

神経結合断裂がもたらす感覚不確実性の推定異常 —再帰型神経回路モデルを用いた精神疾患モデリング— Unusual sensory uncertainty induced by synaptic disconnection

1W143133-0 宗近 亮弥 指導教員 尾形 哲也 教授
MUNECHIKA Ryoya Prof. OGATA Tetsuya

概要： 精神疾患に対するこれまでの研究により、さまざまな脳機能を支える各機能レベルについて知見が得られてきている一方で、それらの関連性については未知の部分が多い。これらの精神疾患のメカニズムを理解するために脳の計算モデルを用いる研究がなされている。本研究では、主に統合失調症に観察されている異なる脳領域間の神経結合の断裂が感覚不確実性の予測に影響すると仮説を立て、再帰型神経回路モデルを用いて検証を行った。

キーワード： 精神神経疾患, 再帰型神経回路モデル, 神経結合断裂, 感覚不確実性

Keywords: Psychiatric disorder, Recurrent neural network model, Disconnection, Sensory uncertainty

1. はじめに

これまでの精神神経疾患に関する研究から、遺伝変異や、神経回路の変異、認知機能の変異など脳機能を支える各機能レベルでの知見が得られてきているが、それらの結びつきについては不明な部分が多い。近年このような問題に対して計算論的神経医が用いられている。計算論的神経医学とは、学脳の計算モデルを応用することで精神神経疾患の病態メカニズムを理解し、異なるレベルでの仮説の橋渡しをしようとする試みである [1]。これらの取り組みの一環として、出井ら [2] は再帰型神経回路モデルと実ロボットを用いた実験により、精神疾患の認知的特徴として提案されている感覚不確実性の予測異常 [3] から適応不全が生じることを確認した。上の研究では、感覚不確実性の予測異常を学習後の神経回路モデルにシミュレートしており、学習の過程で感覚不確実性の予測異常に至る神経学的要因については明らかでない。したがって本研究では、主に統合失調症に観察されている異なる脳領域間の神経結合の断裂が感覚不確実性の予測に影響すると仮説を立て、検証した。

2. 手法

2. 1. 再帰型神経回路モデル

本研究では、再帰型神経回路モデル (RNN) の一種である S-MTRNN [4] を使用した。RNN はコンテキスト層のニューロン活動に保持される文脈情報を使って次の状態の予測を出力し、予測学習を行う。今回使用した MTRNN とは、Multiple Timescales Recurrent Neural Network と呼ばれるもので、長いコンテキスト情報を表現するコンテキスト (slow unit) と短い時間スケールの情報を表現するコンテキストニューロン (fast unit) の二種類のコンテキストニューロンを持つ神経回路モデルである。この長い時間スケールの情報を保持するニューロンと短い時間スケールの情報を持つニューロンの結合は、脳でいう階層間の長い結合に相当し、統合失調症などではこの結合に結合断裂が報告されているため、本実験でもこの結合に結合断裂を与えた。

2. 2. 結合断裂の実装

本研究では 2 種類の実装方法により結合断裂をシミュレートし、比較した。一つは、結合本数の減少 (Disconnection) をシミュレートする方法であり、fast unit, slow unit 間の結合率を

0.1~1.0 の範囲で調整することによって実装した。

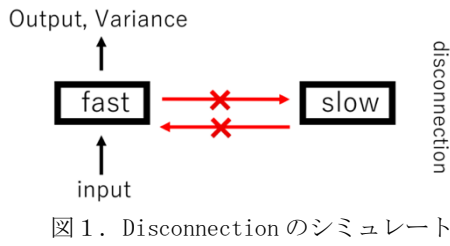


図1. Disconnection のシミュレート

もう一つの実装法は、機能的断裂 (Functional disconnection) と呼ばれるもので、結合の重みを更新するたびに fast unit, slow unit 間の結合重みにノイズを加えることで実装した。

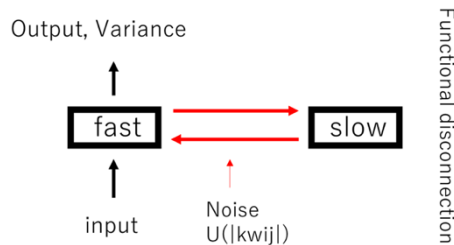


図2. Functional disconnection のシミュレート

3. 結果

まず、平常状態の学習結果を図3に示す。今回の学習では、目標時系列のプリミティブパターンの変化を再現できているとともに分散値の変化も捉えられていたので、用意したターゲットデータに沿って正しく学習できていたことが分かった。

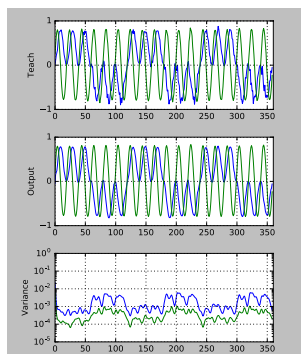


図3. 目標時系列と平常状態の再現時系列

次に、Disconnection の学習結果では結合率をどのような値にしても平常状態とあまり変わら

ない結果が得られた一方で、Functional disconnection の場合は、ノイズの値が大きくなると、図4の赤丸で囲んであるところのように本来分散予測を下げなければいけないところで下げることができなくなり、異常が発生した。

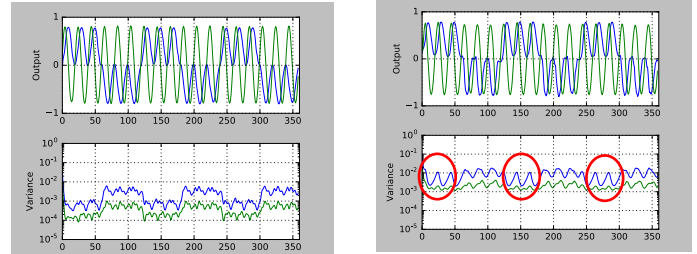


図4. 学習後の再現時系列. (左) Disconnection (右) Functional disconnection

4. まとめ

本研究では、再帰型神経回路モデルを用いて統合失調症等に観察されている異なる脳領域間の神経結合の断裂が感覚不確実性の予測に影響すると仮説を立て検証を行った。実験により、結合本数の減少による結合断裂よりも機能的な結合断裂において感覚不確実性の推定や時系列の生成に異常が見られた。

参考文献

- [1] Montague, P. R., Dolan, R. J., Friston, K. J., & Dayan, P. (2012). Erratum: Computational psychiatry. [Trends in Cognitive Sciences 16 (2012), 72-80]. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(5), 306. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2012.04.003>
- [2] Hayato Idei, Shingo Murata, Yiwen Chen, Yuichi Yamashita, Jun Tani, and Tetsuya Ogata, "Reduced Behavioral Flexibility by Aberrant Sensory Precision in Autism Spectrum Disorder: A Neurobotics Experiment," In *Proceedings of the Seventh Joint IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics*, 2017.
- [3] Yamashita, Y., & Tani, J. (2012). Spontaneous prediction error generation in schizophrenia. *PLoS ONE*, 7(5). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0037843>
- [4] Yamashita, Y., & Tani, J. (2012). Spontaneous prediction error generation in schizophrenia. *PLoS ONE*, 7(5). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0037843>