

# でんじろうさん批判



工学博士 **西尾 宣明**  
元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

## 子供に科学を！

一昨年（2004年）発表された世界の児童の学力番付では、日本の子供の順位が大きく落ち込んで、文部科学省をはじめ、教育関係者に大きな衝撃を与えたようです。中でも、以前は上位にあった数学や理科の分野での落ち込みが大きく、関係者を慌てさせているようです。「ゆとり教育」の弊害か？といった疑問も持ち上がって、教育課程再考の議論もかまびすしいこの頃です。

そのせいか、最近、新聞で科学記事を取り上げることが多くなったように感じます。とくに、子供を対象にした記事が多いように思われます。

テレビでも子供向けの科学番組が以前より目につきます。そんな中で、科学啓蒙活動家として売れっ子の「でんじろう」という人がいます。時々テレビに登場して、いろいろな見世物を披露しています。

一番の売り物は静電気を使ったものです。ゴム風船を擦って帯電させ、互いに反発する様子を見せたり、荷造り用のプラスチックの紐を束にして帯電させると、菊の花のような形になり、帯電した風船を下から近づけるとクラゲのようにフワフワと空中を漂うのを見せたりします。沢山の人に手をつながせ、端の人が

帯電した風船に触ると全員が電撃を感じてびっくりするような実験をしたりします。

大きなシャボン玉を作って遊ぶのも目玉の一つのようです。

しかし、私が見るところ、それらは科学を種にしたマジック（手品）のようで、確かに面白いけれども、子供たちが本当に理科を好きになるものか疑問を感じます。現象は確かに面白いけれども、底にある科学の原理を子供たちがどれだけ理解できるかが問題だと思います。例えば、物を擦るとなぜ静電気が起きるのか（物によっては擦っても決して静電気など起きないのですが）というのはとても難しい問題です。中学校や高校の物理を学んだだけではその原理を理解することができないと思います。

## 空気砲の実験

あるとき、静電気やシャボン玉の実験の他に段ボール箱を使った空気砲の実験を見る機会がありました。この空気砲は辺長が50センチほどの段ボール箱の一つの面に直径5センチほどの穴をあけただけのものです（穴以外のところは目張りをして空気が漏れないようにします）。その穴を2, 3メートル先の火をつけた



### 空気砲で炎を吹き消す

ろうそくのほうに向け、段ボール箱の側面を両手でバンと叩くと、箱から押し出された空気のでろうそくの炎はふっと消えてしまいます。

余談になりますが、この空気砲はだいぶ前に「I家の食卓」というテレビ番組で「大発見」として紹介されたことがあります。おそらく「大発見者」か「でんじろうさん」のどちらかが相手の発見を盗んだのではないかと疑われますが、差し障りがありますので深く詮索しないことにします。

いずれにしても、両者ともなぜ遠くにあるろうそくの火が吹き消されるのかをきちんと説明してはくれませんでした。

それとも、そんなことはわかりきっていて、説明などいらないと思われるのでしょうか？ しかし、でんじろうさんが行った次の実験を見て、私は多くの視聴者（子供たちは特に）が誤った理解をしてしまったのではないかと思います。

でんじろうさんは箱の中に煙を封入したものを用意しました。そして、穴を斜め上に向け、前と同じように箱をバンと叩いたのです。そうすると、大変面白いことに、くるくる回る煙の輪が、ゆっくりと斜め上に進んで行くのです（図参照）。

今では嫌煙の風潮の中で滅多に見られなくなったと思いますが、これと同じことを昔煙草愛好家だった私も良く子供にやって見せたものです（子供が嫌がるようになり、44歳で煙草を止めるまで、私は結構なヘビースモーカーでした）。煙草の煙を口いっぱいを含み、口先を丸く尖らせて頬ぺたを指でとんとんと叩くと、回転する煙の輪が次々に口から飛び出しますので。その様子が不思議なので、うんと小さい子供はとも喜んでくれたものです。

でんじろうさんの実験でこの可視化された空気の動きを見た子供たちは、間違いなく、これがろうそくを吹き消した者の実体と思うに違いありません。

本誌の読者にそんな誤解をする人はいないと信じますが、一応話の成り行きもありますので、ろうそくが消えた原因と煙の輪の動きの違いを確認したいと思います。

### 音波がろうそくを消す

ろうそくを消したのは実は音波なのです。と言っても、段ボールを叩いたときに出るバンッという音のことではありません。その音は周囲の人全部に聞こえています。それがろうそくの火を消すようなら、近所を通り過ぎる救急車のけたたましいサイレンの音でもろうそくは消せることでしょう。

ろうそくを消した音は普通私たちが音と呼んでいるものと形が違います。普通の音は周波数何百ヘルツというような尺度で表されるように、空気の中に生じた圧縮と膨張が連続して空気の中を伝わって行くものです。一般には進行する正弦波として表現されます。その進行速度が音速と言われるもので、常温では毎秒約340メートルです。

音波が伝わる原理は次のように説明できます。

つまり、空気中のある方向——ここでは右方向ということにして置きましょう——に生じた運動が持つ運動エネルギーによって右隣の空気が圧縮され、運動エネルギーは圧力のエネルギーに変わります。圧縮された空気はすぐに膨張に転じますが、膨張による右向きの運動は最初と同じ運動エネルギーを持つこととなります。その運動エネルギーがさらに右隣の空気を圧縮し・・・というように、運動エネルギーと圧力のエネ



煙の輪、面白いな！

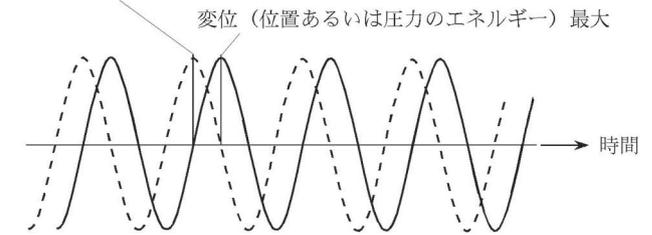
ルギーの間の変換が連続して伝わって行きます。一般に音波は膨張と圧縮の繰り返しが伝播する粗密波として説明されていますが、それは現象を述べただけで、原理の説明にはなっていません。

振り子やバネ振子が揺れるのはやはりエネルギー保存の法則の条件での運動エネルギーと位置エネルギーの間の変換として説明されます。振り子の錘が一番高い位置にあるとき静止の状態にありますが、これは運動エネルギーがゼロになり、位置エネルギーが最大になっていることを示します。振り子が垂直になったとき、錘が一番低い位置にあって、位置エネルギーがゼロになりますが、速度は最大、つまり運動エネルギーが最大になっているわけです。

電磁波（光もその一つです）も電場が磁場に変換され、その磁場が電場を生み・・・と電場と磁場の交代が伝播する現象ですが、エネルギーの中身が違っただけで、音波とほとんど同じ形の現象になっているのです。そして、電磁波の場合はそれが媒体の性質によって決まる光の速度で伝播し、音波の場合はやはり媒体の性質によって決まる音速で伝播します。媒体が0℃の空気の場合毎秒約330メートル、水の場合1500メートル、鉄の場合約6000メートルです。ただし、固体の場合、俗に縦波と呼ばれる粗密波の他に剪断変形が伝わる横波を媒介することもできます。鉄の場合、剪断波の速度は約3200メートルです。地殻を伝播する地震波の速度も（縦波、横波とも）鉄と似たり寄ったりです。

ところで、空気砲から発射された音は、普通の音が1秒間に何百回も圧縮と膨張を繰り返す連続した波なのとは違って、たった一つの圧縮波が伝わって行く、いわゆる孤立波なのです（凹んだ段ボールが復元するときに負圧になるので、膨張波が続くと思われるかもしれませんが、「No-Dig Today」51号の『吹くは易く吸うは難し』に書いたように、空気は四方から吸い込まれるので、負圧はほとんど生じません）。これは海面を伝わる津波に似ていると思えば良いでしょう。津波もたった一山の波が伝わって行く現象なのです（山の後に低い谷が続くこともあります）。波の数は一つでも、段ボールから押し出された空気の運動エネルギーが前面の空気を圧縮し、圧縮された空気が膨張して運動エネルギーになり、そのエネルギーで更に前面の空気を圧縮し・・・ということでは連続する音波の場合と変りはないのです。ですから、津波の速度が海

振動速度（運動エネルギー）最大



波動は位置エネルギーと運動エネルギーが互いに変換しながら進む

面を伝わる長い波長の波の理論で決まるように、空気砲からの孤立波もその速度は一般の音波と同じなのです。

そのかわり、普通の音に伴う空気の振動の振幅が1ミリの1000分の1という程度なのに対して、空気砲からの音の振幅（ほとんど山だけの、片振幅ですが）は数センチというとても大きい大きさです。瞬間的に10センチぐらいの空気の固まりが押し出され、その変位による空気の圧縮が伝わって行きます。穴から遠ざかるにつれて波は広がるので変位の山の高さは減少しますが、2、3メートル先でもセンチメートル級の大きさの変位が残っていれば、ろうそくを吹き消すことが十分にできるわけです。

もう少し身近な例として、大きな太鼓のそばに置かれたろうそくを上げることができます。反対側の皮をどんと叩くと、ろうそくの炎がゆらゆらと揺れるのを見ることができます。太鼓の低い周波数の音は変位の振幅が目に見えるぐらいに大きいからです。お腹にずんと響くのはこの変位が直接体で感じられるからです。空気砲はそれを狭い範囲に集中させ、指向性を持たせたもので、太鼓よりもさらに大きな変位が伝わることになるのです。ただし、波の元が小さいので周囲の空気との間の摩擦なども大きく、振幅は急速に減少し、何十メートルも先まで届かせるのは難しくなります。

## 煙の輪はどうして？

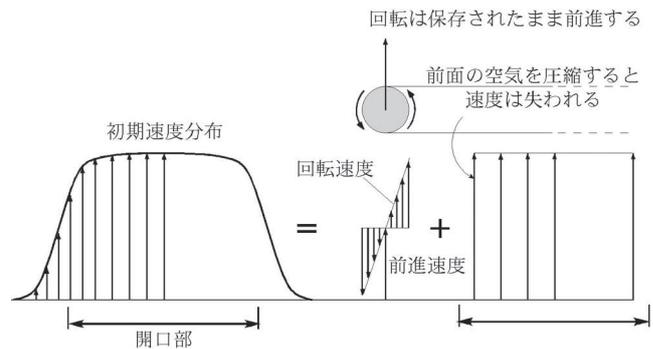
段ボール空気砲でなぜろうそくが消えるかをかなりていねいに説明しました。子供たちにはこんな学術的な説明では理解できないでしょうが、とにかく、飛び出した空気の「勢い」が音速で伝わって吹き消したことを教えなければなりません。それをしないで煙の輪などを見せてしまったのでは教育的な効果は全然なく

なってしまいます。単なる物理手品に終わってしまうでしょう。

その不幸な子供たちの代わりに、この文の読者は正しい原理を理解することができたと思います。では、事のついでに、煙の輪のほうはどうしてできるのかも説明してみましょう。

空気砲から押し出される空気の色がかりに秒速10メートルとします。これは音速よりずいぶん小さいと思われるかもしれませんが、間違いではありません。音波は圧力の変化が音速で伝わる現象であって、押し出された空気の固まりがそのまま音速で飛んで行くわけではありません。そうではなくて、段ボールが叩かれて凹んだ分だけの体積の空気が例えば高さ10センチ程度の円柱状に押し出されるだけなのです。その押し出しの速度が（例えば）秒速10メートルということなのです。そして、押し出された空気の円柱は前方の空気を圧縮し終わると秒速10メートルの運動エネルギーを失い、その場で消滅してしまう（周囲の空気と見分けがつかなくなる）のです。

その空気の円柱が押し出されるとき、周囲の空気の粘性がそれを邪魔しようとし、押し出される空気の速度の分布はきっかりとした矩形状ではなく、図のように丸みを帯び、周辺の空気にも速度を与えて、なだらかに減少するような形になります。その円柱の縁の、速度が変化する部分に注目すれば、それは剪断流と呼ばれる速度分布です。それはまた平均の前進速度と回転速度を組み合わせるものとして表すことができます。そして、輪の中心軸のまわりに回転し



回転する煙の輪はどうしてできるか？

ながら前方に進む、一つの独立した、空気の固まりが作り出されることとなります。回転する物体は独楽のようにとても安定なので、形が崩れることなくかなり遠くまで動いて行くことができます。その前進の初速度は空気の押し出し速度の約半分程度でしょう。つまり、ここで仮定した例では秒速約5メートルほどです。しかし、空気の抵抗を受けるので、軽い空気の輪はどんどん減速し、2、3メートルも進むと秒速数十センチに落ち、ゆっくりと進んでいきます。

それを煙によって目に見えるようにすれば、とても面白い見物になります。しかし、繰り返しますが、これはろうそくを消した空気の動き（音波）とは全然違う、いわば付録のような現象なのです。

付録が主役になるようなでんじろうさんの実験は子供たちの正しい物理への理解と興味をむしろ阻害するものと言わなければなりません。