

中山人間科学振興財団活動報告書 2017

助成の種類：研究助成

研究テーマ：確率推論モデルを用いた，機械学習とヒト記憶追跡機能の階層的関係性の解明

氏名：大黒 達也

所属：マックスプランク研究所（ドイツ）

1. 研究目的

近年、ニューラルネットワークやマルコフモデルによる機械学習を用いた人工知能により、コンピュータ等の自動予測検索機能が急速に発展されつつある。これらは、広義でいえば「次に使用者が求める可能性の最も高い情報」を即座に提供するものであり、これにより我々は情報を効率よく把握し、検索や思考にかかる時間や労力を最小限にすることが出来る。一方、工学領域における機械学習の発展に対し、ヒトの脳の根本的な学習メカニズムを主眼においた機械学習アルゴリズムの研究は非常に少ないといえる。

神経科学的視点から言えば、処理負担の軽い情報とは、認知した時に神経活動が最も少ない情報である。これは、Friston(2005)らが提唱する Predictive coding により提唱されており、それに関連する脳機能の一つとして統計学習が主張されている(Saffran et al., 1996)。統計学習時の神経生理学的活動に関して、先行研究により、2重マルコフモデルによる系列情報を人が潜在的に統計学習していくにつれて、予測可能性の高い情報に対する神経応答は徐々に小さくなり、低い情報は徐々に大きくなっていくことが明らかにされている(Daikoku et al., 2014; 2015; 2016; 2017a; 2017b)。これにより、人工知能による情報検索モデルは、神経科学的にも妥当であることが示唆された。その一方、実際のヒトの予測に影響する過去情報の階層性は2次に固定せず、さらに深い場合と浅い場合の両方が存在すると考えるのが妥当である。本研究で予測モデルの階層性を考慮して検証することで、先行研究に比べて、より実際のヒトの認知機能を反映した予測モデルを提唱することができ、コンピュータの自動予測検索機能などに用いられている人工知能や機械学習の産業的発展に繋がると考えられる。本研究では、機械学習で用いられている計算論的手法と神経生理学的手法を組み合わせることで、コンピュータ等の自動予測検索機能の使用者が最も快適な階層モデルを考案する。それにより、工学的、医学的にそれぞれ独立して検証されてきた内容の相互関連性を検証し生命科学と情報技術を繋ぐ学際的研究とすることで、片方の領域だけに依存した発展ではない、両者を考慮した健全な共進化に寄与していく。

2. 方法

2.1. 実験 1

まず、脳磁図を用いて、人工知能などで用いられている予測モデルの階層性を徐々に深くした時の（図 1&2. 2次～10次確率分布）、予測可能性の高い情報と低い情報に対する神経応答を比較する。これにより神経科学的視点から、コンピュータ等の自動予測検索機能の使用者が最も適した階層モデルを提案する。

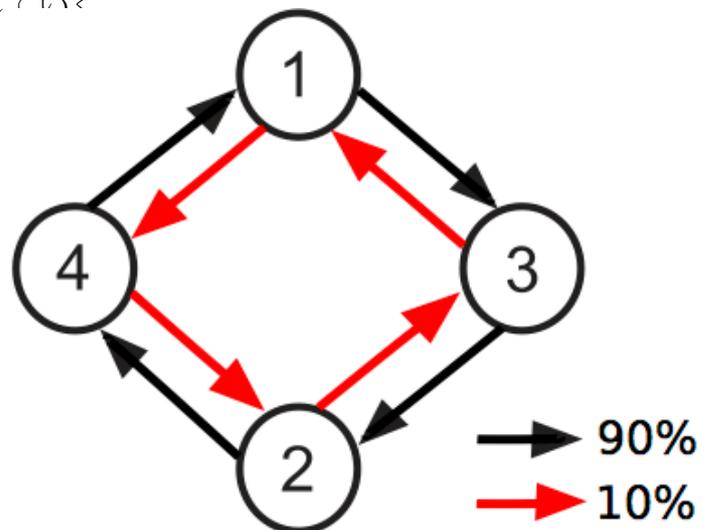


図 1. 音列に使用されたマルコフモデル

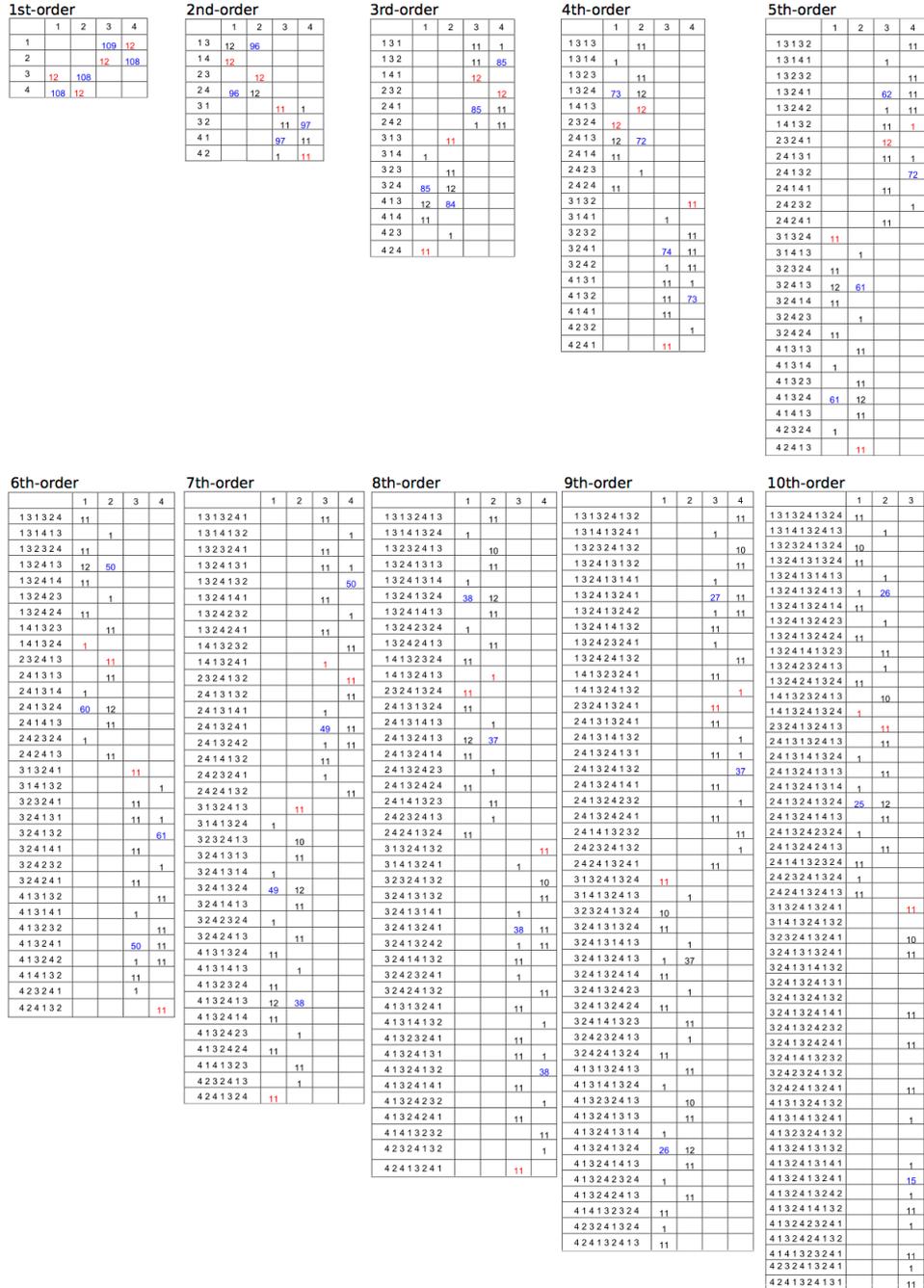


図 2. 音列の各次元における頻度の分布

2.2. 実験 2

実際に記録されている系列情報（楽譜や言語）を解析し、一著者の全作品を作成時期順に並べ、その時系列変動を検証することで、実験 1 で考案したモデルが実際の記録情報に表現されているのかを明らかにする。

3. 結果

3.1. 実験 1: 神経生理学的初見

難易度に伴って統計学習の階層が深くなっていくことが、神経生理学的に明らかとなった (図 3)。また、音列の確率分布における結合エントロピーが大きくなればなるほど、学習が難しくなることが示唆された (図 4)。

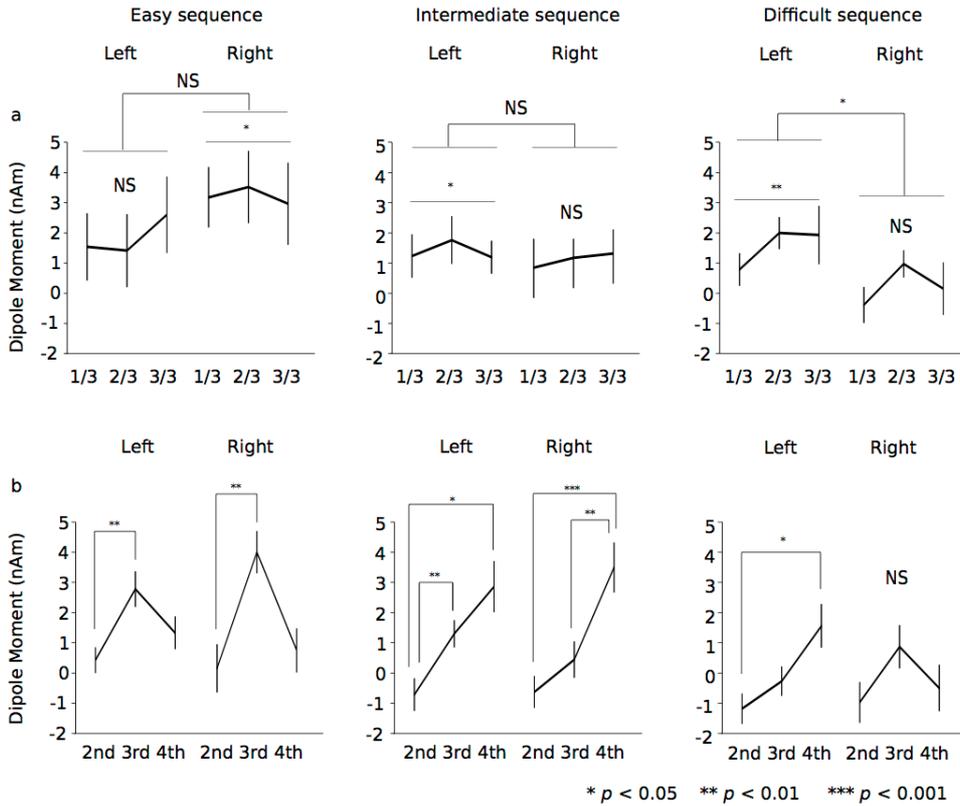


図 3. 統計学習の難易度と学習効果の関係

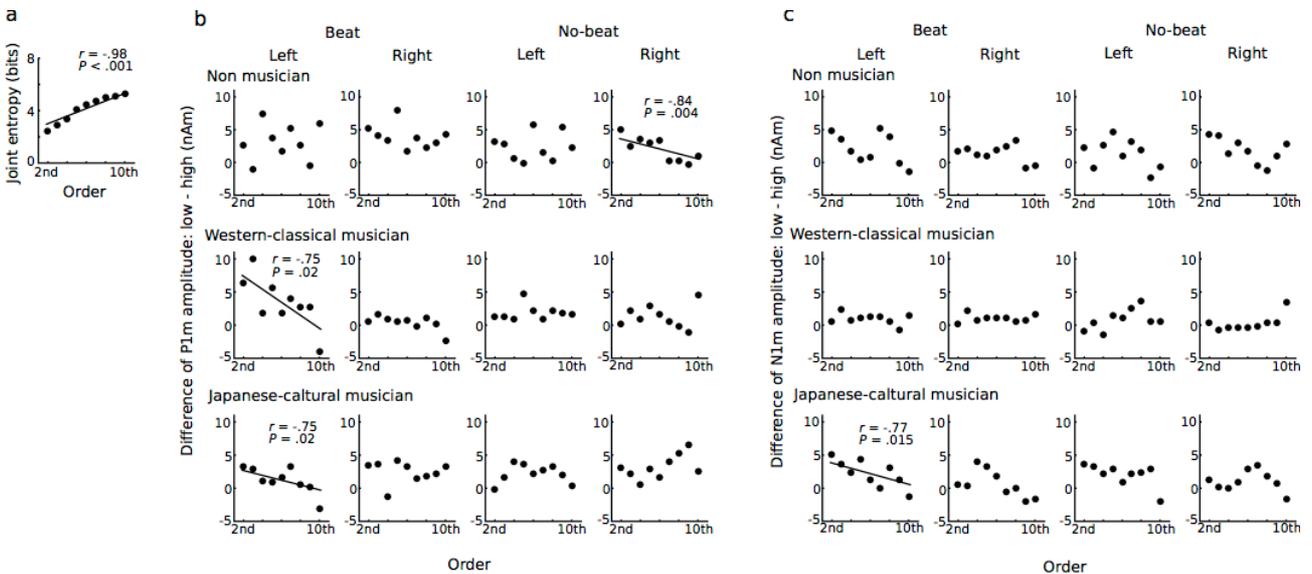


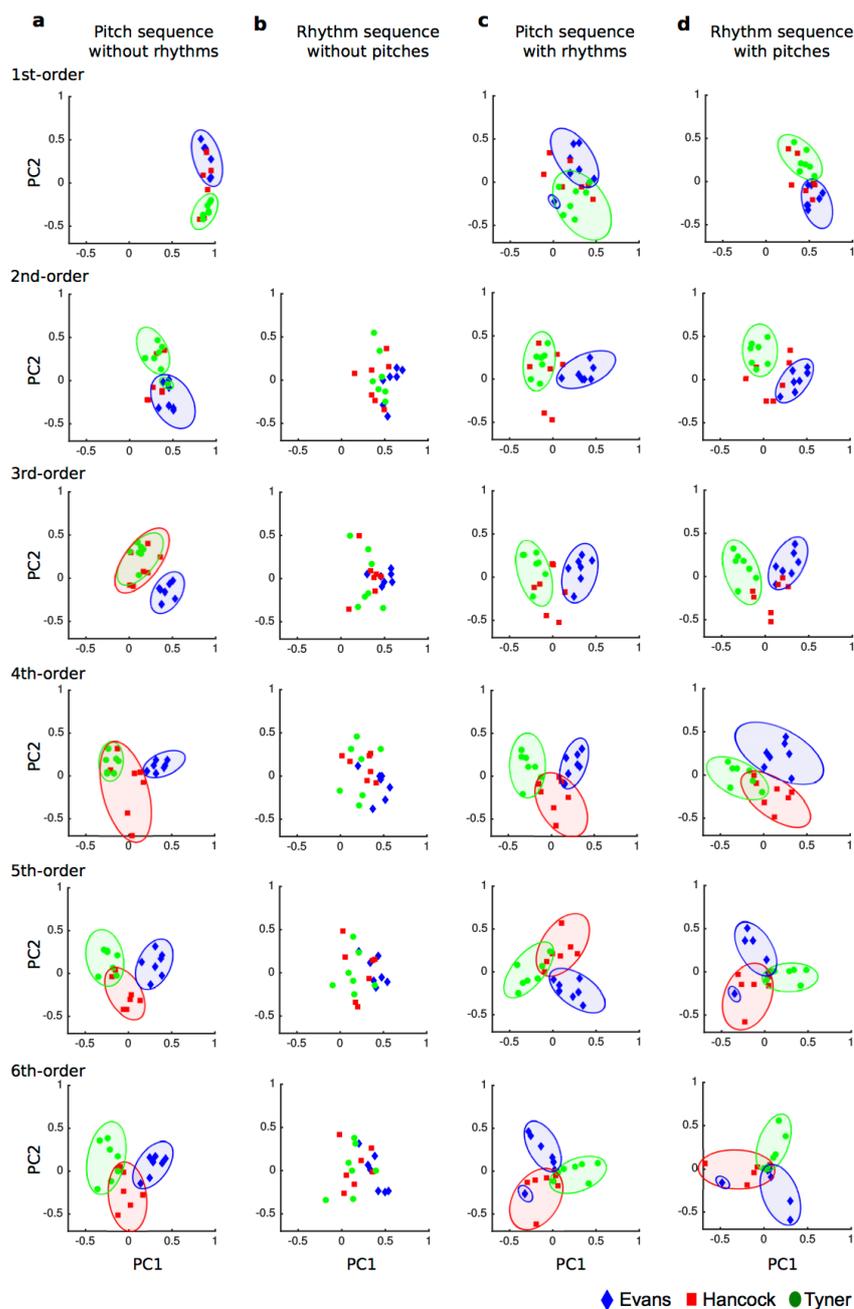
図 4. 音列の各次元での結合エントロピーと学習効果の関係

3.2. 実験 2

階層の深さが深くなればなるほど、作曲家の創造性の個性が顕著に検出されることが示唆された。

4. 考察

情報理論的には、音列の確率分布におけるエントロピーが大きければ大きいほど音列の法則性を把握することが難しくなる (Friston, 2005; Shanon, 1951)。本研究により、情報理論的な概念を神経生理学的に明らかにすることができた。一方、階層が深ければ深いほど情報の特徴や作者の創造性の個性が顕著となることがわかった。本研究により、神経生理学的手法と機械学習の手法を組み合わせ、ヒトの統計学習到達度の評価、また芸術的創造性の個性評価等に応用できる可能性が考えられる。このような情報を作者自身に提供することで、学習の最適化を図ることもでき、学際的に応用可能性が示唆された。



謝辞

本研究に関して助成を賜りました、公益財団法人中山人間科学振興財団に心より感謝致します。ノルウェー、ベルゲン大学の Stefan Koelsch 教授には、考察の方法等ご指導を頂きました。心より感謝の意を表します。データ取得及び分析にあたり、東京大学医学部附属病院てんかんセンター・センター長の湯本真人先生にはひとかたならぬお世話になりました。この場をお借りして心から謝意を表します。

参考文献

- 1) Daikoku T, Yatomi Y, Yumoto M. Implicit and explicit statistical learning of tone sequences across spectral shifts. *Neuropsychologia*. 2014; 63: 194–204.
- 2) Daikoku T, Yatomi Y, Yumoto M. Statistical learning of music- and language-like sequences and tolerance for spectral shifts. *Neurobiol Learn Mem*. 2015; 118: 8-19.
- 3) Daikoku T, Yatomi Y, Yumoto M. Pitch-class distribution modulates the statistical learning of atonal chord sequences. *Brain and Cognition*. 2016; 108: 1–10.
- 4) Daikoku T, Yatomi Y, Yumoto M. Statistical learning of an auditory sequence and reorganization of acquired knowledge: A time course of word segmentation and ordering. *Neuropsychologia*. 2017a; 95: 1–10.
- 5) Daikoku T, Yumoto M. Single, but not dual, attention facilitates statistical learning of two concurrent auditory sequences. *Sci Rep*. 2017b;7: 10108.
- 6) Friston K. A theory of cortical responses. *Phil. Trans. R. Soc.* 2005; B 360: 815–836.
- 7) Saffran JR, Aslin RN, Newport EL. Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*. 1996; 274: 1926–1928.
- 8) Shannon CE. Prediction and entropy of printed english. *Bell System Technical Journal*. 1951; 30: 50-64.