

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22273

研究課題名（和文）機械学習による個人の認知機能特性の予測

研究課題名（英文）Machine learning for clustering of cognitive characteristics

研究代表者

宮崎 淳（Miyazaki, Atsushi）

早稲田大学・グローバルエデュケーションセンター・助教

研究者番号：40880323

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、脳と行動の大規模データからヒトの認知機能特性の理解を目指した。複数の認知課題をクラスタリングし、3つの認知機能特性をもつクラスターに分類することができた。さらに、これらのクラスターは、機能的MRIによる複数の認知課題中の脳活動から、背外側前頭前野、背内側前頭前野、前部島皮質、頭頂皮質で活動に差があることが示された。これらの領域は、個人の認知機能特性による認知処理を制御する機能に関わる可能性が示唆される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、近年発展を遂げてきている人工知能やビッグデータ、脳画像解析技術の研究を統合的に捉えることで、従来の研究では難しかった複数の脳機能画像と認知機能の統合的分析が可能となった。本研究によって得られた成果は、個人の認知機能の特性を把握し、脳の変化の予兆を捉えるための重要な知見となり得る。今後、医療や教育、他にも車の運転などの日常的な社会課題における応用に期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to understand human cognitive characteristics from the large-scale brain and behavioral data. Therefore, multiple cognitive tasks were clustered. As a result, the clusters were classified into three cognitive characteristics. Furthermore, brain activity during multiple cognitive tasks using functional MRI showed that these clusters had significant differences in activity in the lateral prefrontal cortex, medial prefrontal cortex, anterior insular cortex, and parietal cortex. These results suggest that these regions play an important role in cognitive control.

研究分野：認知脳科学

キーワード：認知機能 個人差 機械学習 機能的MRI

## 1. 研究開始当初の背景

我々の日常生活は、見る、聞く、話す、注意を向ける、記憶する、計画するといった多様な認知機能の複合によって支えられている。つまり、行動(アウトプット)するためには、知覚、言語、注意、記憶、実行機能などの情報を統合し意思決定する必要がある。また、それぞれの認知機能には個人差があり、意思決定を行うための処理過程(認知機能特性)が異なることが予想される。しかし、この認知機能特性がどのように脳で統合され表現されているかは明らかではない。

この問題を解決するためには、多様な認知機能を評価した大規模サンプルが必要となる。近年では Human Connectome Project (HCP)をはじめとする大規模な研究が国際的にも進められている<sup>1</sup>。HCPでは健常成人1200名の脳画像や行動・心理指標を取得している。これらのデータはオープンアクセスデータとして公開されているため、多くの研究者が多角的に分析を進めている。これらのビッグデータを使用することにより、従来の「仮説検証型」のアプローチに加えて、「データ駆動型」のアプローチによってヒトの認知機能の複合的な特性を分析することが可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究では、脳と行動の大規模データからヒトの認知機能特性の理解を目指している。本研究の目的は、大規模データから探索的に認知機能の特性の実態を明らかにし、これらの特徴と脳活動の関連から認知機能特性の脳内メカニズムを明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

(1)行動データは、米国 Human Connectome Project のデータベースに登録されている1185名(男性542名、女性643名、平均年齢28.84歳、SD = 3.69、平均教育歴14.87年、SD = 1.81)のデータを利用した。実験参加者の認知機能は、NIH toolboxに含まれる認知機能検査バッテリーを用いて評価された。認知課題は7種類あり、記憶/ワーキングメモリ(List Sorting Task)、記憶/エピソード記憶(Picture Sequence Memory Task)、実行機能/柔軟性(Dimensional Change Card Sort Task)、実行機能/抑制機能(Flanker Task)、言語/音読認識(Oral Reading Recognition Task)、言語/語彙理解(Picture Vocabulary Task)、処理速度(Pattern Completion Processing Speed Task)が計測された。各課題の成績は平均100、標準偏差15にスケールされた。認知特性の指標は、(個人の各課題成績)/(個人の平均課題成績)とした。つまり、値が1以上であれば得意とする課題となる。分析は、データの次元削減(PCA+UMAP法)を行った後、クラスタリング(K-means++法)を行った。クラスター数はシルエット法によって決定された。分類されたクラスターを水準とした多変量共分散分析(MANCOVA)を行った。共変量は年齢、性別、教育歴とした。さらに各認知課題の各クラスター間の差について多重比較を行った。有意水準は  $\alpha = 0.05$  とした。多重比較補正には、ボンフェローニ法を用いた。効果量Cohen's  $d$  が0.8以上の項目を対象とした。

(2)脳データは、(1)で利用した参加者データの内、課題遂行中の脳画像を取得した参加者を分析対象とした。機能的MRIの認知課題は、ワーキングメモリ課題(Working memory task)、言語課題(Language task)、リレーショナル課題(Relational Processing task)を分析に利用した<sup>2</sup>。これらの脳画像は、分析の前に位置合わせや歪み補正を行った。脳画像の統計解析にはPALM(Permutation Analysis of Linear Models)分析ツールを用いて、MANCOVAデザインによる並べ替え検定を行った。年齢、性別、教育歴、認知課題成績を共変量として(1)で分類されたクラスター間の差異を検討した。TFCE(threshold-free cluster enhancement)法を用いて、5,000回くり返しを行った。FWE(family wise error)補正を用いて多重比較補正し、有意水準は  $\alpha = 0.05$  とした。

## 4. 研究成果

(1)NIH toolboxの認知課題をクラスタリングした結果、3つのクラスターに分類された。これらの特徴を示すために各認知課題の平均値のレーダーチャートを作成した(図1)。多変量共分散分析を行った結果、クラスター間に有意な差がみられた(Wilks Lambda = 0.25,  $F(12, 2348) = 198.13$ ,  $p < 0.0001$ , partial  $\eta^2 = 0.75$ )。さらに多重比較を行った結果、各認知課題でそれぞれ有意な差がみられた(図2)。

クラスタリングの結果から3つのクラスターに分類され、それぞれの特徴は、1)言語・記憶課題を得意とするパターン、2)言語・実行機能課題を得意とするパターン、3)処理速度・実行機能課題を得意とするパターンであることが示された。

(2)機能的MRIの3課題(ワーキングメモリ課題、言語課題、リレーショナル課題)の脳活動から(1)で分類されたクラスター間の差異を分析した結果、背外側前頭前野、背内側前頭前野、前部島皮質、頭頂皮質で有意な差がみられた(図3)。これらの領域は、個人の認知機能特性による認知処理を制御する機能に関わる可能性が示唆された。

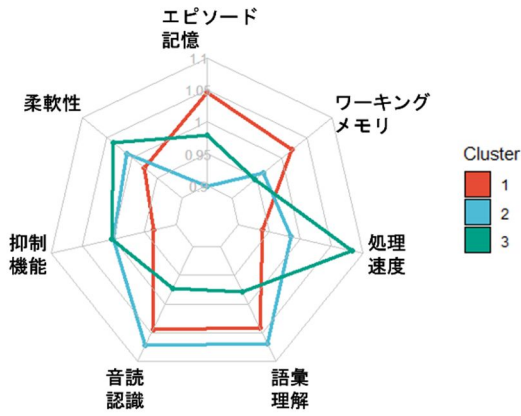


図 1. クラスタリングされた認知特性のパターン (レーダーチャート)

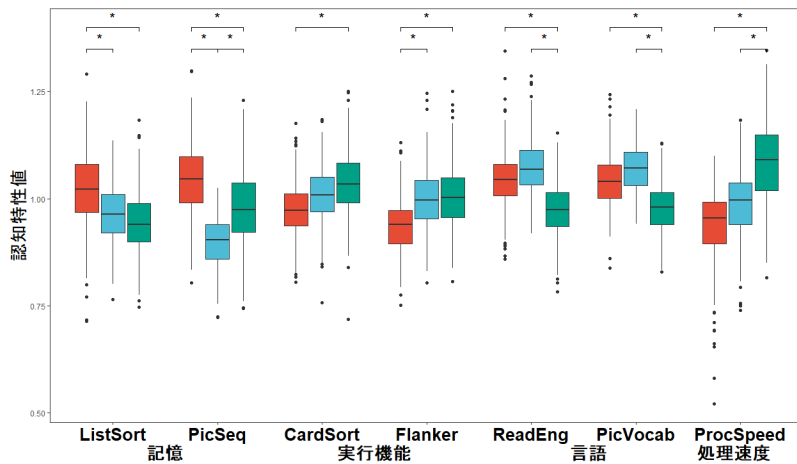


図 2. クラスタリングされた各認知課題の要約 (箱ひげ図. \*はクラスター間に有意差があり, 効果量dが0.8以上であることを示す.)

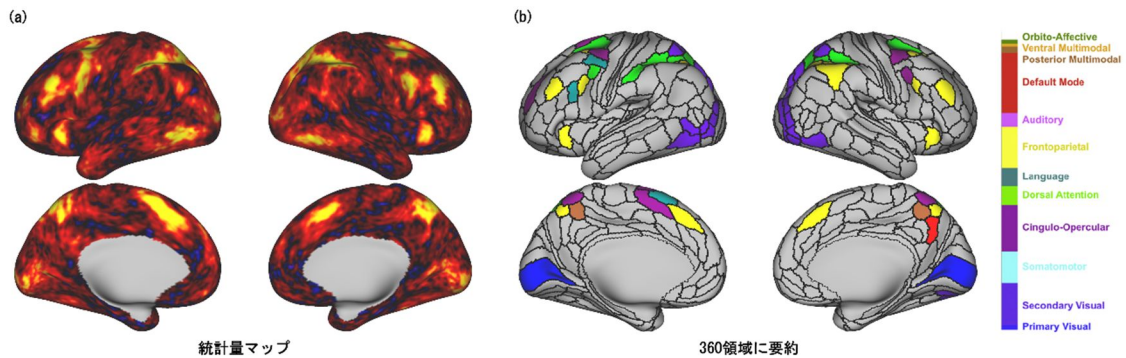


図 3. (a)統計量マップと, (b)360領域<sup>3, 4</sup>に要約したマップ

<引用文献>

1. Van Essen, D. C. et al. The WU-Minn Human Connectome Project: An overview. *NeuroImage* 80, 62-79 (2013).
2. Barch, D. M. et al. Function in the human connectome: Task-fMRI and individual differences in behavior. *NeuroImage* 80, 169-189 (2013).
3. Glasser, M. F. et al. A multi-modal parcellation of human cerebral cortex. *Nature* 536, 171-178 (2016).
4. Ji, J. L. et al. Mapping the human brain's cortical-subcortical functional network organization. *NeuroImage* 185, 35-57 (2019).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Koike Shinsuke et al.	4. 巻 30
2. 論文標題 Brain/MINDS beyond human brain MRI project: A protocol for multi-level harmonization across brain disorders throughout the lifespan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NeuroImage: Clinical	6. 最初と最後の頁 102600 ~ 102600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nicl.2021.102600	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ishihara Toru, Miyazaki Atsushi, Tanaka Hiroki, Fujii Takayuki, Takahashi Muneyoshi, Nishina Kuniyuki, Kanari Kei, Takagishi Haruto, Matsuda Tetsuya	4. 巻 237
2. 論文標題 Childhood exercise predicts response inhibition in later life via changes in brain connectivity and structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 118196 ~ 118196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2021.118196	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ogawa Shumpei, Takemura Hiromasa, Horiguchi Hiroshi, Miyazaki Atsushi, Matsumoto Kenji, Masuda Yoichiro, Yoshikawa Keiji, Nakano Tadashi	4. 巻 63
2. 論文標題 Multi-Contrast Magnetic Resonance Imaging of Visual White Matter Pathways in Patients With Glaucoma	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Investigative Ophthalmology & Visual Science	6. 最初と最後の頁 29 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1167/iovs.63.2.29	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Masuda Yoichiro, Takemura Hiromasa, Terao Masahiko, Miyazaki Atsushi, Ogawa Shumpei, Horiguchi Hiroshi, Nakadomari Satoshi, Matsumoto Kenji, Nakano Tadashi, Wandell Brian A., Amano Kaoru	4. 巻 31
2. 論文標題 V1 Projection Zone Signals in Human Macular Degeneration Depend on Task Despite Absence of Visual Stimulus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 406 ~ 412.e3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2020.10.034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishihara Toru, Miyazaki Atsushi, Tanaka Hiroki, Matsuda Tetsuya	4. 巻 221
2. 論文標題 Identification of the brain networks that contribute to the interaction between physical function and working memory: An fMRI investigation with over 1,000 healthy adults	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 117152 ~ 117152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2020.117152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 宮崎淳
2. 発表標題 若年成人における認知特性のクラスタリング
3. 学会等名 日本認知心理学会第19回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石原暢, 宮崎淳, 田中大貴, 松田哲也
2. 発表標題 Association of cardiovascular risk markers and physical fitness with task-related neural activity during social cognition
3. 学会等名 第44回日本神経科学大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中大貴, 宮崎淳, 高岸治人, 松田哲也
2. 発表標題 Individual differences of reputation-based cooperation and their neuroscientific substrates
3. 学会等名 第44回日本神経科学大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田順子, 宮崎淳, 寿秋露, 結城雅樹, 松田哲也, 高岸治人
2. 発表標題 社会環境が思春期の子どもの脳構造に与える影響
3. 学会等名 第32回日本発達心理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石原暢, 宮崎淳, 田中大貴, 松田哲也
2. 発表標題 Negative association of body mass index with working memory and theory of mind in young and middle-aged adults: a task-fMRI study
3. 学会等名 第43回日本神経科学大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中大貴, 宮崎淳, 高岸治人, 松田哲也
2. 発表標題 繰り返しの無い利他行動の計算論的過程とその神経基盤
3. 学会等名 第43回日本神経科学大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------