

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23650224

研究課題名（和文）

二者の機能的MRI－脳波－視線同時計測による社会的相互作用のシステムダイナミクス

研究課題名（英文）

System dynamics of social interaction between two persons using functional MRI - EEG - eye tracking simultaneous measurements.

研究代表者

田邊 宏樹 (TANABE HIROKI)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：20414021

研究成果の概要（和文）：

本研究において、リアルなコミュニケーション場面での二者の視線や脳活動を視線・脳波（EEG）および機能的磁気共鳴画像（fMRI）すべて同時計測することにより実現し、現実場面に近い社会的相互作用時の両者の関係性を脳機能と行動から解析する枠組みを確立した。これにより真の意味での二者の社会的やりとりを1つのダイナミカルシステムとして、しかも意味合いの異なる三種類の異なるデータを複合的に用いて解析できる環境を整えることが出来た。

研究成果の概要（英文）：

In this research, I constructed a system to measure the brain activity using functional MRI and EEG, and gaze direction simultaneously when two persons communicate face-to-face. This enables us to investigate neural mechanisms of real-time interaction as a dynamical systems employing three different kinds of data.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：認知神経科学

科研費の分科・細目：脳神経科学・融合社会脳科学

キーワード：脳機能イメージング、コミュニケーション、社会脳

## 1. 研究開始当初の背景

1990年代中頃からヒトを対象とした脳機能イメージング研究が盛んになり、まず始めに感覚知覚・運動の脳機能マッピングが、続いてヒト特有の高次脳機能についての研究が発展してきた。この流れを汲んで、近年ヒトの社会性に関する脳研究が盛んになってきている。機能的磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance; fMRI)を用いた研究も増加の一途を示し、いわゆる“社会脳”の神経基盤を探る研究は今やfMRI研究のメイントピックの1つとなっている。

社会的な場面においては心の理論のよう

な「他者理解能力」が必須であるが、その能力の発現を可能とする下位能力のうち最も重要なものの1つが「視線の認識」といわれている。これまで視線認識の神経基盤についても多くの研究がなされているが、これらはあくまで個人の社会認知の一側面としての視線認識の神経基盤研究であった。しかし現実には目を移すと、対面コミュニケーション場面では視線のやりとりはダイナミックで相互作用的であり、今までの視線認識の研究だけではとらえきれない問題が残されていると考えることもできる。

このような考えは近年社会性の認知科学

を専門とする研究者の間で少しずつ広がりを見せており、例えば Gallagher らは二者間のリアルな社会的相互作用の研究は社会的認知過程を理解する上で個人を対象とした研究以上のものが得られ、この先中心的な役割を果たしていけると述べている。また Kelso らは“世界は相補的である”という視点から世界を捉え、それを記述する方法である“coordination dynamics”を提案し、理論だけでなく実際の二者間の行動・EEG 計測などによる実験研究も行っている。これらの考え方によれば、社会的相互作用をダイナミカルシステムとして実証的に研究するには、二個体以上の行動および／あるいは脳活動のデータを同時取得することが必須であり、それなくして社会的インターアクションの本質は掴めない。さらに、近年 fMRI による脳機能イメージング研究においても遠隔地の複数台の MRI を繋げて複数人の脳活動を同時計測する手法 (MRI hyperscanning) が提案され、欧米などではそれらを用いた社会認知研究が徐々に増えつつあるというのが我々がこの研究を始める時の現状であった。

## 2. 研究の目的

上述のように、これまでのいわゆる社会脳の研究では社会認知という個人の脳機能メカニズムへ還元する研究がほとんどであり、視線の役割における神経基盤についても、そのほとんどの課題は絵や写真・動画ビデオを用いており、社会的相互作用の脳機能メカニズムに迫れているものは非常に少ない。しかし現実の場面では視線は相互にやりとりされるものであり、ダイナミックに変化するものである。我々は、これらを1つのダイナミカルシステムとして考えない限り、真の意味での社会的相互作用の脳機能メカニズムは理解できないと考えている。またシステムのダイナミクスを対象にした場合、時間解像度の低い fMRI だけではその本質を捉えきれない可能性が高い。そこで本研究では、最初に fMRI・EEG・視線計測を組み合わせた計測系を組み上げ、それを二個体の同時計測に拡張した系の確立を目的とした。これにより、視線を媒介とした対人コミュニケーションを1つの社会的交互作用のダイナミカルシステムとして取り扱うことができるようになる。加えて、対面状況における自己顔の認知への他者視線の影響、他者への配慮や共感

など、リアルな場面での社会的相互作用に用いることが出来る実験課題についても検討し、functional MRI の同時計測による実験を行い、将来的に用いる課題の検討も合わせて行うことを目的とした。

## 3. 研究の方法

代表者が申請時に所属していた生理学研究所にはヒト二個体同時計測用の MRI および視線計測装置が導入済みであった。そこでまず最初に、MRI の中で MRI コンパチブルの EEG 電極を装着した状態でお互いの顔が見えるよう、通常は膝などを撮像する際に用いるフレックスコイルを特別に製作した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使用できるようにし (図1)、エコープラナーイメージング (EPI) 法による脳活動 (fMRI)、EEG による脳活動、およびその際の視線の動きを計測できるようにシステムそのものを構築した。



図1 フレックスコイルと32ch 下部コイルの組合せによる撮像

この際、視線計測装置・EEG 計測装置・MRI が互いに干渉しデータ取得の際のノイズとなる。特に MRI が強力な磁場を持つ装置のため、同時計測のため持ち込まざるを得ない視線計測装置や EEG 計測装置などの磁性体が強力なノイズ源になり、MRI の撮像 (画像) や EEG データに多大な影響を与える。したがってここでの徹底したノイズ除去が必要となる。ノイズ除去については、ハード面とソフト面の両方からアプローチした。

MRI 一台ずつで視線・EEG・fMRI それぞれに安定したデータの取得を確認した後、これをデュアル化 (二人の脳活動と視線の同時計測) し、同時に MRI に入って画面越しにお互いの顔を見ている際の視線-EEG-fMRI の同時計測を行った (Dual MRI)。

実験課題の検討については、二台の fMRI 同時計測系セッティング (MRI hyperscanning) を用いて行い、将来的に EEG と視線の同時計測も視野に入れながら実際の実験とデータの解析を行った。

#### 4. 研究成果

この研究計画の最終的な目標は、互いが見つめ合っている二者の視線・脳波 (EEG) および機能的磁気共鳴画像 (fMRI) すべて同時計測することにより、両者の関係性を1つのシステムダイナミクスという観点で捉え解析することにある。

方法にも述べたように、実際の二者の同時計測にはそれぞれの装置由来によるノイズの徹底的な除去が必要になる。我々はまず始めに二台のMRIを繋げたことによるノイズの対策を行った。

近接する二台のMRIは、それぞれ単独で使用する場合に装置同士の信号が干渉しないようラジオ波の周波数などを微妙に違えてあるが、fMRI用に一部の配線が繋がっている両者と同じシーケンスで同期して走らせても画像に影響が出ないかは不明であったので、まずそこから確認した。二台のMRIを同期して撮像するには何らかのかたちで両者に信号を入れる必要がある。我々は初め外部トリガによりMRIスキャンを1スキャン毎に完全に同期することを考え、そのシステムを構築したが、それによる強いノイズ (画像アーチファクト) を確認した。その詳細を調べるため、スキャンの同期・ズレとノイズパタンの関係を見ると、2台のMRIがほぼ完全に同期するとN/2アーチファクトとなって現れ、100msずれると線状のノイズとなって現れることが分かった。このノイズの原因として、外部トリガ入力のための配線を伝って別のMRIの電波が混入する可能性が考えられたので、外部トリガ入力の配線をシールド性の高いものに変更したところ、一方のMRI装置だけでは上記現象が残ったが、二台とも配線をシールド性の高いものに変更するとN/2アーチファクト、線状ノイズともに消失したようにみえた。しかしながら、実験装置等のわずかな配置の違いによって時折画像ノイズが発生するという事態が生じた。この原因を探ったところ、フィルタ板を通していてもかかわらず、外部トリガ入力のための配線を伝って入り込んだ反対側のMRIからの電磁波ノイズをヘッドフォンケーブルがアンテナとなって拾い、それが画像に乗ったものとの結論に達し、ヘッドフォンケーブルを非磁性のものに変更した。

ところが、それでもまだ原因不明のノイズが時折現れた。それは周期的に変化する画像

アーチファクトで、しかもある特定の1~数スライス著しい輝度変化というものである (図2参照)。これに関しては毎回起こるわけでないためノイズ源を特定することが難しく、現時点でまだ明確な原因を特定できていない。このノイズ (画像アーチファクト) は時折しか起こらないので、データを取る際にもしこのノイズが出たら使わないという方略をとることにした。

このようにノイズの原因を1つ1つ探り、一応実験に耐えうるMRI画像が撮れるようになった。

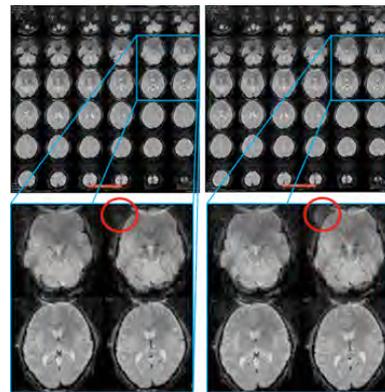


図2 周期的に起こるアーチファクト例  
左の赤丸にはアーチファクトはないが、次のスキャンでは赤丸の場所に現れる。このアーチファクトはその次のスキャンではまた左のように消える。

次にEEGとfMRIの同時計測に関わる問題の対処を行った。EEGの信号にはMRI由来のノイズが混入することが知られている。このノイズはMRIの内部トリガにより撮像を行った場合はテンプレートマッチングにより取り除くことができる。しかしながら外部トリガを使用した場合、EPI撮像の繰り返し時間

(TR)にわずかなゆらぎが生じ、EEGの生データから上手くノイズを取り除けないことが分かった。その対処のため、物理的に2つのコンソール上のマウスをクリックできるスイッチを作成し、撮像の開始を合わせ、それ以降は内部トリガによって撮像を行うよう計画を変更した。この方法でTRのゆらぎがなくなり、EEGデータのノイズ除去が上手く出来るようになった。

当初の計画では、初年度に全てのノイズ源を特定し対処する予定であったが、予想以上に難航し、また途中で視線計測装置が故障し使用できなくなるなどのアクシデントも重

なり、十分な数のデータを取ることができなかった。その間に、リアルな場面での社会的相互作用に用いることが出来る実験課題についても検討し、自己顔の認知にリアルな他者の視線が与える影響と、サイバーボール課題を用いた他者への配慮と共感についての functional MRI 実験を行い、論文化することが出来た。加えて、この装置の簡易版であるリアルタイムでアイコンタクトが出来る dual MRI system を用いた共同注意と見つめ合いの神経基盤の研究をまとめ、共同注意課題実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みられること、この同調は健常人同士でのみみられ、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、論文化した(図3)。

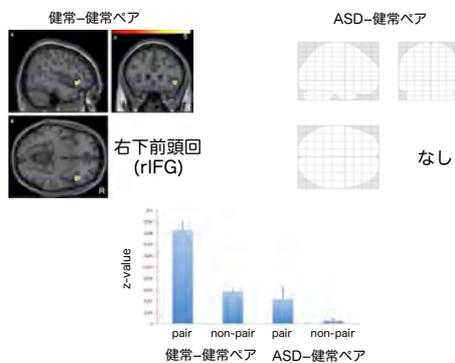


図3 見つめ合っている際に健常人ペア同士の脳活動に同調がみられた部位

視線計測装置の復帰を待って、最終的に互いが見つめ合っている二者の視線-EEG-fMRIすべて同時計測することに成功した。この同時計測系の確立は世界初で今後の社会脳研究に新たな地平を開くものと考えている。

一方、この研究を進めた結果今後の課題も見つかった。1つは実験セッティングに時間がかかりすぎ(実験開始までに約2時間半)、被験者に多大な負担をかけてしまうことである。もう1つは解析において時間スケールの違うデータを扱うことになり、その対処が思いの外難しいことである。時系列解析の専門家との議論で、特にfMRIとEEG/視線計測データのサンプリング時間が違いすぎることから、三者を統一的に1つの解析フレームワークにそのまま載せることには無理があるということがはっきりした。この件は今後の重要な検討課題である。今回の研究により、研究の費用対効果を含めて今後は何を目的とした

実験かによって組合せを変えるなど可変的な対応をするべきであるという示唆が得られた。

最後に、ここで得られたノウハウを公開・情報共有し今後のこの分野の発展に寄与したいと考えている。

#### 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3件)

- ① Morita T, Tanabe HC, Sasaki AT, Shimada K, Kakigi R, and Sadato N (2013) “The anterior insular and anterior cingulate cortices in emotional processing for self-face recognition.” *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, nst011 (e-pub ahead of print). DOI: 10.1093/scan/nst011 (査読有)
- ② Kawamichi H, Tanabe HC, Takahashi H, and Sadato N (2012) “Activation of the reward system during sympathetic concern is mediated by two types of empathy in a familiarity-dependent manner.” *Soc. Neurosci.*, 8, 90-100. DOI: 10.1080/17470919.2012.744349 (査読有)
- ③ Tanabe HC\*, Kosaka H\*, Saito DN, Koike T, Hayashi MJ, Izuma K, Komeda H, Ishitobi M, Omori M, Munesue T, Okazawa H, Wada Y, and Sadato N (2012) “Hard to “tune in” : neural mechanisms of live face-to-face interaction with high-functioning autistic spectrum disorder.” *Front Hum Neurosci*, 6, Article 268, 1-15. \*equally contributed. DOI: 10.3389/fnhum.2012.00268 (査読有)

[学会発表] (計4件)

- ① Tanabe HC (2012) “Innovative society and social brains.” RNMH2012 The first international conference, 11.18-24 Tokyo, Japan.
- ② Tanabe HC, Koike T and Sadato N (2012) “Inter- and intra-brain functional connectivity during eye contact and joint attention: a hyper-scanning functional MRI study.” Social

Cognition, Engagement and the  
Second-Person-Perspective  
International Conference 5.25-27 Koln,  
Germany.

- ③ 田邊宏樹 (2011) “Neural substrates and inter-individual functional connectivity during mutual gaze and joint attention using dual functional MRI.” 第34回日本神経科学大会 9.16 パシフィコ横浜 横浜
- ④ Tanabe HC, Kosaka H, Saito DN, Munesue T, Okazawa H, Wada Y and Sadato N (2011) “Joint attention between individuals with normal and autism spectrum disorders using dual fMRI.” Human Brain Mapping 2011 Conference 6.26-7.1 Quebec, Canada.

## 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・准教授  
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

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

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

佐々木 章宏 (SASAKI AKIHIRO)  
生理学研究所・大脳皮質機能研究系・  
研究員

吉原 一文 (YOSHIHARA KAZUFUMI)  
生理学研究所・大脳皮質機能研究系・  
研究員

島田 浩二 (SHIMADA KOJI)  
生理学研究所・大脳皮質機能研究系・  
大学院生

菅原 翔 (SUGAWARA SHO)  
生理学研究所・大脳皮質機能研究系・  
大学院生

川道 拓東 (KAWAMICHI HIROAKI)  
生理学研究所・大脳皮質機能研究系・  
特任助教

守田 知代 (MORITA TOMOYO)  
生理学研究所・統合生理研究系・  
特任助教