

# Necker cube における錯視条件の定量化

所属コース

基盤科学コース

学籍番号

090719.8

氏名

渡利藤香

指導教員

ルジェロ・ミケレッティ

The purpose of this study is to clarify the mechanism of 3D recognition when we see a figure that causes an optical illusion. We study an ambiguous figure called Necker cube that can be perceived in two different ways. We examine the dependence of the figure with its degree of inclination. The result means that the frequency of the perspective depends on this degree and the regularity of that depends on its symmetry.

## 1. 研究背景と目的

近年、テレビや映画などを始めとして、さまざまな画像・映像関連事業において立体視が利用されており、その技術が重要性を増している。しかしながら、脳が映像を三次元と判断するメカニズムは未だに解明されていない。そこで、三次元錯視を生じる二次元図形のうち、最も単純で対称性のある図形のひとつである Necker cube に注目した(Fig.1 上)。この図形には、主に Fig.1 下のような 2 通りの見え方が存在し、継続して見ることでこれが交互に生じる。このように単純な構造である図形における錯視の生じる条件を特定することで、そのメカニズムを他の複雑な図形へ応用することができると考えられる。それによって、我々は二次元図形を見て三次元立体と認識してしまう錯視が生じたときの脳の機構を解明したいと考えている。

以上の理由から本研究では、この図形の角度が変化することによって空間知覚にどのような影響を与えるかを調べた。さらに、得られた条件を定量化することで、錯視現象に関する新たな数理モデルを構想することを目的とした。

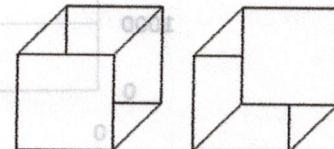
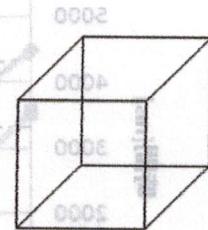


Fig.1 Necker cube とその見え方

## 2. 方法

図形の見え方の角度依存性を調べるために、回転により角度を変化させた Necker cube の見え方が変わる時間を測定した。奥行きを表す辺を  $45^\circ$  として Necker cube を画面中央に描画し、キー入力により被験者の見え方の変化時間を 5 分間記録するプログラムを作成した。このプログラムを用いて、晴眼者である 5 人の被験者に対して実験を行った。得られた結果を 0.5 秒刻み 600 分割でヒストグラム化し、ガウス関数で近似する。そして、錯視による見え方の変化を調べるために、見え方が変わってから次に変わまでの時間の平均とその標準

偏差を角度ごとに求める。さらに、求めた値を縦軸に時間[ms]、横軸に角度[rad]としてグラフ化する。

## スイニ学林基

## スイニ風頭

### 3.結果

## 号番翻学

5人の被験者の結果から、見え方が変化する平均値と存在範囲について角度ごとに最大値と最小値を除いて平均を取ったグラフをFig.2に示す。

平均に関する結果から、 $0^\circ$ から $90^\circ$ まで、角度が増大するにつれて、見え方が変わってから次に変わるまでの平均が減少する傾向が見て取れる。つまり、角度が増大するにつれて、見え方が変化する頻度も増大することがわかる。このグラフは、 $0^\circ$ から $15^\circ$ になるときに減少し、その後 $15^\circ$ から $45^\circ$ になるまで増加し、最後に $45^\circ$ から $90^\circ$ にかけて再び減少していることがうかがえる。

範囲の結果については、平均のように単調減少や単調増加の傾向は見られなかったが、全体の平均値を取ると、 $0^\circ$ のときの値が最も近いことがわかる。つまり、すべての角度で比較した場合、回転していない $0^\circ$ の図形の見え方の規則性が最も平均的であったといえる。また、 $0^\circ$ から $15^\circ$ にかけては値が減少し、 $15^\circ$ から $45^\circ$ にかけては増加している。そして、 $45^\circ$ 以降は増加と減少が交互に生じている。のことから、範囲の結果は平均の場合とは異なり、短調な変化が見られないため、角度の値に対する依存性は小さいと考えられる。

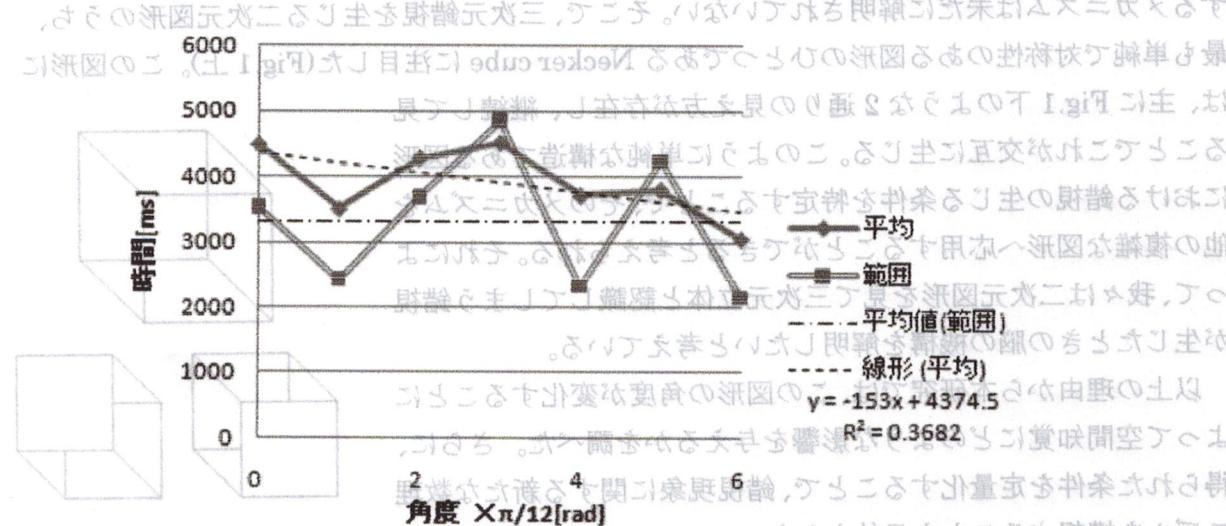


Fig.2 見え方が変化する時間の平均と範囲の推移

## 4.まとめ

見え方が変わってから次に変わるまでの時間の平均は、 $0^\circ$ から $90^\circ$ まで、回転する角度が増加するにしたがって減少すること、見え方が変わる時間の値の範囲は、図形の回転角度に依存しないことがわかった。つまり、角度が増大すると見え方が変わる頻度も増大し、頻度は角度の値に依存することがわかる。また、図の左右の対称性が崩れたときに値の範囲が大きく変化したことから、見え方が変化するタイミングの規則性は角度の値そのものではなく、形の対称性の変化に依存する可能性が示唆された。

# 卒業論文

## Necker cube における錯視条件の定量化

平成 24 年度

090719 渡利藤香

横浜市立大学 国際総合科学部国際総合科学科  
基盤科学コース

# 目次

## 1章

### 1.1 背景

1.1.1 現在の状況.....	1
1.1.2 三次元視について .....	1
1.1.3 Necker cube について .....	3
1.2 目的.....	4

## 2章

### 2.1 仮説

2.1.1 透視図と投影図.....	5
2.1.2 仮説 .....	5

### 2.2 実験概要

2.2.1 目的 .....	6
2.2.2 被験者 .....	6
2.2.3 手順 .....	6
2.2.4 解析方法 .....	12

### 2.3 結果

2.3.1 結果グラフ .....	13
2.3.2 考察 .....	17

## 3章

3.1 まとめ .....	19
3.2 課題.....	19
3.3 展望・応用 .....	19

参考文献..... 21

謝辞..... 22

# 1章

本章では、現在日常生活で用いられている三次元視のシステムやその研究、奥行き知覚のための手がかり、本研究で用いた Necker cube という図形の説明を通して、本研究の目的について述べる。

## 1.1 背景

### 1.1.1 現在の状況

近年、テレビや映画などを始めとして、さまざまな画像・映像関連事業において立体視が利用されており、その技術が重要性を増している[1]。たとえば、3D 映画は、右目用と左目用と 2 通りの映像を同時に流し、観客は偏光めがねをかけて見ることで、それぞれの目に対応する映像のみを得て、立体視として映画を楽しむことができる仕組みになっている。しかしながら、脳が映像を三次元と判断するメカニズムは未だに解明されていないのが現状である[2]。

### 1.1.2 三次元視について

現在の三次元視に関する研究は、二次元の網膜像から三次元の視覚世界を認知するための各奥行き手がかりのしくみ、その発生と発達、手がかり間の統合過程、立体や奥行きを識別する効果、などの領域で進められている。奥行き手がかりには、両眼視差、運動視差、眼筋的手がかり、絵画的手がかりなどが存在し、それぞれのモジュール内で並行して単独に処理された後、手がかりとして統合されて三次元視が生じると考えられている[3]。それぞれの奥行き手がかりについては以下で詳しく述べる。

#### (1)両眼視差

人間は異なる位置に 2 つの目を持っている。そのため、離れた場所にある対象を見るとき、Fig.1.1 に示すように右目に映る像と左目に映る像には差異が生じる。この差異のことを両眼視差という。これは上述した 3D 映画にも用いられており、現在の画像・映像関連事業において最も利用されている方法である。

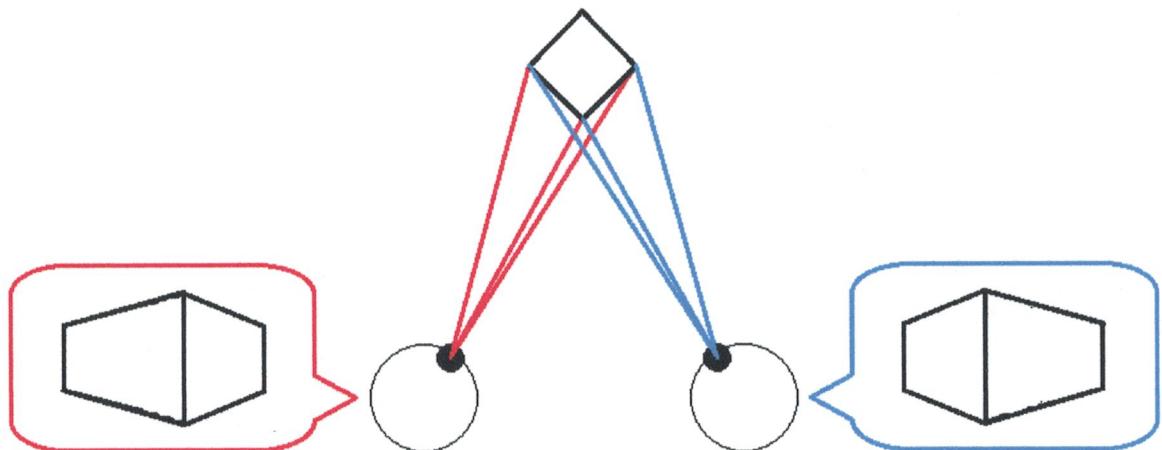


Fig.1.1 両眼視差：両眼と対象の位置関係を上から見た図

## (2)運動視差

屋外を歩いているとき、遠くに見える太陽や月は、同じ移動をしてずっと視界の中にある。対して、近くの通行人や建物は、通りすぎると一瞬にして視界から消える。このように、観察者が移動している場合、凝視点より遠くの対象は観察者と同じ方向に移動し、近くの対象は観察者と反対に移動する。これを運動視差という。

## (3)輻輳運動

Fig.1.2 のように、人間の目は、遠くの対象を見るときは外側に回転し、近くの対象を見るときは内側に回転する。この目の回転運動のことを輻輳運動といい、両眼と観察対象のなす角を輻輳角という。観察対象が遠くにあるほど輻輳角は小さくなり、近くにあるほど大きくなる。

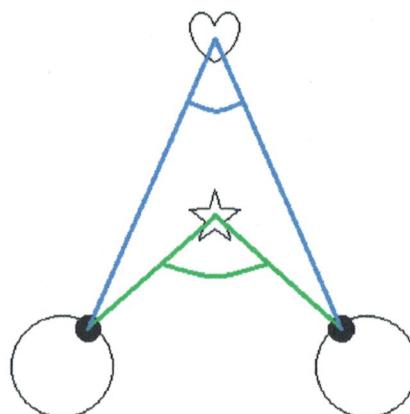


Fig.1.2 輻輳運動と輻輳角：両眼と対象の位置関係を上から見た図

## (4)眼筋調節

人間の目にある水晶体は、カメラでいう凸レンズの役割を果たすが、その厚さは可

変である。そのため、水晶体が、近くにある対象を観察するときは薄く、遠くにある対象を観察するときは厚くなるよう様毛体筋を使って調節される。つまり、対象までの距離と水晶体の厚さには深い関係がある。

## (5) 絵画的要因

輻輳と両眼視差以外の手がかりのうち、二次元的な絵画や写真の中で表現される空間知覚手がかりを絵画的手がかりという。具体的には、線遠近(linear perspective)、大気遠近(aerial perspective)、重なり(overlapping)、陰影(shading)、テクスチャ勾配(texture gradient)などが奥行き知覚に利用されていると考えられている[4]。

線遠近法とは、本来平行である線を、Fig.1.3 にあるように、1点以上存在する消失点に向かって収束するように描くことで奥行きを表現する手法である。



Fig.1.3 線遠近法を用いた線路の写真

大気遠近法とは、光を吸収し拡散するという大気の特性により、視点から観察対象までの距離が大きい像ほどぼやけて見えることを利用した手法である。

重なりとは、視点からほぼ同じ方向に複数の対象があると、手前にある不透明な対象が、より奥にある対象の像を遮蔽してしまう現象のことである。

陰影とは、光源の方向や物体の表面の反射特性とその形状によって変化する反射光強度の分布のことである。

テクスチャ勾配とは、同じような大きさの、同じような形の対象が点在する面を見るとき、近くの対象は大きく疎に、反対に遠くの対象は小さく密に見える現象のことである。

### 1.1.3 Necker cubeについて

Fig.1.4 上部にある、立方体骨格を斜め上から見たような图形を Necker cube という。これは、二次元图形でありながら三次元立体に見えるという錯視を生じる图形のうち、最も単純で対称性のある图形の1つとして注目を集めている[5]。この图形は、Fig.1.4 下部にあるように、左下の正方形が手前の面である立方体に見えたり、逆に

右上の正方形が手前に見えたりする錯視を引き起こすことが知られている[6]。

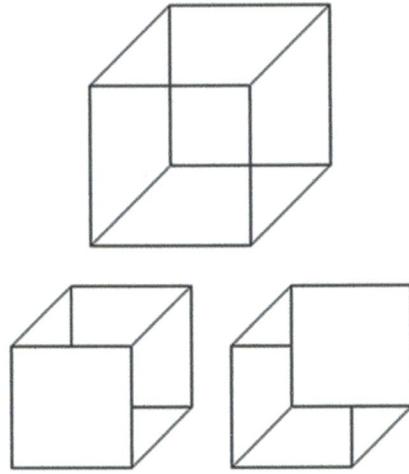


Fig.1.4 Necker cube とその見え方

Fig.1.3 上部の図形をしばらく見ていると、先に述べた 2 通りの見え方が交互に生じることがわかる。これは、ある 1 点を注意して見ると、注視が長時間に及ぶとその周囲が見えなくなるというトロクスラー現象(Troxler's effect)により、Necker cube の一部が見えなくなることで生じる。

二次元図形でありながら二次元図形に見えにくいのは、見る人のこれまでの経験に因る要素が大きいと言われている。つまり、今までこの図形を立体であると認識する機会が多く、二次元上の図形にすぎないと判断することが少なかったため、このような錯視を生じると考えられている[2]。

## 1.2 目的

そこで、このような錯視を生じる Necker cube を用いて、錯視が生じる条件を特定することで、二次元図形を見て三次元立体と認識してしまう錯視が生じたときの脳の機構を解明したいと考えている。その構造の単純さ故に、この図形で生じた現象を、他の複雑な図形へ応用することは容易にできると考えられるためである。

今回は、絵画的奥行き知覚手がかりのうちの線遠近に着目した。本研究では、この図形の角度が変化することによって空間知覚にどのような影響を与えるかを調べ、定量化することで、現象に関する新たな数理モデルを構想することを目的とした。

## 2章

本研究では、Necker cube を見て、見え方が変わってから次に変わまでの時間を記録する実験を行った。本章では、この実験を行うにあたって立てた仮説と、実験の実施状況、その結果について述べる。

### 2.1 仮説

#### 2.1.1 透視図と投影図

我々は一般に、遠近法により奥行きを知覚する。例えば Fig.1.3 のような線路の写真は透視図を用いている。透視図とは、遠近法を用いて、視点に対する対象の位置や大きさに応じて、立体を拡大縮小させて描く図である。この写真を見たとき、斜線に沿って、下側にある大きな部分が手前に、上側にある小さな部分が奥にあると判断する。このように、奥行きを判断するには像の上における対象の高さに関する位置関係が重要であると推測される。ここでは、斜線と交わる横向きの平行線のことを「高さ」とする。

Fig.1.3 の透視図に対して、Fig.1.4 の Necker cube は投影図と呼ばれる。投影図は、対象の任意の点と視点を直線で結び、2 点の間の投影面と直線の交点を得ることによって二次元図を描く。

#### 2.1.2 仮説

Necker cube の図法も、透視図と同様に斜線を用いた図法である。このことから、透視図である線路の写真における遠近法に基づく奥行き認識方法が、投影図にも同様に影響を与えると考えられる。Necker cube の場合は、Fig.2.1 右に示すように 2 つの正方形の高さの差が奥行き認識に影響を与えると考えられる。

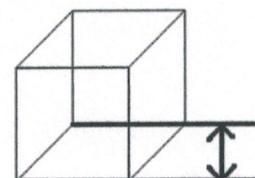


Fig.2.1 線遠近法における高さと Necker cube における高さの定義

この差が大きいと、奥行きを容易に判断することができるため、始めの見え方が長続きし、見え方が変わまでの時間は長くなる。逆に小さいと、奥行きの判断が容易

にはできないため、見え方が頻繁に変わると考えた。

しかし、単純にこの図形の高さだけを変化させると形が崩れてしまい Necker cube の枠から外れてしまう可能性がある。そこで、図形が回転すると 2 つの正方形の高さが変化することに着目した。Necker cube は、投影図の中でも特に射投影と呼ばれる図法を用いている。斜投影では、奥行きをを表す斜辺を  $45^\circ$  で表すのが一般的であるので、それに倣って、今回実験に用いた Necker cube は奥行きを  $45^\circ$  で描画している。そのため、2 つの正方形の高さの差は、 $0^\circ$  のときが一番大きく、そこから右回りで回転させていき、 $45^\circ$  になったところで高さが等しく、つまり差が 0 になる。さらに回転させていき、 $90^\circ$  になると再び差は最大になる。

以上の点から、2 つの正方形の高さの差が小さくなるにつれて、奥行き認識が困難になることが予想される。つまり、見え方が変わるまでの時間は小さくなり、その時間の値は広範囲に分布すると考えられる。

具体的には、 $0^\circ$  から  $45^\circ$  に向かって回転させていくと、見え方が変化するまでの時間は短くなり、その時間の値は広い範囲に分布する。さらに  $45^\circ$  から  $90^\circ$  にかけて回転していくと、反対に、時間が長くなり、狭い範囲に分布する。つまり、時間の平均に関するグラフは、 $45^\circ$  を中心に谷型に、範囲に関するグラフは  $45^\circ$  を中心に山形になると予測される。

## 2.2 実験概要

### 2.2.1 目的

上述した仮説を検証すべく、Necker cube の角度による見え方への影響を調べる。

### 2.2.2 被験者

今回の被験者は晴眼者 5 名（成人男性 2 名、成人女性 3 名）である。

### 2.2.3 手順

実験はほとんど光の入らない場所で行った。実験前、被験者には、画面に静止した Necker cube が現れること、その図形には主に 2 通りの見え方があること、見え方が変化した瞬間に指定されたキーを押すこと、プログラムは 5 分間で自動的に終了すること、実験中は画面外を見ないことをあらかじめ伝え、質問は受け付けなかった。

被験者は静止した Necker cube が現れる画面を 5 分間見る。その間、見え方が変化した瞬間にスペースキーを押す。5 分経過してプログラムが終了したら実験終了とした。実験は 3 回に分けて行い、1 回目で  $0^\circ$  (Fig.2.2.1) のデータを 2 回分、2 回目で  $15^\circ$  (Fig.2.2.2)、 $30^\circ$  (Fig.2.2.3)、 $45^\circ$  (Fig.2.2.4) のデータを順に 1 回ずつ、3 回目で  $60^\circ$  (Fig.2.2.5)、 $75^\circ$  (Fig.2.2.6)、 $90^\circ$  (Fig.2.2.7) のデータを順に 1 回ずつ、計 8 回分の記録を取った。実際の実験画面を縮小したものを以下に示す。

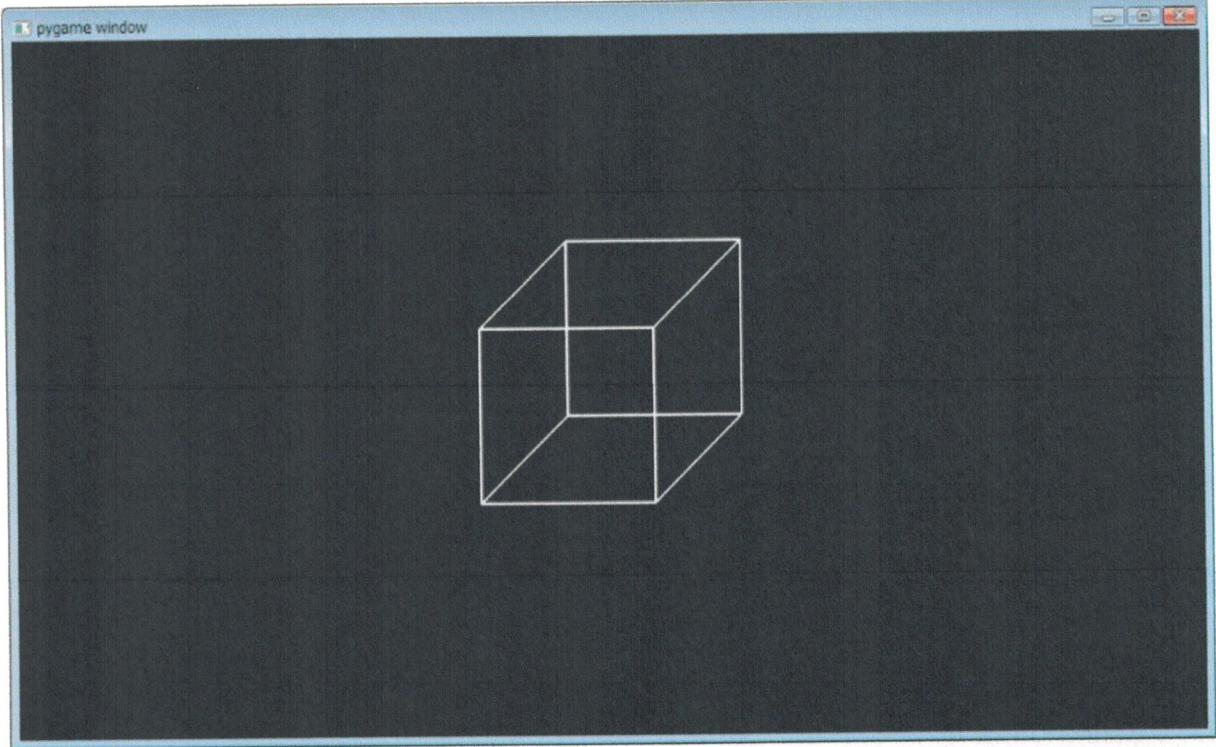


Fig.2.2.1  $0^\circ$  のときの実験画面

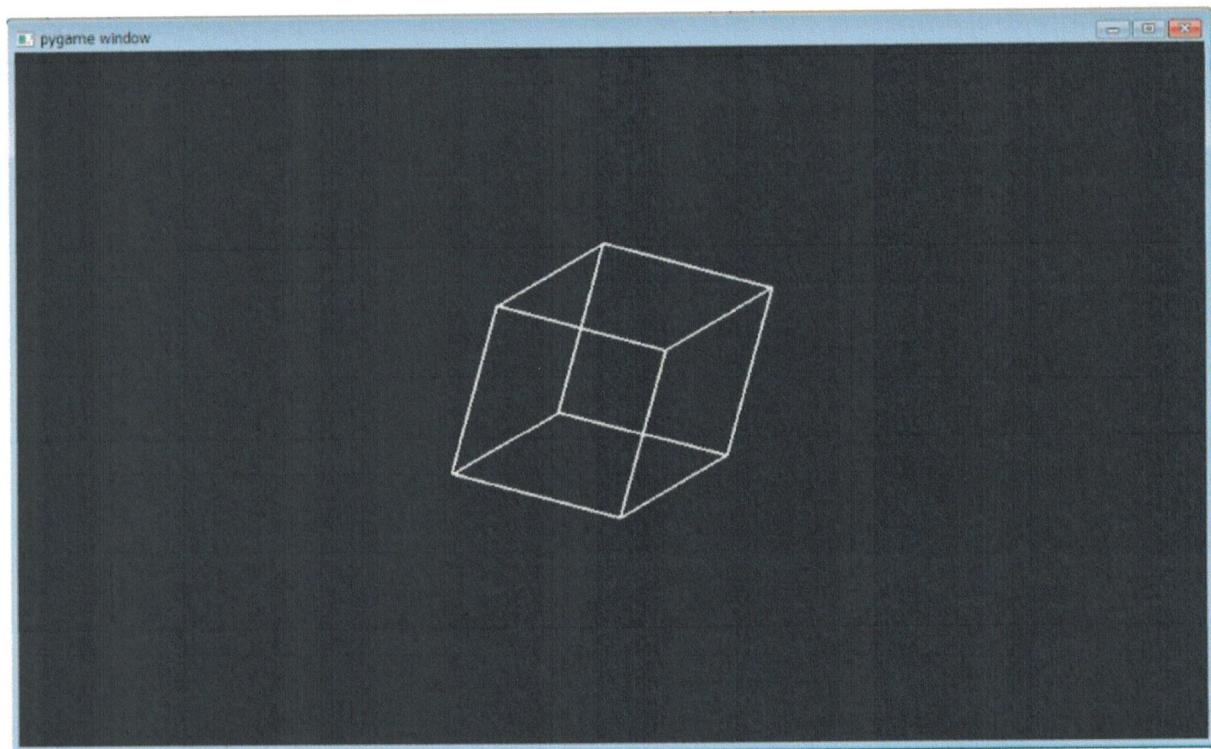


Fig.2.2.2  $15^\circ$  のときの実験画面

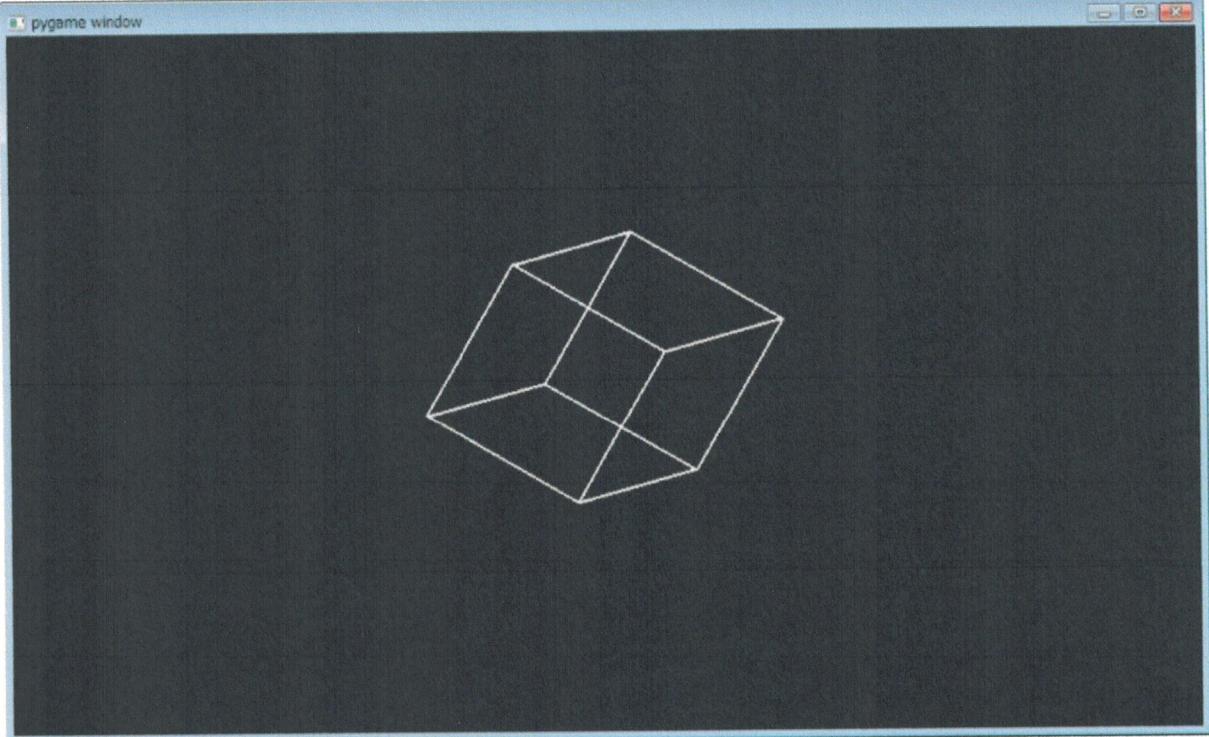


Fig.2.2.3 30° のときの実験画面

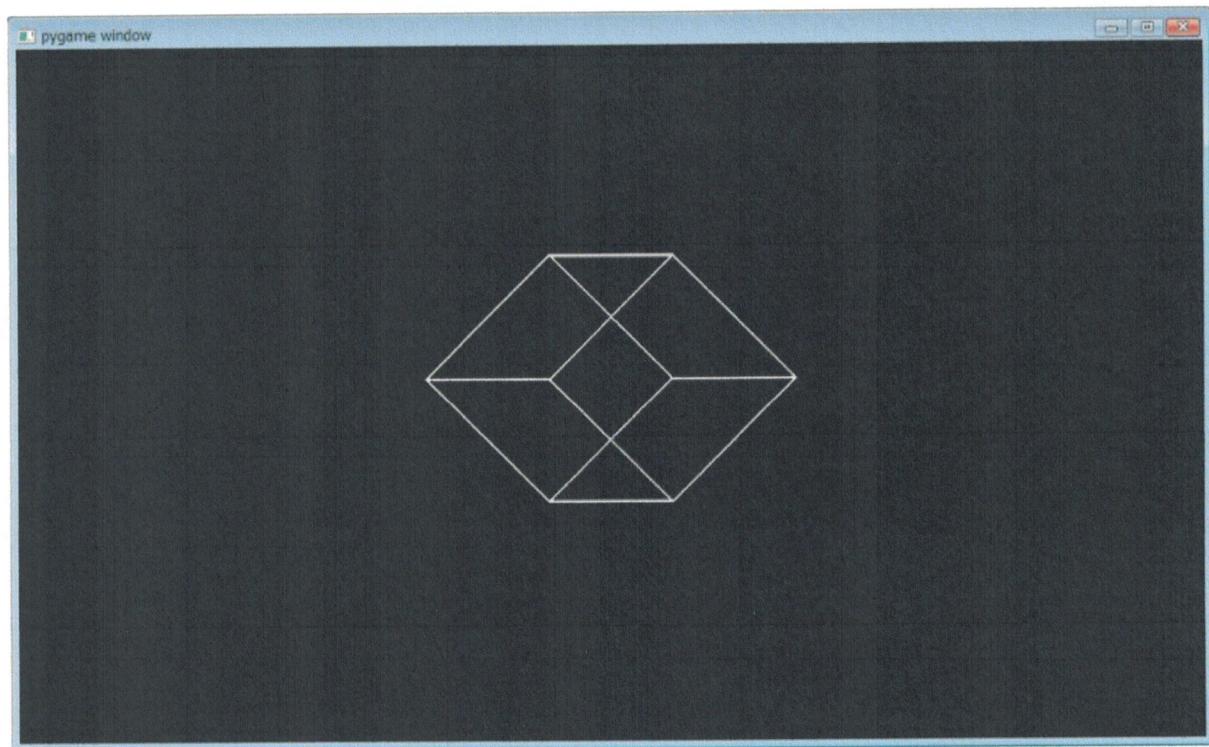


Fig.2.2.4 45° のときの実験画面

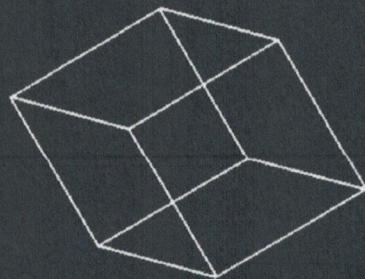


Fig.2.2.5  $60^\circ$  のときの実験画面

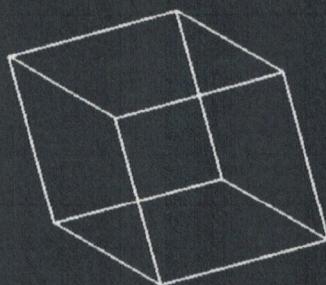


Fig.2.2.6  $75^\circ$  のときの実験画面

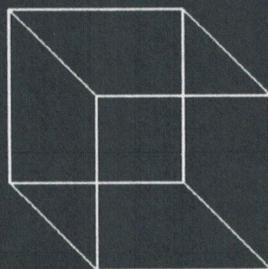


Fig.2.2.7 90° のときの実験画面

### ○プログラム内容

解像度  $1024 \times 600$  の画面の中央に Necker cube を 5 分間表示する。今回実験に用いた Necker cube は投影図の中の斜投影という技法を用いて、奥行きを表す斜辺を  $45^\circ$ 、縦横のずれをそれぞれ正方形の  $1/2$  の長さとして描画した。さらに、プログラムが開始されたときを始点として、スペースキーが押された時間をミリ秒単位で記録する。そして、得られたデータをテキストファイルに変換する。これらを、いずれもプログラム言語 Python を用いて作成した。実験の手順のフローチャートを Fig.2.3 に示す。

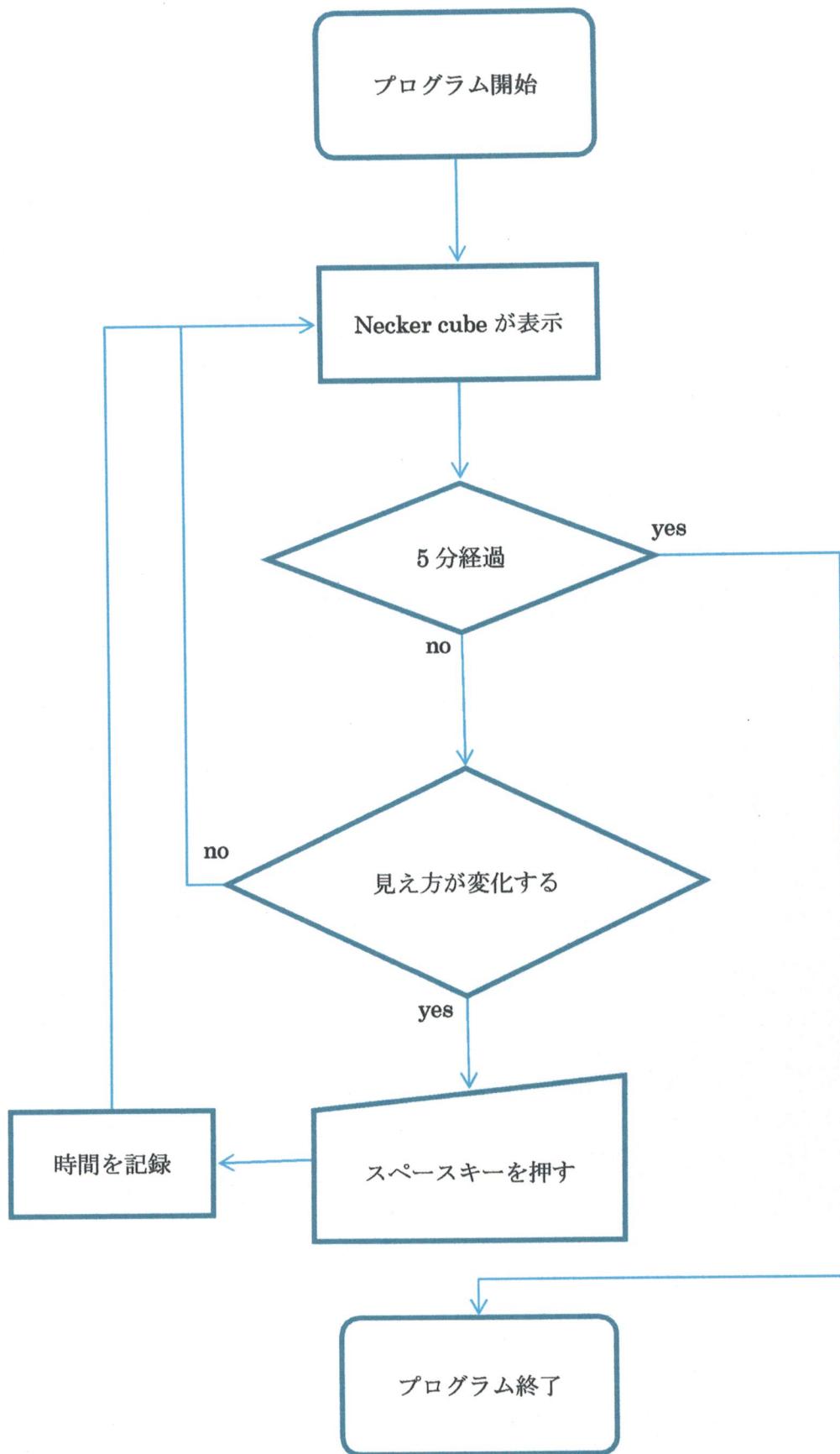


Fig.2.3 手順フローチャート

## 2.2.4 解析方法

得られた結果を 0.5 秒刻みの 600 分割でヒストグラム化し、ガウス関数で近似する。そこから、見え方が変わってから次に変わるまでの時間の平均と、その標準偏差を角度ごとに求め、縦軸を時間[ms]、横軸を角度[rad]にとってグラフ化した。さらに、5人の被験者のデータをまとめ、7つの角度における平均と範囲に対するそれぞれ 5 つのデータのうち、最大と最小の計 2 つの値を除いた 3 つの値の平均を取り、角度ごとに比較した。

### ○ガウス関数について

ガウス関数とは、

$$f(x) = a * e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}$$

の形の関数のことである。今回解析に用いた関数は、

$$f(x) = y + A * \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi}}}{w} * e^{-2\frac{(x-xc)^2}{w^2}}$$

である。この関数の  $xc$  が平均に、 $w$  が標準偏差にあたる。このような形の関数をグラフ化すると、Fig.2.4 のように平均値で度数が一番高くなり、その値から離れた値ほど度数が小さくなる正規分布が得られる。このグラフでは、 $xc$  を  $\mu$ 、 $w$  を  $\sigma$  とした。

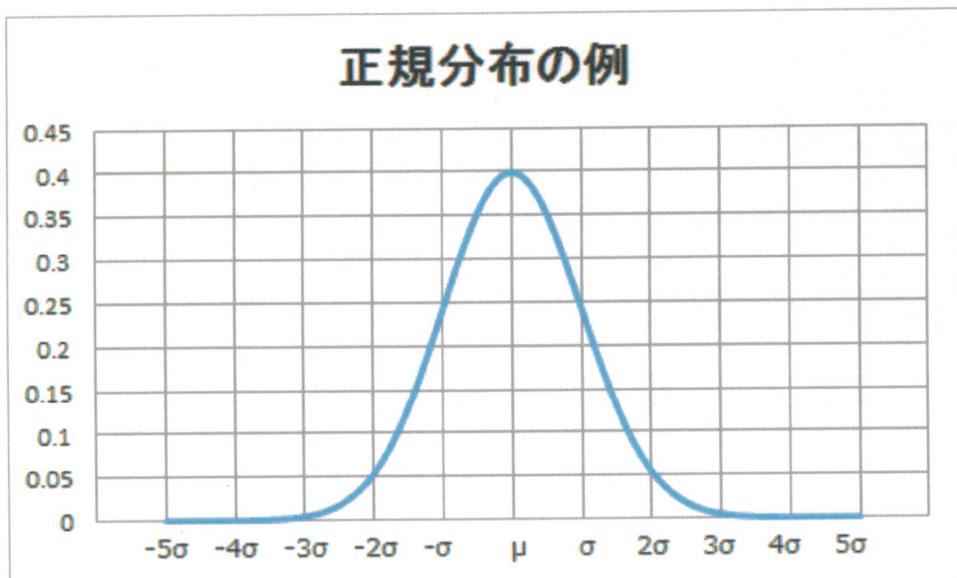


Fig.2.4 正規分布の例

見え方が変わる時間の平均は、見え方が変化する頻度に関する値であり、その時間の主な存在範囲は、見え方の変化の規則性に関する値である。よって、この平均が小さいと変化の頻度が高い、大きいと変化の頻度が低いと評価し、その存在範囲が小さいと規則的な、大きいと不規則的な変化をしていると評価できる。

## 2.3 結果

### 2.3.1 解析グラフ

前述した方法で解析した結果について、見え方が変わってから次に変わるまでの時間の平均と、その値の存在範囲を1枚にまとめたグラフを被験者ごとに示す。

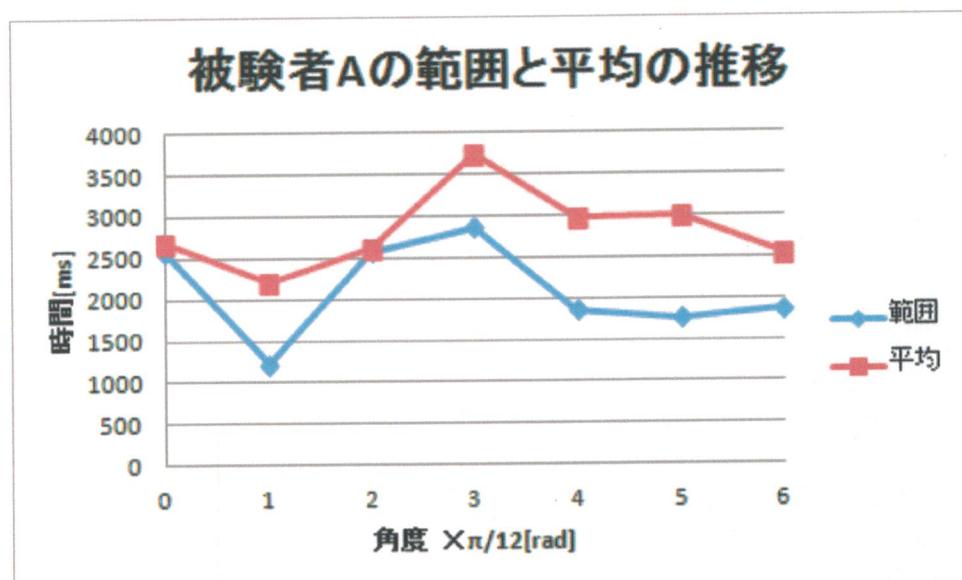


Fig.2.5.1 被験者 A の平均と範囲の推移

## 被験者Bの範囲と平均の推移

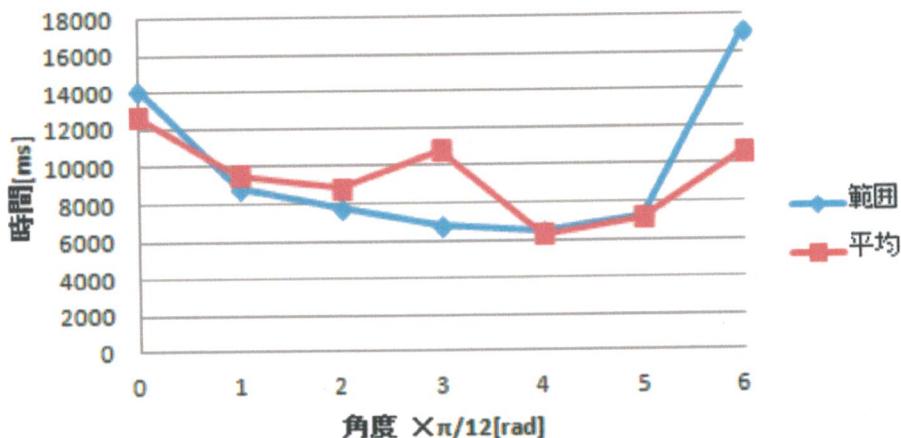


Fig.2.5.2 被験者 B の平均と範囲の推移

## 被験者Cの範囲と平均の推移

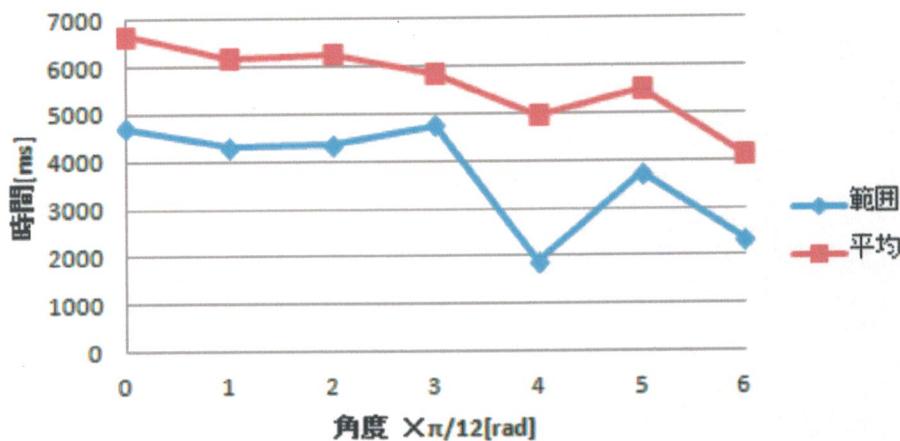


Fig.2.5.3 被験者 C の平均と範囲の推移

## 被験者Dの範囲と平均の推移

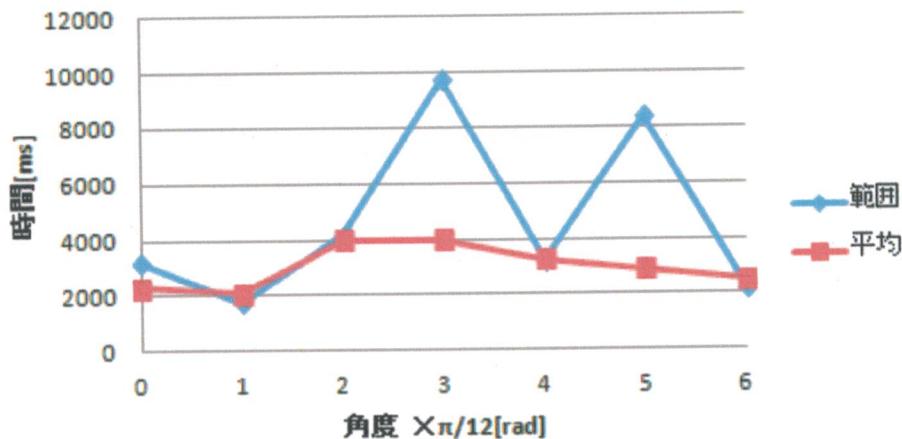


Fig.2.5.4 被験者 D の平均と範囲の推移

## 被験者Eの範囲と平均の分布

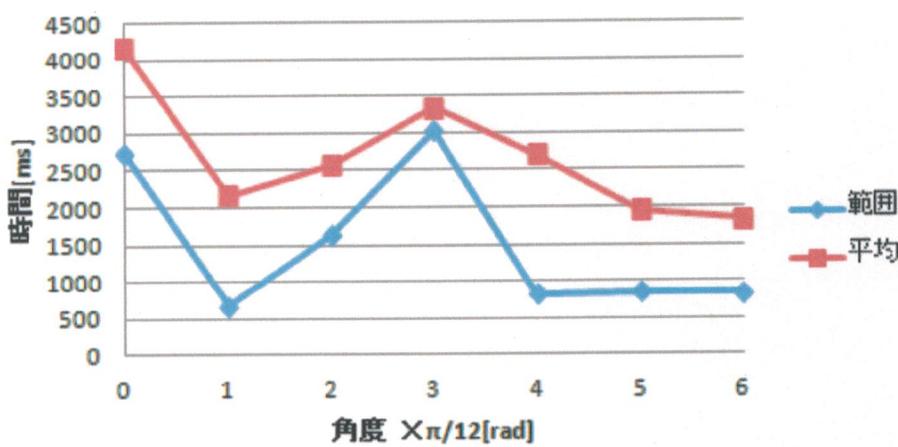


Fig.2.5.5 被験者 E の平均と範囲の推移

次に、5人の被験者の結果をまとめ、平均値と存在範囲に関して角度ごとに最大値と最小値を除いて平均を取ったグラフと、その値と標準偏差を並べた表を示す。

## 平均の推移

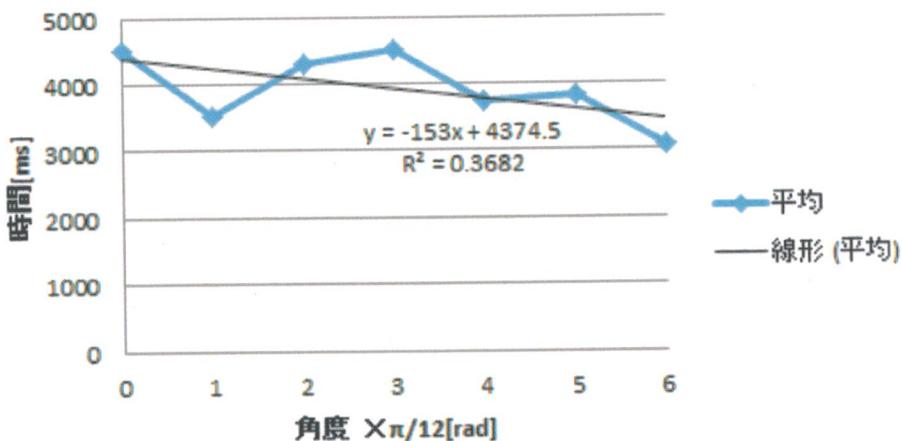


Fig.2.6.1 被験者の結果をまとめた平均の推移

## 範囲の推移

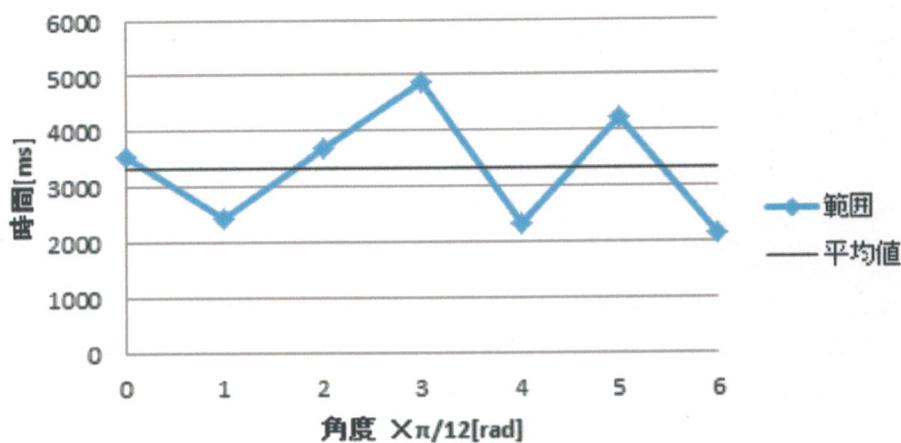


Fig.2.6.2 被験者の結果をまとめた範囲の推移

Table.2.1 平均の推移における値とその標準偏差

角度[度]	0	15	30	45	60	75	90
値[ms]	3533.07	2424.50	3690.63	4854.31	2325.52	4240.51	2146.65
標準偏差	1032.90	1649.25	971.55	1871.91	782.83	2792.55	252.93

Table.2.2 範囲の推移における値とその標準偏差

角度[度]	0	15	30	45	60	75	90
値[ms]	4493.63	3516.39	4287.81	4519.85	3722.44	3809.40	3058.74
標準偏差	2005.58	2310.34	1850.53	1153.37	1075.42	1477.18	919.76

### 2.3.2 考察

被験者 A の結果(Fig.2.5.1)は、平均、範囲共に  $45^\circ$  で最大値をとっている。つまり、Fig2.2.4 の図形の見え方の変化が、最も頻度が低く、不規則的であったことがわかる。

また、 $60^\circ$  以上の角度については、平均、範囲共に、値の増減が平均の最小値の  $\frac{1}{4}$  である 500[ms]未満と変化が小さい。つまり、この範囲の角度では、見え方の変化が角度変化に依存しないといえる。

被験者 B(Fig.2.5.2)は、平均、範囲共に他の被験者よりも高い値になっている。つまり、今回の被験者の中で、Necker cube を見たときに見え方の変化が最も頻度が低く、最も不規則的であったことがわかる。また、 $75^\circ$  から  $90^\circ$  になるとき、の範囲の値が 2 倍以上に増大していて変化が大きい。このことから、この角度における見え方の規則性への影響が大きいことがうかがえる。

被験者 C の結果(Fig.2.5.3)からは、平均、範囲共に、角度が大きくなるにつれて減少する傾向がうかがえる。つまり、角度が大きくなるにつれて、見え方の変化の頻度が高く、規則的になっていることがわかる。だが、 $0^\circ$  から  $45^\circ$  にかけては平均の値が 6645.11[ms], 6184.01[ms], 6267.6[ms], 5844.27[ms]、範囲の値が 4697.52[ms], 4303.5[ms], 4344.84[ms], 4758.61[ms] となっている。このことから、平均、範囲共に値がある 1,000[ms]間にあるため、角度による変化がほとんど見られないことがわかる。つまり、このときの見え方は角度に依存しないといえる。

被験者 D(Fig.2.5.4)は、平均の値が 2,000[ms]から 4,000[ms]までの 2,000[ms]間にあるのに対し、範囲の値は 2,000[ms]から 10,000[ms]までと、8,000[ms]間にあり、角度間の差が大きいことがわかる。特に  $45^\circ$ 、 $75^\circ$  での範囲の値の増大が、最小値の 2.5 倍から 3 倍である 5,000[ms]から 6,000[ms]程度と顕著で、このときの見え方は、他の角度のときと比べてかなり不規則的であったといえる。平均の値の全てがわずか 2,000[ms]間にあることから、見え方が変わる頻度は、角度による変化をほとんど受けていないことがうかがえる。

被験者 E(Fig.2.5.5)も、被験者 A と同様に、平均、範囲共に  $45^\circ$  で最大値となっているため、Fig.2.2.4 での見え方の変化が、最も頻度が低く、不規則的であったことがわかる。また、平均に関して、 $15^\circ$  から  $45^\circ$  まで増加し、 $45^\circ$  から  $75^\circ$  まで減少するという対称的な変化をしている。このことから、 $45^\circ$  と比べた角度の大小で、角度依存性があることが推測できる。

また、被験者全員が、 $0^\circ$  から  $15^\circ$  になったときに平均と範囲の値が減少した。このように値が変化したのは、見慣れた  $0^\circ$  の Necker cube から、 $15^\circ$  回転した見慣れない Necker cube になったという経験の量が影響したことが原因であると考えられる。また、同様に  $45^\circ$  から  $60^\circ$  になった際も、被験者全員について平均と範囲の値が減少している。加えて、平均より範囲のほうがより大きくその差が現れている。これは、Fig. 2.2.4 のような左右に対称性の高い Necker cube から、Fig.2.2.5 の対称性の低い Necker cube に変わったことによる線対称性の有無が原因だと考えられる。

Fig.2.6.1 の平均に関する結果から、 $0^\circ$  から  $90^\circ$  まで、角度が増大するにつれて、見え方が変わってから次に変わるまでの平均が減少する傾向が見て取れる。つまり、角度が増大するにつれて、見え方が変化する頻度も増大することがわかる。このグラフは、 $0^\circ$  から  $15^\circ$  になるときに減少し、その後  $15^\circ$  から  $45^\circ$  になるまで増加し、最後に  $45^\circ$  から  $90^\circ$  にかけて再び減少する。このような値の傾向は、被験者 A、被験者 D、被験者 E において現れている。

Fig.2.6.2 の範囲に関する結果については、平均のように単調減少や単調増加の傾向は見られなかったが、全体の平均値を取ると、 $0^\circ$  のときの値が最も近いことがわかる。つまり、すべての角度で比較したとき、回転していない  $0^\circ$  の図形の見え方の規則性が最も平均的であったことがわかる。このグラフは、 $0^\circ$  から  $15^\circ$  になるときに減少し、その後  $15^\circ$  から  $45^\circ$  になるまで増加し、 $45^\circ$  以降は増加と減少が交互に生じている。このような値の傾向は、被験者 C、被験者 D、被験者 E において現れている。平均に関する結果とは異なり、全体として短調な変化が見られないのは、範囲が角度の値そのものに依存しているわけではないからであると考えられる。

5人の被験者のグラフについて、全員に共通する明確な傾向などは見られなかった。このことから、この実験は個人差による影響が大きいと考えられる。さらに、Table.2.1, Table.2.2 の標準偏差の値が、範囲に関して平均より大きく出ていることから、範囲については平均より個人差による影響が大きいといえる。

# 3章

本章では、2章での結果や考察をふまえたまとめ、課題、応用的事柄について述べる。

## 3.1まとめ

全体の傾向として、見え方が変わってから次に変わるまでの時間の平均は、 $0^\circ$  から  $90^\circ$  まで、回転する角度が増加するにしたがって減少すること、見え方が変わる時間の値の範囲は、図形の回転角度に依存しないことがわかった。角度が増大すると見え方が変わる頻度も増大することから、見え方が変化する頻度は、 $0^\circ$  から  $90^\circ$  の範囲で角度の値に比例するといえる。このことから、今回得られた結果は、図の回転角度が大きくなると、見え方が変わるまでの時間は小さくなり、その時間の値は広範囲に分布するという仮説と大きく異なるものであると言える。

仮説と異なった理由として、前述のように個人差が大きく、実験結果を容易に数式化できないことが挙げられる。平均について、 $0^\circ$  から  $45^\circ$  につれて減少するという傾向は仮説通りであったが、 $45^\circ$  から角度が増大しても減少することは仮説に反している。これは、投影図においても遠近法で奥行きが判断できるという仮説が誤りであったからであると考えられる。さらに、範囲については、角度の値に依存するのではなく、角度が変化したことによる図の対称性の変化に依存する可能性が示唆された。

## 3.2課題

今回の結果の精度が低かった原因として、5人という被験者の数や試行回数が少數であったことで、被験者1人のデータの比重が大きくなってしまったことが挙げられる。この改善策として、被験者の人数を増やすことで、試行回数や実験時間を増やして多くのデータを取ることで、1つのデータの比重を下げる考えられる。これにより、精度を高め、より一般的な規則性を追究し、三次元を判断する脳の機構の解明に迫ることが望まれる。また、被験者のこれまでの経験による個人差が大きく出る実験であることがわかった。そのため、個人差の出にくい測定方法を模索する必要がある。

## 3.3展望・応用

今回の実験は、被験者の集中力を考慮して3回に分けて行ったが、 $0^\circ$  から一気に  $90^\circ$  まで通してデータを取るとまた違った結果が得られることが期待できる。また、

順番を変えて、 $90^\circ$  から  $0^\circ$  まで角度が小さくなる順に行うことでも結果は異なる可能性がある。回転させる順番を変えたことによる規則性がわかれれば、テレビや映画などの映像において、観客や視聴者が誤った解釈をしてしまう確率を減らし、正しく奥行きを理解させることができ可能になり、3D 映画や立体テレビのように眼鏡を使わなくとも映像を立体で楽しめるようになることが期待される。

# 参考文献

[1]

洗井 淳，河北 真宏，佐々木 久幸，日浦 人誌，三浦 雅人，奥井 誠人，山下 誉行，三谷 公二，岡野 文男，配野 泰行，吉村 真，古屋 正人，佐藤 正人：“フル解像度スーパーハイビジョンを用いたインテグラル立体テレビ”，映像情報メディア学会技術報告 33(42), 2009-10-21, 5-8

[2]

内川惠二：“視覚 II —視覚系の中期・高次機能—”，朝倉書店, 2007, 67,68

[3]

林部敬吉：“3 次元視研究の展開”，酒井書店, 2004, 8

[4]

横澤一彦：“視覚科学”，頸草書房, 2010, 62,63

[5]

David A. Leopold, Melanie Wilke, Alexander Maier and Nikos K. Logothetis : “Stable perception of visually ambiguous patterns”, nature neuroscience • volume 5 no 6 • june 2002, 605-609

[6]

J. MASON, P. KASZOR & C. M. BOURASSA : “Perceptual Structure of the Necker Cube”, NATURE VOL.244 JULY 6 1973, 54-56

# 謝辞

本研究を行うにあたり、テーマ設定から実験の進め方など、総合的にご指導いただいたルジェロ・ミケレット教授には深く感謝申し上げます。

また、当研究室の卒業生である及川虎太郎先輩には、休日にもかかわらず解析に関してアドバイスをいただきました。

そして、貴重なお時間を割いて発表スライドや論文の添削を行なってくださった先輩、切磋琢磨してくれた同期など研究室のメンバーには大変お世話になりました。

最後に、研究で忙しい中、快く実験に協力してくれた同期の皆様、本当にありがとうございました。