



「テレビの中の自動車のタイヤが
逆に回って見える時があるのはなぜか」

白河市立白河中央中学校 パソコン部科学部班

3年 青木 士

3年 深谷 静香

1 はじめに

新車を紹介するテレビCMで、街中をカッコよく走り抜けるシーンをよく見る。そのとき、車は前に進んでいるのに、何故かタイヤが逆にまわって見える時がある^{写真1}。

「不思議だな？」と思い、この現象のメカニズムについて話し合ってみた。すぐに、「目の錯覚だろう。」という意見が出た。「そうか。」と思ったが、そのメカニズムを考えると分かったようで分からない。そのうち「扇風機を眺めていたら逆に回って見えた。」という似た現象についての例も出てきた。

まずは、扇風機を用意し「扇風機が逆に回って見える」現象を確認してみた。しかし、扇風機は逆に回って見えなかった^{写真2}。

私たちは、「扇風機が逆に回って見えた」時の状況について話し合いをしたところテレビを見ながら扇風機にあたっていたことが分かった。早速実験室でテレビ前に扇風機を置いて回してみた^{写真3}。そして、扇風機の回転数が上がるにつれ「右回り、静止、左回り、静止」を繰り返すことが分かった。何か規則性がありそうでおもしろくなってきた。

以上のことから、私たちは2年間通して、「自動車のタイヤが逆に回って見える現象」を「扇風機が逆に回って見える現象」をとらえる実験を通して解明することにした。



(写真1)



(写真2)



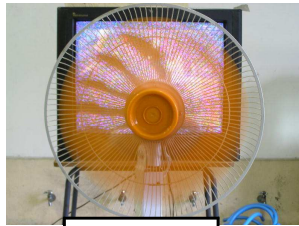
(写真3)

2 扇風機が逆に回って見える条件

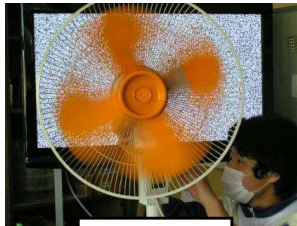
まずは、さまざまな照明下で扇風機を回して逆に回って見える時と見えない時の条件を考えてみた。

(1) 扇風機が逆に回って見える時

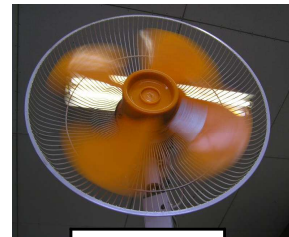
- ①ブラウン管テレビの画面を背景にしたとき^{写真4}
- ②液晶テレビの画面を背景にしたとき^{写真5}
- ③蛍光灯の光を背景にしたとき^{写真6}



(写真4)



(写真5)



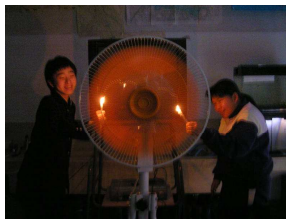
(写真6)

(2) 扇風機が逆に回って見えない時

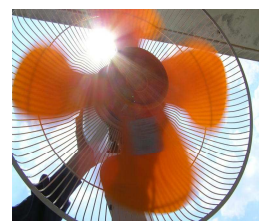
- ①電球の光を背景にしたとき^{写真7}
- ②ろうそくの炎の光を背景にしたとき^{写真8}
- ③直射日光を背景にしたとき^{写真9}



(写真7)



(写真8)



(写真9)

私たちは、以上の結果から扇風機が逆に回って見える時の条件を話し合い、実験でひとつずつ確認することにした。また、人によって見え方がかわる可能性があるので、実験は班員で確認しながらすすめた。

3 扇風機が逆に回って見えるメカニズムの追究

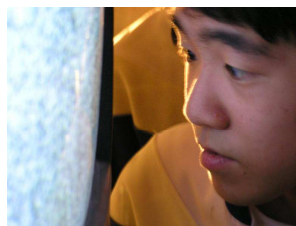
(1) 背景の光を三原色で構成すると扇風機は逆に回って見えるのではないか？

【予想】

テレビの画面は三原色の光で構成されているので三原色を背景にすると逆に回って見えるのではないか？

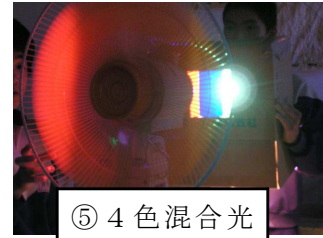
【実験1】

段ボール箱をくり抜いてセロファン紙を貼り付け、電球光源に色をつける。それぞれの色の光を背後からあて扇風機が逆に回って見えるか調べた。三原色に黄色も加えて調べた。



【実験結果】

- ①赤色光（逆に回って見えない）
- ②緑色光（逆に回って見えない）
- ③青色光（逆に回って見えない）
- ④黄色光（逆に回って見える）
- ⑤4色混合光（逆に回って見えない）



【考察】

黄色光だけが逆に回って見えた。黄色光が一番明るく感じたので、光の強さの違いでどのように見えるか調べてみることにした。

（2）光の明るさを強くすると逆に回って見えるのではないかな？

【予想】

黄色光で扇風機が逆に回って見えたのは他の色より明るかったからではないか。照度が高ければ扇風機は逆に回って見えるのではないかな？

【実験2】

スライダックスを用いて電圧を変え電球の光の強さをコントロールした。

明るさはルクス計(CUSTOM LX-105)を用いて測定した。

扇風機からの距離を一定にして、電圧を0Vから徐々に上げ逆に回ってみる時の明るさと高い電圧から徐々に下げ逆に回ってみる時の明るさを調べた。

【実験結果】

- ①0 Lux から徐々に上げた時
2 Lux で逆に回って見えた。
- ②6 Lux から徐々に下げた時
2 Lux で逆に回って見えた。

【考察】

明るさが2 Lux 以上の時扇風機は逆に回って見えた。黄色光で2 Lux の明るさになる電球に色セロハンをつけて明るさを測定したら以下の明るさであった。

黄色光	2.0 Lux	赤色光	1.4 Lux
緑色光	1.4 Lux	青色光	1.0 Lux



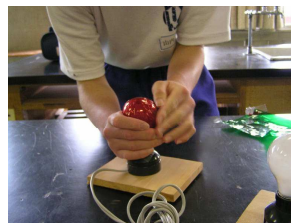
他の色の光でも 2 Lux 以上であれば扇風機は逆に回って見えるかもしれない。
(3) 照度を上げると黄色光以外でも扇風機が逆に回って見えるのではないかと?

【予想】

2 Lux 以上の明るさがあれば、どの色の光でも扇風機が逆に回って見えるのではない。

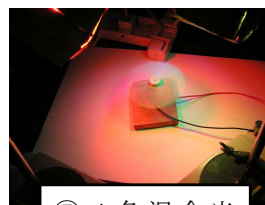
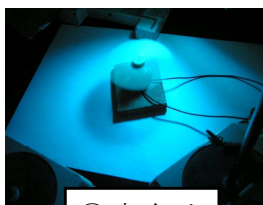
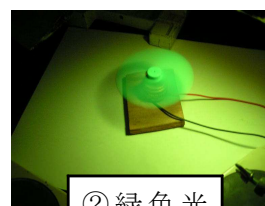
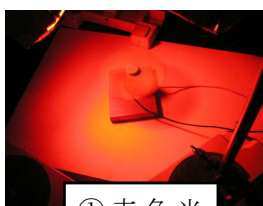
【実験 3】

各色光の明るさを 2 Lux 以上になるように電球にセロハンを直接巻き付け各色光を当て、扇風機が逆に回って見えるか調べる。



【実験結果】

- ①赤色光
(逆に回って見えた)
- ②緑色光
(逆に回って見えた)
- ③青色光
(逆に回って見えた)
- ④混合色光
(逆に回って見えた)



【考察】

各色光で一定以上の明るさがあると扇風機が逆に回って見えることが分かった。ここで、一定以上の明るさが扇風機が逆に回って見える条件だとすると、太陽光の下で扇風機が逆に回って見えないのは何故か? という疑問が出てきた。太陽光や炎の光のように連続した光の中では逆に回って見えなかった。調べてみると、蛍光灯は 50Hz で点滅しており、テレビは 1 秒間に 30 枚の画像が変化して動きを表現していることが分かった。もしかしたら、光が点滅すると逆に回って見えるのではないかとという予想にたどり着いた。

しかし、この予想からすると電球の光は、点滅光ということになるが、連続光だろうという意見も出た。電球の光は点滅光か調べてみることにした。

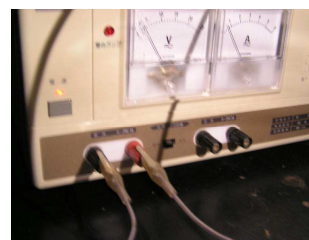
(4) 電球の光は点滅光か?

【予想】

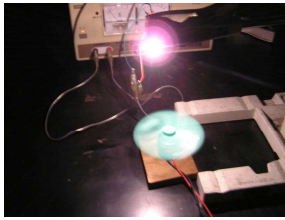
実験に使った電球は実験台のコンセントから電源を得た。これは交流電源であり、交流は絶えず電流の向きと電圧の大きさが変化していると授業で勉強した。交流電源を用いた電球の光は点滅しているのではないかと。

【実験 4】

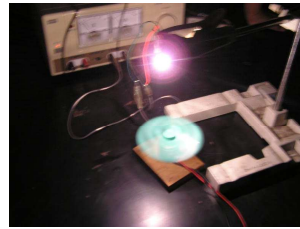
同じ豆電球を同じ電圧の交流電源と直流電源につないで、扇風機が逆に回って見えるかを調べる。



【実験結果】



①直流電源
(逆に回って見えない)



②交流電源
(逆に回って見える)

【考察】

交流電源を用いた時だけ扇風機が逆に回って見えた。直流電源は電流の向きと電圧が変化しないため、連続光になるのではないかと予想したとおり点滅光になるのではないかと考えた。

ここまでの結果から、点滅光の下で扇風機が逆に回って見えることが分かった。

扇風機が逆に回って見える光の条件が分かったので、扇風機の回転数が上がるにつれ「右回り、静止、左回り、静止」を繰り返す規則性について詳しく調べることにした。

(5) 扇風機が止まって見えるのはどんな時か？

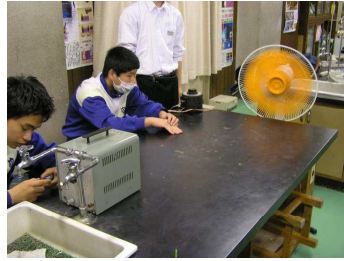
【予想】

光源の点滅数とプロペラの回転数が同じ時止まって見えるのではないかと考えた。

【実験5】連続ストロボ照明装置を用いて光の点滅数を変えられるようにした。

プロペラの回転数はスライダックスを用いて自由に变化できるようにした。

回転計を用いてプロペラの回転数や光の点滅数を正確に測れるようにした。



【実験結果】

表1 プロペラが止まって見える時の光の点滅数とプロペラの回転数の関係

回転数の単位は 回転数 / 分

プロペラが止まって見える回数 \ 光の点滅数 / 分	400	1000	2000
1回目	120	220	490
2回目	200	490	980
3回目	290	700	1470
4回目	403	900	1960

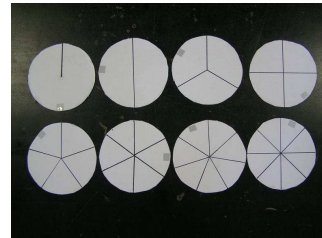
実験結果は、予想に反して、プロペラの回転数がおよそ光の点滅数を4で割った数の倍数の時、プロペラが止まって見えることが分かった。

この理由について話し合い、プロペラの羽根数が4枚であることと関係があるのではないかとということになった。

(6) プロペラが止まって見える時、プロペラの羽根数と光の点滅数の関係に規則性があるのではないかと？

【予想】

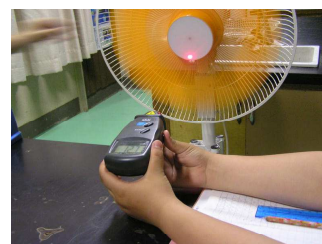
実験5の結果からプロペラの回転数が光の点滅数を羽根数で割った数の倍数の時プロペラは止まって見えるのではないかと。



【実験6】

プロペラモデルを8羽根まで作り、扇風機に装着した。

回転数は、モデルに反射テープを貼り回転計を用いて測定した。



光は扇風機の回転数の限界が1300回転/分なので200点滅/分で照射した。

止まって見える瞬間を見逃さないようにするため、光の点滅数をプロペラの羽根数で割った倍数を理論値として予め求め、プロペラが止まって見える時を注意深く観察した。

【実験結果】

表2 プロペラが静止して見える時の回転数

プロペラ 静止して見える回数	1	2	3	4	5	6	7	8
1	200	100	67	50	40	34	29	25
2	400	200	134	100	80	68	58	50
3	600	300	201	150	120	102	87	75
4	800	400	268	200	160	136	116	100
5	1000	500	335	250	200	170	145	125
6	1200	600	402	300	240	204	174	150

上段 (理論値) / 下段 (測定値)

【考察】

各理論値付近のプロペラの回転数の時、プロペラは止まって見えた。

このことから、光の点滅数をプロペラの羽根数で割った数の倍数の時プロペラは止まって見えると考えられる。

また、この実験からあらためてプロペラは「右回り、静止、左回り、静止」を繰り返すように見えることを確認した。

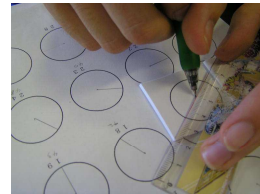
(7) プロペラが右回りや左回りに回転して見えたり静止して見えたりするメカニズムをパラパラ漫画で解明できないか？

【予想】

点滅する光をプロペラに照射しながらプロペラを見るとパラパラ漫画で動画を表現している時と同じように見える。プロペラの動きをパラパラ漫画で表現することによって、プロペラの回転数を上げていくと「右回り、静止、左回り、静止」を繰り返すメカニズムを証明することができるのではないか？

【実験7】

プロペラの動きを1コマ30度の速さで30コマ編成のパラパラ漫画を作り基本の動きとした。1コマ30度ずつ早く動くようにして13段階の速さのパラパラ漫画を1羽根と2羽根で作った。パラパラ漫画を同じ速さでめくり見え方を比較してみた。



【実験結果】

表2 パラパラ漫画によるプロペラの見え方

速さ	1羽根		2羽根	
	回転方向	速さ	回転方向	速さ
1	右	(速さ1)	右	(速さ1)
2	右	(速さ2)	右	(速さ2)
3	右	(速さ3)	静止	
4	右	(速さ4)	左	(速さ2)
5	右	(速さ5)	左	(速さ1)
6	静止		静止	
7	左	(速さ5)	1と同じ	
8	左	(速さ4)	2と同じ	
9	左	(速さ3)	3と同じ	
10	左	(速さ2)	4と同じ	
11	左	(速さ1)	6と同じ	
12	静止		1と同じ	
13	1と同じ		2と同じ	
14	2と同じ		3と同じ	

【考察】

パラパラ漫画でプロペラの回転速度を上げていくと、実際のプロペラと同じく「右回り、静止、左回り、静止」を繰り返すことが確認できた。

羽根数が2になると1の時より変化のサイクルが短くなる。このことから、羽根数が増えると変化のサイクルがどんどん短くなると考えられる。

(8) 回転方向の変化は目の錯覚で起きる現象ではないか？

【予想】

プロペラの羽根は、実際同一方向に回転しているのに、逆に回って見えるのだから、目の錯覚で逆に回って見えるのではないか？

【実験8】

実験7で用いたパラパラ漫画を右回転、左回転、静止で分類し、羽根の位置を記録し、比較する。

【実験結果】

①右回転に見える時

コマ送りした時の羽根の角度の変化量が180度未満の時。

②左回転に見える時

コマ送りした時の羽根の角度の変化量が180度より大きく360度より小さい時。

③静止して見える時

コマ送りした時の羽根の角度の変化量が360度の時。

コマ送りした時の羽根の角度の変化量が360度を羽根数で割った角度の時。

④点滅して見える時

羽根数が1の時、コマ送りした時の羽根の角度の変化量が180度の時。

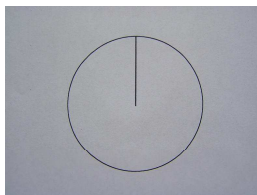
羽根数が2の時、コマ送りした時の羽根の角度の変化量が90度の時。

①～④に360度単位で加えた角度の速さの時も同様に見える。

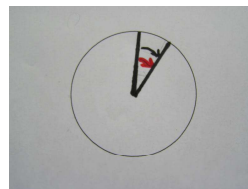
【考察】

黒い矢印が羽根が実際に動いた方向、赤い矢印が目が動いたと感じる方向で表すと以下の図のように表すことができる。

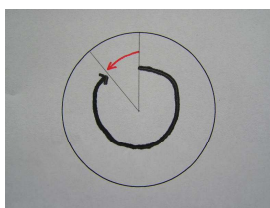
①始めの状態



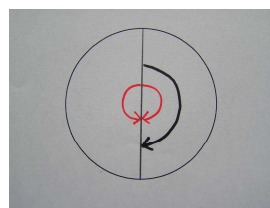
②右回りに見える



③左回りに見える



④点滅して見える



人間の目は変化量が小さい方向に物が動いて見えるのではないか。

連続光の下で回転する羽根を見た場合、移動方向と変化量が小さい方向は必ず一致するため、逆に動いて見えることはない。

点滅する光の下では、パラパラ漫画のようにコマ送りで羽根の位置を見るので、次のコマで移動方向と逆の方向に近いところに羽根を見た場合、逆に回って見えると考えられる。

次のコマで羽根が左右の角度が同じ位置にある場合、どちらに動いたか判断できず静止して見えるのではないか。

4 おわりに

私たちは、「テレビの中で車は前に進んでいるのに、何故タイヤが逆にまわって見える時があるのか？」について扇風機の実験を繰り返しながらそのメカニズムを追究してきた。

テレビの映像を動かすしくみは、1秒間に30のコマ送りがされるパラパラ漫画と同じである。扇風機が逆に回って見える原理から、車のタイヤのホイールのスポークの位置が、次のコマで回転方向と逆の方向に近いところにある場合、逆に回って見えるのだと考えてよいと思う。点滅する光の速さと目が脳に情報伝える速さに差が生じ、残像として逆に見えることがわかった。ヒトがプロペラが逆に見えないぎりぎりの速さはどれくらいなのかを次は調べてみたい。

「目の錯覚が原因だろう。」と簡単に考えて始まった研究だったが、調べていくと奥が深く追究するのがおもしろくなっていった。

最後に、研究を進めるにあたってご指導いただいた顧問の先生、そして私たちが考えたメカニズムの説明を真剣に聞き、質問を返してくださった先生に感謝いたします。

5 参考文献

- (1) 現代新百科事典 学研
- (2) テレビのしくみ 東北電力