

## 学 位 論 文 題 名

## 視覚系の時空間統合特性に関する心理物理学的研究

## 学位論文内容の要旨

本論文は全部で16章からなり、それらが3部に分かれて構成されている。

第I部「本研究の背景と問題」では本論文の基礎をなす視覚系の時空間統合特性についてのこれまでの知見、特に輝度システムと色システムにおけるそれらの知見について詳細な吟味がなされている。第1章でこれまでなされて来た検出閾における主な知見が紹介されている。第2章では閾値決定における色システムの関与に関してのこれまでの知見が吟味されている。予想されるように、これまでの研究では色刺激が用いられる場合でもそれはもっぱら輝度システムを介して閾値決定がなされるケースが主であって色システムの関与は間接的なものに過ぎなかったことが指摘されている。第3章では論文の後半の諸実験の結果にもっとも密接に関わる色システムと輝度システムの分離を試みた過去の研究が紹介されている。さらに正常の色覚において3原色性と反対色システムとがどのように関連しあっているかについてのこれまでの学説を論じている。第4章では色システムと輝度システムの並列処理に関するこれまでの神経生理学的研究について解説している。著者はごく最近の文献にいたるまでよく総覧し、これらの諸研究と自分の研究との対応づけについても考察している。第5章はパタン情報の処理に色システムがどのように関わっているかの考察であって、一部の学者が主張するように色システムはこれに全く関与していないか、していたとして、その役割は2次的なものに過ぎないという考え方に著者はつよく反発し、生態学的にみてもこのようなことはあり得ないとしている。また色情報によるパタン処理は中・低空間周波数で主として行われることを指摘している。第6章は後半部の実験において実際に行われた色覚異常者の色覚についての研究が色覚理論に対し持つ意義について論じている。第7章はこの第I部の総括ともいえるもので、視覚の時空間統合における色システムの役割を再び論じている。本論文の研究ではこの分野で今まであまりとりあげられたことのない色順応の影響が扱われているがその意義についてここで論じられている。さらに色システムを扱う際、これまでの視覚科学者が軽んじてきた表面色の3属性、色相・明度・飽和度も考慮に入れなければならないとしている。

第II部「時空間統合現象に関する心理物理学的研究」ではこの論文の根幹をなす心理物理学諸実験の成果が述べられている。実験は全部で7種類のものが行われており、それらは第8章から第15章にわたり順次説明されている。そのうち第8章から10章までの実験は、基本的にはそれはマクスウェル視光学系と呼ばれる装置により行われた。それにより実現されたのは以下のような刺激布置であり、それをを用いて主な実験が行われた。すなわち視角 $7^\circ$ の背景光の中央部にそれにかぶせて視角 $1.4^\circ$ のテスト光が提示される。このテスト光は2つの成分からなり、一つの実験(第8章

実験1)ではそれは640nmの赤色光と502nmの緑色光とであり、他の実験(第9章実験2)では463nmの青色光と577nmの黄色光であった。この2つの成分からなるテスト光は、種々の割合で混合されている。さらにこのテスト光はその持続時間が段階的に変化された。一方背景光(これはこれらの実験では白色であった)もその強度が段階的に変化された。このような条件下で被験者に求められたことはテスト光がちょうど見える強度にそれを調整することであった。一般にこのような実験事態では臨界持続時間 $t_c$ が得られるが、その $t_c$ は上にのべたテスト光の2つの成分光の割合によって著しく異なることが見いだされた。青色光と黄色光を用いた第10章実験2では、条件によっては、赤色光と緑色光を用いた実験1と同様の明瞭な差が得られなかった。著者はこれは黄色光がすでに輝度システムの要素を多分に持っているためだと解釈している。第10章実験3では2色型色覚異常者で上に述べたのと同様の実験を行っている。当然のことであるが、これらの色覚異常者では緑と赤のスペクトル範囲内では色システムが全く機能していないために、赤色光と緑色光の混合比を変化させても何等の変化も起こらなかった。一方青色光のスペクトルの範囲では正常の色システムが機能すると考えられ、事実青色光と黄色光の混合条件では正常色覚者と全く同様の結果が得られた。第11章では上の実験結果をAbneyの輝度の加算性との関連で検証している。予想どおり、閾値は物理和から予想される値から逸脱し、そこに相互抑制の働いていることが証明された。第12章実験4の実験方法はこれまで説明したものとやや異なり、テスト光は単一の色光からなる。しかし臨界持続時間の測定法・背景光条件などは以前のもと同様である。この実験での特記すべき点は、テスト光の輪郭が第3の刺激であるマスク光によって隠蔽されているということである。このマスク光の効果はテスト光から空間周波数における高調波成分を取り除き、色システムに有利な低空間周波数が優先的に働く条件を作り出すことにある。このような条件で臨界持続時間 $t_c$ は通常のテスト光を用いた場合より長くなった。これはこのような手順が色システムの特性を選択的にとらえることを可能にしたためだと著者は解釈する。第13章実験5および第15章実験7はこれまでの実験とは異なり、コンピュータにより制御されたカラー・ディスプレイが用いられている。これらの実験では、背景光およびテスト光に入れ替わるテスト光と同じ大きさの背景光の領域は常に等輝度を保っている。これらの実験のうち、実験5では時間統合特性が測定されたが、ここでは臨界持続時間を推定するために、データの示す曲線の形状から時間反応関数を決定する、という手法を用いた。その結果から推定される臨界持続時間はテスト光ならびに背景光の飽和度に逆比例することが見出された。実験7は同様のことを空間的加重について行ったものである。ここでもテスト光ならびに背景光の飽和度は臨界空間加重面積と逆比例の関係にあった。第14章実験6は実験1のテスト光の2成分混合を背景光について行ったもので、やはり反対色システムにおける相反性がここでも見られた。他の色同士の混合ではこのような現象は起らなかった。

第Ⅲ部「まとめ」 この部分は第16章をなす。ここでは他の研究者たちがこれまでに行っている諸研究と著者自身のそれとを比較検討し自分の研究の位置づけを試みている。また既知の神経生理学的事実をふまえて著者はひとつのモデルを提唱している。それは網膜内の単純反対色細胞そして視覚皮質における二重反対色細胞の特性をも取り入れた階層的モデルであって、本論文の実験の結果を包括的にまとめ得るものであると著者は述べている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 相 場 覚  
副 査 教 授 岡 田 宏 明  
副 査 教 授 三 谷 鉄 夫  
副 査 助 教 授 阿 部 純 一

## 学位論文題名

### 視覚系の時空間統合特性に関する心理物理学的研究

本論文は全部で16章からなりこれが3部に分かれ、本文317ページ(400字詰め原稿用紙711枚に相当)、図87、表3で構成されている。

第I部「本研究の背景と問題」では本論文の基礎をなす視覚系の時空間統合特性についてのこれまでの知見、特に輝度システムと色システムにおけるそれらの知見について詳細な吟味がなされている。第1章でこれまでなされて来た検出閾における主な知見が紹介されている。第2章では閾値決定における色システムの関与に関してのこれまでの知見が吟味されている。第3章では反対色システムについてふれ、正常の色覚において3原色性と反対色システムとがどのように関連しあっているかについてのこれまでの学説を論じている。第4章では色システムと輝度システムの並列処理に関するこれまでの神経生理学的研究について解説している。第5章はパタン情報の処理に色システムがどのように関わっているかの考察である。第6章は後半部の実験において実際に行われた色覚異常者の色覚についての研究の持つ意義について論じている。第7章はこの第I部の総括ともいえるもので、視覚の時空間統合における色システムの役割を再び論じている。

第II部「時空間統合現象に関する心理物理学的研究」ではこの論文の根幹をなす心理物理学的諸実験の成果が述べられている。そのうち第8章から10章までの実験は光学装置により実現される刺激布置、すなわち視角 $7^\circ$ の背景光の中央部にそれにかぶせて視角 $1.4^\circ$ のテスト光が提示され、このテスト光は2つの成分からなり、一つの実験(第8章実験1)ではそれは赤色光と緑色光とであり、他の実験(第9章実験2)では青色光と黄色光であった。この2つの成分からなるテスト光は、その成分の割合を種々の割合で混合されていた。さらにこのテスト光はその持続時間が変化され、一方背景光はその強度が段階的に変化された。このような条件下で被験者に求められたことはテスト光の強度を閾値に調整する

ことであった。一般にこのような実験条件によってテスト光の視覚系に対する臨界持続時間が測定出来る。この臨界持続時間は上に述べたテスト光の2つの成分光の割合によって著しく異なることが見いだされた。著者はこれは色システムの臨界持続時間の特性であると結論している。青色光と黄色光を用いた実験2では明瞭な差が得られなかった。著者はこれは黄色光がすでに輝度システムの要素を多分に持っているためだと解釈している。第10章実験3では2色型色覚異常者で上にのべたのと同様の実験を行っている。第11章では上の実験結果をAbneyの輝度の加算性の観点から検証している。第12章実験4の実験方法はこれまで説明したものとやや異なり、テスト光は単一の色光からなる。この実験での特記すべき点は、テスト光の輪郭が第3の刺激であるマスク光によって隠蔽されているということである。これによって低空間周波数が優先的に働く条件を作り出すことになる。このような条件で臨界持続時間は通常のテスト光を用いた場合より長くなった。このような手順が色システムの特性を選択的にとらえることを可能にしたためだと著者は解釈する。第13章実験5および第15章実験7はこれまでの実験とは異なり、コンピュータにより制御されたカラー・ディスプレイが用いられている。これらの実験で閾値として用いられた測度はテスト光が背景から区別されるための一番小さな純度差である。実験5では、臨界持続時間を推定するために時間反応関数を決定する、という手法を用いた。その結果から推定される臨界持続時間はテスト光ならびに背景光の飽和度に逆比例することが見出された。実験7では再び実験5に類似した方法および分析が用いられ、その結果テスト光ならびに背景光の飽和度は臨界空間加重面積と逆比例の関係にあることが見いだされた。第14章実験6は実験1のテスト光の2成分混合を背景光について行ったものでやはり反対色システムにおける相反性がここでも見られた。

第Ⅲ部「まとめ」 この部分は第16章をなす。ここでは他の研究者たちがこれまでに行っている諸研究と著者自身のそれとを比較検討し自分の研究の位置づけを試みている。また既知の神経生理学的事実をふまえて著者はひとつのモデルを提唱している。

1. 第Ⅰ部のこれまでの関連領域の総覧はごく最近のものまでふくめて徹底的に行っており、その部分だけでもReview論文として十分価値のあるものである。
2. 第Ⅱ部の実験は単に技術的に高い水準にあるばかりでなく多くの独創的発想を含んでおり、またその大部分はすでに専門の国際誌に発表されていることからその価値は世界的にも認められていると判断出来る。
3. 第Ⅲ部ではかなり大規模なまとめを行っている。それには神経生理学の最近の知見をふんだんに取り入れている。そのようにして作られたモデルを理論的構成物として見たとき、それは一応の説明力をもつと評価される。
4. 全体としてこの論文は当該学問領域に対するひとつの大きな寄与とみなすことが出来る。著者の独創性と研究の将来の発展性を評価して、審査委員会は一致して同氏が博士の学位を授与されるのに十分な資格があるとの結論に達した。