

言語と音楽の脳科学

安井拓也^{*,**} 酒井邦嘉^{*}

Takuya YASUI

Kuniyoshi SAKAI

● Key Words ● 言語, 音楽, 脳, 半球優位性 ●

はじめに

言語と音楽は人間固有の高次脳機能であり、その機能局在を明らかにするような脳科学のアプローチが期待されている。言語中枢は基本的に左半球優位であることが広く知られており、言語機能の局在は Broca 野と Wernicke 野として 19 世紀には提唱されていた。その後、ポジトロン断層撮影法 (positron emission tomography: PET), 機能的磁気共鳴映像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI), 脳磁図 (magnetoencephalography: MEG), 脳波 (electroencephalogram: EEG), 経頭蓋的磁気刺激法 (transcranial magnetic stimulation: TMS) などの手法によって、これらの言語野の機能が詳細に調べられるようになって、Broca 野と Wernicke 野に対する古典的な解釈は修正を余儀なくされた。

また、音楽については右半球優位と考えられており、右半球の Broca 野と Wernicke 野の対応部位に音刺激に対する反応が報告されている。しかし、左半球にも有意な活動が見られたり、絶対音感・相対音感などの能力による個人差が報告されており、言語処理との対応はまだ明らかでない。本稿では、こうした問題における最新の知見を紹介したい。

1. 言語と音楽の習得

母語の習得においては、言語刺激の受容や言語野に異常がない限り、日常で十分な言語音の刺激

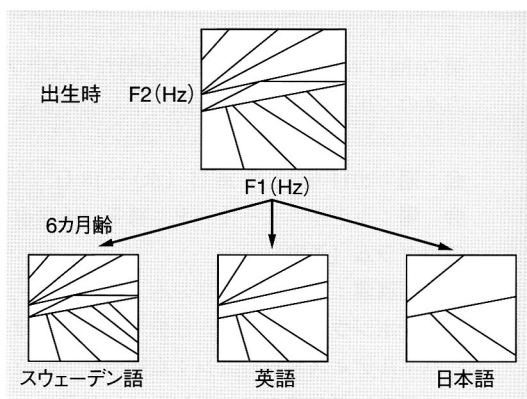


図 1 母音に対応した周波数空間のマップ(文献 1 より改変)

赤ちゃんは出生時にあらゆる言語の母音を聞き取る弁別能があるが、6 カ月たつと、母語となる個別語に従って母音を区分できるようになる。

があれば教育など特別な介入を必要とせず、日々の生活の中で身についていく。この事実は、言語の習得が本能として脳内にプログラムされていることを明確に示している。

新生児はあらゆる言語の母音を聞き取る弁別能があるが、出生後 6 カ月たつと、母語となる個別語に従って母音を区分できるという行動実験の報告がある¹⁾。母音は、スウェーデン語には 13 個、英語には 8 個、日本語には 5 個あり、これらに対応した周波数空間のマップ〔第 1 フォルマント (F1) と第 2 フォルマント (F2) による区分〕が形成されると考えられている(図 1)。このマップの形成は、言語習得期に限られた能力であって、出生後 1 年ほどで固定される。そのため、言語習得期を過ぎてから新たな言語(第 2 言語)を獲得するには、教育と本人の努力が必要であり、それ

* 東京大学大学院総合文化研究科相関基礎科学系
〔〒 153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1〕

** 東京大学医学部耳鼻咽喉科学教室

ゆえ個人差も大きく見られるようになる。

一方、音楽において、自動的な自然習得は可能なのであろうか。一般の音楽教育では、適切な時期に介入・教育することが必要だと考えられている。音階や和声の認知はもちろん、演奏における音程やリズムの正確なフィードバックといった基礎的能力の習得には、5～6歳頃の幼年期から10代にかけてのトレーニングが極めて重要である。この点は第2言語習得とよく似ており、教育と本人の努力が必要であり、それゆえ個人差も大きく見られる。

成人後に特定のジャンルの音楽に触れただけで、その音楽表現を母語と同じように自在に駆使することは、さらに困難を極めるであろう。ただし、抽象化された音の正確な把握のために教育が必要とされるのは確かであるが、言語の文法性と同様、音楽にはさまざまな規則性が内在しており、その習得には幼少期の“自然な”獲得メカニズムが働くのではないかとわれわれは考えている。

II. 言語の脳科学

言語に関する脳機能局在の古典的モデルには、Brocaが報告したBroca野と、Wernickeが報告した左側頭葉のWernicke野がある。前者が梗塞などで障害されると発話が困難となるBroca失語を生じ、後者が障害されると言語理解の障害に加え、意味のある発話が困難となるWernicke失語を生じるとされてきた。しかしながらその後の研究で、これらの領域は更に細分化され、図2のように機能分化していることがわかってきた²⁾。文法の中枢が傷害されれば流暢な発話が困難になるのは当然であり、単語や音韻の中枢が傷害されれば要素的な意味のレベルで障害が起こると予想される。つまり、Broca野とWernicke野は発語と理解の二分なのではなく、言語処理の要素が根本的に異なっているとわれわれは考えている。

前頭葉の言語野は、左下前頭回弁蓋部/三角部 (opercular part/triangular part of inferior frontal gyrus : F3op/F3t) と左下前頭回三角部/眼窩部 (triangular part/orbital part of inferior frontal gyrus : F3t/F3O) に分けられる。前者は“文法中枢”と考えられ、「雪を積もる」といった文法エ

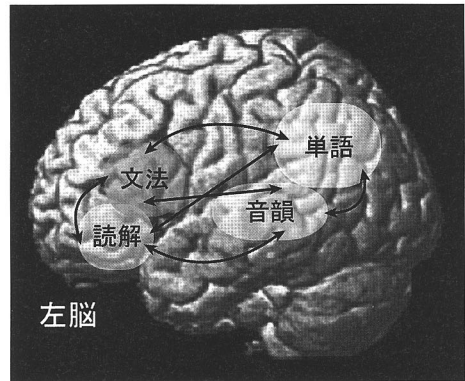


図2 言語処理における脳の機能分化と機能局在 (文献2より改変)

ラーの判断に選択的な活動の増加がみられた³⁾。後者は“読解中枢”と考えられ、「写真をとっていいですか?—はい、フラッシュをたかなければいいですよ」というような会話文に対して、「—はい、フラッシュを壊せばいいですよ」という意味がおかしいエラー文の判断に選択的な活動の増加がみられた²⁾。

側頭葉の言語野は“音韻中枢”と考えられ、上側頭回 (superior temporal gyrus : STG) は「雪を触る」の正しい音韻パターンLHL-LHH (Hは高いピッチを、Lは低いピッチを表す) に対して、LHL-HLLのように音韻エラーの判断に選択的な活動の増加が左優位で見られる³⁾。左の頭頂葉の言語野である角回 (angular gyrus) と縁上回 (supramarginal gyrus) は“単語中枢”と考えられ、単語と非単語に関する処理の差で、活動の増加が観察されている⁴⁾。

III. 文法中枢と失文法

これらの言語中枢が傷害されると、さまざまな言語障害を引き起こすと予想される。特に文法中枢が傷害されると、文法に選択的な障害 (失文法) が起きるはずだが、これまでその実証的データは乏しかった。われわれのグループは、記憶・意味・語彙の諸要素を完全に統制して、能動文 (AS)、受動文 (PS)、かきませ文 (SS、目的語が主語の前に来る文) の3種類について、脳腫瘍で傷害された部位によって誤答が生じやすくなるか

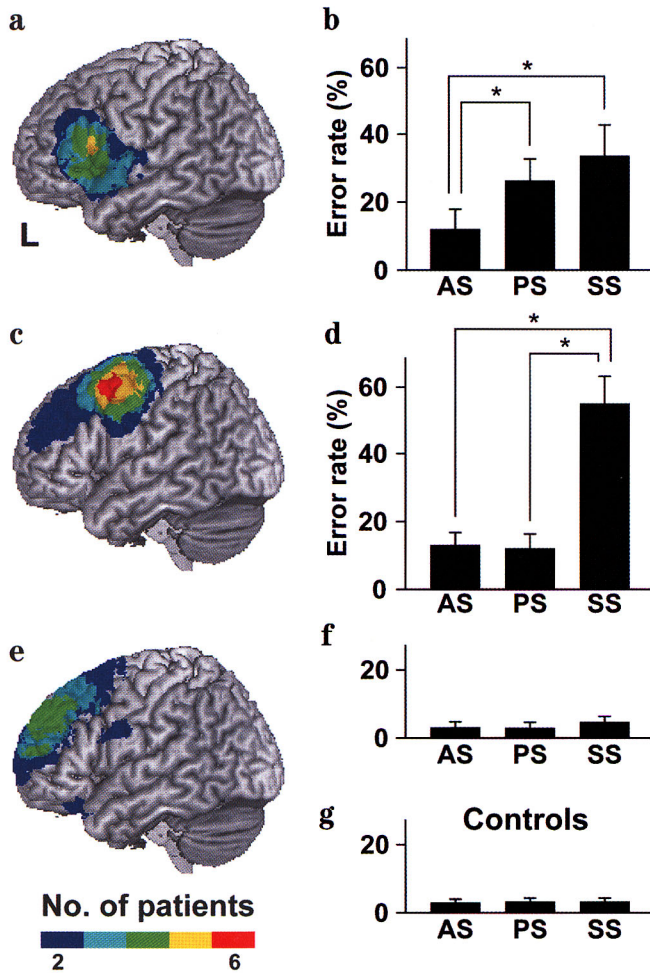


図3 脳腫瘍の部位に依存した、文法判断に選択的な障害（文献4より改変）

- a : 腫瘍が左下前頭回弁蓋部/三角部 (F3op/F3t) を含む領域に存在する患者群。
- b : 同群が示した誤答率。
- c : 左運動前野外側部 (LPMC) を含む領域に存在する患者群。
- d : 同群が示した誤答率。
- e : 腫瘍が左前頭葉のそれ以外の領域にある患者群。
- f : 同群が示した誤答率。
- g : 健常群が示した誤答率。

どうかを検証した⁵⁾。その結果、左の下前頭回弁蓋部/三角部 (F3op/F3t) に腫瘍がある患者群では、ASよりもPSとSSに対して有意に誤答率が高くなった (図3-a, b)。

また、運動前野外側部 (lateral premotor cortex: LPMC) に腫瘍がある患者群では、ASとPSよりもSSにおいて有意に誤答率が高くなった (図3-c, d)。なお、どちらの患者群も、これら3条件すべてにおいて、健常者 (図3-g) よりも有意に誤答率が高かった。一方、腫瘍が左前頭葉のそれ以外の領域にある患者群では、上述のような失文法は観察されなかった (図3-e, f)。

以上の結果より、左下前頭回弁蓋部/三角部と運動前野外側部という2つの文法中枢の傷害によって、異なるパターンの失文法が生ずることが

示された。今後、以上の知見をもとにして、文法機能に特化した言語リハビリテーションが必要になるであろう。

IV. 音楽の脳科学

音楽認知に関する脳研究においても、言語と同様に19世紀半ばに失音楽症の症例が報告されている。脳の病変・切除による研究では、右側頭葉の傷害でメロディーの認知・受容障害を生じたという報告が多く、左側頭葉では変化がなかったという報告が多い⁶⁾。

最近になって、脳機能イメージングによる研究に多くの関心が向けられている。特にメロディーや楽器音の認知などで右側頭葉が賦活化されたという報告があるが、和音の聴取などで左半球が優

位になる報告もあり、刺激や課題の選択によって半球優位性および活動領域に相違が見られている。側頭葉以外にも音楽に関わっている領域があり、early right anterior negativity (ERAN) によって和音展開の破綻を調べた研究では、右半球優位ではあるが両側の前頭葉が賦活されたという報告がある⁷⁾。さらにメロディーの記憶については、左右両半球が関与すると報告されている⁸⁾。

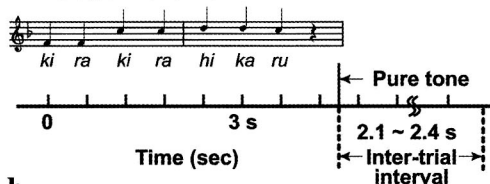
以上のように、音楽に関する脳活動は右半球優位な活動が多くみられるが、それらの結果から領域の機能分化を解明するまでには至っていない。また、音楽における能力の個人差によって、活動する領域や半球優位性が異なることも解釈を困難にしている。実際にプロの音楽家では、一般人に比べて左半球優位の活動を示すという報告が多い^{9,10)}。

V. 言語と音楽における半球優位性

発語では左半球、感情表現では右半球が重要という違いは赤ちゃんの時期から既に存在するという観察データがある。赤ちゃんの口の開き方を解析して、「まんま」などと喃語を話す際は左脳優位であり、微笑む時は右脳優位であった¹¹⁾。また、成人で人工的な音刺激に対する脳活動を調べた研究では、左側頭葉では短い周期 (25~50 ms) でピッチが変化する音に対する応答が強く、右側頭葉では長い周期 (200~300 ms) でピッチが変化する音に対する応答が強いと報告されている¹²⁾。これから音の特徴による左右半球の応答が元々異なっている可能性を示している。しかし、これまでの高次脳機能にかかわる研究では、言語・音楽に関する脳活動の比較を、それぞれ音声・楽器音といった特徴の異なる刺激音を使用していたため、その刺激自体の差を反映している可能性が排除できておらず、高次認知処理に対する比較が適切になされていなかった。

そこでわれわれは、音の特徴を統制しながら言語と音楽の脳活動を脳磁図で直接比較して、大脳半球優位性を調べた¹³⁾。「きらきら星」といったようなよく知られた歌を刺激として使用し、歌詞や旋律のエラーが1個または2個であるかをカウントする課題をテストした。これらのエラーによ

a 実験パラダイム



b



c



● M140 Lyrics ● M130 Melody

d

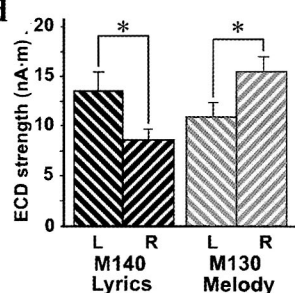


図4 言語と音楽の脳活動を比較した脳磁図

- a: 歌条件を用いた刺激条件。「きらきら星」の最初の2小節を例示する。3~7番目の音のいずれかに、歌詞またはメロディーのエラーを提示した。刺激提示後、エラーが1個か2個かをボタン押しで回答する。
- b: 歌詞のエラー検出課題 (Lyrics task) とメロディーのエラー検出課題 (Melody task)。解析には最初のエラーによって誘発された脳磁波形を用い、その直前の音 (灰色の四角, Reference) によって誘発された脳磁波形をコントロールとして使用した。
- c: 実験で同定された双極子。いずれも一次聴覚野のすぐ前方の聴覚野に観察された (黒丸: Lyrics task, グレー丸: Melody task)。
- d: 双極子の強度。Lyrics task では左半球優位、Melody task は右半球優位であった。

て引き起こされた脳活動の領域を特定し、さらにその活動を引き起こす磁気双極子の強度を測定した。

その結果、一次聴覚野のすぐ前方の聴覚野において、旋律エラーでは右半球優位の活動が見られ、歌詞エラーでは左半球優位の活動が見られた (図4)。さらに、新しく覚えた歌で同様なパラダ

イムの課題を行った実験でも、同様の結果を得た。したがって、観察された聴覚野の活動は、聴取した音を記憶したメロディーに対して照合する処理を反映していると考えられる。

おわりに

以上のように、言語では左半球優位の処理が行われており、単語から文を構成するといった高次の処理が側頭葉・頭頂葉から前頭葉において順次行われていることが明らかになった。一方、音楽では右半球優位の処理が明らかになってきたが、さらなる機能分化と機能局在の解明が必要である。こうした脳科学からのアプローチは検査機器の発達とともに急速な進歩を遂げつつあり、1つ1つの成果がリハビリテーション等の臨床応用に向けて近い将来役立つことを期待したい。

文 献

- 1) Kuhl PK : Learning and representation in speech and language. *Curr Opin Neurobiol* **4** (6) : 812-822, 1994.
- 2) Sakai KL : Language Acquisition and Brain Development. *Science* **310** (5749) : 815-819, 2005.
- 3) Suzuki K, Sakai KL : An event-related fMRI study of explicit syntactic processing of normal/anomalous sentences in contrast to implicit syntactic processing. *Cereb Cortex* **13** (5) : 517-526, 2003.
- 4) Homae F, Yahata N, Sakai KL : Selective enhancement of functional connectivity in the left prefrontal cortex during sentence processing. *NeuroImage* **20** (1) : 578-586, 2003.
- 5) Kinno R, Muragaki Y, Hori T, et al : Agrammatic comprehension caused by a glioma in the left frontal cortex. *Brain Language* **110** (2) : 71-80, 2009.
- 6) Zattore RJ : Discrimination and recognition of tonal melodies after unilateral cerebral excisions. *Neuropsychol* **23** (1) : 31-41, 1985.
- 7) Maess B, Koelsch S, Thomas C, et al : Musical syntax is processed in Broca's area ; an MEG study. *Nature Neurosci* **4** (10) : 540-545, 2001.
- 8) Samson S : Musical function and temporal lobe structures ; A review of brain lesion studies. *J New Music Res* **28** (3) : 217-228, 1999.
- 9) Zatorre RJ, Perry DW, Beckett CA, et al : Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *PNAS* **95**(6) : 3172-3177, 1998.
- 10) Ohnishi T, Matsuda H, Asada T, et al : Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cereb Cortex* **11** (8) : 754-760, 2001.
- 11) Holowka S, Petitto LA : Left Hemisphere Cerebral Specialization for Babies While Babbling. *Science* **297** (5586) : 1515, 2002.
- 12) Boemio A, Fromm S, Braun A, et al : Hierarchical and asymmetric temporal sensitivity in human auditory cortices. *Nat Neurosci* **8** (3) : 389-395, 2005.
- 13) Yasui T, Kaga K, Sakai KL : Language and music ; Differential hemispheric dominance in detecting unexpected errors in the lyrics and melody of memorized songs. *Hum Brain Mapp* **30** (2) : 588-601, 2009.

* * *