

上田高校 2 年生物理かわらばん

2012年3月発行

原子は本当にあるのか

原子・分子は目に見えません。目に見えない原子・分子について知るにはどうしたらいいのでしょうか。「原子・分子は目に見えないのだから、原子について考えたりすることは非科学的だ。科学者は原子・分子があるとかないとかを論じたりしてはならない。」と主張した科学者もいました。(19世紀末のマッハ、オストヴァルトなどの科学者—反原子論者) それに対して、原子・分子の存在を確信してそれをもとに研究を進めた科学者(原子論者)もいました。

20世紀初頭の物理学の大革命により原子・分子の存在をもとに考える考え方—原子論的自然観の勝利が決定的になりました。現代の物理学は原子論的自然観をもとにして作られたのです。

仮説実験的認識論による原子論的自然観の勝利

物理学の革命を起こした科学者たちは原子・分子をどのようにして知ることができたのでしょうか。原子・分子は目に見えません。目に見えない原子・分子について知るにはどうしたらよいのでしょうか。

科学者たちが使った方法は「予想を立てて実験する」という方法でした。この方法を確立したのは、「近代科学の父」と言われているガリレオ・ガリレイです。それ以来、科学者たちは「予想を立てて実験する」という方法で研究を進めて来ました。原子の存在を確かめるときにも「予想を立てて実験する」という方法で研究を進め、原子・分子の存在を証明することに成功しました。

「科学的認識は予想を立てて実験することによってのみ成立する。」という考え方を「仮説実験的認識論」と言います。(認識論というのは、人間はどうすれば正しい認識に達することができるかを明らかにする理論です。)

当たり前のことは最もわかりにくい

しかし、当たり前のことは最もわかりにくいのです。質量保存の法則なんてどう考えても当たり前のこととしか思えません。にもかかわらず、科学の歴史の中でその当たり前のことがわからなくなってしまうことがしばしばありました。当たり前と思っていた質量保存の法則がわからなくなってしまうと混乱し、紆余曲折の末、改めて質

量保存が再確認されるということが何度も繰り返されています。

研究を進める科学者にとって仮説実験的認識論は当たり前のことでした。しかし、オストヴァルトやマッハはいつの間にかその当たり前のことがわからなくなってしまったのです。「予想を立てて実験する。」という仮説実験的認識論に立ち返ることによって目に見えない分子の運動について明らかにすることが出来たのです。熱の正体が分子運動であるということを明らかにするときに改めて仮説実験的認識論の再確認が必要になったのです。

《温度と分子運動》の授業では分子運動をもとにして熱現象を予想するということが何度も繰り返しました。授業が終わったとき、「予想を立てる意義」についてみなさんに書いてもらいました。

私 が 考 え た 予 想 を 立 て る 意 義

自分の考えを確かめるため

- ◆自分が考えていたものが本当に正しいかどうかを明確にするために立てる。
- ◆自分の考えが正しいかどうか、確かめるため。
- ◆予想を立てずに実験してもそれは実験ではないのでは？
- ◆実験は自分が立てた仮説を確認するための作業であるから、予想を立てることは必要である。
- ◆自分の考えが正しいかどうか判断できる。

予想を立てると理解が深まる

- ◆理解が深まる。予想が合っていたにしても、間違っていたにしても。
- ◆実験結果がどうしてそうなるかの理由がわかりやすくなる。
- ◆理解を深める。
- ◆予想を立てるには様々な事を考える必要があるので、その後に聞く解説をより深く理解できる。
- ◆予想をしていた方が結果がわかったときになぜそうなるのか、よくわかる。

自分の考えが持てる

- ◆自分の考えを持てるようになるため。
- ◆自分で考えて学んだことを自分のものにするため。
- ◆記憶に残りやすい。
- ◆結果が予想と異なると驚きをもって理解できるので印象に残る。

興味・関心が湧く

- ◆興味・関心が湧く。
- ◆当たり前だと思っていた予想がはずれたときに、その問題や現象にますます興味が湧き、学習意欲が出る。他人の意見を聞いて考え直させられるところがある。

論理・イメージ

- ◆自分の今までの知識を駆使して論理立てていくため。
- ◆ものごとを調べる時にまず頭の中でイメージするから。

みんなよく、予想を立てる意義について考えていますね。予想を立てると楽しくなるだけでなく、「予想なければ認識なし」なのです。

「予想しなければ、予想外のものは見出せないだろう。それはそのままでは捉え難く、見出し難いものなのだから。」

古代ギリシャの哲学者 ヘラクレイトスの言葉

この授業で理解したこと

- ◆温度は、分子運動の激しさの程度を表すもので、激しいほど温度は高く、おとなしいほど温度は低い。
- ◆熱とは分子の乱雑な運動の激しさである。
- ◆水が蒸発するときには温度が下がり、液体になるときは温度が上がる。
- ◆熱は「熱」という物質があるのではなく、分子運動である。

授業の感想

◆どんなものでも分子・原子からできている

すべての物体が分子・原子からできているということが今までは信じられなかったけど、針金の実験などから、どんなものでも分子・原子からできていることが本当だとわかったし、温度と分子運動の関係もイメージできた。(A講座女子)

◆文章ではわからないところまで

実験をやって、文章ではわからないところまで理解できた。(A講座女子)

◆物体にも温度があるんだ

意外なことが多い授業だなあと思いました!! まず、体温とか気温とかが身近なことしかあまり知らなかったけど、物体にも温度があるんだなあと思いました。(←当たり前だけど)(A講座女子)

◆分子は見えないけど、感じる事が出来た

分子から出来ていると言われてもあまりよくわからないけど、実験して体積の変化や温度の変化を見て、分子は見えないけど、感じる事が出来た。(A講座女子)

◆熱を放出したんだ

1℃の違いは、体感ではけっこう違うように感じるけど、分子の速さを見るとほとんど変わっていないことに驚きました。今朝、雪が降っていて、暖かく感じたので、固体になるとき熱を放出したんだと思いました。(A講座男子)

◆衝撃的だった

温度がなぜ高くなるのかを初めて知って少し衝撃的だった。(A講座女子)

◆妹に話した

授業中の実験で、今まで習った事を元にして予想を立てるのが楽しかったです。また、その予想が当たったときは嬉しかったです。日常生活で「何でだろう？」って思っていた事とかが知れて、物理の授業が楽しかったと思えました。理解した事が楽しくて妹に話したりしました。(B講座女子)

◆真実みたいなものがわかった

アルコールの温度の下がる速さが速くて驚きました。身のまわりの現象の真実みたいなものがわかりました。(B講座女子)

◆蒸発を防ぐ油

水の上によく、蒸発を防ぐために油をたらしたりとかするけど、油の分子はみな元気がないのですか？不揮発性の液とか……。人の体温とかは何の分子の働きですか。(C講座女子)

ひとつのことを習うとすぐそれをいろいろな場合に当てはめてみるという習慣(くせ)がつくと、いろいろなことを疑問に思うようになります。大変よいことです。

水の分子と油の分子の質量を比べると油の分子の方がずっと大きい(重い)のです。(分子量がはるかに大きいので)

絶対温度Tと分子の平均の運動エネルギーの間には

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT \quad k \text{ はボルツマン定数 (3年でやります)}$$

という関係があるので、同じ温度(Tが同じ)の水と油は $\frac{1}{2}mv^2$ の値が等しいことになります。

mは分子1個の質量ですから、水の分子より油の分子の方がmの値が大きく、その結果vの値が小さい。すなわち重い油の分子の運動はゆっくりということになります。そこで同じ温度で水は蒸発し、油は蒸発しないということになるのです。

人の体温は人の体を作っているタンパク質や脂肪などの分子の平均の運動エネルギーに比例します。これらの分子は高分子なので質量mが大きくその結果分子運動の速さは小さいということになります。体温36.5℃で汗(水)は蒸発するけれどもタンパク質や脂肪は蒸発しないのです。

◆二酸化炭素の液化

二酸化炭素を圧縮して液体にしてほしかった。(C講座男子)

◆分子運動からみた摩擦熱

摩擦熱が発生するのは物体どうしがこすれ合っただけで分子が振動するからなら、なめらかな面どうしでは熱は発生しないのですか。(C講座女子)

そのとおりです。機械の軸と軸受けの間の摩擦で熱が発生するのを、潤滑油をさして摩擦力を小さくして熱の発生を小さくしています。もし完全に摩擦力0であれば、熱は発生しません。摩擦力が0の場合、摩擦力に逆らってする仕事は0になるので熱は発生しないのです。

◆分子運動が見えた

液体窒素の実験がすごくおもしろかった。片方が凍るともう一方も凍る…不思議、ふしぎ…。分子が飛んでいるのが金属板が動くことで見えたのがすごかった。(D講座女子)

◆理由がわかった

日常起きている現象の理由がわかった。(D講座男子)

《温度と分子運動》の授業について（アンケート結果）

2011年12月集計

たのしかったですか。

5 大変たのしかった 72人	4 たのしかった 62人	3 どちらとも言えない 13人	大変つまらなかった1人
-------------------	-----------------	--------------------	-------------

わかりましたか。

5 大変よくわかった 31人	4 わかった 81人	3 どちらとも言えない 33人	2 わからなかった2人 1 全然わからなかった1人
-------------------	---------------	--------------------	------------------------------

ためになりましたか。

5 大変ためになった 54人	4 ためになった 83人	3 1 全然ためにならなかった 10人
-------------------	-----------------	------------------------

書いてもらったことを読むと、この授業のねらいである、「熱現象の正体は分子運動である。」ということをよく理解してもらえたようです。

授業を大変高く評価してもらってウレシイです。

【予想問題】 東京大学とカリフォルニア工科大学の教員一人あたりの学生数

ロバート・ゲラーという東京大学理学部教授は『日本人は知らない「地震予知」の正体』（双葉社）という本の中で、大学教員の数と大学生（学部生）の数の比について書いています。東京大学とカリフォルニア工科大学（カルテク California Institute of Technology）とで大学の教員1人当たり、何人の学生がいるかについて比べてみるとどの程度の違いがあるでしょうか。

この本によると東京大学では教員1人に学部学生が6人という割合だそうです。予想

カルテクの教員1人に対する学部生の数は

ア、東大よりずっと少ない。3人以下

イ、東大より少し少ない。3～4人

ウ、東大とだいたい同じ。5～7人

エ、東大より少し多い。8人～9人

オ、東大よりずっと多い。10人以上

ヒント 東京大学は国立大学で毎年の入学生は約3000人

カルテクは私立大学で毎年の入学生は約200名です。

実験の結果

『日本人は知らない「地震予知」の正体』の6ページの記述によると、カルテクの教員1人に対する学部学生数は1.14人です。学部生800人に対して教員が700人いるということです。1人の教員が指導する学生数はカルテクの方がはるかに少ないのです。数字から見るとカルテクの方がはるかに充実した指導が期待できそうです。人件費はどこから出ているのでしょうか。

DVD 《津波》 による授業について

津波を物理学的に理解することを通じて、防災について考えてもらいたいと考えてDVD《津波》を使って授業しました。このDVDについては長谷川智子さん（都立浅草高校）が『大学の物理教育』17号2011所収論文「自然災害を科学の目で学ぶ——岩波映画《津波》を例に——」で、「**防災意識は自然災害の科学的な理解の上に成り立つ**」と論じています。本校の生徒にも是非見てもらいたいと思いました。

授業でわかってほしかったことは

津波は長波である。

津波の速さは時速700km程度で大変速い。

長波のエネルギーは台風の大波とは比較できないほど大きい。

自然科学的な知識を持つことが防災意識を持つために不可欠。

ということでした。生徒のみなさんはこの授業、DVDをどう受け止めたでしょうか。

生徒のレポート・感想より

《津波》を見てわかったこと

- ・津波は長波である。
- ・波長が長ければ長いほど波は速く進む。
- ・水深が深いほど波は速く進む。
- ・自分のイメージでは津波は波が高く目で見てわかるものだと思っていたけど、実際は波長が長く、目で見てわからないものだと知って驚いた。

《津波》を見て防災について考えたこと

- ・災害を避けるためには、やはり正しい知識を持つことがとても重要だと思った。また知識だけでなく、防災訓練などをして慣れることも重要だと思った。(B講座男子)
- ・しっかりと災害を天災ではなく物理的現象としてとらえることができれば、もっといざというときの行動は変わると思います。(A講座男子)
- ・災害を見て学ぶ事をしなければ、同じ被害を受けること。防災は災害から学んではじめて実現できるものだと思った。(A講座女子)
- ・津波と言って、自分たちが思い浮かべるのは、波長の短い台風のときの波を思い浮かべたりと、津波に関して正しい情報が伝わっていない事は問題だと思った。(A講座男子)
- ・そもそも約50年前に起きた地震による津波で三陸海岸は大変な被害を受けているのに、今回の東日本大震災も同じような被害を受けてしまっていることは、50年前から何も対策はとらなかったことを意味すると思います。今回の大震災からはきちんと対策をとるべきだと思いました。(A講座女子)
- ・いざとなったときに人々に正しい情報・指示をしてくれる人が一人でもいることが大切だと思った。(A講座女子)
- ・湾の形を工夫してV字を避けるべきだ。(A講座男子)

防災教育・防災訓練についての意見

自然科学的な知識が大切

- ・どうしてその災害が恐ろしいのかは、正しい知識がないとわからないと思う。防災訓練の前にそれをよく学ぶべきだと思う。(A講座女子)
- ・正しい知識を持つことが大切だと思う。だから、防災訓練だけでなく、防災教育をするのもいいと思う。(A講座女子)

- ・映像を見て、現実を知ることがやっぱり一番わかりやすく勉強になると思った。
このDVDのような具体的な実験があるとわかりやすい。(A講座女子)
- ・災害がどんなものかを知って訓練をすることが大切だと思った。(B講座男子)

防災訓練のあり方

- ・緊張感が高まる工夫をした方がよいと思います。(A講座女子)
- ・避難訓練をいろんな場合を想定して、緊張感の中でやりたいと思います。
(A講座 男子)
- ・本番のときのような状態にさせることができる訓練を考えられればよいと思います。(A講座男子)
- ・今の防災訓練はやらされているからやっているという感じが強いので、もっと違う方法を考えた方がよいと思いました。(B講座女子)
- ・なるべくいろいろな場面を想定してやった方がよいと思った。(B講座男子)
- ・情報を速く正確に伝える練習をする。(A講座男子)

DVD《津波》による授業アンケート結果

有益でしたか

5 大変有益だった	4 有益だった	3 どちらとも言えない
60人	81人	6人

書いてもらった感想や意見を読むと、授業で伝えたかったことは生徒諸君がよく理解してくれたことがわかります。

今後の課題

- ◆自然科学的知識をもとに防災の学習をする。
- ◆被災した場合を想定して緊張感のある防災訓練をするようにする。

