

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350987

研究課題名(和文)自然なかたちでインタラクションする二者の神経基盤を階層的システム構造として捉える

研究課題名(英文)To investigate neural mechanisms of two-in-one system in real-time naturally social interaction

研究代表者

田邊 宏樹 (Tanabe, Hiroki)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：20414021

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)：本研究において、MRIという極めて限られた状況の中で、従来の社会認知能力を調べる実験よりもより自然に近い二者のインタラクションを実現する実験パラダイムを検討し、構築した。また二者のインタラクションの例として従来の共同注意課題を発展させた課題を作成し、実際のペアが課題を遂行している際に、右側頭頭頂接合部・右上側頭溝・背内側前頭前野の脳活動の同期が高まることを確認した。このことは、インタラクションをスムーズに行うための心理的場の形成の神経メカニズムの1つとして、両者の特定の脳領域の脳活動の同期がある可能性を示している。

研究成果の概要(英文)：In this research, we tried to find and developed an experimental paradigm which realize nearly natural interaction (i.e. real-time communication) between two people in the MR scanner. In parallel, we also extend narrowly defined joint attention to verbally-cued, object-based one, which investigated what is core neural mechanism of shared attention/intention during real social interaction. To compare the synchronization of the brain activity between real pairs and pseudo-pairs (non-pairs), we analyzed the residual time-courses data (i.e. subtracted task-related brain activity) during the interaction task. The results showed that brain activities in the right tempolo-parietal junction (rTPJ), right superior temporal sulcus (rSTS), and dorso-medial prefrontal cortex (dmPFC), were more synchronized between the real pairs than between the non-pairs. It indicates that these synchronized regions might form a common psychological ground to progress a cooperative interaction task smoothly.

研究分野：認知神経科学、社会神経科学、脳機能イメージング

キーワード：社会脳科学 機能的MRI ハイパースキャニング 社会的相互作用 コミュニケーション 脳活動の同期
共同注意

1. 研究開始当初の背景

1990 年半ばから本格的始まったヒトを対象とした脳機能イメージング研究は、実験パラダイムの組み方や複雑な計画に基づくデータの解析法の発達に伴い、その対象を感覚・知覚・運動から高次認知機能へと移してきた。その中であって、ヒトの社会認知や社会性に関わる研究が 2000 年くらいから増え始め、現在では社会認知神経科学という認知神経科学のサブカテゴリーになるほどの隆盛を誇っている。一方これまでの社会脳に関する脳機能イメージング研究は、社会(認知)能力が個人の脳内でどのような神経基盤を持つか、あるいはどのような脳内表現になっているのか、を調べる研究がほとんどであり、そこでの実験手法は、絵や写真・あるいは文章を用いた課題を作成し、その刺激に反応する脳部位を同定するものであった。しかしながら、現実のコミュニケーション場面でのやりとりはリアルタイム性を持ち、ダイナミックで相互作用的であることにもその本質が隠されている。このような考えのもと、自分が他者と関わる視点、つまり二人称視点の脳機能イメージング研究の重要性が指摘され (Schilbach et al., 2013)、二人の被験者が実際にインタラクションをしている際の脳機能イメージング研究が少しずつ増加している。

このような相互作用する二個体を対象とした脳機能研究には、あくまでその神経メカニズムの解明は個人のプロセスとして考えるアプローチもあるが、本来の意味での相互作用、つまり絶え間なく続くコミュニケーション中に起こる二方向性の刺激-脳-行動のカップリング(すなわち個人内と個人間の行動-知覚ループ)を考えその相互作用メカニズムを探るためには、どうしても両者の脳活動を同時に計測する必要がある。このような考えのもと、我々は二人の人間が MRI 内で視線を介した相互作用ができる二個体同時計測 MRI システム(ハイパースキャニング fMRI)を構築し、研究を進めてきた。特に社会能力の基盤と考えられている視線の認識と共同注意について実験をおこない、視線の認識には右前頭前野・右上側頭溝・両側視覚野が重要な役割を果たしていること、共同注意課題遂行中にお互いが見つめ合っている際には互いの下前頭回の脳活動に同調が見られること、この同調は健常人同士でのみ見られ高機能自閉症者と健常成人のペアでは見られないこと、などを明らかにしてきた (Saito et al., 2010; Tanabe et al., 2012)。

2. 研究の目的

今まで行ってきた実験系は、両者のやりとりが、実験者の決めた課題の枠組みの中に完全に押し込められており、そこで見られる脳活動の同調や活動はかなり人工的な状況でみられたものであった。そしてこのような脳活動の同調がよりリアルなコミュニケーション中でもみられるのかというのは次に解決しなけ

ればならない問題である。そこで本研究では、二台の機能的 MRI 同時計測系を用いて、実験者が被験者のやりとりを制限している従来の実験パラダイムからはじめ、徐々にその制限を緩和し、最終的にはより自然な状態で二人が社会的相互作用する際の脳活動を計測し解析できる系の確立を目指した。その際、従来は難しかった機能的 MRI 撮像中に発話が出来る実験系を構築し、より自然なかたちでの二人が会話などのやりとりをする際の脳活動を計測出来るよう MRI 内外のセッティング、撮像パラメータなどを工夫し、今までに我々が観察した「相互作用する二人の脳活動の同調」がこのような自然な相互作用中にもみられるのかどうかについて検討した。

3. 研究の方法

生理学研究所に設置されたヒト二個体同時計測用の MRI (Siemens Verio 3T) を用いた。MRI 装置内での対面コミュニケーション状況を作るため、顔が隠れてしまう通常のヘッドコイルではなく膝などを撮像する際に用いるフレックスコイルを特注の固定具を使って額上部に置き、32ch ヘッドコイルの下半分と組み合わせて使用した(図1)。この顔を上部に設置した鏡に映し、それを MRI 内に設置したカメラで撮影しリアルタイムに相手側に呈示した。その際、PC から出力される刺激提示画面と PinP することにより、被験者の顔と刺激を同時に提示出来るようにした(図2)。また非磁性マイクを被験者の顎近辺に設置することにより、音声のやりとりも出来るようにした。加えて、言葉のやりとりをよりクリアにかつ頭部の動きによる撮像アーチファクトを低減するため、マルチバンドシークエンスを採用し、TR 2.5 秒、TA0.5 秒の間歇撮像により 2 秒の無音時間を作り出した。この時間を利用し、ペアは言葉によるやりとりを行うことができた。

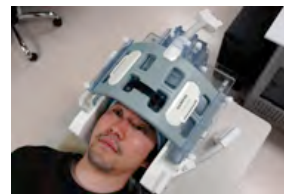


図1 対面コミュニケーションのためのヘッドコイル



図2 被験者に呈示される画面の例
ペアとなった相手のリアルタイム映像と PC から出力された視覚刺激の PinP 呈示画像

このような実験環境を構築後、我々がこれまで行った視線を用いた共同注意実験の枠組みを応用し、まずある対象に共同注意を向ける際に、そのきっかけを視線とするか言葉にするかにより、その神経基盤の異同とペア特異的な脳活動の同期について解明するための実験を行った。ついで、言語キューによる共同注意実験パラダイムをさらに推し進め、具体的な空間における注意の共有でなく、特徴への注意の共有場面において、どのくらい狭義の共同注意と神経基盤が同じか異なるかについての実験を行い、共同注意という現象のコアな神経基盤の同定を試みた。この際、特徴次元または空間位置の選択は完全に被験者に任せ、その後の一連のやりとりも二者の簡単な会話により成立するものとし、実験者あるいは実験者が意図して仕組んだ視覚や聴覚刺激の介入を最小限とした。これにより、二者の言語によるコミュニケーションはかなり自然なかたちに近づけることができた。

4. 研究成果

上記研究の方法で示した装置による機能的MRI ハイパスキャンニングにより、19組(38名)の被験者を対象に、視線をキューとした空間への共同注意と言語(話し言葉)をキューとした空間への共同注意課題遂行中の二人の脳活動を同時に計測し、その神経基盤を探った。実験の結果、視線・言語キューに共通して、共同注意課題遂行時に前頭-頭頂領域に広く活動が見られること、その他視覚野や小脳半球のVI領域にも活動が見られることが明らかとなった。一方視線キュー特異的な脳活動部位として、前頭眼野、頭頂眼野、背側視覚野、小脳半球 Crus I 領域が、言語キュー特異的な脳活動部位として上側頭回、中心前回、前補足運動野が、それぞれ同定された(図3)。

Common and cue-specific activation regions

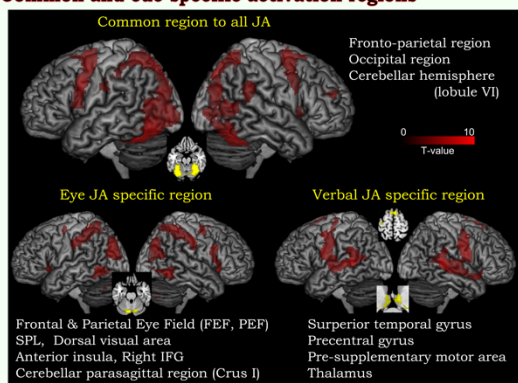


図3 共同注意における視線キューと言語キューの共通活動領域とそれぞれのキュー特異的な活動領域

次に、上記実験と同様の機能的MRI ハイパスキャンニングの手法を用い、22組(44名)の被験者を対象に、言語キューを用いた特徴への共同注意と空間への共同注意課題遂行中の二人の脳活動を同時に計測し、その神経基

盤を探った。実験の結果、両課題に共通してみられる脳活動部位として、両側の下前頭回、前部島、上側頭回、視床の一部、補足運動前野、前帯状回、内側前頭前野を同定した。また特徴次元課題遂行中には両側の後頭極視床の一部、前帯状回、さらに左下前頭回の活動が、一方空間への共同注意課題遂行中には両側の前頭および補足眼野、外側後頭葉、舌状回、楔部の活動が見られることを確認した(図4)。今回の実験では言語キューという共通の入力であったため、上側頭回などの活動が共通部位として同定されたと考えられた。以前から我々がおこなっている視線キューを使った実験結果と付き合わせて考えると、上記共通活動部位の中でも特に下前頭回と前部島が共同注意遂行に極めて重要な役割を果たしているのではないかと考えられた。

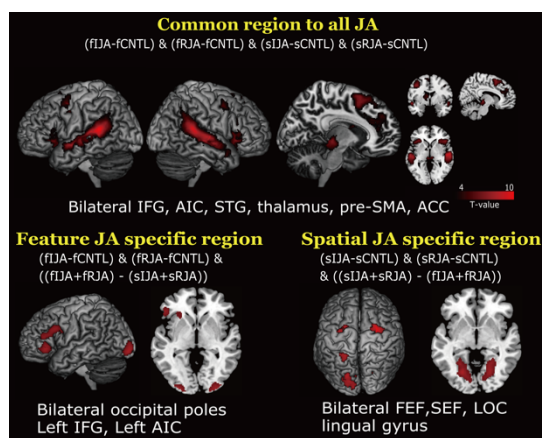


図4 空間的共同注意と物体の特徴への共同注意の共通活動領域とそれぞれの特異的な活動領域

これら2つの実験について、ペア特異的な脳活動の同期についても調べた。全てのペアで同じ課題を遂行しているため、脳活動の同期をみるデータは、上記課題による脳活動を差し引いた、残差時系列データを用いた。また今回の解析では、両者に対応する脳部位間の脳活動の同期にのみ焦点を当てた。すなわち相同部位の残差脳活動の相関を実際のペアと実際のペア以外の組合せによる擬似ペアそれぞれにおいてボクセルごとに算出し、相関値をz変換したものをペアの相関脳マップを用いて二群のt検定を行い、実際のペア特異的に脳活動の同期が見られた領域を同定した。解析の結果、言語キューと視線キューを用いた共同注意実験においては、右上側頭溝、右側頭頭頂接合部、背側前頭前野内側部が、空間と特徴の共同注意実験においては、右上側頭溝、右側頭頭頂接合部、背側前頭前野内側部に加え、右下前頭回から前部島にかけての領域が、実際のペアにおいて擬似ペアよりも相同部位の残差脳活動の相関が高いことが示された(図5)。これらのことは、実際のペアでは、特定の領域に、直接課題には関係し

ない脳活動の同期がみられ、これらの活動が両者を機能的に結びつけていることを示唆するものである。またこれらの領域が異なる2つの実験で共通に見られたが、これはこれらの領域が特定の課題やペア依存ではなく、社会的なインタラクションをする二人に特徴的に見られるという点も興味深い。上記で示された領域は、いわゆるミラーニューロンシステムや自他視点取得に関わる脳領域であることから、互いにやりとりをするような特定の課題をスムーズにおこなうために、これらの領域の同期が使われている可能性を示している。

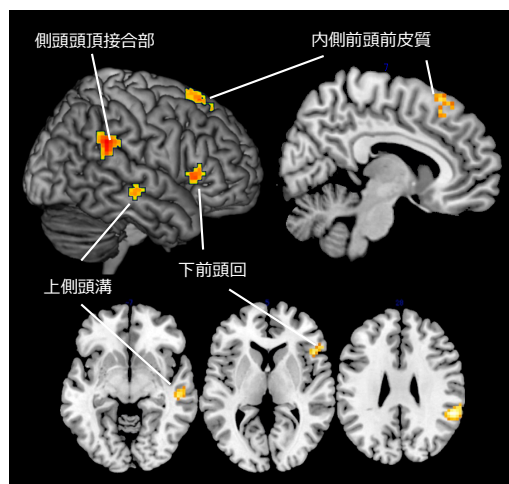


図5 空間と特徴の共同注意実験において、実際のペアの残差脳活動の同期が高まっていた領域

上記に示した脳活動の同期を見る解析は、相同部位間の脳活動の相関によるものであるが、1つの動的システムとして考える際にはさらなる解析が必要である。我々は相同部位間以外の脳領域同士の相関も加味した解析法を確立し、これらのデータに用いる予定であったが、残念ながら間に合わせることができなかった。さらに、1つの動的システムとしてとらえるにはさらに洗練した解析手法の開発が必要であるが、この点は時間切れとなり今後の課題として残された。

さらに、我々は研究当初、より自然なかたちのコミュニケーションを、ペアになった両者の発言のタイミングなどを自由により実現しようと考えていたが、それをMRI実験の中で実現するのはかなり困難であることが、実際の研究を行っている際に明らかとなってきた。また自然なインタラクションは必ずしも時間的制約を緩めることだけではないことに気づき、研究の後半には方針を転換した。より自然なかたちのコミュニケーション場面を実験の中にどう組み込むかについては、今回の我々の実験でその1つの方略の方向性を示せたのではないかと考えているが、社会的インタラクション研究を進めていく上で、今後も考えていかなければならない重要な課題である。

<引用文献>

- ① Saito DN, Tanabe HC, et al. (2010) “‘Stay tuned’: inter-individual neural synchronization during mutual gaze and joint attention.”, *Front Integ Neurosci*, 4, Article 127, 1-12.
- ② Schilbach L, et al. (2013) “Toward a second-person neuroscience.”, *Behav Brain Sci*, 36, 393-462.
- ③ Tanabe HC, Kosaka H et al. (2012) Hard to ‘tune in’: neural mechanisms of live face-to-face interaction with high-functioning autistic spectrum disorder.”, *Front Hum Neurosci*, 6, Article 236, 1-17.

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 8 件)

- ① Miura N, Tanabe HC, Sasaki AT, Harada T, Sadato N (2017) “Neural evidence for the intrinsic value of action as motivation for behavior.”, *Neuroscience*, 352, 190-203.
DOI:10.1016/j.neuroscience.2017.03.064 (査読有)
- ② Kawamichi H, Sugawara SK, Hamano YH, Makita K, Matsunaga M, Tanabe HC, Ogino Y, Saito S, Sadato N (2016) “Being in a romantic relationship is associated with reduced gray matter density in striatum and increased subjective happiness.”, *Front Psychol*, 7, 1763. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.01763 (査読有)
- ③ Matsui T, Nakamura T, Utsumi A, Sasaki AT, Koike T, Yoshida Y, Harada T, Tanabe HC, Sadato N (2016) “The role of prosody and context in sarcasm comprehension: behavioral and fMRI evidence.”, *Neuropsychologia*, 87, 74-84. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2016.04.031 (査読有)
- ④ Yoshihara K, Tanabe HC, Kawamichi H, Koike T, Yamazaki M, Sudo N, Sadato N (2016) “Neural correlates of fear-induced sympathetic response associated with the peripheral temperature change rate.”, *NeuroImage*, 134, 522-531. DOI:10.1016/j.neuroimage.2016.04.040 (査読有)
- ⑤ Kawamichi H, Yoshihara K, Sugawara SK, Matsunaga M, Makita K, Hamano YH, Tanabe HC, Sadato N (2016) “Helping behavior induced by empathetic concern attenuates anterior cingulate activation in response to others’ distress.”, *Soc Neurosci* 11(2), 109-

122.

DOI:10.1080/17470919.2015.1049709

(査読有)

- ⑥ Suzuki A, Ito Y, Kiyama S, Kunimi M, Ohira H, Kawaguchi J, Tanabe HC, Nakai T (2016) "Involvement of the ventrolateral prefrontal cortex in learning others' bad reputations and indelible disgust.", *Front Hum Neurosci*, 10, 28. DOI:10.3389/fnhum.2016.0002 (査読有)
- ⑦ Koike T*, Tanabe HC*, Okazaki S, Nakagawa E, Sasaki AT, Shimada K, Sugawara SK, Takahashi HK, Yoshihara K, Bosch-Bayard J, Sadato N (2016) "Neural substrates of shared attention as a social memory: A hyperscanning functional magnetic resonance imaging study.", *NeuroImage*, 125, 401-412. DOI:10.1016/j.neuroimage.2015.09.076 (査読有) *equally contributed
- ⑧ Koike T, Tanabe HC, Sadato N (2015) "Hyperscanning neuroimaging technique to reveal the "two-in-one" system in social interactions." *Neurosci Res*, 90, 25-32. DOI:10.1016/j.neures.2014.11.006 (査読有)

[学会発表] (計 7件)

- ① Yoshioka A, Koike T, Nakagawa E, Sumiya M, Okazaki S, Sadato N, Tanabe HC (2016) "Common neural substrates of initiator and responder in spatial and feature-based joint attention: a hyperscanning fMRI study.", Society for Neuroscience 2016 Annual Meeting 11.11-16, San Diego, USA
- ② Yoshioka A, Tanabe HC, Koike T, Okazaki S, Nakagawa E, Sumiya M, Sadato N (2016) "The neural substrates of feature-based joint attention: A hyperscanning functional MRI study.", International Congress of Psychology 2016 7.24-29 Yokohama, Japan
- ③ Tanabe HC, Yoshioka A, Koike T, Okazaki S, Sadato N (2016) "Core neural substrates of joint attention using hyperscanning functional MRI.", International Congress of Psychology 2016 7.24-29 Yokohama, Japan.
- ④ Tanabe HC, Yoshioka A, Koike T, Nakagawa E, Sumiya M, Okazaki S, Sadato N (2016) "Neural substrates of feature-based joint attention: a hyperscanning functional MRI study.", OHBM 2016 Annual Meeting 6.27-30 Geneva, Switzerland
- ⑤ 田邊宏樹 (2015) 「社会脳研究の新たな視点：二人の fMRI 同時計測によるアプローチ」田邊宏樹 (企画) 「大会シンポジウ

ム：ヒト脳イメージング研究の最前線」日本心理学会第 79 回大会 9.22-24 名古屋国際会議場 名古屋

- ⑥ 田邊宏樹、小池耕彦、岡崎俊太郎、定藤規弘 (2015) 「言語キューを用いた共同注意：ハイパースキャンによる機能的 MRI 研究」第 38 回日本神経科学大会 7.28-31 神戸国際会議場 神戸
- ⑦ Tanabe HC, Koike T, Okazaki S, Sadato N (2015) "Common and cue-specific neural substrates of joint attention: a hyperscanning functional MRI study." Human Brain Mapping 2015 Conference 6.14-18 Honolulu, Hawaii, USA

[図書] (計 1件)

- ① 田邊宏樹 (2015) 「脳機能イメージング」榊原洋一、米田英嗣 (編) 「発達科学ハンドブック 8 脳の発達科学」p76-85. 新曜社 東京

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田邊 宏樹 (TANABE HIROKI)
名古屋大学・環境学研究科・教授
研究者番号：20414021

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

吉岡 歩 (YOSHIOKA AYUMI)
名古屋大学・環境学研究科・
大学院生

小池 耕彦 (KOIKE TAKAHIKO)
生理学研究所・大脳皮質機能研究系・
特任助教

中川 恵理 (NAKAGAWA ERI)
生理学研究所・大脳皮質機能研究系・
特任助教

角谷 基文 (SUMIYA MOTOFUMI)
生理学研究所・大脳皮質機能研究系・
大学院生

岡崎 俊太郎 (OKAZAKI SHUNTARO)
生理学研究所・大脳皮質機能研究系・
研究員