

Title	視覚情報処理の基礎過程 : 機構と特性への心理物理学的接近
Author(s)	三浦, 佳世
Citation	
Issue Date	
oaire:version	
URL	https://hdl.handle.net/11094/36566
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

【5】

氏名・(本籍)	三 浦 佳 世
学位の種類	学 術 博 士
学位記番号	第 8 4 5 7 号
学位授与の日付	平成元年2月28日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	視覚情報処理の基礎過程 —機構と特性への心理物理学的接近—
論文審査委員	(主査) 教授 小野 茂 (副査) 教授 長山 泰久 助教授 中島 義明

論 文 内 容 の 要 旨

ものを知覚するということは、外界の物理化学的エネルギーを生体内において、感覚情報へと変換・処理していく過程にもとづく。

当研究は、視覚情報の視覚中枢における最初の処理（一次処理）を、心理物理学的実験を通して明らかにすることをめざしたものである。

当研究の理論的出発点は、空間周波数分析理論に置かれている。この理論は、70年代以降の視覚の基礎過程研究において、極めて大きな影響を与えたものである。

空間周波数分析理論とは、視野の画像（網膜上の光の空間パターン）を、視覚中枢に存在する複数の機構（チャンネル）によって、異なる空間周波数（単位距離当りの明暗の繰り返し数）の正弦波に分解・統合し、脳内での刺激の再現を行う、と考える視覚理論である。

この理論は、「あらゆる関数は正弦波に分解できる」という数学のフーリエ変換理論にもとづいている。実際、あらゆる輝度分布（すなわち、すべての刺激）は正弦波の和で記述できる。空間周波数分析理論は、視覚系においても、この表現が採用されていると考えるものである。

この理論の特徴は、それまでの伝達関数理論のように、視覚系全体をブラック・ボックスとして捉えるのではなく、視覚系内での処理の段階を限定し、より精緻な形で変換のあり方を理解しようとするところに特徴がある。

この理論のもう一つの特徴は、処理における全体性という考え方にある。すなわち、個々の機構が、視野全体から情報を受け入れ、処理を行うと考える点にある。したがって、分解された個々の要素のいづれにも、視野全体の情報が含まれているということになり、全体とそれを分解した要素、いわば関係

においてホログラフィック (holographic), すなわち, 部分は全体の内にあり, 全体は部分の内にある, と言うことになる点である。このことは, 要素への分解を行いながらも, 従来の要素・構成主義と異なり, 全体性を維持することを可能にする。また, こうした全体処理は, 分析を担う機構が独立して応答するとき, 視野に含まれた情報を失わずに, 情報の処理量を減らす方法を与えることも可能にする。

しかも, 大脳視覚領の単一細胞は, 空間周波数に選択的に応答することが, 神経生理学的に示されている。

このように数学的な伝達関数理論にもとづきながらも, 実際の知覚および神経生理学的実体に相互関連をもつ空間周波数分析理論は, 視覚系での実際の処理のあり方を示し, したがって, 反応の予測を与えるものとして, 大いに注目を集めることになる。

【当研究の意義と特徴】

当研究も上述したように空間周波数分析理論に立脚している。しかし, 当研究で行った検討はこの理論の単なる精緻化ではない。

なぜなら, この理論の前提であり, 特徴である空間周波数分析機構の全体処理および反応の独立性を否定するところから出発しているからである。前提を否定し, 新たな限定を明示することによって, より一層, 現実の視覚系での処理, および実際の知覚を説明する理論に近づくことをめざしたのである。

空間周波数分析理論は, 確かに魅力的な視覚情報処理理論である。しかし, 主張されているように, 空間周波数分析の担い手として, 視覚領に存在する空間周波数選択性をもつ細胞を仮定するなら, あるいは現象自体に着目するなら, 理論の再検討が要求されることになる。

なぜなら, 空間周波数分析理論では全体処理を前提とするが, もし視覚領レベルでの細胞によってその機能が遂行されていると考えるなら, 個々の機構での処理は視野全体に及ぶものではなく, 局所的なものにとどまるはずだからである (このレベルでの個々の細胞の受容野は, 視野全体を覆うことができるほどには広くはないとされている)。実際の知覚においても, 傾斜残効や空間周波数の変位等の現象は, 空間周波数選択的機構が局所的であり, かつ隣接する機構間に空間的相互作用のあることを示唆するものと考えることができる。理論的にも, 空間周波数選択的機構の周波数に対する反応幅がよほど狭くない限り, 空間的には限られた範囲にしか反応できないことが指摘できる。したがって, 空間周波数分析機構は局所的な処理を行っていると考えらるべきであろう。そして, 空間的な限定性が示されるなら, 隣接する機構間の相互作用を考慮することが必要になる。

すなわち, 空間周波数分析の前提である全体処理と各機構の独立性は再検討されねばならない。言い換えると, 周波数次元での理論 (各空間周波数に対する感度の測定によって刺激の検出・知覚が予測できるとする考え) を空間次元の観点 (処理機構の位置, 機構間の距離, 方向を考慮する考え) から再検討することが要請される。

【当論文の構成】

当論文では, 第1部において, 空間周波数分析理論に至る視覚情報処理理論の展開と, 空間周波数分析理論および隣接領域での従来の報告, 空間周波数分析理論における注目点と問題点を示した。この分野の包括的な概観は, わが国ではこれまで紹介されていない。

第2部においては、第1部で指摘された問題点、特に空間周波数選択的機構の空間特性に関する問題を、39種の心理物理学実験、および6種のシミュレーション実験によって検討した。第2部は3章に分かれており、第1章では閾値での実験を通して、処理機構の構造と特性を明らかにした。第2章においては、そうした機構の構造と特性が閾上における見えにおいても成り立つのかどうか、すなわち、理論の線形性を検討した。第3章においては、第1章、第2章を通して得られた結果にもとづく予測が、実際の知覚現象において当てはまるかどうかを、格子の明るさの同化現象において検討した。

第3部は総合論議であり、第1部、第2部を通して初めて論じられる考察を行い、今後の研究の方向を指摘した。

【実験方法】

第2部の第1章、第2章は、正弦波格子に対する検出閾およびコントラスト感を、調整法および強制選択上下法によって測定した。第3章では、短形波格子に対するコントラスト感を極限法によって測定した。刺激布置は、画面全体に1次元の正弦波格子（縦縞）を提示する場合と、正弦波格子の両側あるいは上下に別の正弦波格子を隣接させる場合の2種である。後者においては、独立変数として、格子の空間要因（中心格子の空間周波数とサイクル数、周辺格子の空間周波数とサイクル数、および両格子間の位相関係、距離、方向）と、格子の輝度要因（周辺のコントラスト、画面の輝度水準）を採用した。

【実験結果】

得られた結果のうち、主要なものに関して述べる。

空間周波数選択的機構の空間構造

閾値における、両格子間の距離あるいは中心の格子の大きさを変数とする諸実験の結果は、空間周波数選択的機構が局所的な処理機構であることを示した。さらに、格子間距離を変数とする諸実験の結果は、機構の処理範囲だけではなく、空間的な反応特性を指摘するものとなった。

すなわち、空間周波数選択的機構は、興奮と抑制を5サイクル程度繰り返しつつ反応強度の減衰する、周期性のある拮抗構造をもつものであることが示された。この結果は、下位の機構からの情報の収斂過程のあり方を具体的に示すものであり、たとえ周波数分析の観点を離れても、空間周波数選択性をもつ神経機構の意味づけを与えるものと考えられる。

なお、最も感度のよい3.0cpd (cycle degree: 空間周波数の単位) の格子で示された中央の感度上昇領域の広さは5'であり、この値は、線広がり関数による空間次元でのインパルス応答理論（細線に対する反応の広がりを基礎に、刺激一般に対する反応の予測を行う理論）の示す興奮領域の値と一致する。このことは、空間周波数分析理論とインパルス応答理論が、二者択一的な理論ではなく、対応関係をもつものであることを実験的に指摘するものであり、注目すべき結果と言える。

また、周辺格子の空間周波数を変数とする諸実験の結果は、格子の検出において相互影響をもたらす周波数の範囲を示している。その値（低域側0.9オクターブ、広域側0.7オクターブ）は周波数次元の研究で得られている空間周波数選択的機構の反応特性とよく一致する。しかし、ここで留意すべきことは、当研究で対象としている機構が、従来の知見と異なり、局所処理を行うものとして考えられている点である。

なお、ここで得られた各空間周波数選択的機構の空間周波数特性および、視覚系全体の空間周波数特性から、空間周波数選択的機構には少なくとも、最適周波数の異なる6種の機構が必要であることも示唆された。

空間周波数選択的機構の反応特性

以上の特徴をもつ空間周波数選択的機能は、刺激強度に依存して2種の反応を示した。一つは、周辺格子の強度が低いときに、格子間の位置関係に応じて、感度が上昇あるいは低下するもの（加重効果）であり、いま一つは、閾値の2～3倍の強度を越えたときに、格子間の位置関係に関わらず感度が低下するもの（抑制効果）である。

この結果は、刺激の強度が低いときは、広い空間範囲から情報を集め知覚に至るようにし、刺激の強度が十分であると、各機構の反応を際立たせるとともに反応を一定に抑えるため抑制をかける機序のあることを指摘するものである。

これらの結果は、数理モデルによるシミュレーション実験を通して確認され、機構の構造と特性に関する考察に支持が与えられた。

閾上での特性

さらに、検出ではなく知覚のレベルでの検討においては、加重効果による感度の上昇は示されず、個々の機構は、常に抑制性の相互作用をもつことが見いだされた。このことは、空間周波数分析理論の閾上への拡大において、特に留意すべきことになる。そこで、相互作用のあり方に重点を置いて検討したところ、空間周波数選択的機構の反応の方向に依存して、2種の抑制効果が存在することがわかった。

すなわち、反応方向に直交する方向での側抑制と、平行する方向での拮抗抑制である。前者は感度の低下を、後者は拡大を与えるものであった。

閾上でのこうした結果は、実際の知覚現象と対応するはずである。そこで、2種の抑制効果の存在を確認するとともに、現象に対する説明原理を与える目的で格子の明るさの同化現象を採用して、実験的検討を行った。

その結果、格子の明るさの同化現象において、空間周波数選択的機構の方向に依存する2種の抑制効果の具体的な見えることができた。また、この考え方に基く見えの予測可能性も示され、これまで統一的な説明のなかった格子の明るさの同化現象に、一つの説明原理を与えることになった。

【まとめ】

当研究では、以上のように、周波数次元の理論に対する空間次元からの検討という発想の転換を行い、視覚中枢での最初の処理に関する新たな知見を得ることができた。この発想の転換は理論的には必然性をもつにもかかわらず、これまで行われて来なかったものである。

ここで得られた結果は、集約すれば、各空間周波数選択的機構の構造と反応が、空間的に近接する別の機構との「関係性」において決定され、システム全体の反応も、関係性の内において決定されることを示すものであるということになる。すなわち、空間周波数選択的機構の反応は、近接刺激の強度に依存して性質が変化すること、特に強度が高い場合には、独立性を失い、相互作用をもつこと、しかも、空間的な相互関係は、同時に、システム内での下位の処理段階からの情報の収斂のあり方に依存し、横

の関係が縦の関係によって決定されること、が指摘されたからである。

加えて、空間周波数選択的機構の方向選択性が、局所性ととも、空間周波数分析の精度の上昇に寄与しているという可能性も指摘された。すなわち、種々の方向において空間周波数分析を行うことにより、広い空間周波数選択性しかもたない機構によってでも、ある水準の空間周波数分析を保つことを可能にしていると考えられるからである。

この考えは、従来、対立的に捉えられてきた空間周波数分析理論と特徴分析理論とを、機能の点から統合しうる可能性を示すものである。

空間周波数分析機構の空間次元での検討は殆ど行われていない。特に閾上での相互作用の研究は緒についたばかりである。当研究での結果は、空間周波数分析理論をより実際的な処理理論へと近づける知見を与えるととも、空間周波数分析理論とは対立的に捉えられている理論（インパルス分析理論、特徴分析理論）との統合可能性を指摘した上で、視覚の基礎研究に新たな方向を示したものと言える。

論文の審査結果の要旨

本論文は、今世紀後半にはいってより、視知覚の基礎機制作の解明に有効な手法を提供するものと期待されて研究が始まった「空間周波数分析」に関する研究である。

本論文では、刺激条件について、格子図形の空間要因と輝度要因の諸変数を独立変数とし、閾値及び閾上の知覚反応を従属変数として、視知覚の実験的吟味が行なわれた。この研究において、空間要因の諸変数についての実験的検討、および実験結果に基づく生理学的仮説の提案は、この研究領域に新しい展望をもたらしたものとして評価できる。

この論文は、実験心理学、知覚心理学の研究を中心とするものではあるが、感覚生理学、情報工学とも関連がある学際的なものである。

以上のことから、審査委員会としては、本論文は学術博士の学位授与に値するものとの結論を得た。