

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：31304

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01993

研究課題名（和文）高感度・超高速MRIによる脳の動特性計測及び動的脳機能マップの作製

研究課題名（英文）An attempt to make a dynamic functional brain map

研究代表者

成 烈完（Sung, Yul-Wan）

東北福祉大学・感性福祉研究所・准教授

研究者番号：30358816

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：脳機能活動に関わる動的脳機能マップの作製を試みた。全脳を対象に安静時fMRI信号の解析を行う上で主要脳部位の同定を行い、視覚、聴覚、感情、記憶、注意、嗅覚、言語などに関わる96の脳領域が同定できた。これらの脳領域間で相関関係が認められた脳領域で信号の立ち上がりの前後関係について、第一感覚野から高次野までの潜時のパターンによる動的マップが作成できた。また、刺激を、fMRIデータを収集する全区間に渡って与えながら信号のfluctuationを調べることにより、前述の96の脳領域からのfMRI信号の相関でも、安静時fMRI信号でみられるものと類似なパターンの動的脳機能マップを得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳の各部位または部位間の動的な活動に対する情報を得ることは、脳の働きを理解する上で必須不可欠である。本研究では静的脳機能マップの情報の上に動特性マップを加えることができた。これにより、脳内の信号の伝達過程、信号の入出力関係に関わる情報が加えられることになり、第一感覚野からの情報が如何に処理されるかについての信号処理メカニズムの解明など脳機能研究に貢献できる。また、学習、訓練などによる脳の可塑的变化及び加齢などによる脳認知機能変化などをダイナミックな観点でとらえることが期待でき、脳計測による教育効果の評価と認知症の早期診断などのような応用技術の開発に貢献できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：An attempt was made in this study to create a dynamic functional brain map related to brain activities. In fMRI experiments with checker pattern stimulation at 20 Hz for inducing such rapid neural activity, the latencies of the signals were in the order of thalamus, visual cortex, insular cortex. We further tried to make a dynamic functional brain map through resting fMRI signals because resting state fMRI was a method that could get stable signals for the map. For the purpose, it was made sure that the resting fMRI signals reflected the BOLD effect by showing a linear change of multi-echo fMRI signals with respect to the echo-time in many brain regions. By analyzing the resting fMRI signals in the whole brain, we could identify 96 brain regions related to visual, auditory, emotion, memory, attention, taste, and language. Then we could create a dynamic functional brain map based on the latency patterns from the primary sensory cortices to the higher cortices.

研究分野：複合領域（脳科学）

キーワード：脳機能計測 非侵襲的脳活動計測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 脳の働きを理解するためには、脳の各部位で、種々のヒトの情報処理機能に対応する機能的活動が得られるかという情報が必要である。従来の機能的 MRI (fMRI) による研究の多くはこの点に着目して、ヒト脳機能マップ(静的脳機能マップ)を作成して来ており、近年の高磁場 MRI による空間的な分解能向上においても、基本的に、脳の空間的機能特性を計測するという点では変わりはない。

(2) 脳は静的なものではなく、絶えず活動している動的なものであり、脳の各部位または部位間の動的な活動に対する情報を得ることは、脳の働きを理解する上で必須不可欠である。しかし、MRI によりこのような脳の動的な活動を計測し動的脳機能マップを作製する試みは見当たらなかった。

2. 研究の目的

本研究は脳活動の時間的特性に関する情報、または、個々の脳部位での脳波に相当する速さの脳活動の時間的な変化といった情報などを用いて、動的脳機能マップの作成を試みた。

3. 研究の方法

(1) MRI 測定シーケンス及び画像再構成プログラムの作製を行った。サンプリングの速さが 10 ミリ秒の測定シーケンスに加え、5 ミリ秒と 20 ミリ秒の測定シーケンスを作製した。また、測定感度を向上するために surface コイルの作成を行った。

(2) 速い神経活動を誘発するための高速刺激呈示プログラムウを作製した。EEG に類似する信号の誘発のため、5 Hz、10Hz、20Hz の視覚刺激を作成した。また、視覚、聴覚、運動信号を持続的に誘発する刺激パラダイムの作成を行った。

(3) 動的脳機能マップを作製に必要な刺激に対応する信号の時間的な変化の検出を行った。

4. 研究成果

(1) Multi-echo GE-EPI 測定法で視覚刺激による脳活動の計測で、非線形的な fMRI 信号を計測した。また、それを Two-compartment model を使って分析した結果、非線形的な信号変化は chemical exchange time の変化による可能性が高いことが分かった。Chemical exchange time は 10 ミリ秒前後で、このような速い変化により脳波で見る速い神経活動が MRI 信号へ顕現される可能性があると考えられた。速い神経活動を誘発のための 20 Hz の視覚刺激による fMRI 実験では、信号の立ち上がりが Thalamus, Visual cortex, Insular cortex の順であることが確認できた。また、Middle Frontal Gyrus での信号の立ち上がりは Visual cortex に似ており、fMRI 信号の立ち上がりは視覚信号の経路から見る距離とは異なることが分かった。

(2) Subliminal 刺激による顔刺激と文字刺激の信号の peak までの到達時間の違いは intraparietal cortex で見られた。これらの結果から fMRI で見る信号の時間的な流れは必ずしも視覚経路上の階層構造に従うものでないことが確認された。(3) チェッカパターン刺激で周波数を変化させた実験では第一視覚野での信号の立ち上がりは周波数に依存しなかったがその先の背側視覚野では周波数による立ち上がりの違いが見られ、刺激と機能領域間での fMRI 信号の動特性の違いがあることが分かった。(4) 超高速 MRI 測定により得られる信号とその信号源の存在可能性を確認し、信号変化の脳領域間の違いの検出において、高速測定による測定感度の低下は surface コイルで補正が厳しいことが分かった。(5) 測定感度低下などの問題を避けて動特性マップに必要な時間特性を安静時 fMRI 信号から得ることを試みた。まず、multi-echo fMRI 信号から rs-fMRI 信号で見る fluctuation が BOLD 効果を現しているかについて調べ、多くの脳領域で rs-fMRI 信号が echo-time に対して線形的な変化を示し、BOLD 効果を現していることが分かった。(6) 全脳を対象に rs-fMRI 信号の解析を ROI-base で試みた。そのために視覚野、聴覚野などの感覚野から感情、記憶、注意、言語などの高次認知機能野までの主要の脳部位の検索を Neurosynth によって行い、視覚、聴覚、感情、記憶、注意、嗅覚、言語などに関わる 96 の脳領域を同定できた。これらの脳領域での信号の潜時を調べるために領域間の相関分析を行った(図 1)。複数の脳領域間の信号の時間軸についての相関関係が認められた。相関関係が認められ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

た脳領域は、同一認知処理に関わる場合と他の認知処理に関わる場合の両方があった。信号の立ち上がりの前後関係について、第一感覚野から高次野までの潜時が遷移するなどの傾向が見られた(図2)。また、刺激を、fMRI データを収集する全区間に渡って与えながら信号の fluctuation を調べた。前述の 96 の脳領域からのこのようなタスク時の fMRI 信号の相関でも、rs-fMRI 信号で見られたものとかかなり類似なパターンが得られた。潜時についても同様に類似する多数のパターンが得られた。これらのことから安静時 fMRI 信号に、感覚情報だけでなく、認知情報の処理についての生得的な時間的情報も反映されることがわかった。得られたパターンから視覚、聴覚、言語などの処理に関わる脳部位における動的脳機能マップを作製した。

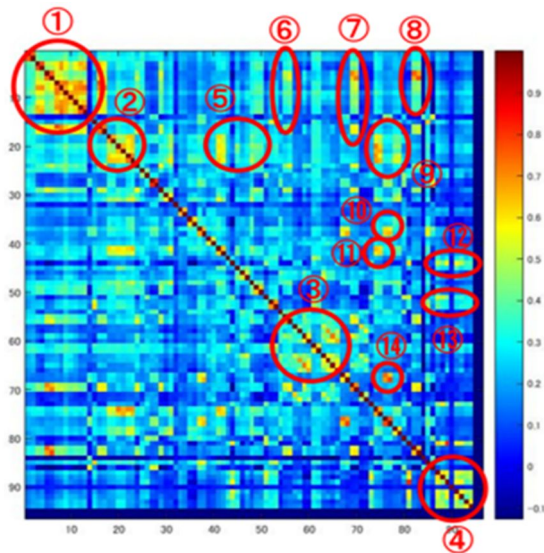


図 1. 脳部位間の相関 Correlation map of resting-state fMRI signals among the brain areas involved in processing information related to perception and cognition. Clusters surrounded by red circles indicate high correlation values ($r > 0.6$). ① for visual areas, ② for auditory areas, ③ for memory areas, ④ for emotion areas, ⑤ for language areas related to auditory processing, ⑥ for short-term memory areas related to visual processing, ⑦ and ⑧ for attention areas related to visual processing, ⑨ for attention areas related to auditory processing, ⑩ for attention areas related to olfactory processing, ⑪ for language areas related to phonetic processing, ⑫ for emotion areas related to word and sentence processing, ⑬ for emotion areas related to sensory memory, and ⑭ for other functions related to mental processing.

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

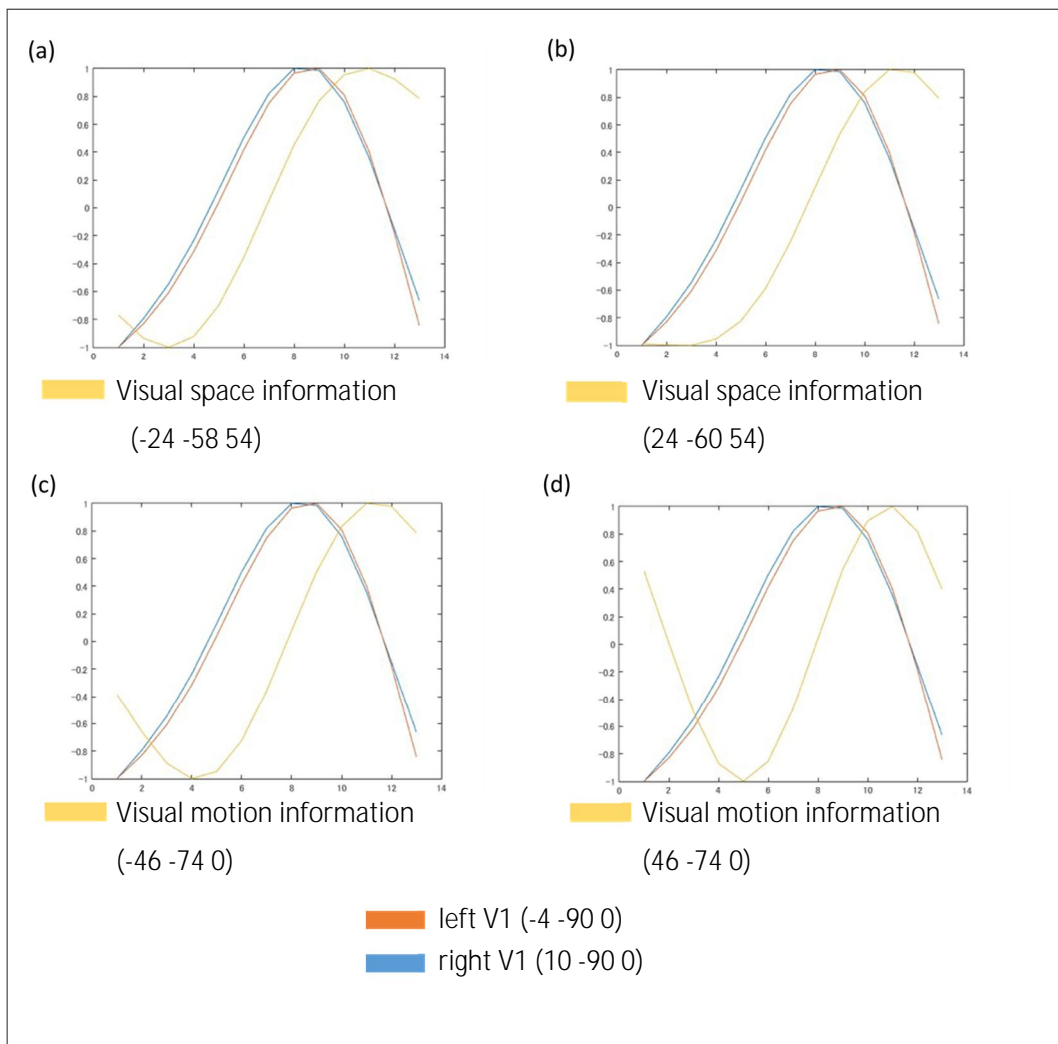


図2 脳部位間の潜時

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sung Yul-Wan, Kawachi Yousuke, Ogawa Seiji	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluating the effects of head motion when processing multi-echo MRI data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Report of Kansei Fukushi Research Institute	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Sung Yul-Wan, Naoe Taiga, Kiyama Sachiko, Ogawa Seiji	4. 巻 -
2. 論文標題 Spatial and temporal distribution of category-specific brain areas seen through resting state fMRI signals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Report of Kansei Fukushi Research Institute	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Sung Y, Kawachi Y, Ogawa S	4. 巻 20
2. 論文標題 Comparison of Multichannel Head Array Coils for fMRI Experiments.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Report of Kansei Fukushi Research Institute	6. 最初と最後の頁 153-157
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Kang Daehun, Sung Yul-Wan, Shioiri Satoshi	4. 巻 46
2. 論文標題 Estimation of physiological sources of nonlinearity in blood oxygenation level-dependent contrast signals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance Imaging	6. 最初と最後の頁 121 ~ 129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.mri.2017.10.017	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 -

[学会発表] 計10件(うち招待講演 0件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 3.Naoe Taiga, Sung Yul-Wan, Kiyama Sachiko
2. 発表標題 Functional characteristics of category-specific brain areas seen through rs-fMRI signals
3. 学会等名 ISMRM Japan Chapter, Chiba (QST), Dec 13-14, 2019.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 2.Sung Yul-Wan, Ogawa Seiji
2. 発表標題 Functional characteristics of stimulus driven resting state fMRI signals
3. 学会等名 The 46th annual meeting of the Society for Neuroscience, Chicago(Convention Center), USA, Oct. 19 -23. 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sung Yul-Wan, Ogawa Seiji
2. 発表標題 Evaluation of intrinsic properties in resting state fMRI signals by multi-echo EPI
3. 学会等名 The 47th annual meeting of the Japanese Society for Magnetic Resonance In Medicine, Kumamoto (JAL hotel), Japan, Sep. 20-22, 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 5.Sung Yul-Wan, Ogawa Seiji
2. 発表標題 Difference in functional characteristics of task-fMRI and resting state fMRI
3. 学会等名 The 25th annual meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Rome (OperaHouse), Italy, Jun 9-13, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 5.Sung Yul-Wan, Ogawa Seiji
2. 発表標題 task related regional difference in temporal characteristics of fMRI signals
3. 学会等名 11.The 25th annual meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Rome (OperaHouse), Italy, Jun 9-13, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang Seok-II, Sung Yul-Wan, Chung Junyoung, Ogawa Seiji
2. 発表標題 Evaluation of higher spatial resolution fMRI and functional specificity by 7T MRI
3. 学会等名 International Congress on Magnetic Resonance Imaging (ICMRM) 2019, Seoul (Grand Walkerhill Hotel, Korea), Mar 28-30. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kikuchi Y, Sung Y, Ogawa S
2. 発表標題 Quantification method of brain networks and estimation of network measure
3. 学会等名 The 21st Congress of Japan Human Brain Mapping Society, Tokyo (The University of Tokyo), Mar 15-16
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang Seok-II, Sung Yul-Wan, Chung Junyoung, Ogawa Seiji
2. 発表標題 High resolution functional imaging of motor/somatosensory cortices by 7T
3. 学会等名 International Congress on Magnetic Resonance Imaging (ICMRM) 2018, Seoul (Grand Hilton Hotel), Korea (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 11.Sung Yul-Wan, Ogawa Seiji
2. 発表標題 Modality-dependent functional specificity in resting-state fMRI signals
3. 学会等名 The 46th annual meeting of the Japanese Society for Magnetic Resonance In Medicine, Kanazawa, Japan, Sep. 18-20, 2018.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 10.Kang Daehun, Sung Yul-Wan, Shioiri Satoshi
2. 発表標題 Estimation of physiological sources of nonlinearity in bold signals
3. 学会等名 The 26th annual meeting of Internatiional Society for Magnetic Resonance Imaging, Paris (EXPO), France, Jun17-21, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018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
研究分担者	小川 誠二 (Ogawa Seiji) (00358813)	東北福祉大学・感性福祉研究所・教授 (31304)	
研究分担者	河地 庸介 (Kawachi Yousuke) (20565775)	東北福祉大学・総合福祉学部・准教授 (31304)	