

遠近法による錯視が起こる現象に関する研究

コース 物質科学コース

指導教員 ミケレット・ルジェロ

学籍番号 180076

氏名 伊藤蔵紀

目次

第1章 序論

1.1 研究背景

1.2 研究目的

1.3 シェパード錯視

第2章 実験内容

2.1 測定ソフトについて

2.2 実験構成

2.3 実験1の手順

2.4 実験2の手順

第3章 実験結果

3.1 実験1の結果

3.2 実験2の結果

第4章 考察

第5章 まとめ

第6章 謝辞

第7章 文献

第1章 序論

1.1 研究背景

「錯視」とは、ヒトが感じる錯覚のうち、目で見えたものから感じられるものを「錯視」という。これは実際とは違って感じ取られる心理的現象である。錯視には様々な種類があり、物の大きさ・角度・色が変わって見えるもの、止まっているものが動いて見えるもの、ないものが見えるもの、平面なのに立体的に見えるものなどたくさんの種類の錯視が存在する。私たちヒトが物を見るという行動は目と脳が協力して働いたものである。このことから、ヒトが錯視を引き起こす原因として、目が見たものを脳が補正をかけて、ある意味適当な見え方で調整しているからであると考えられている。

また、二次元平面において空間や奥行きをもたらず描画方法を「遠近法」という。これに加えて、脳の働きが補正をかけることによって、より二次元平面に遠近感覚を感じるように手助けしている。これは日常的に私たちヒトが感じていることであるが、上記にあげた様々な錯視モデルを、遠近法を基本原理として考えると、簡単に説明することができるものも多い。代表例として図1のように2つの黒い線文は同じ長さであるが、上の方が長く見える。これはポンゾの錯視といい2つの対象は同じ大きさであるが、頂点に近い側の対象が大きく見えるというものである。(図2)

このことから、本研究では、遠近法を用いた錯視（遠近法的錯視）の代表例である。シェパードの錯視を用いて研究を行った。シェパード錯視については後ほど述べていく。



図1：上賀神社ポンゾ錯視

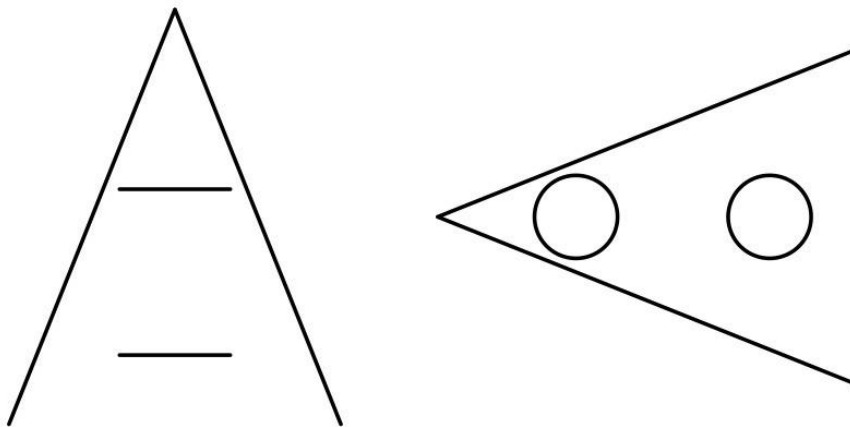


図2：ポンゾ錯視

図1 図2 ともに出典 北岡明佳「遠近法的錯視を考える」(2009)より引用
<http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/nisshin2009enkinho.html>

1.2 研究目的

遠近法的錯視を研究し理解することによって、交通の面等において、安全性を保障することに応用ができるということがわかっている。例えば、図3は静岡県静岡市に実際に存在する横断歩道である。これは、奥行きや高さの錯視を利用し、この横断歩道がドライバー目線から浮き出て見えることによって、交差点を通過する前に減速するという効果が期待されている。静岡県警によるとこの効果が確認できれば、全国にも普及していくことを検討しているという。他にも横断歩道にラインを入れることによって、遠近法的錯視で先に進むほど道が狭くなっているように見える。そのため、ラインに沿って歩行者が歩くようになり、混雑時に歩行者がぶつかりそうになることが減ると考えられるアイデアを台湾の台北科技大学が発表する(図4)など、錯視の利用が広く検討されている。

遠近法は12、1300年前の絵画にはほとんど用いられていなかったが、現在では様々な絵画や漫画、アニメにも日常的に使用されている。しかし他の研究を見ても定量的に解析している研究はほとんど見られない。そのため、本研究を通して、色、形、ヒトによる違いを発見することを目的とする。



図3：静岡県にある浮き上がって見える横断歩道

錯視効果を利用した「浮き上がって見える横断歩道」が静岡にお見え。事故防止の為(動画あり) (2013)より引用

<https://karapaia.com/archives/52149183.html>

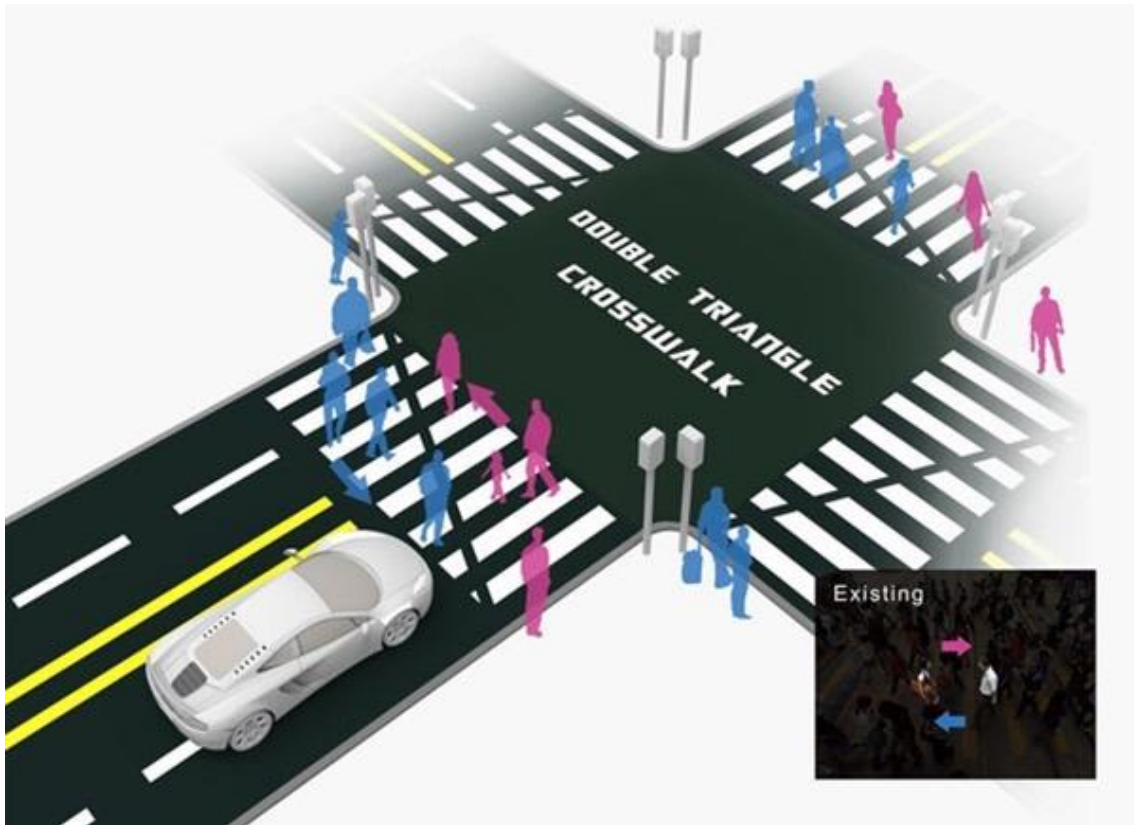


図4：台北科技大学が公開したアイデアの横断歩道

【アイデア】目の錯覚を利用した横断歩道により対面の人とぶつからない（2016）より引用

1.3 シェパード錯視

本研究で参考にしたシェパード錯視とは、1981年にアメリカの心理学者である R・N・シェパードが発表した錯視である。図5から分かる通り、図の赤い部分の2つの四角形は全く違う形に見える。左の四角形は上下に長く見える。本来全く合同な四角形であるならば、右の四角形は左右が長く見えるはずであるが、左より短く見える。これは比べてみると全く合同な四角形である。しかし、直方体として図に示すことによって三次元的な奥行きを感じ取られる。また、この左右で奥行き感が違うことにつられて、赤い部分の四角形が全く違って見える。この錯視から、人間は人間脳内の視覚システムによって推定された三次元世界の中で、大きさや形が判断されているということがわかる。

この錯視を利用して測定装置を作成し、人間によってどのような差があるのか、色や立方体であるかどうかなどの観点から本研究では定量的に実験を行った。

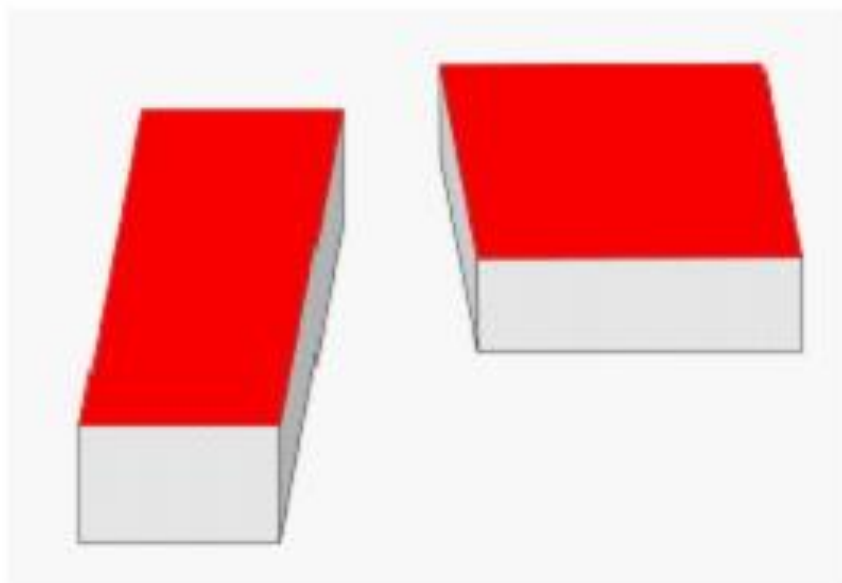


図5：シェパード錯視

R. N. シェパード著、鈴木光太郎・芳賀康朗訳「視覚のトリック：だまし絵が語る「見る」しくみ」(1993)より引用

第2章 実験内容

2.1 測定ソフトについて

本研究では、UPBGE(Uchronia Project Blender Game Engine)という3Dプロダクションスイートを用いて行った。これは、Blender Game Engine 開発者である Porteris Tristan らが2015年に作成したBlenderのフォークソフトである。コマンドによる操作、保存が容易である。また、実世界のように疑似3D映像で研究を行えるため、本ソフトウェアを用いて研究を行った。

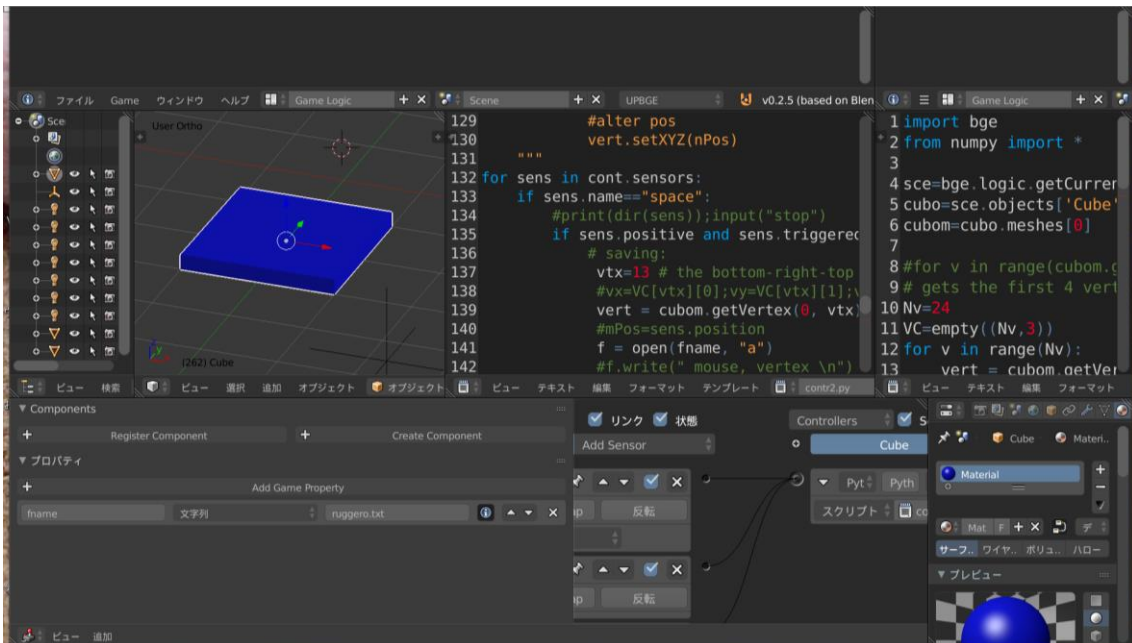


図6：UPBGEでの開発画面

図6から見て取れるように、大元であるBlender同様プログラミング言語はPythonを利用している。これを利用し実際にコマンド操作によって、図形を変形させ、データの保存を行った。

2.2 実験構成

本研究では実験を2つに分けて行った。

まず実験1では、錯視の量(錯視量)が、どの要因(主に色、個人差、集中力)によって、引き起こるかを確かめる。この実験では、光の三原色(図7)である赤緑青、白を用いて行い、各色において大きな違いが見られることを期待した。色による差が引き起こされることが判明すれば、今後の錯視デザインや、標識に利用しやすくなると考えられる。また本実験では上面の左辺と右辺の長さをそろえるようにという1図形だけの錯覚のため大きな差が見られることは少ないと考えられる。試行回数を30回というある一定の量を保持することで、集中力による差や、錯視に対する目の慣れ等も、本実験から明らかになることが推測される。

実験2においては、実験1と同様に直方体を利用した錯視を利用したが、今回は2つの直方体の上面の大きさを比較させることにより、線→平面という錯視の起こり方に違いが見られるように行った。またここでは、シェパード錯視を参考にした実験装置を作成したため、遠近法的錯視が引き起こるよう、直方体の高さもこだわり物体内でも奥行きが見て取れるように工夫を施した。奥行きがあることよっての錯視量の大きさが実験1よりも大きくなり、個人差も1と2では大きくなることが推測される。

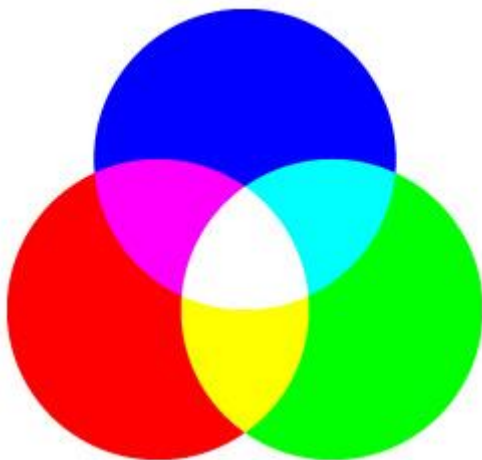


図7：光の3原色の例

色の基本概念！光の三原色と色の三原色より引用

<https://iro-color.com/episode/three-primary-colors.html>

2.3 実験1の手順

まず実験1では、晴眼者5名に被験者を測定ソフトが不自由なく見える場所で座ってもらった状態で行った。この時周りの環境で集中が阻害されないよう、十分に静かな場所であることを確認の上、落ち着いた状態で実験に参加させた。

被験者には、図7のように直方体の点Aの部分左右に動くようになっているソフトを、マウスを利用して動かしてもらい、左辺と右辺の長さが同じに見えるような位置でスペースキーを押してもらった。その場所での長さdをメモに保存した。ここでの長さdの単位だが、これもBlender同様にBlender Unit(BU)で定義される。また、スペースキーを押すと同時に点Aの位置が伸び、ずれるように作成している。

この試行を被験者の集中力がきれて、次の試行にずれを生じさせないため、計30回を白、赤、青、緑とランダム順番で行った。

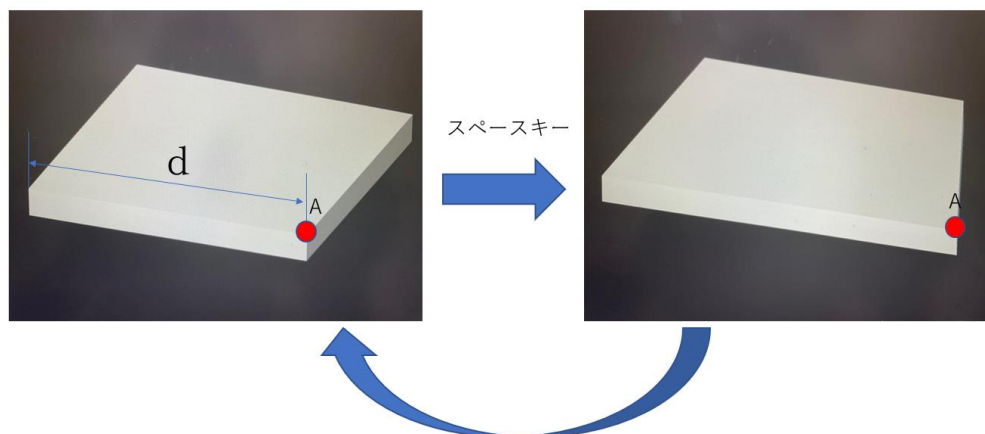


図8：実験1の例

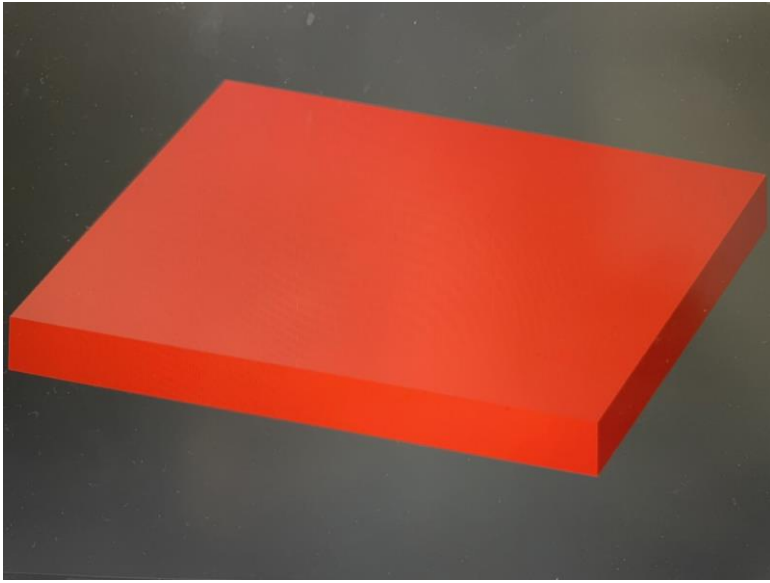


図 9 : 実施に使用した赤の直方体

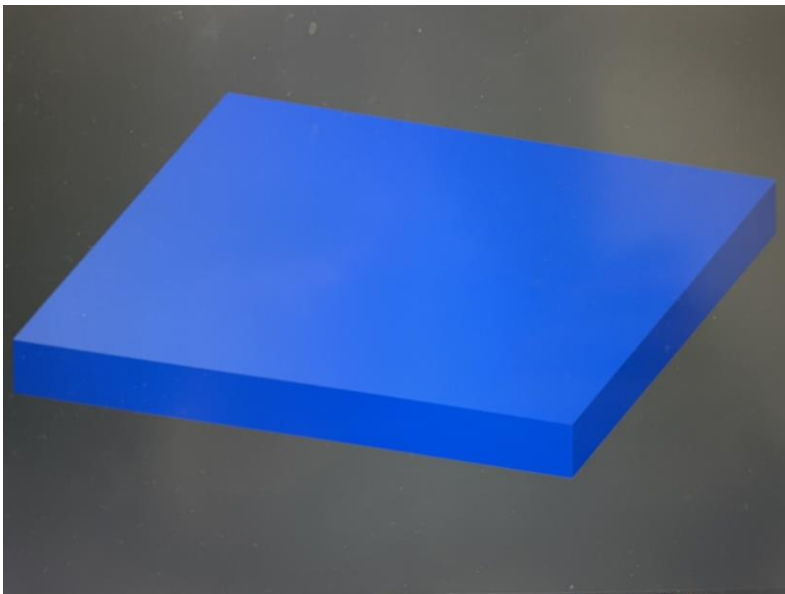


図 10 : 実際に使用した青の直方体

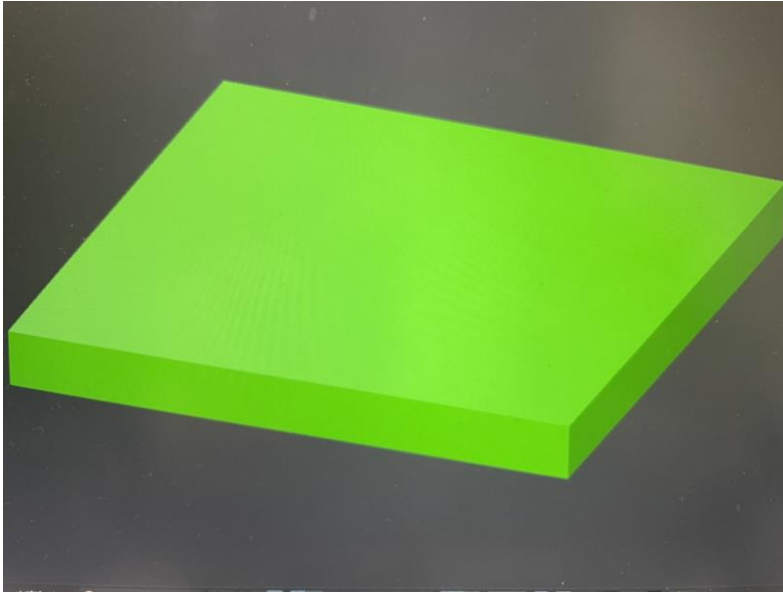


図 11：実際に使用した緑の直方体

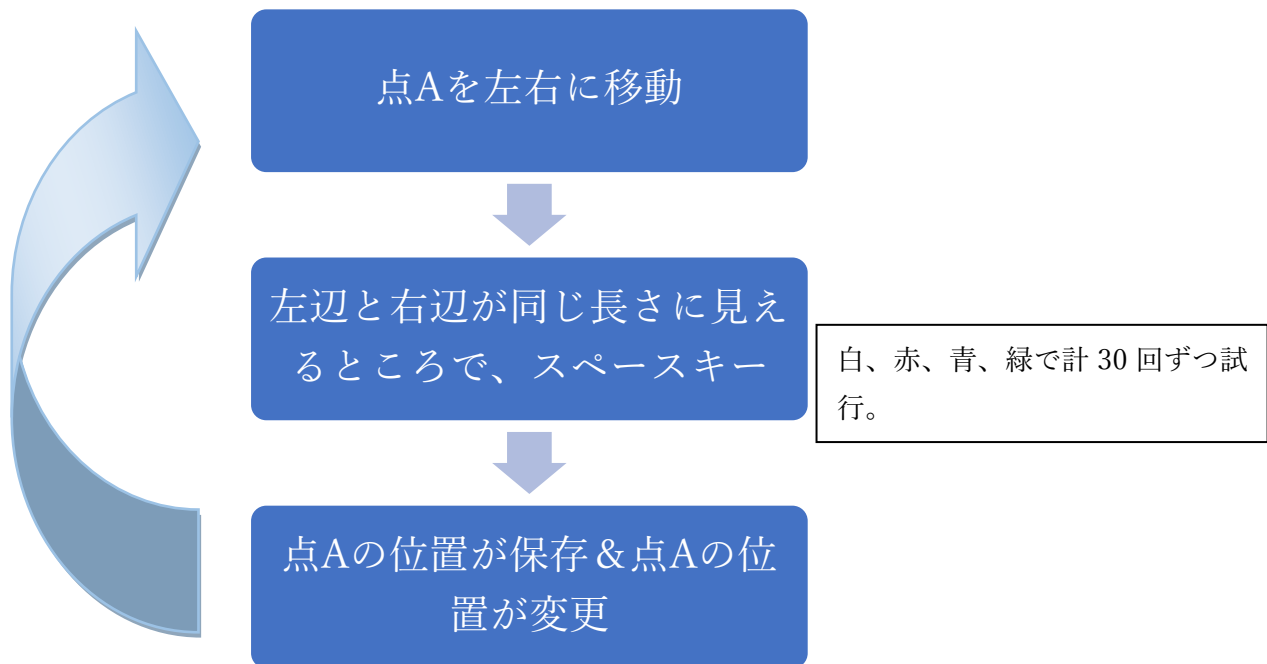


図 12：実験 1 のフローチャート

2.4 実験2の手順

実験2でも実験1同様に、被験者は晴眼者5名(眼鏡等含む、実験1と同一人物あり)に対し、実験1同様の環境で、実験に参加してもらった。ここで実験1との大きな違いは試行回数を30回→50回に回数を増やした。これは第3章で後述するが、回数を重ねることによっての変化は見られなかったことに起因し、データ数を増やしより正確なデータを得られることを狙いに、この回数にした。

実験2では、図13のように2つの直方体のうち、右の直方体の右面をマウスの操作によって横に動くように装置を作成した。被験者にはこの右面を動かすことにより、左右の直方体の上面を全く同じサイズに見える位置(図14)でスペースキーを押すように指示した。これも実験1同様に、この位置での長さdがメモに保存され、位置が変更するように装置を作成した。この試行を50回行った。

2.2でも述べたように、この装置はシェパード錯視を参考にして作成したため、結果では実際の同じサイズよりも大きい地点で被験者はスペースキーを押すと仮定されるが、このとき左右の直方体サイズをBUで同じにしまうと、UPBGE特有の奥行き感であらわされてしまうため、実際に測ったサイズと事なることがわかった。そのため装置作成の際は両方の直方体の上面の縦横の長さを実際に測り、UPBGE上ではなく、図としての同じサイズである状態にした。

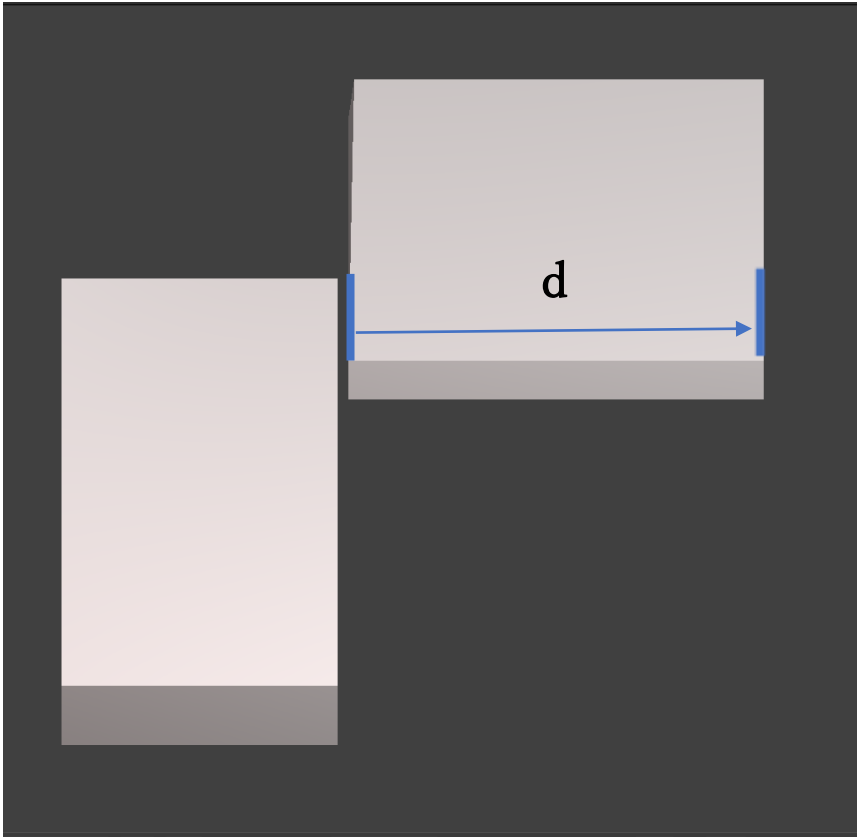


図 13 : 実験 2 の装置

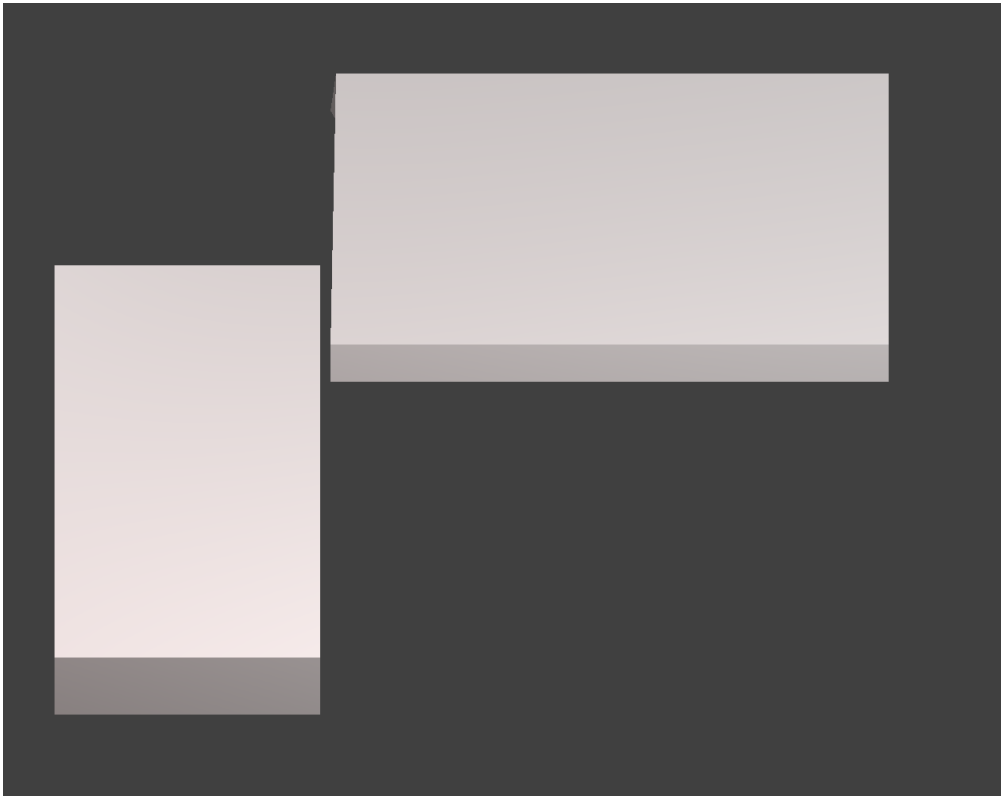


図 14：実験 2 の装置②(上面の右辺の移動後の例)

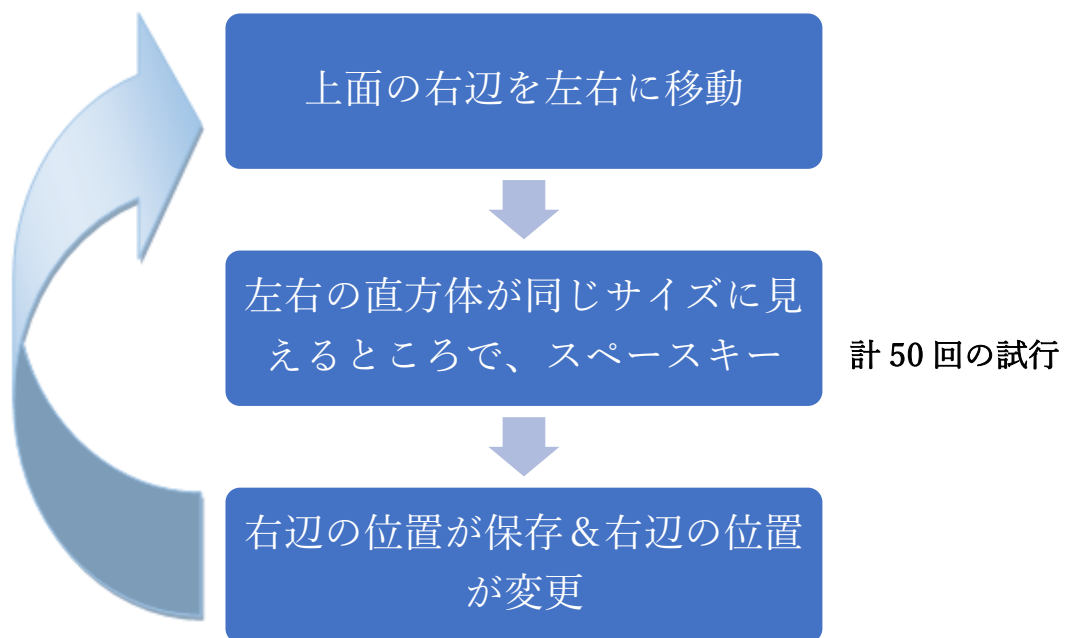
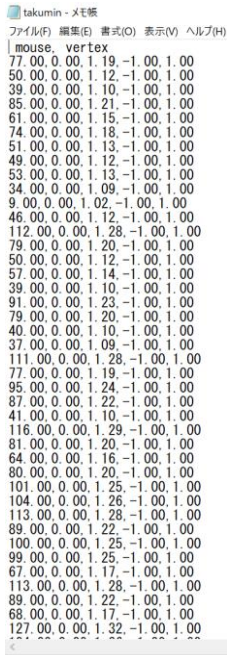


図 15：実験 2 のフローチャート

第3章 実験結果

実験1、2ともに第2章で述べた実験よりメモ(図16)に得られた結果の数値を用いる。またここでは {, } で区切られた3個目が実際に移動したときの点 A の位置の数値である。ここから、考察を行うため得られたデータを表やグラフにまとめ、そこから見てわかるものを述べていく。



```
takumin - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
| mouse, vertex
77.00, 0.00, 1.19, -1.00, 1.00
50.00, 0.00, 1.12, -1.00, 1.00
39.00, 0.00, 1.10, -1.00, 1.00
85.00, 0.00, 1.21, -1.00, 1.00
61.00, 0.00, 1.15, -1.00, 1.00
74.00, 0.00, 1.18, -1.00, 1.00
51.00, 0.00, 1.13, -1.00, 1.00
49.00, 0.00, 1.12, -1.00, 1.00
53.00, 0.00, 1.13, -1.00, 1.00
34.00, 0.00, 1.09, -1.00, 1.00
9.00, 0.00, 1.02, -1.00, 1.00
46.00, 0.00, 1.12, -1.00, 1.00
112.00, 0.00, 1.28, -1.00, 1.00
79.00, 0.00, 1.20, -1.00, 1.00
50.00, 0.00, 1.12, -1.00, 1.00
57.00, 0.00, 1.14, -1.00, 1.00
39.00, 0.00, 1.10, -1.00, 1.00
91.00, 0.00, 1.23, -1.00, 1.00
79.00, 0.00, 1.20, -1.00, 1.00
40.00, 0.00, 1.10, -1.00, 1.00
37.00, 0.00, 1.09, -1.00, 1.00
111.00, 0.00, 1.28, -1.00, 1.00
77.00, 0.00, 1.19, -1.00, 1.00
95.00, 0.00, 1.24, -1.00, 1.00
87.00, 0.00, 1.22, -1.00, 1.00
41.00, 0.00, 1.10, -1.00, 1.00
116.00, 0.00, 1.29, -1.00, 1.00
81.00, 0.00, 1.20, -1.00, 1.00
64.00, 0.00, 1.16, -1.00, 1.00
80.00, 0.00, 1.20, -1.00, 1.00
101.00, 0.00, 1.25, -1.00, 1.00
104.00, 0.00, 1.26, -1.00, 1.00
113.00, 0.00, 1.28, -1.00, 1.00
89.00, 0.00, 1.22, -1.00, 1.00
100.00, 0.00, 1.25, -1.00, 1.00
99.00, 0.00, 1.25, -1.00, 1.00
67.00, 0.00, 1.17, -1.00, 1.00
113.00, 0.00, 1.28, -1.00, 1.00
89.00, 0.00, 1.22, -1.00, 1.00
68.00, 0.00, 1.17, -1.00, 1.00
127.00, 0.00, 1.32, -1.00, 1.00
```

図16：得られた数値の例

3.1 実験1の結果

まずはじめに、実験1では主にこの装置において錯視効果が得られるか、色による見え方の違いはあるか、試行回数が増えれば目は慣れるのかというところに着眼点をおいてデータを集めた。3パターンにわけて述べていく。

○錯視効果の有無

被験者5名に対し、各色30回を4種類行ってもらったため、600からなるデータを度数分布表、ヒストグラムにまとめた。1.0がちょうど上面が正方形、すなわち、左辺と右辺の長さが等しく見えるときである。以下から、91.3%の割合で左辺の長さより右辺の長さが大きいとき、被験者は左辺と右辺の長さが等しく見えているということがわかる。

また、全体平均は1.10525であった。

表 1 : 全体の度数分布表

階級値(全体)	階級名	度数
0	0-0.9	0
0.9	0.9-1	52
1	1-1.1	162
1.1	1.1-1.2	234
1.2	1.2-1.3	147
1.3	1.3-1.4	5
1.4	1.4-1.5	0
	合計	600

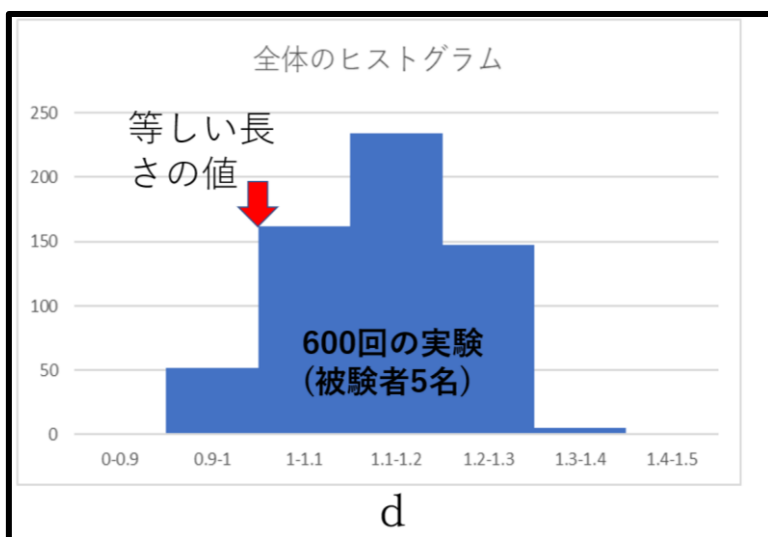


図 17 : 全体のヒストグラム

○色による差

各色の試行 75 回の平均値をとった表を以下に表す(表 2)。以下よりすべての色で左辺より右辺の長さが長いとき等しく見えているということがわかる。また、平均値からは青と緑より赤、白が大きく見えやすいというようになっているが、被験者によって分けると、図 18 より被験者 A では青の時、B では赤の時など大きく見える色にパターンは見られなかった。

また、30 回の試行ごとに全体の平均をとり、この数値と各被験者の試行で t 検定を行うと、被験者 D を除き有意差が生じた。

ここで、個人差についても発見があった。被験者 C を除き、他の 4 人の被験者色による見え方の差は小さいが錯視量には大きな違いがあった。表 3 からわかるように、錯視量が大きい被験者 E と小さい被験者 D の平均値の差は約 0.11 もあった。被験者 C では白・赤では右辺がかなり長いとき、等しく見え、青・緑では左辺とほとんど同じ大きさ、または小さいとき等しく見えていた。平均値をとった中でも被験者 C の青色のときのみ、左辺より右辺が短いということがわかる。

表 2：各色における平均値

色	点 A の位置の平均値(d の長さの平均値)
赤	1.157266667
青	1.101066667
緑	1.104133333
白	1.133066667

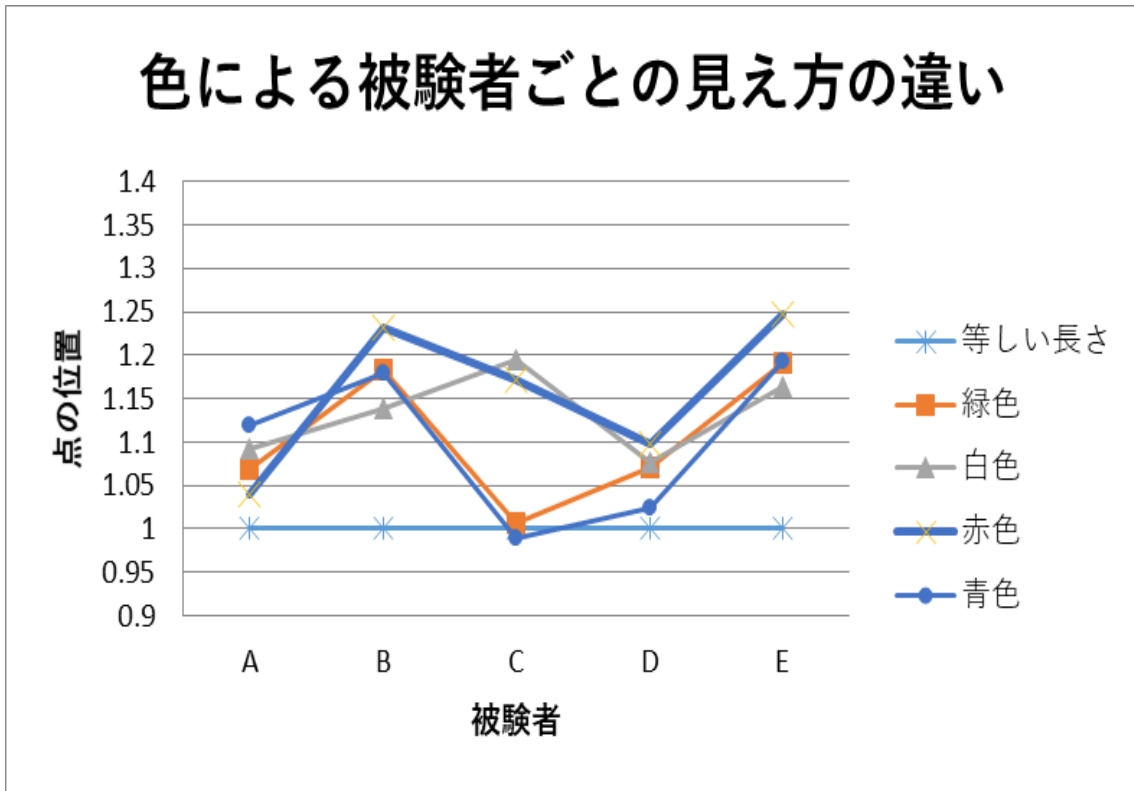


図 18：色による被験者ごとの見え方の違い

表 3：被験者ごとの平均値

被験者	点 A の位置の平均値
A	1.08
B	1.183333333
C	1.0905
D	1.067166667
E	1.198416667

○試行回数による差

被験者 5 名に対し、4 色の試行を 30 回ずつ行ったときの 600 回の試行を各被験者に対し、前半 10 回(1~10)と中間 10 回(11~20)後半 10 回(21~30)の 200 試行の平均値をとったグラフが以下の通りである。図 19 より、一番大きかった前半平均と一番小さかった後半平均を比較しても $0.0091 \approx 0.01$ の差しか見られなかったことより、ほとんど回数による差は見られなかった。

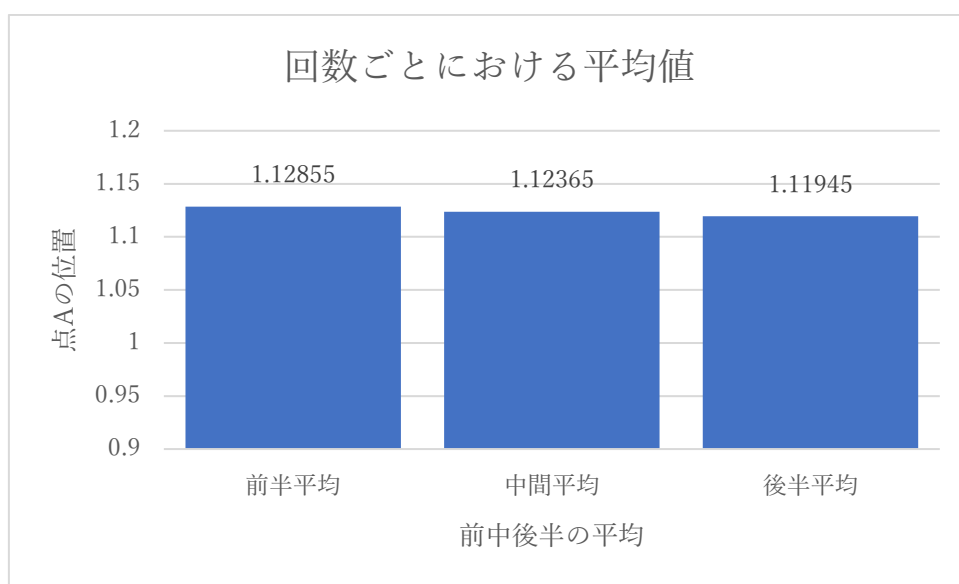


図 19：回数ごとにおける平均値のグラフ

3.2 実験2の結果

実験1同様に被験者5名×50回の250回の試行の度数分布表とヒストグラムにおくと、以下の通りである。ここでも実験1同様に、dの長さが1.0のとき、左と右の上面が合同な長方形である。このことから、被験者5名の試行50回、計250回の試行のうちたった2回だけが、左の上面より右の上面が小さくなる時同じサイズに見えたということになる。

表4 全体の度数分布表

階級値(全体)	dの長さ	人数
0	0-0.9	0
0.9	0.9-1.0	2
1	1.0-1.1	27
1.1	1.1-1.2	44
1.2	1.2-1.3	23
1.3	1.3-1.4	18
1.4	1.4-1.5	74
1.5	1.5-1.6	49
1.6	1.6-1.7	12
1.7	1.7-1.8	1
1.8	1.8-1.9	0
	合計	250

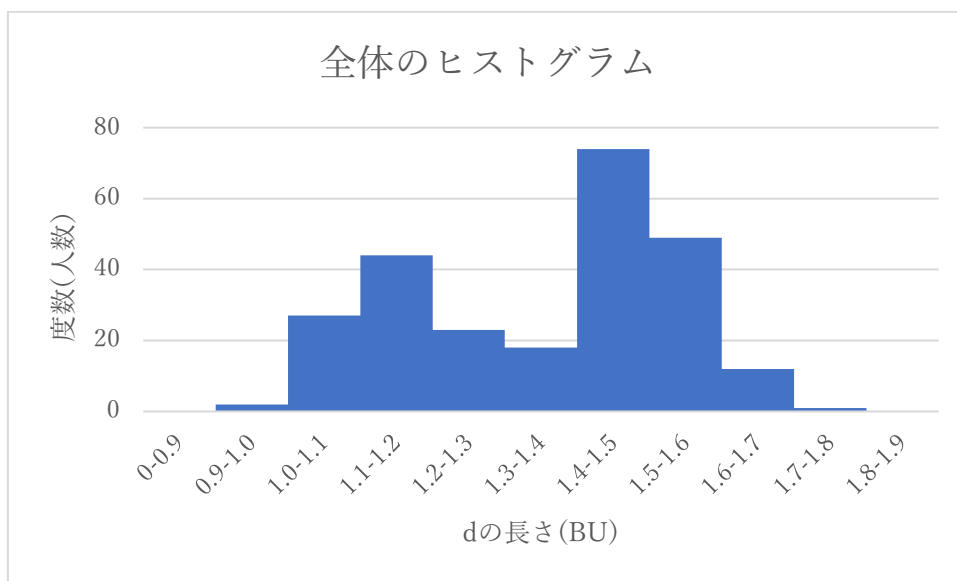


図 20：全体のヒストグラム

各個人におけるデータをまとめた表を以下の表 5 にまとめた。各被験者 50 回の試行を、各々平均値をとり、分散、標準偏差、平均偏差を求めた。平均偏差とは、以下の式より求めることができ、データの偏差の絶対値をとり、それらを平均した値のことをいう。

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

d：平均偏差 n：データ数(被験者の試行回数) x_i ：回数ごとのデータ
 \bar{x} ：データの平均値

標準偏差、平均偏差ともに、とても小さい結果が得られた。一番大きかった被験者Dの標準偏差でも 0.1 より小さい。本研究では、BUが 0.01 ずつしか変更しない点を考慮しても、平均値が 1.5168 で実際に同じサイズである 1.00 より 0.5 以上大きいことから、被験者のデータのばらつきは非常に小さいといえる。

表5：被験者ごとにおけるデータ

被験者	A	B	C	D	E
平均値(BU)	1.476	1.0864	1.2034	1.5168	1.4762
分散	0.000804	0.003287	0.005682	0.008966	0.00582
標準偏差	0.028355	0.057333	0.075382	0.094688	0.076286
平均偏差	0.01944	0.042144	0.0638	0.074512	0.061952

第4章 考察

○実験1に対する考察

ほとんどの試行において錯視効果を得ることができた。このことから、錯視効果に個人差はあるといえど、奥行きによる遠近法的錯視はほとんどの人に対し起こる現象であることがわかる。この原因として、図21を見て説明することがたやすい。この図の長さを測ると、aよりbの長さの方が長い。しかし、実際に人の脳では同じ長さであると感じる。これは、同じ長さでないと脳がドアは閉まらないという風に考えるからである。本実験でも同様に奥行きにより脳がこのサイズでないと、同じ長さにはならないと考える長さが本実験1の平均値が約1.1と実物より約一割長い長さの時であった。

本実験の被験者の数値の中で、被験者Dを除く4名には有意差があり、色による違いはあまり見られないということが言える。これは実験1の図18から分かる通り、各4色の平均値は被験者Cを除き、すべて密集していて、最大値と最小値の差は0.1以下となっている。このことから、遠近法的錯視において色による違いはほとんど見られないことがわかる。被験者Cにおいては、白、赤では1.15以上、青、緑では1.0付近で上辺と下辺がほとんど同じ長さであった。ここで色による見え方の違いがあるとすれば、2色ごとで大きく分かれることはないと考えられる。そのため、被験者Cでは、順番が白→赤→青→緑の順番であるため、赤から緑に移行する際に被験者Cに本実験1に対する集中が割かれるような外的要因が働いたと考えられる。また、回数による平均値の差はほとんど見られなかったため、何度回数をこなそうと錯視量に違いはないことが、本実験をとおして判明した大きな結果であるとも考えられている。これはいくら錯視効果があるとわかろうとしても、人の脳では、奥行きがあると勝手に判断してしまうということが言える。



図 21：半開きのドアの錯視

○実験 2 に対する考察

実験 2 では実験 1 よりもより大きな錯視効果を得ることができた。錯視効果が全く得られなかった、試行はたった 2 回しかなく、最頻値は 1.4 以上 1.5 未満と実験 1 の 1.1 以上 1.2 未満に比べ大きく明らかな錯視効果が得られた。この最頻値は、被験者の人数が少ないことより一概には言えないが、実験 1 の被験者 B と実験 2 の被験者 A は同一人物である。以下の表 6 にて比較を行うと、実験 1 にて一番錯視効果の大きかった白色と実験 2 の差をとると、約 0.34 の差ができた。このことより、実験 2 での錯視効果は実験 1 に比べより明確に表れたことがわかる。これには、シェパード錯視を参考にし、直方体の高さを実験 1 に比べ、大きくしたことにより、物体間での奥行きが被験者にとってより大きく感じられたことが要因であるといえる。また、個人差も実験 2 では実験 1 に比べ大きくなり、2.2 で説明した仮説に沿った結果が得られた。

表 5 より、データのばらつき具合について考えても、標準偏差がすべての被験者に対して 0.1 以下であり、とても少ないことが見て取れる。また標準偏差は 2 乗をして計算することから、平均偏差より大きくなる。これによって、ばらつきが大きいとき標準偏差と平均偏差の差はおおきくなるが、一番差が大きい被験者 D でも 0.02 程度と小さな値をとる。このことから、実験 1, 2 を通して、個人差による錯視量の差はでるが、被験者個人間での錯視量に変化はなく、ほとんど一定の見え方が常にされていると考えられる。

表 6：同一被験者による平均値の比較

	実験 1		実験 2		
	白	赤	青	緑	
d の長さの平均値	1.139333	1.230667	1.18	1.183333	1.476

本研究の反省点としては、被験者数が少なかったことと、被験者に対し完全な集中空間を作れなかったことが挙げられる。被験者が少ないことにより、一人ひとりの比重が大きくなってしまった。改善点として、被験者数を増やし一人ひとりの比重を減らし、実験装置の変更時間を減らし、集中力が散漫するのを防ぐなどが挙げられる。

第5章 まとめ

遠近法による錯視効果を定量的に測るために、被験者5名に対し、UPBGEを用いて2回にわたる実験を行った。実験1では、同一平面間における奥行きによる遠近法的錯視量を4色の色ごとに分け測定し、実験2では、シェパード錯視を参考に二つの平面の奥行きによる遠近法的錯視量を測定した。

結果として、2つの実験ともに、錯視効果を得ることができた。色による差や、回数を重ねることによる差はほとんどの試行でみられなかったことから、遠近法的錯視にこれらは関係していないといえる。また、錯視の起こる量は人によって個人差が大きくあることが本研究より明確に表れた。

実験1と2を比較したとき、奥行きがより感じられる実験2のほうが錯視量が大きくなることがわかった。これは、人間が物を認識するとき、実際の見えている映像を奥行きの有無によって大きさの大小や長さの長短を勝手に想像していることがわかる。このことより、人は、大小はあるかもしれないが、奥行きに対する遠近法的錯視を感じるといえるだろう。これを応用すると、車のスピード軽減や人の進行方向の制限などを行うことができ、交通事故や人同士の接触事故等の削減に日常生活の様々な面で、利用できるだろう。

第6章 謝辞

本研究全体を通して、ミケレット・ルジェロ先生には研究のテーマ設定、プログラミングの基礎などの初歩的なものから、発表等の添削まで親切にご指導していただき心から感謝申し上げます。

また、たくさんのアドバイスをくださった研究室のメンバーにも深く感謝申し上げます。

最後にお忙しい中時間を割いて研究に協力していただいたすべての方々に感謝の意を示し、謝辞といたします。

第7章 参考文献

Shepard, R. N. (1990) 「Mind sights: original visual illusions, ambiguities, and other anomalies, with a commentary on the play of mind in perception and art.」 Freeman (R. N. シェパード著、鈴木光太郎・芳賀康朗訳 (1993) 「視覚のトリック：だまし絵が語る「見る」しくみ」新曜社)

浜口恵治(1995)「ミュラー・リヤー錯視と角度錯視の関係」基礎心理学研究

北岡明佳(2009)「遠近法的錯視を考える」日本心理学会 73 回大会

【アイディア】目の錯覚を利用した横断歩道により対面の人とぶつからない
<https://fundo.jp/56784> 最終閲覧 2022/1/25

3 原色と色彩心理～3つの傾向とパターン～
<https://arthealing.jp/color-psychology/3-primary-colors> 最終閲覧 2022/1/25

錯視効果を利用した「浮き上がって見える横断歩道」が静岡にお見え。事故防止の為(動画あり) (2013)
<https://karapaia.com/archives/52149183.html> 最終閲覧 2022/1/25