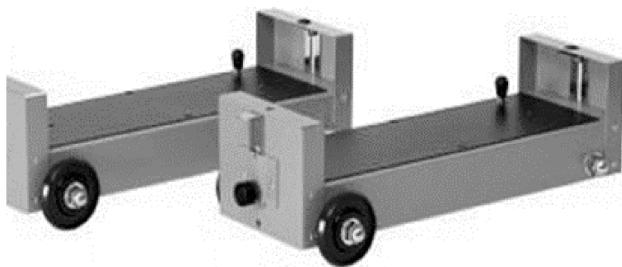
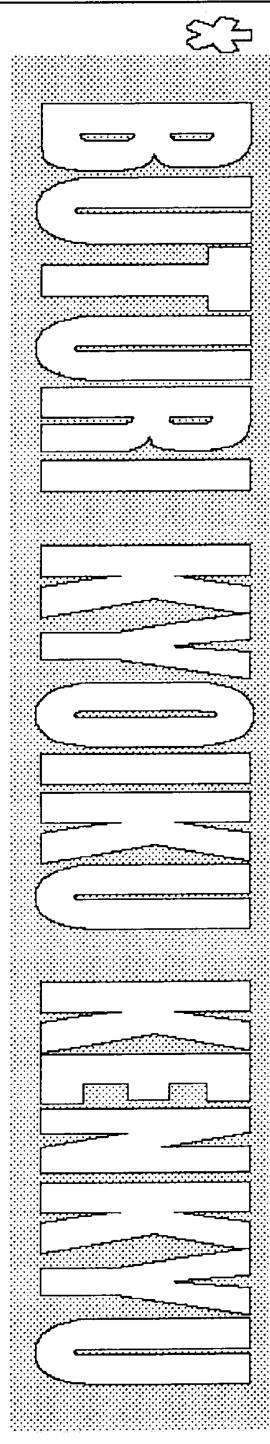


# 物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol.50 2022.12



目 次

巻頭言

探究活動の意味合い

四方 周輔 1

振動数を変化させる場合の気柱共鳴の実験

北海道紋別高等学校 佐々木 徹 2

プログラミング式力学台車の試作・走行

北海道滝川高等学校 河田 淳一 6

素朴概念からメタ認知まで発問の作成

北海道苦小牧東高等学校 近藤 敏樹 10

Googleスプレッドシートを活用したリフレクション

(自己の学びを調整する力と粘り強く学習に取り組む力の育成を目指して)

北海道函館中部高等学校 後田 航平 12

ICTを用いたメタ認知を意識するリフレクション

北海道檜山北高等学校 熊谷 浩也 14

カーリングの物理

(反発係数及び衝突によるストーンの分離角の測定)

北海道科学大学高等学校 西出 雅成

北海道科学大学高等学校／北海道大学 煮雪 亮 16

日本物理教育学会北海道支部規約

20

原稿執筆要項、編集後記

21

## 巻頭言

# 探究活動の意味合い

四方 周輔

私が大学院時代に量子化学の講義で、ある理論の近似計算の演習があった。近似計算なので当然誤差が出るのだが、不思議なことにどの計算でも似たような数値の差が出てきた。不思議だと思ったがレポートには何故かその気づきを書かなかつた。後日先生からその差が出る理由の説明があり、気づいた人はいなかつたようだねと言われ、しまつと思ったことがある。また、大学院の特別講義で、「物質中の音の伝搬」に関わる講義で課題が出た。関連する式を展開していく内に光と同じく物質中の音速に最大値があり、光のインシュタインの式と同じ形の式を導くことができた。一人自分で「やつた！」と思ったのだが、後日レポートの返却があったときに私のだけ戻ってこなかつた。おやつと思いつつ放っておいたら、結局戻ってこなかつた。これらは自分の反省であるのだが、自分の「気づき」をうまく人に伝えていなかつたことで、それが重要なことなのかそうでないのかきちんと評価を受けることができず、その後の自分の学習／研究の発展に繋がらなかつたと言える。

以前にノーベル賞を受賞した日本人二人を中心とした講演会のコーディネーターをする機会があつた<sup>1</sup>。この時 1973 年にノーベル物理学賞を受賞した江崎玲於奈さんが半導体におけるトンネル効果を発見した時の話をした。偶然の要素もある発見だったが、全く予測していない現象が現れたのを見逃さずに、量子現象の実験的証明ができた。江崎さんにはその予測していないデータに意味があると受け止める「構え」ができていたと言える。多分これがノーベル賞を取るだけの研究ができるかどうかの分かれ目のような気がする。

最近学校教育で探究活動が重要視されている。これは非常に良いことだと思われる。しかし、教科書に書かれている既成の概念のフレームワークだけで子どもに活動させるだけだと創造的な活動に結びつかないように思われる。自分の気づきを積極的に発信し、先生や回りの友人と議論して、教科書に書かれていないことや従来当然と見なされてきたことの枠を外したことまで受け止める「構え」を育てることが大事なように思える。

2002 年頃から「青少年のための科学の祭典」に大学生と一緒に関わるようになってきた<sup>2</sup>。それはこの本学会北海道支部の皆さんのが中心になって 1993 年から北海道でも始まった体験実験・工作・観察の場であった。これは子どもが自分の手を動かしながら、五感を働かせ、わくわくとして科学の不思議やおもしろさを実感できる場になっている。またこれらの啓発活動は天体现象にも及んでいて、大学・高校・中学の教員と学生・生徒の協力の下、大学が所有する船舶との連携による皆既日食観測なども親御さんを含む子ども向けに行つた<sup>3</sup>。このような学校外での「探究活動」も子どもにとって新たな「気づき」と「発見」を促す場になり、今後とも本支部が道産子の育成に貢献していくことを期待したい。

<sup>1</sup> <https://info.yomiuri.co.jp/group/yri/n-forum/archive/nf20091010.html> (2009)

<sup>2</sup> 北海道東海大学高等教育研究 1, pp.17-24 (2006), 同 2, pp.37-44 (2007)

<sup>3</sup> [http://www.jhe.u-tokai.ac.jp/jhe\\_No4\\_4.pdf](http://www.jhe.u-tokai.ac.jp/jhe_No4_4.pdf) (2011)

# 振動数を変化させる場合の気柱共鳴の実験

北海道紋別高等学校 佐々木 徹

気柱共鳴の実験において、気柱の長さを一定に保ちつつ、振動数を変化させ音の大きさを測定することにより、気柱共鳴が起こる振動数の特定を行う実験を行った。

**キーワード** 気柱共鳴 ラズベリーパイ ソニックパイ 騒音測定器 フランジ

## 1. はじめに

気柱共鳴の実験は、高校物理の音の分野で定番の実験であり、音や定常波の性質の理解に役立つ生徒実験の1つである。

一般的に行われる気柱共鳴の実験は、管口付近で一定周波数の音を鳴らしつつ、閉管の長さを変化させ、共鳴が起きる閉管の長さを測定することにより行われる。その際、管の長さと音波の波長との関係を調べたり、開口端補正の測定を行ったりすることが、実験の主な目的である<sup>(1)</sup>。

管口付近で鳴らす音としては、音叉や、振動数が既知のブザーを用いる。音叉として標準音叉を用いれば振動数を知ることは可能であり、スマホの振動数測定アプリを用いればブザーの振動数も容易に調べることができる。

管の長さの調整としては、水が入ったガラス管の水位を水カップの高さを変化させて調整するやり方<sup>(1)</sup>や、シリンダーにピストンを出し入れするやり方がある。

本研究では上記の一般的方法ではなく、気柱の長さは一定に保ったまま、振動数の方を変化させ気柱共鳴を起こさせ、その振動数から管の長さと音波の波長の関係を調べることを行った。振動数の異なる音を発生させる方法として、ソニックパイというソフトを用いた。また、上記の一般的な気柱共鳴の実験と異なる点として、気柱として閉管を用いた。閉管を採用する理由としては、気柱共鳴の現象をより詳しく調べるために、共鳴が起きたかどうかの判断をタブレットの騒音測定器アプリを用いて判断するが、騒音として音を測定する場所は定常波の腹の場所と節の場所の両方で測定したかったからである。今回考えている音波は変位波として考え、音圧波としては捉えていない。腹・節も変位波としての意味で用いている。

## 2. 実験装置

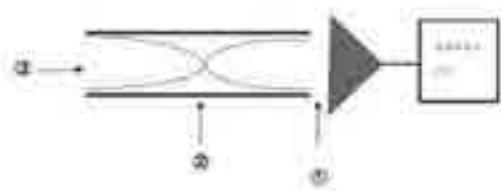


図1 実験装置の模式図

図1のように長さが33cmの閉管を水平な机の上に設置し、管口の一方からスピーカーで音を鳴らした。鳴らす音の大きさは一定に保つが、振動数は変化させる。共鳴が起きたかの判断を行う方法として、タブレットのアプリの騒音測定器(GWI JU JO 製 Simple Sound Meter)を用いた。その際、騒音の測定は①②③の各場所で行った。

①の場所はスピーカーで鳴らした音に一番近い位置での測定を意図し、定常波が生じた場合は腹の位置に相当する。

②の場所は閉管の中心の位置であり、定常波が生じた場合は、基本振動、3倍振動などの奇数倍振動の節に相当する場所、2倍振動、4倍振動などの偶数倍振動の腹に相当する場所である。

③の場所は定常波が生じた場合は腹の位置に相当する。

騒音の測定はタブレット(17cm×24cm)の上部の1mm角程度の小さな穴からマイクで音を拾って騒音測定用アプリ(Simple Sound Meter)で記録することで騒音を測定する。そのためマイク部分を①②③の各箇所に矢印の向きに向けて設置した。①③の箇所での測定は直接音をマイクで拾って測定できていると期待できるが、②の箇所での測定は、マイク部分を気柱にできるだけ近づけてはいるが、直接音をマイクで拾って入るというより、気柱全体から漏れた音を②の箇所で拾っていると考えている。

### 3. ソニックパイによる音の合成

ソニックパイはラズベリーパイで扱うことができる音に関するプログラミングソフトである<sup>(2)</sup>。作曲も行えるが、振動数の指定はMIDI規格のノートナンバーnで行われるという特徴がある。n=69が振動数f=440Hzに対応し、1オクターブ高い音(f=880Hz)を出すには、n=69+12とノートナンバーを12増やさなくてはいけない。一般に、ノートナンバーnのときの振動数は

$$f = 440 \cdot 2^{(n-69)/12}$$

で与えられる。逆に、振動数fのときノートナンバーは

$$n = 69 + 12 \cdot \log(f/440)/\log 2$$

となる。

本研究では、振動数fを一定のリズムで変化させ、上記の変換式でノートナンバーを求めた上で、ソニックパイで一定の大きさの音を出し、各測定地点で騒音として音を計測した。

最初の振動数を400Hzとして、1秒間に5Hzずつ振動数を増加させた。音速をV=340m/sとして管の長さl=0.33mのときの基本振動の振動数は515Hzとなるので、最初の振動数は400Hzとした。また3倍振動まで測定したいので、約1600Hzまで、時間にして240秒程度音を流し続けた。

### 4. 騒音測定器による音の測定

本研究で用いた騒音測定器はタブレットのアプリ(Simple Sound Meter)であり、タブレットの小さなマイクで集音し、その騒音をタブレットのモニターでリアルタイムにグラフとして見ることができる。同時に、データとして記録もされる。次に、①②③の各場所での測定結果のグラフを与える。なお、アプリ内での時間表記は[x;y;z]と記録され、測定した日のx時y分z秒での騒音を記録する。したがって、以下使用する絶対時間とはt=3600\*x+60\*y+z[s]のことを指す。



図2 ①での測定結果

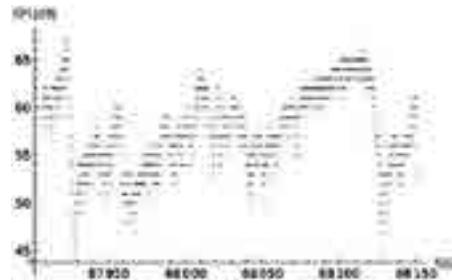


図3 ②での測定結果

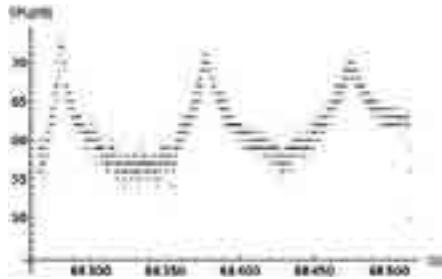


図4 ③での測定結果

上図の横軸は絶対時間を秒で表したものであり、縦軸はSPL(音圧レベル)[dB]である。各測定地点での騒音がピークの振動数は、

①の場合 f1=485Hz, f2=964Hz, f3=1447Hz,

②の場合 f1=482Hz, f2=910Hz, f3=1456Hz,

③の場合 f1=478Hz, f2=961Hz, f3=1447Hz,

であった。f1f2f3はおのおの基本振動、2倍振動、3倍振動に対応している。

### 5. 開口端補正の計算

3. の結果をもとに開口端補正の値も計算できる。実験は室温t=21.4°Cで行われたので、音速としてV=344.3m/sとした。

表1 各測定場所での波長および開口端補正

		基本振動	2倍振動	3倍振動
①	波長[m]	0.710	0.358	0.238
	開口端補正[m]	0.013	0.014	0.013
②	波長[m]	0.714	0.378	0.236
	開口端補正[m]	0.014	0.024	0.012
③	波長[m]	0.711	0.358	0.239
	開口端補正[m]	0.015	0.014	0.014

一方、今回用いた開管の半径はr=1.44cmである。円筒形の開口端補正の理論式 $\Delta x=0.6r^{(3)}$ を用いると

$$\Delta x=0.6 \times 0.0144=0.009m$$

となり、実測値は理論式より少し大きめな値となった。

②の2倍振動の実験結果が、他の結果と若干ずつでいる。開口管の中心は2倍振動の場合、腹の場所に相当し、腹の位置での騒音測定は、直接音が拾える管口付近と異なり測定精度に難があった可能性がある。また、②の測定場所では、①や③の騒音のピーク以外でf=653Hz付近でピークを持った。

## 6. 精密実験（追実験）

開口端補正が理論値とずれていたことの理由を調べるために、本研究で開口端補正に影響を与える要素を整理してみた。基本振動の測定の場合、開口端補正を与える式は

$$\Delta x = \frac{1}{2} \left( \frac{v}{2f_1} - L_0 \right)$$

である。室温をt=20°C、基本振動の振動数をf<sub>1</sub>=500Hz、気柱の長さL<sub>0</sub>=0.328mの値を基本値として、Δxが0.001mずれるのは温度、振動数、気柱の長さがどれだけ変化すれば生じるか計算してみた。温度に関しては1.7°C、振動数に関しては1.5Hz、気柱の長さに関しては0.002mである。

本研究で室温を騒音測定ごとに測っているが、各振動測定内での室温変化はせいぜい0.1°Cで、開口端補正に大きな影響を与えない。気柱の長さも影響をあまり与えない。本研究で最も開口端補正に影響を与えていているのは、振動数の値である。

そこで追実験として、3.で行った音発生において、振動数の変化を1秒あたり5Hzから0.2秒あたり1Hzと変化幅を小さくした。ちなみに騒音測定装置の測定頻度は0.2秒間で1回なので、測定漏れはない。また、開口端補正の理論値に関しても、気柱にフランジがある場合とない場合では開口端補正が異なってくる。フランジがある場合はΔx=0.84r<sup>(3)</sup>であり、5.と若干ずれがある。

フランジがあるなしの違いも調べたかったので、塩ビ管でフランジがある気柱、ない気柱を自作し追実験を行った。なお、塩ビ管は厚く管の横からの騒音測定は難しいので、追実験では管口での騒音測定のみを行った。管の内径2r=2.5cmのものを使用した。今回作製したフランジありの気柱は内径2.5cmの塩ビ管の外側に外径8.4cmの外径のプラスチック製の円盤を取り付けて作った。

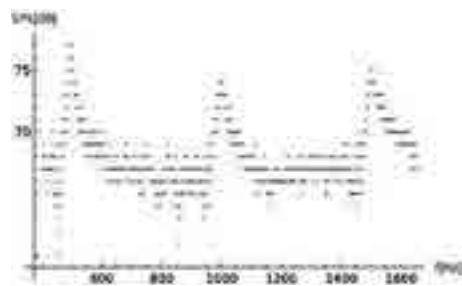


図5 ③での測定結果（フランジなしの管）

室温21.7°Cで、管口から2.0cmで騒音測定した場合の基本振動、2倍振動、3倍振動のときの振動数はf<sub>1</sub>=495.5Hz, f<sub>2</sub>=1000.5Hz, f<sub>3</sub>=1501Hz, である。これらの振動数から計算される開口端補正是Δx<sub>1</sub>=0.0098m, Δx<sub>2</sub>=0.0082m, Δx<sub>3</sub>=0.0081m, である。内径2r=2.5cmの管の開口間補正の理論値はフランジなしの場合Δx=0.0077mであり、理論値と実測値が近い値となっている。

室温22.0°Cで、管口から2.0cmで騒音測定した場合の基本振動、2倍振動、3倍振動のときの振動数はf<sub>1</sub>=492.5Hz, f<sub>2</sub>=989.5Hz, f<sub>3</sub>=1478.5Hz, である。これらの振動数から計算される開口端補正是Δx<sub>1</sub>=0.0110m, Δx<sub>2</sub>=0.0102m, Δx<sub>3</sub>=0.0109m, である。フランジありの場合Δx=0.0103mであり、理論値と実測値は近い値となっている。



図6 ③での測定結果（フランジありの管）

## 7. まとめと展望

追実験を含めて、振動数を変化させる場合の気柱共鳴の実験は、通常の振動数固定で気柱の長さを変える場合の気柱共鳴の実験と同様に気柱共鳴の実験を通じた共鳴現象の理解に効果的に役立つことを確かめることができた。

本研究に関して言えば、振動数を変化させるしくみ

としてソニックパイが上手にはたらき, 音の大きさを騒音測定器で測定し, データをラズベリーパイに取り込むことで精密なデータ解析も行えたことがうまくいった原因と考えられる.

フランジあるなしの管による開口端補正の違いは興味深い研究テーマである. ただし, 差異をより明確にするのはより精密な実験方法の開発が必要と考えられる.

今後の展望としては, タブレットのアプリの騒音測定器を用いたが, この測定器では気柱内の音の大きさを測定することが困難である. ラズベリーパイにセンサーとしてのスピーカーをつなげ, 騒音測定器自身を自作し, 気柱内部の音の大きさを測定する装置を開発したいと考えている.

#### 謝 辞

本研究のフランジあるなしの気柱共鳴器の作製にあたり, 公益財団法人武田科学振興財団の研究助成を受けて作製しました. 財団には感謝申し上げます.

#### 文 献

- (1) 改訂版物理基礎 数研出版
- (2) 演奏するプログラミング、ライブコーディングの思想と実践 田所淳著 ピー・エヌ・エス新社
- (3) Acoustics and Aerodynamic Sound, Howe, Michale, Cambridge University Press

なお, 本研究は平成4年度の北海道の理科に投稿した研究論文に追加実験の実験データを加えた形で, 加筆訂正したものである.

# プログラミング式力学台車の試作・走行

北海道滝川高等学校 河田 淳一

力学台車は動力を搭載していないため、バネの弾性力や坂道の重力で動かす。質量の塊であり、摩擦を低減してると理想の動きを観察するのにはわかりにくい面もある。そこで逆に理想の加速・等速・減速をプログラムした動力搭載の力学台車を試作し走行させ動きを観察する。動力で負の加速が前方だけではなく後方進行になることも観察できる。

キーワード 加速 等速 減速 プログラミング I C T 教育

## 1. はじめに

力学台車は理想の動きをしない。動力を搭載していないので等速の動きを期待するが、自身の重量や摩擦、整備不足により減速して止まる。古いものでは車軸が歪んでいるものもある。



図1 一般的な力学台車

でプログラミングそのものを楽しみたい場合に有用である。



図3 アルディーノ（入出力端子付き）

理想的な加速とは停止状態からなめらかに速度を増加させる動きである。DCモーターなどで実現しようにも最初から全力回転であり等速運動にしかなり得ない。DCモーターの動きをプログラミングで制御することで、なめらかに加速させることは可能である。現在の電気自動車の技術を小型模型自動車に応用して理想的な動きを実現するプログラミング式力学台車を試作する。



図2 DCモーター（FA130型）

一連のマイクロコントローラー類は決して難しいものではない。自作であろうが、差し込みプラグ式であろうが端的に表現すると時間経過とともにスイッチを順番に入れたり切ったりするものにすぎない。これはすべてのコンピュータに言えることであり、現在の高性能コンピュータもノイマン式コンピュータの枠を超えるものではない。

今回は使い慣れたPICマイクロコントローラーを活用する。はんだ付けによる配線が必要だが、好みの改造ができる強みもある。

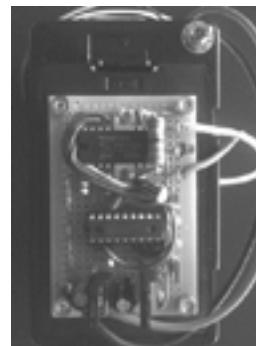


図4 PICマイクロコントローラー

## 2. 試作方法

### 2. 1 マイクロコントローラー

プログラミングのベースとなるマイクロチップは流行のアルディーノやラズベリーパイなど自分にあったものを利用すると良い。モーター等を直接制御する差し込むだけの外部ユニットも市販されている。組み立てが苦手

## 2. 2 回路図

PIC は参考書の多い 16F84A、モーターコントローラーは東芝の H ブリッジで 4 ビット速度制御ができるものを使用した。レギュレーターで多段式に電圧を下げ、5V と 1.25V を取り出し必要な部分に印加する。構造上プルアップ・プルダウンが必要な箇所があるので  $1k\Omega$  の抵抗を接続した。あとは半導体メーカーの仕様書通りに接続すればよい。

アナログ回路は素子の値がシビアで  $1k\Omega$  のところに  $10k\Omega$  の抵抗を配線すると挙動がおかしくなることがあるが、デジタル回路は  $1k\Omega$  の抵抗のところに  $10k\Omega$  の抵抗を配線しても確実に動く。素子の値に対して非常におおらかであり、デジタル回路とは実はとても簡単である。

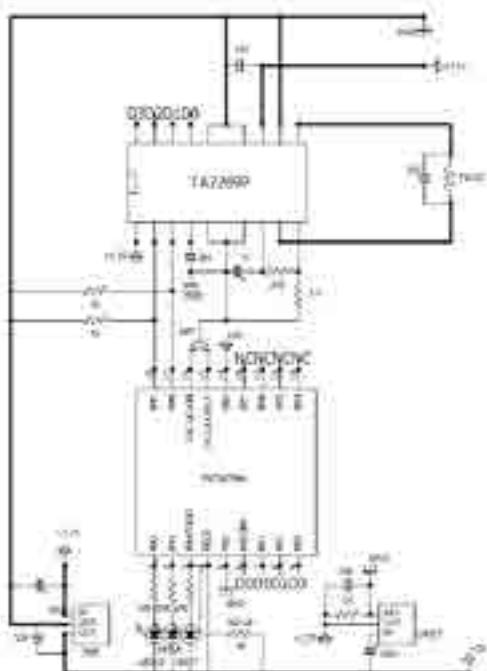


図 5 回路図

## 2. 3 モーターコントローラー

デジタル式のモーターコントローラーで 2 進数 4 ビットの 0000 から 1111 まで時間経過とともに増加させその値に比例した電流でモーターを回す。減速はその逆に代入する。なめらかな加速・減速が期待できる。また内蔵 H ブリッジを利用して正転・反転も 2 ビットの 10/01 で制御し、00 あるいは 11 で停止となる。

## 2. 4 LED 制御

加速状態を認識するのに緑色 LED を点灯させ、同様に停止・等速は黄色 LED、減速時には赤色 LED を点灯させる。具体的には 2 進数の 3 ビット 110 で緑点灯・011 で黄点灯・101 で赤点灯とした。出力端子が 0 のときに点灯するダイナミック点灯を採用したため明るく視認しやすい。

## 2. 5 電源

ニッケル水素単 3 電池 1.2V を 6 本直列で 7.2V とする。モーターコントローラーの最低必要電圧が 5V なのでアルカリやマンガン電池 1.5V 4 本でも良いが、充電式二次電池のほうが液漏れもなく経済的である。

レギュレーターで 5V と 1.25V に減圧した。5V はマイクロコントローラーと LED の点灯に、1.25V はモーターコントローラーの仕様で 0.7V が内部で加算されるため約 2V がモーターの電圧となる。130 型モーターなので 2V ならば過負荷にならずに使用できる。



図 6 1, 2V×6 本で 7, 2V

## 2. 6 車体

田宮模型の低速型ミニ四駆の模型を使用する。速すぎず、動きを観察するのにちょうどよい。車体の上半分を切断し、電源と回路を載せた。



図 7 低速型ミニ四駆に搭載

## 2. 7 プログラム

アセンブラーで記述した。時間とともに緑点灯加速・黄点灯等速・赤点灯減速・緑点灯加速(逆走)・黄点灯等速(逆走)・赤点灯減速(逆走)を繰り返す。これを実現するために、動きを変数に比例させたプログラムとなった。モーター保護のため正転と逆転の切り替え時には一旦停止するようにした。

機械語であるアセンブラーは一見難しく見えるが、基本的にはカウントダウンの繰り返しである。最初に任意の定数を代入し、1を減じていくあいだ繰り返し同じ命令を実行する。0になったときに次の命令に移る。これを繰り返すだけである。機械語は実行速度が早すぎるので遅い人間に合わせて待つという命令を多用するのもアセンブラーをわかりにくくしている。しかしそれらを考慮しても本質を理解するためにはICT教育はアセンブラーからスタートするべきである。

後述するが今回のプログラムはある意味「演劇の脚本」に近い。後半にソースリストを公開する。

## 3. 結果

次の理想的な  $V-t$  グラフの動きを実現するプログラムをマイクロチップに書き込んだ。このグラフの動きならば出発後、手元に戻ってくるはずである。動画は YouTube の

<https://www.youtube.com/watch?v=wTlwMrXrPBY>

にアップしてあるのでご確認いただきたい。

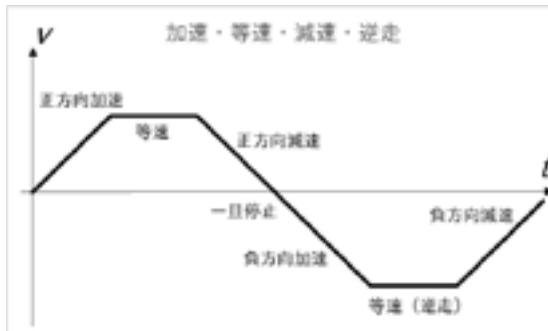


図8 理想的な  $V-t$  グラフ

## 4. 今後の課題

アセンブラーで時系列スイッチ制御のプログラムを組んだが、同じような処理はまとめてサブルーチンにして、プログラムサイズの縮小を図りたい。また電圧のロスも大きいので、低損失なHブリッジを探し出し、3V程度で動く回路に差し替えたい。基準電圧も抵抗の

分圧で設定できるはずなので回路ももう少し単純化できる可能性がある。

## 5 謝辞

工作材料費は、北理研の「科学研究費助成」を受けて行った。

## 文 献

- (1) 鈴木美朗志：たのしくできる PIC メカキット工作，東京電機大学出版局，初版 2005
- (2) 後閑哲也：改訂版 電子工作のための PIC16F 活用ガイドブック，技術評論社，初版 2004
- (3) 小川晃：PIC マイコンのインターフェース 101，CQ 出版社，初版 2007

この論文は、2022年度北海道高等学校理科研究会会誌「北海道の理科」に掲載された論文に加筆修正したものである。

**アセンブラソースリストの主要部分**

かなりひどいプログラムである。「演劇の脚本」と揶揄したが、後半は定数代入と待ち時間の羅列で単純な動きを表現している。「演出」に相当するのは「CART;動きの記述」内部である。別の動きをプログラムするにはここだけを書き換えれば良い。主要部分以外は同じようなソースなので省略した。これをコンパイルしてコントローラーに焼き付ける。

前略(設定と回路との整合性部分)

MAIN

CART ;動きの記述

CALL YLEDSTOP ;黄点灯停止

CALL GLEDO ;緑点灯加速進行

CALL YLEDGO ;黄点灯等速進行

CALL RLEDGO ;赤点灯減速進行

CALL YLEDSTOP ;黄点灯一旦停止モーター保護

CALL GLEDBAK ;緑点灯加速逆進

CALL YLEDBAK ;黄点灯等速逆進

CALL RLEDBAK ;赤点灯減速逆進

GOTO CART

RLEDGO

MOVLW B'10110';赤・正

MOVWF PORTA

CALL SPEEDDW

RETURN

GLEDBAK

MOVLW B'11001';緑・負

MOVWF PORTA

CALL SPEEDUP

RETURN

YLEDBAK

MOVLW B'01101';黄・負

MOVWF PORTA

CALL SPEEDKP

RETURN

RLEDBAK

MOVLW B'10101';赤・負

MOVWF PORTA

CALL SPEEDDW

RETURN

中略 (時間待ちSTANDBYのルーチン)

YLEDSTOP

MOVLW B'01100';黄・止

SPEEDUP ;加速

MOVWF PORTA

MOVLW B'1111'

CALL STANDBY

MOVWF CD15

CALL STANDBY

LPUP

CALL STANDBY

MOVF CD15,W

RETURN

MOVWF MSPD

COMF MSPD,F ;ビット反転

GLEDO

MOVF MSPD,W

MOVLW B'11010';緑・正

MOVWF PORTB

MOVWF PORTA

CALL STANDBY

CALL SPEEDUP

DECFSZ CD15,F

RETURN

GOTO LPUP

RETURN

YLEDGO

MOVLW B'01110';黄・正

後略 (等速SPEEDKP・減速SPEEDDWのルーチン)

MOVWF PORTA

CALL STANDBY

CALL SPEEDKP

END

RETURN

# 素朴概念からメタ認知まで発問の作成

北海道苫小牧東高等学校 近藤 敏樹

授業の中で物理的な発想を鍛える発問、素朴概念を確認するための発問を話し合いで考えしていくことを行っている。教員側にとっても、深い学びにつながる問題とつながりにくい問題の違いを考えていくことが逆に教員側の本質的な内容の勉強となっている。教科書の概念の元になる素朴概念、さらに発展させたメタ認知養成を目的とした問題を作成した。その問題作成に当たって分かってきた作問ポイントやヒントをまとめてみた。

キーワード 素朴概念、ConcepTest、物理パズル、メタ認知

## 1. はじめに

話し合いによって物理的な概念の深化を図ってきた。その際に簡単な発問を話し合わせることで、生徒の発想を広げる試みを行った。その中で、生徒の生き生きとした発想を見ることができ、非常に楽しい授業となった。また、物理概念が単なる記号としてではなく、実感の伴った概念として身についてくるのを感じた。

作問は苦戦することも多いが、作成する際にポイントがあることに気がつき、その点に注意して作問している。このポイントと作問例を報告する。また、ピア・インストラクションで扱われる ConcepTest<sup>1)</sup> も活用している。このポイントと作問例を報告する。

## 2. 作問する際のポイント

まず初めに、生徒が話し合いに夢中になるための作問のポイントをまとめると、

### 【作問のポイント】

- ① 生徒の意見が分かれる作問であること。
- ② 難しすぎず、生徒の持っている知識で十分考えることのできる作問であること。
- ③ 考えて意味のある内容であり、実生活や現象の理解が進む作問であること。
- ④ 単なる記号としての物理概念が具体例と結びつけて分かる作問であること。

作問する時の注意点として、生徒がまず認識できる内容でなくてはいけない。素朴概念から考え出せる内容や、すでに学習済みの内容、考え得ることの目的を認識できる内容であることが大切である。

特に認識が人により違っている、または多くの人が間違えた認識を持っている内容が良い。

次に、作問対象を分類すると次のように分けられる。

### 【作問対象の分類】

- ① 素朴概念に関する作問
- ② 法則性や原理に関する作問
- ③ 法則を表す式のイメージに関する作問
- ④ 様々な法則・原理を組み合わせて総合して考えるメタ認知の必要な作問

### ① 素朴概念に関する作問

誰でも考えられる内容としては、人間本来の認識の中にある素朴概念に関する内容が最も適している。また、その発問は一般常識として重要な内容であるのでこれまた大事であると言える。

### ②③ 法則性や原理に関する作問・法則を表す式のイメージに関する作問

法則性を問う作問することは難易度が高い。法則や原理の本質的な理解が作問する側に求められる。自分の理解の浅さに気付かされることが多い。

### ④ 様々な法則・原理を組み合わせて総合して考えるメタ認知の必要な作問

様々な法則を組み合わせた作問はどちらかというと専門物理に向いている作問となる。生徒も考え出すのに相当な力を要する。関連する法則性の全体的な知識、メタ認知が求められる。思考力をつけるのに適している。作問側もその力が求められるために、私はヒントを本や雑誌等の内容から得た。

## 3. 作問例と授業実施結果

作問対象の分類に沿って作問した数例を示す。

### 【素朴概念の題材作問例】

これは一昨年の「北海道の理科」で発表した「素朴概念の変容を目指して」<sup>4)</sup>に発表した内容である。

Q. 「飛んでいる物体に働く力」

次の物体に働く力の方向はいかが、複数あれば複数答えよ。

(1) 落下する物体



(2) 空中を飛ぶ物体



この問題は「運動している方向に力が働いていないでいい」という素朴概念を考えさせる問題である。この考えの中には慣性という概念の萌芽が見られる。「慣性」と「力」の概念の未分化が生徒にも見られた。

似たような内容としては、「力」と「エネルギー」の概念の未分化がよく見られる。

【法則を表す式のイメージに関する作問例】

Q. 「外出時に部屋の暖房を切るべきか否か」

冬期間にちょっと買い物で家を空ける。家に帰って来て出かける前と同じ温度まで上げるとする。このとき暖房を次のうちどのようにするのが効率的か答えよ。

- ① 暖房をつけっぱなしにして出かける。
- ② いったん切ってから帰ってきて再度暖房をつける。
- ③ 暖房の設定温度を低くして外出する。

この問題は「物理パズル」<sup>3)</sup>からの作問である。Q=mcΔTの意味を部屋と外気の熱平衡的な概念から扱っている。本間は家の熱効率を扱った「住まいにおけるCO<sub>2</sub>排出削減対策を考える」<sup>2)</sup>の内容も参考にして考えてもらった。

【様々な法則・原理を組み合わせて総合して考えるメタ認知の必要な作問】

Q. 「国際宇宙ステーションとのドッキング」

地球を等速円運動で周回している国際宇宙ステーションに地球から打ち上げられた宇宙船がドッキングしようと同じ軌道半径で周回している。国際宇宙ステーションにドッキングするためには宇宙船をどのように加速せらよいか。

- ① 周回軌道の接線方向に加速する。
- ② 周回軌道の接線方向に減速する。
- ③ その他



この課題では、次の概念を良く理解していることが求められる。

#### 1. ケプラーの法則

#### 2. 等速円運動の速度

これらの概念から正解への道筋を考え出す。生徒はまず、基本概念について考えてもらう。その後、グループで話し合ってもらう。ヒントを適時出すことが必要であるが、生徒にとってなかなか正解にたどり着かないのが実態であった。

### 4. 今後の課題

素朴概念の発問は生徒にとっても教員にとっても自分自身の気が付いていない認識を振り返るよい機会である。教員の概念への観察力が重要であるが、生徒自身で考え出せないか考えている。

メタ認知的な発問はなかなかいい問題が作成できないでいる。どう作成していったらいいのか苦戦しているのが実情である。ただ、問題集の考えにくい問題や、物理基礎、専門物理分野の難しい概念の中に意外な作問のヒントが隠されている。そう考え始めている。

### 5. 参考文献

- 1) Mazur, E. : Peer instruction: A user's manual, Prentice-Hall, 1997
- 2) 近藤敏樹：住まいにおけるCO<sub>2</sub>排出削減対策を考える、北海道の理科, No. 53, 2010
- 3) ポール・G. ヒューアイット：傑作！物理パズル 50—解いてピックリわかってスッキリ！, ブルーバックス B-1720, p146, 講談社
- 4) 近藤敏樹：素朴概念の変容を目指して、北海道の理科, No. 63, 2020

この論文は、平成4年度の「北海道の理科」に投稿した研究論文を加筆訂正したものである。

# Google スプレッドシートを活用したリフレクション (自己の学びを調整する力と粘り強く学習に取り組む力の育成を目指して)

北海道函館中部高等学校 後田 航平

Google クラスルームを活用してリフレクションの ICT 化を試みた。授業ごとにリフレクションシートに「前時からの取組」と「次回までの取組」を記入させ、授業間にリフレクションシートにコメントすることでフィードバックを行い、PDCA サイクルの構築を促した。その結果、生徒が自己の学びを調整したり、粘り強く学習に取り組もうとしたりする様子が見られた。また、ICT 化により、授業間のフィードバックが可能となり、家庭学習前に生徒の学びのつまづきや疑問の解消を図ることができた。また、中長期的な振り返りが容易になり、生徒のメタ認知を涵養することにつながった。

**キーワード** リフレクション ICT 活用 Google クラスルーム スプレッドシート

## 1. はじめに

令和 3 年 8 月に国立教育政策研究所より公表された「『指導と評価の一体化』のための学習評価に関する参考資料」では、「主体的に学習に取り組む態度」の評価に際して「自らの学習状況を把握し、学習の進め方について試行錯誤するなど自らの学習を調整しながら、学ぼうとしているかどうかという意思的な側面を評価することが重要である」とされている<sup>1)</sup>。また、GIGA スクール構想により高等学校においても令和 4 年度より一人一台の端末環境が整備されたことも踏まえ、本稿では ICT を活用したリフレクションにより、生徒が自らの学びを調整し、粘り強く学習に取り組む力を育成することを試みた授業実践について報告する。

強く取り組もうとする姿勢を高く評価するよう心掛け、リフレクションの目的を生徒に明確に伝えることを意識した。また、中期的に生徒同士でリフレクションの内容を共有する機会を設け、学習方法や進捗状況を共有し、学びを調整する力の向上を図った。

日付	今日の課題
前回までの取組	今日の課題
今日の反省ポイント	今日の課題
疑問・問題など	今日の課題
次回までの目標	

日付	今日の課題
前回までの取組	今日の課題
今日の反省ポイント	今日の課題
疑問・問題など	今日の課題
次回までの目標	

日付	今日の課題
前回までの取組	今日の課題
今日の反省ポイント	今日の課題
疑問・問題など	今日の課題
次回までの目標	

図 1 配布したリフレクションシート

## 2. 実施の方法とその評価

### 2. 1 リフレクションシートの運用

Google クラスルームの課題機能を通じて Google スプレッドシートで作成したリフレクションシートを配信し、授業ごとに提出させた。

リフレクションシートには授業のポイントや授業間の取組を計画・評価する欄の他に教員がコメントを記入できる欄を設けた。また、過去の授業のリフレクションが一枚のシートにまとまり、中長期的な振り返りを行いやしい設計を目指した。

生徒には授業終了時に「次回までの取組」として自らの課題を解決する具体的な方策について記述させ、次の授業冒頭で「前時からの取組」として授業間の取組を自己評価させた。提出されたシートには授業間にコメントを記入して返却するとともに、次の授業の冒頭で全体に対してフィードバックを行った。生徒へのフィードバックにおいては、学習方法について試行錯誤する姿勢や粘り

### 2. 2 生徒の記述内容の変容

リフレクションを通じて授業の度に計画、実行、評価、改善のサイクルを経験することにより、自己の学びを調整しようと試行錯誤する生徒の様子が見られた。年度当初は次回までの取組の記述内容に「帰ったら勉強する」などのような「いつ・どこで・何に」取り組むのかが曖昧な記述が目立ったが、指導を重ねるごとに具体的な行動計画を立て、それに基づいて自己の取り組みを評価・改善することができる生徒が増加した。先の見通しをもって学習することに慣れてきた生徒に対しては、他の教科も含めて計画を立てることを促し、学びを調整する力のさらなる伸長を図った。また、リフレクションへのコメントを

介して授業の度に生徒の質問に回答し、クラス全体へのフィードバックの中でも疑問を表現することを高く評価することで、リフレクションシートのみならず授業中の生徒の対話が活性化した。生徒の疑問は授業中に対話を通じて解消を目指すことが前提にあるが、リフレクションを介したやり取りを繰り返すことで、質問することへの抵抗感を軽減し、些細な疑問や発展的な問い合わせを表現しやすい環境づくりにつながったと考えられる。これにより生徒が自らの問い合わせを表現するようになり、その答えを授業間に各自が探究する中で、学びの深化や継続的な学習を促すことができた。

今日の感想(1) 今日は数学で何を学びましたか？	今日の感想(2) 今日は数学で何を理解できましたか？
課題(1) 今日の課題	課題(2) 今日の課題
今日の感想(3) 今日は数学で何を理解できましたか？	今日の感想(4) 今日は数学で何を理解できましたか？
課題(3) 今日の課題	課題(4) 今日の課題

図2 生徒の記述内容の変容

## 2. 3 ICT 化による効果

リフレクションをICT化したことにより、紙ベースでの取り組みと比較して即時に生徒の問い合わせに対して回答が可能となった。これにより、授業後の家庭学習の前につまずきや些細な疑問が解消できるだけでなく、前述したように生徒が自らの問い合わせを見つけ、授業間に発展的な内容について探究することを促すことができた。探究的な学びの成果についてもリフレクションシートに記述させることで、生徒の学びの過程を把握し、さらなる深化につなげていく指導を行うことができた。これらの生徒の取組を高く評価し、繰り返しクラスで共有したことは質問することへの抵抗感の軽減及び問い合わせを表現しやすい環境づくりにもつながった。また、デジタルネイティブ世代である生徒にとって手書きよりもデジタル入力の方

が気軽であり、手書きよりもデジタル入力の方がリフレクションの記述量が多くなる生徒も多く見られた。教員側もICTの活用により配布回収作業や点検にかかる時間を短縮することができるだけでなく、テキストマイニング等を用いて生徒の記述を分析することができるようになった。

また、Google スプレッドシートを活用することで過去の授業のリフレクションが一枚のシートにまとまる。生徒が作成したスプレッドシートは自動的にGoogle ドライブに保存されるため、紛失する恐れもない。これにより中長期的な振り返りが紙ベースに比べ容易となった。自分の学習改善の軌跡や探究的な学びの記録を生徒自身が振り返ることで、メタ認知を高めることが期待される。また、生徒の学びを調整する力や粘り強く学習に取り組む力の変容を、生徒の自己評価も踏まえながら質的評価することへの活用が期待できる。

## 3. まとめ

本実践ではICTを活用したリフレクションとそれに対する授業ごとのフィードバックにより、生徒が自らの学びを調整し、粘り強く学習に取り組む力を育成することを試みた。令和4年度から新学習指導要領が年次進行で実施されることに伴い、「主体的に学習に取り組む態度」の評価に関する実践が数多く報告されてきた。その中で特にリフレクションには生徒の学習改善並びに教員の指導改善に効果が期待されている。今回のICTを活用したリフレクションの実践には、評価の公平性や教員の負担など課題も多いが、リフレクションには生徒の学びを調整する力や粘り強く学習に取り組む力の評価への活用が十分に期待できると改めて実感した。今後は単元ごとのリフレクションの実施や、リフレクションを評価するループリックの作成に取り組みたいと考えている。本稿が理科教育のさらなる充実のための議論のきっかけとなれば幸いである。

## 文 献

- (1) 文部科学省国立教育政策研究所:『指導と評価の一体化』のための学習評価に関する参考資料（高等学校編）, pp10~11, 2021

この論文は、令和4年度全国理科研究大会の研究協議で意見提示し、同大会の会誌第93巻第2号に掲載された内容に、加筆修正したものである。

# ICT を用いたメタ認知を意識するリフレクション

北海道檜山北高等学校 熊谷 浩也  
Hokkaidouhiyamakitakoutougakkou Kumagai Hiroya

生徒への学習内容定着を目的とし、紙媒体によって行っていた振り返り小テストを、授業時間の確保や準備・採点等の簡略化などを目指し、Google Forms の小テスト機能を用いて行った。その際、単純な知識の定着で終わらないよう、メタ認知の観点に基づき、生徒が自身の状況を確認できるよう、有用なリフレクションとなるように問い合わせを設定した。

**キーワード** GoogleClassroom GoogleForms メタ認知 リフレクション

## 1. 導入

本校は総合学科の学校であり、生徒の進学先は非常に多岐に渡る。その中で、一般選抜により受験する生徒は学年でも毎年3名を下回るような人数であり、学習に対する意識が低い生徒が多いように感じられる。それらに対し、3年前より生徒への授業内容定着のため、授業の開始時に全授業の復習テストを行っているが、紙媒体での実施は、授業前の準備や授業時間の確保、採点や集計などの観点から厳しいと感じている。

これらのことから、Google Forms の小テスト機能を用いて生徒が気軽に復習ができるような環境を整えた。またこれらの復習が、単純な知識の定着にとどまらず、「メタ認知」の観点に基づいたうえで「リフレクション」としての効果も得られるよう、本稿ではその活用方法について述べる。

## 2. リフレクション

「リフレクション」という表現は、元をたどると J.Dewey による経験主義教育にたどり着く<sup>1)</sup>。Dewey は経験の質を「連続性」と「相互作用」という二つの要素から言及しており、リフレクションとはこの「連続性」について述べたものである。連続性とは「経験がその後の経験にどのように影響を及ぼすか」が重要であり、そのためにはまず「自分の現在の経験から自分が経験しているときの経験の中にある自分になるすべてを獲得すること」であるとされている。具体的な経験の中から自らに有益となるものを振り返りによって概念化、一般化しそれを活用して次の経験につなげるというこの作業は、PDCA サ

イクルに代表されるように、単純な振り返りにとどまらず、学習前の計画や仮説、学習途上での自己理解など、学習活動全体を通して行われるものである。

## 3. メタ認知

上述の通り、リフレクションの中には学習途上での自己理解が含まれる。これに対し重要な概念として「メタ認知」という考えがある。これは心理学者であるJohn H. Flavell が提唱したもので、「自らの認知を認知すること」を意味する。これは、自身の認知や行動を確認する「セルフモニタリング」という作業と、それらを基に自身の認知や行動を修正する「コントロール」という2段階の内容から構成される（図1）。この観点に基づいて、生徒が自らの学びに対し「自分がどのように思考したのか」「現在の理解状況はどのようなものなのか」等を確認できるよう、それらを問うような発問を意識的に行っていく。

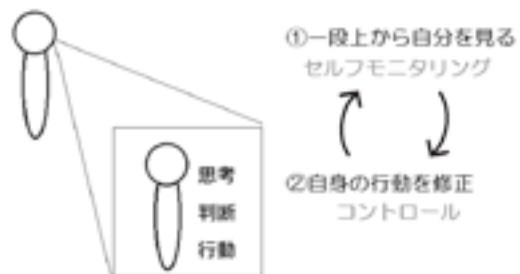


図1 セルフモニタリングとコントロール

#### 4. 実践

本稿では2つの実践について述べる。

1つ目はGoogle Classroom機能とGoogle Forms機能を用いた授業ごとの振り返りである。図2はGoogle Classroom機能を用いて授業資料を配付し、生徒が復習をできるようにしたものである。



図2 授業資料配付画面

本校では、生徒は自身の選択している科目に応じたクラスに所属している。その中の課題機能を用いて、授業資料の配布と振り返りの小テストを、各授業後に行っている。生徒は授業終了時から次の授業開始時の間に、自身の好きなタイミングで振り返りをすることができ、また質問や相談も自由にすることができる。これらが生徒の日常に溶け込んでいるスマートフォンなどを用いることで、比較的学習への抵抗感が無い状態で臨めるという意見が多くあった。

2つ目は考査での理解状況の確認である。前期中間考査の各問題に対して、生徒が自身の理解状況を確認できるような内容の問い合わせを行った（図3）。

- (1)について\*
- 1.現在適切に理解出来ており、数字が変わっても関連性ずに答えることが出来る。
  - 2.理解出来ていると思うが不安である。
  - 3.理解出来ていないと思うが、何が理解出来ていないかは自覚している。
  - 4.理解出来ておらず、また何が理解出来ていないかもわからない。
  - その他

図3 リフレクションの例

この問い合わせは、単純に考査の解答の正誤を確認するのではなく、その理解がどの程度なのかを確認するものとなっている。生徒は自分が何を理解しており、何を理解できていないのかを自問自答することで、今後どのような学習が必要なのかを考えることができ、また教員も生徒の理解状況を詳細に確認することができるため、授業改善

に活かすことができる。生徒からは「改めて確認すると足りない部分が明確になった」「今後の学習のやる気が出た」などの意見なども出てきている。

#### 5. まとめ

本稿ではGoogle Formsのアンケート機能を用いて、学習内容の振り返り作業にかかる負担を軽減し、またメタ認知の観点から生徒が自己理解を重ねられるようなリフレクションの方法について述べた。実践を行っていく中で、生徒はICT端末を用いることで学習への抵抗感が軽減されると感じていたことが明らかになった。なお現在、本校では1年次生のみ一人一台端末を所持しており、2・3年次生の授業では実践を十分に行なうことはできなかったため、今後は生徒自身のタブレット端末を用いることで、さらに効果的なリフレクションを行っていきたい。

#### 文 献

(1) 小学館「みんなの教育技術」

<https://kyouiku.sho.jp/141381/> (2022.6.8 サイト訪問)

この論文は、令和4年度全国理科研究大会の研究協議で意見提示し、同大会の会誌第93巻第2号に掲載された内容に、加筆修正したものである。

# カーリングの物理

## (反発係数及び衝突によるストーンの分離角の測定)

北海道科学大学高等学校 西出 雅成 北海道科学大学高等学校／北海道大学 煦雪 亮  
Nishide Masanari Niyuki Ryo

カーリングストーンを用いた衝突実験の動画を作成し、それを視聴して運動解析を行う実験教材を提案する。動画は衝突前後における速度測定及び衝突後のストーンの軌跡を計測できるように撮影する。それを教室にて視聴し、生徒各自が運動の解析を行う。実際には、衝突による反発係数及びストーンの分離角を求め、運動量保存の法則及び力学的エネルギー保存の法則について検討を行う。

**キーワード** カーリング 衝突実験 反発係数 分離角 運動量保存・エネルギー保存の法則

### 1. はじめに

正式オリンピック種目のカーリングは、今や北海道のみならず世界中で人気スポーツの1つになっている。

しかし、初期の頃のルールではスイープに使用するブラシの材質にはなんの規制もなく、ペブルを摩耗させることでよりカールさせやすくさせる戦術もみられた。

(現在ではブラシについて明確な基準が設けられている。)このことは、カーリングにはじめて物理的な視点が導入された事例である。しかしながら氷上をカールするストーンの運動については未だ未解決な問題も存在している。質量約20kg、直径26~27cmほどのカーリングストーンの底面は、下の写真のようにへこみ、まわりにはランニング・バンドと呼ばれる幅10mm程度の帯状の面があり、それがペブルといわれる約1mm程度の粒で覆われた氷上に接している。

通常、反対向きに伏せたグラス(リング状のもの)では、与えた回転方向と反対方向に曲がる。しかし、カーリングではデリバリー(ストーンを投げる姿勢)のときに、与えた回転の方向と同一の方向へカールする。このような現象については未だ謎とされ、正式には解明されていない。競技種目として益々注目されるカーリングでは、戦術的な研究は大いにされていても、カーリングの物理的な研究は未開な部分が多いある。そこで、北海道にじみのあるカーリングを物理教材として考えられる実験をいくつか考え、その実証を踏まえ提案する。



図1 ランニング・バンド・水をまく作業・ペブル

### 2. 実験

#### 2.1 反発係数の測定

(ショーターストーンと静止ストーンとの速度交換)

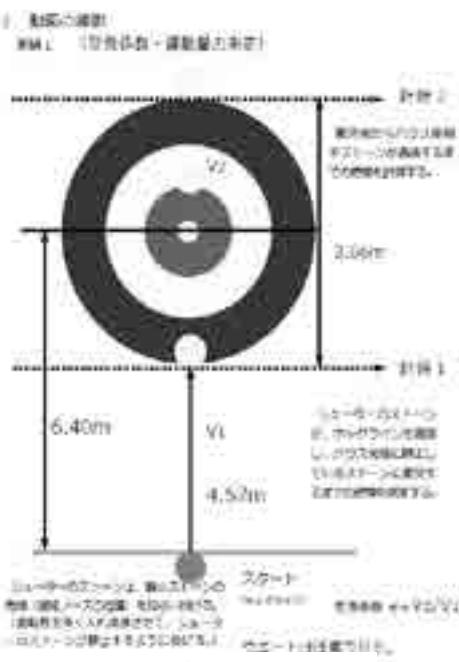


図2 カーリングホールの大きさ

教室にて実験動画を視聴し、それぞれの計時( $t_1$ )、計時( $t_2$ )より  $V_1 = 4.57/t_1(\text{m/s})$   $V_2 = 3.66/t_2(\text{m/s})$  を計算し、反発係数を求め、弾性衝突について検討する。

$$\text{反発係数 } e = V_2/V_1$$

また、ストーンの質量を20kgとして、運動量の和を求め、運動量保存の法則について検討する。

表1 反発係数の測定 データシート

Movie_1	t1	t2	v1=4.57/t1_ave	v2=3.66/t2_ave	e=v2/v1
1回目	[s]	[s]			
2回目	[s]	[s]			
3回目	[s]	[s]			
平均値	t1_ave	t2_ave	[m/s]	[m/s]	

## 2.2 ストーンの分離角の測定

### 2. 実験の描画

#### 実験1 (ストーンの分離角の測定)



図3 ストーンの距離の計測

教室にて実験動画を視聴し、ストーン間の3辺の長さを記録し、余弦定理より分離角を求める。

表2 ストーンの分離角の測定 データシート

分離角測定		実験映像		
		angle_1	angle_2	angle_3
ス ト ン 間 距 離	赤 - 赤	[m]	[m]	[m]
	赤 & 黄 - 黄	[m]	[m]	[m]
	赤 - 黄	[m]	[m]	[m]
分 離 角 $\theta$	$\cos \theta$			
	$\theta$ [rad]	[rad]	[rad]	[rad]
	$\theta$ [度]	[度]	[度]	[度]

## 3 運動の解析

これらのデータをもとに完全弾性衝突するときのストーンの分離角 ( $\theta + \phi$ ) が直角になることと比較して、実際のストーンの衝突運動について運動量保存の法則及び力学的エネルギー保存の法則について検討を行う。

## 4 考察課題及び授業感想

### 実験1 反発係数の測定

表1を使って求めた結果 0.78~0.90

(0.85~0.88の結果が多々)

### 考察課題1

データシートの結果から衝突について考察しよう。

以下のポイントをヒントに理由を含めて記述しよう！

ポイント1 弹性衝突か非弾性衝突か

回答結果 非弾性衝突 18 弹性衝突 5

ポイント2 運動量は保存されているか

回答結果 保存されている 12 保存されていない 11

ポイント3 實際の運動の様子と測定結果を踏まえて、自分なりに気がついたことを記述する。

例「より正確に分析するには?」「実験方法の見直すべき点」、「運動量が保存されている(いない)要因として考えられること」

### 生徒の回答

- 速度はちがうけど1回目と2回目の反発係数がほぼ同じであった。
- 案外誤差は少ないと感じた。
- 摩擦を完全になくす。
- アプリでもっと細かく測定すべきだった。
- 投げる位置、投げる速度などの条件をそろえる。
- ストップウォッチ以外で測る。人力では実験しない。
- 見る方向でちがう。0.9と1に近づけられたのは良かった。
- 摩擦が思っていたより運動に影響する。

### 実験2 分離角の測定

表2を使って求めた結果

angle_1	angle_2	angle_3
72° ~78°	78° ~82°	72° ~74°

### 考察課題2

分離角測定の結果から今回の衝突について考察しよう。

以下のポイントをヒントに理由を含めて記述しよう！

ポイント1 完全弾性衝突( $e=1$ , かつ2物体の質量が等価)では分離角が直角90度となるはず。今回の衝突で分離角が90度とならないのはなぜか。

ポイント2 運動量は保存されているか

ポイント3 実際の運動の様子と測定結果を踏まえて、自分なりに気がついたことを記述する。

例「より正確に分析するには?」「実験方法の見直すべき点」、「運動量が保存されている(いない)要因として考えられること」

生徒の回答

- ・摩擦があるから。
- ・衝突後、ストーンが回転してしまい、真っ直ぐ動かないから。
- ・ストーンが回りながら動いて衝突したから。
- ・衝突した直後の角度を測るとよい。

まとめ、及び感想

今日の実験はどうでしたか? (感想や疑問を自由に記述)

- ・実験する前は結果がわかっているつもりだったが、実際にやってみると人によって測定方法が違っていて法則どおり  $e=1$  にならなくて面白かった。
- ・計算するのが大変だった。
- ・ペアで話し合いながら考えることが楽しかった。  
普段、考えもしなかったカーリングの原理を知ってカーリング選手の頭の回転がすごいと思った。
- ・完全衝突というのが想像しやすくなった。
- ・どんな物にも摩擦はあるから運動量は保存することはできないと思った。
- ・どうすればより法則に近づけられるか考えたり、新しい視点で実験を行えた。

## 5 今後の展望

今回はじめてカーリングによる衝突実験を考案したが、データから計算されるのは平均の速度であり、運動の解析には瞬間の速度を用いられなければならない。今後は、ランバック投法(ガードストーンに当てて二次的にストーンをはじく方法)などを利用して、この衝突実験を再度考案していくみたいと考えている。

また、今回のように  $e=1$  や分離角が  $90^\circ$  にならない理由を考えさせたりするなど、新しい視点での考察を今後も取り入れたいと考えている。

このようにカーリング競技の教材化をさらに進め、

多くの生徒に興味・関心をもってもらうとともに、競技に生かせる物理教材として発展させていきたい。

## 6 参考文献

- 1) 前野紀一：カーリング・ストーンの動力学、雪氷研究大会(2013・北見)講演要旨集,  
[https://doi.org/10.14851/jcsir.2013.0\\_138](https://doi.org/10.14851/jcsir.2013.0_138)
- 2) 前野紀一、服部一裕：回転する剛体の氷摩擦係数—カーリング・ストーンの氷摩擦係数—、雪氷研究大会(2015・松本)講演要旨集,  
[https://doi.org/10.14851/jcsir.2015.0\\_28](https://doi.org/10.14851/jcsir.2015.0_28)

本論文は、令和4年度の「北海道の理科」に投稿した研究論文を加筆訂正したものである。



## 日本物理教育学会北海道支部規約

第1条 本支部は、日本物理教育学会北海道支部と称する。

第2条 本支部は、北海道在住の会員の連絡と研究の交流をはかり、北海道における物理教育の振興と、その地域的な活動への寄与を目的とする。

第3条 本支部は、前条の目的を達成するために次の事業を行なう。

- (1) 講演会、講習会、学術映画会、研究会懇談会等の開催
- (2) 会報の配布、研究成果の刊行
- (3) 物理教育についての調査及び研究
- (4) その他、前条の目的達成に必要な事業

### 第4条 (削除)

第5条 本支部の会員は、北海道在住の日本物理教育学会の正会員及び賛助会員からなる。

第6条 本支部に次の会員をおく。

1. 支部長1名、副支部長2名、支部理事若干名、及び監事2名。
2. 支部理事の数は、支部長が支部理事会の議を経てこれを定める。
3. 副支部長は、支部理事の中から支部長がこれを委嘱する。

第7条 支部長・副支部長及び支部理事は、支部理事会を組織し、支部長は支部会務を統括する。副支部長は支部長を補佐し、支部理事は支部の業務を分掌する。

第8条 監事は、民法第59条の職務に準ずる職務を行なう。

第9条 本支部に支部評議員若干名をおく。支部評議員の数は、支部長が支部役員会の議を経てこれを定める。支部評議員は支部理事会の推薦により支部長がこれを委嘱

する。

第10条 支部評議員は、支部評議員会を組織し、支部長の諮問に応じ、支部の事業遂行について支部長に助言する。

第11条 支部役員及び支部評議員の任期は2年とし、再任を妨げない。

補欠による支部役員の任期は前任者の残任期間とする。

第12条 次期支部役員は、本支部役員中の次の人の中から支部総会において選任する。

- (1) 支部理事の推薦した正会員
- (2) 正会員又はその団体の推薦した正会員

第13条 元支部長及び本支部の地域内に在住する本部理事ならびに本部評議員は、支部理事会に出席することができる。

第14条 支部総会は、毎年1回、支部長がこれを招集する。支部長が必要と認めたときは支部理事会の議を経て臨時支部総会を招集することができる。

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

- (1) 事集計画及び収支予算
- (2) 事業報告及び収支決算
- (3) その他、支部理事会において必要と認めた事項

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

### (附 則)

- (1) 本規約は、総会において、正会員の3分の2以上の同意を得なければ変更できない。
- (2) 本規約は、昭和44年6月25日より施行する。

## A 4 論文原稿執筆要項 表題は 16 ポイント (pt) のゴシック文字

(副題は 12 p t ゴシック：両端をカッコでかこむ)

English Main Title:12pcTimes (英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載する)  
(English Sub Title:12pcTimes)

所属は 9 pt 明朝 名前は 10pt ゴシック 明朝大学 ゴシック太郎 執筆高校 執筆 一朗  
Name 9pt Times Sippitu Koukou Sippitu Itirou

本文の 9 行目に相当する位置から抄録を書き始めます。200 字以内。日本語文字は 9 p t を標準です。例えば「・について、・・という発想で、・・行なったところ、・・という結果を得た」キーワードを含めて下さい。なお、英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載します。

### Abstract

Abstract must be written with 9pt Times or Times new Roman Font. The number of words is within 200.

キーワード 9 p t 5 語程度 Keywords:Times Font, 9pt, About 5 Words

### 1. 章タイトルはゴシック 10 p t 太字

本資料は、オフセット印刷で、縮小して B5 版に印刷される冊子を作成する際に、A4 版で原稿を作成する際に必要となる投稿規定の情報を、視覚的に理解しやすい形で提供することを目的として作成したものである。

### 2. 本文執筆の要点

#### 2. 1 用紙の使い方

A4 用紙に 52 文字 45 行、2 段組の部分は 25 文字、段間隔 : 8mm 段幅 : 82mm とする。マージンは上 21mm 下 27mm 左 18mm 右 18mm とする。

#### 2. 2 使用フォント・サイズ・改行幅

標準フォントは 9pt の

和文 : MS 明朝、平成明朝

英文 : Times, New Roman, Times Symbol とする。

ただし太文字は、9pt の和文 : MS ゴシック、平成角ゴシック、英文 : Arial, Helvetica を使用すること。上記フォントがない場合は、類似のフォントを使用すること。

#### 2. 3 式および記号

式および記号の標準文字は、9pt のイタリック体とする。ベクトルの場合は太文字のイタリックとする。

上下添字は 6pt 程度の立体（イタリックも可）とする。  
以下にいくつかの例を挙げておく。

$J_C$        $V_I$        $P^A_{i j k}$

式を記入する場合は、式の上下に白行を設け、右端に式番号を記入する。例えば、

$$F_D = C_P 1/2 \rho | V | VS \quad (5)$$

のように記入する。なお、式を文章中で参照する場合には、式(5)、式(7) – (10) のように、番号の前に"式"を付ける。

#### 2. 4 図・表、およびその説明

図ならびに表は、1 段幅、あるいは 2 段幅に収まるよう作成し、論文内の適切な位置には配置する。

図ならびに表の中の文字は、十分認識できるサイズ（具体的には 9pt 程度）とする。6pt 未満の文字は使用しないこと。また、図ならびに表の前後には空白行を設けること。

それぞれの図ならびに表の説明文（caption）として、以下に示す例のように、図ならびに表の通し番号の後に 9pt の標準文字で説明を記入する。なお、図の説明文は該当する図の下、表の説明文は該当する表の上とすること。

例 表 1 生徒の履修状況

図 1 実験装置の模式図

#### 2. 5 引用・参考文献

引用または参考にした文献は、本文中の引用・参考箇所で右肩に<sup>1)</sup> <sup>2)</sup>などの表記で表示するとともに、末尾に一括して著者名、文献名、ページなどを示す。

## 文 献

- (1) 山川谷男：エントロピーの・・教育，物理教育研究，Vol.22, No.3, pp.1~4, 1999

なお、脚注は文章中の該当箇所に\*.\*の印を付しページの下に横線を引き、その下に書いて下さい。

## 3. その他

- (1) 原則として原稿は返却しません。  
(2) 本誌は毎年11月に発行予定です。  
(3) 投稿された原稿は、支部編集委員会で内容を審査します。  
(4) 投稿及び原稿テンプレートファイルの申込み、ならびに会誌編集に関する連絡先は、右記の投稿受付担当者までお願いします。

**原稿募集** 上記の規定に基づいて支部会報「物理教育研究第51号」の原稿を募集いたします。

- (1) 締 切 2023年9月末日（予定）  
(2) 投稿受付 投稿受付先は下記のとおりです。

投稿受付／問合わせ先

〒 066-8655 千歳市美々758-65

公立千歳科学技術大学 長谷川 誠

TEL/FAX 0123-27-6059

E-mail hasegawa@photon.chitose.ac.jp

または

〒 011-0025 札幌市北区北25条西11丁目

北海道札幌北高等学校 中道 洋友

TEL 011-736-3191 FAX 011-736-3193

E-mail nakamiti-yoyu@mbp.nifty.com

または

〒063-0002 札幌市西区山の手2条8丁目5-12

札幌山の手高等学校 佐藤 革馬

TEL 011-611-7301 FAX 011-641-3795

E-mail kakuma-s@ikoi-wagayatei.net

使用されるワープロが「Word」か「一太郎」であれば、この執筆要項のファイルを送付できます。担当までお知らせ下さい。

### 編集後記

新型コロナウイルスの感染状況が落ち着きそうでなかなか収束せず、今号も当初の予定より遅れての発行となってしまいました。支部の活動も停滞気味でしたが、ようやく再スタートできつつある状況です。困難な局面から、より一層の発展を目指していきたいものです。なお、本来であれば支部会報に掲載すべき前年度の事業報告及び決算報告、ならびに今年度の事業計画及び予算報告について、支部総会が開催できていない関係で、今号にも掲載していません。ご了承いただければ幸いです。（H）

2022年12月26日発行

日本物理教育学会北海道支部

第50号 編集責任者 長谷川 誠

(060-0810)札幌市北区北10条西8丁目

北海道大学大学院理学研究院

鈴木久男 気付

日本物理教育学会北海道支部