■光学工房

冷凍光線!?

～研究室一般公開イベントの報告～

日常生活で日光や電球の光に照らされると暖かく感じられることはよく知られています．これは太陽や電球が光と一緒に遠赤外線も放射しているためで，この遠赤外線の「物を暖める」という性質を使ったさまざまな調理器具や暖房製品が今日販売されています．これに対し，少し昔のSFに登場したような，照射されると温度が下がる冷たい光，“冷凍光線”というものは存在するのでしょうか．先に結論を言いますと，そのようなものは存在しません．しかし，遠赤外線の性質をうまく利用することで，冷凍光線とも思えるようなデモンストレーションが可能となります．

熱が伝わるメカニズムには，熱伝導や対流，遠赤外線といったものがあります．熱伝導と対流には熱を伝達させるための媒体が必要であるのに対し，遠赤外線は光や電波と同じ電磁波であり，媒体は必要ありません．例えば太陽から放射された遠赤外線は何もない真空の宇宙空間を伝わって地球に届きますし，電球のフィラメントから放射された遠赤外線も，やはり電球内の真空中を伝わってわれわれに届きます．また，光ととてもよく似た性質をもち，レンズで絞ったりミラーで反射したりもできます．石油ストーブやハロゲンヒーターの発熱体の後ろにある反射板は，装置の後ろ側を暖めることなく前面の方向だけを暖めることに役立っています．また，虫眼鏡で太陽光を集めるように凹面鏡で集光すれば，熱源から遠く離れた物をピンポイントで暖めることもできます．

図1は，筆者が情報通信研究機構に在籍し遠赤外線（テラヘルツ波）に関する研究をしていたときに行った一般公開の様子で，発熱体を取り外したハロゲンヒーターの反射板（凹面鏡）を1mほど離して2つ向かい合わせにしたものです．ここで片方の反射板の焦点に半田ごてを置き，もう片方の反射板の焦点に温度計を置いたところ，温度計の温度が5℃ほど上昇するのが観測されました．これは半田ごて

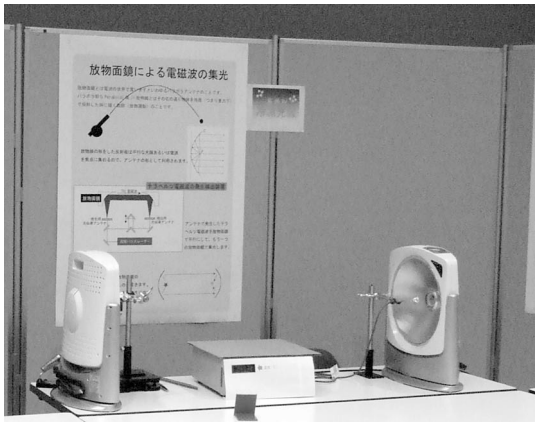

図1　情報通信研究機構での一般公開の様子．

（～300℃）から四方八方に放射された遠赤外線が凹面鏡によって平行になり，ビーム状に遠くまで伝搬した後，向かい合った凹面鏡で再び集光され，反対側の焦点に置いてある温度計を暖めたという仕組みです．これはまさに遠赤外線による熱エネルギーの伝搬を利用したデモンストレーションであり，ご覧になったお客さんたちにはわかりやすいと好評でした．

ここでちょっとイタズラをしてみます．すなわち，半田ごての代わりに冷たいドライアイス（－79℃）を置くのです．すると温度計の温度が1℃ほど下がるので，すかさず「ドライアイスから冷凍光線が放射され，それがもう片方の焦点に集光し温度計の温度を下げた」と説明したところ，そんなものはないと喰いつく人やそんな物があるのかと納得する人，別の効果によるものではないかと疑う人などさまざまな反響があり，強く興味を惹いてくれました．実際，この現象はどのように考えればよいのでしょうか．

実は，遠赤外線は熱い物からだけではなく，室温の物や冷たい物からも，絶えず放射されています．違いは放射する量で，黒体輻射とよばれる法則に従います．いま，2つのコップにそれぞれ熱いお湯と冷たい水を入れたとします．そしてそれらが室温ま

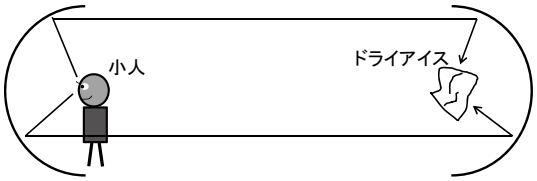

図2　小人の目にはドライアイスしか見えない．

で戻っていく様子を考えてみましょう．ただし，温度の変化は蒸発や空気による対流，水蒸気の凝結，机への熱伝導などは考えず，遠赤外線による影響だけ考えることにします．熱いお湯は四方八方にさかんに遠赤外線を放射しエネルギーを失っていきますから，放っておくと当然どんどん温度が下がっていきます．これは，冬の晴れた夜に地表の熱が宇宙空間に逃げて寒くなる放射冷却と同じ現象です．一方，冷たい水も遠赤外線を放射することはするのですが，それよりも机や部屋の壁・天井といった周囲から照射される遠赤外線のほうがはるかに多いため，失うよりも早くエネルギーを獲得し，結果として徐々に水の温度が上がっていくことになります．結局，両者ともコップが放射する遠赤外線と周りから照射される遠赤外線の授受が一致したところでバランスがとれ，室温（熱平衡状態）へと到達します．

先ほどのデモンストレーションに戻りましょう．いま図2のように，小人が温度計の位置に凹面鏡の方向を向いて立っていたとします．すると小人の目には，一面凹面鏡に映し出されるドライアイスしか見えません．すなわち，この小人は巨大なドライアイスの壁の側に立っているような状態であり，小人の体から放射される遠赤外線はドライアイスによってどんどん奪われ，こうして温度計の温度が下がったというわけです．

このデモンストレーションでは，温度計は赤い液の入ったガラスの温度計ではなく，ディジタル温度計を用いました．小さなセンサーは熱容量の面から有利であり，応答も早いのでデモンストレーションでは有効でした．また冷却剤としてのドライアイスは，色が白いため遠赤外線を強く吸収してくれません．そこで，小さなビーカーの内側に光を吸収しやすいよう黒い紙を張ってドライアイスを入れ，さらにエタノールを注ぎました．こうするとドライアイスで冷やされたエタノールが黒い紙を浸して冷やしてくれるので，遠赤外線をよく吸収してくれるようになります．ただし，ビーカーの外側には徐々に霜が付いてきますので，ときどき取り替えないといけませんが…．温度の減少はおよそ1℃程度と少なめでしたが，幻の冷凍光線を垣間見た感じで，興味をもっていただくことができました．

もう少し身近な物を使った実験も行ってみました．周囲からの照射が入り込まないよう深いステンレス製のボウル（深さ 15 cm, 直径 27 cm）を凹面鏡として用い，70 cm 程度離して向かい合わせます．そしてそれぞれの焦点には，ビーカーに入れた液体窒素（−196℃）と温度計を置きました．温度計は安価な市販品で，中からセンサーを取り出し，リード線で延長しています．結果，この実験では3℃ほどの温度低下がみられました．一方，2つの凹面鏡の中間の温度低下は1℃に満たない程度でしたので，空気による熱伝導の効果などではないことがわかります．冷凍光源にある程度の大きさがあれば，うまく焦点を結ばないこんな身近な物でも冷凍光線を観測できるのですね．

日常何気なく体験していることも，ちょっとした工夫で「あれ？」と思わせる現象が現れ，ワクワクさせてくれるものです．冷凍光線の実験もその例で，このようなデモンストレーションを通じて子どもたちに理科の面白さを知ってもらえたらと思っています．

（山梨大学　東海林　篤）