

科学オリンピック

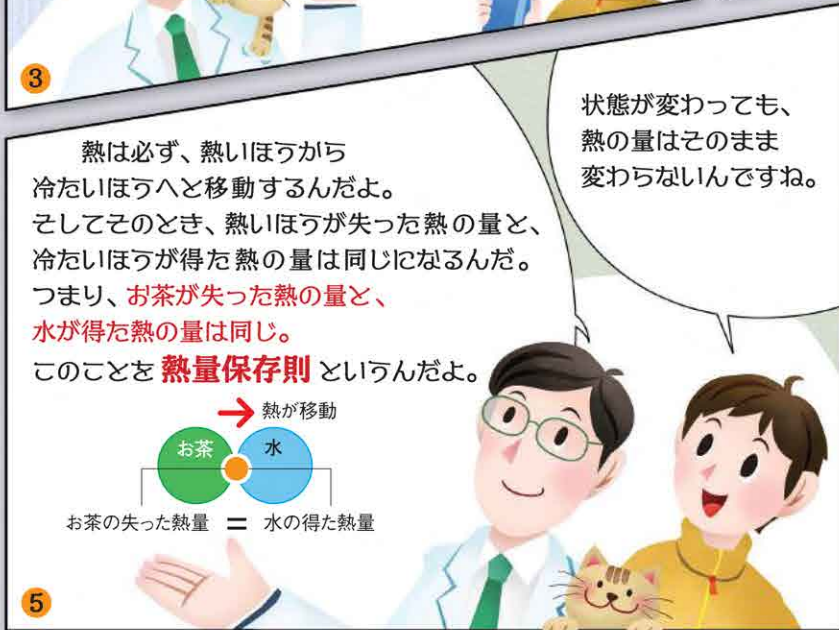
2009 vol.3

だより

好奇心旺盛な生徒を 科学オリンピックの舞台へ

科学オリンピックとは、世界各国の中等教育課程にある生徒を対象として開催される国際的な科学コンテスト。日本はこれまでに数学、化学、生物学、物理、情報などに参加した実績があります。生徒の可能性や見聞を広げる絶好の機会、先生方もぜひ科学オリンピックへの参加を呼びかけてください。

科学オリンピックの世界へようこそ〈物理編〉 熱の伝わり方には法則があった!?

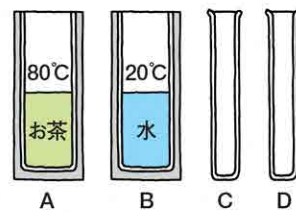


火を使わずに温度が上がる熱伝導マジック

第4回全国物理コンテスト 物理チャレンジ2008 第1チャレンジ 理論問題コンテストより出題(一部改変)

次の文を読んで、問題に答えなさい。

断熱性のよい容器A,Bと熱伝導性の高い容器C,Dがある。容器A,Bにはそれぞれ、80℃のお茶(ただし、比熱は水と等しいとする)1,000gと、20℃の水1,000gが入っている。A,Bは容器C,Dの中に入れられる大きさで、中の液体がこぼれることはない。



これらの容器は、次のような使い方ができる。

- 1) 容器Bに入っている水をすべて容器Cに移し、容器Cを容器Aの中に入れる。
- 2) 熱伝導によって、しばらくすると、容器Aのお茶と、容器Cの水の温度は等しくなる。

(移動する熱量) = (物質の質量) × (比熱) × (温度変化) とすると、
(容器Aの中のお茶が放出した熱量) = (容器Cの中の水が吸収した熱量)

という関係が成り立つと考えられる。ただし、ここでは、容器の温度変化のために吸収する熱量は考えないものとし、周囲の環境への熱の放出もないものとしている。

問題

容器A~Dを利用した熱伝導の過程だけを用いて、お茶と水を混ぜることなく、最終的な水全体の温度を、最終的なお茶全体の温度より高くすることはできるだろうか。できるとすればその方法の1例を、またできないとすればその理由を述べなさい。

キーワード

比熱:物質1gの温度を1℃上げるために必要な熱量のこと。物質により比熱の値は異なります。

解答 できる。一例として、次の手順で行えばよい。

- ① 容器Bの水を容器C,Dに半分ずつ分ける。
- ② 容器Cを容器Aの中に入れて、60℃になるので、水を容器Bに戻す。
- ③ 容器Dを容器Aの中に入れて、約47℃になるので、水を容器Bに戻す。
- ④ 容器Bの水は約53℃になり、容器Aのお茶は約47℃になっている。

条件として示した、容器による熱の吸収や周囲への熱放出はないとした容器A~Dを用いた熱伝導だけで、左記のようなことが可能である。始めに分割するのがお茶でもよい。また、2等分でもよい。熱交換器の原理である。

物理チャレンジの過去問題について詳しく知りたい人は [コチラ](http://www.phys-challenge.jp) www.phys-challenge.jp

物理チャレンジで出題されるのは理論問題と実験問題。理論問題の第1チャレンジ(1次選考)では参考資料を1冊までなら持ち込むこともできるんですね。

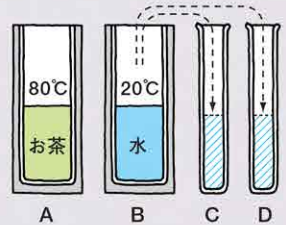


実際の過去問題では、お茶と水の量がそれぞれ1ℓとして出題されているよ。問題文の中に解答を導くためのヒントが散りばめられているから、じっくり読み込んでトライしてみてね。



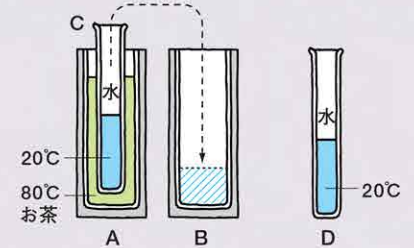
解説

1 容器Bの水を容器C,Dに半分ずつ分けます。



ポイント 水を分けることで熱伝導を2回行います。

2 容器Cを容器Aの中に入れて温度が等しくなってから容器Bに水を戻します。



お茶と水それぞれの温度変化は、お茶から水へと熱量が移動した後の温度を t_1 ℃とすると、お茶の温度変化(何度分下がるか)は $(80-t_1)$ ℃、水の温度変化(何度分上がるか)は (t_1-20) ℃で表せます。

$$1,000 \times (\text{比熱}) \times (80-t_1) = (1,000 \times \frac{1}{2}) \times (\text{比熱}) \times (t_1-20)$$

$$\text{比熱は同じと考えるので相殺され、}$$

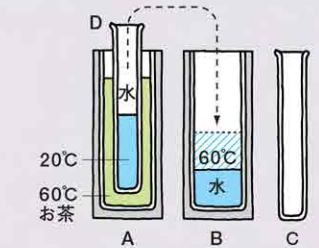
$$80,000 - 1,000t_1 = 500t_1 - 10,000$$

$$-1,500t_1 = -90,000 \quad t_1 = 60$$

容器Aのお茶と容器Bの水の温度が60℃になります。

熱量保存則の考え方
移動する熱量 = 物質の質量 × 比熱 × 温度変化 とすると、
お茶が放出した熱量 = 水が吸収した熱量
つまり、下記の式が成り立ちます。
お茶の質量 × 比熱 × 温度変化 = 水の質量 × 比熱 × 温度変化

3 容器Dを容器Aの中に入れて温度が等しくなってから容器Bに水を戻します。



同様に熱量が移動した後の温度を t_2 ℃として熱量保存則の考え方にあてはめます。

$$1,000 \times (\text{比熱}) \times (60-t_2) = (1,000 \times \frac{1}{2}) \times (\text{比熱}) \times (t_2-20)$$

$$60,000 - 1,000t_2 = 500t_2 - 10,000$$

$$-1,500t_2 = -70,000$$

$$t_2 = 46.66 \dots \approx 47^\circ\text{C}$$

容器Aのお茶と容器Dの水の温度が約47℃になります。



水全体の温度を出すため、Bの容器に入っている60℃の水にDの容器の46.66...℃(約47℃)の水をたします。

同様に移動後の温度を t_3 と考えると、

$$(1,000 \times \frac{1}{2}) \times (\text{比熱}) \times (60-t_3) = (1,000 \times \frac{1}{2}) \times (\text{比熱}) \times (t_3-46.66)$$

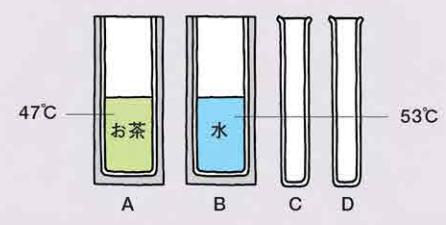
$$30,000 - 500t_3 = 500t_3 - 23,330$$

$$-1,000t_3 = -53,330$$

$$t_3 = 53.33 \dots \approx 53^\circ\text{C}$$

容器Bの水の温度が約53℃になります。

4 容器Bの水の温度が容器Aのお茶の温度より高くなっています。

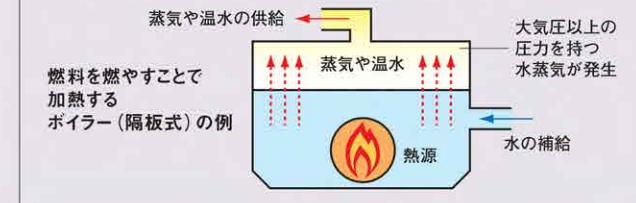


よって、容器Bの水は約53℃になり、容器Aのお茶は約47℃になって水の温度がお茶よりも高くなります。
水は熱伝導が2回行えば、 $\frac{1}{3}$ と $\frac{2}{3}$ など、2等分でも構いません。また、お茶を分割しても同じ答えが導き出されます。

熱量保存則の考え方を応用したのが「熱交換器の原理」です。

熱交換器の仕組み

熱交換器とは、熱量保存則のはたらきを応用した装置で、高温の物質から低温の物質へと効率よく熱を伝えることができます。熱の交換は主に液体や気体間で行われ、加熱や蒸発、冷却、凝縮などを目的として使用されます。左記の過去問題のように、物質同士が完全に分離した状態の熱伝導を隔板式といい、逆に物質同士が接触した状態での直接接触式、蓄熱器に蓄えられた熱を介しての蓄熱式などがあります。



INTERVIEW

飲み物の温度を保つ厚さ1mmの“宇宙空間”

宇宙空間のような真空状態を人工的に作り出すことで、飲み物の温度を長時間保てる容器。それが魔法瓶です。保温・保冷の仕組みについて、象印マホービン商品企画部の鎌田明博さんにお話を伺いました。



象印マホービン株式会社 商品企画部サブマネージャー 鎌田 明博 氏

真空層と反射素材が熱をシャットアウト!

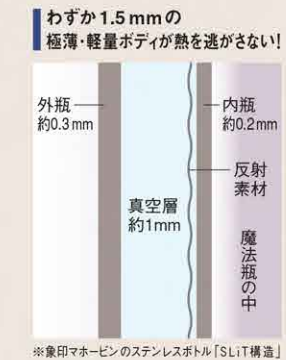
「保温や保冷は、熱の伝わりをささげることによって可能になります。熱の伝わり方には、伝導・対流・放射の3つがあり、魔法瓶にはこれらすべてをささげる仕組みが備わっています」。伝導とは、物質と物質が接することで、温度の高いほうから低いほうへと熱が移動すること。対流とは、気体や液体の中で温度差ができたとき、熱の移動が起こること。そして放射とは、熱が電磁波として物質

を介することなしに移動すること。太陽の熱が真空の宇宙を通過して地球まで届くのも、放射の働きがあってこそなのです。「魔法瓶は、内瓶と外瓶の2重構造にして間に真空層を作ること、熱の伝導・対流を防いでいます。さらに、真空層内部に金属箔を封入したり、メッキを施したりすることで電磁波としての熱を反射し、放射によって熱が逃げることが防げるのです」と鎌田さん。ただ、魔法瓶は構造上、どうしても注ぎ口の部分で内瓶と外瓶が接するため、そこから少しずつ熱が逃げています。そのため、ふたの部分に断熱材を入れたり、空気の層を挟んだ2重構造にしたりすることで熱が逃げるのを最小限に抑えているそうです。

「目指すは、真空層1mm以下!」と鎌田さんは意気込みます。真空層の幅が広くても狭くても、真空状態であれば断熱効果に差が出ることはないとのこと。しかし、幅が狭くなるほどわずかな衝撃で内瓶と外瓶が接する可能性も高くなり、そ

から熱が逃げてしまいます。「薄さと軽さとコンパクトさ。そして強度の両立が魔法瓶を作るうえで変わらないテーマですね」。さらに鎌田さんは次のように続けました。「魔法瓶の真空断熱技術を応用して、壁面などに使われる平面状の真空パネルの開発・製品化に成功しました。今後はサイズと形のバリエーションを増やしてさまざまな

分野で展開していく予定です。また、真空層を作る排気の工程で低温化を進め、より省エネで効率よく生産できる技術を開発していきたいと思っています」



※象印マホービンのステンレスボトル「SLiT構造」