

科学的な思考力・表現力を育む学び合いの理科学習の研究 ～燃焼における科学概念の形成をめざして～

園 山 裕 之

はじめに

2006年に実施されたPISA調査の結果では、科学への興味・関心や楽しさを感じる子どもの割合が全般的に低いという課題があった。また、2009年の調査においては改善傾向にあったが、科学的リテラシーについて、「科学的証拠を用いること」は好成績であるのに対し、与えられた課題が科学的に調査可能な問題かを判断するといった「科学的な疑問を認識すること」や「現象を科学的に説明すること」に課題が見られていた。

今回の学習指導要領の改訂においては、子どもたちの思考力・判断力・表現力などを確実に育むために、基礎的・基本的な知識・技能の習得とともに、観察・実験やレポートの作成、論述といった知識・技能を活用する学習活動を充実させることが重視されている。理科においても、発達の段階に応じて、子どもたちが知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、目的意識をもった観察・実験を行うことにより、科学的に調べる能力や態度を育てるとともに、科学的な認識の定着を図り、科学的な見方や考え方を養うことが改訂の焦点となっている。

日頃の教科指導においても、事象を実証的、論理的に考えたり、分析的、総合的に考察したりすることが苦手な子どもが多いように感じる。知識としてわかっていても、それを自分の言葉で説明することに困難を抱えている子どもも少なくない。このような現状から「科学的な思考力・表現力」を育むための理科学習の展開を図るために、本研究を進めた。

1 研究仮説と視点

(1) 研究仮説

次の視点に基づいて理科学習を展開することが、「科学的な思考力・表現力」を育むことにつながるのではないかと考えた。

視点① 素朴概念調査の実施

視点② 素朴概念を新たな科学概念へと変容させることができる単元の構成

視点③ ホワイトボードを活用した学び合いの授業の展開

(2) 研究の視点

視点①

学習前に素朴概念調査を実施し、子どもの既存の知識や考え方（素朴概念）を把握する。これにより、子どものつまずきを事前に予測することができ、子どもの実態に即した単元構成を行うことができると考えた。

視点②

子どもの素朴概念を把握し、既存の科学的な見方・考え方を通して得られた知識が、新たな科学概念へと変容できるように単元を構成する。単元を貫く学習の柱を明らかにすることによって、より科学的な思考力・表現力を高めることができると考えた。

視点③

子どもが素朴概念を再構成したり、科学概念へと変容させたりすることができるように、ホワイトボードを使って考えを可視化できるようにし、学級全体で学び合えるようにする。個人の考

えを班の考えへと広げるときに、ホワイトボードが個人の考えを伝えたり、協同してまとめたりする際の道具となる。また、班から学級全体へ広げるときにも、相互に考えを共有し練り上げる過程でホワイトボードという視覚的な道具が有効となる。ホワイトボードを活用することによって、言語を介す学び合いの授業となり、より科学的な思考力・表現力を高められると考えた。

2 研究の実際

今回は、中学校2年生「化学変化と原子・分子」の単元において研究を進めた。化学変化は、私たちの日常生活や社会において活用されており、欠かすことのできない現象である。だからこそ帰納的な思考だけでなく、抽象的な科学概念を自然事象に置き換えて演繹的に思考することができる単元である。また、原子どうしの結びつきを直接見ることができないため、既知の事象と関連付けながら思考していかなければならない。そのため、微視的なものの見方や考え方を高めることのできる単元でもあるととらえた。

(1) 視点① 素朴概念調査の実施

次のような素朴概念調査を「化学変化と原子・分子」の単元の学習に入る前に実施した。

問1～問5では、有機物や無機物が加熱によりどのような変化をするのかを質問した。物質によって炭化したり、しなかったりする燃焼という化学変化について、日常の生活の中でどれだけ経験をしているかを調査する目的で設定した。

問6～問8は、物質が変化する現象についての概念を調査した。また、問8や問17では金属が自然に変化する「さびる」という現象について調査した。

問9は、小学校の教科書に記載されていた問題を載せて、燃焼のために効率よく酸素を供給する方法について質問した。

問10、問11では、鉄の燃焼によって質量がどうなるかを質問した。また、鉄の質量が増えたと

資料1

理科調査用紙① <u>②年()組()番 氏名()</u> ※この調査用紙は一切の秘密と断固守ります。	
<p>問1 1gの砂糖をガスバーナーで5分間加熱した。加熱後、砂糖はどうなるか。次の①～⑤の中から、あなたが最もよいと考えるものを1つ選び、その理由も書きましょう。</p> <p>① 砂糖のままで変化しない。 ② 砂糖は燃えてなくなる。 ③ 砂糖が炭になり、黒くなる。 ④ 砂糖が炭以外の別の物質になる。 ⑤ その他：あなたの考えを書きましょう。</p> <p>答え <input type="text"/> 選んだ理由を書きましょう。 <input type="text"/></p>	<p>問4 1gの炭のかけだまりをガスバーナーで5分間加熱した。加熱後、炭はどうなるか。次の①～⑤の中から、あなたが最もよいと考えるものを1つ選び、その理由も書きましょう。</p> <p>① 炭のままで変化しない。 ② 炭は燃えてなくなる。 ③ 炭が炭になり、黒くなる。 ④ 炭が炭以外の別の物質になる。 ⑤ その他：あなたの考えを書きましょう。</p> <p>答え <input type="text"/> 選んだ理由を書きましょう。 <input type="text"/></p>
<p>問2 1gの食塩をガスバーナーで5分間加熱した。加熱後、食塩はどうなるか。次の①～⑤の中から、あなたが最もよいと考えるものを1つ選び、その理由も書きましょう。</p> <p>① 食塩のままで変化しない。 ② 食塩は燃えてなくなる。 ③ 食塩が炭になり、黒くなる。 ④ 食塩が炭以外の別の物質になる。 ⑤ その他：あなたの考えを書きましょう。</p> <p>答え <input type="text"/> 選んだ理由を書きましょう。 <input type="text"/></p>	<p>問5 1gの炭のかけだまりをガスバーナーで5分間加熱した。加熱後、炭はどうなるか。次の①～⑤の中から、あなたが最もよいと考えるものを1つ選び、その理由も書きましょう。</p> <p>① 炭のままで変化しない。 ② 炭は燃えてなくなる。 ③ 炭が炭になり、黒くなる。 ④ 炭が炭以外の別の物質になる。 ⑤ その他：あなたの考えを書きましょう。</p> <p>答え <input type="text"/> 選んだ理由を書きましょう。 <input type="text"/></p>
<p>問3 1gのふくらし粉(ベーキングパウダー)をガスバーナーで5分間加熱した。加熱後、ふくらし粉はどうなるか。次の①～⑤の中から、あなたが最もよいと考えるものを1つ選び、その理由も書きましょう。</p> <p>① ふくらし粉のままで変化しない。 ② ふくらし粉は燃えてなくなる。 ③ ふくらし粉が炭になり、黒くなる。 ④ ふくらし粉が炭以外の別の物質になる。 ⑤ その他：あなたの考えを書きましょう。</p> <p>答え <input type="text"/> 選んだ理由を書きましょう。 <input type="text"/></p>	<p>問6 水はどうやってできるのだろうか。次の①～⑦の中から、水ができる你认为が最もよいと考えるものを1つ選び、その理由も書きましょう。</p> <p>① 水をつくることはできない。 ② 砂糖を燃やす。 ③ 鉄を燃やす。 ④ 砂糖を削す。 ⑤ 水を削す。 ⑥ 二酸化炭素を燃やす。 ⑦ エタノールを燃やす。</p> <p>答え <input type="text"/></p>

きの加熱後の全体の質量の変化について定量的な科学概念について調査した。

資料 2

問7 10cm²の方すい容器に10gのアルミニウムを置いた。アルミニウムはどのようになるか。次の①～④の中から、あなたが見えたいと考えるものを1つ選び、その理由を書きなさい。

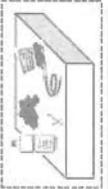
① アルミニウムは変化しない。
 ② アルミニウムは溶けていく。
 ③ すべて見えなくなるが、新しい容器を準備してはアルミニウムは溶けていく。
 ④ その他：あなたが見えたいものを書きなさい。



答え	自由に回答を書きなさい。
----	--------------

問8 室内に3つの容器を置いて、静かに放置した。10分後にその容器が変化しているとおぼえが考えられるら、次の①～④の中から少なくとも2つを選びなさい。また、どのような変化しているかを説明しなさい。

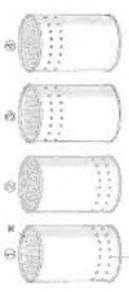
① ペットボトル（プラスチック）
 ② くま（紙）
 ③ アルミニウムはく（アルミニウム）
 ④ 乾電池（乾）
 ⑤ 水皿



答え	どのような変化しているかを説明しなさい。
----	----------------------

問9 穴を空けた缶に、水を入れて置いたとき、最もよく見えるのはどれか。次の①～④の中から、あなたが見えたいと考えるものを1つ選び、その理由を書きなさい。

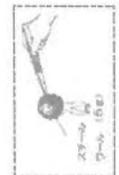
① 水
 ② 油
 ③ 空気
 ④ その他：あなたが見えたいものを書きなさい。



答え	最もよく見えるものを書きなさい。
----	------------------

問10 ちぎりのスターウォール（紙を糊のよじり糊くしたものを糊付すと糊はどのようになるか。次の①～④の中から、あなたが見えたいと考えるものを1つ選び、その理由を書きなさい。

① ちぎりのまま。
 ② ちぎりの質量が増える。
 ③ ちぎりの質量が減る。
 ④ その他：あなたが見えたいものを書きなさい。



答え	自由に回答を書きなさい。
----	--------------

問11 10gのスターウォールを折り紙と糊で糊くしたものを糊くか。次の①～④の中から、あなたが見えたいと考えるものを1つ選び、その理由を書きなさい。

① 10gのまま。
 ② 5gになる。
 ③ 5gになるが質量が増える。
 ④ 5gになるが質量が減る。
 ⑤ 5gになるが質量が増えるが、5gより大きく質量が増える。
 ⑥ 5gになるが質量が増えるが、5gより大きく質量が減る。
 ⑦ 糊は糊くなく、糊した部分が溶けていく。
 ⑧ その他：あなたが見えたいものを書きなさい。



答え	自由に回答を書きなさい。
----	--------------

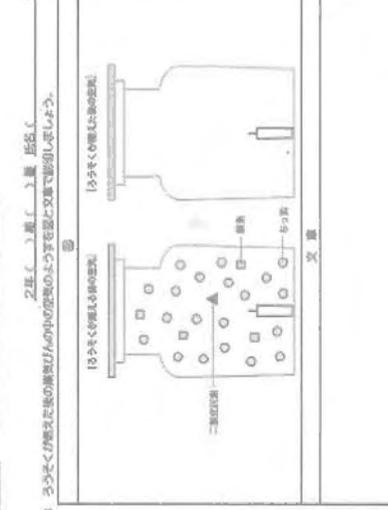
問12 二酸化炭素の中で、何個が見えたいか。次の①～④の中から、あなたが見えたいと考えるものを1つ選び、その理由を書きなさい。

① すべての質量が増える。
 ② すべての質量が減る。
 ③ 見える質量がある。
 ④ その他：あなたが見えたいものを書きなさい。

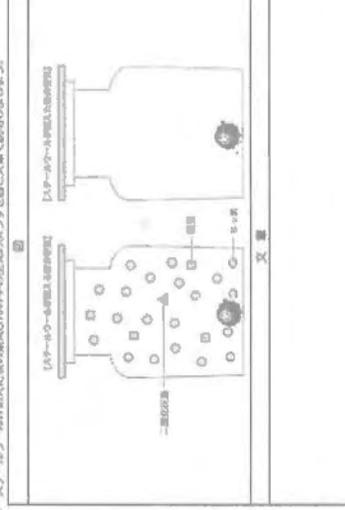
答え	自由に回答を書きなさい。
----	--------------

資料 3

問13 3つすくが壊れた後の集まりの形の空気のほうすを器と文章で説明しなさい。



問14 スターウォールが壊れた後の集まりの形の空気のほうすを器と文章で説明しなさい。



問15 世界で一番小さい空気の大きさはどのくらいでしょうか。次の①～④の中から、あなたが見えたいと考えるものを1つ選び、その理由を書きなさい。

① 直径が約6cmの地球儀の1/10、60/6001の大きさ。
 ② 直径が約6cmの地球儀の1/10、60/601の大きさ。
 ③ 直径が約6cmの地球儀の1/10、60/60の大きさ。
 ④ 直径が約6cmの地球儀の1/10、60/60の大きさ。
 ⑤ その他：あなたが見えたいものを書きなさい。

答え	自由に回答を書きなさい。
----	--------------

問16 一組、他の組に壊れた集まりの形を器と文章で説明しなさい。次の①～④の中から、あなたが見えたいと考えるものを1つ選び、その理由を書きなさい。

① すべての質量が増えるが、5gより大きく質量が増える。
 ② すべての質量が減るが、5gより大きく質量が減る。
 ③ 一部の質量において、もとの質量にもどすことができない。
 ④ 一部の質量において、もとの質量にもどすことができる。
 ⑤ その他：あなたが見えたいものを書きなさい。

答え	自由に回答を書きなさい。
----	--------------

問17 せびり集まりが壊れた後の集まりの形の空気のほうすを器と文章で説明しなさい。

① せびり集まりが壊れた後の集まりの形の空気のほうすを器と文章で説明しなさい。
 ② せびり集まりが壊れた後の集まりの形の空気のほうすを器と文章で説明しなさい。
 ③ その他：あなたが見えたいものを書きなさい。

答え	自由に回答を書きなさい。
----	--------------

問12は、二酸化炭素中で物質が燃焼するかどうかについて質問した。

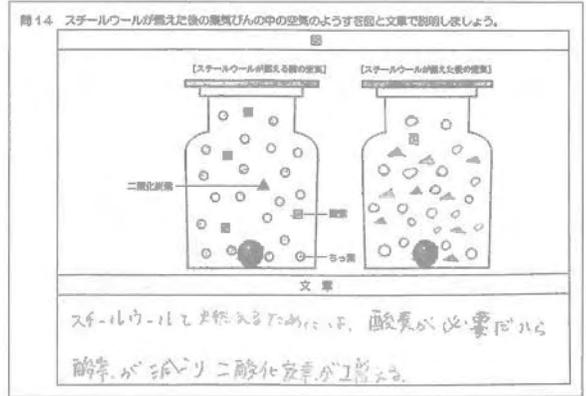
問13, 問14は、有機物と無機物の燃焼による気体（二酸化炭素や酸素、窒素）の変化についてモデルを使って答える形式で質問した。燃焼によって、気体をつくっている原子が移動し、変化するという科学概念を調査した。

問15, 問16では、原子や化学変化についての科学概念を調査した。

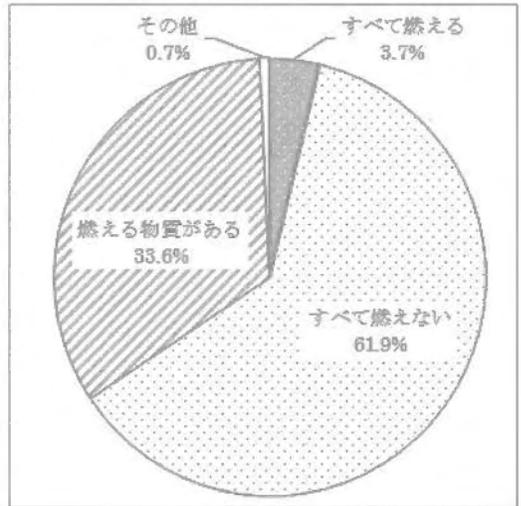
資料1～資料3のような調査を、中学校2年生の生徒136名を対象に行った。問13では、空気の入った集気びんに火のついたろうそく（有機物）を入れ、燃えた後の空気の様子を図と文章で説明させた。この質問は、小学校において学習した内容であるので、90.3%の生徒が「酸素が減少し、二酸化炭素が増加した」ことを説明した。問14では、集気びん内でスチールウール（無機物）に火をつけた後の空気の様子を同じように説明させた（資料4）。この質問について、次のようなことがわかった。「酸素だけが減少し、その他の気体は変化しない」と回答した生徒は3.7%であり、72.6%の生徒がろうそくのとじように「酸素が減少し、二酸化炭素が増加する」と回答した。有機物の燃焼を中心に学習してきた生徒にとっては当然の考え方ではあるが、正答が少ない状況であった。この他に、「変化しない」、「水ができる」、「窒素が減る」、「酸素が増える」などの回答があった。

また、二酸化炭素の中で物質が燃えるかどうかを質問した（資料5）。61.9%の生徒が「すべての物質は燃えない」と回答したことから、「酸素がなければ物質は燃焼しない」という素朴概念をもっている生徒が多いことがわかった。逆に、「全ての物質が燃える」という回答をしている生徒が3.7%程度いた。

資料4 (生徒A)



資料5 事前調査結果



(2) 視点② 素朴概念を新たな科学概念へと変容させることができる単元の構成

事前調査の結果から子どもたちは、燃焼すると二酸化炭素が発生する、二酸化炭素中で燃焼は起こらないという素朴概念をもっていることが分かった。このことから、次の2つの新たな科学概念を学習の柱として単元の構成を考えた。また、これらの科学概念を確かなものにするによって、化学変化をより微視的に見たり考えたりできるようになると考えた。

- ㊦ 二酸化炭素を発生しない燃焼もあること
- ㊧ 炭素原子から酸素を奪うことができれば二酸化炭素中でも燃焼すること

また、単元のねらいを次のように設定した。

酸化と還元は酸素原子をやりとりする逆向きの反応であることを酸素原子との結合のしやすさのちがいに着目して思考することで、微視的なものの見方や考え方を高める。

次の資料6のように単元を構成して、授業を展開することにした。

資料6 学習指導計画（全30時間）

次	時	主な学習内容	学習の目標（評価の観点）	学び合い
1 物質の なり立ち	①	カルメ焼やホットケーキはなぜふくらむのだろうか	・炭酸水素ナトリウムを入れると、カルメ焼がふくらむことから、炭酸水素ナトリウムを熱したときの変化について調べようとする。	
	②	炭酸水素ナトリウムを熱したときの変化を調べよう	・炭酸水素ナトリウムを熱したときの変化を調べ、もとの物質とは違う物質になり、二酸化炭素が発生したことを見いだす。	
	③	酸化銀を熱するとどうなるだろうか	・酸化銀を熱したときの変化から、熱を加えると分解する物質があることを理解する。	
	④	水はどこまで分解できるだろうか	・物質を分解していくと、それ以上分けることができない物質になることを理解する。	
	⑤	塩化銅水溶液はどこまで分解できるだろうか	・塩化銅水溶液も水と同じように電気分解すると、それ以上分けることができない物質になることを説明する。	
	⑥	炭酸アンモニウムはどこまで分解できるだろうか	・炭酸アンモニウムを熱したときの変化について、実験結果をもとにして説明する。	①
	⑦	原子とは何か	・すべての物質は原子からできていることを理解している。	
	⑧	分子とは何か	・気体をつくっている原子は分子として存在し、原子は規則的に結びついていることを理解する。	
	⑨	物質のつくりを原子や分子のモデルで表す	・さまざまな物質を原子のモデルをつかって表す。	
	⑩	物質を原子・分子に注目して分類する	・物質を原子や分子に注目して、混合物と純粋な物質、単体と化合物に分ける。	②
	⑪	物質を記号で表すにはどうしたらよいだろうか	・単体や化合物を表す化学式を正しく書くことができる。	
2 物質 どうしの 化学変化	⑫	水素と酸素を入れた袋に点火するとどうなるだろうか	・原子どうしが結びつく化学変化があることを理解している。	
	⑬	鉄と硫黄を熱した後の物質を考えよう	・鉄と硫黄を熱した後の物質が純粋な物質であることを説明する。	③
	⑭	化学変化を原子や分子のモデルで表そう	・化学変化を原子の種類や数に注目してモデルで表す。	
	⑮	化学変化を化学反応式で表そう①	・モデルから化学式を使って化学反応式を表すことができる。	
	⑯	化学変化を化学反応式で表そう②	・さまざまな化学変化を化学反応式で表すことができる。	
3 燃える とはどの ような ことなの か	⑰	てんびんにつるした鉄を熱すると熱した方が下に傾いたのはどうしてだろうか	・鉄（無機物）の燃焼と木（有機物）の燃焼のちがいを理解する。	④
	⑱	鉄を燃やすとどうなるか	・スチールウールを燃やしたときの質量の変化や酸素が使われたことを調べることができる。	
	⑲	燃焼とはどういうことなのか	・鉄が燃焼するときに酸素と化合することを理解する。	
	⑳	スチールウールと木の燃焼のちがいを考えよう	・有機物が燃焼したときに二酸化炭素や水ができることを説明する。（無機物の燃焼では、二酸化炭素は発生しない。）	⑤

4 化学変化が起こるとき物質の質量が変化するか	㉑	マグネシウムを熱したときの質量の変化を調べよう	・金属は酸素と化合することで燃焼し、質量が増える化学変化であることを理解することができる。	
	㉒	銅を熱したときの質量の変化を調べよう		
	㉓	マグネシウムと化合した酸素の質量を求めよう	・マグネシウムと化合した酸素の質量比が一定であることを見いだす。	
	㉔	銅と化合した酸素の質量を求めよう	・銅と化合する酸素の質量比が一定であることを説明できる。	㉖
	㉕	物質が化学変化する前と後の質量を比べよう	・物質の出入りがなければ、化学変化の前後で物質全体の質量は変化しないという規則性を説明できる。	
	㉖	化学変化と質量の変化についてまとめよう	・化学変化に関係する物質の原子の種類と数に変化がないため、質量が変化しないことを説明できる。	
5 酸化物から酸素を取り出すことができるのか	㉗	酸化物から酸素をうばうことができるだろうか(酸化銅は炭素で還元できるが、酸化マグネシウムは炭素で還元できない)	・酸化物から酸素をうばう反応があることを理解している。 ・酸化と還元は同時に起こっており、酸素が離れたり、くっついたりしている反応であることを説明できる。	
	㉘	熱した酸化銅を水素の中に入れてどうなるだろう	・酸化銅が水素によって還元できることを説明できる。	㉖
	㉙	燃えているマグネシウムを二酸化炭素の中に入れてどうなるだろう。	・マグネシウムが二酸化炭素中で燃焼することを酸素との結合のしやすさに注目して説明できる。	㉖
	㉚	金属を取り出す歴史を考えよう	・人類が、酸化しにくい金属や還元しやすい金属から順に、利用を広げてきたことを説明できる。	

(ア) 二酸化炭素を発生しない燃焼を理解するために

第3次では、㉑の科学概念を身につけるために、有機物と無機物(金属)の燃焼のちがいを考えた。まず、同じ質量のスチールウールをてんびんの左右につるし、片方のスチールウールをガスバーナーで熱する実験を行った。この実験では、熱した方が下に傾いたという事実から、空気中の酸素が結びついて重くなったことを明らかにした。次に、この実験と同じことを、今度は木片を使って実験し、木片は熱した方が上に傾いた事実から、スチールウールと木片の燃焼のちがいを考察した。そして、学び合いながら子どもたちは酸素が結びつく相手がちがうことを導き出した。授業後のふりかえりには、次のような感想を書いている。

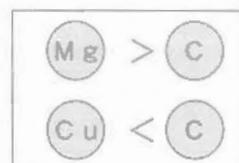
生徒B 最初はなぜかわからなかったけど、みんなの説明を聞いていると酸素が結びついててんびんが傾いたことが分かった。

生徒C 酸素は、スチールウールの中の鉄と結びついたり、木の中の炭素や水素と結びついたりする。

生徒D 木が燃えると木の中のH原子とC原子に酸素が結びついて、 H_2O と CO_2 になって軽くなったことが分かった。

(イ) 二酸化炭素中で燃焼する化学変化を理解するために

第5次では、㉑の科学概念を押さえるために、酸化・還元を金属と酸素との結びつきやすさのちがいに着目して学習を進めた。右の図のように、マグネシウムと炭素、銅と炭素での酸素との結びつきやすさを押さえることができれば、「マグネシウムは二酸化炭素から酸素を奪い燃えることができる」と推測できるであろうと考え、学習を進めた。まず、酸化銅を炭素で還元する実験を行った。黒色の酸化銅は炭素で還元され、二酸化炭



酸素との結びつきやすさ

素が発生し、金属光沢のある銅ができる。このことから、炭素は銅よりも酸素と結びつきやすいことを考えることができた。続いて、酸化マグネシウムと炭素を使って同様の実験を行った。酸化マグネシウムと炭素を混ぜ合わせて加熱したときに発生する気体と残る物質を調べた。すると、二酸化炭素が発生するが、残る物質の色が白色の固体のままだった。このことから、酸化マグネシウムは炭素と化学変化を起こさなかったことが分かり、子どもたちがマグネシウムは炭素よりも酸素と結びつきやすいことを思考できたのではないかと考える。授業後のふりかえりには、次のような感想を書いている。

生徒E 酸化銅は化学変化したのに、酸化マグネシウムは化学変化しなかったのは、不思議だと思った。

生徒F 酸化マグネシウムは酸素との結びつきが強いということが分かった。

(3) 視点③ 学び合いの授業の展開

第5次の第21時には、「二酸化炭素の中に燃えているマグネシウムを入れるとどうなるか。その理由を説明しよう。」をテーマに、二酸化炭素中でマグネシウムが燃えるかどうかを考えた。前時までに学習した、酸化銀が酸素と銀に分解したこと、酸素中でスチールウールが燃焼して酸素と化合したこと、酸化銅は炭素によって銅に還元されたが酸化マグネシウムは還元されなかったことなどをいかして、二酸化炭素中でもマグネシウムが燃える現象を説明する学習を進めた。

① 学習課題について個で考える

自分の考えをもった上で班の話し合いを行うために、初めにワークシートに自分の考えを簡単にまとめた。資料7はそのワークシートの記録である。二酸化炭素中の酸素原子に注目し、「酸素原子があるから燃える」と説明している生徒がいたが、「二酸化炭素があるから燃えない」と説明している生徒の方が多かった。

資料7 (生徒G)

<1> 二酸化炭素の中に燃えているマグネシウムを入れたときにどうなるだろうか。また、そのように考える理由を説明しよう。

火はどうなるか
消える

<理由>
火は二酸化炭素の中では消えるから

② 班で話し合い、ホワイトボードにまとめる

個で考えたことをもとに、班で学習課題について話し合い、ホワイトボードにまとめていく。資料8～資料10は、班のホワイトボードの記述である。

資料8は、「燃えない」と考えた班のホワイトボードである。酸素が存在するときは酸化するが、酸素がなく二酸化炭素だけだから燃えないと説明をした。この班のように、「燃えない」とまとめた班が3つあった。

資料8

7班
燃えない
 $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$
酸化
 $2MgO + CO_2 \rightarrow ?$

資料9は、「燃え続ける」と考えた班のホワイトボードである。二酸化炭素が、炭素と酸素に分かれるからマグネシウムが酸化すると説明をした。この班は、二酸化炭素中の酸素原子に注目しているが、酸素の結びつきやすさには触れていない。この班のように、「二酸化炭素中の酸素原子があるから燃える」とまとめた班が4つあった。

資料9

1班 燃え続ける
 $CO_2 + 2Mg \rightarrow C + 2MgO$
 CO_2 が還元し、 C と O_2 に分かれ。
 O_2 と Mg が酸化し、 MgO がでる
この酸化の間は火は消えないと
思った。

資料10

9班
火がどくろが…
燃えつづける?
理由: マグネシウムに火がついて、二酸化炭素中に入ると、マグネシウムは酸素が何と燃えつづける二酸化炭素が還元して炭素の塊が燃えつづける?

班のホワイトボードである。マグネシウムは酸素と結びつきやすいために、二酸化炭素から酸素を奪って燃えると説明した。この班のように、「マグネシウムは炭素よりも酸素と結びつきやすいから燃える」とまとめた班が2つあった。

③ 各班のホワイトボードの記述をもとに学級全体で学び合う

ホワイトボードの記述をもとに学級全体で学び合い、酸素原子との結びつきやすさに焦点を当てて思考を深めた。二酸化炭素分子中に存在している酸素の原子は、炭素よりもマグネシウムと結びつきやすいことから、二酸化炭素が還元されマグネシウムが酸化する化学変化が起こり、二酸化炭素中でもマグネシウムが燃えるという概念をもてるよう仕掛けた。以下は、学級全体での学び合いの授業記録である。

- | | |
|---|--|
| <p>T マグネシウムには酸素がくっつきやすいというのはどう
いうことですか？</p> <p>生徒H この前の実験で、酸化マグネシウムと炭素を熱したとき
に、酸化マグネシウムは酸化銅と違って還元されなかつ
たので、炭素と比べて酸素とくっつきやすいんじゃない
かと思いました。</p> <p>T くっつきやすいとどうなるの？</p> <p>生徒H くっつきやすいから、マグネシウムを（二酸化炭素の中に）入れたときに、二酸化炭素があると消
えるけど、消える前に還元するので、燃えると思います。</p> <p>T マグネシウムが炭素よりも酸素と結びつきやすいので、マグネシウムが還元をする。そのことによつ
て燃えるのではないかということですね。では、燃えないと考えているみなさんはどうですか？</p> <p>生徒I マグネシウムが二酸化炭素を還元するので、ある程度は燃えると思うんですけど、マグネシウムが
燃えることによってできた炭素がまた二酸化炭素になるから燃えなくなると思います。</p> <p>T 酸化マグネシウムが燃えているから、また二酸化炭素ができるということですか？</p> <p>生徒I そうです。
（・・・略・・・）</p> <p>T 燃えるということは、二酸化炭素から酸素を奪うということですね。そういうことができるのです
か？</p> <p>生徒J マグネシウムは酸素と結びつく力が強いから。</p> <p>T そうですね。結びつきが強いからですよ。では、この他にそういう化学変化はありませんでした
か？</p> <p>生徒K 酸化銅と炭素のときは、炭素の方が酸素とくっつきやすかったから、酸化銅が還元されて、炭素が
酸化したのでそれと同じようなことが起きているんじゃないかと思いました。</p> <p>T 以前の実験で、酸化銅と炭素だったら、炭素の方が酸素とくっつきやすかった。これは、何で分か
りましたか？</p> <p>生徒L 酸化銅と炭素を混ぜて熱したときに、酸化銅にふくまれていた酸素が炭素と結びついて二酸化炭素
になりました。</p> <p>T 酸化銅にふくまれていた酸素が炭素と結びついて、二酸化炭素になったんですね。この実験から炭
素の方が酸素との結びつきが強いことが分かります。ということは、酸素との結びつきの強さとい
うのは、物質によってちがうということですか？</p> <p>生徒多 はい。</p> <p>T では、マグネシウムは二酸化炭素から酸素を奪えるということですね。</p> |  |
|---|--|

④ 学び合いの後、再び個で考える

学級全体での学び合いの後、実際に二酸化炭素の中に燃えているマグネシウムを入れるとどうなるかを演示実験で確認をした。さらに、酸素との結びつきやすさを思考するために、酸化銅とマグネシウム粉末を混ぜ合わせたものを試験管に入れ加熱する実験を演示した。炎を上げて燃えた後の物質の中に赤色の金属光沢をもつ銅があり、酸化銅がマグネシウムによって還元され、マグネシウムの方が銅よりも酸素と結びつきやすいことを確認できた。資料11は、授業

後にまとめられたワークシートの記録である。授業を通して、酸素との結びつきやすさに注目して思考することができるようになってきていることが分かる。

演示実験のようす



資料11 (生徒G)

<2> 話し合ったことや実験をふまえて、二酸化炭素の中に燃えているマグネシウムを入れるとどうなったかについてまとめよう。

火球どうなったか
燃え尽きた (一定の時間燃える)

<まとめ>

$$2\text{Mg} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{MgO} + \text{C}$$

～酸素と結びつきやすい 酸化する間、燃えつづける。

$\text{Mg} > \text{C}$ のほ～

$\text{C} > \text{Cu}$

$\text{Mg} > \text{Cu}$

3 研究の成果

「化学変化と原子・分子」の単元の学習後に、再び事前調査と同じ調査を行った。集気びん内でスチールウールに火をつけた後の空気の様子を同じように質問した (資料12)。この質問について、「酸素だけが減少し、その他の気体は変化しない」と回答した生徒は70.6%であった。これは、事前調査では3.7%であったので、多くの生徒においては、金属の燃焼は二酸化炭素が発生しない燃焼であることを確かな科学概念として身に付けることができたこととらえることができる。

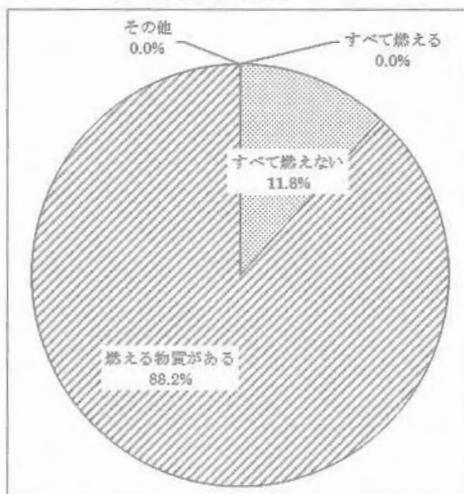
また、二酸化炭素の中で物質が燃えるかどうかを質問した (資料13)。この質問については、「二酸化炭素中でも燃える物質がある」を答えた生徒が88.2%いた。事前調査では33.6%であったので、多くの生徒において、「酸素がなければ物質は燃えない」という素朴概念から、「二酸化炭素分子中の酸素原子を奪うことができれば、二酸化炭素中でも燃える」という確かな科学概念を獲得していることが分かる。また、「すべての物質が燃える」という回答はなくなった。資料14は生徒Nの事前調査の回答、資料15は学習後調査の回答である。学習後は、酸素との結びつきやすさに注目して、現象をとらえていることが分かる。

資料12 (生徒A)

問14 スチールウールが燃えた後の集気びんの中の空気の様子を絵と文章で説明しましょう。

文章
スチールウールが酸化して、酸化鉄になる。

資料13 学習後調査結果



資料14 生徒Nの事前調査

問12 二酸化炭素の中で、物質は燃えるだろうか。次の①～④の中から、あなたが最もよいと考えるものを1つ選び、その理由を書きましよう。

- ① すべての物質が燃える。
- ② すべての物質が燃えない。
- ③ 燃える物質がある。
- ④ その他：あなたの考えを書きましよう。

答え	選んだ理由を書きましよう。
②	二酸化炭素の中で燃える物質はないから。

資料15 生徒Nの学習後調査

問12 二酸化炭素の中で、物質は燃えるだろうか。次の①～④の中から、あなたが最もよいと考えるものを1つ選び、その理由を書きましよう。

- ① すべての物質が燃える。
- ② すべての物質が燃えない。
- ③ 燃える物質がある。
- ④ その他：あなたの考えを書きましよう。

答え	選んだ理由を書きましよう。
③	マグネシウムは酸素と結びつきやすいため、二酸化炭素中で酸化する。

今回の実践から、燃焼という化学変化を学習するうえで、⑦二酸化炭素を発生しない燃焼もあること、⑧炭素原子から酸素を奪うことができれば二酸化炭素中でも燃焼することに視点を当てることは、燃焼に関する素朴概念をより確かな科学概念へと変容させるのに効果的であることがわかった。また、その学習過程において、金属原子と酸素原子との結びつきやすさを思考する学習を中心に進めたことにより、燃焼という現象を原子という粒子の関係性からとらえることができるようになり、より微視的なものの見方や考え方を身に付けることができた。

このように、子どもの素朴概念を把握し、新たな科学概念へと変容できるような単元を構成し、単元を貫く学習の柱を視点として学習を進めることは、生徒の科学的な思考力・表現力を高めることにつながった。そして、ホワイトボードを活用した学び合いの授業を展開することが、既習の内容をいかし、物質の燃焼という科学概念を形成するうえで効果的であり、科学的な思考力・表現力を育むことにつながったように思う。

4 今後の課題

学習後調査において燃焼という化学変化を正しく理解している子どもは、学習前より増えてはいるが正答率が3/4程度に過ぎず、理解をしていない子どもがまだ1/4いるのが事実である。今後は、二酸化炭素が発生しない燃焼があることや原子どうしの結びつきによって燃焼が起こったり起こらなかったりすることを理解でき、既習の内容をいかしながら学習できるような単元構成を検討していく必要がある。そのためには、素朴概念調査の内容の検討も必要であるように感じている。生徒のつまづきがどこにあるのかを事前に見極め、その部分に学習の焦点を当てていけるような授業を構成することが課題である。また、科学的な思考力・表現力を育むために、ホワイトボードの有効な活用方法を検証して行く必要がある。学び合いを活性化させるために、発問の言葉の工夫をすることや現象を考察させるうえで、見えない原子の存在をどのような表現させていくのか、またどのように思考させていくのが効果的なのかを今後も検証していきたい。

参 考 文 献

- ・中央教育審議会『幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領の改善について（答申）』、2008
- ・文部科学省『中学校学習指導要領』、2008
- ・森本信也、『子どもの科学的リテラシー形成を目指した生活科・理科授業の開発メタ認知的アプローチによる科学概念形成を目指した授業開発』東洋館出版社、2009
- ・堀哲夫・西岡加名恵、『授業と評価をデザインする』日本標準、2010
- ・島根大学教育学部附属学校園『平成23年度島根大学教育学部附属学校園研究紀要』2011

(そのやま ひろゆき 理科 h.sonoyama@edu.shimane-u.ac.jp)