(2) 本研究の授業展開

授業は、「活性炭と水素による酸化銅の還元」の次の時間に位置付けたが、活性炭や水素の燃焼生成物を押さえていれば、適宜導入することができる。

まず始めに、水素による酸化銅の還元実験を演示で行い、酸化により水が生成する化学反応式を導き出す。合わせて、活性炭による酸化銅の還元反応の

化学反応式を復習し、生成物分子である水や二酸化炭素に含まれる酸素がどこから来たのか問いかけ、左辺の酸素(酸化物に含まれるものも含む)という回答を引き出す。次いで、水の水素、二酸化炭素の炭素はどこから来るのかという問いかけを行い、それが試料由来であることを認識させる。これにより、元素記号で表された原子と、物質としての試料とが結びつくのである。

それを踏まえた上で、生徒実験は、教科書の流れに沿った次の形で実施する。熱した銅コイル表面の酸化銅を、試験管の中の紙やお菓子といった身近な素材で還元する生徒実験を行い、水や二酸化炭素の生成を、塩化コバルト紙、石灰水により確認する。そして、導入と同様に、水素や炭素が原料由来であることを押さえる。この際、分子式の化学量論を明示することはしないが、「身の回りの物から原子が供給される＝身の回りの物が原子を含む」ということを丁寧に導き出し、「身の回りのものも、原子・分子から成る」という認識に結びつける。

最後に、ガスバーナーの燃焼生成物を確認する演示実験を行い、その結果から、プロパンガスにも水素や炭素といった原子が含まれていることに気付かせ、まとめる。

3. 試料の検討

試料には、身近で生徒実験で扱いやすく、結果が明瞭なものが求められる。同じ材質でも形状や表面処理による違いも生じてくる。検討した試料を表1に記す。

表1 検討した試料

木、紙 (無色)	トイレットペーパー、ティッシュ、再生紙、キムワイプ、折り紙、ろ紙、割り箸
紙 (着色)	黒画用紙、付箋紙、新聞紙、折り紙
繊維類	雑巾、綿棒、輪ゴム、毛糸、
食べ物	ビスケット、おかし
その他	ロウ

輪ゴムは加熱すると酷い臭いを発し試験管にこびり付いてしまい、使い物にならなかった。ロウは唯一、石灰水がきれいに白濁した。しかし、加熱により融けるので、固体になるのを待ってから石灰水を加えなければならない上、試験管の壁に固体が付着するので、石灰水の変化は見づらかった。

その他の試料では、石灰水の白濁や塩化コバルト紙の赤変に大きな差はなかった。ただ、何れの試料も木タールの発生により石灰水、塩化コバルト紙が黄色く着色してしまい、色としては明瞭な結果とはならなかった。素材ごとの着色の様子を図1に示す。

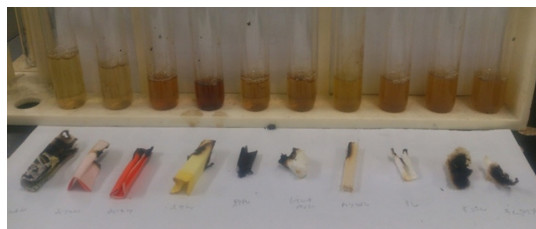


図1 素材ごとの石灰水着色の様子
(左から、新聞紙、折り紙(裏)、折り紙(表)、付箋、黒画用紙、トイレットペーパー、割りばし、ろ紙、雑巾、キムワイプ)

木タールは反応時間が長いほど沢山発生して色が濃くなるが、時間が短いと二酸化炭素の検出が難しくなる。両者のバランスを取る形で、試料に銅コイルを押し当てる時間を、15秒に設定した。

柔らかい紙や糸は試験管壁に引っかかり、出し入れが難しい。小さく畳んだコピー用の再生紙や折った割り箸は出し入れが容易であった。また、菓子類は銅コイルを押しつけた際砕けてしまい、白濁の観察を妨げる要因となった。これらを考慮して、生徒実験には再生紙と割り箸を用いることとした。お菓子は興味関心を高める効果を見込み、演示実験で用いることとした。

対照実験として無機物の食塩を用いることも検討した。しかし、湿度の高い日には食塩に吸着した水分が銅コイルの加熱により放出されたり、試験管内に残った食塩を石灰水の白濁と見誤ったりと大変紛らわしいこともあり、対照実験は無しとした。

4. 調査結果

(1) 事後調査

事後調査の質問項目は以下の3点で、何れも自由記述である。

1. 酸化銅を紙や割りばしと反応させると水と二酸化炭素が発生した。このことからわかることを書いてみよう。
2. 紙や割りばしで酸化銅を還元できた理由を書い

てみよう。

3. その他わかったこと。感想。

1は、生成物から試料に含まれている元素が判ることを意識できているか確認するために設定した。2は、1と重なる部分はあるが、試料が原子・分子の集まりであるという認識を持たかどうかを問う、念押し的な設問である。3は、授業全体を通して、生徒の意識や認識の変化を見るために設定した。それぞれの質問に関してキーワードを元に分類した結果を表2～4に示し、それぞれの説明を表に続けて記す。以降の表では、頻度は全体の中の割合(%)で表す。

表2 事後調査1のキーワード分析

分類	キーワード	頻度
1-1	水素と炭素	82
1-2	水素 or 炭素 + 酸素、二酸化炭素	9
1-3	その他	9

キーワードは「紙や割り箸に含まれる元素」を表している。正しく捉えられていた生徒(1-1)が82%、「原子」という認識はあったが不正確なもの(1-2)が9%という結果となった。「その他」は「有機物」や「生成物は同じ」等、原子にまで至っていない回答であった。

表3 事後調査2のキーワード分析

分類	キーワード	頻度
2-1	水素と炭素	61
2-2	水素 or 炭素	24
2-3	結びつく/化合	76
2-4	その他	12

2-1、2は試料に含まれる元素を表しており、1-1、2と対応するはずであるが、必ずしも一致せず、実際、1-3全員が2-1に分類されていた。2-3は「酸素との化合」に言及している回答で、76%と高い割合であった。1でも同様の回答は12%あった。2-4は「紙が反応した」などと書かれており、原子には触れていない回答だったが、全員が1-1もしくは1-2に含まれていた。

表4 事後調査3のキーワード分析

分類	キーワード	頻度
3-1	身近なものが炭素や水素を含む	45
3-2	物質に含まれる成分が判る	21
3-3	炭素/水素を含めば還元できる	6
3-4	その他	9

3-1～3はこちらがねらいとしたところで、82%の生徒が記述できていた。その他として、「見た目が違っても同じ生成物を含む」という記述や、「紙は二酸化炭素だけでなく水も発生する」といった、生成物に関する記述が見られた。個々の生徒の回答傾向を辿ってみたが、質問1、2、3の各分類間の相関は見出せなかった。

生徒の印象としては、お菓子などでも還元できることに驚きを示す生徒が多かった。発展的な内容として、生成物から成分を特定できることはわかったが、そこから成分が同じであるのに形が違うことに着目して、原子のつながり方を知りたいといった生徒も見られた。また、他に含まれる原子を知りたいという記述もあった。

(2) 定着度調査①、②

定着度調査の質問項目は以下の3点で、1、2は自由記述、3は選択である。

- ① 紙を空气中で燃やすと何が発生しますか。
- ② ①について、それが発生した理由を書いてください。
- ③ 以下のもののうち、原子や分子でできているものを丸で囲んでください。

空気 アルミ缶 石 洋服 犬
みかん ペットボトル 窓ガラス

①は有機物の燃焼生成物を復習する基本的な内容である。②は生成物と試料とに含まれる元素の関係を確認する、本研究の中心的な質問である。そして③は、原子・分子の認識を身の回りものに発展させた内容となっている。①では、「水と二酸化炭素」、②では、「紙に水素や炭素が含まれている」ことが記述できていること、③では、全部に○が付けられれば定着しているといえる。①、②の回答をキーワード分類したものを表5、6に示し、それぞれの説明を表に続けて記す。

表5 定着度調査①のキーワード分析

分類	キーワード	頻度
①-1	水と二酸化炭素	25
①-2	二酸化炭素のみ	57
①-3	炭、炭素、水素を含む	18

①-1の正解に分類された生徒は25%しかいなかった。二酸化炭素を書いた生徒は1と2合わせて82%いたが、水を書けない生徒が多かった。また、①-1、2との重複も含めて、生成物に炭、炭素、水素を書いた生徒(①-3)が18%いた。

表6 定着度調査②のキーワード分析

分類	キーワード	頻度
②-1	炭素、水素が反応に関与	57
②-2	燃えると炭素が発生	14
②-3	酸素、水、二酸化炭素のみに言及	18
②-4	有機物を根拠に	21
②-5	その他(無回答)	18(14)

炭素と水素両方を書いていた生徒は14%であったが、紙が原子からできているという認識を問うには、何れか一方が書いていれば良しとした。それが②-1で、57%であった。ただ、炭素は書いているが、4分の1の14%が「燃えることにより炭素が発生」と記していた(②-2)。酸素や生成分子のみを書いているのが18%(②-3)、上と重複はあるが、「有機物だから発生」という回答が21%あった(②-4)。また、その他のうち、無回答の割合が14%あった(②-5)。

(3) 定着度調査③

表7に定着度調査③の選択状況一覧を示す。全部を選択した生徒は32%であり、それらと②-2との重複はなかった。項目ごとの選択率は、高い順に、アルミ缶93%、空気・ペットボトル86%、窓ガラス68%、石50%、洋服43%、犬・みかん32%となっていた。全問正解者以外は、犬、みかんを選択できていなかった。

表7 定着度調査③の結果一覧

	空気	アルミ	石	洋服	犬	みかん	P E T	ガラス
1	○	○	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○			○	○
11	○	○	○	○			○	○
12	○	○		○			○	○
13	○	○	○				○	○
14		○	○					○
15	○	○	○				○	
16	○	○					○	○
17	○	○					○	○
18	○	○					○	○
19	○	○					○	○
20	○	○					○	
21	○	○					○	
22	○	○					○	
23		○					○	○
24		○					○	
25		○					○	
26	○	○						
27	○	○						
28	○						○	
%	86	93	50	43	32	32	86	68

5. 考察

(1) 事後調査

1-1の結果から、授業直後は82%の生徒が紙などが炭素原子、水素原子からできている認識を持っていたことが判る。1-2も合わせると、91%の生徒が原子・分子の認識を持っていたといえる。更に、1-3は原子・分子に言及していないグループであるが、その全員が2-1に分類されていた。逆に、2-4は原子・分子に触れていないグループであるが、それらは全員1-1、2に分類されていた。このように、受講した生徒は全員、授業直後は「紙や割り箸、ガスなどの身の回りにある物が、原子・分子から成っ

ている」という認識を持っていたことが判った。

質問3の回答は、「身近なものが炭素や水素を含む」、「物質に含まれる成分が判る」、「炭素／水素を含めば還元できる」の3つと「その他」に分類したが、それらへの回答と質問1、2の回答の分類との間にも、特段の関連性は見られなかった。これは、本授業において受講者がこちらの設定したねらいを達成し、回答において有為の差が生じなかったためだと考えられる。感想欄において、30%程度の生徒が、「原子の繋がり方を知りたい」、「他にも含まれているものを知りたい」など、発展的な課題への意欲を示していたことも、その現れだと解釈できる。ただ、同

じような質問に対して、同じようなことを回答欄に書くことに対する抵抗があったり、自明のこととして省略したりしたのかもかもしれない。この辺りは設問の仕方の問題として、次回以降の反省点としたい。

実験に関しては、お菓子でも酸化銅を還元できることに驚いていた生徒が多く、普段の授業では扱うことの少ない食べ物を扱うことで授業に対する興味も増し、積極的に取り組めたと考えられる。実験では木タールにより結果が不明瞭になる部分も見られたが、質問1から3を通してその影響は見当たらず、反応時間などの条件設定や演示実験を通じた説明がうまく機能したと判断できる。

(2) 定着度調査①、②

質問①において、二酸化炭素を書いている生徒が82%いたことから、紙を燃やすと二酸化炭素が発生するという認識は強いことが判った。一方、水を書いた生徒は25%と少なく、水のみ書いて二酸化炭素を書かなかった生徒はいなかった。この理由として、理科の学習における水と二酸化炭素それぞれの検出頻度の違いが挙げられる。二酸化炭素の検出は小学6年の燃焼・呼吸・水溶液に始まり、中学1年の有機物、2年の燃焼などにおいて、繰り返し扱われている[3, 4, 5]。それに対して水の検出は、乾いた実験環境でなければ検出できないことから、ある程度実験技術が上がるまでは導入が難しい。また、二酸化炭素と異なり液体なので、目視で生成を確認するに留めることも多い[5]。現行では、塩化コバルト紙を用いた水の確認は、中学2年の「化学変化と原子・分子」のところで初めて行うので、対象の生徒たちは扱い始めたばかりで馴染みが薄く、定着率が低くなったと考えられる[3]。

質問②は、事後調査の質問1,2に対応する部分で、事後調査の時点では全員が「紙などに、炭素や水素が含まれる」という正しい認識を持っていた。しかし、定着度調査の②-1から、その割合は57%に減少していたことが判る。定着率が6割弱となった要因として、こちらでも水素/水についての認識の薄さが挙げられる。②-1のうち、水素を記していたのは4分の1の14%しかおらず、質問①同様、水への意識の低さが読み取れる結果となった。

ところで、②-2に示すように、②-1の57%には「燃えることにより炭素が発生」という、誤った認識の生徒が14%含まれている。この回答を「炭

素原子が発生」と解釈すると、原子・分子の認識を持っていることになる。しかし、紙などが酸化した際に出る黒い煤を「炭素」と捉えての表現だとすると、原子ではなく、物質としての「炭素」が酸化して、物質としての「二酸化炭素」が発生したという認識となり、正しい回答とはいえない。このような曖昧さを無くすために、物質としての「水素、炭素」と「水素原子・分子、炭素原子」とを、明確に区別して記述させるような設問を検討していきたい。

(3) 定着度調査③

質問③の全問正解者は32%であった。また、それらと②-2との重複は無かったことから、②-2の14%の生徒の「炭素」は原子ではなく物質を指している可能性が高い。そうすると、正しく定着していた生徒は43%ということになる。

表7から、ものによって正答率に大きな差があることが判る。アルミ缶、空気、ペットボトルの選択率は85%以上と非常に高かった。これらは金属・非金属の単元など、理科の授業でよく取り上げられ、素材等として実験でも活用されるので、原子・分子として認識しやすかったのであろう。ガラスは実験器具等として授業で慣れ親しんでいるが中学校段階では素材として用いることはなく、ガラスという用語が元素と直接結びつかないこと、そして窓ガラスは日常色が強いことなどから若干低めの選択率となったと考えられる。

一方、石は中学1年の地学分野である程度の組成を学んでいるが、卑近すぎる存在である。また、洋服のような生活用品も同様で、改めて原子・分子という認識は持ちづらいようであった。そして、最も原子・分子の認識が弱かったのが生物で、犬とみかんを選択した生徒は全てを選択した生徒のみであった。生物に関しては、授業の最後に念を入れて、「皆の体も水素や炭素からできていて、燃えると水と二酸化炭素になるんだよ」という話をしたのであるが、半分以上の生徒にとっては時間が経つと抜けていく程度にしか認識できていなかったようだ。

このように、ものの性状により「原子・分子の認識」に大きな差があるということは、生徒の認識を深め、確認する際に重要なポイントとなる。生物など原子・分子として認識しづらいものも、アルミ缶のように認識しやすいものも、原子・分子が集まってできているという点では同じである。そのことを

いろいろな切り口で、繰り返し伝えていくことが必要であろう。

6. まとめ

生成物の成分を元に、原料の成分に目を向けさせるという、高校の化学基礎で位置付けられている活動を中学2年で導入した。生成物から原料を同定することは科学では一般的なプロセスだが、中学校段階では生成物の導出・確認で留まっている。今回、敢えて原料にまで目を向けさせてみたが、授業中の生徒の様子や事後調査の結果、そして定着度調査でも4割程度定着していたことから、この学年で導入する意義は大きいといえる。

試料に目を向けさせる際、「身の回りのもの」でも、素材や生物といった性状の違いにより原子・分子の認識が大きく異なることが判った。特に、生物については、原子・分子でできているという認識は薄く、「全ての物が原子・分子の集合体」という認識を育てるためには、物の性状に応じた更なる指導の工夫と繰り返しの学習が必要である。中学校段階において、身の回りもの全てが原子・分子でできているという認識を育くめるよう、学習の流れを検討していきたい。

謝辞

授業実践の機会を設け、調査実施にご協力戴いた、栃木県立宇都宮東高等学校附属中学校の喜田裕也先生に、感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 文部科学省、中学校学習指導要領解説 理科編、大日本図書、2008年
- [2] 辰巳敬ほか、化学基礎、数研出版株式会社、平成26年度用。
齋藤烈ほか、化学基礎 改訂版、新興出版社啓林館、平成29年度用。
- [3] 塚田捷ほか、未来へひろがるサイエンス2、新興出版社啓林館、平成25年度用。
岡村定距ほか、新編 新しい科学2年、東京書籍株式会社、平成25年度用。
霜田光一ほか、中学校科学2年、学校図書株式会社、平成25年度用。
細谷治夫ほか、自然の探究 中学校理科第2学年、教育出版株式会社、平成25年度用。

有馬朗人ほか、新版 理科の世界第2学年、大日本図書株式会社、平成25年度用。

- [4] 石浦章一ほか、わくわく理科6、新興出版社啓林館、平成27年度用。
- [5] 塚田捷ほか、未来へひろがるサイエンス1、新興出版社啓林館、平成25年度用。

平成29年3月31日 受理