

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 10 月 21 日現在

機関番号：82401

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2011～2015

課題番号：23118003

研究課題名（和文）メタ認知と社会行動の発達にもとづく自己制御

研究課題名（英文）Development of self regulation mechanism in metacognition and social behavior

研究代表者

藤井 直敬 (Fujii, Naotaka)

国立研究開発法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・チームリーダー

研究者番号：20392095

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 282,300,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では動物とヒトを対象とした比較認知科学的アプローチを用いて、内的・外的過程であるメタ認知・社会行動にもとづく自己制御とその思春期発達の神経基盤を明らかにすることを目的とした。その結果、社会性の行動基盤としての脳内ネットワークの解明、メタ認知の動物実験プラットフォームの構築、言語的アプローチによる自己認知メカニズム、因果推論や対人コミュニケーションの神経メカニズム等を明らかにすることが出来た。

研究成果の概要（英文）：We aimed to understand neural basis of self regulation during adolescent period by implicating comparative cognitive approach in terms of metacognition and social adaptive behavior. We revealed neural mechanism of social adaptation in monkeys, developed novel method of studying metacognition in rodent, self-awareness mechanism in human, and differences of neural mechanism of social communication between patients in psychological disorders.

研究分野：神経科学

キーワード：メタ認知 自己制御

## 様式 C-19、F-19、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### 藤井直敬担当分

社会的適応能力は、ヒトの持つ認知機能の中で最も複雑で重要な機能であると考えられている。これは、五感を通じて観察可能な環境情報のみならず、目に見えない他者との関係性を含めた社会情報をも含めた異なる種類の情報を統合し、その複雑な条件の中で、行動の引き起こす社会的リスクを最小化しつつ自己要求を最大化する最適行動選択を可能にする。しかもこの条件は時々刻々移り変わるため、常に状況に応じた選択が必要とされる。

#### 福田正人担当分

脳科学・神経科学の発展により、人間の精神機能の脳基盤の解明が進んでいるが、自我機能の脳基盤についての検討は、最近になってようやく始まったにすぎない。とくに自我機能の背景をなす対人関係については、おもに入力過程である社会的認知について行われてきており、前頭葉・上側頭回周辺・扁桃体の重要性が明らかとなったが、日常生活における社会的認知とは異なる状況での検討しか行われていない。出力過程である対人行動についての脳研究は乏しい。

#### 橋本龍一郎担当分

思春期における自己像の発達を理解には、性格などの自己の内面と、身体などの自己の外面に関するメタ認知と制御の研究が必要である。性格など自己の内面のメタ認知に関しては、実験参加者に自分の内的な特性に関して明示的な判断を求める自己参照課題が多く利用されていた。しかし、思春期における自己メタ認知は、急速に複雑化する対人関係のなかで、他者の視点から自己・他者の判断を求められることが多い。思春期の自己メタ認知機能の脳内基盤を探るためには、他者の視点取得を含む複雑な自己メタ認知課題を開発する必要があった。

#### 岡ノ谷一夫担当分

我々は、社会の中で他者とかかわりあいながら生きている。周囲の環境や社会的な文脈に即して、自らを律し行動を制御する能力は、社会へ適応するのに極めて重要である。このような自己を制御する能力は一見複雑に見えるが、いくつかの比較的単純な認知能力の組み合わせで成り立っており、その構成要素となる能力はヒトと動物で共有していると考えられる。

#### 保前文高担当分

言語機能はヒトだけがもっている高度な認知能力の一つであり、精神機能の発達において重要な役割を担っている。一般的には、児童期までに母語の音と文法の基礎的な獲得は終えていると考えられ、文法の獲得と新規な単語の学習を含めて意味に関

する獲得は別に進む部分がある。しかしながら、文法知識を正確に適用できるか否かということや、文法知識に照らし合わせて文法性を判断する「メタ言語知識」を用いることができるかどうかということは、児童期以降についても個人によって習得の程度が異なることが考えられる。

### 2. 研究の目的

#### 藤井直敬担当分

社会的適応機能を実現する仕組みを明らかにする。

#### 福田正人担当分

自我機能の脳基盤を明らかにする。

#### 橋本龍一郎担当分

思春期における身体などの自己の外面に関するメタ認知と制御を明らかにする。

#### 岡ノ谷一夫担当分

自己制御の適切な動物モデルを確立できれば、対応する神経基盤を検討できるようになる。そこで動物を対象とした比較認知科学的アプローチにより、思春期の自己制御研究に適切な動物モデルを提案する。

#### 保前文高担当分

言語には、他者に情報を伝える媒体の外的な側面と思考を構築する内的な側面の両方があるため、メタ言語知識の習得程度は内的な構成品力に関連すると想定することができる。自己の形成に言語機能がどのように関わるのを解明する。

### 3. 研究の方法

#### 藤井直敬担当分

多電極記録手法を用い様々な社会性課題遂行中の脳内ネットワーク構造を明らかにする。

#### 福田正人担当分

NIRSを用いて個体間会話課題遂行中の脳機能を健常者と精神疾患患者で比較した。

#### 橋本龍一郎担当分

他者の視点取得を含む複雑な自己メタ認知課題を開発し、その脳機能を計測解析した。

#### 岡ノ谷一夫担当分

自己制御の動物モデルを構築し、その行動と発達の仕組みを検討する。

#### 保前文高担当分

変調された聴覚フィードバックが提示しつつ自他の声の特定する課題を行う。

#### 4. 研究成果

##### 藤井直敬担当分

(1) 課題遂行中の神経活動は、電極間の因果関係を解析することで、脳内ネットワーク構造がどのように変化するのかを解析した。その結果、側頭葉と前頭葉の間の情報の流れに3頭のサルに共通する5つの特徴的なネットワーク構造が浮かび上がってきた。さらに、この5つのコンポーネントが相互にどのような因果関係を持つのかを、行動解析をベースにした詳細な条件間比較を導入して解析した。その結果、5つのネットワークコンポーネントは、時間軸に沿って順番に活動を遷移させること、直前のネットワークコンポーネントが活動しなければそれに続くコンポーネントは活動しない相互依存的な性質をもつことが明らかになった。

(2) ニホンザルの複数個体が餌を取り合う、社会的エサ取り課題実行中の大脳皮質全体からの神経活動記録を行い、行動抑制を生み出す脳領域を明らかにするために、エサ取り行動より前の待機時間帯の神経活動が、相手の社会的地位をどれくらい弁別しているかを明らかにする神経活動デコーダーを作成。その解析の結果、具体的な運動準備開始以前の時間帯から、相手の社会的地位の弁別を行う神経活動が、運動野、頭頂葉を中心として見つかった。さらに、その後の時間帯では、それらの領野とともに、前頭前野が弁別を始め、行動が制御されていることが明らかになった。

(3) ミスマッチネガティビティ (MMN) が動物種間を超えたバイオマーカーとして使用できるかを検討した。今回の実験により両者にミスマッチ刺激に対応したミスマッチ活動 (MMA) が確認できた。マカクサル、マーモセットともに MMA は聴覚野周辺だけでなく、補足運動野、前頭前野周辺でも観察され、今後の領野間の機能的結合を解析し、そのメカニズムと意味の解明に繋がると考えた。

##### 福田正人担当分

(1) 健常者の NIRS  
会話の180秒間に応じて前頭極を中心とした酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) 濃度の全体的な賦活を認めた。こうした前頭葉賦活には個人差があり、TCI で評価した協調性が低い被検者ほど賦活が大きかった。

(2) 統合失調症の NIRS  
会話による脳機能の賦活は背外側前頭前野においては健常者と差を認めず、腹外側前頭前野において賦活が減衰を示した。統合失調症における実行機能の低下と、自我機能の過敏に対応する可能性が考えられた。

(3) 気分障害の NIRS  
大うつ病性障害と双極性障害のいずれについても、会話による脳機能の全体的な賦活は左半球の背外側前頭前野から前頭極にかけて低下を示し、また発話相による賦活は前頭極で

低下を示した。大うつ病性障害群においては、全体的な賦活が GAF 得点と正の相関を、双極性障害群においては発話相による賦活が発症年齢と負の相関を示した。

##### (4) うつ病の MEG

右上腕の正中神経の刺激により生じる体性感覚誘発磁場 somatosensory evoked field (SEF) が、その刺激の数をかぞえる体性感覚注意条件、視覚提示する刺激の数をかぞえる視覚刺激注意条件、いずれの刺激も無視する非注意条件の3条件でどのような変化を示すかを検討した。うつ病において3条件に共通して P60m 潜時が延長しており、この延長はうつ病で高まっている体性感覚刺激閾値と負の相関を示し、また検査時の抑うつ症状とは関連しないが状態不安と負の相関を示した。

##### 橋本龍一郎担当分

(1) 声のメタ認知・自己制御の研究：自己・他者の音声をオフラインに変調させた課題では、自己の声の認識には特に第3フォルマント以上の高い周波数成分の情報が重要であることを明らかにした。この結果を専門誌に掲載した (Xu et al., Front. Psychology 2013)。また、自己の声のリアルタイム (実時間) 制御に関する行動研究で、自己が認知できない微小なフィードバックの変調に対する補償反応を見だし、自己のオンライン制御が、必ずしも意識的なメタ認知をとおして作用するのではない知見を得た。この結果は、現在専門誌に投稿準備をしている。さらに、同様の実験パラダイムで上側頭回・下前頭回に非侵襲脳刺激法 (tDCS) を適用した研究では、自己の声の認識がより音響的操作によって影響されやすい可能性を示すデータを観察し、学会にてポスター発表。現在はさらに解析を進め、論文化を検討中である。

(2) 自己の内的特性に関するメタ認知課題：高機能自閉スペクトラム症を対象とした fMRI 研究をおこない、自己視点と比較して、他者視点から自己の性格特性の評価に関わる脳活動が増大している部位を同定した。特に、左側頭頭頂接合部や後部大脳正中部構造の脳活動の増大は、自閉スペクトラム指数によって評価された ASD の臨床症状の程度と有意な正の相関を示した。

##### 岡ノ谷一夫担当分

(1) ジュウシマツの歌可塑性：若鳥では成鳥の時よりも歌のばらつきが大きく可塑性が高いことから、成鳥の学習は確立された神経回路内の微小な変化であるのに対し、若鳥では動的な再配線が生じる可能性を示している。この結果は、思春期に相当する時期における行動の不安定さとフィードバックに応じた行動修正可能性を検討する上で、ジュウシマツの歌行動はよいモデルであることを示唆する。

(2) ラットのメタ認知：これまでではラットの認知能力については一貫した知見はなかった。しかし、課題の工夫次第ではラットでも

メタ認知的行動を示すことができると考え、新たなメタ認知課題を考案した。その結果、ラットは回避選択肢を適切に利用して課題全体での獲得報酬量を増やすことができること、またそもそも正解が存在しない問題に対しては特に回避を選択することが分かった。

(3) マウスの求愛発声：マウスは求愛時に複雑な構造の音声を発するが、その発声制御機構は性成熟とともに獲得されると考えられる。まず、実験マウスの求愛発声を調べたところ、使用される音要素の種類と系列に一定のパターンがあることを発見した。さらに、メラトニン合成能を持たないマウスは、精巣重量や体重が大きく、発声がより複雑であることが分かった。この結果は、メラトニン合成能が求愛発声の形成に影響を及ぼすことを示しており、性成熟の期間と求愛発声の形成との関わりを探る基礎的な知見となる。

(4) ヒトの発声制御：ヒトは発話の際に常に聴覚フィードバックを通じて自分の声をモニターしている。フィードバックに意図しない変化があると感じた場合は声を調整して適切に修正する。本研究では、このフィードバックに基づく声の修正がどのように生じるかを検討した。実験の結果、発話者本人は気づかないような小さな操作に対しても、変化を埋め合わせるように発声を制御することが明らかになった。

#### 保前文高担当分

(1) NORMAL と LOW の場合は、基本周波数が本来の F0 よりも離れる（ピッチが高く/低くなる）ほど、自他ともに声の特定は難しいという結果が得られた。これにより、「声」の特定全般には基本周波数及び第 3 フォルマント以下の周波数帯域で構成される母音が重要な役割を担っていることが明らかになった。一方、母音の情報が少なく、主に高い周波数帯域のみという、音声情報が極端に制限されている状況では、自分の声の方が他人の声よりも識別しやすいと言う結果になった。

(2) 変調された聴覚フィードバックが提示された場合には、変調の方向と逆方向に基本周波数とフォルマント周波数を上げたり、下げたりして制御する現象（補償現象）が見出された。一方で、Fm では、研究参加者の多くが、フォルマントの変調を基本周波数の変調と誤って認識していたにも関わらず、実際には基本周波数を変化させずに、第 2 フォルマント (F2) を補償する方向へ変化させていた。これらの結果から、自分の声に意図していない変化が起きた場合に、我々はその変化を埋め合わせるように発声を制御していた。

(3) 確信度を含めて回答する 5 題の結果を、保護者と対象児で比較すると、10 歳代初めの対象児は保護者に比べて有意に得点が低いことが明らかになった。この結果は、10 歳を過ぎていても、成人ほどにはメタ言語知識が形成されていないか、もしくは、適用できていないことを示しており、円滑な日常会話をす

るなどコミュニケーションのツールとして言語を使うことは十分にできていても、言語機能の発達という点においては、余地があることが示された。

#### 5. 主な発表論文等 雑誌論文 (計 9 件)

##### 藤井直敬担当分

① Osugi N, Yanagawa T, Nagasaka Y, Fujii N. Social Suppressive Behavior Is Organized by the Spatiotemporal Integration of Multiple Cortical Regions in the Japanese Macaque. *PLoS One* 2016 *in press*

②Chao ZC, Nagasaka Y, Fujii N. Cortical network architecture for context processing in primate brain. *Elife* 2015 DOI: 10.7554/eLife.06121.

##### 福田正人担当分

①Narita K, et al. (2012) Associations among parenting experiences during childhood and adolescence, hypothalamus-pituitary-adrenal axis hypoactivity, and hippocampal gray matter volume reduction in young adults. *Hum Brain Mapp* 33:2211-2223.

②Suda M, et al. (2011) Autistic traits and brain activation during face-to-face conversations in typically developed adults. *PLoS ONE* 6:e20021.

##### 橋本龍一郎担当分

①Xu, M., Homae, F., Hashimoto, R., & Hagiwara, H.: Acoustic cues for the recognition of self-voice and other-voice. *Frontiers in Psychology* 4(735): 1- 7 (2013)

②Itahashi, T., Yamada, T., Watanabe, H., Nakamura, M., Jimbo, D., Shioda, S., Toriizuka, K., Kato, N., & Hashimoto, R.: Altered network topologies and hub organization in adults with autism: A resting-state fMRI study. *PLoS ONE*, 9(4) e94115: 1-15 (2014)

##### 岡ノ谷一夫担当分

①Yui K Matsumoto, Kazuo Okanoya. Phase-specific vocalizations of male mice at the initial encounter during the courtship sequence. *PLoS ONE*, 11(2), 2016, e0147102,

②Ryosuke O Tachibana, Takuya Koumura, Kazuo Okanoya. Variability in the temporal parameters in the song of the Bengalese finch (*Lonchura striata* var. *domestica*). *Journal of Comparative Physiology A*, 201 (12), 2015, 1157-1168

##### 保前文高担当分

① Xu, M., Homae, F., Hashimoto, R., Hagiwara, H. Acoustic cues for the recognition of self-voice and other-voice. Front Psychol. 2013, 4, 735.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤井 直敬 (FUJII, Naotaka)  
国立研究開発法人理化学研究所・脳科学総合  
研究センター・チームリーダー  
研究者番号：20392095

### (2) 研究分担者

橋本 龍一郎 (HASHIMOTO, Ryuichiro)  
首都大学東京・人文科学研究科・准教授  
研究者番号：00585838

福田 正人 (FUKUDA, Masato)  
群馬大学・医学研究科・教授  
研究者番号：20221533

岡ノ谷 一夫 (OKANOYA, Kazuo)  
東京大学・総合文化研究科・教授  
研究者番号：30211121

酒井 弘 (SAKAI, Hiromu)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：50274030

萩原 裕子 (HAGIWARA, Hiroko)  
首都大学東京・人文科学研究科・教授  
研究者番号：20172835

保前 文高 (HOMAE, Fumitaka)  
首都大学東京・人文科学研究科・准教授  
研究者番号：20533417