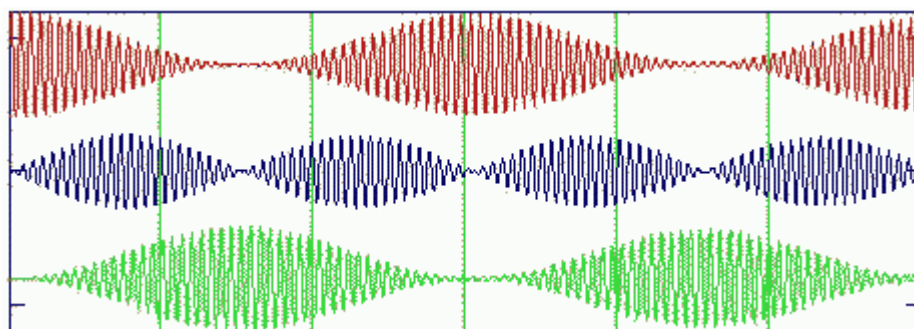
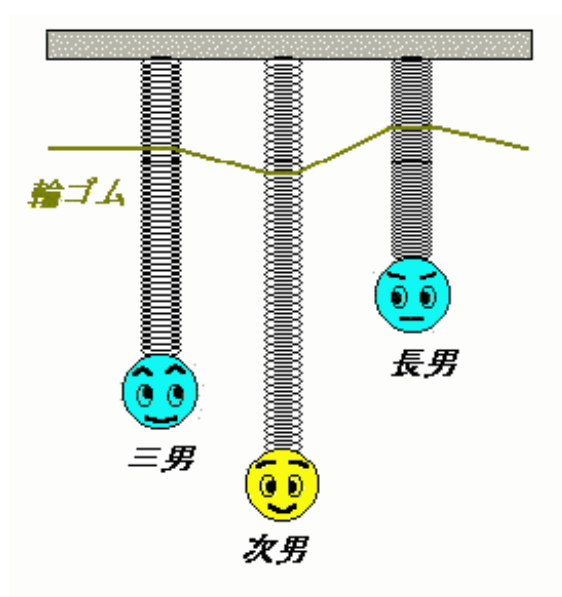


科学のおもちゃ箱



「ふりこ三兄弟」とその共振

高橋善樹

<http://homepage2.nifty.com/ysc/>

E-mail : BXT02731@nifty.ne.jp

目 次

「科学のおもちゃ箱」について	1
ノーミソにゆさぶりをかける教材の発見	2
「相対性原理」をじっくり味わう動力学展開の試み	6
運動の法則を知る簡便な演示実験 ----- 「ピースピ」を用いた加速度測定	16
加速度と「みかけの力」に関する問題 ----- 固定観念の打破から原理への接近へ	18
Mathcad による振動系の解析	19
共振型振動数計の製作	25
3次元電気力線・流線の作図	29
連成ばね振子	31
分子を実感！ ----- 水とアルコールの話	35
骨格標本づくり	40
骨格標本の製作記録 ----- ハクビシン	45
ホネ・ほね・骨	51
遺伝の授業プラン ----- 問題を自分のものとする授業をめざして	52
遺伝のしくみ	58
「超能力は存在するか？」	63
「たのしい授業」への発想	67
楽しくなさや授業じゃない	73
ある教師のつぶやき	74
星占いと宇宙論と	76
一軒の家が建つということ	77
なぜ学ぶのかなんて聞かれても…	78
相対性理論入門の入門	79

「科学のおもちゃ箱」について

3年前に勤務校で文化祭があったとき、生徒会顧問だった私はそれこそとんでもない忙しさの中にあったのですが、何とか理科としても企画参加して自分自身も思いっきり楽しみたい…と、「科学の祭典」の縮小版のような展示を行ないました。その企画の名称が「4次元ポケット＝科学のおもちゃ箱」というものでした。この本の名前はそこからとったもので、同じ名称を会津物理サークルの活動やレポートなどを紹介している私のホームページにも使っています。

この本の内容は、授業実践や教材開発の報告から研究レポート、授業論、随筆にいたるまさに「ごった煮」的な寄せ集めです。この10年ほどの間に私の「おもちゃ箱」にたまったガラクタを、こんな形で散らかしてお見せするのはちょっぴり恥ずかしいのですが、ガラクタの中にいくらかの共感をみつけていただければ幸いです。

2001.03.06

高橋善樹

ノーマルにゆさぶりをかける教材の発見

喜多方工業高校 高橋善樹

'0(

'1(
)

'2(

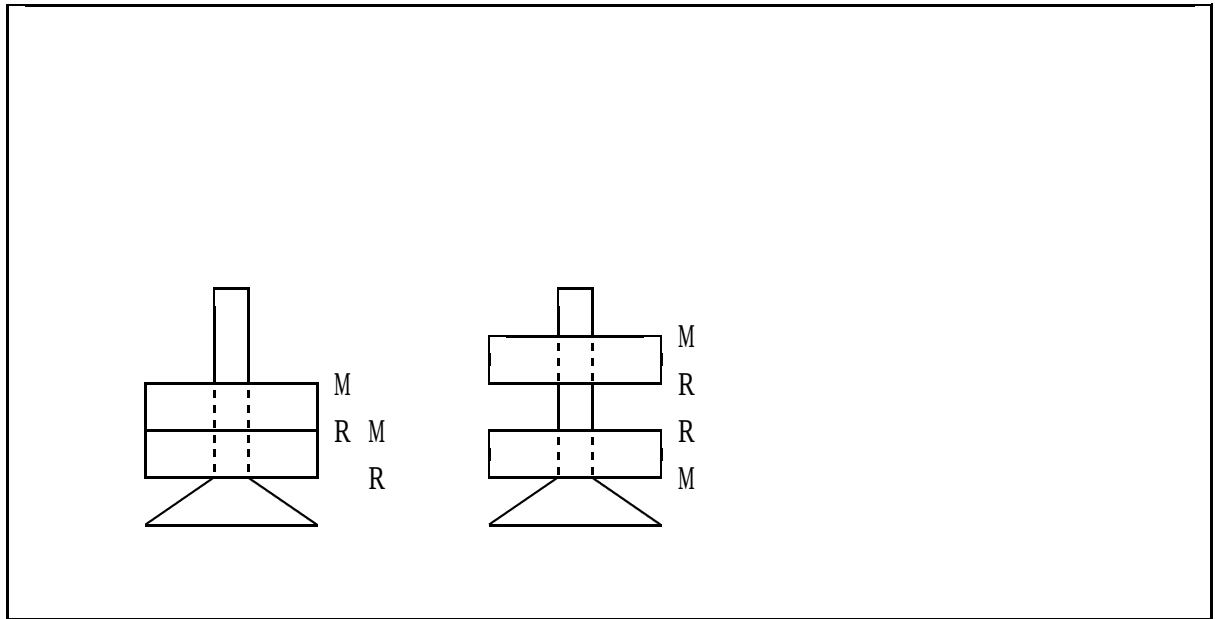
'0(

'0(

」として補足的な扱い

のだ
一切

(3)
より
す。



'1(

'2(

'0(
'1(

'1(

'0(

'0('1(

'1(

'0(

'1(

'0(

'0(
'1(
'2(
'3(
'4(

0//

&87-7 社)

「相対性原理」をじっくり味わう動力学展開の試み

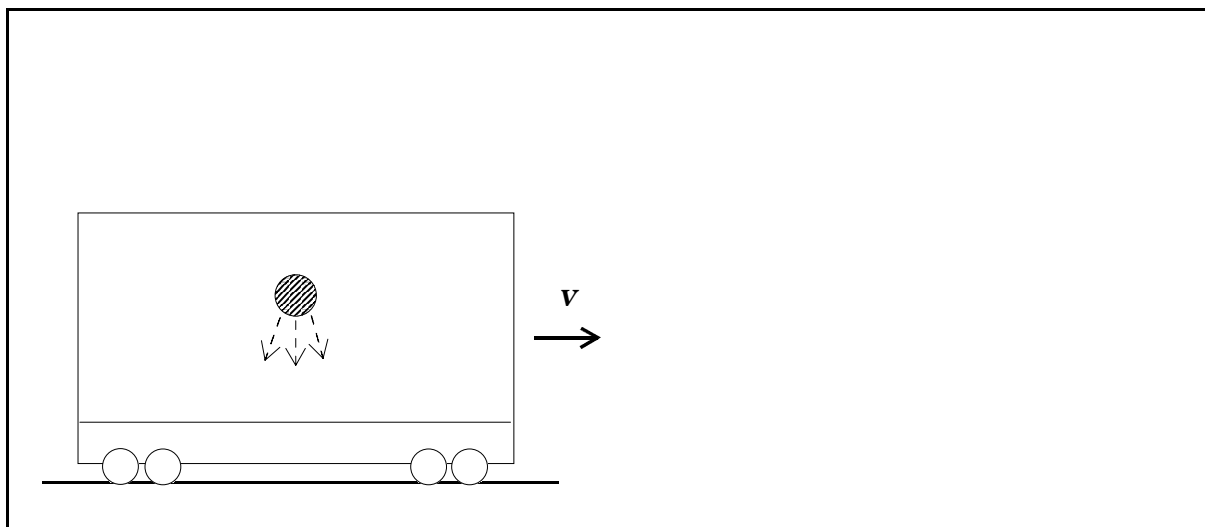
喜多方工業高校 高 橋 善 樹

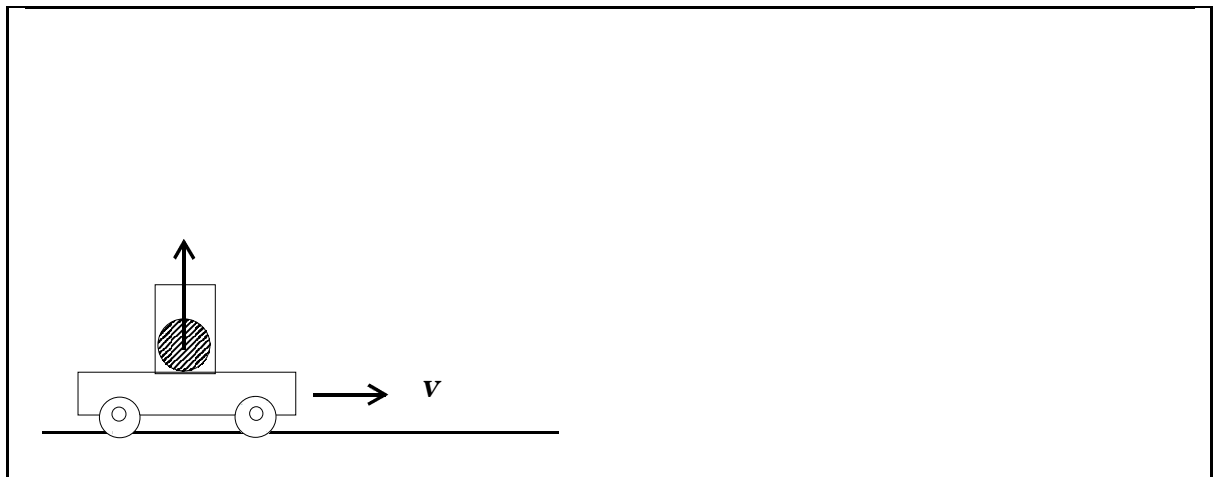
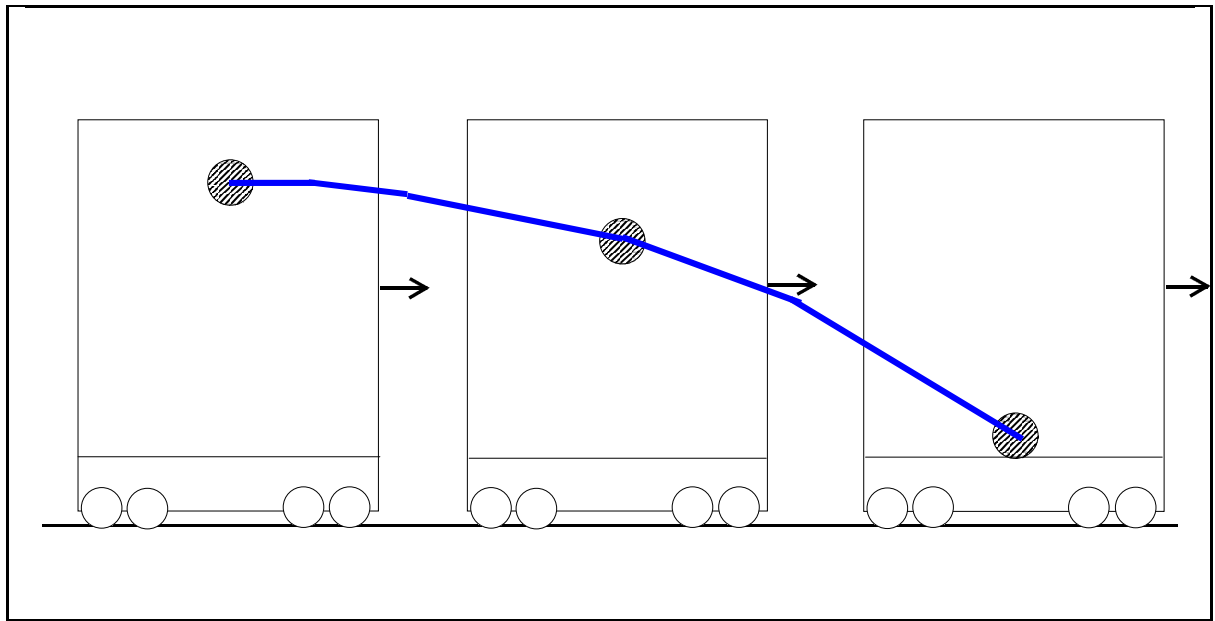
$$\mathbf{x}' = \mathbf{x} - \mathbf{v}t, \quad t' = t$$

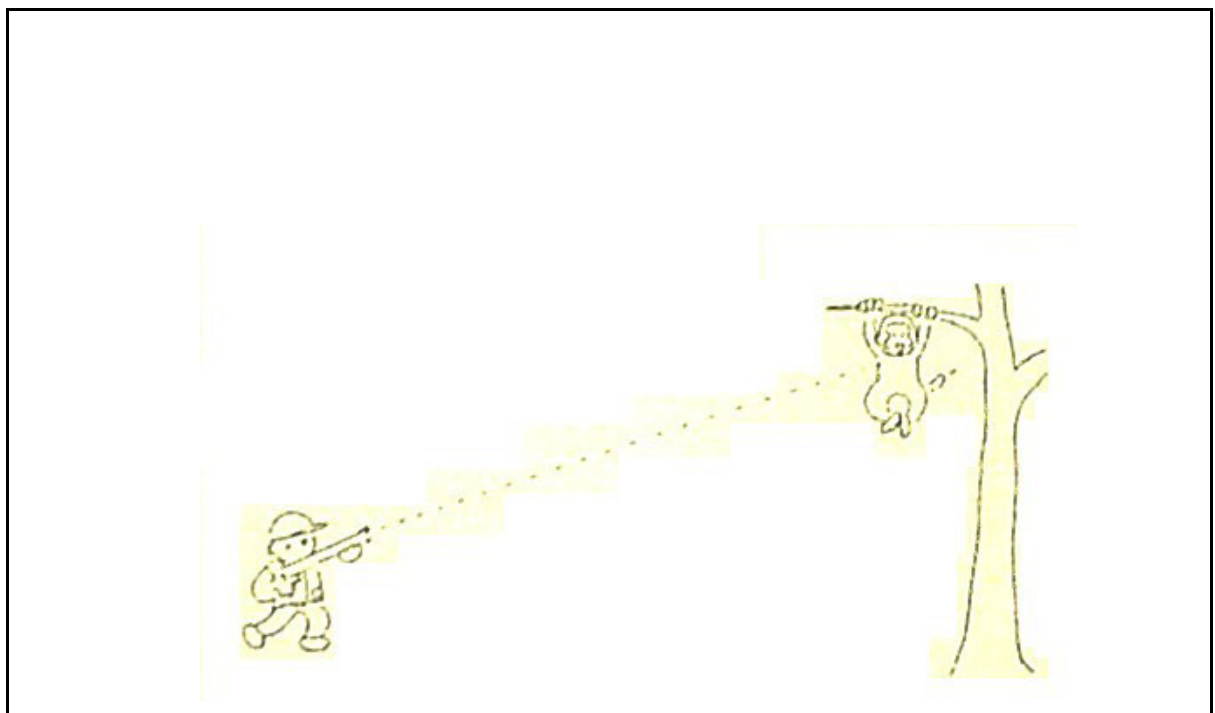
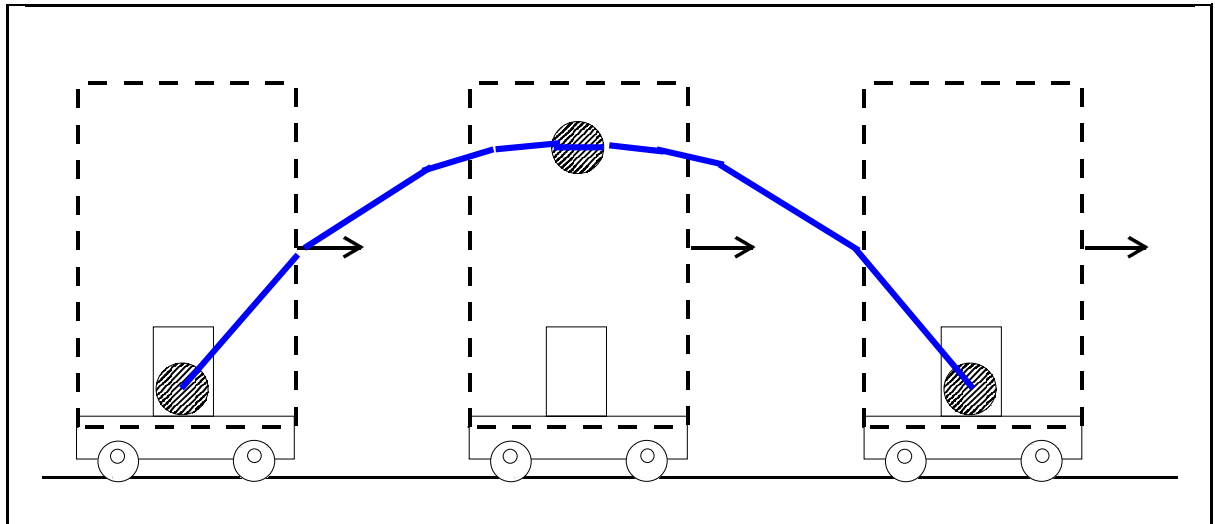
$$d\mathbf{x}/dt = \mathbf{f}(\mathbf{x})$$

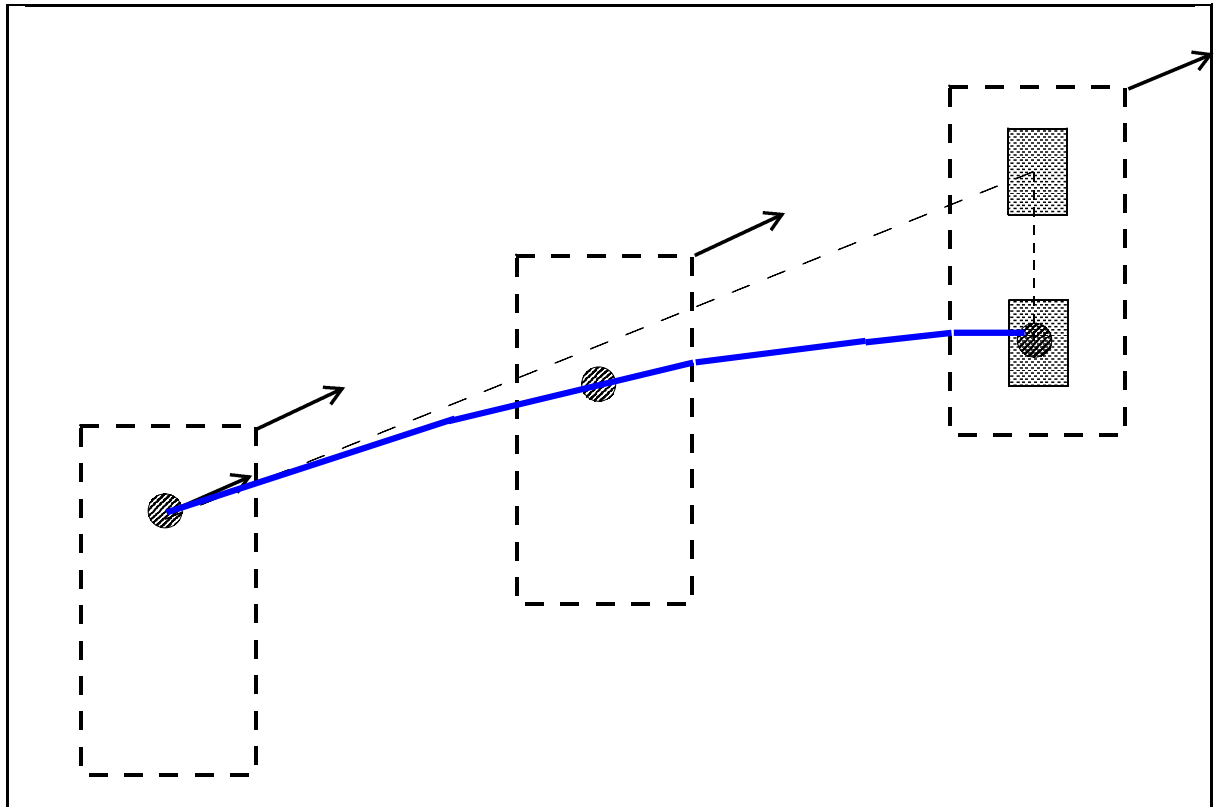
'1(

'4(







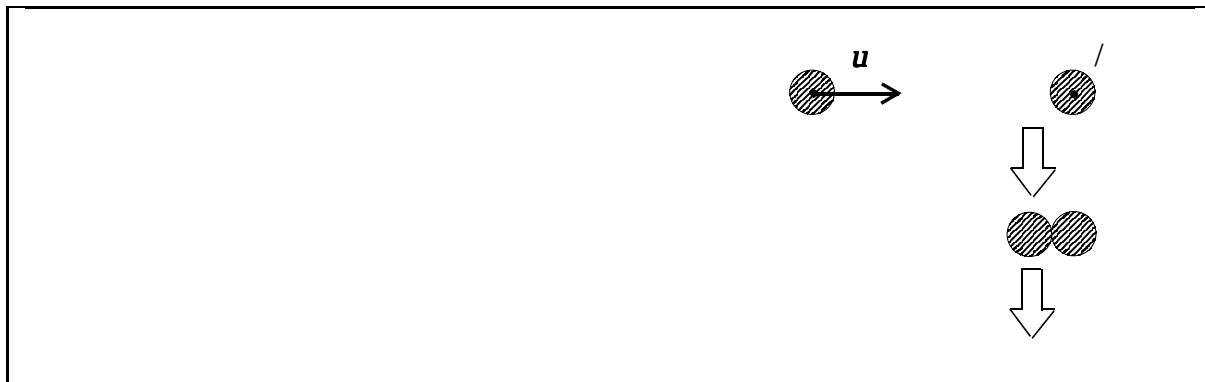


$$\begin{aligned} \frac{d \mathbf{p}}{d t} &= \mathbf{f} \\ \frac{d \mathbf{p}}{d t} &= \mathbf{f} \end{aligned}$$

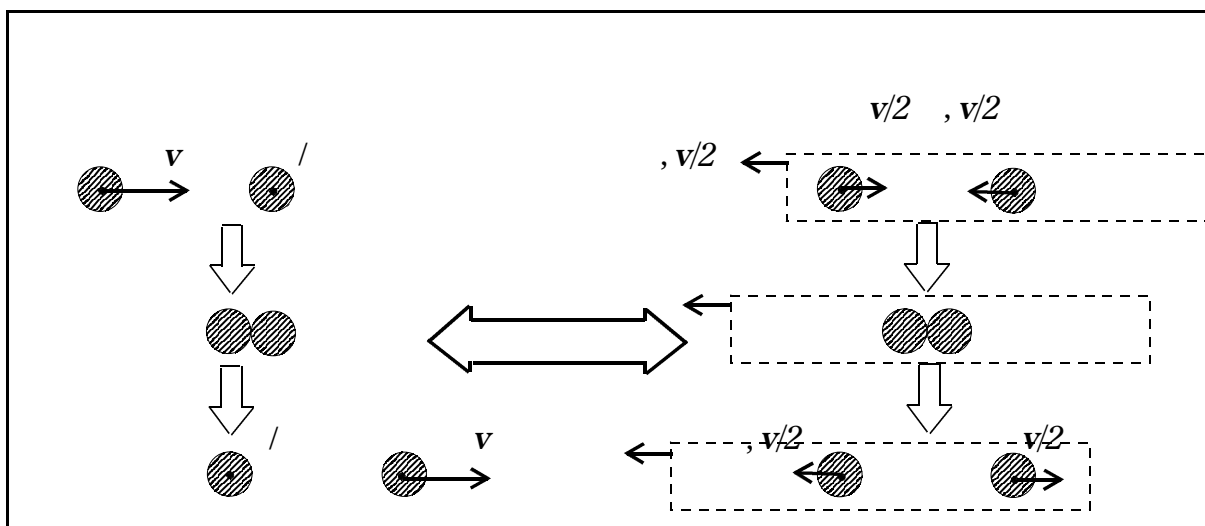
$$\mathbf{f} \quad \mathbf{f}$$

$$\frac{d \mathbf{p}}{d t} = \mathbf{f} \quad \mathbf{f}$$

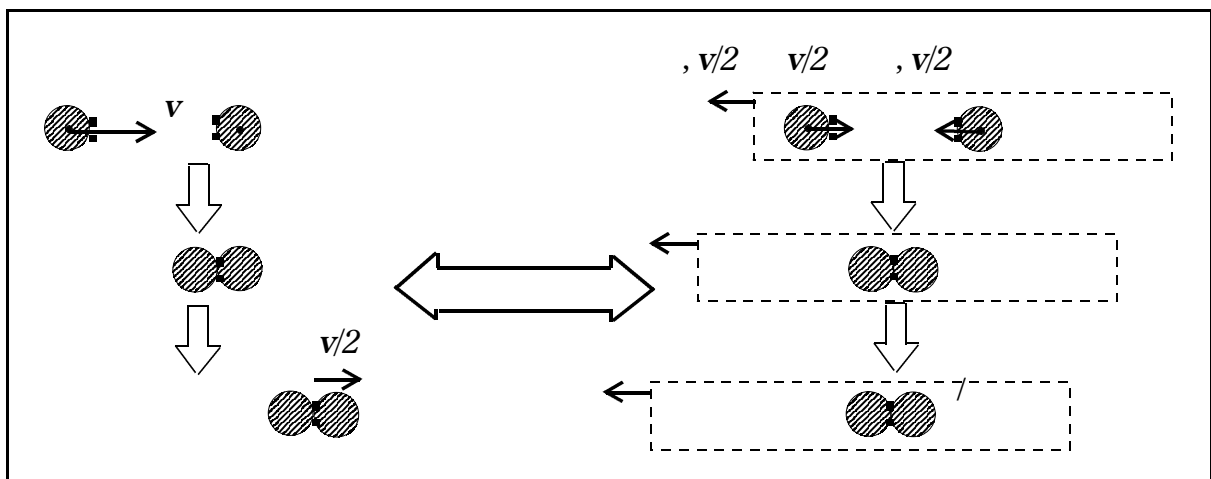
, 10 ,



j1.g



0//





$$2m \quad \mathbf{v} / 2 \quad m \quad \mathbf{v} \quad /$$

$$2m \quad \mathbf{v} / 2 \quad m \quad \mathbf{v}$$

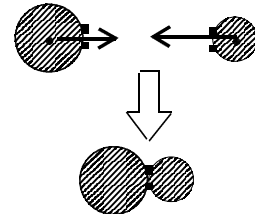
0(
1(
2(
3(
4(

0//

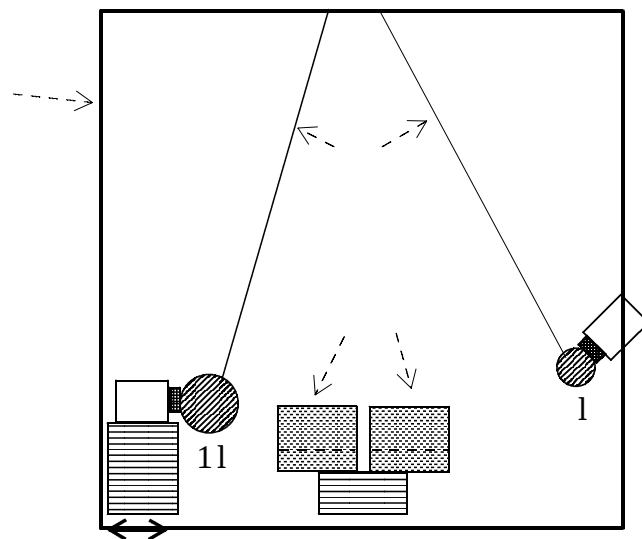
+ + + +

つりあう量としての運動量の発見をうながす衝突実験の工夫

喜多方工業高校 高 橋 善 樹



∅



'0(

'1(

'2(

運動の法則を知る簡便な演示実験

0. はじめに

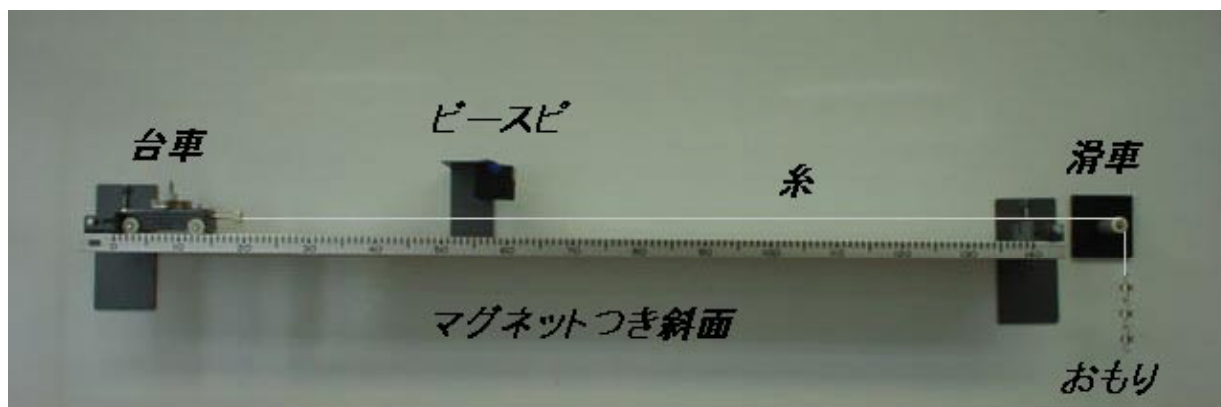
$$v = \sqrt{2as}$$

1. 実験の概要

$r < -4Zl \setminus$

$uZl.r \setminus$
 $Zjl.g \setminus$

2-5



2. 実験結果と考察

 /-4/Zl\ /-/2/Zjf\ `<lf.L  `<lf.'L*1(

	Zjl.g\		u	`<u .'1r		
L</-2/Zjf\			Zl.r\	(Zl.r \		
	1-85 1-83 1-8/	1-82	/-703	/-55	/-87	/-78
	3-2/ 3-21 3-21	3-20	0-1/	0-3	1-/	0-5
	4-1/ 4-08 4-11	4-1/	0-33	1-0	1-8	1-2
L</-5/Zjf\						
	2-74 2-7/ 2-74	2-72	0-/5	0-0	0-4	0-2

 /-1Zl.r \

∞. おわりに

加速度と「みかけの力」に関する問題

----- 固定観念の打破から原理への接近へ -----

喜多方工業高校 高橋 善樹

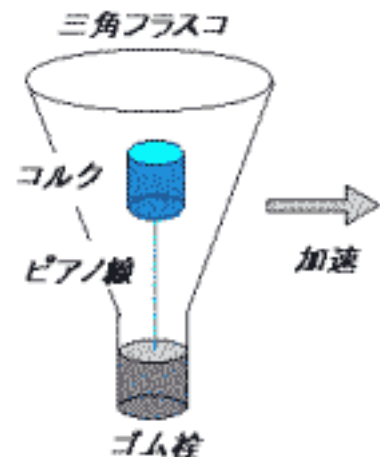
1. 問題

- (1) 右図のような「逆さ振り子」に右向きの加速度を与えたらどうなるか？

- ア．右にふれる
- イ．左にふれる
- ウ．ふれない

- (2) フラスコに水を満たして同じことをしたらどうなるか？

- ア．右にふれる
- イ．左にふれる
- ウ．ふれない



加速運動と「みかけの力」に関する、ひっかかりやすい問題です。カリフォルニア大学バークレー校(U C B)がインターネットに公開している「Physics Lecture Demonstration」の中で、紹介されている実験教材のひとつにひとひねり加えてつくってみました。いかがでしょうか？

2. 「逐次因果追跡型」理解と「直接原理応用型」理解

現象の理解のしかたに対する私の造語です。

- 逐次因果追跡型 = 原理・法則体系のより枝葉に位置する法則を用いて、因果関係を一つ一つたどりながら理解する。
- 直接原理応用型 = 原理・法則体系のより根幹に位置する原理を用いて、現象を直接原理的に理解する。
- (例) てんびんや滑車のつりあいの条件について
- 逐次因果追跡型 = 「てこの原理」または力のモーメントのつりあいから理解する。
- 直接原理応用型 = 「仮想仕事の原理」を応用する。

逆さ振り子の問題も、「みかけの力」がどう働くかを追跡する理解とともに、加速運動と重力との同等性すなわち「等価原理」を応用して、加速度を重力に組み入れてしまう考え方が可能です。「上昇的・下降的」あるいは「帰納的・演繹的」というのとはほぼ同義かもしれません。

両方向からの問題への迫り方になれておくと発想が広がるような気がします。

Mathcad による振動系の解析

高橋 善樹

福島県立喜多方工業高等学校, 966-0914 喜多方市豊川町米室字高吉 4344-5

BXT02731@nifty.ne.jp, <http://homepage2.nifty.com/ysc/>

Mathcad は, Mathematica と並ぶ数学・技術計算ソフトウェアである。特長としては, 数学の標準表記を使っているため可読性が高く, 数式を含むワークシートがそのまま一般を対象としたドキュメントとして通用することである。したがって, 数学的記述やグラフ・図表を含むレポート作成にワードプロセッサとして使用することもできる。汎用性の高い Mathcad を支援ソフトとして, いくつかの簡単な振動系の解析を試みたのでここに紹介する。

1 数学・技術計算ソフト Mathcad について

1.1 Mathcad の概要

Mathcad は, アメリカで開発された数学・技術計算ソフトウェアで, 日本においては現在「Mathcad 2000J」がその日本語版として提供されている。機能的には, 数学ソフトとしてよりポピュラーな Mathematica に匹敵する汎用ソフトである。

Mathematica との最も大きな違いは, ワークシートにおける数式が標準表記であるということである。そのため可読性が高く, Mathcad を知らない対象者にも数式を含めてプレゼンテーションが可能である。Mathcad ワークシートはフォントの品質がやや落ちるものの, そのままレポートとして十分使えるものである。入力も簡単で, 微分・積分記号などがワンキーまたはメニューボックスのクリックで入力できる。したがって, 全てが特有の関数として表記される Mathematica に比べて, 初心者にはとつきやすい操作性を持っているといえる。

計算機能上の全面的な比較は, 本稿の目的をはずれるので他にゆずるとして, 今回の使用目的に関わる範囲でひとつあげれば, Mathematica は全般的にシンボリック計算に強い。とりわけ, Mathcad に微分方程式をシンボリックすなわち解析的に解く機能がないのは残念である。しかし, 数値積分の機能はひけをとらず, 結果のグラフ表現とあわせて十分な計算能力をもつといえるだろう。

以下に Mathematica および Mathcad による数式の表記の違いをみるために例をあげておく。

(Mathematica)

```
f[x_, n_] := Sum[x^i, {i, 0, n}]
D[P[x, y], x]
Integrate[1/Sqrt[x], {x, a, b}]
```

(Mathcad)

$$f(x, n) := \sum_{i=0}^n x^i$$

$$\frac{\partial}{\partial x} P(x, y)$$

$$\int_a^b \frac{1}{\sqrt{x}} dx$$

2 Lagrange の運動方程式

2.1 運動方程式のたてかた

振動系を記述する運動方程式をたてるにあたって, もちろんあらわに (力 まかせに) $F = ma$ を書き下ろすことも可能だが, 系が複雑になると力の記述はかなりの困難をとまなう。そこで, 重力やフックの法則に当てはまる範囲での復元力による運動の場合, より簡明に記述できるポテンシャルを, 逆に座標で微分して力を導出する方法が簡便である。そこで, 出てくるのがラグランジュの方程式である。

ラグランジュ方程式は, 運動の法則のより抽象度の高

い表現である「最小作用の原理」から導かれるとするのが解析力学の立場であるが、とにかく多自由度系の運動解析に威力を発揮するラグランジュ方程式について、マニュアル的におさらいしておこう。

系の一般座標を q 、一般速度を $\dot{q} \equiv \frac{dq}{dt}$ とする。系の運動エネルギー K 、ポテンシャル・エネルギー U に対して

$$L = K - U$$

をラグランジアンといい、一般に $q, \dot{q}$ の関数となる。ラグランジアン L に対して、運動方程式は

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = 0$$

となる。得られた微分方程式は、例えば

$$m\ddot{\mathbf{r}} - \mathbf{F} = 0$$

(質点 m の変位 $\mathbf{r}$ に対して)

$$I\ddot{\theta} - N = 0$$

(慣性モーメント I の角変位 θ に対して)

と同じになる。

2.2 単振り子

簡単な例として単振り子の運動方程式をたててみる。質点 m が長さ l の糸につり下げられた振り子の角変位 θ に対して、

$$K = \frac{1}{2}ml^2\dot{\theta}^2, \quad U = mgl(1 - \cos \theta)$$

であるから、ラグランジアンとその微分は

$$L = \frac{1}{2}ml^2\dot{\theta}^2 - mgl(1 - \cos \theta)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = mgl \sin \theta, \quad \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = ml^2\dot{\theta}$$

となり、運動方程式

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0$$

を得る。

3 単純振動系

単振り子の発展として、振幅が十分小さい場合には単振動として扱える系のうち、興味深い問題を含むもの

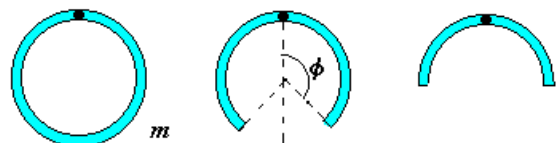
について解析してみよう。なお、以後すべての系の解析は、主に

1. 運動方程式の導出
2. 運動方程式の数値積分
3. 積分結果のグラフ化

の点で Mathcad の支援を受けながら、独立したワークシートとして作成したものの概略である。本稿の目的に添うために、Mathcad ドキュメントの中で主要な計算およびグラフについては、これらから抜粋したものを必要に応じて掲載することにする。

3.1 リング振り子

リングの 1 点を支点とした振り子は、リングの下部をカットしても周期が変わらない。この事実のよりエレガントな説明は次節に見送るが、まずは運動方程式をたてて確認してみよう。



支点から中心角 ϕ だけ残して切り欠いたリングについて考える。もとのリングの質量を M とすれば、切り欠いたリングの質量は、

$$m = \frac{\phi}{\pi} M$$

であり、またその重心は支点から、

$$l_G = \left(1 - \frac{\sin \phi}{\phi}\right)a \quad (a \text{ はリングの半径})$$

だけ下になる。角変位を θ とするとき位置エネルギーと運動エネルギーは、

$$U = -mgl_G \cos \theta$$

$$K = \frac{1}{2}ml_G^2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}\{ma^2 - m(a - l_G)^2\}\dot{\theta}^2$$

(平行軸の定理 $I = I_G + mR^2$ より)

となるから、ラグランジュ方程式を求めれば次のようになる。

$$\ddot{\theta} = -\frac{g}{2a} \sin \theta$$

すなわち、長さ $2a$ の単振り子と等価であり、微小振動におけるその周期は、

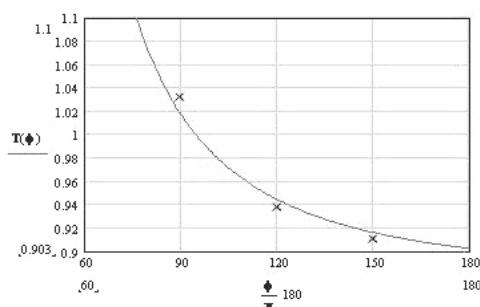
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{2a}{g}}$$

となり、 ϕ に依存しない。

リング振り子の実験



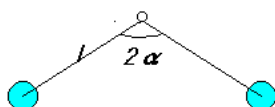
幅のあるリング振り子の周期の ϕ 依存性
(Mathcad によるグラフと実験値 = ×)



5mmφ のアルミ棒を鍋に合わせて半径 10cm に曲げて、 $\phi = \pi \sim \pi/3$ のリング振り子を 4 通り作って実験した。はじめ、方程式のミスで周期が ϕ に依存する計算結果を得たが、実験はそれをみごとに否定し、ナイフの上で振らしたところすべて同じ周期約 0.91 [sec.] を示した。ちなみに幅の無視できないリング振り子では、切り欠きが大きいほど (ϕ が小さいほど) 周期が長くなることを、理論上確認することができたが、工作用紙でいくつか幅のあるリング振り子をつくり実験したところ、測定精度の範囲で理論値とほぼ満足できる一致をみた。

3.2 やじろべえ振り子

うでの長さ l 、開き角 2α のやじろべえ形の振り子を考える。



平衡位置からの角変位を θ とすると、ラグランジアンは次のようになる。

$$\begin{aligned} L &= K - U \\ &= \frac{1}{2}(2m)l^2\dot{\theta}^2 + mgl(\cos(\alpha + \theta) + \cos(\alpha - \theta)) \\ &= ml^2\dot{\theta}^2 + 2mgl \cos \alpha \cos \theta \\ &\simeq ml^2\dot{\theta}^2 + 2mgl \cos \alpha \left(1 - \frac{1}{2}\theta^2\right) \end{aligned}$$

ただし、ポテンシャルの基準点は支点にとり、微小振動の近似をとった。

微分を実行して次の運動方程式を得る。

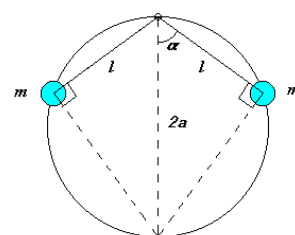
$$\ddot{\theta} + \frac{g \cos \alpha}{l} \theta = 0$$

したがって、周期は

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g \cos \alpha}}$$

となり、右図の円の直径

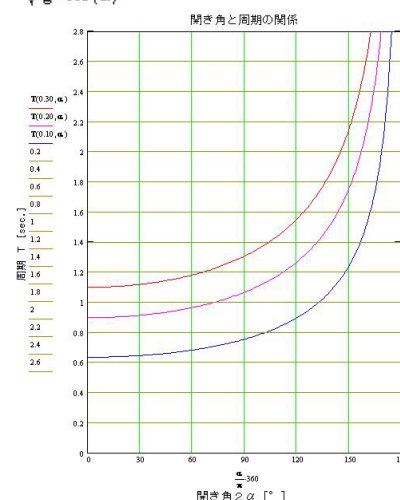
$$2a = \frac{l}{\cos \alpha}$$



を長さとする単振り子に同等であることがわかる。同一円周上におもりが位置するようなやじろべえ振り子はすべて同じ周期をもつということになり、実は前述したリング振り子はこれらのやじろべえ振り子の集合と考えれば、切り欠きの大きさに関わらずすべて同じ周期を持つという事実に対して、方程式をたてるまでもなく納得できることに気づく。簡単で美しい現象には、簡明でエレガントな解釈が必ずあるものである。

Mathcad による関数とグラフ

$$T(l, \alpha) := 2\pi\sqrt{\frac{l}{g \cdot \cos(\alpha)}}$$

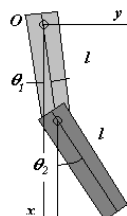


4 連成振動系

自由度2の振動系のうちから、カオス的なふるまいをすると思われる連成棒振り子について解析する。

4.1 連成棒振り子

簡単のため長さ l 、質量 m の同じ2本の棒の連結を考えることにする。2本の棒の重心の座標および、速度成分は以下の通りである。



$$\begin{aligned}x_1 &= \frac{1}{2}l \cos \theta_1, & y_1 &= \frac{1}{2}l \sin \theta_1 \\x_2 &= 2x_1 + \frac{1}{2}l \cos \theta_2, & y_2 &= 2y_1 + \frac{1}{2}l \sin \theta_2 \\ \dot{x}_1 &= -\frac{1}{2}l\dot{\theta}_1 \sin \theta_1, & \dot{y}_1 &= \frac{1}{2}l\dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \\ \dot{x}_2 &= 2\dot{x}_1 - \frac{1}{2}l\dot{\theta}_2 \sin \theta_2, & \dot{y}_2 &= 2\dot{y}_1 + \frac{1}{2}l\dot{\theta}_2 \cos \theta_2\end{aligned}$$

慣性モーメント $I = \frac{1}{12}ml^2$ を用いて、ラグランジアンは

$$K = \frac{1}{2}m(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) + \frac{1}{2}I(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2)$$

$$U = -mg(x_1 + x_2)$$

$$L = K - U$$

によって得られる。Mathcad によって微分を実行して次の運動方程式を得た。

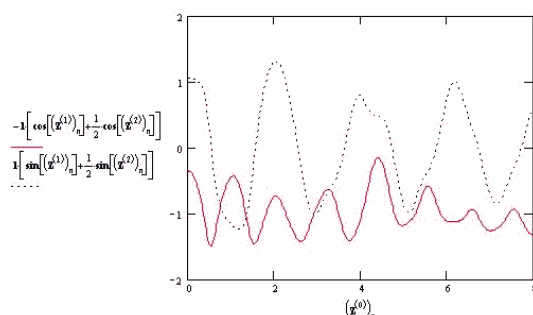
$$\ddot{\theta}_1 = \frac{3}{8}(\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2 - \theta_1) - 3\frac{g}{l} \sin \theta_1)$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{3}{2}(-\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2 - \theta_1) - \frac{g}{l} \sin \theta_2)$$

Mathcad によるシンボリックな微分

$$\begin{aligned}\frac{\partial L_1}{\partial \theta_1} &= \frac{\partial}{\partial \theta_1} L \\ \frac{\partial L_1}{\partial \dot{\theta}_1} &= \frac{1}{m} \frac{\partial}{\partial \dot{\theta}_1} L \rightarrow \frac{1}{2} \cdot \theta_1' \cdot \cos(\theta_1) \cdot \theta_2' \cdot \sin(\theta_2) - \frac{1}{2} \cdot \theta_1' \cdot \sin(\theta_1) \cdot \theta_2' \cdot \cos(\theta_2) - \frac{3}{(2 \cdot l)} \cdot g \cdot \sin(\theta_1)\end{aligned}$$

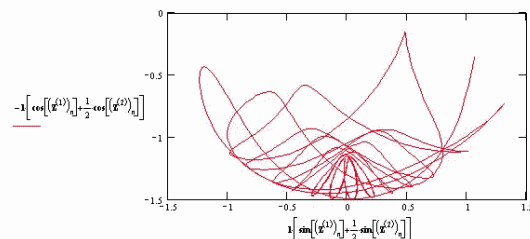
下の棒の重心の水平位置（破線）と垂直位置（実線）の時間変化



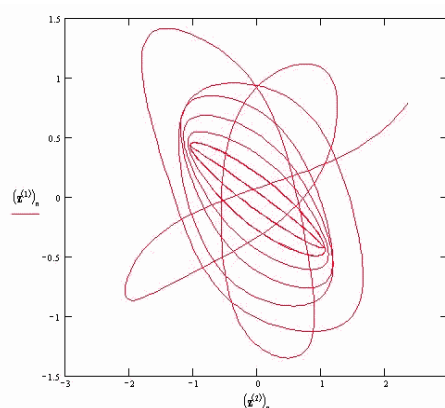
4.2 カオス的なふるまいについて

前節の結果を利用して、カオスの香り漂う連成棒振り子の運動を Mathcad のグラフを通して見てみよう。

下の棒の重心の軌跡



2つの棒の角変位を直角座標にプロット



4.3 連成棒振り子の実験

15mm 角のアルミパイプを使い、長さ 30cm のものをベアリングで連結した。減衰は早いですが、初期条件の違いにより実に様々な運動を見せてくれる。



運動を記録しよう

思い、手近にあった豆球を 2.5V-4.7F のコンデンサとともに振り子に搭載した。1回の充電で1分程度はもつので、十分記録できる。シャッター開放で写真にとるのが記録としてはいいのだが、時間とフィルムの無駄を省くためデジタルカメラの動画を使った。コマ送りで再生してみると、速いところではかなり軌跡が流れるが、その部分での速度がわかって結果的にはおもしろい記録になった。減衰が大きいので、シミュレーションで対応する軌跡を見つけることはできなかったが、カオスの一端

を垣間見ることができた。

5 共振系

共振現象はエネルギー交換のプロセスが見えにくいものが多く、共振系全体としての運動方程式を書き下すのは一般に困難である。ここでは、比較的そのメカニズムがはっきりしていてわかりやすい2つの例について解析してみよう。

5.1 ウィルバーフォース振り子

つるまきばねの性質から、上下振動とねじれ振動が交替する共振系である。おもりの質量を m 、慣性モーメントを I とし、また伸縮の弾性定数（ばね定数）を k 、ねじれの弾性定数を μ とする。伸縮とねじれそれぞれの平衡位置からの変位を x, θ とすれば、両者を独立とした場合の運動方程式は、

$$m\ddot{x} = -kx, \quad I\ddot{\theta} = -\mu\theta$$

となるから、共振条件は次式で表される。

$$\frac{k}{m} = \frac{\mu}{I}$$

エネルギー移動のメカニズムは、ばねの自然な伸縮がそのねじれを伴うことにある。そこで、両者の相互作用を記述するためにばねの伸び x に対して自然に生じるねじれを $\Delta\theta$ として、両者が、

$$\Delta\theta = \alpha x$$

なる比例関係にあると仮定する。すると、もしばねの伸びが x のとき、ねじれの平衡点は αx だけずれ、実際のねじれが θ であるならば、次のトルクを生じることになる。

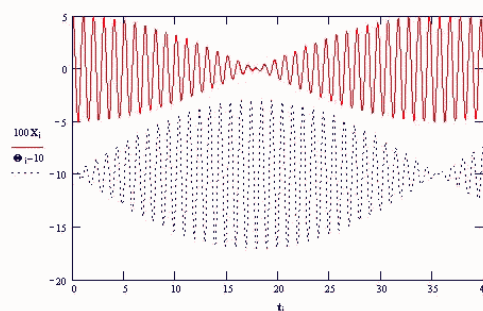
$$\tau = -\mu(\theta - \alpha x)$$

以上の近似モデルから結論として次の運動方程式を得た。

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -\frac{k}{m}\left(x - \frac{\alpha\mu}{k}\right) \\ \ddot{\theta} &= -\frac{\mu}{I}(\theta - \alpha x) \end{aligned}$$

実際の振り子では、フックの法則からの逸脱がみられ、パラメータの測定もかなり困難であるが、その精度と近似の範囲でまず満足できる実験結果を得た。

測定パラメータ値による数値シミュレーション
(実験による共振周期は約 40 秒であった)



5.2 ふりこ三兄弟

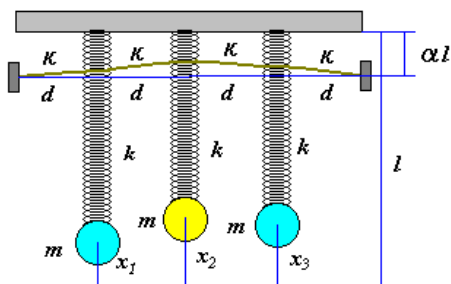
ある研究会で写真のような共振ばね振り子の報告を聞き、その場でキットをいただきました。作者の「ふりこ三兄弟」というネーミングは、この共振系の運動にぴったりで、兄弟が仲良くリズムを合わせたりケンカを始めたりする様子に、つい頬がゆるむ。



おもりの質量 m 、ばねの平衡長 l 、ばね定数 k は同じとし、いずれも平衡時に支点から αl のところにゴムが固定されているとする。また4本にわかれたゴムの平衡時の長さとはばね定数はすべて同じで d, κ とする。おもりの平衡位置からの変位を x_1, x_2, x_3 とし、ゴムによる結合は十分弱いとすれば、平衡時からのゴムの伸びは例えば

$$\sqrt{d^2 + \alpha^2(x_2 - x_1)^2} - d \simeq \frac{\alpha^2(x_2 - x_1)^2}{2d}$$

などとなる。ただし、 $d \gg \alpha x_1, \alpha x_2$ として近似をとった。ゴムは平衡状態ですでに伸びていることも考慮して、その自然長からの伸びを βd とする。

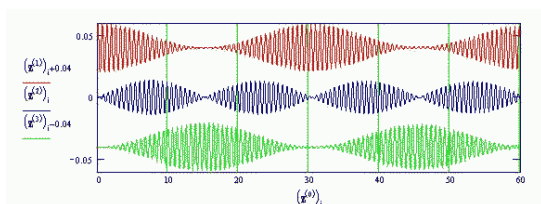


以上の設定で Mathcad で運動方程式を求めると次のようになった。

$$\begin{aligned}\ddot{x}_1 &= -\frac{k}{m}x_1 - \frac{\kappa\alpha^2}{2m}\left[2\beta + \frac{\alpha^2}{d^2}(x_1^2 + x_2^2 - x_1x_2)\right](2x_1 - x_2) \\ \ddot{x}_2 &= -\frac{k}{m}x_2 - \frac{\kappa\alpha^2}{2m} \\ &\quad \times \left[2\beta + \frac{\alpha^2}{d^2}(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - x_1x_2 - x_2x_3 - x_3x_1)\right](2x_2 - x_1 - x_3) \\ \ddot{x}_3 &= -\frac{k}{m}x_3 - \frac{\kappa\alpha^2}{2m}\left[2\beta + \frac{\alpha^2}{d^2}(x_3^2 + x_2^2 - x_3x_2)\right](2x_3 - x_2)\end{aligned}$$

「ふりこ三兄弟」の共振パターンの例
(数値積分のためのソースの一部とグラフ)

$$D(t, X) = \begin{bmatrix} \frac{k}{m}X_0 - \frac{\kappa\alpha^2}{2m}\left[2\beta + \frac{\alpha^2}{d^2}\left[(X_0)^2 + (X_1)^2 - X_0 \cdot X_1\right]\right] \cdot (2 \cdot X_0 - X_1) \\ \frac{k}{m}X_1 - \frac{\kappa\alpha^2}{2m}\left[2\beta + \frac{\alpha^2}{d^2}\left[(X_0)^2 + (X_1)^2 + (X_2)^2 - X_0 \cdot X_1 - X_1 \cdot X_2 - X_2 \cdot X_0\right]\right] \cdot (2 \cdot X_1 - X_0 - X_2) \\ \frac{k}{m}X_2 - \frac{\kappa\alpha^2}{2m}\left[2\beta + \frac{\alpha^2}{d^2}\left[(X_2)^2 + (X_1)^2 - X_2 \cdot X_1\right]\right] \cdot (2 \cdot X_2 - X_1)\end{bmatrix}$$



ゴムの伸縮はフックの法則からかなりの逸脱が見られ、また使用時のパラメータ値を特定するのも困難である。したがって以上のモデルはかなりあいまいな近似にならざるを得ないが、「ふりこ三兄弟」の共振プロセスをよく再現し、パラメータのあいまいな測定精度の範囲では、繰り返し周期もほぼ一致した。

6 おわりに

以上 Mathcad による振動系の解析のいくつかを例にあげたが、そのソースについては紙数の都合で多くの例を示すことはできなかった。詳しくはホームページで公開しているので、そちらを参照いただきたい。連成棒振り子については自己流の解析がすんだ後に、物理教育学会誌の論文をみつけた。また、その他の系の解析もモデルとして妥当なものであるかどうか、過去の論文等に当たっていないので多少不安なところもある。気づいた点をご指摘いただければ幸いである。

CPU の速度が日進月歩で向上している現在、数値計算の速度に加えてグラフィックスの表示速度も速くなってきている。したがって、Mathcad における数式のフォントもさらに品質の高いものにできるのではないかと期待を抱いている。そうすれば、Mathcad ドキュメントがそのまま各種レポートや論文等に使用されることも多くなるだろう。

Mathcad については、インターネット上にコラボレートリが開設され、各国のユーザーが様々な Mathcad ドキュメントを公開している。未だに Mathematica ほどポピュラーにはなっていないが、使い勝手のよさから国内でももっと普及して、プロとアマチュアを問わず、数学ソフトで物理学を楽しみ、互いに交流できる環境が広がっていくことを願っている。

参考文献

- [1] ランダウ、リフシッツ：「ランダウ＝リフシッツ理論物理学教程 力学」（東京図書）
- [2] 鈴木三男，増田健二：二重振り子におけるカオス的振舞．物理教育，48-1(2000)1
- [3] 愛知・岐阜・三重物理サークル：「いきいき物理わくわく実験 2」（新生出版）
- [4] 横浜物理サークル：YPC ニュース，No.114
- [5] 松岡浩三：3 連共振ばね振り子の教材化，福島県高等学校教育研究会理科部会平成 12 年度研究大会

共振型振動数計の製作

高橋 善樹

福島県立喜多方工業高等学校, 966-0914 喜多方市豊川町米室字高吉 4344-5

BXT02731@nifty.ne.jp, <http://homepage2.nifty.com/ysc/>

力学的な振動において振動数を測定しようとするとき、直接目で追ってカウントできる数 Hz と耳で調音可能な可聴振動数のはざ間にある振動数領域では、マルチストロボ同期などの特別な方法が必要である。この領域の振動数が手軽に測定でき、また測定器自体が共振の演示教材として活用できる利点から、共振型の振動数計を製作したので、その概要を紹介する。

1 はじめに

共振の演示実験装置（写真 1）を製作した際、板ばね振り子の固有振動数を一致させるのにかなり手間取った。ばね板の長さをほぼ一致させた後、ばねの固定位置やおもりの位置を微調整するのだが、振動数が接近してうなり共振がおこっても、振動数がどちら側にずれているのか判断できない。結局、マルチストロボを使用して、それぞれに同期させて振動数を測定するという方法をとらざるをえなかった。

写真 1 金ノコ刃を板ばねとして利用した共振実験装置



振動数または周期の測定は、数 Hz までは直接振動回数のカウントが可能だし、また可聴振動数（数十 Hz ～）においては CR 発振器による音と同調させることができ、装置さえ準備できればさほど難しくない。しかし両方でカバーできない数 Hz ～数十 Hz の低周波の測定は、手元で準備できる範囲ではマルチストロボ同期に頼るしかなさそうである。

以上のような困難を前にして、低周波領域の振動数測定をもっと手軽にできれば...と考えた。センサと電子回路によるカウンタも可能であろうが、ブラックボックスを増やすよりは、測定器自体が共振のよい演示教材にな

るという利点も考えて、共振型の振動数計を製作しようと思い立った。

2 ばね線振り子の理論的考察

共振子としては、楽器のチューニングに使われることもあるばね線振り子を選んだ。細いばね線を使えば、少ないエネルギー吸収で十分確認できる振幅が得られるだろうと考えたからである。ところで、ばね線振り子の長さとの固有振動数との関係はどうなっているのだろうか。それ自体への興味もあり、また振動数計の製作にも役立つと思い、考察してみることにした。

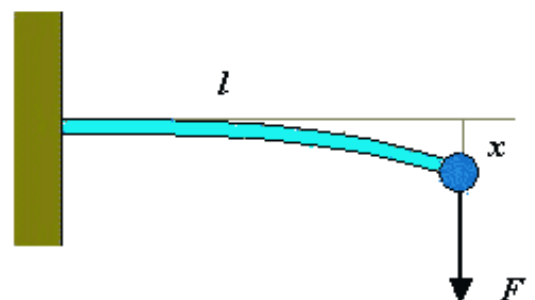
弾性体の理論によれば、一端を固定した半径 r 、長さ l の丸棒の他端に荷重 F をかけた場合（図 1）のたわみの量 x は、

$$x = \frac{4Fl^3}{3\pi Er^4}$$

で表される。 E は伸縮の弾性定数すなわち Young 率であり、断面積 S の棒の伸びを Δl として次の関係にある。

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$$

図 1 一端を固定した棒の荷重によるたわみ



したがって、重力が無視でき、たわみが小さいときの運動方程式は、

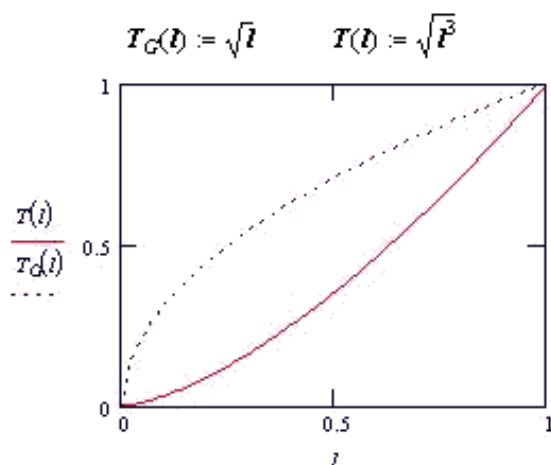
$$m\ddot{x} = -kx \quad k = \frac{3}{4}\pi E \frac{r^4}{l^3}$$

となり、微小振動の周期は、おもりの質量 m と振り子の長さ l に対して、

$$T(m, l) = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = C\sqrt{ml^3}$$

という関数形をもつ。長さの平方根に比例する単振り子の周期と比較すると、図2のようになる。ただし、いずれも長さ1のとき周期が1になるとして、その変化を示した。

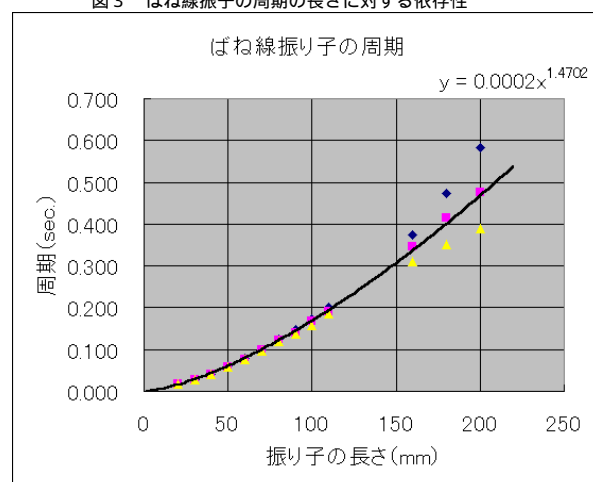
図2 一端を固定した棒の荷重によるたわみ



3 ばね線振り子の周期測定

直径 0.3mm のステンレスばね線に BB 弾のおもりをつけた振り子で実験した結果を下に示す。長さ 160mm 以上は 30 秒間の振動回数をカウントし、また 110mm 以下はマルチストロボで同期させて測定した。固定端に対しておもりを上にしたとき () 周期はわずかに長くなり、逆に下にすると () 短くなる。これは、重力の影響と考えてよいだろう。重力をほぼ無視できるのは、おもりから出るばね線が水平になるとき (■) である。この条件での測定値を累乗関数で近似すると、指数は 1.47 と理論上の 1.5 に対して満足すべき一致をみた。Microsoft Excel によるグラフを図3に示す。

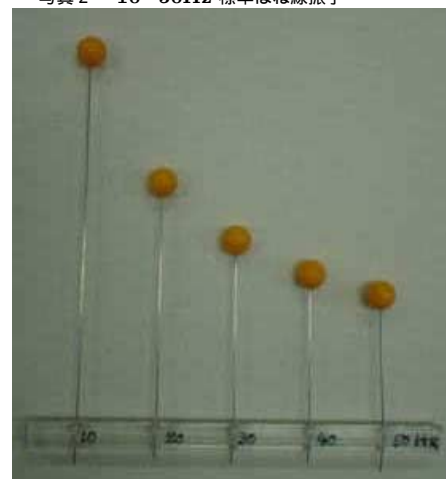
図3 ばね線振り子の周期の長さに対する依存性



4 標準ばね線振り子の試作

試作としてまず、10・20・30・40・50Hz の標準ばね線振り子をつくってみた (写真2)。前述した実験と同様に、0.3mm φ のばね線に BB 弾のおもりを使用して、5mm 角の亚克力棒に固定した。調整しやすさを考えて、2mm φ のイモネジで横から締め付けるようにした。

写真2 10～50Hz 標準ばね線振り子

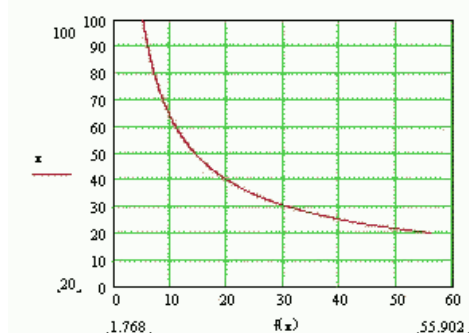


振動数調整は、まずマルチストロボで同期させて行なった。この振動数領域では、CR 発振器が使えるので、試験として共振させてみたが、1Hz 程度の一様なずれを生じた。どちらを信用していいのか迷うことになったが、反面、これから製作する共振振動数計がかなり精度のよいものとなる可能性を確信することができた。

参考として、予備実験の結果から予想される長さ - 振動数関係を図4に示す。実際にはグラフより 5mm 程度

長くなる。したがって、固定部分を含めて+15mm 程度の余裕を持ってばね線を切り出せば十分である。

図4 実験から予想される長さ x (mm) と振動数 f (Hz) の関係

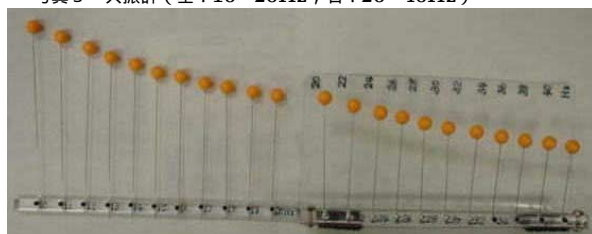


5 実用共振計の製作

標準振子の試作に自信を得て、振動数測定を目的とした実用的な共振計の製作にかかった。標準振子の振動数間隔をさらに小さくとして、共振子を同様に並べるだけである。

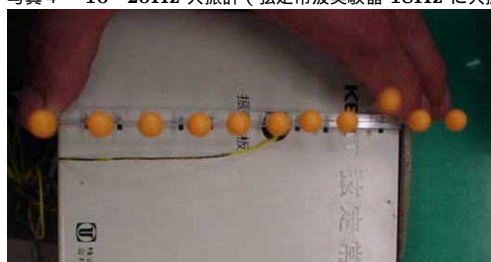
まず、10～20Hz を 1Hz 単位で測定できるものをつくってみた。さすがに調整はかなりクリティカルになるが、長さの変化が図4のような曲線になるので、1本だけずれるとなめらかな曲線の形がくずれてすぐわかり、調整のヒントになる。(写真3)

写真3 共振計 (左: 10～20Hz, 右: 20～40Hz)



CR 発振器 + 弦定常波実験器でテストしたが、やはりマルチストロブ同期とは多少のずれが見られた(写真4)。こちらの方が調整はしやすいので、再調整を行った。

写真4 10～20Hz 共振計 (弦定常波実験器 18Hz に共振)



スタンドに固定した板ばね振り子の固有振動数を測定してみた。14Hz をピークとして、 ± 2 Hz ほどにまたがった共振が見られた(写真5)。また、マルチストロブ同期では、13.2Hz という結果であった。

調整を慎重に行えば、誤差は何とか ± 1 Hz 程度にはおさまると思われる。

写真5 板ばね振り子の振動数測定 (14Hz 付近に共振ピーク)



6 OHP 投影による演示

CR 発振器と弦定常波実験器を使って、共振の演示実験をすることを考えた。共振計はかなり小型なので、カメラでモニタに映すか、または OHP を使って投影するのがよいだろう。ここでは、OHP 投影による演示について述べておく。

演示する際、共振の方向がどちらに強く出るかが意外とやっかいな問題であることがわかった。例えば弦定常波実験器の振動片に接触させても、必ずしも振動片の振動方向に一致するとは限らない。共振計がアクリル棒への横一列配置であることも関係しているようである。すなわち、アクリル棒が該当の振動数領域に対しては横振動を生じやすいせいか、共振子の配列方向に垂直な振動の方がよく見られる(写真4・5)。しかし、常にそうなるとは限らず、入力に対する結合の具合によっては共振子の配列方向に共振することもある(写真6・7)。

OHP で投影するには、2 方向とも見せられればいいが、一方を選択するならば、後者の方がわかりやすいと思われる(ただし、共振幅が大きすぎると今回製作したサイズでは隣同士ぶつかることがある)。

結果的に、試行錯誤的な調整を要することにはなるが、CR 発振器のつまみを回していくに従って、次々と共振が移りゆく様子を見ることができて、固有振動数と共振の理解に一役買ってくれるものと期待できる。

写真6 OHP による演示 (20~40Hz 共振計が 28Hz に共振)



写真7 弦定常波実験器にマジックテープで固定した共振計



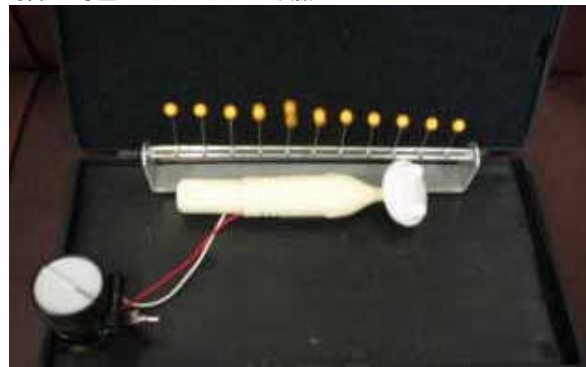
7 小型バイブレータを用いた演示

CR 発振器による演示は装置が大げさになり、授業でちょっとだけ...という活用には無理がある。そこで、100 円ショップで手に入れた顔マッサージ用の小型バイブレータを振動源にして共振を演示することに思い至った。

バイブレータの振動数を変えるため、モーターに直列に可変抵抗をつないで電圧を調節できるようにした(写真8)。可変抵抗は 10 Ω 程度がよいと思われるが、手元になかったため固定抵抗を並列につないで抵抗値を下げて使用した。

装置がコンパクトになったため、教室内を持ち歩いて演示したり、生徒に手渡しで観察させたりできるようになった。

写真8 小型バイブレータによる共振



参考文献

- [1] Feynman, Leighton, Sands : 「ファインマン物理学 電磁波と物性」 戸田盛和訳 (岩波, 1975)

3次元電気力線・流線の作図

高橋 善樹

福島県立喜多方工業高等学校, 966-0914 喜多方市豊川町米室字高吉 4344-5

BXT02731@nifty.ne.jp, <http://homepage2.nifty.com/ysc/>

力線あるいは流線は、場の概念の直感的な理解の助けとして有用なものである。例えば 3 次元の電気力線をつくって立体視できたら、電場のイメージをより豊かにできるだろう。数学・技術計算ソフト Mathcad を用いて作図した電気力線・流線のステレオグラムを紹介する。

Mathematica や Mathcad などの数学・技術計算ソフトの多くは 3 次元グラフィックスをサポートしており、手作業では困難な 3 次元曲線・曲面を簡単に描くことができる。こうしたツールを用いて電気力線または流線を作図する方法として 2 つ考えられる。

1. 力線の 3 次元方程式を求めてグラフを描く
2. 3 次元ベクトル場を追跡してプロットする

前者は場の形状によっては、かなり困難な計算が必要である。後者はエレガントではないかもしれないが、ベクトル場の方程式さえ与えられていればどんな複雑な場であっても機械的に力線を引くことができる。単純な繰り返し作業であるから、プログラミングも容易で記述もわかりやすいものとなり、方程式をとりかえるだけで様々な場に流用できる。

ここでは、わき出し近傍の微小立方格子 8 個の格子点 26 個を始点として、ベクトル場を追跡して作図したものを紹介したい。視線の方向を 5°ずらしたグラフを 2 つ並べることでステレオグラムとして立体視でき

るようにし、またグラデーションをかけて遠近を強調した。

ここで紹介する図には解決可能な問題点が 2 つある。第 1 に、双極子では吸い込みへの力線が 1 本足りないが、始点をわき出しと正反対の位置に追加することで解決する。第 2 に、4 重極子で通常中央から分岐するように描かれる対角線方向の力線が途切れているが、これは中央に達したテストポイントが場の平衡点で行き場を失うことによっておこるきわめて「正直な」結果である。始点の位置をわずかにずらすことで解決は可能であると思われる。

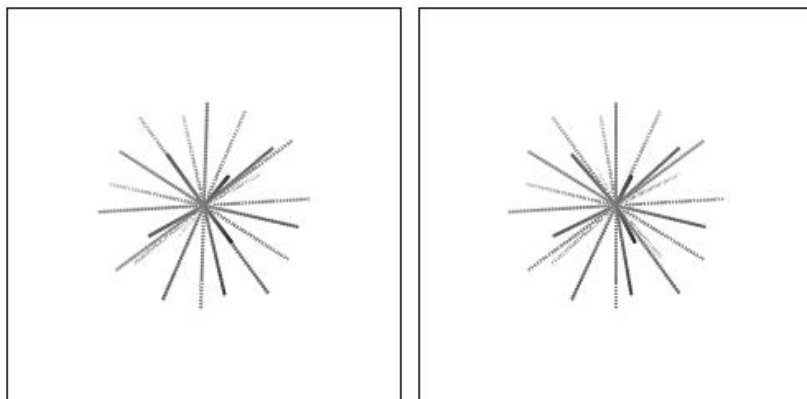
参考文献

- [1] 青野 修：「いまさら電磁気学？」（丸善，1996）
- [2] 横浜物理サークル：YPC ニュース，No.123
- [3] 今井 功：「流体力学」（岩波，1977）

球対称場

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = C \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3}$$

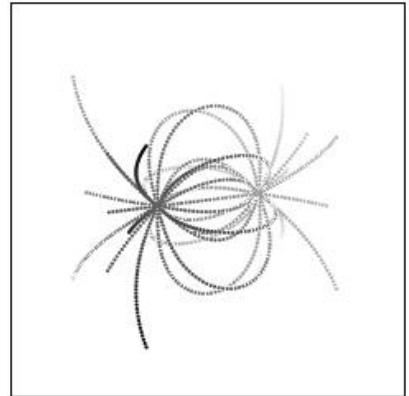
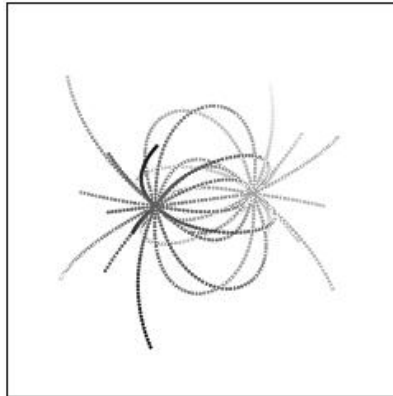
単一のわき出し
(点電荷による電場)



双極子場

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = C \left[\frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3} - \frac{\mathbf{r} - \mathbf{d}}{|\mathbf{r} - \mathbf{d}|^3} \right]$$

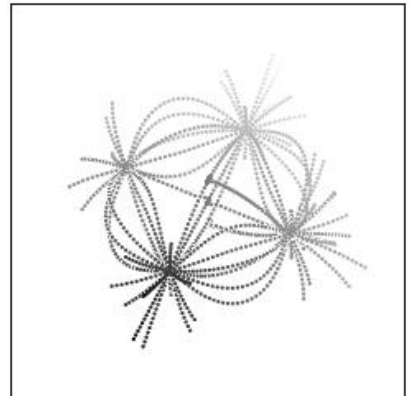
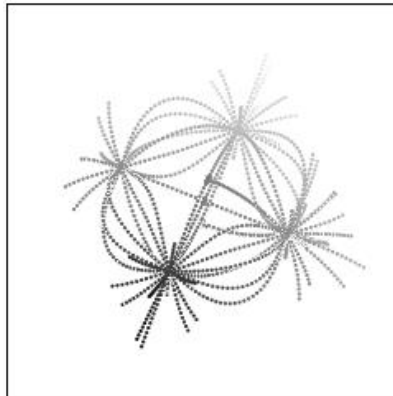
わき出しと吸い込みの対
(正負の点電荷対による電場)



正方四重極子場

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = C \left[\frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3} - \frac{\mathbf{r} - \mathbf{d}_1}{|\mathbf{r} - \mathbf{d}_1|^3} + \frac{\mathbf{r} - \mathbf{d}_2}{|\mathbf{r} - \mathbf{d}_2|^3} - \frac{\mathbf{r} - \mathbf{d}_3}{|\mathbf{r} - \mathbf{d}_3|^3} \right]$$

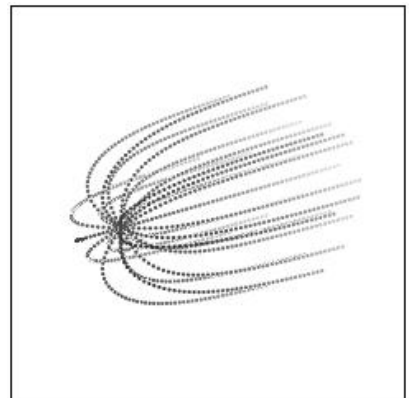
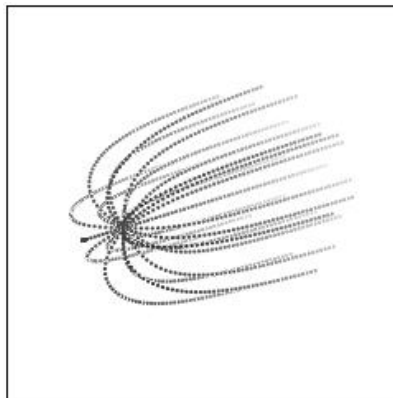
正方形の頂点に置かれたわき出しと吸い込み
(正負の4電荷による電場)



半無限体

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{U} + C \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3}$$

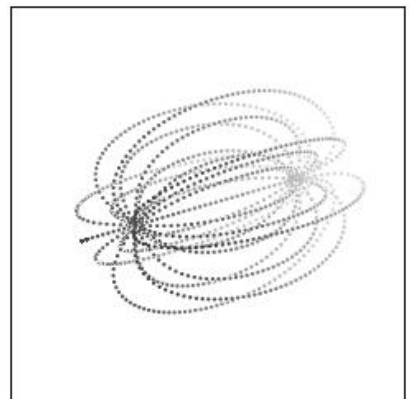
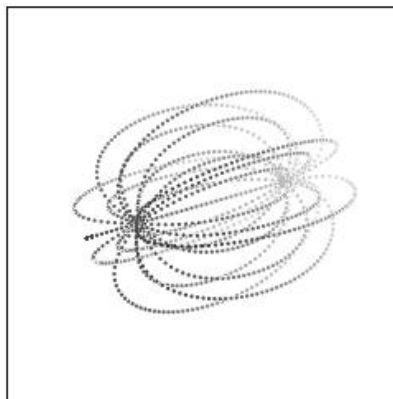
一様流の中のわき出し



Rankine の卵形

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{U} + C \left[\frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3} - \frac{\mathbf{r} - \mathbf{d}}{|\mathbf{r} - \mathbf{d}|^3} \right]$$

一様流の中のわき出し・吸い込み



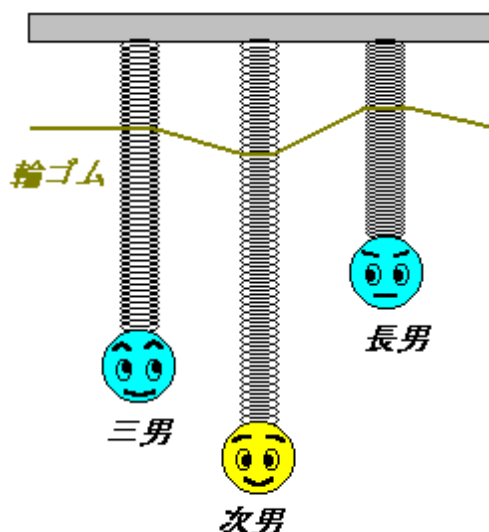
連成ばね振子

喜多方工業高校 高橋 善樹

0. 「ふりこ三兄弟」に魅せられて

高教研理科部会の県大会で、松岡さんが報告された「ふりこ三兄弟」は、とても魅力的な題材ですっかりとりこになってしまった。いただいたキットを早速組み立てて遊びまくり、また力学シミュレータ Interactive Physics によるシミュレーションも実行してみた。その過程で、紹介されたいくつかの共振パターンについてはある程度の解釈がついた。しかし、複雑で長周期のプロセスを繰り返す場合には、理論的な解析に待つべき難解さがある。

この夏、振動にのめりこんだいきおいで「三兄弟」にとりこんでみようと思う。

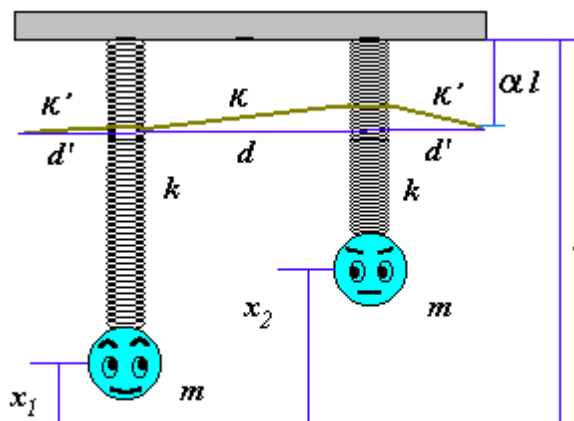


1. 2連ばね振子の共振

まず、手始めに2連振子の共振を解析してみよう。おもりの質量 m 、ばねの平衡長 l 、ばね定数 k は両者同じとし、いずれも平衡時に支点から αl のところにゴムが固定されているとする。また3本にわかれたゴムの平衡時の長さとはばね定数は、式の簡略化のため $d=d'$ 、 $\kappa=\kappa'$ とする。

おもりの平衡位置からの変位を x_1 、 x_2 とし、ゴムによる結合は十分弱いとすれば、ゴムののびは例えば中央で、

$$\sqrt{d^2 + \alpha^2 (x_2 - x_1)^2} - d \sim \frac{\alpha^2 (x_2 - x_1)^2}{2d}$$



などとなる。ただし、 $d \gg \alpha x_1$ 、 αx_2 として近似をとった。実際の使用時にゴムは約2倍に伸びていることも考慮する。系の位置エネルギーおよび運動エネルギーは、次のようになる。

$$U := \frac{1}{2} \cdot k \cdot (x_1^2 + x_2^2) + \frac{1}{2} \cdot \kappa \cdot \left[\left(\frac{\alpha^2 x_1^2}{2d} + \frac{d}{2} \right)^2 + \left(\frac{\alpha^2 x_2^2}{2d} + \frac{d}{2} \right)^2 + \left[\frac{\alpha^2 (x_2 - x_1)^2}{2d} + \frac{d}{2} \right]^2 \right]$$

$$K := \frac{1}{2} m \cdot (\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2)$$

ラグランジアン $L := K - U$ から運動方程式を導けば、

$$\frac{d}{dx_1} L \rightarrow m \cdot \ddot{x}_1$$

$$\frac{d}{dx_1} L \rightarrow -k \cdot x_1 - \frac{1}{2} \cdot \kappa \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{x_1^2}{d} + \frac{1}{2} \cdot d \right) \cdot \alpha^2 \cdot \frac{x_1}{d} - 2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_2 - x_1)^2}{d} + \frac{1}{2} \cdot d \right] \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_2 - x_1)}{d} \right]$$

$$\frac{d}{dx_2} L \rightarrow m \cdot \ddot{x}_2$$

$$\frac{d}{dx_2} L \rightarrow -k \cdot x_2 - \frac{1}{2} \cdot \kappa \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{x_2^2}{d} + \frac{1}{2} \cdot d \right) \cdot \alpha^2 \cdot \frac{x_2}{d} + 2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_2 - x_1)^2}{d} + \frac{1}{2} \cdot d \right] \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_2 - x_1)}{d} \right]$$

整理すると,

$$x''_1 = -\frac{k}{m} \cdot x_1 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2m} \cdot \left[1 + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot (x_1^2 - x_1 \cdot x_2 + x_2^2) \right] \cdot (2x_1 - x_2)$$

$$x''_2 = -\frac{k}{m} \cdot x_2 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2m} \cdot \left[1 + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot (x_1^2 - x_1 \cdot x_2 + x_2^2) \right] \cdot (2x_2 - x_1)$$

となる。

「ふりこ三兄弟」のパラメータを用いて, 数値積分を実行してみよう。ただし, 振子の間隔は式に合うように調整することにする。

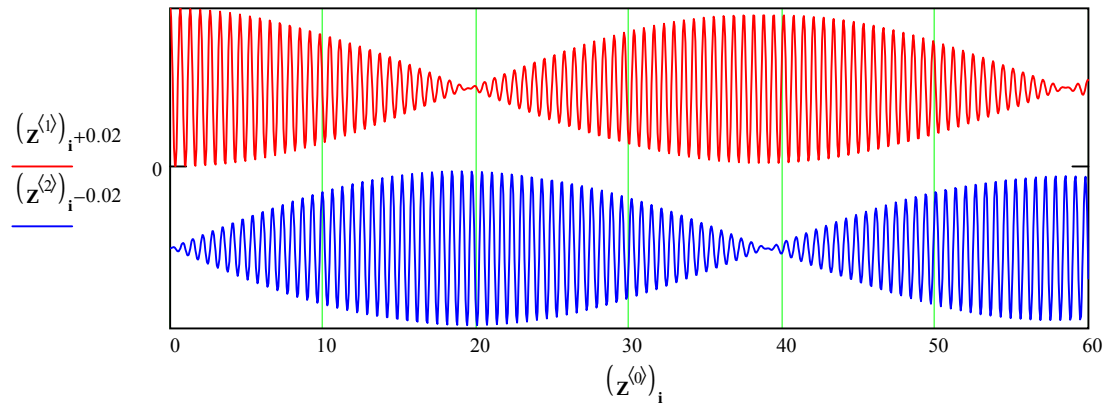
$$m := 0.0556 \quad \alpha := \frac{18}{150} \quad k := 5 \quad \kappa := 12 \quad d := 0.045$$

$$x_{10} := 0.02 \quad x_{20} := 0$$

$$x'_{10} := 0 \quad x'_{20} := 0$$

$$X := \begin{pmatrix} x_{10} \\ x_{20} \\ x'_{10} \\ x'_{20} \end{pmatrix} \quad D(t, X) := \begin{pmatrix} X_2 \\ X_3 \\ -\frac{k}{m} \cdot X_0 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2 \cdot m} \cdot \left[1 + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot [(X_0)^2 - X_0 \cdot X_1 + (X_1)^2] \right] \cdot (2 \cdot X_0 - X_1) \\ -\frac{k}{m} \cdot X_1 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2 \cdot m} \cdot \left[1 + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot [(X_0)^2 - X_0 \cdot X_1 + (X_1)^2] \right] \cdot (2 \cdot X_1 - X_0) \end{pmatrix}$$

$$Z := \text{rkfixed}(X, 0, 60, 1200, D) \quad i := 0 \dots 1200$$



共振周期は, α と κ の変化に対してかなりクリティカルに反応する。特に, ゴムのばね定数 κ は伸ばし具合で大きく変動し, なおかつ1本1本でかなりの差もあると思われるので, 使用状態での値を特定するのは困難である。実験値は約40[sec.](60振動)だが, κ については実測と矛盾しない範囲で推定可能な最低値にして, ようやくシミュレーションでの一致をみた。

2. 3連ばね振子の解析

2連の場合と同様のモデルで3連共振の解析をする。
パラメータは2連と同様とし、ただしゴムの自然長からの伸びを一般化して βd とした。

エネルギーの表式は次のようになる。

$$K := \frac{1}{2} m \cdot (\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2)$$

$$U := \left[\frac{1}{2} \cdot k \cdot (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2) \right] \dots$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot \kappa \cdot \left[\left(\frac{\alpha^2 \cdot x_1^2}{2 \cdot d} + \beta \cdot d \right)^2 + \left[\frac{\alpha^2 \cdot (x_1 - x_2)^2}{2 \cdot d} + \beta \cdot d \right]^2 \dots \right]$$

$$\left[+ \left[\frac{\alpha^2 \cdot (x_2 - x_3)^2}{2 \cdot d} + \beta \cdot d \right]^2 + \left(\frac{\alpha^2 \cdot x_3^2}{2 \cdot d} + \beta \cdot d \right)^2 \right]$$

$L := K - U$ により、

$$\frac{d}{dx_1} L \rightarrow -k \cdot x_1 - \frac{1}{2} \cdot \kappa \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{x_1^2}{d} + \beta \cdot d \right) \cdot \alpha^2 \cdot \frac{x_1}{d} + 2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_1 - x_2)^2}{d} + \beta \cdot d \right] \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_1 - x_2)}{d} \right]$$

$$\frac{d}{dx_2} L \rightarrow -k \cdot x_2 - \frac{1}{2} \cdot \kappa \cdot \left[-2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_1 - x_2)^2}{d} + \beta \cdot d \right] \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_1 - x_2)}{d} + 2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_2 - x_3)^2}{d} + \beta \cdot d \right] \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_2 - x_3)}{d} \right]$$

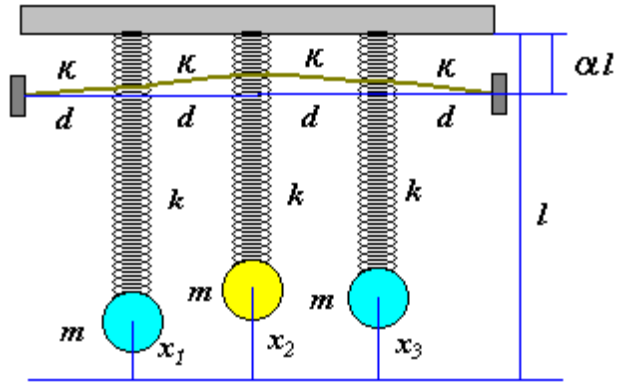
$$\frac{d}{dx_3} L \rightarrow -k \cdot x_3 - \frac{1}{2} \cdot \kappa \cdot \left[-2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_2 - x_3)^2}{d} + \beta \cdot d \right] \cdot \alpha^2 \cdot \frac{(x_2 - x_3)}{d} + 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot \frac{x_3^2}{d} + \beta \cdot d \right) \cdot \alpha^2 \cdot \frac{x_3}{d} \right]$$

となり、これを整理して以下の運動方程式を得る。

$$x''_1 = -\frac{k}{m} \cdot x_1 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2m} \cdot \left[2 \cdot \beta + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot (x_1^2 + x_2^2 - x_1 \cdot x_2) \right] \cdot (2x_1 - x_2)$$

$$x''_2 = -\frac{k}{m} \cdot x_2 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2 \cdot m} \cdot \left[2 \cdot \beta + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - x_1 \cdot x_2 - x_2 \cdot x_3 - x_3 \cdot x_1) \right] \cdot (2 \cdot x_2 - x_1 - x_3)$$

$$x''_3 = -\frac{k}{m} \cdot x_3 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2m} \cdot \left[2 \cdot \beta + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot (x_3^2 + x_2^2 - x_3 \cdot x_2) \right] \cdot (2x_3 - x_2)$$



3. 「ふりこ三兄弟(松岡振子)」の共振モード

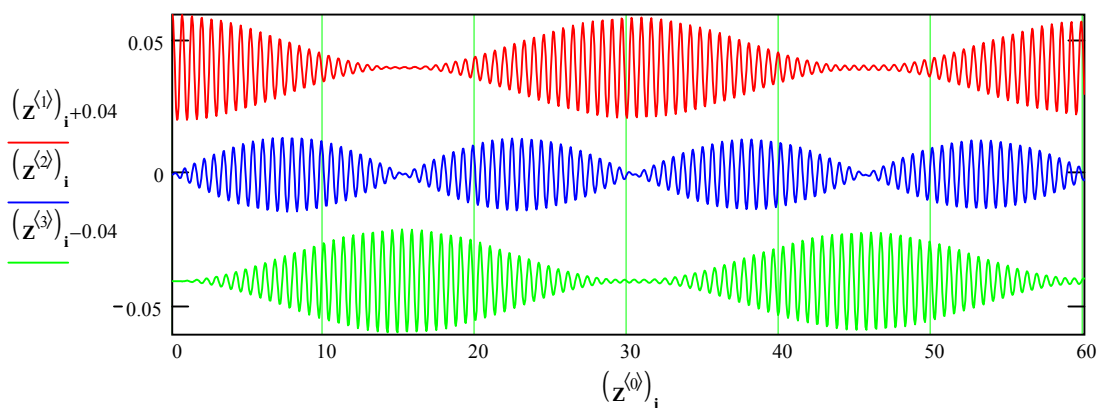
松岡さんが報告された「三兄弟」(すてきな題材の提供に敬意を表して「松岡振子」と呼ぶことにしたい)の共振モードについて、数値積分によるシミュレーションを試みた。**Interactive Physics** でもシミュレートしたが、初期設定がむずかしく、なかなかきれいなパターンが出ないモードもあった。今度の数値解析では、報告されたすべてのモードできれいな共振パターンが現れた。

特に解釈に悩んだ「長男」のみに初期変位を与えた場合について、シミュレーションの結果を示しておく。「次男」の共振のひと山を介して、「長男」と「三男」がエネルギーを交換して交互に共振する様子がよくわかる。

$$\begin{aligned} m &:= 0.0556 & \alpha &:= \frac{18}{150} & k &:= 5 & \kappa &:= 22 & d &:= 0.025 & \beta &:= 0.5 \\ x_{10} &:= 0.02 & x_{20} &:= 0 & x_{30} &:= 0 \\ x'_{10} &:= 0 & x'_{20} &:= 0 & x'_{30} &:= 0 \end{aligned} \quad X := \begin{pmatrix} x_{10} \\ x_{20} \\ x_{30} \\ x'_{10} \\ x'_{20} \\ x'_{30} \end{pmatrix}$$

$$D(t, X) := \begin{bmatrix} X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ -\frac{k}{m} \cdot X_0 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2 \cdot m} \cdot \left[2 \cdot \beta + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot \left[(X_0)^2 + (X_1)^2 - X_0 \cdot X_1 \right] \right] \cdot (2 \cdot X_0 - X_1) \\ -\frac{k}{m} \cdot X_1 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2 \cdot m} \cdot \left[2 \cdot \beta + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot \left[(X_0)^2 + (X_1)^2 + (X_2)^2 \dots \right. \right. \\ \left. \left. + -X_0 \cdot X_1 - X_1 \cdot X_2 - X_2 \cdot X_0 \right] \right] \cdot (2 \cdot X_1 - X_0 - X_2) \\ -\frac{k}{m} \cdot X_2 - \frac{\kappa \cdot \alpha^2}{2 \cdot m} \cdot \left[2 \cdot \beta + \frac{\alpha^2}{d^2} \cdot \left[(X_2)^2 + (X_1)^2 - X_2 \cdot X_1 \right] \right] \cdot (2 \cdot X_2 - X_1) \end{bmatrix}$$

$$Z := \text{rkfixed}(X, 0, 60, 1200, D) \quad i := 0 \dots 1200$$



分子を実感！

----- 水とアルコールの話 -----

福島商業高校 高 橋 善 樹

2年生でくもしも原子がみえたなら⁽¹⁾をひととおりやったあと、発泡スチロール球の分子模型づくり⁽²⁾をしました。水の「赤パンツ」とエタノールの「赤パンツをはいたくまさん」をつくったのをきっかけに、最後のまとめとして思いつきでやってみた授業を紹介します。

(予想分布は2年3組)

※

T ここに、この前分子模型をつかった水とエタノールの実物がメスシリンダーに 100cm³ ずつ入っています。今日は、この水とエタノールについて考えてみようと思います。

〔問題 1〕水 100cm³ とエタノール 100cm³ の質量を比べたら、どちらが重いと思いますか？

予想をたててから測定しましょう。

予想	(分布)
ア. 水の方が重い	20
イ. エタノールの方が重い	17
ウ. どちらも同じ重さ	2

(注) (1) 仮説実験授業研究会の授業書

(2) 同研究会を中心に普及した1億倍の分子模型製作



T どうしてそう思いましたか？

S₁ エタノールの分子の方が、原子がたくさんあるから。(イ)

S₂ なんとなくエタノールの方が軽そう。(ア)

T では、はかってみましょう。

(電子上皿てんびんを使用)

結果

水 100cm ³ の質量	98.9g
エタノール //	78.2g

T 理科年表によると…

水の密度 0.998g/cm³

エタノールの密度 0.789g/cm³

(いずれも 20℃) となっています。水の方が重いんですね。その理由はあとで考えるとし

て、次の問題に移ります。

〔問題 2〕 水 100cm^3 にエタノール 100cm^3 を静かに注ぎこむとどうなると思いますか？

予想 (分布)

- | | |
|-------------------|----|
| ア. 上下に分離して溶け合わない。 | 8 |
| イ. 分離するがしだいに溶け合う。 | 18 |
| ウ. すぐに溶け合う。 | 11 |
| エ. その他 () | 2 |

T その他の人の考えは？

S₁ バクハツする。(オイオイ)

S₂ エタノールが蒸発してしまう。

T ア～ウの人はどう？

S₃ 水の方が重いんだから分離するんじゃないかなあ。(ア)

T それじゃ、もうひとつ問題をやっておくよ。

〔問題 3〕 水 100cm^3 にエタノール 100cm^3 を加えて、よくかき混ぜた後の体積はどうなるでしょう？

予想 (分布)

- | | |
|--------------------------------|----|
| ア. 200cm^3 より少し多くなる。 | 14 |
| イ. ちょうど 200cm^3 になる。 | 17 |
| ウ. 200cm^3 より少し少なくなる。 | 8 |
| エ. その他 () | 0 |

T どうしてそう思いましたか？

S₁ 蒸発する。(ウ)

S₂ 化学変化をおこす。(ウ)

S₃ なんとなく…。(ア)

T はい、それでは実験してみよう。これが水 100cm^3 で、こちらのエタノール 100cm^3 を加える。ちょっと待てよ。どっちも無色透明だから、溶け合ったかどうか判断がつきにくいですね。

〔質問〕〔問題 2〕と〔問題 3〕の実験をしたいのですが、水もエタノールもいずれも無色透明なので、溶け合ったかどうかの判断がむずかしいと思われます。何かよい方法はありませんか？

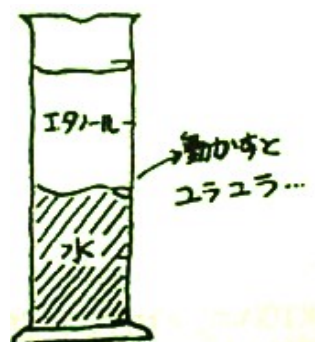
S 色をつければいい。

T そうだね。赤インクを用意しました。水の方にちょっとたらして水を赤くしておきます。

それじゃあ、エタノールを静かに加えてみましょう。

結果

上下に分離して、境界面がゆらゆらゆれている。



T はい、[問題 2] の結果はア…かな？でも厳密にいうと正解はイです。境界面でしだいに混じり合って、お互い溶け込んでいきます。

解説

水の方が重いので初めは分離しているが、双方の分子運動によってしだいに分子が境界面から相互に入り込んで、溶け合っていく。

水とエタノールはもともと仲がよく、どんな割合でも溶け合う。分子を比べると、酸素原子と水素原子の「赤パンツ」の部分がよく似ており、そこによく溶け合う秘密がある。

気体の場合には分子運動の速さが大きいため短時間で混じり合うが、液体の場合は分子がこみ合っているうえに、分子の速さが小さいため、仲がよい分子どうしても混じり合うのに長い時間がかかる。(200cm³ メスシリンダーに 100cm³ ずつ入れた場合、放置後 1 か月近くたっても中央付近でまだゆらゆらしており、均一にはなりきっていないのを認めることができた。あらかじめ放置したものを見せることができればなおよい。)

T さあ、今度はかき混ぜてみます。その前に目盛りを読み取っておきましょう。

結果

かき混ぜる前 198cm³

かき混ぜた後 194cm³

T わずかですが、体積は減少しましたね。そこで問題です。

[問題 4] 上の実験で、かき混ぜた後に体積が減ってしまうのはなぜだと思いますか？

予想

(分布)

- | | |
|------------------------|----|
| ア. かき混ぜたときにエタノールが蒸発した。 | 4 |
| イ. 水とエタノールが化学変化をおこした。 | 27 |
| ウ. 分子どうしのすきまが減るから。 | 7 |

エ. その他

1

T お酒は、濃くても薄くても酔っぱらうよね。(こんなこと生徒さんに聞いちゃいけないか！) エタノールのせいで酔うんだから、水と溶け合ってもエタノールはそのまま変化がないといえるね。かき混ぜると少しは蒸発するけれど、測定できるほど減るかな？みんなが寄付をしてくれた分子模型を使って考えてみよう。

モデル実験

水分子の 1 億倍模型を 1ℓ とエタノール分子模型 1ℓ をそれぞれ透明容器に入れる。比べてみると双方の分子のつまり具合のちがいがよくわかる。バイブレーターで振動をあたえてやると、余分なすき間がなくなり、分子運動のシミュレーションにもなるので用意したい。次に、両者を混ぜ合わせて、バイブレーターを



かけると、エタノールの分子のすき間により小さい水の分子が入り込んで、体積減少の分子レベルでの理由が見えてくる。

解説

分子モデルで見ると明らかなように、水の分子はきっちりおさまっているのに対してエタノールの方は分子が大きく形も複雑なためにすき間が多い。エタノールの方が密度が小さいのは、炭素原子が酸素原子よりも大きいにもかかわらず軽いことにもよるが、分子どうしのすき間が大きく、全体として水よりも分子が疎であることも原因であると思われる。⁽³⁾



また、両者を混合したときの体積減少は、エタノールのより大きいすき間を水分子が埋めることによって起こる。あずきと砂の混合によるモデル実験もよく知られている。

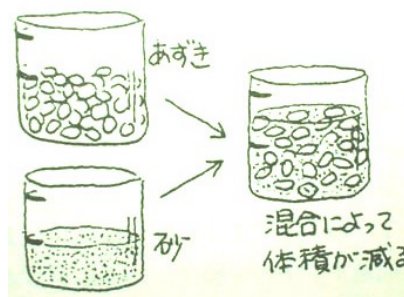
(注) (3) 後の「参考」を参照のこと

T 以上で、「水とアルコールの話」を終わります。少しでも分子というものを実感できたでしょうか？

※

分子模型の製作のときに、「こんなの作って、いったい何になるの？」という感想をもらった「優等生」がいました。分子の形やふるまいが、拡散や溶解など身近な現象に深くかかわっていることを実感させたいと思い、かつて私自身興味を感じた水とアルコールの混合を教材にしてみました。分子模型製作のあと「持っていくのが面倒なら…」と、任意に募集した模型がモデル実験に使えるほど集まったのもきっかけになって1時限におさまる授業にしたててみたわけです。〈もしも原子が見えたなら〉も分子模型づくりも原子・分子を実体として感じさせる授業でした。その「実体」から説明できる身近な現象があることを知るのも意味があるのではないのでしょうか。

あずきと砂によるモデル実験→



参 考 水とエタノールの密度の比較

水とエタノールの密度の大小について、分子のレベルで検討を加える。

◎密度（理科年表 20℃）

水 0.998g/cm³

エタノール 0.789g/cm³

◎分子の「体積」

ファンデルワールス半径をもとに発泡スチロール球で製作した1億倍模型の体積を水と置き換えて測定した。正確な分子構造から計算を試みられたい(球の積分ですむようです)。

水 19Å³

エタノール 54Å³

◎分子量

水 $\text{H}_2\text{O} = 18.0$

エタノール $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 46.1$

◎ 1cm^3 中に含まれる分子数

水 $(0.998/18.0) N_A = 3.34 \times 10^{22}$

エタノール $(0.789/46.1) N_A = 1.03 \times 10^{22}$
($N_A = 6.02 \times 10^{23}$)

◎分子 1 個が占有する体積

水 $10^{24} / (3.34 \times 10^{22}) = 30 [\text{\AA}^3]$

エタノール $10^{24} / (1.03 \times 10^{22}) = 97 [\text{\AA}^3]$

◎分子が空間を占める割合

水 $19/30 = 0.63$

エタノール $54/97 = 0.56$

◎分子の「密度」

水 $18.0/19 = 0.95 [\text{u}/\text{\AA}^3]$

エタノール $46.1/54 = 0.85 [\text{u}/\text{\AA}^3]$
($\text{u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{kg}$)

※

考 察

水に対するエタノールの密度比は,

$$0.789/0.998 = 0.79$$

そのうち, 構成原子の質量 (分子の「密度」) のちがいの要因は,

$$0.85/0.95 = 0.89$$

分子のすき間の大小 (空間を占める割合) による要因が,

$$0.56/0.63 = 0.89$$

であるとすれば, 密度比は

$$0.89 \times 0.89 = 0.79$$

となる。

以上の検討は, $\text{O} \cdots \text{H}$ 間の水素結合を度外視して, すべて分子がファンデルワールス半径において接すると仮定した議論である。実際には, 水素結合距離 ($1.80 \text{\AA}$) はファンデルワールス半径の和 ($1.40 + 1.2 = 2.6 \text{\AA}$) よりもかなり小さいから, その影響は無視できない。

(注) しかし, おおまかな見積もりとして, エタノールの密度が水よりも小さい理由として, 次の 2 つがほぼ同等の因子となっていると結論することは, 承認されるのではないかと思う。

- (1) 炭素原子はファンデルワールス半径が酸素のそれよりも大きいにもかかわらず, 質量が小さいこと。すなわち, エタノール分子の「密度」が, 水分子より小さいこと。
- (2) エタノール分子が水分子より大きく形も複雑なために, 1 分子の占有する体積に対する分子自身の「体積」の割合が小さいこと。すなわち, 分子間のすき間が大きいこと。

(注) エタノールの方が水素結合の密度は小さいと考えられるから, 水素結合を考慮することはエタノールの密度をより小さくするもう 1 つの因数を見つけることである。水素結合の存在確率 (密度) を知る方法をご教授いただけないだろうか。

(1991 福島県高教研理科部会 研究集報第 26 号)

骨格標本づくり

喜多方工業高校 高橋善樹

1. 骨格標本との出会い

そもそも私が骨格標本をつくってみようと思ったのは、ずいぶん前に子どもの保育園の夏祭りですくってきた金魚の最後の生き残りが、気づいたときには白骨化して水槽の底から発見されたのがきっかけです（ひどい飼い主もあったものだ）。あまりにきれいに白骨化していたので、骨格を復元してみようと思い立ち、瞬間接着剤で組み立てたのが骨格標本づくりの最初でした。さすがに金魚となると小さくて難しく、完成にはいたりませんでした。骨格の美しさとともにパズル的な面白さもあいまって、しばし熱中してしまったことを思い出します。

その後、生まれ育った田舎にもどって6年目を迎えていますが、タヌキなど野生動物の交通事故による死骸が猫より多いくらいに発見されるのに驚いています。発見のたびに動物たちの災難と加害者としての人間の罪深さに暗澹たる思いをしましたが、無駄死にさせてはならじ（？）と、たまたま「理科教室」誌の実践の記事を思い出して頭骨標本づくりを始めました。タヌキやハクビシンを手がけて、折りに触れて教室に持ち込んで彼らの怨念を代弁してやっています。

そんな折りに、県の教研集会で浪江高校津島分校（当時）・大越さんのタヌキやキツネの全身骨格標本づくりに出会いました。彼女が生徒とともに作りあげた標本は、泥に埋め込んでおいて白骨化したものを平面に並べて復元するというもので、なかなかみごとなできばえでした。私もそのときたまたま頭骨の標本を持ち込んでいたので、交流した際にぜひ3次元の標本もつくりたいものだとし合いましたが、実際には技術的にも難しく手間もかかって困難だろうと思っていました。

それから約半年後のある晩、妻が帰宅途中に路上で発見した不幸なタヌキの話を知りました。残された子タヌキがその場を離れようとしなかったという報告に、一瞬たじろいだものの、「代弁者」としての責務を思い起こしてさっそく引き取りに行きました。事故現場と思われる、路面に血の流れたところから5 m以上も離れた場所に、あわれな被害者は横たわっていました。私が車で接近しても近づくのを離れようとしないタヌキが2匹いましたので、彼らが何とか助けようとひきずったものとみられます。遺骸は頭部の損傷がひどく、即死の状態でした。頭部のみの標本はよい状態では得られないと判断しましたが、そのほかは損傷もみられない様子でしたので、全身の標本を試みるべく遺骸を収容しました。

2．製作の過程

(1) 解剖

翌日さっそく理科室に持ち込んで、まずは解剖。手入れの悪いメスよりもカッターナイフが便利ですね。事務室で食器洗いに使用していたビニール手袋を借用して（すぐに用途がバレて返却をことわられましたが）、新聞紙を敷き詰めた実験台の上で執刀。被害者は雄の成獣でした（すると夕べの2匹は母親と子ども？）。

肋骨は復元を考えて解剖では切り開きませんでした。前半分はほとんど軟骨であり、軟骨を残さなかった今回は切ってもよかったのだと後で気づきました（標本としては軟骨も残した方がよいそうですが煮込むと弱くなってすぐにバラバラになってしまいます）。

基本的な内臓を確認しながら摘出していきました。膀胱は尿でいっぱいでしたが、胃の中はからっぽでした。さぞかしおなかをすかして、家族とともにえささがしに出かけたところだったのでしょう。

(2) 煮込み

腹腔および胸腔を空にした後、皮をはいで煮込みにかかりました。頭部は損傷がひどいこともあり、皮はつけたままにしておきました。鍋がわりにオイル缶か何かの再利用と思われる、危険物入れに使用していた、とってつきの丸い缶を使い、まるごと入れて水を満たして、ガスコンロで4時間ほど煮込みました。ときどき水を補充するのを忘れないようにします（以前ハクビシンの頭骨をこがしてしまったことがありました）。ストッキングなどに入れて煮るとバラバラになったりせずいいようです。今回は使用しませんでした。煮終わって取り出すときには注意した方がいいでしょう。

後日手がけた別のタヌキでは5～6時間煮て肉や軟骨の処理がしやすかったのですが、その分骨も傷めるということで、様子を見ながらひきあげを決めるしかないかもしれません。

(3) クリーニング

頭、四肢、尾・・・と扱いやすい程度に分割して肉をはがします。関節や接合部もはずして軟骨もきれいにとりのぞきました。このとき当然骨はバラバラになるので、必要に応じてスケッチをするなど復元しやすいように記録をとっておきました。脊椎や肋骨などは番号をつけておくとういでしょう。肉はがしとクリーニングはピンセットと歯ブラシが便利です。今回は手元にありませんでしたが、細めのワイヤブラシがあればなおいいかもしれませんね。

(4) 漂白

肉や軟骨がとれてきれいになったら，3%過酸化水素水（30%を10倍希釈）に一晩ひたして漂白しました。漂白は必ずしも必要なわけではないと思いますが，骨本来の美しい色が出て，また変色防止にもなるのではないかと思います。ただ，生物の先生にうかがったところ，やはり長時間つけすぎると骨を傷めるということで，これもまた様子をみながらにした方がよさそうです。

さすがに全身ともなると，何人かで分担するのでもない限り，かなり時間がかかります。今回は春休み中だったので，おおぜいでの分担は不可能でした。補習で来ていたひとりの生徒の手を借りましたが，それでもここまで3日ほどかかりました。缶から引きあげて並べておいた肉つきの骨は，1日もたてば乾燥して膠もしみ出ているためコチコチになってしまいます。そこで，部分ごとにビーカーに入れて，短時間煮戻ししながらクリーニングしては，過酸化水素水につけるという作業を繰り返しました。

(5) 骨格の立体復元

漂白した骨は水洗いして新聞紙の上で自然乾燥させました。このとき過酸化水素水で手が荒れないように手袋やピンセットを使用します。乾燥が完了したら，いよいよ復元です。

まずは，慣れた頭骨から始めました。損傷が激しかったため，数えると大小50個ほどの骨片でした。瞬間接着剤を使って，ほぼ1日かけて復元しましたが，20個弱の小片がどうしても余ってしまい，残った穴は木工用パテで何とか修復しました。

次は脊椎ですが，骨自体に番号をふらなかったのもちょっととまどってしまいました。首から腰にかけて順番と方向を確認してひもに通しておき，全部そろってから盆栽用のアルミ線に通して，整形しながらホットボンドで接着しました。ホットボンドは専用のピストル型の道具で加熱融解させて使用する接着剤ですが，軟骨のあったスペースをとりやすいのと，接着し直しが容易（骨との相性はあまりよくないようで，すぐにはがせる）なことから，今回頭部以外の全部分で使用しました。永久的には他の接着剤を併用するのがよいと思われます。正しい順番でくっつけていくと，美しい脊椎のカーブが自然と現れてきました。これを取りあえずスタンドで固定し，頭部と肋骨をつけました。

尾骨はピアノ線でも通せば補強になるのですが，そのまま接着してしまいました。よく見ると尾の根元に骨折治癒の変形が見られました。同僚の話ではケンカで尾を失うタヌキも多いとか・・・。

四肢は甲のところが特にパズル性に富み，スケッチが役立ったものの，大分楽しませてもらいました。ひざなど大きな関節は動くようにすることも考えられま

すが、面倒なので接着してしまいました。自然な姿勢をとらせるのがなかなか難しいところです。最後に前肢をつけるまでになって最大の難関を迎えました。後肢は骨盤によって腰椎につながるわけですが、肩甲骨には脊椎につながる関節らしきものは見あたらないのです。教科書などにある他の動物の骨格の図などを参考にしながら、何とか脊椎と肋骨に接着しましたがあまり自信がもてないところです（生物の先生のアドバイスもあり、2体目からはアルミ線でステーをつくっています）。

3．やっぱり本モノの迫力

理科室にたまたまあった生徒用机の天板をひっくり返して固定用の台をつくりました。自信のない箇所もいくつか残っているので、しばらくはホットボンドの仮接着のままです。いずれ補強接着が必要でしょう（その後も補強はせず、ときどきあしなどがとれては修復を繰り返しています）。補強は脊椎のアルミ線のみ。頭部の補修部分が痛々しいのですが、かえって本物であることの証明にもなっています。われながら素晴らしいできあがりとなりました。教室や職員室に（手袋でご迷惑をおかけした事務室にも）出前しては、話題を買っているところです。

やっぱり、本物の迫力は違いますね！ そこに置くだけで解説しなくとも存在感のある教材になっています。新学期でしたので、授業開きに使用してインパクトを与えました。

悲しいことですが、生活圏を急激に膨張させている人間に追われて、交通事故などの犠牲となる野生動物が増えてきています。そうした動物たちの遺骸は、もちろんいずれは生態系のリサイクルに復帰していくわけですが、できれば、殺してしまった以上は少しでも意味ある死としてあとづけてやりたいものです。加害者側の勝手な自己満足かもしれませんが、物理が専門の門外漢にいわせれば、蓄積されたエネルギーを使い尽くしてやる・・・ということでしょうか。条件が整うならば、肉は私の一部として取り入れ、毛皮はいで利用するか剥製にでもできればいいなあと思います。料理法やなめし方の情報はありますか（ただし、骨格標本を手際よく製作することから考えると毛皮の利用との両立はやはり難しいようですね）？

4．骨格標本づくりのその後

以上の報告は、3年前に私が全身骨格標本づくりを始めたときのものです。その後改良も加えながら、タヌキ（妊娠中の雌）、イタチ（雄）、トビ（雌雄不明・製作中）・・・と手がけてきました。イタチは同僚が持ち込んだものですが、いずれも交通事故によって死んだものと思われます（あと、ナイショですが自宅の裏の柿の根元にはキツネの遺骸が埋まっていて、いつになるとも知れない再発

掘を待っています)。今は多忙化もあってなかなか新しいものには手がつけられません。私のところへ持ち込まれないようにあらかじめお断りしておきます。なお、製作してみたいという方は、いつでも相談にはのりますよ！

< 参考文献 >

- 1) 「今、本物こそが刺激的！ - ブタ・ウシの骨格標本づくり - 」
田邊利幸 理科教室1992.5月号（新生出版）
- 2) 「ブタの頭骨標本づくり」 米沢剛至 理科教室1993.6月号（新生出版）
- 3) 「どうぶつのあしがたずかん」 中川志郎監修（岩崎書店）
- 4) 「僕らが死体を拾うわけ」 盛口 満著（どうぶつ社）
- 5) 「入門人体解剖学」 藤田恒夫著（南江堂）
- 6) 「家畜比較解剖図説 上」 加藤嘉太郎・山内昭二（養賢堂）

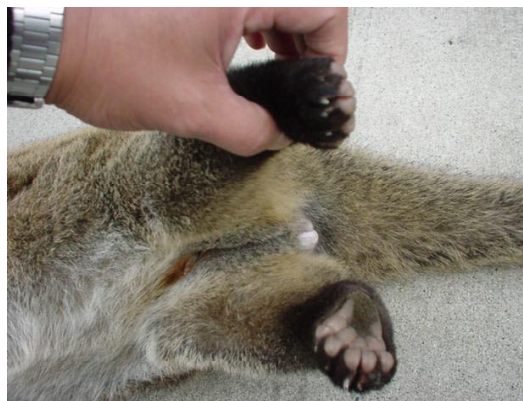
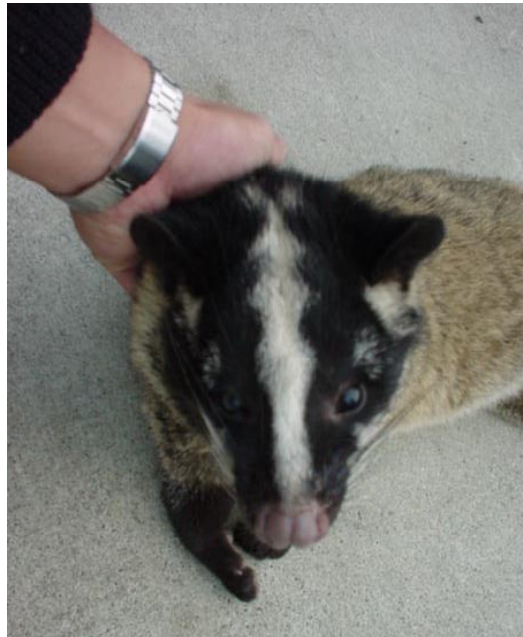
1///-/4-1/

骨格標本の製作記録

,,,,,, ハクビシン ,,,,,,



1. 遺骸収容



2. 解剖検死

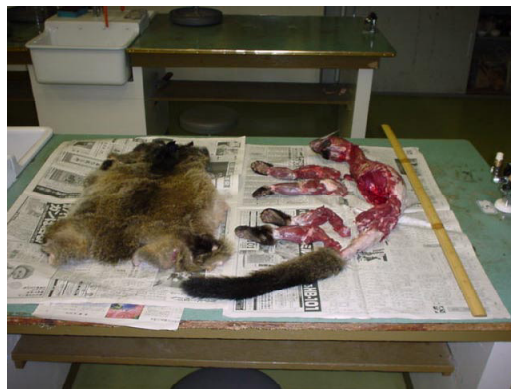


01/b1

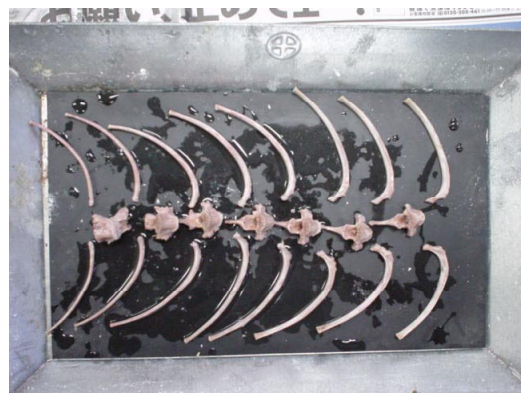
6-4j f



3. 解体煮込



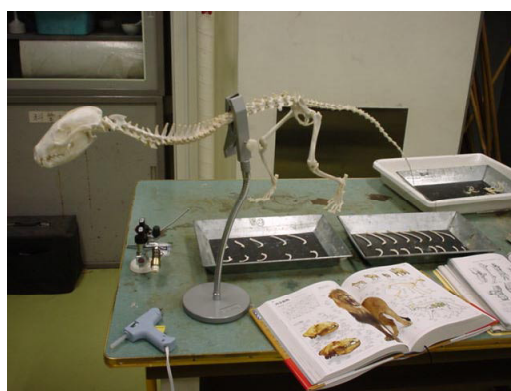
4. クリーニング



5. 漂白乾燥



6. 骨格復元



ホネ・ほね・骨

高橋善樹

理科準備室の机上に、卒業していった生徒が「年輪」のために描いてくれた私の似顔絵がある。今にすればやや頭髪の多すぎるその絵の中の私は、三つの小道具をもっている。すなわち、皿回しとギター、そしてペットボトルロケットである。私は、この似顔絵がとても気に入っているが、わがままをいえば小道具が一つ足りない気もする。ずばり、「骨」である。

私と骨との出会いは十年ほど前にさかのぼる。子どもが通っていた保育所の「夏祭り」の金魚すくいですくってきた金魚を家でしばらく飼っていたのだが、面倒見が悪く、水槽にはびっしり水苔がはえて中が見えない状態になっていた。一匹だけはだいたい図体もでかくなって、しぶとく生き残っていたのだが、ある日水槽をのぞいてみると姿が見あたらない。猫が出入りした様子もないし、あたりを見回しても脱出した形跡もない。どうしたのかと水槽を洗いざらい調べたところ、何と無惨にもバラバラの白骨となって、小石に紛れていたのである。

金魚（名前を「クプクプ」とつけていた）にはすまないことをしたと思いながら、あまりにきれいに白骨化していたので、私はできるかぎりの骨を回収した。もちろん「アロンアルファ」で復元を開始するためである。

さすがにいくら育ったとはいえ金魚は小さく、ある程度まで復元して形にはなったものの、どこの骨やわからないものが多数残り、ひとまず形になった標本もかなり怪しげなできばえであったが、とにもかくにも骨格の美しさや精妙さに魅せられた最初のきっかけとなった。

郷里である喜多方に帰ってきて、多くの野生動物に出会うことはうれしかったが、一方、交通事故によって無惨な死をとげたタヌキやイタチ、ハクビシン等々の姿も多く見られることに胸が痛くなる思いであった。これらの動物たちの中には、開発などですみかを追われ、やむなく人里近くに出没するようになったものたちもいることだろう。

金魚を思い出し、また、牛や豚の頭骨を標本にして教材にしているという研究報告なども目にして、骨格標本づくりを本格的に始めることにした。無惨にも殺された動物たちの怨念を、復元された骨格標本にこめてやろうという気持ちもあった。その後タヌキの頭骨二つ、ハクビシンの頭骨、タヌキの全身二体、イタチの全身一体を完成させ、現在復元を待つトビの骨もあって、理科準備室は骨だらけである。理科の研究仲間にこの標本づくりについて紹介したところ、次は「ヒト」ですか？とのブラックユーモアが飛び出すことしきりであったが、残念ながら（？）今のところ、ホモ・サピエンスの標本は、家に飾ってある頭骨のレプリカ・プラモデルだけである。

骨は、美しい。その色合いなど、物質としての美しさはもちろん、個々の骨の理にかなった形状、そして何よりも魅せられるのは、骨格構造の美しさである。気の遠くなるような時間の流れの中で進化を勝ち取ってきた脊椎動物の骨格は、筋肉の保持、内蔵の保護、姿勢と運動の制御等々、大小様々なレベルにおいて、目的にかなっており、それが理屈のいらぬ純粋に美術的な美しさと相乗効果をなしている。

土木や建築の分野でも、その構造とデザインとにおいて、脊椎動物の骨に学んでいる点が多いのではないかと、タヌキの背骨の美しいラインを見ながら、あらためてそう確信している。

（1999年度「礎」）

遺伝の授業プラン

問題を自分のものとする授業をめざして

福島商業高校 高 橋 善 樹

1. はじめに

理科の授業において多くの単元にみられることですが、既成の教科書に忠実に従って授業を構成しようとする、どうしてもはじめに原理・法則をあたえてしまい、そのあと原理・法則の確認や応用としての実験・問題演習という、ともすると無味乾燥な授業展開におちいりがちです。とりわけ受験対策をまぬがれえない学校では、進度を気にしながらのかけあしの授業で、本来の理科における発見の楽しさや自らの自由な発想をつうじて真理を手にする喜びが犠牲にされてしまうのもある程度はやむをえない事なのではないでしょうか？

「遺伝」は、生物分野の中でもその法則の簡明さと一貫性から、本来の楽しさをぜひとも味わってもらいたい単元のひとつだと思ってきました。最近、ピーターコーンという優秀な教材をえてさらに励まされ、できるだけ自由な発想と発見とを大切に、原理・法則にいたる問題意識を生徒自身のものにすることをめざして、授業構成を考えてみました。

授業は現在進行中で、全体として生徒たちの評価にさらしていないこともあり、完成には程遠いプランですが、ご批判いただければ幸いです。

2. 全体の構成

法則をはじめから与えてしまうのではなく、問題の発見を促し、法則への目的意識を高めるような導入をこころみました。以下、全体のながれをまとめておきます。

I・ピーターコーン登場＝問題の発見

〔問題 1〕 両親から遺伝によってうけついただところは？

○遺伝する形質・遺伝しない形質

〈実験〉 ヒトの遺伝 (1) …… 家族の遺伝調査 (夏休み)

〔問題 2〕 トウモロコシを絵に描いてみよう

○トウモロコシのつくり

〔問題 3〕 雌花は実のどこからはえているか？

○トウモロコシの受精

○ピーターコーン登場

〔問題 4〕 ピーターコーンは、なぜ黄色と白色の実がまじっているのか？

〔問題 5〕 ピーターコーンの親の種子は、何色？

〈実験〉 ピーターコーンの黄色と白色の種子の割合

○実験結果のまとめ…… 分離比 3 : 1 の確認

〔問題 6〕 ピーターコーンの親の種子はどうやってつくられたか？

○ピーターくんのルーツ…ハニーバンタム家の家系

○メンデルのエンドウの実験

II. メンデルの法則＝法則の提示

○エンドウのまるーしわの遺伝

○優性の法則

○遺伝子の仮説

- 分離の法則
- 減数分裂のしくみ
- 〈実 験〉減数分裂の観察
- 独立の法則
- 〈実 験〉ヒトの遺伝 (2) …ミミアカの調査結果の集計
＝法則の応用

Ⅲ. いろいろな遺伝＝発展

- 不完全優性
- 複対立遺伝子
- 〈実 験〉ヒトの遺伝 (3) …血液型、味盲、福耳などの調査結果から、優性形質の判定、
遺伝子型の堆定をする ＝法則の応用
- 連鎖と組換え
- 性と遺伝
- メンデルの法則発見と再発見のドラマ

特に新たな展開をこころみたのは、Ⅰの全体で、この部分は自作の授業書によって、授業をすすめました。したがって、上記のⅠは、授業書の問題を中心とした構成を示し、Ⅱ～Ⅲは、項目のみあげました。

3. 授業書（案）の解説と問題の回答分布

〔問題 1〕あなたが、お父さん・お母さんから遺伝によって受け継いだと思われるところをいくつかあげてみましょう。

「遺伝形質」の概念を導入する目的で設定した問題です。期待(?)したとおり、なかなかあやしい答えがかえってきます「素質(＝遺伝)決定論」に陥りがちな生徒たちの回答には、疑問符を示しておきたいところです。

○遺伝する形質・遺伝しない形質

「遺伝しない形質＝獲得形質」との定義には不安があります。

〈実 験〉ヒトの遺伝(1)…家族の遺伝調査

夏休みの課題として数年来やってもらっているものです。後の授業で使用します。
(授業書には記述なし…別紙参照)

〔問題 2〕あなたは、トウモロコシは好きですか？(略)絵に描いてみましょう。

トウモロコシ畑は、あちこちに見られます。学校の正門の前にもあり、通学時には生徒もみているはずですが、あらためて絵に描くとなると、どうもあやしくなってしまうようです。花はどうなっているか？の問いに対して、コスモスのような花びらを描いてくれた生徒がいました。雌雄異花であることを知る生徒はわずかのようです。

予想を絵に描いてからだと実物を見る目も違うのでは…との期待をこめました。

〔問題 3〕実ったトウモロコシに残っているヒゲのような雌花は、実のどこからはえていると思いますか？

予想	分布 (2 クラス)
ア. 実の先端に集中してはえている	7
イ. 実の 1 粒 1 粒からはえている	37
ウ. 実の根元に集中してはえている	41

雌花の役割を考えればあたりまえですが、みるからに頼りなさそうな「絹糸」の1本1本がそれぞれ胚のうに花粉管を誘導することを思うと、私は感動を禁じ得ません。実物では、実ってしまったものと半分以上とれてしまっています。絹糸があおあおとした、未熟な実が手に入れば、ちいさな粒の1個1個にちゃんとしたヒゲが伸びているのを観察することができます。

○1本で700の受精

前述の感動を伝えるとともに、遺伝教材として使用するための予習としたいと思います。

○ピーターコーン登場

実物をみてもらいます。

〔問題4〕ピーターコーンは、なぜ黄色と白色の種子が混じっているのだと思いますか？

予想 分布 (3クラス)

- | | |
|---------------------------------------|----|
| ア. 白いのはまだ熟していないからで、これから黄色になっていく。 | 4 |
| イ. 白い種子と黄色い種子の両方から育てたトウモロコシどうしで受精させる。 | 33 |
| ウ. 親の種子の中に黄色にするものと白色にするものが混じっている。 | 82 |
| エ. その他 () | 0 |

遺伝の学習と銘打っているわけですから、さすがにアは少ない。結果は与えず、今後の課題とします。

〔問題5〕ピーターコーンの親の種子（育てるのにまくタネ）は、どんな色をしていると思いますか？

予想 分布 (3クラス)

- | | |
|-----------------------|----|
| ア. 黄色の種子だけ | 41 |
| イ. 白色の種子だけ | 26 |
| ウ. 黄色の種子と白色の種子が混じっている | 54 |
| エ. その他 () | 0 |

〔問題4〕の分布と比較すると、多少矛盾と思われるところがあります。ウは、〔問題4〕のイに対応するものなのですが、分布にかなりのずれがみられます。これについては、討論はなされませんでした。世代の混同や交雑の理解の不足など、検討の余地がありそうです。

アと答えた生徒の中で、貴重な意見が出ました。

「栽培の途中で、何かするんだと思う。」

さらに聞くと、黄色の種子から育てて、人工受粉などの操作をするという考えです。でも、交雑するなら白い種子も必要？それとも花粉だけ別に売ってる？

〈実験〉ピーターコーンの黄色と白色の種子の割合

問題発見と法則への目的意識を高めるIにおいて中心となる実験です。昨年は法則の確認として行なった実験ですが、メンデルが味わったであろう発見の感動を共有してもらいたいと思うのです。今年は作柄が悪く、実が小さい上に不稔部分が多くて、しかも値段が高いということで、条件はよくなかったのですが、実験の目的は十分に達せられました。数えたあと食べられるというのが、大きな魅力です。(実験結果…資料参照)

○実験結果のまとめ…分離比3:1の確認

3:1の意味を確率的にとらえられないという報告を聞いたことがあります。自分たちが実際に数えた結果を比較するならば、その確率的意味はすぐにのみこめるのでは、と期待しています。

〔問題 6〕ピーターコーンの親となる種子はすべて黄色でしたが、この種子はどうやってつくられたと思いますか？

予想	分布 (2 クラス)
ア. 黄色の種子だけを育てて作られた	19
イ. 黄色の種子から育てたトウモロコシのめしべに 白色の種子から育てたトウモロコシの花粉を受粉させた	51
ウ. イの逆	18
エ. その他 ()	0

親の形質が均一であるならば、分離の根源ををもう 1 世代さかのぼって求めようとするのは無理のない展開だと思います。多くの生徒が、これこそは交雑の結果だろう…と期待された結論に達しているようです。

あえてイとウを分けたのは、遺伝の決定を父または母の一方のみに帰することがあやまりであり、配偶子のいずれもが、遺伝において同等であることを後で確認するために伏線としておきたいというねらいからです。この配偶子の同等性は、メンデルの実験によって確認された成果のひとつに数えていいと思われます。

イとウのどちらが正解なのか、実は私も知りません。たねやさんに聞いてみたいところです。「企業秘密」で教えてくれないかもしれませんが…。

○ピーターくんのルーツ…ハニーバンタム家の家系

「ピーターくん」、「ハニーバンタム家」は授業書にありませんが、生徒にうけたので使っている表現です。読んだだけでは、理解しにくいので「家系図」を図解して示します。

○メンデルのエンドウの実験

法則を提示する準備として、メンデルのおいたちや、歴史的背景、科学史上の位置などにもふれておきたいと思うのですが、一方的な話になってあきられてしまうので、深入りをさけました。メンデルの人間性ととともに、法則の発見と再発見のドラマチックな展開は、物語としては大変魅力に富んだものです。

なおこの「授業書 (案)」は、その形式と授業展開の方法において、仮説実験授業研究会の「授業書」をほとんどそのまま承諾なしにマネしていますが、いかなる意味においても同研究会が認める「授業書」ではありませんので、おことわりしておきます。

4. 今後の課題

自作の授業書は、導入部分のⅠのみで中途半端に終わっています。その後の展開にあえてつくる必要を感じなかったといういいわけになりそうですが、Ⅱ～Ⅲの内容も、検討すべき点がたくさんあります。授業をすすめながら、考えていきたいと思っているところです。

〔参考文献〕

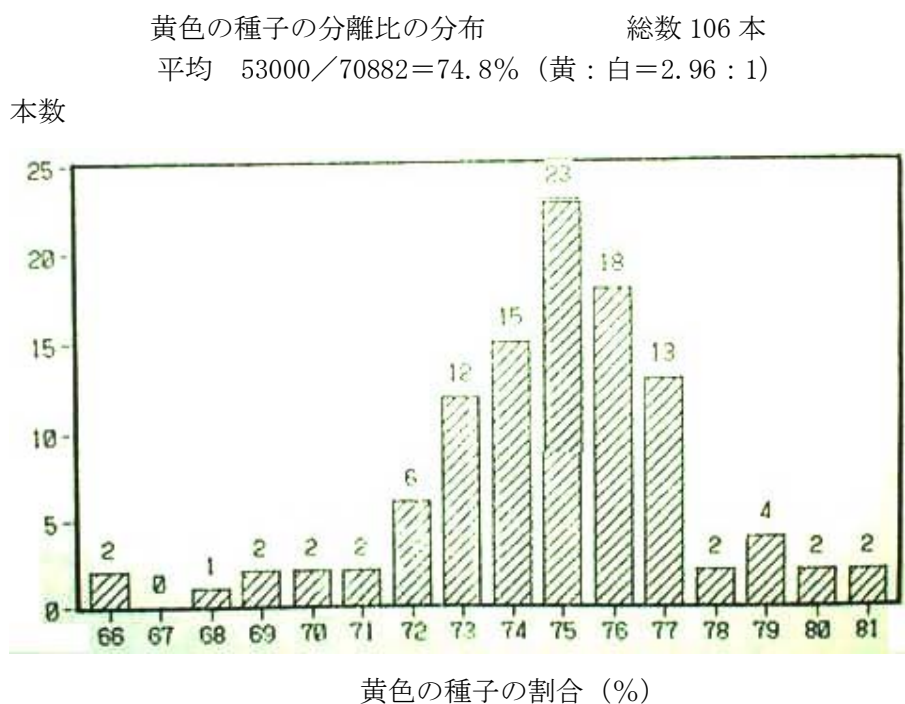
◎ピーターコーンについて

- (1) トウモロコシの胚乳（種子）の色を使った遺伝の実験：村田 章
「理科教室」1990. 6月号 新生出版
- (2) 市販のとうもろこしで遺伝の法則をみる：砂川 徹・山田卓三
「遺伝」1989. 10月号 裳華房
- (3) 「スイートコーンのつくり方」：戸沢英男 1985 社団法人農山漁村文化協会

◎メンデルについて

- (4) 植物の雑種に関する実験：メンデル，山下孝介訳 1972
「世界の名著 65 現代の科学 I」中央公論社
- (5) 「メンデルの生涯」：イルチス，長島 礼訳 1942（※1960もある）
創元科学叢書 創元社
- (6) 「メンデルの発見」：中沢信午 1978 共立出版
- (7) 「メンデルの発見の秘録」：オレル，篠遠喜人訳 1973 教育出版
- (8) 「遺伝学のあゆみ」：メンデル遺伝法則百年記念出版委員会編 1967 裳華房

資料1 ピーターコーンの黄色：白色の分離比（1990）



資料 2

理科 I 夏休み課題

〔実習〕ヒトの遺伝

ヒトにも遺伝する対立形質は数多くみつかっている。この実習ではそれらの遺伝形質の中ですぐにわかるものについて、いくつか家族調査をすることによって、今後の遺伝の学習の貴重な資料としていかしていこうと思う。プライバシーに支障のない範囲で、できる限り多くの調査を期待する。

■調査対象

自分を含めてできる限り多くの血縁関係のある人。家族はもちろんのこと、できれば親戚についても調べてみるとよい。

■調査事項

◎必ず調べる事項

(1) 味盲試験紙による調査

試験紙の一端を軽く口に含み、約5 秒間経過したとき苦く感じたかどうか。

(2) 巻き舌

舌を伸ばして、U 字に丸められるかどうか。

(3) 耳アカ

耳アカをとって、カサカサしている（乾性）か、ネバネバしている（湿性）か。

(4) 人差し指と薬指の長さ

人差し指と薬指とでどっちが長い。

◎その他 興味ある人はぜひ！

- ・血液型…ABO 式
- ・ヒッチハイカーの親指…親指が反転するかどうか。
- ・ダーウィン結節… 耳のふちの内側に余分な突起があるかどうか。



ヒッチハイカーの親指

■調査例

(省略)



耳介結節がない

耳介結節がある

(1991年度福島県高教研理科部会研究集報第26号)

遺伝のしくみ

〔問題 1〕

あなたがお父さん・お母さんから遺伝によって受け継いだと思われるところをいくつかあげてみましょう。

遺伝する形質・遺伝しない形質

わたしたちには、一人ひとりを特徴づけるいろいろなところがあります。身長や体重、目・鼻・耳などの形、肌の色、血液型、性格…数え上げればきりがありません。他の生物たちも同様に、同じ種類の個体の間には、よく見ると様々なちがひがあります。ゾウリムシのような単細胞生物でさえ、一匹いっぴきにはそれぞれに違った特徴があるのです。このように個体の特徴となるさまざまな形や性質を形質といいます。

形質＝個体を特徴づける形や性質

みなさんが〔問題 1〕であげた、いろいろなところもあなたというヒトの「個体」を特徴づける「形質」なのです。しかし、あなたを特徴づけるすべての形質が遺伝によって両親から伝えられたものといえるのでしょうか。遺伝は精子と卵子の合体＝受精の瞬間に決定することが知られていますが、その後育った環境の違いや自分の努力などによって獲得したところも多いはずです。

形質には遺伝によって親から伝えられるものと、生育環境の中で後から獲得されるものがあります。そして、遺伝によって伝えられた形質は代々遺伝していきますが、生活の中で獲得した形質は遺伝しないといわれています。

遺伝する形質　＝遺伝形質
遺伝しない形質＝獲得形質

ある形質が、遺伝形質であるかどうかを判断することは難しいのですが、みなさんが〔問題 1〕であげた形質はどうでしょうか？もう一度検討してみましょう。

〔問題 2〕

あなたは、トウモロコシは好きですか？学校や家の近くにもトウモロコシ畑があると思いますが、トウモロコシが実っているところを見たことがありますか？トウモロコシの花はどうなっているでしょう。実はどんなふうにくっついているのでしょうか。絵に描いてみましょう。

右の図は、植物図鑑からとったトウモロコシの図です。トウモロコシは、イネ科の植物で、1本の茎にススキに似た雄花とヒゲのような雌花がついているのが特徴です。実物があつたらよく観察してみましょう。

(図省略)

〔問題 3〕

実ったトウモロコシに残っているヒゲのような雌花は、実のどこからはえていると思いますか？

予 想

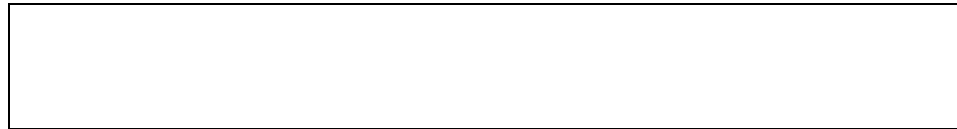
ア．実の先端に集中してはえている

イ．実の1粒1粒からはえている

ウ．実の根元に集中してはえている

みんなの予想をだしあってから、トウモロコシの実の皮をむいて観察してみましょう。

観察結果



1 本で 700 の受精

トウモロコシは、雄花でつくられた花粉が風でとばされて、雌花（ヒゲ）の1本1本にくっつくことによって実ります。雌花のヒゲはめしべそのものであり、ヒゲを通じて花粉の核がはこばれて、トウモロコシの1粒1粒の中で受精が起こって種子が実るのです。

ですから、実ったトウモロコシに残った雌花（ヒゲ）の1本1本は、1粒1粒の種子からはえているわけです。1本のトウモロコシに700粒の実がなっているとすれば、そこから700本の雌花が出ていて、かつて700個の花粉と受精した結果実ったものだということになります。

ピーターコーン登場

「ピーターコーン」というトウモロコシがあるのを知っていますか？ バイカラーコーンともいって、1本のトウモロコシに黄色と白色の2色の実が混じっているものです。店頭でも多く出回っていますから、食べたことのある人も多いでしょう。

〔問題 4〕

ピーターコーンは、なぜ黄色と白色の種子が混じっているのだと思いますか？

予 想

ア．白いのはまだ熟していないからで、これから黄色になっていく。

イ．白い種子と黄色い種子の両方から育てたトウモロコシどうしで受精させる。

ウ．親の種子の中に黄色にするもとと白色にするもとが混じっている。

エ．その他（ ）

どうしてそう思いますか？ 予想を出し合いましょう。

この結果については、この後考えていくことにしましょう。

〔問題 5〕

ピーターコーンの親の種子(育てるのにまくタネ)はどんな色をしていると思いますか。

予 想

ア. 黄色の種子だけ

イ. 白色の種子だけ

ウ. 黄色の種子と白色の種子が混じっている

エ. その他 ()

どうしてそう思いますか？ 予想を出し合ってから種子をみてみましょう。

観察結果

--

〈実 験〉ピーターコーンの黄色と白色の種子の割合

ピーターコーンを収穫するためにまく種子は、すべて黄色でした。それではなぜ、ピーターコーンの実は黄色と白色が混じっているのでしょうか？ 白い種子はやがて黄色になるのでしょうか？ それとも種子が2色あるのは偶然ではなく、遺伝形質として親から伝えられたものなののでしょうか？

白い種子が熟して黄色になるのだとしたら、ピーターコーン1本に含まれる黄色と白色の種子の数は、成熟の程度の違いによって、1本1本違うことになります。みんなで種子の数を色別にかぞえてみることにしましょう。

◎4人で分担して、1本についている種子(実っているもの)をかぞえましょう。

黄色の種子の個数 () / 白色の種子の個数 () = 割 合 ()

◎クラス集計

(略)

◎食べてみて黄色と白色で味にちがいはあるでしょうか？

()

◎感 想

()

実験の結果をみると、1本1本のピーターコーンによって黄色と白色の種子の割合は () ~ () : 1 の範囲で少しずつ差がありますが、ある程度近い割合となっています。しかもクラス全体の合計をとってみると、() : 1 となり、ピーターコーンの種子はいずれも大体黄色3に対して白色1の割合でついていることがわかります。この3:1という割合は偶然ではなく、どこの畑で栽培されたものも、どこの店で売られているものも、ピーターコーンであれば黄色と白色の種子がほぼ3:1の割合でついているのです。

実験結果は、ピーターコーンの実が2色あるのは、成熟の程度の違いなどの偶然によるものではないことをしめしています。はじめから(種子をまいたときから)、2色の実がなること、しかも黄色:白色=3:1に近い割合でつくことが決まっていたといえます。そう

すると、畑にまいた種子の中に、種子を黄色にするもとと白色にするもとが含まれていたと考えて間違いないのではないのでしょうか。ピーターコーンの親になった種子はすべて黄色ですが、その中に白色のもともかくされているということになります。

〔問題 6〕

ピーターコーンの親となる種子はすべて黄色でしたが、この種子はどうやってつくられたと思いますか？

予 想

ア．黄色の種子だけを育ててつくられた。

イ．黄色の種子から育てたトウモロコシのめしべに白色の種子から育てたトウモロコシの花粉を受粉させた。

ウ．イの逆

エ．その他

ピーターコーンは黄色と白色の孫？

種やさんで売られているピーターコーンの種子の袋の裏には、大体こんな説明があります。

「ピーターコーンは、ハニーバンタムのハイブリッドであり、種皮が黄色と白色で 3 : 1 に現れるバイカラー品種である。」

トウモロコシにもいろいろな品種がありますが、「ハニーバンタム」という品種の中でさらに、種子の皮の色が黄色のものと白色のものがあるのです。「ハイブリッド」というのは、形質の異なる二つの品種の交配（交雑またはかけあわせともいう）によってできた雑種のことです。

つまり、ピーターコーンの親となる種子は、種皮が黄色と白色の両方の種子から育ったトウモロコシの一方の花粉を他方の雌花に人工受粉させてできたものなのです。私たちが食べるピーターコーンは、こうしてできた種子（全部黄色）をたくさん同じ畑にまいて、お互い受精してできるわけです。だから、ピーターコーンの実は、はじめの黄色の種子と白色の種子からみれば孫ということになります。

ピーターコーンの親となる種子のように、異なる品種のかけあわせによって生じた雑種を雑種第 1 代（記号 F_1 ）といいます。また、私たちが食べるピーターコーンの実のように、雑種第 1 代（ F_1 ）どうしの受精（または自家受精＝自分の花粉と卵細胞どうしの受精）でできたものを雑種第 2 代（記号 F_2 ）といいます。

雑種第 1 代（ F_1 ）＝異なる品種どうしの交雑でできたこども 雑種第 2 代（ F_2 ）＝ F_1 の自家受精でできたこども

では、黄色と白色の交配で縛られたピーターコーンの親となる種子が、全部黄色いのはなぜでしょう？そして、ピーターコーンの実が黄色と白色でいつも大体 3 : 1 にわかれるというのはどうしてなのでしょう？

遺伝という現象の、こうした不思議なあらわれかたに目をつけて、科学的な理由づけをこころみたのが、オーストリアのメンデル（1822～1884）という人でした。

メンデルのエンドウマメの実験

ヨハン・メンデルは旧オーストリア帝国のモラビア地方（現在チェコスロバキア）の農家に生まれました。少年ヨハンは、果樹の栽培にうちこんだ勤勉な父親につれられて、よく畑仕事の手伝いをして育ちました。父は、ひとり息子のヨハンに自分の後をつがせることをのぞんでいましたが、当時の貧しい農民生活から脱するためにはと村の学校の先生のすすめにしたがって、ヨハンを町の上級学校に入れることを決心したということです。

仕送りもままならぬ貧しい中で苦学をよぎなくされたヨハンでしたが、持ち前のねばりづよさと学問への情熱によって、学生生活を優重な成績で終え、これからの相談をした物理学の教授の推薦で、修道院に入ることになりました。メンデルの研究は、当時モラビアの宗教のみならず、学問や芸術・文化の中心でもあった、このブルン修道院を舞台としておこなわれました。

メンデルは、その繊細さのために牧師としての仕事はどうにも向かないと自他ともに認める存在でしたが、自然科学をはじめ、さまざまな分野の研究を奨励した修道院のはからいで、中等学校の代用教員をつとめるかたわら、かねてから関心を深めていた遺伝の研究を始めることになりました。

わたしたちがピーターコーンでみたような、遺伝の不思議なあらわれかたについては、当時もすでによく知られていました。メンデルよりも先に、いろいろな動植物について実験をこころみた人もあり、また交雑によって農作物などの品種改良のこころみも行なわれていました。しかし、遺伝現象はあまりに複雑なために、それを支配する法則があることや、遺伝のしくみについてはほとんどわからなかったので、品種改良などのこころみもいくつかの成功がみられましたが、それは試行錯誤によるいわば偶然の産物にすぎなかったのです。

メンデルは先人たちの研究や実験に学びながら、

「そもそも遺伝はどんなしくみでおこるのか、それは両親の形質がその子孫にあらわれる数の関係の中に見いだされるのではないだろうか？」

という予想をたてて、エンドウを材料にしてさまざまな交雑実験をこころみました。彼は8年間にもわたって、修道院の庭の一部などを使ってエンドウを栽培し、実験をくりかえしました。その間に実験に用いられたエンドウの個体数は実に27,225株であったと推定されています。

（福島県高教研理科部会 研究集報第26号）

1990.9.25

「超能力は存在するか？」

福島商業高校 高橋善樹

1. 「超能力」ブームを見過ごせるか？

一時下火になったかと思われた「超能力」ブームも、「超能力者」を装った人気奇術師の登場もあって、とりわけ子どもたちの間では今や「ハンドパワー」が流行語となっている。中には、彼らがTVでやっているマジックを「超能力」であると信じて疑わない子どもも多くなっている。

「超能力」、「心霊現象」、「超常現象」等々、名をかえ品をかえて、歴史の中で細々ながらも生き残り続け、時として（特に何らかのアカデミックな装いを凝らしてたち現れた時には）人々の科学する目を曇らせる悪影響を与えているイカサマたちに対して、いつか何らかの科学的批判を加える必要を感じていた（ドラえもんなどの超能力のステキさを否定しようとしているのではもちろんない）。

こうした中で、例えば「ひとだま」の科学的な解明と人工「ひとだま」の成功は最近のまれに見る科学の勝利であると思っている。私自身は、このような科学の勝利への貢献をいささかも成し得ないで現在にいたっている（「存在しない」ことを証明するのは「存在する」ことを証明するよりも困難であるようだ）のだが、最近「理科教室」誌や科教協全国研究大会等で仕入れたタネをもとに、「超能力」を授業にしたてる試みを、多少の貢献として思いついたのである。

2. 授業「超能力は存在するか？」の目的

「超能力」をやってみせるという授業の目的は、前述で理解していただけることと思うが、要するに「超能力」批判を論理的に展開して説得するよりも、むしろ、身近にいる教師が「超能力者」として子どもの前に立ち、「超能力」を実際に演じてみせることが、批判の目を育て、自らの思考過程の中で反科学

の亡霊から自らを解放させる手助けになるのではないかと予感があったのである。

授業者（演技者？）の演出力、演技力によるところも大きいのだろうが（ウマすぎても逆効果か？との不安）、実践してみてもかなりの手ごたえがあったので紹介しようと思う。

3. やればやるほど否定する生徒が増える？

授業の中で「超能力は存在するか？」との問いに対する回答数を、実験の前後で調べたところ、次のような集計結果を得ている。

問い：超能力は存在すると思いますか？

回答：	実験前	実験後
ア. 存在する	141	72
イ. 存在しない	64	65
ウ. その他	4	19

マトモにみれば「皮肉な結果」ということになろうが、授業ではがっかりしたふりをしながら、内心は「してやったり」と思うのである。

4. 授業の概要

T この夏休み中、埼玉県の大宮市で「超能力研究会」という会合があって、超能力には前から興味があったので参加してきました。

S 冗談だろー、ガヤガヤ…

T ところで皆さんは、超能力ってあると思いますか？

問い：超能力は存在すると思いますか？

- ア. 存在する
- イ. 存在しない
- ウ. その他

T 実は！2泊3日の研究と訓練の結果、ボクにも超能力があることがわかったのデス。

S ハハハー（いくらか嘲笑めいた笑い声）

T そこで今日は超能力の実験をしてみようと思い

ます。まず、ここにあるのは普通のサインペンですが…

実験1：ハンドパワーでペン落とし

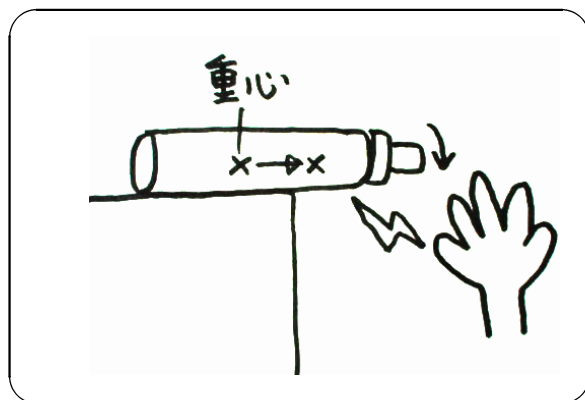
机や辞典などの辺に置いたサインペンを念力で落下させる。

S₁ お、おーきたきた。(ポトン) わー !!

S₂ 偶然でしょ、風だよ風。

S₃ 何かしかけあんじゃねーの？

T (板書して解説)



物体には重心というものがありますね。こう置いたペンは、重心が机の上であれば落ちない。これを落とすには、重心をこういうふうに机の外に出せばいいわけね。これを「重心移動」という。どうやって？ハンドパワーでね。たとえばハサミをおいて、こういうふうに…落ちませんねー、ハサミは落ちない。

S (爆笑)

T でも、このペンのように中身が液体か気体かだと、それを片一方に寄せてしまえばいいわけ。ハンドパワーで、こういうふうに… (もう一回やる)。

S すげー。

T 次の実験に移ります。超能力といえば出てくるものは？

S₁ コイン (etc.)。

S₂ スプーン。

T そう、これね。(おもむろにズボンのポケットからスプーンを取り出す。)

S (笑い) 準備がいいねー。

T これは、うちでいつもカレーライスを食べているスプーンです。あちこちカレーがこびりついてい

る。ところで、スプーン曲げといえば、インチキもかなり多い。(ここで、金属疲労や押し曲げによるインチキの話)。

S (うなずきながら、熱心に聞いている。)

T 金属(固体)でできているスプーンも平べったいで、水平方向は無理でも、垂直方向になら「重心移動」がある程度可能なわけです(板書解説)。ここにあった重心がこう動くということは、スプーンがこう曲がるというわけね。でも先生は未熟ですからほんの少ししか曲げられない。そこで比較のために2本持ってきました。

実験2：ハンドパワーでスプーン曲げ

ぴったりと重なる2本のスプーンのうち1本を念力で曲げる。

T どうですか？

S₁ えー、本当に曲がったのかよー。

S₂ おー、曲がってる、曲がってる。信じられない。

S₃ まっすぐにもどしてみてよ。

T これをもどすにはね、こうすればいいんです。(手で曲げもどす。または、もどしたふりをしてもう一度やってもよい。)

T さて、最後のきわめつけはテレパシーです。かの有名なMr.マリックも似たようなことをやっているようですが…心には重さがないんで、まあ、動かすのは比較的簡単なんですね。(実験の説明。カードの見本を回覧する。)

実験3：テレパシーによる図形切断

貼り合わせた紙の中に隠された3つの図形のうち、指定した図形をハサミで切ってもらう。

T それでは切ってくれる人。

S (2~3人挙手)

T では君にお願いします。ピンときたら、迷わず線のところでまっすぐに切ってください。(念じる)…どうですか、思いが届いたかな？ では、どうぞ。

S₁ (迷いながらも、決心してハサミを入れる。)

T では、のりしろから切って開いてみます。

(S₁ が切ったところが中央でないときは、小さい

方から開くとよい。

S 全部同じなんじゃないの？

…で、大きい方を開いてやると、びっくり。)

S₂ えー、何でー!?

S₃ 偶然でしょう？

T まあ、確率からいえば誰でも3回に1回ぐらいはあたってもおかしくないわけで…(時間に余裕があればもう1回やれば効果あり。)

T さあ、どうですか？ 超能力は確かにあるんですねえ。最後にもう1度聞きます。あなたは、超能力が存在すると思いますか？

問い：超能力は存在すると思いますか？

ア. 存在する

イ. 存在しない

ウ. その他

T (集計結果についてコメント)

5.「超能力」の後しまつ…根は深い！

廊下ですれちがいざまに「あっ、超能力！」などとささやかれたり、この授業について聞きつけた同僚が「1度やってみせて」…予想をこえた反響にしばらく「超能力者」を装ってはいるが、クラスによっては、「信奉者」が増えてしまったり（「学力」の高い子に多い!?)の逆効果(?)もあったので、その後アンケートなどもとって見たが、案の定「超能力」信仰の根は深いことを思い知らされた。

アンケート結果（8クラスの集計）

問い：あなたは「超能力」が存在すると思いますか？

回答：

ア. 存在する	196	55.4 %
イ. 存在しない	111	31.3 %
ウ. その他	47	13.3 %

そのうち、ほとぼりがさめたら、タネ明かしをしながらの「ゴメンナサイの授業」をする必要もあるかと感じている今日このごろである。

参考文献

- [1] 小川順二：「超能力」と科学教育
「理科教室」1990. 2月号 新生出版
- [2] 丸山秀一：我輩はホンモノの超能力者である
「ものづくりハンドブック2」 仮説社

資料 生徒の感想（[] 内は筆者）

- 昔から、超能力は信じないけど、少しびっくりしたが、Mr. マリックだっとうそっぽいし、なにがあろうとぜったいに存在はみとめない。
- 先生がもっと練習していろいろな事を見せてくれたら、そのうち信用するかもしれないが…やっぱり信用できない。
- 先生が、大宮に行ったことはしんじますがみんなを”超能力”の世界にひきこむのがへたですね。こんどはもっとはでで、すごいやつをやってください。できれば、マリックをつれてきてください。
- 自分が超能力があり、その力を出すことができたなら、信用できるが、人がやっているのを見ているだけでは、まず信用できない。このごろ Mr. マリックなどいろいろな奇術師がいるので、どれが本当の超能力なのだか、わからない時代でもあると思う。
- とってもおもしろかった。先生には超能力がないことがわかった。
- 僕は超能力を信じないほうだが、おもしろくみれた。たねがあったのかはしらないけれど、ぜんぜんみやぶれなかった。一応不思議には思った。
- ペン落とし、スプーン曲げの二つは、なんとなしに見ていたが、テレパシーには驚いた。自分もやってみて、きたようには思えなかった。もしも、たねがあるのなら知りたい。けれども、こういうことは、どうやっておこなうのか知りたい。
- 超能力はテレビなどで見て、ヤラセっぽくてあるのかなのかよくわからなかったが、授業で先生がやったのを見てやっぱりあるのかと思った。
- TVで見ていた時はあまり信じていなかったが、授業を受けている時は 80 %ぐらい信じていた。先生の真剣な顔を見ているとトリックでは、あんな顔はできないと思った。[だまして、ゴメン] みんなが信じるには、もっと強烈な超能力実験をやらないと無理だと思う。だから、授業中に、もっと超能力実験をやってもらいたい。
- これからも、新しいネタができれば見せてもらいたい。また、自分でもやってみて、超能力が存在することを実感してみたい。
- 面白い授業だと思う。現在でも、理科の先生は超能力を認めようとしなのに、さすがは先生だと思った。
- いつも寝ている人も、目を丸くして見ていた。もっと、超能力の実験をやってもらいたいと思う。
- 見ていた自分がハラハラ、ドキドキしてきた。自分にも超能力があるんじゃないか(?)と思うほどだった。はやく、この実験の目的を知りたい。[単なる息抜きではなく、目的を持って行なった授業であるとの説明あり]
- すばらしいとおもう。私達には、まだまだねむっている力があるんだね。その力をおこして、悪いことにつかおう。力を利用して世界征服をするんだ。競馬に勝って大富豪になろう。ロールスロイスにのって飢えた民をみおろしたい。日本は金をもてば無敵だ。内閣総理大臣になってインチキをやっても許される。大臣になれば堂々と悪いことができる。竹下くんは超能力をもっているかもしれない。
- 授業がこのためにつぶれてしまって、うれしかった。もっとこういうことを、どんどんやってもらいたい。[一応、授業なんですけど…]

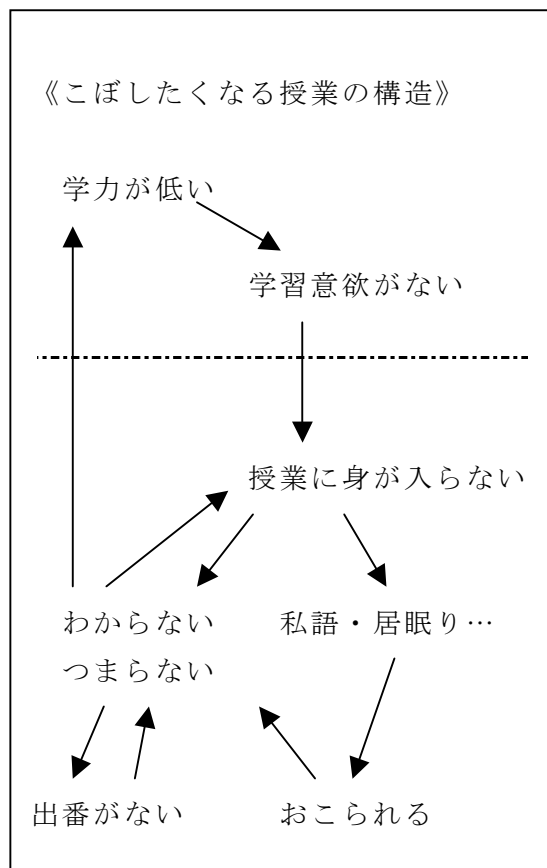
福島商業高校 高橋 善樹

1. 愚痴をいっただけきりがいい

授業の実態はどうなっているのでしょうか？ 少なくとも私の授業に関する限りとても楽観できる現状にはありません。居眠り，私語，マンガ，ガム・・・私もときどき怒鳴りつけます。「うるせーなこのやろー！！」・・・まじめに参加していたものまでもがビクッと肩をふるわせ，一瞬にして張り詰めた沈黙が訪れるものの，威圧によってかちとられた静寂にはとてもむなしいものを感じます。彼らは，上からの強制力に対して，生理的条件反射的に反応しているに過ぎないのではないのでしょうか？

子どもたちの学力や生活の現状を分析すれば，確かにあれやこれやの解釈と「生活指導的」な対策がみえてくること

でしょう。しかし私は気の弱い普通の教師ですからたとえば演技で怒鳴りつけることはできても，それを授業成立の力とすることはできません。



2. 授業の成立はどこから？

どうしたら，基礎学力ない→学習意欲ない→授業に集中しない→わからない→つまらない・・・という「ないないづくし」の悪循環を断ち切ることができるのでしょうか？ 授業成立への起点を私は「子どもの知的要求への信頼」という自らの認識の転換に置きたいと思います。

前述のような「愚痴」は，疲れたときの言い訳として，炉辺談話で通用はしてもお互い気持ちのよい授業の成立のためにはあまり生産的ではありません。

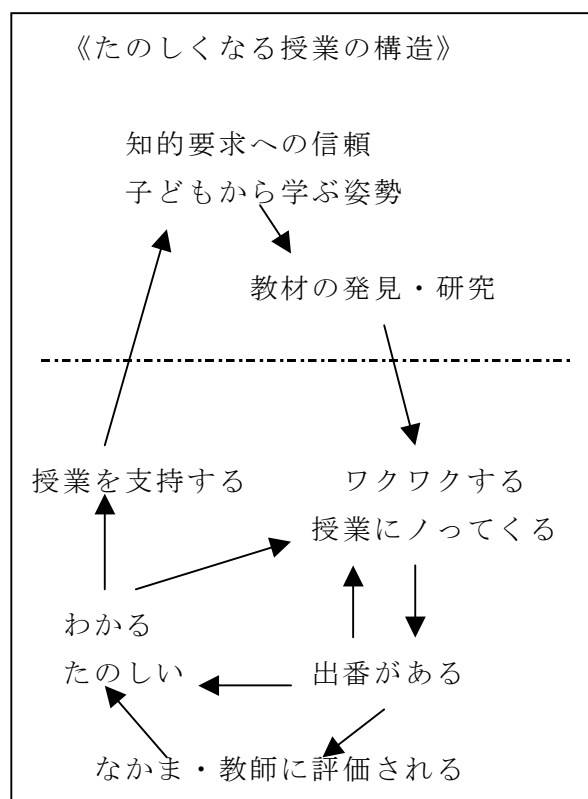
知的要求への信頼を深めることから，その要求に応えるための自分の行動がみえてきます。その重要な柱は「教材の発見」だと思っています。

以下に，教材発見の視点について思いつくままあげてみます。

- (1) むずかしいけど手が届く
＝発達の抵抗がある
「オレにもできそう…」
- (2) 目標とする原理を核として含む
＝本質にせまる
- (3) ものの見方考え方を大きく変える
＝既成概念を打ち破る
「観」をゆさぶる
- (4) 子どもが参加する展開ができる

理科の場合、よく「身近な教材」ということがいわれますが、いささか抵抗があります。「身辺主義」とでもいうのでしょうか。子どもの生活に身近な教材こそ興味・関心をたかめて理解をたすける…というものです。学習がそれまでの知識や経験を土台として成り

立つものであることはいうまでもありませんが、教材選択の視点としては、「身近」なことにこだわるとかえって無味乾燥な授業になってしまうおそれはないでしょうか。本質にせまり、既成概念がやぶられてこそ本当のたのしさがあるのだと考えれば、身近であるかどうかはそれほど重要とは思えません。導入などで身近な題材を利用することは効果がありますが、「身近さ」を教材の特質として求める必要はないのではないかと思います。よい教材を発見し、それを子どもたちのものとすることに成功すれば、結果として教材は身近なものとなるでしょう。「身近な教材を」ではなくて「教材を身近に」と考えたいと思います。



3. 子どもに支持される授業づくり

ここ数年というものの、とにかく徹底して「たのしい授業」、「支持される授業」という観点にたちきってみようと考えてきました。

(1) 教材の発見

いろいろな教育研究集会に可能な限り参加し、おもしろそうなお土産（レポート、実践報告集、実験用品、etc.）がないかさがしまくりました。また、サークルにも顔を出し、教材交流に精を出しました。また、校内でも教科会でお互い学び合いました。

こうした中で、その内容・思想・方法に共感を覚えたのが、「仮説実験授業」と「投げ込み教材運動」でした。まるで、「水を得た魚」のごとくとびつきましたが、今や

のめりこんで「溺れ」つつあります。

(2) 教科書は参考書

以前は、どうしても教科書にしがみつしがちでした。どうしても遅れる「進度」を気にしたり…。でも自主教材を発見するにつれて、「教科書は参考書」というこれまでも考えていた立場にようやくたきれるようになってきました。一方「仮説実験授業」の授業書をはじめとして1年間で生徒に配布するプリントは、B5版で100枚近くにもなり、生徒が悲鳴をあげるほどです。

(3) 予想をたてさせて実験

問題を与え、予想を選択させて挙手。集計・討論した後に実験する・・・「仮説実験授業」の方法をなるべくとりいれて授業をすすめました。問題＝教材は子どもの知的要求にこたえられるものを選び、自ら考えないではいられない楽しいものをできるかぎり用意しました。ちなみに、挙手の合計が半数を割ったら、授業はやめてみんなで寝ることにしようといっているのですが、ぎりぎりまではいったものの、残念ながら（？）今のところ半数を割って寝たことはありません。たまには休むのもいいなあと思うので今度2/3までひきあげようかと思っているなまけものの私です。

(4) お説教はやめた

未だに「うるせーな、このやろー！」の一喝はたまに出るもののこちらはきわめて冷静。すぐさま何事もなかったように授業継続です。相変わらず授業態度はよろしくない。「マンガは、つくえの上でみなさい。目を悪くするし首がおかしくなっちゃうよ。」などというと、こそこそとマンガをしまいこむ・・・かわいいもんです。授業態度は生徒の授業評価のひとつのあらわれだと思いうようにして、授業自体を反省こそすれ、お説教はやめ。

4. 子どもたちによる授業評価

「仮説実験授業」では、子どもたちの授業評価を重視し、評価が悪ければ教材の見直しをすすめるという立場にたっています。評価の中心は「楽しかったかどうか」に置かれているのが特徴です。ひとつのテーマが終わった時点でアンケートをとります。その中心は次のような5段階評価です。

5. とてもたのしかった
4. たのしかった
3. どちらともいえない
2. つまらなかった
1. ぜんぜんつまらなかった

集団的な検討と実践の積み上げがなされているだけに、「仮説実験授業」の授業書はなかなか強力です。ほとんどの授業が 4～5 に 8 割以上の集中をみています。授業書によっては、授業者と対象（小・中・高・大・一般）を選ばずそうなるというのですから驚きです。

これまでも私は、各クラスの授業進行確認や内容反省のために「授業日誌」というものを生徒に書いてもらってきましたが、それに授業評価の欄を付け加えました。上の 5 段階評価です。出席番号順でもちまわりなので、一人の評価にすぎないのですが、準備不足で自信のない授業をやってしまったときなどは、やはり評価も落ちます。また、2 年生の学年末考查には 2 年間の理科の感想を書いてもらいます。生徒によい評価をもらえば、やはりうれしくなります。

5. たのしければそれでいいのか

「仮説実験授業」や「投げ込み教材」を語る場合に必ずといっていいほどついてまわる問題です。私自身は、今のところは「迎合ではないか」という批判には聞く耳をもたない感じで居直っている(?) 状態ですが、それでも気にかかることはあります。未来の地球をまかせられる人間を育てるために、自然科学教育に求められることは…という問題意識は持ち続けたいものです。一方、「仮説実験授業」や「投げ込み教材」は、たのしければそれでいいのかという批判に対してはすでに明快な理論と実験＝授業実践とによって回答を準備しつつあるように思います。

6. 「系統」と「投げ込み」、「精選」と「積み上げ」

「仮説実験授業」や「投げ込み教材」の実践を語るときに、よく疑問として出されるのが、「その授業は、どの単元の中に位置づけられているのか」または、「それらの授業は、科目の年間計画の中でどのように配置されるか」といったことです。

「仮説」については、B の授業をやるまえに A の授業はやっておいたほうがよいようだ…ぐらいの順序性はあるものの、「教材の精選ではなく教材の積み上げを」との主張にもみられるように、科学教育全体(?) としての「系統」をあまり意識していません。「投げ込み教材」にいたっては、その呼び名から推して知るべし…です。

実際、小・中・高によって、またその学校によっても「学習指導要領」やカリキュラムからくる拘束の度合いは様々でもあり、いまだ異端的存在のこうした授業は、と

きとして余裕のあるときに導入されたり、せいぜい多少とも関連のありそうな単元の中に組み込むといったやりかたが多いようで、私もまたそんなふうに使っています。そこには、年に一度でもいいから子どもも教師もお互いのれるような授業をしたいといった思いがあるようです。無論、こうした授業のみで年間の授業を構成している先進的な実践もあります。

教材の自主編成を考えるとときには、何が必要かを系統立てて全体を構成する方法とこれはイケル…式に積み上げていく方法とが考えられますが、両側から攻めていくのがベストとはいえ、難しいところだと思います。

7. 理科の独占ではないのでは？

「たのしい授業」、「支持される授業」は、もちろん自然科学教育の独壇場ではないと思います。現に、たとえば「仮説実験授業」は他の教科でも実践されており、授業書も各種つくられています。「投げ込み教材」の考え方などは、どんな教科でもとりいれられるものだと思います。また、「仮説実験授業」は、授業書と多少の準備さえいとなければ、誰でもできるというのが特徴で「ラクしてたのしい授業を」がうたい文句にさえなるほどですから、何か特別な教材研究や演技の能力やらが必要なわけではないのです。(ただ、授業のすすめかたに最小限の基本事項がありますから、初めてやるときはちょっとだけ勉強が必要ですが…)「投げ込み教材」にしても、教材自体楽しいものを持ち出すのですから、授業者自身はその準備を鼻歌混じりで楽しくできてしまうのです。いずれも基本にあるのは、やっぱり子どもたちと科学する、探究する楽しさを共有するという点にあるような気がします。子どもの知的要求をどれだけ信頼できるかにかかっていると思います。

【参考文献】

◎「仮説実験授業のABC」 板倉聖宣著（仮説社）

◎「いきいき物理わくわく実験」 愛知・岐阜物理サークル編著（新生出版）

《資料》生徒の感想

問い：2年間の理科の学習で、一番印象に残った授業や実験について書きなさい。

また、全般的に意見や感想があったら書きなさい。

- つい最近やった水ロケットがいちばんたのしかったです。授業もほとんど実験をやっていたので、おぼえるのがとてもスムーズにいった。理科の授業はなんとなく心のやすまる授業なので、もっと授業時間がふえてもよいと思った。とてもたのしい2年間でした。
- 全体的に見ると、プリント学習はとてもよかったと思う。ばかばかしい実験も、自分が予想した結果とまるっきりちがっていたり、今まで自分があたりまえだと思ってきた答えがまちがった考え方だとわかったりしたので、ためになった授業だったと思う。
- 一番印象に残った実験は、やっぱり液体窒素による実験が印象にある。なかなか見られない実験だし、おもしろかったからだと思う。あつ、そういえば実験で、とうもろこしを食べたこともあったっけ。あの甘い味がしたとうもろこし、いまでも忘れないよ。よかったらまた、こんな授業をしてください。
P. S. (楽しい授業だと自然に頭にはいっちゃうよ。)
- (略) …オレは、授業中はフザケたいどでいたが、実験についてはいろいろと学んだこともあるし、小学校を思い出すような実験ばかりでとても明るく楽しく授業をできたとオレ自身は思う。先生は、うるさいクラスだなあと思っているでしょう。しかし、明るくて楽しいほうが、暗くてくそまじめにやる生徒よりは、楽しくはないですか。2年の時先生が変わって少し動揺しましたが、まあ、オレはオレなりに楽しく授業ができました。先生3年になったらヨロシク。
- (略) …今までこういうふうに教科書をはなれて、プリント学習っていうのは初めてだったし、はじめはな〜んだ手をあげてればいいだけだなんて思ってたけど、これの「予想」というものは理科ではとても重要なことだとわかった。例えば「理論」などでははじめにあるものごとを仮定する。この仮定する前の段階が、この予想なんじゃないだろうか。こんなんじゃないか、あんなんじゃないだろうか、といろいろと考えをめぐらせてやっと「仮定」へといくのではないか。だから、今までの教科書での勉強もよいが、ただそこにのっていることをずらずらとおぼえるよりは、この「予想」ということであたまの柔なん性、やわらかさをつくった方がよかったと思う。だから、今までのプリント学習もよかったと思う。2年間楽しかったです。

楽しくなきや授業じゃない

福島商業高校 高橋善樹

「超能力」を教育の舞台へ

「超能力者」教室に現る

「何も知らぬ」一年生が入ってきた。押し付けられた丸刈りとあどけなさの残る顔に「いまどきの子ども」の姿はまだ見えない。これがひと月して髪も伸びるころには、入学の緊張から解き放たれて、あれよと言う間に、こにくらしい「新人類」の集団と化する。

最近彼らの本性をいかに早く発揮させるかに生きがいを見いだす。それほどに「いまどきの」彼らは受験むきに訓練されており、年々おとなしくなっているようである。

いよいよ一年生の初めての授業。例年なら「理科Ⅰへの招待」と、きどってガイダンスを始めるところだが、今年はその準備もなく直前まで、もっぱら小道具の点検。サインペンにスプーン、「ESPカード」にはさみ…。

自己紹介もほどほどにいきなり「超能力」の登場。「ハンドパワー」で机のへりに置いたサインペンを落とす。スプーンをこれまた「ハンドパワー」で曲げる…。

「超能力」を教育の舞台へ

「近くに来てもいいよ」といっても生徒はまだ遠慮がちだが、表情には変化がみえる。驚きを隠さず感心する子、疑いの目で首をひねる子…「あり得ぬ」ことが起こる不思議さに、みな目をみはっている。

私と「超能力」との出会いは、ユリゲラーにさかのぼるが、すっかり信じ切ってTVの前でスプーンをこすったものである。「超能力」に再会し、授業に持ち込むきっかけとなったのは科学教育研究協会の全国大会。そこで教わったものを授業でもやってみようと思ったのである。かつてだまされたことへの仕返し(?)の意味もあった。「超能力」を科学教育の舞台へ!である。

普通の私にできることは

子どもをだますなんて

「超能力」をやったあと、ある生徒が廊下ですれちがいざまに真顔で、

「先生、普通の人間でしょ?」

「ああ、もちろんさ!」

…私の返事に安心したように教室へかけこんでいくのを見送りながら、思わず彼がいとおしくなってしまった。

感想文にあったっけ…

「理科の先生は普通、超能力なんて信じないのに、さすがは先生!」

昨年は、「子どもをだますなんて」…と罪の意識にさいなまれて、ついタネアカシを急いでしまったがやめにした。かつてはだまされていた私が自ら真実を手にしたときの喜びとくやしさを、彼らから奪ってはならないと思ったから。私の仕事は、だますことではもちろんないが、真実を押しつけることでもない。

楽しければそれでいい!?

職場には、だじゃれをとばして授業を盛りあげる仲間がいる。巧みな話術で授業に引き込む仲間がいる。はたまたオドシとゲンコツで授業にしばりつける仲間がいる。どれも私には真似ができない。

「超能力」をやってみてあらためて気がついた。私はこんなふうに授業をやればいいのかかもしれない。なぜ「超能力」は、ウソだと思っても楽しいのか。そこには科学することの楽しさに近いものがあるような気がする。

思えば、あやしげな装置や薬品を持ち出して、世にも不思議な現象を「実験」と称して演じる授業があるとすれば、それこそ「超能力」ではないか。そこに欠けているものがあるとすれば、それは自由な思考を発揮させずにはおかない楽しい材料と少々の演出。普通の私にもこれぐらいはできそうだ。何はともあれ、「授業は楽しくなければ」…とわりきってみることにした。

(1991.09.20 福島県医療教育福祉懇談会ニュース

「みんなの広場」No.64,66)

ある教師のつぶやき

喜多方工業高校 高橋 善樹

喜多方に帰郷して5年目になりました。初めの1～2年は、特に上級生がいうことを聞いてくれないことがたまにあって困りました。授業をうけもったこともないクラスの清掃監督にあたって、なかなか生徒が来てくれないので教室まで迎えにいくと、知らんぷりをされたり、逆に「ムカツク」などとおこられたり・・・と、まあごく一部の生徒ではありますが、特に授業をもっていない普通教科のセンコーなどはへとも思わない生徒さんがおりました。自分の専門学科の先生方のいうことはある程度きくことが多く、実習などを含めてつきあいの程度の差かなあとは思いつつも、さみしい思いをすることがありました。

その後は、たまに授業などで生徒と衝突することがあっても、よく話し合うことで（またはあまり刺激せずに放っておくことで）解決してきました。クラス担任を3年間つとめ、また現在は生徒会顧問として、授業をもっていなくともいろいろな生徒とのつきあひもできてきて、お互いにおおむね楽しい学校生活が送れるようになってきたと思います。

ここ数年の生徒の変化といえば、入学してきてハナからいうことをきいてくれない生徒さんが少し増えてきたかなということです。授業中のマンガを注意しても知らんぷりの生徒が1年生のクラスにもチラホラ・・・。いかに彼らが学ぶ楽しさを取りあげられ続け、閉塞した学校生活の中でいじめぬかれてきたかということが痛いほどわかります。学校不信、教師不信、・・・教育不信＝自分の発達可能性への不信の強い子が増えているように思います。

授業になかなか参加してくれない生徒さんを僕らは「リトマスくん」と呼びます。いかに子どもたちが変わってきても、その子たちの教育可能性、発達可能性を信じることがフツーの教師の良心でしょうから、授業になかなかノッてこない生徒さんの存在は、彼らの変化に対応した授業をつくりだしているかどうか、授業の質を評価する試験紙のようなものだからです。このところ、確かに「リトマスくん」が教室の中に増えてきて、自信ソーシツしそうになりながらも、やりがいのある毎日です。

あるとき、いつもは授業にほとんど参加せず、注意するとやや反抗的な「リトマスくん」（入学してハナから・・・のひとりです）が、授業の中で何人が募集してその場でや

ってもらふ実験に自ら参加してくれてきたときには、本当にうれしかったです。その子もその後は相変わらずの「リトマスくん」なのですが、彼を少なくとも一度はふりむかせたという自信が、僕のやりがいにつながっています。

子どもたちの変化を見ようとするとき、僕ら教師はどうしても日ごろ「つきあい」の深い「問題のある」生徒に目を向けがちですが、子どもをめぐる「危機」は全般的であり、特に低学力と学校ギライの増加は生徒全般において深刻になってきていると思います。僕はかなりの楽観主義で、まあ何とか彼らとは楽しくやっていけるだろう・・・ぐらいに考えて、「裏切られても、だまされても生徒を信頼し続けるのが教師ダ！」と、まあ居直りともいわれそうな心境です（おい、また空き缶が降ってきたよ！ 本日の天気、晴れときどき空き缶・・・これだけは許せないなあ！！）が、生活指導にかかわる会議の多さ（朝の打ち合わせが、毎日のように「臨時職員会」にきりかわる）や「特別指導」として学校謹慎になる生徒の多さ、また、教育相談にかかるような問題をかかえた生徒の多さを見るにつけ、この時代に生まれた子どもたちの不幸を憂慮せずにはいられません。この不幸をつくった責任の一端が学校にあることもあきらかだからです。

学校ギライや不登校の子ども増加に対して、ある教育研究者は、子どもたちが、楽しく学べない学校の現状に対して、自ら拒否の態度を示すことができるようになったからで、それ自体は悲観すべきことではない・・・というようなことをいっています。もちろん、なげくべきは子どもたちを追い込んでいる学校の現状であり、家庭の現状であり、そして社会の現状なのでしょう。国連・子どもの権利委員会は、日本政府に対して、学校教育における激しい競争主義が子どもの発達権を奪いつつある現状に厳しい警告を発しています。学校の改革も、こうしたことに焦点をあててすすめるべきものと僕は思います。

星占いと宇宙論と

喜多方工業高校 高橋善樹

相変わらず、星占いが流行していますね。朝のテレビ番組では定番となっているし、週間雑誌などでも欠かせないものであるかの様に掲載されています。いつだったか、授業でたまたま星占いの話題になり、「占いはなぜあたるか」という話をしたことがありました。夢のない話で申し訳ないけれど...と前置きをして始めたのは次のような話です。

星占いに限らず、多くの「占い」と呼ばれるものの中に述べられる事柄は、まず誰にでもありがちなこと、たとえば一週間の生活の中では一度くらい起こって不思議はないことだったり、あるいは戒めとして聞く分にはあたりまえの忠告だったりすることが多いということが第一点。また第二に、占いは当たったと思う人が最も大騒ぎするという傾向があるということ。これとして思い当たることのなかった人は占いの内容など記憶にも残らないことが多いということです。

星占いは、「××××年に大災害が起こる」といったふうの世紀末的「予言」などと比べれば、まず害のない遊びといえるでしょう。本人にとってマイナスの予告を含んでいるような場合でも、戒めとして役立つこともあったりするし、またデートに着ていく服の色に迷うときに利用するもよし...という具合。さらに科学との関わりでいっても、プラスになることは皆無といえますが、占星術の立場からの反科学的な攻撃は現代においてはあまりないことを考えると、まだ許せるかなあと思います。かくいう私も、今日の運勢のベストワン...などといわれればクジにでも当たったような楽しい気分にもなりますから...

ところで、星占いなどに懲ったりする「夢多い」人にありがちともいえる次のような考えがあります。

「科学は、自然の事物を細々と分析することで、その隠れた美しさを台無しにしているのではないか。」

こうした見方に対して、著名な物理学者で愉快的教師でもあるファインマンという人は次のように書いています。

「科学は星の美しさを奪い去ってしまったと詩人たちはいう。つまり、科学は星を単なる気体原子球にしてしまったと。しかし...（略）...神秘性というものは、少々のことを知ったからといって損なわれるものではない。事実というものはかつて芸術家が想像したどんなものより、はるかにすばらしいものだ！ なぜ今の詩人たちは、それを語ろうとしないのだろうか？」

私自身自然科学を専門としているひいき目もありますが、言いえて妙であると思います。省略した部分には、宇宙に思いを馳せる科学者のロマンチズムが表現されており、全文紹介できないのが残念です。

そういえば、著名な科学者の中には、文芸や絵画、音楽など芸術的なセンスをあわせもった人が結構いたりするのも、あながち偶然ではないような気がしています。よく考えてみれば、夢を追う相当なロマンチストでなければ、例えばこの宇宙に果てがあるかどうか...といった「宇宙論」を語ることはできないなあとも思えるのです。いつまでも子どものような夢とロマンを持った、「科学者」でありたいという思いを強くしている今日この頃です。

（2000年度図書館報への原稿）

一軒の家が建つということ

1 土木担任 高橋 善樹

今、ささやかながらマイホームを新築中で、毎日数人の方が一か月後に予定した落成に向けて建築作業にあたっています。基本設計からまる一年、設計図、基礎工事、上棟、内外装…と専門技術者集団の仕事ぶりを折りにふれて観察することができました。個人住宅という小規模な対象であるとはいえ、一つの施工の始終を観察できる機会はそうあることではないので、興味をもって見てきましたが、素人ながらいろいろと学ぶことができたように思います。

一つは、土木・建築技術の急速な進歩を垣間見たことです。各種土木機械の導入によって、大幅な作業の合理化が進んでいます。工具や材料もいろいろと開発が進んでいるようです。そうした中で、かつての大工のいわゆるカンや経験は不要になったかのようにいわれることもあるようですが、決してそうではないと思います。機械や自動工具も動かすのは人間ですし、また、人間の手作業でなくてはできないところもたくさんあるのですから、カンと経験だけが頼りという昔の現場の状況は一変したとはいえ、現在でもカンと経験は技術力をはかる重要な要素として生きています。それにともなって、技術者集団の伝統的な気質もまた失われてはいないように思いました。

さらに、素人の驚きにあたいることは、複雑にからみ合って量的にもぼう大な作業をよく手際よくこなしていくものだということです。手順が違えばはじめからやり直しということにもなりかねませんから、技術者集団がしっかりと組織立っており、その中でのコミュニケーション系統が確立されている必要があります。それがなければ一軒の家を建てることもできません。毎日やってくる大工さんでさえ五人以上で協力して作業にあたっているのですが、設計や施工管理、資材調達や内外装などそれぞれの専門家たちがいったい何人かかわっているのだろうと考えてみると、感謝しきれないなあと思ってしまいます。

いずれにしても土木・建築はまさに人間の英知のなせる技であり、どの作業をとってみても一片のマニュアルだけで誰でもできるというものではないと痛感しました。ささやかなマイホームの落成を待ちながら、土木・建築技術に対する見方を新たにしている今日この頃です。

(1996「礎」第28号)

なぜ学ぶのかなんて聞かれても…

2 土木担任 高 橋 善 樹

もっぱら自分の専門分野であるとはいえ、最近自然科学とりわけ物理学を学ぶことが楽しくてしかたなくなってきました。ここ数か月は一般相対性理論と呼ばれる分野を、学生時代に途中で放り出したテキストなどをもう一度引っ張り出して勉強しています。相変わらず凡人の私にとっては難解な内容で、1日かかって1ページをこなせないことも多いのですが、それでも何とか読みすすめていくうちに、謎のベールに包まれたこの「宇宙」のほんのひとかけらでも、何となくわかりかけたような気になると、もうやめられなくなってしまいます。

話は変わって、数学の先生に笑われそうですが、最近ある物理学者の書いた本を読んでいて、「三平方の定理」の本質が今になってやっとわかった…ということがありました。

「三平方の定理」というのは、「ピタゴラスの定理」ともいって、直角三角形の斜辺の2乗が他の2辺の2乗の和に等しい($a^2+b^2=c^2$)という中学校で学習する幾何学の初歩的な定理で、これを知らなくては家も建たない(?)という基本的なものですが、その証明法は百通りを越えると聞きます。本で紹介されていた証明法は、相似な三角形の面積の和を利用した方法で、実に簡単でエレガントなものです。(文末参照)

さて、教師を職業としている以上、「なぜ学ぶのか」という疑問に対する自分なりの回答を常に持ち合わせているべきだ…と私は考えてきました。

「物理なんてなぜ勉強しなくちゃいけないんですか? ニュートンの運動法則を知らなくたって、生きていくのに困ることはないんじゃないの?」

「うーん、そうだなあ。でも、君に子どもができて物理を学ぶようになったとき、何か聞かれて答えられた方が幸せでしょ? (まるで答になってない) それに、自然の基本的な法則を知ることとはそれだけ人間として豊かになるってことで、ながい目でみれば幸せにつながっていくんじゃないかなあ。(今度は少しはまし?)」

おおかた「ながい目でみれば」というのは納得できないことをひとまず納得に持ち込もうとする常套語でありまして(とほほ…)。

でも、例えば宇宙論の最前線に立つような物理学者に「あなたはなぜ宇宙について学ぶのか」と聞いてみても、納得できる回答が果たして得られるのでしょうか? 私が思い当たる答があるとすれば、それはこうです。

「たのしいから。」

皆さんの長い人生の中で、ひとときでもいいから、こんな思いにひたれるときがあれば…と願ってやみません。

直角のある頂点 C から斜辺 AB に引いた垂線の足を D とすると、 $\triangle ABC$ と $\triangle CBD$ および $\triangle ACD$ は相似形で、その面積は斜辺の2乗に比例するから、

$$\triangle ABC = kc^2, \triangle CBD = ka^2, \triangle ACD = kb^2$$

ところで、

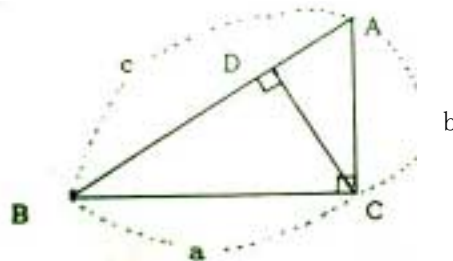
$$\triangle ABC = \triangle CBD + \triangle ACD$$

だから

$$kc^2 = ka^2 + kb^2$$

$$\therefore c^2 = a^2 + b^2$$

(証明終)



(1997「礎」第29号)

相対性理論入門の入門

3土木担任 高橋 善樹

科学者とは、なぜ？ どうして？ といった子どもの頃に芽生える様な素朴な知的好奇心を、あきらめることなく持ち続けている人であるといわれます。たとえば、「磁石はどうしてくっつくの？」とか、「宇宙の果てはどうなっているの？」とか、普通の大人がはぐらかしてしまう様な素朴な疑問を、いつまでも追い続けている人こそ科学者の名に値するということです。これらの疑問が、まさに最先端の物理学のテーマであることを考えればうなずけるものがあります。

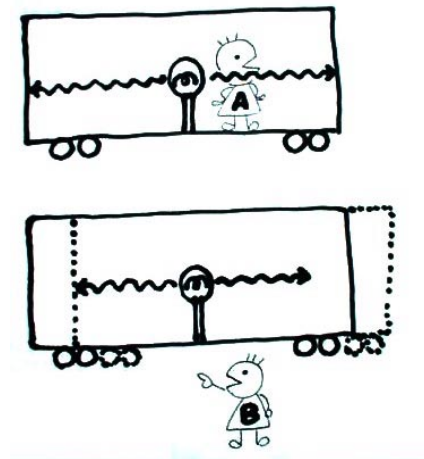
今世紀最大の天才といわれるアインシュタインは、16歳の頃、光と同じ速度で走りながら光を見たらどう見えるかという疑問を持ったといいます。常識はずれで突飛だけれど、まったく素朴なこの疑問を追い求める中から生まれたのが「相対性理論」だったのです。

相対性理論の土台をなす原理は、そう難しいものではないので、アインシュタインの少年時代の素朴な疑問に返って理解をすすめてみようと思います。結論からいうと、観察者がどんな速度で運動しようと、真空中の光の速さは変わらないことが実験で示されていました。走っている自動車と同じ速度で走って見れば、自動車は止まって見える経験と比べてみると、光というものがいかに常識はずれの存在であるかが理解できます。アインシュタインは、この事実を「原理」として素直に受け入れた上で、以前はどういう立湯で見ても絶対不変のものと考えられた「時間の流れ」に対する見方を変えざるを得ないという結論に達したわけです。

一定の速度で走っている電車の中央から同時に発射された光について考えてみると、電車に乗っているA君は車両の前端と後端に光が到達するのが同時であると観察するはずですが、地上に静止したB君はこれを同時であるとは観察しないでしょう。つまり、前方に発射された光は走る前端を追いかけ、後方に発射された光は向かってくる後端を出迎えるのですから、後端への光の到達を先に見ることになるのです。A・B両者の立場の違いで時間の流れそのものを変更せざるを得なくなることが理解できるでしょうか？ 日常の経験からみるとまったく非常識きわまりないと思える

この「時間の相対性」は、様々な実験によって確かめられている事実となっています。

16歳の夢を追い続けたアインシュタインの、知的好奇心の深さとそれを放棄することのなかった執念深さを少しでも見習いたいものだと思うこの頃です。



(1998「礎」第30号)



科学のおもちゃ箱

2001 年 3 月 10 日発行

2001 年 4 月 10 日増補

<http://homepage2.nifty.com/ysc/>

E-mail: BXT02731@nifty.ne.jp

編 著 高橋善樹