

不思議の大王こまたち ～逆回転に見える条件～

浜松市立北星中学校

2年 阿部亜音

1 研究の動機

昨年「ベンハムのこま」という不思議なコマに出合ったことにより「見える」ということはどういうことなのかを探りながら、目の仕組みや錯視による色の見え方の条件について研究した。その結果、色の見え方には規則性があることが分かった。そして、研究している中で、「大王のこま」「ニュートンのこま」にも出会い、主観色や逆回転しているように見える現象について規則性や原因等について研究することにした。



2 研究の目的

大王コマの様々なパターンの模様を調べたり、様々な環境で観察したりすることにより、ベンハムと比較しながら色みのある色がついてみえる原因や仕組み、規則性を探る。また、回転の仕方、見え方の原因を探る。さらに、「見える」ということについて考える。

3 仮説

＜色みのある色の出現の原因を探る＞

（仮説1）色みのある色がカメラで撮影できなかったなら、錯視（主観色）である。

＜色みがある色の出現の条件を探る＞

（仮説2）回転の速さ、光の種類など条件を変えて比較すれば、大王コマの色みのある色の出現する条件が特定できる。

＜回転するとある時に逆回転したように見える原因と条件を探る＞

（仮説3）回転の速さ、光の種類など条件を変えて比較すれば、大王コマの模様の回転の様子が変わる条件が特定できる。

4 研究方法と結果・考察

＜実験装置の改良・工夫について＞



これにより、昨年までの曖昧にしていた視点の位置という条件制御をよりの的確に行い、仮説の条件や規則性の特定を確実にできるようになったと言える。

昨年度製作した実験装置は、回転スピードが自由に調整でき、安定して回転する様子を観察できたが、真上を向いていたため、観察する視点が安定できなかった。しかし、今回の実験は、前回以上に光の当て方、観察の位置（目の位置）などの条件を的確に制御し、正確に比較しないと原理が特定できないし、カメラで連続撮影もするため、回転台の台座を20度程度傾けて設置することにした。



円盤を意図的に傾けた

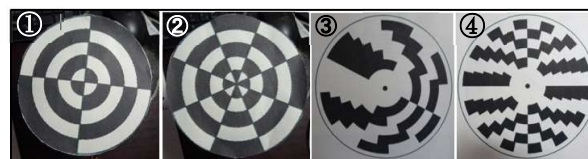


(1) 実験1「色味のある色は、錯視か現実かを探る」(仮説1検証)

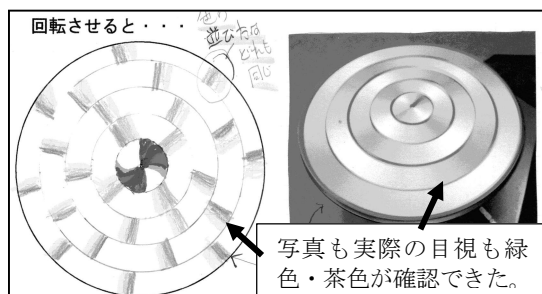
4種類のパターンの図柄の大王コマを作成し、それぞれ回転させ、自分の目で観察したものとデジタルカメラで撮影したものを比較し、仮説の検証をした。

<結果・考察>

実際に目で見ると、ある速さで回転している時に4つの図柄がともに緑、黄色が観察できた。特に不規則な柄(③、④)より4分割、8分割(①、②)の柄の方がはっきりと色が出て見えた。そして、デジタルカメラの撮影したものは、どれも回転時に目で見たと同じように、緑、黄色の色味のある色が撮影できた。



実験をした4種類の図柄



図柄	①	②	③	④
目で確認	緑、黄色 白、水色	緑、黄色 白、水色	緑	緑、黄色 水色
カメラで確認	黄色、緑 水色	黄色、緑 水色	緑、水色 黄色	緑、黄色 水色

念のため、違うメーカーのデジカメで撮影しても同様な結果になった。ベンハムコマのように規則性は感じられなかったが、結果から、「大王コマの回転時にみられる色味のある色は、錯視(主観色)であるとは言いきれない。」ということが分かった。

(2) 実験2「光源を変えることにより、色みがある色の出現の条件を探る。」(仮説2検証)

色みのある色が写真に写るといことは、主観色でない可能性が高いと言える。そこで、光源によって色みのある色の見え方が違うのではないかと仮説を立て、検証した。

<結果・考察>



蛍光灯・LED・白熱灯・太陽光の4種類で実験

4種類の光を大王コマに当て、色みの色が写真に出るかを調べた。予想では、太陽光はいろいろな光の要素があるので色みのある色は出ず、他の光には出るのではないかと考えた。

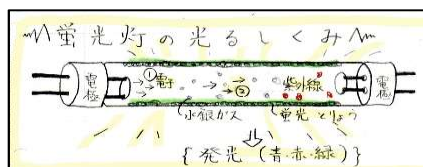
しかし、写真に色みの色が出たのは27W白色系の蛍光灯のみであった。他の3種類の光では、

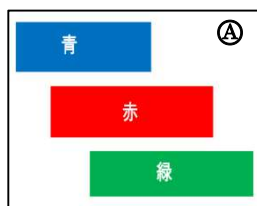
	蛍光灯	LED灯	白熱灯	太陽光
目視	緑・黄・水色	白・黒	白・黒	白・黒
写真	緑・黄・水色	白・黒	白・黒	白・黒

白と黒の色しか確認できず、色みのある色は分からなかった。このことから、色みのある色の出現には蛍光灯の光が関係しているのではないかと推測できる。

そこで、蛍光灯の仕組みを資料で調べたところ、①フィラメントから電子が飛び出す。

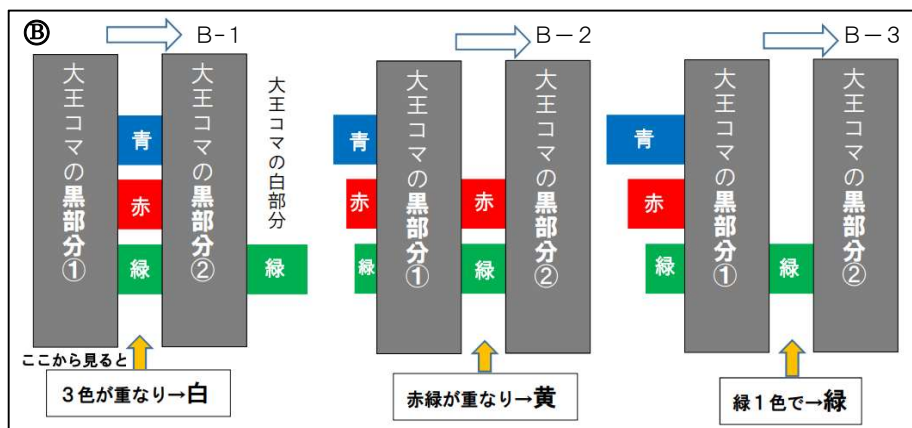
②電子が水銀蒸気につかり紫外線が出る。③紫外線が蛍光物質に当たり、青→赤→緑の順に発光し1秒間に120回点滅する。ということが分かった。つまり、色によって光る時間の差があるから部分的に見ると、白・黄色・緑の三色が見られるのではないかと考えられる。





図④のように蛍光灯から時差で出てきた光の三原色の3色が、大王コマの白色の部分

当たって反射して目に入ってくるが、コマが回転していると、黒が瞬間的に入ってくる。すると図⑥のようにB-1では、3色が目に入るので「白」、B-2では、赤と緑が混ざり「黄色」、B-3では、緑のみで「緑」に見えるのではないかと推測できる。しかし、この推測は、蛍光灯の原理と実験の結果を照らし合わせて推測したものであり、「そう考えられる」とどまるものである。



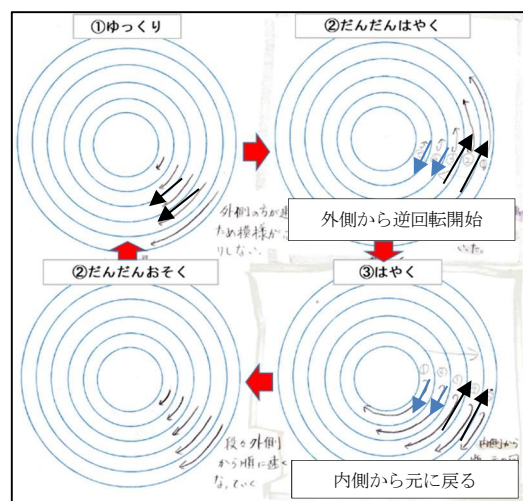
(3) 実験3「回転の速さを変えて模様の回転の様子を観察する」(仮説3検証)

大王コマの模様は、細かく動きが分かるように、実験1-④を使って5つの帯の動きの様子を観察した。

<結果・考察>

「ゆっくり」から「だんだん早く」していくと、外側から逆回転をして、内側に広がっていった。遅くしていくと、逆に、内側から順に元の向きに戻っていった。これは、デジカメで連写機能を使い、撮影しても逆回転の様子は観察できた。

これらの結果から、模様の帯の逆回転は、回転の速さが関わっていることが分かった。



(4) 実験4「光源の条件を変えて模様の回転の様子を観察する」(仮説3検証)

<結果・考察>

実験3では、逆回転が起きている時、実験1のような色みのある色が観察された。このことから、逆回転には光源の種類が関係しているのではないかと考えられる。そこで実験2の4種類の光源で実験を行った。

その結果、蛍光灯以外の光源は、回転の変化は観察できなかった。蛍光灯の光に原因があることが分かった。

	回転の様子
蛍光灯	逆回転の確認
LED灯	模様の変化なし
白熱灯	模様の変化なし
太陽光	模様の変化なし

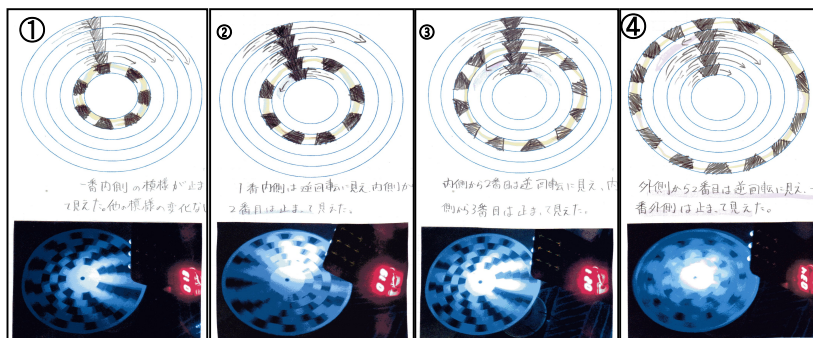
(5) 実験5「光を意図的に点滅させて模様の回転の様子を観察する」(仮説3検証)



なぜ蛍光灯にだけ逆回転が観察できたのかを考えると、先に資料で調べた「蛍光灯の点滅」ではないかと考えられる。そこで、以前浜松科学館の職員の方から聞いた「1秒間に点滅する回数を変えられるストロボライト」を使い、回転時の模様の見え方の変化について観察した。

(点滅：1回/秒～100回/秒)

<結果・考察>

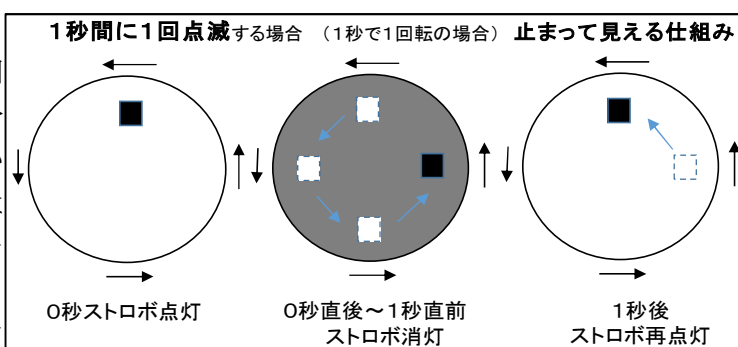


① 1 3回/秒では、内側の模様が止まって見えた。② 1 9回/秒では、内側が逆回転、2列目が停止。③ 2 1回/秒では、内側1、2番目逆回転、3番目が停止…。

回転している時、速さは内側より外側の方が早い。なので、

点滅回数を増やせば、内側から外側の方へ止まって、見えるのが移っていくのではないかな。つまり、回転の速さと点滅回数のタイミングが一致したとき、止まって見えるのである。

止まって見える原理は、右図のようにちょうど1回転する度に1回ストロボが点灯する例を考えると分かりやすい。ストロボが消えて暗いうちに一回転するので、見かけでは動いていないように見えるのだ。そして、このタイミングより少し早く点滅すると見かけでは、逆回転しているように見えるわけである。資料によると、この現象を「ストロボ効果」といい、蛍光灯の点滅が、その現象を引き起こしたのだと考えられる。



しかし、テレビや映画、その他の場面でも見かけることのあるストロボ効果の原因は何だろうかと思い、資料で調べた。すると、テレビ、映画は一秒間に何枚かの静止画を順々に映して動画になっているため点滅しているのと同じ状態のようになるからだということが分かった。

5 まとめと今後の課題

昨年に引き続きこまの回転から生まれる不思議な現象について探ってきた。その中でも大王コマの逆回転の現象は、不思議で、はじめ全くどう解決していったらよいか分からなかったけれど、考えられる条件を一つ一つ確認していくと少しずつ解決の糸口が見えてきて、充実した研究ができた。また、今回は資料で、「蛍光灯の原理」など調べ、知識をもたないと解決できないことも多いと思った。研究には幅広い知識と想像力が必要であると強く感じた。

今回研究まで至らなかった「ニュートンのこま」や光の合成、色の合成についてもまだ知らないことがたくさんありそうなので、今後も研究を続けていきたいと思う。

6 参考図書・参考ホームページ

- ・身の回りの光と色 加藤俊二 著
- ・アリスの猫の秘密～視覚と錯覚～ 湯口秀敏他 5 人共訳
- ・よくわかる身の回りの現象物質の不思議 国立天文台編
- ・どうして色が見えるのか 色彩の科学と色 p c 覚 池田光男他 1 人
- ・科学館員の独り言 nandemo-lab.cocolog-nifty.com
- ・ベンハムのコマの実験 <http://www.geocities.co.jp/Technopolis/2759/benhamu.htm>
- ・走っているくるもの車輪が逆回転しているように見えるのはなぜ?
<https://f-navigaion.jp/column/life>
- ・蛍光灯の仕組み (中部電力電気シリーズ) <https://www.chuden.co.jp/kids/denkipaper/2008>