

化学変化の不思議な現象から微視的なものの見方や考え方を高める子ども

— 中学 2 年「酸素がかかわる化学変化」の実践から —

1 単元のねらい

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しやすさの違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。

2 授業の構想

(1) 子どものとらえについて

IH調理器が普及し、「燃える」という現象を生活の中で見る機会が減ってきている今日ではあるが、それでも有機物が燃える現象を生活のあらゆる場面において見ることができる。また、金属が燃えるという現象は、花火などで見ることがあるが、その現象を科学的な視点から考えることはほとんどない。ましてや、その現象が酸素が関わっている化学変化だということを日常の生活の中で考えることはない。

本単元の学習に入る前に、中学校 2 年生の生徒 136 名を対象に事前調査を行った。まず、空気の入った集気びんに火のついたろうそくを入れ、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。次に、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説明させた【資料 1】。この質問について、「酸素だけが減少し、その

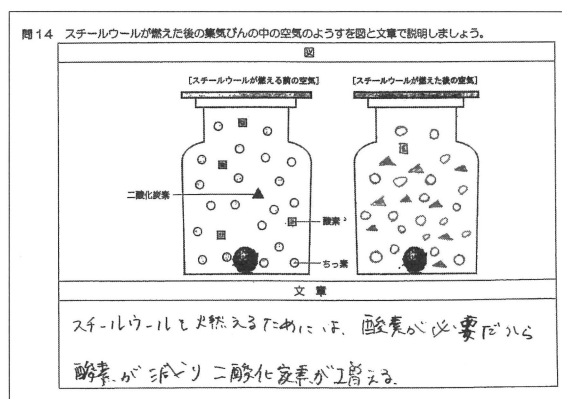
他の気体は変化しない」と回答した生徒は 3.7%であり、72.6%の生徒がろうそくのとくと同じように「酸素が減少し、二酸化炭素が増加する」と回答した。このことは、有機物の燃焼を中心に学習してきた生徒にとっては当然の考え方である。この他に、「変化しない」、「水ができる」、「窒素が減る」、「酸素が増える」などの回答があった。

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 2】。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事前調査から確認できた。逆に、「全ての物質が燃える」という解答をしている生徒が 3.7%程度いた。

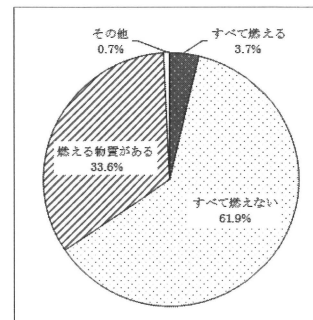
(2) 本単元の内容と理科で考える思考力・判断力・表現力の育成との関わりについて

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、原子同士の結び付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。

【資料 1】 (生徒 A)



【資料 2】 事前調査結果



本学校園理科の中等部として思考力・判断力・表現力を「自然の事物・現象について問題を見だし、目的意識をもって観察・実験などを行い、事象や結果を分析して解釈し、言葉や図を使って考察し表現して、課題や問題を解決していく力」ととらえている。本單元において微視的なものの見方や考え方を高めるために、周囲の人に自分の考えを伝え、人と力を合わせて、課題を解決していく場面を設けた。課題を解決するために事実に基づいた自分の考えをもつ時間、班の中でそれぞれの意見を言葉や図を使って表現し合う場を確保した。そして、その意見を学級全体で共有し、互いの意見を交換しながら課題を解決する学習を進めた。単元を通して、このような学び合いを行うことによって科学的な思考力・判断力・表現力を高めようと試みた。

(3) 思考力・判断力・表現力の育成に関する学び合う場面の構想について

生徒たちの科学的な思考力・判断力・表現力を高めるために、学んだことをいかすことのできる学び合う学習を單元の中に組み込み、次の二つのことを大切にしながら学習を進めた。

一つ目は、生徒のもつ素朴概念をもとにした單元構成である。本単元を貫く柱を「燃焼の理解」とし、燃焼とは酸素と化合することであり、二酸化炭素が発生しないものもあること、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焼することを理解させる単元を構成した。第1次は、金属の燃焼についての学習を通して、原子や分子のモデルと関連付けて思考させ、粒子概念の形成を図った。その中で金属が酸素と結合して別の物質に変化すること、その際に二酸化炭素が発生しないことをおさえた。第2次は、質量保存の法則や定比例の法則の学習を通して、金属と化合している酸素に着目し思考させた。第3次は、いろいろな物質を用いて酸化物を還元する学習を通して、酸化・還元は酸素原子との結合のしやすさによって原子同士の組合せが変わるといふ微視的なものの見方や考え方を身に付けさせようとした。観察・実験の結果を既習事項と関連させながら分析して解釈する活動や、原子や分子のモデルを使って考えたり説明したりしながら学び合う学習の時間を確保して、燃焼という化学変化を微視的な視点から理解できる生徒の育成をめざした。

そして、二つ目は教師のはたらきかけである。生徒の発言に対して、すぐに評価するのではなく、リボイシング（再声化）と言われる、教師が復唱したり要約したりすることを行いながら、生徒の思考をゆさぶり、学び合いの中で思考を深めさせることを大切にしたい。そして、学んだことをいかすことのできる学び合いを進めるために、思考の道具として「酸素原子との結合しやすさ」を中心に思考させる授業を展開した。このことは、人類の金属の利用の歴史に大きな影響を与えており、科学と自然をつないで思考できる生徒の育成につながると考えた。

3 展開計画

次	主な学習	時	具体的な学習・内容（◇印は、学び合い）
1	ものが燃えるとはどのようなことなのか	1 2 3	<ul style="list-style-type: none"> ・物質が燃えたときにできる物質について調べる。 ・酸素が化合する化学変化について理解する。 ◇鉄・炭素をそれぞれ加熱する前後での質量を比較して、燃えるとはどのような変化であるかに気付く。
2	化学変化が起こるとき物質の質量が変化するのか	4・5 6・7 8 9	<ul style="list-style-type: none"> ・金属を熱したときの質量変化を調べる。 ◇反応する物質の質量比が一定であることを見いだす。 ・化学変化の前後の物質の質量を調べ、質量保存の法則を検証する。 ◇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ことを見いだす。
3	酸化物から酸素を取り出すことができるか	10 11 12 13	<ul style="list-style-type: none"> ・酸化物から酸素をうばう実験を行う。 ◇還元について、原子や分子のモデルを使って表し、考察を深める。 ◇二酸化炭素の中でマグネシウムが燃えることを推測し、説明する。 ◇金属を取り出す歴史について、酸化と還元の化学変化の原理を用いて説明する。

4 授業の実際

前述したように、事前調査の結果から生徒たちは、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、次の二つの科学概念の定着を図るために単元の学習を進めた。また、これらの科学概念を確かなものにすることによって、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期待できる。

- ア) 二酸化炭素を発生しない燃焼もあること
- イ) 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

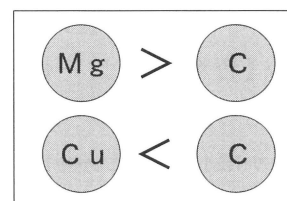
(1) 二酸化炭素を発生しない燃焼を理解するために

第1次では、ア)の科学概念を身に付けるために、有機物と無機物(金属)の燃焼の違いを考えた。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違いを考察した。そして、学び合いながら生徒たちは酸素が結びつく相手が違うことを導き出した。授業後のふりかえりには、次のように書いている。

- 生徒B 最初はなぜか分からなかったけど、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付いたり、木の中の炭素や水素と結び付いたりする。
- 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。

(2) 二酸化炭素中で燃焼する化学変化を理解するために

第3次では、イ)の科学概念をおさえるために、酸化・還元を金属と酸素との結びつきやすさの違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お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焼することができる」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、生徒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、次のように書いている。



酸素との結びつきやすさ

- 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。

また、この学習の後さらに、自然と科学をつなぎ化学の有用性を実感させるために、酸素と結び付きにくいものから金属を利用してきた人類の歴史について学習を進めた。

(3) 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考える(第3次第12時)

本時は、第3次の第12時に当たり、「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2】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もいれば、

「二酸化炭素があるから燃えない」と説明している生徒もいた。

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3】～【資料5】は、班のホワイトボードの記述である。

【資料3】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」とまとめた班が三つあった。

【資料4】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、酸素の結び付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」とまとめた班が四つあった。

【資料5】も「燃え続ける」と考えた班のホワイトボードである。マグネシウムは酸素と結び付きやすいために、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付きやすいから燃える」とまとめた班が二つあった。

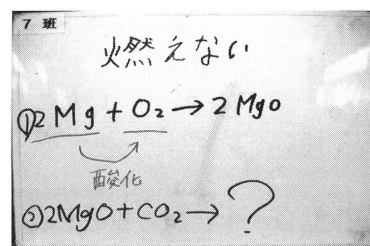
③ 各班のホワイトボードの記述をもとに学級全体で学び合う

ホワイトボードの記述をもとに学級全体で学び合い、酸素原子との結び付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付きやすいことから、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。

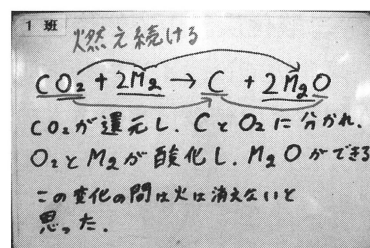
【資料2】(生徒G)

<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

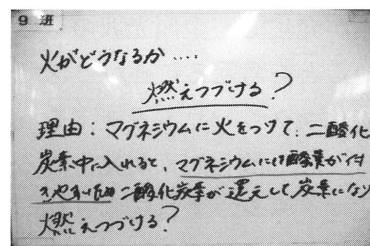
【資料3】



【資料4】



【資料5】



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？

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ちがって還元されなかったの、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。

T : くっつきやすいとどうなるの？

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。

T : マグネシウムが炭素よりも酸素と結び付きやすいので、マグネシウムが還元をする。そのことによっ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？

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(8班)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。

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？

生徒I : そうです。

(・・・略・・・)

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？

生徒J : マグネシウムは酸素と結びつく力が強いから。

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？

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(4班)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す。

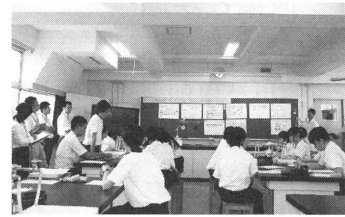
T : 以前の実験で、酸化銅と炭素だったら、炭素の方が酸素とくっつきやすかった。これは、何で分かりましたか？

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。

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、酸素との結び付きの強さというのは、物質によって違うということですか？

生徒多 : はい。

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。



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6】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。

演示実験の様子



【資料6】(生徒G)

<2> 話し合ったことや実験をひまえて、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。
火はどうなったか
燃え続けた(一定の時間燃え3)

<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、
Mg > C のは~ 燃えつぎける。
C > Cu
Mg > Cu

5 成果と課題

「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着けた後の空気の様子を同じように質問した

【資料7】。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にとらえることができる。

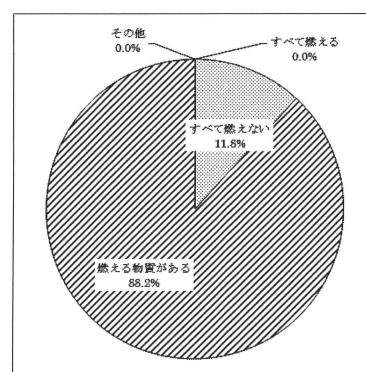
また、二酸化炭素の中で物質が燃えるかどうかを質問した【資料8】。この質問については、「二酸化炭素中でも燃える物質がある」と答えた生徒が88.2%いた。事前調査では33.6%であったので、多くの生徒において、「酸素がなければ物質は燃えない」という素朴概念から、「二酸化炭素分子中の酸素原子を奪うことができれば、二酸化炭素中でも燃える」という確かな科学概念を獲得していることが分かる。また、「すべての物質が燃える」という回答はなくなった。【資料9】は生徒Nの事前調査の回答、【資料10】は学習後調査の回答である。学習後は、酸素との結び付きやすさに注目して、現象をとらえていることが分かる。

【資料7】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図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8】学習後調査結果



【資料9】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、その理由も書きましょう。

- 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ょう。

答え	選んだ理由を書きましょう。
②	二酸化炭素の中で、物質は燃えないから。

【資料10】生徒Nの学習後調査

答え	選んだ理由を書きましょう。
③	その理由は酸素と結びつきやすさから、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上で、ア) 二酸化炭素が発生しない燃焼もあること、イ) 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、より微視的な見方や考え方を身に付けることができるということが分かった。金属原子と酸素原子との結び付きやすさを思考する学習を中心に進めたことが、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上で効果的であったように思う。

しかし、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生徒は、学習前より増えてはいるが正答率が3/4程度に過ぎず、理解をしていない生徒がまだ1/4いるのが事実である。今後は、さらに燃焼という現象を理解でき、既習の内容をいかせるような単元構成を検討していく必要があるように感じている。また、ホワイトボードを有効に活用し、学び合いを活性化させるための手法も検討していく必要がある。発問の言葉の工夫をすることや現象を考察させる上で見えない原子の存在をどのように扱っていくのが効果的なのかを検証していきたい。

(文責 園山 裕之)