

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19700314

研究課題名（和文） 言語理解における脳内情報統合機構の研究
—情報の曖昧性解消、誤り修正過程の検討—

研究課題名（英文） Neuroimaging study on neural mechanism of language comprehension

研究代表者

井原 綾（IHARA AYA）

独立行政法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究センターバイオ ICT グループ・

主任研究員

研究者番号：30390694

研究成果の概要（和文）：曖昧な情報を柔軟に処理して言語を理解する脳内処理を解明するために、非侵襲的脳機能計測実験を行い、複数の意味候補をもつ単語（多義語）の理解には左半球の前頭部の働きが重要であることを示した。多義語呈示直後には複数の意味が自動的に活性化され、呈示後約 200 ms には左下前頭部において文脈を利用した意味検索が開始し、その後、文脈との意味的照合が行われて、呈示後約 550 ms には文脈に適した意味に収束することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：We investigated the neural mechanisms of the ambiguity resolution, using magnetoencephalography. Our results showed the role of left inferior frontal cortex in lexical access and meaning selection for lexically ambiguous words.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2007 年度 | 1,400,000 | 0 | 1,400,000 |
| 2008 年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2009 年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,300,000 | 570,000 | 3,870,000 |

研究分野：神経言語学

科研費の分科・細目：神経科学・神経科学一般

キーワード：高次脳機能、言語、意味処理、文脈、非侵襲的脳機能イメージング、脳磁図、
プライミング効果

1. 研究開始当初の背景

私たちが日常のコミュニケーションに用

いる言語には曖昧さや誤りを含んでいることが少なくない。しかし、人間の脳は、言語的に曖昧な情報や誤った情報が含まれてい

ても、先行情報や心的状態など、言語的情報や言外的情報と統合することによって、迅速にその状況に適した意味を読み取るという非常に優れた情報処理能力を有している。科学技術が進んでいる現在でも、コンピュータが曖昧な情報に対応することは難しく、人間と同じレベルで言語処理を行うことはできない。柔軟な言語情報処理はまさに人間の脳の特質であると言える。

言語情報が曖昧さをもつ例として、一つの音韻に対して複数の意味をもつ多義語や同音異義語が挙げられる。このような「語彙的曖昧性」の解消、つまり、意味の確定には、語彙情報（意味頻度、親密度など）と先行情報（文脈）の二つの要因が影響することが知られている。

多義語の認知過程のどの段階で文脈による意味の絞込みが行われているのかという問題に対して、これまでに様々な神経心理学的研究や失語症研究によるアプローチがなされて、既にいくつかのモデルが提案されている。その一つである選択的アクセスモデル (Hogaboam & Perfetti, 1975) では、語彙アクセスの段階ですでに文脈による絞込みが行われ、文脈に適合する意味のみが活性化される。それに対して、多岐的アクセスモデル (Swinney, 1979) では、多義語の語彙アクセスは文脈の影響を受けず、複数の意味が活性化される。近年、脳波 (EEG) 研究で多岐的アクセスモデルを支持する結果が得られているが (Swaab et al., 2003), 多義語の複数の意味がどのように文脈と統合し、その後一つの意味に収束するのかについては、未だその処理メカニズムは明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究課題の申請時における当初の研究目的は、人間の脳の柔軟な言語理解に重要な脳内情報統合機構の解明を目指し、非侵襲的脳機能計測実験等により、語彙的曖昧性の解消に関わる脳内処理を明らかにすることであった。そのため、語彙アクセスと文脈統合過程における脳活動部位と活動時間を非侵襲的計測実験により調べ、それによって、語彙的曖昧語の語彙アクセス過程では、文脈の影響を受けずに複数の意味が活性化しているのか (多岐的アクセス)、それとも、文脈の影響を受けて一つの意味のみ活性化しているのか (選択的アクセス) についての検証を行った。さらに、多岐的アクセスが支持された場合には、活性化した複数の意味と文脈は網羅的に統合されているのか (多岐的統合)、それとも、文脈と統合しやすい、予測された意味から順に文脈と統合されているのか (選択的統合) についても明らかにす

ることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験パラダイムと刺激

① プライミングパラダイム

本研究ではプライミングパラダイムを用いた行動実験と非侵襲的脳機能計測実験を行った。プライミングパラダイムとは、先行刺激 (以下、プライムと呼ぶ) の処理が、その後に表示される刺激 (以下、ターゲットと呼ぶ) の処理に与える影響を調べる手法であるが、プライム呈示開始とターゲット呈示開始の時間間隔 (Stimulus Onset Asynchrony: SOA) などのパラメータを変えることによって、情報処理の自動的過程 (注意非依存) と制御的過程 (注意依存) とを分離して調べることが可能であり、短い SOA により自動的過程を、長い SOA により制御的過程を検出できると考えられている。本研究では、長い SOA (1000 ms) を用いて、文脈として与えられるプライムの情報により、曖昧性をもつターゲットの意味が一つに確定されるときに脳内の制御的意味処理過程を調べた。

プライムは平仮名表記、ターゲットは漢字表記の有意味単語で、ターゲットの曖昧性と、プライムとターゲットの意味的関連性により次の4種類の条件を設定した (表1)。

「多義語・関連条件」: ターゲットが複数の意味をもち、いずれかがプライムと意味的に関連する。

「多義語・無関連条件」: ターゲットが複数の意味をもち、いずれもプライムと意味的に関連しない。

「非多義語・関連条件」: ターゲットが一つの意味しかなく、プライムと意味的に関連する。

「非多義語・無関連条件」: ターゲットが一つの意味しかなく、プライムと意味的に関連しない。

被験者には、単語ペアの黙読とプライムとターゲットの意味的関連性判断を課した (図1)。ターゲットが多義語である場合に

| 条件 (刺激例: プライム-ターゲット) | 関連性 | 曖昧性 |
|----------------------|-----|-----|
| 多義語・関連 (噴水-こうえん) | + | + |
| 多義語・無関連 (河川-ほうそう) | - | + |
| 非多義語・関連 (作家-ぶんがく) | + | - |
| 非多義語・無関連 (雷雨-しろうと) | - | - |

表1. 実験条件と刺激単語ペアの一例

は、プライムとの関連性によりターゲットの意味は複数の候補の中から一つに絞り込む必要がある。「多義語・関連条件」では、プライム（文脈）により、ターゲットの意味は唯一に定まるが、「多義語・無関連条件」では、ターゲットはいずれの意味にも定まらない。

② データベースと質問紙調査による刺激の統制

刺激として用いる単語は、NTT 基礎研究所のデータベース（天野 & 近藤, 1999）により、文字数、モーラ数、単語親密度などが条件間差を生じないように統制した。まず、ターゲットの候補として多義語 264 語、非多義語 264 語を抽出した。さらに、多義語、非多義語それぞれにつき半数ずつ、関連する単語または関連しない単語をプライムとして抽出した。このようにして、各条件 132 単語ペアを作成した。

次に、a) 単語ペアの関連度について条件間での統制がとれているか、b) 「多義語・関連条件」ではターゲットの意味がプライムによって選択可能かどうかを確認するため、下記の質問紙調査を実施した。

- a) 関連度に関する調査
対象者：大学生 31 名（男性 18 名，女性 13 名；18～23 歳）
方法：各単語ペアの関連度を 5 段階で回答（1:関連度が低い～5:関連度が高い）
- b) 「多義語・関連条件」の単語ペアに関する調査
対象者：大学生 34 名（男性 19 名，女性 15 名；18～22 歳）
方法：「多義語・関連条件」の各単語ペアに対して、プライムを手掛かりとしてターゲットに適する漢字単語を 5 拓から回答

これらの調査結果から、a)については、「多義語・関連条件」、「非多義語・関連条件」では関連度が 4 以上、「多義語・無関連条件」、「非多義語・無関連条件」については関連度が 2 以下、b)については、87%以上の調査対象者が共通する一つの意味に確定可能、という二つの基準を設け、最終的に各条件 100 単語ペアを刺激として採用した。

(2) 行動実験

非侵襲的脳機能計測実験に先立ち、単語ペアの意味的関連性判断に対する反応時間を調べる行動実験を行った。ターゲットがプライムと意味的に関連している場合には、無関連な場合と比べて、語彙判断及び意味判断課

題に対する反応時間が短縮すること（意味プライミング効果）が既に多くの先行研究により報告されている。ターゲットが非多義語のときには先行研究と同様の結果が得られると考えられるため、行動実験において意味プライミング効果が認められない場合には、刺激単語ペアや刺激パラメータ（呈示時間、時間間隔、文字の大きさ等）を検討する必要がある。したがって、本行動実験は、刺激単語ペアと刺激パラメータの妥当性を確認し、その上で、ターゲットの曖昧性が意味関連性判断の反応時間に与える影響について調べる目的で行った。

被験者は日本語を母語とする健常成人 14 名（男性 7 名，女性 7 名；18～46 歳；全員右利き）であった。行動実験は（次項の非侵襲的脳機能計測実験も同様）、（独）情報通信研究機構生体情報研究倫理委員会の承認のもと、被験者には事前に実験内容と意義を十分に説明し、インフォームドコンセントを得た上で実施した。

被験者にはプライムとターゲットを 1000 ms の SOA で視覚呈示し、プライムとターゲットが意味的に関連性をもつかをボタン押しで回答してもらった。

(3) 非侵襲的脳機能計測・解析

非侵襲的脳機能計測には、148 チャンネル全頭型脳磁場（MEG）計測システムと 1.5 テスラ核磁気共鳴画像（MRI）システムを用いた。被験者は日本語母語話者の健常成人 10 名（男性 5 名，女性 5 名；21～38 歳；全員右利き）であった。一試行のシーケンスは図 1 の通りである。

言語処理の過程では両半球の複数の部位が長潜時に渡って並列的に活動するため、低次感覚処理の活動源推定でよく用いられる単一ダイポール法を適用することは難しい。そこで本研究では、言語処理時の活動部位を推定する手法として、マルチダイポール法の一つである選択的最小ノルム法を用いるな

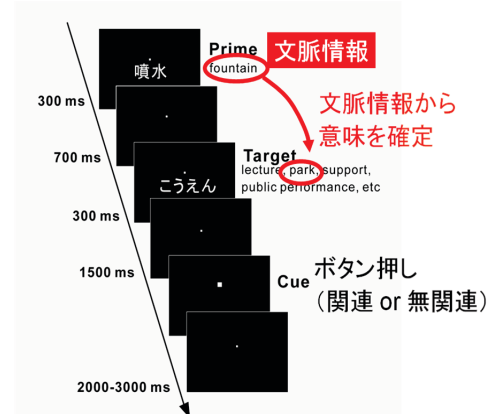


図 1. 一試行のタイムコース

ど、研究代表者が所属する研究グループで独自に開発したオリジナルな手法により解析を行った (図 2)。

選択的ミニマムノルム法とは、頭部を 7 mm 程度の間隔のメッシュを設け、計測データ数 (つまり、MEG 計測センサ数) から求め得るダイポール個数分のメッシュ点の組合せの中で、電流ベクトルの各成分の絶対値の和である L1 電流ノルムを最小にする解を求める推定法である。

本研究では、関心潜時帯 (ターゲット呈示後 0~700 ms) で 6 ms 毎にダイポールを推定し、全条件の関心潜時帯で推定されたダイポールのモーメントが大きい順に、他のダイポールとの間隔が 2 cm 以上であるという条件を満たすダイポールのみ採用した。その結果、各被験者で 50~60 個程度のダイポールが推定された。

次に、これらのダイポールに対して位置を固定し、計測磁場と計算磁場の差の二乗和が最小になるようにダイポールモーメント (電流の大きさと向き) をフィットさせた。モーメントフィッティングには EEG・MEG 解析ソフトウェア ASA (ANT software B. V.) を使用した。さらに、研究代表者が所属する研究グループで既に行われたシミュレーション研究 (Fujimaki et al., 2002) に基づき、ダイポール間の空間距離が近く (2 cm 以内、4 cm 以内の 2 段階で評価)、その時間相関が高ければ、それらは独立したダイポールとはみなせないとして、モーメントのベクトル和をとってグループ化した。その結果、典型的には各被験者 30 個程度のグループダイポールが推定された。

こうやって得られた各被験者のグループダイポールの位置を標準脳座標 (タライラハ座標) に変換し、被験者間で近い位置のグループダイポールの平均座標およびモーメント強度の総加算平均波形を求めた。最後に、被験者間で共通して活動が見られる部位に

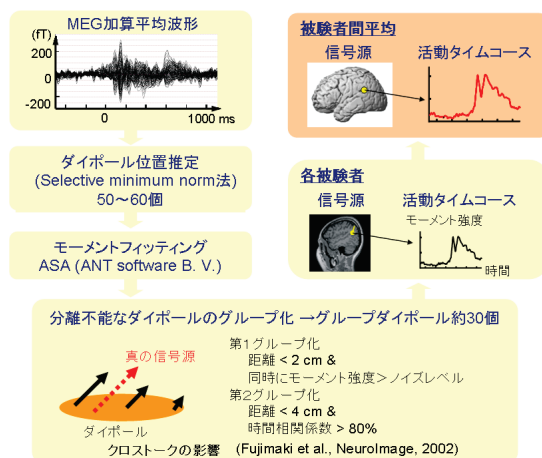


図 2. MEG 解析の流れ

対して、各被験者で関心潜時帯に渡って 50 ms の潜時窓に分割し、各潜時窓内で平均したモーメント強度を反復測定分散分析などの検定を行い、統計的に有意な条件差が認められる部位や潜時帯を求めた。

4. 研究成果

被験者 10 名中 7 名以上で共通してダイポールが推定されたのは、左半球の下前頭後部、右半球の中前頭後部、両側の下前頭前部、内側側頭前部、外側側頭前部、上側頭後部/下頭頂部および腹側後側頭部であった (図 3)。これらのうち、左下前頭前部 (BA47)、左下前頭後部 (BA45/9)、左側頭前部 (BA20/21)、左上側頭後部/下頭頂部活動 (BA40/39/22) などで条件差が認められた。

左上側頭後部/下頭頂部と左外側側頭前部では、曖昧性による差は見られず、関連性の主効果のみが認められた (図 4)。左上側頭後部/下頭頂部ではターゲット呈示後 250~650 ms で、左側頭前部では 350~550 ms で、ターゲットがプライムと関連性がある条件より関連性がない条件で活動が大きかった (図 5, 6)。左下前頭後部においても 250~300 ms 及び 350~550 ms の潜時帯で関連性の主効果があった。さらに、350~450 ms には関連性と曖昧性の交互作用が認められ (図 4)、ターゲットが多義語のときには関連条件より無関連条件で活動が大きいのに対して、ターゲットが多義語のときには関連条件と無関連条件で活動に有意な差はなかった。一方、曖昧性の主効果は、200~300 ms に左下前頭前部のみで認められた (図 4)。この潜時帯では、関連性の有無に関わらず、ターゲットが多義語の条件に比べて多義語の条件で大きな活動を示した。その後、この部位では 300~550 ms の潜時帯で関連性と曖昧性の交互作用があり (図 4)、左下前頭後部と同様に、ターゲットが多義語の条件では関連性による差 (関連条件 < 無関連条件) がみら

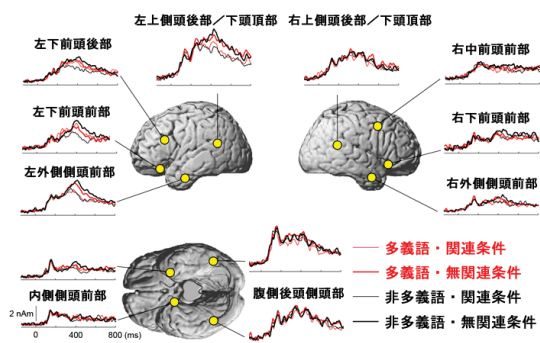


図 3. 被験者 10 名中 7 名以上で推定されたダイポール位置とモーメントの総加算平均波形

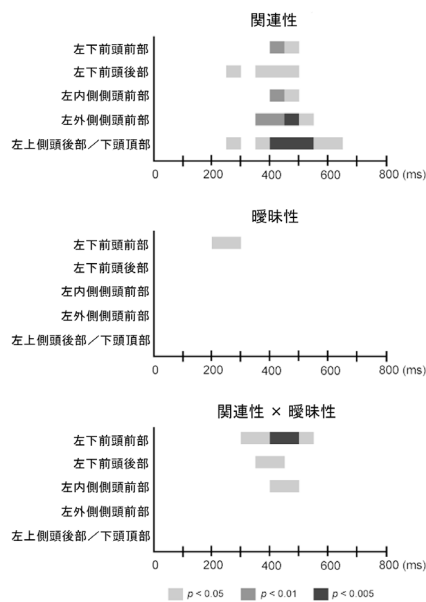


図 4. 反復測定二要因分散分析の統計結果。上段から関連性の主効果, 曖昧性の主効果, 関連性と曖昧性の交互作用を示す。

れたのに対して, ターゲットが多義語の条件では関連性による差はみられなかった。

以上の結果から, 語彙的曖昧性の解消には左半球の下前頭部の働きが重要であることを明らかにした。多義語の呈示直後には, 文脈に関係なく候補となる複数の意味表象が自動的に活性化され (ボトムアップの意味処理), 呈示約 200 ms 後には左下前頭前部において文脈を利用した意味検索 (トップダウンの意味処理) が開始し, その後, 左下前頭後部などで文脈との意味的照合が行われて文脈的に合わない意味表象の活性化は抑制されて, 呈示約 550 ms 後には文脈に合う一つの意味に確定されることが示唆された。本研究は, 脳が文脈を利用して語彙的曖昧性を解消するメカニズムを, その活動の時間的・空間的側面から初めて詳細に示したものであり, 候補となる複数の意味表象が一旦は並列的に賦活し, その後, 与えられた文脈などの手がかりによって意味が一つに収束するとする行動学的アプローチで得られた多岐的アクセスモデルを神経生理学的アプローチからサポートするものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 井原 綾, 藤巻 則夫, 魏 強, 早川 友恵,

村田 勉 (2008) 語彙的意味処理の脳磁場解析. 臨床脳波, Vol. 50, pp. 531—539 (依頼論文—査読無).

- ② Qiang Wei, Aya Ihara, Tomoe Hayakawa, Tsutomu Murata, Eriko Matsumoto, Norio Fujimaki (2007) Phonological influences on lexicio-semantic processing of kanji words. NeuroReport, Vol. 18, pp. 1775—1780 (査読有).
- ③ Aya Ihara, Tomoe Hayakawa, Qiang Wei, Shinji Munetsuna, Norio Fujimaki (2007) Lexical access and selection of contextually appropriate meaning for ambiguous words. NeuroImage, Vol. 38, pp. 576—588 (査読有).

[学会発表] (計 8 件)

- ① Aya Ihara, Qiang Wei, Ayumu Matani, Norio Fujimaki, Haruko Yagura, Takeshi Nogai, Tsutomu Murata. Language comprehension influenced by emotional context: an MEG study. BIOMAG 2010, 2010 年 3 月 30 日. Rixos Libertas (ドブログニク, クロアチア).
- ② 井原 綾, 魏 強, 眞溪 歩, 藤巻 則夫, 矢倉 晴子, 野界 武史, 村田 勉. 感情的文脈の脳内言語処理への影響. 第 24 回日本生体磁気学会大会, 2009 年 5 月 27 日. 金沢市文化ホール (石川).
- ③ Qiang Wei, Aya Ihara, Tomoe Hayakawa, Tsutomu Murata, Eriko Matsumoto, Norio Fujimaki. An MEG study of phonological processing of kanji words in Japanese native speakers and Chinese learners of Japanese. BIOMAG 2008, 2008 年 8 月 25 日. ロイトン札幌 (北海道).
- ④ Aya Ihara, Norio Fujimaki, Tomoe Hayakawa, Qiang Wei, Shinji Munetsuna. Roles of left inferior frontal cortex in comprehension of lexically ambiguous words: evidence from an MEG study. Neuroscience 2007, 2007 年 11 月 6 日, San Diego Convention Center (サンディエゴ, アメリカ).
- ⑤ Aya Ihara, Tomoe Hayakawa, Qiang Wei, Shinji Munetsuna, Norio Fujimaki. Neural mechanisms of the lexically

ambiguity resolution -An MEG study.
Neuro 2007, 2007年9月11日. パシフ
ィコ横浜 (神奈川) .

- ⑥ Qiang Wei, Aya Ihara, Tomoe Hayakawa,
Tsutomu Murata, Norio Fujimaki.
Phonological and lexico-semantic
processing during kanji word reading:
An MEG study. Neuro 2007, 2007年9
月11日. パシフィコ横浜 (神奈川) .
- ⑦ 井原 綾. 言語の意味理解の神経機構
(ショートレクチャー). 第22回日本生
体磁気学会大会, 2007年6月23日. 岡
崎カンファレンスセンター (愛知) .
- ⑧ 魏 強, 井原 綾, 早川 友恵, 村田 勉,
藤巻 則夫. 漢字単語の意味処理への音
韻の影響: 音韻プライミング課題を使っ
た MEG 研究. 第22回日本生体磁気学会
大会. 2007年6月21日. 岡崎カンファ
レンスセンター (愛知) .

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井原 綾 (IHARA AYA)

独立行政法人情報通信研究機構・未来 ICT
研究センターバイオ ICT グループ・主任研
究員

研究者番号: 30390694

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: