

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：94301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K07269

研究課題名(和文) 安静時にヒト全脳で瞬時的に生じる信号伝達の解明

研究課題名(英文) Revealing whole-brain signal flows that transiently occur in human resting-state brain activities

研究代表者

武田 祐輔 (Takeda, Yusuke)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・主任研究員

研究者番号：60505981

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ぼんやりしている時、私たちの頭の中では、様々な考えが泡沫のように浮かんで消えている。このような考えや意識が生まれるには、全脳に分散された情報が瞬時に統合される必要があるが、これがどのような脳活動によって達成されているのか不明である。そこで本研究では、安静時にミリ秒の時間スケールで生じるヒト全脳の信号伝達を明らかにした。安静時脳波-脳磁図同時計測データから、我々が開発したアルゴリズムを用いて、安静時脳活動に繰り返し現れる時空間パターンを推定した。更に、シミュレーション実験やビックデータを用いて、時空間パターンが領野間・周波数間の信号伝達を反映していることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、安静時にヒト全脳で瞬時的に生じる信号伝達を明らかにした。これまで、安静時脳波・脳磁図から瞬時的に生じる脳活動パターンを捉えることは困難であった。それは、安静時には刺激呈示や反応採取が行われないので、パターンの出現時刻が特定できないためである。本研究では、我々が開発したアルゴリズムを用いることで、初めてこれを捉えることに成功した。本研究で得られた知見は、視覚・聴覚等の全脳に分散された情報がどのように統合され意識が生まれるのか、そのメカニズム解明につながると思われる。また本研究で用いた解析技術は、てんかん発作の原因究明や治療法の確立など、医療にも応用可能である。

研究成果の概要(英文)：In resting states, various minds or consciousnesses spontaneously arise in our brains. However, it is not clear how the information distributed over the brain is integrated to generate consciousness. In this study, we revealed the whole-brain signal flows that transiently occur in human resting-state brain activities. From resting-state electroencephalography (EEG) and magnetoencephalography (MEG) data, using our proposed method we estimated spatiotemporal patterns that repeatedly occurred in human resting-state brain activities. Furthermore, by conducting a simulation experiment and using big data, we revealed that the spatiotemporal patterns reflected signal flows across regions and frequencies.

研究分野：ヒト認知神経科学

キーワード：安静時脳活動 脳磁図 脳波 信号伝達 時空間パターン

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

吉田兼好「徒然草」の冒頭「徒然なるままに、日暮らし、硯にむかひて、心に移りゆくよしなしことを、・・・」にあるように、ぼんやりしている時、私たちの頭の中では、様々な考えが泡沫のように浮かんで消えている。古来様々な科学者が指摘しているように、ぼんやりしている時に自発的に浮かぶ考えや意識が、科学的発見や芸術的創造の大きな原動力になっていると考えられる。

しかし、このような「心に移りゆくよしなしこと」がどのような脳活動によって生まれるのか未だ不明である。例えば、昨日の草野球の打席を臨場感持って思い出す時、ピッチャーの投げたボール、自分のスイング、打球音など、脳の視覚野・運動野・聴覚野に分散している視覚・運動・聴覚情報を統合する必要がある。脳波の刺激誘発電位がミリ秒の時間スケールで変化することを考慮すると、この情報統合も同程度の時間スケール(200 ミリ秒程度)で生じると考えられる。しかし、このような一瞬かつ全脳の情報統合が、どのような信号伝達によって達成されているのか解っていない。

2. 研究の目的

本研究では、安静時にミリ秒の時間スケールで生じるヒト全脳の信号伝達を推定することを目的とした。具体的には、100~200 ミリ秒の間に、信号が脳領野間でどのような順序・タイミングで伝達されるのか、その時空間ダイナミクスを推定した。

3. 研究の方法

視覚野から運動野へといった信号伝達は、時空間パターンとして安静時脳波や脳磁図に現れる。しかしこれまで、これを捉えることは困難であった。安静時には刺激呈示や反応採取が行われないので、パターンの出現時刻が特定できないためである。我々は、この問題を解決するアルゴリズム (BigSTeP) を開発した (Takeda et al., 2019 NeuroImage)。BigSTeP は、安静時脳波などの連続脳活動データから、繰り返し現れる時空間パターンとその出現時刻を推定する。健常者 12 名の安静時脳活動を脳波と脳磁図で同時計測した。計測データから脳活動を推定し、BigSTeP を用いて安静時脳活動に繰り返し現れる時空間パターンを推定した。推定された時空間パターンの生成メカニズムを明らかにするため、ネットワーク蔵本モデルを用いたシミュレーション実験を行った。

さらに、ビッグデータを用いて、時空間パターンがどのような信号伝達を反映しているのか調査した。Cambridge Centre for Ageing and Neuroscience (Cam-CAN) dataset から 617 名の安静時脳磁図をダウンロードし、BigSTeP を用いて、各被験者の安静時脳活動に繰り返し現れる時空間パターンを推定した。そして、各時空間パターン内の各領野・各周波数成分に生じるピークを検出し、全被験者の全時空間パターンから、ピーク時刻が持つ傾向を調べた。

4. 研究成果

図 1 に推定された時空間パターンの例を示した。0.1 秒の間に、活動が大域的かつ連続的に変化していた。時空間パターンは、帯状回で大きなパワーを有していた。時空間パターンがどの周波数帯域の成分から構成されるのか明らかにするため、時空間パターンを、デルタ(0.4-4 Hz)、シータ(4-8 Hz)、アルファ(8-13 Hz)、ベータ(13-30 Hz)、ガンマ(30-50 Hz)帯域に分解し、各帯域のパワーを計算した。結果、時空間パターンには全帯域の成分が含まれており、ブロードバンドな脳活動を反映していることが示された。さらに、ネットワーク蔵本モデルを用いたシミュレーション実験より、時空間パターンは、解剖学的結合を介した全脳の活動伝播を反映していることが示唆された (Takeda et al., 2021 NeuroImage)。

Pattern 1 (Subject 10)

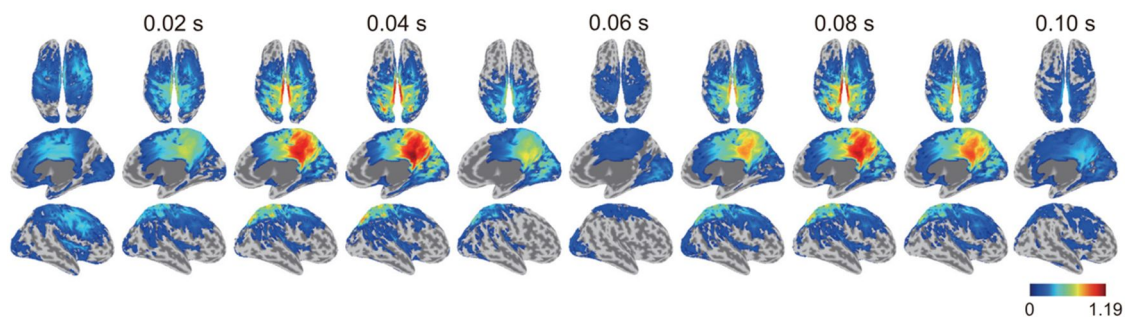


図 1. 安静時脳活動に繰り返し現れる時空間パターンの例

時空間パターンがどのような信号伝達を反映しているのか明らかにするため、多数被験者の安静時脳磁図から時空間パターンを推定し、推定された時空間パターン内のピーク時刻を調査した。結果、デルタからシータ、シータからアルファのように、低周波帯域の活動でピークが生

じた直後に高周波帯域の活動にピークが生じる傾向が見られた。この結果は、推定された時空間パターンが、低周波から高周波帯域への信号伝達を反映していることを示唆している（図 2）。本研究で推定された時空間パターンは、各領野・周波数に分散された情報が統合される過程を反映しているのかもしれない。

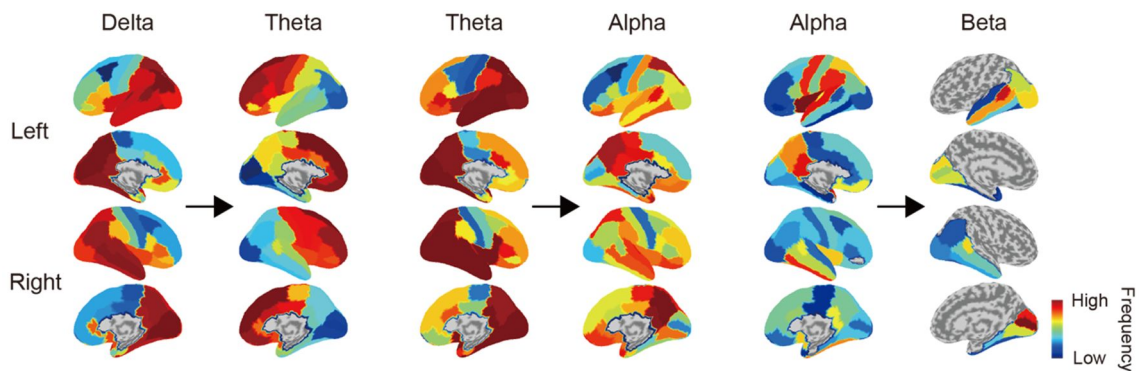


図 2. 時空間パターン内で生じる連続したピークの頻度

さらに、新しい脳磁図計測装置として近年注目を集めている光ポンピング磁力計のセンサ配置を設計するアルゴリズム (Sensor array Optimization based on Resolution Matrix, SORM) を開発した (Takeda et al., 2023 NeuroImage)。SORM は、最小ノルム法の解像度行列に基づいて、関心領域の脳活動を高い精度で推定できるように、各センサ位置を逐次的に決定する(図 3)。SORM の有効性を、シミュレーションデータと実データを用いて示した。SORM は、ブレイン-マシン・インタフェースや脳の病気の診断など、関心領域の脳活動を限られたセンサで高精度に推定したい場合に有用である。

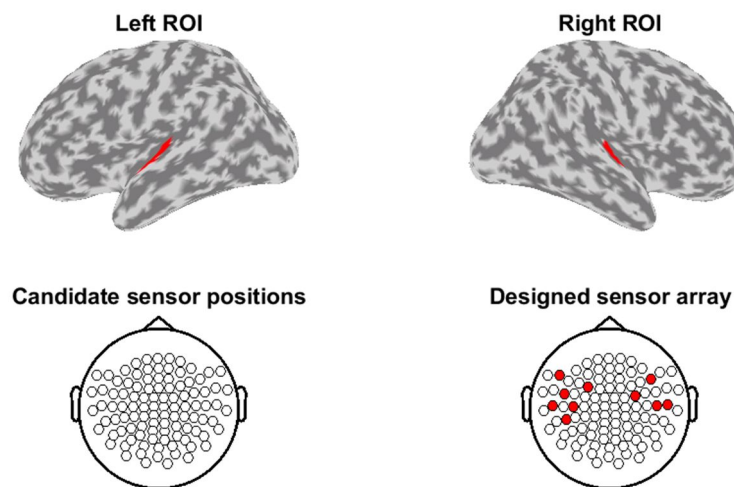


図 3. SORM による光ポンピング磁力計のセンサ配置設計

参考文献

- [Takeda Y., Itahashi T., Sato M., Yamashita O., Estimating repetitive spatiotemporal patterns from many subjects' resting-state fMRIs. NeuroImage \(2019\); 203:116182.](#)
- [Takeda Y., Niroe N., Yamashita O., Whole-brain propagating patterns in human resting-state brain activities. NeuroImage \(2021\); 245:118711.](#)
- [Takeda Y., Gomi T., Umebayashi R., Tomita S., Suzuki K., Hiroe N., Saikawa J., Munaka T., Yamashita O., Sensor array design of optically pumped magnetometers for accurately estimating source currents. NeuroImage \(2023\); 120257.](#)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takeda Yusuke, Hiroe Nobuo, Yamashita Okito	4. 巻 245
2. 論文標題 Whole-brain propagating patterns in human resting-state brain activities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 118711 ~ 118711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2021.118711	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 Takeda Yusuke, Gomi Tomohiro, Umebayashi Ryu, Tomita Sadamu, Suzuki Keita, Hiroe Nobuo, Saikawa Jiro, Munaka Tatsuya, Yamashita Okito	4. 巻 277
2. 論文標題 Sensor array design of optically pumped magnetometers for accurately estimating source currents	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 120257 ~ 120257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2023.120257	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8件（うち招待講演 2件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 武田祐輔、廣江総雄、山下宙人
2. 発表標題 安静時にヒト全脳で自発的に生じる信号伝達
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeda Yusuke, Hiroe Nobuo, Yamashita Okito
2. 発表標題 Whole-brain propagating patterns in human resting-state brain activities
3. 学会等名 OHBM 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeda Yusuke, Hiroe Nobuo, Yamashita Okito
2. 発表標題 Revealing whole-brain propagating patterns from resting-state MEG and EEG data
3. 学会等名 第44回日本神経科学大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeda Yusuke, Hiroe Nobuo, Yamashita Okito
2. 発表標題 Revealing whole-brain signal flows from resting-state MEG data
3. 学会等名 OHBM 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武田祐輔、廣江総雄、山下宙人
2. 発表標題 安静時にヒト全脳で瞬時的に生じる信号伝達の解明
3. 学会等名 第46回日本神経科学大会（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木啓大、武田祐輔、廣江総雄、山下宙人
2. 発表標題 OPM型MEGのための適応的環境ノイズ抑制手法の提案
3. 学会等名 第46回日本神経科学大会（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takeda Yusuke
2. 発表標題 Estimating repetitive spatiotemporal patterns from resting-state brain activity data
3. 学会等名 Sydney University Systems Neuroscience and Complexity (snac) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武田祐輔
2. 発表標題 安静時脳活動に繰り返し現れる時空間パターン
3. 学会等名 電気通信大学 技能情報学研究ステーション「音楽と脳」研究会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

BigSTeP toolbox https://bicr.atr.jp/~takeda/BigSTeP.html SORM toolbox https://bicr.atr.jp/~takeda/SORM.html snac https://www.youtube.com/watch?v=hSvy-z5YsHo&t=474s
--

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
---------	---------