

|             |                                                                                                                                                                                         |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | 井 上 真 郷                                                                                                                                                                                 |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (医 学)                                                                                                                                                                               |
| 学 位 記 番 号   | 医 博 第 2623 号                                                                                                                                                                            |
| 学位授与の日付     | 平 成 15 年 3 月 24 日                                                                                                                                                                       |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                                                                                                                                                 |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 医 学 研 究 科 外 科 系 専 攻                                                                                                                                                                     |
| 学 位 論 文 題 目 | On-Line Learning Theory of Soft Committee Machines with Correlated Hidden Units—Steepest Gradient Descent and Natural Gradient Descent—<br>(隠れ層に相関があるソフトコミテーマシンのオンライン学習理論—最急降下法と自然勾配法—) |
| 論文調査委員      | (主 査)<br>教 授 金 子 武 嗣      教 授 佐 藤 俊 哉      教 授 伊 藤 壽 一                                                                                                                                  |

### 論 文 内 容 の 要 旨

人間の脳の持つ多彩で柔軟な機能の解明は、脳科学、医学全般の最も大きなテーマの一つである。脳の神経回路網の情報処理モデルとして、よく知られたものに『パーセプトロン』が挙げられる。これは個々の神経細胞が、複数の入力信号に各々のシナプス結合強度を掛けた合計値をシグモイド関数を通して出力する、という単純な数理モデルで、シナプス結合強度を学習によって変化させることで、音声や画像などの任意のパターンを記憶、認識させることができる。

学習アルゴリズムは様々なものが提案されているが、記憶、認識という最終的な機能を達成するのが精一杯で、生理学的、分子生物学的な知見とも合致するような学習方法は未だ発見されていない。また逆に、人間が学習するのと同程度に速やかに効率よく学習するアルゴリズムが発見されれば、同様のシステムが生物学的な制限の下、脳でも採用されているのではないかという予測が成立し、脳機能解明の手掛かりとなり得る。

そこで、数学的には単純だが、学習過程でプラトーと呼ばれる、学習成績が殆ど向上しない一期間を持つ『最急降下法』と、やや複雑になるが、このプラトーが殆ど見られない『自然勾配法』の二つを比較検討し、神経回路網という構造が本質的に持っている、学習に関する特徴、困難さの一端を明らかにした。自然勾配法は、パラメータの設定の仕方に影響されない学習方法であり、パラメータ設定に依存する最急降下法よりは、脳の実際の情報処理方法を近似している可能性が高い。

簡単のため、パーセプトロンよりも若干単純な構造を持つ『ソフトコミテーマシン』を使用した。また、手本の神経回路網を予め用意し、これのシナプス結合強度を、同型構造の神経回路網が如何に学習していくかを解析した。具体的には様々なパターンを順次提示し、その都度、手本の神経回路網と同じように反応するよう、シナプス結合強度を少しずつ変化させた。また、一度提示したパターンは二度と繰り返して用いない(『オンライン学習』)手法を採用した。更に、統計力学的手法を用いて、システムの特徴を抽出した。

その結果、手本の神経回路網の低次の神経細胞が互いに似通った信号処理をしている場合、システムの対称性が高まるため、最急降下法ではプラトーが極端に増大して学習スピードが遅くなる一方、自然勾配法はこれに殆ど影響されず、速やかに学習した。また、プラトーが生ずる場所(『鞍点』)周辺では、最急降下法では、鞍点から離脱する速度が、鞍点に近づくにつれて0に一次収束しているのに対し、自然勾配法では無限大に発散しており、このことが、最急降下法が鞍点周囲からなかなか抜け出せずプラトーとなり、自然勾配法では鞍点を避けてプラトーが起こらない原因であることが分かった。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

近年、脳機能は様々なレベルで解明されつつある。特に神経細胞の発火様式や、シナプス結合の変化など、ミクロの機能について多くの知見が得られている。しかしながら、これらミクロの知見から、記憶、認知、言語といった脳の高次機能を説明することは、あまりできていない。これは、脳を構成する神経細胞の機能が分かることと、それらが集まった時の全体

の機能が分かることとは、別問題ということを示している。この、ミクロとマクロを橋渡しする研究が本研究で、神経細胞をモデル化してネットワークを構成させた時に、どのような学習能力を持つのかを研究した。

具体的には、ソフトコミティーマシンと呼ばれるニューラルネットワークモデルについて、最急降下法と、自然勾配法という二つの学習モデルを比較検討した。これらのモデルは、小脳で使われている可能性があり、従来は特殊な条件下での研究しか行われていなかったが、本研究で一般的な知見を得た。

その結果、比較的判別が易しい認識問題においても、最急降下法では学習が遅く、難しい問題では更に学習が停滞することが分かった。一方、自然勾配法では、問題の難しさに殆ど影響されず、学習がスムーズに進むことが分かった。このことは、数学的な解析でも裏付けられ、二つの学習モデルの本質的な差異を生み出していると考えられた。

以上の研究は、脳の学習の基礎理論として脳機能の解明に貢献するところが大きい。

従って本論文は博士（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15年3月5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。