

盲点における知覚的充填現象の研究

電気通信大学情報システム学研究科

情報ネットワーク学専攻

学籍番号:0051025

藤原 護

指導教官

阪口 豊

出澤 正徳

神原 武志

提出年月日：平成 14 年 2 月 8 日

目次

1.序論-----	3
2.盲点と順応作用-----	5
2. 1.盲点-----	6
2. 1. 1.解剖学的見地からの盲点-----	6
2. 1. 2.盲点での充填作用-----	9
2. 2.運動残効・速度残効-----	12
2. 2. 1.運動残効-----	12
2. 2. 2.速度残効-----	14
2. 3.輝度によるフィリングイン-----	15
3.盲点周辺での運動知覚-----	17
3. 1.実験1:提示時間を制限した場合-----	18
3. 1. 1.実験の概要-----	18
3. 1. 2.実験環境-----	21
3. 1. 3.刺激の位置と大きさ-----	21
3. 1. 4.刺激条件-----	26
3. 1. 4. 1 基本刺激-----	27
3. 1. 4. 2 背景の輝度-----	28
3. 1. 4. 3 面積比-----	28
3. 1. 5.実験結果-----	29

3. 2.実験2:提示時間を制限しなかった場合-----	33
3. 2. 1.実験の概要-----	34
3. 2. 2.実験環境-----	35
3. 2. 3.刺激の位置と大きさ-----	36
3. 2. 4.刺激条件-----	39
3. 2. 4. 1 基本刺激-----	39
3. 2. 4. 2 刺激のコントラスト-----	40
3. 2. 5.実験結果-----	41
4.考察-----	43
4. 1.実験1における考察-----	43
4. 1. 1.実験結果について-----	43
4. 1. 2.実験方法について-----	45
4. 2.実験2における考察-----	46
4. 2. 1.実験結果について-----	46
4. 2. 2.実験方法について-----	47
4. 3.実験1と実験2の結果に対する考察-----	48
4. 4.議論-----	50
5.結論-----	52

1. 序論

盲点には解剖学的な理由から光受容体が存在しない。そのため視入力に欠如しているのだが、知覚的にはその欠如は意識されないという興味深い性質を持つ。盲点での知覚は対側眼からの視入力によっても補完されるが、単眼視でもその存在が知覚されることは少ない。これは盲点の周辺から情報が盲点内部に充填されるためと考えられているが、入力があってこそ知覚が得られるという常識からすると、情報入力がないのに知覚が得られるという事実は奇妙なことに思える。厳密には盲点は周辺からの情報伝播によって充填されているため完全に入力から孤立しているわけではないが、常に他の受容野から情報を受け入れている[1]存在というのはかなり特殊だと言えよう。本研究は視入力がないため皮質上の処理を純粹に取り出せる”窓”として盲点を利用することにより、視覚処理の過程を断面的に調べることができるのではないかと考え、これを研究の主体テーマとした。

盲点を研究するにあたり、周辺受容野からの部分的な情報から盲点内の情報が決定され、その充填内容が即座に知覚できるという事実に着目し、盲点相当視野に様々な刺激を提示して知覚を調べることから着手した。その過程において、運動成分をもった刺激が観察時間の経過と共に、著しく速度が低下したように知覚するという現象に遭遇した。このような速度の低下は普通の視野でも速度残効と

して知覚されるが、盲点での低下は普通の視野よりも強く感じられた。そこで、実際に通常の視野と盲点では、運動刺激の速度知覚における順応に差が存在しうるかを確かめる実験を行った。実験では盲点と通常視野で同じ速度を持つ運動刺激を提示し、知覚される速度を測定した。その結果、提示時間が短い場合、盲点の方が遅く感じられることが示唆され、提示時間が長い場合、両者には差が生じないことがわかった。これらの事実を踏まえ、本稿では盲点と通常視野での運動知覚、順応について議論した。

2. 盲点と順応作用

人間の知覚は同じ刺激を受け続けると、その刺激特性に対して閾値が上昇することがある。これは細胞が連続発火して疲労を起し、出力が低下したために起きる現象である。このような現象は「順応」と呼ばれ、日常でも比較的良好に観察される現象である。代表的なものは運動知覚における「運動残効・速度残効」であり、「滝の錯視」として知られている。

順応はその性質上連続的な入力が必要である。網膜からの直接入力の存在しない盲点では一見順応と無縁のように思えるが、周辺からの情報伝播がある限り盲点内でも順応は起きている。そこで以下の章では代表的な3つの順応作用を取り上げ、その内容、性質を簡略に説明する。

そして、これら3つの順応が関わっているかもしれない3章の運動刺激と盲点の充填作用を絡めた実験を紹介する。

2. 1. 盲点

本研究の中心をなすキーワード、「盲点」について以下の二つの方向から探る。

2. 1. 1. 解剖学的見地からの盲点

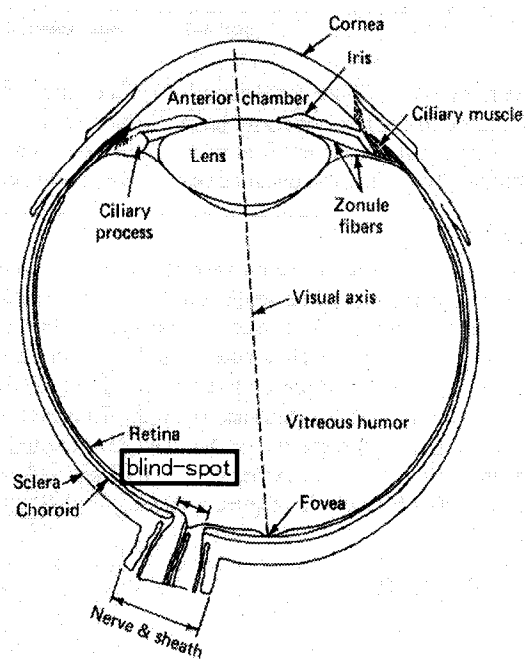


Fig.1 眼球の構造 [2]

網膜に投影された光は杆体・錐体などの光受容体によって電気信号となって脳へと向かう。杆体・錐体から伸びる神経節は眼球の内側から外側に向かうので網膜の一部が隠蔽される。その部分では光受容体が存在しないのでそこだけ視覚入力に欠けている。この場所を盲点と呼ぶ。杆体・錐体の密度は中心窩から離れると低下する(Fig.2)が、それとは別に盲点では杆体・錐体が存在しないことがFig.2から見て取れる。

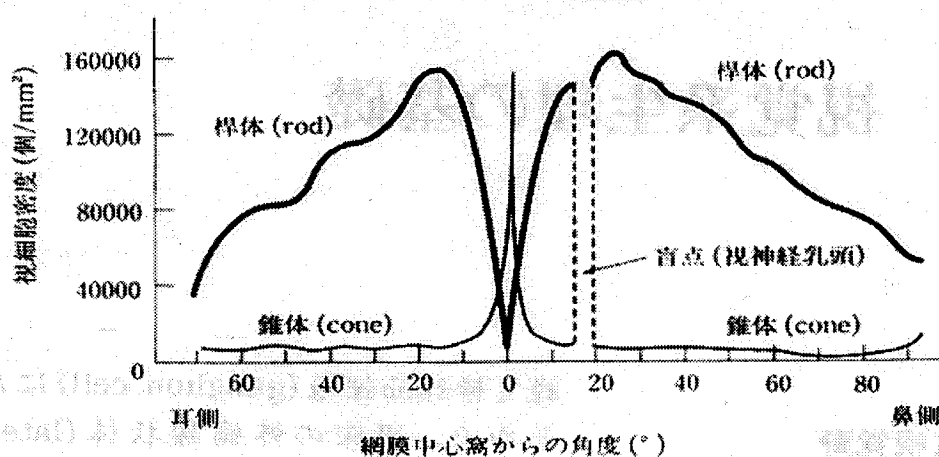


Fig.2 杆体と錐体の分布 [2]

盲点は中心窩から $16\sim 17^\circ$ の位置に存在する[3]。盲点自体は鼻側に存在するので、知覚的には反転して耳側に位置する。盲点内の視知覚は対側眼の視覚情報と盲点周囲から視入力によって充填されている。そのような理由から、盲点の存在は知覚しにくい。単眼で物

を見ると、盲点周辺からの視覚情報は細胞間の接続によって盲点内部へと伝達される。このような情報の伝達はFig.3のような図で説明される。

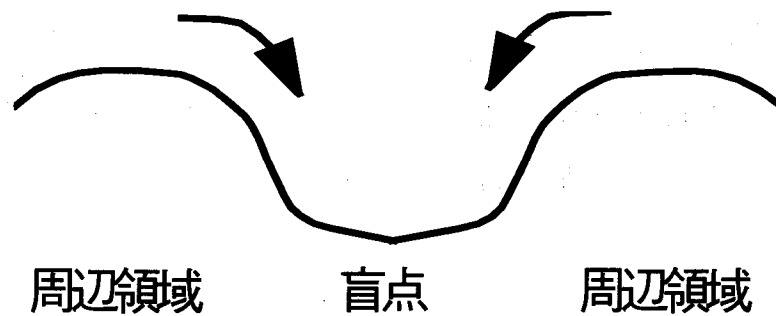


Fig.3 盲点内への情報伝達の様子

Fig.3の波は受容野の活動度をあらわしている。入力を受ける盲点周辺は細部の活動度が高く、盲点は入力が存在しないので、活動度が低い。Fig.3は活動度の高い盲点周辺から活動度の低い盲点内部へ情報(興奮)が伝播していく様子を模したもので、必ずしもこれと同じことが脳内で起きているわけではない。(実際にはアカゲザルでLGNと視皮質の間を情報が複数回フィードバックすることにより、盲点内に伝播することが確認されている[4]。)

2. 1. 2. 盲点での充填作用

盲点での充填作用の例として次の図を挙げる(Fig.4(a),(b),(c))[5]。

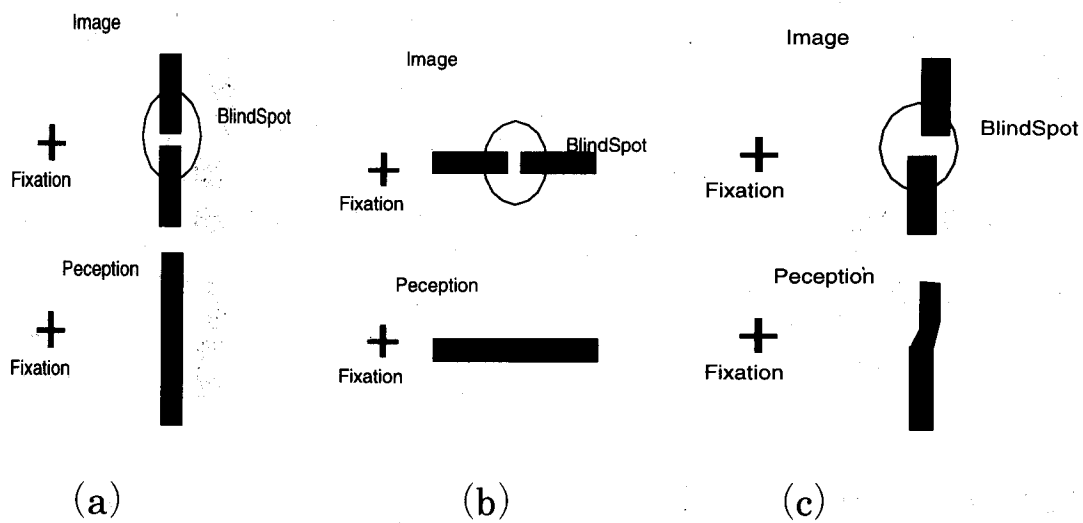


Fig.4 盲点に提示した刺激とその知覚例

盲点周辺に水平方向または垂直方向の矩形が連続して並べ右目で単眼視のまま注視点を固視すると盲点内では二つの矩形が連結したように知覚される(Fig.4(a),(b),(c))。

また、Fig.5のようにテクスチャも充填される。

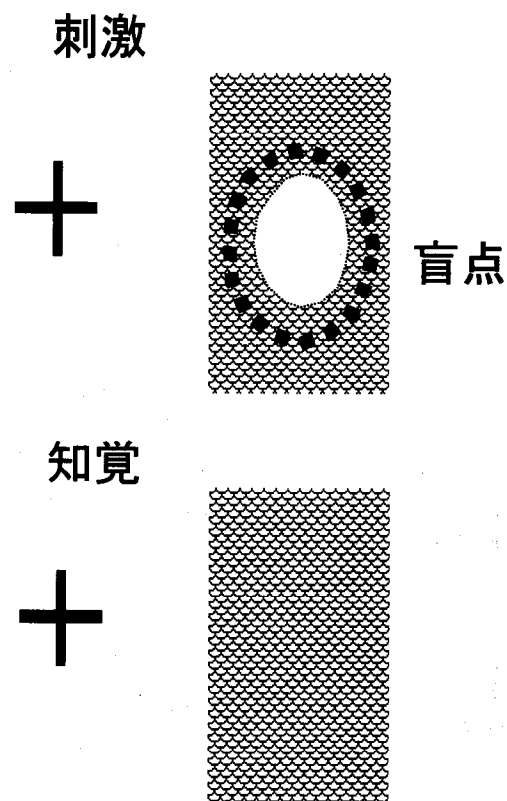


Fig.5 テクスチャの充填

このように盲点では周辺に提示された刺激の情報が内部に充填される。これを盲点のフィリングインと呼ぶ。この充填はFig.4, Fig.5のように垂直または水平方向、若しくは周囲全体に同じ特徴をもつ刺激が提示されたときに起こりやすい。しかし、必ずしも完全に特徴が一致する必要はなく、Fig.6のような場合でも接続性は保たれる[6]。

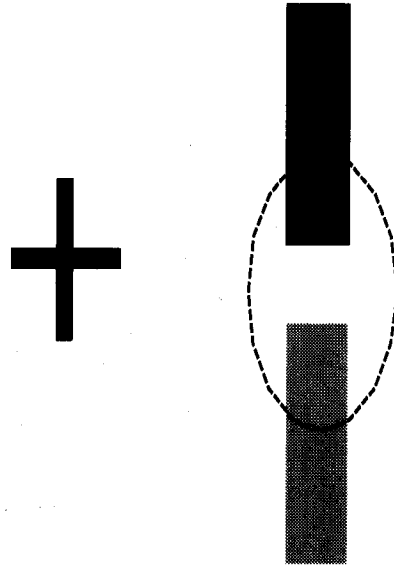


Fig.6 刺激の輝度の充填

これらの例から盲点周辺では複数の特徴量(エッジ、明るさ、テクスチャ、傾きなど)が伝播することがわかる。

2. 2. 運動残効・速度残効

ある一定期間同じ刺激を観察し続けると、その刺激に対する感受性が低下する。このような効果を「順応」と呼ぶのだが、運動成分を含む刺激でもこの現象は起き、次に紹介するような現象が観察できる。

2. 2. 1. 運動残効

一方向の運動をしばらく見た後、静止像を観察すると、先の運動と逆の方向に動いて見える。これを運動残効(motion aftereffect, MAE)と呼ぶ(Fig.7)。

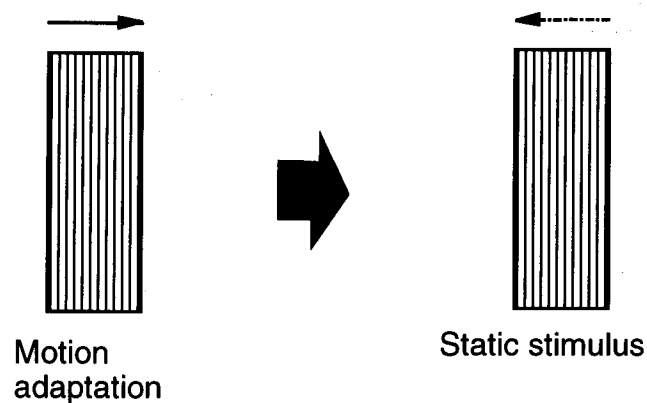


Fig.7 運動残効における順応刺激と比較刺激

MAEは空間周波数選択性を持ち、順応刺激と比較刺激の空間周波数成分が一致したとき、その効果は最大となる[7]。運動残効の強度は運動速度よりも時間周波数(1秒間に繰り返されるパターン数)に依存し、5~10 Hzで最大となる。また、50%の両眼転移率を持つので、片方だけに順応刺激をみせた場合でも対側眼で運動残効が観察される。

運動残効の原因は運動検出器の疲労による出力低下や検出器間での抑制性結合が原因とされている。これとは別にdynamicMAEなど、運動エネルギーの変化を伴わない運動によって起きる順応もある。

2. 2. 2.速度残効

速度残効(velocity aftereffect)とは、運動刺激を観察し続けると、やがて運動速度が遅く感じられるようになる(Fig.8)現象である。

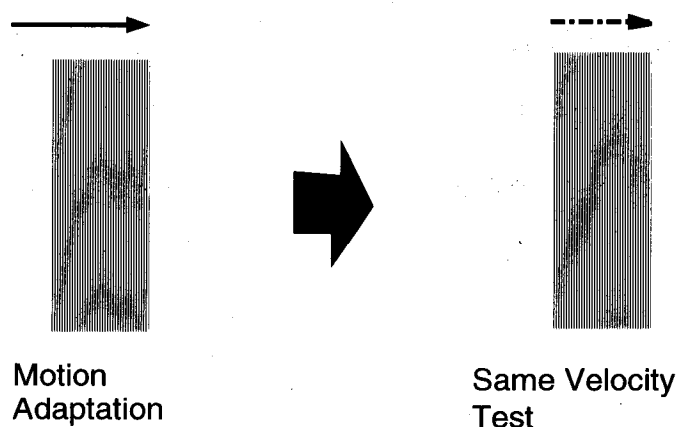


Fig.8 速度残効における順応刺激と比較刺激

速度残効は比較刺激が反対方向に運動していてもその効果は観察できる[8]。これは速度が少ない時間周波数応答チャンネルの出力比で計算されているため、正確な速度方向弁別を持たないことを意味する[8]。

実際、方向性を持たないフリッカー刺激でも速度残効は発生する。

2. 3.輝度によるフィリングイン

輝度によるフィリングインはまたの名をTroxler効果とも呼ばれ、特に周辺視でよく観察される。これは、一定の大きさの静刺激を観察し続けると、やがて刺激が背景に呑み込まれるようにして消失または知覚しにくくなる現象である(Fig.9)。これも細胞が一定の入力を受け続けることにより疲労する順応の一種である。

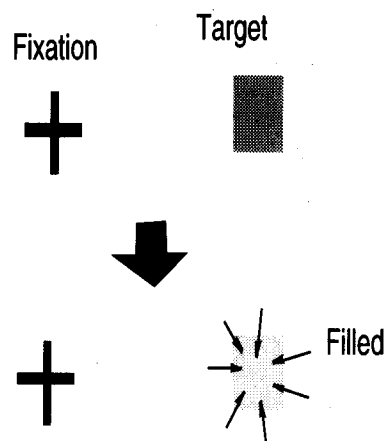


Fig.9 フィリングイン

フィリングインは周辺視に起きやすい現象で、発生過程は次のように説明されている[9]。

通常周辺視野では輝度差を感知する視覚系の神経細胞の受容野が大きいので、固視微動にも関わらずほぼ定常入力となる。神経細胞が疲労し、出力が下がると、ただちに境界両側の情報をコードする神経細胞の出力が境界を越えて拡散することにより、情報の混合が進む。そうすると、微少な固視微動によって疲労した輝度差検出細胞が再度、信号を放っても混合はもとに戻らない。このような経過が繰り返され、境界部の知覚までも消失した状態をフィリングインと呼ぶ。

3. 盲点周辺での運動知覚

3章でこれから説明する実験の目的は、以下に述べる発見が土台となる。

盲点の充填作用をさまざまな刺激を用いて調べる予備実験において次のような特異な知覚が得られた。盲点周辺に水平方向に運動する刺激を提示すると、提示初期は通常の視野に提示したのと変わらない充填像が知覚されたが、数秒後、運動速度が著しく低下するよう感じられた。先に述べたように、通常の視野において、速度残効は観察されるが、ここで観察された減速の度合いは、通常視野での度合いに比べて著しく大きかった。そこでこの盲点における知覚速度の低下は盲点特有の現象か否かを調べるために、通常視野と盲点の知覚速度を比較する実験を思い立った。また提示場所ごとに速度知覚に影響力を持つ刺激因子を探し出せば、この現象の原因となる刺激条件が特定できると考え、刺激条件も比較事項として設定した。刺激には単一空間周波数で構成された正弦波状縞を使用した。

3. 1. 実験1:提示時間を制限した場合

この実験の目的は二つである。一つは知覚速度が盲点と普通の視野では異なるのかどうかを検証することである。二つ目は、それら知覚速度にどのような刺激条件が影響を与えるかを調べることである。運動刺激を静刺激の集合として考えた場合、静刺激に起こる順応も知覚速度に影響することが予想される。この実験で使用している刺激は輝度差によって運動を発生させているので、もしも静刺激順応が関わっているとすれば、輝度によるフィリングインが有力と思われた。そこで、輝度によるフィリングインにおいて重要な刺激因子である「背景の輝度」と「刺激の面積」という二つの変数を実験の比較刺激条件として選んだ。

3. 1. 1. 実験の概要

実験は次のようにして行われる。被験者はスクリーン上の盲点投影位置が変化しないよう終始画面中央の注視点を固視する。11秒の空白画面の後、順応刺激が対象となる部位に提示される。この順応刺激は4秒間提示された後、隣接部位(同じ場所だと順応効果を受けてしまう)に比較刺激が1秒間提示される(Fig.10)。

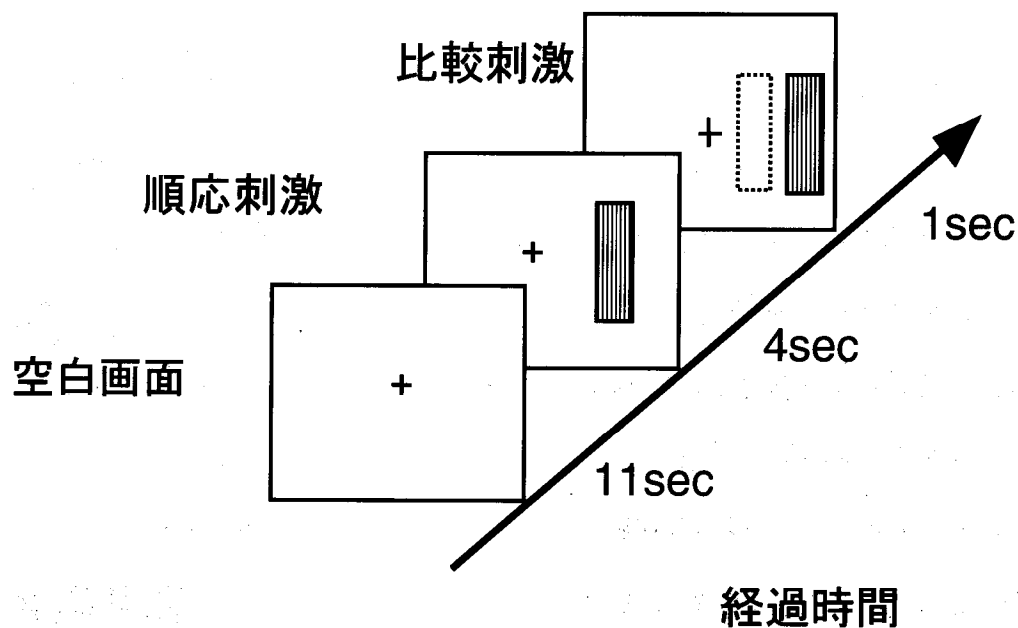


Fig.10 実験の流れ

比較刺激の提示時間を1秒間に制限しているのは、順応刺激よりも低い順応強度を保ち、できる得る限り比較刺激の知覚速度を実際
の速度と一致させるためである。被験者は順応刺激と比較刺激の知覚
速度を比較し、その判断をボタンによって応答する。プログラムは
応答の結果から、比較刺激の実際の速度を変更する。変更は次回の
試行から反映される。変更の方式は以下の形式に従う。

被験者が比較刺激の方を速く感じた場合、比較刺激は前回より低
い速度に設定される。一方、被験者が順応刺激の方を速く感じた場
合、比較刺激は前回より高い速度に設定される。この速度の高低の
差分は、被験者の応答が連続している場合は変わらず、被験者の応
答が前回と異なる場合のみ1/2となる。

つまり、このプログラムは2分法によって比較刺激を順応刺激に漸近させている(Fig.11)。

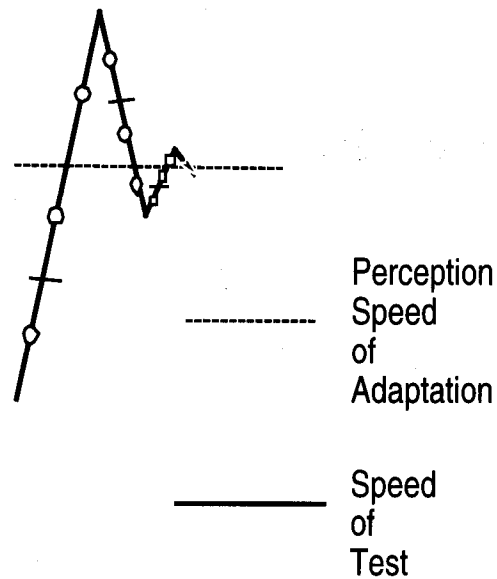


Fig.11 順応刺激の知覚速度と比較刺激の実際の速度

最終的に、速度差分が順応刺激の5%(通常、人間が弁別できる速度差、速度弁別閾[8])になるまで試行は繰り返される。5%以下に収束した時点で比較刺激の実際の速度を順応刺激の知覚速度として記録する。測定は5回行われ、その中間値が実験条件ごとの代表値となる。

3. 1. 2. 実験環境

以下の実験は次のような環境で行った。モニタとしてSONY社製のGDM-F500を刺激提示に用い、制御用コンピュータはDell社製のOptiPlexG1を使用した。刺激発生ソフトおよびグラフィックボードはCAMBRIDGE RESEARCH SYSTEMS のVSG Software Library 6.00, VSG2/5 Visual Stimulus Generatorを使用した。被験者とモニタの距離(視距離)は500 mmに固定した。

3. 1. 3. 刺激の位置と大きさ

●刺激の大きさ

刺激の大きさは次のように設定する。幅が3.5 degの矩形を盲点の上下に配置し、充填作用によって単一の縦長の矩形が知覚されるようにする(Fig.12)。

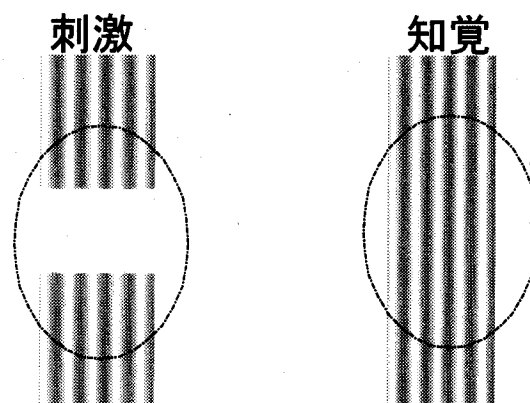


Fig.12 実際の刺激像と知覚像

網膜で実際に受容している刺激像は盲点からはみ出した部分のみなので、充填像と誘導刺激はFig.13のような関係になる。

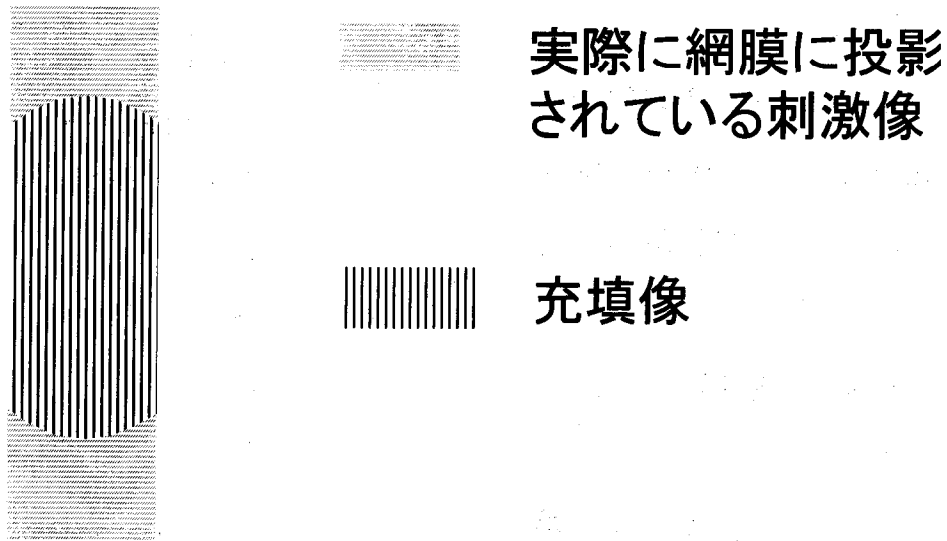


Fig.13 誘導刺激と充填像の位置関係

この実験では、網膜に受容される投影像と充填像の面積比を基準に誘導刺激の大きさを表現する(例:面積比 0.6または0.3は、Fig.14のようになる)。刺激の大きさの基準に充填像と刺激の面積比を用いるのには次のような理由がある。盲点は個人ごとに位置はもちろん、大きさも異なっている。そのため大きさが統一された刺激を使用した場合、盲点面積が大きい被験者では充填像がうまく形成されない場合がある。そこで被験者ごとに盲点の面積を計測し、それに応じた刺激を用意した。

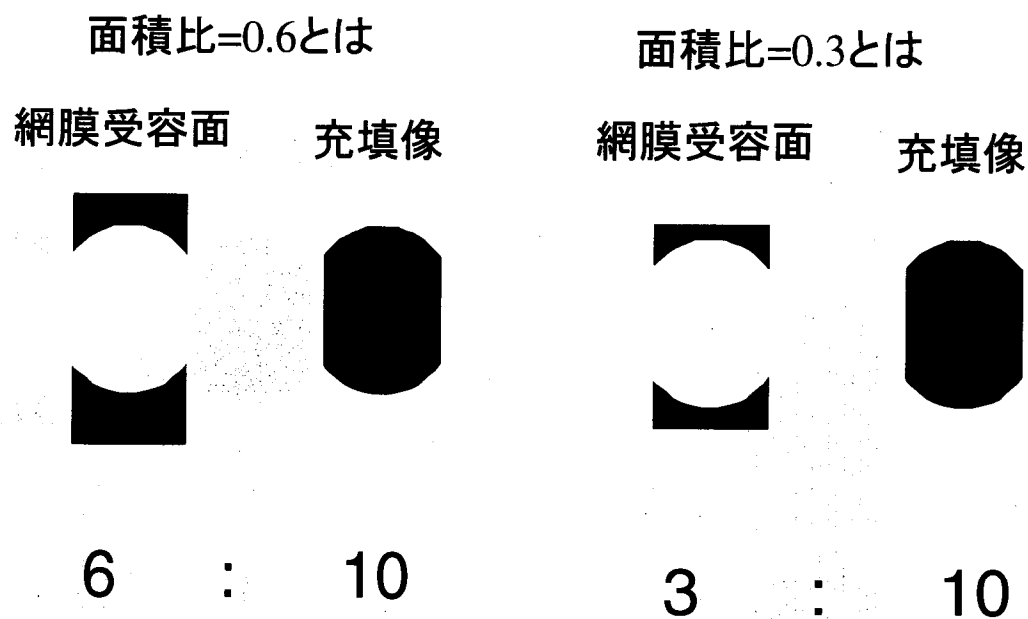


Fig.14 誘導刺激と充填像の面積比の例

●位置

盲点に刺激を提示する場合、順応刺激と比較刺激は次のように配置する。(Fig.15)

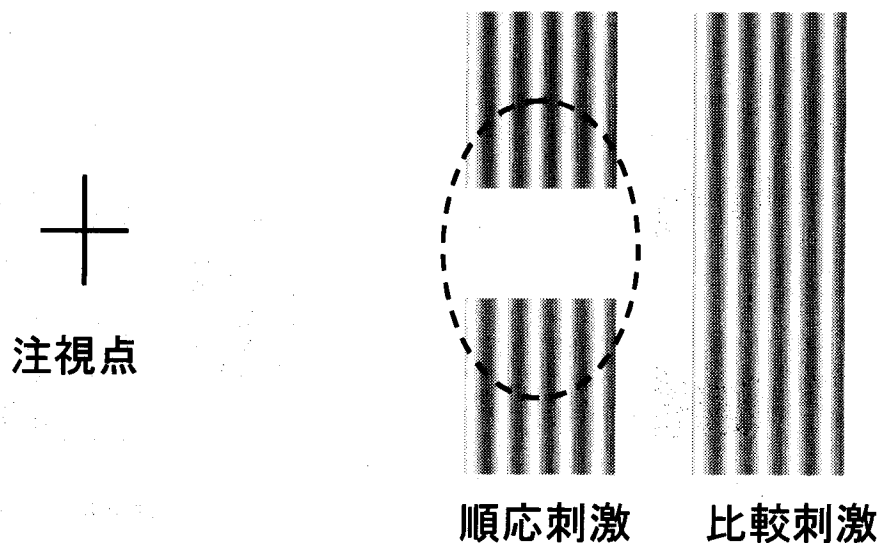


Fig.15 盲点周辺での刺激の位置関係

順応刺激は盲点をはさむようにして面積比0.3になるよう盲点の重心を中心に配置する。一方、比較刺激は順応刺激の充填像と誘導刺激の両者をあわせた大きさに設定した。つまり、被験者が順応刺激と比較刺激を同じ大きさに知覚するようにした。順応刺激も比較刺激も幅は両方とも同じ3.5 degに設定した。

一方、盲点周辺での知覚速度を比較するために、盲点ではない通常の視野が必要となる。そこで今回は運動検出力がほぼ等しい同偏心度の対側視野を通常視野と規定する。通常視野に提示する順応刺激と比較刺激の位置は、先のような理由から盲点周辺の順応刺激と比較刺激の対称位置に配置した(Fig.16)。

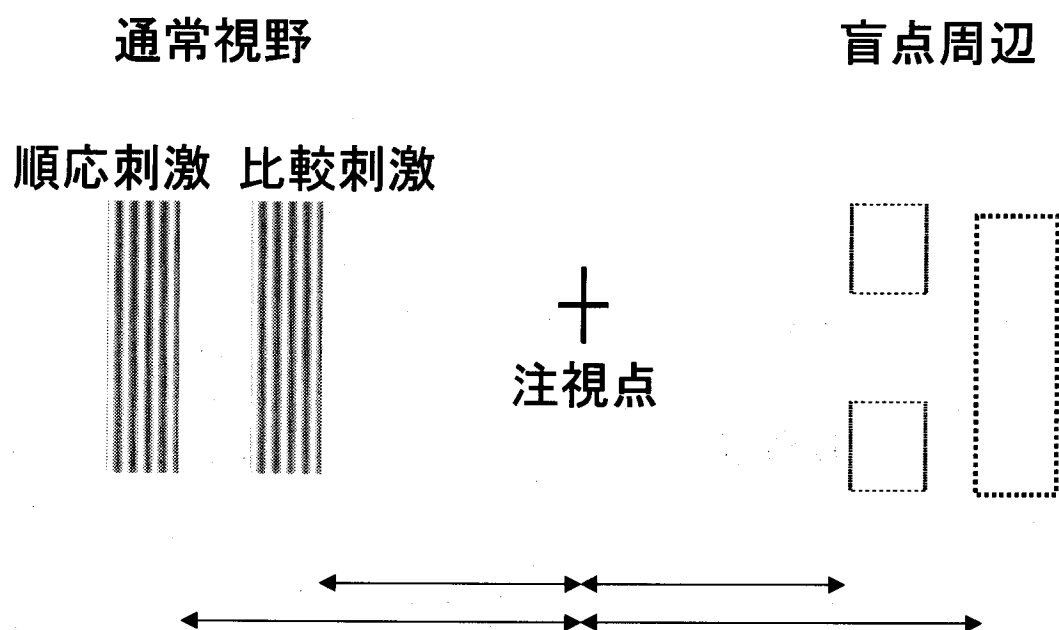


Fig.16 通常視野での順応刺激と比較刺激の位置

3. 1. 4. 刺激条件

今回の実験は対象部位による知覚速度の差を求めることを主な目的としているが、同時に知覚速度にどのような刺激条件が影響するかを調べる必要があると考えた。なぜなら、複数の順応がこの現象に関わっているとした場合、当然順応によって影響度の強い刺激条件は異なってくると思われる。もし盲点周辺と通常視野で起きている順応の種類が違っていれば、刺激条件の影響度も異なるはずである。そのため、同じ刺激条件下でも盲点周辺と通常視野では知覚速度変化の大きさが一致しない可能性がある。

つまり、知覚速度に対して影響度の高い刺激条件に着目し、それらをもとに順応の種類を推定することを考えた。しかし、影響度を調べることができる実験回数は限られているので、今回はその順応の候補として輝度を選び、この現象に影響力を持つ刺激条件を比較刺激条件とした。

3.1.4.1 基本刺激

順応刺激には次のような性質の刺激を使用した。

- 刺激の種類:正弦波縞状模様
- 平均輝度:33 cd/m²
- 速度:3 deg/sec
- 空間周波数:0.33 cpd
- 刺激のコントラスト:50 %

比較刺激には次のようなものを使用した。

- 刺激の種類:正弦波縞状模様
- 平均輝度:33 cd/m²
- 空間周波数:0.33 cpd
- 刺激のコントラスト:50 %

(速度以外のパラメータはすべて同じ。)

3. 1. 4. 2 背景の輝度

背景の輝度を2条件にわけて、盲点周辺と通常視野とでの知覚速度を測定した。

○ 条件1:0.7 cd/m²

○ 条件2:33 cd/m²

(条件2は刺激の平均輝度と等しい。)

3. 1. 4. 3 面積比

刺激の大きさは次の2条件で、盲点周辺と通常視野で知覚速度を測定した。

○ 条件1:0.3

○ 条件2:0.6

(条件2は誘導刺激の大きさが条件1の2倍。)

3. 1. 5. 実験結果

被験者はOT,IG,FJの3人に参加してもらい実験を行った。実験は背景の輝度を比較条件にした場合と、刺激の面積比を比較条件にした場合の二つに分かれる。

○ 背景の輝度を比較条件にした場合

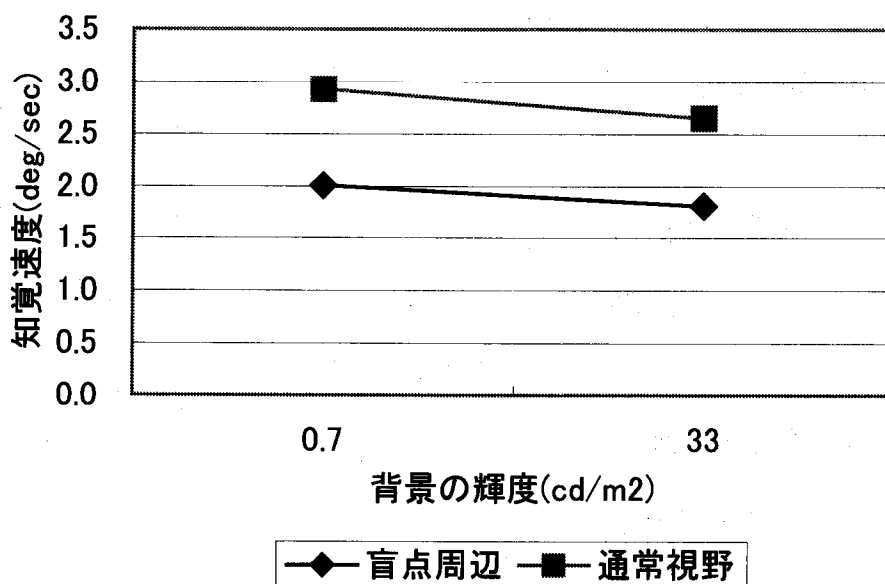


Fig.17 知覚速度と背景の輝度との関係

上の結果から2元配置の分散分析を行ったところ、Table.1のような

結果が得られた。

Table.1 背景輝度・提示場所の知覚速度における分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	p値
mean	66.1809	1	66.1809	105.971	0.009 **
R/	1.2490	2	0.6245		
提示場所	2.3081	1	2.3081	1440.437	0.001 ***
AR/	0.0032	2	0.0016		
背景の輝度	0.1655	1	0.1655	2.502	0.254
BR/	0.1323	2	0.0661		
交互作用	0.0054	1	0.0054	0.143	0.742
ABR/	0.0756	2	0.0378		

Table.1から、盲点周辺と通常視野での知覚速度には有意な差があり、背景輝度による知覚速度への影響はないことがわかる。

○ 刺激の面積比を比較条件にした場合

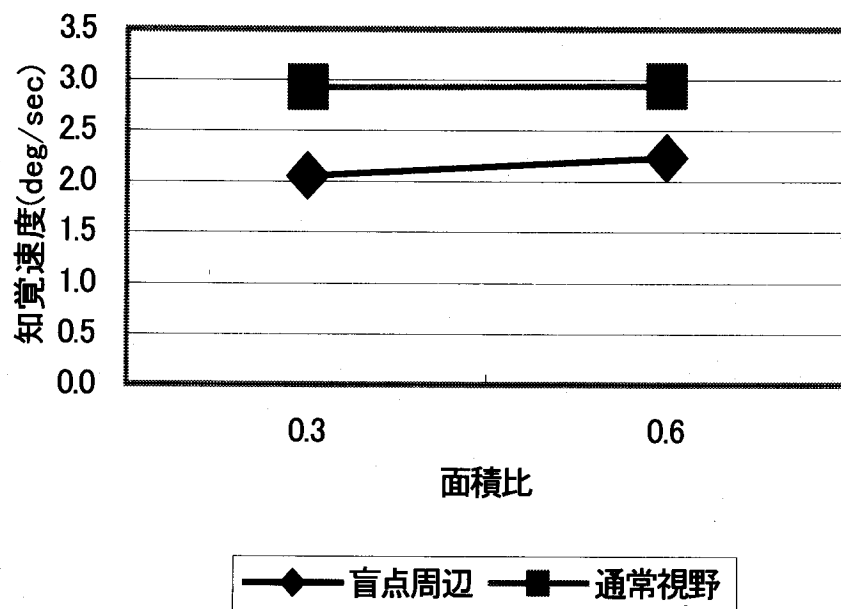


Fig.18 知覚速度と刺激の面積比との関係

上の結果から2元配置の分散分析を行ったところ、Table.2のような表が得られた。

Table.2 刺激の面積比・提示場所の知覚速度における分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	p値
mean	77.3296	1	77.3296	109.594	0.009 **
R/	1.4112	2	0.7056		
提示場所	1.8434	1	1.8434	110.236	0.009 **
AR/	0.0334	2	0.0167		
刺激の面積比	0.0279	1	0.0279	0.651	0.505
BR/	0.0856	2	0.0428		
交互作用	0.0226	1	0.0226	3.725	0.193
ABR/	0.0121	2	0.0061		

分散分析表から、盲点周辺と通常視野では知覚速度に有意な差があり、知覚速度に対する刺激の面積比の影響はないことがわかる。

3. 2. 実験2:提示時間を制限しなかった場合

前回の実験では、プログラムが比較刺激の速度を操作していたため、知覚速度が取得するまでに複数回の試行が必要だった。そのため、被験者に時間的に負担がかかった。実験2におけるコンセプトはこの煩雑さから被験者を開放し、被験者主体のプログラムに変更することで、実験の負担を減らし、正確で安定したデータを取ろうという目的である。この実験では、被験者は順応刺激と比較刺激を同時に観察することができるうえ、比較刺激を直接操作することにより比較刺激の速度を順応刺激の知覚速度に漸近させることができるので比較的時間がかからない。また、両者の速度が等しく知覚された時点で試行を終了させることもできる。そのため必然的に順応刺激の提示時間は任意となり、提示時間が制限されない設定となった。

実験2では比較する刺激条件として刺激のコントラストを採用した。今回は、実験1のような仮説を前提とした仮説検証的な実験にとられずに、知覚速度に有意な影響力をもつ刺激条件の探索を目的とするアプローチである。資料[8]から速度知覚には、刺激のコントラストが重要な役割を持つことが確認されているので、追試実験としての側面もこの実験は持っている。

3. 2. 1. 実験の概要

被験者は注視点を固視したまま、3秒後に提示される順応刺激を15秒間観察し続ける。引き続き、順応刺激が3秒間提示されたのち、隣接部位に比較刺激と順応刺激が1秒間提示される。再び順応刺激のみが3秒間提示され、順応刺激と比較刺激が1秒間提示される。この順応刺激提示3秒、順応刺激+比較刺激提示1秒というサイクルが被験者の終了応答があるまで繰り返される(Fig.19)。つまり、順応刺激は常に提示され、比較刺激のみが点滅するような提示手順となる。これは、比較刺激の提示時間を短縮することにより、比較刺激相当の受容野での順応亢進を防ぎ、比較刺激の知覚速度を実際の速度に近

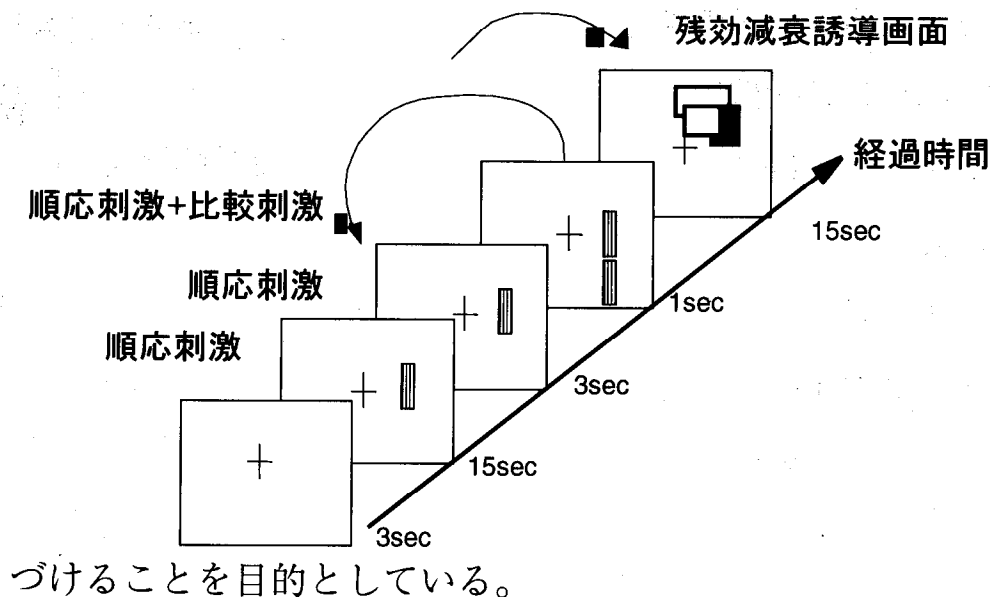


Fig.19 実験の流れ

被験者は順応刺激と比較刺激を繰り返し観察しながら、両者を比較し、ボタン応答によって比較刺激の速度を順応刺激の知覚速度に漸近させる。両者の知覚速度がほぼ等しく知覚された時点で被験者は終了ボタンを押し、その時点での比較刺激の実際の速度が順応刺激の知覚速度として記録される。終了ボタンが押されると、画面にはモンドリアン図形状の動的ノイズが15秒間提示される。ここまでが1試行となる。この手順を盲点周辺と通常視野で行い、それぞれの知覚速度を測定した。

3. 2. 2. 実験環境

以下の実験では実験1と同じ環境を用いた。

3. 2. 3. 刺激の位置と大きさ

●大きさ

刺激の大きさは次のように設定する。幅が2.5degの矩形を盲点の上下に配置し、充填作用によって単一の縦長の矩形が知覚されるようにする。(実験1と同じ。Fig.13参照)面積比は0.6に設定した。比較刺激は順応刺激と充填像をあわせたものに相当する大きさに設定した。

●位置

盲点周辺に提示する順応刺激と比較刺激はFig.20のように配置した。

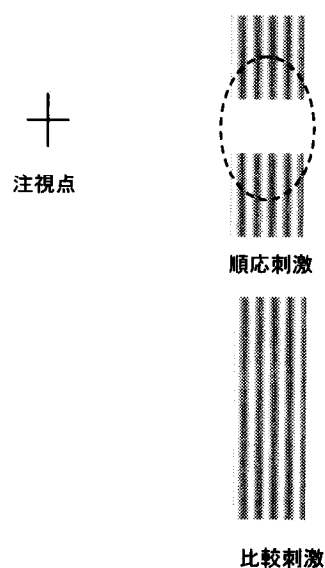


Fig.20 盲点周辺での刺激の位置関係

速度を比較しやすくするため、刺激を縦に配置した。

一方、対照となる通常視野には盲点周辺と等しい偏心度の位置に順応刺激、比較刺激を配置した(Fig.21)

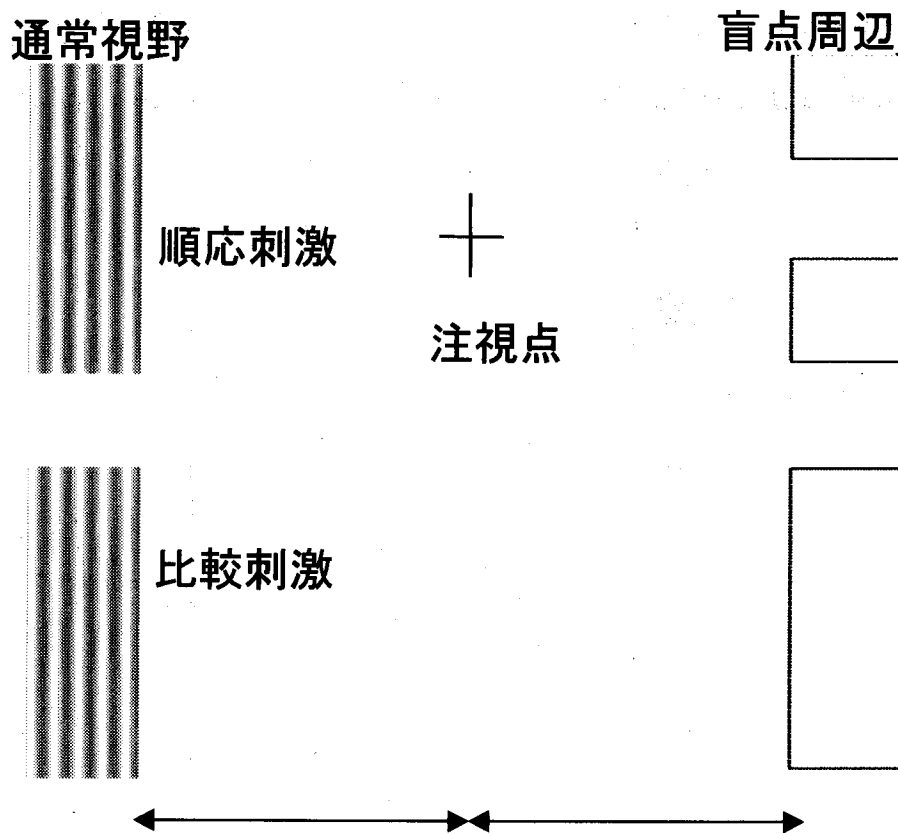


Fig.21 通常視野での刺激の位置関係

ここで、通常視野における順応刺激と盲点周辺における順応刺激では、実際に網膜で受容されている投影面積が異なるのではないかという指摘から、次のような順応刺激も比較対象として採り入れた (Fig.22)。

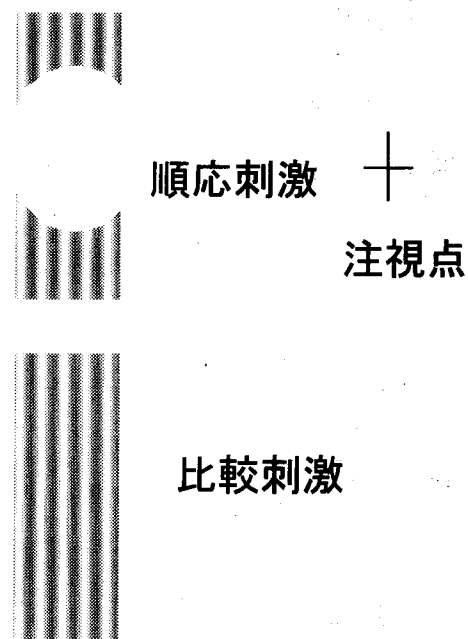


Fig.22 網膜での受容面を一致させた順応刺激と比較刺激

このような事情から通常視野に提示する順応刺激が2種類になるため、それぞれを区別する必要性が生じた。通常視野において充填像を含めた大きさを持つ順応刺激を通常視野(1)、網膜受容面に限定した順応刺激(通常視野(1)の順応刺激に盲点領域相当部位をマスクし

たもの)を通常視野(2)として以降から盲点周辺の順応刺激と比較する。

網膜受容面から見た刺激の大きさ

盲点周辺 = 通常視野(2) < 通常視野(1)

となる。

3. 2. 4. 刺激条件

この実験では比較刺激条件として刺激の輝度コントラストのみを用いている。

3. 2. 4. 1 基本刺激

順応刺激には次の性質の刺激を使用した。

- 刺激の種類:正弦波縞状模様
- 平均輝度:33 cd/m²
- 速度:3 deg/sec
- 空間周波数:0.33 cpd

比較刺激には次のものを使用した。

- 刺激の種類:正弦波縞状模様
- 平均輝度:33cd/m²

○ 空間周波数:0.33cpd

(速度以外のパラメータはすべて同じ。)

3. 2. 4. 2 刺激のコントラスト

刺激のコントラストは25%,50%,100%の3条件を用意し、これらの刺激の条件下で盲点周辺、通常視野(1)、通常視野(2)での知覚速度を測定した。

条件1:25%

条件2:50%

条件3:100%

3. 2. 5. 実験結果

参加してもらった被験者は6人である。実験の結果を次のグラフで示す(Fig.23)。

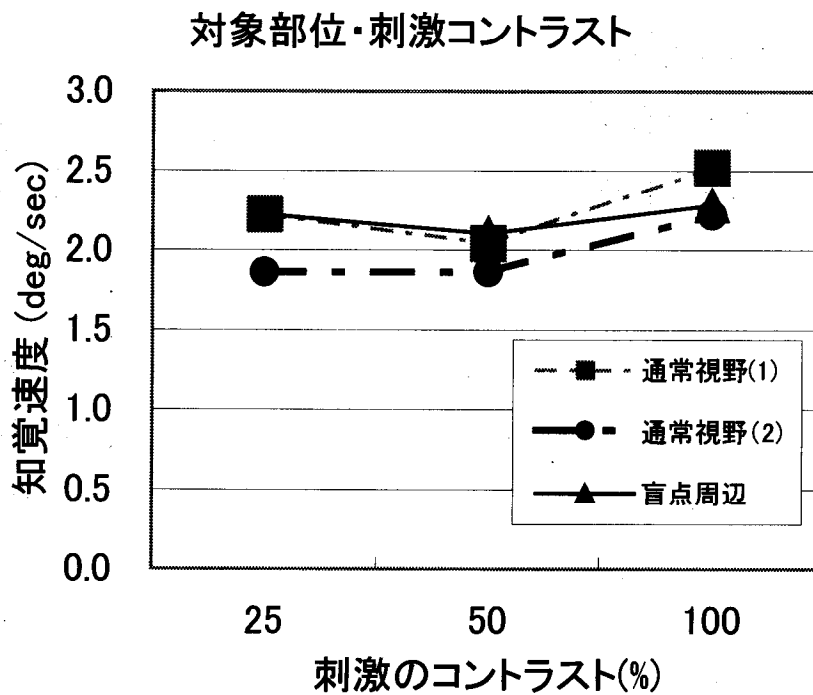


Fig.23 刺激のコントラストと知覚速度の関係

この結果を2元配置の分散分析を行ったものを以下に示す(Table.3)。

Table.3 刺激のコントラスト・提示場所の知覚速度における分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	p値
mean	207.3680	1	207.3680	43.860	0.003 **
R/ 対象部位	18.9120	4	4.7280		
R/ 刺激のコントラスト	0.6520	2	0.3260	1.325	0.318
R/ 交互作用	1.9680	8	0.2460		
	0.9160	2	0.4580	17.961	0.001 **
	0.2040	8	0.0255		
	0.1880	4	0.0470	1.362	0.29

上の分散分析表から、知覚速度に対して、刺激コントラストは影響力を持つが、通常視野と盲点周辺では知覚速度に有意な差は見られないことがわかった。

4. 考察

ここでは、速度知覚測定によって得られた結果のみならず、その結果から推測できること、実験方法の適切、不適切についての是非などを含めて考察する。

4. 1. 実験1における考察

ここでは実験1の結果とその測定過程に限定して考察する。

4. 1. 1. 実験結果について

実験1では予備実験での発見のとおり、盲点周辺に運動刺激を提示した場合、通常の視野よりも遅く知覚されることが確認された。これは少し興味深い事実を含んでいると思う。なぜなら、盲点内部において周囲から刺激像が充填されているのであれば、運動検出器は充填像における輝度差を検出することになり、一見、盲点の周辺視野(この場合は通常視野と同等の意味)と盲点内では同様の運動知覚がなされてもいいように思われる。しかし、知覚速度が盲点周辺の方が低いのは、必ずしも疲労による順応とは限らず、下位からの入力不足も原因の一つとして挙げられると思う。なぜなら、盲点は器質的に視入力に欠如し、盲点相当域の受容野は盲点内部からの直接

的な入力を受けることはありえないからである。この事実は絶対的な情報不足を表し、これが原因で細胞の興奮度が低く、運動知覚力も低下していることは充分推測できることである。もちろん、周囲からの情報によって充填されているので、総合的に見た場合、盲点相当受容野の細胞群の活動度はそれほど周囲と差はないだろう。しかし、常にオリジナルの情報が直接伝達される通常視野とは異なり、盲点相当受容野の細胞群の活動は周囲の情報を重畳したものに依存しているので、活動度のみを取り上げ生理的に同等と見なすにはいささか無理があるように思われる。盲点内受容野の細胞の活動が周囲からの情報を起源とするため、常に不安定(なぜなら、盲点周囲の刺激情報は必ずしも統一されたものではないため、情報同士が競合することも考えられるため)となり、そのため運動検出器も一定の出力が保てないのではないかという仮説も一候補としてあげられるのではないかと思われる。

4. 1. 2. 実験方法について

実験1は当初、2分法使用のため、知覚速度を測定するまでに試行回数が多く、比較刺激においても順応効果が残留することが予想された。比較刺激が順応してしまうと実際の速度の3deg/secより大きく測定される恐れがあった。しかし、実際は知覚速度の平均は3deg/sec以下となり速度残効が起きていることが確認された(速度残効によっては順応後、テスト刺激の方が速く知覚されるケースもあるが[8])。

実験1は、刺激の提示時間が限定されているため、被験者は限られた時間内に判断しなければならず、個々のデータのバラツキが大きくなることが予想された。個々のデータの分散が大きければ、実験条件ごとの分散も同様にバラツキが大きくなり、有意差が出にくくなると思われたが、実際は $P < 0.01$ となる実験条件もあり、盲点周辺と通常視野で知覚速度に差が認められた。

一方、実験1では背景の輝度、刺激の大きさなどが知覚速度に影響を与える事実は確認できなかった。しかし、対象となる刺激の値の差をもっと大きく設定して再実験を行えば、より確実に影響度の有無を確認できるだろう。

4. 2. 実験2における考察

ここでは実験2での結果、実験方法の是非について考察する。

4. 2. 1. 実験結果について

この実験では刺激条件による知覚速度に対する影響は検出できたものの、この研究の根幹である盲点と通常視野での知覚速度の差は検出できなかった。この原因は主に提示時間にあると思われる。刺激のコントラストが知覚速度に対して有効である(要は”はっきり見えるものは速く知覚される”ということ)ことは既に他文献によって確認されているため、有意差が検出されるのは予想されていた。しかし、盲点周辺と通常視野間で知覚速度に差が認められなかったのは被験者ごとに、さらには、試行ごとに提示時間が異なり、そのため比較刺激の順応が進み、速度差が検出できなかったことも原因の候補として考えられる。そもそも順応時間が15秒+ α という、実験条件が固定されていないことが原因と思われる。が、それでも刺激条件から知覚速度に有意差が認められたことは、順応後の運動知覚でも刺激の性質(ここでは刺激のコントラスト)が強く影響することが示唆されたと思う。

4. 2. 2. 実験方法について

実験1では被験者から複数回の試行によって知覚速度を取得していたが、実験2では直接比較刺激を操作できるようになった。このような実験1と実験2での手法の違いは結局、盲点と通常視野での知覚速度の差を検出するという前提から離れた結果を生むことになったが、測定時間の観点から見た場合、確実な収穫があった。

4. 3. 実験1と実験2の結果に対する考察

実験1では盲点周辺と通常視野での知覚速度に有意な差、言い換えるならば盲点では運動が遅く見えることが検証できたが、実験2ではそのような結果は得られなかった。これは実験1と実験2の実験条件が異なることに起因すると思われる。特に結果に影響を与えていると思われる刺激条件は提示時間が挙げられる。今回実験では順応が関わっていることは明らかであり、その順応強度は順応時間に依存している。このことから、提示時間、言い換えれば、順応時間の差が結果の差を生み出したと考えられる。実験1と実験2の順応時間を比較したとき、調整時間や初期の固定順応時間の長さから実験2のほうが長いことは確実である。順応時間が短い実験1では盲点と通常視野の間に知覚速度の差が見られ、順応時間の長い実験2から差が検出されないことを考慮すると、Fig.24のような知覚速度の推移が予想される。つまり、順応初期の段階では盲点での知覚速度低下の勾配が通常の視野よりも高く、順応時間がある一定以上になると、同じような知覚速度域に到達するというモデルである。もちろん知覚速度を経時的に測定したわけでは無いので、断言は出来ないが、順応が一定以上進めば、網膜受容面積に関係なく、一定の状態に落ち着くことが予想される。また、実験2から刺激条件の影響が見られることから、一定の状態の知覚速度的位置は刺激のコントラストなどの刺激条件に依存している可能性があると思われる。

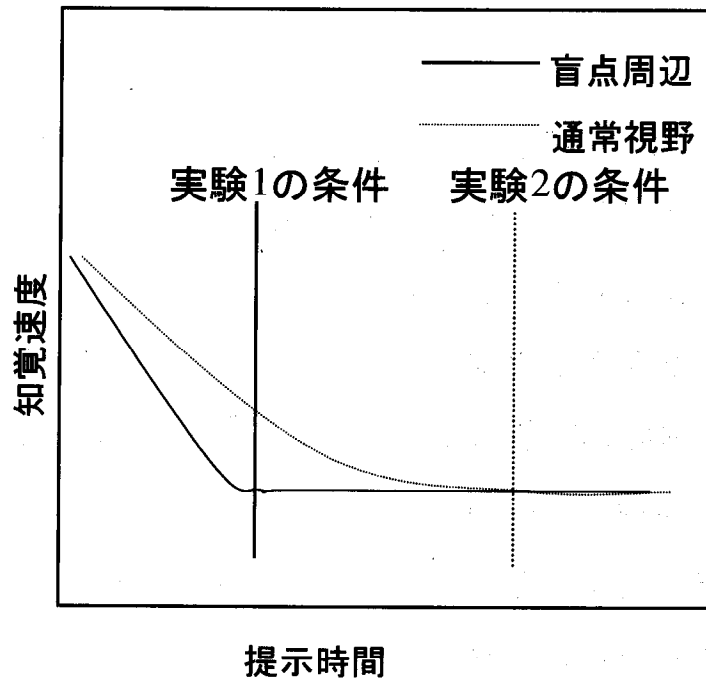


Fig.24 盲点と通常視野での知覚速度変化のモデル

もし、盲点での知覚速度低下の勾配が通常視野と異なるのであれば、知覚速度を急激にさげるような原因を突き止める必要がある。この盲点での急激な知覚速度低下を引き起こす原因について4.4. 議論で考察する。

4. 4. 議論

4.3. では、盲点における急激な知覚速度低下について述べたが、ここでは、その知覚速度低下を前提とし、その原因について議論する。まず、低下の原因となるものに順応が挙げられる。この場合、順応は輝度差検出レベル、運動検出レベル、周波数応答レベルなど複数の段階を含む。

一方、順応を原因とするのではなく、盲点の特性の一つである充填作用自体に原因を求めることもできる。充填像を作り出すための周辺刺激が弱い場合、充填像の形成は不完全性となり、運動知覚に影響を与えることも考えられる。しかし、刺激像の不完全性が急激な低下を生むのであれば、面積の小さい刺激は遅く感じるはずである。この仮説の証明は実験1の条件で通常視野(2)を行うことで解決できると思われる。

知覚速度の急激な低下を説明する仮説としては、盲点において複数の順応が関わっていたというものである。実験1では、輝度差検出レベルで輝度によるフィリングインが発生し、出力低下を引き起こしたのではないかと考え、刺激条件を比較したが、その差は検出できなかった。そのため、刺激条件に依存するような順応が起きているとは考えにくいように思われる。

もう一つの仮説は周辺視野からの運動知覚情報の伝播説である。これは、周辺視野の順応の効果が盲点に伝わることによって知覚速度低下を引き起こしたとする考えである。しかし、周辺視野での順応効果が盲点に伝播するのであれば、盲点での知覚速度低下は周辺視野よりも遅い時点で起きるはずである。実験1からその可能性は低いと考えられるが、速度知覚レベルでも周辺の情報を受容する機構が盲点に存在するのであれば、考えられないことでもないと思われる。

5. 結論

盲点に刺激を提示する予備実験の段階において運動知覚に関する特異と思われる現象の検証と同時に、現象を引き起こす刺激要因を見つけるため、本研究では2種類の実験を行った。その結果、提示時間が短ければ、盲点のほうが通常視野よりも遅く知覚され、提示時間が長いと盲点と通常視野間での知覚速度には差がでないことがわかった。このことから、盲点周辺での知覚速度は提示初期に急激に低下することが推測できた。しかし、運動知覚は多段階で処理されているうえ、複雑な処理が行なわれていることが他研究で示唆されているので今後、運動刺激のみならず、静刺激などの刺激を用いた実験を繰り返すことにより、運動知覚と充填作用の関係がより明らかになるとと思われる。本研究のように通常視野では順応として片づけられてしまう現象も、盲点では奇妙な現象となって立ち返って疑問を投げつけてくれる。視覚処理を解明するにあたり、盲点のような存在を通して視覚現象を見つめた場合、通常視野では気づかないような周辺事実が浮き上がるのではないだろうか。

謝辞

本研究を進めていく上で多くの助言・ご指導を賜った次の方々から感謝の意を表明いたします。電気通信大学大学院情報システム学研究科において、指導教官を担当し、本研究を支えてくださった阪口豊助教授、出澤正徳教授、神原武志教授、研究室内において常に滞りなくみんなの研究が進められるように管理してくださった関根道昭助手先生、卒業以後も指導してくださった眞田尚久氏、被験者として実験に参加してくれたM1、M2のみなさん、そして、この恵まれた環境に所属するきっかけを作ってくださった東海大学開発工学部の辻山教授に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Shend He, Wendy L. Davis: Filling-in at the natural blind spot contributes to binocular rivalry, *Vision Research*, 835-840, 2001.
- [2] 仁田正雄: 眼科学 改訂第二版, 文光堂, 1977.
- [3] 大隈 峰人, 二瀬 由里, 中溝 幸夫, 近藤 倫明: 盲点計測と知覚的補完と時空間特性, *Vision*, 13, 45-48, 2001.
- [4] 小松英彦, 岡崎国立共同研究機構, <http://ppd.jsf.or.jp/pub/pub97/filling.html>, Human Frontier Workshop, 1997.
- [5] Vilayanur S. Ramachandran: Blind Spots, *Scientific American*, 44-49, 1992.
- [6] V.S. ラマチャンドラン, サンドラ・ブレイクスリー, (山下篤子訳): 脳の中の幽霊, 角川書店, 1999
- [7] M.j.keck, T. D. Palella and A. Pantle: Motion after effect as function of the contrast of sinusoidal grating, *Vision Research*, 16, 187-191, 1976
- [8] 日本視覚学会編: 視覚情報処理ハンドブック, 朝倉書店, 2000
- [9] 藤田昌彦: 「フィリング・イン」による立体視の消失, 電子情報通信学会技術研究報告, 107-109, 1992
- [10] Ikuya Murakami: Motion Aftereffect after Monocular Adaptation to Filled-in Motion at the Blind Spot, *Vision Research*, 35, 1041-1045, 1995