

令和元年6月13日現在

機関番号：34310

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07234

研究課題名(和文)「誰が話しているか?」を認識するための脳内機構：ヒトおよびニホンザルを用いた研究

研究課題名(英文) Brain mechanisms to recognize individuals by vocalizations: Comparison between Japanese macaques and humans

研究代表者

古山 貴文 (Furuyama, Takafumi)

同志社大学・研究開発推進機構・特別研究員

研究者番号：20802268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、霊長類が音声のみで発声個体を識別(音声個体識別)するために必要とする音声情報および脳内機構を解明することである。音声のみで発声個体を識別するために必要な脳部位を特定するために、皮膚表面に複数電極を配置し、脳波を計測するElectroencephalogram(EEG)計測法を用いてニホンザルの脳活動を計測した。その結果、サルAとサルBの音声において、刺激の違いに対して観測される脳活動(Mismatch negativity: MMN)を観測することに成功した。MMNの発生源はヒトとニホンザルにおいて同様であったため、ニホンザルの音声処理機構は、ヒトと同様であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトを含む多くの霊長類は、野外環境下で複雑な個体関係にもとづいた社会を構成している。そのような動物にとって音声による個体識別は社会コミュニケーションを維持するために極めて重要である。本研究の成果から、ニホンザルも音声のみで発声個体を識別するための脳内機構は、ヒトと同様である可能性が示唆された。今後、音声による個体識別の脳内機構と視覚による個体識別の脳内機構を比較することで、初めてヒトやサルが自然場面でおこなう個体識別の全容が解明できると考える。

研究成果の概要(英文)：The both of meaning and individual recognition in vocalizations are important to maintain social structures when we communicate each other by using voices. The purpose of this study was to investigate acoustic properties and brain regions to discriminate individuals in Japanese macaques. The fifteen silver plate electrodes were set to a head skin in subject. We determined each position following the study of standard EEG in humans, called 10-20 systems. The vocalizations of Monkey A and B were presented and the data of brain waveforms was analyzed by using EEGLAB. The brain waveforms were recorded at each position, and we calculated the difference of responses between deviant and standard. As our results, the most of mismatch negative (MMN) responses was observed at 200 ms after stimulus in anterior position. This result was same results of MMN in previous study of humans. Our results showed that the vocal recognition of monkeys was similar to that of humans.

研究分野：神経行動学

キーワード：EEG 個体識別 霊長類 Mismatch negativity 発声音声 音声コミュニケーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトを含む霊長類は肺から空気を出すことで喉の声帯を振動させて音を生成し、それを声帯から口までの声道の空間により共鳴させ音声を発している。「誰が話しているか？」を認識するには、どのような脳内機構が必要か？ヒトを含む多くの動物は、音声をういて他個体とコミュニケーションを行っている。さらに、ヒトを含む霊長類のように複雑な個体関係にもとづく社会を営む動物にとって、音声コミュニケーションをおこなう際には発話の内容を知るだけでなく、発話者が誰であるかを特定することが極めて重要である。ヒトは声帯振動の周波数を任意に変化させ、高い声から低い声へと変えることが可能であるため、音声による個体識別する場合には声帯振動の周波数を手がかりとして、個人を識別することは困難である。一方、声道の形に依存する声道の共鳴特性(声道特性)は各個人で異なり、任意に操作することが困難なため個体識別する際の有力な手掛かりになっている。しかし、生理実験による音声をういた個体識別の脳内機構の解明を目指した研究は極めて少ない。その理由として以下の3点が挙げられる。

- (1) 霊長類(ヒトを除く)を被験体とし、音声により発声個体を識別することを実験室の統制した場面で研究し、個体識別の再現に成功した例が少ない点。
- (2) 霊長類の音声は音響構造(周波数×時間構造)が複雑であり、実験的に操作するのが困難である点。
- (3) 霊長類が音声個体識別を行う際に必要とする脳部位が特定できていない点。

上記の3つの問題を解決する手法として、ニホンザルをモデルとした研究を提案する。ニホンザルは野外環境下で最も良く音声による個体識別について研究されている動物である。過去の研究により、野外におけるニホンザルのコミュニケーション行動を観測した結果、ニホンザルは他個体の coo call を記憶し音声のみで発声個体を識別する能力を有することが示されている。さらに報告者の過去の研究により、ヒトの音声再合成プログラムをニホンザルの音声に応用し、ニホンザルを対象に行動実験を行った。その結果、ニホンザルは声道特性をういて発声個体を識別している可能性が示唆された。これは、ヒトが発声個体を識別するために使用する音声情報と同様であり、ニホンザルもヒトと同様の音声情報を用いて発声個体を識別している可能性を示唆した(Furuyama et al., 2016)。これらの研究成果から、ヒトもニホンザルと同様の脳内機構で個体識別をおこなっていると期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、霊長類が音声のみで発声個体を識別する際の脳内機構を、神経活動レベルで解明することである。

3. 研究の方法

実験1 ニホンザルの発声個体を識別するための音声情報

私たちヒトを含む多くの陸上哺乳類は、肺から空気を出すことで喉の奥を振動させて音(基本周波数)を生成し、生成した音を声帯から口までの声道の形(声道特性)を変化させることで、音声を発している(図1)。実験1では、ニホンザルの発声個体を識別するための音声情報を、ニホンザルとヒトを対象に共通しているかを検討した。Go/NoGo オペラント条件付けをういて、2匹のオスのニホンザルに、被験体以外のオスのニホンザル2個体(サルA、サルB)の音声を弁別できるように訓練した。訓練完成後、音声再合成プログラムをういてサルAとサルBの音声連続体(一方の個体からもう一方の個体に連続的に変化していく音声)を作成した(図2)。その際に、特定の音声情報(基本周波数もしくは声道特性)のみを変化させた音声連続体も作成した。作成したテスト音声を再び被験体に聞かせ、反応を計測した。さらに、5人の被験者にも同様の弁別訓練を行い、同様のテスト刺激を提示した。

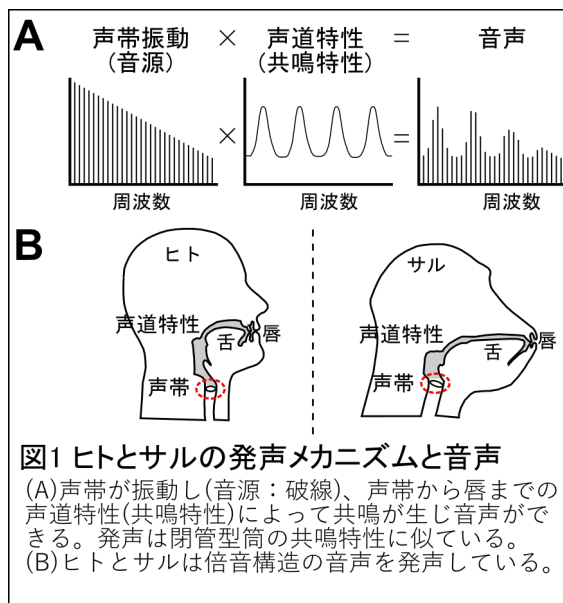


図1 ヒトとサルの発声メカニズムと音声
(A) 声帯が振動し(音源: 破線)、声帯から唇までの声道特性(共鳴特性)によって共鳴が生じ音声がでる。発声は閉管型筒の共鳴特性に似ている。
(B) ヒトとサルは倍音構造の音声を発している。

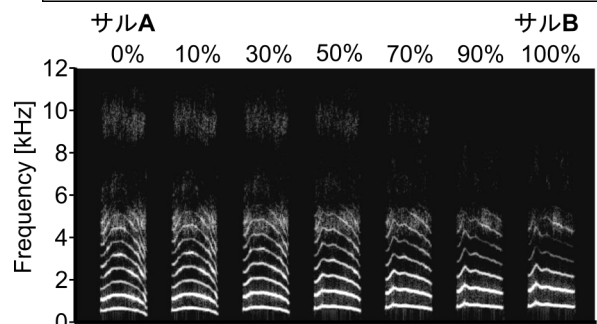


図2 ニホンザルの音声連続体。サルAの音声からサルBの音声に連続的に変化していく音声。

実験2 発声個体を弁別するための脳部位の同定

被験体として、1匹のオスのニホンザル(13歳)を使用した。この被験体は、2個体の発声音声(サルAとサルB)の弁別訓練が終了している個体であった。音声刺激として、被験体以外のサル2個体(サルAおよびB)から録音した音声を使用した。ニホンザルの皮膚表面に、ヒトのEEG研究で適用されている国際10-20法に基づいて、15点の銀製皿電極を配置した(図3)。被験体以外の2個体の音声を音声刺激として使用した。サルBの音声を8-12回提示した後に、サルAの音声を提示し、脳波の変化を記録した。

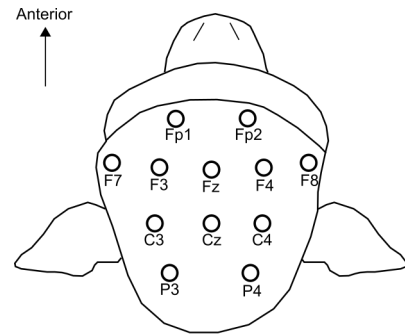


図3 脳波計測位置

4. 研究成果

実験1 ニホンザルの発声個体を識別するための音声情報
被験体および被験者ともにサルBの音声になるにつれてサルBの音声として反応した。さらに、ニホンザルとヒトにおいてニホンザルの発声音声を弁別するための音声情報が異なっていた(ニホンザル:基本周波数および声道特性、ヒト:基本周波数、図4)。この結果から、同種の発声個体を弁別するための音声情報は、種特異的である可能性が示唆された(雑誌論文1, Furuyama et al., 2017)。

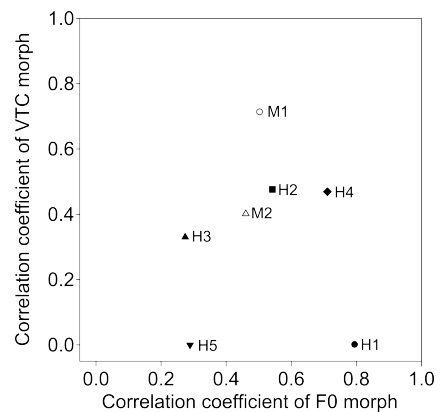


図4 各音声情報の連続体刺激に対する反応時間の相関係数。ニホンザルは、基本周波数および声道特性の変化に対して相関がある。ヒトは、基本周波数の変化に対して相関がある。

実験2 発声個体を弁別するための脳部位の同定

サルAとサルBの音声を提示した際の脳波を計測した結果、刺激の違いに対して観測される脳活動(Mismatch negativity: MMN)を観測することに成功した。さらに、前頭葉部分でMMNの最大値が観測された。これは、ヒトのMMNの最大値が観測される部分と一致していた。そのため、MMNの発生源はヒトとニホンザルにおいて同様である可能性を示唆した。また、左側と右側のMMNの量を比較した結果、右側よりも左側の振幅が大きかった(図6)。ヒトの音声処理は、左脳優位と言われている。本実験の結果から、ニホンザルも同種の音声を処理する際には、左脳優位で行っている可能性を示唆した。このことより、ニホンザルの音声処理機構は、ヒトと同様であることが示唆された。

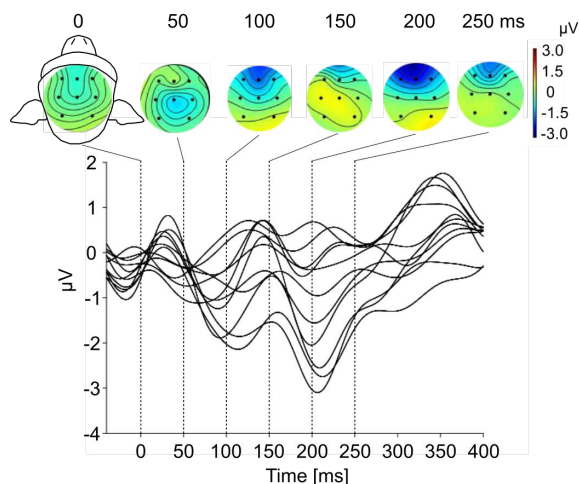


図5 標準刺激に対する脳波と逸脱刺激に対する脳波の違い。刺激開始後、150-250msで最大の差分が観測された。一番大きい脳波の差分は、前頭で観測された。

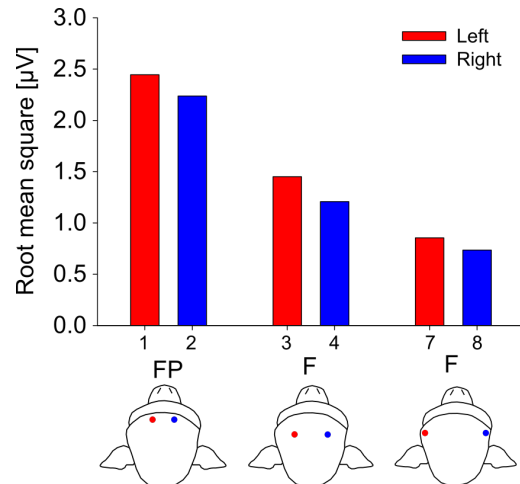


図6 MMNの二乗平均平方根。各記録点の二乗平均平方根の結果、左側記録点による値が、右側記録点よりも相対的に大きかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

(1) Takafumi Furuyama, Kazuma Hase, Shizuko Hiryu, Kohta I. Kobayashi, Hearing sensitivity evaluated by the auditory brainstem response in *Miniopeterus fuliginosus*, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 査読有, 144, 2018, pp. EL436-EL440

DOI: <https://doi.org/10.1121/1.5079904>

(2) Tetsufumi Ito, Takafumi Furuyama, Kazuma Hase, Kohta I. Kobayasi, Shizuko Hiryu, Hiroshi Riquimaroux, Organization of subcortical auditory nuclei of Japanese house bat (*Pipistrellus abramus*) identified with cytoarchitecture and molecular expression, *The Journal of Comparative Neurology*, 査読有, 2018, pp. 2824-2844
DOI: <https://doi.org/10.1002/cne.24529>

(3) Tetsufumi Ito, Takafumi Furuyama, Kazuma Hase, Kohta I. Kobayasi, Shizuko Hiryu, Organization of projection from brainstem auditory nuclei to the inferior colliculus of Japanese house bat (*Pipistrellus abramus*), *Brain and Behavior*, 査読有, 2018, e01059
DOI: <https://doi.org/10.1002/brb3.1059>

(4) Takafumi Furuyama, Kohta I. Kobayasi, Hiroshi Riquimaroux, Acoustic characteristics used by Japanese macaques for individual discrimination, *Journal of Experimental Biology*, 査読有, 220, 2017, pp. 3571-3578
DOI: 10.1242/jeb.154765

〔学会発表〕(計 4 件)

(1) 古山 貴文、小林 耕太、力丸 裕, 霊長類における音声処理機構: ヒトおよびニホンザルとの種間比較、2019 年春季研究発表会(音響学会)、2019、招待講演

(2) Takafumi Furuyama and Kohta I. Kobayasi, Brain regions of individual discrimination in Japanese macaques, 日本動物心理学会第 78 回大会, 2018

(3) Takafumi Furuyama, Kazuma Hase, Shizuko Hiryu, Kohta I. Kobayasi, Auditory brainstem responses recorded from inferior colliculus in *Miniopterus fuliginosus*, 国際学会, Society for Neuroscience, 2017

(4) Takafumi Furuyama, Kohta I. Kobayasi, Hiroshi Riquimaroux, The acoustic key for individual discrimination in Japanese macaques, 国際学会, Koudou2017, 2017

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。