

平成 12 年度  
学士学位論文

同化現象における刺激形状変化の  
およぼす影響

Effect of Stimulus Shape in Assimilation

1010421 中山 高明

指導教員 篠森 敬三

2001/02/05

高知工科大学 情報システム工学科

# 要 旨

## 同化現象における刺激形状変化の およぼす影響

中山 高明

均一背景に細い線を描画する場合に同化現象が発生することはよく知られており、Helson は同化現象から対比に移行するまでの線分の刺激条件について明らかにしている。また、Mackay は均一背景にドットを配置することによって同化現象が生じることを示した。そこで、本研究では Mackay の同化現象図形において、ドットの刺激条件を変化させたときの同化現象量を調べた。

Helson らの報告（線分太さ 11.5min. of arc. より太いと対比へ移行）から図形中のドットサイズが小さいときのみ同化現象が生じると予測されたが、本実験においてはドットサイズ変化 (0.94min. ~ 2.06deg.) の同化現象量への影響は比較的微小であり、対比へ移行することとはなかった。これは単純な計算論 (line spread 関数など) による説明とは一致しない。

他にも、ドットの灰色背景を占める面積が同化現象量に影響するかどうかを調べた。その結果、ドットの灰色背景を占める面積の同化現象量に対する影響は微小であり、同化現象を引き起こすためには面積よりも視角の影響の方が強かった。また、ドットの個数を増やしてドットの灰色背景中の密度を変化させた場合では、密度が高いほど同化現象は強くなる傾向が得られた。

キーワード 同化, 対比

# Abstract

## Effect of Stimulus Shape in Assimilation

Takaaki Nakayama

Assimilative change when the thin line is drawn in the uniform background has been known. Helson has made clear about assimilation moves to contrast, it concerning the stimulus condition in line segment. In addition, Mackay showed that assimilation occurs by the dot in the uniform background. In this research under different stimulus condition, we inspected the strength of the assimilation in the figure by Mackay.

Helson et al reported assimilation occurs when dot size in the figure is small (It is changed to contrast when line segment thickness is over 11.5 min.of arc.) But in our experiment, dot size change (0.94 min. - 2.06 deg. ) influence to the strength of assimilation is small. We obtained result that the difference of dot size does not change the effect from assimilation to contrast. It does not explain as for simple calculation theory (like the LINE SPREAD function). We researched the influence to the assimilation when the dot area changed. Consequently, the influence to the strength of the assimilation of the area which occupies the gray background of a dot was relatively small, and in order it to cause by assimilation, it was stronger the influence of the visual angle than that of area. Moreover, we researched the case of changed the number of dots and the density in the gray background. We obtained the tendency that assimilation becomes strong when density was high.

*key words*     assimilation, contrast

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>Introduction (序文)</b>	<b>1</b>
1.1	はじめに . . . . .	1
1.2	同化についての実験 (過去の研究) . . . . .	1
1.2.1	線分図形の同化実験 . . . . .	1
1.2.2	その他の図形の同化実験 . . . . .	4
1.3	今実験では . . . . .	6
<b>第 2 章</b>	<b>Method (実験方法)</b>	<b>7</b>
2.1	実験方法 . . . . .	7
2.1.1	使用した機器 . . . . .	7
2.1.2	刺激 . . . . .	8
2.1.3	被験者 . . . . .	8
2.1.4	実験手順 . . . . .	8
2.2	各実験の刺激 . . . . .	11
2.2.1	実験 . . . . .	11
2.2.2	実験 . . . . .	11
2.2.3	実験 . . . . .	11
<b>第 3 章</b>	<b>Result (実験結果)</b>	<b>13</b>
3.1	実験の結果 . . . . .	13
3.1.1	被験者 T.O . . . . .	13
3.1.2	被験者 T.N . . . . .	13
3.1.3	被験者 K.Y . . . . .	14
3.2	実験の結果 . . . . .	18

3.2.1	被験者 T.O	18
3.2.2	被験者 T.N	18
3.2.3	被験者 K.Y	18
3.3	実験の結果	22
3.3.1	被験者 T.O	22
3.3.2	被験者 T.N	22
3.3.3	被験者 K.Y	22
3.4	被験者 3 人の平均値のデータ	26
3.4.1	実験の結果	26
3.4.2	実験の結果	26
3.4.3	実験結果	27
3.5	データから得た同化現象量	31
3.5.1	実験	31
3.5.2	実験	31
3.5.3	実験	31
<b>第 4 章</b>	<b>Discussion (ディスカッション)</b>	<b>34</b>
4.1	ドットサイズの影響	34
4.2	面積の影響	34
4.3	密度の影響	35
4.4	生じた問題	35
4.4.1	予想される原因	36
4.4.2	テスト刺激に対する影響	36
4.4.3	改善するためには	37
<b>第 5 章</b>	<b>Conclusion (結論)</b>	<b>38</b>

謝辞	39
参考文献	40
付録 A 測定データ	41

# 目次

1.1	Helson の用いた図形	2
1.2	線と線の間隔を変化させた場合 (Helson 1964)	3
1.3	線の幅を変化させた場合 (Helson 1964)	3
1.4	同化と対比の領域区分 (Helson 1964)	4
1.5	De Weert の用いた図形	5
1.6	Mackay の用いた図形	6
2.1	実験装置	7
2.2	実験刺激 (白ドット)	9
2.3	実験刺激 (黒ドット)	10
2.4	実験 の刺激変化	12
2.5	実験 の刺激変化	12
2.6	実験 の刺激変化	12
3.1	被験者 T.O 実験 の結果	15
3.2	被験者 T.N 実験 の結果	16
3.3	被験者 K.Y 実験 の結果	17
3.4	被験者 T.O 実験 の結果	19
3.5	被験者 T.N 実験 の結果	20
3.6	被験者 K.Y 実験 の結果	21
3.7	被験者 T.O 実験 の結果	23
3.8	被験者 T.N 実験 の結果	24
3.9	被験者 K.Y 実験 の結果	25
3.10	実験 の被験者 3 人の平均値をプロットしたグラフ	28

3.11 実験	の被験者 3 人の平均値をプロットしたグラフ	29
3.12 実験	の被験者 3 人の平均値をプロットしたグラフ	30
3.13 実験	における同化現象量	32
3.14 実験	における同化現象量	33
3.15 実験	における同化現象量	33
A.1	参照刺激の測光値	41
A.2	被験者 T.O の測定値	42
A.3	被験者 T.N の測定値	43
A.4	被験者 K.Y の測定値	44

# 第 1 章

## Introduction (序文)

### 1.1 はじめに

刺激の明るさはその周囲がどのような明るさのもので囲まれているかによって変化する。周囲の刺激が高明度から低明度に変化したとき、中心の刺激はその変化とは逆に低明度から高明度へと変化する。これを同時対比 (simultaneous contrast) もしくは空間対比 (spatial contrast) と呼んでいる。明るさの同化とは、明るさの同時対比が隣接する広い面積領域間の明るさの差の強調現象であることとの逆に、明るさの差が縮小する現象のことをいう。対比については刺激の中心と周辺部の輝度と中心の色から説明することができる [5][6][?]. しかし、同化に関してはその発生のメカニズムについてはっきりとはしておらず、それについて諸説が述べられている。たとえば、人間の視覚系のうち網膜段階において輝度分布に対し側抑制がかかり、その極大値と極小値が脳に伝達されて、そこでその極大値と極小値が隣接する領域全体に外挿されて見えの明るさが決まる。静止網膜像等に関する実験から視覚系における補充の過程が決まる。([7] 新編 感覚・知覚心理学ハンドブックより)、などがあるが定説になるに至っていない。

### 1.2 同化についての実験 (過去の研究)

#### 1.2.1 線分図形の同化実験

明るさの同化現象は線分図形に顕著に現れる。Helson[?] は灰色色紙の左半分に多数の黒線を平行に引き、右半分にも白線を同様に引くき、黒線と白線に挟まれた灰色地の見えの

明るさを比較した（図 1.1）. Helson は  $7 \times 11$  inch.,  $6 \times 5$  inch. もしくは  $6 \times 6$  inch. のカードを使い左半分に黒線を引き, 右半分に白線を引いて実験した. 黒線, 白線の幅は  $1\text{mm}$  から  $50\text{mm}$ （視角  $1.16\text{min.}$  から  $57.3\text{min.}$ ）にまで変化させた. Helson は実験を 3 つ行い, (1) 線と線の間幅を変化させる実験, (2) 線の太さと線と線の間幅を変化させる実験, (3) 灰色部分の反射率を変化させる実験である. その実験の結果として, 線の幅が約  $10\text{mm}$ （視角  $11.5\text{min.}$ ）までは灰色背景の幅の大きさに関係なく同化現象が生じ黒線に挟まれる灰色地が白線で挟まれる灰色地よりも暗く感じられた. しかし, 線の幅が  $10\text{mm}$  を超えるとそれらは同化から対比へと移行し, 黒線で挟まれた灰色地は白線で挟まれた灰色地よりも明るく感じられた.

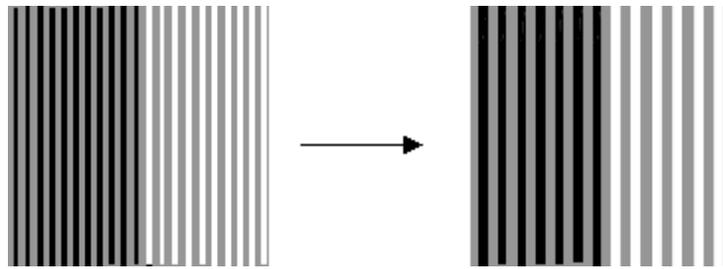


図 1.1 Helson の用いた図形

Helson の実験データ（図 1.2）は線と線の間幅を変化させた場合の  $1\text{mm}$  から  $50\text{mm}$  までの幅の線分による同化現象図形の見えの明るさの変化を示したものである. 図から, 線幅が  $1\text{mm}$  と  $3\text{mm}$  の線分ではどの灰色の間隔においても同化現象が起こっている. 線幅  $10\text{mm}$  の線分が同化と対比の境目であることがわかる. それより線幅が広い場合は対比現象が起こっている. 図から, 線と線の間幅が広がるにつれて同化や対比の現象量は減少していつていることがわかる. これより, 同化や対比の現象において線と線の間幅は影響の強いものであるということがいえる.

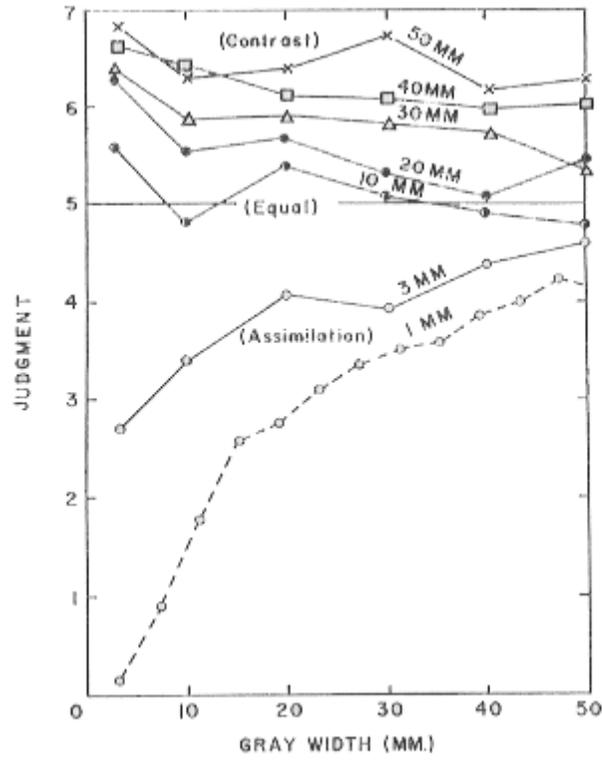


図 1.2 線と線の間隔を変化させた場合 (Helson 1964)

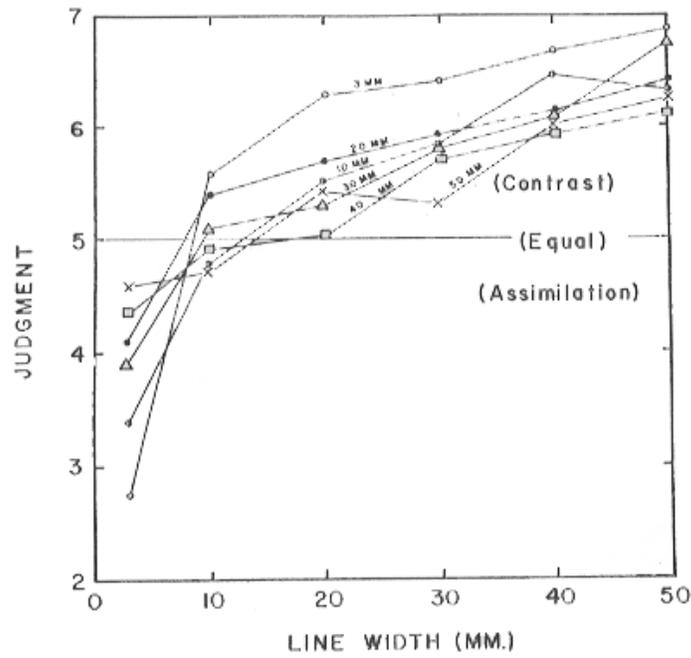


図 1.3 線の幅を変化させた場合 (Helson 1964)

図 1.3 では 3mm から 50mm までの線と線の間隔における線の幅を変化させたときの同化現象, もしくは対比現象を示したものである. 線幅が 10mm 以下では線と線の間隔の大きさによらず, 同化現象が起こっている. そして, それ以後では対比現象に移行している.

図 1.4 では線分による同化現象図形のどのような条件の場合に同化が起きるか, もしくは対比が起きるかを表したものである. これによって, 線分図形での同化現象の起きる条件が説明できる.

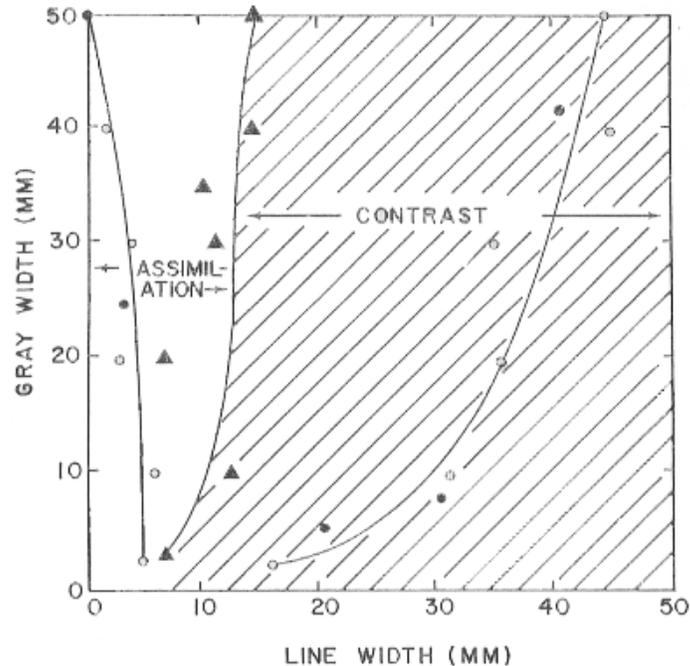


図 1.4 同化と対比の領域区分 (Helson 1964)

### 1.2.2 その他の図形の同化実験

また, その他にも De Weert はアラビア風図形 (図 1.5) で同化現象が起こることを報告している. De Weert は実験で同一輝度の背景に 1.7deg. のマッチング刺激を表示し, テスト刺激の右に設置している. このときの背景の輝度は 18cd/ で, 図形の黒部分, 白部分の輝度は Michelson contrast  $(L^+ - L^-)/(L^+ + L^-)^{*1}$  を使って計算された値の 0.05 から 0.86 まで変化させている. そのときの刺激の半径は 6cm で白部分, 黒部分 1 個あたりの幅は

\*1 L は輝度を表す.

0.5cm である。視距離は 2m である。被験者は 3 人で、被験者はマッチング刺激とテスト刺激の灰色部分の輝度が同じになるように調節した。その結果、Michelson contrast の値が大きくなるにつれ灰色部分の輝度は低くなっていった。しかし、常に白部分で囲まれた灰色部分の輝度の方が黒部分で囲まれた灰色部分の輝度より高かった。また、Michelson contrast の値を 0.33 に固定し、視距離を変えることで視覚を変化させる実験も行っている。刺激からの視距離は 1m から 10m の間で変化し、白部分もしくは黒部分の幅は 0.25cm, 0.5cm, 6cm で実験している。灰色部分の輝度は 18cd/ のままである。その結果、黒部分に囲まれた灰色部分の輝度は、幅が 0.25cm のときはほとんど変化はなく、同化現象は観察されなかった。幅が 0.5cm と 6cm のときは、視距離が 4m を超えると輝度が低下しはじめ、同化現象が起こっていることが観察された。そのとき、黒部分の幅が 0.5cm の輝度の方が幅が 6cm のものに比べ、常に下にあり同化現象が強く引き起こされているといえる。以上の実験から、De Weert の図形において同化現象を引き起こす要因として、白部分と黒部分の輝度のコントラストが高いほど同化現象は起こりやすい。また白部分、黒部分の幅は狭すぎると同化現象が起こりにくく、広くなりすぎると同化現象量は微小になることが観察されている。つまり、De Weert の同化現象図形においては同化現象がおこるに最も適した白部分、黒部分の幅が存在するといえる。

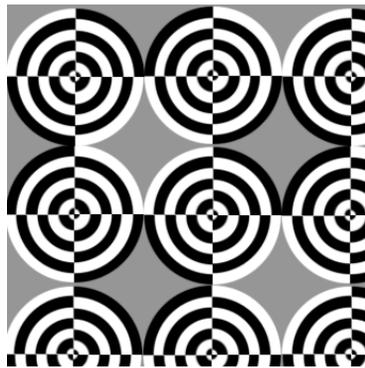


図 1.5 De Weert の用いた図形

### 1.3 今実験では

今実験では、Mackay の図形を用いて同化現象量が刺激の形状によってどのように変化するかについて調べた。Mackay の同化現象図形は Helson の同化現象図形のように左側に黒の刺激があり、右側に白の刺激をおいている。この図形では左側の黒のドット刺激がある方が右の白ドットの刺激がある方に比べて暗く見える。しかし、この図形の刺激は Helson の同化現象図形のように線分ではないため、刺激の境界が知覚しにくいと思われる。そこで、この Mackay の同化現象図形を用いて実験をすることで Helson の報告のように、刺激サイズによって同化から対比へ移行する可能性があるかについて、Mackay の図形を用いて調べた。そして同化現象の発生する主たる原因を調べるために、同化現象量を決定するのは 視角によるものなのか、刺激の総面積によるものなのか、密度によるものなのか、ということに疑問点をおき実験を行った。Mackay の図形（図 1.6）を用いた理由としては、(1) 線分図形における同化現象についての実験は Helson, Steger など多くの研究者が調べているため。(2) 線分での同化現象量は line spread 関数により説明可能であるが、このモデルがドットの場合にも適用可能であるか。という 2 点が挙げられる。

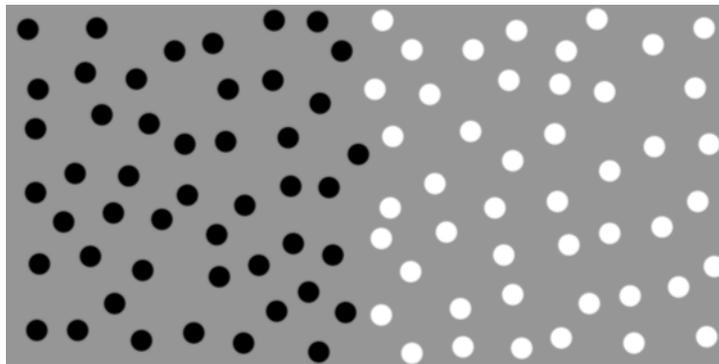


図 1.6 Mackay の用いた図形

## 第 2 章

# Method (実験方法)

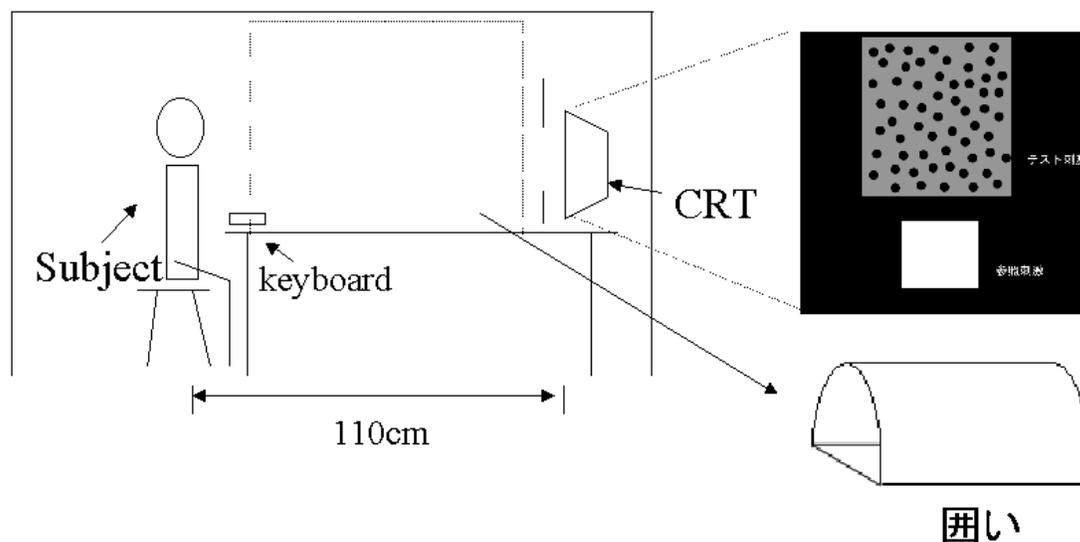


図 2.1 実験装置

## 2.1 実験方法

### 2.1.1 使用した機器

暗室で被験者から約 110cm の位置に CRT ディスプレイを設置し、その画面にテスト刺激と参照刺激を呈示し実験した。使用した CRT ディスプレイは三菱 Diamondtron RD17GX である。刺激は photoshop5.5 を使用して作成した。

### 2.1.2 刺激

実験を行うとき呈示するテスト刺激で白ドットのものか黒ドットのものかどちらか一方しか呈示されていない。参照刺激は輝度  $0.51\text{cd/}$  から  $110\text{cd/}$  まで変化する一辺  $7\text{cm}$  (視角  $3.64\text{deg.}$ ) の正方形である。参照刺激は約 150 枚の白から黒へ移行するスライドからできている。途中の 100 枚は変化が微小であり、1 枚の変化はほとんどわからない位である。刺激の測光の結果を付録に示しておく。刺激は Mackay の同化現象図形を半分にしたものであり、刺激のドットの位置はランダムにプロットされている。呈示した刺激は視角  $0.94\text{min.}$  から  $2.06\text{deg.}$  までのドットを輝度  $35.7\text{cd/}$  上の灰色背景上に置いたもので、白ドットの色度点は  $X=0.29$ ,  $Y=0.30$  である。色度点はミノルタの CT-1000 で測光したデータを参照している。刺激のドットを置いた灰色背景は縦横  $12\text{cm}$  (視角  $6.23\text{deg.}$ ) の正方形である。呈示した刺激を図 2.2, 2.3 に示す。上がテスト刺激で下が参照刺激である。それらを Web 上で表示できるようにした。

### 2.1.3 被験者

被験者は成人の男子 3 人 (T.O, T.N, K.Y) で、T.N 以外の被験者はナイーブである。実験中、被験者は自然視で呈示された刺激を観察し、キーボードの矢印キーの左右を用いてテスト刺激の灰色部分と参照刺激の明るさが同じになるようにマッチングした。実験は被験者 T.N が 5 回、K.Y と T.O が 3 回実験を行った。

### 2.1.4 実験手順

実験を試行する前に暗順応を 5 分し、その後ディスプレイに 5 分順応して始められた。今実験では同化現象量を測定するために実験方法として調整法を使用した。調整法は被験者自身が参照光の明るさを調節し、明るさを決定する方法である。今実験では図 2.2 や図 2.3 のような刺激をディスプレイ上に表示した。実験はまず、灰色背景のみと参照刺激をマッチングを行った。その後ドットのおいた刺激を呈示して実験を行っている。どの実験でも徐々に視

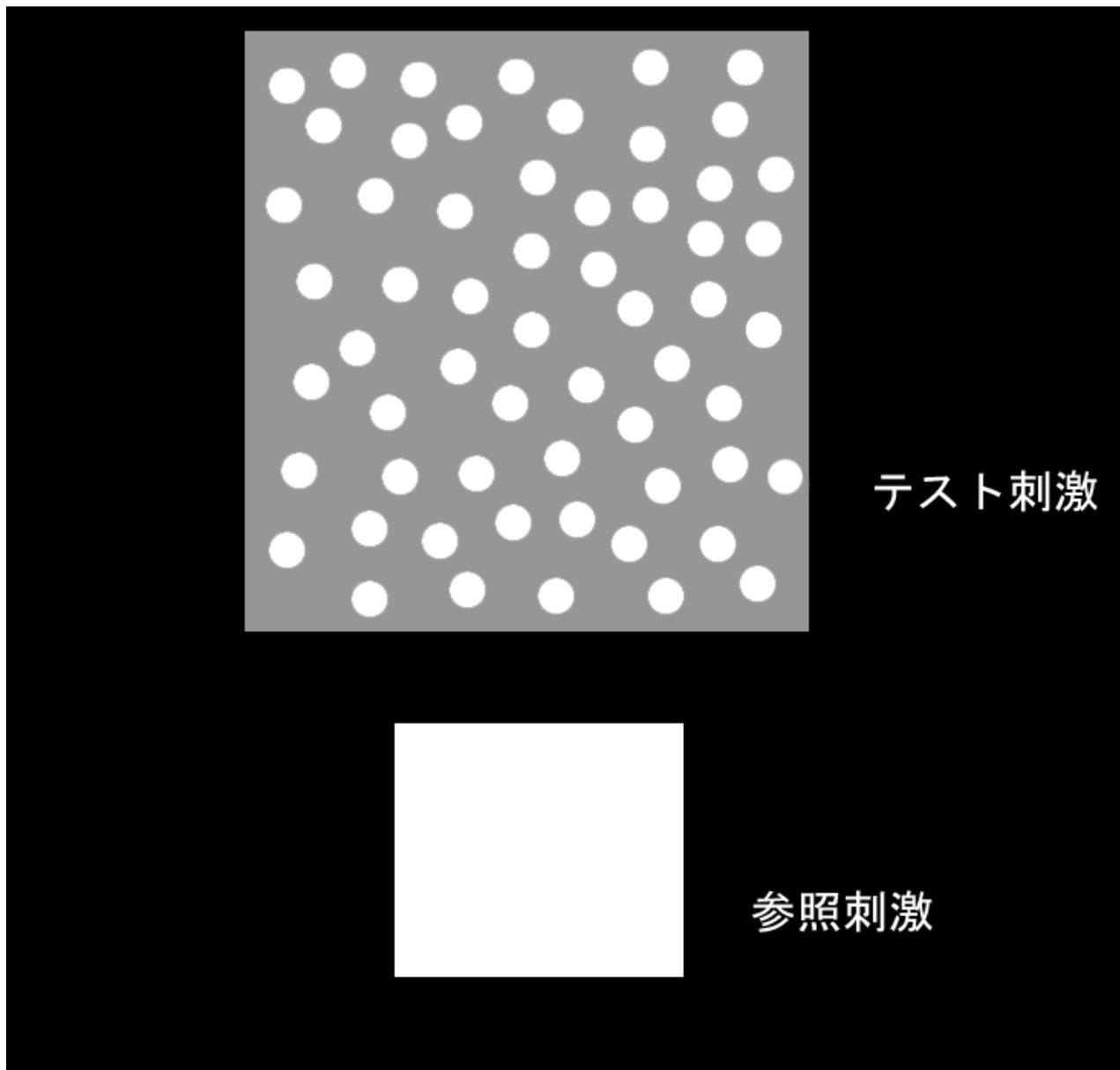


図 2.2 実験刺激（白ドット）

角が変化するのではなくランダムに視角を変化させて実験している。

1セッションでは実験<sub>1</sub>、実験<sub>2</sub>、実験<sub>3</sub>のうち、実験<sub>1</sub>と<sub>2</sub>か実験<sub>3</sub>のみを行なった。1セッションでは13回（実験<sub>1</sub>）、21回（実験<sub>2</sub>）、40回（実験<sub>3</sub>）のマッチングを行なっている。1セッションの時間は、被験者によって異なるがおおよそ30～45分間である。

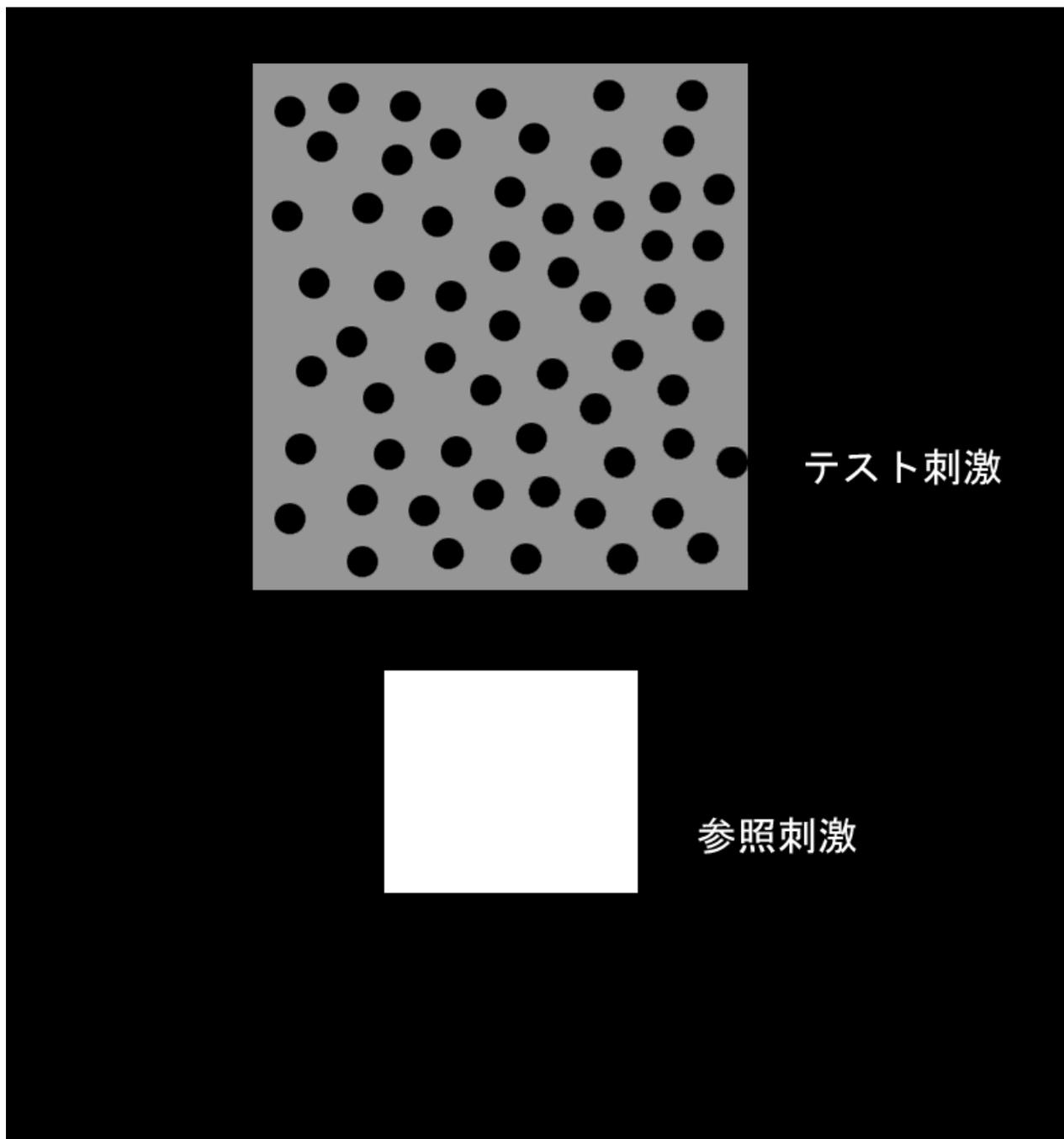


図 2.3 実験刺激（黒ドット）

## 2.2 各実験の刺激

### 2.2.1 実験

まず、Mackay の図形における同化現象量を調べるために実験としてドットの数を 100 個に固定し、ドットの大きさを変化させる実験を行った。この実験では視角による変化が同化現象に影響を与えるかどうかを調べる。視角変化は 0.94, 2.81, 4.69, 6.56, 8.43, 10.3, 12.2, 14.1, 15.9, 17.8, 19.7, 21.6, 23.4, 25.3(min.) の 13 種類行っている。この実験では視角がある大きさまで大きくなるにつれて同化現象量は増加していくけれども、その後は変化点(あるドットサイズ)を超えると減少すると予想していた。また、ドットが視角 25.3min. になるとドット一個一個が大きすぎて重なってしまうため同化現象ではなく対比現象が引き起こされると予想した。(図 2.4)

### 2.2.2 実験

次にドットの総面積を一定にし、視角を変化させる実験を行った。ドットの総面積が同化現象に大きな影響を与えるのならば、ドットの視角を変化させても同化現象量はある程度の値を保ったまま、同化が起こりつづけると考えたからである。ドットの面積を固定して視角を変化させたとき個数が変化する。そのときの変化する個数は 1 個から約 16000 個までの 21 種類である(図 2.5)

### 2.2.3 実験

その次にドットの視角を一定にし、灰色背景上のドットの個数を変化させる実験を行った。この実験では灰色背景上に置かれたドットの密度が同化現象に大きな影響を与えるかどうかを調べる。ドットの個数は 1 個から 200 個まで 40 種類変化する。Helson の報告から Helson の同化現象図形では線分幅がある程度小さく、線分と線分間の幅がある程度大きいほうが同化現象は起こりやすかった。そのため、ドットの密度を変化させると最も同化現象量が大きいところが存在し、同化現象が最も起こりやすい密度があるのではと予想した。(図 2.6)

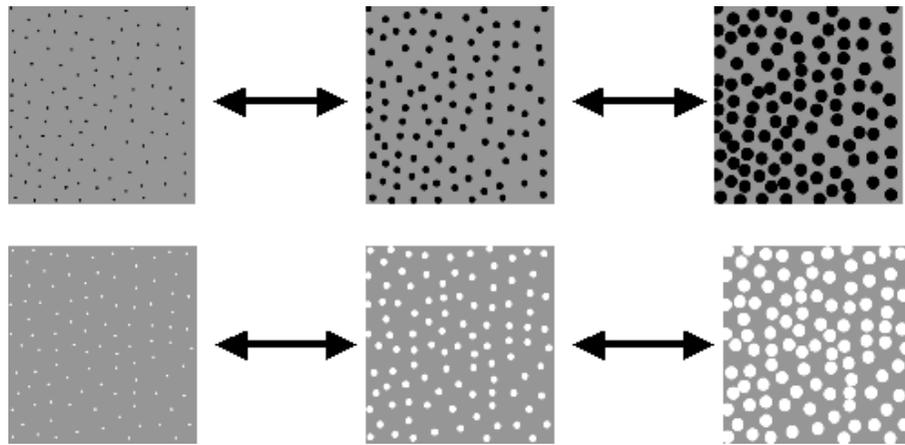


図 2.4 実験 の刺激変化

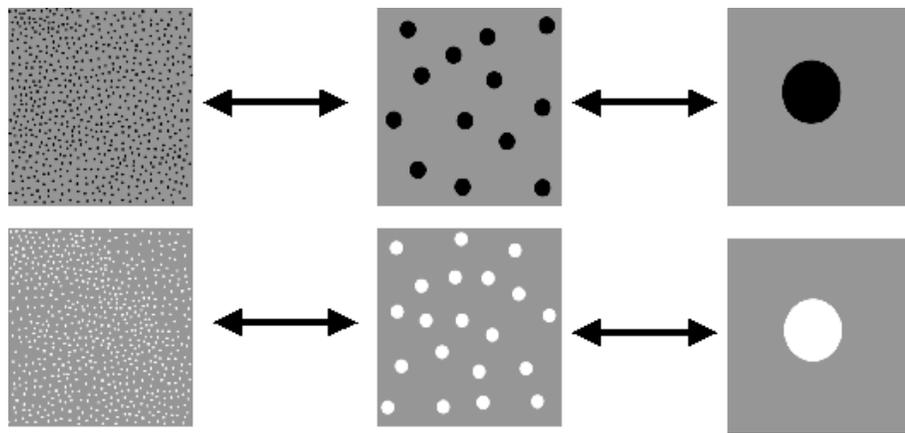


図 2.5 実験 の刺激変化

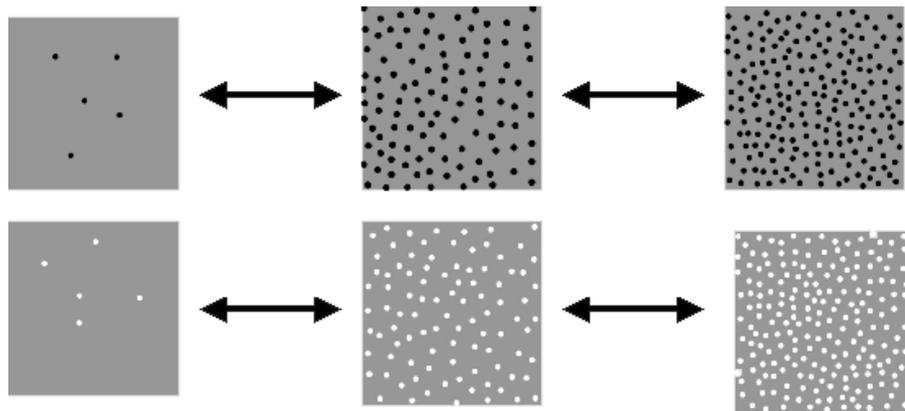


図 2.6 実験 の刺激変化

## 第3章

# Result (実験結果)

### 3.1 実験の結果

#### 3.1.1 被験者 T.O

実験（刺激の個数を一定にし、ドットの視角を変化させる）の結果は被験者 T.O は黒ドットの刺激における同化現象量は微小であった。全体的におおよそ灰色背景と同等の輝度値であった。

しかし、白ドットの刺激における同化現象量は強くでており、今実験を試行した被験者3人の中で最も多くでていた。そして、視角 10min. から 20min. の間でピークとなるドットサイズ（視角 10.3min. と 14.1min.）が存在した。（図 3.1 参照）

#### 3.1.2 被験者 T.N

実験で被験者 T.N の黒ドットの刺激における同化現象量はほとんどなく、灰色背景の輝度とほぼ同一である。

また、白ドットの刺激における同化現象量も微小であり、実験では同化現象がほとんど起こらなかった。しかし、刺激の印象においては明るさの変化が確認されており、同化現象量の測定値がほとんどなかったということは適切に同化現象量が測定できていない可能性もある。（図 3.2 参照）

### 3.1.3 被験者 K.Y

被験者 K.Y における実験 での同化現象量は, 刺激が黒ドットの場合は同化現象が起こらず灰色背景の輝度とほぼ同じ明るさの見えである. 黒ドットの刺激では同化現象はほとんど起こらなかった.

一方, 白ドットの刺激の場合はドットの視角が大きくなるにつれて見えの明るさが減少する傾向にあった. 白ドットの刺激において灰色背景の見えの明るさが減少していくということは, 同化が起きているのではなく対比が起きているということである. 白ドットの刺激において対比が起きることは被験者 T.O や T.N では観察されなかった. このような対比が起こった原因は不明である. (図 3.3 参照)

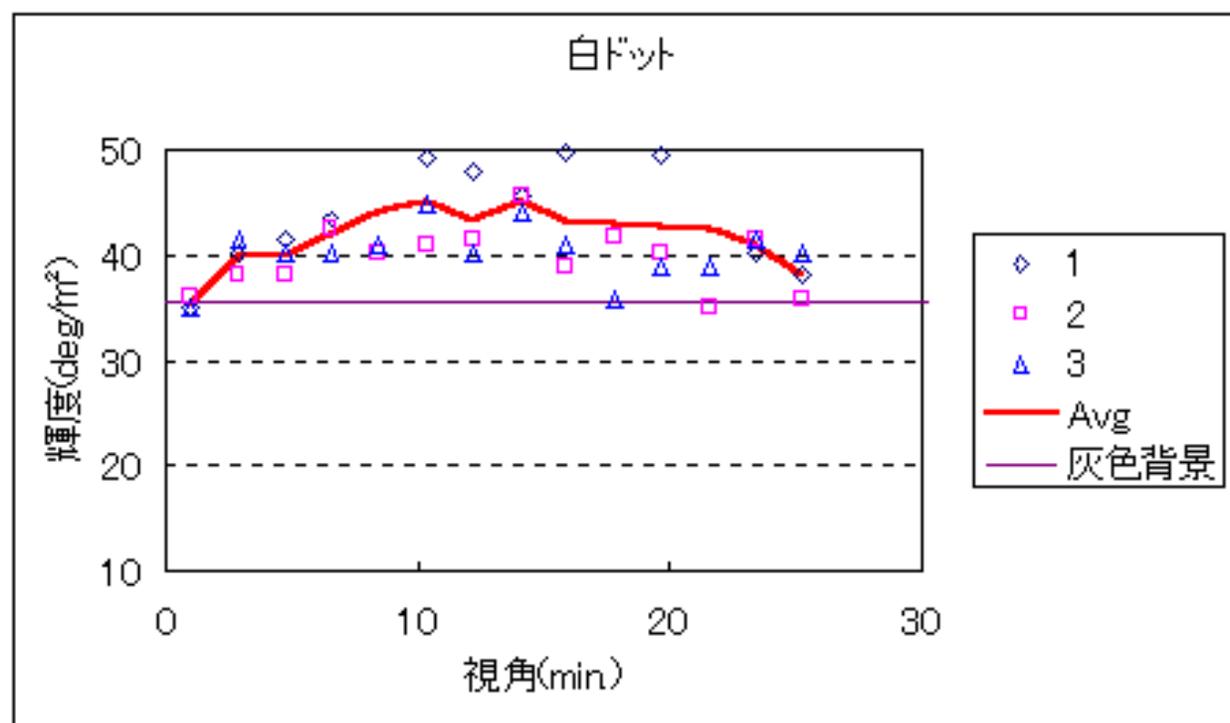
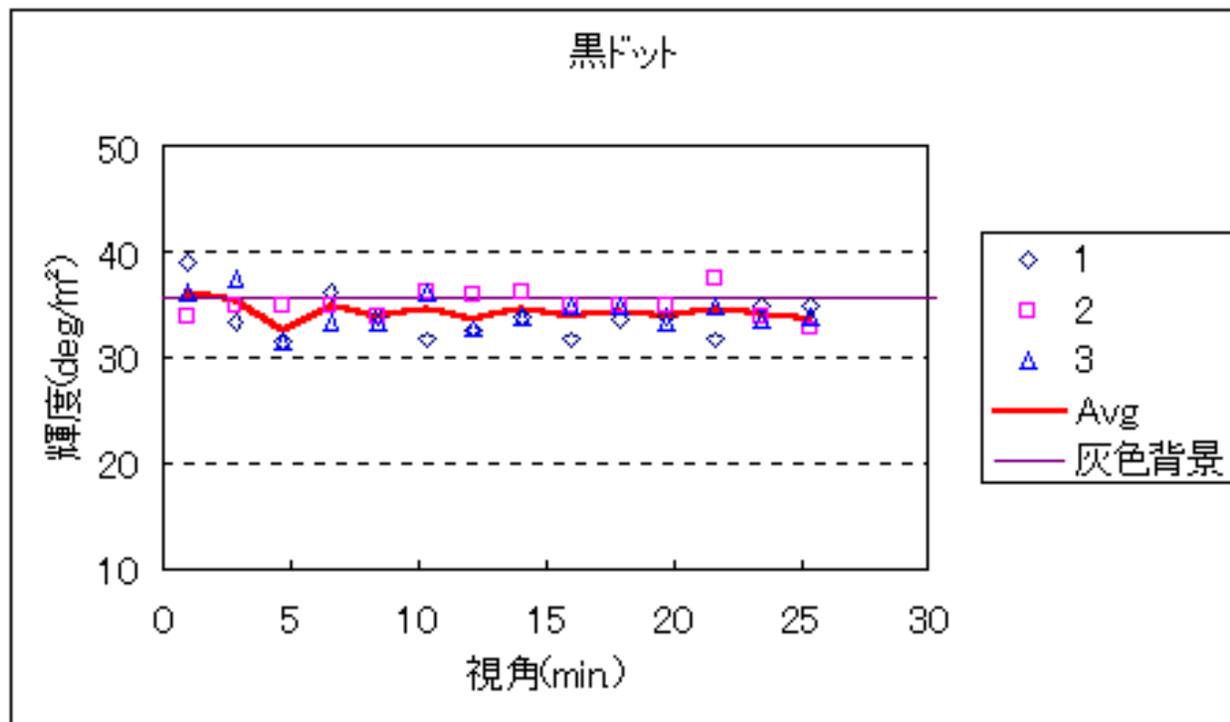


図 3.1 被験者 T.O 実験の結果

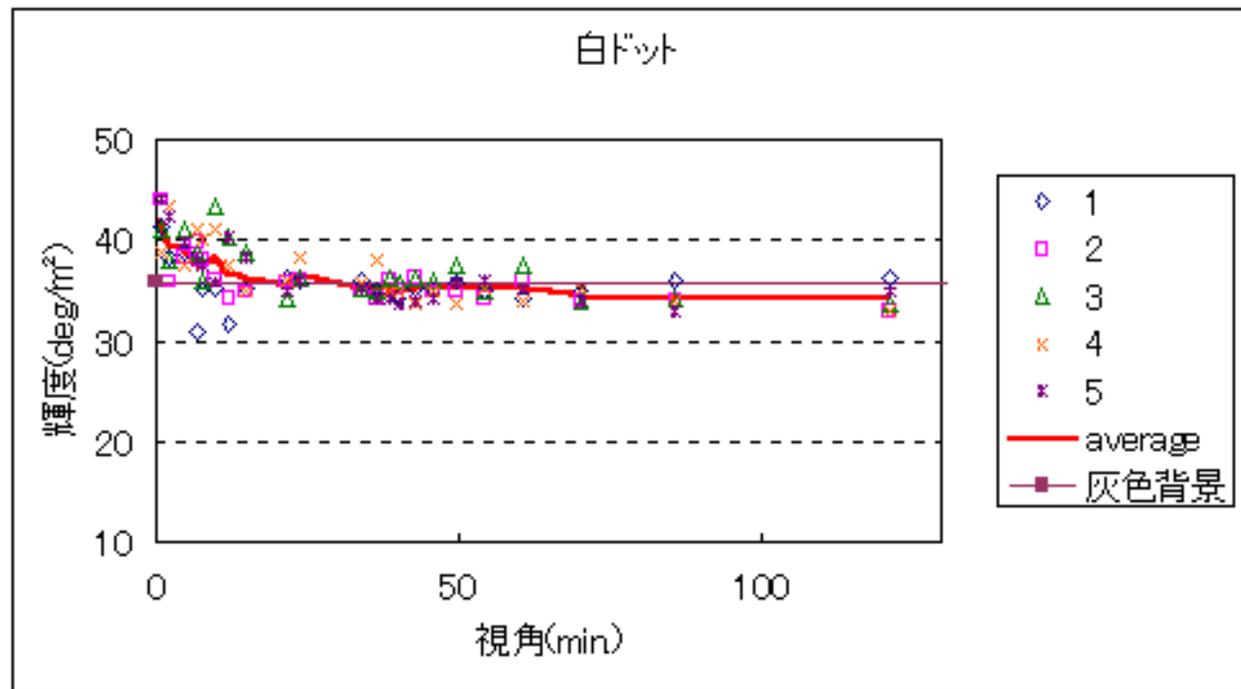
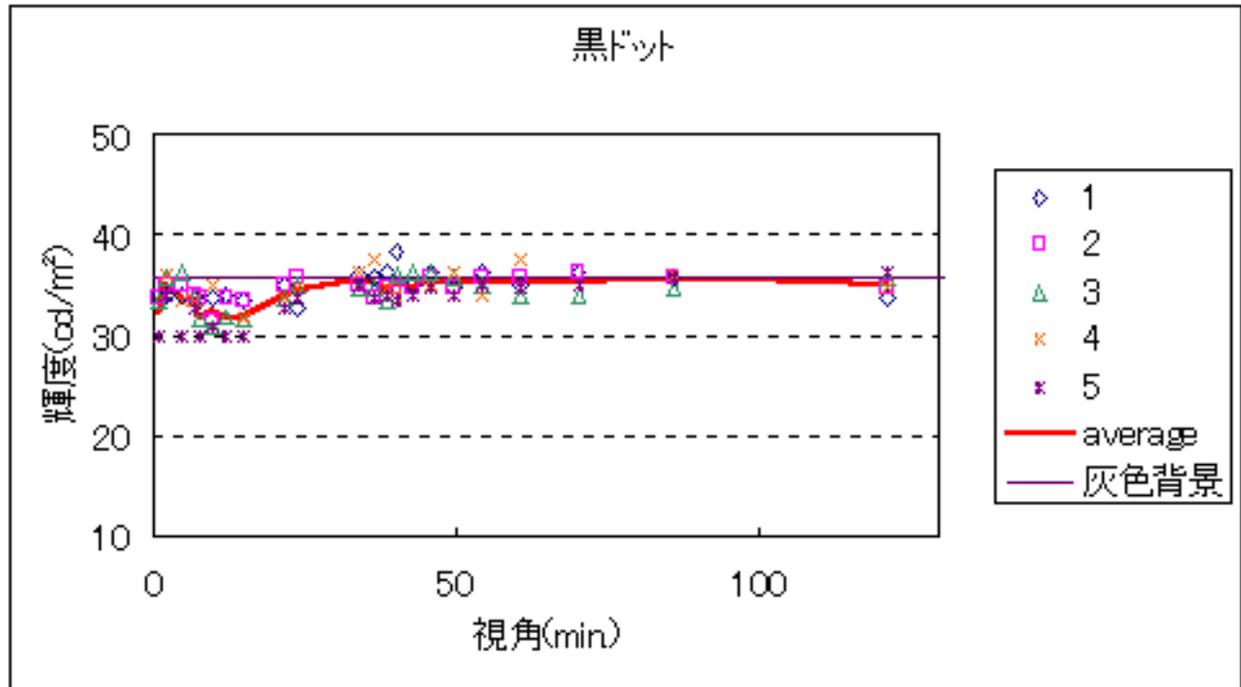


図 3.2 被験者 T.N 実験の結果

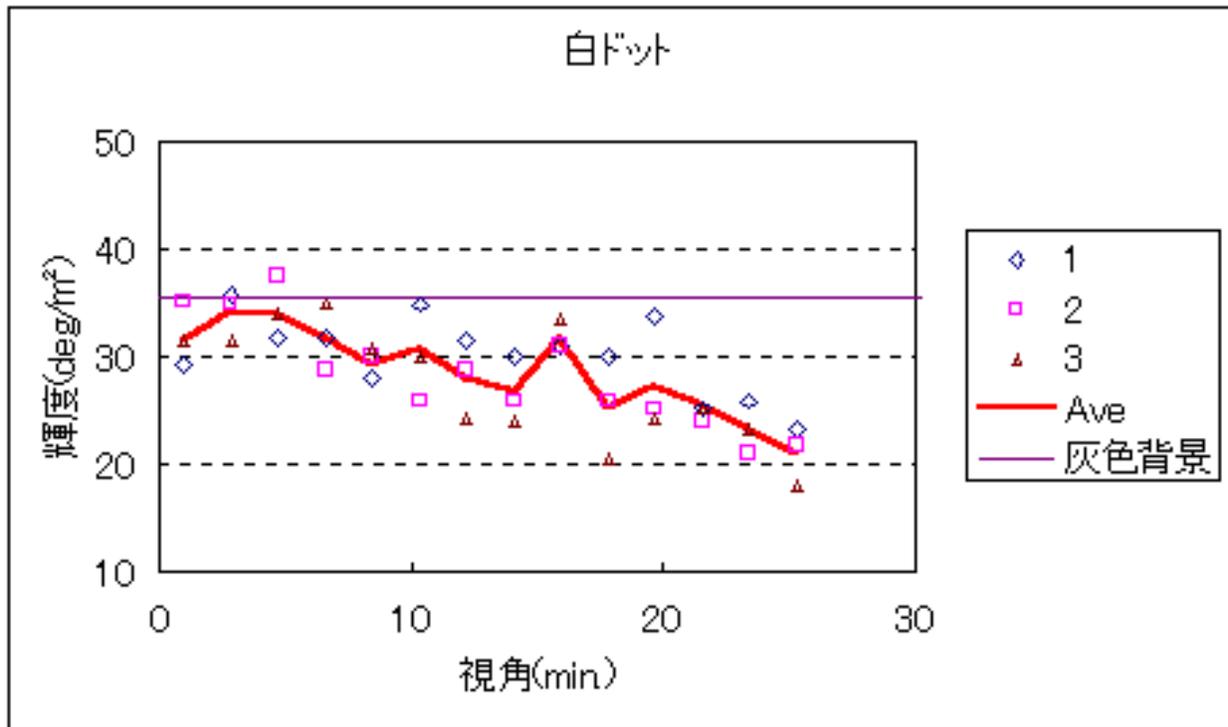
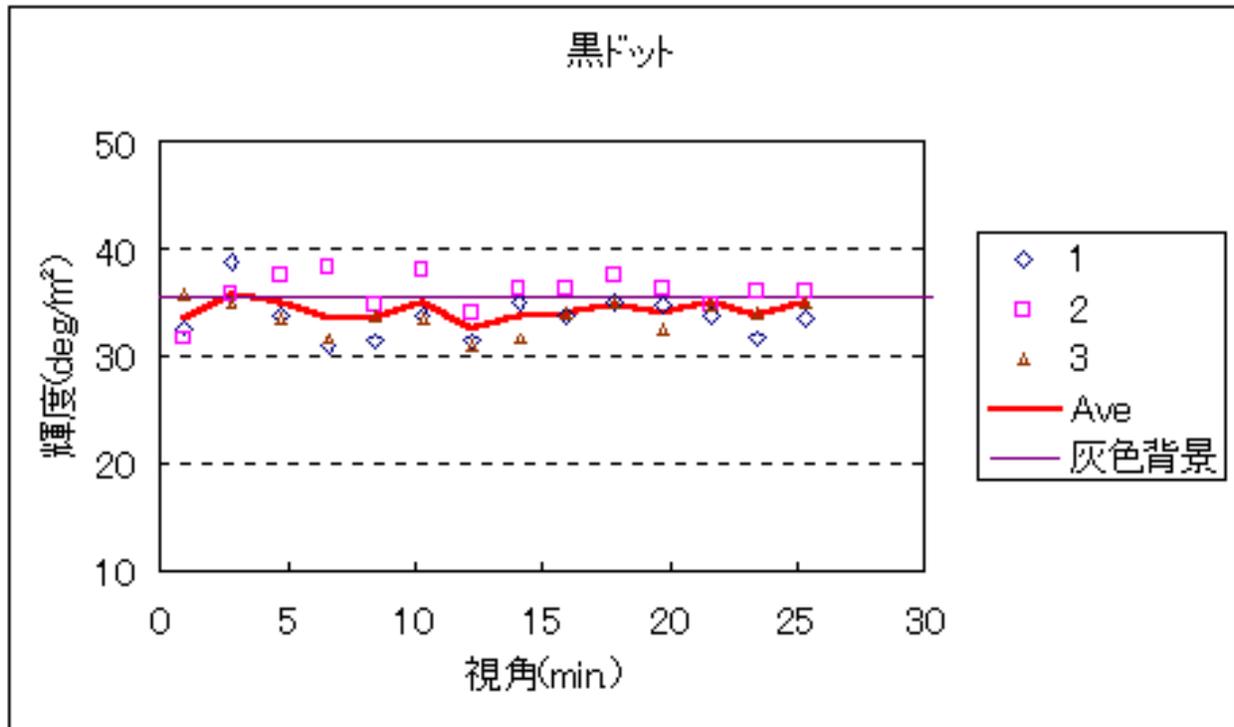


図 3.3 被験者 K.Y 実験の結果

## 3.2 実験の結果

### 3.2.1 被験者 T.O

実験（ドットの総面積を一定にし、視角を変化させる）でも黒ドットの刺激の場合は実験と同じく、同化現象量が微小であり、灰色背景の輝度値付近にデータ点がプロットされた。

白ドットの刺激の場合は、視角が微小のとき（視角 0.94min., 1.88min. のあたり）は輝度値が灰色背景の輝度値よりも高かったが、ドットが確認できない程度に小さいため同化現象とはいえない。その後の視角では 33.8min. くらいで同化現象量は微小となり、それより大きい視角ではおおよそ灰色背景の輝度値と同等の値をとった。（図 3.4 参照）

### 3.2.2 被験者 T.N

被験者 T.N における実験の黒ドット刺激の場合の同化現象量は微小であった。

白ドットの刺激の場合は極端に小さい視角のドット刺激の場合に見える明るさが灰色背景の輝度よりも高いがそれは同化現象ではない。視角が極小の場合を除くと見える明るさは灰色背景の輝度とほぼ同等で、同化現象は微小であった。（図 3.4 参照）

### 3.2.3 被験者 K.Y

被験者 K.Y における実験の黒ドットの刺激の場合はドットの刺激の視角が極端に小さいときに見える明るさに変化が見られるがこれは同化ではない。ドットの視角が極端に小さい場合を除けば、同化現象量は微小であった。

白ドットの刺激の場合は刺激の視角が極端に小さい場合に見える明るさが灰色背景の輝度より明るくなっているが、ドットの大きさが極端に小さいため背景の明るさと平均化されている可能性があるため同化現象とはいえない。その後はドットの大きさが、灰色背景と平均化されない視角 4.68min. 以上になると対比現象が起きていることが観察された。そして、視角 7.50min. まで見える明るさは減少していき、その後は対比現象が生じたまま一定の明るさとなった。（図 3.6 参照）

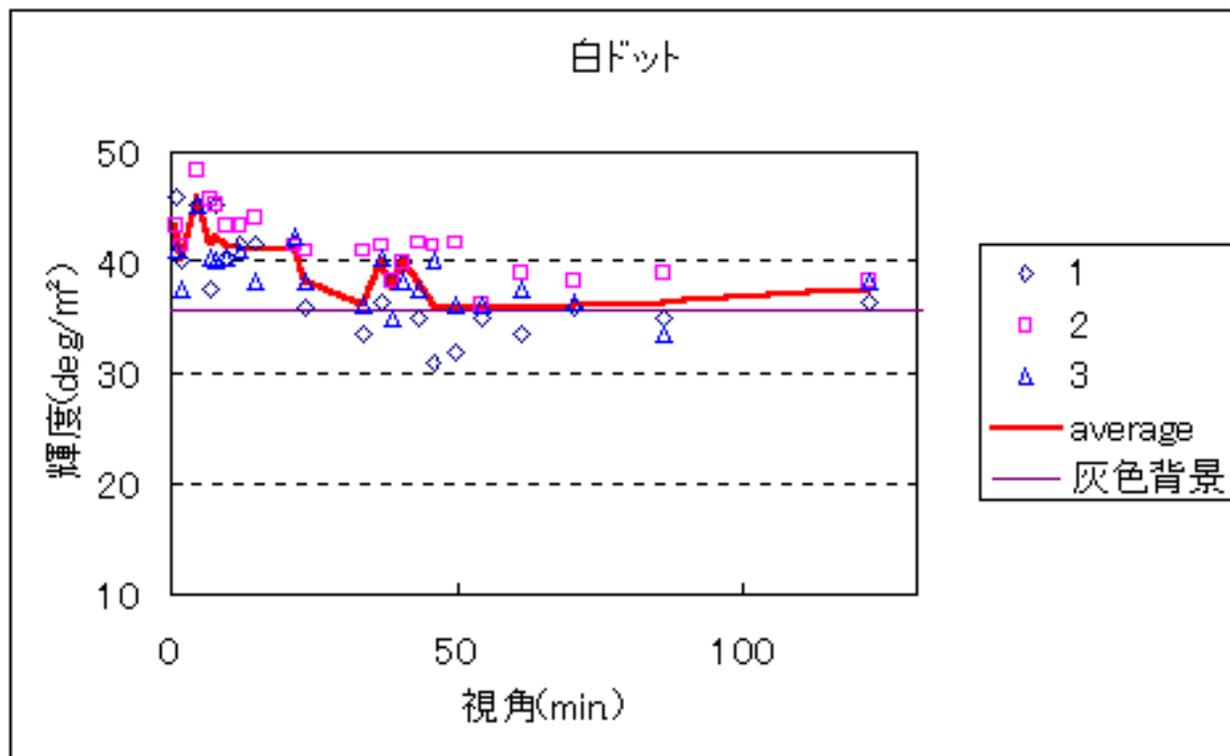
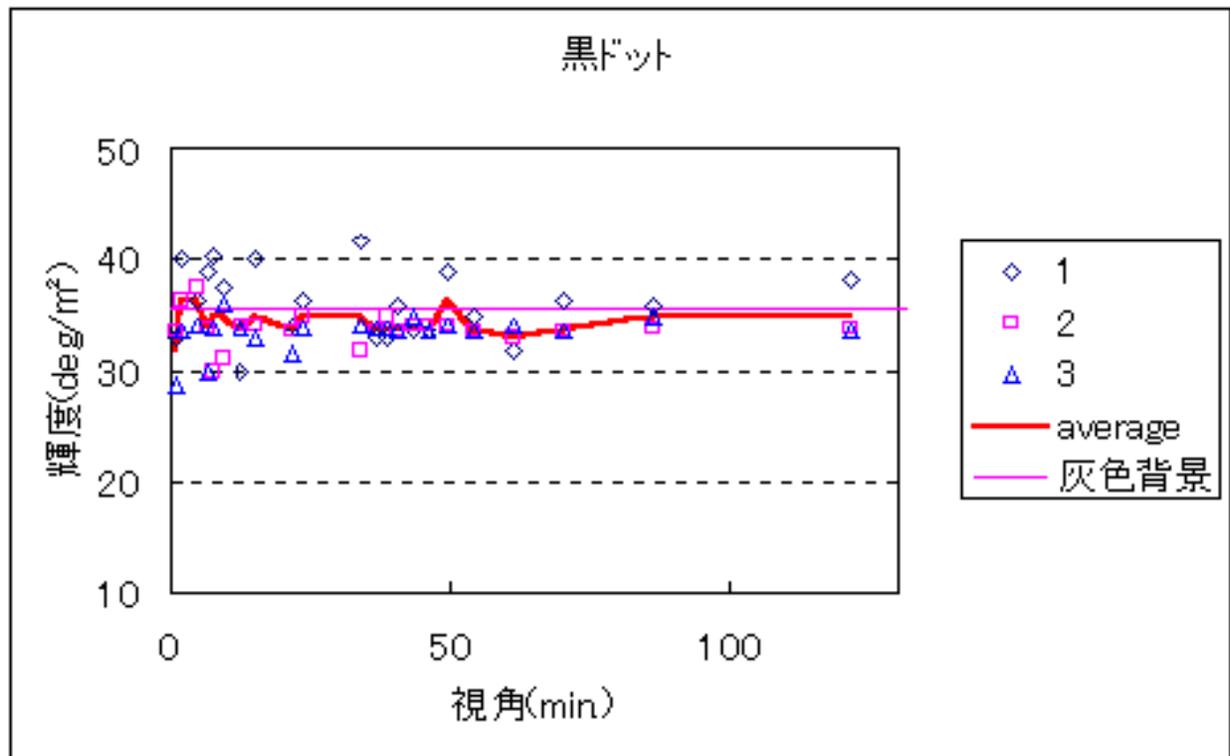


図 3.4 被験者 T.O 実験の結果

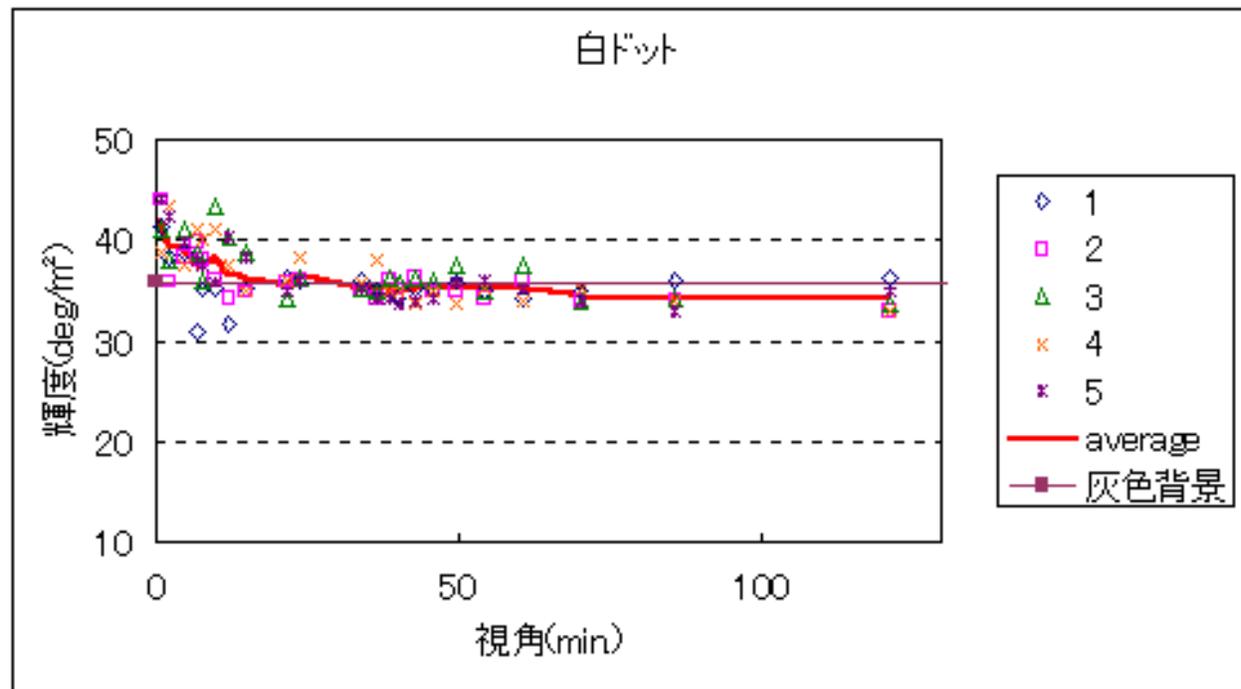
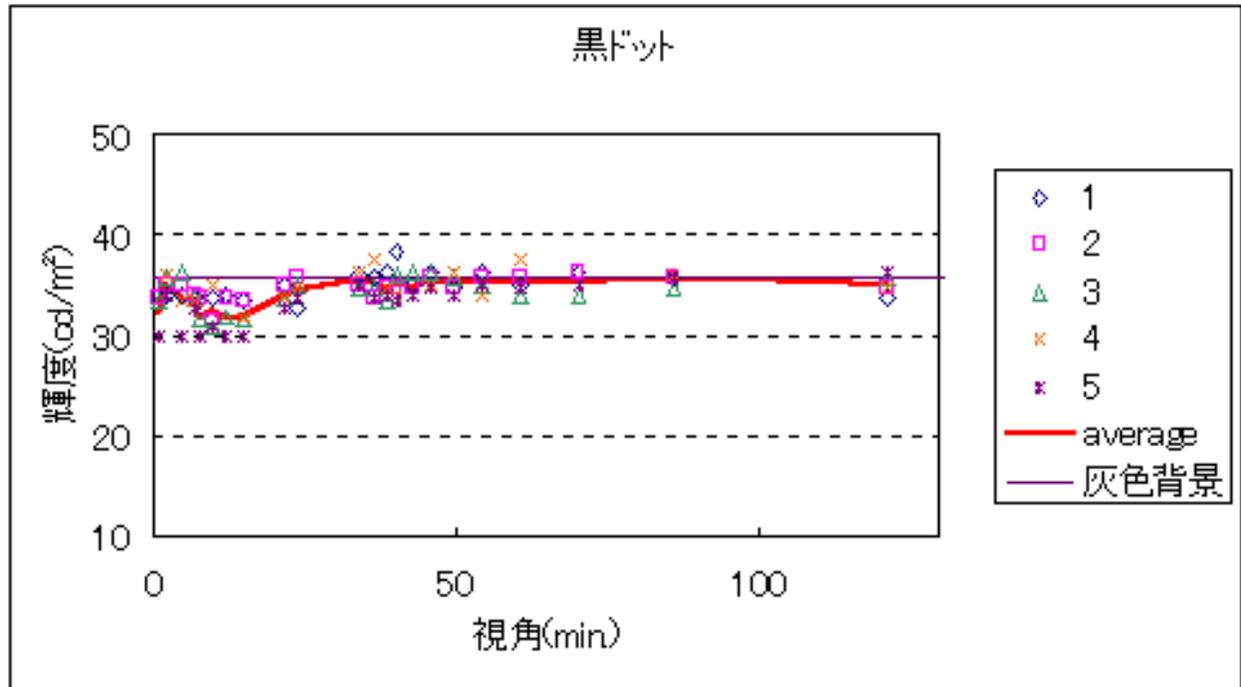


図 3.5 被験者 T.N 実験の結果

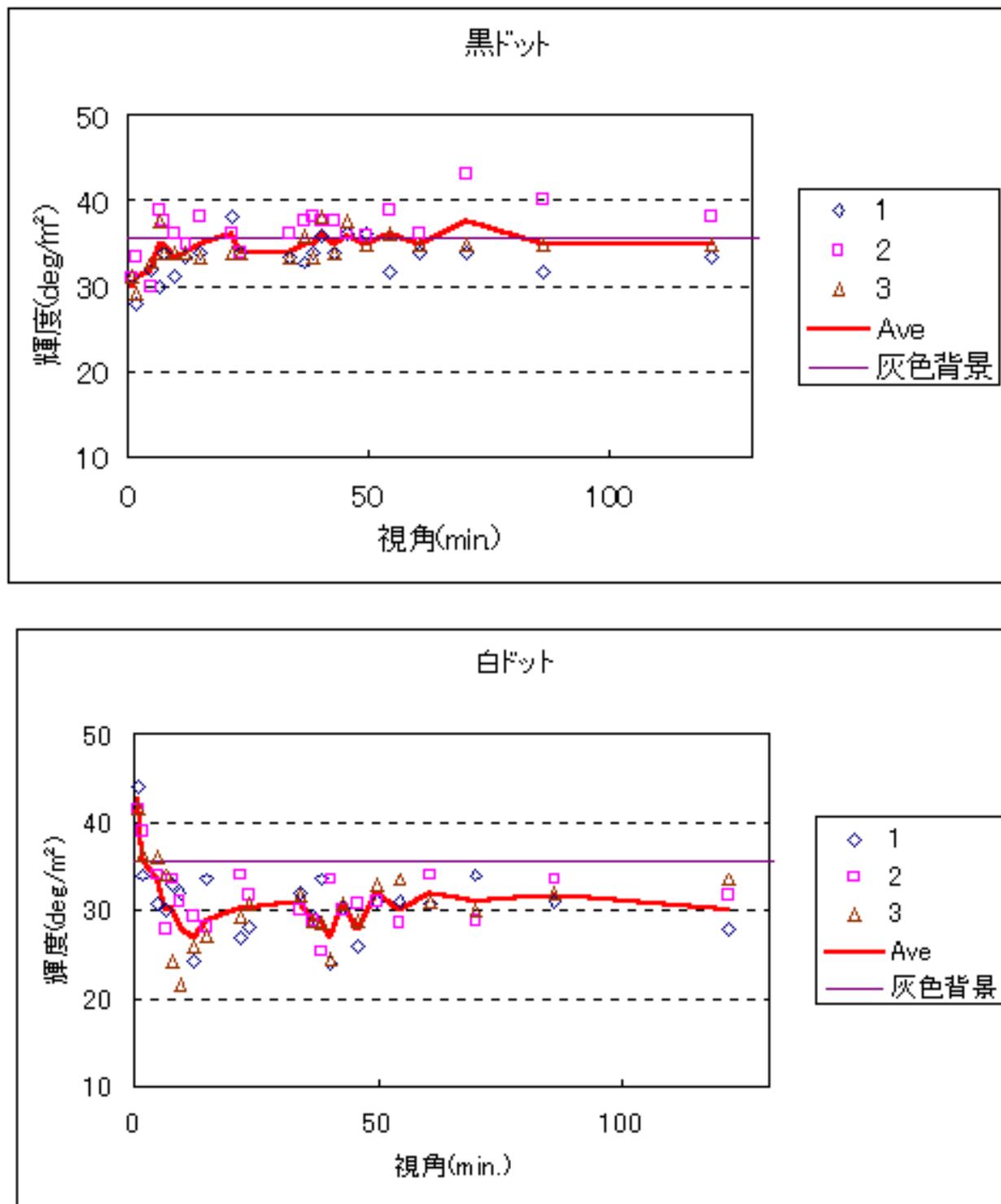


図 3.6 被験者 K.Y 実験の結果

### 3.3 実験の結果

#### 3.3.1 被験者 T.O

実験（ドットの視角を一定にし、灰色背景上のドットの個数を変化させる）でも黒ドットの刺激の同化現象量は微小であった。実験、と同じく測定された輝度値は灰色背景の輝度値とほぼ同等の値であった。白ドットの刺激の場合は、データのぶれが少しあるが、白ドットの刺激の密度が高くなるに従って同化現象量は増加の傾向にあった。しかし、白ドットの刺激の個数が 100 個を超えるとほぼ一定の同化現象量をとっている。（図 3.7 参照）

#### 3.3.2 被験者 T.N

実験における被験者 T.N の同化現象量は、黒ドットの刺激の場合ドットの個数が 150 個を超えるまでは微小に上昇している。ドットの個数が 150 個を超えると同化現象が引き起こされ見えの明るさが徐々に暗くなっていき同化現象量が増加したのが観察された。

また、白ドットの刺激の場合も同じくドットの個数が 150 個を超えるまでは見えの明るさが灰色背景の輝度より微小に明るい、ドットの個数が 150 個を超えると同化現象が生じて徐々に明るくなってきている。（図 3.8 参照）

#### 3.3.3 被験者 K.Y

実験の黒ドットの刺激の場合、被験者 K.Y における見えの明るさは灰色背景の輝度とおおよそ同じであり、同化現象はほとんど起こらなかった。白ドットの刺激の場合はドットの個数が増加するにつれて見えの明るさが減少していることが観察された。実験においても被験者 K.Y の場合、白ドットの刺激では対比現象が起きたことが観察された。ドットの個数が 50 個付近までは見えの明るさが急激に暗くなっているが、ドットの個数が 50 個を超えると見えの明るさの減少量は緩やかになっている。（図 3.9 参照）

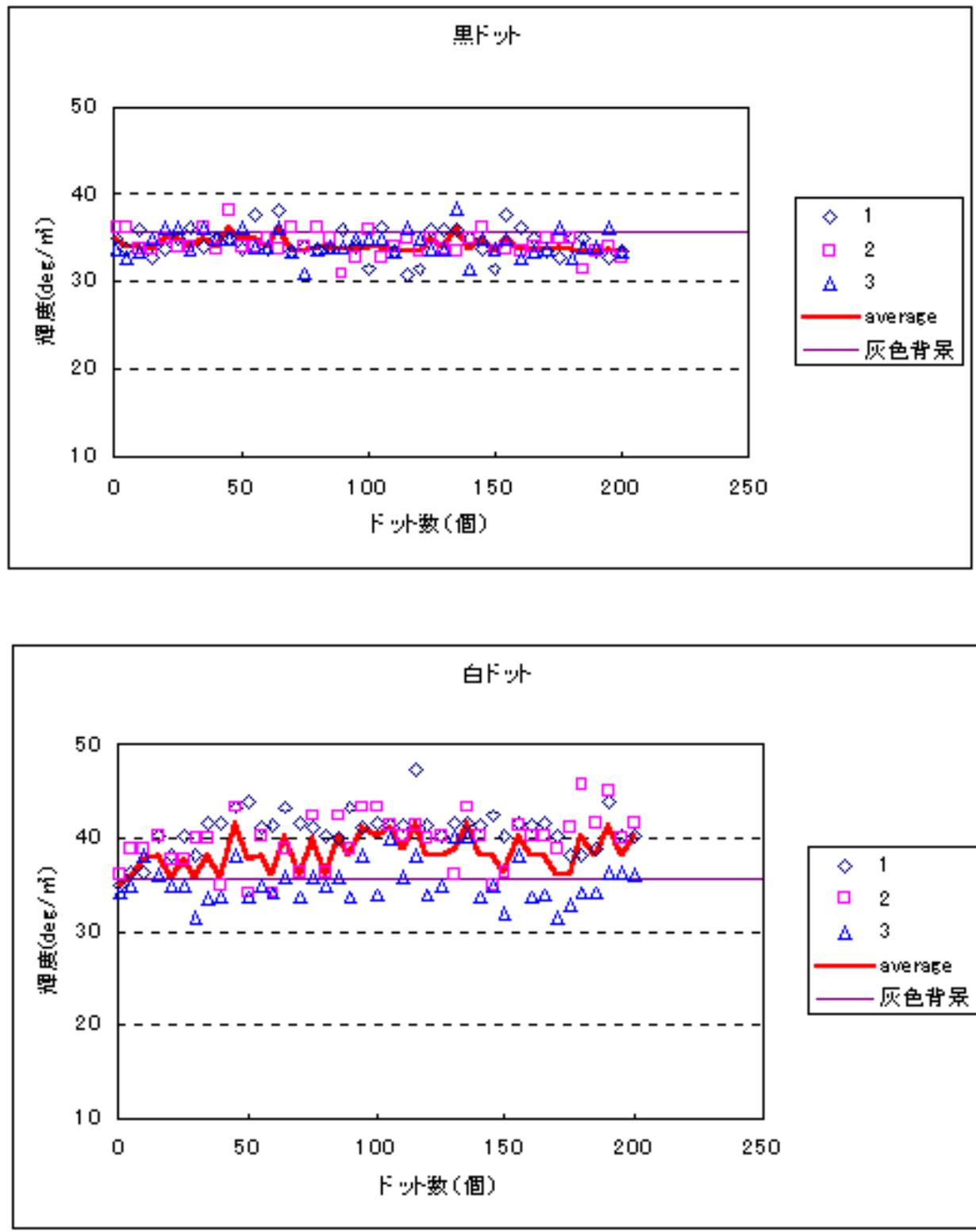


図 3.7 被験者 T.O 実験の結果

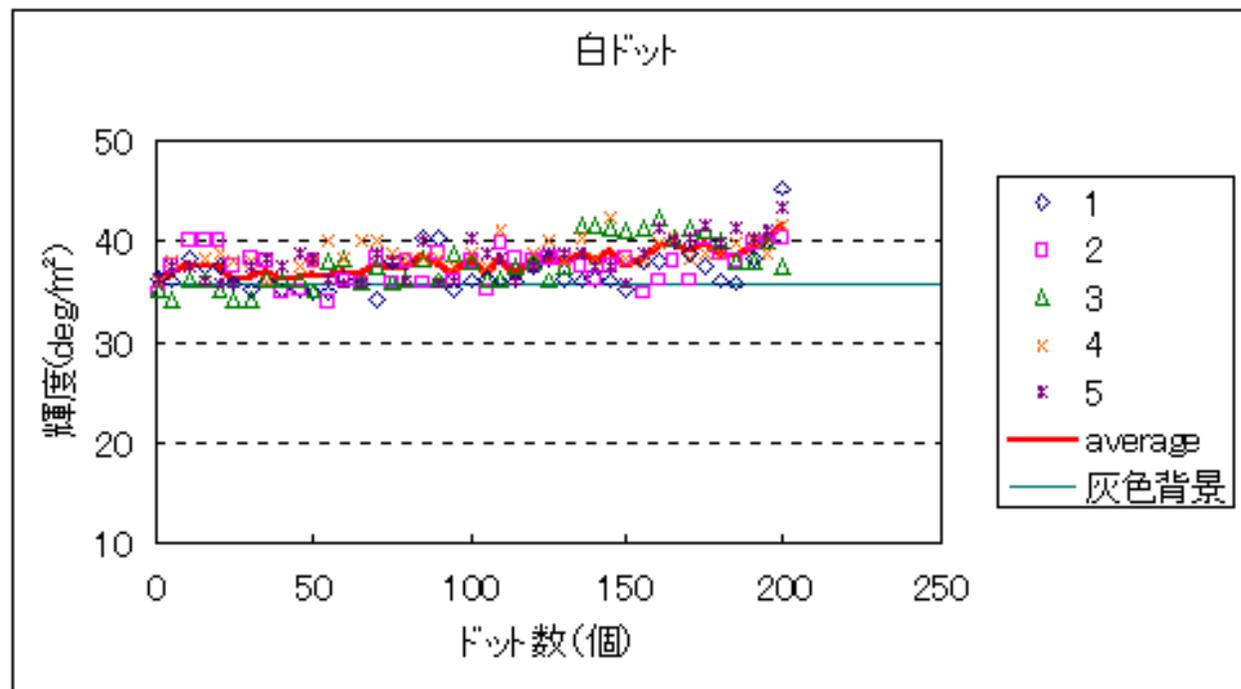
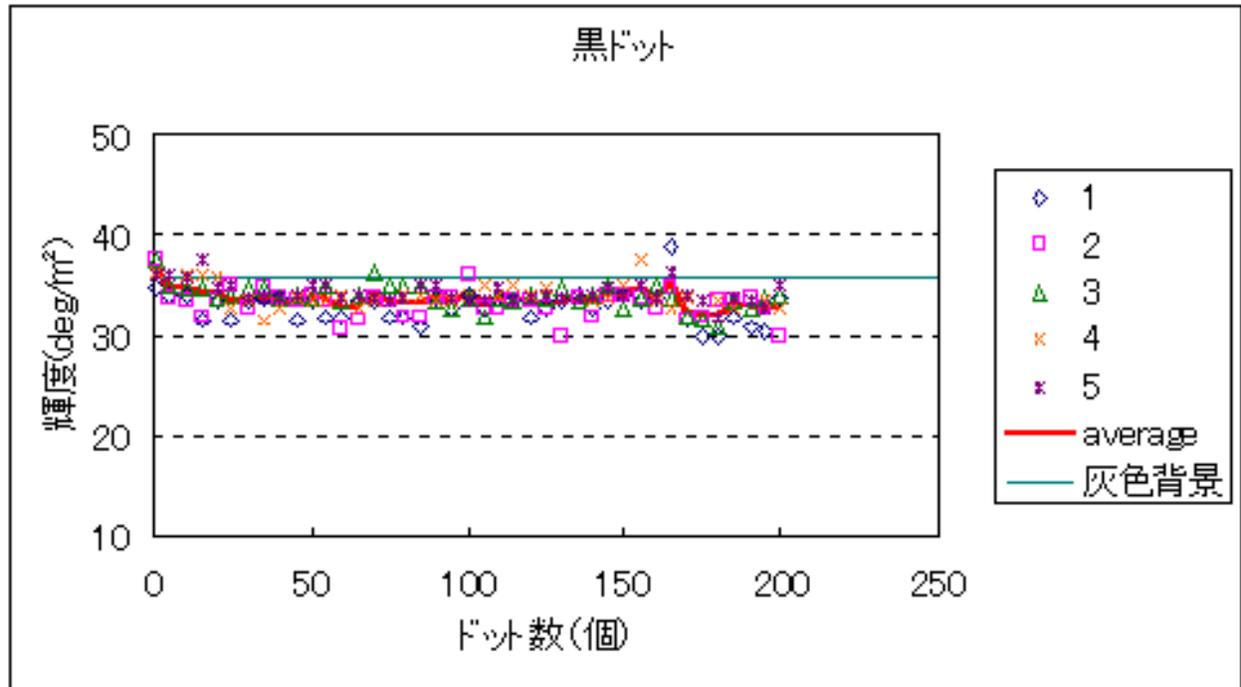


図 3.8 被験者 T.N 実験の結果

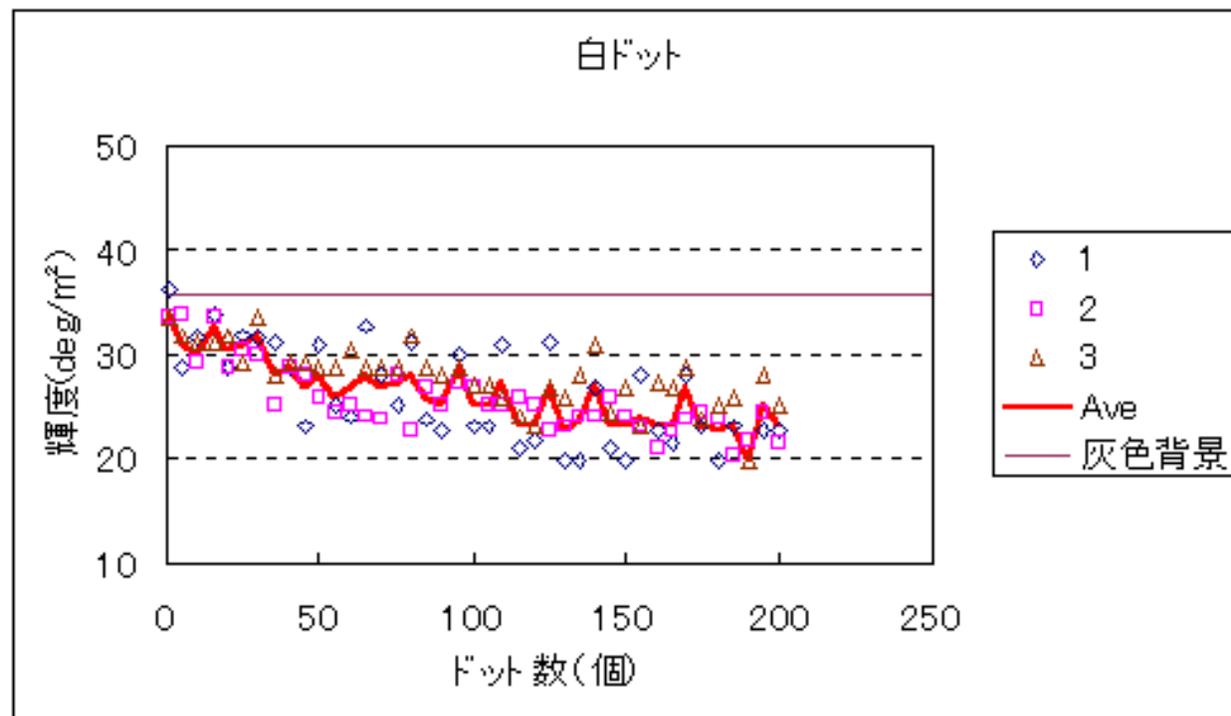
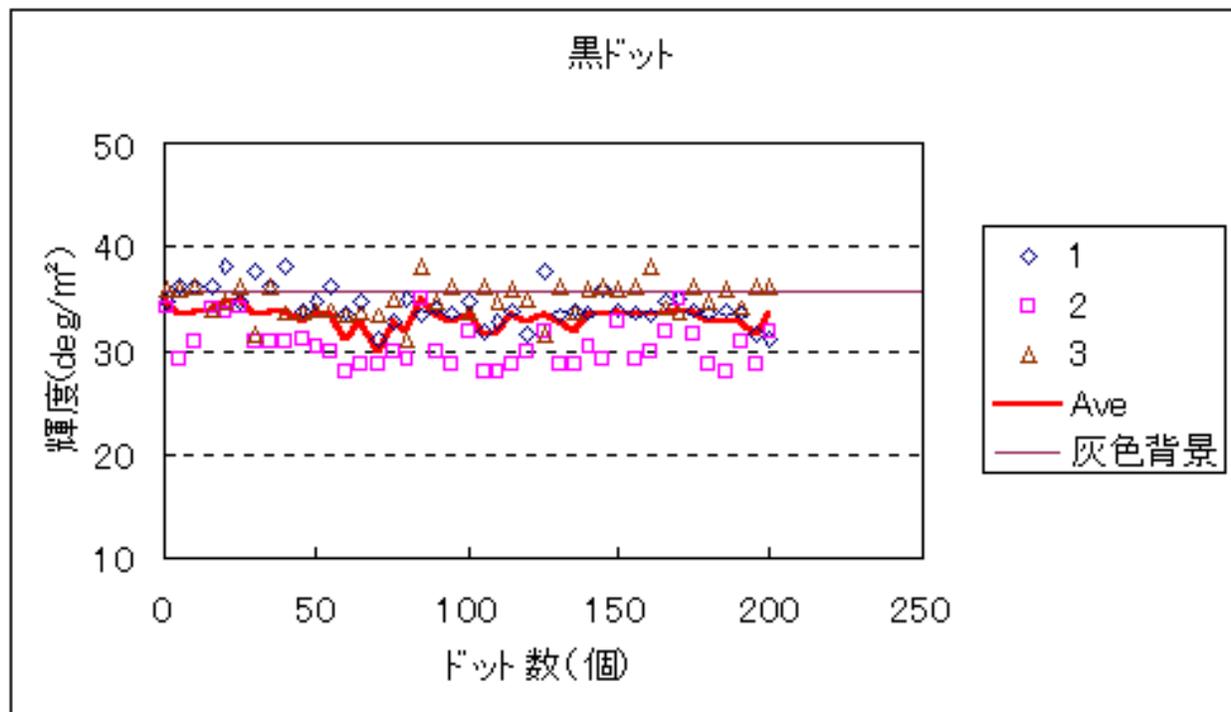


図 3.9 被験者 K.Y 実験の結果

## 3.4 被験者 3 人の平均値のデータ

ここで示す実験データは各個人のデータの平均値をとったものをプロットしたものである。そして、グラフ中の Avg はここで示す実験データの平均値をプロットしたものである。しかし、白ドットの刺激の場合のみ被験者 K.Y のデータを除いた平均値をプロットしたものである。

### 3.4.1 実験の結果

実験 では刺激の密度を一定にし、視覚を変化させた場合のテスト刺激の背景にマッチした輝度を調べた。グラフの縦軸は輝度、横軸には視覚の値を表している。黒ドットに関しては 3 人の被験者が同じような値の同化現象量であった。しかし、この結果からは黒ドットで同化現象が起きたとはいえないであろう。3 人の被験者が同じような同化現象量を感じたとしても、その同化現象量はデータではかなり微小であり、同化現象が起きたのかどうかは判断しにくい。しかし、白ドットの結果に関しては被験者 T.O と T.N において同化現象が起きているといえる。そして、視角が 14.1min. 付近になるまで同化現象量は増加していき、その後減少していつている。被験者 K.Y に関して言えば視角がおおきくなるにつれて見えの明るさは減少していつている。このことから、被験者 K.Y において白ドットの刺激のときには同化現象は起こらず、その変わりに対比現象が起きたといえる。

### 3.4.2 実験の結果

実験 では刺激の灰色背景における面積の割合を一定にし、視覚を変化させた場合のテスト刺激の背景にマッチした参照刺激の輝度を調べた。グラフの縦軸は輝度、横軸は視覚を表している。ドットの総面積は背景に対し約 8.3% である。この実験で視角が 0.94min. や 1.88min. のときはドットが非常に微小であり、灰色背景とドットの色が平均化して見えていられると思われるため、このときに見られる同化のような現象は同化現象ではないと思われる。実験結果としては視角が 7.50min. のときまでは輝度に変化が見られるため、同化現象が

引き起こされるが、それ以後は同化現象量は減少し、テスト刺激の背景の輝度とほぼ同等になる。ただ、被験者 K.Y は実験 と同じく白ドットの刺激の場合に同化現象ではなく、対比現象が見られた。

#### 3.4.3 実験 結果

実験 では刺激の視覚一定で、ドットの密度を変化させた場合のテスト刺激の背景にマッチした参照刺激の輝度を調べた。黒ドットの刺激の場合、どの被験者においてもドットの密度が高くなったとき、徐々に同化現象量は増加して輝度が低くなっているが、大きな変化は観察されない。また、白ドットの刺激の場合は黒ドットの刺激の場合に比べると同化現象量が増加する割合が密度が高くなるにつれて、大きくなっていることが観察された。しかし、ドットの個数がおおよそ 85 個を超えると増加の割合が小さくなった。被験者 K.Y はこの実験でも白ドットの刺激の場合に同化現象ではなく、対比現象が起きていることが観察された。

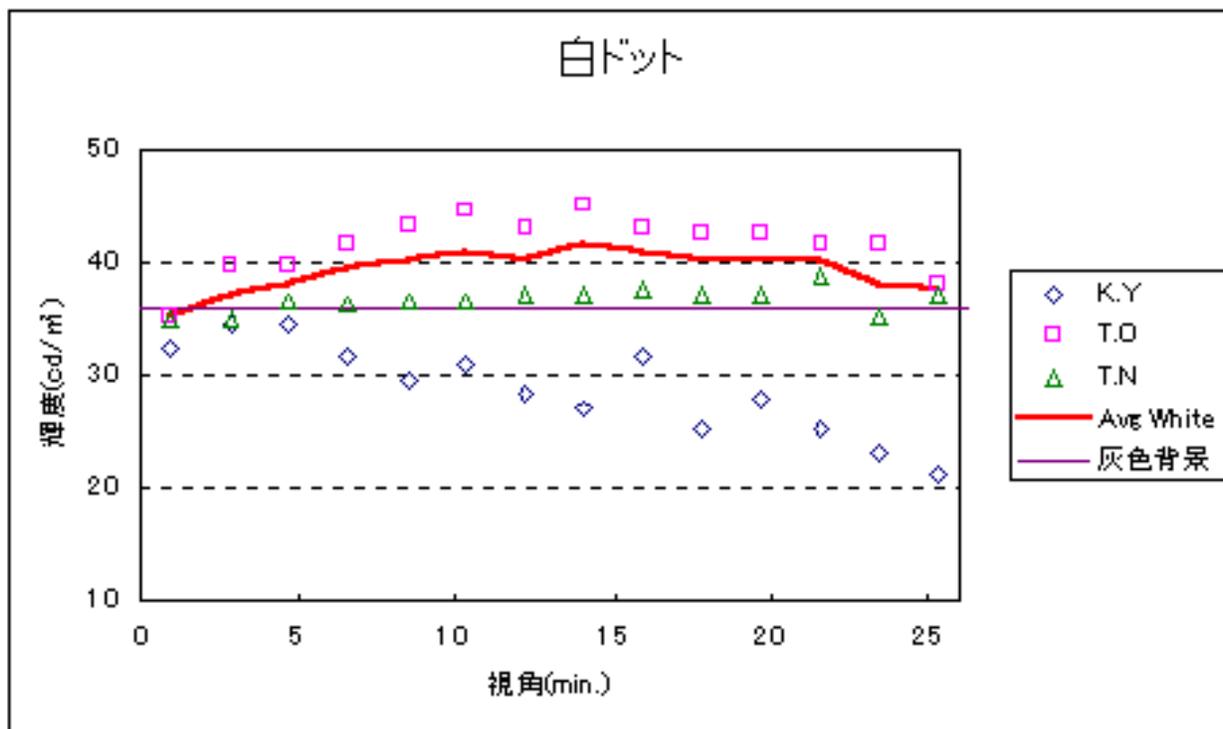
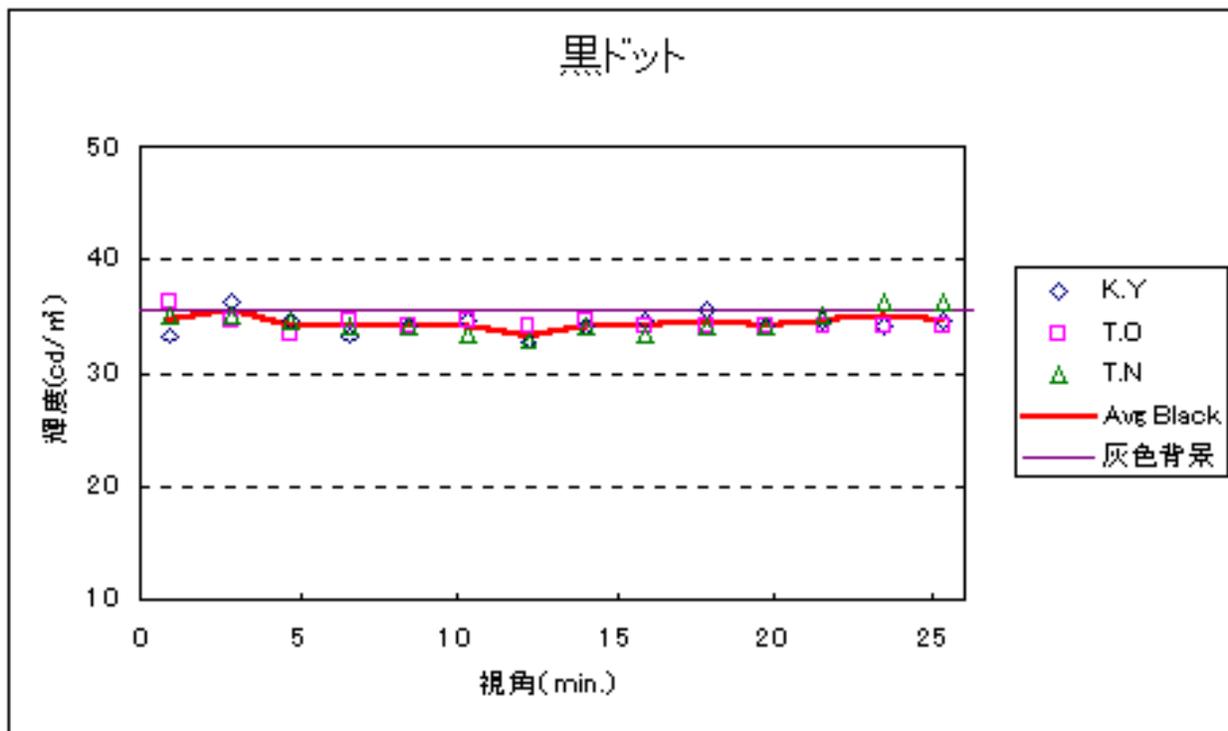


図 3.10 実験 の被験者 3 人の平均値をプロットしたグラフ

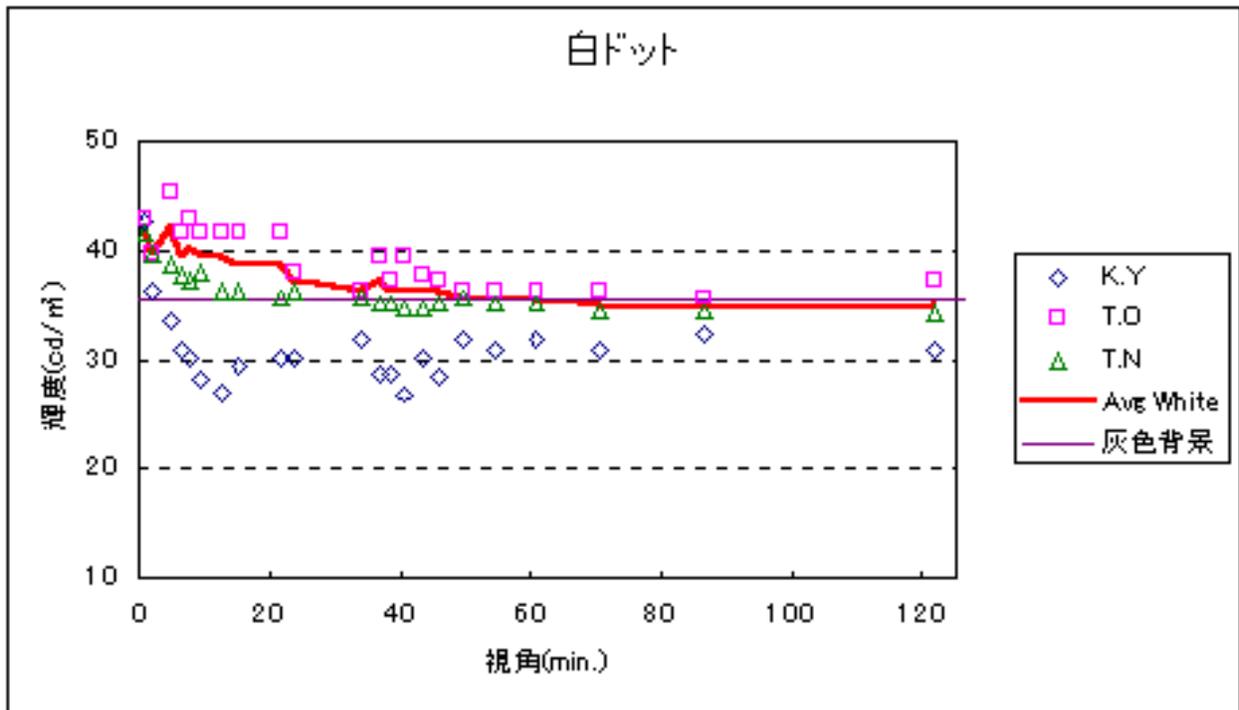
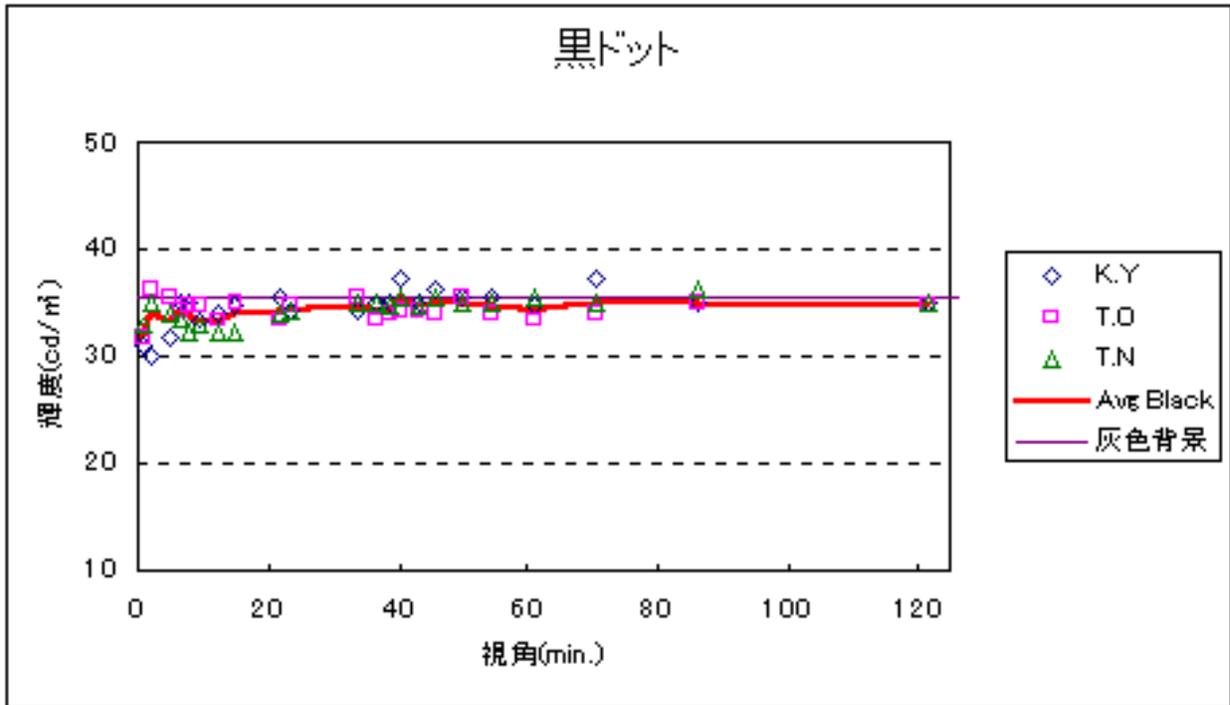


図 3.11 実験 の被験者 3 人の平均値をプロットしたグラフ

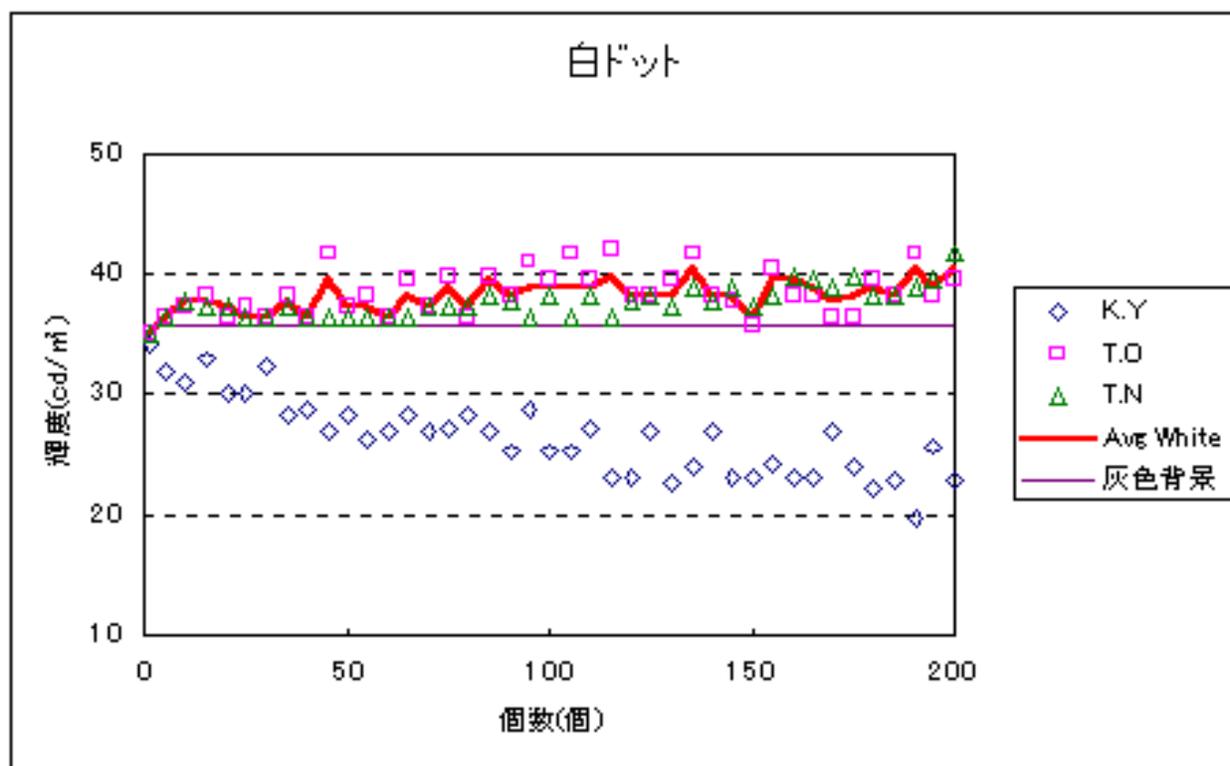
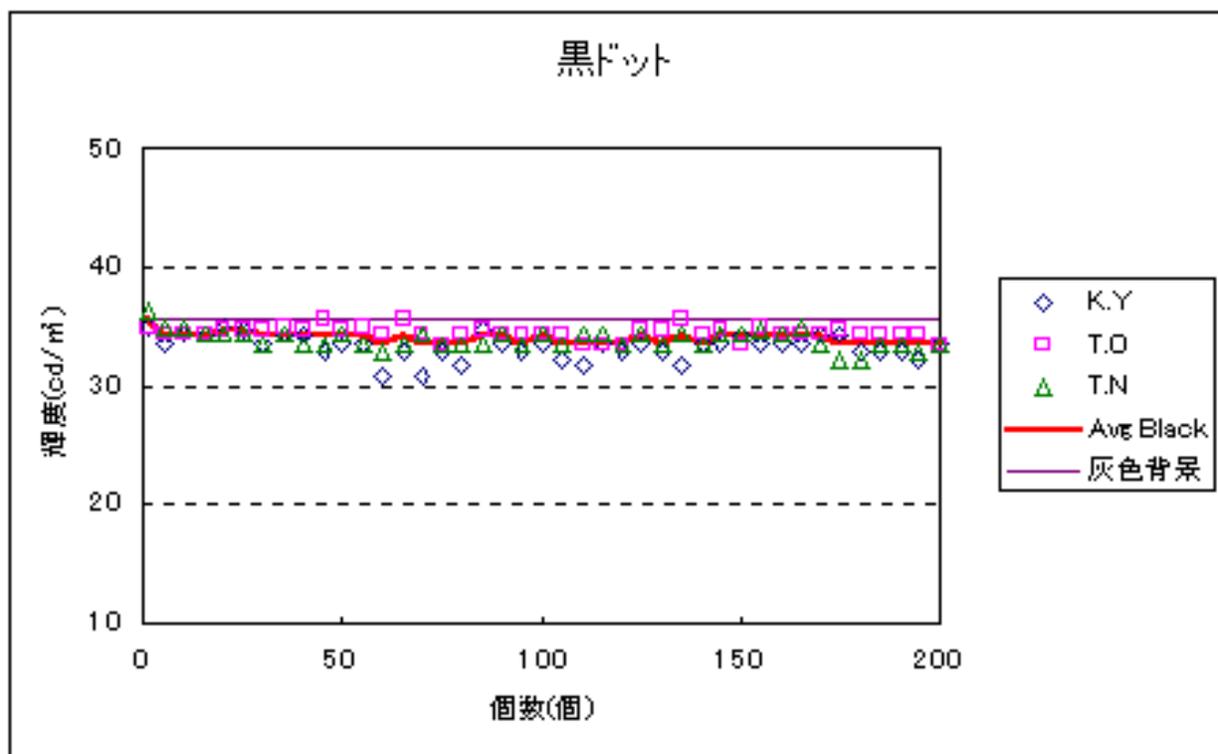


図 3.12 実験 の被験者 3 人の平均値をプロットしたグラフ

## 3.5 データから得た同化現象量

黒ドットの刺激の場合に起こった同化現象量と白ドットの刺激の場合に起こった同化現象量を足し合わせ、どれだけの同化現象が起きているかを調べた。縦軸上で上方向にデータがいくほど同化現象量が増加する。下方向はその逆である。縦軸の点 0 は同化も対比も起こっていない点である。

### 3.5.1 実験

ドットの個数を 100 個に固定し、ドットの視角を変化させる実験では黒ドットの刺激ではほとんど同化が起こらなかったが、白ドットの刺激の場合には被験者 T.O で同化が確認された。その同化量を足し合わせた結果、視角が 10.3min. もしくは 14.1min. のときに同化現象量が最も多かった。また、被験者 K.Y の同化現象量は 0 以下であり、これは対比減少量を示している。そして、視角が大きくなるにつれて対比の量が増加している。

### 3.5.2 実験

図 3.14 はドットの総面積を一定にし、視角を変化させる実験の同化現象量を測定したものである。被験者 T.O と T.N では視角が 40.3min. 付近まで同化現象が生じており、その後は徐々に同化現象量は減少して同化が起きなくなっている。また、被験者 K.Y はドットが極端に小さい場合のみ同化になっているが、ドットが自然視で確認できる大きさになると対比に移行している。対比の量はそのごほぼ一定である。

### 3.5.3 実験

ドットの視角を一定にし、灰色背景のなかでドットが占める密度を変化させる実験では同化現象量は被験者 T.O ではドットの個数が 120 個程度まで同化現象量は増加していき、その後減少し 180 個付近からまた増加をしている。被験者 T.N における同化現象量は 85 個付近まで増加していき、その後 150 個付近まで一定である。そして、その後また増加している。被

験者 K.Y における同化現象量はまったくなく、被験者 K.Y ではその代わりに対比減少量がドットの個数が増加するにつれて増えていっている。

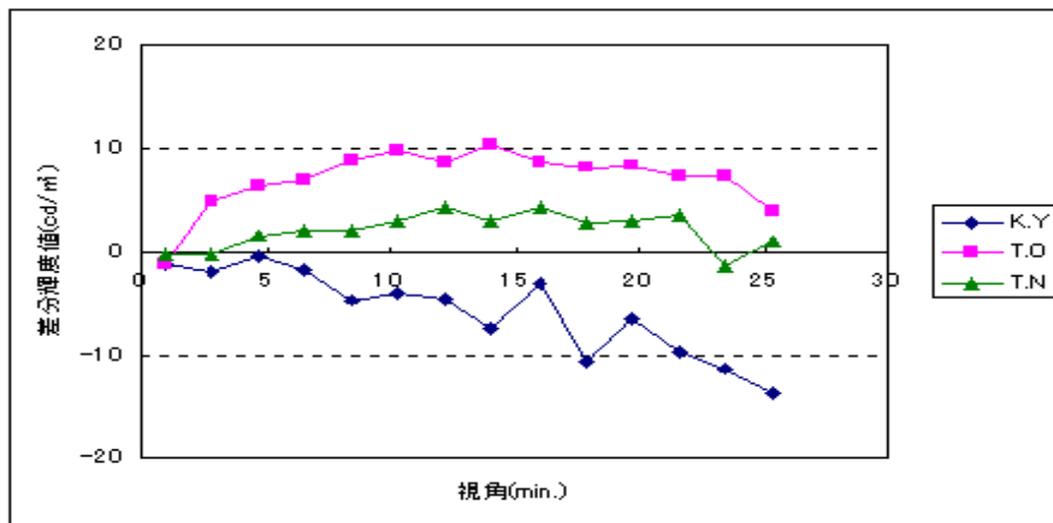


図 3.13 実験 における同化現象量

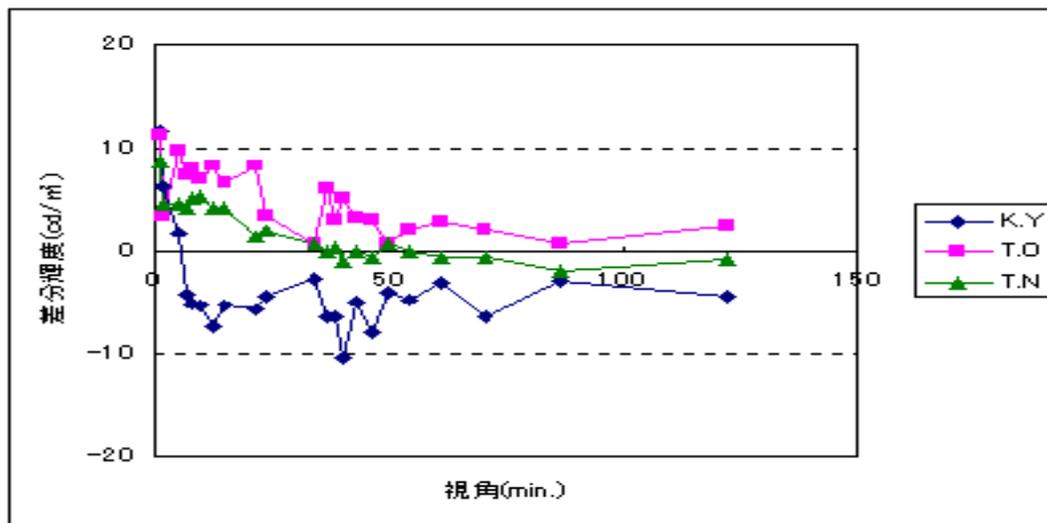


図 3.14 実験 における同化現象量

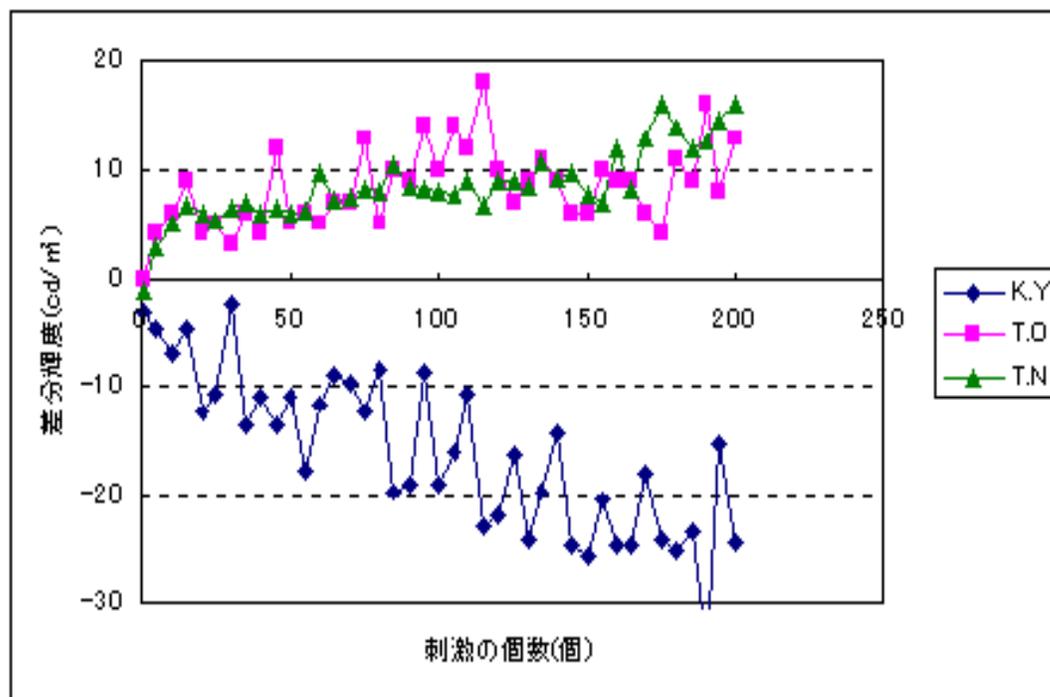


図 3.15 実験 における同化現象量

## 第 4 章

# Discussion (ディスカッション)

### 4.1 ドットサイズの影響

Mackay の図形においてドットサイズが同化現象量に影響するかどうかを実験 を行なうことで調べた。その結果として、ドットサイズが変化することによって生じた同化現象量は、図 3.13 より、視角が大きくなるにつれて増加し、視角 10.3min. もしくは 14.1min. でピーク値をとった。これは視角 10.3min. もしくは 14.1min. のドットが Mackay の図形において同化現象が最も生じやすいサイズであることを示している。そして、その後は視角が大きくなっても同化現象量は増加せず、徐々に減少していつている。つまり、同化現象量は最適なドットサイズを超えると減少し、同化が起こりにくい状態になると考えられる。

### 4.2 面積の影響

Mackay の図形においてドット的面積が同化現象量に影響を与えるかを実験 を行なって調べた。実験 の結果は図 3.14 より、視角が 33.8min. から 40.3min. 付近までは同化現象が起きており、その後は同化現象量は減少し同化は起きなくなった。その後、視角が大きくなっても対比へと移行することはなかった。つまり、Mackay の図形においてドットの灰色背景における面積よりも視角の効果のほうが強かったのである。よって、ドット的面積の影響は視角の影響に比べると小さいといえる。また、実験 と を関連させると、ドットの視角が最適なサイズを越して変化していつても対比へとは移行しなかったため、Mackay の図形では同化から対比へと移行する境目は発生しない可能性があるといえる。

### 4.3 密度の影響

同化現象量がドットの密度による影響を受けるのかを実験を行なって調べた。実験結果は図 3.15 より、密度が高くなると同化現象量は増加するが、ドットの個数が 25 個くらいまでは増加の割合が高く、その後は徐々に増えていくという傾向が観察された。また、ドットの個数が 100 個のときの同化現象量は実験の結果と異なっていない。実験では最適なドットのサイズが存在し、最適なドットサイズの際に同化現象量はピークになった。しかし、実験の結果からは最適なドットの密度は発見されなかった。これより、Mackay の図形ではドットの密度を高くすればするほど同化現象量も、少量ずつであるが、増加するといえる。これらより、同化現象量は密度の影響を受ける。

### 4.4 生じた問題

今回の実験では、白ドットの刺激において被験者 T.O と T.N については同化現象が観察されたが、被験者 K.Y については対比現象が観察された。なぜ、被験者 K.Y だけ白ドットの刺激において同化現象ではなく対比現象が起きたのか原因は不明である。被験者 K.Y は今実験で使用した Mackay の同化現象図形の白ドットの場合のみにおいて対比が起こった。もし、Mackay の同化現象図形において同化が起こりにくい被験者であり、対比が起こったと考えるならば、黒ドットの場合でも対比が起こるのではないだろうか。しかし、黒ドットの刺激では対比は起こっておらず、対比が起こるのは白ドットの刺激の場合に限っている。また、Helson の報告 [1] (10 人から 11 人) や Steger の報告 [4] (20 人) から線分の同化現象図形を用いて対比が起こった被験者は存在していない。

また今回の実験では、黒のドットに対する同化が起こりにくかった。すべての被験者に対して同化が起こらなかったということは実験方法、もしくは実験刺激に問題があったのかもしれない。このことについてはまた後に触れる。

#### 4.4.1 予想される原因

予想される原因としては、まず Helson の同化現象図形と Mackay の同化現象図形では同化が引き起こされるメカニズムが異なるのではないかとことがある。しかし、今実験では Helson の同化現象図形を用いて実験を行っていないためはっきりとしたことはいえない。もう一つの予想される原因として、実験中のテスト刺激に対比が起こるような影響が出ていた可能性がある。しかし、テスト刺激に何らかの影響があり対比が引き起こされたならば被験者 T.O や T.N においても対比が起こらなくてはならないが、今実験の結果から被験者 T.O や T.N に対比は起こっておらず、テスト刺激に何らかの影響が生じて対比が起こったとは考えにくい。しかし、テスト刺激に何らかの影響があった可能性は否定できない。これについては次に述べる。今回の実験で白ドットの刺激の場合に対比現象が起こった被験者が存在したことが観察された。このことに関しては今後さらに実験をする必要があると思われる。

#### 4.4.2 テスト刺激に対する影響

今実験を終えて同化現象が引き起こされない場合があった。黒ドットの刺激の場合、どの実験を通して同化現象が起こっているとはいえない。その原因としてテスト刺激に対するその周辺部分の輝度変化による影響があったのではないかと考える。参照刺激をテスト刺激の真下において変化させたことで、参照刺激からテスト刺激に何らかの影響を与えた可能性が考えられる。参照刺激が白から黒へと大きな輝度変化をするために起きる影響として考えられるのは、参照刺激とディスプレイの黒色背景との間の対比がある。参照刺激が明るいときに灰色背景との間に対比が起きたとすれば参照刺激はより明るく、ディスプレイの黒色背景はより暗く見えたと考えられる。テスト刺激とディスプレイの黒色背景との間に対比が生じたとすれば黒ドットの場合の同化現象量が減少したとしてもおかしくないのではないかと。しかし、詳しいことは今後調査しなければ、はっきりとどのような影響があるのかわかっていない。

また、ほかにもテスト刺激に対する影響として、テスト刺激を呈示しつづけていたために

同化現象量が減少した可能性も考えられる。テスト刺激を呈示しつづけることで被験者がテスト刺激に順応し、同化現象量が減少したかもしれない。このような予想から、テスト刺激が影響を受けないようにするために参照刺激の周りに何らかのテスト刺激に影響を与えないようななんらかの工夫をするべきであったと考えた。

#### 4.4.3 改善するためには

テスト刺激に対する影響をなくすためには、参照刺激の周りをチェッカーボードを囲むなどの工夫をすることで、それを回避できるのではないかと考える。また、今実験ではテスト刺激を呈示しつづけていたため、被験者に起こる同化量がテスト刺激に順応していくことで現象していった可能性が考えられた。そこでテスト刺激に順応しないようにするためには、テスト刺激を一定時間（例えば 1 ~ 2sec）呈示して被験者がテスト刺激に順応しないようにすると良いのではないかと考える。

## 第5章

# Conclusion (結論)

実験 1 の白ドットの刺激の平均データよりドットの大きさが 4.5mm 付近のとき (視角 14.1min.) 付近で同化現象はピークに達しており, 同化現象が起こるために最適なドットサイズが存在するといえる. Helson の報告 [1] (10 人から 11 人) や Steger の報告 [4] (20 人) では最適なサイズの線分幅よりも大きくなっていくと同化から対比へと移行していく境界が報告されている. しかし, 今実験ではドットが大きくなりすぎてドット同士が重なるドットサイズまでドットを大きくして実験をしたが, Helson の実験で得られたような同化から対比への移行は観察されなかった.

また, 実験 2 のデータからはドットの灰色背景に対する面積が一定の場合, 視覚がある程度小さい時に同化現象が起こり, 視覚が大きくなるに従って同化現象は観察されなくなっている. そのため, 同化現象が起こるためには刺激の面積よりも刺激の視覚の影響が大きいということがわかった.

実験 3 のデータからドットの数が多いほど同化現象は起こりやすいといえる. この結果から同化現象を引き起こす要因としてドットの灰色背景に対する密度の影響があると考えられる.

# 謝辞

まず、この研究を仕上げるにあたり、多くの助言をしていただいた篠森敬三助教授、そして篠森研究室のメンバーに深く感謝をいたします。また、今研究の実験を行なう際に被験者となってくれた T.O 氏、 K.Y 氏に心から感謝いたします。そして、実験結果についていろいろと問題点をご指摘いただきました日本視覚学会の会員の方々にお礼を申し上げます。

本研究は日本視覚学会 2001 年冬季大会において発表されました。

また、本研究は高知工科大学 情報システム工学科プロジェクト研究費（平成 12 ~ 13 年）の支援を受けました。

# 参考文献

- [1] *adaptation-Level Theory* Helson.H, New York, Harper and Row, pp.282-292, 1964
- [2] *Assimilation Asymmetry between Brightness and Darkness?*, Charles M.M de Weert, Lothar Spillmann, *Vision Res.* Vol.35, No.10, pp. 1413-1419, 1995
- [3] *Subjective Contours, Visual Acuity, and Line Contrast*, R.H.Day and M.K.Jory, *Visual Psychophysics and Physiology*, pp. 331-339, 1978
- [4] *The reversal of simultaneous contrast. Psychological*, Steger,J.A., *Bulletin*, 70, 774-781, 1968
- [5] 周辺白色光に誘導される黒みの測定, 篠森敬三, 中野靖久, 内川恵二, *光学*, 第 21 巻, 第 5 号, pp 303 - 310, 1992
- [6] 周辺単色光による空間的黒み誘導, 篠森敬三, 中野靖久, 内川恵二, *光学*, 第 21 巻, 第 2 号, pp102 - 112, 1992
- [7] *Spectral mechanisms of spatially-induced blackness:Data and quantitative model* Keizo Shinomori, Brooke E.Scheffrin and John S.Werner, *Journal of the Optical Society of America*, A 14, pp372-387, 1997
- [8] *Craik-O'Brien 錯視と Cornsweet 錯視*, 濱田 治良, 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック (大山 正ら編) 第 部, 視覚, 4 章, 明るさ知覚, 4-1-3,4-1-4 節 (東京・誠信書房, pp346-348, 1994

# 付録 A

## 測定データ

photoshop上でのRGB値\回数	1	2	3	Avg		1	2	3	Avg
105	17.79	18.48	17.96	18.07667	146	34.42	34.43	33.89	34.24667
106	17.95	18.7	18.35	18.33333	147	34.1	34.96	34.08	34.38
107	18.72	18.89	18.1	18.57	148	34.76	34.49	35.08	34.77667
108	18.9	18.99	19.81	19.23333	149	35.41	35	34.92	35.11
109	19.19	19.56	20	19.58333	150	35.5	35.4	36.27	35.72333
110	19.95	20.14	19.78	19.95667	151	36.03	37	35.93	36.32
111	20.79	20.47	21.1	20.78667	152	36.47	36.56	36.18	36.40333
112	20.79	21.24	20.43	20.82	153	37.29	36.84	37.62	37.25
113	20.26	20.78	20.31	20.45	154	36.72	38.17	38.13	37.67333
114	21.02	21.2	20.96	21.06	155	38.68	37.47	38.24	38.13
115	21.1	21.53	21.51	21.38	156	38.94	38.5	38.88	38.77333
116	21.94	21.09	21.78	21.60333	157	39.14	39.18	40.09	39.47
117	21.41	21.74	21.57	21.57333	158	39.34	39.88	39.89	39.70333
118	21.45	22.24	22.55	22.08	159	40.99	39.7	40.19	40.29333
119	22.43	22.49	22.57	22.49667	160	40.92	40.81	41	40.91
120	22.6	22.4	23.07	22.69	161	41.54	41.94	41.61	41.69667
121	23.15	22.73	23.2	23.02667	162	41.61	41.91	41.34	41.62
122	23.83	23.77	23.79	23.79667	163	42.39	42.28	41.48	42.05
123	23.38	24.19	24.39	23.98667	164	42.97	42.4	42.42	42.59667
124	24.22	23.96	24.12	24.1	165	42.83	42.7	43.27	42.93333
125	24.86	24.93	25.27	25.02	166	43.59	42.68	43.35	43.20667
126	24.85	25.41	25.23	25.16333	167	43.94	43.11	44.02	43.69
127	26.05	25.68	25.22	25.65	168	43.86	45.12	45.16	44.71333
128	26.32	26.31	25.95	26.19333	169	45.43	45.11	45.04	45.19333
129	26.46	27.51	26.95	26.97333	170	45.28	45.36	45.84	45.49333
130	26.95	26.58	27.09	26.87333	171	45.85	46.36	45.63	45.94667
131	27.25	27.28	27.22	27.25	172	46.38	45.96	45.85	46.06333
132	27.49	27.97	28.12	27.86	173	47.2	47.21	47.3	47.23667
133	28.26	28.36	27.96	28.19333	174	47.76	48.3	48.14	48.06667
134	28.18	28.18	28.69	28.35	175	47.84	47.85	47.95	47.88
135	28.84	28.32	28.74	28.63333	176	48.1	49.94	49.29	49.11
136	29.31	29.88	29.18	29.45667	177	49.79	49.6	48.75	49.38
137	29.91	29.84	30.3	30.01667	178	49.56	49.56	49.39	49.50333
138	29.67	29.9	30.74	30.10333	179	49.67	49.61	49.75	49.67667
139	31.5	31.17	30	30.89	180	51.06	50.73	51.35	51.04667
140	30.53	30.86	30.98	30.79	181	53.15	50.71	51.4	51.75333
141	31.23	32.09	31.81	31.71	182	52.48	53.08	53.67	53.07667
142	33.04	32.08	31.54	32.22	183	53.77	53.48	52.69	53.31333
143	32.87	32.9	32.79	32.85333	184	54.75	53.85	54.45	54.35
144	33.17	33.61	33.52	33.43333	185	54.6	54.71	55.52	54.94333
145	33.44	33.2	33.63	33.42333	181	53.15	50.71	51.4	51.75333
146	34.42	34.43	33.89	34.24667	182	52.48	53.08	53.67	53.07667
147	34.1	34.96	34.08	34.38	183	53.77	53.48	52.69	53.31333
148	34.76	34.49	35.08	34.77667	184	54.75	53.85	54.45	54.35
149	35.41	35	34.92	35.11	185	54.6	54.71	55.52	54.94333

図 A.1 参照刺激の測光値

100 of pixels B Assimilation				100 of pixels W Assimilation				
VA(min.)	1	2	3 average	1	2	3 average		
0.9375	38.88	33.89	36.27	36.34667	35.08	36.27	34.92	35.42333
2.6125	33.52	35.08	37.62	35.40667	40.09	38.24	41.48	39.93667
4.6875	31.54	35.08	31.54	32.72	41.34	38.13	40.09	39.85333
6.5625	36.27	34.92	33.52	34.90333	43.35	42.42	40.09	41.95333
8.4375	34.08	34.08	33.52	33.89333	51.35	40.09	41	44.14667
10.3125	31.81	36.18	36.27	34.75333	49.29	41	45.04	45.11
12.1875	32.79	35.93	32.79	33.83667	47.95	41.34	40.19	43.16
14.0625	34.08	36.27	34.08	34.81	45.63	45.84	44.02	45.16333
15.9375	31.81	34.92	35.08	33.93667	49.75	38.88	41	43.21
17.8125	33.63	34.92	35.08	34.54333	51.35	41.61	35.93	42.96333
19.6875	33.89	34.92	33.52	34.11	49.39	40.19	38.88	42.82
21.5625	31.81	37.62	35.08	34.83667	53.67	35.08	38.88	42.54333
23.4375	34.92	33.89	33.63	34.14667	40.19	41.34	41.34	40.95667
25.3125	34.92	32.79	33.89	33.86667	38.13	35.93	40.19	38.06333

AreaAssimilation 3.9mm(13 pixels) of Black				AreaAssimilation 3.9mm(13 pixels) of White				
VA(min.)	1	2	3 average	1	2	3 average		
0.94	32.79	33.63	28.74	31.81	45.84	43.27	41	43.27
1.88	40.09	36.27	33.63	36.27	40.09	41.48	37.62	40.09
4.69	36.27	37.62	34.08	36.27	45.16	48.14	45.16	45.84
6.56	38.88	33.89	30	34.08	37.62	45.63	40.19	41.61
7.5	40.19	30	33.89	35.08	45.04	45.16	40.09	42.42
9.38	37.62	30.98	36.18	35.08	40.19	43.35	40.19	41.61
12.2	30	34.08	33.89	33.52	41.61	43.35	41	41.34
15	40.09	34.08	32.79	34.92	41.61	44.02	38.13	41
21.6	34.08	33.63	31.54	33.52	41.61	41.34	42.42	41.34
23.4	36.27	35.08	33.89	35.08	35.93	41	38.24	38.24
33.8	41.61	31.81	34.08	34.92	33.63	41	36.18	36.18
36.6	32.79	33.52	33.89	33.52	36.27	41.48	40.19	40.09
38.4	32.79	35.08	33.89	33.63	38.24	38.24	34.92	37.62
40.3	35.93	33.63	33.52	33.89	39.89	39.89	38.24	40.09
43.1	33.63	34.08	34.92	34.08	34.92	41.61	37.62	38.13
45.9	33.63	34.08	33.63	33.63	30.74	41.48	40.09	36.18
49.7	38.88	34.08	34.08	36.27	31.81	41.61	36.18	35.93
54.4	35.08	33.63	33.63	33.89	34.92	36.18	36.18	35.93
60.9	31.81	32.79	34.08	32.79	33.52	38.88	37.62	35.93
70.3	36.27	33.52	33.63	33.89	35.93	38.24	36.27	36.18
86.2	35.93	33.89	34.92	35.08	34.92	38.88	33.63	36.27
121.8	38.13	33.89	33.63	35.08	36.27	38.24	38.24	37.62

DensityAssimilation 3.9mm(13 pixels) of Black				DensityAssimilation 3.9mm(13 pixels) of White				
ビット数	1	2	3 average	1	2	3 average		
1	34.92	36.18	33.89	34.92	34.92	36.18	34.08	34.92
5	33.89	36.18	32.79	34.08	36.27	38.88	35.08	35.93
10	35.93	33.89	33.52	34.08	36.27	38.88	38.13	37.62
15	32.79	33.89	34.92	33.89	40.09	40.09	36.18	38.24
20	33.89	35.08	36.27	35.08	38.13	37.62	35.08	35.93
25	35.08	34.08	36.27	35.08	40.09	37.62	34.92	37.62
30	36.27	34.08	33.89	34.08	38.13	39.89	31.54	35.93
35	34.08	36.27	36.27	34.92	41.48	39.89	33.52	38.24
40	35.08	33.89	34.92	34.08	41.61	34.92	33.63	35.93
45	35.08	38.13	34.92	36.27	43.27	43.27	38.24	41.61
50	33.89	34.08	36.18	35.08	44.02	34.08	33.63	37.62
55	37.62	34.08	34.08	34.92	41	40.09	34.92	38.24
60	33.89	35.08	34.08	34.08	41.34	34.08	34.08	36.18
65	38.13	33.89	36.27	36.27	43.27	38.88	35.93	40.09
70	33.63	36.27	33.52	33.89	41.48	36.27	33.63	36.18
75	34.08	34.08	30.98	33.52	41	42.42	35.93	39.89
80	33.89	36.27	33.89	34.08	40.19	36.27	35.08	36.18
85	34.08	34.92	34.08	34.08	39.89	42.42	35.93	40.09
90	35.93	30.98	34.08	33.89	43.27	38.88	33.63	38.24
95	34.08	32.79	34.92	33.89	41	43.35	38.24	41
100	31.54	35.93	35.08	34.08	41.61	43.27	33.89	40.09
105	36.27	32.79	35.08	34.08	41.34	41.34	39.89	41
110	33.52	34.08	33.52	33.63	41.34	40.09	35.93	38.88
115	30.74	35.08	36.27	33.63	47.3	41.34	38.24	41.48
120	31.54	33.63	34.92	33.63	41.34	39.89	33.89	38.24
125	35.93	35.08	33.89	35.08	40.19	40.19	35.08	38.24
130	35.93	33.89	33.89	34.08	41.61	36.18	40.09	38.88
135	35.93	33.52	38.24	36.27	41.61	43.35	40.09	41.61
140	35.08	35.08	31.54	33.89	41.34	40.19	33.63	38.24
145	33.89	36.27	34.92	35.08	42.42	34.92	34.92	38.13
150	31.54	33.52	33.89	33.52	40.19	36.27	31.81	36.27
155	37.62	33.89	35.08	34.92	41.61	41.34	38.24	40.19
160	36.27	33.63	32.79	33.89	41.34	40.09	33.63	38.13
165	35.08	34.08	33.52	33.89	41.61	40.19	33.89	38.24
170	33.52	35.08	33.89	33.89	40.19	38.88	31.54	36.18
175	32.79	35.08	36.18	34.08	38.13	41	32.79	36.18
180	35.08	35.08	32.79	33.89	38.13	45.84	34.08	40.09
185	35.08	31.54	34.08	33.63	38.88	41.61	34.08	38.13
190	33.63	33.63	34.08	33.63	44.02	45.04	36.27	41.34
195	32.79	34.08	36.27	33.89	40.09	39.89	36.27	38.24
200	33.63	32.79	33.63	33.52	40.19	41.61	36.18	40.09

図 A.2 被験者 T.O の測定値

100 of Black Assimilation							100 of White Assimilation						
VA(min.)	1	2	3	4	5	average	1	2	3	4	5	average	
0.9375	33.63	35.08	33.63	36.18	38.13	35.33	38.13	34.92	33.63	36.27	34.92	35.574	
2.8125	31.54	35.93	35.93	34.92	37.62	35.188	35.08	34.92	34.08	33.63	33.89	34.32	
4.6875	30.74	36.27	33.89	40.09	35.08	35.214	41.61	35.93	35.93	35.08	34.08	36.526	
6.5625	33.52	33.63	33.89	34.08	33.89	33.802	36.27	35.08	38.24	35.93	36.18	36.34	
8.4375	33.52	33.63	34.08	33.63	36.27	34.226	40.19	36.27	37.62	36.18	36.27	37.306	
10.3125	30.3	34.08	35.08	32.79	33.63	33.176	36.18	35.08	38.13	36.27	36.18	36.368	
12.1875	27.96	30.98	34.92	34.08	33.89	32.366	40.09	38.88	36.18	37.62	37.62	38.078	
14.0625	31.81	33.63	32.79	36.18	34.08	33.698	36.18	36.27	38.88	34.92	36.27	36.504	
15.9375	33.63	30.98	33.63	33.89	32.79	32.984	38.24	37.62	41	39.89	34.92	38.334	
17.8125	36.27	33.89	32.79	36.18	31.54	34.134	38.13	34.08	37.62	38.24	34.92	36.598	
19.6875	33.52	34.92	33.63	36.27	32.79	34.226	36.18	38.88	36.27	41	38.88	38.242	
21.5625	36.18	34.08	31.54	36.18	38.13	35.222	40.19	37.62	40.19	35.93	38.13	38.412	
23.4375	40.09	33.89	38.13	36.27	38.13	37.302	45.84	30.98	34.08	37.62	32.79	36.262	
25.3125	36.27	35.93	35.08	40.09	34.08	36.29	41	34.92	35.93	33.89	37.62	36.672	

AreaAssimilation 3.9mm(13 pixels) of Black							AreaAssimilation 3.9mm(13 pixels) of White						
VA(min.)	1	2	3	4	5	average	1	2	3	4	5	average	
0.94	34.08	33.89	33.52	30	30	32.298	41.34	44.02	41	38.88	44.02	41.852	
1.88	34.08	35.08	35.93	36.18	34.08	35.07	38.24	35.93	38.13	43.27	42.42	39.598	
4.69	34.08	35.08	36.27	33.63	30	33.812	38.88	38.24	41	37.62	39.89	39.126	
6.56	33.89	34.08	33.89	33.52	32.79	33.634	30.98	39.89	38.88	41	38.13	37.776	
7.5	33.52	33.89	31.54	30	30	31.79	35.08	38.13	36.18	40.09	37.62	37.42	
9.38	33.89	31.54	30.98	35.08	30.98	32.494	35.08	36.18	43.35	41	35.93	38.308	
12.2	34.08	33.89	31.81	30	30	31.956	31.54	34.08	40.19	37.62	40.19	36.724	
15	33.63	33.63	31.54	31.81	30	32.122	35.08	34.92	38.88	34.92	38.24	36.408	
21.6	35.08	35.08	33.89	33.89	32.79	34.146	36.27	35.93	34.08	36.18	34.92	35.476	
23.4	32.79	35.93	35.08	34.92	33.89	34.522	35.93	36.18	36.27	38.24	36.18	36.56	
33.8	36.18	35.08	34.92	36.27	35.08	35.506	36.18	34.92	35.08	35.93	35.08	35.438	
36.6	35.93	33.89	34.92	37.62	33.89	35.25	35.08	34.08	34.92	38.13	34.08	35.258	
38.4	36.27	34.92	33.63	34.92	34.08	34.764	34.92	36.18	36.27	34.92	34.08	35.274	
40.3	38.24	34.92	36.18	34.08	33.63	35.41	34.08	35.08	35.93	34.92	33.63	34.728	
43.1	35.08	34.92	36.27	34.08	34.08	34.886	35.08	36.27	36.27	33.52	33.89	35.006	
45.9	36.27	35.93	36.27	35.08	34.92	35.694	35.08	34.92	36.18	34.92	34.08	35.036	
49.7	34.92	34.92	35.93	36.27	34.08	35.224	35.93	34.92	37.62	33.63	35.93	35.606	
54.4	36.27	35.93	35.08	34.08	35.08	35.288	34.92	34.08	34.92	35.08	36.18	35.036	
60.9	35.08	35.93	34.08	37.62	34.92	35.526	34.08	36.18	37.62	33.89	35.08	35.37	
70.3	36.27	36.27	34.08	35.08	35.08	35.356	34.92	33.89	33.89	35.08	33.89	34.334	
86.2	35.93	35.93	34.92	36.18	35.93	35.778	36.18	33.89	34.08	33.89	32.79	34.166	
121.8	33.89	34.92	35.93	34.92	36.27	35.186	36.27	32.79	33.63	32.79	34.92	34.08	

DensityAssimilation 3.9mm(13 pixels) of Black							DensityAssimilation 3.9mm(13 pixels) of White						
ドット数	1	2	3	4	5	average	1	2	3	4	5	average	
1	34.92	37.62	37.62	36.27	36.18	36.522	36.27	34.92	35.08	36.18	36.27	35.744	
5	34.08	33.89	35.08	36.18	36.18	35.082	36.18	37.62	34.08	38.13	37.62	36.726	
10	34.08	33.63	34.92	36.18	35.93	34.948	38.24	40.09	36.18	37.62	37.62	37.95	
15	31.54	31.81	34.92	36.18	37.62	34.414	37.62	40.09	36.18	38.24	36.18	37.662	
20	33.63	33.63	33.89	35.93	34.92	34.4	37.62	40.09	35.08	38.88	35.93	37.52	
25	31.54	35.08	34.08	32.79	35.08	33.714	35.93	37.62	34.08	38.13	35.93	36.338	
30	33.52	32.79	34.92	33.63	33.89	33.75	35.08	38.24	34.08	38.13	37.62	36.63	
35	33.89	34.92	34.92	31.54	33.89	33.832	36.18	38.13	36.18	36.18	38.24	36.982	
40	33.89	33.89	33.89	32.79	33.89	33.67	35.08	34.92	36.18	37.62	37.62	36.284	
45	31.54	33.63	34.08	33.89	34.08	33.444	35.08	35.08	36.18	37.62	38.88	36.568	
50	33.63	34.08	33.89	33.52	35.08	34.04	34.92	38.13	35.08	38.13	38.24	36.9	
55	31.81	33.63	35.08	33.63	35.08	33.846	34.92	33.89	38.13	40.09	36.27	36.66	
60	31.81	30.74	33.52	34.08	33.89	32.808	36.27	36.18	38.24	38.24	35.93	36.972	
65	33.63	31.54	34.08	32.79	34.08	33.224	35.93	35.93	35.93	40.09	35.93	36.762	
70	33.63	33.89	36.27	33.63	33.89	34.262	34.08	38.24	37.62	40.09	38.88	37.782	
75	31.81	33.63	35.08	33.63	33.63	33.556	38.13	35.93	35.93	38.88	38.13	37.4	
80	31.81	31.81	35.08	34.08	33.89	33.334	38.13	38.13	36.27	38.24	36.18	37.39	
85	30.98	31.81	35.08	34.08	35.08	33.406	40.19	35.93	38.24	38.24	40.09	38.538	
90	33.89	33.89	33.52	33.63	35.08	34.002	40.19	38.88	36.18	38.24	35.93	37.884	
95	32.79	33.89	32.79	33.52	33.89	33.376	35.08	36.18	38.88	37.62	36.18	36.788	
100	34.08	36.18	33.89	34.08	33.52	34.35	36.18	38.13	38.13	38.88	40.19	38.302	
105	32.79	32.79	31.81	35.08	33.52	33.198	36.27	35.08	36.18	37.62	38.88	36.806	
110	33.89	32.79	33.89	34.08	34.92	33.914	36.18	39.89	36.27	41	38.24	38.316	
115	33.63	33.63	33.63	35.08	33.63	33.92	36.18	38.24	37.62	36.18	36.18	36.88	
120	31.81	33.52	34.08	34.08	33.89	33.476	37.62	38.13	38.13	38.88	37.62	38.076	
125	32.79	32.79	33.89	34.92	34.08	33.694	38.24	38.24	36.18	40.09	38.88	38.326	
130	33.63	30	34.92	33.89	33.89	33.266	36.27	38.24	37.62	38.13	38.88	37.828	
135	34.08	33.89	33.52	33.89	33.89	33.854	36.18	37.62	41.48	40.19	38.88	38.87	
140	32.79	31.81	34.08	33.63	34.08	33.278	36.27	36.27	41.48	38.24	37.62	37.976	
145	33.63	34.08	35.08	33.89	34.92	34.32	36.18	37.62	41.34	42.42	37.62	39.036	
150	34.08	34.08	32.79	35.08	34.08	34.022	35.08	38.24	41	38.24	35.93	37.698	
155	33.63	33.89	33.89	37.62	35.08	34.822	38.13	34.92	41.34	38.13	38.88	38.28	
160	33.89	32.79	35.08	33.63	33.89	33.856	38.13	36.18	42.42	39.89	41.34	39.592	
165	38.88	34.92	33.89	32.79	36.27	35.35	40.09	38.13	40.19	40.19	40.09	39.738	
170	31.54	31.54	31.81	33.89	34.08	32.572	38.88	36.18	41.34	38.24	40.19	38.966	
175	30	31.81	31.54	33.63	33.63	32.122	37.62	40.19	41	38.88	41.48	39.834	
180	30	33.52	30.98	33.63	31.81	31.988	36.18	38.88	40.09	38.88	39.89	38.784	
185	31.81	33.52	33.52	32.79	33.89	33.106	35.93	38.13	38.13	39.89	41.34	38.684	
190	30.98	33.89	32.79	33.63	33.63	32.984	38.24	39.89	38.13	40.09	40.19	39.308	
195	30.3	32.79	33.89	33.63	32.79	32.68	40.09	39.89	40.09	38.88	41	39.99	
200	33.89	30	34.08	32.79	35.08	33.168	45.16	40.19	37.62	41.61	43.27	41.572	

図 A.3 被験者 T.N の測定値

100 of pixels B Assimilation					100 of pixels W Assimilation			
VA(min.)	1	2	3	average	1	2	3	average
0.9375	32.79	31.81	35.93	33.63	29.18	35.08	31.54	31.54
2.6125	38.88	35.93	35.08	35.93	35.93	34.92	31.54	34.08
4.6875	33.89	37.62	33.63	35.08	31.81	37.62	33.89	33.89
6.5625	30.98	38.24	31.81	33.63	31.81	28.69	34.92	31.81
8.4375	31.54	34.92	33.89	33.63	28.12	30	30.74	29.18
10.3125	33.89	38.13	33.63	35.08	34.92	25.95	30	30.74
12.1875	31.54	34.08	30.98	32.79	31.54	28.74	24.12	27.96
14.0625	35.08	36.27	31.81	33.89	30	25.95	23.79	26.95
15.9375	33.89	36.27	34.08	34.08	30.98	30.98	33.52	31.81
17.8125	35.08	37.62	35.08	34.92	30	25.95	20.43	25.23
19.6875	34.92	36.27	32.79	34.08	33.63	25.23	24.12	27.22
21.5625	33.89	34.92	34.92	35.08	25.22	23.79	25.23	25.27
23.4375	31.81	36.18	34.08	33.89	25.95	20.96	23.07	23.07
25.3125	33.63	36.18	35.08	35.08	23.07	21.78	18.1	20.96

AreaAssimilation 13 pixels Black					AreaAssimilation 13 pixels White			
VA(min.)	1	2	3	average	1	2	3	average
0.94	30.98	30.74	30.98	30	44.02	41.34	41.48	42.42
1.88	27.96	33.63	29.18	30.74	34.08	38.88	36.27	35.93
4.69	31.81	30	32.79	31.81	30.74	33.89	36.18	33.63
6.56	30	38.88	37.62	34.92	30	27.96	33.89	30
7.5	34.08	37.62	33.89	35.08	32.79	33.52	24.12	30.3
9.38	30.98	36.27	33.89	33.63	31.81	30.98	21.57	28.12
12.2	33.52	34.92	33.89	33.89	24.12	29.18	25.95	26.95
15	33.89	38.13	33.52	35.08	33.52	28.12	27.22	28.74
21.6	38.13	36.27	34.08	36.27	26.95	34.08	29.18	30.3
23.4	34.08	34.08	34.08	34.08	28.12	31.54	30.74	30.3
33.8	33.52	36.18	33.63	34.08	31.81	30	31.54	30.98
36.6	32.79	37.62	35.93	34.92	29.18	28.74	28.74	28.74
38.4	34.08	38.24	33.63	34.92	33.52	25.22	28.69	28.74
40.3	35.93	37.62	38.13	36.18	23.79	33.52	24.39	26.95
43.1	34.08	37.62	33.89	35.08	30.3	30	30.74	30.74
45.9	36.27	36.27	37.62	35.93	25.95	30.74	28.74	27.96
49.7	36.27	35.93	35.08	34.92	30.98	30.98	32.79	31.81
54.4	31.54	38.88	36.18	36.27	30.98	28.69	33.52	30
60.9	34.08	36.27	35.08	35.08	30.74	33.89	30.98	31.81
70.3	33.89	43.27	35.08	37.62	33.89	28.74	30	30.98
86.2	31.54	40.09	35.08	34.92	30.98	33.63	31.81	31.54
121.8	33.52	38.13	35.08	35.08	27.96	31.54	33.52	30

DensityAssimilation 3.9mm(13 pixels) of Black					DensityAssimilation 3.9mm(13 pixels) of White			
ドット数	1	2	3	average	1	2	3	average
1	34.92	34.08	35.93	34.92	36.27	33.52	33.63	33.89
5	36.27	29.18	35.93	33.63	28.74	33.89	31.81	30.98
10	36.27	30.74	36.27	33.89	31.54	29.18	30.98	30
15	36.27	34.08	33.89	34.08	33.89	33.52	30.98	32.79
20	38.13	33.63	34.92	34.92	28.74	28.74	31.81	30.3
25	34.92	34.08	36.27	35.08	31.81	30.3	29.18	30.74
30	37.62	30.74	31.54	33.52	31.54	30	33.52	31.81
35	36.18	30.74	36.27	33.89	30.98	25.22	27.96	27.96
40	38.24	30.74	33.63	33.89	28.69	28.69	29.18	28.69
45	33.89	30.98	33.63	32.79	23.2	28.12	29.18	26.95
50	34.92	30.3	33.89	33.52	30.74	25.95	28.69	27.96
55	36.18	30	33.89	33.63	25.22	24.39	28.74	25.95
60	33.63	27.96	33.52	30.98	24.12	25.22	30.3	26.95
65	34.92	28.74	33.63	32.79	32.79	24.12	28.69	27.96
70	30.98	28.74	33.52	30	27.96	23.79	28.69	26.95
75	32.79	30	35.08	32.79	25.22	28.12	28.74	27.22
80	35.08	29.18	30.98	31.81	30.98	22.57	31.81	27.96
85	33.52	35.08	38.13	35.08	23.79	26.95	28.74	25.95
90	34.08	30	34.92	33.63	22.55	25.22	27.96	25.23
95	33.63	28.69	36.18	32.79	30	27.22	28.69	28.69
100	34.92	31.81	33.63	33.63	23.07	26.95	27.09	25.23
105	31.81	27.96	36.18	31.54	23.07	25.22	27.09	25.27
110	32.79	27.96	34.92	31.81	30.74	25.22	25.95	27.22
115	33.89	28.74	35.93	33.52	21.1	25.95	24.12	23.2
120	31.54	30	35.08	32.79	21.78	25.22	23.2	23.2
125	37.62	31.81	31.54	33.63	30.98	22.57	26.95	26.95
130	33.52	28.74	36.27	32.79	19.78	23.07	25.95	22.57
135	33.89	28.69	33.63	31.81	19.78	24.12	28.12	23.79
140	33.63	30.3	35.93	33.52	26.95	24.12	30.74	27.09
145	35.93	29.18	36.27	33.63	21.1	25.95	24.39	23.07
150	33.89	32.79	35.93	33.89	19.78	24.12	26.95	23.2
155	33.63	29.18	36.18	33.52	28.12	23.07	23.2	24.12
160	33.52	30	38.13	33.63	22.57	20.96	27.22	23.2
165	34.92	31.81	34.08	33.63	21.51	22.55	26.95	23.07
170	35.08	35.08	33.63	34.08	28.12	23.79	28.69	26.95
175	33.89	31.54	36.27	33.89	23.07	24.39	23.79	23.2
180	33.63	28.74	34.92	32.79	19.81	23.79	25.27	22.55
185	33.89	27.96	35.93	32.79	23.07	20.31	25.95	23.07
190	33.63	30.74	34.08	32.79	#N/A	21.78	19.81	19.81
195	31.54	28.74	36.27	31.54	22.57	24.39	28.12	25.22
200	30.98	31.81	36.18	33.52	22.55	21.57	25.27	23.07

図 A.4 被験者 K.Y の測定値