

京都大学	博士 (医学)	氏名	田中 琢真
論文題目	<b>Recurrent infomax generates cell assemblies, neuronal avalanches, and simple cell-like selectivity</b> (リカレント情報量最大化原理はセルアセンブリ、神経雪崩、単純型細胞の選択性を説明する)		
(論文内容の要旨) 近年、神経細胞活動の計測技術の発達にもなって神経回路網の活動が明らかになりつつある。例をあげれば、振動・同期現象、繰り返し発火パターン、神経雪崩現象、回路網全体の状態遷移、刺激選択性などが <i>in vivo</i> , <i>in vitro</i> で多数報告されている。現状ではこれらの活動はそれぞれ別個のものとして研究・報告され、考察されているが、しかしこれらの活動はすべて本来同一の神経回路網が発現しているものであるから、これらに統一的な解釈を与える理論が構築できるはずであり、またそのような理論は神経科学にとって必要である。本論文では、繰り返し発火パターン、一次感覚野における刺激選択性の成立、神経雪崩現象、連続提示される時空間パターンの記憶・再生を説明・実現できる原理として、リカレント情報量最大化原理を提案し、その理論的な帰結を考察する。この原理は、「大脳新皮質などリカレント結合を持つ神経回路は情報保持効率について最適化されている」というものである。本原理は、「生物は進化的に最適化されており、中枢神経系は生物の環境に対する適応能力を高めるために進化したものであるから、中枢神経系の情報処理・保持効率が最大化されているはずである」という議論から正当化できる。情報理論に基づいて情報を定義すれば回路網の情報保持効率を定義することができ、本原理を適用できる。本原理に基づいて、神経回路網モデルの情報保持効率を最適化する学習方程式を理論的に導き、回路網モデルと学習方程式を計算機でシミュレートして、その挙動を検討した。その結果、外部入力がない状況下では、回路網モデルの情報保持効率を最大化すると、同一の発火パターンが繰り返し出現することがわかった。情報保持効率について最適化されていない回路網では比較的少数の繰り返しパターンしか出現しないため、実験的に確認されている繰り返し発火活動は実際の神経回路網が情報理論的に最適化されていることを示唆するといえる。またこのモデルで神経細胞の発火の信頼性を低下させるとモデル回路網は連続発火-発火停止を繰り返し、連続発火中ののべ発火細胞数の分布が冪則に従うことがわかった。これは既に報告されている神経雪崩現象に類似しており、冪も一致している。さらに外部入力として自然画像入力を与えるとモデル回路網の神経細胞は皮質一次視覚野の単純型細胞に類似した選択性を示すようになること、外部入力として特定の時系列入力を繰り返し与えると神経回路網は時系列入力が与えられていない時でもその時系列を自発再生するようになることがわかった。以上のように、リカレント情報量最大化原理は繰り返し発火パターンの出現、刺激選択性の成立、時系列の記憶・想起、神経雪崩現象など、既に実験的に報告されている皮質神経回路網の挙動を多数統一的な観点から説明できることが明らかになった。このことは情報量最大化が皮質神経回路網の動作原理であることを示しているといえる。			

(論文審査の結果の要旨) 本研究は、中枢神経系における神経細胞の発火活動を情報理論の観点から整理し、理解するための理論を構築したものである。 従来、理論神経科学ではボトムアップとトップダウンの二つの方向性がある。ボトムアップ型の研究では個々の神経細胞の特性を精密にシミュレートし、このモデル神経細胞を組み合わせて回路全体の挙動を再現しようとするものであり、トップダウン型の研究では神経回路網が何らかの目的に最適化されていると仮定して、その目的を実現するための回路を構築する。 申請者はトップダウン式のアプローチを取り、中枢神経系のリカレントネットワークが情報保持・伝達効率について最適化されていると仮定し(リカレント情報量最大化原理)、この仮定に基づいて神経細胞同士の結合強度を変更する学習方程式を導いた。この学習方程式を使ってモデル神経回路網を構築し、計算機シミュレーションを行うと、皮質感覚野における刺激選択性、繰り返し発火パターンの出現、神経雪崩現象が再現されることが示された。これらの活動は実際の実験系で報告された現象であるが、本研究によって初めて理論的に統一的な説明を与えることができた。また、このことから中枢神経系のシナプスの学習が情報量最大化原理に従うものであることも示唆される。 以上の研究は中枢神経系における情報処理過程の解明に貢献し、神経科学の進展に寄与するところが大きい。したがって、本論文は博士(医学)の学位論文として価値あるものと認める。 なお、本学位授与申請者は、平成20年12月4日実施の論文内容とそれに関連した試問を受け、合格と認められたものである。
--

要旨公開可能日： 年 月 日 以降