

平成 12 年度
学士学位論文

影の重なりや見え方が
影による奥行き知覚に与える効果

Effect of occlusion and perception of shadow
in depth perception caused by moving shadow.

1010361 阿河智紀

指導教員 篠森敬三

2001 年 2 月 5 日

高知工科大学 情報システム工学科

要 旨

影の重なりや見え方が 影による奥行き知覚に与える効果

阿河智紀

刺激となる物体の影の移動，また影と物体との重なり (Occlusion) が在るとき，奥行き知覚が生じることが報告されている。そこで今回の実験は，影が奥行き知覚に与える効果を重なり方や見え方の変化により調査することを目的とした。

実験方法として位置固定の白い円を置き、その影とする画像の重なり具合を変化させながら測定し、被験者に感じた浮き量を提示してもらった。また、影には見えない色（今回は赤）でも同様の実験を行った。実験で使用した影の画像は、事前に位置毎に最も影らしく見えるものをぼかし量を変えた数枚の画像から選択してもらい、その結果より作成したものである。

実験結果より、重なりが存在すると色が赤であってもわずかな隙間程度の浮きを感じるのに対し、重なりが無いと色が黒の場合は浮きを感じるが赤の場合は影ではなく別の物体と認識されることがわかった。このことは、刺激となる物体との重なりと、どの程度影として判断されているかという2点が、奥行き知覚量に寄与することを示唆している。また、結果は、大きな奥行き知覚量を生じるためにはこの2つが両方必要であることを示した。

キーワード 影, 奥行き知覚

Abstract

Effect of occlusion and perception of shadow
in depth perception caused by moving shadow.

Tomonori Aga

When shadow of an stimulation object moved, and an object and a shadow overlap, it's reported what a depth effect results. This time for an effect that shadow gives for depth perception, investigated by a change of how to overlap and how to be visible.

I prepared the shadow with the white circle to have fixed a position. It moved shadow then and made how shadow overlaps change. They showed the picture for a subject and made you present the float quantity that they felt. Again, it experimented similarly an even color that it can't do what I see for shadow.(this time is red color) A useful picture, is visible like a shadow the most every time I am located in advance with this experiment it made you choose it with the several sheets of picture to have changed shade off quantity and used to make the result for an origin.

By result of experimenting, if there is an overlap of a shadow, an even red color is a float quantity. However, if there isn't an overlap of a shadow, though a case of a black color is a float quantity, a case of a red color understood not to be a shadow and be recognized with an other object. It shows an overlap of an object and a shadow, and whether it is judged as shadow or not, that these two points contribute for depth perception quantity. So that this result obtains large depth perception quantity, these two points are necessary.

key words shadow, depth perception

目次

第 1 章	初めに	1
1.1	奥行き知覚	1
1.1.1	両眼網膜像差	1
1.1.2	運動視差	2
1.1.3	調節と輻輳	2
1.1.4	重なり・陰影	3
1.2	今回の研究目的	3
1.2.1	ぼかし量の影響	4
1.2.2	重なりの影響	5
1.2.3	影に見えるかどうか	6
第 2 章	実験条件	7
2.1	実験機材	7
2.2	共通の実験条件	8
第 3 章	予備実験	10
3.1	予備実験方法	10
3.2	予備実験結果	12
第 4 章	実験 1	14
4.1	実験 1 の方法	14
4.2	実験 1 結果 (影の色が黒の場合)	17
4.2.1	被験者 T.A の結果	18
4.2.2	被験者 Y.F の結果	19
4.2.3	被験者 Y.H の結果	20

4.2.4	被験者 H.U の結果	21
4.2.5	被験者 T.N の結果	22
4.2.6	全被験者の平均値	23
第 5 章	実験 2	24
5.1	実験 2 の方法	24
5.2	実験 2 結果 (影の色が赤の場合)	24
5.2.1	被験者 T.A の結果	25
5.2.2	被験者 Y.F の結果	26
5.2.3	被験者 Y.H の結果	27
5.2.4	被験者 H.U の結果	28
5.2.5	被験者 T.N の結果	29
5.2.6	全被験者の平均値	30
第 6 章	考察	32
6.1	重なりと影に見えるかどうかの影響	32
6.2	生じた問題	33
6.2.1	見方	33
6.2.2	表示方法	34
6.2.3	注目する場所	34
6.2.4	動画で表示	35
6.2.5	刺激となる物体の変化	35
6.2.6	影の形	36
6.2.7	影の輝度	36
第 7 章	結論	37
	謝辞	38

参考文献	39
------	----

付録 A 実験 1・2 の数値データ	40
--------------------	----

図目次

1.1	両眼網膜像差 (氏家,1999,[1] より)	2
1.2	調節と輻輳 (氏家,1999,[1] より)	3
1.3	影のぼかし量の有無	4
1.4	重なりの有無による前後関係 (塩入,2000,[3] より)	5
1.5	色の変化	6
2.1	暗室内状況	7
2.2	影の半透明化	8
2.3	影の中心座標	9
3.1	予備実験でを使用した図の例	11
3.2	予備実験結果	13
4.1	ノギス	14
4.2	実験1でを使用した図の例	16
4.3	実験1結果 T.A	18
4.4	実験1結果 Y.F	19
4.5	実験1結果 Y.H	20
4.6	実験1結果 H.U	21
4.7	実験1結果 T.N	22
4.8	実験1結果平均値	23
5.1	実験2結果 T.A	25
5.2	実験2結果 Y.F	26
5.3	実験2結果 Y.H	27

5.4	実験 2 結果 H.U	28
5.5	実験 2 結果 T.N	29
5.6	実験 2 結果平均値	30
5.7	実験 2 結果平均値	31
6.1	実験 1・2 結果平均値	32
A.1	実験 1 で得られた値	40
A.2	実験 2 で得られた値	41

表目次

2.1	影の中心座標	9
3.1	予備実験結果	12
3.2	実験 1・2 ぼかし量	13
4.1	実験 1・2 画像移動順	15
4.2	刺激となる物体の大きさの変化	15

第 1 章

初めに

1.1 奥行き知覚

人が 3 次元空間の中の事物に対して、その奥行きを知覚するために、様々な奥行きに関わる視覚的な情報 (手がかり) が用いられているとされ、分類されてきている。例をあげると、観察している対象間の相対的な距離の手がかりとして、両眼網膜像差、運動視差、重なり、陰影等の単眼性・画像の手がかりがある。また、観察者から対象までの距離の手がかりとして、水晶体の調節や輻輳角などの眼球運動性の手がかりがある。

この分野の研究は氏家の論文にまとめられている。[1]

1.1.1 両眼網膜像差

私たちの眼が対象を捉えたとき、左眼の網膜には対象を左側から見た像、右眼には右側からの像が投影される。このとき左右の眼に投影された網膜像にはずれが生じる。このずれを両眼網膜像差といい、奥行き知覚となる。この現象を利用した代表的なものがステレオグラムと呼ばれるものである。

図 1.1 では、注視点 O の像 O_R と O_L は中心窩に投影され、それらから時計回りに左右の網膜で同距離だけ離れた点 A の像 a_R と a_L が両網膜の対応点に投影される。そして左右網膜の対応点に結像しないような点 B や点 C の場合、一方の網膜像は他方の網膜像の対応点からずれているわけで、このずれを両眼網膜像差という。図 1.1 では、点 B の点 O に対する網膜像差は $d_{BL} - d_{BR}$ となる。(氏家,1999,[1] より)

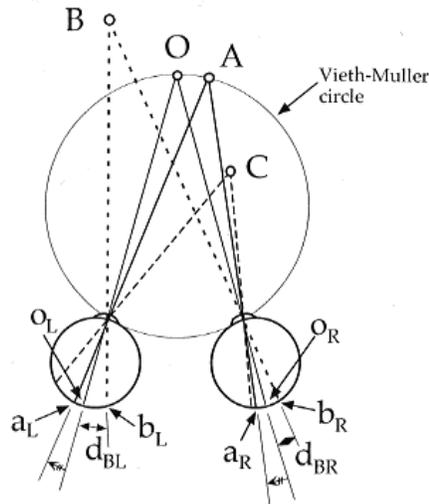


図 1.1 両眼網膜像差 (氏家,1999,[1] より)

1.1.2 運動視差

人は移動しながらも様々な視覚情報を得ているが、移動に伴う網膜像の変化の一部は奥行きとして知覚される。頭部の運動は左右、前後、上下の3つに分類され、それに応じて網膜像に生じる変化も3つとなる。このうち、左右方向の頭部運動による網膜像に生じる変化を運動視差という。

運動視差が奥行き知覚に有効であるという考え方は、Helmholtzによりすでに示されていたが、Rogersらにより運動視差の手がかりのみでも明確な奥行き知覚が生じることが実験的に示されている。[5]

1.1.3 調節と輻輳

眼球の輻輳及び調節は、図 1.2 のように、対象の絶対距離と共に対象の注視に必要な輻輳角及び調節量が変化するため、絶対距離の情報として利用は可能である。しかし、これらは個人差が大きく、実験方法等にも影響を受けやすいため、様々な報告がある。

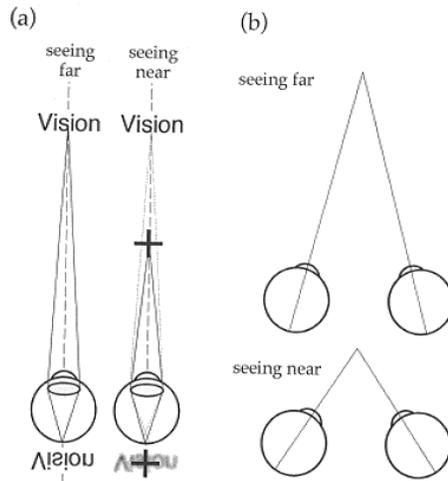


図 1.2 (a) 絶対距離と調節変化, (b) 絶対距離と輻輳変化 (共に氏家,1999,[1] より)

1.1.4 重なり・陰影

重なり、陰影等は絵画の手がかりと呼ばれている。これらが西洋絵画で、絵画に現実感のある奥行き感を生み出すための手法として試され、用いられてきたためである。

物体が背景と光源の間に存在するとき、背景上には物体の影が生じる。この生じた影が物体と背景の相対距離（奥行き）の手がかりになることが報告されている。この効果は一般的に知られており、映像や印刷物のタイトル、コンピュータグラフィックス (CG) 等で盛んに利用されている。

当たり前だが、手前にある物体はその後ろにある物体を隠すため、対象物の重なりは前後関係を生じる。そのとき人間の視角系は適当な仮定をおいて網膜像から前後関係を決定していることが示されている。[4]

1.2 今回の研究目的

今回は、奥行き知覚の中で影について研究することにした。私が CG に興味があり、CG 上で影が付加されるだけで立体感が生じることに興味を持ったためだ。その中で、影に見えるかどうか以外の要因（物体と影の重なりの有無など）が奥行き知覚に影響するのか、また

影に見えないような色を用いた場合はどうかを実験することにした。

1.2.1 ぼかし量の影響

氏家の論文 [1] によると、“奥行き知覚量は、影と物体との見かけの距離が大きくなるほどある程度までは増加するが、輪郭のぼけ具合やコントラストの変化に対しては、変化のないことが示された。(pp.257 L2)”とある。しかしながら、図 1.3 のように影のぼけ具合が変わると明らかに影らしさが変化する。

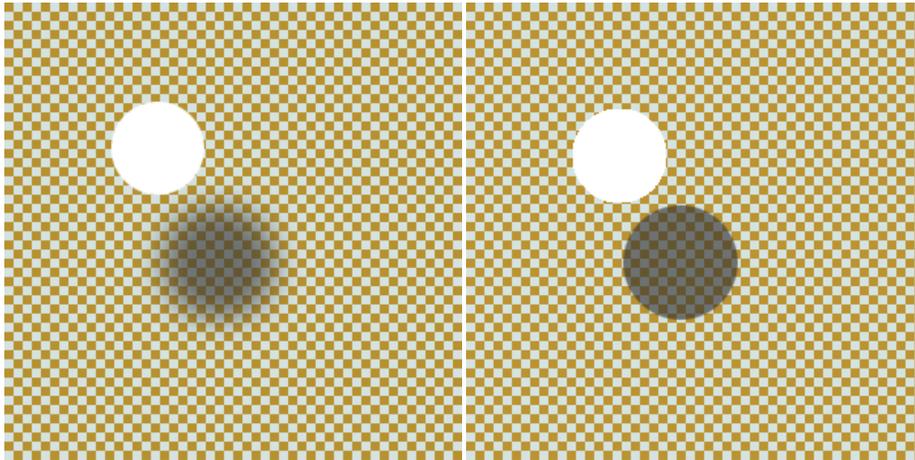


図 1.3 影のぼかし量の有無による見え方の変化

今回の実験では、重なりと影に見えるかどうかにより奥行き知覚がどう変化するかを調べる。よって影らしさを出すために、物体と影との位置関係ごとに適した影のぼかし量を決める実験(予備実験)を行った。この実験で得られた結果を実験 1・2 で使用することにした。

1.2.2 重なりの影響

物体に他のものと重なりが存在するとき、前後関係が生じる事が報告されている。[4] その一例を示す。(図 1.4)

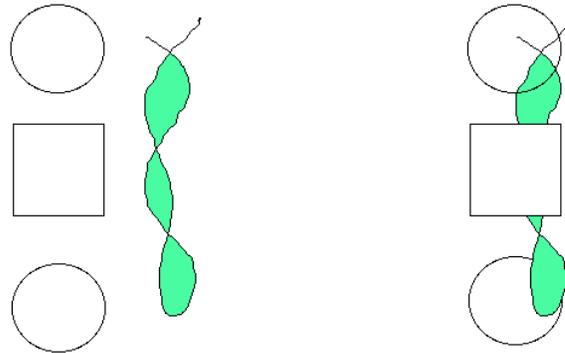


図 1.4 重なりの有無による前後関係 (塩入,2000,[3] より)

(左) 円と四角に前後関係はない

(右) ある物体と重なったとき、前後関係が生じる

物体とその影が重なっていても、同様に前後関係は存在するだろう。しかし、影は存在自体が奥行き知覚の手がかりである。よって、影の重なりの有無が奥行き知覚に与える影響がどうであるのかを調べるため、実験 1 として物体の影が次第に物体から離れ重なりがなくなっていくと、浮き量はどう変化するのかを調べることにした。

1.2.3 影に見えるかどうか

図 1.5 のように色合いの変化によっても見えは大きく変わると思われる。

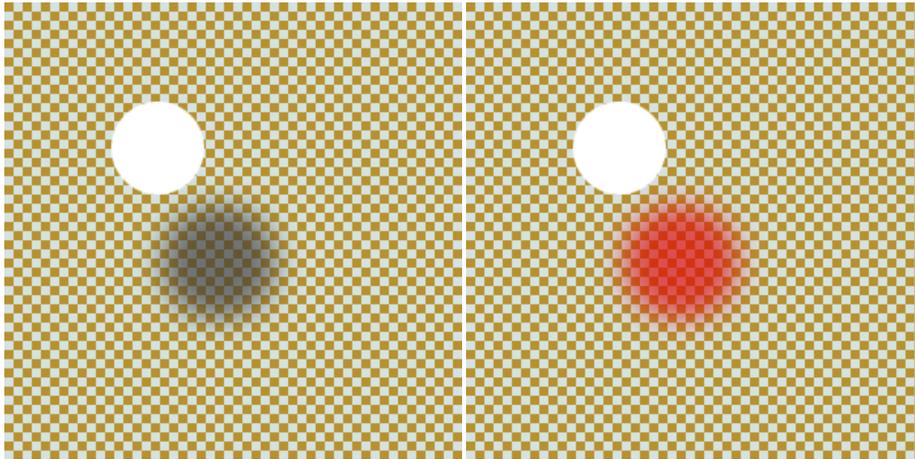


図 1.5 色の变化 (左) 実験 1 で使用した画像 (右) 実験 2 で使用した画像

普通想像される影の色は黒系統の色だろう。黒っぽい色であれば、影らしく見えるであろうことは想像できる。仮に影の色が黒系ではなく、影らしくない色であればどう見えるのか、これを調べるために実験 2 として、実験 1 と同じ条件で影の色が赤にし、影に見えないような色にすることが浮き量にどう関係するのかを調べることにした。

第 2 章

実験条件

2.1 実験機材

実験は部屋内に設置された暗室において全て行った。被験者とディスプレイの距離は 1.1m である。被験者とディスプレイの間にはトンネル状の囲いを設置し、ディスプレイの方向以外が見えないようになっている。また、表示される画像の周囲を紙で囲い、ディスプレイ中心部に表示される画像部分のみを表示するようにした。提示した画像はパソコンの性能上 24bitcolor で表示した。

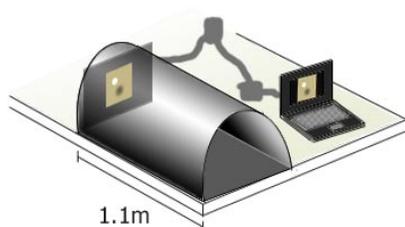


図 2.1 暗室内状況

ディスプレイには三菱 Diamondtron RD17GX を、画像作成に使用したグラフィックスソフトは Adobe Photoshop5.5 for Windows である。画像の表示には Internet Explorer5.5 上で Quick Time4.1.2 を使用し、画像を表示した。

2.2 共通の実験条件

刺激条件は次のようにした。

まず、背景は 300*300pixel のチェッカーボードパターンであり、色度値は $x=0.285$, $y=0.312$ と $x=0.432$, $y=0.458$ (R:G:B=183:145:47&212:225:2236) の 2 色を使用し、6*6pixel 単位で交互に塗りつぶした。実験ではこの背景を視角は 6.48 度 (400*400pixel) に拡大表示させて測定した。これは画像が小さかったため見えにくいという意見が出たためである。

そして、位置を固定した刺激となる半径 30pixel の白い円 (色度点 $x=0.291$, $y=0.310$; RGB=255:255:255) を用意した。これも画像を拡大表示したため拡大され、視角 1.30 度となった。

次に影は、ぼかし量および大きさを変化させたものを 11 枚用意した。枚数は任意であるが、アニメーションとして影がスムーズに動くように選んだ。影の色は色度値 $x=0.315$, $y=0.347$ (RGB=54:54:54) の濃いグレーを黒い影として使用した。作成した影を全て一定の割合で半透明化し、背景が透けて見えるようにしてある。初期段階ではこの作業を行わずに実験 1 を行おうとしたが被験者からの指摘を受け、半透明化することとなった。

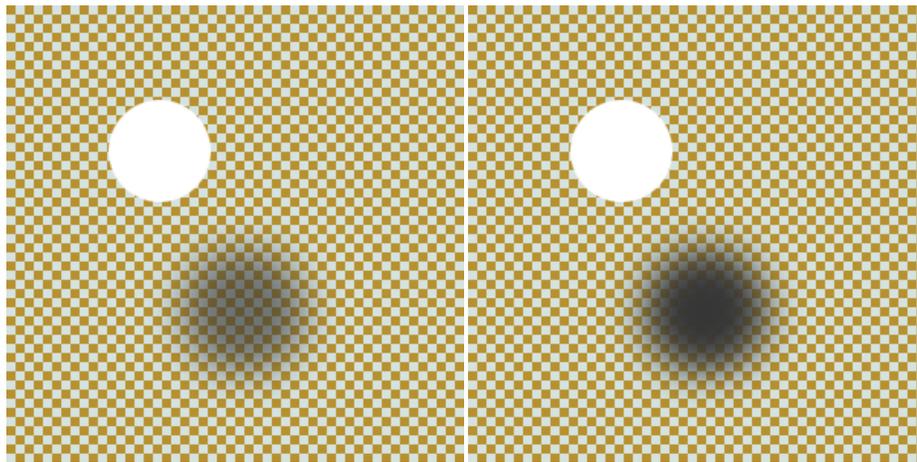


図 2.2 影の半透明化 :左が半透明化された画像、右が透明化されていない画像

影の大きさは 1 枚ごとに半径 30pixel から 1pixel ずつ大きくしていった。これは物体が光

源に近づくとき、影が大きくなることを表現したかったためだ。なぜ 1pixel ずつなのかということには意味はない。

各位置の中心座標は横軸を x 、縦軸を y として画像の左上座標を $(x,y)=(0,0)$ としたとき、 $(100,95)$ に刺激となる物体である白い円を、 $(105,100)$ から影を配置した。影は中心座標の値を $(5,10)$ ずつ増加させ、右下方向へ移動するようにした。(表 2.1 及び図 2.3) このような中心座標を取ったのは、被験者が移動していることを確実に認識でき、かつ画面内に 11 枚収まるめるよう任意の値を選んだからである。

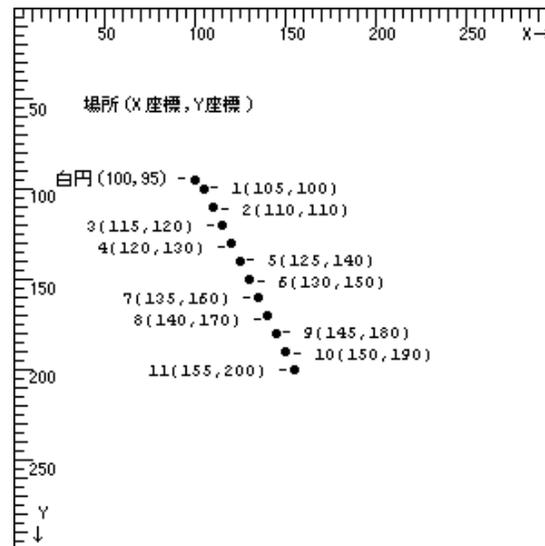


図 2.3 影の中心座標

表 2.1 影の中心座標

場所	中心座標	場所	中心座標
1	(105,100)	7	(135,160)
2	(110,110)	8	(140,170)
3	(115,120)	9	(145,180)
4	(120,130)	10	(150,190)
5	(125,140)	11	(155,200)
6	(130,150)		

第 3 章

予備実験

3.1 予備実験方法

まず初めに行ったことは、『各位置による影のぼかし量の決定』である。これは物体と影の位置関係によってぼけて見える程度が違っているためであり、ぼかし量が無い場合は影には見えないため (図 1.3) でもある。各位置の影のぼかし量が適切なものを決めるために、次のような実験を行った。

まず表 2.1 の各位置毎に、影のぼかし量を変化させた 11 枚の画像を用意し、場所 1 から順番に被験者に見せた。そしてどのぼかし量のものが最も影らしく見えるのかをキーボードの矢印キーを使用して選択してもらった。ここで使用した影は、Photoshop で“ぼかし (ガウス)”を 0 から 1.5pixel ずつ増加させながら掛けたものである。これを静止画で表示し、矢印キーの左右を押すごとに 1 段階ずつぼかし量の上下した画像が表示されるようになっている。この実験を 5 人の被験者に行い、これにより各位置における影のぼかし量を決定した。

実験は、まず 5 分間の暗順応の後に、実験に使用する背景のみの画像を 5 分間見せ、それから実験を開始した。実験は全て両眼自然視で行った。

予備実験は各被験者 1 回ずつ行った。個人の感覚を問うため、何度この実験を行っても結果の精度は変わらないと考えたためである。また、最も適したぼかし量であると感じた画像を直感で答えてもらった。じっくりと考えると、どのぼかし量の画像でも適して見えてきてしまうためである。

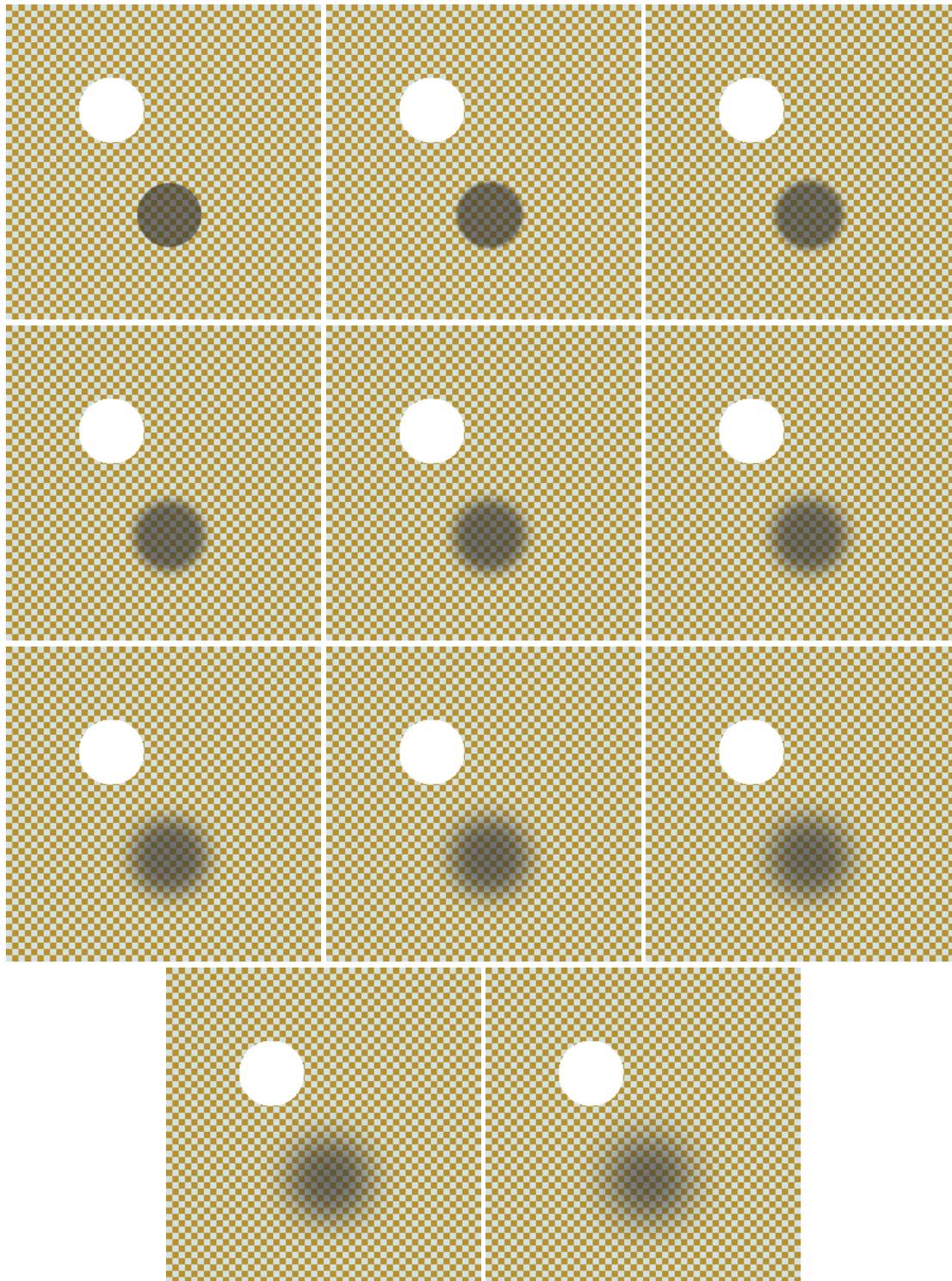


図 3.1 予備実験で使した図：

この影の位置は表 2.1 の場所 11 である。左上から右へ被験者がキーボードの右矢印キーを押すごとに移動し、静止画として表示される。

3.2 予備実験結果

予備実験の結果は表 3.1 のようになった。尚、表中の「場所」とは画像の番号であり、影の存在する場所を示す (表 2.1)。また各被験者の下にある値は、何枚目が最も影らしいと答えたのか、その画像番号を表示してある。平均は最大と最小の 2 人を除いた 3 人の平均をとったものである。

表 3.1 予備実験結果

場所	M.H	K.S	T.A	Y.F	Y.H	Average
1	2	1	1	2	3	1.7
2	3	2	4	3	2	2.7
3	2	4	4	5	2	3.3
4	6	4	5	5	3	4.7
5	7	5	5	6	3	5.3
6	8	5	7	6	2	6.0
7	9	6	8	7	4	7.0
8	10	8	9	7	5	8.0
9	10	9	9	7	7	8.3
10	10	11	10	9	7	9.7
11	11	11	10	9	8	10.0

ただし、表 3.1 の平均は番号の平均となってしまうため、ぼかし量の平均として取り直したものが、グラフ図 3.2 及び表 3.2 である。この結果を使用して、実験 1・2 に使用する影のぼかし量を決定し、画像を作成した。また Photoshop の制限で、ぼかし量は小数点第一位までしか使用出来なかったため、表 3.2 の平均もこれに従っている。しかし、0.1 だけぼかし量が増えただけでも、見た目にはまったく判別できないため、このことに問題は無いと判断した。

図 3.2 で得られたぼかし量を見ると、物体と影の中心座標の距離が離れるほどぼかし量の

大きな画像が選択されていることがわかる。また、場所 4~5、8~9、10~11 となだらかな変化の部分が存在する。ぼかし量により感じる浮き量が変わると考えられるため、この部分では浮き量の変化が少なくなる可能性がある。

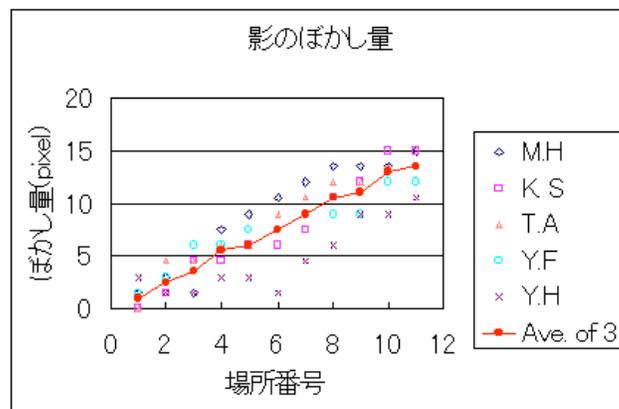


図 3.2 予備実験結果

表 3.2 実験 1・2 ぼかし量

場所	ぼかし量		場所	ぼかし量
1	1.0		7	9
2	2.5		8	10.5
3	3.5		9	11.0
4	5.5		10	13.0
5	6.0		11	13.5
6	7.5			

第 4 章

実験 1

4.1 実験 1 の方法

予備実験で求めた影のぼかし量を用いて、実験 1・2 で使用する画像を作成した。この画像はアニメーション化しており、表 2.1 に記した各場所を移動するようにしている。これを表 4.1 に示す。表 4.1 に示している『番号』とは、実験を行った順番も兼ねている。また、『移動場所』とは表 2.1 に示した場所の番号で表示したものであり、その中にある“ 0 ”とは影が無く、刺激となる物体である白い円のみを表示ということを示す。同様に“ 背景 ”とは背景のみが表示されることを示す。つまり、白い円のみ画像から、影が次第に離れていく画像、背景のみの画像という順番で表示されていく。

この実験も予備実験と同様に、まず 5 分間の暗順応の後に、実験に使用する背景のみの画像を 5 分間見せ、それから実験を開始した。実験は全て両眼自然視で行った。

背景のみの表示に切り替わる直前の画像に対して、感じた浮き量をノギスを用いて被験者に提示してもらった。画像の表示時間は背景のみの画像が 1.5sec、影の最終表示画像が 0.7sec、ほかの画像は全て 0.2sec で表示した。被験者が画像をじっくり見て考えると値が変わる可能性があったため、やや急かす形で実験を行った。

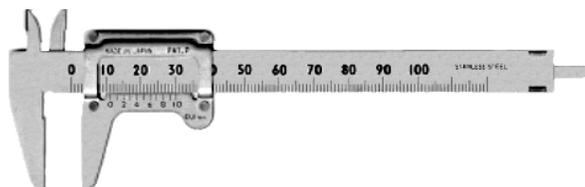


図 4.1 ノギス

表 4.1 実験1・2 画像移動順

番号	移動場所		番号	移動場所
1	0-1-背景		7	0-1-...-7-背景
2	0-1-2-背景		8	0-1-...-8-背景
3	0-1-2-3-背景		9	0-1-...-9-背景
4	0-1-2-3-4-背景		10	0-1-...-10-背景
5	0-1-...-5-背景		11	0-1-...-11-背景
6	0-1-...-6-背景			

また実験1・2では刺激となる白い円を影の位置が離れるに従い、こちらに近づいているように見せるために、わずかではあるが大きくなるようにした。(表 4.2) 実験1では、予備実験で使用したのと同じ濃いグレー(色度値: $x=0.315$, $y=0.343$)を黒い影として使用した。

表 4.2 刺激となる物体(白い円)の大きさ変化(単位 pixel)

番号	大きさ		番号	大きさ
0	59		6	63
1	59		7	63
2	59		8	65
3	59		9	65
4	61		10	67
5	61		11	67

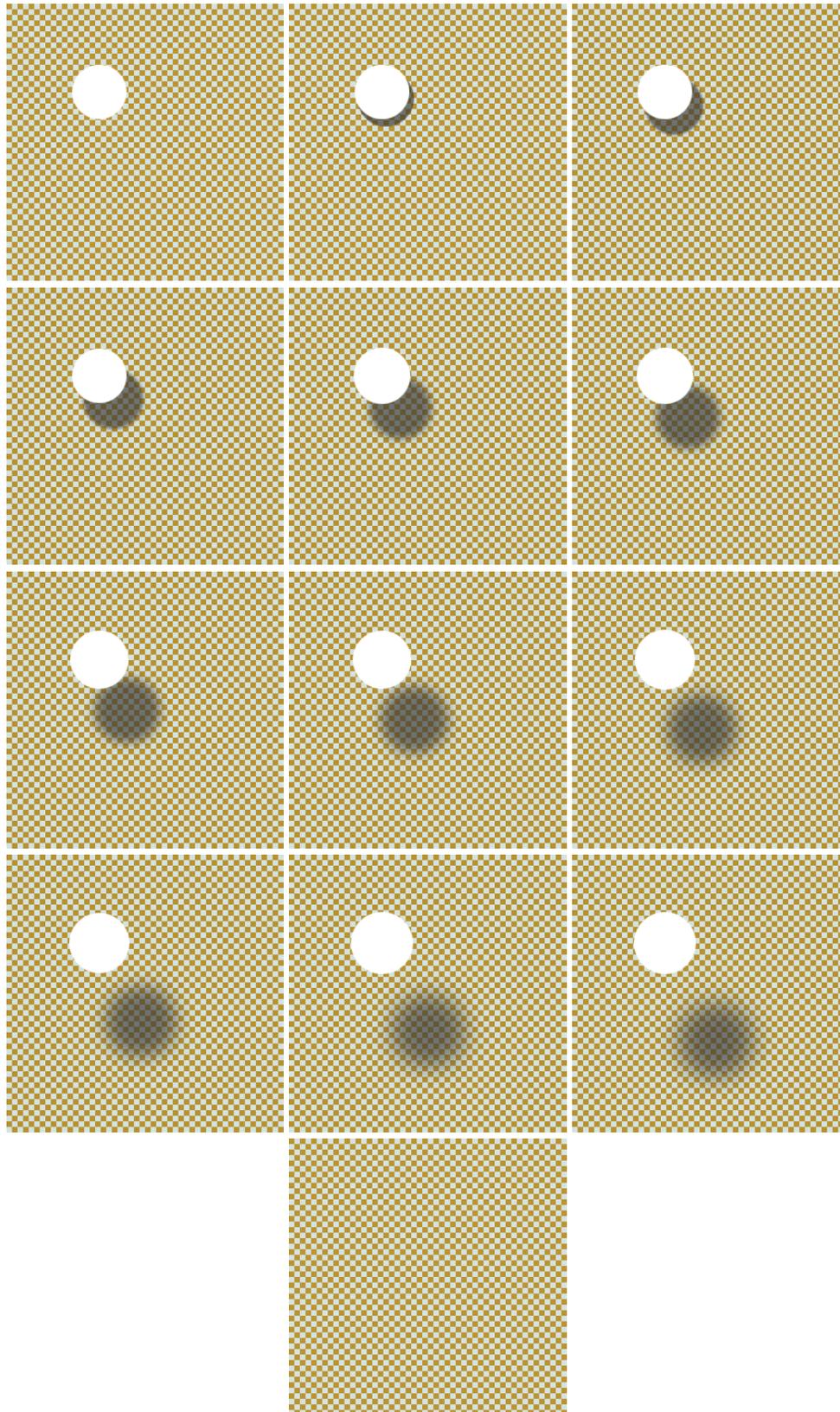


図 4.2 実験1で使用した図：左上から右へ順に動画として表 4.1 のように表示される。

4.2 実験 1 結果 (影の色が黒の場合)

この章では各被験者ごとに影の色が黒の場合に得られた結果を示す。

この章で使用しているグラフ図は各個人毎に回数ごとの結果、及びその平均を表示している。グラフの縦軸は被験者が感じた浮き量を mm で表示してある。横軸は表 4.1 で表示してある番号である。グラフ上に表示されている や といったシンボルは各番号で各被験者が提示した値を示す。また、被験者は全てイニシャルで示してある。

実験 1 において被験者 T.A、Y.F、H.U は 1 日に 1 回計 3 回、T.N は 4 日で 4 回、Y.H は 5 日で 5 回実験を行った。T.N と Y.H の回数が多い理由は、共に最初の 2 回程度他の被験者にはない結果を示したため、再度実験を行ったためである。その内容については個人の章にて示してある。

4.2.1 被験者 T.A の結果

被験者 T.A の結果は次のグラフ図 4.3 のようになった。結果を見ると番号 10 を除き、各番号での感じた浮き量が安定している。これは段階的に浮き量が増大した後、見えなくなるということが確実に起こっていると言える。被験者本人曰く、「静止画では浮きを感じていた画像でも、動画になると影らしくは見えるが、浮いては見えない」と言う。1 回目の実験において番号 5 が減少しているが、誤差範囲のため問題は無い。

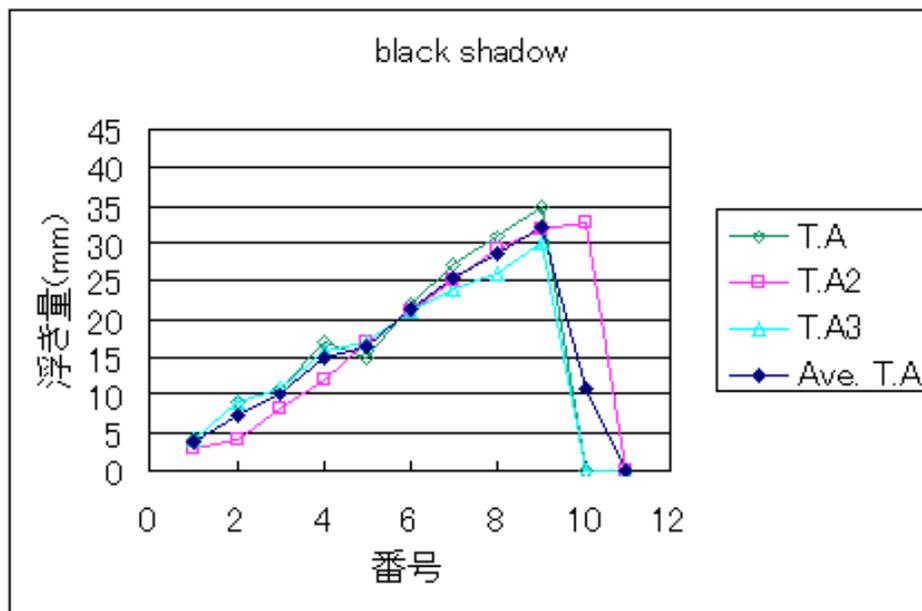


図 4.3 実験1結果 T.A

4.2.2 被験者 Y.F の結果

被験者 Y.F の結果は次のグラフ図 4.3 のようになった。番号 10 が見える場合と見えない場合にわかれているが、この被験者の値は非常に安定しており、確実に番号 9 までは浮きを感じていると思われる。番号 10 では影に見えないかあるいは番号 9 と同程度の値を示した。単純に考えると浮いたまま右下にスライドしたかのように見えているはずである。ここが浮き量を感じる境目であることは間違いないだろう。被験者 Y.F の値は被験者 T.A の値に良く似た値を出しており、この程度の値が実験 1 に使用した画像から得られる浮き量の標準的な値ではないかと推測される。

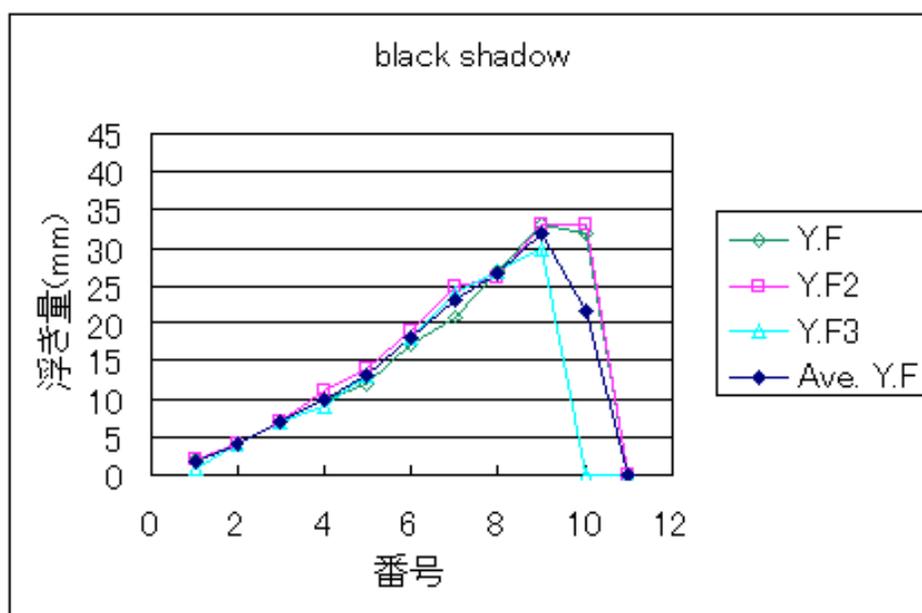


図 4.4 実験1結果 Y.F

4.2.3 被験者 Y.H の結果

被験者 Y.H の結果は次のグラフ図 4.5 のようになった。この被験者の場合、回数を重ねると慣れたためか値が安定した。1・2回目の実験で途中突然影に見えなくなっている部分が存在する。これは Y.H 本人に尋ねると、そこだけ「夕日を背景に立つ人のように影が手前に見えたため浮いては見えなかった」ということだった。しかし3~5回目の実験ではそのような結果が出ていないため一時的なものと判断した。また、3、4回目では最後まで浮きを感じている。しかし、これは被験者 Y.F と同様に番号9、10、11において浮き量としての変化が無く、浮いたまま右下方向にスライドしているように見えているのではないかと考えられる。

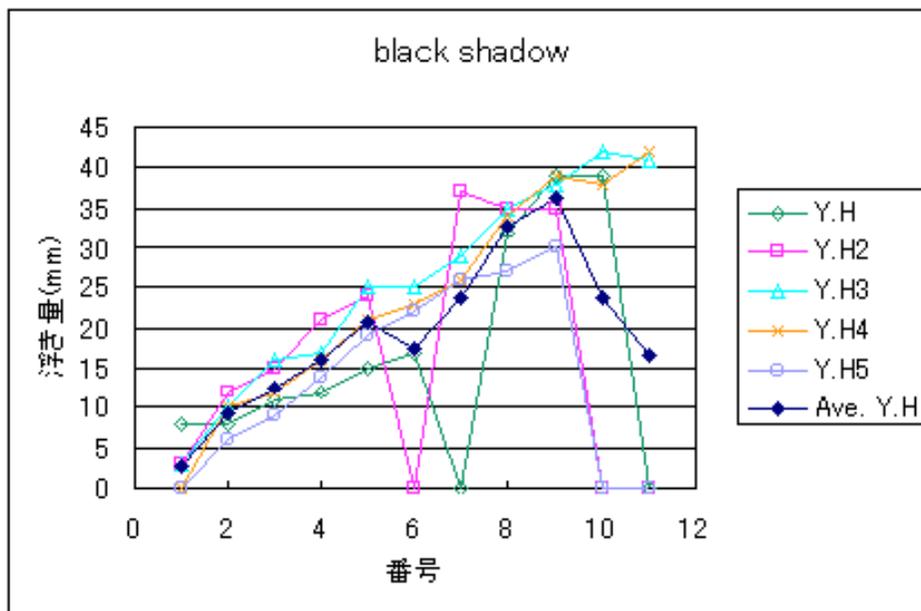


図 4.5 実験1結果 Y.H

4.2.4 被験者 H.U の結果

被験者 H.U の結果は次のグラフ図 4.6 のようになった。この被験者は、他の被験者と比較すると感じた浮き量が全体的に小さく、さらに計測するたびに値が上下した。この原因として H.U は予備実験を行っておらず、適切な影のぼかし量がわかっていないことが挙げられる。番号 4 までは全実験でよく似た値が出ているが、番号 5 以降はばらばらである。この被験者は 2 回目の実験で 1 つ前の番号と同じ値を感じている場合が多い。これは前の値を覚えている可能性がある。もう少し実験を行いたかったが、被験者の都合が合わず出来なかった。

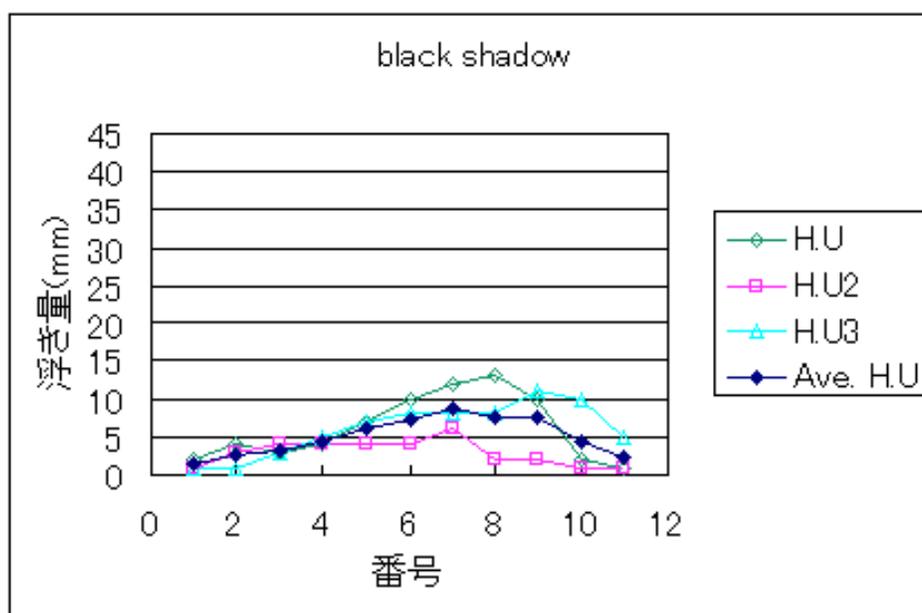


図 4.6 実験1結果 H.U

4.2.5 被験者 T.N の結果

被験者 T.N の結果は次のグラフ図 4.7 のようになった。この被験者は初回の測定の番号 10 において、他の被験者の数倍と言う非常に大きな浮き量を提示した。しかし番号 11 では影に見えにくくなっていることから、感じた量が違うだけで変化的には他の被験者と同様と考えられる。計測を繰り返すたびに値は減少傾向となり、3・4 回目の測定では他の被験者と同程度の値を出した。

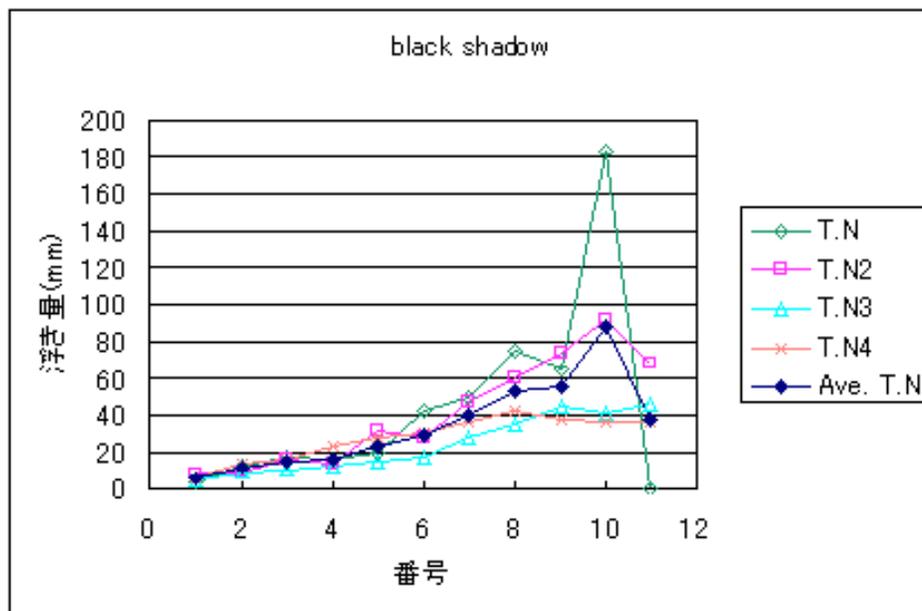


図 4.7 実験1結果 T.N

4.2.6 全被験者の平均値

影の色が黒の場合の全被験者の平均は次のグラフ図 4.8 のようになった。

このグラフより番号 9、または 10 付近まで影が離れるとが浮きを感じる最大となる傾向が強いということがわかる。また、全被験者最大浮き量を得るまでは、ほぼ同じ値ずつ浮き量が増加傾向にあることもわかる。予備実験で浮き量の変化が少なくなる可能性を示唆したが、明らかにぼかし量の影響を受けたのではないかと思われる結果は出なかった。尚、このグラフにおいて被験者 T.N の値のみ得られた結果が非常に大きかったために、平均値をさらに 1/3 してある。

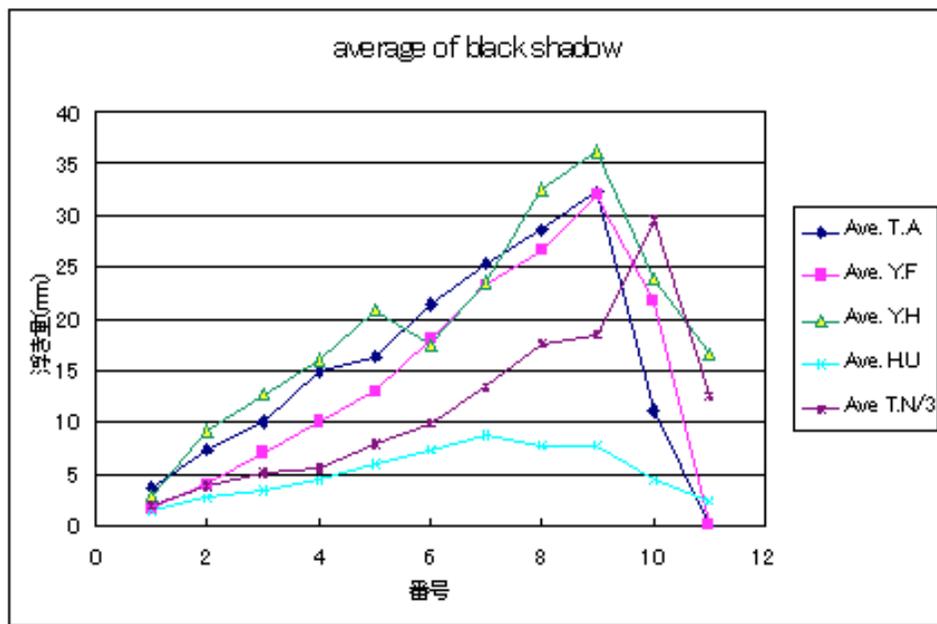


図 4.8 実験1結果平均値

第5章

実験2

5.1 実験2の方法

実験1の後30秒後に実験2を同じ順番で開始した。間の30秒間は黒い画面を表示した。実験2では影には見えない色として明るい赤(色度値: $x=0.518$, $y=0.347$)を使用した。他の条件は実験1と同様である。

5.2 実験2結果(影の色が赤の場合)

影の色を赤にした場合の結果を各被験者ごとに示す。

実験2も実験1と同様に被験者 T.A、Y.F、H.U は3回、T.N は4回、Y.H は5回の実験を行い、その結果及び全結果の平均を表示している。

この実験でもノギスを用いて感じた浮き量の呈示をしてもらう方法をとった。そのため微妙な距離の表現が難しく、実験2全体を通して誤差の影響が非常に大きくなっていると考えられる。これは私が想像していた以上に感じる浮き量が少なかったために生じた問題である。

5.2.1 被験者 T.A の結果

被験者 T.A の結果は次のグラフ図 5.1 のようになった。この被験者は番号 4 において最も浮きを感じている。しかし、その浮き量は最大でも 6mm と少ない。また、番号 6 以降はほとんど浮きを感じていない。これは重なりがある場合のみ浮きを感じていると考えられ、重なりの効果が大きいと言える。

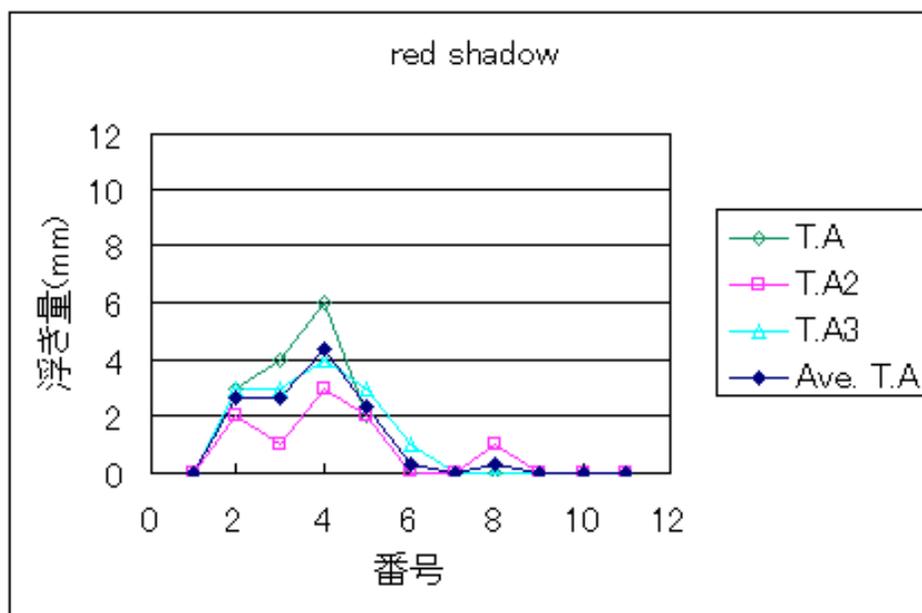


図 5.1 実験2結果 T.A

5.2.2 被験者 Y.F の結果

被験者 Y.F の結果は次のグラフ図 5.2 のようになった。この被験者は番号 4 か 5 で浮き量が最大となっており、被験者 T.A と同様に番号 6 から浮き量を感じなくなっている。この被験者も他の被験者と同様に浮き量は実験 1 と比較すると非常に少ない。

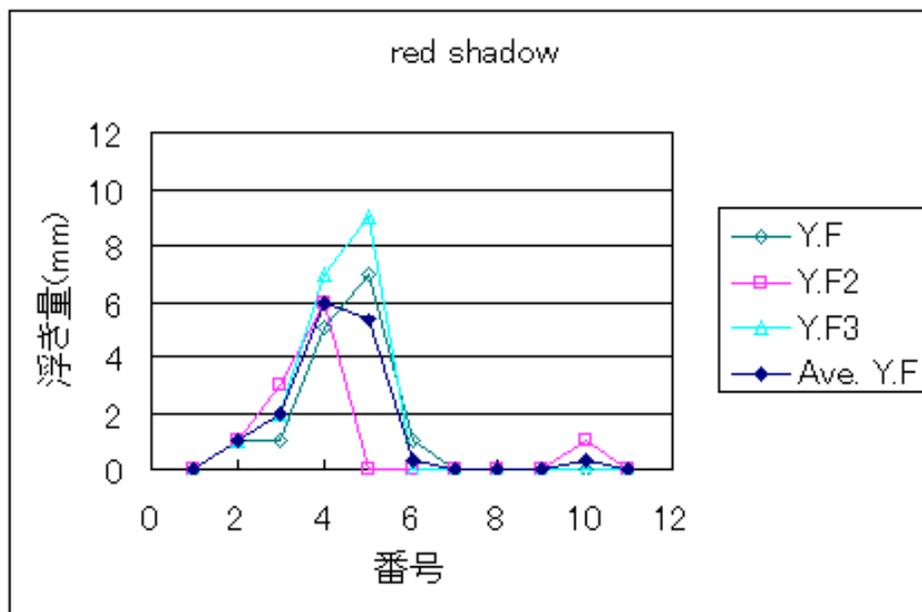


図 5.2 実験2結果 Y.F

5.2.3 被験者 Y.H の結果

被験者 Y.H の結果は次のグラフ図 5.3 のようになった。この被験者は、2・3 回目の測定において番号 6 以降に浮きを感じている。しかし、他の 3 回では浮きを感じていないため、一時的なものと考えられる。また、被験者 T.A、Y.F とは逆に、物体と影の重なりが無くなる後半部分で浮きを感じている。番号 2 から 5 までは常に一定の値をとっている。これは重なりがあるということを知っているだけと思われる。

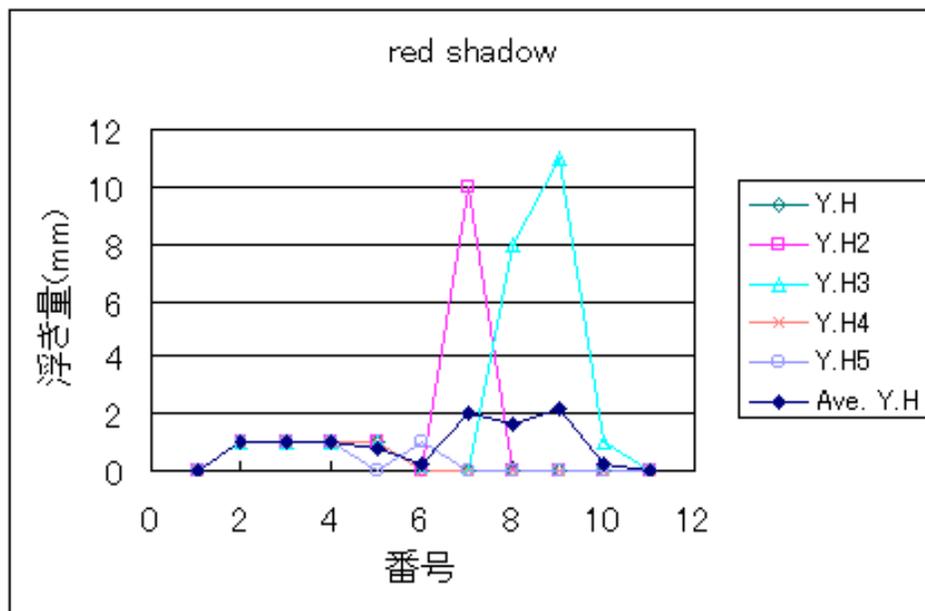


図 5.3 実験2結果 Y.H

5.2.4 被験者 H.U の結果

被験者 H.U の結果は次のグラフ図 5.4 のようになった。この被験者は測定のために値が上下したが、感じた浮き量の最大で 5mm であり、誤差の範囲と考えられる。平均を見ると、全体を通して 1mm 前後の隙間のような浮きを感じていると言える。もう少し実験を行いたかったが、被験者との都合が合わず断念した。

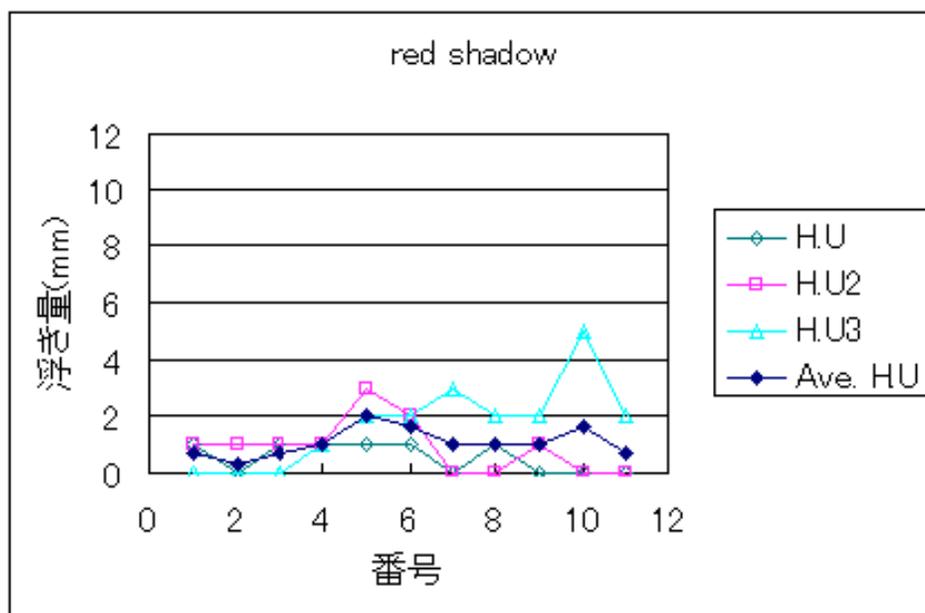


図 5.4 実験2結果 H.U

5.2.5 被験者 T.N の結果

被験者 T.N の結果は次のグラフ図 5.5 のようになった。この被験者は、実験 2 において他の被験者の実験 1 と同程度の浮き量を得ており、実験 1・2 を通して高い浮き量を得ていた。また、平均値を見ると番号 7 において最大値となり、以降減少している。番号 6 では 2 回目の実験において 0 が在るために平均値では値が小さくなっている。この被験者も実験を行うたびに値が変化したが、番号 10 以降は浮きを感じていないことがわかる。

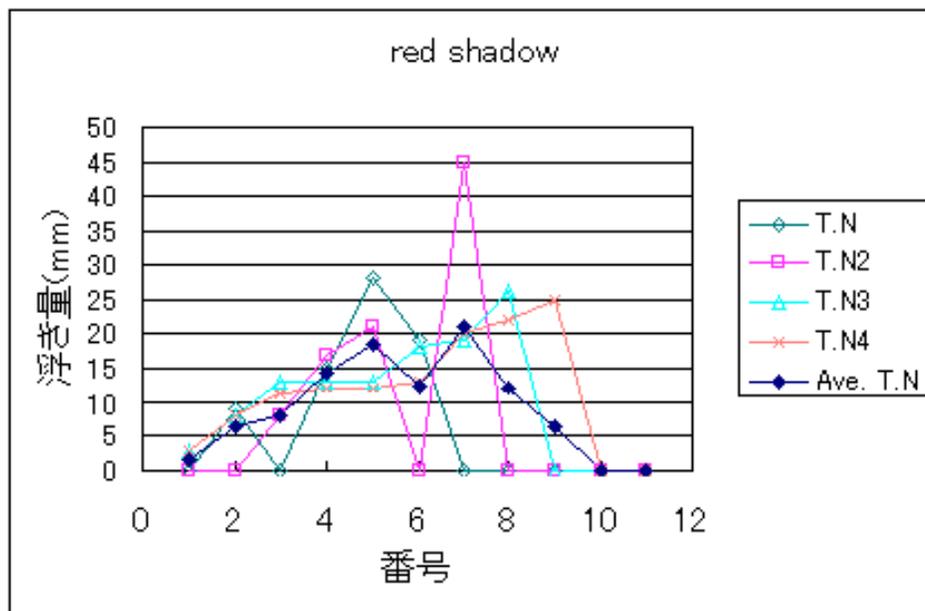


図 5.5 実験2結果 T.N

5.2.6 全被験者の平均値

影の色が赤の場合の結果が次のグラフ(図5.6)である。

赤の場合全体を通して言えることは、色が黒の場合に比べ、感じた浮き量が非常に少なかったということである。測定誤差のことを考えると白い円のすぐ後ろに通過する隙間があるだけのように見えているらしいと考えられる。また、被験者毎に浮き量を感じた部分が異なっている。

実験1と同様に、このグラフにおいても被験者 T.N の値が大きかったため、平均値をさらに1/4してある。

実験1の結果との比較のため、グラフ図5.7に両方の結果を表示したものを示す。これを見ると如何に実験2の結果が小さい値であったかがわかる。

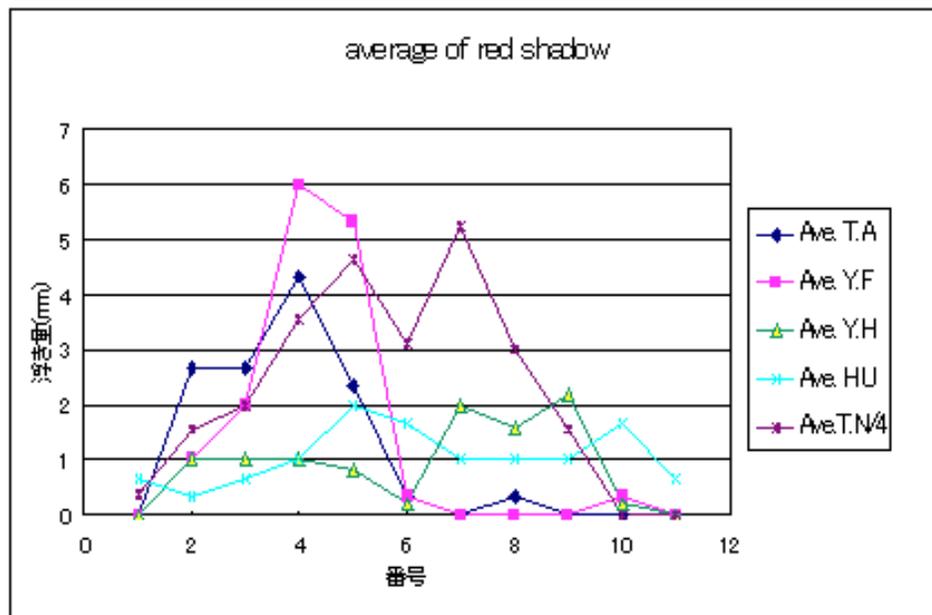


図 5.6 実験2結果平均値

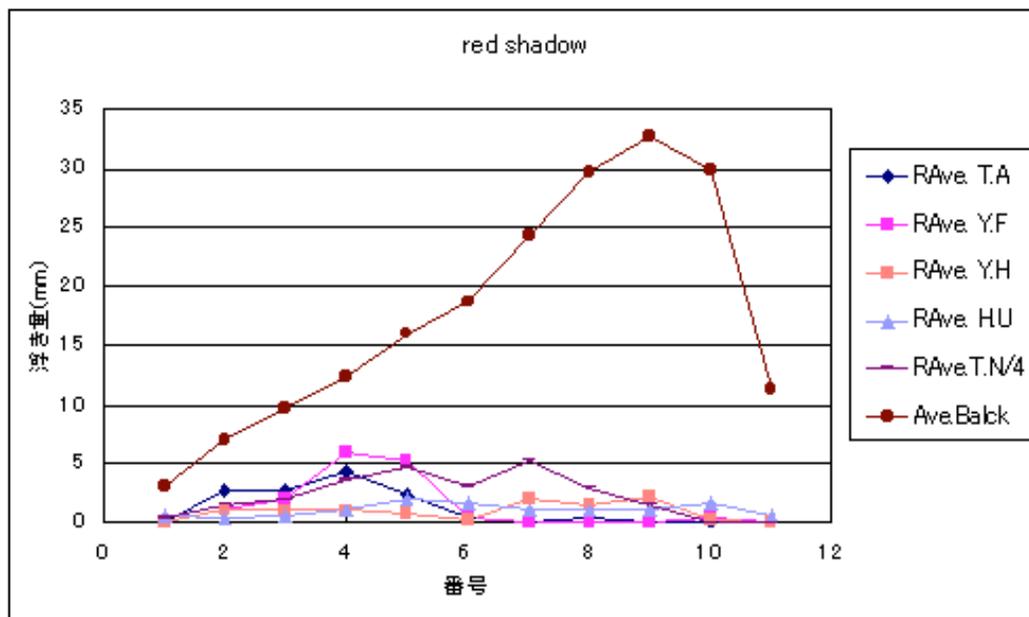


図 5.7 実験 2 結果平均値：Ave.Black とは全被験者の平均をとったものである

第 6 章

考察

6.1 重なりと影に見えるかどうかの影響

実験 1・2 の結果をまとめたグラフが、図 6.1 である。このグラフは、被験者全員の実験 1・2 の結果の平均を表示している。

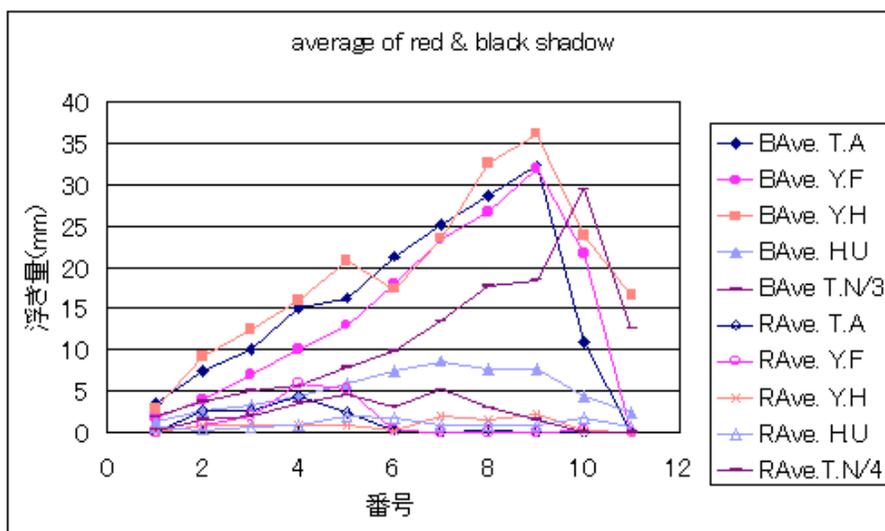


図 6.1 実験 1・2 結果平均値：

凡例の頭に B がつくものは実験 1 の結果、R がつくものは実験 2 の結果である

このグラフから示されるように、今回の実験で次のようなことがわかった。

まず、予備実験で位置ごとに最も影らしく見える画像を選択してもらった際には物体と影の距離が離れるほどぼかし量の大きい影が選択された。(図 3.2) その結果を用いて実験 1 と 2 の影を作成したため、単純に影のぼかし量が大きくなるほど高い浮き量が得られるものと想像していたが、実際は図 6.1 の実験 1 のグラフのように番号 9 付近から浮き量の減少が見

られた。つまり、影として見えなくなっているわけであり、予備実験の結果と矛盾する。この結果は静止画であるか動画であるかの違いにより、見え方に変化が生じていることを示唆するものである。

実験 1 において刺激となる物体 (白い円) と影の重なりのある部分では、影が物体から離れるほど浮き量は増大している。しかし、重なりがなくなると影として見えにくくなることが示されている。

実験 2 では影として見えにくい色を用いたため、浮き量は非常に少ない結果となった。これは赤い影を、影として見るのが出来にくいために浮き量が得られなかったのだと考えられる。つまり、影としてみるのが出来ないと影からは浮き量はほとんど得られないといえる。

今回 CG への興味からこの実験が始まったわけだが、以上の結果より CG において影により物体が浮いて見えるためには、適切なぼかし量の影である、物体と影との重なりがある、影らしく見えるということが物体が浮いて見えるための大切な条件であるといえるだろう。

6.2 生じた問題

今回の実験で生じた問題点等について述べる。

6.2.1 見方

今回の実験は両眼自然視で行った。両眼による測定は、第 1 章で述べたような効果が生じる。そのため通常このような実験は片眼で行うものであることを後で知った。片眼であれば両眼網膜像差と輻輳の情報による距離の推定ができないため、より大きな奥行き知覚量が得られたのではないかと思われる。

6.2.2 表示方法

実験 1・2 では浮き量を呈示してもらった画像を他の画像よりも長く表示する方式を取った。(浮き量提示画像: 0.2sec、他の画像: 0.7sec) 長時間画像を表示すると背景に張り付き、別の 2 つの画像のようになってしまうという現象が起きることが報告されており、今回の実験でこの現象が起きている可能性がある。

被験者 Y.H の実験 1 結果 (図 4.5) の番号 6、番号 8 で突然 0 になっている部分が、この現象が起きた可能性がある。また、他の被験者でも前後の値に比べ突然値が減少している部分にも同様の現象が起きている可能性がある。

この現象を起さないようにするには、全ての画像を同じ時間だけ表示するようにするしかないと思われる。しかし、全てを同じ時間で表示すると、どの時点で感じた浮き量を測定すればよいのかわからないという問題が発生する。そこで、今回の実験では、長めに表示した画像に対して浮き量を呈示してもらったことにした。これを音が鳴った画像に対しての浮き量の測定にすればこの問題は改善されると思われる。

6.2.3 注目する場所

被験者が浮き量を測ろうとする際に、刺激となる物体 (白い円) に注目するか、影に注目するか、物体と影の中間点に注目するかにより感じ取れる浮き量が異なるようであった。私が被験者となり実験を行った際にこのことを感じた。

これは私の感覚でしかないが、刺激となる物体 (白い円) の方に注目していたほうが浮き量が増大するようになった。このことに対する推測だが、影は 0.2sec ずつで動いて行き、測定する画像で 0.7sec 表示される。影に注目していると浮き量を測定する場所に来たときに、白い円を見ようとし、また影に視点が戻る。その眼の動きが浮き量の減少に関連しているように思える。

今回の実験ではどこを見るかを指定していなかったため、注目する点を指定しておけば浮き量に変化を生じた可能性がある。特に被験者 H.U に対してこれを宣言しておけばもっと

値が大きくなった可能性がある。

ただひとつだけ問題点がある。それは、物体の方に注目していると、影の動きが捉えにくくなる事である。人の眼は中心部でしかはっきりとした画像を捉えることができない。そのため、影が刺激となる物体から離れるほどぼんやりとした画像と認識されてしまう。つまり、浮き量自体が感覚的である上になんとなく見えた影に対する浮き量の測定となりかねないのである。

6.2.4 動画で表示

重なりが在る場合、必然的に上下関係が発生するため浮き量が存在することは第1章で述べた。実験1・2では徐々に刺激となる物体から影が離れていく状況の画像を作成し、それをアニメーションで表示した。実験で使用した画像は0.2secという速いタイミングで影が移動していくため、前の画像の残像を感じる。そのために、重なりの効果が重なりが無い画像の部分でも残っている可能性が高い。

重なりの効果を残さないようにするには、残像をなくすしかなく、そのためには画像1枚あたりの表示時間を長くするしかない。しかし、表示時間が長いと“表示方法”の章で述べた張り付きの効果が現れてしまう。残像も張り付きも起きない、ちょうど良い表示時間を求める必要がある。

6.2.5 刺激となる物体の変化

重なりの効果の上に、刺激となる物体(白い円)の大きさを変化させたことが、浮き量に変化をもたらしている可能性がある。これは実験1・2でのみ行ったことである。その目的は、刺激となる物体の大きさを変えることで、物体が近づいているように見せ、浮き量の増大を得ようとした。しかし物体が近づいてくるとはいえ、その量はわずかであり、これを表現するには所々で段階的に大きくするしか方法が無かった。そのため不自然な動きになってしまった上に、アニメーション内の大きさの変わる所で、その変化が気になってしまい、逆

に浮き量を感じにくくしてしまったようである。

6.2.6 影の形

今回の実験に使用した画像は全て Photoshop で作成した。私が作成した影の画像は、照明等の影とは見た目が異なっている。これが浮き量に与えた効果は不明だが、少なくとも不自然さの原因にはなっていると考えられる。実際の影を再現すれば、より安定した値が得られたと思われる。

影が徐々に大きくなるのはおかしいという指摘もあった。しかし、今回は光源に物体が近づくような画像を作成した。光源に近づく物体の影を、次第に大きくなるように表現したのでおかしくはない。

また、全画像は物体に対し斜めから光が当たっているように表現しているが、影が楕円でないのはおかしいという指摘があった。これは全くその通りなのだが、今回は指摘されるまで気が付かなかった。

6.2.7 影の輝度

実験 2 で、浮いて見えないのは赤色の輝度が高いためではないかという指摘があった。通常明るいものは近くにみえるという (luminance proximity)。背景との明るさの差 (コントラストの差) が大きいほど、背景との奥行きが大きく知覚されると考えられている。[4]

このことから考えられるのは、背景に対し、刺激となる物体 (白い円) と赤い影の両方が浮いて感じられるために、相対的に実験 1 の影が黒の場合と比較して、浮き量が減少しているのではないかということである。

今回の実験では“影に見えない”という点だけに注目して画像を作成したため、輝度のより低い他の色で同実験を行うと違う結果が出ると考えられるが、輝度が高い影と言うものは存在しないため、実際には輝度の影響と影に見えるかどうかの影響を分離するのは難しい。

第7章

結論

実験1の場合は、重なりが無くなり一定間隔距離が開くと浮いて見えにくくなるようである。これは刺激となる物体と影の重なりが浮き量に対して非常に重要であることを示している。また、物体と影の重なりが存在し、影の色が黒の場合には、大きな奥行き知覚を得ることができることを示唆している。

実験2の場合は、影として捉えることができなくなるらしく、実験1と比較し浮き量が非常に少なくなることがわかった。また、実験1と同様に一定間隔以上距離が開くと浮いて見えにくくなるようである。これは浮き量には影に見ることが出来るかどうかも関係していることを示している。

以上の結果は、刺激となる物体と影の重なりの有無、影の色やぼかし量などの要因によりどの程度影として認識されているのか、という2点が奥行き知覚量に関与していることを示唆している。

謝辞

今回被験者として私の実験に付き合ってくれた Y.F 君, Y.H 君, T.N 君, M.H 君, H.U 君, 並びに私の研究のサポート、及び被験者をしてくださった篠森敬三助教授に感謝します。

また、日本視覚学会において数々の助言をしてくださった先生方にも感謝いたします。

参考文献

- [1] 氏家弘裕: “立体視の情報処理機構 - 各奥行き手がかりの特性とその相互作用 -”, 光学 vol.28 No.5 (1999) pp.250-260.
- [2] 氏家弘裕: “影による奥行知覚”, 視覚情報処理ハンドブック, 内川恵二ら著 (2000) 付属 CD.
- [3] 塩入諭: “重なりによる奥行き手がかり”, 視覚情報処理ハンドブック, 内川恵二ら著 (2000) 付属 CD.
- [4] 塩入諭: “単眼性・画像の手がかり”, 視覚情報処理ハンドブック, 内川恵二ら著 (2000) pp.310-317
- [5] B.J.Rogers and M.E.Graham: “Motion prallax as an independent cue for depth perception”, Perception, 8 (1979) pp.125-134
- [6] H.Ujike and S.Saida: “Similarity and Interaction of shadow and display cues of depth”, Perception, 27 (1998) suppl. 116.
- [7] H.Ujike: “Depth perception with shadow and display cue combinations”, Selection and Integration of Visual Information (STA and NIBH, Tsukuba, 1998) pp.137-150.
- [8] <http://sx.sakura.ne.jp/koki/> “デタラメ Photoshop”
- [9] <http://d-power.net/dpi/index.html> “dpi Web Graphix”

付録 A

実験 1・2 の数値データ

実験 1・2 で得られた値を数値で示す。表中の番号とは表 4.1 のものであり、各被験者の実験毎の値、及び個人平均を示してある。

番号	T.A	T.A2	T.A3	Ave. T.A	YF	YF2	YF3	Ave. YF	H.U	H.U2	H.U3	Ave. H.U
1	4	3	4	3.6667	2	2	1	1.6667	2	1	1	1.3333
2	9	4	9	7.3333	4	4	4	4	4	3	1	2.6667
3	11	8	11	10	7	7	7	7	3	4	3	3.3333
4	17	12	16	15	10	11	9	10	4	4	5	4.3333
5	15	17	17	16.333	12	14	13	13	7	4	7	6
6	22	21	21	21.333	17	19	18	18	10	4	8	7.3333
7	27	25	24	25.333	21	25	24	23.333	12	6	8	8.6667
8	31	29	26	28.667	27	26	27	26.667	13	2	8	7.6667
9	35	32	30	32.333	33	33	30	32	10	2	11	7.6667
10	0	33	0	11	32	33	0	21.667	2	1	10	4.3333
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	2.3333

番号	Y.H	Y.H2	Y.H3	Y.H4	Y.H5	Ave. Y.H	T.N	T.N2	T.N3	T.N4	Ave. T.N	Ave.T.N/3
1	8	3	3	0	0	2.8	4	8	5	6	5.75	1.9167
2	8	12	10	10	6	9.2	13	10	9	14	11.5	3.8333
3	11	15	16	12	9	12.6	18	16	11	16	15.25	5.0833
4	12	21	17	16	14	16	17	14	13	23	16.75	5.5833
5	15	24	25	21	19	20.8	20	32	15	28	23.75	7.9167
6	17	0	25	23	22	17.4	42	28	18	31	29.75	9.9167
7	0	37	29	26	26	23.6	50	47	28	36	40.25	13.417
8	32	35	35	34	27	32.6	75	60	35	42	53	17.667
9	39	35	38	39	30	36.2	65	74	45	38	55.5	18.5
10	39	0	42	38	0	23.8	184	92	41	37	88.5	29.5
11	0	0	41	42	0	16.6	0	68	46	36	37.5	12.5

図 A.1 実験 1 で得られた値

番号	T.A	T.A2	T.A3	Ave. T.A	YF	YF2	YF3	Ave. YF	H.U	H.U2	H.U3	Ave. H.U	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0.6667
2	3	2	3	2.6667	1	1	1	1	0	1	0	0	0.3333
3	4	1	3	2.6667	1	3	2	2	1	1	0	0.6667	
4	6	3	4	4.3333	5	6	7	6	1	1	1	1	1
5	2	2	3	2.3333	7	0	9	5.3333	1	3	2	2	2
6	0	0	1	0.3333	1	0	0	0.3333	1	2	2	1.6667	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	
8	0	1	0	0.3333	0	0	0	0	1	0	2	1	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	
10	0	0	0	0	0	1	0	0.3333	0	0	5	1.6667	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.6667	
番号	YH	YH2	YH3	YH4	YH5	Ave. YH	T.N	T.N2	T.N3	T.N4	Ave. T.N	Ave.T.N/4	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1.5	0.375	
2	1	1	1	1	1	1	9	0	8	8	6.25	1.5625	
3	1	1	1	1	1	1	0	8	13	11	8	2	
4	1	1	1	1	1	1	15	17	13	12	14.25	3.5625	
5	1	1	1	1	0	0.8	28	21	13	12	18.5	4.625	
6	0	0	0	0	1	0.2	19	0	18	13	12.5	3.125	
7	0	10	0	0	0	2	0	45	19	20	21	5.25	
8	0	0	8	0	0	1.6	0	0	26	22	12	3	
9	0	0	11	0	0	2.2	0	0	0	25	6.25	1.5625	
10	0	0	1	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

図 A.2 実験 2 で得られた値