

# 空中浮遊ゴマのしくみ The structure of U-CAS 岡 光希 高本 彩音 OKA, Mizuki, TAKAMOTO, Ayane

## 1 要旨

空中浮遊ゴマ（商品名：U-CAS，販売元：株式会社増田屋コーポレーション）とは、磁石の反発力とコマの重力がつりあった位置でジャイロ効果によって安定に浮くコマのことである（Figure1）。静止した状態を考えると、コマは不安定なつりあいの鉛筆のように倒れる（Figure2）。しかし、外力が働かずに高速回転するコマは角運動量が増えるため、姿勢が乱されにくくなり安定する。これをジャイロ効果という。

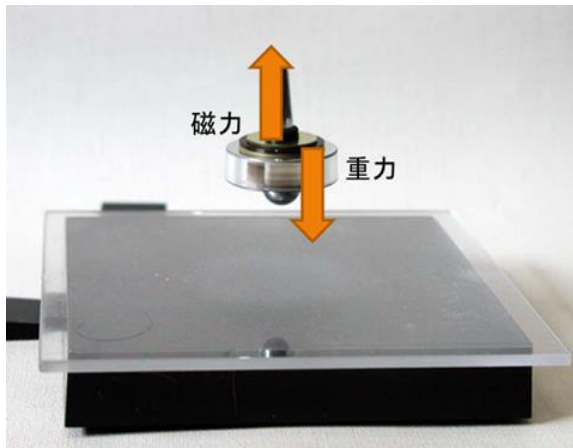


Figure1 : コマ (U-CAS) にはたらく力

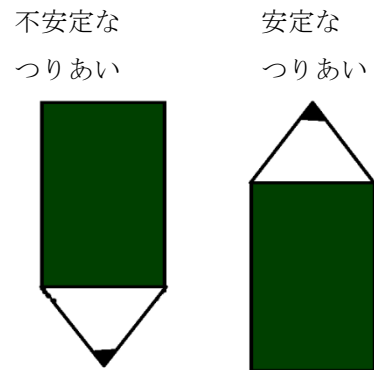


Figure2 : (例) 鉛筆のつりあい

空中浮遊ゴマの回し方は、黒い台の上の透明なプラスチック板の上でコマを回し、安定したらゆっくりとプラスチック板だけを持ち上げる。すると、コマは黒い台から約 3cm の高さで浮遊をする。そこで、プラスチック板をはずすとコマだけが空中で回り続ける。黒い台の中にはフェライト磁石があり、同様の磁石が入っているコマを台の中央付近に持っていくと、コマは磁石同士の反発力でひっくり返ってしまう。

空中浮遊ゴマは、今回私たちが実験で使用した「U-CAS」の他にも、株式会社テンヨー製の「レビトロン・ゼロ」という商品も発売されていたが、現在は共に製造が中止され、インターネットのオークションでしか入手できない。

私たちは空中浮遊ゴマの滞空時間を延ばす研究を行った。その結果、コマの初期回転数を上げてコマの滞空時間を延ばすには限界があることがわかった。

また、付属品のおもり（Figure3）を用いてコマが安定して回るときのコマの質量を日によって変えなければならない最大の原因は、磁石の温度変化による磁場の強度の変化だとわかった。



Figure3 : 空中浮遊ゴマの付属品のおもり

## 2 研究目的

メンバーの一人が小学校の頃からコマの研究をしていたことや、世の中にはさまざまなコマがあるが、その中でもあまり知られていない空中浮遊ゴマの仕組みに興味を持ったことがきっかけとなり、私たちは先行研究を調べた。

先行研究では、コマを真空中で回したり、コマに羽をつけたり、電磁波で回転を加速させたりする方法があった。そこで私たちはまだ実験されていない方法によって、コマの滞空時間を延ばすことを研究の目的とした。また、コマが浮くときの質量は日によって変える必要があったが、その理由について調べた人はいなかったので調べることにした。

## 3 研究方法

はじめに、空中浮遊ゴマ (U-CAS) と、コマを回すときの回転数を一定にするために U-CAS 専用のスターター (U-CAS STARTER : 株式会社増田屋コーポレーション) を用意した。

研究方法の概要は、ハイスピードカメラで撮影した画像をパソコンで解析することでコマの回転数や滞空時間を調べた。また、エアコンで室温を変化させてコマが浮くときの室温や磁場の強度をそれぞれ温度センサ、磁気センサで測定した。

### 予備実験 I : 空中浮遊ゴマが浮くときの磁場の強度と位置の関係

はじめに、黒い台(フェライト)の磁場の分布とコマが浮いているときの黒い台の磁場の分布を調べた。

#### ○実験器具

磁気センサ (株式会社島津理化 PS-2162), U-CAS, パソコン

#### ○実験方法

初めに、黒い台の上に方眼用紙を貼った。磁気センサで黒い台の磁場の強度を高さ 0~5[cm]の間で横一列を 1cm おきに測定した。

次に、コマが浮遊する位置 (台から約 3cm 上) にコマを設置した。この時、手ではぶれるので、スタンドを用いて固定した。浮いているコマ周辺の磁場の強度を磁気センサでコマが浮いている高さと同じ平面上の横一列を 1cm おきに測定した。実験は 5 回行った。

#### ○結果

Figure4 は台を横から見た時の磁力線を手書きで記したグラフである。

Figure4 は測定した値を 50 で割り、その値が整数になるように四捨五入した。測定した地点で整数の数だけ点を横並びにうった。真ん中から外に向かって点と点を線で繋いだ。

Figure5 は縦軸が磁場の強度、横軸が測定した位置を表している。Figure5 の数値は 5 回の計測値の平均値を表している。グラフから、コマにも磁石がついているため、コマが浮いている位置の周辺で磁場が急激に変化していた。このことから、コマが少しでも傾くと飛んでいってしまうことがわかった。

また、コマは台の中心の磁場が弱いところで浮いていること (Figure4, 5) がわかった。

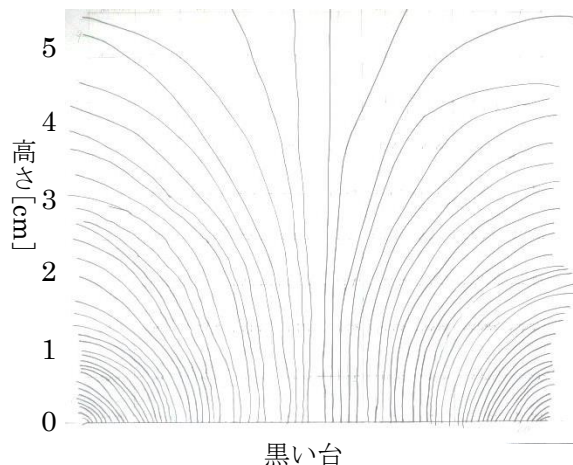


Figure4 : 黒い台の磁力線

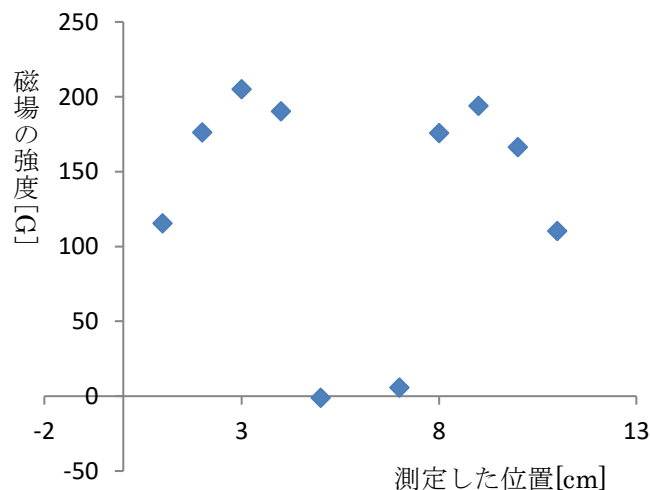


Figure5 : 測定した位置における磁場の強度の変化

### 実験Ⅰ：コマの回転数の滞空時間に伴う変化

#### ○実験器具

ハイスピードカメラ（株式会社カシオ計算機 EX-F1）、U-CAS、パソコン

#### ○実験方法

実験の前にコマにペンで軸方向に赤い印をつけておき、コマを回し浮遊させてからコマが落ちるまでをハイスピードカメラで撮影した。

コマは空中に浮いてすぐの段階では留まって浮遊するか飛んでいってしまうかの判別ができないので、コマが浮いてから3秒たったものを滞空したものと見なし1秒間の回転数を測定した。また、一定時間ごとにコマの回転数を測定することで1回の測定で最低5回のデータを取ることができるようにした。（例：滞空時間が短いとき→2秒おきにデータを測定。滞空時間が長いとき→5秒おきにデータ測定。）実験は100回行った。

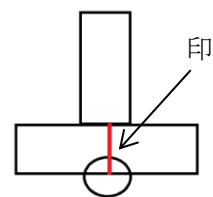


Figure6：コマの印

### 実験Ⅱ：コマの回転数の上昇に伴う滞空時間の変化

実験Ⅰからコマの回転数を上げ、同様の実験を行った。

#### ○実験器具

ハイスピードカメラ、電池（MITSUBISHI FM-5H）、スターター、U-CAS

#### ○実験方法

コマを回すスターターの回転数を上げるため電池を1.5[V]から3.0[V]に換え、実験Ⅰと同様の実験を行った。実験は61回行った。

### 実験Ⅲ：コマの質量と室温との関係

私たちは空中浮遊コマを回す前その日ごとに、コマの質量を付属のおもりを付け替えることによって調節しなければならなかった。その理由を室温の変化が原因ではないかと仮定し、コマの質量と室温との関係を調べた。

#### ○実験器具

温度センサ（株式会社島津理化 PS-2125）、U-CAS、パソコン、電子天秤

#### ○実験方法

室温を温度センサで測定した後、コマを浮かせ安定して浮いた時の設定した質量を測定する。

### 実験Ⅳ：磁石の温度と磁場の強度の関係

実験Ⅲからコマを回す台の磁石の温度と磁場の強度の関係を調べる実験を行った。

#### ○実験器具

ホットプレート、冷凍庫、U-CAS、パソコン、温度センサ、磁気センサ

#### ○実験方法

はじめに、黒い台をホットプレートの上に置いた。

次に、温度センサで台の温度を測定しながらホットプレートの温度を上昇させ、40℃ほどになるとホットプレートからはずした。

それから、コマを浮遊する位置（台から3cm上）に固定し、磁気センサをコマと台の間に設置した。

すると、台を放置しておくことで、磁石の温度は徐々に低下するので、その際の磁場の強度の測定を行った。

尚、温度センサは実験開始から終了まで磁石に取り付けておいた。



Figure7：実験Ⅳの実験装置

## 4 結果

### 実験Ⅰ：コマの回転数の変化に伴う変化

下のグラフは測定した中で初期回転数の値が違うものをピックアップしている

測定したもののすべてに同じ傾向が見られた。コマの回転数は時間の経過とともに低下していき、28[回/s]以下になると落下した。また今回の実験で初期回転数が大きいと滞空時間は延びるという結果になった。だが、コマを回すスターターの上限が 49[回/s]であったため、よりコマの回転数を上げるため電圧の大きい電池を使い実験Ⅱを行った。

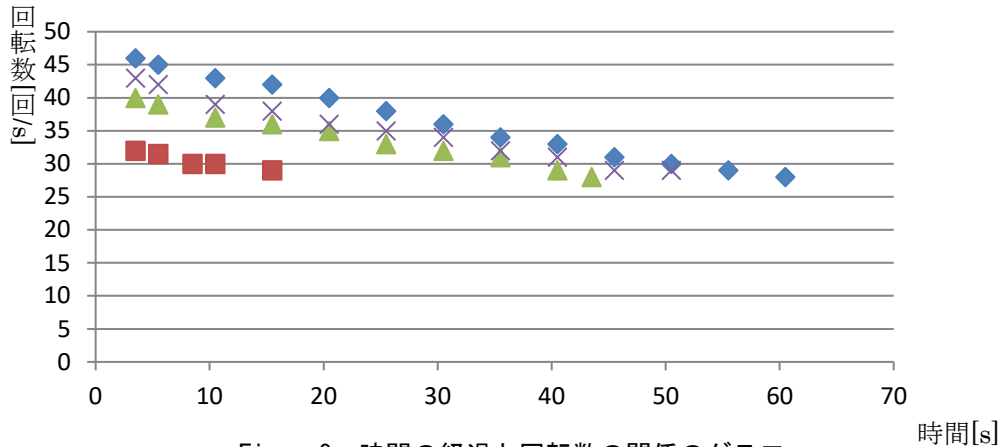


Figure8：時間の経過と回転数の関係のグラフ

### 実験Ⅱ：コマの回転数の上昇に伴う滞空時間の変化

実験Ⅰをふまえて、スターターの電池を変えてみたところ 3.0[V]のものが良いと分かった。そこで、それを用いて実験Ⅱを行った。

コマの回転数を上げることにより実験Ⅰの結果よりさらに長時間の滞空が可能になると仮定をしていたが、コマは浮かせてみるとすぐにバランスを保てなくなり、台から外れて飛んでいってしまった。したがって、コマの回転数を  $n$  とすると、コマは  $28 \leq n \leq 49$  の間のみで浮遊することが分かった。

### 実験Ⅲ：コマの質量と室温との関係

Figure9 は室温の変化に伴うコマの質量の変化を表している。Figure10 は参考として、Figure9 のデータを元に 3°C 間隔での質量の平均値を表している。

コマの質量は室温が上昇していくごとに低下していることがわかった。したがって、コマの質量の変化の原因は、室温の変化による磁石の温度変化、そしてそれによって磁場が変化したことではないかと仮定し、実験Ⅳを行った。

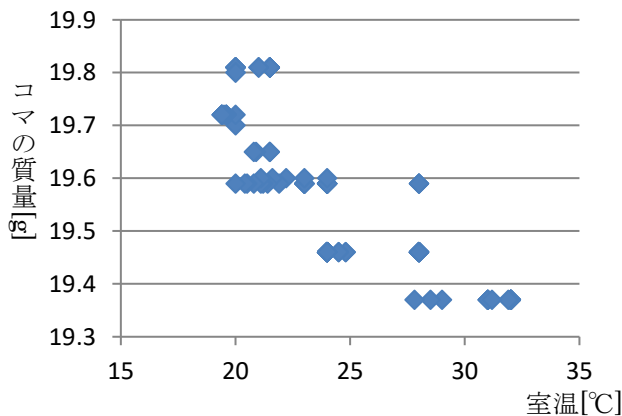


Figure9：コマの質量と室温の関係のグラフ 1

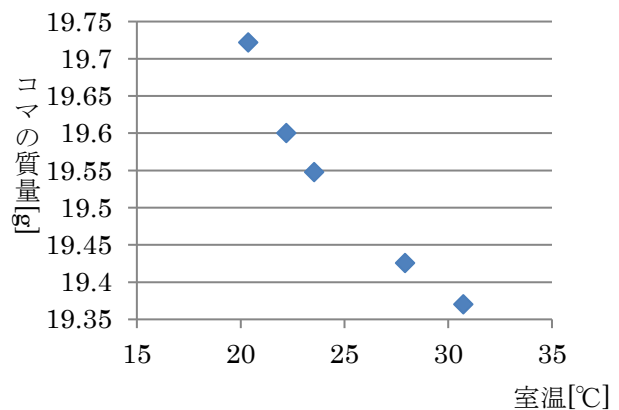


Figure10：コマの質量と室温の関係のグラフ 2

#### 実験Ⅳ：磁石の温度と磁場の強度の関係

グラフは磁石の温度の変化による磁場の強度の変化を表している。

中心付近で測定を行っているが厳密にはすべて同じ位置では測定していないのははじめの段階で磁場の強度がばらついている。磁石の温度が高くなると台の磁場の強度は低下した。

したがって、コマの質量変化の原因は磁石の温度変化による磁場の強度変化だとわかった。

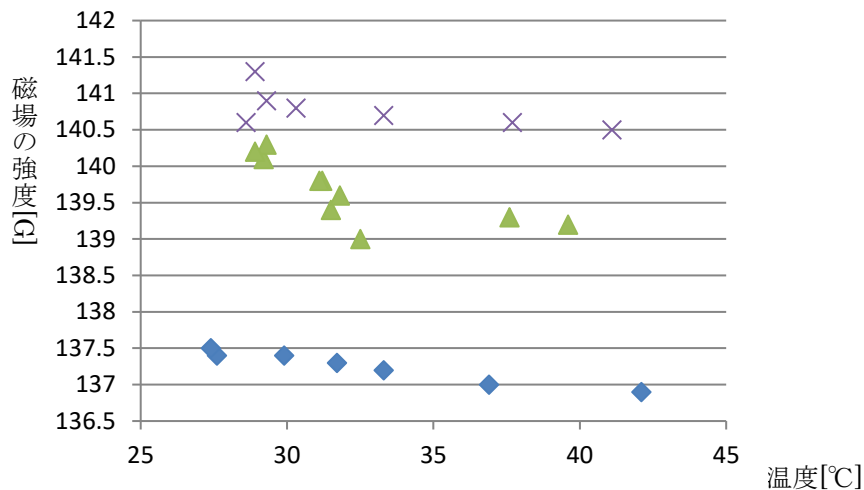


Figure11：磁場の強度と温度の関係のグラフ

#### 5 考察

実験Ⅰ・Ⅱからコマの回転数を  $n$  とすると、 $28 \leq n \leq 49$  の間でのみコマは安定した状態で浮遊することが分かった。更にこの範囲のとき、 $n$  が大きい程滞空時間は長かった。角運動量  $L = mr \times v$  ( $m$  は質量、 $v$  は速度、 $r$  は位置)より、回転速度が減少すると速度  $v$  が小さくなるので角運動量が小さくなる。

したがって  $n < 28$  の時は、角運動量が小さいため、姿勢を保てなくなると考える。

だが  $49 < n$  のときジャイロ効果は強まるため安定して浮くだろうと仮定していたが、結果では安定せずコマは飛んでいってしまった。この原因として、電磁気学的な影響ではないかと考えている。

たとえばコマの回転が速すぎた場合、急激に磁場が変化することによる渦電流がコマに影響を及ぼしている可能性が考えられる。今後は、この仮定を基にコマが回転している際の磁場の空間分布の測定実験を行いたい。

実験Ⅲ・Ⅳでは実験をする日によってコマの質量を変えなければならない原因は、室温の変化によって磁石の温度が変化し磁場の強度が変化していたことが原因だと推測できた。だが実験Ⅳの反省点はホットプレートで台の磁石の温度のみを変えており、コマの磁石の温度は変えていなかったことである。したがって、コマの質量の変化率と磁場の強度の変化率が同じ程度かを検証することが出来ない。今後の課題として、コマと台の温度を同時に変化させて同様の実験を行いたい。

#### 6 結論

- ①  $28 \leq n \leq 49$  ( $n$  はコマの回転数)の間でのみコマは安定した状態で浮遊する。
- ② U-CAS の台の磁石は、横軸を温度 [°C]、縦軸を磁場の強度 [G] とすると平均で傾き 0.044 で減少する。

#### 7 参考文献

U-CAS の物理 <http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/labo/u-cas.htm>  
レビトロン・ゼロの説明書

#### 8 謝辞

今回の研究を遂行するにあたり、終始御指導及び御教示を賜りました高松第一高等学校の本田一恵先生、神奈川県立柏陽高等学校の山本明利校長先生、愛媛大学大学院理工学研究科の小西健介准教授、ならびに高松第一高等学校の先生方に深く感謝申し上げます。