

論文審査の結果の要旨

氏名 山口 郁博

本論文は6章からなり、第1章では本研究の背景ならびに目的が研究全体の概要とともに記述されている。生命現象を理解するための数理的解析方法の構築とその応用による新しい洞察の獲得が必要であること、本研究においては、生命科学に共通に見られる「遅延」「確率」「結合」の3つの数理的要素に焦点を当て、有効な近似解法を示し複雑な現象の理解を深めることを目的とすることが述べられ、さらに本研究での具体例としては皮質-視床モデルと遺伝子発現モデルをとり上げることが述べられている。

第2章では皮質-視床モデルと遺伝子発現モデルについて生理学的・生物学的背景とともにモデル式が記述されている。さらに、従来の手法では解析的な取り扱いが困難であることを指摘した後に、本研究における解決手法の着眼点と概要が述べられている。

第3章ではモデルのダイナミクスを低減する手法を提案している。はじめに、モデルパラメータおよび時間変化のスケールに着目し低減する方法が提案され、皮質-視床モデルと遺伝子発現モデルにおけるシミュレーションによって、低減の妥当性が示されている。次に、遅延微分方程式において随伴固有関数を用いた縮約法が提案されている。この手法は中心多様体縮約と呼ばれる方法に基づいているが、本研究では摂動によって系が中心多様体から離れた場合への拡張が示されている。さらにこの手法を発展させ、分岐点近傍における位相応答関数の解析的導出にも成功している。

第4章では第3章で示された随伴固有関数を用いた縮約法を結合が含まれる場合に拡張している。そして、この枠組みを皮質-視床モデルに適用することにより、元の方程式が皮質-視床ループのフィードバックが比較的弱いときには実 Ginzburg-Landau 方程式に、強いときには複素 Ginzburg-Landau 方程式に縮約されることを明らかにした。さらに、縮約された複素 Ginzburg-Landau 方程式を用いることで、てんかん様脳波の解析手法の提案

がなされている。ここでは焦点性てんかんを、不活性な振動子と活性な振動子の拮抗として捉え、さらに多体問題を二体問題に近似的に還元する手法（拡張二体近似）を提案している。そして、解析的に導いた振動状態がシミュレーションと整合することを示している。

第 5 章では安静時脳波の解析を念頭に、皮質-視床モデルの確率微分方程式としての側面に着目した解析法が提示されている。はじめに線形化方程式の周波数応答の解析式が脳波計測実験の結果と整合することが示された後に、第 4 章で導出した実 Ginzburg-Landau 方程式のパラメータや自由エネルギーを実測脳波から求める手法が提案され、実験結果との整合性が議論されている。

以上、設定した課題に対して構築した理論、シミュレーションおよび実験による検証に基づき、第 6 章で結論と今後の展望について総括している。なお、本論文第 3 章、第 4 章、第 5 章は、小谷潔、神保泰彦、中尾裕也、小川雄太郎との共同研究であるが、論文提出者が主体となって理論構築、シミュレーション、実験、解析を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。従って、博士（環境学）の学位を授与であると認める。

以上 1275 字