

平成 29 年 5 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26330171

研究課題名（和文）内的思考への注意揺らぎ神経基盤の解明と集中持続支援への応用

研究課題名（英文）Neural basis of inner thought dynamics and enhancement of daily thinking processes

研究代表者

野澤 孝之（Nozawa, Takayuki）

東北大学・加齢医学研究所・助教

研究者番号：60370110

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）：本課題の目的は、思考の諸次元における揺らぎの神経基盤を解明し、その知見をもとに日常的思考活動を支援する脳計測応用の基盤を確立することである。一連の研究を通じて以下のような成果を得た：(1)自発的に生じる内的思考への注意・意識状態の揺らぎの神経基盤を同定した；(2)ポジティブ/ネガティブな思考の持続や移り変わりの背後にある脳活動ダイナミクスを同定した；(3)思考の多様性を支える、時空間的に非一様な高次元機能的結合ダイナミクスの存在を明らかにした；(4)コミュニケーションを介した集団的思考の評価における多人数同時脳計測と脳活動同調分析の有効性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This project aimed to clarify the neural mechanisms of dynamic inner thoughts fluctuating in multiple dimensions, such as attention focus, emotional valence, and diversity. Furthermore, the project also aimed to extend the obtained results to our daily thinking activities, and to establish methodological bases for evaluating and facilitating individual and group thinking processes. The succession of studies pursuing this purpose achieved the following results: (1) we identified neural dynamics reflecting concentration to and contents of inner thoughts; (2) we identified neural dynamics predicting switches or continuation of positive/negative thoughts; (3) we discovered spatiotemporally heterogeneous contribution of functional connectivity dynamics to the diversity of thoughts; (4) we established potential usefulness of fNIRS hyperscanning and interpersonal neural synchronization in qualitatively evaluating real-life communications.

研究分野：認知神経科学，応用脳科学

キーワード：脳・神経 思考 注意 情動 揺らぎダイナミクス fMRI fNIRS コミュニケーション

1. 研究開始当初の背景

たとえば現在かかえている問題や将来の計画について思考しつづれたり、単純な刺激に対して応答を繰り返すことが求められたりする状況で、環境から気を逸らすような要因がなくても、我々の注意は一定ではなく非単調に揺らぎつづける。このような注意・認知状態の揺らぎがどのような脳内ダイナミクスと相関するかを明らかに出来れば、注意を実現する神経メカニズムの基礎研究分野において重要な知見を与えることにくわえ、将来的にはより効率的な知的活動を支援する技術の開発や注意の逸脱を捉えて対処する安全性向上技術などの応用にもつながると期待できる。

最近になって、外界からの一様な認知的要求に対する注意の揺らぎが、自発的な神経活動の揺らぎダイナミクスから予測できることが明らかになってきた。代表者は、注意・実行機能を要する色-単語二重ストループ課題が散発的に提示される実験で、機能的磁気共鳴画像(fMRI)を用い、各試行にかかった応答時間と、試行前後の脳内自発結合ネットワークの活動を反映した脳血流信号との関係を調べた。その結果、前頭前皮質腹外側部、前部島皮質、右中前頭回、前帯状皮質などを含む複数のネットワークの自発的活動が、課題提示に最大6秒先行して、応答時間の変動を予測することが明らかになった(引用文献)。

ほかに、fMRIや脳波・脳磁図で計測された自発的神経活動の変化や、瞳孔・まばたき・視点移動などの眼関連指標の変化も、外界からの認知要求に対する注意の揺らぎと対応することが先行研究で示されている。

他方で、これまでの研究はもっぱら外的な刺激・認知要求に対する持続的注意の逸脱・再フォーカスを対象にしており、内的な思考や思考に対する注意の揺らぎがどのような脳内ネットワークの自律的活動や身体的指標に相関するかは明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、内的な思考の揺らぎ、思考への注意集中を反映する自発的な神経活動ダイナミクスの基盤を解明すること、そしてその知見をもとにより良い思考を支援するための日常生活における脳活動計測を通じた思考状態評価・フィードバック技術の基盤を確立することである。この目的に向けて、具体的には大きく分けて以下のような研究を行った：

(1) 自発的に生じる内的思考への注意や意識状態の揺らぎを予測する脳活動ダイナミクス・生体信号成分をfMRI実験で同定した。

(2) 思考対象への注意の集中/逸脱、意識状態の充実/空虚という次元に加えて、適切な思考に向けて新たに重要性が示唆された「思考の感情価(ポジティブ/ネガティブ)」次元に沿っての揺らぎを予測する脳活動ダイ

ナミクスをfMRI実験で同定した。

(3) 注意の集中・感情価など思考ダイナミクスの特定の次元に沿って神経基盤を探究する上記(1)、(2)のアプローチと相互補完的に、高次元的に特徴づけられる思考のダイナミクスの多様性を、同じく高次元な脳活動ダイナミクスと結び付けるfMRI研究を行った。

(4) 日常生活においては、思考は個人内で生成されるだけでなく、しばしばコミュニケーションのなかで集団的に生成される。このような集団的思考と個人的思考のダイナミクスの違いを個人間の脳活動間の関係性から定量化する可能性を探究するとともに、実世界環境における脳機能計測装置に適した機能的近赤外分光計測(fNIRS)で集団脳活動ダイナミクスを精度良く捉えるための技術的手法の確立を目指した。

3. 研究の方法

上記の具体的な研究目的(1)-(4)に対応して、それぞれ以下のような方法で研究を行った：

(1) 健康な大学生・大学院生を被験者とし、指定された問題についての内的思考へ注意を保つ「内的条件」と、外的な刺激へ注意を保つ「外的条件」での持続的注意課題を行いながらの脳活動をfMRI計測する実験を行った。同時にアイトラッカーによる眼関連指標の計測も行った。「内的条件」は指定された問題(一般的な社会的課題)の解決に向けた思考を続け、「外的条件」は文音読の聴覚刺激に注意を向け続けるよう指示した。ランダムなタイミングでキュー(注視点の色変化)を出し、その直前の指定対象への注意の保持の度合い、意識が何らかの内容で満たされていた度合いを8段階でボタン押し主観報告してもらった。これにより得られた注意および意識状態の時間的変動と結び付いた活動を示す脳機能ネットワークを同定するための解析を行った。

(2) 健康な大学生・大学院生を被験者とし、人が相反する感情・態度を持つ両価的な対象について内的思考を行う際のポジティブ-ネガティブ情動価のゆらぎに相関する神経活動を示すシステムの構成を明らかにするためのfMRI脳活動計測実験を行った。同時に眼関連指標の計測も行った。事前の調査に基づき被験者ごとに選定された両価的な意思決定問題について思考を行わせ、ポジティブまたはネガティブな思考が浮かぶ度に、情動価別のボタン押しを行わせた。この思考情動価についての主観報告と脳活動データを対応させ、同じ情動価の思考の繰り返しおよび情動価の遷移に対応して活動ダイナミクスに変化を示す脳領域や機能的結合を解析した。

(3) 安静時の思考・内的経験を評価するため

の安静時内的経験質問紙(RSIEQ)を新たに開発し、約300人の健康な大学生・大学院生被験者を対象として安静時fMRI撮像の直後に回答を得た。この質問紙データから、個人ごとに安静撮像時の思考・内的経験の多様性を定量化した。また、安静時脳活動データから脳領域間の機能的結合ダイナミクスを評価し、状態遷移のエントロピー評価により機能的結合の変動性を定量化した。思考多様性と機能的結合変動性の対応が最も高くなるコアネットワークおよび時間スケールを同定する解析を行った。

(4) 健康な大学生・大学院生を被験者とし、4名が1グループとなってコミュニケーションしながら集団的に思考している条件と、個人で独立に思考している条件での前頭前野の脳活動を無線式の小型fNIRS装置を用いて同時計測する実験を行った。個人間での脳活動の関係性の強さを条件間で比較し、「構造化されていない言語コミュニケーションを介したが集団的思考が、前頭前野脳活動の個人間での同調を導く」という仮説を検証した。また、実験的統制の困難な実世界環境でfNIRSにより集団の脳活動を同時に計測・分析しニューロフィードバックによる集団思考支援などに用いる応用に向けて、効果的なノイズ低減手法と評価手法の探索を行った。

4. 研究成果

上記の研究目的・方法(1)-(3)に対応して、それぞれ以下のような成果を得た：

(1) 指定対象への注意の集中度合いに対して内的思考に特異で負に相関した活動を示す脳領域(左右両側の縁上回および中側頭回など)を同定した。また、指定した注意対象が内的思考か外的刺激かに依らず、意識内容の充実度合いに対して負に相関する活動を示す脳(帯状回前部/前頭前皮質内側部、楔部/楔前部、両側後部中側頭回など)を同定した。これらの結果は、先行研究で注意の揺らぎへの関連が示されていた「デフォルトモードネットワーク」の中でも、外側部と内側部のコンポーネントは注意対象の内的/外的や注意/意識の側面に依って揺らぎダイナミクスに異なる役割を果たすことを示している。さらに、脳活動の大きさ(振幅)だけでなく、活動変動の位相や脳領域間のダイナミクスに変動する機能的結合が、内的思考への注意の揺らぎダイナミクスを予測する有用な情報を含んでいることを見出した。

この研究の予備的成果は国際会議(学会発表)で発表し、また国際ジャーナルへ論文投稿し成果発表する予定である。

(2) データ解析の結果、ポジティブ/ネガティブに共通で同じ情動価の思考の繰り返しにもない背側注意ネットワークやサリエンスネットワークが活動上昇を示す一方で背側デフォルトモードネットワークが活動

低下を示すこと、また視覚野や辺縁系を中心とする幅広い領域で、ネガティブな思考の繰り返し生成に固有で活動の上昇が見出された。また、ポジティブ-ネガティブの思考情動価の遷移には、楔前部、言語ネットワーク、腹側視覚ネットワーク、背側注意ネットワークの活動変化が先行することが発見された。さらに情動価の持続/遷移によってモジュレーションを受ける機能的結合の存在や、思考情動ダイナミクスの個人特性に相関した違いも見出された。これらの結果は、内的な思考の揺らぎを情動価という次元に拡張し、本研究課題の目指す生産的思考の支援に向けて重要な知見である。

この研究の予備的成果は国際会議(学会発表)で発表し、また国際ジャーナルへ論文投稿し成果発表する予定である。

(3) 思考の多様性と全脳での機能的結合の変動性が有意に正相関することを見出した。これは機能ネットワークの動的な結合再構成が、様々な思考への多様性・変動を支えていることを示唆している。さらに、思考の多様性に貢献する機能的結合は空間的に一様に分布してはならず、一部の高次認知ネットワークと低次の知覚運動ネットワークの結合変動性が重要であること、機能的結合ダイナミクスの貢献は時間スケール上も非一様で、自発的脳活動ゆらぎの各時間スケールの背後に意識的思考とも結び付きが異なる複数のメカニズムの存在を示唆すること等が明らかにされた。

この研究の成果は国際的ジャーナルに投稿し、査読コメントを受けリバイズ中である。

(4) アイディア思考を集団でコミュニケーションしながら行った場合、個人で独立に行った場合と比べて前頭前野の脳活動ダイナミクスの個人間同調性が有意に高まることを見出した。この脳活動同調は、発話行動の時間スケールより緩やかで脳活動の自発的ゆらぎに特徴的な低周波領域で顕著に見られ、コミュニケーションを通じて「息が合う」主観的体験の背後には自律的な脳活動ゆらぎダイナミクスの同調がある可能性を示唆した。また、ノイズの多い実環境でのfNIRS計測の活用に向けて、頭皮血流や体動由来のノイズを効果的に除去するための手法とその評価の枠組み、および脳活動同調の特徴時間スケールを探索する時間周波数上の解析手法を確立した。

この研究の成果は国際的ジャーナルに掲載済みであり(雑誌論文)、そこで開発した確立した技術的手法を用いて身体的な集団インタラクション時の脳活動同調の成果にも繋げている(雑誌論文)。さらに教育現場など実世界におけるコミュニケーションを介した集団的思考の現場に応用する研究へと発展させ、fNIRS集団脳活動計測と脳同調評価の有効性を検証する実験を行って

いる。これらの研究についても予備的成果を
発表しており(学会発表 , ,), 国際
ジャーナルへも論文投稿し成果発表する予
定である。

<引用文献>

Nozawa, T *et al.*, Ongoing activity in
temporally coherent networks predicts
intra-subject fluctuation of response
time to sporadic executive control
demands. *PLoS ONE*, 2014, 9, e99166

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2件)

Ikeda S, Nozawa T*, Yokoyama R,
Miyazaki A, Sasaki Y, Sakaki K,
Kawashima R "Steady beat sound
facilitates both coordinated group
walking and inter-subject neural
synchrony" *Front Hum Neurosci*,
11:147 (2017). 査読有

DOI:10.3389/fnhum.2017.00147

Nozawa T, Sasaki Y, Sakaki K,
Yokoyama R, Kawashima R
"Interpersonal frontopolar neural
synchronization in group
communication: an exploration toward
fNIRS hyperscanning of natural
interactions" *NeuroImage*, 133C,
484-497 (2016). 査読有

DOI:10.1016/j.neuroimage.2016.03.05
9

[学会発表](計7件)

野澤孝之, 榊浩平, 山崎 翔平, 河田サン
トスケルシ人美, 河田サントスナタシャ
百合子, 佐々木 結咲子, 池田 純起, ク
ラソン・ケイ, 平野 香南, ジョンヒョ
ンジョン, 川島 隆太 『身体リズム同調
が教授・学習と脳活動同調に与える影
響』第17回計測自動制御学会システム
インテグレーション部門講演会
(SI2016), 2016年12月15-17日, 札幌コ
ンベンションセンター(北海道)。

Nozawa T, Ikeda I, Sakaki K, Sasaki Y,
Hanawa S, Kawashima R "Neural
bases of fluctuations between positive
and negative thoughts" The 22st
Annual Meeting of the Organization
for Human Brain Mapping
(OHBM2016), 2016年6月26-30日, ジ
ュネーブ(スイス)。

Umezawa S, Nozawa T, Ikeda S,
Jeong H, Sasaki Y, Nejad K, Sakaki K,
Tanaka M, Tanifuji S, Chiba N,
Kawashima R "Effects of participation
and expertise on contextual meaning

acquisition" The 22st Annual Meeting
of the Organization for Human Brain
Mapping (OHBM2016), 2016年6月
26-30日, ジュネーブ(スイス)。

Sasaki Y, Nozawa T, Kawata K H,
Ikeda S, Sakaki K, Kikuchi T,
Kawashima R "The neural mechanism
of dialectical problem solving: an fMRI
study" The 22st Annual Meeting of the
Organization for Human Brain
Mapping (OHBM2016), 2016年6月
26-30日, ジュネーブ(スイス)。

野澤孝之, 山本玲子, 石川保茂, ジョン
ヒョンジョン, 池田純起, 榊浩平, 川島
隆太, 『英語授業における脳活動同調評
価の試み』第16回計測自動制御学会シ
ステムインテグレーション部門講演会
(SI2015), 2015年12月14-16日, 名古屋
国際会議場(愛知), 優秀講演賞受賞。

Nozawa T, Sasaki Y, Yokoyama R,
Sakaki K, Kawashima R. "Neural
basis of the dynamic decoupling and
re-coupling of attention to internal
and external targets" The 21st Annual
Meeting of the Organization for
Human Brain Mapping (OHBM2015),
2015年6月14-18日, ホノルル(アメリ
カ)。

野澤孝之, 川島隆太 『コミュニケーショ
ンと集団脳活動同調』計測自動制御学
会システム・情報部門学術講演会
(SSI2014), 2014年11月21-23日, 岡山
大学(岡山)。

6. 研究組織

(1)研究代表者

野澤 孝之(NOZAWA, TAKAYUKI)
東北大学・加齢医学研究所・助教
研究者番号: 60370110

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

池田 純起(IKEDA, Shigeyuki)
東北大学・加齢医学研究所・助教
研究者番号: 30754353

(4)研究協力者

佐々木 結咲子(SASAKI, YUKAKO)
榊 浩平(SASAKI, YUKAKO)