

令和元年6月21日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16076

研究課題名(和文)他者による自己の心的状態推測の認識と意思決定への利用

研究課題名(英文) Inferring other's inference about own belief and the exploitation for decision-making

研究代表者

小川 昭利(Ogawa, Akitoshi)

順天堂大学・医学部・助教

研究者番号：30374565

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)：他者のため意思決定において、他者の視点から考えることに関わる右側頭頭頂接合部がリスクに対して中立に活動することを明らかにし、共感的関心が高いほど最悪ケースへの配慮に対する右側頭頭頂接合部の活動が高くなることを明らかにした。

他者と競合する場面での意思決定における脳活動計測では、勝率を最大化するような行動選択の学習に腹側線条体と腹内側前頭前野が関与していることを示した。さらに、脳活動のパターン解析の結果は、左側頭頭頂接合部の意思決定時の活動が、他者が自分の選択を予測してくるという認識を反映す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

本研究課題は、他者のため意思決定において、右側頭頭頂接合部がリスクに対して中立に活動することを明らかにし、共感的関心が高いほど最悪ケースへの配慮に対する右側頭頭頂接合部の活動が高くなることを明らかにした。本研究課題の結果は他者との関係における意思決定の神経基盤の一端を明らかにしており、社会神経科学において重要な成果である。さらに、認知神経科学においては機能的結合や脳機能操作の研究、社会科学においては協力行動や集合知への研究に発展させられるなど、関連学術領域への示唆と波及効果が大きいといえる。

研究成果の概要(英文)：We revealed that the right temporoparietal junction (TPJ) that was involved in taking the other's perspective was activated in the decision making for the other in a risk-neutral manner. We also revealed that the stronger the empathic concern, the higher the activation of right TPJ for the concern for the worst case.

The imaging results in the decision-making under the competitive situation showed that the ventral striatum and the ventromedial prefrontal cortex was associated with the learning of choice probability for maximizing the winning rate. Moreover, the result of pattern analysis of the brain activation showed that the activation of left TPJ reflected the recognition of other's inference about own belief in decision-making.

研究分野：認知神経科学

キーワード：脳イメージング 社会行動 意思決定 側頭頭頂接合部

### 1. 研究開始当初の背景

社会的競合がある場合 (e.g. 資源)、誰かの取り分を増やすと他の誰かの取り分が減るといふ事態が容易に起こる。そのような状況での行動はゲーム理論により研究されてきた。じゃんけんのような、一人のプレイヤーが勝つと他方のプレイヤーが負けるといふ非協力ゲームを二人で繰り返し行う場合、一方のプレイヤーはもう一方のプレイヤーの選択を推定しつつ手選択をする。この選択の推定が相互に行われるような状況において、双方のプレイヤーの選択は確率的には一定となり、最適な選択行動に収束する (ナッシュ均衡, Nash, 1950, PNAS) と考えられる。それに対して、ヒトの選択行動はゲーム理論が予測する最適な選択 (i.e. ナッシュ均衡) から逸脱することが示されてきた (Martin et al., 2014, Scientific Reports)。ヒト以外の動物では、ランダムな手を出すコンピュータに対して、サルもナッシュ均衡から逸脱して強化学習 (Sutton & Barto, 1998) を用いることが示されてきた (Lee et al., 2004, Cognitive Brain Research)。しかし、コンピュータがサルの手を学習して利用し始めると、サルは強化学習を止めてランダムな選択を行うようになった (Seo & Lee, 2008, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences)。すなわち、手が読まれるときのサルの行動はナッシュ均衡となっていたのである。ヒトにおいても、選択が推測されているという認識は行動に影響を与えるだろう。

もし、他者が行う心的状態の推論が自己と同じであると仮定するならば、他者の心的状態を推定する時に活動する脳部位が、他者が心的状態の推定を行っているときにも活動すると考えるのが自然である (e.g. 右側頭頭頂接合部)。また、他者が行う心的状態の推定が自己とは異なると仮定しているならば、一般的な推論に関わる脳部位が活動すると考えられる。高橋らの fMRI 研究では、非協力ゲームにおいて、ヒトは相手がヒトであるかどうかによって行動戦略を変えることが示されていて (Takahashi et al., 2014, Cortex)、他者の心的状態の推定には右側頭頭頂接合部が関係し、エントロピーにより情報論的に定義される行動のランダムさが前島皮質の活動と関係していることが示されている (Takahashi et al., 2015, PLoS ONE)。計算モデルを用いて fMRI 計測データの解析を行った研究としては、Hampton らの研究が顕著である (Hampton et al., 2008, PNAS)。相手の選択確率を学習して利用するモデルを用いて解析を行った結果、相手の選択確率を学習には内側前頭皮質と上側頭溝が関わっていることが示された。これらの脳領域は、「心の理論」に関わる脳領域と重なっていることから、相手の心的状態の推定に関係していると考えられる。

### 2. 研究の目的

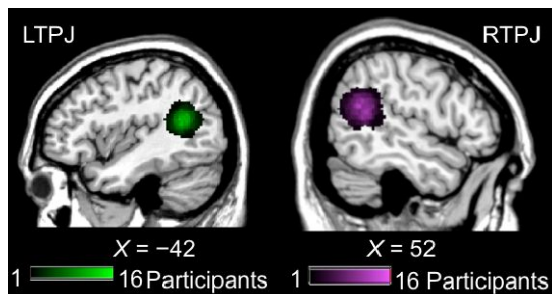
我々ヒトが社会生活を営む上で、他者の心を推定することは基本的な認知機能である。この「心の理論」と広く呼ばれる認知機能は、自己から他者という方向の研究が主にされてきた。これまでの研究では、他者の心的状態・行動を推定することに関する認知神経基盤を調べることが多くなされてきた (Dodell-Feder et al., 2011, NeuroImage; Frith and Frith, 2002, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences; Koster-Hale et al., 2013, PNAS; Rilling et al., 2004, NeuroImage; Saxe and Kanwisher, 2003, NeuroImage)。しかしながら、他者もそれ以外の他者の心を推定する実体であるから、実際には、自己と他者や他者と他者が心的状態の推定を相互に行いながら意思決定を行っている。本研究は、二人の利得が競合する場面において、他者の心的状態を推定するだけでなく、他者が自己の心的状態を推定すること、つまり、他者の「心の理論」を認識・学習して意思決定に利用する認知過程の行動・神経基盤を機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) 実験により明らかにすることを旨とする。

本研究に関連して、他者のためにリスクのある意思決定を行うための認知・神経基盤を明らかにする研究を行った。他者のためにリスクのある意思決定を行うことは、医療場面やファイナンス場面など、我々の社会に広く見られる。自己のためのリスクのある意思決定では、平均的に期待できる結果とともに最悪ケースが想定されることがわかってきていた。しかし、他者のためのリスク意思決定における神経基盤や特徴は明らかになっていなかった。そこで本関連研究では、相手の視点に立って考えることに関わる脳部位である右側頭頭頂接合部に注目し、他者のために経済的なリスクのある意思決定を行う場合に、最悪ケースに対して脳活動が見られるのか、それともリスクに中立な平均的な結果に対して脳活動が見られるのかを調べた。また、他者に対する情動的な共感が脳活動にどのように影響するのかを、行動、眼球運動、脳機能計測により調べた。

### 3. 研究の方法

本研究 (他者による自己の心的状態推測の認識と意思決定への利用) では、他者の「心の理論」を認識・学習して意思決定に利用する認知過程の行動・神経基盤を機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) 実験により明らかにすることを旨とした。そのために、手の読み合いが想定される二人非協力非ゼロ和ゲームにおいて、ヒトと対戦している条件、コンピュータと対戦している条件を用い、課題中の行動と脳活動を計測した。実験参加者 15 ペア 30 名のデータを収集した。ヒトと対戦しているときの脳活動、均衡解に基づく確率で選択を行うコンピュータプログラムと対戦しているときの脳活動、実験参加者の選択をパーセプトロンにより予測するコンピュー

タプログラムと対戦しているときの脳活動、という3条件（それぞれ HUM/FIX/LRN と呼ぶ）での脳活動の比較を行った。脳活動の解析の対象は、日本語版 ToM Localizer を用いて個人で特定した左右の側頭頭頂接合部とした（下図）。

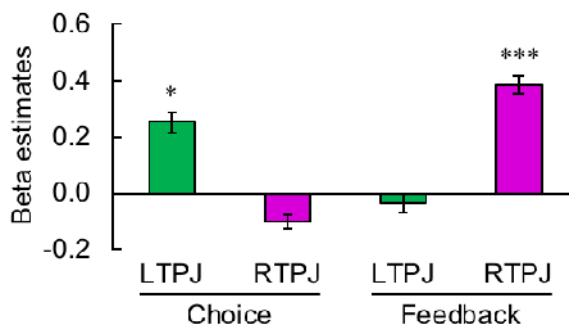


LTPJ=左側頭頭頂接合部、RTPJ=右側頭頭頂接合部

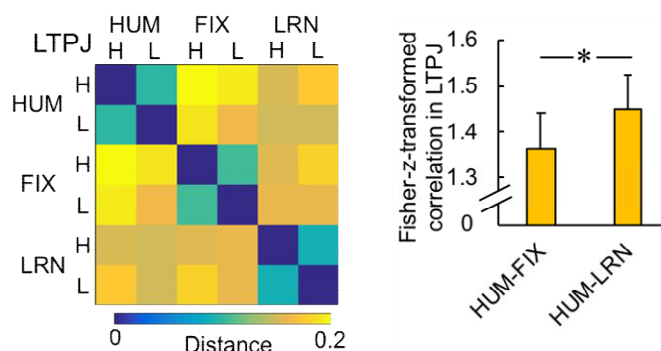
関連研究では、行動実験（60名、うち女性26名と男性34名）とfMRI実験（24名、うち女性10名と男性14名）を実施し、実験参加者は自己と他者のためのリスクのある意思決定（くじ箱選択課題）を行った。課題遂行時の脳活動をfMRIにより計測し、両実験で選択内容とどちらの選択肢に注目していたのかを計測した（fMRI実験では眼球運動計測を実施）。また、共感的関心を対人反応性指標の質問紙により調べた。

#### 4. 研究成果

脳機能画像解析の結果、左側頭頭頂接合部は意思決定時に活動し、右側頭頭頂接合部の活動は、結果の呈示時にHUM条件で見られたが、それ以外では見られなかった（下図）。



また、左側頭頭頂接合部では、意思決定時のHUMとLRNの脳活動の空間的パターンがHUMとFIXに比べて似ていることがわかった（下図）。これらのことは、右側頭頭頂接合部はヒトのエージェンシーの認知に関わっていて、左側頭頭頂接合部は他者が自分の選択を予測してくるといふ認識に関わっていることを示唆する。



関連研究では、実験参加者の選択内容にはあまり自他差が見られなかったのに対して、共感的関心が高いほど他者のための意思決定において最悪ケースへの配慮をしていたことがわかった。また、どちらの選択肢に注目していたかを解析したところ、自己のための場合には最悪ケースに焦点が当てられる一方、他者のための意思決定では提示された選択肢を偏りなく考慮しているような眼球運動が見られた。本研究が注目した、他者の視点に立って考えることに関わる脳部位である右側頭頭頂接合部では、自己の場合には最悪ケースに反応する脳活動が、他者の場合にはリスクに対して中立である平均に反応する脳活動が見られた。さらに、他者の場合には、最悪ケースに反応する脳活動は共感的関心の強さと相関することがわかりました。これ

らの結果は、自己と他者のための意思決定における脳の働きが、リスクに対して異なることを示唆する。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

Akitoshi Ogawa, Atsushi Ueshima, Keigo Inukai, Tatsuya Kameda, Deciding for others as a neutral party recruits risk-neutral perspective-taking: Model-based behavioral and fMRI experiments. Scientific Reports 8:12857, 2018.

Akitoshi Ogawa, Takahiro Osada, Masaki Tanaka, Masaaki Hori, Shigeki Aoki, Aki Nikolaidis, Michael P. Milham, Seiki Konishi, Striatal subdivisions that coherently interact with multiple cerebrocortical networks. Human Brain Mapping 39:4349-4359, 2018.

Hironori Nakatani, Akitoshi Ogawa, Chisato Suzuki, Takeshi Asamizuya, Kenichi Ueno, Kang Cheng, Kazuo Okanoya, Perceived moral traits of others differentiate the neural activation that underlies inequity-aversion. Scientific Reports 7:43317, 2017.

〔学会発表〕(計12件)

Akitoshi Ogawa, Tatsuya Kameda, Temporoparietal junction is associated with inferring other's inference about own belief in competitive strategic choices, 次世代脳プロジェクト冬のシンポジウム, 2018.

Akitoshi Ogawa, Tatsuya Kameda, Neural correlates of recognition of other's inference of own belief in competitive strategic choices, 第2回ヒト脳イメージング研究会, 2018.

Akitoshi Ogawa, Atsushi Ueshima, Keigo Inukai, Tatsuya Kameda, Individual variability of empathic concern and brain activation in risky decisions for others, The 40th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 2017.

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：中谷 裕教

ローマ字氏名：(NAKATANI, hironori)

研究協力者氏名：平山 いずみ

ローマ字氏名：(HIRAYAMA, izumi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。