

II 金属がイオンになるときの発熱を調べる

1 試験管が熱い！

「先生、試験管が熱くなっているよ」

「アッ、ほんとだ。どうして？」

これは、昭和 40 年頃の「硫酸銅水溶液に鉄粉を加え、銅の析出と銅イオンの青色の消失からイオン化傾向の違いを見いだす」という実験での生徒の発言である。

中学校理科第 1 分野の大きな柱は物質概念とエネルギー概念であるが、理科の目標（分野の目標）に「エネルギー」という語が初めて登場したのは、意外に新しく、昭和 44 年告示の学習指導要領であって、それまでは化学変化についてのエネルギー的なものの見方は、あまりされていなかったように思う。そういう中でも、生徒たちは物質の変化による発熱に気づき、それに大きな疑問を持っていたわけである。

理科の目標に「エネルギー」という語を導入した学習指導要領に基づいて発行された新しい教科書（昭和 47 年版）では、物質概念とエネルギー概念の接点ともいえるイオンやイオン化傾向についての取り扱いが変わった。水溶液中を電流が流れるのは物質の移動によることを発見させたり、電解質の溶液中に置いた 2 種の金属間の電圧を測ることによってイオン化傾向を推定する実験が取り上げられている。

しかし、初めにあげた生徒の気づきのように、金属のイオン化に伴う発熱はずっと身近で直接的である。この発熱量からイオン化傾向に迫れないものだろうか。勿論、物質と電気のかかわりとしてのイオンの学習である以上「熱」だけではどうにもならない。しかし、うまくいけば物質とエネルギーのかかわりについてさらに深い理解が期待

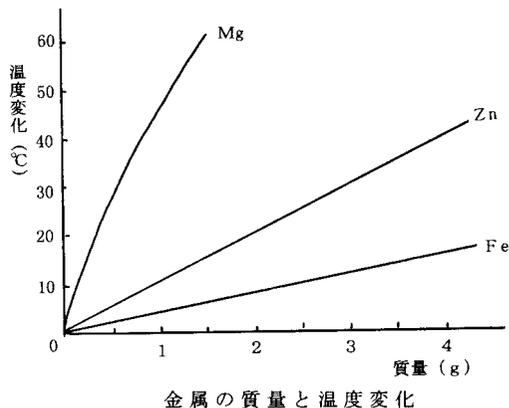
できるのではないか。そんなことから、金属のイオン化に伴う発熱について調べてみたいと考えたのは、昭和47年のことであった。

さいわい、この年には、奈良県教育委員会第2種研究員の指定を受けることができ、中村隆昭、宮本隆子の両先生と共に、この研究に取り組むことになった。

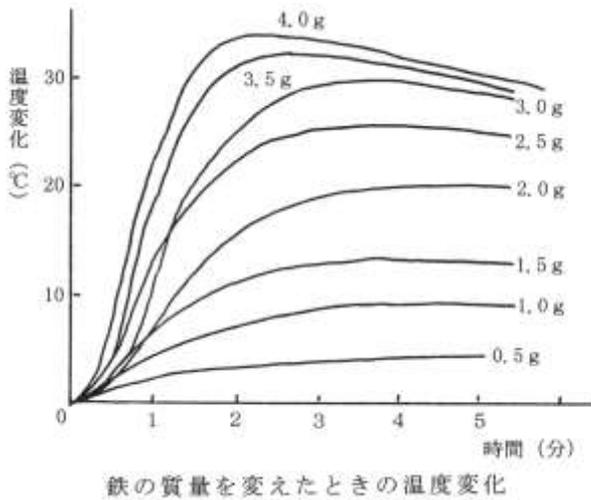
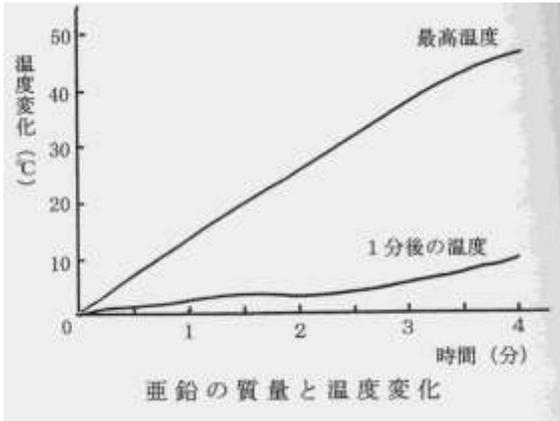
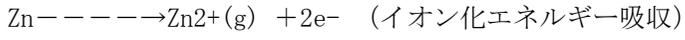
勿論、これは教師としての研究の1つであり、先の項目で述べたような生徒が主体的に取り組んだ研究とは異なるものである。しかし、この研究を進める過程で、生徒に主体的に取り組ませることのできる部分については、これを生徒が取り組むことができるような適切な課題に言い換え、生徒に任せるようにしてみた。これは、生徒と共に探究の過程を歩み、共に科学の楽しさを味わいたいという考えからであった。

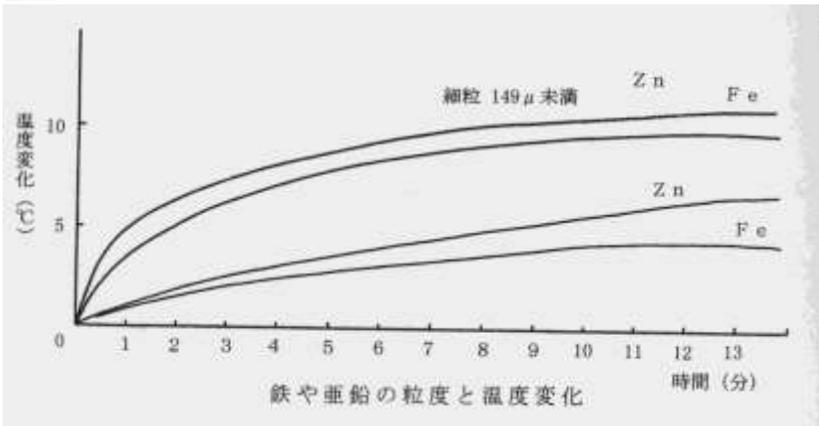
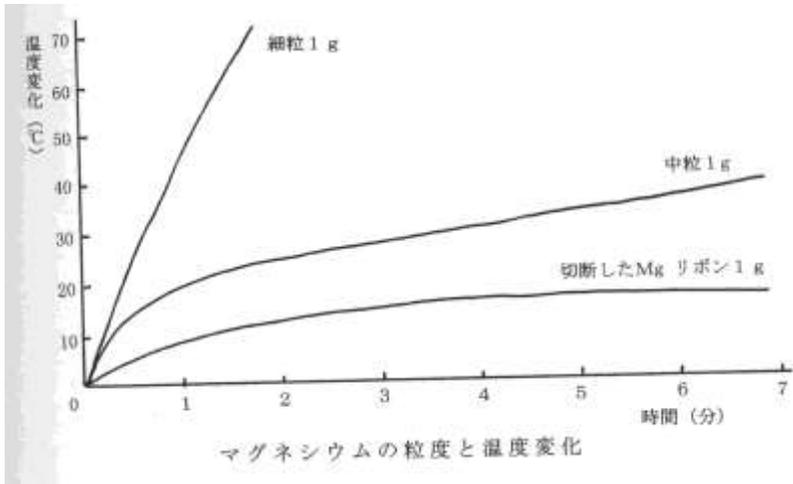
2 金属の種類や量による発熱量の違い

このことについて調べるため、1M硫酸銅溶液50?に、マグネシウム、亜鉛、鉄の3種の金属を、0.5gから4.5gまで、それぞれ0.5gきざみに加え、3分後の温度上昇の様子を調べてみた。これが上のグラフである。

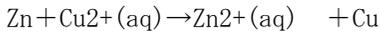
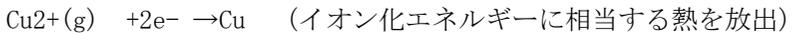


このような、 Cu^{2+} を含む水溶液に金属を加えたときの発熱の機構を亜鉛の場合について考えてみると、





(水とエネルギーに相当する熱を吸収)



となり、反応によって生じるエネルギーは、式で示したエネルギーの和になる。そして、金属が水溶液中でイオン化するときの発熱量は、グラフから明らかなようにイオン化傾向の大きい順に一致している。しかし、この実験には、次の①、②のような問題点が考えられる。

- ① 一定時間の温度変化としてどれだけの時間をとればいいのか。
- ② 攪拌の仕方、反応速度や発熱量が変化しないか。

3 温度変化をどうとらえるか

発熱量を知るための温度上昇の測定は、一定時間後とするのがよいのか、それとも、最高温度をとるのがよいのかを調べるため、亜鉛と鉄についてさらに詳しく実験することにした。

上の図は亜鉛の場合の結果である。(鉄の場合の結果は省略した)

この結果では、最高温度に達するまでの温度変化は、加えた金属の質量に比例しており、攪拌条件や粒度による違いはほとんどなかった。しかし、1分後の温度では、それぞれ 1.5 g 付近からグラフに変化が見られ、粒度や攪拌条件によって大きな差が生じた。

以上のことから、温度変化のデータとしては最高温度までをとるのが適当ではないかと思われる。しかし、ここでも次の①、②のような問題点が出てくる。

- ① 熱の発散や、完全に反応しているかどうかを考えると、最高温度が真の発熱量を示していると考えてよいのか。
- ② Mg の激しい反応では、最高温度の測定が困難である。

また、ここでは省略したが、やや粗い Zn 粉を用いた結果と比較すると、粒度と反応速度との関係や質量と温度変化との関係についても、まだまだ疑問が残っている。

4 質量によってどう変わるか

金属の質量によって上昇する温度は違うが、そのときの温度変化はどう違うか。すなわち、時間と共に温度がどのように変化するのか。このことについて、鉄を用いて詳しく測定した結果が右の図である。

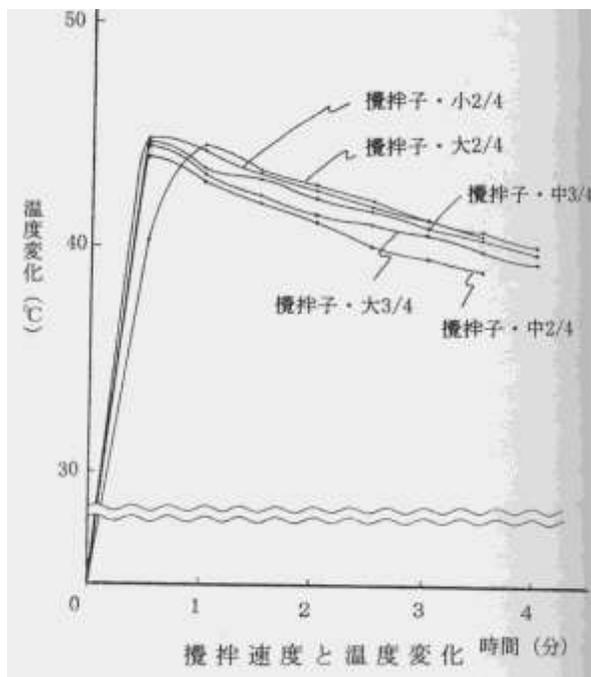
また、ここでは省略したが、亜鉛を用いたいくつかの例を見ると、1 M硫酸銅水溶液 50?との理論反応限界以上の 3.5 g や 4.0 g になっても、さらに大きな温度上昇が見られることが分かる。

質量と熱だけを考えるならば最高温度までの上昇をデータとするのが適当であるが、粒度や攪拌条件などを統一できるならば、一定時間内の温度上昇をデータとすることもできるように思われる。

5 攪拌するときの条件によってどう変わるか

この実験を進めていくと、その結果があまりにも多くの反応条件に左右されることが分かってきた。そこで、攪拌の仕方による発熱量の違いを調べることにした。

この実験では、攪拌の速さを一定にするため、マグネチックスターラーを用い、速さは調節つまみの位置で 2/4 速や 3/4 速のように表すことにした。



右の図は、亜鉛の場合の結果である。これによると、小さな攪拌子

を用いて、回転速度を止まらない程度の 2/4 速にしたときも、大きな攪拌子を用いて、溶液が飛散しない程度の 3/4 速にしたときも、グラフで見る限りほとんど差はない。しかし、鉄を用いた結果では 2/4 速～ 3/4 速では、ほぼ同じであるが 1/4 速の場合がより高い温度を示すなど結果に乱れがあった。

実験の結果から、亜鉛については、攪拌が一様に行われるならば、攪拌速度による温度上昇の違いはほとんど認められないが、鉄の場合はスターラーの磁気の影響があったり、攪拌子に鉄粉が付着するなどの問題がある。したがって、むしろ手による攪拌のほうが優れているといえた。

6 粒度によってどう違うか

粒度による違いについて調べるため、鉄、マグネシウム、亜鉛の3種について粒度の異なる粉末を用いた実験を行った。攪拌は、鉄については手で行い、他はスターラーを用いた。マグネシウムの場合の結果は、下の図のようになった。

鉄では（結果は省略）、細粒のものと中粒のものとで最高温度は等しいものの、早く温度が上がるのは中粒のものである。粗粒のものでは、予想どおり温度上昇がゆるやかであった。マグネシウムでは、細粒（0.25 mm以下）と中粒（0.5～ 1 mm）を用いたが、著しい温度上昇の違いが見られ、参考のために行った切断したマグネシウムリボンを用いた実験では、著しく低くなっている。なお、亜鉛でも細粒のほう

がより速い温度上昇を示したが、最高温度は等しかった。

以上の3種類の金属を用いた実験の結果から、粒度による温度上昇の違いが極めて大きいことが分かり、粒度の違いをそのままにして考える訳にはいかないことが明らかになった。

粒度による違いは溶液と金属が接触する面積の違いであろう。しかし、鉄では、それ以外の要素の影響も大きいと考えられる。その1つに、異なる試薬びんのものを用いて粒度を変えたために開栓後の時間的な経過によって酸化の程度が違っているということが考えられる。

そこで、粒度以外の条件統一を図るため、同一試薬びんから篩で分けたものを使って実験を行った。下の図は、その結果である。

このときには、日本薬局方準抛の篩No.100 を用い、 $149\ \mu$ 以上のものとそれ以下のものとに分け、サーミスタ温度計と小型レコーダーを使用した。この結果からは、鉄の場合では、酸化等、粒度以外の条件が大きく関係していたことが考えられ、粒度だけについて考えても、細かいものほど発熱量が大きく、異なった金属を比較するには、粒度の違いを十分に考える必要があることが分かる。

7 この実験に対する生徒の反応

イオン化傾向を定量的にとらえることは、厳密には熱力学を学ばねばならない。化学反応は、エネルギーの減少する方向に起こりやすく、その減少量が大きいほど、その傾向は大きい。そうしたことの理解は困難であるにしても、一般に化学反応の起こる傾向については、その反応に伴うエネルギー変化と関係がありそうだという事は中学生

であっても理解できることであろう。

私たちは、生徒の実験観察能力を評価し、あわせて研究のデータを収集するため、昭和47年10月24日、次のようなテストを73人の2年生を対象にして実施した。

- ① 準備……生徒1人ずつに、1M硫酸銅溶液4?を入れた試験管2本とマグネシウム粉0.5g、鉄粉1.5gと③の問題用紙をを配付する。
- ② 指導……できるだけ詳しく観察して記録するように話し、あとは自由に取り組ませた。
- ③ 問題用紙

- 1 マグネシウムを加えたとき、どんな変化が起きましたか。
- 2 鉄を加えたとき、どんな変化が起きましたか。
- 3 マグネシウムと鉄では、どんな点が違っていますか。
- 4 マグネシウムでも鉄でも同じだったのは、どんな点ですか。5 この実験で感じた疑問やこれから調べてみたいことは、どんな点ですか。

この作業にかけた時間は55分であったが、この間、生徒は一言も口をきかず真剣そのものであった。2組目のときは、あまりにも静かで自分がいるのもおかしいくらいになり、ほかの用事を兼ねて職員室に戻ってしまった。そのとき、職員室に来られた校長先生から、

「今の時間はあいているか」

とのお尋ねがあった。

「いいえ、授業中です」

「ここにいるじゃないか」

「いいえ、ここにも授業はきちんとできているんです」

「まさか。それはどういうことですか」

不思議に思われた校長先生と理科室に行くことになった。1階の西端の理科室は静まり返っていた。

「誰もいないじゃないか」

校長先生は、ガラッと前の戸を開けられた。びっくりしたのは生徒たちである。突然の物音に叫び声をあげた女の子もいた。次にびっくりされたのは校長先生であった。そっと戸を閉めながら「何の勉強ですか」と尋ねられた。ぼつぼつ生徒の荒れが問題になりつつあったころであるが、そんなことはみじんも感じられないこの時間は今も懐かしい思い出である。

この調査の問題1に対する回答には、

- ・気体が出る
- ・音をたてる
- ・熱くなる
- ・液が変色する
- ・マグネシウムがなくなる
- ・茶色の沈殿ができる

などがあり、31項目、回答数は364に達し、次の学級では回答用紙をB4判にしなければならなかった。

問題5に対しても多くの回答があった。30通りほどに分類できた回答のうちの主なものをあげると次のようになる。

ア なぜ青色がなくなったのか

イ なぜ熱が発生したのか

ウ 鉄を加えたとき茶色になったのはなぜか

エ マグネシウムと鉄で違った結果になるのはなぜか

オ この溶液は何か。どんな性質をもっているのか

カ 他の金属ではどうなるのか

キ 発生した気体は何か

ク できた沈殿は何か

ケ 加えた金属と沈殿の量的な関係はどうか

コ 発生した熱量を調べたい

そして、中には、
「溶けやすいマグネシウムは溶けにくい鉄より原子が小さいのではないか。このことから、原子の大きさを測ることはできないのか」
こんな考えを書いた生徒もいた。

8 教材化には…

金属のイオン化に伴う発熱を手がかりに、できればイオン化列の決定までできたらと考えていた初めの目的は達成できなかった。しかし、電子の授受といった微小な変化による発熱をダイナミックにとらえることのできるこの実験は興味深く、それなりに教材としての有用さは持ち合わせていそうである。では、理科学習の中で、どう教材化し、どこに位置づけていけばよいのだろうか。

? 物質と電気の学習の導入として

イオンの学習といえば、水溶液の導電性の実験から始まるのが普通であり、これが学習目標につながる最短コースであろう。しかし、化学領域の学習が2年の「物質の変化と熱エネルギー」で終わっていることを考えれば、この実験を単元の導入として使うのもよいのではないか。そして、鉄粉が発熱を伴って溶けていく反応を観察して、「鉄はどうなったのだろう」「どうして熱が出るのか」などを討論し、イオンの学習に入りたいと考える。

? イオン化列決定の発展として

現行の教科書の多くが採用している「電解質溶液をしみ込ませた口紙の上に置いた金属片間の電圧を測り、その結果からイオン化列を考える」という実験のあと、イオン化と発熱という観点からイオン化列を見直させるならば、より深い理解につながるのではないだろうか。

? 単元「化学変化と熱エネルギー」の教材として

この学習については、いろいろな実験が考えられる。ショ糖の溶解などと違い明確に熱が発生することを発見することができる。また、マグネシウムと鉄の場合を比較することによって物質の違いと反応の違いに気づかせたり、質量を変えての実験では化学変化にかかわる物質の間には一定の割合があることを発見させるなども考えられる。そして、このような手だてで2年の学習を終えるならば、スムーズに3年の学習につないでいくことができるのではない。

このほか、この実験に取り組んだ生徒たちが、たくさんの疑問を持ち、調べてみたいことがらをたくさんあげたという事実からは、観察力や情報解釈・推論の能力のテストやドリルとして役立つようにも思われる。

9 条件統一とは

これまで、生徒には、実験の条件統一の重要性について考えさせてきた。しかし、この研究を振り返ると「研究とは条件統一の仕方の研究である」という感じさえする。質量を等しくし、粒度を統一し、攪拌条件を揃えたのは勿論のこと、粉末の表面はどうなのかとまで考えた。最後には「マグネシウムと同じ性質をもつ鉄」が必要になり、マグネチックスターラーを使う中で「磁石にくっつくマグネシウムが欲しい」とまで思った。とにかく、条件統一とは言いは易く行うは難しいことである。

この後、私は銅イオンを含む溶液に鉄粉を加え、反応が終わったあとにマグネシウムを加えるという実験を行わせてみた。この実験では、それぞれの反応において発熱した。そして、鉄のイオン化によって茶色の銅が析出するのが見られ、マグネシウムのイオン化によって鉄が得られることを磁石によって確認することができた。これも、イオン化列の探究に役立つ方法である。

さて、この研究は奈良県教育委員会指定第2種研究員としての研究であり、奈良県教育センター研究集録（昭和48年10月発行）に登載されている。第2種研究員というのは、月に1回程度の割合で奈良県教育センターに通って研究を進めるものである。したがって、平素は学級担任であり、教科担任である。その日だけ児童生徒と離れ、研究を進めることができるという制度である。現場を離れて大学院に学ぶといったものとは異なり、研究に専念することはできない代わりに、常に子どもたちに視点を置いた研究、児童生徒から遊離することのない研究ができる。そうした意味で、この制度は教師のリフレッシュに資するところが極めて大きい。さらに、このような制度が拡充され、実践的な教育研究が活性化することを期待したい。