

# 授業ノート《蒸発と分子運動》

2007.7.29 ばらと大会用レポート, 2009.8.11 増補改訂

仮説実験授業研究会・北海道

丸山秀一

この授業書を最初サークルで実施したときは、あまりピンと来ないものでした。しかし、その二か月後、子どもたちと一緒にやってみた(感想文集があります)ところ「いままでの授業書の中で一番たのしかった」などの評価をもらうことができました。さらに一か月後は、講座でこの授業書を担当し、たのしめました。そこで、ボクがやった授業の様子をまとめて「授業ノート」の形にして残しておこうと思いました。お役に立てばうれしいです。

その後、杉浦裕文さんが「授業ノート」を作成されたことを知り、その中から「分子運動演示装置」のことを紹介させていただきました。杉浦さんも詳しくまとめているので、ぜひ杉浦さんの授業ノート(後述)もお読みください。

## 「熱の正体」

「昔から熱についての意見はふたつにわかれてきた」ということで簡単にまとめるとよいです。

### 熱素

#### 熱素ではなく運動

「すべての物は原子や分子でできている」のところで、《もしも原子がみえたなら》をやっている場合は、分子模型などを見てもらって復習するとよいでしょう。《もしも原子がみえたなら》をやっていない場合でも、「空気が小さな小さな粒からできている」ということが前提として必要なので、簡単に提示した方がよいです。しかし、この授業書の先に《もしも原子がみえたなら》をやっておいた方がよりたのしめます。

#### 質問1 「何と何をこすり合わせたらよいか」

ここでは、すぐに実験しないで、とりあえず出してもらおうとよいです。実験は次の「お話」の中で行うこととなります。

「ものを叩いたりこすり合わせたりすると熱くなることを示す実験」

「下町」とは「商人や職人が多く住んでいた地域」のことです。ハスの実をこするときは、コンクリートなど「硬くてざらざらしているもの」かカーペットなどでこするとよいです。びっくりする

ここにはあった方がよいものなどが書かれます。

熱素カード(黒板に貼り付けて説明に便利)



空気中の分子模型

分子模型は海猫屋で買えます。

[http://store.yahoo.co.jp/umin\\_ekoya/](http://store.yahoo.co.jp/umin_ekoya/)

《もしも原子がみえたなら》をやっていない時は、「もしも原子が見えたなら」気体シミュレーション CD-ROM」を見えるとよいでしょう。詳細は後述。

ハスの写真、ハスの実

ハスの実は小野健司さんから分けてもらえます。

[ono-ken@shikoku-u.ac.jp](mailto:ono-ken@shikoku-u.ac.jp)

ぐらい熱くなります。パチンコ玉などではうまくいきません。

針金は直径 0.5 ミリぐらいのものを V 字形に曲げておきます。そして、両手で V 字形を広げたり閉じたりします。何回かやると、折れてしまいますので、そのときに折れたところをさわってみると、とても熱くなっているのがわかります。

「木と木がこすれあって熱が出る」のところは、「弓ぎり式発火法」などをやってみるとよいです。発火まで至らなくとも、煙が出て、熱くなることはわかるでしょう。かなりの煙が出ますので、換気には注意してください。

「もみ錐」の説明に錐を用意すると良いです。

「火打ち石」では、多くの方は「石と石をぶつけて火花を出す」と思っています。昔話「かちかち山」の絵本やビデオの中には、「石と石」で火を起こすように描かれているものが少なくありません。実際に「石と石」ではほとんど無理なことを示してから、火打ち石と火打ち金を見せます。火打ち石がなかったら、こすって火花を出すライターをかわりに見せても良いでしょう。

白い紙の上で火花を飛ばすと、紙の上に黒い小さいものがたまりまます。大きなものはただのかけらですが、ライトスコープで見ると、パチンコ玉のようにまんまるでピカピカしているものを見つけることができます。

時間があったら、火起こしを体験してみるのも良いでしょう。

時代劇を見ると、出かけるときに火打ち石で「切り火」を飛ばす場面があります。あれは「いいことがありますように」というおまじないのようなものでした。

「お話」を読んだら、「質問 1」で出てきてまだやっていない実験があったら、やってみると良いでしょう。クギをカナトコの上で何回か叩いても、かなり熱くなります。

「温度 と原子分子の運動の速さ」

「温度は原子分子の運動の激しさ」ということになると、「原子の運動が完全に止まってしまったら温度は?」という疑問が出てくることでしょう。それが「絶対零度」ですが、「温度には上限はないが、下限はある」というような話をしてあげても良いでしょう。

質問 2 「分子の動く速さ」

空気の中には窒素分子、酸素分子などがありますが、「同じ種類の分子ならみな同じ速さで動いているか」ということなので、「酸素分子の速さで考えてみましょう」ともってゆくと良いでしょう。

この質問の答えは次に紹介する動画でも示すことができます。

針金

弓ぎり式発火器

発火器や火打ち石は海猫屋で買えます。

[http://store.yahoo.co.jp/umin\\_ekoya/](http://store.yahoo.co.jp/umin_ekoya/)

錐

「かちかち山」の絵本、ビデオ。ダイソーの絵本と DVD は間違っています。

火打ち石 (ライター)

ライトスコープか USB マイクロスコープ

火起こしについては《技術入門》(『たのしい授業』1995 年 12 月号) 参照。

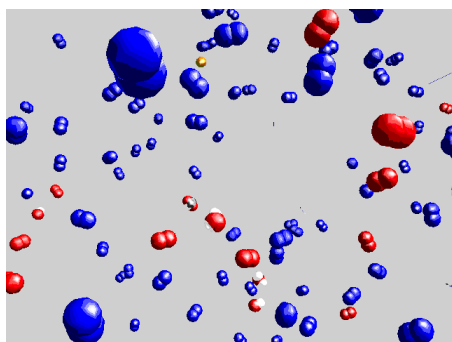
クギ、金床、ハンマー

「同じ温度の空気中の分子の速さ」

「衝突によって速さが変わる」というのは、下記の「気体シミュレーション」を見るのが一番です。

グラフでは速度の単位が「m/s」になっていますが、これは「m/秒」としたほうが良いです。グラフでは0度の時も100度のときもあまり違いがないようにも見えますが、空気の中にはものすごくたくさんの分子があることを忘れてはいけません。「1000個中1個の差」というのは、1cm<sup>3</sup>の空気で考えると、「27京個の差」となります。

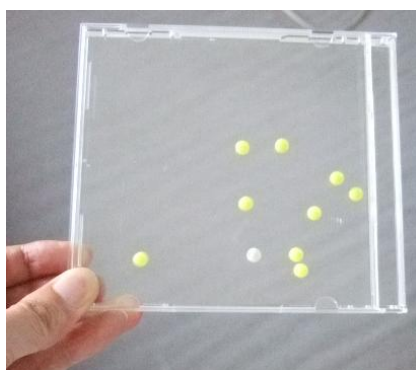
もっとも「京」などという単位は全く実感がわきません。「一万円札で1京円分積み上げると10万キロになり地球8個分」という話をしても良いでしょう。



ここで「《もしも原子が見えたなら》 気体シミュレーション CD-ROM」の中の「空気の分子シミュレーション」をプロジェクターで見せてあげるのをおすすめします。これは、小林真理子さんの教え子である

宍戸哲広さんが作られたもので、空気の分子が飛び回って衝突し、跳ね返る様子が、遅い分子あり、速い分子ありと実に良く表されています。

また杉浦裕文さんの『仮説実験授業ノート 温度と分子運動』（ガリ本図書館）では、BB弾を使った「分子運動演示装置」が紹介されています。これはCDケースにBB弾を入れて動かすことによって、分子運動のシミュレーションをするものです。杉浦さんは「CDケースにBB弾を30個程度入れる」としていますが、それでは数が多すぎて動きが悪くなります。数を変えてやってみたところ、10個が一番いいと思いました。杉浦さんは「一部色違いのものを入れる」こともすすめています。10個のうち1個だけ色違いにすると、「ひとつの分子の動きだけに着目する」ことができたのしいです。



なお使うBB弾は競技用のものが、動きが非常になめらかなのでおすすめです。

洗い物をするとき冷水よりもお湯を使った方が汚れがよく落ちます。これも温度が高いため分子が激しく動いて、汚れにぶつかるためです。

プロジェクターで拡大投影するのがおすすめです。何時間でもながめていたくなります。

このCDROMは仮説社で売っています。

温度を変えてシミュレートできるのがたのしいです。

「分子運動演示装置」人数分あると良いですが、OHPの上にのせてやってもたのしめます。

「物質の表面の温度をはかる温度計」

「放射温度計」という名称は、「温度計が何かを放射している」と誤解されたため、最近メーカーはその名称を使わなくなっているとのことです。

「物質の表面の原子が放射する放射線」とは、身近な場面では「赤外線」のことです。「ものはすべてその温度に応じた赤外線を出している」ので、それをはかるわけです。

#### 問題1 「部屋の壁の温度」

これは予備実験が必要です。また温度計は少数以下の数値が出ないものの方がよいです(少数以下をテープなどで隠す)。壁によっては、後ろに水道管が通っていたり、日が当たっていたりして、室温と異なることがあるからです。

もっとも温度が違ってしまっても、次の「お話」で納得してもらえます。

#### 「部屋の壁の表面の温度とその部屋の気温」

同じ部屋にあるものでも金属製品とぬいぐるみなどではさわったときに感じる温度が全く異なります。しかし、非接触温度計で温度を調べてみると、同じことが分かります。

スポットライトなどの強力な光源がある場合は、熱線を体験できます。最近のプロジェクターなどの光源は、ほとんど熱線が出ていないようで、熱さを感じません。

#### 「非接触温度計の話」

「温度に応じた電磁波を出している」ことは、ニクロム線に電流を流すと「赤い光」という電磁波が出てくることでも分かります。クギをガスバーナーで過熱しても、自ら赤い光を出すようになります。温度が低いときに出てくる電磁波は目には見えない赤外線なのですが、温度が高くなると可視光線が出てくるわけです。

夜空の星(恒星)にも色々な色のものがありますが、その色は「その恒星の温度」を表しています。だから「星の色で温度が分かる」というわけです。HR図を見てもらうと良いでしょう。

非接触温度計の用途としては、授業書に載っているものの他に、最近の「耳の穴ではかる体温計」も同じ原理です。

自動車レースでは、路面やタイヤの温度をはかるためにも使われています。「どのタイヤのどの部分が熱くなっているか」を調べて、調整をするためです。(ただタイヤの表面温度はさめやすいので、正確に測るには針のような温度計を差し込んで使うことが多いようです)

#### 非接触温度計

この説明の時に、それとなく壁の温度をはかって「予備実験」しておきましょう。

部屋には前もって温度計を置いておく必要があります。

#### 非接触温度計

部屋に金属製品がない場合は、前もってヤカンなどを置いておく。

100V電球の照明、**裸電球に可燃物を接触させると火事になります。火傷にも注意。**蛍光灯は40にしかありません。

ニクロム線(電気ストーブ)クギとガスバーナー

製鉄所や鍛冶でも赤く発光している鉄を見ることができます。

HR図。スペクトル型の暗記法は「お婆、フグ噛む」「Oh Be A Fine Girl, Kiss Me!」

この体温計は「赤ちゃんの体温を素早く測るため」開発されたそうです。

ボクが中・高校生の頃、フォークダンスがあると男子の話題はきまって「美人の手は冷たい はホントかどうか」でした。そんな問題もこの非接触温度計を使うと簡単に実験できます。クラス全員の手のひらの温度を測って、一番温度が低かった女生徒さんは「その話はホントウね!!」と大喜びでした。さらに人混みなどでこの非接触温度計を使って、「温度が低い方向には美人がいる」???などの「美人センサー」としても使えるかも知れませんか?! (「美人は手が冷たい」というのは、「貧血なので色白」という理由かも)

非接触温度計がたくさんあるなら、ここで実際に使ってもらおうと良いです。「手をこするとどれくらい温かくなるか」などをやってみてもたのしいですし、最初にやったハスの実の実験なども、何度になっているのか測ってみるとたのしいです。

#### 研究問題 1 「陽が当たっているところの温度」

夜間など太陽が出ていないときは、スポットライトなどの光源を使うと同じように実験できます。北国の道路には「気温」と一緒に「路面温度」も表示しているところがありますが、天気の良いときは、「路面温度」は気温よりもずっと高くなっています。

#### 問題 2 「くみ置いた水の温度」

まず、かなり前から水を部屋に置いておく必要があります。部屋の気温が変動するときは、水温の変動が遅れ気味になりますので、部屋の気温もあまり変動させない方がよいのです。水は、ラップをかけたものと、そうでないものとをそれぞれ用意しておきます。

「くみ置きの水の温度は気温よりも低い」

「温度は分子の速度の平均」というのを押さえておくとう理解ができます。「液体の水の中で速度の大きいものが空気中に出て行くので、残った水分子の平均速度は低下する」というわけです。

水分子が飛び出せないようにラップをかけた水の温度は、室温と同じになっているのを確認すると良いです。

「ラップをかけた水の温度は下がっていない」ということは、「温かい物をさませないためにもラップは有効」ということになります。コップにお湯を入れて、しばらくしてから、ラップをかけたものとそうでないものの温度を比べてみると、その違いに驚くはずですよ。

また素焼きの容器に水を入れると、水が素焼きの表面から徐々に蒸発して、さらに温度が下がっているのを確認できます。インドな

非接触温度計は安価なものだとホームセンターなどで2000円以下で買えます。高価なものほど、狭い範囲を測定でき、正確な測定が可能になっています。安価なものは、広い範囲(の平均)を測定するため、測定したい対象が小さいときは、その測定値はあまり信用できないことになります。

「ドライビングウェザー」というサイトで、高速道路の気温と路面温度を知ることができます。「道路気象データ」をクリックします。

くみ置いた水  
ラップ

黒板に水分子をたくさんはりつけて説明すると良いです。

お湯を入れたコップ(ラップをしたものとしらないもの)

素焼きのはち

どでは、こういう壺に水を入れて水を冷たくしているのだそうです。  
軍用タイプの水筒も、アルミ水筒のカバーを濡らすことで中を冷や  
すことができるようになっていました。

### 問題3 「水に扇風機の風を当てると」

「湿度 100%というのは、もうそれ以上水は蒸発できないということ」と説明しておくの良いです。この実験は、ドライヤーではうまくいきません。扇風機を使うのが一番です。また、水を入れた容器はバットののように広口のものが良いです。「お盆に水を張ったもの」が一番ハッキリと結果が出ます。

#### 「水が蒸発すると温度が低下する」

温度計を2つ用意して、片方は水で濡らして扇風機の風を当ててみると、違いがハッキリします。ここで「乾湿球温度計」のことに気がつく人がいることでしょう。

#### 「湿度の話」

ここでも「温度は分子運動の激しさ」という概念で説明するのが有効です。

「湿度と蒸し暑さ」では、「不快指数」のことを話しても良いでしょう。

$$\text{不快指数 (DI)} = 0.81T + 0.01U(0.99T - 14.3) + 46.3$$

T:気温 U:湿度

不快指数は 80 以上で「全員不快」、75 以上で「半数が不快」、70 以上で「一部が不快」とされているものです。湿度が関係していることが分かります。次の「乾湿球湿度計」で湿度を測ってから、計算してみると良いでしょう。

#### 「乾湿球温度計」

乾湿球温度計を気づかれぬように教室に置いておきます。温度に違いがあることを見せてください。それぞれの温度から「湿度表」をもとにして湿度を出してもらおうと良いでしょう。

「体感温度」という言葉が出てきますが、体感温度はふつう風速との関係で次のような式で表されます。

$$\text{体感温度} = T - 4r$$

T:気温 r:風速

気温が 0 度でも風速が 9m/s あったとすると、体感温度は-12 度となります。夏山登山で凍死という事故が起こるのもこういう訳です。

ベトナム戦争以降の装備では、軍用水筒は柔らかなプラスチック製となっています。

扇風機

広口の容器

熱いものを食べる時に息を吹きかけることは有効だということですよ。

温度計

乾湿球温度計

湿度表

2009 年 7 月北海道の夏山で 10 名が凍死しました。

「打ち水の話」

「磁石とパチンコ玉」の話は、仮説社で売っている「磁石玉=マグネットボール」を使うと、大きいですし、ぶつかったときに音が鳴るので説明しやすいです。また「ロケットが地球の引力圏を脱出するのに大きなエネルギーが必要」ということを話しても良いでしょう。

「飛び級」の話は、「習熟度別クラス」の話に変えた方が良くも知れません。またサッカーの「J1」と「J2」の話にしても良いでしょう。

「水の沸騰と蒸発」

ボク自身子どもの頃からの疑問が「水の沸点は100度なのに、どうして室温でも水は蒸発するのか」ということでした。いくら温度計で測っても100度にはなっていないのに、水は蒸発していつてしまうのが不思議でした。

「水の状態変化図」では、「氷と水蒸気が相互に直接変化しうる」様子を示していますが、これは北国ではあまり不思議なことではありません。真冬に気温が常に氷点下であっても、積雪や氷が蒸発して少なくなっていくのを経験していますし、空気中の水蒸気が直接氷になるのが「ダイヤモンドダスト」という現象です。

また冷凍庫の氷が時間とともに無くなってしまうのも、氷が蒸発してしまうからです。

問題4 「アルコールを蒸発させると」

「エーテル」は有毒で、たえられないほど臭いです。しかも爆発する危険性もありますので、特に問題がなければ「エーテル」の実験は省略することをおすすめします。

「無水アルコール」とはアルコール濃度が100%に近い(99.5%)アルコールのことです。メチルアルコールよりも、エチルアルコールの方が高価ですが、安全です。エチルアルコールを使う場合でも、換気や火気には十分注意してください。

アルコールは、シャーレのような容器に入れると良いです。蒸発するのを待つ間に、「アルコール・パッチテスト」をやってみても良いでしょう。アルコールの気化熱も体験できます。救急絆創膏にエチルアルコールを2~3滴たらしたものを腕の内側に貼り付けます。7分後に皮膚が赤くなっていたら、「お酒を飲めない体質」ということです。10分後に赤くなった場合は、「お酒に弱い体質」で、全く変化しないときは「お酒に強い体質」ということになります。

アルコールが蒸発して、温度が下がったことを確認できたら、今度は、扇風機などを使ってみると、かなり温度が下がるのが分かっ

「磁石玉」

前述のシミュレーターCDROMに「水の蒸発」があります。

分子模型を使うと「液体の水」というのは特に特徴がないので、「氷 水蒸気」の変化も違和感なく納得できます。

氷の分子模型

無水エチルアルコール  
シャーレ

スポイト  
救急絆創膏  
このテストではアルコール代謝を調べています。

ておもしろいです。

エーテルは、ちょっとその臭いをかいでもらえば「とても臭いのでやめて、違うもので実験します」と進めてゆけるでしょう。そして、臭いものの代わりに香りの良いもの=芳香剤を使います。液体の芳香剤をおいておくと、液が蒸発して温度が下がるのがわかります。

もっと劇的に確かめたい場合は、ボタンを使うことです。ライターガスなどとして売られている液体のボタンは、どんどん蒸発して温度があつという間に下がります。ガスコンロに使うボタンは安価ですが、臭いがついているため、とても臭いです。スポーツで怪我をしたときに患部を冷やす「コールドスプレー」は、細かな液体のボタンを放出して、それが蒸発することによって、患部を冷やす仕組みになっています。また、最近の殺虫スプレーには、薬剤ではなく、ボタンによる冷却で虫を殺す仕組みのものが売られています。

「水以外の液体の蒸発と温度の低下」

パッチテストをしない場合は、消毒用アルコールを腕に塗って、「ひやっと」感を体験してもらうと良いです。

「電気冷蔵庫というのは、液体が気体になるときに冷えるという現象を利用している」とありますが、クーラーも全く同じ原理です。ここまで勉強してくると、その原理も納得できると思いますので、詳しく説明しても良いでしょう。

問題5 「真空鐘を使ったら」

真空鐘というのがよく分からないと思いますので、説明してあげてください。ようするに、「その中の空気を抜く」ということです。ここで「湿度 100%」の話を出してもらおうのです。容器に入れた水は蒸発していきませんが、湿度が高くなるにつれて蒸発することができなくなっていきます。しかし、まわりを真空にしてみれば、湿度は低いままです。水はずっと蒸発し続けることができることとなります。蒸発によって温度が下がるなら「水が凍るぐらいまで下がるか」ということです。

この実験を教室でやるのは大変(サイエンスシアターのときは20分ほどかかったそうです)ですので、「実は200年以上前に同じことに興味を持っていた科学者がいました」として次の「お話」に進むと良いです。

「蒸発による温度の低下の実験とフランクリン」

日本の最高額紙幣には福沢諭吉の肖像が使われています。では米国の最高額紙幣=100ドル札には、誰の肖像が使われているのでしょうか。実は、それがフランクリンなのです。

扇風機

エーテル(なくてもよい)  
液体の芳香剤(前もって置いておく)

ライターガス

コールドスプレー

殺虫スプレー(殺虫剤不使用タイプ)

ボタンは無害ですが、爆発する危険がありますので、換気と火気に十分注意してください。

岩波映画の「冷蔵庫の話」はオススメです。「たのしい科学教育映画第2集」に入っています。仮説社で購入できます。



フランクリンの「ワインにひたした羽毛で温度を下げる実験」は、簡単にできますので、やってみても良いでしょう。

「フランクリンや科学者たちがみなさんと同じよう問題に興味を持って実験してたしかめてきた」ということを話しておいてください。そして、「当時の科学者が知らなかった分子運動のことを、みなさんは学んでいるわけです」と付け加えると良いでしょう。

フランクリンに興味を持った人たちには、板倉聖宣著『フランクリン』仮説社 を紹介してあげてください。子どもでもたのしく読める本です。

実際に水を真空中においたらどうなるのでしょうか。実は、すでに宇宙飛行士が実験してくれています。かつては、宇宙飛行士が出したおしっこは、宇宙船の外に捨てていたのですが、宇宙空間に出たおしっこは、すぐに蒸発して温度が下がった結果、氷になって、キラキラと輝くそうです（授業書《たべものとうんこ》より）。

#### 問題6 「気体が液化したら温度が上がるか」

今度は逆になった場合の温度変化です。

##### 「水蒸気が液化すると気温が上がる」

「日本の最高気温は40.9度です。どこで記録されたと思いますか」と聞いてみると良いでしょう。南の地方ではなく、埼玉県熊谷市と岐阜県多治見市なのです。これはそれぞれ東京と名古屋からのヒートアイランドによる熱風と山地からのフェーン現象が組み合わさったためです。「六甲おろし」もフェーン現象によって吹く風のことです。

フェーン現象の説明は「水蒸気の液化」だけでは不十分です。「なぜ高度を上げると気温が低下し、高度を下げると上昇するのか」という説明が必要です。でも、これも分子運動で説明できるのです。空気のかたまりが山を越えようとして上昇してゆくと、気圧が低下していきます。つまり、「空気の分子数は同じで空間が広がる」わけです。空間が広がったことにより、分子はあまり衝突しなくなり、温度が下がることになるのです。そして、山を越えて高度を下げるときは、気圧が上がっていきますから、だんだんと狭い空間に押し込められることとなります。そこで空気の分子は互いに激しく衝突することになり、温度が上がるわけです。

フェーン現象は、この「山を越えようとして高度を上げて気温が下がったとき」に、水蒸気が液化して熱が発生することにより、気温の低下が抑制されます。そして、たいした気温が下がらなかった空気の塊が、山を越えて高度を下げて気温をぐんぐんと上げることによって、もとの気温よりも高くなるわけです。

米100ドル札の図版でフランクリンの顔を見ることができます。

温度計、ワイン、羽毛、ゴム扇風機

現在はおしっこも飲料水としてリサイクルしているので捨てていません。

両市とも2007年8月16日に記録。以下40.8度山形市、40.6度和歌山県かつらぎ市と静岡県浜松市。最低気温は、-41.0で北海道旭川市（1902年1月25日）、以下-38.2 帯広市、-38.0 富士山頂、-37.9 枝幸町歌登。

空気を圧縮すると温度が上がることは「圧縮発火器」を使うと感動的に分かります。これも分子の動きを考えてゆくことで、より理解が深まるでしょう。

また、この「山を越えてきた空気の塊」は、水蒸気の多くを失っていますから、乾燥しています。つまり「乾いた暖かい風」が吹いてくるわけです。そのため火災が発生しやすくなります。新潟ではフェーン現象による火災でこれまでも 1200 戸が消失しています。

日本のような小さな山地でフェーン現象が起こるなら、もっと大きい山脈では、もっと激しいフェーン現象が起こっても不思議ではありません。実際、米国のロッキー山脈でのフェーン現象では次のようなことがありました。フェーン現象によりモンタナ州のある町では、3 分間で気温が 17 度も上昇し、25 センチ積もっていた雪がすべて消失（昇華）してしまったそうです。

「人工衛星の場合だって、落ちてくるときは、地球の引力に引っ張られて猛烈に加速されます」とありますが、人工衛星が落ちてくるのはあまりないことなので、流れ星の話をしてあげると良いと思います。流れ星も地球に引っ張られて猛烈な速度で落ちてきて、空気との摩擦で燃え上がるわけです。

「水蒸気という気体が液体になると気温が上がる」ということですが、「液体が固体になるとき」も温度は上がるのでしょうか。理屈で考えると、そういうことが起こるはずです。

実は、登山家などはこのことを知っていて、寒い山でキャンプするときは、テントの中に、水をおいておくのだそうです。水が氷になるときの発熱をあてにしているわけです。また仮説社などで売っている「エコカイロ」を使うと、感動的にそれが体験できます。

#### 問題 7 「100 度の水蒸気は危険か」

「サウナ風呂がどんなものか」の説明が必要です。サウナ風呂には「蒸気浴」もありますが、ここで言っているのは「熱気浴」のことです。

「液体と気体では同体積でも分子の数が千倍以上も違う」ということは、次のように説明すると良いでしょう。12 センチ四方の空間にちょうど 1 億倍の水分子を 3 つおくことができます。これが液体だとすると、気体になったときは、「120 センチ四方の空間に水分子が 3 つ」ということになるわけです。

上空には、温度が 1000 度にもなっている空間があります。しかし、そこにある空気の分子の数は地上の 100 億分の 1 だけしかありませんので、その空間に行ったとしても、熱を感じることはないでしょう。これも「温度は分子運動の平均」ということから起こることなのです。

ロッキー山脈と日本列島の大きさを世界地図で比較してみると良いです。

この「気化熱」と「凝固熱」をうまく使って熱を伝えるのが「ヒートパイプ」です。アイスクリームスクープなどにも使われています。

高橋信夫「ヒートパイプ」『たのしい授業』No.345

エコカイロ（リサイクルカイロ）もとの液体に戻すには電子レンジも使えます。ただ過熱しすぎると破裂しますので、注意。

「サウナ風呂」の写真

水分子模型

理論的には1立方センチメートルの水を水蒸気にすると1リットルほどになるはずですが、実際にビニール袋などでやってみると、水蒸気は冷やされてまた水に戻るの、それほどは膨らみません。常温で気体である液体窒素やドライアイスを使えば、うまく実験できると思いますが、それほどの必要はないでしょう。

岩波映画「動きまわる粒」を見せると、液体や気体の分子の動きや、気体になったときの分子の様子が感動的にわかります。

「100度の水蒸気はとても危険」

授業では「ヤカンの湯気でやけどをした」という経験と「水蒸気だって気体なんだから、100度の空気と同じだ」という理論が対立していて、「水蒸気が液化する」ということに気がついた意見はありませんでした。また「水蒸気が液化した水は、皮膚にくっついたまま」というのも火傷がひどくなる理由のひとつです。こんなクイズがあります。「100度の水と鉄をさわったとき、どちらがひどく火傷するか」。鉄はさわってもすぐに放せますが、水は皮膚にくっついたままなので火傷が進むわけです。

「水蒸気が液化すると多量の熱を出す」のを逆にすると「水が水蒸気になるときは温度が下がる」ということで、「打ち水」のときがそうでした。「火渡り」というのは、「熱した炭などの上を素足で歩く」というものですが、これにこの原理が使われています。参加者は火渡りを行う前に、十分に足を氷水につけておくのです。足は冷えるだけでなく、多くの水を吸収して、その水が蒸発することによって温度を下げて、足が火傷するのを防いでいるわけです。この話をするときは、子どもたちが興味本位でやったりしないように注意してください。

気化熱とは関係ありませんが、簡単には、冷水に手をしばらくつけておいてから、すぐに熱い湯（42度程度）にその手を入れても熱くはないのを体験できるでしょう。これはお風呂で遊ぶときに使えます。

丸山秀一

[kasetu.maruyama@nifty.com](mailto:kasetu.maruyama@nifty.com)

ビデオ「動きまわる粒」  
仮説社でDVD販売中。

## 文献

- ・ 板倉聖宣,「授業書と解説《蒸発と分子運動》」,『たのしい授業』2005年10月号,仮説社  
授業書本文はこの文献にあります。
- ・ 板倉聖宣,『熱をさぐる 温度と原子分子,サイエンスシアター シナリオ集』,板倉研究室,1995  
この本は,現在『熱をさぐる編 サイエンスシアターシリーズ』として仮説社から4分冊で出版されています。
- ・ 杉浦裕文『温度と分子運動 仮説実験授業ノート』ガリ本図書館,2006

## 参考文献

- ・ 目次伯光,板倉聖宣,「授業書案 技術入門 と解説」,『たのしい授業』1995年12月号,仮説社
- ・ 板倉聖宣,「蒸発と寒剤のなぞ」,『たのしい授業』1999年8月号,仮説社
- ・ 北野貴久,「カンタン気化熱体験」,『たのしい授業』2002年8月号,仮説社
- ・ 板倉聖宣,「授業書と解説《分子運動と寒剤のなぞ》」,『たのしい授業』2005年11月号,仮説社
- ・ 桂川幾郎,「非接触温度計」,『たのしい授業』2005年12月号,仮説社
- ・ 小野健司,「アッチッチ玉を入手しました」,『たのしい授業』2006年11月号,仮説社
- ・ 丸山秀一,「《蒸発と分子運動》感想文集」,ばらと大会用レポート,2007
- ・ 山田芳子「クリスタル・シミュレーター」『たのしい授業』No.251