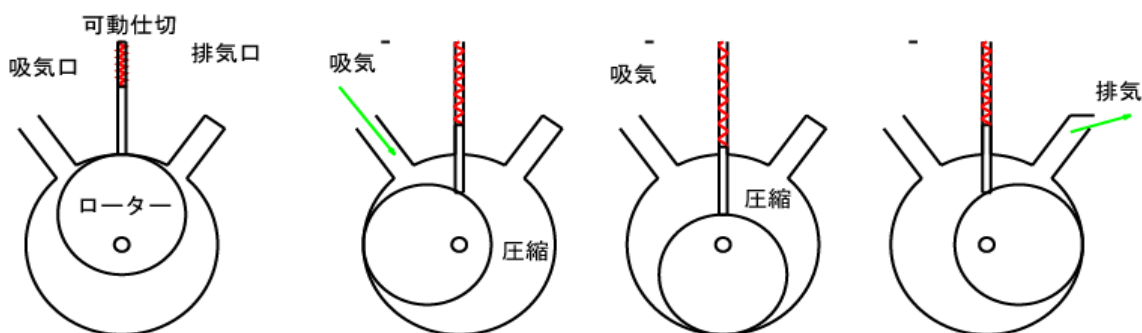


真空・真空ポンプに関する質問

真空ポンプの構造はどうなっているの？

今回の授業で用いた真空ポンプは「ロータリーポンプ（油回転ポンプ）」という名前の真空ポンプです。このポンプは、名前から想像できるように、油を使っていて、中でローター（回転子）と呼ばれる部品が回転して真空を作り出す装置です。

ロータリーポンプにもいくつかの方式があるのですが、原理は基本的に同じですので、簡単なものを例にとって説明します



上の図がロータリーポンプの中身です。ポンプの中にはローターと、可動仕切があります。排気口は弁になっています。左の状態からローターが回ると、ローターがポンプの枠と接している部分から排気口側では中の空気は圧縮されます。さらにローターが回ると圧縮が続いて排気口の弁が開いて、排気口から空気が排気されます。排気口側で空気が圧縮されている間に吸気口側からは空気が流入します。そしてローターが一回りすると最初の状態になって（この時は、排気口に弁があるので空気が逆流することはありません）、再び吸気口から入った空気を圧縮して排気口側から排出するようにします。

この絵には油がでてきませんが、油がないとローターと稼働仕切やポンプの内側との間がスムーズに回らずうまく排気ができせん。また、最後の圧縮のところの圧縮率が不十分になって、達成できる真空が（真空にもレベルがあるのです）あまりよくなりません。

真空ポンプの値段は、ものによっていろいろですが、ロータリーポンプは安いもので、新品の定価が10万円くらいです。

真空について説明して下さい

真空ポンプには、ロータリーポンプの外に、ダイヤフラムポンプ、拡散ポンプ、ソーブションポンプ、イオンポンプ、ターボ分子ポンプなど、いろいろな種類があります。何故、いろいろな種類の真空ポンプがあるかというと、ポンプによって、到達真空度（どのくらい真空にできるか）や真空にする速度、真空のきれいさに違いがあるからです。

真空に程度があるということ不思議に思うかもしれませんが、大気圧よりも低い圧力状態のことをおおざっぱに真空と呼びます。もっと厳密に真空の程度を示すには圧力を用います。圧力の単位はPa（パスカル）で、1平方メートルに約10kgの力がかったのと等価な圧力が1Paです。大気圧（1気圧）は101kPa程度になります。水の室温（27℃）での圧力は3.5kPaなので、真空ポンプでこの圧力まで減圧すると水は沸騰する用になります。ただし、水が沸騰して蒸発すると、水温はどんどん下がっていきますので、

3.5kPa のままでは沸騰しなくなります。沸騰を続けるためには、さらに低い圧力にする必要があります。そうやって、沸騰を続けていると最後には水が凍って氷になると思います。

ロータリーポンプの到達真空度は 0.1Pa 程度です。このくらい低い圧力になると、ローターで空気を圧縮して効率的に排気できなくなってしまい、空気をポンプで汲み出すことができなくなってしまいます。そこで、より高い真空度が必要な場合は違うポンプを使うことになります。より高真空のポンプとして、最近よく使われるのはターボ分子ポンプです。このポンプは飛行機のプロペラみたいな羽根を高速で回転させて、その羽根で空気を排気します。ターボ分子ポンプを使うと、0.0000001Pa 程度の真空を作り出すことができます。ターボ分子ポンプではものすごい速度で羽根が回っているので、大気圧に近いような低真空状態で使うと羽根に無理な力がかかって壊れてしまいます。そこで、ターボ分子ポンプを使う時は、ロータリーポンプである程度の真空状態を作り出して、その後でターボ分子ポンプを動かすようにします。このように、ポンプ毎に真空の守備範囲が決まっているのが、いろいろなポンプがある一つの理由です。

宇宙の真空度かというと、地球などの星からの距離によって異なっています。例えば、国際宇宙ステーションがある高度約 400km 付近では 0.00001Pa 程度のあまりよくない真空ですが、地球から 1000km 程度離れた宇宙空間の真空度は 0.00000000001Pa 程度の超高真空状態になっています。とはいえ、1000km 上空の真空度でも 1cc 中の分子の数は 2000 個程度あります。1cc 中の分子の数は圧力に比例しますから、大気圧と 0.00000000001Pa での分子数が分かれば大気 1cc 中の分子の数が計算できます。これは、みなさんへの問題として残しておきます。

真空に関係した質問として、「箱の中をそのまま真空に引き続けて、真空度が宇宙空間なみになったら、無重力状態になるのか」という質問がありました。残念ながら、箱を真空にしても中の重力が無くなることはありません。空気の圧力と引力は別の現象なので、片方を変えても、もう片方は影響を受けないのです。

硝酸アンモニウムに関する質問

硝酸アンモニウムって何？

ペットボトルに入っていた粉は硝酸アンモニウムというもので、アンモニアガスと硝酸が一緒になって出来た粉です。分子式で書くと NH_4NO_3 です。N は窒素を、H は水素を、O は酸素を意味する記号です。ですから、硝酸アンモニウムは 2 つの窒素と、4 つの水素と 3 つの酸素から出来ている分子です。

硝酸は塩酸などと同じようにすごく強い酸です（危険な薬品です）。一方のアンモニアは匂いのあるガスで、水に溶かすとアンモニア水となって、アルカリ性を示します。

硝酸アンモニウムは昔は肥料としてよく使われていました。植物が育つには窒素が必要なのですが（アミノ酸やたんぱく質には必ず窒素が含まれています）、その窒素を与える肥料として硝安（しょうあん）という名前が使われていました。最近では硝安単体ではなく、リン酸とも混ぜた形で肥料として売られているようです。

硝酸アンモニウムには実はもう一つの用途があります。それは、爆薬の原料です。硝酸

の化合物の中には爆発性のあるものが多く（ニトログリセリンとか、トリニトロトルエンという名前を聞いたことがある人もいます。これらも硝酸の化合物です。）硝酸アンモニウムもその中の一つです。硝酸アンモニウムにはげしい衝撃を与えると爆発すると書いてある本もありますが、日常的な衝撃では爆発しません。そうじゃなかったら、叩いて冷たくなるような応用は不可能です。でも、叩いて冷たくなるもの（ヒヤロン、桐灰レイカなどです。冷えピタは蒸発熱を利用した商品で、硝酸アンモニウムは使っていないようです。）を自分で分解して実験をするときは、出てきた粉に火をつけたりはしないで下さい（爆発はしませんが、勢いよく燃えて危ないです。）

硝酸アンモニウムを水に溶かすと温度が下がるのは何故？

硝酸アンモニウムを水に溶かすと温度が下がることについて、何人かの人から質問を貰いました。授業では、硝酸アンモンを水に溶かすと温度が下がる理由を正確には説明していないので、この質問がやってきたのはもっともなことだと思いました。

液体が蒸発したときに液体の温度が下がる説明は、動きの速い分子から蒸発するので、残っている分子は動きが遅い（つまり温度が低い）ものであるからという理由でした。この理由が全てだったら、蒸発していった分子の方は動きが速いので温度が高くなっているはずですが、実際にはそうはなりません。それは、液体から気体に抜け出すのに力（エネルギー）が必要だからです。

地球上で上にものを投げると、動きがゆっくりになって落ちてきますよね。もっと早く投げると、前よりは高いところまで行くけれどもまた落ちてきます。じゃあもっと早く投げるとどうなるかということ（空気存在を無視してですけど）秒速 11.2km（時速 4 万 km）でものを投げると戻ってきません。地球からどんどん離れていくのですけれども、でも地球から充分に離れたときの速度は、ほとんど時速 0 km になります。これと同じように、液体や結晶から分子が離れるときも、液体や結晶からの引力に逆らって飛び出しますので、最初は勢いがよかった分子も脱出した後では勢いを失って、遅い分子になっているのです。

というわけで、残った分子も飛び出し終わった分子も遅い動き（温度の低い）状態になっているので、温度が低くなるのです。

他に同じような効果を示す物はある？

硝酸アンモン以外で同じような実験が出来る物質があるかを少し捜してみました（世の中には、いろいろなものを水に溶かしたときにどの程度温度が変わるかをまとめた本もあります。）。探しごとをするときは、捜す方針を決めておかないと探索効率が悪くなります。そこで、作戦を考えました。第 1 の条件は、水に溶けたときに温度が下がる物質であること。これは、「溶解熱」という項目を見て、硝酸アンモニウムと同じ符号で値が大きい（冷える効果が大きい）ものを捜せばいいわけです。これは、説明しなくても大丈夫ですよ。2 番目の条件は水によく溶けること。何故これが必要かというと、水に溶けて温度を下げる大きな効果があっても、水にほとんど溶けない物質だと、ペットボトルに水を入れて振り回しても溶ける量が少なくて、感じられる温度の変化も小さくなっちゃうから

です。そして、3番目はなるべく安全で簡単に手に入る物質であることです。

そうして、捜してみたところ

水に溶けると温度を下げる物質としては、

硝酸アンモニウム 6.08 kcal/mol (数字はどの程度冷えるかのめやすです。)

塩化ナトリウム 0.93

硫酸バリウム 9.65

重クロム酸カリウム 16.69

などが見付かりました(外にも有りますけれど)。

これらの中で塩化ナトリウム(食塩)は簡単に手に入りますけれど、水には硝酸アンモニウムほどは溶けませんし、また、冷やす効果も低いのであまりいい候補ではありません。硫酸バリウムは冷やす力は強そうですし安全なものです(皆さんのお父さんやお母さんが胃のレントゲン写真を撮るときに写真がよく写るように飲まされるのが硫酸バリウムを含んだ飲み物です)。ただ、残念なことに水にほとんど溶けません。

重クロム酸カリウムは冷やす力も強く、また水にもよく溶けるのですが、困ったことに強い毒性(六価クロムというものが含まれています)が有ります。

という具合に、なかなか、替わりになる物質は見付からず、断念しようかと思ったのですが、その時に気になったのは2組の学級通信「ちょっとまって²」の中で上野さんが出した「ショウサンアンモンの様な不思議な粉は、ほかにもあるのですか」という疑問に対する佐々木先生の「フフフ...、僕は一つもっています。」というコメント。佐々木先生が不思議な粉を知っているのに、かわりになる物質を見つけ出せないのは悔しいなど、大学の図書館へと出かけたのでした。

図書館の本で調べた結果、チオ硫酸ナトリウム(5水塩)という物質がどうやら条件を満たしていそうです。チオ硫酸ナトリウム(5水塩)というと、なんか、とても難しそうな物質に聞こえるかもしれませんが、「ハイポ」と言えば、みなさんの中には(特に魚を飼っている人は)知っている人もいるのではないかと思います。この薬品は、大きめの写真屋さんに行けば手に入りますので、私も、今度は試してみようと思っています。

化学データブックを見ていると、溶けると冷える物質の外に、溶けると暖くなる物質も数多く見付かりました。その中で代表選手を一つだけ紹介しておきます。それは、「塩化カルシウム」です。塩化カルシウムは水に溶けると沢山の熱を出します。また、塩化カルシウムが溶けた水は(溶けている量にもよりますが)マイナス50でも凍りません。この性質を利用して、冬の雪国では、除雪の後に道路に残った凍ったような雪を溶かすために道路に塩化カルシウムを撒いたりします。

硝酸アンモニウムと水は量を多くすればいくらでも冷たくなるか

水の量が多くなると、硝酸アンモニウムが溶けるときに熱を奪っても水の量が多いので温度はあまり低下しなくなります。プールの水に硝酸アンモニウムを一粒入れてもプールの水温は変わりそうにないですね。

じゃあ、逆に、硝酸アンモニウムの量を増やすとどうなるかというと、確かに、温度の

低下は大きくなり、氷点下になることもあります。しかし、それにも限界があります。というのは、硝酸アンモニウムの水に溶ける量には限界があるからです。それ以上の硝酸アンモニウムを入れても、溶けない硝酸アンモニウムの粉が残るだけで、温度がさがりません。こちらは、硝酸アンモニウムを入れたペットボトルに水を1滴たらした時のことを考えると納得できると思います。

以上のような理由で、硝酸アンモニウムと水の組み合わせで冷やす能力には限界があり、硝酸アンモニウムと水を冷却剤として使用してシャーベットを作るのは不可能ではないけれども大変に難しいだろうと思います。多分、硝酸アンモニウムと水で冷たい状態を作って、それを使って水を冷やして、冷やした水に硝酸アンモニウムを加えてさらに温度を下げてというような操作を繰り返す必要があるだろうと思います。それよりは、氷に食塩をふりかけた方が手軽にしかも安価にシャーベットを作る低温が得られると思いますよ。

沸騰する温度、凍る温度に関係する質問

水が沸騰する温度が100なのは何故？

実験でお見せしたように、気圧を下げていくと室温（27 ぐらいでしたね）でも水は沸騰します。逆に圧力を上げていくと、水が沸騰するのにもっと高い温度が必要になります。例えば、火力発電所では蒸気で勢いよくタービンを回すために高い圧力を掛けています。その結果、水の沸点は500にもなるそうです。

また、水以外の物質も、それぞれ固有の沸点(や融点)を持っています。例えば窒素は-196で沸騰しますし、食塩は1423で沸騰します。

さて、質問に戻りましょう。水が100で沸騰するのは、実は空気中で水が沸騰する温度を100としたからです。ついでに書くと、0の定義は水が凍る温度です。これが答えという、だまされたように感じる人もいると思うので、外の温度目盛りの話も付け加えておきます。

日常的に使われている温度目盛りは（摂氏（せっし））ですが、そのほかに？（華氏（かし））という温度目盛もあります。この温度体系では人間の体温が96度、そして、塩と氷を混ぜたときの温度（-17.8）が0度です。華氏なんてみたことないというかもしれませんが、アメリカでは日常の温度表示に華氏を使っています。ですから、アメリカでは気温が100度（もちろん華氏です）を超えることもありますし、アメリカ人に水の沸点を尋ねると212度と答えると思いますよ。

科学の世界でよく使われている温度目盛りが「絶対温度」です。みなさんは、ものを冷やしていくと、どんどんマイナスの温度になっていって、マイナス1000やマイナス1万になると思っていますか。温度を高くしていく方は、確かに上限がなく、1000や1万もあるのですが、実は冷やしていく方には限度があって、どんなに頑張っても-273以下にはできません。そこで、この最低温度のことを絶対0度と言います。授業の中で温度が低くなると、分子の動きが遅くなると言いましたよね。絶対0度とは（本当は、正確ではないのですが）分子の速度が0になる温度です。0より小さな速度はありませんよね。だから、絶対0度より低い温度は実現出来ないのです。

この絶対0度を0度として、氷の溶ける温度を273度としたのが絶対温度で記号では

K (ケルビン) と記します。この書き方だと氷が溶けるのは 273 K で、水が沸騰するのは 373 K になります。

何でお湯に塩を入れると温度がさがるのですか？

お湯に水を入れると、温度が下がりますよね。それは水の温度がお湯の温度より低いからですよね。それと同じように、お湯に、お湯の温度よりも温度が低いものを入れると(水と反応して温度が変化する要素がなければ)温度が下がります。お塩をいれて、温度が下がったのはこういう理由です。

逆にいうと、お湯よりも入れる塩の温度を高くすれば、お湯の温度は塩を入れたときに低くならず高くなるはずですよね。

塩を入れると沸点が 100 を超えるのは何故か

授業の中では、水の中に(水よりも沸点が高い)ものが溶けると、溶けた分子のために水分子が空気の側に飛び出そうとする回数が減って蒸発が遅くなるという説明をしました。これは、いいのでしょうか？(だめだったら、そこから説明をやりなおしますので、教えてください)

水分子が飛び出す回数が減ることは、別の言い方をすると水分子の圧力が低くなることです。飛び出す回数が減ったままで圧力を上げるにはどうすればよいかというと、飛び出すスピードを速くすることで、そのためには、分子の速度が速くなる(つまり温度が上がる)必要があります。これが 100 で沸騰せずに、より温度が高くなって(水の圧力が、溶けているものが邪魔をしても十分に高くなるために)沸騰することの理由です。

水は 100 以上で沸騰しましたが、氷も 0 以上で溶け始めるのですか

水に塩を入れると沸騰温度は 100 以上になりますが、凍る温度の方は上昇するのではなく下降します。

なんで下降するかというと、塩の粒子が水が蒸発するのを防いだのと同じように、水の分子が氷にくっつくのを邪魔するからです。塩以外に砂糖をとかしても、水が氷になる温度は低下します。だから、アイスクャンデーを 0 で保存すると溶けてしまいます。

沸騰温度を下げる物質はあるんですか

これは、残念ながらないと思います。実は、水よりも沸点の低い物質を水に混ぜると、100 より低い温度で沸騰を始めてだんだんと沸騰温度が 100 になるのですが、これは水の沸騰温度が下がったというよりは水に混ざっている沸騰温度が低い物質が沸騰を始めたということだと思います。

つまり、現象としては、ものを混ぜた結果として水が 100 以下で沸騰を始めることはあるのですが、これは水の沸点が下がったとは言えないのでだめだと思います。

物を溶かしたり圧力を上げる以外に沸点を上げる方法はあるか

はい、あります。沸点を上げるのには水の状態を水蒸気の状態に比べてより望ましい状態にしてやればよいのです。そのための一つの方法は水に電圧をかけることです。こうすれば、水の沸点は上昇するはずで、とはいえ、その上昇のしかたは非常にわずかなもので、実験で確かめることは出来ないだろうと思います。

海の底では沸点は高いのか。上空ではどうなるか

高くなります。実際、海底火山（かなり海の底の深い物）から海中に噴き出される水の温度は1000を超えていたと思います。

一方、高い所では、気圧が低くなるので沸点は低くなります。例えば富士山の山頂では水は87ぐらいで沸騰してしまいそれ以上の温度になりません。このため富士山の山頂で普通のお鍋でお米を炊くと生煮えみたいになってしまいます。

では、さらに高いところについて、宇宙までいくとどうなるかということ、水はどんどん蒸発して、その結果温度が下がっていき、最後は氷になってしまいます。

圧力・温度に関係する質問

力比べのときに、なんであんなに強い空気ができるんですか。

力比べのときに、空気が押す力は35kgぐらいあるよと（クラスによっては）話をしました。

今だから白状します。力比べでみなさんに負けないように大きな注射器を使いました。もし、小さな（1ccぐらいの）注射器を使っていたら、皆さんの方が簡単に勝っていたと思います。

次のような実験を自分達でしてみると面白いと思います。30ccぐらいの注射器と、5ccぐらいの注射器を用意して下さい（両方とも東急ハンズで売っていると思います。それから、プラスチックのを使って下さい。ガラスのは割れると危ないですから）。両方の注射器の口をゴムチューブで空気が漏れないようにつなぎます。この時、片方の注射器には空気を入れておいて下さい。

空気の入っている注射器を押すと、空気がチューブを伝わって、空気の入っていない方の注射器に移って、注射器のピストンが動きますよね。両方の注射器に適当に空気が入ったら、力比べをして見て下さい。多分、小さな注射器の方が人が勝つと思いますよ。

実は、注射器のピストンを押すのに必要な力は、中の空気の圧力と注射器のピストンの断面積に比例します。つまり、大きな注射器はより大きな力で押さないと、小さな注射器に対抗出来ないのです。

ポンベとの力比べの話に戻ると、みなさんにポンベの力を感じて貰うために、わざと大きめの注射器をえらんでいたのです。だから、あんなに強かったんですよ。

空気を少し入れた袋を箱に入れ箱の空気を抜いたら袋が膨らんだ理由

蒸発の説明のところで水の分子が蒸発するのを空気の分子がぶつかって邪魔しているという話をしましたよね。同じような空気分子の衝突はポリ袋の両側で起こっています。そして、両側からぶつかる強さと回数が同じだと袋は形をかえません。さて、袋を箱に入

れて回りの空気を抜いていくと袋の外側の分子の数が減っていきますから袋に外側から当たる回数がへりますよね。その結果力のバランスが崩れて袋は外側に広がります。そして、袋が広がると袋の中の空気の密度が薄くなって今度は袋の中から袋にぶつかる回数も減っていきます。ですから、外側の空気のある程度抜いたところでそれ以上抜くのを止めたら、袋がある程度大きくなったところでバランスがとれて、袋はそれ以上広がらなくなります。でも、あの実験では外側をどんどん引き続けたので、袋はどんどん膨らんで、最後には破裂してしまったわけです。

硝酸アンモニウムに水を入れた後でペットボトルが簡単にへこんだ理由

ペットボトルの中で硝酸アンモニウムが水に溶けて温度が下がったときに、ペットボトルの中の空気も冷たくなります。空気分子が冷たくなるということは運動の速度が遅くなることでしたから、それらの分子がペットボトルに内側から衝突する勢いも弱くなるわけです。言い換えると、ペットボトルの内部の圧力が低下したわけです。これが、ペットボトルが簡単にへこむようになった理由です。

冷たくなったフロンガスをそのままおいておくとうなるか

温度の違うものが接していると、温度の高い方から低い方に熱が流れて温度が同じになる性質があります（それが何故と聞かれてしまうと、答えるのがすごく大変です。お湯がほっとくとさめるというのは、当たり前のことですけれども、それをきちんと説明するのは、実はとてつもなく大変なことなのです。もし、興味があったら、説明する努力はしますけれど、この前みたいな実験もできませんし、かなり退屈で難しい話になると思います）。

フロンを入れた袋は気温より低いので、空気から袋の中に熱が流れ込み、最終的にはフロンガスの温度は回りの空気と同じになります。

同じような質問に、冷たくなったペットボトルをそのままにしておくとうなるかというものがありません。上の話しから答えはわかりますよね。そのままにしておく、室温になるまで、だんだんと温度が上昇していきます。

液体が気体になるときに全部の液体が熱を奪うのですか？

はい。その通りです。どんな液体でも気化するときには熱を奪います（気化熱といいます）。注射をするときに、消毒液（イソプロピルアルコール）を脱脂綿で塗ったあと、すっとすることがありますよね。これも消毒液が蒸発して熱を奪うためです。

冷えピタなども、ゲル（ゼリーや寒天みたいなもの）から水が蒸発するときの気化熱を使って冷たさを保つようにしているとメーカーの説明には書いてありました。

分子に関する質問

だれが分子などを見つけたのか知りたい

分子の発見者が誰かというのは難しい問題です。歴史的には、誰かが見つけたというよりは、いろいろな人が分子（や原子）というものがあるということを出して、だんだ

んとみんながそれを認めるようになったようです。

原子という言葉時代は、紀元前のギリシアの哲学者が言い出したことですが、今使われているような意味で原子や分子というのを考え始めたのは18世紀の化学者ではないかと思えます。まず、物質が反応する時に、常に同じ割合で反応が起こることが知られ始めました。それを説明するために、ドールトンという人がものを構成する粒子を考えました。その後、ものが分子や原子から出来ているという考え方は、化学者の間では認められるようになりましたが、誰も分子や原子を見たことがなかったために、物理学者の多くは原子の存在に疑いを持っていました。

20世紀になって、ようやく物理の世界でも原子や分子を考えることによって始めて説明できる現象が知られるようになり、それから、シャボン玉の膜の厚さが分子と同じ程度の間隔で変化することも知られるようになって、人々は原子や分子の存在を信じるようになりました。

今では、特別な顕微鏡を使って、原子や分子を見ることが出来ます。だから、原子や分子の存在も容易に信じられるのですけれど、そんな手法がなかった時代に、原子や分子の存在を思いついた人間の想像力と、原子というつぶつぶを使って物事を合理的に説明する学説を作り出した人間の論理構築能力ってすごいって思いませんか？

分子を調べるのには直接観察する他に、光を使う方法があります。世の中には、様々な色がありますよね。これは、原子や分子が特定の色の光だけを吸収しているのが原因であることがほとんどです。ある分子や原子が、どのような色の光を吸収するかを調べると、その分子の中の構造についての知識が得られます。このように、ものの色をはかって物の性質を調べる学問のことを分光学（ぶんこうがく）と言います。分光学は分子を調べる強力な方法です。この他、分子に電気を流したり、磁気的な性質を調べたりする方法もあります。

分子は、原子からできています。原子の種類は大体100種類くらいですが、分子はものすごく沢山の種類があります。レゴやダイヤブロックなどのブロックは、もとの部品の種類は、あまり多くありませんが、それを組み合わせて作るものは、ものすごく多様性がありますよね。それと同じで、例えば私たちの体を作っている有機物は主に炭素・水素・酸素・窒素の4種類の原子からできた分子ですが、有機物の種類は数百万以上はあると思えます。

分子などをくみあわせて人類が作れた物体

人間は、初めは自然の素材をそのまま使っていました。動物の毛皮で服を作ったり、石を割って石器を作っていたりしたわけです。

その後、人間は、天然の原料をもとに加工して別のものを作り出す技術を開発しました。砂や土からガラスや陶器を作ったり、砂鉄から鉄を作り出したりしたわけです。文明が発達するにつれて人間が作れるものも増えてきました。とはいえ、物質の中のある一群は、19世紀まで人間が作り出すことが出来ませんでした。人間が作り出せなかったのは有機物と言われる物質です。私たち動物の体や、植物のほとんどを構成しているのが有機物です。有機物という名前は、もともと生物が作り出す物質という意味を持っています。しか

し、19世紀に化学者が有機物を無機物から作り出すことに成功して、生命体に由来しない有機物が誕生しました。

その後も人間が作れる物質の数はどんどん増えています。でも人間が作るものを見ると、基本的には同じようなものからできた均一なものが中心です。それに対して生物が作るものを調べてみると、ものすごく複雑な構造で機能を果たすものが多くあります。つまり人間は、いろいろなものを作れるようになったけれど、まだまだ自然の足下にも及ばないと思います。例えば、ロボットの技術などは随分と進んでいますけれど、アリのような大きさで自ら動くロボットを作ることは、現時点では不可能です（それどころか、いつになったらできるのかわかりません）。

ナノテクノロジーという言葉が最近使われるようになりましたが、これは、もともとは原子や分子を直接操作して、望みのものを作り出すような技術を示す言葉でした。テクノロジーは英語で技術という意味です。一方のナノは0.000000001を示す接頭語です。みなさんは0.001を示す接頭語であるm（ミリ）や、1000を示す接頭語であるk（キロ）はご存じだと思いますが、n（ナノ）もその一族です。分子や原子を扱う技術をナノテクノロジーという理由は、nm（ナノメートル）がだいたい分子の大きさ程度の長さだからです。そこで、その程度の大きさの分子を扱う技術という意味でつけられました。

科学雑誌やテレビなどでナノテクノロジーとして紹介されている技術のほとんどは、実際にはナノテクノロジーと言うにはお粗末な技術でしかありません。しかし、将来に研究が進んで本当のナノテクノロジーが発達すると、今では考えられないようなことが出来るようになるでしょう。ただし、ナノテクノロジーは大きな力をもった技術なので、使い方を間違えるとものすごく地球に悪い影響を与える危険性もあります。そうならないようにするためにも、みなさんもしっかり理科を勉強して、新しい技術が何をもたらすかを自分で考えられるようになって下さいね。

地球に分子はどれくらいあるのだろうか？

この質問に答えるためには、地球の重さと、分子の重さが分かればいいですね。では、それを考えてみることにしましょう。

さて、地球の重さの測定ですけれど、私たちの体重を測定するように秤を使ってはかることは...どう考えても不可能ですよ。何しろ、秤をおく台が存在しないのですから。ですから、秤を使わないで測定する方法を考えなければなりません。

ところで、私たちは何で地球に引っ張られているのでしょうか。この問に対する答えを与えたのがニュートンという学者です。彼は、重さをもつ2つの物質の間には引力が働いているとすると、月が地球の回りを回ることも、リンゴが木から地面に落下することも、同じ法則で説明できることに気がつきました。この法則をニュートンの万有引力の法則といいます。地球の重さは、この法則を使えば求められるのですが、一つ問題が残っています。それは、2つの物の間に働く引力を決めている比例定数が分からないと2つの物質の間の引力から重さを計算できないのです。

この比例定数を実験でもとめたのが、キャベンディッシュという学者です。彼は大きな

重い2つの球の間に働く力を精密に測定して万有引力の比例定数をもとめました。彼は、この実験に「地球の重さを測定する実験」と名付けたそうです。

こうして、ニュートンの理論とキャベンディッシュの実験により地球の重さが明らかになりました。それは大体

59720000000000000000000000000000 kg

です。

続いて原子（分子）の重さです。こちらは、地球の重さほどすっきりと決めることが出来ません。なぜなら、地球の上には数多くの原子があって、原子の種類ごとに重さが違うからです。そこで、地球に一番多くある元素を代表選手にして、それを地球の元素の重さの平均値とすることにしましょう。地球に一番存在する原子は鉄だそうです。鉄原子の重さはおおよそ

0.000000000000000000000000000000001 kg

です。さて、あとの計算はみなさんにおまかせします。それにしても、すごく大きな数ですね。

フロンに関する質問

フロンガスは環境に悪いのに使ってもよいのでしょうか？

とても答えるのが難しい質問をもらってしまいました。答えに納得してもらえるかは分かりませんが、とにかくできる限りの答をいたします。といっても、一方的に答をするのではなく、一緒に考えながら答えにたどり着けたらと思っています。さて、質問に答える前提として、今回使ったフロンのお話しをしますと、HFC-134a というフロンで、このフロンはオゾン層は破壊しません。しかし、温室効果ガスの一種です。ですから、質問に対する答は、温室効果に限って話を進めたいと思います。

一緒に考えてもらうために、私からも質問をします。「実験ではお湯を沸かすのにブタンガスを使いましたけれど、燃焼にともなって二酸化炭素をだしているけれど、それはよいのでしょうか。」どうでしょうか。では、次の質問「お料理の時にガスを使うと二酸化炭素が出ちゃうけれど、それはいいのでしょうか」。こんな質問をすると、「うちは全部電気だから二酸化炭素はでないもん」という人がいそうですね。でも、電気も、まだまだ石油や天然ガスを燃やしても作っているの、電気を使うことは間接的に二酸化炭素を出すことになっています。また、原子力発電は確かに発電時に二酸化炭素は出しませんが、その代わりに放射性廃棄物を出します。どちらが地球にとってより悪いかは難しい問題です。さて、もう一つ、とどめの質問です。「私たちは息を吐くときに二酸化炭素を出していますが、それはいいのでしょうか？」 こんな質問されると困っちゃいますよね。だって、息をするのを止めたら死んじゃいますから。それから、お料理するのをやめても食べるものがなくなって死んじゃいますよね。

すごく、意地悪な質問をしてしまいましたが、気がついて欲しかったのは、人間が生きている以上は、必ず地球の環境にとって悪いことをしているんだよという事実です。その事実の上で、どの程度の悪さなら許してもらえるかを考えてみる必要があります。

どの程度の悪さなら許してもらえるかについて、世界の全ての人が合意できるような基準は現時点では存在していません。また、日常生活に関連することの場合と、今回のようなスポット的なことでは基準も異なると思います。日常生活に関連する場合には「地球と生態系が継続して存在できる程度の環境負荷までは許される。」というのが一つの合理的な考え方だろうと思います。ただし、それがどの程度までなら大丈夫なのかをきちんと示すには、科学的な調査と解析が必要です。

一方、今回のように生きていく必要とは別の目的で温暖化ガスを発生させることの是非の判断は、さらに難しい問題ではあります。とは言え、考えるのを止めてしまったら、自分がやっていることが正しいのかどうかの判断ができなくなってしまうので、とにかく考え続けることにします。みなさんの合意を得られるか分からないのですが、ここでは、排出してしまった温暖化ガスによる不利益を上回る利益が得られるのだったら良しとするというのでいかがでしょうか。

今回、フロンを 300g 程度空気中に放出しました。使ったフロンの温暖化係数(二酸化炭素の温暖化効果を 1 としたときの相対的な温暖化効果)は 1300 なので、390 kg の二酸化炭素を放出したのと同じ効果があります。これだけの二酸化炭素を発生するのに、自動車ですと 1000 km 程度は走れます(自動車の燃費をガソリン 1 L あたり 10 km として計算しています)。東京からですと、青森まで余裕で行けるほど(確か、800 km 弱だったと思います)の二酸化炭素を放出してしまったわけです(正直なところ、この値を計算した時点で、それ以上の利益があり得るのか、自信が無くなってきました)。それに対して得られた利益というのは、目に見えないし、お金にも換算できないのですが、みなさんの理解が深まったことです。そしてまた、みなさんからの質問に私が答えているのをみなさんが読んで考えてくれることです。

もちろん、今の時点では、今回の授業で放出した温暖化ガスを取り戻すことはできていないのですが、今回の授業や学校での理科の授業などから、身の回りの科学のことに興味を持って、そして、みなさんの中から科学者や技術者になる人が出て、温暖化を防止する技術を発見してくれたら、今回の 390 kg は許されるという結果になると思います。

また、みなさんの質問に、こうして私が答えているのをみなさんが読んで日常生活により温暖化ガスの放出が必然的に起こることを認識して、注意してくれるようになったら、結果的には 390 kg 以上のガスの放出が防げるかもしれません。

ここまでの話は、実は授業の中で、スプレーから液体を出して冷えることを見せる実験が必要だという前提で話をしています。本当は、その実験がみなさんの理解を深めるのにどのくらい有効だったかについても検討しなければいけません。あの実験は、みなさんに液体が蒸発するときには温度が低下することを確認してもらうために行いました。その前提として、スプレー缶の中では圧力が高くなってガスが液化しているのを確認してもらうために、スプレーとの力比べを行いました。ですから、今回の授業から、スプレーとの力比べと、スプレーを逆さにしてフロンを出す実験の 2 つが無くなったら授業はどうなったかを想像して、あの実験が必要だと思うかどうかを教えて頂ければ幸いです。次ぎに同じような実験をやる機会があったときの参考にしたいと思います。

なお、今回使ったスプレーの代替品として、より温暖化効果の少ないスプレーもあります。そうした製品を使うことも考えたのですが、温暖効果の少ないスプレーのガスは可燃

性で、実験中に摩擦などで火花が飛ぶと燃え上がったり爆発したりする危険性があります。その危険性を恐れて、今回は不燃性のガスを選んでいきます。

どうも、すっきりしない答えになってしまいました。みなさんの中にはすっきりした答が欲しい人もいるかもしれませんが、でも、研究でもそれ以外のことで、すっきりした答が出ないことはよくあります。そういうときに、やってはいけないことの一つは、答えが欲しくなって、手近にある答らしいものを信じ込んでしまうことです。それよりは、答が得られていないことを、しっかり認識した上で、答を探し続ける努力をするべきなのだと思います。この問題については、私も考え続けることにします。ですから、みなさんも、いろいろと考えてみて下さいね。

何故フロンガスは地球のオゾン層を壊せるのか

フロンガスがオゾン層を壊せるのかを話すためには、まず、オゾンが何かの話しをしなればなりません。オゾンは、酸素原子が3つくっついた分子です。そして、オゾンは活性酸素の一種です。活性酸素って聞いたことありますか？ 細胞や遺伝子を攻撃したりする、人間にとって有り難くない物質ですよ。なんで活性酸素がそんな性質を持っているかという、他の物質との反応をしやすい状態だから（だから活性というんですね）なのです。そして、フロンガスは（フロンガスだけじゃないですけど）、活性酸素であるオゾンと反応して、普通の酸素に戻す働きがあります。そして、普通の分子は活性酸素と反応すると、分子の構造が変わってしまって、それ以上は活性酸素を無害化できないのですが、フロンはオゾンと反応しても分子の形が変わらないので、なんどでもオゾンを分解して普通の酸素に戻せるのです。

ですから、フロンを地球上で活性酸素をなくすのに使うのだったら、非常に優れた物質と言ってもよいでしょう。しかし、はるか上空にあるオゾン層のオゾンは人間や動物に直接は触れないので、活性酸素としての悪さはしない一方で、太陽からの強い紫外線を吸収して、地表に到達するのを防いでいます。そのオゾンをフロンが効率的に分解してしまうので、問題になっているわけです。

物に関係した質問

石など硬いものを圧縮しつづけるとどうなるか知りたい

普通の力で石などを圧縮しても、目に見えるような変化はありません。でも、ものすごく強い力で石などを圧縮するといろいろ面白いことが起こります。例えば、石ではありませんが、鉛筆の芯をものすごい力で圧縮するとどうなると思います。鉛筆の芯は黒鉛（こくえん）と呼ばれる物質が含まれています。これが何かというと、炭素の一つの形態です。この黒鉛をすごい圧力で押しつぶして、温度をかけると、ダイヤモンドになってしまいます。実は鉛筆の芯とダイヤモンドは両方とも炭素原子から出来ているのです。

鉛筆の芯とダイヤモンドほど劇的ではありませんが、多くの物質は高い圧力をかけると、普通とは違った状態に変化します。科学者の中には、物質に圧力をかけて、普通には実現できないような状態を作り出すことを仕事にしている人たちがいます。そういう「高圧屋

さん」の一つの目標は、水素の結晶（これは温度を低くすると作ることができます）を圧縮して、金属状態の水素を作ることです。たしか、これに成功した科学者はまだいなかったと思います。

地球上の実験室で可能なのは鉛筆の芯からダイヤモンドを作ったり水素を金属にするくらいですけれど、宇宙にはもっと圧縮された固体が存在します。それは中性子星といわれる物で、星の重力の力で原子が圧縮されて潰れてしまったものです。中性子星の密度はとてつもなく大きく（幅があるようですが）1mlで100万トンにもなるそうです。ちなみに普通の物質で密度が高いものは、オスmium・イリジウムなどの金属ですが、それでも1mlで22g程度の重さしかありません。

余談になりますけれど、ウルトラマンや怪獣の公表されているデータから彼らの密度を計算すると（身体を円筒などと近似して計算します）、とても大きな値になります。いったい、どんなものから出来ているのでしょうかね。

石と雲は何でできているのか

石はいろいろな種類の原子から出来ています。もっとも、石にもいろいろな種類があって、種類によって石を作っている原子の割合が違ってきます。

みなさんは鍾乳洞に行ったことがあるでしょうか。鍾乳洞は石灰岩という石（というより大きなかたまりですね）の中に出てきた穴です。石灰岩というと、どこかで聞いた気がしませんか。そうです、石灰水に二酸化炭素を吹き込んだ時にできる白く濁ったものが、炭酸カルシウムで、それが固まったのが石灰岩です。石灰岩が地球の熱の働きで変化すると大理石という石になります。つまり、石灰岩や大理石は、カルシウムと、炭素と酸素からできているのです。

石灰岩は（たぶん）海の中で出来た石ですけれど、火山の中で出来た石には安山岩や玄武岩があります。これらの石は二酸化珪素（シリコン）が含まれています。二酸化珪素は実はガラスにも含まれている物質で、二酸化珪素の分量と石が作られたときの温度の変化のぐあいによっては、ガラスみたいな石になります。もっとも、人間のつくったガラスみたいに透明ではなく黒い色をしているので黒耀石（こくようせき）と呼ばれています。大昔の人は、黒耀石を使って石器をつくっていました。本州ですと長野県の霧ヶ峰付近に黒耀石の産地があって、沢をあるいていると黒耀石を目にすることもあります。

これ以外にも、多くの元素を含んだ石があります。そして、人間はそれらの石から有用な材料を取り出して日常生活に役立てているのです。

雲は、水の粒でできています。でも、そうだとしたら、空に浮いていて落ちてこないのが不思議ですね。雲は確かに水の粒なのですが、雨よりずっと細かい水の粒で出来ています。ものの大きさが小さくなると、重さも軽くなるので地球の引力が物を下に引っ張る力も弱くなります。その一方で、水滴の直径は重さが軽くなるのに比べて、ゆっくりと小さくなっていくので、空気の流れによる影響は、水滴が小さくなるほど、相対的に大きくなります。ですから、雲の中の水滴は、落ちて来るにしてもすごくゆっくりですし、雲が出来るときには地上から上の方向に流れる風（上昇気流）があるので、落ちてこないでい

るのです。

液晶の他にももしろい物質はありませんか

もちろん、いっぱいあります。液晶にしても、実は何十種類もあって、今でも新しい種類が発見されています。液晶以外では、冷やすと磁石に必ず反発するようになる物質（普通の磁石は、片側で反発しても反対側はくっつきますよね。そうじゃなくてどちらむきでも反発するものがあるんです。）もあります。それから、光を当てると光を出したり色が変わったりする物質。水に浮く金属、鉄より強い系になる物質など、ホントにいろいろな物質があって、知れば知るほど楽しくなると思いますよ。

ドライアイスと氷の違いはなにか　ドライアイスの作り方

氷は水が凍ったもので、ドライアイスは二酸化炭素が凍ったものです。えーと、こんな答えじゃ駄目ですよ。きっと、氷は溶けると水になるのに、ドライアイスは何でそのまま気体になるのかを知りたいのですよね。

実は、条件を変えるとドライアイスは溶けて液体になることもありますし、氷が水になることなくそのまま水蒸気になることもあります。

大体の物質は気圧がある程度以上低くなると液体として存在出来なくなって、固体から気体に変化するようになります。僕らが住んでいる圧力では、たまたま二酸化炭素は液体が存在できない状態で、水は液体が存在できる状態だったというわけです。

すると、ドライアイスも圧力をかければ液体になるのかと思う人がいると思います。それは、そのとおりです。でも、絶対にドライアイスを何かに詰めて圧力をあげる実験はしないで下さい。ドライアイスが気化したときの圧力は、実験で力比べをしてもらったスプレーよりはるかに強いものです。ですから、すごく丈夫な容器でないと破裂します。特にガラス容器に入れていた場合にはガラスが粉々に飛び散って、ものすごく危険な事になります。僕の知っている人の弟さんは、子どもの頃にジュースの空き瓶にドライアイスを入れて蓋をして様子を見ていたら爆発してガラスが顔や上半身にたくさん刺さって、救急車で病院に運ばれて、死ぬ一歩手前で助かったそうです。そうなりたくはないですよ。

さて、水の方ですけれども、空気の圧力がある程度以上低くなると、先ほど書きましたように、氷は水を経ないで水蒸気になります。これを利用したのがフリーズドライ食品です。違いのわかるコーヒーなど、水を含んだ物を凍らせて空気を抜いた環境で氷を直接気化させて作ったものなんですよ。

最後にドライアイスの作り方ですけど、その方法は基本的にはフロンガスのスプレーを逆さまにして冷たいフロンの液体をとりだしたのと同じ方法で作れます。つまり、二酸化炭素ガスを圧縮して液体にして、その液体を空气中に放出すると一部は蒸発して残りの液体から熱を奪い、熱を奪われた液体はそのままドライアイスになって下に落ちていきます。

最近、スーパーなどでアイスクリームの持ち帰りようにドライアイスを作る機械がおいでであるところがありますが、その中には圧力をかけて液体になった二酸化炭素のボンベが

あって、そこから液体を噴き出してドライアイスを作っています。

その他の質問

7月1日やった実験をやるのに何日間かけたか教えて下さい

金曜日の前の月曜日、6月27日にみなさんの授業を見学にいきましたよね。あの後、6年生の担任の先生方に金曜日の授業の内容についてお話して、いろいろなアドバイスをいただきました。それまでは、最初はみなさんに液体窒素をお見せするつもりだったのですが、昨年に東芝科学館で見学していると伺って、やめにして、考えていた授業の流れを最初から作り直しました。

というわけで、授業の準備の時間は月曜から木曜日までの4日間です。もちろん、4日間の総てを授業の準備に使ったわけではないのですが、大学からの帰りに毎日のように東急ハンズに行って必要そうなものを買ったり、行き・帰りの電車の中でも頭の中で話しの筋を考えたりしていました。そして、手が空いたときにちょっと実験して考えていることがきちんと出来るかを確認、その時に気がついたことをもとに、実験の内容を膨らませていきました。

今回の実験は、真空ポンプを使ったもの以外は、皆さんが東急ハンズやカメラ屋さんやスーパーで買えるものを使って行うことにしました。このようにしたのは、特別な装置を使わなくても、身の回りに不思議なことはいろいろあることを知って欲しかったからです。科学というと、宇宙とかロボットとか、みなさんが簡単には手が届かない話が多いのですが、本当は決してそんなことはなくて、宇宙やロボットと、みなさんの身の回りの現象が同じ法則で説明できることが、科学のすごさだと思っています。

小学校の先生は毎日5時間も授業をされるんですね。私は1時間の授業だけで、随分と準備に時間がかかってしまいました。毎日5時間授業をやるうとしたら、準備だけで1週間全ての時間を使っても間に合わないだろうと思います。小学校の先生はとても大変なんだろうなと心から思いました。

家で簡単にできる実験にはどんなものがある？

家でできる実験にもいろいろあると思うのですが、実験は単にやってみるだけのものではなくて、その背景にある自然現象を理解するためのものでもあります。原理を知っていれば面白く感じることで、単に、こうすればこうなると言われただけでは、やってみて、すぐに飽きてしまうし自分で工夫してさらに発展させることもできないだろうと思います。だから、ここでは実験を紹介するのではなく、実験とその背景を紹介してあるものを紹介することにします。

幸い、世の中には実験のやり方と原理を書いてある本や雑誌があります。手近なところでは、学研やベネッセの科学雑誌があります。これらは、ある程度は学校の勉強と連動した内容になっていると思います。「それじゃつまらない、学校の勉強とは違う実験をやってみよう」というのでしたら、「子供の科学」(誠文堂新光社)や「大人の科学」(学研)がお勧めです。また、家でもできる実験を集めた本も出ていますので探してみてくださいね。

実験に必要な道具は、最近は東急ハンズで手に入れられることが多いと思います。私が子どもの頃は、東急ハンズはなかったので、神田にある「科学教材社」や、近所の鉄道模型屋（つぼみ堂といいました。こちらは今はもうありません）で買ったりしていました。あと、秋葉原のガード下の店の中にもいろいろな部品を売っているところがあります。化学薬品は、昔に比べると残念ながら入手しにくくなりました。でも、昔は、水質検査キットみたいに、何かの実験に必要な薬品をまとめたパッケージはありませんでした。ですから、実験によっては昔よりは薬品を手に入れやすくなっています。

実験をやるときは、なるべく安全メガネをかけるようにして下さい（東急ハンズで売っています）。実験の時に、ものが壊れて飛び散ったり、液体が噴き出したりしたときに、それらが目に入ると失明する危険性があります。人間の体表のなかで目は一番弱い部分なのです。ですから、目はきちんと保護するようにして下さい。

他にどんな研究をしていますか

いろいろなことをやっていますが、いま一所懸命にやっているのは、有機物を使って性能のよいトランジスタを作ったり太陽電池を作ったりすることと、光と電波の中間の遠赤外線と呼ばれている光線を使って液晶状態での分子の動きを調べることです。

有機物を使って高性能トランジスタや太陽電池を作るのには分子をすごく規則正しく並べる必要があります。そのためには真空中でトランジスタや太陽電池となる板の上に分子を1層ずつ丁寧に積み重ねていきます。分子1層の厚さは0.000001ミリ位です。そんな薄い膜がどんな様子かを調べながら積み重ねていくので時間がかかってなかなか大変な仕事です。

液晶の分子の状態を調べる方は、まだ始まったばかりの研究です。液晶は、テレビなどですごくよく使われるようになっていきますし、また、多くの種類があるのですが、なんで液晶状態が出現するのかといった基礎的なことで、まだまだ分かっていないことがあります。遠赤外線を使う測定は新しい手法なので、これまでは分かっていなかった新しいことが分かるといいなと思って測定装置を作っているところです。

何で大学で理科の研究をしようと思ったのか

いろいろな理由はあるのですが、やっぱり、やっていて面白いからだと思います。何が面白いかというと、分からないことが分かるようになるのが面白いのです。

例えば、みなさんからの質問の中に「水の沸騰する温度を、物を溶かしたり圧力をかける以外で上げることは可能か」というものがありました。最初は、ものの沸騰する温度は圧力で決まるはずなので不可能だと答えようと思ったのですが、考えてみると、水に外から何かの力を加えれば沸点も変わるはずだと思いついて、電気をかければ沸点が変わるはずだという結論になりました。一応、そこで答えは終わりにしたのですが、頭の中では、どのくらいの電気をかけたら沸騰する温度はどのくらい変わるかを計算する方法を考えたりもしています。そうやって、考えることが楽しいから、理科の研究をやっているのだと思います。

それから、いろいろな実験をするのも好きです。もっとも、大学でやっている実験は、

すぐに結果がでるものは少なく、まずは実験装置を組み立てるのに時間がかかります。実験装置を組み立てる作業は、積木でものを作るのに似ていて、出来上がりのイメージがあって、それに向かって、構成要素を組み立てていきます。こうしてみると、理科の研究をしているというのは、組み立て遊びをしているのと同じく似たところがあります。楽しいですよ。