

## ベンハムコマの秘密 ～色が見える条件について～

浜松市立北星中学校

1年 阿部亜音

### 1 研究の動機

小学校の時から、音と光について研究をしてきた。3、4、5年生では、音・光の伝わり方、仕組みについて糸電話やレーザーポインターなどを使って調べた。そして、6年生では、音の受け側の「耳」について、聞こえるとはどういうことか研究した。今回は光と色をテーマに、「ベンハムのコマ」を使って、見えるということ、色について調べてみることにした。



### 2 研究の目的

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、ベンハムのコマの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。そして、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＞

- (1) 写真で色みのある色がカメラで撮影できたり、多くを隠して一部だけ見ても色みがある色が観察できたりするなら、錯視ではないであろう。

＜色みがある色の出現の条件を探る＞

- (2) ①動く速さ、②ラインの太さ、長さ、位置、③塗りつぶしたところの割合、④色、⑤回転の方向などのある条件を満たしたときに、色みのある色が出現するだろう。

＜目の仕組みや見えるについて探る＞

- (3) 上記の研究結果や資料を比較し検討すれば、目の仕組みと「見える」とは、どういうことかについて明らかになるだろう。

### 4 研究方法と結果・考察

＜実験装置の工夫について＞



コマの形にして実験をすると、回すたびに速さが違ったり、コマの勢いで動いてしまい安定せずに正確に記録できないと感じた。

そこで、

- ① 回転スピードが自由に調整できる。
- ② 安定して回転する。
- ③ 逆回転もすぐできる。

3つの条件を満たすコマの代わりになる実験装置を考えた。

①③の課題を解決するために、手回し発電機を使った。

②の課題を解決するために、いらなくなったCDを台にした。

これにより、条件を制御し、比較実験ができるようになった。



(1) 実験1「色味のある色が見える原因を探る」

<実験の結果>

① 写真を撮って、実際の見え方と比較

どの角度で撮影しても白と黒そして黒が薄くなった色（灰色）しか観察されず、実際の目で見た時のような色味のある色は見られなかった。



白黒だけしか見えない写真



実験1 - ②

② 他の部分を隠し色味のある部分だけを観察

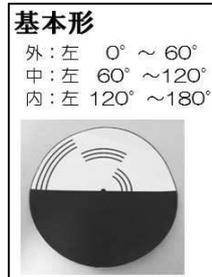
全体を見ると色味のある色（赤・黄・緑）が観察できたが、その部分以外を隠すと色味のある色が消えた。

<考察>

色味のある色は実際の目でないと現れない。色味のある部分だけでなく全体が視野に入っていないと色味の色は出現しないということが分かった。これらの結果から、白と黒から色味のある色が見えるのは錯覚（錯視）であると考えられる。資料によると、この錯覚によって観察できた色味のある色のことを主観色ということが分かった。今後色味のある色のことを主観色とよぶ。

(2) 実験2「色味のある色の出現の条件を探る」

右図の形を基本形（ライン3本、ラインの太さ3mm）と決めて、①速さ、②ラインの太さ、③塗りつぶしの割合、④長さ、⑤色、⑥位置、⑦回転の方向などの条件を変えて調べ、色味のある色の出現の条件を探った。

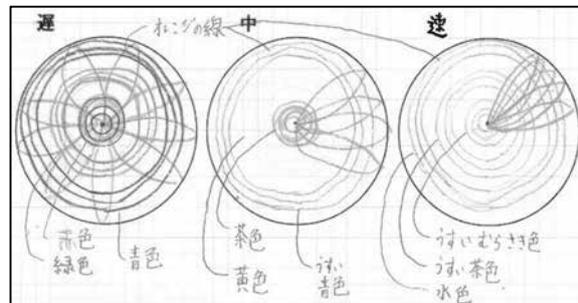


<実験の結果>

基本形の結果

見えた色	外側	中	内側
遅い	黒に近い青	草色	黒っぽい赤
中	うすい青	黄色	うすい赤茶
速い	水色	うすい緑茶	うすい紫

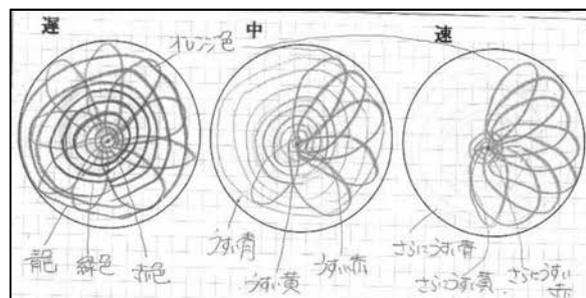
元の色は、白・黒しかなかったが回すことによって外側から、青・黄緑・青が観察できた。



① 回転の速さについては、速くするほど、見える色味のある色は薄く見えた。しかし、放射線状に見えたオレンジ色の線の濃さは、速さに影響を受けないようだった。

② ラインの太さについて

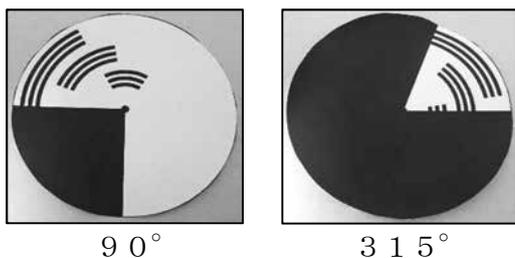
ラインの太さ	外側	中	内側
ラインなし	白黒	白黒	白黒
ライン2mm	紫	黄色	赤
ライン4mm	青	緑	赤
ライン12mm	青	緑	赤



ライン12mm（太い）時の色味のある色

ラインの太さの違いについては、太さにより色の濃淡が違って来るなど多少の主観色の色の違いはみられるが、主観色の出現の有無はあまり影響を受けないことが分かった。しかし、ラインをなくしてしまうと、主観色の出現はなくなる。このことから、太さは関係してないが、ラインの存在や塗りつぶした部分に関係しているのではないかと想像できる。

③ 塗りつぶしの割合について



ぬりつぶしの量	外側	中	内側
なし	青	緑	赤
90°	緑	赤	紫
135°	緑	紫	茶
250°	青	緑	赤
315°	青	緑	紫

オレンジの放射線上のライン 黒部分少ない①⇐②⇐黒部分多い

黒く塗りつぶした部分の割合を4種類に分けて観察した。黒く塗りつぶした割合が多いほど主観色は黒っぽくなるという違いはあるが、どれも主観色の出現を観察できた。このことから、主観色の出現の直接の条件ではないことが分かる。また、黒く塗りつぶした部分が多くなるほど、オレンジの放射状の線が細かく多く出現したように感じた。黒のぬりつぶしはオレンジの線と関係があることが分かった。

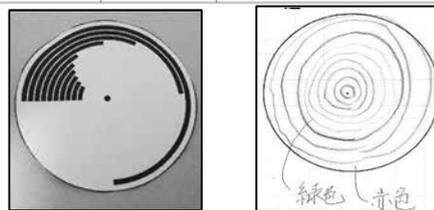
④ ラインの長さについて

右図のように、ラインを長くしても短くしても主観色が出現することが分かる。

主観色を細かく見ていくと、今までは3色は出現していたが、黒塗りつぶしがないと右図のように2色しか現れなかった。

また、右の写真のように10本の長さの違うラインであっても、虹のように様々な色は出現せず、2色だけだったことから、ラインの長さだけでは主観色の色は決まらないということが分かった。①～④の結果から、主観色は、白と黒の取り合わせならある程度出現すると分かった。

	外側	中	内側
10本のライン	うすい赤	うすい緑	
長いライン	うすい赤	うすい緑	



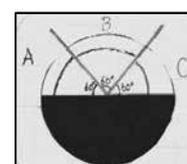
⑤ 色 (コントラスト) について

基本形のデザインで、赤・青・緑・灰色の4つの色で同様に観察した。すると、どれも色の濃淡は出たけれど、その色以外の主観色は観察できなかった。しかし、放射線状のオレンジ色の線は現れた。同じ黒系の灰色も出現しなかった。以上のことから、白・黒のように明るさの差が大きくないと主観色の出現はないのではないかと感じた。

⑥ ラインの位置について

右図や右表からも分かるように、Aの場所なら円の内・中・外の場所は関係なく青の主観色が出現。Bの場所なら、どこでも緑系の主観色。Cの場所ならどこでも赤系の主観色が出ることが分かった。

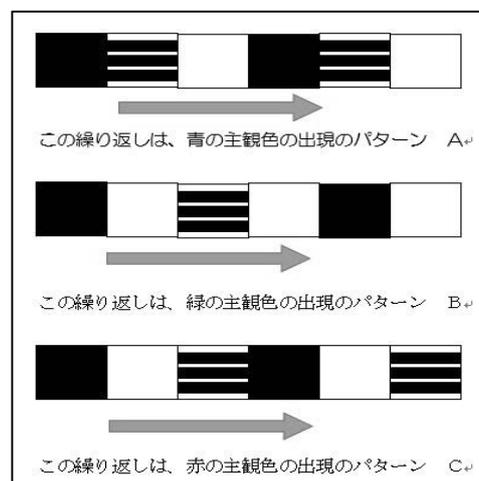
	外側	中	内側
左から60° (A)	青	青	青
はなれたライン (B)	緑	草色	緑
右から60° (C)	赤	赤	赤・黄



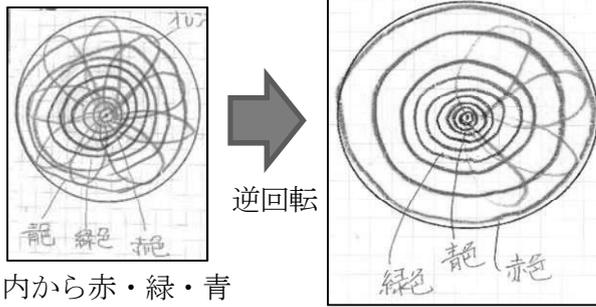
つまり、4種類の柄の繰り返しのパターンで色が決まるのである。右図のように、黒・しま・白のパターンが繰り返されると青の主観色。黒・白しま・白のパターンだと緑。黒・白・しま・黒のパターンは赤となるのだ。

今まで何となくそうなのかな? というものが多かったが、規則性を見つけることができて、とてもうれしかった。

この規則性が、確実なものかを検証ために回転を逆にして観察してみることにした。



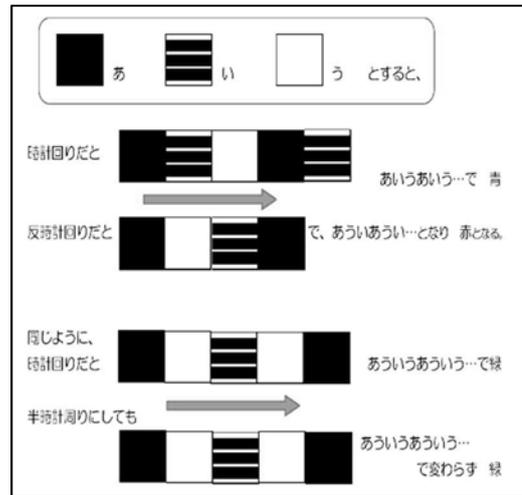
⑦ 回転の向きについて



内から赤・緑・青

内から青・緑・赤

回転の向きを逆にしたところ、上図のように基本形と比べ、内と外に出現した主観色が逆となった。これは⑥のように考えると、回転を逆にすると、その部分に来る柄（黒・ライン・白）の順番が逆になるから、出現する主観色も反対になることは当然と考えることができる。つまり、柄（黒・ライン・白）の繰り返すパターンによって、出現する主観色は決まるといふことの証明ともいふことができる。



(3) 主観色は、人によって「見える」の違いは生じるか。

主観色の見える色の条件がはっきりしたが、ベンハムコマで見られる主観色は、目の錯覚なのだから、見る人によって違うのではなかと  
思い、家族に協力してもらい実験を行った。

父の場合、自分と比べると紫色の出現が目立った。母の場合、中間の色の出現は見られなかったし、姉は、中間の色に黄色が目立つらしい。人によって見え方が違うところからも人の感じ方で見え方が違う（だまし絵）錯覚と似ていると思った。インターネット等で調べてみると、年代によって見える主観色の傾向があると分かったことは興味深かった。



姉にも主観色

5 まとめと今後の課題

ベンハムのコマは、白と黒しかないところから、赤、青、緑などの主観色が見えるというものであるが、今回はその錯覚がどのような条件の時生じるのかという視点で研究した。当然、答えは一つだけでなく、ラインの位置や塗りつぶしの部分の割合、色など様々な条件が絡み合っていることは分かったが、特定の色（青、赤、緑）の出現には、パターンがあることをつきとめたのは、今回の研究の成果だと感じた。しかし、オレンジの放射線上の線や人による見え方の違いの原因については、確信がもてるものが少なく、今後の課題と感じた。また、資料で目の網膜の所に3色（赤・青・緑）の特定の色を感じる細胞があり、その細胞の感じる速度の違いで主観色が生じるとあったが、まだ自分で実証できていない。

したがって、今後も色と光と見えるについて研究していきたいし、錯視の不思議についても研究をしてみたいと感じた。

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
- ・ベンハムのコマ—実験と考察 みんなの実験室— 横山玲子
- ・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>
- ・INCF 日本ノードホームページ [https://www.neuroinf.jp/tutorial/benham/?ml\\_lang=ja](https://www.neuroinf.jp/tutorial/benham/?ml_lang=ja)