

U-CASの物理

湘南台高校・山本 明利

《U-CASを浮かす》

U-CASは94年秋頃からちょっと話題になったおもちゃです。銀色のコマが中空に浮いて回転するもので、黒い台の上に数センチ浮遊して、ふらつきながらも回転を続ける光景はとてもマジカルで、初めて見る人を驚かせずにはおきません。発売元は増田屋コーポレーション（〒111 東京都台東区蔵前2-6-4 Tel. 03-3861-0151代）で、玩具店、デパート、量販店、東急ハンズなどの他、中村理科や仮設社経由でも入手可能です。

中村理科の自由実験室をお借りして行われた12月例会の際、YPCのメンバーは会場にたまたま置かれていたU-CASに大いに感動し、例会の帰りに早速御徒町へ買い出しツアーを組んだのでした。私もこのとき入手したのです。

浮遊させるにはコツがあって、なかなか一筋縄ではいかないのですが、ポイントはコマの重量（調整用のウエイトが付属している）と台の水平（調整用のくさび付き）で、特に前者が極めて微妙です。あとは根気あるのみ。私も一時間ぐらい根をつめて挑戦して、やっと成功しました。安定条件さえつかめば、同じ条件下では比較的楽に浮くようになります。浮遊の原理が磁気力であることは容易にわかります。台もコマも強力な磁石です。磁場の目に見えない「ポテンシャルのくぼみ」にコマをのせるのです。

場所が変わると安定条件が変化するので、人前で見せる時には必ず「仕込み」が必要です。私も授業と忘年会の余興(^;)でやりましたが、いずれも調整に30分以上かけています。授業では大いにうけをとりましたが、忘年会ではしくじって齷齪でした。酒が入ると集中力が・・・(^_)

さて、新年早々、通信ネット・NIFTY-Serveの教育実践フォーラムFKY01KUの「理科の部屋」で、このU-CASの話題を持ち出したところ、たいへん盛り上がり、全国の理科の先生方がよってたかってU-CASの構造解明と浮遊の原理の究明に乗り出しました。以下はそこでの議論を通じて明らかになったU-CASの「秘密」の暴露記事です。

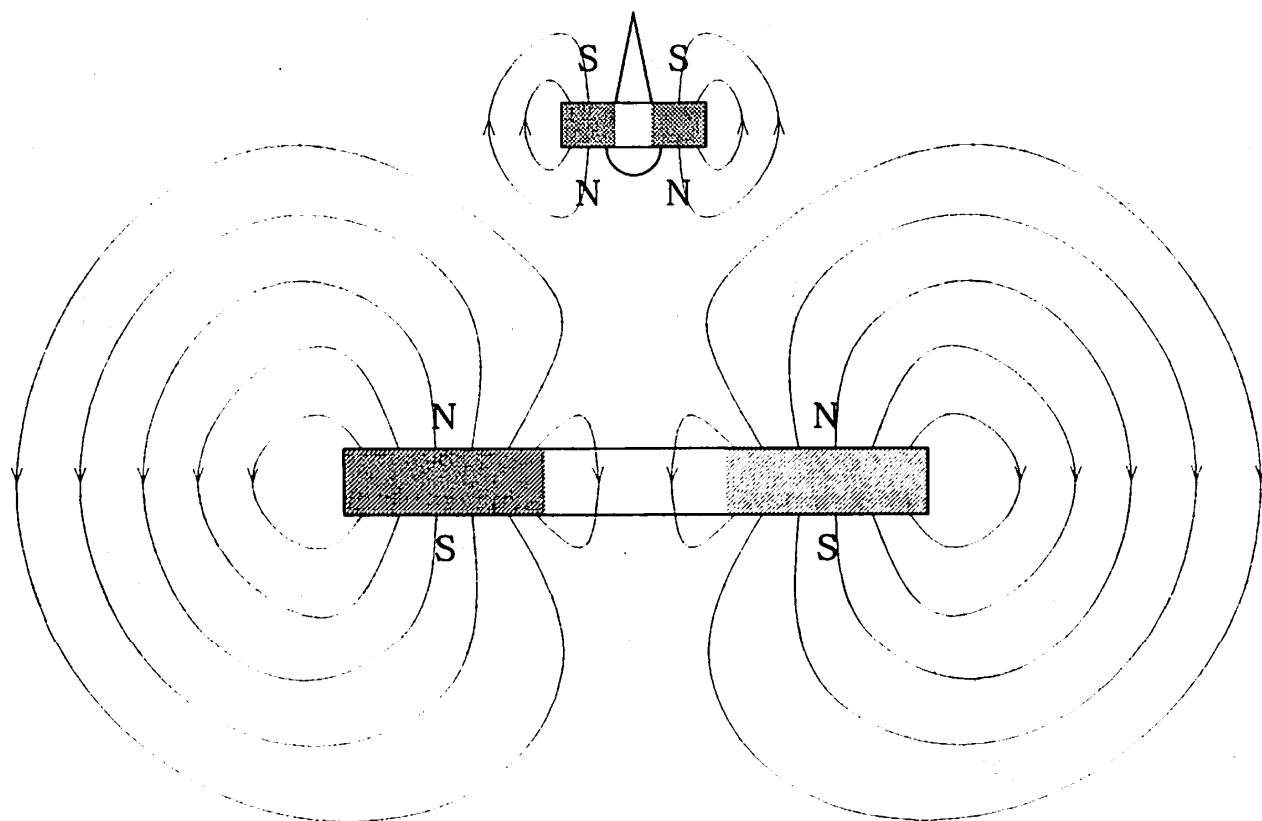
《U-CASの磁場》

構造を解明するといっても、いきなり分解したのでは無粋なので、まずはオーソドックスに鉄や棒磁石を使っての「手探り」で、台（ベース）やコマにどんな磁石が使われているかの推定から始めました。

すぐにわかることは、台の磁場は中央で弱く、周辺部で強いこと。ドーナツ状に磁極が分布しています。極性は上がN極、下がS極です。コマはこの逆の極性です。このことから、私はすぐにフェライトの大型リング磁石を連想し、これが台の中に埋めてあるものと推測しましたが、はたしてその真相はいかに・・・

棒磁石、方位磁針、磁性流体と、手許にあるものを総動員してのリサーチの結果、U-CASの台の周辺磁力線は下の図のようになっているらしいという結論に達しました。上面から見た磁力線の大半は外側を通りますが、近道して中心を通る磁力線も若干あるようです。コマを持ち上げていくと、ずっと浮き上がる点があることから、中央の上部には磁力線がくびれているところがあり、コマはこのくびれの上に浮くと考えられます。

U-CASの調整の最重要ポイントはバランスウェイトによる重量の加減ですが、重すぎるとこのくぼみの下の「穴」に吸い込まれてしまい、軽すぎるとくぼみが浅いので、不安定になってはじき出されてしまいます。うまくはまり込んでしかも墜落しない範囲はごくわずか(±0.05g程度)しかないようです。



推定したU-CASの周辺磁力線(影をつけた部分が磁化されている部分)

《U-CASの構造》

ここまでは外から手探りで、目には見えない内部構造や磁場の様子を推定してきました。しかし、真相を知るにはやはり分解が近道。

コマの方の構造は偶然わかりました。トライアル中に、誤ってコマを床に落としてしまったのですが、その衝撃でコマの接着部が外れて、はからずも内部が観察できてしまいました。中に入っていたのは外径28.6mm、内径（穴の直径）10.0mm、厚さ4.8mmのフェライトリング磁石です。N極を下にして組み立てられています。あとはプラスチックの外装（下の部分に磁石をすっぽりはめ、上の部分でふたを被せる感じ）だけで、何も仕掛けはありませんでした。幸いプラスチックは割れなかったので、もとのようにはめこんで復元しました。

一方、台（ベース）の方は、少々乱暴にこじ開けることになりました。中にはドーナツ状のリング磁石が・・・と思いきや、意外や意外、正方形の磁石が入っていました。中央には穴はあいていません。台の外装より一回り小さいだけの、一辺10cm、厚さ1.2cmの正方形のフェライト板磁石です。ちょうど3.5インチのフロッピーディスクが入っているプラスチックケースを厚くしたぐらいです。それが外周部だけ幅2cmほどずつ磁化されているのです。したがって、磁極の分布は円形ではなく「角がやや丸くなった正方形」です。中央付近は同じ材質が続いていますが、強くは磁化されていません。こんな磁石を今まで見たことがなかったもので、これはまったく予想できませんでした。

《フェライトリング磁石でもコマが浮かぶ！》

予想は大きく裏切られたものの、磁場の構造に関しては前記の議論は大筋で合っているようなので、これだけの単純な構造なら、他の磁石を使っても浮かだろう、というのが次なる挑戦です。YPCで以前共同購入した、強力な大型フェライトリング磁石（外径9cm、内径4cm）の上でU-CASのコマが浮かぬか・・・

アクリル板にコマをのせて、上記のリング磁石の中央で回転させると、U-CASの台上で回転させたのとよく似た運動をします。これは脈ありと、ややしばらく奮闘しましたが、残念ながらリング磁石1個では磁場が弱くて浮上に至りません。おもりを全部はずしてもコマが重すぎるのです。

ところが、同じ磁石を2個重ねてみたところ、がぜん磁場が強くなり、今度はおもりを追加しなければならぬほどになりました。（棒磁石だと直列つなぎしても磁石の強さは変わらないはずですが、この場合明らかに強くなります。）ほとんどのおもりを装着して（総計約8g分）試行錯誤すること約20分。U-CASのあの銀色のコマは、むき出しの2枚重ねフェライトリング磁石の上に静かに浮いたのです。

この試みは、熟練の結果1分30秒まで滞空時間を伸ばしました。専用台の「四角い磁石」でなくても確かに浮きます。浮上させるまでは、磁気力が強いのでコマが暴れて少し難しいのですが、浮上してしまえば、こちらの方が軸のブレも小さく、安定した感じで浮きます。メーカーがなぜ「四角い磁石」を選んだのか知りたい気もします。いずれにせよ、これでU-CASは自作可能だということがわかりました。

《U-CASの力学》

U-CASの浮上の原理は言うまでもなく重力と磁気力のつりあいなのですが、安定の条件を考察してみましょう。

まず、浮かんだ状態が安定であるためには、そこから下に変位すると磁気力が増し、上に変位すると磁気力が減少して、常につりあいの点に向かって復元力が働かなければなりません。左右に変位した場合も同様です。これらの条件を満たすために、台の周辺の磁場は前掲の図のような形をしている必要があります。ことに中央上部での磁力線のくびれが重要です。

もう一つ、なぜ浮く方がコマでなければならないかですが、コマは上がS極ですから逆立ちして台に貼りついてしまうのが一番安定です。この上下反転が起こらないように、ジャイロ効果で軸方向を保っているわけです。この回転はぜひとも必要で、回転が鈍るとコマは不安定になり逆さに墜落します。

《新たなナゾ：コマはなぜ落ちるか》

床との摩擦がないのだから、コマの運動を阻害する要素は空気抵抗ぐらいだと考えるのは自然です。それさえもなければコマは永久にとは言わないまでも、極めて長時間滞空するのではないかと・・・私もこれを期待して、実際にやってみたのです。浮かせる技術を習得して最初に試みた実験です。

用いた道具は真空デシケーターと真空ポンプです。真空デシケーター内にU-CASの台をセットし、普通に空気のある状態で浮くように調節します。うまく浮かせた時の滞空時間は、空気中では2分ぐらいです。安定して浮いたのを見定めて、急いでデシケーターの蓋をし、真空ポンプで排気します。

真空ポンプの能力一杯までの排気には少々時間がかかりますが、デシケーター内の気圧は、かなり急速に下がり、数十秒で有意な真空度に達します。この時点でコマはまだ浮いています。見たところ空気中と同じようにふらつきながら・・・

空気抵抗は、空気の密度に比例するものなら軽く百分の一以下を達成しているはずですが、しかし、滞空時間が百倍も伸びるか期待して見守る目前で、コマは

あえなく数分で墜落してしまうのでした。

統計的に有意な差を見出せるほど回数をこなしていないので、断定的なことは言えませんが、確かに空気中よりは若干滞空時間が伸びたような気はするのですが、数倍にも達していないようです。せいぜい、1～2分が3～4分になるといった程度。ただ、なにぶんコマを浮かせるという部分がデリケートな手作業なので、1回や2回では結論が出せません。いずれ、もう少し条件を整えて、できるだけ精密な比較実験を試みたいと思います。

とりあえず、以上の予備実験の結果に対し、いくつかの仮説が作れます。

- (1) 真空ポンプの振動や、排気時の空気の流れなどがコマの運動を乱すので、条件を整えれば、真空中では極めて長時間滞空させられるのだ。
- (2) コマのエネルギーを減少させる主な原因は空気抵抗ではなく、電磁波の放射や、コマの外側のメッキ部やおもりの真鍮リングに生じる渦電流による誘導ロスである。
- (3) 台やコマの磁場が正確に軸対称でないことにより、ブレーキを生じる過程がある(2の前半に含まれるか)。空気抵抗は主原因ではない。

このへんは物理学的には大変興味深いので、新たな話題になるかと思います。

《おわりに》

以上の報告は、本年1月のNIFTY-Serve・FKYOIKUへの私の書き込みをリライトし再構成したものです。同所での議論を深めてくださり、貴重な示唆をいただいた、理科の部屋の世話人の楠本さんをはじめ、玄武さん、薬師さん、桑原さん、VECTORさん、梅さん他の皆さんに、この場を借りて御礼申し上げます。