2007/7/11 BBS 文献発表:

志波泰子

It's the Thought That Counts:

Specific Brain Regions for One Component of Theory of Mind Saxe, R. and Powell, L. J.

Psychological Science, 17, 692-99, 2006.

Abstract:

他の人々の思考と信念の内容を表象することは、Goal, perception and feelings のような早期発達の心的概念とは違った他者の心の推論 (theory of mind)の構成要素に依存することが発達心理学から示唆されている。

この成人の脳の後期発達過程の支持基盤研究では、左右の側頭-頭頂ジャンクション (TPJ: temporo-parietal junction)と帯状回後部(PS: posterior cingulate)の3領域は、被験者が、主人公の思考について読むときには選択的に反応するが、主人公の主観的内的状態とある人についての社会的に直接関連する情報を読むときには反応しなかった。対照的に、内側前頭前野(MPFC)は、これらのストーリー条件に均等に反応し、一般的な社会的認知における内側前頭前野の広範な役割と一致する結果となった。

これらのデータは、早期の ToM と後期の ToM の分離した心理的神経的メカニズムに呼応し、2 つのメカニズムは大人になっても別のままであるという仮説を支持するものだった。

Introduction:

- 古典的な ToM のサリーとアン課題では、年少児はボールを探すのに反対側を、つまり、現実にボールがある場所を予測する (Wellman, Cross, Watson, 2001; Wimmer & Perner, 1983)
- ・ このような結果と実体的な関連する証拠から、発達心理学者は、乳児および幼児は、 欲求や目標や知覚、感情(feelings)のような心的状態を理解すると提起している (e.g., Phillips, Wellman, & Spelke, 2002; Repacholi & Gopnik, 1997; Woodward, 1998) が、4歳 までは、外界の心的表象は現実の外界のあり方とは違うのだという理解を必要とす る概念、すなわち信念のような概念を理解しないようである
- ・ それゆえ、 発達心理学者たちは、信念のような、心的状態の特定の(表象的な)内容を表象するための後期の表象システムは、他者のこころを理解する別の構成要素であるという仮説を立てている(Bartsch & Wellman, 1995; Flavell, 1988; Leslie, 1994; Perner, 1991; Tager-Flusbarg & Sullivan, 2000; Wellman & Cross, 2001)
- ・ 本研究では、後期の ToM の特徴的な思考と信念の帰属と、他の内的主観的状態は、 違った脳領域からもたらされていると予測し、発達心理学者によって確認されてい る早期発達の心的状態概念の帰属と共に、信念(あるいは、表象的心的状態)の帰 属に直接に焦点づけてデザインした。

- ・ 先行のニュウロイメージングの研究では、他者の心の推論を必要とする脳領域は、 左右の側頭-頭頂ジャンクション(TPJ)と内側前頭前野(MPFC)と後部帯状回 (posterior cingulate cortex) と扁桃体が確認されている(e.g., Castelli, Happé, Frith, & Frith, 2000; Fletcher, Happé, Frith, Backer, & Dolan, 1995; German, Niehaus, Roarty, Giesbrecht, & Miller, 2004; Mitchel, Mason, Macrae, & Banaji, inpress; Rilling, Sanfey, Aronson, Nystrom, & Cohen, 2004: Saxe & Kanwisher, 2003)
- ・ 伝統的には発達心理学の先行研究の多くは、身体的、メカニカルな推論による統制条件と ToM 推論を引き出す誤信念条件でおこなわれてきた。
- ・ しかし、早期発達の心的状態概念の帰属と共に信念の帰属に注目した研究がない。 それゆえ新しい刺激(それぞれが他者についての推論を強調するもの)を作成。
- a. 外見のストーリー:他者の風采を探索し、その人についての社会的に関連する情報を表象する必要があるもの
- b. 身体感覚的ストーリー:目に見えない、主観的な又は ToM の早期発達構成要素の 特徴的内的状態の帰属を引き出すもの
- c. 思考のストーリー:他者の思考や信念の内容を描写し、特に、ToM の後期発達の 構成要素の機能となるもの
- ・これらの条件に対する反応を、全脳(Whole-brain)分析と、誤信念と誤写真ストーリー間の比較で確認された(Saxe & Kanwisher, 2003) ToM への関連が決定されている 領域に制限された ROI(regions-of-interest) 分析の両方で調査

予測:

- ・ もし、後期の ToM が大人になっても違うままなら、以前に他者の心の推論に関連した脳領域は、思考のストーリーに使われるが、身体感覚ストーリーには使われない。
- ・ 反対に、ToM の早期と後期両方に役立つ脳領域は、これらの両方のストーリー条件 に用いられる。
- ・ 身体的感情の帰属に限定される脳領域はまさに、身体感覚ストーリーに用いられる。
- ・ 主人公についての社会的関連情報を表象するのに広く関連する脳領域は、3タイプ のストーリーに等しく用いられる。

Method

- ・ 外見のストーリー: 主人公の身体的社会的特徴の詳しい描写を含む。明らかな主観的状態(感情とか)や心的状態(思考など)はなにも述べられなかった。しかし、被験者は、主人公の特徴や性質の印象を形成するのは自由であった。
- 『ジョーは、お腹がベルトをはみだすほどの、がっしりした男だった。彼は禿ていたが 頭頂のブロンドの髪をきちんと撫で付けていた。彼は大きな茶色の目の愛想のよい顔 立ちだった。』
- 『マリアはオリーブ色の肌で長い黒髪を三つ編みにしていた。彼女は背が高く、脚が長く、いつもサンダルを履いていて、小ぎれいな赤いマニュキアがほどこされた指がの

ぞいていた。』

- ・身体感覚的ストーリー: 主人公の主体的な身体的感情を述べたもの。ストーリーは生き生きと内的経験や感情と行為の間の関連性をのべているが、主人公の思考とか信念の内容または内的心的状態(哲学的な意味での、内容のような事態や目的をもつとかの)を含まなかった。知覚,目標、感情は、主体と外界の間のコネクション(関係性)としてすべて理解されるか(lean interpretation)、あるいは、その主体の心の中に表象される部分的外界への主体の態度として理解されうる(rich interpretation)だろうが、信念の概念と共にもっと豊かな rich interpretation が利用可能になるまで、4歳までは lean interpretationを用いていると思われる。大人が知覚、目標、感情の帰属に際して、lean な早期発達のinterpretation をもちいているのか、あるいは、rich な後期発達の interpretation を用いているのかについてはアプリオリに明らかなわけではない(Keyser, Lin, & Barr, 2003)が、帰属しうる主観的内的状態では、彼らが rich な表象能力的解釈を用いているのはほとんど疑いがないために、このような感覚についてのストーリーを書いた。
- 『シェイラは母のところに行くのに電車に遅れるので朝食を抜いていた。電車に乗るころにはお腹がすいて来た。いたるところで食べ物の匂いがして彼女のお腹は鳴った。』 『マルカスは3日間病気だった。彼はふらついて高熱だった。4日目には熱が下がり、 爽快に目が覚めた。』
- ・思考のストーリー:明確に主人公の信念と推論を描写。被験者は、典型的な後期の ToM の機能である主人公の信念と思考の内容を表象する必要があった。
- 『ニッキーは、サンフランシスコからの妹のフライトが 10 時間遅れると知っていた (knew)。彼が空港に着いたときに、その夜ひどく遅れている唯一の飛行機があり、それが彼女の飛行機だと分かった (knew)。』
- 『ロブは、店でコーヒーを買う間、彼の犬の鎖を街頭の柱に括り付けた。彼が出てきたとき、彼の犬が通りを走って渡った。彼は鎖が外れたのだと思った(guessed)』
- ・ 三つの条件のストーリーは平均33ワードだった。
- ・ 平均読解時間は 17 人による予備実験で測定。それぞれのストーリーの主人公への共感 や同一化の判断調査もおこなわれた。反応は $1 \sim 10$ のリッカート尺度が使われた。
- ・ 被験者(女性9人、年齢 19-26 からなる 12 人の健常、右利きの成人)は、正常視覚 で英語話者。
- ・ フルテキストは、それぞれ 10 秒間、黒色ボードに白 24 ポイントの文字で映し出された。各ストーリーのプレゼンテーションは 12 秒の間隔。
- ・ それぞれの条件での2つのストーリーが走査ごとに表示。それぞれの走査内の条件 の順序は被験者間と被験者内でカウンターバランス。
- ・ 被験者は、それぞれが4分14秒間で走査を見た。
- ・ 被験者はストーリーを読み、読み終えたらボタンを押すように教示。スピードより も理解が大事であることを強調。

- ・ スキャナーの内部での読解時間はテクニカルエラーのため、集められなかった。
- ・ どの被験者もローカライザー実験の4回の走査に参加し、誤信念と誤写真課題が提示された(Saxe & Kannwisher, 2003、Experiment 2)。
- f MRI データは SPM99 で分析。
- ・ 個人被験者のデータは、共通の脳空間処理をほどこされ解剖的標準化、画像データ はガッシァンフィルターで平滑化。
- ・ 両方の f MRI 実験はブロックデザイン化され、回帰推定を行ってモデル化された 全脳分析と ROI 分析:
- ・ ROI の定義のためにローカライザー実験が用いられた。
- ・ それぞれ独立した ROI でのストーリーの提示中の信号変化のパーセンテージを 3 実験条件間で比較。
- ・ ROI で定義するデータは、繰り返し測定統計で用いられたデータとは独立している ために、タイプ1エラーは減少。

RESULTS

- ・平均読解時間は、誤写真 (2.9s) より誤信念ストーリー (2.6s) のほうが有意に短くなった($t(11) = 4.15, p < .002, p_{rep.} = .99, \eta^2 = .61$)。
- ・新刺激を用いた予備調査では、思考の平均読解時間は、9.8 s、外見ストーリーは、9.8 s で、違いがなかった (t(16) < 1)。
- ・身体感覚ストーリーは、M=9.0s で、外見ストーリーよりもっと早く読まれ、t (16) = 3.02, p< .05 だったが、思考ストーリーは、t (16) = 1.73, n.s.であった。
- ・身体感覚ストーリー (M=6.1)は、外見ストーリー (M=4.6) と思考ストーリー (M=4.7) よりも共感スコアが高く、t (16) = 1.96, p< .07, p_{rep} = .88, η^2 = .20.および、t (16) = 2.34, p< .04, p_{rep} = .99, η^2 = .25.であった。そして外見ストーリー (M=4.6) と思考ストーリー (M=4.7) は、それぞれ差がなかった(t (16) <1)。
- ・これらの結果、BOLD はどの脳領域でも課題の時間や主人公とのイメージ的な情動の同一化を反映せず、むしろ、これらのストーリーに特徴的な思考の内容の帰属を反映。

ローカライザー実験: Group Results

- ・ ローカライザー実験からのデータの全脳 random effects 分析は、同じ課題を用いた先 行研究の結果を繰り返した (Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Wexler, 2005)。
- ・ 誤写真シナリオより誤信念のシナリオのほうが高い BOLD 反応が RTPJ,LTPJ,MPFC および PC で観察された。

ローカライザー実験: Individual-Subject ROIs

- ・誤写真より誤信念シナリオのほうがたくさん集まった ROI は個人別被験者によって、RTPJ(12/12 subjects), PC(12/12 subjects), LTPJ(9/12 subjects)が同定された (ps< .0001、非補正)。
- ・ MNI のボクセルの平均ピークは、RTPJ:[53 -54 17], PC:[2 -60 27], LPTJ:[-48-57 25]。

- ・ 他者についての推論は、内側前頭領域によって、大部分、独自に促進されるという 先行研究 (e.g., Gallagher & Frith, 2003; Mitchell et al., in press) があるために、MPFC には興味があったが、MPFC での個別の反応は個別被験者にあまり依存しなかった。
- それゆえ、MPFC に興味ある領域を見つけようと、ローカライザーのコントラストの閾値を p< .001 へと減衰、ROI の 3 条件は MPCF 内部で同定できた。
- すなわち、腹側 MPFC(8/12 subjects)では、[1 63 2] で、中央 MPFC(7/12 subjects)は、
 [-1 62 19] で、背側 MPFC(8/12 subjects)は、[-2 56 35] でのボクセルの平均ピーク。
- ・ 扁桃体の活性は、低い閾値でも、個別被験者の半数以下しかで見られなかったので、 扁桃体の ROI 分析は行われなかった。

Main Experiment

- ・ RTPJ, LTPJ と PC の 3 つの ROI は、思考条件では、外見、身体感覚条件より極めて有意であった (see Fig.1)。
- ・ **Fig.1 は**ローカライザーtask と Main experiment の平均的 BOLD 反応である。RTPJ と LTPJ と PC と腹側 MPFC での結果がしめされている。右側は全脳 random effects 分析で同定された RTPJ と LTPJ と PC の活性の位置を示している。ns (ノイズ比) と coordinate(座標) は、ローカライザーtask からの被験者別領域の ROI を参照した。
- ・ 全領域、全条件と条件比較(思考:感覚と感覚:外見)のそれぞれの t 検定の信号変化の パーセンテイジは Table3 の通り。
- ・ 3つの MPFC の ROI のどれも、思考、身体-感覚、または、外見条件のストーリーに有意な反応の違いはなかった (Table3 and Fig.1)。
- ・ 加えて、MPFC 領域と RTPJ のそれぞれの結果を比較する分析をおこなった(2 領域×3 条件)そして、それぞれのケースで、条件対領域の有意な相互作用があった。すなわち、 RTPJ 対腹側 MPFC は, F (2,14) = 6.49、p< 01; RTPJ 対中央 MPCF は, F (2,12) = 5.24、 p< 03; RTPJ 対背側 MPFC は, F (2,14) = 15.68, p< .001。
- ・ このプロファイルを確認しながら、全脳の random effects 分析(思考>身体感覚と外見条件、p<.001,未補正)は、RTPJ,LTPJと PC の活性を示した。ピークはそれぞれ、[57-54 18] [-60-54 24]、[0-51 39](Fig.1 insets)。加えて身体感覚ストーリーで有意に活性化する脳領域を探すため、全脳分析をおこなった(身体感覚>外見、p<.001,非補正)。この対比は違ったプロファイルを示した。
- 右の supramarginal gyrus(SMG)、帯状皮質と小脳がそれぞれピーク時で、[60 -33 27] [-15 -66 -18]、[-12 -48 -12]。Fig.2 は、これらの領域の一つ、右 SMG と SMG と近傍だが違う右 TPJ との間の解剖学的関係を示している。
- ・ Fig2 は ToM の早期と後期の構成要素の神経基盤である。上と中のイラストは全脳 random effects 分析の結果を示している: 身体感覚ストーリーと外見ストーリーより思考 のストーリーの高い反応のボクセルは赤で示され、外見ストーリーより身体感覚ストーリーのより高い反応は青で示されている。下のイラストは思考ストーリーの右 TPJ の活

性(赤)、身体感覚ストーリーでの右 SMG の活性(青)を示すスライスである。

DISCUSSION

Late-Developing Components:

- ・発達心理学からの実体的な証拠は、他者の信念の内容を表象することは、目標知覚感情の帰属を伴う早期発達の能力とは別の、心の理論の違う構成要素に依存していると示唆 (Bartsch & Wellman, 1995; Flavell, 1988; Perner+ Saxe, Carey, & Kanwisher, 2004)。
- ・ 現在のニューロイメージングのデータはこの主張を強化し拡大。
- ・ 大人の脳の3つの領域、RTPJ、LTPJと PC は被験者が主人公の思考や信念のストーリーを読むとき選択的に用いられるが、外見や個人的態度のような、主観的、内面的身体的感情や他の社会関連情報を読むときは用いられない。
- ・ これらのデータは ToM の後期発達の構成要素が、早期発達の構成要素とはちがったメカニズムに依存し、これらのメカニズムはおとなになっても違ったままであるという仮説に一致している。
- ・ これらの結果からは、心的状態推論における RTPJ、 LTPJ および PC の特定の選択的役割を個々に設定するのは不十分。
- ・ 本研究の刺激は、ToM 推論の次元を操作するデザイン。すなわち主人公についての情報 は短い言語テキストを含んでいた。
- ・ 非言語刺激を用いる実験から重要な証拠が現れている(Aichorn, Perner, Kronblicher, Staffen, & Ladurner, in press; Samson, Apperly, Chiavarino, & Humphreys, 2004) そして更なる調査がわれわれの実験室で進行中である。すでに、3 領域、とくに RPTJ の機能的プロファルは、はっきりと特殊なものであると思われる。
- ・ 認知科学では、どの特定の認知的機能が明確に皮質領域に関係しているのかについて論 争が続いているが、われわれは、RTPJで反応する BOLD は、他の人に思考を帰属させ るという、知覚でも運動でもない高度な特定の認知機能に関係していると報告する。

Early-Developing Components:

- ・ 本データは、主観的身体的感情を帰属する早期の ToM 能力に神経上相関するのは、右 SMG であり、被験者が、飢え、渇きやリラクゼーションや高揚のような感情を読むと きに用いられることを示唆。
- 右 SMG は happy, sad, angry, afraid, surprise のような基本的感情の帰属に関係することが早くから示唆されてきた。ここの損傷は情動的プロソディや PLW への感情の帰属や表情の判断の欠陥を生む(Damasio et al., 2000)。
- ・ Damasio たちは、右 SMG は、被験者自身の運動感覚システムで観察された感情を密か にモデル化するさいに役割を果たし、すなわちそれぞれの情動に関係する再創造と帰属 においての役目を持つと示唆。
- ・ 目標や知覚を帰属するような ToM の早期発達の構成要素は、ここでは同定されなかった、特別な脳領域に依存しているようである。特にマカクの証拠から、上側頭溝(superior

temporal sulcus)が意図的行動や視線のシフトの視覚的表象に反応することが示唆されている (e.g., Allison, Puce, & McCarthy, 2000; Pelphrey, Singerman, Allison, & McCarthy, 2003; Saxe, Xiao, Kovacs, Perrett, & Kanwisher, 2004)。

MPFC:

- ・ 本研究は MPFC の役割も明らかにできた。
- ・ German et al. (2004) の研究のように、MPFC を 3 分割 (dorsal、ventral、middle)の ROI にした。RPTJ,LPTJ および PC とは違い、被験者が主人公の外見や個性、主観的感情、または思考や信念についてのストーリーを読むときであれ、3 つの MPFC の ROI では、BOLD の反応が同じだった。
- ・ すなわち、MPFC の増加は、他者の思考(後期の ToM の構成要素)についての推論、 または一般に主観的内的状態にも制限されるものではないが、他者の社会的または情動 的に関連する情報を推論する際にはより広く関係しているのかもしれない。
- ・ 最近のデータはこの提案と一致 (e.g., Aichorn et al., in press; Saxe & Wexler, 2005)。たとえば、Mitchel et al. (in press) は、被験者が心的形容詞、curious を読むときは、抽象的形容詞、celestial (この世のものでないような)またはヒトや動物の体の一部、liver (肝臓) や物体の一部分、pedal を読むときに比較して、MPFC のある領域 (本結果での背側 ROI と同様の)の選択的活性を報告している。われわれの外見のストーリーと同じように Mitchel たちのもちいた心的形容詞は、他者の永続的個性を描写するが、しかし、人の信念や思考のような特定の経過的な内容ではなかった。
- ・ 同じように、LTPJ に障害のある 3 患者は信念の帰属には選択的に障害があることがわかっていたが (Samson et al., 2004; テストではかなり違う 2 つの患者母集団を測定に用いたと記されている)、その反対に MPFC に選択的に障害のある患者であっても、他者の心の推論のテストではそこなわれていないことが知られてきている(e.g., Bird, Castelli, Malik, Frith, & Husain, 2004)。

CONCLUSION

- ・ 健常成人の脳の皮質領域での分業は、ToM の発達的に違った構成要素を反映している。
- ・ 特に RTPJ は、LPTJ や PC と同様に、被験者が他者の思考や信念、早期から後期の ToM の構成要素への通過点とみなしているのと同じ概念を推論するとき、まさに用いられているようである。
- ・ ここで心的状態の帰属で選択的に関係していると同定された脳領域は、系統発生的にも 個体発生的変化にも同様だが、自閉症やアスペルガー症の重要なダメージの箇所と思わ れる。

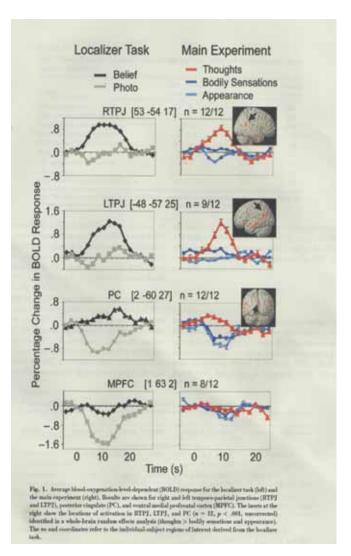


TABLE 2
Group Results From the Contrast Between Conditions (False Belief > False Photograph) in the
Localizer Experiment

0	MNI coordinates	Number	
Region	(maximum voxel)	Z	of voxels
Posterior cingulate	[12 - 66 21]	5.00	535
Right temporo-parietal junction	[60 - 57 15]	4.96	182
Ventral medial prefrontal cortex	[-9 51 3]	4.62	138
Dorsal medial prefrontal cortex	[0 45 48]	4.49	11
Right superior temporal sulcus	[60-18-21]	4.02	20
Right amygdala	[306-15]	3.90	14
Left temporo-parietal junction	[-51-57 27]	3.85	35
Left amygdala	[-270 - 21]	3.73	6
Right anterior superior temporal sulcus	[51 12 -33]	3.70	13

Note. The table presents results from a whole-brain random effects group analysis. For each region listed, the contrast was significant, p < .001, uncorrected. MN1 = Montreal Neurological Institute.

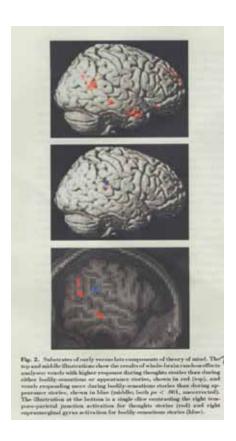


TABLE 3
Percentage Signal Change (Averaged Over Each Story) in Six Regions of Interest

	Story type		Contrast		
Region	Appearance	Sensations	Thoughts	Thoughts > sensations	Sensations > appearance
		Late	-developing	theory of mind	
Right temporo- parietal junction	-0.16	0.09	0.61	t(11) = 4.78, p < .001, $p_{\text{rep}} = .99, \eta = .675$	t(11) = 1.86, n.s., $p_{\text{rep}} = .91$, $\eta = .239$
Left temporo- parietal junction	-0.04	0.20	0.78	t(8) = 4.68, p < .002, $p_{\text{rep}} = .99, \eta = .733$	t(8) = 1.75, n.s., $p_{\text{rep}} = .88$, $\eta = .278$
Posterior cortex	-0.53	-0.64	-0.15	t(11) = 3.06, p < .05, $p_{\text{rep}} = .99, \eta = .459$	t(11) = 0.97, n.s., $p_{\text{rep}} = .68$, $\eta = .080$
		(Seneral soci	al cognition	
Ventral medial prefrontal cortex	-0.32	-0.22	-0.06	t(7) = 0.72, n.s., $p_{\text{rep}} = .56$, $\eta = .069$	t(7) = 0.70, n.s., $p_{\text{rep}} = .55$, $\eta = .065$
Middle medial prefrontal cortex	-0.17	-0.23	0.05	t(6) = 1.16, n.s., $p_{\text{rep}} = .73$, $\eta = .184$	t(6) = -0.30, n.s., $p_{\text{rep}} = .32$, $\eta = .015$
Dorsal medial prefrontal cortex	0.18	-0.19	0.10	t(7) = 1.82, n.s., $p_{\text{rep}} = .89$, $\eta = .322$	t(7) = -2.82, n.s., $p_{\text{rep}} = .94$, $\eta = .426$

Note. Boldface indicates a significantly higher response in the thoughts condition than in the sensation condition.