

パルス刺激光の検出閾値に及ぼす中心固視と 周辺視野の影響

増田 修・内川 恵二

東京工業大学大学院 総合理工学研究科 物理情報システム創造専攻
〒 226-8502 横浜市緑区長津田町 4259 G2-1

(受付：2004年10月12日；改訂稿受付：2005年4月11日；受理：2005年5月12日)

Effects of the Foveal Fixation and the Peripheral Visual Field on Detection Threshold of Pulse Stimulus

Osamu MASUDA and Keiji UCHIKAWA

Department of Information Processing, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo
Institute of Technology; G2-1, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama 226-8502, Japan

(Received 12 October 2004; Received in revised form 11 April 2005; Accepted 12 May 2005)

We found that the detection threshold changed in a trial period of a few seconds in a simple detection task of a single pulse. The threshold increased at the earlier onset time in a trial but became constant in a lower level at the later period in the trial. The possibility of cross-modal attentional shift between vision and audition or tactility was tested. The change of detection threshold disappeared with a stationary edge in the peripheral visual field. It is suggested that this change of the detection threshold is caused by the stationary retinal image with the Ganzfeld stimulation and the eye movement.

1. はじめに

2パルス刺激光の時間的足し合わせ特性は、過去にさまざまに測定されてきた¹⁻⁶⁾。これらの測定結果を用いてパルス検出メカニズムを推定する際には、単発のパルス刺激光をある時間幅をもった1試行の時間内のどの時刻に呈示しても特に問題はないことを前提としている³⁻⁶⁾。この前提はほとんど自明として考えられ、これを改めて確かめる研究はこれまでに行われていない。

本研究では単発パルス刺激光の検出閾値が、1試行の時間幅内の呈示時刻によって変化せず同一になるかどうか調べること、さらに同一でない場合にはその原因は何かを明らかにすることを目的とした。本研究は2パルス刺激光の時間的足し合わせを調べる研究の予備的な実験と

して始まったが、一連の実験から興味ある結果が得られたので、本論文としてまとめ報告する。

2. 実験方法

2.1 装置

装置の概略図を図1に示す。被験者は、発泡スチロール製半球ドーム（内半径40cm；内面を中性灰色で塗装）の中央に開けられた開口（直径7mm，視角1°）を通して右片眼でCRTを観察した。被験者の上下左右にはそれぞれ1本ずつ、計4本のD65近似蛍光灯（CIE1931色度 $x=0.315$, $y=0.335$, 20W）が配置され、全視野をほぼ一様に照明している。その結果、多少の空間的不均一性は残るものの、ドーム内面の輝度および色度は、およそ 100 cd/m^2 , $x=0.318$, $y=0.339$ となった。開口の後部にはCRT（Nanao FlexScan T766, 100Hz）が置かれ、CRT

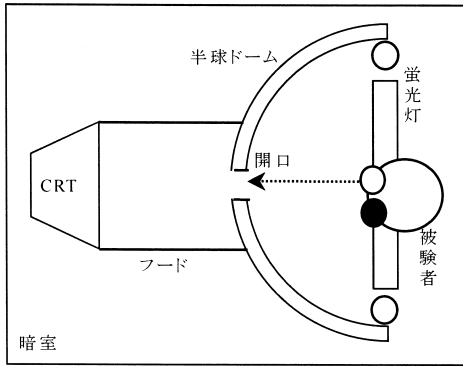


図1 装置の概略図.

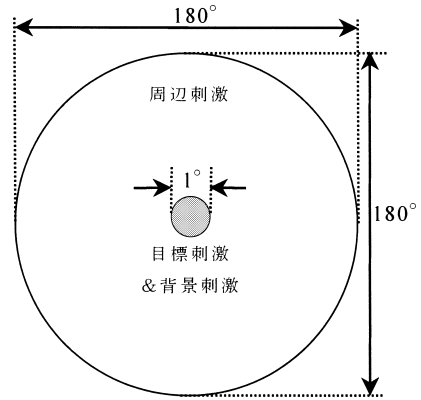


図2 被験者からの刺激の見え.

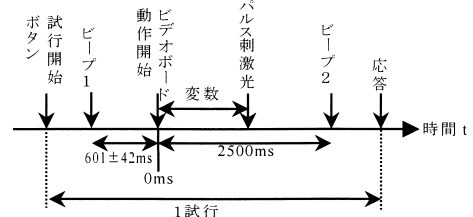
全面に一樣に刺激が呈示される. そのため刺激光が開口を埋めて, 被験者には開口の位置に刺激があるように見える. CRTはPC(Dell, Dimension V350; Microsoft, Windows2000)とビデオボード(Cambridge Research Systems, VSG2/4)によって制御された.

実験1から4では, 試行の開始と終了を知らせるビーブ音をPCから呈示した. 実験5以降では, ビーブ音をPCから独立したPIC(Microchip, 16F873)によってビデオカードからのトリガに同期して制御した. 刺激光, ビーブ音, ボタン押しの同期/非同期はデジタルストレージスコープ(Tektronix, TDS201)によって測定された.

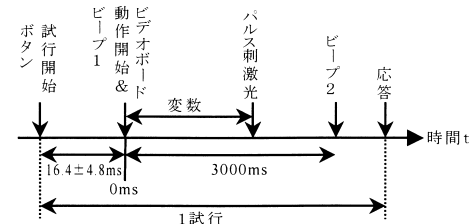
2.2 刺激

被験者からの刺激の見えを図2に示す. 全視野に渡る白い周辺刺激の中心に, CIE1931色度 $x=0.419, y=0.505$, 輝度 50 cd/m^2 の黄色い直径 1° の背景刺激があり, 被験者はこれを固視する. 被験者が検出すべき目標刺激は, この背景刺激からの1フレーム(10ms)だけのパルス状の輝度の増分あるいは減分である. 以下, 背景刺激と目標刺激をまとめてテスト刺激と呼ぶ. 背景刺激と周辺刺激は, セッション中, 暗順応時以外は常に呈示され続ける.

1試行の流れを図3に示す. 被験者が試行開始ボタンを押すとビーブ1が鳴り, ビデオボードが動作を開始する. ビデオボードは一定の時間幅(実験1から4では2500ms, 実験5以降



(a) 実験1から4まで



(b) 実験5以降

図3 1試行の流れ.

では3000ms)内のいずれかの時刻にパルス刺激光をCRT上に呈示する. その後, ビーブ2が鳴り, 被験者が応答する. パルス刺激光のオンセット時刻は, ビデオボードの動作開始時刻($t=0$)からの時間とした.

実験1から4(図3a)では, 制御用PCのOS(Windows2000)の制限により, ビーブ1の鳴り終わりから, ビデオボードの動作開始までには, 平均601ms, 標準偏差42msの不定な潜時があった. また, ボタン押しからビーブ1の鳴り終わりまでの時間は, 装置上の制約により測定できなかった.

実験5以降(図3b)では, ビーブ1はビデオ

ボードの動作開始のトリガ信号に正確に同期して呈示された。ただし、ボタン押しからビデオボードの動作開始までには、平均 16.4 ms、標準偏差 4.8 ms の不定な潜時があった。

2.3 手続き

被験者は、まず 5 分間暗順応した後、3 分間視野全体に明順応し、その後 2 セッションの実験を続けて行った。被験者は十分に準備を整えてから、自らのボタン押しにより各試行を開始した。被験者は、パルス刺激光を検出したか否かをボタンにより Yes/No で応答した。パルス刺激光の呈示輝度は、パルス刺激光の各オンセット時刻条件を 1 系列とした多系列階段法で増減された。各系列ごとにランダムに明確な閾上または閾下の輝度を初期値とし、全系列で折り返しが 3 回以上になるまで試行を繰り返し、これを 1 セッションとした。20% の確率で刺激を呈示しないキャッチ試行を挿入し、誤った応答に対しては音でフィードバックした。

応答率 20% 以下および 80% 以上の呈示輝度での試行数が 5 回以上になるまで、セッションを繰り返した。その結果、各条件ごとに、8~10 セッションの実験が行われ、応答率 50% 付近での試行数は、約 30 回となった。この応答結果に、Probit 法⁷⁾により知覚確率曲線をフィットし、この応答率 50% に対応する刺激輝度を閾値とした。ただし、採取されたデータのうち、試行数が少ない（各呈示輝度毎の試行数の最大値の 1/3 以下）呈示輝度については、その応答率が、その上下の呈示輝度での応答率の間の範囲から外れている場合には、これを除いて計算した。

被験者は 3 名の男性 OM (33 歳), TN (23 歳), KS (22 歳) であり、いずれも色覚正常かつ視力正常ないし矯正視力正常である。被験者 KS は、実験 5 以降にのみ参加した。

3. 実験結果

3.1 異なったオンセット時刻によるパルス刺激光検出閾値の変化 (実験 1)

実験 1 では、各オンセット時刻でのパルス刺激光検出閾値を測定した。結果を図 4 に示す。

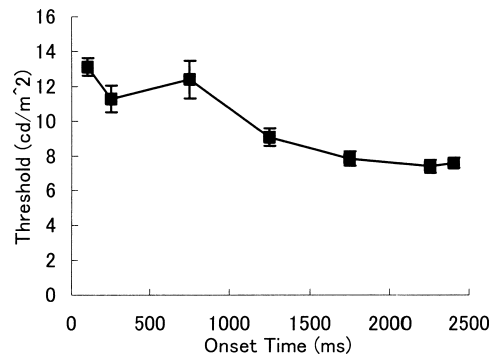


図 4 単発パルス刺激光検出閾値のオンセット時刻による変化 (実験 1)。被験者 OM。

横軸はパルス刺激光のオンセット時刻を示し、縦軸はそのパルス刺激光の検出閾値を示す。オンセット時刻は、100, 250, 750, 1250, 1750, 2250, 2400 ms である。増分閾値と減分閾値の両方を同一セッション内で測定したが、ほぼ同じ値と傾向であったので両者の平均を示した。誤差棒は、Probit 法から求めた標準誤差を示す。実験 1 には、被験者 OM のみを用いた。

図 4 を見ると、1 試行 2500 ms の時間幅の中で、試行開始直後の閾値が最も高く、試行前半 (1250 ms 以前) では時間が経つにつれて閾値は下がることがわかる。一方、試行後半 (1250 ms 以降) では閾値にはあまり変化がなく、ほぼ一定値となっている。一定の時間幅内で刺激呈示のオンセット時刻が変化することにより検出閾値が系統的に変化するということは、本実験のような単純な刺激呈示条件ではほとんど考えられない。また、筆者らの知る限りにおいては、これまでにこのような報告はない。被験者は試行に対して十分に準備ができてから自ら試行開始ボタンを押しているため、早期オンセット時刻で閾値が高いことの原因に視覚的注意が影響しているとは考えにくい。

3.2 ビープ 1 を消去した場合 (実験 2)

閾値の変化がオンセット時刻の前半で急峻である一方、後半では緩慢であることから、オンセット時刻の前の方に何らかの原因がある可能性が考えられる。Turatto ら⁸⁾ は課題を伴わず単純に刺激を呈示するだけでも、先行す

る聴覚刺激により視覚刺激への反応時間が遅れることを報告している。本研究においても同様に試行開始時のビーブ音（聴覚刺激）やボタン押し（触覚刺激）という異なる様相の刺激から、視覚的なパルス検出課題に対して何らかの影響があるという可能性が考えられる。実験2ではまず聴覚刺激を除いてみた。

試行開始時のビーブ1を消し、それ以外はすべて実験1と同じ条件として実験を行った。結果を図5に示す。被験者はOMとTNの2名である。いずれの被験者でも、実験1と同様にオンセット時刻が早いほど閾値が高くなっている。したがって、試行開始時のビーブ1は、この閾値変化の原因ではなかったことがわかった。

3.3 試行間休止期間を導入した場合（実験3）

実験2では、まだ試行終了時のビーブ2や被験者の応答に対するフィードバック音が次の試行に影響している可能性がある。そこで実験3では、試行間に休止期間を設け、この影響を低減した。

実験3では、実験2と同様に試行開始時のビーブ1を消した上、試行間に2秒間または4秒間の休止期間を設けた。被験者が前の試行で応答をしてから、この休止期間の間は、被験者は次の試行を開始できない。パルス刺激光のオンセット時刻は250, 750, 1250, 1750, 2250msとした。

結果を図6に示す。図6より、休止期間を設けても、閾値変化は消えないことがわかる。また、休止期間を2秒から4秒に延ばしても同様である。これらの結果より、聴覚からの異様相間作用は関係ないことが示された。

3.4 試行開始のボタン押しを除去した場合（実験4）

実験1~3では、被験者自身がボタンを押すことにより試行を開始していた。そのため、このボタン押しという行動あるいは触覚的刺激が視覚に対して何らかの影響を及ぼしていた可能性が考えられる。そこで実験4では、この試行開始時のボタン押しをしないで実験を行った。実験4では、前の試行が終わってから被験者がボ

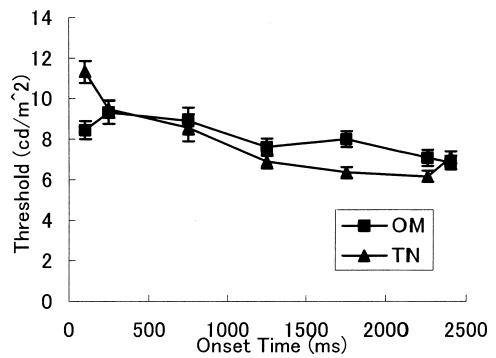


図5 ビーブ1を消した場合（実験2）。

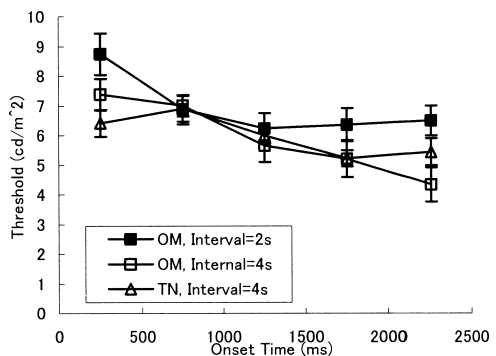


図6 ビーブ1を消した上、試行間に休止期間を設けた場合（実験3）。

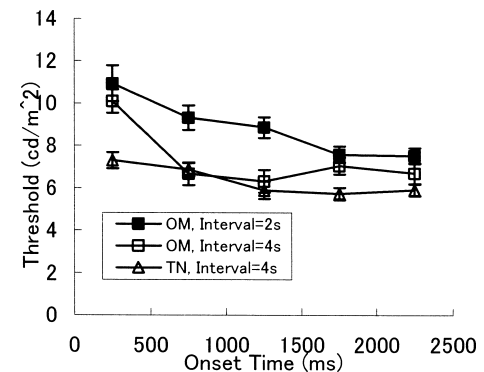


図7 試行開始ボタンを除去した場合（実験4）。

タンを押さなくても、一定の休止期間（2秒または4秒）を経て、自動的に次の試行が開始するようにした。試行開始時にはビーブ1を鳴らした。

結果を図7に示す。図7より、いずれの場合でも、早期オンセット時刻ほど閾値が高くな

ていることがわかる。したがって、ボタン押しもこの閾値変化の原因ではないといえる。

3.5 パルス刺激光呈示開始の時間的不確定性を低減した場合（実験 5）

実験 1~4 では、制御用 PC の OS の制限により、ビーブ 1 が鳴り終わってから、ビデオカードが動き出すまでに、平均 601ms、標準偏差 42ms の不定な潜時があった。この時間的な不確定性が閾値変化に何らかの関与をしている可能性も考えられる。

そこで実験 5 では、装置を改良してビーブ 1 がビデオカードの動作開始と完全に同期するようにした。ビデオカードが動作開始時にトリガ信号を発生し、PC から独立している PIC がトリガと正確に同期してビーブ 1 およびビーブ 2 を鳴らした。ただし、被験者が試行開始ボタンを押してから、ビデオカードが動作を開始するまでには、平均 16.4ms、標準偏差 4.8ms の不定な潜時が残った。実験 5 以降では、すべてこの改良した装置を用い、3000ms の時間範囲の中で、パルス刺激光のオンセット時刻は 250, 750, 1250, 1750, 2250, 2750ms とした。被験者 OM, KS の 2 名を用いた。

結果を図 8 に示す。図 8 より、やはり早期オンセット時刻ほど閾値が高くなっていることがわかる。時間的不確定性も閾値変化の原因ではないといえる。

3.6 試行開始からの時間の影響（実験 6）

実験 1~5 では、試行前半の期間に閾値の変化が生じた。一方、被験者からは、テスト刺激をよく見ようと注意を集中するとかえって刺激が見えにくくなる、との内観報告があった。そこで、この閾値変化が、単純に試行開始からの時間のみに依存しているのか否かを確認するために、呈示時刻を全体に 1250ms 遅らせ実験 6 を行った。被験者は、この呈示時刻の遅れについてあらかじめ教示されていた。

結果を図 9 に示す。呈示時刻を遅らせても、閾値の変化が現れた。新たな呈示開始時刻付近 ($t=1500$ ms) からその後 1500ms の範囲で閾値が下降し、それ以降一定になっていることがわ

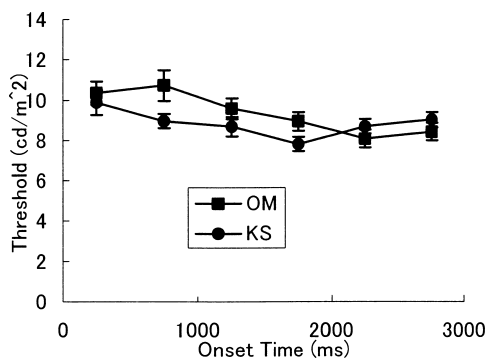


図 8 時間的不確定性を低減した場合（実験 5）。

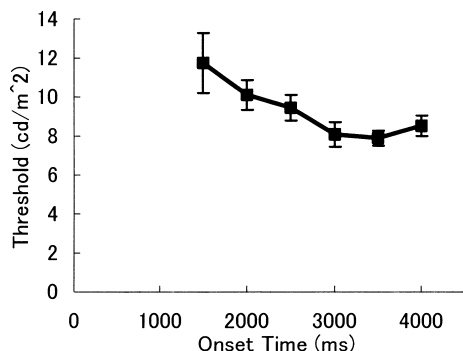


図 9 呈示時刻を全体に 1500ms 遅らせた場合（実験 6）。被験者 OM。

かる。

3.7 パルス刺激光の周囲に輝度エッジリングを付けた場合（実験 7）

本研究では、内面を中性灰色で一様に塗装した半球ドームを用いているため、全視野の一様性が極めて高い。このため、特殊な光学系を用いない通常の固視でも全視野の静止網膜像が得意な状態になっていると考えられる。実験 7 では、テスト刺激の周囲に明瞭な輝度エッジを設けて全視野の一様性を低下させた。テスト視野の周囲に、内直径が視角 10° の黒い二重のリング (0.1° の空白を挟んだ、それぞれ太さ 0.1° の 2 本のリング) を描いて、実験 5 と同様の実験をした。この黒い線の輝度と、周囲の白の輝度の比は、15.6:100 である。この結果を図 10 に示す。すべての被験者で、早期オンセット時刻での閾値変化は消失した。

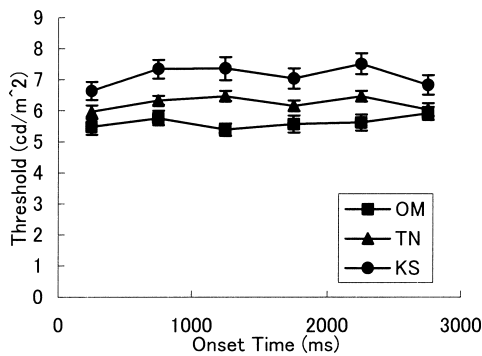


図10 輝度エッジリングを導入した場合（実験7）。

4. 考 察

今回のような刺激構成において単発のパルス刺激光の検出閾値が呈示時刻に影響されるという報告はこれまでにない。本研究により、ある刺激呈示条件では単純なパルス刺激光検出感度がわずか数秒のうちにも変化することが示された。パルス刺激光の呈示時刻が試行の後半の場合、検出閾値は実験条件、被験者の違いによって6~8 cd/m²に収束した。本研究では、被験者の応答は、パルス光を検出したか否かのYes/Noであるので、被験者内での条件間の閾値のベースラインの差は、判断基準のゆらぎを反映している、と考えられる。一方、試行開始直後では、このベースラインよりも3~5 cd/m²の閾値上昇が見られた。

この現象の原因として、まず聴覚や触覚から視覚への異様相間注意推移の影響が考えられたが、これらは実験2~4から否定された。次に、被験者の内観報告から、テスト刺激をよく見ようと視覚的注意をテスト刺激に集中することが閾値を増大させるという可能性が考えられた。視覚的注意とは、集中することにより視覚的課題の成績が向上するものと一般には考えられているが、注意によって逆に成績が低下する場合もある⁹⁾。試行の時間範囲の前半で刺激が検出できない場合、後半に進むほど刺激の検出への期待が高まり注意が強まるため閾値が下がったという可能性も考えられる。さらには、一つ前の試行でテスト刺激に注意を向けたことにより、

注意の復帰抑制¹⁰⁾が起り、当該試行の初期において閾値が上がったという可能性も考えられる。しかし、これら注意の時間的変動のみによる説明は、いずれも実験7において、静止した輝度エッジリングの導入により閾値変化が消失したことにより否定される。

本研究の実験条件では、テスト刺激に注意を集中することは、同時にテスト刺激への固視を強めることでもある。そこで、刺激の静止網膜像化による視覚消失との関連が考えられる¹¹⁾。本研究の刺激は、背景刺激に目標刺激を重畳したテスト刺激と、さらにそれを取り囲む周辺刺激からなる、という標準的な構成になっている¹²⁾。ただし、この周辺視野が、全視野にわたって一様である、という点が特殊である。本研究では、被験者自身が随意的に固視をし、網膜像を静止させるための特殊な光学系や装置は使用していない。したがって固視微動による網膜像の変動は残っているはずである。固視微動には、特性の異なるトレモロ、ドリフト、マイクロサッカードの3種が知られている。視覚消失を防ぐためには、受容野の小さな中心窩においては振幅の小さなトレモロとドリフトだけで十分としても、受容野の大きな周辺視野においては振幅の大きなマイクロサッカードが必要となり、そして、マイクロサッカードは意識的に固視を強めて抑制できる¹¹⁾。本研究では半球ドームによってテスト刺激以外の全視野が一様になり、周辺視野において実質的な静止網膜像のできやすい状態となっていた。半球ドーム内面は中性灰色で一様に塗装されてはいるが、発泡スチロールの素材特有のテクスチャは残っていた。そのため、通常の固視よりも更に意識的に固視を強めたときだけに、静止網膜像を誘発したと考えられる。

Cohen¹³⁾は2連の積分球を用いて、Ganzfeld状周辺視野の中心に直径1°の円形な異質視野を呈示した。一般にGanzfeldでは、全視野に霧がかかったような特有の見えを生じる。この見えは、この異質視野の導入により弱まるが、それでも周辺視野と異質視野との色や輝度における

差が小さいときには、この特有の見えは残った。Pirenne¹⁴⁾によれば、古くは Aubert (*Physiologie der Netzhaut*, E. Morgenstern, Breslau, Germany, 1865) から、「明るい光の下でも、固視が1点に維持されると、周辺から中心に霧が広がるようにして、全視野が徐々に朦朧とする」との報告がある。これは、本研究における被験者が報告した試行中の見えにくさに関する内観と整合する。この霧状の見えの原因は不明であるが、可能性としては、周辺視野からの充填や調節の不安定などが考えられる。Krauskopf¹⁵⁾は、網膜像静止化によって、周辺の環の色が、中心窩で固視している、周辺とは異なる色の円盤に充填され、円盤が消失することを報告した。この消失はごく希ながら、網膜像を静止化しない通常の固視でも起こった可能性がある。また、Ganzfeldにおいては調節が不安定になることが知られており、高高度で飛行するパイロットは、上空の Ganzfeld 的な視界において、検出課題の能率が低下する¹⁶⁾。Burkhardt¹⁷⁾および Sparrock¹⁸⁾は、網膜像静止化によって、時間とともに見えの明るさは低下していても、輝度フラッシュを検出するための増分閾値は変化しない、と報告している。しかし、これは、数十秒から数分のオーダーで見た場合であり、本研究でも試行後半では閾値が一定値に収束していくことと整合する。一方、Sparrock¹⁸⁾の結果 (Fig. 3) において、背景視野が高輝度の場合には、試行開始直後には急速な閾値変化が見られる。

本研究においても、このようにして Ganzfeld 状刺激と意識的な固視の強化が組み合わさって、特有の見えを引き起こしたことにより、感度低下が起こったのではないだろうか。実験7で導入された輝度エッジリングは、固視の安定化に寄与するかもしれないが、その一方で全視野の一様性を低下し Ganzfeld が崩れているため、固視だけを強化しても感度低下が起こらなかったと考えられる。このような背景の下に、本研究におけるパルス刺激光検出感度の時間変化を説明すると、以下ようになる: 被験者が、テスト刺激をよく見ようと通常よりも固視を強める

と、全視野がほぼ一様な Ganzfeld 状の刺激においては、刺激が実質的に静止網膜像に近づく。その結果、特有の霧がかかったような見えを生じ、これがテスト刺激に対してノイズやマスクとして作用すると仮定すれば、パルス刺激光の検出閾値が増大する、と考えられる。本研究では、背景刺激が固視指標も兼ねているため、背景刺激が見えにくくなると強い固視の維持が困難になる。その結果、試行の後半では感度が回復し閾値が減少する。

順応開始直後には通常の長時間スケールでの順応とは異なる急速な閾値変化が生じ、暗順応状態から明順応を開始した直後には、フラッシュ検出閾値はいったん急上昇した後、急速に低下していった数秒以内に定常状態に収束していく¹⁹⁾。このような閾値の時間的推移は、一見、今回の実験1~5で見いだされたものと整合するように見える。しかし、我々の実験においては、セッション中、背景刺激と周辺刺激は常に呈示され続けており、しかも、被験者は、試行開始ボタンを押す前からテスト刺激を固視している。そして、もし本研究で見いだされた閾値変化が、背景刺激への単純な局所順応によるものだとすれば、実験6,7においても実験1~5と同様の閾値変化が生じたはずである。しかし、実験6においては呈示時刻の遅れに対して閾値変化も追従した。これは、被験者があらかじめ呈示時刻が遅れることを教示されていたため、新たな呈示開始時刻に固視の強化を始めていた、と考えられる。そして実験7で導入された輝度エッジリングが固視を安定化するとすれば、局所順応にとってはより有利な条件であるにもかかわらず、実際には閾値変化は消失した。これは、輝度エッジリングにより、全視野の一様性が低下したため、と考えられる。

従来、静止網膜像による視覚消失が起こるには、静止化を始めてから数秒以上が必要とされてきた。このため、本研究のように試行開始直後に生じる効果とは一見整合しないように見える。しかし、本研究においては、被験者は試行開始以前から固視を始め、十分に固視が安定し

たと確信してから自ら試行開始ボタンを押す。また、本実験結果では、完全な消失が起こっているわけではなく、ただパルス刺激光の検出閾値をわずかに増大させているだけである。最近、網膜像静止化の影響は、もっと早く数十ミリ秒から数百ミリ秒で生じるとの報告もある。例えば、Coppola and Parves²⁰⁾ は、中心窩において毛細血管の像は、80 ms 以下で消失すると報告した。また、Rucci and Desbordes²¹⁾ においては、網膜像静止化によって、見えの上での消失は生じない一方で、わずか 500 ms の呈示時間においても、棒の方向弁別において成績が低下している。

従来のパルス刺激光検出の研究では、本研究のような全視野に一樣な周辺視野を用いているものは少ない。そのため、従来の研究では、本研究で見いだされたようなパルス検出感度の時間的変化は報告されなかったのではないだろうか。本研究では、Ganzfeld 状の周辺視野と、固視の強化が組み合わさったことにより、特有の感度変化を引き起こした、と考えられる。しかし、この感度変化は、周辺視野に輝度エッジを設けることにより、消失させることができた。今後、広い周辺視野を一樣に明るくした刺激を用いる研究においては、このような感度変化のないように刺激呈示条件を十分考慮する必要があるだろう。

文 献

- 1) R. Granit and W. A. Davis: Comparative studies on the peripheral and central retina. *American Journal of Physiology*, **98**, 644–653, 1931.
- 2) M. Ikeda: Temporal Summation of Positive and Negative Flashes in the Visual System. *Journal of the Optical Society of America*, **55**, 1527–1534, 1965.
- 3) K. Uchikawa and T. Yoshizawa: Temporal responses to chromatic and achromatic change inferred from temporal double-pulse integration. *Journal of the Optical Society of America A*, **10**, 1697–1705, 1993.
- 4) T. Yoshizawa and K. Uchikawa: Temporal integration characteristics of chromatic response as determined by use of the isoluminant double-pulse method. *Journal of the Optical Society of America A*, **14**, 2069–2080, 1997.
- 5) D. C. Burr and M. C. Morrone: Impulse-response functions for chromatic and achromatic stimuli. *Journal of the Optical Society of America A*, **10**, 1706–1713, 1993.
- 6) K. Shinomori and J. S. Werner: Senescence of the temporal impulse response to a luminous pulse. *Vision Research*, **43**, 617–627, 2003.
- 7) D. J. Finney: Probit Analysis, 3rd ed. Cambridge Univ. Press, 1971.
- 8) M. Turatto, F. Benso, G. Galfano and C. Umiltà: Nonspatial attentional shifts between audition and vision. *Journal of Experimental Psychology*, **28**, 628–639, 2002.
- 9) Y. Yeshurun and M. Carrasco: Attention improves or impairs visual performance by enhancing spatial resolution. *Nature*, **396**, 72–75, 1998.
- 10) R. M. Klein: Inhibition of return. *Trends in Cognitive Science*, **4**, 138–147, 2000.
- 11) S. Martinez-Conde, S. L. Macknik and D. H. Hubel: The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, **5**, 229–240, 2004.
- 12) A. B. Watson: Temporal sensitivity. *K. R. Boff, L. Kaufman and J. P. Thomas (ed.): Handbook of Perception and Human Performance, Vol. I, Sensory Processes and Perception*, John Wiley & Sons, 1983.
- 13) W. Cohen: Spatial and textural characteristics of the Ganzfeld. *American Journal of Psychology*, **70**, 403–410, 1957.
- 14) M. H. Pirenne: Light-adaptation. *H. Davson (ed.): The Visual Process*, Academic Press, 1962.
- 15) J. Krauskopf: Effect of retinal image stabilization on the appearance of heterochromatic targets. *Journal of the*

- Optical Society of America*, **53**, 741–744, 1963.
- 16) L. L. Avant: Vision in the Ganzfeld. *Psychological Bulletin*, **64**, 246–258, 1965.
- 17) D. A. Burkhardt: Brightness and the increment threshold and subjective brightness. *Journal of the Optical Society of America*, **56**, 979–981, 1966.
- 18) J. B. M. Sparrock: Stabilized images: increment threshold and subjective brightness. *Journal of the Optical Society of America*, **59**, 872–874, 1969.
- 19) H. D. Baker: Initial stages of dark and light adaptation. *Journal of the Optical Society of America*, **53**, 98–103, 1963.
- 20) D. Coppola and D. Purves: The extraordinarily rapid disappearance of entoptic images. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, **93**, 8001–8004, 1996.
- 21) M. Rucci and G. Desbordes: Contributions of fixational eye movements to the discrimination of briefly presented stimuli. *Journal of Vision*, **3**, 852–862, 2003.