

8 まとめ

本研究は、ヤリイカ軸索における温度と外部イオン環境に関する挙動を、非線形システムとしてとらえて解析し、その挙動が生物物理的にどのような構造から生まれるかについて一つの考察を行ったものである。まず、ヤリイカ軸索における電気生理実験のデータを基に、温度をパラメータとしたときの発火パターンの分岐現象において、間欠カオス Type-III を観測した。次に計算機シミュレーションを行ない、このような分岐現象が軸索膜の閾値下振動に密接に関係する非線形相互作用によるものであることを示した。このことによって、Hodgkin-Huxley 方程式それ自体ではカオスを引き起こすために不足していた系の自由度が、閾値下振動成分の存在を考慮することによって補完されるのではないかということを示した。そして、この自励発振の複雑な電氣的現象の背後に、軸索膜の膜骨格構造による電位依存性チャネルの偏在性が密接に関係しているという可能性があるのではないかという仮説について検証するためシミュレーションを行った。

最近の研究では、骨格筋表面膜に関するシミュレーションの研究の中で、生理実験との相関関係はないものの、自律系における Hodgkin-Huxley 方程式が周期倍分岐によるカオス様の発火現象を再現 [65] するなど、この神経方程式の特性がさらに明らかになりつつある。しかしながら複雑な微分方程式を解く数値計算によって得られるカオスにはまだ多くの議論の余地があり、本研究のように分岐構造を手がかりとして、数値計算と生理実験との一致について考察する方法が不可欠であると考えられる。

一方、最近では神経細胞の担う情報処理あるいは情報伝達の中に、細胞の発火頻度による情報コーディングだけではなく、発火スパイクタイミングについても重要な情報コーディングが行われているのではないかという議論が最近活発になってきている [66, 67]。神経細胞の発火パルスが情報伝達の重要な担い手であるとすれば、本研究に見られるような相変化に伴う複雑な発火パターンは、情報伝達の重要な形態の一つであると考えられる。発火スパイクタイミングは生物の物理的な性質が強く関与する問題であり、本研究のような非線形系あるいは生物物理的な研究方法が、生物の情

報処理に関する構成的研究の一方法として重要になると考えられる。また興奮の伝播には、神経細胞の三次元構造が関係する可能性が十分考えられる。

これら生物の神経系が作り出す複雑発火パターンにどのような情報処理的性質があるかについて、ニューロンモデルなどを用いた構成的研究を用いて機能面での情報処理の性質を明らかにしていくこと、あるいは本研究において考察したチャンネルと軸索膜構造の物性について実験を通して明らかにすることなどを、今後の主要な研究課題としていきたい。前者については第6章のまとめでも述べたが、現在ボリュームレンダリングなどの画像処理技術を用いて、三次元構造を考慮した膜興奮現象のシミュレーションに着手しているところである。

本研究における軸索の電氣的挙動が、膜骨格構造のレベルから完全に解き明かされ、さらにはその情報処理としての意味が把握されるまでにはまだ多くの課題が残されているが、本研究の解析が有益な手がかりになることを期待する。