



Title	隠喩理解過程の神経基盤 : fMRIによる検討
Author(s)	柴田, みどり; 阿部, 純一; 寺尾, 敦 他
Citation	認知科学, 14(3), 339-354
Issue Date	2007-09
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/28747">https://hdl.handle.net/2115/28747</a>
Type	journal article
File Information	ninchi14-3.pdf



## 隠喩理解過程の神経基盤-fMRIによる検討-

柴田みどり<sup>1</sup> 阿部純一<sup>1</sup> 寺尾敦<sup>1</sup> 宮本環<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院文学研究科 <sup>2</sup>北海道大学大学院医学研究科

### Abstract

In this study, we investigated the neural substrate involved in the comprehension of novel metaphoric sentences using event-related functional magnetic resonance imaging (fMRI). Stimuli were simple and short Japanese copula sentences of the form "An A is a B" without any contextual information. Participants read these sentences silently and responded as to whether or not they could understand the sentence as a metaphor. The metaphoric sentences in contrast to literal sentences elicited the higher activation in the right inferior frontal gyrus (BA 47), the medial frontal gyrus (BA 10), the left inferior frontal gyrus (BA 45), the left precentral, and the left superior temporal gyrus (BA 38). The opposite contrast (literal sentences in contrast to metaphoric sentences) gave higher activation in the left middle frontal gyrus (BA 6), the left fusiform, the insula, the precuneus, the right superior frontal gyrus (BA 6), and the right precentral (BA 4/6). The higher activation in the right inferior frontal gyrus (BA 47) in metaphoric sentences in contrast to literal sentences revealed the involvement in the right hemisphere in metaphor comprehension. These results suggest that figurative statements strongly require cognitive processing for searching semantic relationships compared to literal statements and the right hemisphere is involved in this processing.

### 和文アブストラクト

本研究は、隠喩文、字義文、アノマラス文を対象とし、隠喩文の理解に関与する神経基盤についてfMRIを用いて比較検討した。“AはBだ”の形式の名詞述語文を用い、文が「比喩として理解できるか」どうかについて判断を求めた。字義文条件に対する、隠喩文条件における差分比較を行ったところ、右の下前頭回、内側前頭回、左の下前頭回、左の中心前回から上側頭回などで字義文条件に比べて有意に高い賦活が示された。隠喩文条件に対する字義文条件での差分比較では、左の中前頭回、紡錘状回、島、楔前部、および右の上前頭回から中心前回などで有意に高い賦活が見られた。特に、隠喩文条件において、右の下前頭回(BA47)で高い賦活が見られたことは、隠喩的な理解が字義的な理解とは異なり、一部右半球の関与によって支えられている可能性があることを示唆していると言える。

### [連絡先]

柴田みどり

北海道大学大学院文学研究科 心理システム科学講座

〒060-0810 札幌市北区北10条西7丁目

TEL & FAX: 011-706-4804

E-mail: shibata@psych.let.hokudai.ac.jp

隠喩理解過程の神経基盤-fMRIによる検討-  
**Neural bases associated with metaphor comprehension**  
**-An fMRI study-**

**Abstract**

In this study, we investigated the neural substrate involved in the comprehension of novel metaphoric sentences using event-related functional magnetic resonance imaging (fMRI). Stimuli were simple and short Japanese copula sentences of the form "An A is a B" without any contextual information. Participants read these sentences silently and responded as to whether or not they could understand the sentence as a metaphor. The metaphoric sentences in contrast to literal sentences elicited the higher activation in the right inferior frontal gyrus (BA 47), the medial frontal gyrus (BA 10), the left inferior frontal gyrus (BA 45), the left precentral, and the left superior temporal gyrus (BA 38). The opposite contrast (literal sentences in contrast to metaphoric sentences) gave higher activation in the left middle frontal gyrus (BA 6), the left fusiform, the insula, the precuneus, the right superior frontal gyrus (BA 6), and the right precentral (BA 4/6). The higher activation in the right inferior frontal gyrus (BA 47) in metaphoric sentences in contrast to literal sentences revealed the involvement in the right hemisphere in metaphor comprehension. These results suggest that figurative statements strongly require cognitive processing for searching semantic relationships compared to literal statements and the right hemisphere is involved in this processing.

**Keywords:** metaphor (隠喩), literal sentence (字義文), figurative statement (修辞表現), inferior frontal gyrus (下前頭回), right hemisphere (右半球), functional MRI (機能的磁気共鳴画像法)

## 1. はじめに

隠喩表現は日常の会話などにも遍在する言語表現であるが、それが我々の脳内でどのように処理されているのかについては、ほとんど解っていない。この字義的には偽である言明の理解過程については、今まで認知科学や認知心理学の分野において、行動指標を用いた数多くの実験がなされており、様々なモデルが提案されてきた。この中には、隠喩理解に関する内的過程を、字義的な理解過程と比較検討した多くのモデルも含まれる。例えば、すべての発話はまず字義的に解釈され、それが叶わなかった場合（字義的な解釈が達成できなかった場合）に、言外の意を求めてさらなる解釈を試みるというモデルや(Grice, 1975; Searle, 1979)、隠喩的な解釈はカテゴリカルな言明として直接的に達成され、字義的な解釈と本質的に同じ過程を経て得られるというモデルが提案されている(Gildea & Glucksberg, 1983; Glucksberg, 2003; Glucksberg & Keysar, 1990; Glucksberg, Gildea, & Bookin, 1982)。近年、これらのモデルを踏まえた実験研究によって、隠喩理解過程の特徴については徐々に明らかになってきているが、実際にその過程が、我々の脳内で、どのような神経基盤によって支えられているのかについては、まだ研究が始まったばかりである。本研究では fMRI を用いて、隠喩的に理解される文が、字義的に理解される文と比較して、脳内のどの領域で処理されているかを検討する。また、ここ数年間に行われた隠喩理解に関するニューロイメージング研究（以下、イメージング研究とする）の結果を踏まえ、隠喩理解に関与する神経基盤の一端を明らかにすることを試みる。

### 1.1. 脳障害患者を対象とした先行研究

隠喩的な理解に関わる神経基盤についての研究は、様々なタイプの障害例を対象とした研究から始まったと言える。これらの研究は、他の言語能力は障害されていないが、隠喩理解のような非字義的な言語理解に障害を示す患者を対象と

したもので、脳損傷患者 (Giora, Zaidel, Soroker, Batori, & Kasher, 2000; Winner & Gardner, 1977; Zaidel, Kasher, Soroker, & Batori, 2002), 統合失調症 (De Bonnis, Epelbaum, Deffez, & Feline, 1997; Kircher, Leube, Erb, Grodd, & Rapp, 2007), 高機能自閉症 (Dennis, Lazenby, & Lockyer, 2001), Alzheimer 病 (Papagno, 2001) などの症例を含む。この中でも、Winner and Gardner (1977) の研究を皮切りに、脳損傷患者を対象とした研究が数多く行われてきた。Winner and Gardner (1977) では、脳損傷患者に隠喩表現を口頭で呈示し、その意味にあう絵を選ばせる実験を行った。その結果、右半球損傷患者は、統制群や、左半球損傷の失語症患者に比べ、隠喩文の字義的意味を示す絵を多く選んだ。この結果と、後に紹介する Bottini et al. (1994) の PET による研究で、隠喩理解における右半球の関与が示されたことにより、隠喩文の理解に右半球が選択的に関わっているとする“右半球仮説 (RH hypothesis)”が広く浸透した。しかしながら、Winner and Gardner (1977) は上述の絵を選択する課題の他に、隠喩文の意味を言語的に説明する課題を用いた実験も行っている。この実験では、右半球損傷患者は隠喩文の意味を正しく説明することができており、この結果は、必ずしも“右半球仮説”を支持するものではない。Winner and Gardner (1977) の結果を受けて、Zaidel et al. (2002) では、右半球損傷患者と左半球損傷患者を対象に、Right Hemisphere Communication Battery と呼ばれる言語テストを課し、隠喩理解における右半球の関与についてさらに詳しく検討した。このテストは、ユーモアや非字義的な意味を持つ発話の理解度を計るために開発されたもので、11 種類の subtest から構成されるものであった。結果は、全体成績で右半球損傷患者と左半球損傷患者の間に有意な差が見られず、彼らはこの結果から、隠喩文の理解に右半球が選択的に関わっているとは言えないと結論づけている。この問題については、Rinaldi, Marangolo, and Baldassarri (2004) においても、50 名の右半球損傷患者と 38 名の統制群を対象に調べられ

ている。その結果、右半球損傷患者は隠喩表現の意味にあう絵を選ばせる課題において、字義的な意味を示す絵を多く選ぶ傾向にあったものの、隠喩文の意味を言語的に説明する課題は十分に遂行できることが報告されている。すなわち、以上の結果からは、右半球損傷患者は課題によっては隠喩表現を理解することができ、隠喩理解に右半球が何らかの役割を担っている可能性があるものの、選択的な関与を裏付けるには至っていないとすることができる。

統合失調症患者(De Bonnis et al., 1997; Kircher et al., 2007)や高機能自閉症患者(Dennis et al., 2001)においても、脳損傷患者と同様に、発話の字義的な理解は可能であるが、非字義的な理解はできないという症例が提出されている。Dennis et al. (2001)は、自閉症患者が修辭的な意味の理解に困難を示すことを報告している。彼らは、8名の高機能自閉症児/アスペルガー症候群児と、同年齢の統制群を対象に、コミュニケーションで必要な pragmatic な推論ができるかどうかを調べた。単語の意味やあいまい語の意味を定義する課題では両群の間に有意な差が見られなかったが、隠喩理解や、文脈から動詞の意味を推論したり、社会的なスクリプトについて推論したりする課題においては、高機能自閉症児/アスペルガー症候群児の成績が有意に低かった。この結果から、彼らは、高機能自閉症児/アスペルガー症候群児が、話者の意図を測ったり、意味を吟味したりするような、ある種の pragmatic な推論に障害を示すと主張した。Kircher et al. (2007)は、12名の統合失調症患者と12名の統制群を対象に、隠喩文と字義文の理解について fMRI を用いた実験を行った。その結果、隠喩文の処理において、統制群では左外側下前頭回(Brodmann's area, BA 45/47)に強い賦活をもたらしたが、統合失調症患者では左外側下前頭回に賦活が見られたものの、賦活部位に統制群と比較して、やや背側方向へのずれが見られた。Kircher et al. (2007)によれば、統合失調症患者で前頭葉外側に構造上および機能上の変化があることが数多く報告されており、これが隠喩文での賦活の位置のずれに影響

を与えているのではないかと解釈している。

以上に示した脳機能障害患者を対象とした先行研究の結果をまとめると、まず、隠喩理解に右半球が何らかの役割を担っている可能性があるものの、選択的に関与しているとまでは言えないことが分かる。また、障害と関連している心理機能と神経基盤の解明が進むにつれて、右半球にせよ左半球にせよ、一貫した知見とは言えないまでも隠喩理解に関与する領域についてより詳細な知見が蓄積されつつあるということが分かる。

### 1.2. 機能的イメージングを用いた先行研究

以上の症例研究に加え、最近では、健常者を対象にしたイメージング研究の結果が多く提出されてきている(Ahrens et al., 2007; Bottini et al., 1994; Eviatar & Just, 2006; Lee & Dapretto, 2006; Marshal, Faust, & Hendler, 2005, Marshal, Faust, Hendler, & Jung-Beeman, 2007; Rapp, Leube, Erb, Grodd, & Kircher, 2004, 2007; Stringaris et al., 2006; Stringaris, Medford, Giampietro, Brammer, & David, 2007)。これらのイメージング研究の中では、まず Bottini et al. (1994) と Rapp et al. (2004) の研究があげられるべきであろう。Bottini et al. (1994) では、右半球が隠喩のような修辭理解に特別の役割を持っているかどうかを、6人の健康な参加者を対象に、PET を用いて調べている。この実験で参加者は、隠喩的か字義的な意味を持つ文を読み、それらが妥当であるかどうかの判断を行った。字義的な文に対しては、左半球の前頭皮質と中および下側頭回、側頭極、頭頂葉、楔前部に賦活が見られたのに対し、隠喩的な文に対しては、これらの領域に加えて、右半球の前頭皮質、中側頭回、楔前部、および帯状回後部に賦活が見られた。これらの結果から、彼らは、左半球における文の処理に加えて、隠喩的意味の処理には右半球の様々な認知機能が関与しているとし、これが隠喩理解の“右半球仮説”の大きな根拠となった。この研究を受けて、Rapp et

al. (2004)は、字義文と隠喩文を刺激材料として用い、読み手に文が肯定的な含意を持つか否定的な含意を持つかについて判断させ、fMRIにより脳の賦活部位を調べる実験を行った。その結果、Bottini et al. (1994)の結果とは異なり、隠喩文の処理において、左の下前頭回(BA 45/47)、下側頭回(BA 20)、中・下側頭回(BA 37)の後方にそれぞれ強い賦活が観察された。この結果から、彼らは、左の下前頭回における賦活が、隠喩理解における意味的推論処理を反映しているとした。このように、これらの2つの実験は、同じく隠喩理解に関与する脳賦活部位を調べようとしているにもかかわらず、異なった結果を示している。この違いについて、最近のいくつかの研究は、言語処理課題がより複雑になるにつれて、右半球の関与を示すことから、Bottini et al. (1994)の結果が、隠喩処理だけを反映しているものではないという見解を示している(Eviater & Just, 2006; Kaan & Swaab, 2002; Stringaris et al., 2007)。

Bottini et al. (1994) と Rapp et al. (2004)の先駆的なイメージング研究に続き、ここ数年、隠喩理解に関する多くのイメージング研究がなされており、新たな知見が蓄積されつつある。例えば、隠喩的な単語の意味の処理に関わる神経基盤を調べている研究や(Mashal et al., 2005; Mashal et al., 2007; Lee & Dapretto, 2006) 隠喩的な文の理解に関わる神経基盤を調べている研究がある(Ahrens et al., 2007; Eviater & Just, 2006; Rapp et al., 2007; Stringaris et al., 2007)。後者の研究の一つである Ahrens et al. (2007) では、慣用的な隠喩文、新奇な隠喩文(anomalous metaphors)、字義的な文を対象とし、文を読んでいる時の賦活を比較した。その結果、慣用的な隠喩文は、字義文とほとんど同様の賦活を示したが、新奇な隠喩文は、両側の前頭および側頭領域に、字義文と比べて有意に大きな賦活を示した。Stringaris et al. (2007) は 隠喩文、字義文、意味をなさない文を呈示し、読み手に文の意味判断課題を求めた。結果は、隠喩文および意味をなさない文は、字義文に比べ、左の下前頭回 (LIFC:BA 47) 中心

前回および下頭頂小葉などに大きな賦活を引き起こした。Eviatar and Just (2006)では、アイロニカルな文、慣用的な隠喩文、および字義文を対象とし、読み手に意味理解判断を求めた。その結果、慣用的な隠喩文は、字義文と同様に、左の下前頭回と両側の下側頭回に賦活を示した。

以上のイメージング研究の結果を比較検討してみると、それぞれの実験での隠喩文に対する賦活部位には微妙な違いがあることが分かる。そして、その違いは、それぞれの実験で呈示された言語刺激材料の違いと、要求された課題の違いによってもたらされたものであることが推定されてくる。課題の違いが結果に何らかの影響を及ぼしているであろうことは、前述した Bottini et al. (1994) と Rapp et al. (2004)の実験結果をはじめ、いくつかの実験結果から推測することができる。例えば、先に紹介した Ahrens et al.(2007)では、慣用的な隠喩文、新奇な隠喩文 (anomalous metaphors), 字義的な文を呈示し、参加者に MRI スキャナーの中で文を読んでもらい、ただ単に、読み終わったらボタンを押すという課題を課しているのに対して、Stringaris et al. (2007) では、各文が意味をなすかどうかの意味判断を求めている。また、Rapp et al. (2004)では、文が肯定的な含意を持つか否定的な含意を持つかについて判断を求めている。つまり、このような課題の違いが、それらの実験の結果の違いをもたらしたのである、ということである。しかしながら、それぞれの課題の違いが脳の賦活部位にどの程度、どのような影響を与えているのかを見極めるためには、その前に、それぞれの課題で用いられている言語刺激材料の間に何らかの同一性あるいは均一性のあることが確認されなければならない。この点で、上記の諸実験の結果からだけでは、その見極めをなすことは難しいと言わざるを得ない。唯一、この問題について意味ある検討をなし得る研究としては、Rapp et al. (2007)をあげることができる。この研究では、同じ文材料を刺激として用いて、文の意味が比喩的か字義的かを判断する比喩性判断課題 (metaphoricity judgments)と、文が肯定的な含意を持つか否定的な含意を持

つかを判断させる意味判断課題 (connotation judgments) をともに参加者に求め、それぞれの課題による脳の賦活部位を比較している。結果は、2つの課題ともに、Rapp et al. (2004)の結果と同様、左半球に大きな賦活が見られたが、比喩性判断課題で、(統計的に有意な差は見られなかったものの)字義文よりも隠喩文において、右半球により高い賦活が見られる、というものであった。残念ながら、この結果自体は、脳の賦活部位に対する課題の影響に関して、何らかの強い示唆を与えてくれるものではなかったが、Rapp et al. (2007)は、この結果を、比喩性それ自体よりも他の要因が右半球の賦活を引き起こしている可能性を示唆するものとして解釈している。

ここまで紹介してきたイメージング研究の結果について総括してみよう。第一には、隠喩理解処理に右半球が関与しているかどうかについてである。Bottini et al. (1994)では、隠喩文の処理に右半球の関与を示しているものの、その他の研究では、概ね、字義文に対する隠喩文の処理において、主に左半球でより大きな賦活を示されている。特に、この左半球でのより大きな賦活は、文の意味判断課題において顕著に示されている(Eviater & Just, 2006; Kircher et al., 2007; Rapp et al., 2004, 2007; Stringaris et al., 2007)。しかしながら、別な処理課題の場合には、右半球の賦活も大きくなるという結果(Rapp et al., 2007)や、課題の難易度がより高くなると、右半球の賦活も大きくなるという結果(Bottini et al., 1994; Xu, Kemeny, Park, Frattali, & Braun, 2005)も提出されている。以上から、隠喩理解処理への右半球の関与については、未だ統一的な見解が得られていないと言わざるを得ない状況にあることが分かるであろう。

第二には、総じて、慣用比喩文、新奇比喩文などの刺激材料の違いによって異なった賦活パターンが示されているが、それとともに、課題の性質や難易度の違いによっても異なった賦活パターンが示されている(Giora, 2007; Rapp et al., 2004, 2007; Stringaris et al., 2006, 2007)ということである。このことは、参加者に

要求される課題によって、すなわち、隠喩文にせよ字義文にせよ、呈示される文に対して要求される処理の性質や水準の違いによって、脳の賦活部位や賦活の時間的推移が変化すること意味している。以上からすると、隠喩理解に関する今後のイメージング研究においては、個々の実験で用いる言語刺激材料と、そこで要求する反応課題との両方の要因の吟味を十分に行った上で、考察を進める必要があることが分かると言える。

### 1.3. 本実験の目的

上記のまとめで述べた二つの問題を検討することが、本実験の目的である。すなわち、第一は、隠喩理解において、右半球の関与が本当にあるのかどうかという問題であり、第二は、隠喩文、字義文といった刺激材料の違いとともに、課題の違いによって、脳の賦活部位や賦活の時間的推移がどの程度どのような影響を受けるのかという問題である。Shibata, Abe, Terao, and Miyamoto (in press)では、字義通りに理解される文、隠喩として理解される文、意味の理解できない文の3つの条件の文を呈示し、「文の意味が理解できるかどうか」を参加者に判断を求めることにより、隠喩としての理解が字義的な理解と異なる賦活を示すかどうかを検討した。その結果、隠喩として理解される文は、字義的に理解される文に比べ、左の下前頭回(BA 45)と内側前頭回(BA9/10)に大きな賦活を引き起こした。左の下前頭回(BA 45)の賦活は、参加者に意味的推論を求めた Rapp et al.(2004)の実験や、意味的判断を求めた Stringaris et al. (2007)の実験の結果と類似していると言える。さらに、この左の下前頭回(BA 45)については、意味関係や世界知識に逸脱がみられる文の理解に対して賦活が見られるという結果も提出されており(Hagoort, Hald, Bastiaansen, & Petersson, 2004)、この部位に賦活が見られたことは、字義文条件に比べ、隠喩文条件でより活発で広範な意味処理が行われたことを反映していると解釈できる。また、内側前頭回(BA 9/10)

では、隠喩文条件においてのみ特異に賦活が見られた。この、内側前頭回は、言語理解において、話者の意図を推定するといった pragmatic な処理や、文と文との意味関係が論理的に一貫しているかどうかといった判断をするときに賦活することが指摘されており (Ferstl & Von Cramon, 2001, 2002), ここでの賦活もまた、文の隠喩的な解釈、つまりはより広く深い意味関係の推論が行われたことを反映していると考えられる。

本研究では, Shibata et al. (in press)の実験の延長上に, そこで用いた言語刺激材料と同じ材料を用い, 読み手に文が「比喩として理解できるかどうか」について判断を求める。「比喩として理解できるかどうか」の判断は, 単なる「文の意味が理解できるかどうか」の判断よりも, 読み手により直接的に比喩としての解釈を意識させることができる。すなわち, 読み手の処理を, より選択的に隠喩理解を志向したものに追い込むことができると考えられる。課題のみが異なる, Shibata et al. (in press)の結果と, 本実験の結果とを併せて検討することによって, 隠喩理解に関与する脳の賦活部位や賦活の時間的推移についての考察をより進展させようというのが本研究のねらいである。

## 2. 実験

### 2.1. 方法

#### 2.1.1. 参加者

北海道大学に在籍する健康な大学生および大学院生 12 名が実験に参加した(男性 8 名, 女性 4 名, 平均年齢 23.7 才)。実験に先立ち, 北海道大学医学研究科倫理委員会によって作成されたプロトコールに従い, 参加者に研究の目的と内容を書面により説明し, 文書による同意を得た。また, Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) により利き手を調べた。参加者の利き手は全員右利きであった。

### 2.1.2. 材料

“AはBだ”の形式の名詞述語文のうち、字義通りに理解される文(以下、字義文)、隠喩として理解される文(以下、隠喩文)、意味の理解できない文、(以下、アノマラス文)を各21文ずつ用いた。隠喩文としては、中本・楠見(2004)および柴田・阿部(2005)の実験で隠喩的に解釈される文として用いられていたものの中から計100文を抽出し、その各文に対して、本実験の参加者とは異なる20名の参加者に「比喩として理解できるかどうか(比喩としての理解可能性)」を9段階で評定してもらった。その中から比喩としての理解可能性の評定値の高かった上位21文を選び、隠喩文として用いた。隠喩文に対する比喩としての理解可能性の平均評定値は7.04 (SD = 1.17)であった。字義文およびアノマラス文については、単語の親密度および各単語の長さの均一性考慮に入れて、独自に21文ずつを作成した。これらの各文に対して、「意味が理解できるかどうか」という理解可能性を9段階で評定してもらった。各文に対する理解可能性の平均評定値は字義文で8.95 (SD = 1.60)、アノマラス文で1.22 (SD = 1.17)であった。各文に用いられた単語の親密度は天野・近藤(2000)に準拠した。親密度の平均は、字義文が6.11、隠喩文が6.06、アノマラス文が6.27であった。1要因の分散分析の結果、各文に用いられた単語の親密度に、文タイプの間での有意差は見られなかった( $F(2, 125) = 2.52, p = .084$ )。各単語の平均語長は字義文が2.17、隠喩文が2.05、アノマラス文が2.17であった。1要因の分散分析の結果、各文に用いられた単語の語長に有意差は見られなかった( $F(2, 125) = 0.32, p = .725$ )。

### 2.1.3. 手続き

参加者はMRI装置内に横たわり、頭部を固定された状態で眼上に設置されたミラーを通し、プロジェクター上に呈示された刺激文を見た。1セッションは、3種

類の刺激文を各 7 文ずつ計 21 文によって構成されており、全部で 3 セッションが行われた。各文は 3 s 間呈示され、参加者は「A は B だ」の形式の文が「比喩として理解できるかどうか」をできるだけ速く正確に判断するように求められた。刺激が呈示されてから判断までの時間と、yes/no 判断が測定された。文が消えると 17 s 間「+」の凝視点が呈示された。

#### 2.1.4. fMRI data の撮像と解析

撮像には 1.5T の MRI (GE) 装置を用い、各参加者の構造画像 (FSE, T1 強調画像) と課題遂行時の機能画像 (GRE-EPI, 20 axial slices, TR = 2800ms, TE = 40ms, Flip angle = 90°, FOV = 240x240mm, Matrix = 64 x 64, slice thickness = 4mm, slice gap = 0.8mm, 150 volumes / session) を撮像した。データ解析には SPM2 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK: <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>) (Friston et al., 1995a, 1995b) を用いた。

統計処理は、各参加者内で事象関連型の統計解析を行った後に、random effect model を用いてグループ解析を行った ( $p < 0.001$  uncorrected, clusters of 10 or more contiguous voxels)。さらに、賦活部位のより詳細な時間的推移を調べるために、Marsbar (<http://marsbar.sourceforge.net/>) を用い、time-course 分析を行った。すべての座標は MNI (Montreal Neurological Institute) 座標から Talairach 座標に変換した (Talairach & Tournoux, 1988)。

## 2.2. 結果

### 2.2.1. 行動データの分析

各文の比喩としての理解判断までの平均反応時間は、字義文が 1617.7 ms (SD 173.22), 隠喩文が 1714.9 ms (SD 174.89), アノマラス文が 1707.1 ms (SD

103.26)であった。1要因の分散分析の結果、3つの文の条件間に有意な差は見られなかった( $F(2, 62) = 2.785, p = .069$ )。実験課題は「比喩として理解できるかどうか」の判断を求めているので、隠喩文に対してのみ yes と反応し、他のタイプの文に対して no と反応することが標準として想定された。各タイプの文に対して、想定される反応がなされた割合はかなり高かった。すなわち、隠喩文を yes と回答した割合は 95.6%、字義文を no と回答した割合は 100%、アノマラス文を no と回答した割合は 89.7%であった。また、各条件で提示した文の間についても、特定の文に対し、想定と異なった反応が集中したものは見られなかった。

### 2.2.2. イメージングデータの分析

3つの文タイプそれぞれについて、ベースラインと比較して有意に高い賦活が認められた領域をTable 1 およびFigure 1 に示す<sup>1)</sup>。字義文条件では、左の上前頭回(BA8)、両側の中前頭回(BA6/9)と下前頭回(BA45/46/47)、両側の頭頂間溝領域(BA7/40)と上側頭回(BA22)などに賦活が見られた。隠喩文条件では、右の内側前頭回(BA6)、両側の中前頭回(BA9)と下前頭回(BA44/45/46/47)、左の頭頂間溝領域(BA7/40)、両側の上側頭回(BA22)と紡錘状回(BA20/37)などに賦活が見られた。アノマラス文条件では、右の上前頭回(BA10)、左の内側前頭回(BA9)、両側の中前頭回(BA6/9/46)と下前頭回(BA9/45/47)、両側の頭頂間溝領域(BA7/40)と上側頭回(BA22/38)、および紡錘状回(BA37)などで賦活が見られた。全条件とも、左の前頭および側頭領域に強い賦活が見られたが、同様に右の相同部位にも賦活が見られた。

各条件間における賦活の違いを検討するために、条件間の差分比較を行った(Table 2)。字義文条件に対して、隠喩文条件では、左の中心前回から内側前頭回、下前頭回、上側頭回、および右の下前頭回で、字義文条件に比べて高い賦活が示された(Table 2, Figure 2,3)。隠喩文条件と比較して、字義文条件で

は、左の中前頭回，紡錘状回，島，および右の中心前回から上前頭回，楔前部で高い賦活が見られた。

.....

Table 1

.....

.....

Figure 1

.....

隠喩理解における，各賦活部位の MR 信号の，より詳細な時間的推移を見るために，字義文条件と比較して隠喩文条件で高い賦活が見られた3つの領域 (BA 47 (42, 28, -20),  $t = 7.80$ ; BA 45 (-48, 25, 2),  $t = 5.01$ ; BA 10 (0, 60, -3),  $t = 5.85$ )での MR 信号の信号変化(percent signal change)について，Marsbar を用いて，time-course 分析を行った．時間軸に沿っての，3条件の信号変化を Figure 2 に示す．右の下前頭回(BA47)では，隠喩文条件とアノマラス文条件において信号の上昇が見られたが，字義文条件では大きな変化は見られなかった．また，左の下前頭回(BA45)では，アノマラス文，字義文条件に比べ，隠喩文条件で最も大きな信号変化の上昇が見られた．内側の前頭回(BA 10)では隠喩文条件においてのみ信号変化の上昇が見られた．

.....

Table 2

.....

.....

Figure 2

.....

.....

Figure 3

.....

### 2.3. 考察

本実験では隠喩文，アノマラス文，字義文について，文が「比喩として理解できるかどうか」について判断を求めた．反応時間については，結果で示したとおり，3つの文の条件間に有意な差が見られなかった．さらに，文の「意味が理解できるかどうか」を判断させた Shibata et al. (in press)の結果（字義文：1326.8 ms，隠喩文：1771.4 ms，アノマラス文：1503.8 ms）と比べると，本実験では字義文，アノマラス文は判断までにより多くの時間を要しており，本実験での課題が，読み手に意味処理や判断処理といった，より多くの処理を求めていることが推測される．

イメージングデータの分析では，隠喩文，アノマラス文，字義文の3条件ともに，左の前頭回から側頭回にかけての，いわゆる言語領域に賦活が見られ，同時に右の相同部位にも賦活が見られた．両側の前頭回から側頭回にかけてのこうした賦活は，文の意味処理に，左半球の言語領域とともに，右半球の相同部位も関与していることを示唆している．

各文の条件ごとの賦活部位を見ると(Table 1)，字義文条件では，左の上前頭回(BA8)，両側の中前頭回(BA6/9)と下前頭回(BA45/46/47)，両側の頭頂間溝領域(BA7/40)と上側頭回(BA22)などに賦活が見られており，下前頭回から運動前野にかけてと，側頭回の(主に左側)統語処理および意味処理に関与するとされている領域(Friederici, Wang, Herrmann, Maess, & Oertel, 2000; Friederici, Ruschemeyer, Hahne, & Fiebach, 2003; Kaan & Swaab, 2002;

Sakai, 2005)に強い賦活が見られた。隠喩文条件では、右の内側前頭回(BA6), 両側の中前頭回(BA9)と下前頭回(BA44/45/46/47), 左の頭頂間溝領域(BA7/40), 両側の上側頭回(BA22)と紡錘状回(BA20/37)などに、アノマラス文条件では、右の上前頭回(BA10), 左の内側前頭回(BA9), 両側の中前頭回(BA6/9/46)と下前頭回(BA9/45/47), 両側の頭頂間溝領域(BA7/40)と上側頭回(BA22/38), および紡錘状回(BA37)などに、それぞれ大きな賦活が見られた。また、3条件とも、Shibata et al. (in press)の結果と比較すると、賦活領域がより広範囲にわたっていた。

字義文条件に対する、隠喩文条件の差分比較では、左の中心前回から内側前頭回(BA10), 下前頭回(BA45), 上側頭回(BA38), および右の下前頭回(BA47)で字義文条件に比べて高い賦活が見られた。また、隠喩文条件に対する、字義文条件での差分比較では、左の中前頭回, 紡錘状回, 島, 楔前部, および右の中心前回から上前頭回などで高い賦活が見られた。字義文条件に対して、隠喩文条件で高い賦活が見られた左の内側前頭回(BA10)から下前頭回(BA45)にかけての賦活は、Shibata et al. (in press)においても同様の結果が示されており、この結果は、字義文条件と隠喩文条件で、異なった部位の関与があったことを示唆していると言える。(Figure 3)。

この左の下前頭回(BA 45)では、隠喩文条件で最も高い信号変化を示しており(Figure 2), 字義文よりも高い脳活動が見られたことを示している。この領域での賦活は、参加者に意味的推論を求めた Rapp et al.(2004)の実験や、意味判断を求めた Stringaris et al. (2007)の実験をはじめ、多くの先行研究において、意味関係や世界知識に逸脱がみられる文の理解の時に見られている(Eviater & Just, 2006; Hagoort et al., 2004; Kircher et al.,2007; Rapp et al., 2007)。本実験でのこの領域の賦活は、字義文条件に比べ、隠喩文条件で、より活発な意味的処理がなされていたことを反映していると解釈できる。

内側前頭回(BA10)では、隠喩文条件においてのみ特異に賦活が見られた(Figure 2). 内側前頭回(BA9/10)は、近年、心の理論課題(Mentalizing)や自己についての意識課題(Self-knowledge)によって賦活されることが指摘されており(Amodio & Frith, 2006, Gallagher & Frith, 2003), 言語理解に関しても、話者の意図を推定するといった pragmatic な処理や、文と文との意味関係が一貫しているかどうかの判断や(Ferstl & Von Cramon, 2001, 2002), 帰納的推論(Goel, Gold, Kapur, & Houle, 1997)において賦活が見られるという結果が提出されている. Shibata et al. (in press)の実験と本実験の両方において、隠喩文条件で見られた内側前頭回の賦活は、隠喩的な意味関係を求めたより強い推論処理が実行されていたことを反映していると解釈できる. この賦活部位は隠喩理解に関与する一つの特徴的な部位として注目されるべきであろう.

本実験では、隠喩文条件において、字義文条件と比べて右の下前頭回(BA47)に高い賦活が見られた. この部位は、文の「意味が理解できるかどうか」を判断させた Shibata et al. (in press)の実験では賦活が見られず、文が「比喩として理解できるか」どうかを判断させた本実験で特徴的に生じた賦活部位である. この違いは、両実験間の課題(処理要求)の違いを反映したものであることが考えられる. さらに、タイムコース分析の結果では、この右の下前頭回(BA47)で、隠喩文条件とアノマラス文条件において信号変化の増加が見られたが、字義文条件では大きな変化は見られなかった(Figure 2). では、文が「比喩として理解できるか」どうかの判断において、隠喩文およびアノマラス文と、字義文の間にはどのような処理の違いが生じたと考えられるであろうか. 字義文の場合は、“AはBだ”の文のAとBにあたる各単語に関連する情報や意味特徴を活性化させることによって、既有知識に照らして、整合的な意味表象が容易に構築されると考えられる. 一方、隠喩文やアノマラス文では、単語間の意味的な関係づけはすぐには達成できず、既有知識に照らして整合的な意味表象を築くためには、より多くの負荷がか

かっていたと考えられる。単語間の意味的關係には、反意語關係、類義語關係、カテゴリー・事例關係、随伴關係といった様々な種類の關係があり、過去の単語認知やプライミング効果についての実験結果は、このような意味的關係をもつ単語の間に強い促進効果が見られることを示している(阿部・桃内・金子・李, 1994)。プライミング効果についての実験からは、プライムとして与えられた単語が、それと連想關係にある単語を自動的に活性化し、促進効果をもたらすことが示されている(同上)。本実験で使用した材料(Appendix)を見てみると、隠喩文およびアノマラス文では、字義文の場合と異なり、2つの単語間の意味關係はほとんどすべて、カテゴリー・事例關係としては解釈することができない關係にある。そのために、特別な意味關係、つまりは比喩的な意味關係を求めて、より広く深く推論しなければならなかったと考えられる。本実験では、「比喩として理解できるか」どうかについて判断を求めたため、「文の意味が理解できるか」どうかを求めた Shibata et al. (in press)の実験と比べ、単語間の意味關係をより広く深く意識させた課題であったことが推測される。右の下前頭回については、最近のイメージング研究の結果においても、単語間の比喩性判断をさせたものや(Mashal et al., 2005; Mashal et al., 2007)、文のあとに単語を呈示し、両者が、字義的に関連があるか、比喩的に関連があるかどうかを判断させた実験(Stringaris et al., 2006)などで賦活が示されている。中でも、Stringaris et al.(2006)では、新奇な隠喩文の後に、その文と意味的に関連のない単語を呈示し、単語の意味が隠喩文と関連があるかどうかを判断させた場合と、意味的に関連のある単語を呈示し、判断をさせた場合の両条件において、右の下前頭回に賦活が見られたことを報告している。一方で、字義文の後に意味的に関連のない単語を呈示した場合には、右の下前頭回に賦活が見られなかった。この結果から、Stringaris et al., (2006)では、意味關係をより広い範囲で探すときに、右の下前頭回に賦活が見られるとした。さらに、Shibata et al. (in press)と類似した課題(「AはBだ」の文型をした隠喩文と

字義文を呈示し、意味判断課題を課したもの)を行った Stringaris et al., (2007)では、字義文に対する隠喩文の処理において、主に左の下前頭回でより大きな賦活が示されており、右の下前頭回での賦活が見られていない。彼らによれば、Stringaris et al., (2006)の課題は、意味判断課題よりも、意味関係をより意識的に判断させる課題であったとしている。この右の下前頭回については、単語の広汎な意味関係や、あまり一般的でない使用、選択を要する課題に対して賦活するという報告(Jung-Beeman, 2005; Seger, Desmond, Glover, & Gabrieli, 2000)も提出されている。本実験の結果と、これら先行研究の知見とを合わせて考えてみると、Shibata et al. (in press)の実験と比べ、本実験の課題は、より直接的かつ明示的に比喩としての解釈を求めた課題であり、その分だけより強く単語間の意味関係を意識させたとみなすことができる。このことが、参加者をより広く深い意味探索へと方向付けることになり、その結果、本実験の隠喩文やアノマラス文条件において、右の下前頭回での賦活をもたらした可能性があると考えられる。

### 3. 結論

本実験では、字義文、隠喩文、アノマラス文を対象として、文が「比喩として理解できるかどうか」について判断を求めることにより、隠喩文の理解に関与する神経基盤について検討した。具体的には、第一に、隠喩理解において、右半球の関与が本当にあるのかどうかについて検討した。第二に、隠喩文、字義文といった刺激材料の違いとともに、反応課題の違い、すなわち言語理解に対して要求される処理の違いによって、脳の賦活部位や賦活の時間的推移がどのような影響を受けるのかを検討した。

本実験と Shibata et al. (in press)の実験の結果を併せて考察すると、隠喩文、字義文といった言語刺激材料の違いによって賦活パターンが異なることに加え、「文の意味が理解できるかどうか」や「比喩として理解できるかどうか」といった課題の処理要求の違いによっても賦活パターンが異なることが示唆された。特に、比喩

的な意味解釈を強く求めた本実験の課題の下で、右の下前頭回が特徴的に賦活することが確認された。この結果は、この部位が隠喩的な理解にのみ選択的に関与するとは言えないまでも、隠喩的な理解が、字義的な理解とは異なり、一部右半球の関与によって支えられている、ということを示唆する証拠とはなり得るであろう。

## 文献

- 阿部純一・桃内佳雄・金子康朗・李光五 (1994). 人間の言語情報処理. サイエンス社.
- Ahrens, K., Liu, H.L., Lee, C. Y., Gong, S.P., Fang, S.Y., & Hsu, Y.Y. (2007). Functional MRI of conventional and anomalous metaphors in Mandarin Chinese. *Brain and Language*, 100, 163-171.
- 天野成暁・近藤公久(編著)(1999). NTT データベースシリーズ・日本語の語彙特性 三省堂.
- Amodio, D. M., & Frith, C. D. (2006). Meeting of minds: The medial frontal cortex and social cognition. *Nature Review Neuroscience*, 7, 268-277.
- Bottini, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesu, E., Schenone, P., Scarpa, P., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1994). The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. A Positron Emission Tomography activation study. *Brain*, 117, 1241-1253.
- De Bonnis, M., Epelbaum, C., Deffez, V., & Feline, A. (1997). The comprehension of metaphors in schizophrenia. *Psychopathology*, 30, 149-154.
- Dennis, M. A., Lazenby, L., & Lockyer, L. (2001). Inferential language in high-function children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31, 47-54.
- Eviatar, Z., & Just, M.A. (2006). Brain correlates of discourse processing: An fMRI investigation of irony and conventional metaphor comprehension. *Neuropsychologia*, 44, 2348-2359.
- Ferstl, E. C., & Von Cramon, Y. V. (2001). The role of coherence and cohesion in text comprehension: an event-related fMRI study.

*Cognitive Brain Research*, 11, 325-340.

Ferstl, E.C., & Von Cramon, Y.V. (2002). What does the frontmedian cortex contribute to language processing: Coherence or Theory of Mind?

*NeuroImage*, 17, 1599-1612.

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 processes. *Cerebral Cortex*, 13, 170-177.

Friederici, A. D., Wang, Y., Herrmann, C. S., Maess, B., & Oertel, U. (2000).

Localization of early syntactic processes in frontal and temporal cortical area: A magnetoencephalographic study. *Human Brain Mapping*, 11, 1-11.

Friston, K. J., Holmes, A. P., Poline, J. B., Grasby, P. J., Williams, S.C.,

Frackowiak, R. S., & Turner, R. (1995a). Analysis of fMRI time-series revisited. *NeuroImage*, 2, 45-53.

Friston, K. J., Holmes, A. P., Worsley, K. J., Poline, J. B., Frith, C. D., &

Frackowiak, R. S. J. (1995b). Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach. *Human Brain Mapping*, 2, 189-210.

Gallagher, H. L., & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of "theory of mind". *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 77-83.

Gildea, P., & Glucksberg, S. (1983). On understanding metaphor: The role of context. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 577-590.

Giora, R., Zaidel, E., Soroker, N., Batori, G., & Kasher, A. (2000).

Differential effect of right- and left-hemisphere damage on understanding sarcasm and metaphor, *Metaphor Symbol*, 15, 63-83.

- Giora, R. (2007). Is metaphor special? *Brain and Language*, 100, 111-114.
- Glucksberg, S. (2003). The psycholinguistics of metaphor. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 92-96.
- Glucksberg, S., Gildea, P., & Bookin, H. B. (1982). On understanding nonliteral speech: Can people ignore metaphors? *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 21, 85-98.
- Glucksberg, S., & Keysar, B. (1990). Understanding metaphorical comparisons: Beyond similarity. *Psychological Review*, 97, 3-18.
- Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1997). The seats of reason? An imaging study of deductive and inductive reasoning. *NeuroReport*, 8, 1305-1310.
- Grice, H. P. (1975). Logic and conversation. In P. Cole, & J. Morgan (Eds.), *Syntax and Semantics, Vol. 3: Speech Acts* (pp. 41-58). New York: Academic Press.
- Hagoort, P., Hald, L., Bastiaansen, M., & Petersson, K. M. (2004). Integration of word meaning and world knowledge in language comprehension. *Science*, 304, 438-441.
- Jung-Beeman, M. (2005). Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends in Cognitive Science*, 9, 512-518.
- Kaan, E., & Swaab, T., (2002). The brain circuitry of syntactic comprehension. *Trends in Cognitive Science*, 6, 350-356.
- Kircher, T.T., Leube D.T., Erb, M., Grodd, W., & Rapp, A.M. (2007). Neural correlates of metaphor processing in schizophrenia. *Neuroimage*, 34, 281-289.

- Lee, S. S., & Dapretto, M. (2006). Metaphorical vs. literal word meanings: fMRI evidence against a selective role of the right hemisphere. *NeuroImage*, 29, 536-544.
- Marshal, N., Faust, M., & Hendler, T. (2005). The role of the right hemisphere in processing nonsalient metaphorical meanings: Application of Principal Components Analysis to fMRI data. *Neuropsychologia*, 43, 2084-2100.
- Marshal, N., Faust, M., Hendler, T., & Jung-Beeman, M. (2007). An fMRI investigation of the neural correlates underlying the processing of novel metaphoric expressions. *Brain and Language*, 100, 115-126.
- 中本敬子・楠見孝 (2004). 比喩材料文の心理的特性と分類: 基準表作成の試み. *読書科学*, 48, 1-10.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Papagno, C. (2001). Comprehension of metaphors and idioms in patients with Alzheimer's disease: a longitudinal study. *Brain*, 124, 1450-1460.
- Rapp, A. M., Leube, D. T., Erb, M., Grodd, W., & Kircher, T. J. (2004). Neural correlates of metaphor processing. *Cognitive Brain Research*, 20, 392-402.
- Rapp, A. M., Leube, D. T., Erb, M., Grodd, W., & Kircher, T. J. (2007). Laterality in metaphor processing: Lack of evidence from functional magnetic resonance imaging for the right hemisphere theory. *Brain and Language*. 100, 142-149.

- Rinaldi, M.C., Marangolo, P., & Baldassarri, F. (2004). Metaphor comprehension in right brain-damaged patients with visuo-verbal and verbal material: A dissociation (re)considered. *Cortex*, 40, 479-90.
- Sakai, K. (2005). Language acquisition and brain development. *Science*, 310, 815-819.
- Searle, J. (1979). Metaphor. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought* (pp. 92-123). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Segeer C.A., Desmond J.E., Glover G.H., & Gabrieli J.D. (2000). Functional magnetic resonance imaging evidence for right-hemisphere involvement in processing unusual semantic relationships. *Neuropsychology*, 14, 361-369.
- 柴田みどり・阿部純一 (2005). 名詞述語文の理解過程 北海道心理学研究, 28, 83.
- Shibata, M., Abe, J., Terao, A., & Miyamoto, T. (in press). *Neural mechanisms involved in the comprehension of metaphoric and literal sentences: An fMRI study*. Manuscript submitted for publication. *Brain Research*.
- Stringaris, A. K., Medford, N. C., Giora, R., Giampietro, V., Brammer, M. J., & David, A. S. (2006). How metaphors influence semantic relatedness judgments: The role of the right frontal cortex. *NeuroImage*, 33, 784-793.
- Stringaris, A. K., Medford, N. C., Giampietro, V., Brammer, M. J., & David, A. S. (2007). Deriving meaning: Distinct neural mechanisms for metaphoric, literal, and non-meaningful sentences. *Brain and Language*, 100, 150-162.

- Talairach, J. & Tournoux, P. (1988) *A co-planar stereotaxic atlas of a human brain*. New York:Thieme Publishing Group.
- Winner, E., & Gardner, H. (1977). The comprehension of metaphor in brain-damaged patients. *Brain*, 100, 717-729.
- Xu, J., Kemeny, S., Park, G., Frattali, C., & Braun, A. (2005). Language in context: emergent features of word, sentence, and narrative comprehension. *NeuroImage*, 25, 1002-1015.
- Zaidel, E., Kasher, A., Soroker, N., & Batori, G. (2002). Effects of right and left hemisphere damage on performance of the “Right Hemisphere Communication Battery”. *Brain and Language*, 80, 510-535.

## Appendix

Metaphor	Literal	Anomalous
大地は母親だ	テニスは球技だ	台風はヨーグルトだ
不安は濃霧だ	ミカンは果物だ	家はラーメンだ
議論は戦争だ	カラスは鳥だ	温泉は英語だ
時代は潮流だ	コスモスは草花だ	アヒルは馬だ
情熱は溶岩だ	チーズは乳製品だ	タクシーは生ビールだ
権力は麻薬だ	銅は金属だ	机は水泳だ
激怒は噴火だ	胃は内臓だ	カマキリは栗だ
教育は階段だ	ピアノは楽器だ	恐竜は紅茶だ
笑顔は花だ	トンボは昆虫だ	鍵は芋虫だ
記憶は倉庫だ	サンマは魚だ	カニは梅だ
恋愛は熱病だ	バスは乗り物だ	うなぎは駅だ
困難は壁だ	ワインはお酒だ	糸は温室だ
魅力は磁石だ	昆布は海藻だ	本は結婚だ
真理は迷宮だ	地球は惑星だ	牛乳はパジャマだ
治療は修理だ	イルカは動物だ	時間はイチゴだ
子どもは天使だ	イスは家具だ	城は注射だ
寂しさは木枯らしだ	お皿は食器だ	わかめは小鳥だ
人生は航海だ	稲は植物だ	星はカレーだ
衝撃は電気だ	鉄は鉱物だ	水晶はピザだ
審判は天秤だ	みそは食品だ	はさみは犬だ
研究は登山だ	サクラは木だ	ガムは野球だ

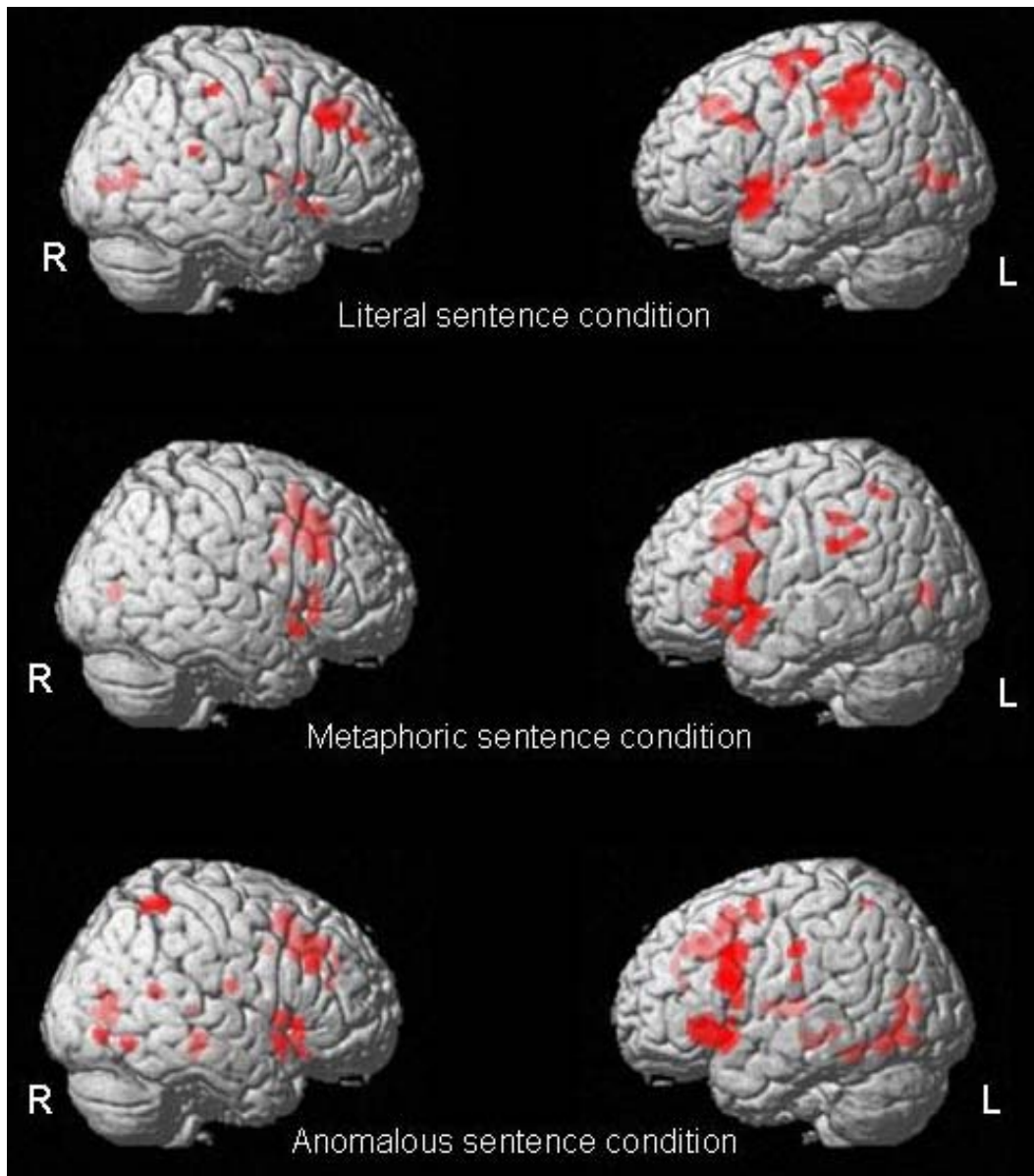


Figure 1. Regions exhibiting significant activation in the literal sentence condition (top row), the metaphoric sentence condition (middle row) and the anomalous sentence condition (bottom row). A random effects analysis was performed and activations are rendered onto a lateral view of a standard brain ( $p < 0.001$ , uncorrected).

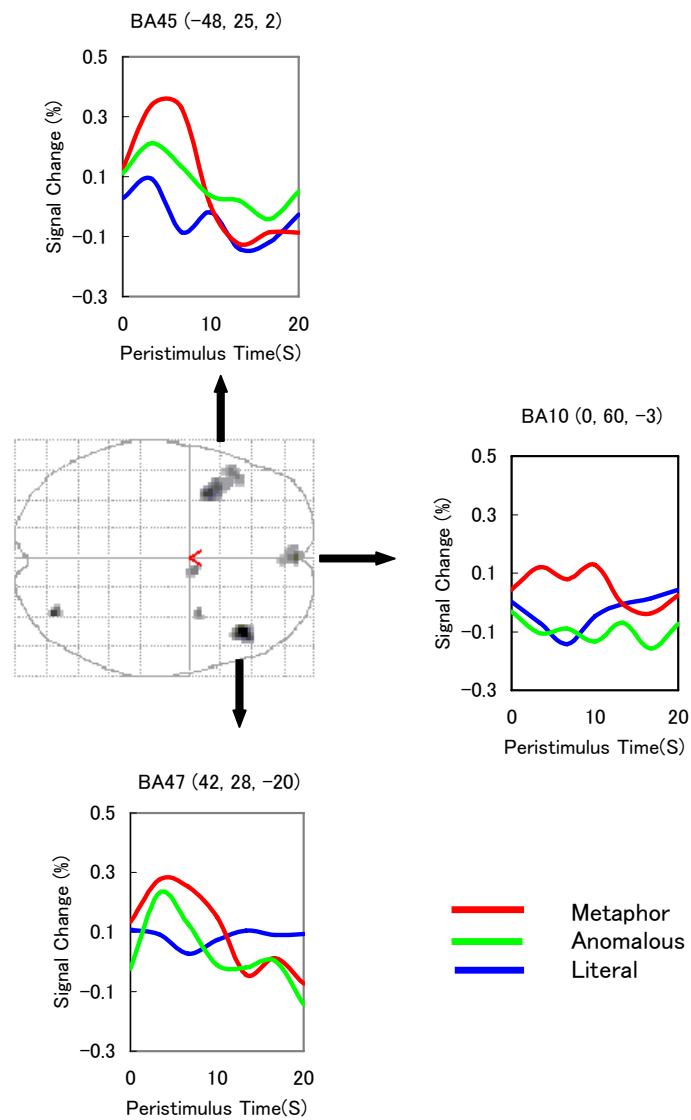


Figure 2. Time-course of signal changes for metaphoric, literal, and anomalous sentences in three regions (BA 47 (42, 28, -20),  $t = 7.80$ ; BA 45 (-48, 25, 2),  $t = 5.01$ ; BA 10 (0, 60, -3),  $t = 5.85$ ). The regions were collected according to the highest  $t$  value for each type of response in the metaphoric sentence condition vs. the literal sentence condition ( $p < 0.001$ , uncorrected).

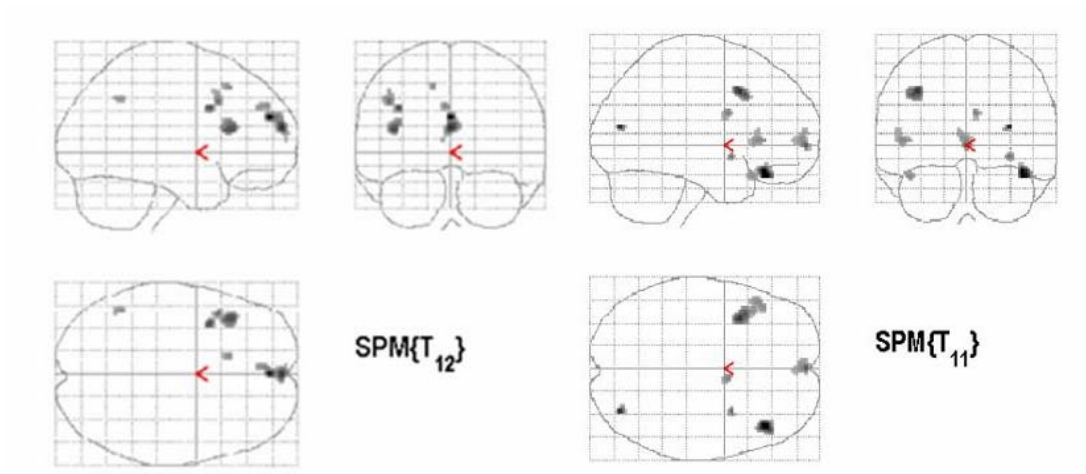


Figure 3. Left panel: Activation pattern of the differential contrast for metaphoric sentence vs. literal sentence in Shibata et al. (in press). Right panel: Activation pattern of the differential contrast for metaphoric sentence vs. literal sentence in this experiment ( $p < 0.001$ , uncorrected).

Table 1  
Cerebral regions showing significant BOLD signal increases of each sentence  
versus the baseline.

Region of activation	Left/Right	Brodmann area	Talairach coordinates			t value
			X	Y	Z	
<b><i>Literal sentence</i></b>						
Superior frontal	L	8	-2	18	49	5.49
Middle frontal	L	6/9	-30	1	57	12.11
Middle frontal	R	6/9	51	25	34	7.85
Inferior frontal	L	45	-55	13	20	6.64
Inferior frontal	R	46/47	40	21	-7	6.07
Precentral	L	6	-32	-13	60	11.17
Inferior parietal	L	40	-38	-31	40	13.76
Inferior parietal	R	40	57	-31	48	7.18
Precuneus	L	7	-2	-49	60	5.66
Precuneus	R	19	32	-64	36	6.48
Postcentral	L	2/3	-48	-27	38	13.28
Postcentral	R	43	67	-17	14	5.61
Superior temporal	L	22	-50	9	-5	9.97
Superior temporal	R	22	63	-38	20	6.42
Cuneus	L	17	-8	-79	6	8.34
Cuneus	R	30	22	-70	7	8.30
Middle occipital	L	18	-12	-74	-5	6.14
Cingulate	L	23	-2	-30	27	6.09
Cingulate	L	24	-6	-3	48	7.76
Insula	L	13	-42	12	-1	12.31
Insula	R	13	42	11	-7	8.19
Thalamus	L		-10	-19	10	7.40
Thalamus	R		8	0	6	6.97
<b><i>Metaphoric sentence</i></b>						
Middle frontal	L	9	-38	10	38	6.94
Middle frontal	R	9	50	11	34	5.63
Medial frontal	R	6	-2	16	43	9.80
Inferior frontal	L	44/45	-50	18	3	9.91
Inferior frontal	R	9/13/46/47	36	22	6	7.52
Inferior parietal	L	40	-53	-28	27	11.35
Precuneus	L	7	-28	-52	52	8.50
Superior temporal	L	22	-61	-44	10	5.48
Superior temporal	R	22	44	9	-10	8.98
Fusiform	L	37	-44	-57	-11	5.83
Fusiform	R	20	44	-20	-21	6.16
Cuneus	L	23	-6	-73	11	9.16
Middle occipital	L	18	-18	-70	5	6.49
Cingulate	R	23/30	4	-24	27	5.96
Cingulate	R	32	8	25	25	9.73
<b><i>Anomalous sentence</i></b>						
Superior frontal	R	10	26	55	8	6.14
Middle frontal	L	6	-32	5	51	8.06
Middle frontal	R	9/46	55	28	24	6.51
Medial frontal	L	9	-2	37	33	6.04
Inferior frontal	L	9/45/47	-46	16	18	10.26
Inferior frontal	R	47	46	21	-1	8.22
Precuneus	R	7	4	-50	58	8.22
Postcentral	L	3	-53	-18	23	7.63
Inferior parietal	R	40	48	-42	57	7.47
Superior temporal	L	38	-48	13	-6	9.42
Superior temporal	R	22/38	40	-50	17	8.39
Fusiform	L	37	-36	-45	-16	7.27
Fusiform	R	37	36	-74	-10	6.86
Cuneus	L	18/30	-2	-69	11	9.80
Cuneus	R	30	16	-67	13	6.16
Middle occipital	L	19	-36	-76	-10	6.72
Middle occipital	R	19	36	-74	-10	7.65
Thalamus	L		-8	-13	6	13.23
Cingulate	L	32	-6	20	41	10.50
Cingulate	R	32	6	27	32	9.71
Insula	L		-38	12	-1	6.27
Insula	R	13	38	-11	10	11.12

$p < 0.0001$ , uncorrected, extent threshold 10 voxels.

Table 2

Cerebral regions showing significant BOLD signal increases in the metaphor sentence condition versus the literal sentence condition, the metaphor sentence condition versus the anomalous sentence condition, and each opposite contrast.

Region of activation	Left/Right	Brodmann area	Talairach coordinates			t value
			X	Y	Z	
<b><i>Metaphoric sentence condition vs. Literal sentence condition</i></b>						
Precentral	L	9	-36	13	36	6.68
Medial Frontal	L	10	0	60	-3	5.85
Inferior Frontal	R	47	42	28	-20	7.80
Inferior Frontal	L	45	-48	25	2	5.01
Superior Temporal	L	38	-42	18	-17	4.82
Middle Occipital	R	19	32	-75	17	6.75
Cingulate	R	24	6	5	22	5.07
<b><i>Literal sentence condition vs. Metaphoric sentence condition</i></b>						
Superior Frontal	R	6	12	-5	61	6.11
Middle Frontal	L	6	-26	1	55	5.46
Precentral	R	4	59	-17	41	5.55
Precuneus	L	7	0	-56	54	6.32
Fusiform	L	19	-22	-66	-15	6.46
Insula	L	13	-42	-3	13	8.01
Thalamus	R		20	-31	3	6.21
Cingulate	L		-2	-34	24	5.61
<b><i>Metaphoric sentence condition vs. Anomalous sentence condition</i></b>						
Middle Frontal	L	8/9	-22	29	41	5.47
Inferior Frontal	L	46	-51	30	8	4.39
Postcentral	R	3	22	-30	51	5.94
Inferior Parietal	R	40	59	-37	30	8.27
Middle Temporal	R	21	51	-14	-11	5.65
Fusiform	R	20	40	-28	-16	4.99
Cingulate	R	31	16	-25	45	4.85
<b><i>Anomalous sentence condition vs. Metaphoric sentence condition</i></b>						
Precentral	L	6	-61	1	20	4.62
Postcentral	L	43	-57	-5	17	5.55
Precuneus	L	9	-18	-63	31	5.20
Cingulate	L	24	-14	-18	36	6.53
Cingulate	R	24	18	-5	46	9.23
<b><i>Anomalous sentence condition vs. Literal sentence condition</i></b>						
Superior Frontal	L	9	-10	50	34	5.86
Medial Frontal	R	10	6	53	5	4.96
Cuneus	L		-4	-73	7	5.88
<b><i>Literal sentence condition vs. Anomalous sentence condition</i></b>						
Middle Frontal	L	8	-22	27	41	8.05

$p < 0.001$ , uncorrected, extent threshold 10 voxels.

脚注 (p13, L 12)

1) モデルの作成の際に, **Duration** として各試行の反応時間を用いた. 3つの文の提示をそれぞれ **Regressor** とし, **Implicit baseline** を定数項とした一般線形モデルにあてはめ検定を行った.