

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：22303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26350994

研究課題名（和文）脳情報学に基づく体系的な脳研究の支援を実現するデータブレインの構築

研究課題名（英文）Constructing Data-Brain Based on Brain Informatics Methodology for Systematic Brain Studies

研究代表者

鍾 寧（ZHONG, Ning）

前橋工科大学・工学部・教授

研究者番号：70284263

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、脳情報学に基づいた概念モデルであるデータブレインを構築した。具体的には、脳情報学の方法論に則り、脳科学やメンタルヘルスケアに関する知識を体系化したナレッジグラフを実現し、脳ビッグデータとそれに関する情報をProvenancesとして導入することにより、脳研究を支援するためのプロトタイプシステムを開発した。また、認知実験データや臨床脳データなどに対してデータブレインの適用と検証作業を行った。ここでは、感情を持つ推論や計算を中心とした高次脳認知機能に関する実験データ、うつ病患者等のデータに対して適用し、実践面での有用性について検証した。

研究成果の概要（英文）：We effectively integrated multilevel brain and mental health big data by using brain informatics based conceptual model called Data-Brain and provide multi-level and content-oriented services for different types of users through an open and extendable interface. Furthermore, we investigated the neural substrates underlying the human cognition, emotion, and their interactions, in order to demonstrate the usefulness of the proposed methodology and systems. Our findings demonstrate that human cognition and emotion are not isolated, but compete for cognitive resources for attention and executive control. This project can also be considered as a case study for demonstrating the advances of brain informatics methodology and the Data-Brain based system in accelerating progress towards a multi-level understanding of brain structure and function.

研究分野：知能情報学

キーワード：脳情報学 認知心理学 脳神経科学 人工知能 データブレイン ビッグデータ 知識ベース ウェブインテリジェンス

1. 研究開始当初の背景

人間や機械の情報処理メカニズム及びインテリジェンスに関わる研究は、人工知能—マシンインテリジェンスのための計算モデル、認知心理学—人間の行動や心に基づく認知モデル、神経科学—医学の立場における脳の神経回路のモデルのように、それぞれの研究は異なるアプローチから、異なる研究として進められてきた。

また、人間の認知活動の解明に向けた研究はもちろん、認知症やうつ病、てんかんなど、患者の脳に関する高度な臨床医療においても、認知心理学や脳神経科学のみならず、工学的な立場からも盛んに研究が行われている。近年の計測技術やIT技術の大幅な進歩により、fMRI/EEGを代表とする様々な非侵襲脳機能計測手法が利用されるようになり、脳活動を多面的に捉えられるようになってきた。これにより、様々な脳認知機能の解明が可能になると期待されているが、実験によって得られるデータは膨大な量となっている。

このようなブレインビッグデータを従来技術により管理し、分析し、再利用することには限界があり、研究の非効率化を招く原因の1つとなっている。研究を効率化し脳研究を発展させるには、人間の推論や問題解決などの思考を中心とした高次脳認知機能を体系的に分析し解明するという科学分野のニーズに応えること、臨床脳データの体系的な分析を通じた医療分野の支援をすること、インターネット時代における知的ウェブシステムなどの人工知能のニーズを汲み入れること、IT技術による脳研究支援を拡充させることなどが挙げられる。

2. 研究の目的

本研究は、脳情報学に基づいた概念モデルであるデータブレインを構築することで、脳研究の基盤提供や高度化する脳研究の支援を目的とする。このデータブレインは、オントロジーやメタデータ技術を駆使し、データから知識までを体系的にサポートするものである。メタレベルでデータを関連付けることで、認知心理学や脳神経科学など、異なる観点から得られた脳研究の成果や臨床データを統合する。具体的な研究項目は 1)データブレインの構築と評価、2)データブレインに適用する脳データを収集するための実験の実施の2つである。

3. 研究の方法

本研究では、1)機能次元、実験次元、データ次元、分析次元と概念ビュー、構造ビューからなるデータブレインの構築、及びデータブレインの適用と改善のための検証作業；2)データブレインに適用する脳データのための認知実験の実施や臨床脳データの収集の2点が柱となる。

複合的な脳データや認知実験の関連性などについてデータを収集しながら、データの管

理や分析等をサポートするための基盤となるデータブレインを構築する。その後、このデータブレインの有用性について実データをもとに検証するとともに、脳研究を支援するためのプロトタイプを提供を目指す。

4. 研究成果

(1) 脳情報学方法論に基づくデータブレインモデルの構築。

脳に関する複雑な問題に対し、脳を情報処理システムと捉える情報学の視点と、情報処理技術を利用して脳の機能に対するマクロ的な観点やミクロ的な観点を統合する脳科学の視点を融合した脳情報学の観点からシステムの開発を行った。脳情報学の方法論に則り、「脳科学の複雑な問題に対する体系的な研究」、「体系的な認知実験のデザイン・実施」、「脳データの体系的な管理」、「脳データの体系的な分析・シミュレーション」の4つの側面をテーマとした4つの次元から成り立つデータブレインの知識層を構築することで、脳科学やメンタルヘルスケアに関する知識を体系化したナレッジグラフを実現し、脳ビッグデータとそれに関する情報を Provenances として導入した。

(2) Provenancesの構築によりメタデータの活用。

データや情報、モノの来歴情報をメタデータとして付与する Provenances の概念を基に考案された BI Provenances (Brain Informatics Provenances) を用い、脳ビッグデータの管理を行った。これによって、被験者の情報等のデータに関するメタデータを、異なる種類のデータに対して統一的に付与することが可能となり、利用者の目的に応じた脳データセットの管理・検索・提供が可能となった。また、BI Provenances とデータブレイン内の知識層における知識の表現方法を統一することで、蓄積された脳に関する知識に基づき BI Provenances を記述でき、知識・情報・データの一貫したナレッジグラフによる脳ビッグデータの体系的な管理を実現した。更に、メタデータという特性を活かし、一般公開されている脳研究に関する文献から、脳データを分析した結果のみを抽出し、メタデータとして格納することで他の研究に用いられた脳データを利用することが出来た。

(3) 知的モノのインターネット (W2T) のフレームワークに基づくシステムの開発。

日常生活における電子機器や、それらから得られるデータを利用し、実社会・サイバースペース・現実世界を融合する知的モノのインターネット (W2T: Wisdom Web of Things) のフレームワークに基づき、様々なウェアラブル端末から得られた脳ビッグデータを活用した。また、うつ病への応用を図るため、生理的なデータのみならず、CRF (Case Report Form) を筆頭とした心理的なデータを収集し、

統合した。これにより、データ・情報・知識に加え知恵 (Wisdom) を提供するWaaS (Wisdom as a Service)の実現が可能となった。

(4) 暗算時における加減算の認知処理に関する研究。

人間は四則演算を行う時に、それぞれに対して用いるストラテジーが異なる。数字の量を比較して操作をする減算と、記憶に保存された答えを直接取り出す乗算の違いは既に解明されている。しかし、加算と減算の間に本質的な違いが存在するか否かについては、未だ明らかにされていない。そこで、この問題に対してfMRI実験を実施し解明を試みた。一般線形モデルと機能的連結分析でデータを処理した後の結果、被験者群が減算を行う際に、左脳半球の下前頭回の賦活が加算した時よりも強く見られた。また、この部位は減算時に音韻処理を担当する脳ネットワークとの関連強度を高めることを発見した。更に、動態的因果モデリング (DCM) 分析で減算が音韻や運動など複数の認知モジュールの統合を要することを示した。一方で、加算は減算と比べ複雑ではないことが確認できた。減算時は加算時に比べ追加の処理が必要であるため、計算時に更に時間を要し、正答率が低下する。

(5) 嫌悪状態からの感情回復に関する研究。

被験者が嫌悪を感じた後の状態から冷静になるまでの脳の回復過程に注目した。fMRI実験を利用して、被験者群が嫌悪を感じる画像を見た後と、特に感情に変化を与えない画像を見た後の各反応を比較した結果、脳は異なるストラテジーで自動的に感情の反応を調整することを発見した。感情回復の初期に、脳は左側の尾状核を中心とするネットワークを配置して、受動的な感情抑制を行う。感情回復の後期になると、抑制ネットワークの賦活が次第に弱くなり、反対に背部の注意ネットワークの賦活が次第に強くなる。この遷移の間に被験者が能動的に注意のリソースを配分し、自身の注意を恐怖の体験から遠ざけることが明らかとなった。これらの結果から、無意識下において人間の脳は異なるストラテジーを利用して感情状態を調整でき、感情回復の時にボトムアップの抑制とトップダウンの認知調整の両方が利用されていることが示唆された。また、この結果をDCM分析により検証した。

(6) 認知と感情が相互に与える影響に関する研究。

認知と感情が相互に与える影響を研究するために、注意を逸らすタスクを用意し、被験者の感情に変化が生じた直後に加減暗算を課したときの脳の認知処理過程を調査した。これにより、ネガティブな感情刺激が計算処理に強い妨害を与えることを解明した。ネガティブな画像を見た後の暗算は計算時

間が明らかに長く正答率も低下したが、この現象はポジティブな感情刺激では見られなかった。この現象に対し、fMRIの画像分析を用いて検証を行った。ネガティブな状態で計算した場合、認知活動と関連のある前頭-頭頂ネットワークの賦活がさらに強まり、認知と感情の間に交互作用効果が存在することが示唆された。これは、人間の脳にとってネガティブな感情刺激を受けた後に注意の焦点を計算へ移すことがより難しく、計算タスクを完成するために前頭-頭頂ネットワークが大きな労力を要し、賦活が強まった事が原因と考えられる。長い計算時間と低い正答率が焦点遷移の難しさを示している。

認知と感情の相互作用を多面的に解明するため、低下した認知機能と感情に関する研究も必要である。そこで、うつ病患者に感情に変化を与える画像タスクと暗算の注意を逸らすタスクを用意し、実験の結果を健常者と比較した。「思考が緩慢である」といううつ病患者の症例通り、患者群は健常者より正答率が低い結果となった。この症例の神経メカニズムを解明するために、多様なデータを利用し体系的な調査を行った。初めに、脳の形態データと静止状態の機能データを統合的に分析し、辺縁領域-皮質回路と前頭-頭頂ネットワークの構造と機能における両方の変化がうつ病の感情調整の機能障害を引き起こすという結果を導いた。次に、タスク状態と静止状態の機能データを統合的に分析し、機能障害の原因となる島皮質が刺激顕著性の検出に影響を与え、正の感情を低下させ、患者の快感の消失を招くという結果を導いた。最後に、拡散テンソル画像法で患者の白質の構造を観察し、前頭葉と辺縁系を繋ぐ鉤状束の異方性から異常を検出した。つまり、前帯状皮質と島皮質の異常な構造と機能が正の感情と負の感情の不適切なコントロールに繋がり、うつ病の「思考が緩慢である」という症例を招くことを発見した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① Yang Yang, Ning Zhong (corresponding author), Karl Friston, Kazuyuki Imamura, 他 6 名. The functional architectures of addition and subtraction: Network discovery using fMRI and DCM. Human Brain Mapping, 査読有, 38(6), 2017, 3210-3225. DOI: 10.1002/hbm.23585
- ② Zhijiang Wan, Yishan He, Ming Hao, Jian Yang, Ning Zhong (corresponding author). M-AMST: an automatic 3D neuron tracing method based on mean shift and adapted minimum spanning tree. BMC Bioinformatics. 査読有,

- 2017, 18:197. DOI: 10.1186/s12859-017-1597-9
- ③ M. Odagaki, T. Taura, K. Ito, Y. Kikuchi, Kazuyuki Imamura. Frequency-dependent Modulation of Corticospinal Excitability during Passive and Active Rhythmic Finger Movements: A Transcranial Magnetic Stimulation Study. *J. Neurosci. Neuroengin.* 查読有, 4(1), 2017, 54-60. DOI: 10.1166/jnsne.2017.1112
- ④ Jiajin Huang, Kunlei Zhu, Ning Zhong (corresponding author). A probabilistic inference model for recommender systems. *Applied Intelligence.* 查読有, 45(3), 2016, 686-694. DOI:10.1007/s10489-016-0783-1
- ⑤ Yang. Yang, Ning Zhong (corresponding author), Kazuyuki Imamura, 他 9 名. Task and Resting-State fMRI Reveal Altered Salience Responses to Positive Stimuli in Patients with Major Depressive Disorder. *PLoS One*, 查読有, 11(5), 2016, DOI:10.1371/journal.pone.0155092
- ⑥ Mi. Li, Ning Zhong (corresponding author), 他 4 名. Cognitive Behavioral Performance of Untreated Depressed Patients with Mild Depressive Symptoms. *PLoS One*, 查読有, 11(1), 2016, DOI:10.1371/journal.pone.0146356
- ⑦ Ning Zhong, Yang Yang, Kazuyuki Imamura, 他 5 名. Self-regulation of Aversive Emotion: A Dynamic Causal Model. *Advances in Computational Psychophysiology, Science Supplement*, 查読有, 2 October 2015, 25-27. URL: https://www.sciencemag.org/sites/default/files/custom-publishing/documents/CP_Supplement_Final_100215.pdf
- ⑧ K. S. Sasaki, ..., Kazuyuki Imamura, S. Tanaka, I. Ohzawa. 他 14 名. Supranormal orientation selectivity of visual neurons in orientation-restricted animals. *Nature, Sci. Rep.* 查読有, 5, 2015, 16712; DOI: 10.1038/srep16712
- ⑨ Ning Zhong, Stephen S. Yau, Jianhua Ma, Shinsuke Shimojo, Marcel Just, Bin Hu, Guoyin Wang, Kazuhiro Oiwa, Yuichiro Anzai. Brain Informatics-Based Big Data and the Wisdom Web of Things. *IEEE Intelligent Systems*, 查読有, 2015, 30(5): 2-7. DOI: 10.1109/MIS.2015.83
- ⑩ Jiajin Huang, Xi Yuan, Ning Zhong, Yiyu Yao. Modeling Tag-Aware Recommendations Based on User Preferences. *International Journal of Information Technology and Decision Making.* 查読有, 14(5), 2015, 947-970. DOI: 10.1142/S0219622015500194
- ⑪ Hui Wang, Jiajin Huang, Erzhong Zhou, Zhisheng Huang, Ning Zhong. Cognition-inspired Route Evaluation Using Mobile Phone Data. *Natural Computing.* 查読有, 14(4), 2015, 637-648. DOI:10.1007/s11047-014-9479-9
- ⑫ Mi Li, Shengfu Lu, Gang Wang, Ning Zhong. The Effects of Gender Differences in Patients with Depression on Their Emotional Working Memory and Emotional Experience. *Behavioural Neurology*, 查読有, 2015, Article ID 807343, 8 pages. DOI: 10.1155/2015/807343
- ⑬ Shinichi Motomura, Muneaki Ohshima, Ning Zhong. Usability study of a simplified electroencephalograph as a health-care system. *Health Inf Sci Syst.* 查読有, 3(4), 2015, DOI:10.1186/s13755-015-0012-z
- ⑭ M. Yoshioka, C. Zhu, Kazuyuki Imamura, F. Wang, H. Yu, F. Duann, Y. Yan. (2014) Experimental design and signal selection for construction of a robot control system based on EEG signals. *Robotics and Biomimetics*, 查読有, 1:22, 2014, DOI:10.1186/s40638-014-0022-3
- ⑮ Jiajin Huang, Ning Zhong, Yiyu Yao. A Unified Framework of Targeted Marketing using Customer Preferences. *Computational Intelligence.* 查読有, 30(3), 2014, 451-472. DOI: 10.1111/coin.12003
- ⑯ Erzhong Zhou, Ning Zhong, Yuefeng Li. Extracting news blog hot topics based on the W2T Methodology. *World Wide Web*, 查読有, 17(3), 2014, 377-404. DOI: 10.1007/s11280-013-0207-7
- ⑰ P. Liang, X. Jia, N.A. Taatgen, Ning Zhong, K. Li. Different strategies in solving series completion inductive reasoning problems: An fMRI and computational study. *International Journal of Psychophysiology.* 查読有, 93(2), 2014, 253-260. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2014.05.006
- ⑱ Jianhui Chen, Jianhua. Ma, Ning Zhong (corresponding author), 他 7 名. WaaS - Wisdom as a Service. *IEEE Intelligent Systems*, 查読有, 2014, 29(6): 40-47. DOI:10.1109/MIS.2014.19

[学会発表] (計 20 件)

- ① 櫻田 臯史, 本村信一. 音楽の嗜好の違いによるクラシック音楽の効能に関する個人差の検討. 日本福祉工学会第 20 回学術講演会, 2016 年 11 月 26 日, 前橋工科大学 (群馬県・前橋市).
- ② Youjun Li, Haiyan Zhou, Jianhui Chen, Jiajin Huang, Meng Chen, Yan Liu, Ning Zhong. Human Emotion Variation Analysis Based on EEG Signal and POMS Scale. BIH 2016, 2016 年 10 月 13 日~16 日, オマハ市 (アメリカ).
- ③ Ming Hao, Jian Yang, Xiaoyang Liu, Zhijiang Wan, Ning Zhong. Fast Marching Spanning Tree: An Automatic Neuron Reconstruction Method. BIH 2016, 2016 年 10 月 13 日~16 日, オマハ市 (アメリカ).
- ④ Zhijiang Wan, Yishan He, Ming Hao, Jian Yang, Ning Zhong. An Automatic Neuron Tracing Method Based on Mean Shift and Minimum Spanning Tree. BIH 2016, 2016 年 10 月 13 日~16 日, オマハ市 (アメリカ).
- ⑤ Yang Yang, Lei Feng, Kazuyuki Imamura, Xiaojing Yang, Huaizhou Li, Gang Wang, Bin Hu, Shengfu Lu, Ning Zhong. Alterations in Emotional and Saliency Responses to Positive Stimuli in Major Depressive Disorder. BIH 2016, 2016 年 10 月 13 日~16 日, オマハ市 (アメリカ).
- ⑥ Xian Li, Jianzhuo Yan, Jianhui Chen, Yongchuan Yu, Ning Zhong. A Provenance Driven Approach for Systematic EEG Data Analysis. BIH 2016, 2016 年 10 月 13 日~16 日, オマハ市 (アメリカ).
- ⑦ Jiajin Huang, Ning Zhong. Leveraging Item Connections to Improve Social Recommendations with Ratings and Reviews. WI 2016, 2016 年 10 月 13 日~16 日, オマハ市 (アメリカ).
- ⑧ Youjun Li, Zhijiang Wan, Jiajin Huang, Jianhui Chen, Zhisheng Huang, Ning Zhong. A Smart Hospital Information System for Mental Disorders. WI-IAT 2015, 2015 年 12 月 6 日~9 日, シンガポール市 (シンガポール).
- ⑨ Ce Cheng, Jiajin Huang, Ning Zhong. Unifying Geographical Influence in Recommender Systems via Matrix Factorization. WI-IAT 2015, 2015 年 12 月 6 日~9 日, シンガポール市 (シンガポール).
- ⑩ Ning Zhong, Jiajin Huang. Granular Structures Induced by Interval Sets and Rough Sets. RSFDGrC 2015, 2015 年 10 月 20 日~23 日, 済州島 (韓国).
- ⑪ Yang Yang, Changqing Hu, Kazuyuki Imamura, Xiaojing Yang, Huaizhou Li, Gang Wang, Lei Feng, Bin Hu, Shengfu Lu, Ning Zhong. Morphologic and Functional Connectivity Alterations in Patients with Major Depressive Disorder. BIH 2015, 2015 年 8 月 30 日~9 月 2 日, ロンドン市 (イギリス).
- ⑫ Ningning Wang, Ning Zhong, Jian Han, Jianhui Chen, Han Zhong, Taihei Kotake, Dongsheng Wang, Jianzhuo Yan. A Personalized Method of Literature Recommendation Based on Brain Informatics Provenances. BIH 2015, 2015 年 8 月 30 日~9 月 2 日, ロンドン市 (イギリス).
- ⑬ Haiyan Zhou, Sanxia Fan, JiaLiang Guo, Xiaomeng Ma, Jianzhuo Yan, Yulin Qin, Ning Zhong. Visual Object Categorization from Whole to Fine: Evidence from ERP. BIH 2015, 2015 年 8 月 30 日~9 月 2 日, ロンドン市 (イギリス).
- ⑭ Jianhui Chen, Jianhua Feng, Ning Zhong, Zhisheng Huang. Constructing Provenance Cubes Based on Semantic Neuroimaging Data Provenances. CSWS 2014, 2014 年 8 月 18 日, シカゴ市 (アメリカ).
- ⑮ Hui Wang, Ning Zhong, Zhisheng Huang, Jiajin Huang, Erzhong Zhou, Runqiang Du. Detecting Stay Areas from a User's Mobile Phone Data for Urban Computing. AMT 2014, 2014 年 8 月 11 日~14 日, ワルシャワ (ポーランド).
- ⑯ Mi Li, Shengfu Lu, Jing Wang, Liwang Ma, Mengjie Zhang, Ning Zhong. Ventral Stream Plays an Important Role in Statistical Graph Comprehension: An fMRI Study. BIH 2014, 2014 年 8 月 11 日~14 日, ワルシャワ (ポーランド).
- ⑰ Yang Yang, Emi Tosaka, Xiaojing Yang, Kazuyuki Imamura, Xiuya Lei, Gang Wang, Bin Hu, Shengfu Lu, Ning Zhong. Shift of Brain-State during Recovery from Discomfort Induced by Aversive Pictures. BIH 2014, 2014 年 8 月 11 日~14 日, ワルシャワ (ポーランド).
- ⑱ Han Zhong, Jianhui Chen, Jian Han, Ning Zhong. Data-Brain Driven Documents Ranking for Constructing Brain Informatics Provenances. BIH 2014, 2014 年 8 月 11 日~14 日, ワルシャワ (ポーランド).
- ⑲ Jian Han, Jianhui Chen, Han Zhong, Ning Zhong. A Brain Informatics Research Recommendation System. BIH 2014, 2014 年 8 月 11 日~14 日, ワルシャワ (ポーランド).
- ⑳ Jun Zhou, Haiyan Zhou, Chuan Li, JiaLiang Guo, Xiaojing Yang, Zhoujun

Long, Yulin Qin, Ning Zhong. Practice and Task Experience Change the Gradient Organization in the Resting Brain. BIH 2014, 2014年8月11日~14日, ワルシャワ (ポーランド) .

[図書] (計1件)

Ning Zhong, 他4名 (Eds.) , Springer, Wisdom Web of Things, 2016, pp. 3-46, 155-180, 237-258, 303-349.

[その他]

ホームページ等

<http://maebashi-it.org/~zhong/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍾 寧 (ZHONG, Ning)

前橋工科大学・工学部・教授

研究者番号：70284263

(2) 研究分担者

今村 一之 (IMAMURA, Kazuyuki)

前橋工科大学・工学部・教授

研究者番号：30203326

(3) 研究分担者

大島 宗哲 (OHSHIMA, Muneaki)

育英短期大学・その他部局等・

准教授 (移行)

研究者番号：80554162

(4) 研究分担者

本村 信一 (MOTOMURA, Shinichi)

前橋工科大学・工学部・講師

研究者番号：10737475