

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 村上 慎吾

本論文は、「海馬 CA3 モデルを用いた脳磁場発生機構の定量的解析」と題し、神経細胞活動に伴う脳磁場の起源について、ギニア豚海馬 CA3 スライスを対象とした精密なモデルを構築して定量的解析を行ったものであり、6章よりなる。

第1章「序論」は、本研究の背景と目的、ならびに本論文の構成をまとめたものである。特に MEG(Magnetoencephalogram) の起源を明らかにするために、細胞数が数百～数千と少ないスライスを使った実験とそれに対応する理論・数値解析の重要性を述べている。

第2章「計算論的神経科学」は、本論文の解析の基本となる細胞モデルと、その膜電位や電流について解析を行うために必要な理論を展開したものである。化学的ポテンシャルと電氣的ポテンシャルの関係や、磁場発生に関する電磁氣的な理論をまとめている。また、近年膜電位の時空間的な振舞いを詳細に記述するために発展している Traub らによる細胞モデルを、細胞内外の電流およびそれに伴う磁場の評価に利用するために改変し、適用する方法を示している。これに続く3つの章における解析の基礎的アイデアを述べたものである。

第3章「海馬によって発生する磁場の数学的解析」は、海馬スライスの磁場計測結果と数値解析結果を比較してその同一性を示し、提案するモデルによってはじめて定量的に細胞活動磁場の時空間的变化を再現できたことを示している。それによって、細胞体刺激時の2つの磁場フェーズおよび先端樹状突起刺激時の3つの磁場フェーズの起源となるイオンチャネルの動作を明らかにしている。またその結果

を利用して、幾つかのチャンネルをブロックした場合に得られる磁場波形の意味付けが可能であることを示し、本解析方法の有効性を提示している。

第4章「細胞外電流による MEG の計算」は、細胞外電流によって発生する磁場の大きさと波形を評価している。また、計算手法に高い精度と短い計算時間を実現する方法を提案し、採用している。計算の結果、細胞膜に対応する導電率変化のみを考えた場合には、細胞外電流による磁場は非常に小さいことが確認された。また同時に、スライス計測の場合にはスライス・環流液間の導電率変化も考慮されなければならないことが示されている。

第5章「各イオンチャンネルによって発生する MEG の解析」は、各イオンチャンネルおよびシナプスごとに磁場の生成要因を分離して解析する方法を考案し、その導出方法と有用性について述べている。具体的な解析の結果、第3章で述べた2相波および3相波の応答は、関与している複数のイオンチャンネルによる電流の打ち消し合いとその動作遅延時間の相異によって生じていることが、定量的に示されている。

第6章「結論」は、本論文を総括するとともに、今後の展望を行っている。特に今後、本論文が提案するような計算論的神経科学の手法が、マクロな脳機能解析とミクロな生理実験とのギャップを埋めてゆくと期待されることが述べられている。

以上を要するに、本論文は、神経細胞活動に伴う磁場についてその起源を明らかにするために、定量的な解析を可能とする細胞モデルと計算方法を提案および構築し、実際に生理実験との比較を行うことによりその有用性を示したものであり、電子工学特に生体情報工学および神経科学に貢献するところが少なくない。

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。