

学位論文題名

視覚の時間的反応特性と時空間的处理機構に
関する心理物理学的研究

学位論文内容の要旨

本論文は、視的持続と呼ばれる視覚現象を中心的な対象として、人間の視覚系の時間的反応特性に関する一連の心理物理学の実験を遂行し、視覚系の時空間的处理機構の実体を明らかにしようとしたものである。本論文は3部からなり、第I部では視覚の時空間特性に関する先行研究を概説し、第II部では本論文の中心部として視覚の時間的反応特性に関する心理物理学の諸実験の成果を記述し、第III部では視覚系の時空間的处理機構について考察している。

第I部「視覚の時空間的特性」では、視覚系の時空間処理に関してこれまで明らかにされた心理物理学の知見や生理学的知見と、これまで提案された視覚処理モデルなどを概説している。第1章では視覚反応と視覚情報の持続性に関する研究について、第2章では視覚の時空間特性と時空間処理機構に関する心理物理学的研究、ならびに視覚処理機構に関する生理学的研究について、第3章では運動視の視覚処理機構に関する心理物理学的研究と生理学的研究について、第4章では視覚マスキング研究とその生理学的研究について、それぞれ先行研究の内容を詳細に概説している。

第II部「視覚の時間的反応特性に関する実験的研究」は、視的持続の時間や視覚の時間解像度を測定した8つの心理物理学の実験の報告からなる。第5章の実験Iから実験IVでは、時空間的に離散的に呈示される複数の刺激を用いてそれらの視的持続を測定し、視的持続が刺激間の空間的距離と共に増加するという効果（空間的效果）を確認し、視覚の時間的処理特性と視覚情報の保持機構について考察している。実験Iでは、異なる位置にある2光点刺激を同時に反復呈示する方法でフリッカー閾を測定し、視的持続における空間的效果が同時相では生じないこと、また、同時相では視的持続は刺激呈示時間の増加や背

景輝の上昇と共に短くなることを明らかにしている。実験IIでは、視的持続の空間的効果と運動知覚の関係に着目し、円周上に配置された複数光点を順次呈示する時に生じる負の仮現運動を利用して視的持続を測定している。これによって視的持続の空間的効果の存在を確認し、また、視的持続が背景輝度の増加と共に短くなることを明らかにしている。実験IIIでは、順呈示条件とランダム呈示条件において、左右に分割した円周の一方に2光点、他方に1光点を半円周内で同時に連続的に呈示し、左右のパターンが識別可能となる視的持続を測定している。そして、ランダム呈示条件における視的持続が順呈示条件の平均値に近く、またそれらの視的持続と背景輝度変数の関係が同じであることから、視的持続の空間的効果は、運動と無関係、もしくは局所的な運動に基づくことを明らかにしている。実験IVでは、局所的運動の影響を省いた視的持続の性質について検討しており、円周上に複数刺激をランダムな順に継時的に呈示し、パターンの知覚的統合時間を指標として視的持続を測定している。それによって、視的持続の空間的効果は、運動知覚とは独立であり、網膜離心度に依存しない効果であることを確認している。以上の諸実験結果を考察した上で、視的持続の空間的効果は、隣接した刺激が継時的に呈示される場合に生じ、それは運動知覚やパターンの時間識別過程よりも低次の水準で生じる、また、視的持続に及ぼす背景輝度や刺激呈示時間の効果は、空間的効果よりも低次の水準で生じるという結論を導いている。

第6章では、時空間的關係が変化する複数の視覚刺激の時間的処理特性について検討している。実験Vでは、棒状刺激を2つの異なる位置に各2回、合計4回連続的に呈示して、同位置内の2回呈示の間の時間を調整することによってフリッカー閾を測定している。閾値は、刺激間の空間的距離と共に増加し、空間的距離が約2 deg以上で最大となり、時間的距離が0 m秒から100 m秒まで増加すると徐々に低下するという結果であった。これらは、視覚処理における局所領域間の相互作用を反映していると考えられることから、ある程度の時間遅れをもって局所的ユニットに対して抑制的に作用する機構が存在するという結論を導いている。

第7章では、視覚処理モジュール内での情報の符号化の過程と時間的特性の關係に焦点をあて、各モジュールに関して時間的反應を調べた3つの実験を報告している。実験VIでは、刺激の大きさを処理するモジュールに着目し、マスキングパラダイムによって、空間内の2つの異なる位置の一方に2回呈

示のテスト刺激，他方に1回呈示のマスク刺激をランダムな順で呈示し，テスト刺激内でのISIを調整するという方法によってフリッカー閾を測定している。閾値は，刺激間距離に対して，刺激が大きい場合に単調増加関数，刺激が小さい場合にU字型関数を示すものであった。また，フリッカー閾と空間周波数の関係については，低空間周波数よりも高空間周波数の刺激の方が抑制効果が大きくなることを明らかにしている。実験VIIでは，刺激間時間に着目して実験VIと同様の実験を行ない，刺激間時間が長くなるにつれてフリッカー閾が小さくなるという結果を得ており，局所刺激に対する時空間相互作用が順向抑制型であることを明らかにしている。実験VIIIでは，明るさと色を処理するモジュールに着目し，四角形の対角位置の頂点に2つのテスト光を交互に同時呈示し，交代時間を調整する方法によって視的持続を測定している。これによって，視的持続はテスト光の輝度コントラスト及び色コントラストの低下と共に増加することが確認され，視覚の時間的特性が，輝度ばかりではなく，色純度の関数としても変化することを明らかにしている。

第III部「視覚の時空間的処理機構に関する考察」では，第I部の先行研究の知見と第II部の実験結果に基づいて，視覚の時空間的処理機構について考察している。第8章では，線形システム理論による視覚の時空間処理モデル，時空間フィルターモデル，時間的応答関数のモデル，運動知覚モデルを取り上げ，その問題点を指摘している。ここで著者は，視覚系は時空間的に離散的かつ局所的に存在する刺激を独立に処理するのではなく，そこには反応特性の異なる様々な処理ユニット間の相互作用が存在することを指摘している。また，線形システム理論に基づくモデルでは，視覚系を時間的ならびに空間的に線形的な反応を行うフィルターとしてみなすが，第II部で示した実験結果からみて，視覚系はこのようなフィルタリングに基づいて反応していないと主張している。また，視覚システムにおける機能的な処理単位である，モジュール内のユニットは，刺激属性の処理の他に，時空間的フィルターの役割も果たしており，視覚システムは局所的な時空間フィルターの集合体であるという見解を提示している。このような見解に基づいて，第II部の諸実験結果を統一的に説明するものとして，局所領域間の相互作用を組み込んだ時空間処理機構のモデルを独自に提案している。これは，時空間的に局在する刺激に対する局所ユニットの時間的反応の計算論的モデルである。

学位論文審査の要旨

主査	教授	阿部純一
副査	教授	三谷鉄夫
副査	教授	金子勇
副査	助教授	田山忠行

学位論文題名

視覚の時間的反応特性と時空間的処理機構に 関する心理物理学的研究

本論文は、視的持続と呼ばれる視覚現象を中心的な対象として、人間の視覚系の時間的反応特性に関する一連の心理物理学の実験を遂行することによって、視覚系の局所的な時空間的処理機構の実体を明らかにしようとしたものである。

第I部では、視覚反応と視覚情報の持続性に関する研究、視覚の時空間特性と時空間処理機構に関する心理物理学的研究と生理学的研究、運動視の視覚処理機構に関する心理物理学的研究と生理学的研究、視覚マスキング研究とその生理学的研究など、視覚系の時空間処理に関してこれまで明らかにされてきた心理物理学の知見や生理学的知見、さらには、これまで提案されてきた各種の視覚処理モデルを詳細に概説している。これらはごく最近の研究まで含めてかなり徹底的に行われており、この部分だけでも展望論文として価値あるものとして評価できる。

第II部は、視的持続の時間や視覚の時間解像度を測定した8つの心理物理学の実験から構成されている。実験Iから実験IVでは、時空間的に離散的に呈示される刺激を用いてそれらの視的持続を測定し、視覚の時間的処理特性と視覚情報の保持機構について考察している。実験Iでは、視的持続における空間的効果が同時相では生じないこと、また、同時相では視的持続が刺激呈示時間の増加や背景輝度の上昇と共に短くなることを明らかにしている。実験IIでは、負の仮現運動を利用して視的持続の空間的効果の存在を確認し、視的持続が背景輝度の増加と共に短くなることを明らかにしている。実験IIIでは、視的持続

の空間的効果が、運動とは無関係、もしくは局所的な運動に基づくことを明らかにしている。実験IVでは、視的持続の空間的効果が網膜離心度に依存しない効果であることを確認している。これらの結果から、視的持続の空間的効果は、隣接した刺激が継時的に呈示される場合に生じ、運動知覚やパタンの時間識別過程よりも低次の水準で生じる、また、視的持続の背景輝度や刺激呈示時間の効果が空間的効果よりも低次の水準で生じるという結論を導いている。実験Vでは、フリッカー閾の測定によって、視覚処理における局所領域間の相互作用を確認し、視覚システムには、局所領域での刺激処理だけではなく、そこにはある程度の時間遅れをもって局所的ユニットに対して抑制的に作用する機構が存在するという考察を導いている。実験VIから実験VIIIでは、視覚処理モジュール内での情報の符号化の過程と時間的特性の関係に焦点をあて、各モジュールの時間的応答を測定している。実験VIでは、刺激の大きさに着目し、フリッカー閾は、刺激間距離に対して刺激が大きい場合には単調増加関数、刺激が小さい場合にはU字型関数を示すという結果を得ている。実験VIIでは、刺激間時間に着目し、局所刺激に対する時空間相互作用が順向抑制型であることを明らかにしている。実験VIIIでは、明るさと色に着目し、視覚の時間的特性が、輝度ばかりではなく色純度の関数としても変化することを明らかにしている。以上の実験の結果から、視的持続の空間的効果が生み出される処理の水準、視覚処理における局所領域間で時間遅れをもった抑制的な相互作用の存在、様々な刺激属性の処理と抑制作用との関係を明らかにしている。これらの知見は、高度な技術的手法によって得られた反応データに基づくものであり、確かな知見として評価できる。

第III部では、第I部の先行研究の知見と第II部の諸実験結果に基づいて、視覚の時空間的処理機構について考察している。ここで著者は、線形システム理論による視覚の時空間処理モデル、時空間フィルターモデル、時間的応答関数のモデル、運動知覚モデルを取り上げ、視覚系は時空間的に離散的かつ局所的に存在する刺激を独立に処理するのではなく、そこには反応特性の異なる様々な処理ユニット間の相互作用が存在することを指摘している。また、視覚系は線形システム理論によるフィルタリングに基づいて反応していないと主張する。また、視覚システムにおける機能的処理単位であるモジュール内の処理ユニットは、刺激属性の処理の他に、時空間的フィルターの役割も果たしており、視覚システムは局所的な時空間フィルターの集合体であるという見解を提示している。さらに、局所領域間の相互作用を組み込んだ時空間処理機構の計算論的モデルを独自に提案している。これらの考察は、高度な数学的表現と神経心理

学的知見とをふんだんに取り入れた独創性の高いものとなっており，この方面の今後の研究の発展に寄与するものとして評価できる。

以上により，審査委員会は，本論文の著者小島治幸氏に博士（行動科学）の学位を授与することが妥当であるとの結論に達した。