

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：31310

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K12019

研究課題名（和文）多感覚の表象に基づく言語の理解と表出に関わる脳機能モデルの構築

研究課題名（英文）Brain function model explaining verbal comprehension and expression assuming the involvement of multisensory representations

研究代表者

柴田 寛（Shibata, Hiroshi）

東北文化学園大学・医療福祉学部・准教授

研究者番号：00614900

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では言語の理解と表出に多様なモダリティ表象（視覚表象や聴覚表象などの感覚表象、運動表象、言語表象など）が関与することを想定して、このような処理過程を説明する脳機能モデルを構築することを目的とした。fMRI実験から、提示する刺激の言語・非言語モダリティに関わらず言語表象を生成する処理に運動前野を含む中心前回と中心後回が関与すること、非言語刺激の提示から言語表象への変換に左下前頭回が関与することを示す結果が得られた。これらの脳領域の機能を含めて、言語・非言語刺激から言語・非言語表象を生成する処理過程を説明する脳機能モデルを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

言語機能におけるブローカ野（左下前頭回）と中心前回の役割については現在においても議論が続いている。本研究ではfMRI実験により、言語表象を生成する際の中心前回/中心後回と左下前頭回の機能の違いを示した。発話実行、発話運動計画において中心前回の重要性を指摘する近年の研究とも一致する結果が脳機能イメージング手法を用いて得られた。さらにこれらの脳領域の役割も含めて、言語・非言語刺激から言語・非言語表象を生成する処理過程を説明する脳機能モデルを提案した。特に言語刺激から言語表象を生成する過程と非言語刺激から言語表象を生成する過程の違いの一部を詳細に示すことができたと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we assumed that various types of modality representations (such as visual, auditory, motor, and verbal representations) are involved in the process of verbal comprehension and expression. This study aimed to elucidate the cognitive process related to the generation of verbal and nonverbal representations. The functional MRI results of this study showed that the bilateral precentral/postcentral gyrus (including premotor cortex) was involved in generating verbal representations regardless of the type of presented stimulus modality. In addition, the left inferior frontal gyrus was involved in the transformation from nonverbal stimuli to verbal representations. Based on the findings of previous studies and this study, we presented a brain function model that explains the process of generating verbal and nonverbal representations from verbal and nonverbal stimuli.

研究分野：認知心理学

キーワード：脳機能イメージング 感覚表象 運動表象 言語表象 モダリティ変換

## 1. 研究開始当初の背景

身体化された認知の理論に基づけば、言葉の意味を理解するためには言葉情報が感覚・運動情報と脳内で関連して表現されている必要がある。また、言葉を表出するためには非言語的な感覚・運動刺激から言語表象(非言語刺激と意味的に対応する概念表象、言葉を表出するための構音プログラムなど)への変換が必要となる。これらの過程のどこかに障害が生じると、言語の理解と表出にも問題が生じることが想定される。

先行研究より、言葉の理解・表出における種々の感覚・運動表象の関与を支持する結果が報告されている。たとえば視覚関連語の処理は視覚関連視野、聴覚関連語の処理は聴覚連合野、運動関連語の処理は運動野の活動と関連があることなどが示されてきている(Bonner & Grossman, et al., 2012; Grossman et al., 2008; Hauk, et al., 2004; Hwang, et al., 2009; Kiefer, et al., 2008; Price, et al., 2015)。

本研究ではこれらの研究を背景としつつ、発展的に多様な感覚・運動表象が言葉の理解と表出に関与していると想定した。たとえば「いぬ」という言語の理解であっても、犬の姿の視覚イメージ、犬の鳴き声の聴覚イメージなどへの変換が可能であり、単一の感覚表象と結びついているわけではない。また犬に関連する多様なモダリティ刺激から「いぬ」という言語情報に変換することが可能である。言語の理解・表出の解明には言語情報と単一の感覚・運動情報との変換過程の解明だけでなく、言語情報と多様な表象との変換過程の解明が重要であると想定した。

## 2. 研究の目的

本研究では言語の理解と表出に多様なモダリティ表象(視覚表象や聴覚表象などの感覚表象、運動表象、言語表象など)が関与することを想定して、言語刺激から感覚・運動表象への変換、感覚・運動刺激から言語表象への変換の処理過程を説明する脳機能モデルを構築することを目的とした。

## 3. 研究の方法

研究期間を通じてfMRI実験を実施した。実験参加者には言語刺激または非言語刺激を提示して、教示に応じて言語表象もしくは非言語表象を生成する課題を行ってもらった。実際に言葉を表出すると運動実行に関わる脳領域も関与するため、言語表象(イメージ)を生成する課題を実施した。図1は言語モダリティの刺激/表象として文章の文字刺激/文章の聴覚イメージ、非言語モダリティの刺激/表象として視覚運動場面の写真/視覚運動イメージを用いた課題の例である。このほか言語モダリティの刺激/表象に単語の文字刺激/単語の文字イメージ、非言語モダリティの刺激/表象に動物の写真/動物の視覚イメージを用いた課題(「いぬ」の文字を視覚提示して犬の視覚イメージを生成するなど)、言語モダリティの刺激/表象に単語の音声刺激/単語の音声イメージ、非言語モダリティの刺激/表象に動物の鳴き声/鳴き声の聴覚イメージを用いた課題(「いぬ」の音声を聴覚提示して犬の鳴き声の聴覚イメージを生成するなど)を行った。

①言語刺激提示→言語表象生成(言語・非言語間のモダリティ変換なし:言語→言語)

例) わたしがりんごをつかむ → わたしがりんごをつかむ

②非言語刺激提示→言語表象生成(言語・非言語間のモダリティ変換あり:非言語→言語)

例)  → わたしがりんごをつかむ

③非言語刺激提示→非言語表象生成(言語・非言語間のモダリティ変換なし:非言語→非言語)

例)  → 

④言語刺激提示→非言語表象生成(言語・非言語間のモダリティ変換あり:言語→非言語)

例) わたしがりんごをつかむ → 

図1 言語刺激・非言語刺激から言語表象・非言語表象を生成する課題の刺激例

#### 4. 研究成果

##### (1) 言語・非言語刺激から言語・非言語表象の生成に関する脳領域（文章対象）

言語モダリティに文章の文字刺激/文章の聴覚イメージ、非言語モダリティに視覚運動場面の写真/視覚運動イメージを用いた課題における主要な結果を示す。提示する刺激の言語・非言語モダリティに関わらず言語表象を生成する処理に左右運動前野を含む中心前回と中心後回が関与することを示す結果が得られた（図2）。また非言語刺激の提示から言語表象を生成する処理（非言語刺激から言語表象への変換処理）に左下前頭回（ブローカ野に相当する領域）が関与する結果が得られた（図3）。

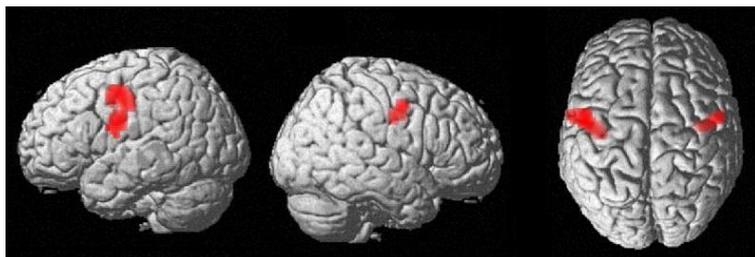


図2 提示の刺激モダリティに関わらず言語表象の生成に関する脳領域（左右中心前回/中心後回）

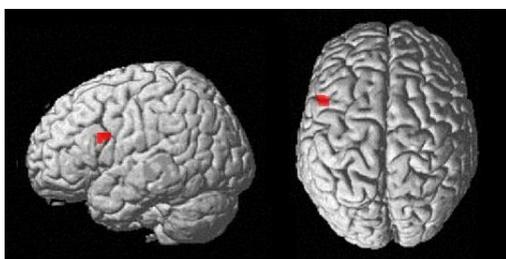


図3 非言語刺激から言語表象への変換に関する脳領域（左下前頭回）

##### (2) 言語・非言語刺激から言語・非言語表象の生成に関する脳領域（単語対象）

言語モダリティに単語の文字刺激/単語の文字イメージ、非言語モダリティに動物の写真/動物の視覚イメージを用いた課題では、言語・非言語間の変換あり条件では変換なし条件と比較して有意に活動が上昇する領域を見いだせなかった。一方で、言語モダリティに単語の音声刺激/単語の音声イメージ、非言語モダリティに動物の鳴き声/鳴き声の聴覚イメージを用いた課題では、言語・非言語間の変換あり条件では変換なし条件と比較して補足運動野、左中心前回、左下前頭回などで有意な活動上昇がみられた。2つの課題は実験参加者に求める手続き自体は類似したものであったが、提示する刺激と生成する表象の視覚・聴覚モダリティの違いによって結果は大きく異なるものであった。これらの結果の違いを説明する処理過程については考察を進めている。

##### (3) 言語・非言語刺激から言語・非言語表象を生成する脳内処理過程

本研究は言語情報と種々の感覚・運動情報との変換に関する処理過程の特定を目的としていたが、研究を進めることにより、特に中心前回（運動前野を含む）/中心後回と左下前頭回との機能の違いを示す結果を得ることができた。本研究で実施した課題においては、中心前回/中心後回は入力言語・非言語モダリティに関わらず言語表象の生成に関する領域であり、左下前頭回（少なくともその一部）は非言語刺激から言語表象への変換に関する領域であることが示された。発話実行、発話運動計画において中心前回の重要性が指摘されており、中心前回とブローカ野の役割については議論が続いている（Lu, et al., 2021; Silva, et al., 2022 など）。研究当初の目的よりも限定された範囲であるものの、本研究では中心前回（周辺領域含む）と左下前頭回（ブローカ野）の言語表出過程での役割の違いを示唆する結果が得られた。これらの脳領域の機能を含めて、また先行研究（Lambon Ralph, et al., 2016; Patterson, et al., 2007; Price, 2012; Price, 2018; Price, et al., 2015）の知見にも基づいて、言語・非言語刺激から言語・非言語表象を生成する処理過程を説明する脳機能モデルを作成した（図4）。

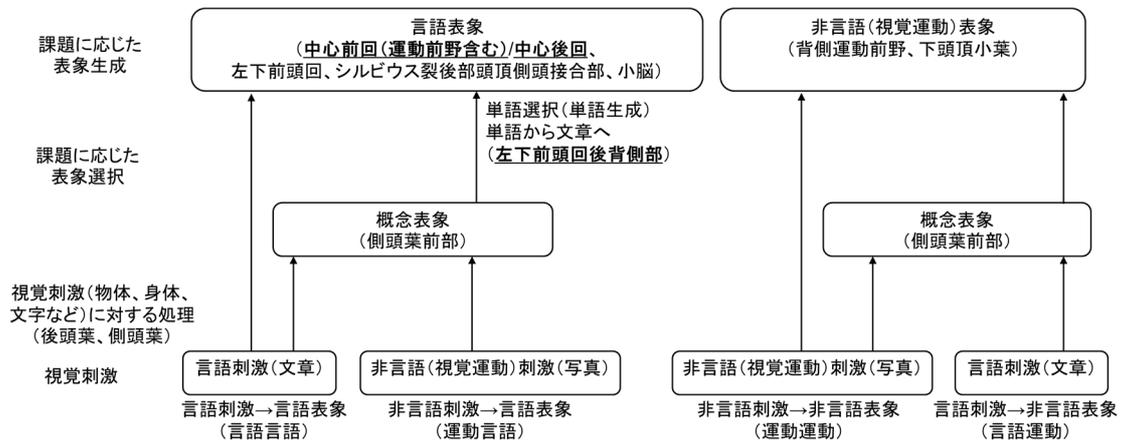


図 4 言語・非言語刺激から言語・非言語表象を生成する処理過程を説明する脳機能モデル (柴田・小川, 2023 より引用)

### 引用文献

- Bonner, M.F., & Grossman, M. (2012). Gray matter density of auditory association cortex relates to knowledge of sound concepts in primary progressive aphasia. *Journal of Neuroscience*, 32(23), 7986-7991.
- Grossman, M., Anderson, C., Khan, A., Avants, B., Elman, L., & McCluskey, L. (2008). Impaired action knowledge in amyotrophic lateral sclerosis. *Neurology*, 71(18), 1396-401.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representations of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41, 301-307.
- Hwang, K., Palmer, E.D., Basho, S, Zadra, JR, & Müller, RA. (2009). Category-specific activations during word generation reflect experiential sensorimotor modalities. *Neuroimage*, 48(4), 717-725.
- Kiefer, M., Sim, E.-J., Haernberger, B., Grothe, J., & Hoenig, K. (2008). The sound of concepts: four markers for a link between auditory and conceptual brain systems. *Journal of Neuroscience*, 28(47), 12224-12230.
- Lambon Ralph, M. A., Jefferies, E., Patterson, K., & Rogers, T. T. (2016). The neural and computational bases of semantic cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 18, 42-55.
- Lu, J., Zhao, Z., Zhang, J., Wu, B., Zhu, Y., Chang, E.F, Wu, J., Duffau, H., & Berger, M.S. (2021). Functional maps of direct electrical stimulation-induced speech arrest and anomia: a multicentre retrospective study. *Brain*, 144(8), 2541-2553.
- Patterson, K., Nestor, P.J., & Rogers, T.T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 976-988.
- Price, A. R., Bonner, M. F., & Grossman, M. (2015). Semantic memory: cognitive and neuroanatomical perspectives. *Brain Mapping: An Encyclopedic Reference* (Vol. 3). Elsevier Inc.
- Price, C.J. (2012). A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, 62(2), 816-847.
- Price, C.J. (2018). The evolution of cognitive models: from neuropsychology to neuroimaging and back. *Cortex*, 107, 37-49.
- 柴田寛・小川健二 (2023). 言語・非言語刺激から言語・非言語表象を生成する脳内基盤. 電子情報通信学会 (ヒューマン情報処理研究会), 沖縄産業支援センター (ハイブリッド開催, オンライン発表), 2023年5月15日 (信学技報, HIP2023-18, 85-90).
- Silva, A.B., Liu, J.R., Zhao, L., Levy, D.F., Scott, T.L., & Chang, E.F. (2022). A neurosurgical functional dissection of the middle precentral gyrus during speech production. *Journal of Neuroscience*, 42(45), 8416-8426.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hiroshi Shibata, Kenji Ogawa	4. 巻 687
2. 論文標題 Dorsal premotor cortex is related to recognition of verbal and visual descriptions of actions in the first-person perspective	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Neuroscience Letters	6. 最初と最後の頁 71~76
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neulet.2018.09.025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 柴田寛・小川健二
2. 発表標題 言語・非言語刺激から言語・非言語表象を生成する脳内基盤
3. 学会等名 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柴田寛・小川健二
2. 発表標題 外的な聴覚刺激から内的な聴覚表象への変換に関わる脳内基盤：fMRI研究
3. 学会等名 日本心理学会第84回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田寛・小川健二
2. 発表標題 単語と写真から文字表象と視覚表象を生成する過程の検討：fMRI研究
3. 学会等名 東北心理学会第73回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田寛・小川健二
2. 発表標題 動作の視覚的及び言語的表象の生成に関する脳内基盤の検討
3. 学会等名 日本心理学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田寛
2. 発表標題 言語機能の障害理解と認知神経科学
3. 学会等名 認知心理学のフロンティア - 司法・医療への貢献 - (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田寛
2. 発表標題 動作の視覚的表象及び言語的表象の生成過程：fMRI 研究
3. 学会等名 実験心理学の最近の動向研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	小川 健二  (Ogawa Kenji)  (50586021)	北海道大学・文学研究院・准教授   (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------