

「日本一の健康長寿県構想」に資する高度脳画像クラウドの研究開発 (152309011)

A Study on Advanced Brain Image Cloud (ABIC)

研究代表者

岩田 誠 高知工科大学

Makoto IWATA, Kochi University of Technology

研究分担者

中原 潔[†] 松崎公紀[†] 森信 繁^{††}

Kiyoshi NAKAHARA[†] Kiminori MATSUZAKI[†] Shigeru MORINOBU^{††}

[†]高知工科大学 ^{††}高知大学

[†]Kochi University of Technology ^{††}Kochi University

研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

概要

高知県が掲げている「日本一の健康長寿県構想」に貢献するために、高知県内の健診センター・認知症疾患医療センターの既存 MRI 設備を有機的にネットワーク化して、高齢者の認知症等の疾病予防や早期治療、さらには健康増進に資する高度な脳画像クラウド ABIC (Advanced Brain Imaging Cloud) を研究開発し、そのプロトタイプを県内に構築した。いくつかの予備実験を通して、ABIC システム基盤としての処理性能・通信性能は充分であることを確認した。今後は、臨床応用を通じたデータを蓄積し、真に疾患予防や治療支援が可能な機能・サービスを充実させることが重要である。

1. まえがき

本研究開発は、高齢化先進県である高知県内の健診センター・認知症疾患医療センターに既に導入されている MRI 設備を有機的にネットワーク化して、地域の高齢者の認知症等の疾病予防や早期治療さらには健康増進に資する高度な脳画像クラウド ABIC (Advanced Brain Imaging Cloud) を研究開発し、高知県が掲げている「日本一の健康長寿県構想」に貢献することを目的としている。具体的には、研究代表者らのグループが有している認知・記憶・運動の脳科学的知見、ならびに脳画像処理・解析技術を用いて、県内の各認知症疾患医療センターで撮像された脳画像を高精細な脳画像に再構成して解析するアルゴリズム、および、この再構成画像に基づいて、認知症診断支援情報およびニューロフィードバック支援情報を提供する方法論を確立すること。さらに、これらのサービスを提供する ABIC システムを、JGN-X と高知県情報ハイウェイのネットワークを活用して構築することを、目標として、平成 27 年度より本研究開発を実施した。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発は、「日本一の健康長寿県構想」の一環として設置された認知症疾患医療センター網を ICT 活用によりさらに実効性のある仕組みにする観点から、我々の研究シーズを活用した高度脳画像クラウド ABIC を研究開発するものである。具体的には、各健診・医療センターの MRI 装置を相互接続したネットワークを総務省 JGN-X と高知県情報ハイウェイ上に展開して、以下のクラウドサービスを提供する環境を構築する。

- ① 各センターで撮像された脳構造画像の超解像化解析による認知障害診断支援 (成果目標: 1.5T/3T MRI 画像を 3T/7T MRI 画像と同等レベルに超解像化して解析)
 - ② 超解像化脳活動パターン解析に基づくニューロフィードバックによる認知症予防支援 (成果目標: 神経細胞カラム水準の活動パターンを高精度に反映したオーダーメイド型ニューロフィードバック NF を提供)
- これらのサービスを提供するためには膨大な計算量を要

するため、既設の超並列クラスタ計算機を活用可能なように並列プログラムの開発も同時に実施した。

本研究開発においては、本構想の基本特許[特許 1]を出願した上で、図 1 に示すように、①脳構造画像クラウド ABIC-s の研究開発、②脳機能画像クラウド ABIC-f の研究開発を実施し、これらを実装するための③脳画像クラウド基盤 ABIC-n の開発、を並行して実施した。

【研究課題 1】: 脳構造画像クラウド ABIC-s における超解像診断支援法の開発 — 複数枚の脳構造画像からの超解像 (再構成型超解像) において、ノイズの扱いと計算時間が課題であった。これらの課題に対して、適切な画像生成

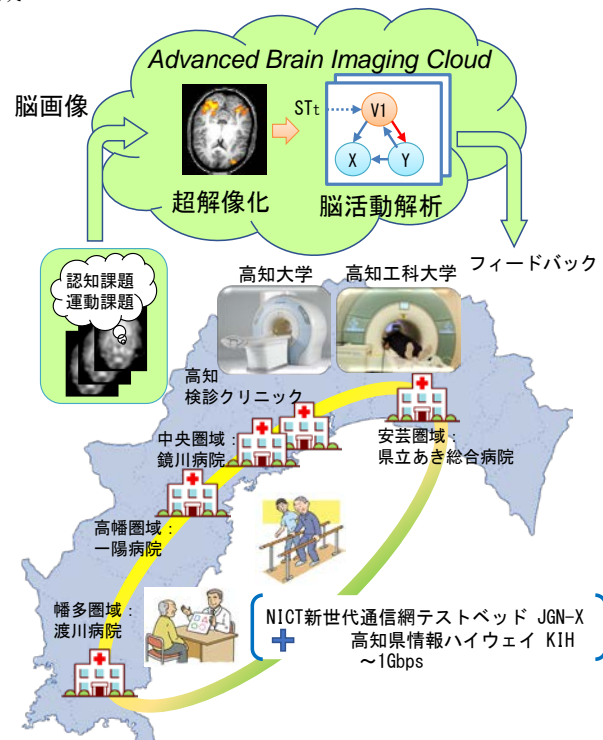


図 1 高知県内に構築した ABIC システムの概要

モデルを定式化して、並列プログラミングライブラリを利用することによりほぼ実用可能な実装を与えられることを確認した[論文 2]。また、複数枚の脳構造画像を撮像する上で撮像時間が問題となるため、1枚の脳構造画像からの超解像(学習型超解像)についても研究開発を行い、ほぼ実用可能なレベルの超解像が可能であることを確認した。

【研究課題 2】: 脳機能画像クラウド ABIC-f による MCI 用ニューロフィードバック法の開発 - 超解像 GLM 解析を用いて個人毎に同定した機能的 ROI (Region of interest) を設定できるだけでなく、標準脳におけるブロードマン脳領域を MNI 座標系で推定する Anatomy Toolbox を活用して、自由に ROI を設定できるように ABIC-f システムを実装した。健常者及び軽度認知障害 MCI (Mild Cognitive Impairment) 患者に対して、海馬とその周辺領域を関心領域とする予備的な NF 実験を行った。その結果、健常者、MCI 患者双方において、NF によって海馬領域の賦活を高めることが可能であることを確認した。本研究開発において、NF 実験が可能で ABIC-f システムは構築できたが、今後は実際の臨床応用に向けて、より効果が得られる NF 訓練法を検討する必要があることも明らかになった。

【研究課題 3】: JGN-X 上での脳画像クラウド基盤 ABIC-n の開発 - 脳画像クラウド用サーバ・クライアント双方の基本設計を完了し、高知工科大学へのサーバ設置、高知大学医学部、高知検診クリニック、県立あき総合病院(安芸医療圏域)、渡川病院(幡多医療圏域)へのクライアント設置、ならびに、これら拠点間の専用 VLAN 敷設を実施した。各通信路は、広域イーサネットによる L2 接続とした。このため、経路中でルーティング等の L3 通信処理オーバーヘッドを削減でき、かつ、盗聴や改ざんなどの個人情報流出のリスクも抑制できる。さらに、ABIC-n では安全性を一層高めるために、IPsec による暗号化通信も可能にした。構築した ABIC-n では、専用広域イーサネット回線を中心に、一部クライアントには商用イーサネット回線を導入し、脳画像クラウド基盤に要求されるトラフィック特性(帯域、遅延等)を十分に満たす通信性能を確保できるかどうかを検証した。その結果、専用回線を用いない場合でも、89Mbps (5ms 遅延) で IPsec 通信が可能であり、十分に実用できることを確認した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発の成果は、高知県内の認知症疾患医療センターに限らず、MRI や CT 等の脳画像撮像装置を保有する病院や健診センターに対して、原理的に応用展開が可能であることから、将来的には高度脳画像クラウドサービス事業といった新規産業を創出することも見据えて、知的財産権の確保[特願 2015-250534]を優先して研究開発を実施してきた。現在までに、医療情報サービス企業数社にコンタクトし、ABIC システムの完成度を高めるための共同開発の可能性について議論し始めている。

さらに、基礎研究の観点からは、本研究開発において明らかになった、“自発的脳活動の揺らぎ (low-frequency fluctuation) が被験者の記憶記憶成績に影響を与える”という新たな知見は、他大学の脳科学研究者との共同研究の成果にも波及させることができ、ハイインパクトジャーナルへの論文掲載に至った[論文 1, 報道 1-3]。今後さらなる基礎研究の進展も期待される。

また、一方では、ABIC システムは試作システムとしてはほぼ完成したが、今後は、高知県内の基幹型/地域型認知症疾患医療センターとも連携して、ABIC-s の超解像化システムによる頭部 MRI 画像を用いた認知症の診断についての ICT 医療を推進し、様々な症例の患者に対する診断支援の精度を向上する必要があると考えている。同時に、ABIC-f の遠隔 NF トレーニングについても、多数の MCI 症例を対象に実験事例データを蓄積し、本研究開発課題で明らかになった課題の解決に繋げて、臨床応用に展開していきたいと考えている。

4. むすび

本研究開発において構築した高速ネットワークおよび高性能並列クラスタ計算機を利用することによって、ABIC-s および ABIC-f サービスを遠隔地でもセキュアに提供できる基盤が整った。しかしながら、本研究開発において実施した MCI 患者の予備実験では、見知らぬ MRI 実験環境や実験者に対する心的ストレスによって、狭い MRI スキャナ内で行う NF 課題への負担や不安がさらに増大することとなった。また、行き慣れていない遠方の施設への移動自体による心身の疲労も集中力を欠く原因となり、効果的なトレーニングの妨げとなったと考えられる。現実の医療現場においては、患者の最寄りの医療施設でサービスを楽しむことが理想的である。その観点から、ABIC-n クラウド基盤は、高知県内に留まらず、他府県や諸外国において、過疎化や高齢化の進む社会における将来の医療・予防医療環境として極めて重要な役割を果たすことが期待できる。

末筆ながら、高知県認知症疾患医療センターならびに高知工科大学総合研究所脳コミュニケーション研究センターの諸先生方には、専門的知見に基づくご助言・ご協力を賜り、深謝申し上げます。また、3年間本研究開発をご支援頂いた総務省、ならびに、四国総合通信局の関係各位に感謝申し上げます。

【誌上发表リスト】

- [1]K. Nakahara, et al., “Associative-memory representations emerge as shared spatial patterns of theta activity spanning the primate temporal cortex,” *Nature Communications*, Vol.7 No.11827 doi: 10.1038/ncomms11827 (2016)
- [2]T. Matsumoto and K. Matsuzaki, “Evaluation of libraries for parallel computing in Haskell -A case study with a super-resolution application-,” *Journal of Information Processing*, Vol.25 pp 308-316 (2017)
- [3]S. Takamura, S. Morinobu, et al., “Schizophrenia as a prodromal symptom in a patient harboring SNCA duplication,” *Parkinsonism and Related Disorders*, Vol.25 pp108-109 (2016)

【登録特許リスト】

- [1]岩田誠, 松崎公紀, 中原潔, 吉田真一, 繁樹博昭, 門田宏, 木村岳裕, 青木隆太, 朴啓彰, 森信繁, “MR 画像の超解像化システム,” 日本, 2015/12/22 (特願 2015-250534)、2018/9 登録予定。

【報道掲載リスト】

- [1]“長期記憶メカニズム解明”、毎日新聞(高知県版)、2016年6月11日
- [2]“記憶の仕組み解明へ光”、新潟日報 2016年6月11日
- [3]“記憶の仕組み解明を”、高知新聞、2016年7月13日