

審査の結果の要旨

氏名 岡本 剛

“ A Study on the Topography of Orientation Tuning and Contextual Modulation in Primary Visual Cortex ” と題する本論文は、生理学および解剖学的知見に基づいた大脳皮質一次視覚野の画期的なモデリングと大規模な計算機シミュレーション、さらに光学計測データの解析によって一次視覚野の方位選択性と刺激文脈依存性のメカニズムに新たな説明を与え、それらの詳細な地勢図（トポグラフィ）の予測を試みたものである。本論文は6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究が対象とする一次視覚野の機能と構造について、ヒューベルとウィーゼルの研究から始まる過去の一次視覚野研究を紹介し、近年の計測技術の進歩によって新たにわかった構造と機能に関して詳しく説明している。しかしながらこれらの構造と機能との関係は未だ系統的に説明されたとは言えず、それを行うことが本研究の目的であると述べている。

第2章は、本論文で提案する一次視覚野のモデルを説明している。本論文で提案するモデルは、4C層からの入力を受け取り2/3層の水平結合を介して相互作用するモデルで、解剖学的知見に基づき2/3層内の水平結合は等方的な結合を仮定している。また、方位マップに関しては、まずヒューベナーらが計測した方位マップについてピンウィール特異点の構造を解析し、ピンウィール特異点が蜂の巣状に配列するハニカム構造を発見したとしている。2/3層における方位マップの幾何学構造は、このハニカム構造に基づいてモデル化されている。

第3章は第2章で導入したモデルを用い、一次視覚野の方位選択性が入力に対して先鋭化される現象および刺激文脈依存性の現象を再現している。さらに等方的な水平結合を通じた全経路を考慮したネットワークの振る舞いを理論的に求め、モデルから求めた方位コラム分布の周期性と併せてそれらのメカニズムを説明している。これまでの研究は特殊な水平結合を仮定してこれらの現象を再現していたが、等方的な水平結合であっても方位コラム分布に周期性があることによってこれらの現象が再現可能であることを示したことは意義があるとしている。

第4章は、方位選択性の先鋭度と刺激文脈依存性の強さが場所によってどのように異なるかを数値シミュレーションで予測している。その結果、方位選択性は特異点近傍が弱く、特異点から離れるについて鋭いチューニングを示す傾向があり、これは結合強度関数の抑制/興奮比を変えても保たれるため安定な性質であることが示され

たとしている。一方、刺激文脈依存性に関しては、抑制／興奮比が比較的大きい結合を仮定すると方位選択性と同様に特異点近傍では弱く特異点から離れるにつれて強くなるが、抑制／興奮比が比較的小さい結合を仮定すると逆の結果を示したと報告している。抑制性結合は興奮性結合よりも安定で強い生理学的結合強度を持つことが知られているため、抑制性が弱い仮定は意味がないかもしれないが、順応等で結合強度のバランスが変化することはありうる。その場合、刺激文脈依存性は場所によってその効果を変えることが示唆されるとしている。

第5章は、サル的一次視覚野に光学計測を行って得られた方位マップデータを解析し、本論文で提案されたモデルが正しく現象を説明・予測しているのかを検証している。解析の結果、サル一次視覚野の光学計測データは、本論文で提案した方位マップモデルと非常によく似た空間分布の傾向を示したことにより、本論文で説明されたメカニズムおよび予測された現象の妥当性が示されたとしている。

第6章は結論で、一次視覚野の等方的な水平結合によるネットワークの相互作用と方位マップの周期的な方位コラム分布によって、方位選択性の先鋭化と刺激文脈依存性メカニズムを説明し、方位選択性と刺激文脈依存性のトポグラフィーを予測したとしている。そしてサル的一次視覚野で光学計測した方位マップを解析することで上述の説明や予測の妥当性を示したと結んでいる。

以上を要すれば、本論文は、大脳皮質への視覚情報の入り口である第一次視覚野に対してモデル化を行い、周辺刺激文脈依存性のメカニズムなど未解決問題を明らかにしている。また、光学計測のデータによってモデルで提案している情報処理メカニズムの存在を検証している。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。