

# 和声の聴取におけるブローカ野の脳機能計測 - NIRSによる調性認知の分析 -

## Functional brain imaging study of Broca's area in harmony listening ~ Analysis of Tonality Cognition by Using NIRS ~

高田 芳和<sup>†</sup>, 石崎 俊<sup>‡</sup>  
Yoshikazu Takada, Shun Ishizaki

<sup>†</sup>慶應義塾大学 政策・メディア研究科, <sup>‡</sup>慶應義塾大学 環境情報学部  
Keio University, Graduate School of Media and Governance  
utakoe@sfc.keio.ac.jp, ishizaki@sfc.keio.ac.jp

### Abstract

This study measured changes of the hemoglobin concentration, focusing on the bilateral temporal lobe, when subjects were listening to single melodies with tonality or harmony, using the near-infrared spectroscopic method. In this study, the following 3 kinds of tasks were used as the stimuli, 1) tonality melodic ones, 2) atonal melodic ones, and 3) ones with harmony. The results show that in the left Broca's area, the deoxyhemoglobin concentrations in the tonality melodic tasks and those with harmony are significantly different from that in atonal melodic tasks. Our findings suggest the possibility that left Broca's area would be related with hearing the tonality tasks.

**Keywords** — music, tonality, harmony processing, Broca's area, near-infrared spectroscopy(NIRS)

### 1. はじめに

音楽の認知の研究は、「人は音楽をどのように知覚し、認知するのか」というテーマへの関心から、心理学を基に研究が始まった[1, 2]。その後、失語症の音楽家の音楽能力を扱った失音楽の研究[3]や脳機能イメージングの進歩により、音楽と脳の研究が進められることになった。

これらの研究で扱われるテーマの多くは、現在も街中に溢れている西洋音楽の体系を前提にされているものが多い。音楽の三大要素として「リズム(律動)」「メロディ(旋律)」「ハーモニー(和声)」が挙げられるが、中でも「ハーモニー(和声)」が西洋音楽の発展に与えた影響は大きい。和声の理論[4]が体系化されたことで、音楽に文法を生じさせることが可能になったといわれ、このような音楽的文脈における規則は、言語における文法と類

似していることから「音楽的構文(musical syntax)」と呼ばれることもある[5]。

脳における和声の処理を扱った研究は、その多くがERPを用いて行われてきた。Koelschらの研究[6]によって、音楽未経験者においても和声的な逸脱に対して、右半球でERANという指標が出現することが分かっている。このように、従来和声の処理は他の音楽的要素と同様に右半球の関与が大きいとされてきたが、その後の単旋律と和声の逸脱を扱った研究[7]では、単旋律に比べて和声の方が左半球における逸脱時のERANの反応が大きいと報告されており、近年は和声の処理における、左半球の関与が示唆されている。

また、調性を確立する処理を検討したLeinoらの研究[8]では、両側性の陰性電位(EAN)が記録されるなど、和声的文脈だけでなく、「調性」が音楽的文脈に与える影響にも関心が向けられている。

本研究では、ハーモニー(和声)の中でも、特に「調性の認識」と「機能和声の認識」に着目し、脳機能イメージングの手法である近赤外線分光法(NIRS)を用いて、音楽未経験者を対象に、課題聴取中の両側の側頭葉のヘモグロビン濃度変化を測定した。課題に対し、「調性」と「機能和声」を付与した際の両側側頭葉の様子を、大脳皮質のヘモグロビン濃度変化から酸素使用を観察して分析することを本研究の目的とした。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験内容

被験者は、絶対音感を持たない10名(女性4

名、男性6名、19～36歳、平均年齢24.2歳、全員が右利き)で、すべて楽器学習の経験が5年未満の者であった。本実験は慶應義塾大学SFC実験・調査倫理委員会で承認されている。

実験課題は1)和声付き課題, 2)調性旋律課題, 3)無調旋律課題, の3課題を設定し、被験者には特に何かを判断することなくそれらを聴取してもらった。和声付き課題は、ある旋律に対し西洋の機能と和声の理論[4]に基づいて和声を付与させた課題、調性旋律課題は、ある調性上の音で全ての旋律を構成した課題、無調旋律課題は、調性の同定が困難な単旋律課題である。それぞれの課題は、YAMAHAのXG Worksを使って作成され、スピーカーを通して被験者にランダムに提示された。刺激の提示は10秒間のレスト、12秒の刺激提示で行い、ほかの要因の影響をできる限り排除するため、1課題につき10試行ずつ計30試行を課した。

課題に関しては、リズムの影響を排除するため、全て4小節・ソプラノ7音からなるものを作成し、ソプラノの最高音と最低音の差は5度以内に統制した。(図1～3)和声付き課題に関しては、調性旋律課題の10施行と同様のソプラノに和声を付与している。

また、実験終了後にアンケートを実施し、各被験者が聴取中に「調性」と「機能と和声」の付与を認識していたかを確認した。

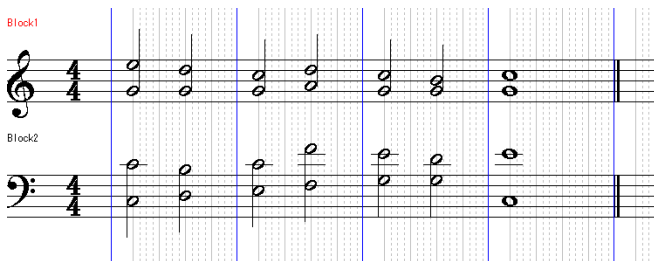


図1 課題に使用した「和声付き課題」の一例

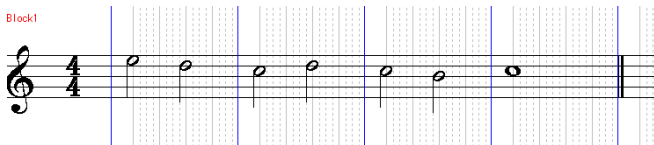


図2 課題に使用した「調性旋律課題」の一例

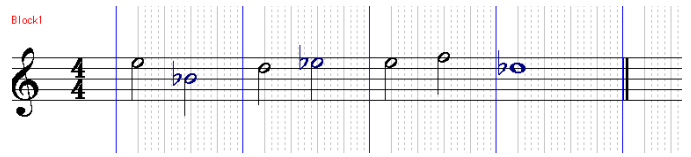


図3 課題に使用した「無調旋律課題」の一例

脳機能計測には、近赤外線分光法(NIRS) (日立製作所 光トポグラフィ)を用いた。酸化ヘモグロビン(oxy-Hb)と脱酸化ヘモグロビン(deoxy-Hb)、総ヘモグロビン(total-Hb)を測定する非侵襲の脳機能計測装置である。

測定領域は、両側の側頭領域とした(計30チャンネル、左右各15チャンネル)。側頭領域においては、従来の空間解像度30mmでは粗すぎて空間的に不連続なサンプリングになるので、計測点の距離を10mm以下にする必要があることが分かっている[9]。そこで本研究では、加藤の先行研究[10,11,12]を参考に、計測点距離を水平方向に9mm、プローブ間距離を2.5cmに設定し、従来より空間分解能を高くしている。

近赤外線分光法は、装置の移動が簡便で拘束性も低く、被験者が自然な体位で計測できるため、今後は演奏中の計測に繋げることが可能である。

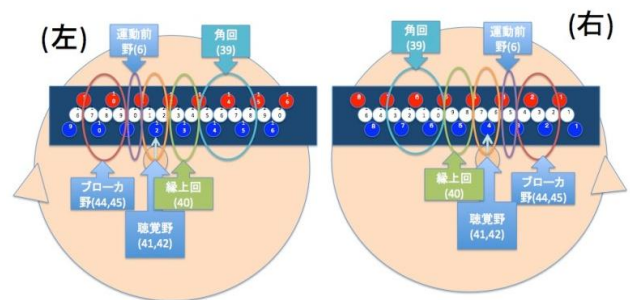


図4 測定部位

## 2.2 分析方法

解析は、deoxy-Hb, oxy-Hb, total-Hbの課題時間12秒間の総変化量を算出した。被験者10人のデータを課題毎にまとめ、1課題ごとに100データを得て、3課題の一元配置分散分析を行った。

加藤の研究報告[11,12]を参考にし、課題遂行中の酸素交換を評価する方法は、deoxy-Hb>0となるとき、酸素交換が起きたことを示し、oxy-Hb<0

となる時、低酸素状態で酸素交換が起きたことを示した。total>0 のとき血流量増加、total<0 のとき血流量減少を示すが、血流量の増加そのものは脳活動とは直結しないと解釈した[11,12]。

### 2.3 実験結果

全員が音楽学習の経験がほとんどなかったため、今回は 10 人の聴取能力に大きな差はないとし、NIRS データの解析を行った。

無調旋律課題と和声付き・調性旋律課題の有意差は、左ブローカ野周辺に見られた。

ANOVA で検出された無調旋律課題と他課題の有意差は左半球前部の 2 箇所(4ch, 6ch)で認められた(p<0.05)。

左側のブローカ野周辺(4ch)での各課題に対する反応と課題間の有意差は、無調旋律課題を聴くときに比べ、和声付き・調性旋律課題を聴くときに見られ、有意に酸素交換が起きた。(oxy-Hb: p<0.05, 図 5-b)

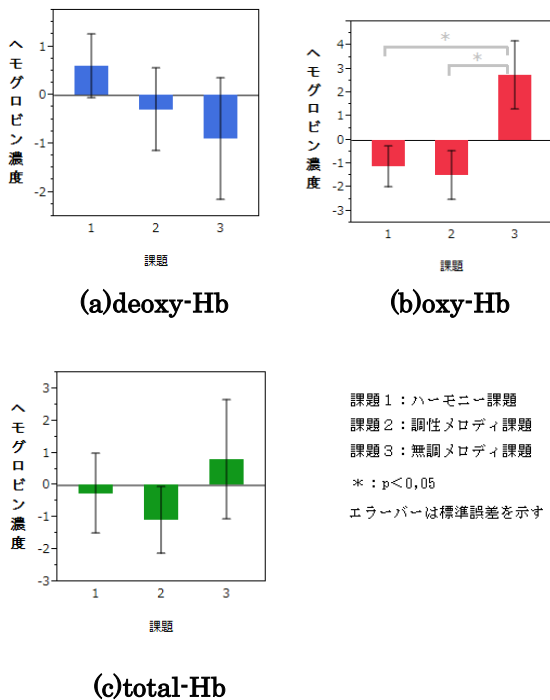


図 5 左ブローカ野周辺(ch 4)でのヘモグロビン濃度変化量

左側の聴覚野周辺(6ch)での各課題に対する反応と課題間の有意差は、無調旋律課題を聴くときに比べ、和声付き課題を聴くときに見られ、有意に酸素交換がおきた。(deoxy-Hb: p<0.05, 図 6-d)

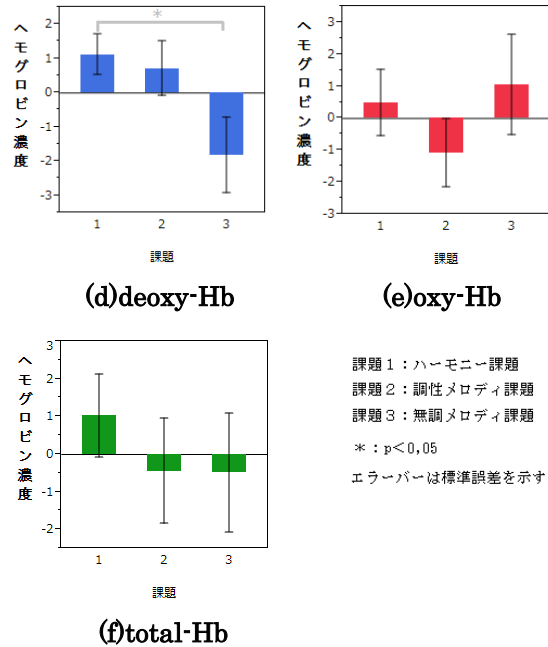


図 6 左聴覚野周辺(ch 6)でのヘモグロビン濃度変化量

### 2.4 アンケートの結果

実験終了後に実施したアンケートの結果から、全ての被験者が、聴取した 30 施行の課題の中に「単音」のもの(単旋律課題)と「和音」のもの(和声付き課題)があったことを認識しており、また単音の課題の中に「2つの種類の課題」があったことを認識していた。

単旋律の2種類の課題に関しては、「気持ちいい(快い)」ものと「気持ちが悪い(不快な)」ものの2種類があったと回答した者が6人おり、残りの4人は「整った」と「おさまりが悪い」もの、「バランスがよい」と「悪い」もの、「流れが想像できる」と「予想外のもの」があったと回答していた。

### 3. 考察

実験の結果、非音楽家の左ブローカ野において、無調旋律課題よりも、和声付き・調性旋律課題を

聴くときのほうが、有意に酸素交換が起こった。アンケートによる結果から、被験者は無調旋律課題と、その他の課題の間の「調性の有無」を認識していると考えられるので、この左ブローカ野の反応は「調性の認識」を反映したものであると考えられる。

これは、調性を確立する処理を検討した Leino らの研究[8]や、BA47 が音楽構造の理解に関係するとする Levitin らの研究[13]、MEG により音楽構造の統語的処理をしている部位として BA44 を同定している Maess らの研究[14]とも矛盾しない結果であると言える。

従来の研究では和声課題中の一音を検討したものが多かったが、本研究では非音楽家の「単旋律」における調性に対する反応においても、同様の結果が得られることが分かった。さらに、そこに「機能と和声」を付与した場合にも同様の有意差が見られた。

また、左聴覚野付近では、無調旋律課題よりも、和声付き課題を聴いたときのほうが、有意に酸素交換が起こった。

アンケートの結果から、この2つの課題の間に「調性の有無」の認識以外に、「機能と和声の認識」をしていると考えられ、この結果はそれを反映していると考えられる。しかし、この結果が「単音」と「和音」の差を反映したものであるのか、「機能と和声」を付与させたことによる「和声的な文脈」を反映したものであるのかは分からないため、今後より詳細な分析をしていく必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では、非音楽家の左ブローカ野において、無調旋律課題よりも、和声付き・調性旋律課題を聴くときのほうが、有意に酸素交換が起こったことから、左ブローカ野が「調性の認識」に関与している可能性が示された。左ブローカ野は、言語の文法処理に関わる領域であるといわれており、これまで音楽における文法を生じさせるといわれてきた「機能と和声」以上に、「調性」がその役割を果たしていることが考えられる。

今後は、MRI や MEG に比べて比較的長時間分解能が高い NIRS の特徴を活かし、カデンツの影響なども考慮したより詳細な分析を行っていく他、音楽情動に関連させた研究に繋げていければと考えている。

#### 参考文献

- [1] Diana Deutsch (1982), "The Psychology of Music", Academic Press
- [2] Rita Aiello (1994), "Music Perception", Oxford Univ.
- [3] 河村満 (1996), "失音楽(amusia) 一表出面の障害について一", 音声言語医学, 27, pp.468-473
- [4] 島岡謙 他, "和声 理論と実習 I・II・III", 音楽之友社
- [5] Koelsch S, Gunter T, Schroger E, Tervaniemi M, Sammler D & Friederici A. D. (2001), "Differentiating ERAN and MMN: An ERP study, Neuro Report, 12, pp.1385-1389.
- [6] Koelsch S, Gunter T, Friederici A. D. & Schroger E. (2000), "Brain indices of music processing: "Non-musicians" are musical. Journal of Cognitive Neuro-science, 12, pp.520-546
- [7] Koelsch S, Jentschke S (2010), "Differences in Electric Brain Responses to Melodies and Chords", Journal of Cognitive Neuroscience, 22:10, pp. 2251-2262
- [8] Leino S, Brattico E, Tervaniemi M & Vuust P (2007), "Representation of harmony rules in the human brain: Further evidence from event-related potentials, Brain Research, 1142, pp.169-177
- [9] Kawaguchi H, Hayashi T, Kato T, Okada E (2004), "Theoretical evaluation of accuracy in position and size of brain activity obtained by near-infrared topography.", Phys Med. Biol. Vol.49, pp.85-90
- [10] Toshinori Kato (2004), "Principle and technique of NIRS-Imaging for human brain FORCE: fast-oxygen response in capillary event", International Congress Series, Vol.1270, pp.85-90

- [11] 加藤俊徳 (2006), “COE(脳酸素交換機能マッピング)-酸素交換度と酸素交換直行ベクトルの利用-”, 臨床脳波, Vol.48, No.1, pp.40-51
- [12] 加藤俊徳 (2005), “COE(脳酸素交換マッピング)-光機能画像法原理の利用-”, 小児科, Vol.46, No.8, pp.1277-1292
- [13] Levitin D. J. & Menon V (2003), “Musical structure is processed in “language” areas of the brain: a possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence”, Neuro-Image, Vol.20, No.4, pp.2142-2152
- [14] Maess B, Koelsch S, Gunter T & Friederici A. D. (2001), “Musical syntax is processed in Broca’s area: an MEG study”, Nature Neuroscience, Vol.4, pp.540-545