

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：63905

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12775

研究課題名(和文)二者/三者同時記録MRI装置を用いた、会話のメカニズムと神経基盤の解明

研究課題名(英文)Understanding the mechanism of conversation using a hyperscanning fMRI system

研究代表者

小池 耕彦(Koike, Takahiko)

生理学研究所・システム脳科学研究領域・特任助教

研究者番号：30540611

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：会話とは、個人の持つ情報を音声情報を介して他者とやり取りすることで、複数個人間で情報を共有する作業である。本研究は、二者もしくは三者が会話している最中の脳活動を複数台のMRI装置により同時記録することで、会話の神経基盤を明らかにすることを試みた。その結果、自分が会話を主導する際と他者が主導する会話に追従する場合とでは、社会脳として知られる領域の脳活動パターンが違ふこと、および特定の相手と会話を繰り返していく際に、それら領域の活動が学習に伴い上昇していくことが明らかとなった。このことは会話は一般的な共同作業と同様に学習が可能なスキルであり、その習熟には社会脳領域が関連していることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：The conversation is a behavior to share the knowledge between individuals, by exchanging information through verbal information in real time. In this study, using hyperscanning fMRI system, which could acquire brain activation from two individuals simultaneously, I investigated the neural basis of conversation. When an individual proactively guide a conversation, the brain activation pattern is significantly different from that when an individual passively follow to the partner's guidance.

研究分野：社会神経科学

キーワード：fMRI Hyperscanning fMRI 会話

## 1. 研究開始当初の背景

### 学術的背景

会話とは二人が異なる役割(話者, 聴取者)を交互に担い, 相互に影響を与え合いながら進む相補的な共同作業である。従来はこのメカニズムを, 個人の脳活動/行動から理解しようとしていた。しかし会話とは, 発話を介して二者が互いに影響を与え合っている状態である。会話のメカニズムおよびその神経基盤を理解しようとするのであれば, 会話状態を二者が構成する一つの非線形系として考え, その際の二者の振る舞いおよび神経基盤を議論するという試みが必要であろう。会話中の二者の脳活動を同時記録する試みは, 簡便な脳機能イメージング手法である脳波を用いて, すではじまっている。

### 先行研究の不足点

申請者は, 会話のメカニズムに関する先行研究には, 以下のような不足点があると考えた。

- a. 二者が示すダイナミクスへの注目: 会話に関する先行研究は, 会話で使われる語彙などへの注目が過ぎている。実際に会話がうまくいくかどうかは, 適切な間を形成しつつ淀みなく会話を繋げていけるか, つまり2人が1つの「システム」として適切に振る舞うかにかかっている。
- b. 脳活動描出の空間解像度: 脳波には低い空間解像度と不良設定問題という問題点がある。会話を二者が構築する非線形系として理解する試みには, 高空間解像度で脳深部の記録も可能な fMRI を使った二者脳活動同時記録研究が必要である。
- c. 行動-脳活動を統合的に扱う解析: 会話中の二者は行動を介して情報をやり取りしているのであるから, 被験者から得られる脳活動および行動特性を統合的に扱い, 解析する手法が必要である。

### 本研究の意義

本研究は二者脳活動同時 fMRI 記録を利用し, スムーズな会話のメカニズムを非線形システムとして検討し, 会話を共同作業として研究するという, 新しい方法論を提案する。会話能力は, コミュニケーションに困難を抱える自閉症者支援にも重要であり, そのメカニズムを明らかにすることには臨床的にも大きな意義がある。

## 2. 研究の目的

会話とは二人が異なる役割(話者, 聴取者)を交互に担いながら進めていく, 相補的な共同作業である。会話中は言語/非言語情報を介して相互に影響しあっている状態であるから, この特性を個人の行動/脳活動のみから解明することはできない。二者で会話がスムーズに成立する仕組みを理解するため

には, 会話を二者が行動(発話)を介して結びつけた一つの系と捉えた研究手法が必要である。本研究では会話する二者から, (1)機能的磁気共鳴画像(fMRI)装置を用いた複数個体脳活動同時記録システムで同時に脳活動を記録し, (2)二者の会話をひとつの非線形システムとして解析することで, 会話が成立するメカニズムを明らかにする。加えて(3)実験系を三者会話に拡張することで, 本研究の方法論が会話全般に拡張できることも示す。

## 3. 研究の方法

### 3.0. 二者会話中の脳活動および行動指標を同時記録可能なシステムの確立

2 台の MRI 装置内にいる被験者が会話をする際の脳活動を同時記録する際の問題点は, (1)撮像にともなうノイズ音が二者の間を行き来することによるハウリングの低減, (2)発話にともなって必然的におこる体/頭の動きによってMR画像上に現れるノイズの低減がある。二者会話実験以外で発話を利用した行動指標を用いる fMRI 実験を利用して, システムの安定化および撮像パラメータの推定をおこなう。

### 3.1. 二者会話実験

生理研の二者同時記録 fMRI システムを利用して, 二者会話実験をおこなう。知識量や過去の経験に可能な限り依存しない会話を実現させるため, 二者協力の必要な迷路ゲームを実験参加者に MRI 内でおこなってもらい, 会話中の脳活動を記録する。ゲームの概略は, 以下の通りである

- (a)MRI 内にいる2人の実験参加者には, 図のような迷路が提示される。迷路は通路, ゲート, 部屋からなり, その構造は参加者1と2で異なる。最初に2人の実験参加者がいる位置は異なっており, お互いに相手の位置や迷路の構造はわからない。
- (b)二者が共にゴールに立つことを目的に, 交互に1手ずつ移動していく。
- (c)参加者1の行く手を遮るゲート開閉は, 参加者2が部屋を移動したときに, その部屋に隠されているスイッチを踏むことによっておこなわれる。
- (d)だが参加者2は, 自分が移動したことでスイッチを踏むかどうかは, 自身のマップではわからない。参加者1から情報を得るため, 会話が必須である。

上述のようにこのゲームは, 個人の力だけでゴールに到達することはできない。会話を介してパートナーと情報交換し, 協力して移動しなければならない。

この課題では交互に1手ずつ進めていくた

め、自分の駒を動かすために自分が会話を主導していく条件(SELF 条件)と、パートナーが駒を動かすために会話を主導し、自分は追従する条件(OTHER 条件)が存在する。これら 2 条件は、会話を共同作業と捉えるなら、共同作業の質が異なる 2 条件となる。この 2 条件における脳活動を比較する。

この迷路実験に被験者は、繰り返し 4 回参加した。3 回は同じパートナーで、4 回目は同じように実験を 3 回おこなった経験を持つ別のパートナーと課題をおこなった。これらの 4 回の脳活動を比較することにより、会話という共同作業の学習に関連した脳領域を描出することが可能となる。

### 3.2. 三者会話実験系への拡張

本研究で提案する方法は、会話状態を一つの非線形系として捉えて解析をするという点に特徴がある。この方法を用いれば、社会でより一般的な形式であるにも関わらず全くメカニズムが解明されていない三者会話についても、全く同一の実験系で検討することができる。既存の二者同時記録 fMRI システムと、別室にある 3.0 テスラ MRI を同期駆動することにより、三者同時記録可能なシステムを構築し、三者会話実験をおこなう。

#### (3-1) 三者同時記録 MRI システムの構成

2 台の 3.0 テスラ MRI (Siemens Verio) を同期駆動する際に利用している外部制御装置の信号を、別の部屋にある 3.0 テスラ MRI (Siemens Allegra) へと光ファイバにより転送する。また三台の MRI 装置内にいる実験参加者の相互会話を実現するため、MRI 対応のマイクセットを組み込む異なる種類の MRI 装置では、得られる脳機能画像の性質が大きく異なる。過去に申請者を含むグループがおこなった 2 台の異なる種類の MRI を同期して撮像する先行研究 (Saito et al., 2010) をもとにして調整をおこなう。最終的なシステム稼働は H28 年度を予定しているが、H27 年度からシステム構成と予備的なテストをおこなう。

#### (3-2) 三者会話実験系の検証

二者会話で用いたゲームを三者でおこなうことを最終目標とする。その前段階として、三者で会話を行うことが可能な実験系を構築する。

## 4. 研究成果

### 4.1. 研究成果

#### a. 二者会話実験

二者で会話をする際に賦活される脳活動を、自分が会話を主導する必要がある場合 (SELF 条件) と、パートナーが主導する会話に追従する必要がある場合 (OTHER 条件) とで比較した。OTHER 条件で SELF 条件条件よ

りも高い活動を示した領域は、両側の下前頭回領域、側頭頭頂接合部 (TPJ)、高次視覚領域、および上前頭回 (STG) などであった。これらの領域は、視覚的注意や他者との社会的コミュニケーションおいての賦活が頻繁に報告される領域である。他者の会話の行く先を類推して会話を続けるには、多くの注意資源が要求されることを示しているのかもしれない。SELF 条件で OTHER 条件よりも高い活動を示した領域は、運動前野や小脳であった。自分で会話を先導できる場合には、会話の行き先を推定するための注意資源を多く払う必要はなく、むしろわかりやすく他者に伝えるためにクリアに発話する必要があるために運動関連の領域が強く賦活されたものと考えられる。

ついでこの迷路実験を繰り返して行った際に、脳活動が増強もしくは減衰していく領域について検討をおこなった。その結果、小脳、前頭前野、TPJ、STG などの社会性に関係する領域は迷路実験を繰り返しておこなうことにより、活動が増強されることが明らかになった。またこれらの領域の活動は、会話のパートナーが切り替わると、低下することが明らかになった。このことは、これらの脳領域の活動増加は、特定のパートナーとうまく会話を続ける何らかの技能の習得を反映していると考えられる。

ついで、脳活動上で観察された「学習効果」に対応して、迷路実験参加を繰り返すことにより会話中の行動に何らかの差異があらわれるかを検討した。最初に、会話内容をすべて描き起こし、使用する語彙に変化が現れるかを検討した。英語話者を対象とした Pickering らの先行研究では、類似の課題を繰り返しておこなう場合に使う単語の類似性が向上するという結果が見られていたが、本研究ではそのような傾向を見出すことはできなかった。

次に会話の内容そのものについては無視することとし、発話のつながりの良さとして会話行動を定量化することを目指した。本研究では、口の動きの情報を Motion energy という指標で描出し二者間での Motion energy 間の赤池因果性を計算した。迷路課題への繰り返し参加により因果性が上昇すれば、それは相手に合わせてうまく会話をする能力が上昇したと解釈することが可能である。最初に、Motion energy が会話の指標として妥当であることを保証するために、発話量と Motion energy の量の相関を個人内で計算した。その結果、発話量と Motion energy の間には高い相関が見られた。このことは、発話内容を無視してもよいのであれば、Motion energy は発話のよい代理変数となりうることを示す。迷路実験をおこなっている二者の Motion energy 時系列に対して赤池因果性解析を行った結果、迷路課

題への参加が繰り返されることにより、因果性の値が増加していくことが明らかになった。すなわち発話は独立で細切れなものではなく、相手の発話によって駆動されるようになることが明らかになった。

#### b. 三者会話実験系

二者会話実験の系をより一般的な多者での会話に拡張するため、3台のMRI内にいる際の脳活動を同時に記録できる系の確立を試みた。本研究では2者会話の実験系で利用された方法を踏襲し、500msの撮像期間(会話不可)と4500msでの無音期間を組み合わせ、無音期間中に会話をする方法を採用した。三者の発話を拾うマイクの信号を、ネットワーク越しのチャットソフトに入力することで、音声情報のみではあるが三者での会話を実現することができた。

#### 4.2. 今後の研究への問題点

##### a. 被験者間での脳活動パタンのばらつき

当初計画で想定していたICAを用いて二者間にまたがる「脳間ネットワーク」を描出し、二者が会話を介して知識を共有するプロセスに関連したネットワークを描出する試みは、不調に終わった。fMRIは脳内の血流動態の変容として脳活動を捉える脳機能イメージング手法である。ICAを複数個体間をまたぐデータを描出する目的で用いた場合の最大の問題点は、血流動態の変化パターンが個人間で大きくばらつくことにあった。個人をまたいだ「脳間ネットワーク」を描出する試みをおこなう際には、血流動態関数をBOLD信号に逆畳み込み(deconvolution)することで個人差の影響を緩和するなどの必要があることが、強く示唆された。

##### b. 撮像技法の選択

本研究の当初計画では、発話による動きにともなう画像上のノイズを低減するために、スパースサンプリング法の利用を選択した。この方法であれば、非撮像時に発話の大部分をさせることで、発話由来のノイズを最小化できることが期待できる。しかしながら発話時間を十分に長く取ることを目指す場合、脳活動を記録できない期間(delay in repetition time)が増加するため、発話由来の脳活動を描出する能力は明らかに低下する。この1年程度の解析技術の進歩により、体の動きにともなう画像ノイズを、ICAを用いて効果的に除去する方法が広く使われ始めた。この方法を用いれば、短い撮像時間の撮像方法で連続的に撮像することで、発話由来の脳活動をより高い検出力で描出できる可能性はある。申請時には想定していなかったが、このような方法も今後の同種の研究では採用可能だと思われる。

## 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](2件)

### 2017年

[1] Sumiya M, Koike T, Okazaki S, Kitada R, Sadato N. (in press). Brain networks of social action-outcome contingency: the role of the ventral striatum in integrating signals from the sensory cortex and medial prefrontal cortex. *Neuroscience Research*.

<https://doi.org/10.1016/j.neures.2017.04.015>

査読あり

### 2016年

[2] Koike T, Tanabe HC, et al. (2016). Neural substrates of shared attention as a social memory: a hyperscanning functional magnetic resonance imaging study. *Neuroimage*, **125**, 132-141.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.09.076>

査読あり

[学会発表](7件)

### 2016年

[1] Yoshioka A, Koike T, Nakagawa E, Sumiya M, Okazaki S, Sadato N, Tanabe CH. Common neural substrates of initiator and responder in spatial and feature-based joint attention: a hyperscanning fMRI study. *Neuroscience 2016, San Diego Convention Center, San Diego, USA, 2016/11/16*

[2] Tanabe CH, Yoshioka A, Koike T, Nakagawa E, Sumiya M, Okazaki S, Sadato N. Neural substrates of feature-based joint attention: a hyperscanning functional MRI study. *OIBM 2016 Annual Meeting, Palexpo, Geneva, SWITZERLAND, 2016/7/30*.

[3] Yoshioka A, Tanabe HC, Koike T, Nakagawa E, Sumiya M, Okazaki S, Sadato N. The neural substrates of feature-based joint attention using a hyperscanning functional MRI. *The 31st International Congress of Psychology, Pacifico Yokohama, Yokohama, Kanagawa, JAPAN, 2016/7/27*

[4] Hirotsu M, Koike T, Okazaki S, Sumiya M, Hashiguchi M, Ito Y, Roland D,

Sadato. Neural basis for goal-oriented conversation. 29th Annual CUNY Conference on Human Sentence Processing. University of Florida, Gainesville, USA, 2016/3/4.

## 2015 年

[5] Tanabe H, Koike T, Okazaki S, Sadato N. Verbal-cued joint attention: a hyperscanning fMRI study. 38th Annual meeting of Japan Neuroscience Society, Kobe, Hyogo, JAPAN, 2015/7/30.

[6] Nakagawa E, Koike T, Makita K, Shimada K, Yoshida H, Yokokawa H, Sadato N. Neural substrates of the variability in syntactic processing by Japanese English learners: an fMRI study. 38th Annual meeting of Japan Neuroscience Society, Kobe, Hyogo, JAPAN, 2015/7/29.

[7] Koike T, Tanabe H, Okazaki S, Sadato N. Neural substrates of initiating and responding to joint attention: a hyperscanning fMRI study. 38th Annual meeting of Japan Neuroscience Society, Kobe, Hyogo, JAPAN, 2015/7/28.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織  
(1) 研究代表者

小池 耕彦(KOIKE, Takahiko)  
生理学研究所・システム脳科学研究領域・特任助教

研究者番号：30540611

(2) 研究分担者  
( )

研究者番号：

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号：

(4) 研究協力者  
( )