

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 松田源立

本論文は、トポグラフィックマッピングの自動形成の新しいモデルを提案しているものである。従来のトポグラフィックマッピングの自動形成モデルの研究は、神経生理学的な知見に基づいているとともに、計算量が少なく工学的にも適しているため、KohonenのSelf Organizing Map(SOM)に代表される局所的相互作用を利用した自己組織化に基づくものが中心となっている。一方で、大域的な関係を用いることで局所的な関係からは見いだせないトポグラフィックマッピングが構成される可能性があること、また、局所的なモデルでは内在的に局所最適解を避けることが難しいという問題があることから、大域的な関係性を考慮したトポグラフィックマッピングの自動形成にも重要性がある。しかしながら、大域的な計算では、原理的には全てのニューロンのペアが計算対象となり、計算量が莫大となるため実際的なデータに対して計算ができず研究が進展してこなかった。このような背景のもとで、本論文では、大域的な関係性を考慮したトポグラフィックマッピングの自動形成について、まず理論的に、

1. ある条件を満たす場合は効率的に計算可能であること
2. ある条件を満たす場合は大域的最適性が保証されるものであること
3. 上記の1.の条件を満たさない場合でもツリー法を用いることである程度の計算の効率化が可能であること

が示されるとともに、実験により

4. クラスタを構成するように人工的に生成したデータからクラスタを再構成可能であること
5. 両眼視を模した実験などで興味深いトポグラフィックマッピングが形成されること
6. 出現単語の類似性に基づきネットニュースの記事群から特徴の抽出が可能であること

が示されている。

まず、1.では、トポグラフィックマッピングの自動形成を次元縮約の観点から捉え直し、次元縮約を行う一手法である多次元尺度構成法(MDS)に確率勾配アルゴリズムを適用したときに、MDSの代表的な指標である、古典的多次元尺度構成法の指標、および、SSTRESS指標については、局所的要素と大域的要素が分離可能であることが導かれ、それを利用することで指標の勾配計算の一回のステップがニューロン数 $N$ に対して $O(N^2)$ ではなく $O(N)$ で計算可能であるという重要な結果が示されている。このトポグラフィックマッピングの自動形成モデルは大域写像分析(GMA)と名付けられている。(第2章)

2.では、古典的MDSの指標を用いた場合に、GMAで求められる解の大域的最適性が保証されるものであることが証明されている。(第2章)

3.では、大域的な計算が上記の1.の条件を満たさない場合でも、天体物理学などで多体問題を近似的に計算するために用いられる手法であるツリー法を用いることで、効率化が可能であることが示されている。(第5章)

4. では、クラスタを構成するように人工的に構成したデータから、GMAによりクラスタが再構成されることが示されている。まず、古典的MDSの指標を用いたGMAによりクラスタが形成されることが示されている。次に、SSTRESS指標を用いた場合はクラスタ中のデータの相関が低い場合はGMAによりクラスタが再構成されないことが示されている。これは局所最適に陥るためと考えられ、古典的MDSの指標を用いたGMAで保証されている大域的最適性の有効性を間接的に示す結果となっている。また、クラスタの階層があるようなデータに対して、新たに導入したLOGSTRESS指標を用いると階層のあるクラスタが再構成されることが示されている。これはGMAが高い能力を持っていることを示すものである。(第5章)

5. では、さまざまな入力に対してトポグラフィックマッピングが形成されることが示されている。まず、自然画像を入力としたトポグラフィックマッピングの自動形成の実験により、網膜部位対応が形成されることが示されている。(第2章) また、幾何図形(三角形)を連続的に変形しながら入力として与えて、GMAによりトポグラフィックマッピングが形成されることが示されている。さらに、入力空間を2つに分け両方に同じ入力を与えることで両眼からの入力を模した実験で、2つに分割された空間の対応する部分が出力空間で同じ位置に対応するようにトポグラフィックマッピングが形成されることが示されており、興味深い。また、入力空間を2つに分けそれぞれに独立な入力を与えると、独立なトポグラフィックマッピングが形成されることも示されている。(第3章) 更に、トポグラフィックマッピングの自動形成の数値実験を行い、高速焼き鈍し法に比べてGMAの方が残誤差および計算時間という点で有利であることが示されている。(第3章)

6. では、実データとしてネットニュースの記事を2次元にマップすることで記事群から特徴を抽出している。このマッピングの形成では、古典的MDSの大域的最適解となるトポグラフィックマッピングを形成しておいてから、SSTRESS指標を用いて最適化するというアイデアで、SSTRESS指標の局所最適に陥らずに古典的MDSよりもシャープなトポグラフィックマッピングが得られることが示されている。この結果をSOMで得られた結果と比べることで、SOMでは発見できなかったクラスタが発見できることと、SOMでは顕在しない軸(単語数)がGMAでは顕在するなど、従来発見されなかった大域的な構造が検出できていることが示されている。(第4章)

以上のように、本論文は、従来研究されてこなかった大域的な特徴に基づいたトポグラフィックマッピングの自動形成の新しいモデルとしてGMAを提案し、理論(1.,2.,3.)と実験(4.,5.,6.)により、可能性と有効性を示したものである。これは、従来、あまり研究されてこなかった大域的な関係性の研究に突破口を開いたものであり、この分野に広く貢献していくものと考えられる。以上のことから、本論文は博士(学術)の学位論文としてふさわしいものであると審査委員会は認め、合格と判定する。