

心の理論に関連した脳活動 ——脳機能画像研究——

高宮 千枝子⁽¹⁾・松井 三枝⁽¹⁾ (mmatsui@las.u-toyama.ac.jp)・小林 恒之⁽¹⁾・川崎 康弘⁽¹⁾・
鈴木 道雄⁽¹⁾・西条 寿夫⁽¹⁾・中澤 潤⁽²⁾・野口 京⁽¹⁾・瀬戸 光⁽¹⁾・倉知 正佳⁽¹⁾
〔⁽¹⁾ 富山大学・⁽²⁾ 千葉大学〕

Brain activation associated with theory of mind: An fMRI study

Chieko Takamiya⁽¹⁾, Mié Matsui⁽¹⁾, Tsuneyuki Kobayashi⁽²⁾, Yasuhiro Kawasaki⁽¹⁾,
Michio Suzuki⁽¹⁾, Hisao Nishijo⁽²⁾, Jun Nakazawa⁽⁴⁾, Kyo Noguchi⁽³⁾, Hikaru Seto⁽³⁾, Masayoshi Kurachi⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departments of Psychology and Neuropsychiatry, School of Medicine, University of Toyama, Japan

⁽²⁾ Department of System Emotional Science, School of Medicine, University of Toyama, Japan

⁽³⁾ Department of Radiology, School of Medicine, University of Toyama, Japan

⁽⁴⁾ Department of Psychology, School of Education, University of Chiba, Japan

Abstract

Theory of Mind (ToM) which the ability to attribute mental states to others are important processes in social cognition. Brain imaging studies in healthy subjects have described a brain system involving medial prefrontal cortex, superior temporal sulcus and temporal pole in ToM processing. In this functional magnetic resonance imaging (fMRI) study, we used the picture sequencing tasks with both intentional story (ToM story) and physical story in order to allow comparison of brain activations in these two processes. Participants were ten right-handed healthy Japanese volunteers (male = 5, female = 5; mean age was 24.9 years, s.d. = 1.4). Functional images were acquired using a 1.5 T Siemens Magnetom Vision. Our results showed that the ToM story compared to the physical story revealed increased activations in bilateral superior frontal gyrus, medial frontal gyrus, and right middle frontal gyrus. Correct responses in the ToM story were associated with enhanced activations of right middle frontal gyrus, bilateral superior frontal gyrus, right orbital gyrus, and left inferior frontal gyrus. These activations are common to a part of results in previous brain imaging studies on ToM and social cognitive functions using various tasks. The present study suggests that social cognition in a nonverbal task is especially associated with the medial and right middle frontal function. These results have implications for our understanding of disorders characterized by impairments of social cognition which are related to making references about mental states of others, such as schizophrenia and autism.

Key words

theory of mind, fMRI, frontal lobe, social cognition, prefrontal cortex

1. はじめに

「心の理論」(Theory of Mind; ToM)とは、ある行動を了解したり予測したりする方法として、自分自身や他者に特定の精神状態を帰属させる能力を意味している。この能力は、通常3~5歳で獲得するとされ、社会的コミュニケーションにおいて重要な役割をもつ(Baron-Cohen et al., 1993)。心の理論は、Premack & Woodruff (1978)が初めて用いた用語である。彼らは、ある問題に取り組んでいる人間の様子を呈示し、その解決法を答えさせて、研究の対象であったチンパンジーのSarahが、他者(人間)の欲求やそれを満たすための意図を理解していると報告した。しかし、この研究では、Sarahが他者の心を理解していなくても自分の欲求をもとに判断すれば正解することができたため、欲求や意図のほかに、誤信念(false belief)の

理解も重要であるとの批判があった(Baron-Cohen et al., 1993)。誤信念の理解とは、正しい信念を持っていることと、他者が間違った信念を持っていると気付いていることとの違いを区別することである。この誤信念課題として代表的なものひとつに、Baron-Cohen et al. (1985)の「サリーとアン」のテストがある。これは、アンがサリーのビー玉を、サリーのいない間に移動するが、サリーは戻ってきたときにどこを探すと思うかを尋ねる課題である。この課題の応用として、Baron-Cohen et al. (1986)は、言語を用いず、4コマの絵を並べ替えて1つの物語にするテストを用いた。このテストには2種類のストーリーが含まれており、他方では、他者の誤信念の理解の必要はなく、登場人物の行為やものの物理的な関係についての判断のみが求められた。その結果、自閉症児は健常児に比べて前者の理解は低く、後者の理解は高いことが報告された。この研究以降、自閉症児を対象として誤信念課題を扱った研究が数多くなされるようになった。Baron-Cohen et al. (1993)によれば、いずれの検討においても、

自閉症児は誤信念の理解において問題があることが強く示唆されており、この誤信念の欠損のために自閉症児の中心的症状である社会的理解やコミュニケーションの困難さが生じると考えられるという。

最近では、脳機能画像によって心の理論に関する脳内機構を解明しようとするアプローチが盛んである。機能的磁気共鳴画像 (functional Magnetic Resonance Imaging; fMRI) を用いた Harris et al. (2005) は、ある人物に関する特徴を述べた文章を用いて、それがその人に特有であるという帰属をした際の賦活状態を調べた。その結果、特に右の上側頭回、左の内側前頭前野皮質に賦活がみられたと報告している。陽電子放射断層法 (positron emission tomography; PET) を用いた Brunet et al. (2000) の研究では、4 コマから成るコミック画のうち、登場人物の意図が完結する 4 コマ目を 3 択から選ぶ課題であった。その結果、右内側前頭回、両側前部帯状回、右下前頭回、両側中前頭回、右尾状核、右下側頭回、右内側前頭回、左上側頭回、左中心前回 (溝) 領域、両側中側頭回、左上後頭回および左小脳に賦活がみられた。fMRI を用いた Gallagher et al. (2000) は、心の理論課題として誤信念の理解が必要である文章とコミック画を用いた。その結果、文章課題では、内側前頭回、両側側頭極および両側側頭頂接合部での賦活がみられた。また、コミック画課題では、内側前頭回、右中前頭回、右側頭頂接合部、右楔前部、右紡錘状回での賦活がみられた。したがって、これらの課題では共通して、他者の意図の推測に関連して、内側前頭葉皮質、上側頭葉および側頭頂接合部周辺、側頭極周辺が関わっていることが考えられる。

このように、脳機能画像における心の理論課題には、文章を用いたもの (Calarge et al., 2003; Fletcher et al., 1995; Gallagher et al., 2000; Saxe & Kanwisher, 2003)、コミック画を用いたもの (Brunet et al., 2000; Brunet, et al., 2003; Gallagher et al., 2000) などがある。文章を用いる場合は読解力の程度によって影響を受ける可能性がある。これに対して、コミック画はその影響を受けない。さらに、Brunet et al. (2000, 2003) の研究で用いられたコミック画は、心の理論課題の中でも、登場人物の意図の理解のみが求められるものであり、誤信念については検討されていない。また、Gallagher et al. (2000) の研究では、空想上の場面など、日常生活とは離れた場面が描かれているものもあった。これらのことから、本研究では、健常者を対象に、誤信念に関するより日常生活に近い場面を描いたコミック画を用いて fMRI 研究を行い、これまでに報告されている心の理論に関する脳賦活が再現できるかどうかを検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

対象は、神経学および精神疾患の既往歴のない、10名の成人であった。男性は5名、女性は5名であり、全員右利きであった。平均年齢は23.1歳 (範囲は19～28歳、標準偏差は2.5歳)、平均教育年数は14.9年 (範囲は

13～20年、標準偏差は1.4歳) であった。男女間で年齢および教育年数について有意な差はなかった。実験参加の前に、各被験者に口答および書面において研究の目的と方法を説明し、文書による同意を得た。なお、本研究は富山大学倫理委員会の承認を受けて行なわれた。

2.2 心の理論課題を用いた fMRI による脳活動の測定

2.2.1 課題について

刺激として用いたコミック画には、心の理論課題と心の理論課題ではない物理的ストーリー課題の2種類を10ストーリーずつ用いた。これらのコミック画は、Baron-Cohen et al. (1986) の課題をもとに予備実験で作成・使用した絵画カードのデザインを元に作成した。各コミック画は、予備実験によって、各条件内で難易度が等質であることを確認した。課題はパソコン (Macintosh G4, M9455J/A) のプログラム (MATLAB) で作成した。被験者は、プロジェクタ (NEC LT260) を通して MR 室内の被験者の足元に立てたスクリーンに投影した画像を、頭部に固定された鏡を通して画面を見ることができた。回答には、反応ボタンを用いた。

課題は、パソコンの画面にランダムに並べたコミック画4枚の正しい順番を考えることであった。図1に示したように、心の理論課題では、主人公が知らない間に、ある場所にあったはずのものが誰かの手によって他の場所に移され、もとの場所にあるものが見当たらず驚く、といった内容であった。この課題では、被験者が正しい信念を持っていることと、主人公が間違った信念を持っていると気付いていることとの違いを区別する必要があった。一方の物理的ストーリー課題では、登場人物の行為やものの物理的な関係について理解する必要があった。並び替えが終わると、瞬時に次の試行に移った。各条件内でのストーリーの提示順は被験者ごとにランダムであった。被験者には、考えたストーリーに沿った順番をよく考えてから回答するよう指示した。

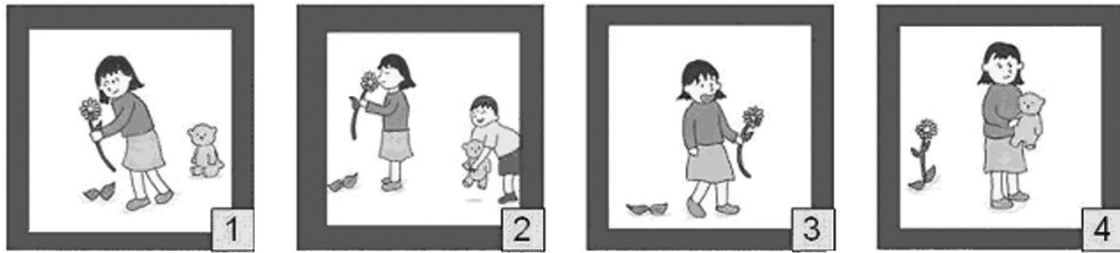
2.2.2 fMRI による脳活動の取得について

撮影装置は、シーメンス社製 1.5 テスラの MRI 装置を使用した。Gradient-echo EPI 法 (TR/TE/FA = 0.60 ms/60 ms/90, FOV = 200 mm, Matrix = 64 × 64) を用いた。7秒ごとに頭部全体をカバーする撮影をおこなった。撮影は1セッション72スキャン (1ブロック4スキャン × 18) であった。課題提示の方法はコントロール (c) 条件のブロックと課題条件のブロック (a と b) を交互に繰り返す on-off 課題の box design とした (cacbcacbcacbc …)。コントロール条件は、反応ボタンを握った手の親指で、2秒間隔でボタンを押すまねをすることであった。実験はコントロール条件から始まり、練習課題1ブロックをおこなったのち、心の理論課題および物理的ストーリー課題を交互に繰り返す計18ブロックであった。最初の課題のブロックは、練習課題のブロックであり、R コントロール条件を挟んで、心の理論課題と物理的ストーリー課題のブロックとを、交互に提示した。1ブロックは28秒であり、課題実

心の理論課題で用いたコミック画



ランダムな順で並べた心の理論課題のコミック画



画面には、このようにランダムに並べた4枚のコミック画が呈示された。この場合の正しい並べ替え順は、4→1→2→3である。

物理的ストーリー課題で用いたコミック画



図1：課題で用いたコミック画

施時間は、全体で約8分(28秒×18=504秒)であった。

2.2.3 fMRIによる脳活動の解析について

fMRIによって得られた画像データは、SPM99 (Statistical Parametric Mapping: Wellcome Department of Cognitive Neurology, UK) を用いて、前処理と統計解析を行った。最初に撮影したコントロール条件および練習課題ブロック時の8スキャンは、データとして使用しなかった。前処理として、各被験者の一連の脳画像の動きの補正と空間的標準化、3次元 Gaussian-filter による Smoothing を行った。統計解析は、一般線形モデルに基づく統計的推定を行い、さらに課題条件 v.s. コントロール条件、課題条件 v.s. 課題条件の比較によってコントラスト画像を得た。続いて各被験者から得たコントラスト画像を用いて t 検定によるグループ解析を行った。偽陽性を避けるために100以下のボクセルから成るクラスターは除外し、 $p < 0.05$ を有意として算出した。その後、Talairach & Tounoux (1988) の図譜を用いて部位を推定した。

3. 結果

3.1 行動指標について

コミック画を正確に選択した正答コミック画数について、心の理論課題、物理的ストーリー課題の2条件間で t 検定を行ったところ、心の理論課題での成績が、物理的

ストーリー課題に比べて有意に低かった [心の理論課題：平均 9.0 (SD = 3.7)、物理的ストーリー課題：平均 18.2 (SD = 4.9), $t(9) = 7.09$, $p < .001$]。

3.2 fMRIによる脳活動について

3.2.1 心の理論課題 v.s. コントロール課題

コントロール課題と比べて、心の理論課題において、右上頭頂小葉 (BA19)、左中後頭回 (BA18)、右舌状回 (BA18)、両側上前頭回 (BA6)、両側中前頭回 (R: BA6, L: BA6/9) で有意な賦活が見られた。(表1、図2)

3.2.2 物理的ストーリー課題 v.s. コントロール課題

コントロール課題と比べて、物理的ストーリー課題において、左楔前部 (BA7)、左上後頭回 (BA19)、右上頭頂小葉 (BA7)、両側中前頭回 (R: BA6, L: BA6/9) で有意な賦活が見られた。(表1、図3)

3.2.3 心の理論課題 v.s. 物理的ストーリー課題

物理的ストーリー課題と比べて、心の理論課題において、両側上前頭回 (BA6)、右中心前回 (BA6)、右中前頭回 (BA6) で有意な賦活が見られた。(表1、図4)

3.2.4 心の理論課題の成績との相関

心の理論課題実施時の賦活状態から物理的課題実施時

表 1：有意な活動を示した部位

| Tarairach coordinates | | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----|-------|-----|----|
| Z 値 | x | y | z | | R/L | BA |
| 1. ToM課題 v.s. コントロール条件課題 | | | | | | |
| 3.79 | 22 | -80 | 42 | 上頭頂小葉 | R | 19 |
| 3.60 | -30 | -84 | 20 | 中後頭回 | L | 18 |
| 3.55 | 2 | -88 | -14 | 舌状回 | R | 18 |
| 3.13 | -36 | 4 | 50 | 中前頭回 | L | 6 |
| 3.12 | -36 | 2 | 36 | 中前頭回 | L | 6 |
| 2.91 | -20 | 8 | 60 | 上前頭回 | L | 6 |
| 3.03 | 28 | 6 | 62 | 上前頭回 | R | 6 |
| 2.86 | 42 | 6 | 30 | 中前頭回 | R | 6 |
| 2.82 | 52 | 22 | 40 | 中前頭回 | R | 9 |
| 2. 物理的条件課題 v.s. コントロール条件課題 | | | | | | |
| 5.85 | -8 | -66 | 50 | 楔前部 | L | 7 |
| 5.72 | -30 | -72 | 32 | 上後頭回 | L | 19 |
| 5.58 | 16 | -74 | 48 | 上頭頂小葉 | R | 7 |
| 4.50 | -40 | 6 | 48 | 中前頭回 | L | 6 |
| 4.04 | -22 | 2 | 64 | 上前頭回 | L | 6 |
| 3.98 | -46 | 32 | 36 | 中前頭回 | L | 9 |
| 3.80 | 44 | 2 | 52 | 中前頭回 | R | 6 |
| 3.77 | 32 | 4 | 60 | 中前頭回 | R | 6 |
| 3. ToM課題 v.s. 物理的条件課題 | | | | | | |
| 4.34 | 8 | -8 | 64 | 上前頭回 | R | 6 |
| 3.40 | -8 | -2 | 64 | 上前頭回 | L | 6 |
| 2.86 | 0 | -14 | 60 | 内側前頭回 | | 6 |
| 3.61 | 62 | 4 | 26 | 中心前回 | R | 6 |
| 3.14 | 38 | 0 | 48 | 中前頭回 | R | 6 |
| 3.07 | 52 | 0 | 34 | 中心前回 | R | 6 |
| 4. ToM課題の成績との相関 | | | | | | |
| 4.49 | 26 | 54 | 4 | 中前頭回 | R | 10 |
| 3.99 | 18 | 52 | 0 | 上前頭回 | R | 10 |
| 3.79 | -15 | 55 | 8 | 上前頭回 | L | 10 |
| 3.28 | 12 | 18 | -10 | 眼窩回 | R | 11 |
| 3.19 | -20 | 15 | -15 | 下前頭回 | L | 11 |
| 3.06 | -22 | 24 | -18 | 中前頭回 | L | 11 |

ToM: Theory of Mind

BA: 推定Brodmann領域番号を示す

R: right右半球、L: light左半球

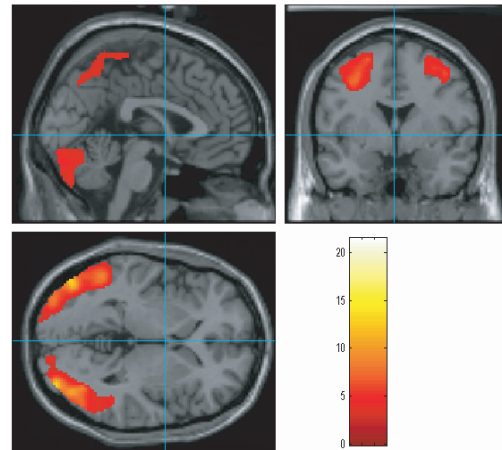


図 3：物理的ストーリー課題 v.s. コントロール課題

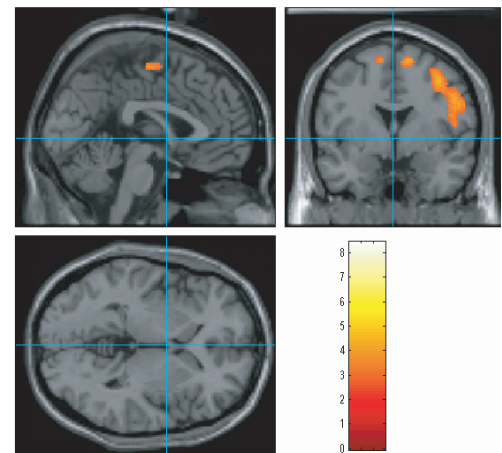


図 4：心の理論課題 v.s. 物理的ストーリー課題

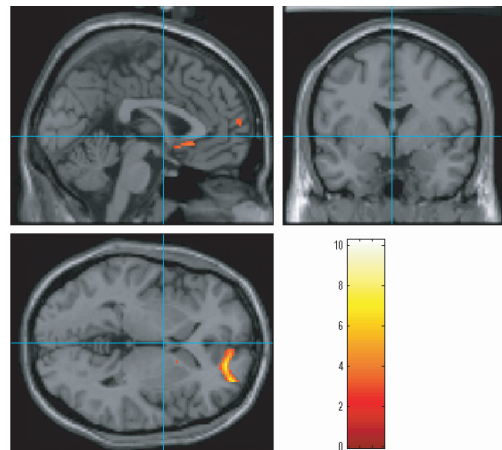


図 5：心の理論課題の成績との相関

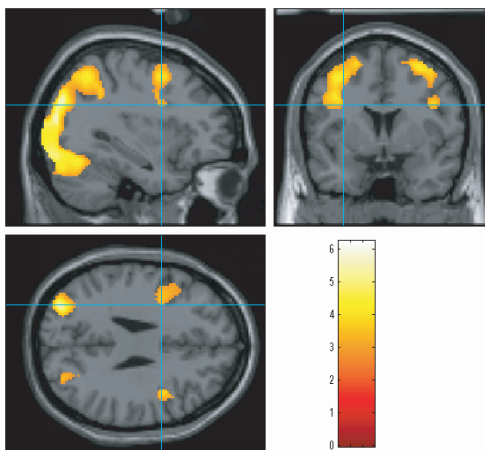


図 2：心の理論課題 v.s. コントロール課題

の賦活状態を差し引き、心の理論課題における正答ストーリー数との相関を検討したところ、右中前頭回 (BA10)、両側上前頭回 (BA10)、右眼窩回 (BA11)、左下前頭回 (BA11) で脳活動との有意な正の相関が見られた。(表 1、図 5)

4. 考察

本結果、これまでの心の理論課題を用いた脳画像研究で共通して報告されてきた (Carrington & Bailey, 2009) 内側前頭回、中前頭回、および舌状回での賦活が認められた。視覚野での賦活は刺激の視覚処理によるものと考えられる。心の理論課題実施時の賦活状態から物理的ストーリー課題実施時の賦活状態を差し引いたところ、両側上前頭回、右半球の中心前回および中前頭回に有意な賦活が見られた。Happé et al. (1999) は、コントロール群として 19 名の健常者、患者群として 14 名の右半球損傷群、5 名の左半球損傷群について、文章とコミック画を用いた心の理論課題に関する比較検討を行った。その結果、ストーリー理解課題 (文章を視覚呈示するもの)、コミック画課題 (1 コマ)、コミック画ペア課題 (間違い探し) のいずれにおいても、右半球損傷群では成績の低下と反応時間の遅延が見られた。これに対して、左半球損傷群では成績低下および反応時間の低下とも見られなかった。また、これまでに行われた脳画像研究でも、心の理論課題実施時の右半球を中心とした賦活が報告されている (Brunet et al., 2000; Brunet et al., 2003; Gallagher et al., 2000; Harris et al., 2005)。これらのことから、心の理論に関する脳内メカニズムは、右半球を中心として存在していることが示唆され、本研究でもある程度このことを支持する結果を得たといえる。

心の理論課題実施時の賦活状態から物理的ストーリー課題実施時の賦活状態の減算により、両側上前頭回については、外側面ではあるが、内側面に近い部位での賦活が見られた。また、内側前頭回での賦活もみられた。心の理論課題実施時の賦活状態から物理的ストーリー課題実施時の賦活状態を差し引いた値と正答ストーリー数との相関を検討したところ、この正答数が多いほど眼窩回での有意な賦活がみられた。内側前頭前野は、これまでに多くの脳画像研究 (Brunet et al., 2000; Brunet et al., 2003; Gallagher et al., 2000; Harris et al., 2005) で、心の理論実施時での賦活が報告されている。Frith & Frith (2003) がこれまでの研究をまとめた報告によると、コミック画を用いた研究を含む心の理論に関するすべての脳画像研究でこの部位の賦活が認められているという。彼らは、内側前頭前野は、ある状況にある自己や他者に注意を向け、自己の立場から離れ、他者の立場でものごとを考える際に賦活する部位であると結論づけている。これらのことから、本実験で心の理論条件課題実施時に見られた両側上前頭回、内側前頭回および眼窩回での賦活は、登場人物の信念について考える心の理論課題への取り組みと関連するものであると思われる。

中前頭回における有意な賦活は、心の理論課題実施時において全般的に見られた。この部位は、コミック画の登場人物の意図について考え、それを帰属させる課題に取り組む際に賦活されることが報告されている (Brunet et al., 2000; Gallagher et al., 2000)。Brunet et al. (2000) の研究では、3 コマ目まで呈示されたコミック画の 4 コマ目を 3 つの選択枝から選択する課題を用いていた。また、Gal-

agher et al. (2000) の研究では、心の理論に関する 1 コマのコミック画を用いているが、右中前頭回において賦活が報告されている。本研究では、心の理論課題において、正答ストーリー数の並べ替えの成績が良いほど、右中前頭回における賦活が活発であった。同様に、心の理論課題において、正答コミック数が多いほど、左中前頭回における賦活が活発であった。これらのことから、この部位は、コミック画などの登場人物の意図を読み取る際に関わっている場所であることが示唆される。その他に、右舌状回において有意な賦活がみられた。この部位は、呈示された文章が、自己の立場ないし第三者の立場から見て正しいかどうかを判断させる課題において、自己の立場で判断した場合でのみ有意な賦活が報告されている (Ruby & Decety, 2003)。本実験では、登場人物の誤信念を理解する際に両者の立場からの視点が必要となる。この部位の賦活は、このことに関連しているのかもしれない。また、右の上頭頂小葉 (BA19)、左の中後頭回 (BA18)、舌状回 (BA18) といった、視覚野を中心とした部位に有意な賦活がみられた。物理的課題実施時の賦活状態からコントロール課題実施時の賦活状態を差し引いた場合は、左上後頭回 (BA19) でのみ有意な賦活がみられた。BA18、BA19 はともに二次視覚野である。二次視覚野の機能は、感覚を知覚に変換する部位であるとみなされており、見えるものが何であるのかなど、意味を伴った刺激情報の処理をおこなっているとされる (八田, 2003)。このことから、この部位では、コミック画についての意味的な処理を行っていたことが考えられる。

ToM 条件課題、物理的条件課題実施時における賦活状態から、それぞれコントロール課題実施時における賦活状態を差し引いたところ、共通して右半球の BA6 (運動前野/運動連合野) における賦活が見られた。これまでに、この部位はワーキングメモリのサブシステムである視覚・空間的スケッチパッドに関わっている場所のひとつであるという報告がなされている (Jonides et al., 1993)。本研究における課題は、両条件共にランダムに呈示された刺激の正しい順番を考えながらその順番と場所を保持することが必要であった。このことから、この部位の賦活は、ワーキングメモリ、特に視覚・空間的スケッチパッドの活用と関連したものである可能性がある。

Gallese & Goldman (1998) がまとめた報告では、心の読み取り (mind-reading) に関して、ミラーニューロンが関わっている可能性があるという。この仮説では、相手の心を理解するには、相手の立場に立つ、つまり相手のふりをする必要があると考える。そこで、人の行動を模倣した際に活動するミラーニューロンの関わりが予想できる。人間ではブローカ野 (運動性言語野、BA; 44, 45) にミラーニューロンが存在するとされる (加藤, 2002)。本研究では、心の理論課題実施時に、BA6、BA10 および BA11 を中心とした賦活がみられた。これらの部位は、BA44、45 近傍であり、コミック画の登場人物の行動を模倣する方略によって心の理論課題に取り組んでいた可能性も考えられる。

上記のように、コミック画の誤信念課題を用いた本研究では、これまでの研究と共通して内側前頭回 (BA8)、右中前頭回 (BA6) での賦活がみられた。これらのことから、本研究で用いた課題による fMRI の測定は、心の理論に伴う脳活動を調べるのに有用であったといえる。しかし、上述のように、課題の取り組みによるワーキングメモリの活用が賦活状態に反映された可能性もあり、さらに検討が必要である。これまで報告された心の理論に関する 40 の脳画像研究のレビュー (Carrington & Bailey, 2009) によると、内側前頭前野と前頭眼窩領域が 93 % の報告で心の理論との関連を認めており、すべての脳領域の中で最も多い。ついで、側頭頭頂接合領域 (45 %)、上側頭溝周辺領域 (45 %)、前部帯状回 (38 %)、外側前頭前野 (35 %) といった部位が高い頻度で報告されている。本研究でも内側前頭前野と外側前頭前野、および成績との関連においては前頭眼窩領域が見出され、これまでの報告と一致している。他方、側頭頭頂接合領域や上側頭溝周辺領域の賦活は今回顕著でなかった。この理由として、課題の特徴によって、賦活領域の強弱や頻度が異なる可能性が示唆されている。Kobayashi et al. (2007) は、文章を用いた方がコミックを用いるより、内側前頭前野ではなく、上側頭領域が賦活することを示している。さらに、彼らはコミック課題の複雑性が増すと、内側前頭前野がより賦活することを示唆している。本研究においてもこのことがあてはまるかもしれない、今後の検討事項と思われる。

これまでの心の理論研究では、自閉症児の特徴である社会的コミュニケーションの困難さとの関連性を中心に検討されてきた。最近では、臨床的な観点から、統合失調症を対象とした研究も注目されている (松井・倉知, 2005)。統合失調症の心の理論に関連する脳内機構が健常者とは異なっていることが示唆されており (Brunet et al., 2003)、本研究をもとに臨床応用が可能な形で患者における脳機能画像の検討を行なうことが今後の課題である。

謝辞

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 2004～2009 年度 (CREST) および科学研究費補助金 基盤研究 (B) 課題番号 20330141 による助成を受けた。

引用文献

Baron-Cohen, S., Leslie A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a "theory of mind"? *Cognition*, 21, 37-46.
 Baron-Cohen, S., Leslie A. M., & Frith, U. (1986). Mechanical, behavioural and intentional understanding of picture stories in autistic children. *British Journal of Developmental Psychology*, 4, 113-125.
 Baron-Cohen, S., Tager-Flusberg, H., & Cohen, D. J. (Eds.) (1993). *Understanding of other minds. Perspective from Autism*. Oxford: Oxford University Press. (パロン・コーエン, S., ターガー・フラスバーグ, H., コーエン, D., J.

田原俊司 (監訳) (1997) 心の理論—自閉症の視点から— 上・下巻, 八千代出版).
 Brunet, E., Sarfati, Y., Hardy-Baylé, M. C., & Decety, J. (2000). A PET Investigation of the Attribution of Intentions with a Nonverbal Task. *NeuroImage*, 11, 157-166.
 Brunet, E., Sarfati, Y., Hardy-Baylé, M. C., & Decety, J. (2003). Abnormalities of brain function during a nonverbal theory of mind task in schizophrenia. *Neuropsychologia*, 41, 1574-1582.
 Calerge, C., Andreasen, N. C., & O'Leary, D. S. (2003). Visualizing how one brain understands another : a PET study of theory of mind. *American Journal of Psychiatry*, 160, 1954-1964.
 Carrington, S. J., & Bailey, A. J. (2009). Are there theory of mind regions in the brain? A review of the neuroimaging literature. *Human Brain Mapping*, 30, 2313-2335.
 Fletcher, P. C., Happé, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of "theory of mind" in story comprehension. *Cognition*, 57, 109-128.
 Frith, U., & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions the Royal Society of London Biological Sciences*, 358, 459-473.
 Gallagher, H. L., Happé, F., Brunswick, N., Fletcher, P. C., Frith, U., & Frith, C. D. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: an fMRI study of 'theory of mind' in verbal and non-verbal tasks. *Neuropsychologia*, 38, 11-21.
 Gallese, V., & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Science*, 2, 493-501.
 Happé, F., Brownell, H., & Winner, E. (1999). Acquired 'theory of mind' impairments following stroke. *Cognition*, 57, 211-240.
 Harris, L. T., Todorov, A., & Fiske, S. T. (2005). Attributions on the brain: Neuro-imaging dispositional inferences, beyond theory of mind. *NeuroImage*, 28, 763-769.
 八田武志 (2003). 脳のはたらきと行動のしくみ 医歯薬出版.
 Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. A. (1993). Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature*, 363, 623-624.
 加藤邦夫 (2002). ミラーニューロン. 臨床精神医学, 31, 1550-1551.
 Kobayashi, C., Glover, G. H., & Temple, E. (2007). Children's and adults' neural bases of verbal and nonverbal 'theory of mind'. *Neuropsychologia*, 45, 1522-1532.
 松井三枝・倉知正佳 (2005). 統合失調症の高次脳機能障害, Annual Review 神経 2005, 325-332.
 Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does Chimpanzee have a theory of mind? *The Behavioral and Brain Sciences*, 4, 515-526.
 Ruby, P., & Decety, J. (2003). What you believe versus what

you think they believe: a neuroimaging study of conceptual perspective-taking. *European Journal of Neuroscience*, 17, 2475-2480.

Saxe, R., & Kanwisher, N. (2003). People thinking about thinking people: The role of the temporo-parietal junction in “theory of mind”. *NeuroImage*, 19, 1835-1842.

Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. New York: Thieme Medical Publishers.

(受稿 : 2009 年 11 月 18 日 受理 : 2009 年 11 月 27 日)