



事象関連fMRIを用いた素性照合(feature checking) 時の脳活動の観察

著者	丸山 啓, 祐伯 敦史, 藤原 崇, 中井 悟
雑誌名	主流
号	68-69
ページ	117-131
発行年	2007-11-15
権利	同志社大学英文学会
URL	http://doi.org/10.14988/pa.2017.0000015212

事象関連 fMRI を用いた素性照合 (feature checking) 時の脳活動の観察

丸 山 啓

祐 伯 敦 史

藤 原 崇

中 井 悟

1. 実験の目的

現在、ニューロイメージング手法の進歩により、言語処理を司る脳の領野が少しずつ特定されている。そして言語処理の中でも、多くの神経言語学者が研究しているのが統語処理を司る部位の特定である。古くはブローカ野が統語処理を司っているとされ、現在もその考えが主流である一方で (Embick et al., 2000; Sakai et al., 2001), ブローカ野損傷患者が統語処理に問題を見せない失語症研究のデータや統語課題と意味課題の比較においてブローカ野の賦活が観察されないニューロイメージング研究結果が最近報告されている (Caramazza et al., 2005; Friederici et al., 2003)。我々の研究目的もブローカ野がどのような統語処理を司っているのか、あるいは、ブローカ野以外のどの部位がどのような統語処理を司っているのかを確認することである。

しかしながら、「統語」というものの対象の広さのためか、もしくは実験時に混入する様々な要因 (たとえば、刺激文の長さ [呈示する刺激文すべてのモーラ数や文字数を同じにする必要がある] や刺激文の内容の自然さ [不自然な内容の文だとそのことによって脳が賦活するので、呈示する刺激文す

すべての自然さを同じにしなければならない] や使用する名詞や動詞の新奇さ [見慣れない単語が呈示されるとそのことによって脳が賦活する] など) を統制できていないせいか, 統語処理の全貌は未だ混沌の中にある。また, 句や文を刺激として使用すると, 統語処理と意味処理は表裏一体であり, 統語処理だけを分離して特定するのは非常に難しい。

統語処理研究の問題点をふまえた上で, 我々は, 「統語」というものをさらに細分化し体系づけるという目的のもと, 文処理よりも下の段階である単語間の素性照合に焦点をおいてニューロイメージング実験を行った。対象としたのは主語名詞と動詞の間の素性照合と目的語名詞と動詞の間の素性照合で, 素性照合を必要とする刺激とそれを必要としない刺激を提示し, 被験者の神経活動を事象関連 fMRI を用いて観察した。

本実験が対象とした文法処理を生成文法の標準理論の枠組みで説明すると次のようになる。動詞は厳密下位範疇化 (strict subcategorization) 素性と選択制限 (selectional restriction) 素性という二つの素性 (feature) を持っている。厳密下位範疇化素性から説明しよう。たとえば, 英語の *destroy* と *die* という動詞は語彙目録では次のように記載されている。

destroy: V, [+ _____ NP], ...

die: V, [- _____ NP], ...

V は, その単語が属する統語範疇 (syntactic category, 伝統文法でいう品詞) である。destroy の [+_____NP], あるいは, die の [-_____NP] という素性を厳密下位範疇化素性と呼ぶ。下線部はここに当該の単語が入るという意味であり, +があるということは, この下線部の位置でこの単語を使用しなさいという意味であり, -があるということは, この下線部の位置でこの単語を使用してはいけないという意味である。したがって, *destroy* という動詞は, *destroy the house* のように, 名詞句の前で使いなさい (つまり, *destroy* は, 動詞という範疇に属するが, 動詞の中でも, 目的語を取る他動

詞という下位範疇に属する) と規定されているのであり、同様に、die という動詞は、名詞句 (つまり、目的語) を従えない環境で使いなさい (つまり、die は、動詞という範疇に属するが、動詞の中でも、目的語を取らない自動詞という下位範疇に属する) と規定されているのである。

選択制限というのは、意味に基づく動詞と名詞との共起制限 (co-occurrence restriction) のことで、たとえば、love という動詞は語彙目録では次のように記載されている。

love: V, [+ ____ NP], [+ [+ animate] ____], ...

[+ [+ animate] ____] は、love がどのような意味的特徴を持った名詞と共起するかを表した素性で、これが選択素性と呼ばれる。この場合は、love という動詞を使う時には、その左側に [+animate] の素性をもつ名詞がこななければならない、つまり、動物を表す名詞を主語としてとらねばならない (たとえば、the girl loves the puppy は適格であるが、the desk loves the puppy は不適格である) ことを意味しているのである。

本実験では、名詞の意味特性と動詞の選択制限を照合している時の脳の賦活部位を観察したのである。たとえば、「車」という名詞と「買う」という動詞を結合する場合に、「車」という名詞の意味特性と「買う」という動詞の選択制限を照合しなければならないが (つまり、「車」という名詞が「買う」という動詞の目的語になれるかどうかをチェックする)、その照合時の脳の賦活部位を観察したのである。

名詞の意味特性と動詞の選択制限の照合そのものを対象としたニューロイメージング実験に関しては、我々の知るところでは、先行研究はない。(関連する研究に関しては、3.3 節の考察で紹介する。) ただし、実験方法に関しては、Mummery et al. (1999) にならった。

2. 実験計画

2.1 被験者

被験者は平均年齢 20.2 歳 (最年少 18 歳 ; 最年長 23 歳 ; 標準偏差 1.72) の 9 人の男子大学生で, Oldfield (1971) による利き腕判定テストでは 60-100 点を記録した。被験者には神経疾患の発症経験はなく, 母語は日本語である。被験者の視野は正常, もしくは, 刺激が不自由なく見えるように MRI 用の眼鏡をはめてもらった。なお, 被験者からは実験への参加について同意書をもらっている。

2.2 課題

課題の水準数は全部で 3 つで, アクティヴ・タスクが 2 つ, ベースラインが 1 つであった。アクティヴ・タスクは選択制限を照合させる課題であり, ベースラインは目標とする言語課題 (この場合は動詞の選択制限の照合) をさせない課題である。アクティヴ・タスクでは, 刺激は画面中央に凝視点 (+ の記号) を置き, その上方に名詞 (たとえば, 「蝶」), 凝視点下方の左と右に「が+動詞」と「を+動詞」(たとえば, 「が舞う」と「を舞う」) を左右ランダムに呈示した (図 1)。(この実験方法は Mummery et al. (1999) にならったものである。) 動詞部分は同一にした。被験者には上方に呈示された名詞と合致する動詞を 2 つの選択肢の中から選ぶように指示した。すなわち, 「が+動詞」が答えとなる水準と「を+動詞」が答えとなる水準の 2 つが本実験のアクティヴ・タスクとなる。刺激は, 「が+動詞」を選択するものを 26 刺激, 「を+動詞」を選択するものを 26 刺激, ベースラインを 26 刺激呈示した。また, その他にディストラクターを 72 刺激, レストを 26 刺激呈示し, 実験の意図がわからないようにした。

ベースラインでは、画面中央に凝視点を置き、その上方に名詞（たとえば、「蝶」）、凝視点下方の左と右に、名詞を平仮名で表記した場合に正しいもの（たとえば、「ちょう」）と正しくないもの（たとえば、「うちよ」）を左右ランダムで呈示した（図1）。被験者には上方に呈示された名詞の読みとして正しいものを2つの選択肢の中から選ぶように指示した。アクティブ・タスク、ベースラインともに刺激は4500 msec 間イベントで呈示し、被験者には反応をボタン押しでするように指示した。

なお、本実験ではすべての水準で同一の名詞が用いられており、水準間の刺激文字数はすべて均一になっている。刺激において正答が出現する確率も左右のカウンター・バランスが取れている。また刺激に用いられた単語は国立国語研究所の調査等をもとに選定されており、単語の頻度の差による賦活を産まないために、被験者には実験前にすべての刺激に使われる単語を五十音順に配列したリスト(助詞は含まない)を渡しており、すべての単語を読めるという確認もしてもらった。

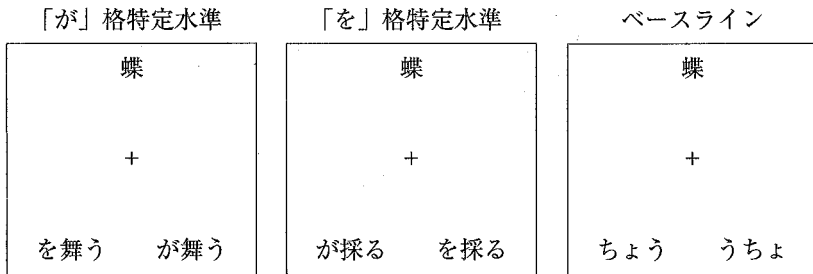


図1. 刺激呈示例

また刺激の妥当性を計るために、実験前に28人の大学生にアンケート上で本実験をしてもらったところ、各水準ともに99%以上の確率で想定されている答えが選ばれた。

2.3 fMRI 撮像データ

実験では Shimadzu-Marconi 社 MAGNEX ECLIPSE 1.5T POWER DRIVE を使用した。パラミター値は以下の通りである。

TR (Repetition Time) = 2000 msec

voxel size = $3 \times 3 \times 7$ mm

field of view = 19.2×19.2 mm

slice thickness = 14 mm

pixel matrix dimensions = 64×64 mm

2.4 分析方法

データ解析には MATLAB (Math Works, Natick, MA) 上で SPM2 (Wellcome Institute of Cognitive Neurology, London, U.K.) を使用した。構造画像と 3D 画像を撮影し、acquisition timing を修正し、realign を掛けた。被験者各個人の脳は、最初のスキャンを reference にして空間的に normalize し、smoothing を掛けた。分析には random-effect model を使用した。

機能的 fMRI を使って課題遂行時の脳の賦活部位の画像をとるには、一般的に差分法 (subtraction) が用いられるが、本実験でもこの差分法を用いている。被験者に MRI 装置の中で課題を遂行してもらい、目標とする言語課題を遂行しているときの画像から、目標としない課題を遂行しているときの画像を引き算し、目標とする言語課題を遂行している部位だけを賦活部位の画像として残す方法である。

3. 結果

3.1 行動データ

行動データは以下の通りである。ベースラインでは正答率が 100% で反応速度 (RT) が 1321 msec, 「が」格特定水準では正答率が 99.5% で RT が 1767 msec, 「を」格特定水準では正答率が 98.6% で RT が 1758 msec であった。「が」格特定水準とベースラインの反応速度の間 ($F(1,16) = 37.59, P \approx 0.00001$) と, 「を」格特定水準とベースラインの反応速度の間 ($F(1,16) = 25.58, P \approx 0.0001$) には統計上有意な差が見られたが, 「が」格特定水準と「を」格特定水準の反応速度の間 ($F(1,16) = 0.009, P = 0.92$) には統計上の有意な差は観察されなかった (表 1)。

表 1

行動データ

水準	正答率 (%)	反応速度 (msec)	ベースラインと比較した反応速度の F 値
ベースライン	100	1321	
「が」格特定水準	99.5	1767	$F(1,16) = 37.59, P \approx 0.00001$
「を」格特定水準	98.6	1758	$F(1,16) = 25.58, P \approx 0.0001$

3.2 fMRI 結果

「が」格特定水準からベースラインを引いた場合, 両側にまたがる帯状回と上前頭回 (BA6 野内側面) の賦活が観察された (表 2, 図 2)。また「を」格特定水準からベースラインを引いた場合, 両側にまたがる帯状回と前頭葉

124 事象関連 fMRI を用いた素性照合 (feature checking) 時の脳活動の観察

内側面の賦活が観察された (表 3, 図 3)。観察された前頭葉の賦活は補足運動野と対応していると考えられるようである。上記のアクティヴ・タスクからベースラインを引いた際観察された 2 つの賦活範囲は座標上極めて近く、「が」格特定水準と「を」格特定水準の直接比較では統計上有意味な賦活は観察されなかった。すなわち、主語と動詞の間の選択制限の照合も目的語と動詞の間の選択制限の照合もほぼ同じ部位で行われていることになる。

また、上記の比較において統計上有意味なブローカ野の賦活は観察されなかった。しかしベースラインからレスト時の賦活を引いた際に、ブローカ野の賦活は観察された。これはこういうことである。アクティヴ・タスクでもベースラインでも言語処理はしているので、アクティヴ・タスクからベースラインを引くと、共通して賦活しているブローカ野は相殺されて画像には賦活部位として出てこないのである。一方、レスト時は言語処理は何もせずに凝視点を見ているだけなので、言語処理をしているベースラインからレスト時を引くと、言語に関わる処理 (たとえば、構造保持) をしているとされるブローカ野が賦活しているのが画像に出てくるのである。

表 2

「が」格特定水準からベースラインの賦活を引いた場合¹

領域	Maximum Talairach Coordinates			P 値	Z 値
	x	y	z		
上前頭回	4	16	54	0.000	4.75
帯状回	12	21	27	0.000	3.20
帯状回	10	10	38	0.000	3.14



図 2. 「が」格特定水準からベースラインの賦活を引いた場合

表 3

「を」格特定水準からベースラインの賦活を引いた場合

領域	Maximum Talairach Coordinates			P 値	Z 値
	x	y	z		
帯状回	14	8	49	0.000	4.78
前頭葉内側面	8	10	44	0.000	4.70
帯状回	-10	28	21	0.000	4.43



図 3. 「を」格特定水準からベースラインの賦活を引いた場合

3.3 考察

本実験では、素性照合が起り得る最小単位であるアクティヴ・タスクと、統語処理に関する素性照合が起らないと考えられるベースラインを比較し、「が」格特定水準からベースラインを引いた場合、両側にまたがる帯状

回と上前頭回 (BA6 野内側面) の賦活が観察された。そして「を」格特定水準からベースラインを引いた場合、両側にまたがる帯状回と前頭葉内側面の賦活が観察された。帯状回は脳梁を前方、上方、後方から取り囲み、前方では脳梁膝に沿って後方に方向を変えたのち終板傍回と梁下野に移行する。後方では、脳梁膨大に沿って前下方に転じて側頭葉側に向かうと、鳥距溝によって幅を狭められて帯状回峽を形成したのち海馬傍回へ移行する(小林, 2005)。上前頭回と本実験で観察された前頭葉内側面は前頭葉内の第一前頭回及び第二前頭回の内部に位置し、補足運動野に直接もしくは間接的に関与している領野である(栢森&伊林, 2001)。

これらの領野の賦活は本実験と類似する課題を用いた先行研究でも観察されている。Petersen ら (1988) は被験者に名詞を呈示し、被験者が呈示された名詞に意味的に合致する動詞を生成するという課題遂行時の神経活動を観察した。結果、賦活は帯状回と前頭葉に観察された。Posner & Raichle (1994) も同様に被験者にある名詞を視覚的もしくは聴覚的に呈示し、その名詞のそれぞれについて適切な使い方となる動詞を発声させる課題を遂行し、左前頭葉、左側頭葉、右後頭葉及び帯状回に活動の増強を観察した。また文を用いた Newman ら (2001) の実験では、統語違反を含む文、意味違反を含む文、正答を被験者に呈示し、被験者のエラー探索課題試行時の神経活動を観察した。結果、統語違反を含む文を処理している際には両側の上前頭回や前頭葉内側面の賦活が観察された。それらの賦活は BA6 野と 8 野と一致し、補足運動野に対応した。

さらに最近の神経生理学の見解では、パーキンソン病や運動無視等の様々な症例研究から、帯状回から補足運動野への神経物質の投射経路において無意識的な運動記憶の取り出しがなされているとされている(田辺, 2005)。また補足運動野は運動をイメージするだけでも活動することから、運動のプログラミングに関与すると考えられている(甘利&酒田, 1994)。帯状回も最近の研究からその機能が4分類されることがわかりつつあり、それら機能

の認知領域の中で、本実験で観察された帯状回は運動関連領野と密接な連絡を持ち、運動のモニタリングにも関係するとされている (小林, 2005)。

これらのデータは本実験で観察された結果が述語の素性照合に関わるということを示している。すなわち、素性照合 (つまり、名詞と動詞間の計算) を必要とするアクティブ・タスクが上前頭回もしくは前頭回内側面を含む補足運動野と帯状回の賦活を産んだ反面、素性照合を必要としないベースラインはそれらの領野の賦活を産まなかった。アクティブ・タスクを遂行するためには動詞に関わる情報の引き出しを必要とすると考えられる。上述のデータが示すように補足運動野と帯状回のネットワークは動詞が表示する運動の記憶の取り出しに関わるならば、被験者は取り出された運動記憶を用いて実験課題を遂行したと考えられる。

言語学的には、素性照合 (feature checking) が脳のどの部位で行われているのかを特定するための重要な実験結果が得られたことになる。生成文法の標準理論の枠組みで言うと次のようになる。名詞として「蝶」、選択肢として「が舞う」と「を舞う」が呈示された場合、「舞う」という動詞の選択制限 (selectional restriction) に合わせて、被験者は「が舞う」を選ぶ。また、名詞として「車」、選択肢として「が買う」と「を買う」が呈示された場合は、「車」が結合できるのは「が買う」ではなく、「を買う」である。これは、「車」という名詞が「買う」という動詞の目的語になれるかどうか、つまり、「買う」という動詞の選択制限に合致するかどうかである。原理と変数の理論の枠組みで言えば、動詞の argument structure (θ -grid) と名詞の意味特性 (concrete 対 abstract, animate 対 inanimate, countable 対 uncountable など) の間での素性照合、言い換えると、その名詞が動詞から適切な θ 役割を付与されるかどうかを照合している時の賦活部位を本実験で確認したことになる。

さらに、「が+動詞」と「を+動詞」の直接比較では統計上有意な賦活が見られなかったことと行動データでも「が+動詞」と「を+動詞」の間で有

意な差がみられなかったことは、素性照合に関する限り、主語・動詞の結合と目的語・動詞の結合を区別する必要はないことを示唆するものであり、これも脳の文法処理研究で注目すべき点である。

もう1つ注目すべきデータがある。名詞に合致する「+形容詞」(動詞と同じ述語 (predicate) という範疇に属す) を特定させるという我々の他の実験 (たとえば、「お菓子」と合致するのものとして、「が甘い」か「が広い」のどちらかを選択させる) でも、本実験で観察された領野を含む賦活が観察された (表4)。しかし、それらの賦活は本研究のアクティブ・タスクと比較された場合には観察されなかった。このことから、本実験で観察された領野が主語名詞/目的語名詞と動詞 (もしくは述語 (predicate)) の間の素性照合に関わっているという見解が支持される。

表4

補足運動野と帯状回のネットワークに限定した形容詞素性照合とベースライン時の比較

領野	Maximum Talairach Coordinates			P 値	Z 値
	x	y	z		
前頭葉内側面	14	8	49	0.001	4.15
前頭葉内側面	8	10	44	0.001	3.92
帯状回	-10	28	21	0.001	3.90

また興味深いことに、一般的に統語処理に関係するとされるブローカ野は、本実験ではベースラインの時点で賦活していたことがわかった。このためにブローカ野の賦活は、アクティブ・タスクとベースラインの比較では相殺され、観察されなかったと考えられる。しかし、統語処理に関わる課題遂行時にブローカ野の賦活が観察されないというケースは現在では珍しいものではない。Fiebach et al. (2005) は被験者に文法的修飾関係が長い刺激と短い

刺激を計算させ、その際の大脳の賦活を観察した。結果、文法的修飾関係が長い刺激が短い刺激と比較された際に、左脳下前頭回と左上側頭回の賦活が観察された。このことから Fiebach et al. (2005) はブローカ野は統語に関する作業記憶を操作する際に顕著な役割を果たすと結論付けている。また、当研究グループが fMRI を用いて行ったエラー探索課題でも、統語違反から語彙違反を引いた場合、ブローカ野の賦活は観察されなかった (丸山ら, 2005)。本実験のベースラインでは、被験者が刺激を処理するために音韻情報を処理する必要があるが、アクティブ・タスクからベースラインを引いた際にブローカ野が賦活を見せないということから、古典的な「ブローカ野=統語」という図式は再検討する必要がある。

4. 結論

本研究は動詞の素性照合を対象として、素性照合を必要とする刺激とそれを必要としない刺激を呈示し、被験者の神経活動を事象関連 fMRI を用いて観察した。その結果、素性照合を必要とする刺激に関わる神経活動からベースラインを引いた際、補足運動野に対応すると考えられる上前頭回もしくは前頭回内側面と帯状回に賦活が観察された。観察された帯状回から補足運動野への神経物質の投射経路において無意識的な運動記憶の取り出しがなされていると近年の神経生理学は考えており、様々な先行研究のデータからも、本研究で観察された領野が述語の素性照合 (feature checking) に関わっていると考えられる²。

注

*本稿は2005年11月に広島大学で開催された日本言語学会第131回大会で口頭発表したものを加筆修正したものである。また、本実験は、実験を実施したATRの研究安全審査及び研究実施計画倫理審査において承認を受けたうえで実施されたものである。

- 1 図2と図3は画像として賦活部位を示したものであるが、正確には最も賦活している部位を座標で示す。この座標は Talairach coordinates と呼ばれ、x 軸、y 軸、z 軸の3次元座標である。ある死亡した人の脳を基にして、ある基準点をもうけ、左右に x 軸、前後に y 軸、上下に z 軸を設定してある。x 座標は、右がプラス、左がマイナスであり、y 座標は、前がプラス、後がマイナスであり、z 座標は、上がプラス、下がマイナスである。
- 2 本論文の査読者から、本実験に対して次のような問題点が指摘された。「が」格特定水準のタスクと「を」格特定水準のタスクは質の異なるタイプのタスクではないか。「が」格特定水準のタスクで使用された動詞は自動詞であり、1項述語である。したがって、被験者は、選択制限の照合だけではなく、「が+動詞」と「を+動詞」のどちらの方が文法的かの判断もしなければならない。一方、「を」格特定水準のタスクで使用された動詞は他動詞であり、2項述語である。したがって、被験者は「が+動詞」か「を+動詞」のどちらが文法的かの判断をする必要がない。つまり、「が」格特定水準のタスクでは選択制限の素性照合以外に厳密下位範疇化の素性照合も行っており、「を」格特定水準では選択制限の素性照合のみを行っていたということである。

指摘された点は、我々も注意を怠っていたのであるが、結果としては問題はなからうという判断である。第1の理由は、「が」格特定水準のタスクでも少数ながら他動詞を使用していたことである(26刺激中の4刺激)。第2の理由は、「が」格特定水準に含まれる文法性判断が特別な神経活動を産む場合、「が」格特定水準時に見られる賦活は「を」格特定水準で観察される賦活よりも含む領野が大きくなるであろうという予測ができるが、「が」格特定水準時の賦活と「を」格特定水準時の賦活に領野の大きさの差は見られなかったことである。第3の理由は、文法性判断が神経基盤上影響がない(もしくは選択制限の照合時と同一の神経活動を産む)場合、「が」格特定水準と「を」格特定水準の賦活は非常に近いパターンを示すという予測ができるが、実験結果では両者の賦活は極めて近い神経活動を産んだことである。

謝辞

本実験は大学院研究高度化推進特別経費の補助を得て行われたものである。実験に関して助言を下された ATR 脳活動イメージングセンタの正木信夫博士、カラン明子氏、島田育廣氏、藤本一郎氏、赤土裕子氏にお礼を申し上げたい。また本実験や心理実験に参加して下さった被験者の皆様にはここに記して感謝する。また、貴重なコメントをくださった査読者の方にも感謝したい。

参考文献

- 甘利 俊一, 酒田 英夫 (編). (1994). 『脳とニューラルネット』. 東京: 朝倉書店.
- Caramazza, A., Capasso, R., Capitani, E., & Miceli, G. (2005). Patterns of comprehension performance in agrammatic Broca's aphasia: A test of the Trace Deletion Hypothesis. *Brain and Language*, 94, 43-53.
- Embick, D., Maranz, A., Miyashita, Y., O'Neil, W., & Sakai, K. L. (2000). A syntactic specialization for Broca's area. *PNAS*, 97, 6150-6154.
- Fiebach, C. J., Schlesewsky, M., Lohmann, G., von Cramon, D. Y., & Friederici, A. D. (2005). Revisiting the role of Broca's area in sentence processing: Syntactic integration versus syntactic working memory. *Human Brain Mapping*, 24, 79-91.
- Friederici, A. D., Ruschemeyer, S-A., Hahne, A., & Fiebach, C. J. (2003). The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: Localizing syntactic and semantic processing. *Cerebral Cortex*, 13, 170-177.
- 栢森良二, 伊林克彦. (2001). 『言語障害と画像診断』. 東京: 西村書店.
- 小林 靖. (2005). 霊長類における帯状回の機能解剖学. *Clinical Neuroscience*, 23, 1226-1230
- 丸山 啓, 祐伯敦史, 中井 悟. (2005). Does Broca's area only subservise syntactic processing? 2005 年度日本認知科学会ポスター発表.
- Mummary, C. J., Patterson, R., Wise, R. J. S., Vandenbergh, R., Price, C. J., & Hodges, J. R. (1999). Disrupted temporal lobe connections in semantic dementia. *Brain*, 122, 61-73.
- Newman, J. A., Pancheva, R., Ozawa, K., Neville, H. J., & Ullman, M. T. (2001). An event-related fMRI study of syntactic and semantic violation, *Journal of Psycholinguistic Research*, 30, 339-364.
- Petersen, S. E., Fox, P. T., Posner, M. I., Mintin, M., & Raiche, M. E. (1988). Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single word processing. *Nature*, 331, 385-389.
- Posner M. I., & Raichle, M. E. (1994). *Images of mind*. New York: WH Freeman and Company.
- Sakai, K. L., Hashimoto, R. & Homae, F. (2001). Sentence processing in the cerebral cortex. *Neuroscience Report*, 39, 1-10.
- 田辺敬貴. (2005). 言語の脳科学成果報告 (愛媛大学医学部神経精神医学講座). retrieved September 22, 2005 from http://www.iias.or.jp/research/res_gengo/tanabe.html.