

# 博士学位論文審査要旨

2017年2月14日

論文題目： Vocal recognition in primate: Comparison between Japanese macaques and humans

靈長類における音声認識：ニホンザルとヒトの種間比較

学位申請者： 古山 貴文

審査委員：

主査： 生命医科学研究科 教授 吉川 研一

副査： 生命医科学研究科 准教授 小林 耕太

副査： 愛知大学文学部 准教授 関 義正

## 要旨：

ヒトをはじめとする多くの靈長類は、音声により他個体とコミュニケーションをおこなう。音声コミュニケーションは自身や群れを外敵から守るために重要であるだけでなく、社会性が行動に発達した靈長類にとって同種他個体の音声を正確に知覚・認知することは、社会を形成・維持するために必要不可欠である。特に音声の知覚・認知において、発声個体を同定する能力は靈長類でもヒト等一部の種にのみ顕著に発達した能力である。ヒトでは声道の共鳴特性（フォルマント）に基づいて個体識別をおこなうことが知られているが、フォルマントは音声言語においては音韻情報の伝達にも利用されるため、音声個体識別の能力と言語知覚との共通性は言語の進化を考察するうえでも極めて重要である。本論文では、ニホンザルとヒトの音声認識について認知心理学的な手法により比較をおこなった。ニホンザルは音声個体識別をおこなうことが野外調査等により示されており、ヒトとニホンザルを比較することで音声の知覚・認識機構が靈長類全体に共通するものであるか考察可能になると期待できる。

一連の実験のうち、ヒトとサルにおいて音の時間分解能について行動学的に比較した実験の結果、基礎的な音認識の能力は種間で異なり、ヒトは聴覚の時間解像度に優れることを示した。続く実験では、ニホンザルおよびヒトを被験体として、ニホンザルの音声を個体識別するために必要となる音声情報の種間比較をおこなった。その結果、サルはヒトと比較してサル音声の弁別において一貫して良い成績を示した。この成果は、ニホンザルは同種の音声の認識に特化した知覚・認知機構をもつことを示唆する。最終実験では、サルを被験体として基本周波数情報と声道特性情報に着目し、行動実験をおこなった。その結果、ニホンザルもヒトと同様に声道の共鳴特性を用いて他個体の音声を識別している可能性が示唆された。

本論文で得られた成果は動物行動学的に重要であるだけでなく、ヒトが言語を獲得するに至った進化的な過程について貴重な知見を与えた点や、サルを被験体としてヒトの音韻（フォルマント）知覚の神経機構研究が可能であることを示した点で、科学的に極めて価値の高いものだといえる。よって本論文は、博士（工学）（同志社大学）の学位を授与するにふさわしいものであると認められる。

## 総合試験結果の要旨

2017年2月14日

論文題目：Vocal recognition in primate: Comparison between Japanese macaques and humans

靈長類における音声認識：ニホンザルとヒトの種間比較

学位申請者：古山 貴文

審査委員：

主査：生命医科学研究科 教授 吉川 研一

副査：生命医科学研究科 准教授 小林 耕太

副査：愛知大学文学部 准教授 関 義正

要旨：

本論文提出者は、2014年4月より本大学院生命医科学研究科博士課程（後期課程）に在学している。在学中の各年度において優れた研究成果をあげている。また、本研究科修了に必要な所定の単位を修得しており、英語の語学試験にも合格し、その能力が十分であることが認定されている。本論文の主要部分は、*Scientific Reports*, 6:32042 (2016) および *Acoustical Science and Technology*, 34:432-435 (2013)に提出者を筆頭著者として掲載済みであり、その他にも査読付き国際会議（3件）、国内外の学会（19件）で発表をおこなっている。これらの発表のうちの1報は、学会において研究奨励賞に選出されていることからも、その論文内容の質の高さは高く評価されている。

2017年1月12日13時10分より、約1時間にわたり提出論文に関する学術講演会（博士論文公聴会）が開催され、提出者の講演とそれに引き続き活発な質疑応答がなされた。提出者の説明により研究内容が学問的に優れていることを審査員一同が確認した。公聴会終了後、30分にわたり提出論文に関係した学問的諸問題について、審査委員による口頭試問を実施し、提出者が博士課程（後期課程）修了にふさわしい能力を有することを確認した。よって、総合試験の結果は合格であると認める。

# 博士学位論文要旨

論文題目 : Vocal recognition in primate: Comparison between Japanese macaques and humans

靈長類における音声認識 : ニホンザルとヒトの種間比較

氏名 : 古山 貴文

要旨 :

## 【第1章 序論】

本論文では、ニホンザルとヒトの音声認識を調査し、靈長類における音声認識機構の違いについて検討を行った。ヒトを含む多くの靈長類は、音声を用いて他個体とコミュニケーションを行っている。複雑な社会を構成している靈長類にとって同種の個体が発声した音声を正確に知覚・認知することは、社会を形成・維持することや外敵から自身や群れを守るために必要である。さらに、ヒトと進化的にヒトに近い靈長類との比較研究は、それぞれの種が保有している能力を直接比較することができ、その能力が進化的に保持されているかどうかを議論するために重要な役割を果たすと考えている。本研究では、基本的な音声認識の比較として、振幅変調音の時間解像度について研究を行った。さらに、高次音声認識の比較として、音声のみで他個体の音声を弁別する際に必要とする音声情報についてニホンザルとヒトについて比較・検討を行った。

## 【第2章 広域白色雜音の振幅変調音に対する知覚 : ニホンザルおよびヒトとの比較】

第2章では、靈長類の振幅変調音に対する知覚について研究を行った。過去の研究においては、ヒトとヒト以外の靈長類の可聴領域や周波数の弁別閾値などについてよく比較・検討されている。しかしながら、靈長類の発聲音声は周波数とともに音圧も時間的に変化(振幅変調)している。また、ヒトの音声における振幅変調情報は音声を知覚する上で必要な音響特徴の一つであるといえる。基礎的な音声認識の比較では、周波数分解能だけではなく、時間分解能についても比較する必要がある。そこで、ヒトとニホンザル訓練およびテストを行い、振幅変調音に対する感度を計測および比較した。

ヒトとニホンザルを Go/NoGo オペラント条件付けを用いて訓練およびテストを行った。Go 刺激として、500 ms の時間長を持つ広域白色雜音を用いた。NoGo 刺激として、Go 刺激に 50 ms の空隙を 2 ケ所等間隔に設けた広域白色雜音を用いた。Go 刺激から空隙区間の音圧レベルを 11, 29, 50, 75, 87 % 減少させた音をテスト音声として用いた。各被験体および被験者のテスト刺激に対する反応時間を計測・比較した。

その結果、サルのテスト刺激に対する反応時間は、テスト刺激の空隙部分の変調度が 75% 減少したときに、Go 刺激に対する反応時間と有意な差が生じた。一方、ヒトのテスト刺激に対する反応時間は、テスト刺激の空隙部分の変調度が 27% 減少したときに、Go 刺激に対する反応時間と優位な差が生じた。ヒトはサルよりも約 2.5 倍(約 8.9 dB) 振幅変調音を聞き分ける感度が高かった。ヒトの音声は、約 3–10 Hz で振幅変調している。一方、ニホンザルの音声では、ヒトの音声のような振幅変調している音声は少ない。そのため、サルよりもヒトのほうが振幅変調音

に対する感度が高いと考えられる。

### 【第3章 ニホンザルの発声を識別するための音声情報：ニホンザルおよびヒトの種間比較】

第3章ではヒトとサルにおいてサルの発声個体を識別する際に重要としている音声情報を比較した。ヒトを含めた多くの靈長類は、音声のみで他個体を識別することが可能である。過去の研究では、ヒトの音声に対してサルとヒトにおいて異なる音声認識をしていることを示している。また、機能的核磁気共鳴画像(fMRI)法を用いた研究では、側頭葉において異種の音声や環境音よりも同種の音声に対して強い反応を示した。この結果は、種特異的な音声に対して特別な認識および処理をしていることを示唆している。しかしながら、同種の音声と異種の音声に対して、発声者を識別する為にどのような音声情報を使用しているかについて行動学的に調べた研究は少ない。そのため、ニホンザルの音声を識別するための音声情報をニホンザルとヒトで比較した。

本実験では、被験体として2匹のオスのニホンザル、および被験者として5人のヒトを用いた。訓練音声として、被験体以外のオスのニホンザル(サルAとサルB)の音声を用いた。Go/NoGoオペラント条件付けにより、被験体および被験者は、サルAの音声とサルBの音声を弁別できるように訓練された。テスト音声としてサル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。さらに、声帯振動を変化させず声道特性のみを変化させた音声と、声道特性を変化させず声帯振動のみを変化させた音声もテスト音声とした。これらのテスト音声を再び被験体および被験者に聞かせ、反応を計測した。

結果として、テスト音声がサルAからサルBの音声に変化するにつれて、サルおよびヒトの反応もその変化率と相關した。この結果により、サルAからサルBの音声連続体刺激が作成に成功したことをサルおよびヒトの行動実験にて確認した。

さらに、サルでは、声帯振動および声道特性を変化させた刺激に対して、音声の弁別反応が変化した。一方ヒトでは、声帯振動を変化させた場合に、音声の弁別反応が変化し、声道特性を変化させた場合には反応はほとんど変化しなかった。これは、ヒトとサルにおいて、サルの音声を弁別する際には、異なる音声情報を用いて弁別していることが示唆された。この行動実験の結果は、同種および異種の音声を弁別する際には、種特異的な音声情報処理をしている可能性を示唆した。

### 【第4章 ニホンザルが音声のみで他個体を識別するために必要とする音声情報：声道特性の役割】

第4章では、ニホンザルが発声者を識別する際に重要としている音声情報を調べた。音声によってコミュニケーションを行う際には、発聲音声の内容だけではなく、だれがその音声を発声したかを識別することが必要である。ヒトが発話者を識別する際には声道特性が重要であると報告されている。さらに、ニホンザルは野外計測にて、音声のみで発声個体を識別している可能性がある。しかしながら、ニホンザルにおいて声帯振動(基本周波数)と声帯から口までの空間による共鳴特性(声道特性)のどちらが発声者を識別するために必要かについては未だに議論されている。そのため、ニホンザルにおいて同種の音声を弁別する際に必要とする音声情報を調査した。

被験体として2匹のオスのニホンザルを用いた。訓練音声として、被験体以外のオスのニホンザル(サルAとサルB)の音声を用いた。Go/NoGoオペラント条件付けにより、2匹のニホンザル

に、サルAの音声とサルBの音声を弁別できるように訓練した。サルAの声道特性とサルBの声道特性を入れ替えた音声(サルAの声帯振動とサルBの声動特性を持つ音声、サルBの声帯振動とサルAの声動特性を持つ音声)を作成しテスト音声とした。これらのテスト音声を再び被験体に聞かせ、反応を計測した。

その結果、2匹の被験体とともに、サルAの声道特性を持った音声に対してはサルAと判断し、サルBの声道特性を持った音声に対してはサルBの音声として判断した。この結果は、サルがサルの音声を聞き分ける際には、音源である声帯振動よりも共鳴特性である声帯から口までの声道特性を重要な手がかりとしていることを示唆した。これは、ヒトが音声のみで個体識別する際に必要な音声情報と同様であった。

### 【第5章 総合考察】

第5章では、これまでの研究を総括し、今後の展望について記載した。本論文では、ニホンザルとヒトの音声認識について研究を行い、靈長類における音声認識機構の違いについて検討を行った。第2章では、ヒトとサルにおいて音の時間分解能について行動学的に比較し、基礎的な音声認識の能力が異なることを示唆した。第3章では、ニホンザルの発声を識別するための音声情報をニホンザルおよびヒトにおいて種間比較を行った。その結果、同種の音声を弁別する際には、種特異的な音声認識をしている可能性が示唆された。第4章では、ニホンザルが音声のみで他個体を識別するために必要とする音声情報をについて基本周波数情報と声道特性情報に着目し、行動実験を用いて検討した。その結果、ニホンザルもヒトと同様に声道特性情報を用いて他個体の音声を識別していることが示唆された。これは、同種の音声において、ニホンザルも話者を識別する際にはヒトと同様の音声処理を行っている可能性を示唆した。今後の研究としては、それぞれの種の音声認識に対し、どのような神経基盤に違いがあるかについてさらなる検討を行う必要がある。