

氏 名	梅 村 浩 之
学位(専攻分野)	博 士 (文 学)
学位記番号	文 博 第 123 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	文 学 研 究 科 行 動 文 化 学 専 攻
学位論文題目	3 次 元 情 報 統 合 の 脳 内 過 程

(主査)

論文調査委員 教授 乾 敏 郎 教授 清水御代明 教授 荻阪直行

論 文 内 容 の 要 旨

視覚系は網膜像に含まれる幾つもの3次元手がかりを利用して3次元構造を復元していることがこれまでの研究において分かっている。これらの手がかりの例としては両眼視差や運動視差、テクスチャ、陰影などが知られており、これまでにそれぞれの手がかりに対して研究が行われてきている。しかし、これらの手がかりは常に得られるのでもなく、常に一貫した3次元構造情報を伝達しているのでもない。しかし、我々の知覚する3次元構造は単一のものである。即ち、これらの複数の3次元構造情報をできるだけ外界を正しく復元するように統合しなければならない。本論文では3次元情報の統合過程において、どのように合理的に3次元構造が統合されているかという観点から、心理実験及びデータに基づいてモデルを立て、その数値シミュレーションを利用して検討している。

第1章ではこれまでに得られている3次元情報復元についての知見を心理学実験及びこれまでに提案されているモデルとの両面について概説している。そして、本研究が明らかにすべき問題を呈示している。

第2章ではテクスチャからの3次元構造復元について、テクスチャから得られる複数手がかりの統合という観点から実験及びモデルによる考察を行っている。これまでのモデルはテクスチャが配置の一様性や個々のテクセルの等方性などの仮定を満たしている時には非常によい振る舞いを見せるが、これらの仮定を満たしていないテクスチャに対して（このようなテクスチャは頻繁に外界で生起する）誤った推測を行うことが予測された。また、モデルによっては非常に複雑なパラメータの制御が必要となる。本モデルはテクスチャについての仮定に柔軟性を与えることによって、画像に先立ってパラメータを与える過程を排除した。このモデルは、これまでのテクスチャからの形状復元モデルが人間と異なるパフォーマンスを示すであろう仮定を満たしていないテクスチャからの3次元構造の復元においても、人間と同様のパフォーマンスを示すことが可能であることが、数値シミュレーションによって示された。

輪郭線のみで定義される一つの投影像に対して、無限の3次元構造が対応するにも関わらず、人間は単一の3次元形状を知覚している。第3章では四角柱及び三角柱の投影像を利用し、人間の輪郭線からの3次元形状知覚に影響を及ぼす要因を探るため、上面の縦横比、柱体の高さを操作し、知覚される上面、側面の傾きについて定量的なデータを収集した。その結果、Brady&Yuille (1984) が紹介したコンパクト性の測度が人間のパフォーマンスとよく一致することが分かった。上面と側面が直交するという仮定、見えの安定性、コンパクト性を考慮したモデルのシミュレーション結果は実験の結果とよく一致し、これらの3次元構造や平面形状についての先見知識が人間の3次元構造復元において利用されている可能性を示唆した。

第4章では陰影とテクスチャの統合について実験及びモデルによる考察を行った。特にここでは表面の反射率係数が変化することによって知覚される構造がどのように変化するか、更に詳しく言うと3次元構造の知覚に及ぼすテクスチャ手がかりと陰影手がかりの影響がどのように変化するかを検討した。実験から面が明るい条件と暗い条件を比べた時、暗い条件においてよりテクスチャを重視するという結果が得られ、つづく考察においては第2章と同様にベイズ推定の枠組みを基にし

たモデルによる実験結果の解釈を試みた。特に与えられた画像と知覚される画像との関係について詳細に考察されたこのモデルは実験の結果を簡潔に説明することができた。

第5章においてはテクスチャから得られる手がかり：扁平率手がかりと密度手がかりの統合における異方性の検討が行われた。異方性は両眼視差、運動視差を使った実験においても得られる現象である。実験においては扁平率手がかりと密度手がかりを操作した画像を用いて異方性の影響を検討した。その結果、扁平率手がかりが異方性によって示す傾向は両眼視差や運動視差と同様、軸が水平であるときに3次元構造がより正確に知覚されるというものであったのに対し、密度手がかりは逆の傾向を示した。この結果を人間を取り巻く環境や行動と関連させて考察した。

第6章では、これらの結果を総合して考察し、3次元情報統合を確率推定として捉えるという枠組みについて議論する。

論文審査の結果の要旨

本論文は視覚系における3次元構造復元および3次元情報の統合問題をあつかっている。心理学やコンピュータビジョンの分野において単一の手がかりからの形状復元についてはかなり研究が進んでおり、その結果として近年複数の手がかりが得られるときにどのように各々の出力を統合し最適な最終出力を得るかについての研究が注目されている。本論文では視覚系が3次元構造復元のための方略として最大事後確率推定を用いているとして議論が進められている。これは、ある画像が与えられたときに外界において生起していた確率が最も高い3次元構造を知覚しているとするものである。このように、視覚系が用いているであろう方略を明確にし、数学的な枠組みを用いて統一的に様々な手がかりからの3次元構造復元および統合を説明しようとしている。

また、本論文は、これまでに提案されてきた枠組みを単に転用しただけではなく、これらの基礎に新たな枠組みを提案している。これは論文にも触れられているように属性の協調と呼ばれる推定過程を3次元構造の復元に関して本格的に取り入れるというものである。この考え方を数理モデルを用いて人間のデータと照らし合わせようとする試みも含めて、高い独創性が見受けられる。

第2章においては心理実験で得られた新たな知見を説明するために、過去の研究において利用されたベイズ推定の枠組みを利用している。ここで構造推定のみならず表面テクスチャ手がかりの状態の推定をも同時に行おうという新たな試みが見られる。このモデルにおいては、これまでのモデルが仮定してきた信頼度による重みの操作という過程を取り除いたモデルで実験データを良く説明できることが数値シミュレーションによって具体的に示されている。また、この第2章で得られている心理学的な知見はその現象自体に新奇性が認められるものである。テクスチャの持つ規則性がなんらかの影響を持つであろうことは以前から知られていたが、テクスチャ要素が点で表される条件と円盤で表される条件を用いることにより、規則性の影響がどのような条件下で見られるのかを明らかにしている。

第3章においては輪郭線からの3次元構造復元について検討している。輪郭線からの3次元構造復元については、輪郭線が3次元構造復元手がかりとして有用であるということは古くから知られていたが、精神物理学実験としてはほとんど取り上げられてこなかった。一方で、コンピュータビジョンにおいては多くの知見が蓄積されており、本章ではこれらの知見を踏まえた上で輪郭からの3次元構造知覚を論じ、過去の研究において提案されてきた3次元構造復元の方略のうち、人間の用いている方略として最も妥当なものはコンパクト性の測度の最大化であるとしている。また、考察ではさらに見えの安定性というアイデアが組み込まれている。見えの安定性はいくつかの研究において触れられてはいるものの、人間のデータの説明に利用しようとする試みはこれまでなかった。この考えを積極的に取り入れ、数値シミュレーションを行うことによって、人間の定量的な3次元構造の知覚を正確に記述することに成功している。この成果によって人間の知覚する3次元構造の予測がさらに正確になることが期待される。

第4章においては陰影とテクスチャの統合が取り上げられている。陰影とテクスチャの統合についてはこれまでも多くの研究において取り上げられてきているが、本章では面の反射率、すなわち面の明るさが二つの手がかりの統合に与える影響をはじめ実験的に取り上げている。その結果、反射率が大きいときには3次元構造の知覚において陰影手がかりが重視され、反射率が小さいときにはテクスチャが重視されるという結果が得られている。さらに、この現象が2章、3章で取り扱ってきた枠組みと同じように最大事後確率推定の枠組みで説明できることを示しており、この研究の方針の正しさを裏付け

るものとなっている。また、この結果は陰影からの形状復元とテクスチャからの形状復元を同時に行うときに予測された問題、つまり、陰影から形状を復元するためには事前にテクスチャによって規定される反射率を知る必要があるのだが、この一方で形状が復元できないと反射率を得ることが出来ないという問題に対して明確な枠組みを与えることによってこの問題が回避できることを示している。この成果は陰影とテクスチャという単眼静止画像から3次元構造を復元するためのよりよい推定方法を提示しており、応用の面から見ても重要な成果であるといえる。

第5章においては3次元構造の知覚における異方性について取り上げている。3次元構造の知覚における異方性は、これまでも両眼視差や運動視差などの手がかりで報告されているが、ここではテクスチャから得られる手がかりに対する異方性を論じている。ここで示された密度手がかりと扁平率手がかりで異なる方位の効果が見られるという実験結果は、これまで両眼の位置の関係や、運動における速度場との関係によって論じられてきた異方性についての説明に新たな知見を付け加えるものであり、今後の研究に対して重要な役割を果たすであろう。

このように、本論文は3次元構造からの構造の復元および統合について重要な知見やモデルを与えている。しかし、幾つかの問題点も残している。例えば全体を通して大きな枠組みとしての理論は示されているものの、視覚系の神経レベルでの処理と突き合わせた考察がなされていない。また、第3章における見えの安定性と他の章で紹介されているモデルとの関係についてほとんど触れられていない。しかし、これらの問題点の解決は論者の今後の研究の発展に期待すべき所であって、本論文の価値をおとしめるものではない。むしろ本論文は視覚情報処理を事後確率推定の枠組みで再考し、その妥当性を示したことにより、3次元構造の復元と統合の研究における確かな方向性を与え、視覚研究にコンピュータビジョンの成果を人間の視覚系の理解という理念のもとで結び付けた研究成果であるといえる。

以上、審査したところにより、本論文は博士（文学）の学位論文として価値あるものと認められる。なお1999年1月11日に調査委員3名が論文内容とそれに関連した事柄について口頭試問を行った結果、合格と認めた。