

# ハンドスピナーの物理教育への利用

梶 山 裕 二      大 橋 和 之  
岐阜聖徳学園大学教育学部

## Application of fidget spinners to physics education

Yuji KAJIYAMA, Kazuyuki OOHASHI

### Abstract

In this paper, we discuss the application of fidget spinners to physics education in terms of angular velocity, moment of inertia, precession and gyroscopic effect. First, we performed experiments to measure those physical quantities and theoretical calculations by making some approximations, and found that relative errors are at most 11.7%. Second, we discuss usages of fidget spinners in elementary school as advanced contents, and in junior high and high school as standard contents based on the MEXT Course of Study. We conclude that fidget spinners can be effective learning tools to learn rotational motion, gyroscopic effect, and so on.

Key Words : physics education, rotational motion, moment of inertia, gyroscopic effect

### I. はじめに

最近流行しているハンドスピナー (Fidget Spinner) というおもちゃがある。手持ち無沙汰やストレス解消グッズとして人気であるが、元々は重症筋無力症の母親が娘と遊ぶために考案したものである<sup>1)</sup>。数百円から入手でき、指で回すだけという簡単な操作で比較的長時間 (数分間) の回転運動を維持できることから、インターネット上では物理教育上の効果が研究者や教員によってしばしば議論されている<sup>2), 3)</sup>。この論文ではハンドスピナーの回転の角速度の時間依存性、慣性モーメント、歳差運動およびジャイロ効果についての性質を調べ、この分野の教材として従来使用されてきた自転車のホイールやコマ<sup>4)</sup>、その他体感的な遊び<sup>5)</sup>に並び、手軽に半定量的な解析ができる物理教育上の教材としての有用性を示す<sup>6)</sup>。

### II. ハンドスピナーの種類

ここでは、本研究で用いたハンドスピナーの性質について述べる。今回は図 1 にあるハンドスピナーを用い、左から順に A、B、C2、C3、C6 と名付ける。ハンドスピナー C は腕が取り外せるため、装着した腕の本数 (2、3、6 本) に対応してそれぞれを C2、C3、C6 と呼ぶ。以下、中心から伸びている回転部分を腕と呼ぶことにする。各ハンドスピナーについて、メーカー名、Amazon.co.jp での金額、質量  $m$ 、中心から腕の先端までの長さ  $b$  の順で列挙すると以下のようになる。

- (1) ハンドスピナー A : Innotech、1,399 円、 $m = 75.9$  g、 $b = 3.15$  cm
- (2) ハンドスピナー B : Olycism、1,200 円 (2 個)、 $m = 57.4$  g、 $b = 4.15$  cm
- (3) ハンドスピナー C : MAGQI、2,000 円、 $m_0 = 28.7$  g (中心部)  $m_1 = 7.58$  g (腕一本あたり)、 $b = 3.04$  cm、 $r_0 = 1.28$  cm、 $a = 1.16$  cm ( $r_0, a$  の定義は図 2-c を参照)

### III. 理論

ここでは本研究の定量的な解析に必要な理論について述べる。以下、慣性モーメントを  $I$ 、回転の角速度を  $\omega$ 、質量を  $m$  とする。



図1 ハンドスピナー（左から順にA、B、C2、C3、C6）

一般に回転運動する剛体の運動方程式は、角運動量  $L$  とその物体に働く力のモーメント  $N$  を用いて

$$\frac{dL}{dt} = N \quad (1)$$

と書かれ、角速度の大きさは  $L = |L| = I\omega$  と与えられる。以下ではこの運動方程式を出発点として、ハンドスピナーの角速度、慣性モーメント、歳差運動とジャイロ効果について順に述べていく。また、ハンドスピナーの中心を通り、図1の紙面に垂直な方向の回転軸を持つ「通常の」回転を考える。

## 1. 角速度

高等学校の物理においては等速円運動を学習するが、今回取り扱うハンドスピナーはベアリングの摩擦などの抵抗力によって減速していくため、加速度円運動である。ハンドスピナーが受ける抵抗力を  $F$  [N]、回転軸から  $F$  の作用点までの距離を  $h$  [m] とすると、式(1)は

$$I \frac{d\omega}{dt} = -hF \quad (2)$$

と書かれる。以下では抵抗力について二つの場合を仮定し、角速度の時間依存性を求める。すなわち、(1) 抵抗力が一定の場合、(2) 抵抗力が角速度に比例する場合、である。

(1) 抵抗力が一定の場合

通常の動摩擦力や転がり摩擦力などがこれに対応する。比例定数  $k_1$  を用いて抵抗力を  $F = (I/h) k_1$  と書くと、式(2)は

$$\frac{d\omega}{dt} = -k_1 \quad (3)$$

と表される。これを時間で積分すると、時刻  $t$  における角速度

$$\omega(t) = \omega_0 - k_1 t \quad (4)$$

が得られる。ここで  $\omega_0$  [rad/s] は初角速度である。

(2) 抵抗力が角速度に比例する場合

比較的速度が小さい場合の空気抵抗などがこれに対応する。比例定数  $k_2$  を用いて抵抗力を  $F = (I/h) k_2 \omega$  と書くと、式(2)は

$$\frac{d\omega}{dt} = -k_2 \omega \quad (5)$$

と表される。これを時間で積分すると、時刻  $t$  における角速度

$$\omega(t) = \omega_0 e^{-k_2 t} \quad (6)$$

が得られる。

次章では、このように定義された比例定数  $k_1$ 、 $k_2$  をハンドスピナーの種類ごとに測定する。

## 2. 慣性モーメント

ここでは、ハンドスピナーの中心を固定して回転させる場合の「回転のさせにくさ（止まりにくさ）」を表す物理量である慣性モーメントについて、(1) ハンドスピナー A、B、C それぞれについての公式の導出、(2) 2点吊り法による測定法、の順で述べる。

(1) 公式の導出

ある剛体が  $z$  軸に固定され、 $z$  軸を回転軸として回転しているとする。剛体の部分  $i$  の回転軸からの距離を  $r_i$  とすると、位置ベクトルは  $\mathbf{R}_i = (r_i \cos \theta_i, r_i \sin \theta_i, z_i)$ 、速度ベクトルは

$\mathbf{V}_i = (-r_i\omega \sin \theta_i, r_i\omega \cos \theta_i, 0)$ と表される。ただし剛体の角速度は  $i$  に依らないため  $d\theta_i/dt = \omega$  とした。この部分  $i$  の質量を  $m_i$  とすると、この質点系全体の角運動量の  $z$  成分  $L_z$  は

$$L_z = \sum_i (\mathbf{R}_i \times m_i \mathbf{V}_i)_z = \sum_i m_i r_i^2 \omega \quad (7)$$

と表される。ここで  $L_z = I\omega$  であるので、

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad (8)$$

が慣性モーメントの定義式となる。和を積分に置き換えると連続体の慣性モーメント

$$I = \iiint \rho(x, y, z) r^2 dx dy dz \quad (9)$$

が得られる。ここで  $\rho$  は点  $(x, y, z)$  での密度、 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  は回転軸からの距離である。

次にこれを用いて、今回使用したハンドスピナーの慣性モーメントの理論値  $I_{th}$  を求める。その際、実験に使用したハンドスピナーを、計算しやすい幾何学図形に近似して理論値を求めることにする。

図 2-a はハンドスピナー A を、長さ  $b$  の幅のない 2 本の棒を直線上に取り付けた図形に近似したものである。腕 1 本あたりの質量は  $m/2$  であるから密度は  $\rho = m/(2b)$  となる。式(9)を 1 次元として適用すると、1 本あたりの慣性モーメントは  $mb^2/6$  となるから、全体では

$$A : I_{th} = \frac{1}{3} mb^2 = 2.51 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (10)$$

と得られる。ただし最後の等号では第 II 章の数値を用いた（数値に関しては以下同様）。

図 2-b はハンドスピナー B を、長さ  $b$  の幅のない 3 本の棒を  $120^\circ$  の角度で取り付けた図形に近似したものである。先と同様に、腕 1 本あたりの質量は  $m/3$  であるので慣性モーメントは  $mb^2/9$  となり、従って 3 本では

$$B : I_{th} = \frac{1}{3} mb^2 = 3.29 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (11)$$

となる。

図 2-c はハンドスピナー C2、C3、C6 を中心の円形部分と腕の本数分の慣性モーメントの和としたものである。質量  $m_0$ 、半径  $r_0$  の円形部分の慣性モーメント  $I_0$  は式(9)を 2 次元として適用すると

$$I_0 = \frac{1}{2} m_0 r_0^2 \quad (12)$$

となる。一方腕 1 本分の慣性モーメント  $I_1$  は、質量を  $m_1$ 、腕の長さを  $a$ 、回転軸から腕の先端までの長さを  $b$  とすると、腕の四角形の部分にのみ質量があると近似して

$$I_1 = \frac{1}{3} m_1 (a^2 - 3ab + 3b^2) \quad (13)$$

となる。よって式(12)、(13)より (C2, C3, C6) について、腕の本数を考慮して

$$\begin{aligned} C : I_{th} &= \frac{1}{2} m_0 r_0^2 + \frac{1}{3} m_1 (a^2 - 3ab + 3b^2) \times (2, 3, 6) \\ &= (1.16, 1.63, 3.02) \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

が得られる。

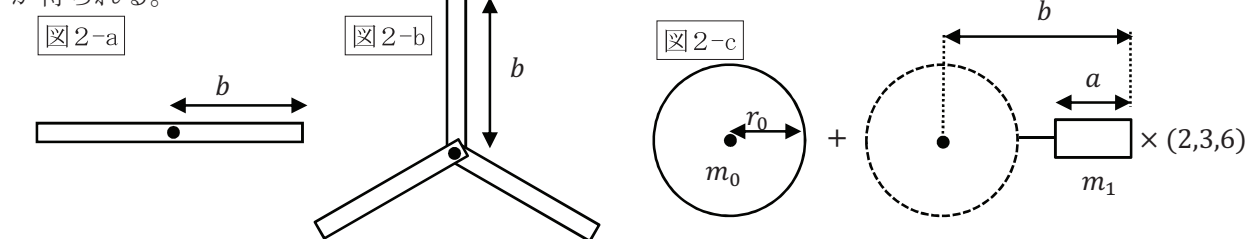


図 2 ハンドスピナーの幾何学図形近似

## (2) 2点吊り法

次に、慣性モーメントを実験的に測定する方法として 2 点吊り法について述べる。

図 3 のように、長さ  $2b$  で質量  $m$  の一様な棒を長さ  $l$  の 2 本の糸で水平につるす。棒を水平方向に少し回すと糸の張力によって戻り、回転の振動をする。この際上下運動も行うが、今回は無視できる

くらいに小さいものとする。このときの振動の周期を測定することにより棒の慣性モーメントを求める方法を2点吊り法という。

棒が $\theta$ ねじれたときに、糸の張力を $S$ 、糸の垂直からの角度を $\varphi$ とすると、糸1本の張力の鉛直成分と水平成分はそれぞれ

$$S \cos \varphi = \frac{1}{2} mg, \quad S \sin \varphi = \frac{1}{2} mg \tan \varphi \quad (15)$$

となる。ただし重力加速度の大きさを $g$ とした。また振幅が小さい場合は $|\theta| \ll 1, |\varphi| \ll 1$ であるから、このとき

$$\sin \theta \simeq \tan \theta \simeq \theta, \quad \sin \varphi \simeq \tan \varphi \simeq \varphi \quad (16)$$

と近似できるので、図3の底面の三角形部分について

$$b\theta = l\varphi \quad (17)$$

という関係が成り立つ。よってこのとき、式(1)は

$$\begin{aligned} I \frac{d^2 \theta}{dt^2} &= -2Sb \sin \varphi \\ &= -\frac{mgb^2}{l} \theta \end{aligned} \quad (18)$$

となる。これより、この単振動の周期を $T_1$ とすると

$$I = \frac{mgb^2}{4\pi^2 l} T_1^2 \quad (19)$$

が得られる。これより振動の周期 $T_1$ を測定することで剛体の慣性モーメントを求めることができる。

ハンドスピナーA、C2、C6ではこの方法で測定を行う。ハンドスピナーB、C3では腕が3本あるので3点吊り法となるが、同様に式(19)で慣性モーメントが求められる。

次章では、2点（3点）吊り法によって測定したハンドスピナーの慣性モーメントと、単純な図形に近似して求めた理論値とを比較する。

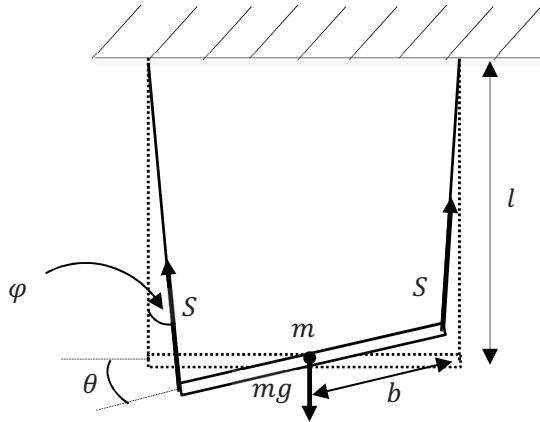


図3 2点吊り法

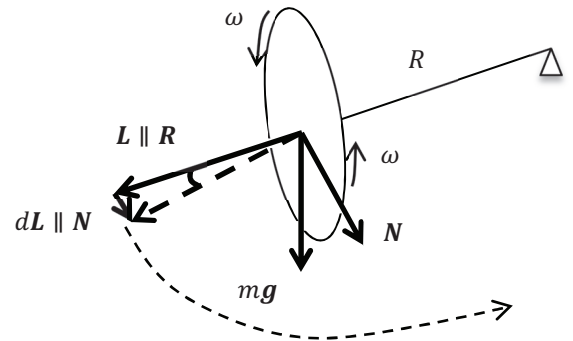


図4 コマの歳差運動

### 3. 歳差運動、ジャイロ効果

高速回転しているコマの軸が傾くと、傾きを一定に保ちながら軸の上端が水平に円運動を行う。この首振り運動のことを歳差運動とよぶ。

図4のように、質量 $m$ 、軸の周りの慣性モーメントが $I$ のコマが、軸を（水平に）傾けて角速度 $\omega$ で回転しているとすると。コマの軸の下端は支点との摩擦力により動かないとし、その下端を座標原点として考える。軸が傾いているので、コマの重心 $\mathbf{R} = (X, Y, Z)$ には重力による力のモーメント $\mathbf{N}$

$$\mathbf{N} = \mathbf{R} \times m\mathbf{g} = (-Ymg, Xmg, 0) \quad (20)$$

が生じる。一方コマの角運動量を $\mathbf{L} = (L_x, L_y, L_z)$ とすると、 $\mathbf{L} \parallel \mathbf{R}$ であるため、

$$\mathbf{L} = I\omega \frac{\mathbf{R}}{R} = \left( I\omega \frac{X}{R}, I\omega \frac{Y}{R}, I\omega \frac{Z}{R} \right) \quad (21)$$

と表される。ここで $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ はコマの下端と重心の距離である。式(20)、(21)を式(1)へ代入して少し計算すると、重心座標の $x$ 成分は

$$\frac{d^2X}{dt^2} = - \left( \frac{mgR}{I\omega} \right)^2 X \quad (22)$$

に従って単振動し、その周期 $T_2$ は

$$T_2 = \frac{2\pi I\omega}{mgR} \quad (23)$$

であることが分かる。これがコマの歳差運動の周期となる。

また歳差運動の方向は $\mathbf{L}$ が変化する方向であるから、式(1)より $\mathbf{N}$ の方向にコマ全体が回転することになる。このように、高速回転している物体に外力（今の場合は重力）がはたらくと、その外力に垂直な向き（外力のモーメントの向き）に回転軸が動くことをジャイロ効果という。また外力がはたらない場合はその回転状態が安定に維持されるが、このこともジャイロ効果と呼ばれている。

次章では、歳差運動の周期を測定し、理論値の式(23)と比較する。

## IV. 実験

ここでは角速度の時間依存性、慣性モーメント、歳差運動の実験方法及び結果について述べる。重力加速度の大きさは $g = 9.7975 \text{ m/s}^2$ とする<sup>7)</sup>。また誤差については測定値の標準誤差と読み取り誤差の大きい方を誤差として掲載する。

### 1. 角速度の時間依存性

図5のように、鉄製スタンドに取り付けた大型自在バサミでハンドスピナーの中心を挟んで縦に取り付ける。ナリカ（株）の光ゲートセンサとイージーセンス V-Log をノート PC に接続し、付属のソフトウェアによってデータを記録する。ハンドスピナーの腕から腕までがゲートを通過するのにかかる時間を測定し、そこから角速度 $\omega$ を求める。用いた観測機器の性能により、回し始めから約30秒（データ数1000個程度）の範囲でのみデータが得られた。教材としての手軽さを尊重して手で回したため、初角速度は正確には一定ではないものの、勢い良く回した場合概ね100rad/s程度であった。ただしC6についてはセンサーの反応速度の制限から、他よりも遅い回転で測定した。

図6は各ハンドスピナーの角速度の時間変化の一例、図7はC2の線形近似および指数近似の一例である。前章で議論した角速度のフィッティングパラメータ $k_1 [\text{rad/s}^2]$ （式(4)）と $k_2 [1/\text{s}]$ （式(6)）は表1のように得られた。全て20回試行した平均値と標準誤差である。ただし、ハンドスピナーAの $k_2$ は、エクセルによる解析で誤差が得られなかったため、記入していない。

表1 角速度のフィッティングパラメータ

	$k_1 [\text{rad/s}^2]$	$k_2 [1/\text{s}] (\times 10^{-2})$
A	$0.72 \pm 0.01$	0.8
B	$1.35 \pm 0.03$	$1.96 \pm 0.03$
C2	$1.88 \pm 0.08$	$2.86 \pm 0.02$
C3	$1.86 \pm 0.04$	$2.40 \pm 0.01$
C6	$0.60 \pm 0.01$	$1.53 \pm 0.02$

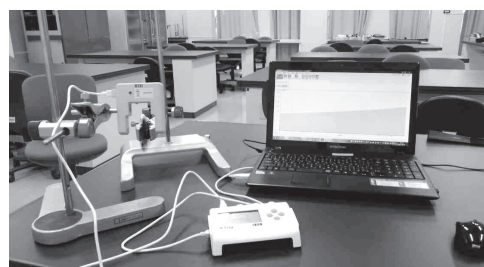


図5 角速度の測定の様子

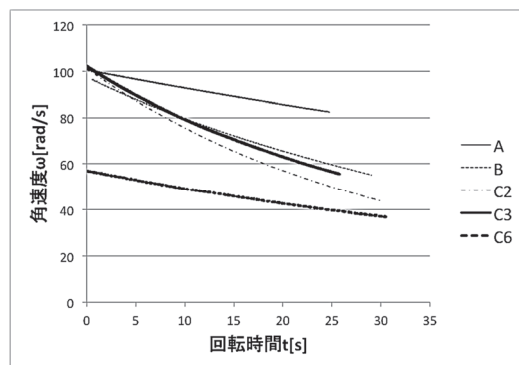


図6 角速度の時間変化の例

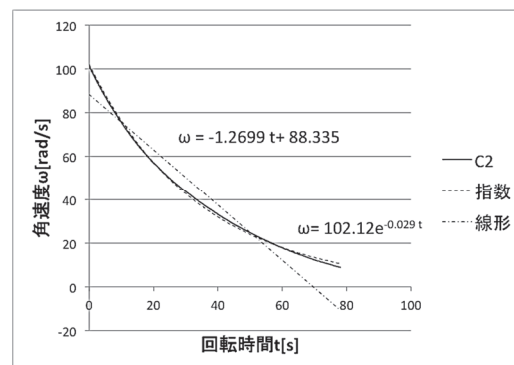


図7 C2の角速度の近似の例



## 2. 慣性モーメント

図8にあるように、2点吊り法によって式(19)を用いて慣性モーメントを測定した結果を表2にまとめる。ハンドスピナーは中心部分が腕とは独立して回転する構造であるため、中心部分を自由にしたまま (free) の場合と腕に固定した (fix) 場合で測定を行った。全て $20T_1$ の測定を20回試行して求めた平均値と読み取り誤差である。

誤差については、コロラド大学が公開しているシミュレーションサイト<sup>8)</sup>において振り子の周期を測定して我々の肉眼による読み取り誤差を見積もったところ、理論値と測定値で0.61%の誤差が生じ、これが標準誤差より大きくなったため、0.61%の読み取り誤差を誤差として採用する。

また理論値(th)として式(10)、(11)、(14)の値を再掲した。

表2 慣性モーメント

	$I_{\text{free}}$ [kg·m <sup>2</sup> ](×10 <sup>-5</sup> )	$I_{\text{fix}}$ [kg·m <sup>2</sup> ](×10 <sup>-5</sup> )	$I_{\text{th}}$ [kg·m <sup>2</sup> ](×10 <sup>-5</sup> )
A	2.53±0.02	2.67±0.02	2.51
B	3.48±0.02	3.95±0.02	3.29
C2	1.08±0.01	1.08±0.01	1.16
C3	1.44±0.01	1.56±0.01	1.63
C6	3.04±0.02	3.21±0.02	3.02



図8 慣性モーメントの測定の様子

## 3. 歳差運動

ハンドスピナーの歳差運動を以下の方法で観察した。B、C3、C6については図9左図のように、回転しない中心部に糸をつけてぶら下げて回した際に全体が回転する周期を測定した。またA、C2については図9右図のように中心に画鋲を両面テープで取り付け、コマのように回したときに全体の首振り運動の周期を測定した。実験値 $T_{\text{exp}}$ については歳差運動2周期分を20回測定したものの平均値と標準誤差を求めた。理論値については重心と歳差運動の支点との距離 $R$ を測り、慣性モーメントとしては $I_{\text{free}}$ を用い、また角速度は初角速度の値に近い $\omega = 100\text{rad/s}$ として式(23)から $T_2$ の理論値 $T_{\text{th}}$ を求めた。以上の結果を表3に示す。歳差運動をしている最中の角速度が正確に測定できないため、表3の周期の実験値と理論値は必ずしも一致するとは限らない。

表3 歳差運動の周期

	$T_{\text{exp}}[\text{s}]$	$T_{\text{th}}[\text{s}]$	$R[\text{cm}]$
A	1.34±0.04	1.4	1.5
B	5.13±0.08	5.6	0.70
C2	1.45±0.03	1.2	1.3
C3	3.49±0.07	3.6	0.50
C6	4.66±0.13	5.3	0.50

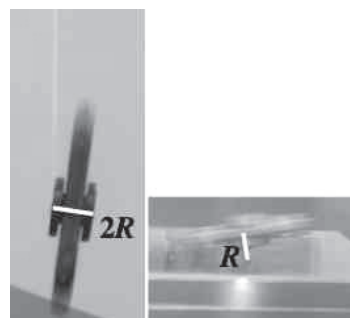


図9 歳差運動の測定の様子

## V. 考察

ここでは前章の結果を踏まえて、ハンドスピナーの物理教育上の有用性について議論する。

図7より、角速度については指数関数によるフィットが良いことが見て取れる。すなわち、抵抗力は角速度に比例していると思われる。表1から、C2、C3、C6について慣性モーメントが大きい程比例定数 $k_2$ が小さい(回転が停止するまでにより時間がかかる)ことが分かり、確かに「止まりにくさ」が大きいことが理解できる(手の感覚でも回すときに重さを感じるであろう)。

表2からは、常に $I_{\text{free}} < I_{\text{fix}}$ の関係が成り立っていることが分かる(C2は小数点以下3桁目まで見るとやはり同様である)。これは独立して回転する中心部の寄与で、固定した方が大きくなることから理解できる。ただし、C2、C3、C6は同じ中心部を持っているが、(C2、C3、C6)の平均値について

$I_{\text{fix}} - I_{\text{free}} = (0.002, 0.12, 0.17) \times 10^{-5} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$ のずれが生じており、一貫した中心部の寄与の評価ができない。一方、理論値  $I_{\text{th}}$  と実験値  $I_{\text{free}}$  との間の相対誤差  $\varepsilon_R$  は (A, B, C2, C3, C6) について、

$$\varepsilon_R = \left| \frac{I_{\text{free}} - I_{\text{th}}}{I_{\text{th}}} \right| = (0.80, 5.78, 6.90, 11.7, 0.66)\%$$

となり、これもばらつきが大きい (C3 に関しては  $I_{\text{fix}}$  との相対誤差をとると 4.29%になる)。

歳差運動については、前章でも述べたように角速度が正確に測定できないため、理論値と観測値との比較はあくまで参考程度にとどまらざるを得ない。むしろハンドスピナーの自転の向きと歳差運動の向きとの関係や、図9 左図のようにジャイロ効果によってそもそも回転したハンドスピナーが立つ様子を観察できること自体の方が、より教育的であると思われる。

I. はじめに述べた、ハンドスピナーが「半定量的」な解析ができる教材である、という意味は次の2点である。(1) 解析に必要な公式が高等学校以下では導出が困難なものもあるため、天下り的に与えることになること、(2) 慣性モーメントが理論的に求めやすい形状であること、である。前者はネガティブな、後者はポジティブな見解である。その他にも、光センサーで回転数が測定できる<sup>9)</sup>、自転車のホイールに比べて手軽である、児童生徒に広く知られている、などの利点がある。以上の点から、上記の最大10%程度の誤差を許容してもなお教材としての価値が存在すると思われる。

そこで以下では校種毎の教材としての使用法について議論する。

### (1) 小学校

小学校学習指導要領理科編の内容において、ハンドスピナーが直接に教材として適していると思える内容は少ない。しかし発展的な学習として、腕が取り外しできるハンドスピナーCに関しては腕の本数の違いによる回転の持続時間の違いを時間を計って比較することができる。またハンドスピナーの腕を非対称に装着するとうまく回らないという観察から、対称性の概念や高等学校で学習する重心との関係を示唆することが可能である。これらの条件の違いによる実験・観察を通して、「理科の見方・考え方」である比較や条件制御<sup>10)</sup>について学ぶことができる。また歳差運動自体が持つ不思議さを体験することで、児童に興味関心を持たせることができる。

### (2) 中学校

中学校では、「力の働き」、「力学的エネルギー」、「天体の動きと地球の自転・公転」等の学習項目において、より直接的にハンドスピナーが教材となり得ると考えられる。

「力の働き」部分では「物体に力を働かせる実験を行い、物体に力が働くとその物体が変形したり動き始めたり、運動の様子が変わったりすることを見いだす」<sup>11)</sup>ことを、手の力の大きさの違いから、回転する時間の長さや速度の変化を観察することによって確かめることができる。また「力学的エネルギー」では摩擦がある場合には力学的エネルギーが保存しないことも観察できる。

「天体の動きと地球の自転・公転」の項目では、天体の見方が地球の自転による相対運動であるということを学習する。地軸の傾きに触れる際に、ジャイロ効果や歳差運動などを、ハンドスピナーを用いて地球もコマのように歳差運動をしているという発展的な内容を学習し生徒の興味・関心をかき立てる教材になり得るのではないかと考えられる。しかし、ハンドスピナーの歳差運動と地球の歳差運動は原理が異なっており、あくまでモデルであるということに注意をしなければならない。

### (3) 高等学校

高等学校の理科では主に物理基礎・物理の教科において、特に「力学的エネルギー」、「剛体のつり合い」、「円運動」などの内容が教材として適していると考えられる。

「力学的エネルギー」においては「力学的エネルギー保存の法則を仕事と関連付けて理解する」<sup>12)</sup>ために、回転時間との比較から、エネルギーの大きさと手のした仕事、そして回転による摩擦力のした仕事との関係性を理解する教材となり得ると考えられる。

「円運動」は高等学校では等速円運動として扱うため、加速度円運動であるこの回転は直接は学習しない。しかし、「円運動」で学ぶ  $v = r\omega$  と「剛体のつり合い」で学ぶ力のモーメント  $N = rF$  をニュートンの運動方程式  $ma = F$  に適用することで直ちに式(2)が得られ、それより、等加速度直線運動の公式の応用で式(4)を導出することができる。そのため、慣性モーメントの概念と公式を与えることで本論文で行ったような定量的な議論が可能になる。ちなみに、「慣性モーメント」という言葉を使わずに剛体の回転運動を学習する試み<sup>13)</sup>等もあり、このような場面でのハンドスピナーの使用も考えられる。

このように、各校種においてハndsスピナーを用いて、色々いじって (fidget) みるというものからより定量的な内容まで、様々なレベルの学習を行うことができる。

## VI. まとめ

この論文では、ハndsスピナーの物理的性質を調べることで物理教育上の教材としての利用価値と利用法について議論した。

ハndsスピナーを通常の遊び方の通りに手で回し、光センサーによる角速度の測定、2点吊り法による慣性モーメントの測定、ひもでつり下げたりコマの形にして歳差運動の周期の測定を行い、それぞれの物理量を理論計算と比較した。我々の研究では、慣性モーメントの理論値と実験値の間に最小1%未満、最大10%を超える誤差が生じたが、これをどのように評価するかは議論の分かれるところであると思われる。

ハndsスピナーはその形を幾何学図形に近似することによって慣性モーメントが計算しやすい形状をしているため、理論値との比較という定量的な学習がある程度可能である。

一方、腕のつけ方によって回転の仕方が異なることや、ジャイロ効果の観察を通して不思議さを実感するなど、興味関心を高めることを目的とした定性的な学習も可能である。定性的な学習は背後にはその裏付けとなる定量的な保証が必要であるが、本研究はその保証の一端を担うものであると思われる。

ハndsスピナーは、各校種の発達段階に応じた様々な使用方法がある手軽な教材としての可能性を持っていると考えられる。典型的な「流行もの」であるかもしれないが、一過性の流行で終わることなく、教材として活用されることを望む。

## 注・文 献

- 1) The Guardian(2017) : As fidget spinner craze goes global, its inventor struggles to make ends meet, 5 May 2017.
- 2) Allain, R (2017): Let's Explore The Physics of Rotational Motion With a Fidget Spinner, <https://www.wired.com/2017/05/physics-of-a-fidget-spinner/>
- 3) Richard, Ma. and Richard, Me. (2017): Fidgeting for Physics: Spinner Science in Six Steps, <https://www.teachingchannel.org/blog/2017/05/19/spinner-science-in-six-steps/>
- 4) 松野直, 山本浩義, 初内正幸, 高原光(2008): 慣性モーメント及びコマの歳差運動を学ぶための実験器具, 応用物理教育, 32(2), 3-8.
- 5) 伊藤智式 (2015): 慣性モーメントを利用した子どもの遊び, 愛知学泉大学・短期大学紀要, 50号, 25-31.
- 6) 梶山裕二 (2017): ハndsスピナーの物理教育への利用, 第34回物理教育研究大会予稿集, 93-94.
- 7) 国立天文台編 (2017): 理科年表, 丸善出版, 東京, 地 242(824).
- 8) University of Colorado: Phet, Interactive simulations for science and math, <https://phet.colorado.edu/>
- 9) コマには腕がないためビデオカメラによる解析になるが、100rad/sの角速度をカメラで撮影して目で読み取るのは骨が折れる。文献4) ではおよそ600rad/sの角速度をモーターによって与えている。
- 10) 文部科学省(2017): 小学校学習指導要領解説理科編, 12-14.
- 11) 文部科学省(2017): 中学校学習指導要領, 64.
- 12) 文部科学省(2009): 高等学校学習指導要領, 48.
- 13) 中村聡(2016): 高校における慣性モーメントを使わない回転運動の取り扱い, 物理教育, 第64巻, 第1号, 52-56.