

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03503

研究課題名(和文) ヒト発話コミュニケーションの進化と成立：前駆体能力に関する実験的研究

研究課題名(英文) Evolution of human speech communication: an experimental study of speech precursors found in primates

研究代表者

香田 啓貴 (Koda, Hiroki)

京都大学・霊長類研究所・特定准教授

研究者番号：70418763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトの言語は、ヒトらしい心の働きでありその進化を調べるためには、言語を生み出す様々な生物学的な特性について調べる必要がある。本計画では、その生物学的な下位項目として、発話の進化を設定し、サルの発声の特性を心理学的、生理学的、形態学的に様々に調査することで、ヒトの発話以前に成立しているサルの発声の特徴について精査した。特に、発声運動の学習実験を、サルに訓練し、その発声運動操作の特徴について調べることを中心的テーマとした。分析の結果、サルの発声運動は運動操作が随意的に学習されるが、その発声運動に先立って、身体運動、特に頭部運動が必ず随伴・先行して駆動することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サルを対象にした発声操作の訓練は、訓練に大変手間がかかるため、世界でも取り組む研究者が少なかった。そのため、特に成獣個体での、発声操作中の身体動作との結合性の解析については、手付かずだった。論文成果は現在取りまとめているが、初めて得られた知見も多く、ヒトのみが発話を獲得した経緯について、全身の身体動作の成熟とどのような関連があったかについての重要な報告となり、人類進化の議論に大きな貢献をもたらすと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Human language is a function of the human mind, and in order to investigate its evolution, it is necessary to examine the various biological characteristics that give rise to language. In this project, we set the evolution of speech as one of the biological components and investigated the characteristics of vocalizations of monkeys from psychological, physiological, and morphological viewpoints to examine the characteristics of vocalizations that were established prior to human speech. In particular, the central theme of the study was to train monkeys in vocal motor learning experiments and to investigate the characteristics of their vocal motor operations. The results of the analysis revealed that the vocal movement operations of monkeys were learned voluntarily, but that the body movements, especially the head movements, were always accompanied and preceded by the vocal movements.

研究分野：認知生物学

キーワード：発話進化 言語進化 発声運動 随意運動 身体動作

1. 研究開始当初の背景

霊長類を含む哺乳類の音声は、発声器官（肺や喉頭、舌、顎、口など）が関与するさまざまな筋肉群の身体運動の強調によって生成される音であり、身体運動である。霊長類の発声運動を物理現象として捉える場合、呼吸運動によって生じる気流を基本として、その気流によって生じる規則的な空気の振動が主に喉頭に配置された声帯によって、音声の原音が生成される。その原音（喉頭原音）が、舌や喉頭腔などから構成される声道空間でよって音響的な変化（共鳴）をうけ、最終的に我々が近くする音声となる。このように、サルやヒトの発声運動は、単一の身体器官・運動によって決定されているわけではなく、呼吸や表情、発声といった、発声とは本来無関係な、さまざまな身体運動の統合により生じていると考えられる。さらに、こうした個々の発声に関連する身体運動器官の運動制御の原理は、重複（呼吸運動には胸郭運動が関連し、胸郭運動は四肢の運動制御としての結合性・関連がある）している面もあり、相互に独立しているのではなく、依存した運動制御の関係といえる。したがって、発声運動の原理を理解する際には、発声器官身体全体の動きと相まって検討される必要がある。実際、これまでの先行研究では、動物（具体的に鳥であるから調べる）やヒトを対象に、個体の舞踏（「ダンス」と呼ぶ）の運動時に同時に発声する際に、声の生成と発声運動とは異なる身体運動の自発運動の間には、極めて強い結合性（発声と動きの同調現象など）があることが明らかにされている。これらの研究から、発声運動とそれ以外の身体運動、とりわけ、頭部の運動や呼吸といった律動的運動の間で、運動を調整・制御する原理の共有や重複が存在するために、こうした発声と身体動作との運動結合現象を引き起こすのだろうと考えられている。

ヒトを対象にした音声発達の先行研究によると、泣き声から発話運動への発声運動の変化過程において、発声運動と身体運動の成熟化との間に、深い関連性があることが明らかにされている。生後最初の1年間の音声発達を調べた研究によると、泣き声の出現後、生後2ヶ月程度から出現し始める発声には、クー音(coo, 鳩音と呼ばれる)や喃語(babbling)といった前言語音声から発声発達が進行し、喃語に出現する共鳴特徴や音節化が発話音に直接結びつくと考えられている。興味深いことに、こうした発話運動獲得に至る、喃語の発声運動において、前肢や後肢といった四肢運動の律動的な動きとの高い同調が確認でき、喃語の発声運動と身体運動には、律動の成熟と同調が確認できる。その他の研究によれば、はいはいが出現し始めた乳児では、座位姿勢中で発声する（それ以外の姿勢や運動では発声頻度が少ない）ことが報告されている。こうした証拠から、発話に至る発声運動は、独立的に発達し成熟化するのではなく、むしろ他の身体発達からのつよい相互作用を受けながら成熟すると予想されている。

一方で、近年になり、ヒト以外の霊長類で、これらの発声運動と身体運動の関連性をさぐる研究が進んでいる。コモンマーモセットを対象にした最新の実験では、身体行動の寄与が声の発達に結びついているという仮説に関して、実験的に調べている。新世界ザルの一種であるコモンマーモセットでは、ヒトの声の音声発達と類似した発達段階が存在することが、近年報告されている。生後直後から1年間継続的に発声および身体運動動作の発達を観察した結果によると、1. 発声運動の発達は、姿勢や移動運動の成熟と強い相関があること、2. しかし、発声運動の発達に先立って姿勢や移動運動のような身体全体に関与する身体運動が先行する必要がないこと、3. 一方で、発声と身体運動の関与は、発達に伴い弱くなる可能性がある、ことであり、発声と身体運動の結合性が成獣では弱まるといった主張が主であった。

このように、ヒトとヒト以外の霊長類、双方の実験に基づく証拠からは、身体運動全体を考慮して発声運動の発達を解釈するという考えの重要性が強調されている。しかしながら、こうした観点に基づいた研究、とりわけヒト以外の動物における実験的な研究は、コモンマーモセットの研究以外でほとんど実証的なものが存在していない。これまでの多くの動物を対象とした発声—身体運動の関連性分析では、自発的な発声行動と自発的な身体運動を、自然な状態で観察し、発声運動と身体運動との間の運動相関を分析する研究がほとんどである。運動動作を実験的に操作させ、その中で発声と身体運動を検討する方法は、いまのところ動物では実施されていない。いっぽうで、発声運動と身体全体の運動動作の運動同調や運動結合性を、より直接的に調査する方法としては、実験的に動物の発声行動を誘発させ、発声運動の実行の実行前、実行中、実行後の身体運動を直接観測し、評価する方法が有力だろうと考えられた。

2. 研究の目的

そこで、今回、ニホンザルを対象に、発声運動を任意の視覚刺激によって運動実行させる発声の条件づけ訓練を実施し、その訓練によって誘発させた発声運動と、訓練の強化学習には本来無関係の他の身体行動の間に、どの程度の運動の結合性が生じているか調査を主目的として実験を各種行った。また、発声の生理・形態学的な運動機序の基礎も併せて調査を行い、関連する資料を収集して、霊長類の系統で、ヒトのみが発話を成立させている生物学的な原因についての統合的な解釈をすることを目標とした。

3. 研究の方法

任意の視聴覚手がかりを、設置したモニターとスピーカーから提示し、提示後 10 秒以内に発声することを要求する発声条件づけ訓練に基づく運動操作学習実験を、3 頭のニホンザルを対象に実施した (図 1)。

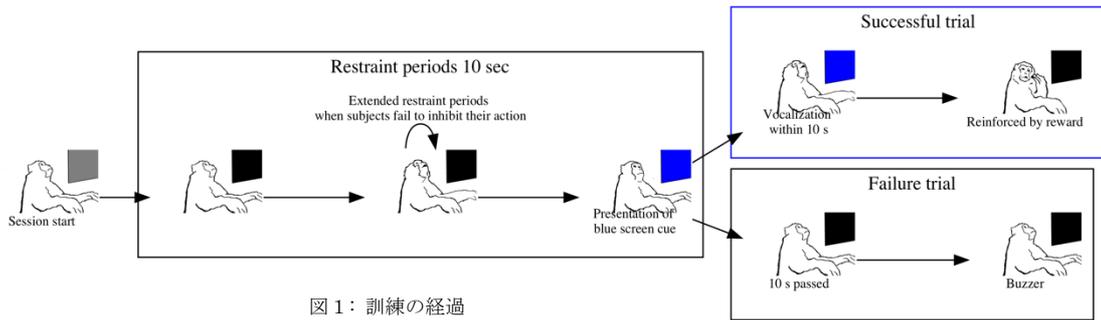


図 1: 訓練の経過

ニホンザルは、視聴覚手がかり (0.2 秒間の 440Hz の純音刺激と画面色の変化の同時提示) が同時提示されたときに、ただちに発声を実行するように十分に訓練されていた。この十分に訓練されたニホンザルと訓練課題スケジュールを利用して、実験を実施した。実験中は、サルはモンキーチェアに保定され、頭部位置を緩やかに固定した。頭部は、首の回転が許され、頭部動作として、頭部回転が評価できた (図 2)。

解析においては、発声運動操作実験中の発声の状態を記録し、そのビデオの記録から、発声と合図提示のタイミングなどを基準として、頭部回転角度 (θ) を産出し、以下の内容を検定した。

1) 発声中の頭部回転運動、2) 発声直前の頭部回転運動、を検討した。そして、 θ を、発声手がかりに直後に正しく成功したときの誘発発声のオンセット時間 (誘発発声オンセット時)、各試行の手がかり提示のタイミング時間 (手がかり提示タイミング時)、実験中に記録されたすべての θ (ベースライン時) を、それぞれ計算し可視化して、その傾向を比較した。

4. 研究成果

図 3 は、ベースライン時 (上段)、手がかり提示タイミング時 (中段)、誘発発声オンセット時 (下段) における、頭部回転角度データ (θ) についての極座標ヒストグラムを示している。ヒストグラムを見ると、3 頭のサルは実験中の間は、基本的にモニター方向 (左側、 -180 度または 180 度) を見ていることがわかる (ベースライン条件)。同様に、手がかり提示タイミングにおいても、モニター方向を見ており、極座標ヒストグラムの分布はベースラインの累積データと類似していた。一方で、発声オンセットでの頭部回転角度 θ の極座標ヒストグラムの分布は、ベースライン条件や手がかり提示タイミング条件と比較して、裾野が広く「不安定な」分布となっていた。発声時では頭部回転角度が、一定というわけではなく不安定であることを示唆していると考えられた。

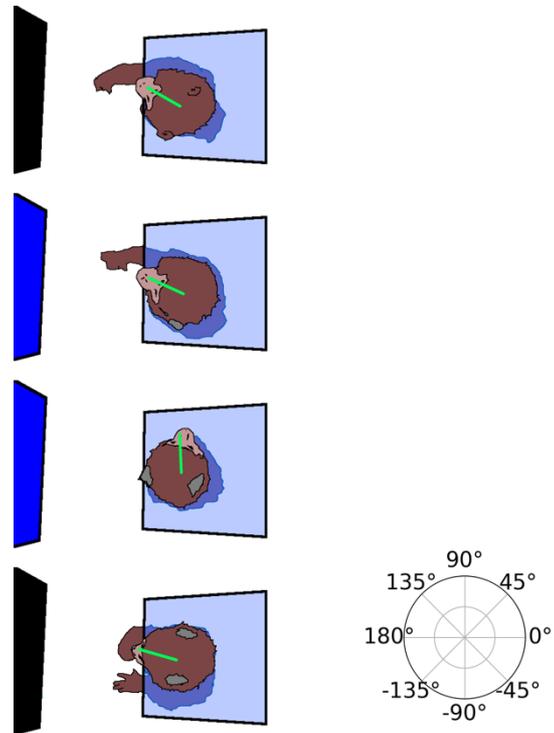


図 2: サル上方から見た時の様子。直線は、サルの頭部方向を画像解析から評価し、描画している

これらの結果から、1) 全てのサルが発声開始時に頭部回転運動については、不安定な状態を示していたこと、2) 頭部回転角度は、発声時よりも手がかり提示の方が安定していたことを推定した。頭部角度の分布では、発声時の頭部方位は、手がかり提示タイミング時やベースライン時と異なる分布だった。サル全個体、基本的にモニター方向を見ている可能性が高かったが ($\theta = 180$ もしくは $\theta = -180$ 付近が最頻値となる)、発声時ではモニターからやや右側に回転しやすかった ($90 < \theta < 180$ 付近)。ある 1 個体はその典型例を示し、発声のタイミングで約 90 度右側に回転していた (図 3(b))。つまり、サルは手がかり提示後に、頭部回転を開始し、その後に発声が

実行されていると推察された。つまり、成熟個体においても、発声運動操作の学習が、極めて困難なサルでは、誘発される発声運動においては、頭部回転運動という形が発声運動に先立って出現しており、身体運動動作と発声運動との間に結合性が生じていることが推定できた。これらの結果から、身体運動がサルの発声運動操作においては重要な役割があるものだと考えられた。

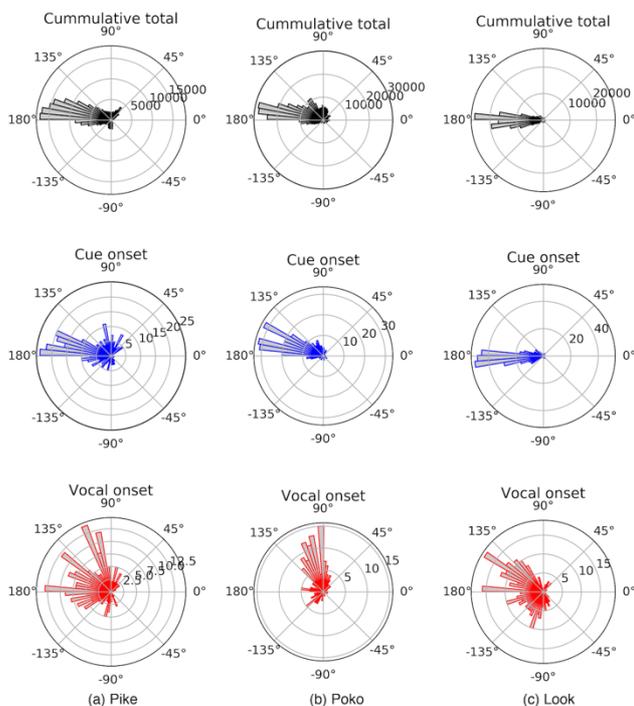


図 3: 頭部回転角度の分布。(a), (b), (c)はそれぞれ3頭のサルのデータに該当し、上段はベースライン時(すなわち実験中の全分布)、中段は手がかり提示タイミング時、下段は誘発音声オンセット時を示す。誘発音声のオンセット時点で、頭部の回転方位が変化していることが観察できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Toyoda Aru, Maruhashi Tamaki, Malaivijitnond Suchinda, Koda Hiroki	4. 巻 61
2. 論文標題 Dominance status and copulatory vocalizations among male stump-tailed macaques in Thailand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 685 ~ 694
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10329-020-00820-7	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 該当する

1. 著者名 Koda Hiroki, Kunieda Takumi, Nishimura Takeshi	4. 巻 5
2. 論文標題 From hand to mouth: monkeys require greater effort in motor preparation for voluntary control of vocalization than for manual actions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 180879 ~ 180879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.180879	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Koda Hiroki	4. 巻 -
2. 論文標題 Integrations of Multiple Abilities Underlying the Vocal Evolutions in Primates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Origins of Language Revisited	6. 最初と最後の頁 55 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-4250-3_3	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4件（うち招待講演 3件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 香田啓貴	
2. 発表標題 コミュニケーションの미래のカタチ	
3. 学会等名 第10回超異分野学会（招待講演）	
4. 発表年 2021年	

1. 発表者名 香田啓貴
2. 発表標題 サルの発声からヒトの発声に至る道筋
3. 学会等名 日本語用論学会第22回大会シンポジウム『音声・言語・こころ：ヒトのコミュニケーションの進化的起源をいかに捉えるか』（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香田啓貴
2. 発表標題 音源定位技術が切り開くサルの生態と会話における未解決問題
3. 学会等名 第 55 回 AI チャレンジ研究会特別講演（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Koda
2. 発表標題 Animal songs before emergences of hierarchical structures
3. 学会等名 Protolang 6 (国際学会)
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	西村 剛 (Nishimura Takeshi) (80452308)	京都大学・霊長類研究所・准教授 (14301)	形態学的考察、生理計測

6. 研究組織（つづき）

	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	足立 幾磨 (Adachi Ikuma) (80543214)	京都大学・霊長類研究所・准教授 (14301)	視聴覚実験の実施、考察
研究分担者	森田 堯 (Morita Takashi) (10837587)	大阪大学・産業科学研究所・助教 (14401)	動画解析基盤の提供

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			
オーストリア	ウィーン大学認知生物学部			