

「原子と分子」の考え方とその成立過程に重点をおいた指導例*1

徳島県立徳島中央高等学校 西條 敏美

1. はじめに

現代の自然科学は、物質科学・生命科学いずれにしても「原子と分子」の考えを基礎にして組み立てられている。したがって、自然の事象を原子と分子の立場から理解する姿勢を身につけることは、きわめて重要である。

ところが、重要であるあまり、教科書などで「原子と分子」は当然のこととして初めから与えられ、「その結果、こうなっている」という押しつけた書き方をしている。いわゆる事実の羅列ばかりであって、教科書を読んでも面白くなく、自分自身の日常生活の体験に根ざしていないので、内容の理解もおぼつかない。進んで学んでみようという意欲も起こってこない。

確かに、高校生ともなると、すべての物質が原子や分子からできていることは知識としては知っている。筆者が、化学IBの授業を担当した1年生1クラスに対して、「原子や分子の存在をしみじみと感ずるか」と問いかけたところ、40人のうち5人は「しみじみと感ずる」と答えたが、32人は「知識としては知っている」と答え、「原子は存在しない」と答える者も3人いた。「しみじみと感ずる」と答えた者のうち2人が所感を書いていて、一人は「呼吸をするときしみじみ感ずる」と答え、もう一人は「たまに見える気がしませんか。なんていうか、ほこりとか見えたら、分子があったらこんな感じかなあと思ったことがありました。でも分子は見えないんですね。見えたら化学の勉強が分かりやすいのに…」と書いていた。

日常生活のどこに原子や分子という微粒子の存在の片鱗が現れているかに注意を払い、少しでも身近なものとして捉え、その大切さを理解させるような授業を試みた。

2. 授業計画

少しでも、生徒の一人一人が、原子や分子の存在を自分自身で生活体験の中から感じとるようになるために、教師中心の一斉授業ではなく、生徒中心の

発見学習を行うように、次のような段階を追うようにした。指導授業時間は全6時間である。

- ①物質が「原子」や「分子」という、とにかく小さな粒からできていることを、現れた事実や現象から自分で見つける。
- ②班を作り、それ①を示す実験や観察を考え、実際に実験や観察を行なう。また、実験はできる限り身近な材料や器具を用いる。
- ③班毎に実験や観察したことを1枚の用紙にまとめる。
- ④班毎に教壇に立ち、口頭発表を行う。発表する者、発表に合わせて演示実験をする者と分担する。実験を通してどのようなことが言えるのか、最も訴えたいことは何か、をはっきりさせるように注意する。
- ⑤教師により原子論の根拠を説明する、また原子量の測定演示実験も行う。

3. 授業実践

3.1 テーマの設定

「身近な生活の中のどこに物質の粒子性が現れているか、物質が小さな粒子の集まりからできていることは何によってわかるか」と問われても、初めは戸惑う生徒がほとんどであった。

そこで、「水に赤インクを一滴落とすと水の中にインクが拡がっていく、という現象は、水も赤インクもともに小さな粒からできていて、水の粒の間にインクの粒が拡がっていく、と考えないと理解しにくい」などの例を出すと、「じゃ、煙が空気中に拡がることも同じだ」などという意見も出てきた。他にも、「洗濯ものが乾くことも、水が小さな粒からできており、一粒一粒が衣類から離れていくからであり、もしそうでないのであれば、いつまでたってもじゃぼじゃぼで乾かない」などと話すと、意外に納得してくれる。

しかし、物質が粒子からできていることを示す現象、しかも実験や観察を行うことができるものを見つけたとなると、なかなか見つけにくいので、生徒

の中から出てきた意見に加え、教師の提示したテーマも含めた中から一つを選ばせるようにした。さらに、それをもとに一歩進んだ課題学習のテーマも決めさせた(表1)。そして、次の時間までにそのことをどのように演示実験するか考えてくこと、必要な器具や材料は各班で準備してくること、薬品など準備できないものがあれば相談にくること、放課後に理科室に残って自由に実験してもよいことなどを伝えた。班は1班4名程度の10班とした。

3.2 実験

演示実験の準備のために放課後に残って予備実験をしたり、ブラウン運動の観察のために顕微鏡の準備を頼んでくる生徒もいた。

授業においては、各班ごとに異なる実験が行なわれた。その結果を用紙に記録させ、授業の最後の時

表1 各班の学習テーマ一覧

班	原子の存在を示す現象	課題学習のテーマ
1	水に砂糖を溶かす	原子の存在が確かなら、原子の質量がいくら小さくても求めることができるはずである。どのような方法が考えられるだろうか。
2	ナフタレンの気化	「原子量」とは何だろうか。どのようにして数値を決定したのだろうか。
3	水とアルコールの混合	原子は電子顕微鏡で見えるのだろうか。
4	水に塩を溶かす	原子は電子顕微鏡で見えるのだろうか。
5	水の分散	「モル」とは何だろうか。
6	ブラウン運動	原子の存在が確かなら、一つ一つの原子を数えることができるはずである。アボガドロ数という数があるが、これは何なのだろうか。また、どのようにして、その数値は決定されたのだろうか。
7	ヨウ素をアルコールに溶かす	ドルトンは、どうして原子という微粒子を考えたのだろうか。
8	水に墨汁を溶かす	原子の存在が確かなら、原子の質量がいくら小さくても求めることができるはずである。どのような方法が考えられるだろうか。
9	空気の圧縮・膨張	「モル」とは何だろうか。
10	空気の圧縮・膨張	アボガドロは、どうして分子という微粒子を考えたのだろうか。

(注) 複数の班が同一テーマを選ぶことも生じた。課題研究は夏休みの宿題とした。

間に、自分たちの班が行った実験とその成果を発表させるようにした。

3.3 発表会

各班には実験観察記録を書かせ、それを印刷して全生徒に配布したが、それだけでは限られた時間内にうまく口頭発表ができるとは限らない。そこで前もって発表原稿を作らせて提出させるようにした(資料1)。

3.4 教師によるまとめ

古代ギリシャにおいて、原子論があったことをルクレティウス*2の詩の朗読を通して知らせた。そして、質量保存の法則、定比例の法則、倍数比例の法則という今日ではあまりにも当たり前になっている法則も、すでに我々が「原子」という考えを持っているからこそそう言えることを、黒板に原子に見立てたフェライト磁石を張りつけて説明した。

また、原子という微粒子の存在を認めるなら、各元素ごとの原子の質量に違いがあるはずである。ここで、原子間の相対的な質量の比を表す「原子量」の考えへと進み、フラスコ内でのマグネシウムの燃焼の演示実験でその求め方を示した。

表2 アトム(原子)を詠んだルクレティウスの自然詩から
ぶどう酒が酒ごしをどれほどはやく流れすぎるかは目にすることである。

それに反して、とろりとしたオリーブ油はゆるゆると流れる。

それは、あるいは大きなアトムからできているためか、あるいは、ひどく曲がったり互いに絡み合っていてすぐアトムが離れ離れになって、一つずつそれぞれの穴を突き抜いていけないためである。

それに加えて、はちみつや牛乳の液体は口に入って舌に喜ばしい感じを与える。

これに反し、苦いのがよもぎや嫌らしいやぐるま菊は、その嫌な味や香りで顔をゆがませる。

たやすくわかるように、なめらかで丸いアトムからできているものこそ感覚に楽しく触れるものなのだ。

これに反し、苦くまたからく思われるものはみなひどく曲がって、もつれ、絡み合っており、それゆえに、無理やりに押し通って私たちの感覚を痛め、体に突き入ってくるのである。

ルクレティウス『物の本質について』より

資料1 各班の発表原稿から

1班 水に砂糖を溶かす

1班は、水に砂糖を溶かす実験をして、原子の存在を確かめてみることにしました。

まず最初に、水20mlに対して砂糖5mlを溶かしてみました。すると23.5mlの砂糖水ができました。同じように、水25mlに対して砂糖5mlを溶かしてみました。すると、28mlの砂糖水ができました。いずれの場合も体積が減るという結果になりました。

この実験から、疑問が明白に浮かび上がります。それは、なぜ体積が減るかということです。ここに原子の存在が隠されていると思います。

「『溶ける』ということは、溶質が溶媒の中に取り込まれ、均質化する」ということです。この場合の溶媒は水で、溶質は砂糖です。

2班 ナフタレンの気化

僕たちはナフタレンを蒸発させ、原子の存在を確かめる実験をしました。その方法は、まず三脚の上に石棉金網を乗せ、その上にナフタレンを入れた蒸発皿を乗せて、下からガスバーナーであぶります。使用したナフタレンは4個です。

加熱を始めてから2分で溶け始めて、3分でほとんど液体になりました。4分で完全に液体になり、気化し始めました。これは肉眼でも確認できました。同時に刺激臭も発生しました。4分30秒で4個すべてが気化してしまいました。

初めに固体だったナフタレンが、熱せられることによってばらばらになって空気中に拡散してしまい、刺激臭を発生したのだと思います。このことは、「ナフタレンが小さな粒、すなわち分子からできている」ことを示しています。容器に入れておいた水がいつのまにやら無くなっているのも、同じことだと思います。

最初にマグネシウムの質量を測定しておき、次に燃焼後の物質(酸化マグネシウム)の質量を測定した。燃焼後の物質の質量と、最初のマグネシウムの質量の差が酸素の質量となる。前もって行っておいた測定値と授業で行った測定値を見ると、いずれもマグネシウムと酸素の質量の比はほぼ一定となった。原子の一粒一粒は見えなくても、この二つの質量比が常に一定であることで、原子の存在を裏付けていることに注意を促した。

続いて、気体反応の法則を説明するために、原子が複数個結びついた「分子」という微粒子の存在を認

3班 水とアルコールの混合

僕たちは、水にアルコールを混ぜる実験をしました。用意したアルコール5ml、10ml、15mlに水10mlを混ぜてみました。

結果は、アルコール5mlに水10mlを混ぜると14mlの混合液ができました。アルコール10mlに水10mlを混ぜると18mlの混合液が、アルコール15mlに水10mlを混ぜると23mlの混合液ができました。

いずれも、混合液の体積はもとの液体の体積の和より減っています。これは、「水もアルコールも大きさの違う小さな粒からできている」と考えるとうまく理解できます。粒と粒の間には隙間ができます。この隙間に小さな別の粒が入り込むと考えると、体積は少し減るはずだからです。

6班 ブラウン運動

私たちはブラウン運動の観察をしました。最初にブラウン運動について説明します。

1828年にイギリスのブラウンという学者が花粉の小さな粒を水に浮かべて顕微鏡で観察していたとき、その小さな粒がまるで生き物のようにジグザグ動いていることを発見しました。このことは、「水もまた小さな粒からできている」と考えると理解できる、とブラウンは考えました。

水の小さな粒は花粉の粒よりもっと小さく、顕微鏡では見えません。また、水の小さな粒は止まっておらず、ジグザグと動いています。このとき、水の小さな粒が花粉の粒に絶えず当たるので、その結果花粉の粒は不規則な動きをします。私たちは花粉の代わりにチョークの粉と墨汁を使って、ブラウン運動を確かめる実験をしました。

まず、チョークの粉と墨汁を水で薄めます。次にホール付きスライドガラスに、チョークの粉を薄めた

めなければならぬことを伝えた。

最後に、今日では、走査型トンネル顕微鏡を使って一つ一つの原子が直接見えるまでに技術が進んでいることを教え、実際にこの顕微鏡で見た原子の姿をビデオで見せた。

4. おわりに

我々が化学を教えるにあたり、原子や分子の存在を当然のこととして初めから元素記号を暗記させ、原子量や分子量の意味もあいまいなまま化学反応式による計算に向かわせることが多いのではないだろ

ものと墨汁を薄めたものを、スポイトでそれぞれ1滴落とします。そして、顕微鏡で600倍にして観察しました。初めはチョークの粉が多すぎたので、何も見えませんでした。そのあとで、何度もチョークの粉の量を減らして薄めてみましたが、動きを見ることはできませんでした。また、墨汁も同様に水で薄めて観察しました。黒い粒のようなものは見えましたが、動きはやはり見えませんでした。

2回目は、牛乳と墨汁を準備して、先生と一緒に実験してみました。薄くした牛乳と墨汁をスライドガラスにたらし、顕微鏡で観察をしました。何度も練習をし、やっと、たくさんの小さな粒が細かく振えるように動いている様子を見ることができたときには、とても感激しました。ピント合わせがうまくできていなかったのです。

私たちは、ブラウン運動を実際に見ることができました。その原理も、また実際に起こっていることもよくわかりました。ブラウン運動が起こることから、「原子・分子という微粒子が存在することは確か」だとよくわかりました。

7班 ヨウ素をアルコールに溶かす

7班はヨウ素をアルコールに溶かす実験を考えました。準備するものは、ヨウ素、エタノール、試験管です。

まず、エタノールを、薄い・普通・濃い の三種類に分け、ヨウ素の入った試験管に入れます。薄いものは少しおくと黄色くなってきました。普通のは下から少し色が変わってきて、赤くなりました。濃いものはすぐに黒く変色しました。時間がたつにつれて、色はどれも濃くなっていきました。混ぜるともっと濃くなりました。また、ヨウ素を混ぜるとエタノールの臭いがなくなりました。

うか。大切なのは、前提としての原子や分子の存在を生活の中で実感させて、生徒自身が自ら体験して学ぶことができるように支援していくことである。もう一つの大切な視点は科学史である。原子や分子を考えなければならぬ必然性をさらによく理解するのに、科学史は欠かすことができない。

身近な体験や科学史をもとにして、自ら調べ、実験や観察を行い、その結果をレポートにまとめて発表する過程で多くのことを学び取ることができるものと思われる。

ヨウ素をエタノールに溶かすこの実験から言えることは、「エタノールもヨウ素も微粒子からできている」ということです。

私たちの班からみんなに訴えたいことは、化学は不思議なことが多いということです。普段私たちが知っていて当然という顔をしていても、この世の中には星の数ほどわからないことがあります。人間と動物、そして自然、この三つの共有される平和で安全な地球環境を目指すためにも、私たちはもっと広い視野で自分の身近な化学に目を向けるべきだと思います。

9班 空気の圧縮・膨張

私たちは、気体の圧縮と膨張について調べました。必要なものは、注射器とピンチコックです。まず、注射器の先をピンチコックで閉めて、押したり引いたりしてみました。このとき注射器は、押しても引いても元の体積に戻ろうとしました。

この実験から、温度が決まっている場合、体積を無理に小さくしたり大きくしたりしても、元に戻ろうとする、そしてその原因が「体積、つまり分子間の距離が決まっていることにある」ということがわかります。そして、「体積が小さくなるのは分子間の距離が短くなることであり、また大きくなるのは、分子間の距離が長くなる」ということが言えます。

この実験において、気体に何の微粒子も含まれていないとすると、引っ張ったときに元に戻ろうとするとは考えにくく、押したときについても同じことが言えます。このことから、「気体をはじめ、全ての物質は原子あるいは分子という微粒子からできている」と考えられます。

(注)4, 5, 8, 10班の発表は類似しているため、省略した(表1参照)。

<注>

- *1 本報は前任校・徳島県立阿波高校での実践記録である。
- *2 ルクレティウスは、紀元前1世紀のローマの哲学者・詩人。全編、自然の諸現象をアトムという微粒子の運動と離合集散で説明している。

参考文献

- 1)ルクレティウス著、樋口勝彦訳『物の本質について』岩波文庫(岩波書店、1961)。
- 2)西川亮著『古代ギリシャの原子論』(溪水社、1995)。
- 3)板倉聖宣著『原子論の歴史』全2冊(仮説社、2004)。