

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540066

研究課題名(和文) チンパンジー乳児の音列知覚機構からみたヒトらしさの解明

研究課題名(英文) Humanness revealed by a auditory syntax processing in Chimpazee infant

研究代表者

脇田 真清 (Wakita, Masumi)

京都大学・霊長類研究所・助教

研究者番号：40301270

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：会話などの絶え間なく連続する聴覚情報を分析して単語のような規則性のある音列を抽出する過程は、ヒト言語の特徴の一つである。ヒト以外の霊長類においてこうした能力を調べるため、研究期間内にチンパンジー乳児が入手できなかったため、コモンマーモセットを用い、モールス信号のような刺激パターンの弁別訓練をおこなった。その結果、サルは音の周波数などの物理的特徴を認識できるが、音の順序の特徴を正しく認識できず、音列の規則性を長期記憶に貯蔵できないことが明らかとなった。この結果は、先行研究の結果とは矛盾するが、サル聴覚記憶に関する認知研究や、ヒト言語の神経基盤に関する神経解剖学研究の知見に裏付けられる。

研究成果の概要(英文)：One of the essential linguistic faculties of humans is the ability to recognize the regularity of sound configurations to extract words from syllable sequences in speech. Whether non-human primates can analyze such auditory regularities or detect boundaries of sound chunks is controversial. Here, to investigate whether monkeys can analyze auditory syntax structures, 2 common marmosets were trained to discriminate auditory patterns. Consequently, the marmosets were not able to process the temporal configuration of sounds regardless of the complexity of the stimulus, whereas they could recognize the acoustic features of the stimulus. The current findings did not coincide with previous findings that suggest an ability to process syntactic rules of sounds in monkeys. The present results may be supported by recent neuroimaging studies: the modest organization of the arcuate fasciculus in non-human primates may not carry sound syntax information.

研究分野：認知神経科学

キーワード：サル シンタクス 音列 聴覚弁別 言語 比較認知神経科学

## 1. 研究開始当初の背景

言語の使用はヒトとヒト以外の動物を分ける特徴の一つである。とりわけ言語には、会話などの絶え間なく連続する聴覚情報を分析して単語のような規則性のある音列を抽出する過程、すなわちシンタクスの処理が重要である。シンタクスは言語理解のみならず、音楽知覚にも観察する行為の理解や模倣にも必須であるため、シンタクスの処理はヒトに固有の能力だと考えられる。また、ドメインの違いに関わらずシンタクスの処理にはブローカ野を含む左下前頭皮質などの共通の神経基盤が関わる。すなわち、聴覚情報のシンタクスの処理能力を調べることは、このドメインにとどまらず、シンタクス処理が必要で、ヒトに固有だと考えられる認知機能全般を調べることになると考えた。

これまでに野外観察や野外におけるプレイバック実験、選好注視法を用いた行動実験によって、サルなども音列に含まれる要素の順序の違いを理解するとされてきた。しかし、サル聴覚記憶に関する認知研究では、聴覚情報は先行・後続音に影響されることがわかっている。また、近年の神経画像研究によって、ヒトでは単語を認識する際に音節の順序の情報を伝える神経線維束が、ヒト以外の霊長類では未発達であることが明らかにされている。マカクザルと比べ、チンパンジーの弓状束はヒトに近いが、それでもヒト乳児の弓状束より未熟である。さらには、また、ヒト乳幼児において音列の抽出は要素の順序ではなくプロソディに依存することもわかっている。すなわち、ヒト以外の霊長類では要素の順序情報に基づいた音列処理は不可能なはずである。

## 2. 研究の目的

当初は、所属機関においてチンパンジーの誕生と同時に脳波計測によってシンタクスの処理能力の発達に伴う変化を調べる予定であった。しかし、チンパンジー新生児が誕生しなかったため、次善の策として成体チンパンジーによる脳波計測のため、外部機関に協力を依頼したが、すでに決定している研究スケジュールとの調整や、震災の影響などにより実施できず、チンパンジーを対象とする研究は断念した。そこで、予定した計画を準備しつつ、本計画の着想のきっかけとなった研究を進めることとした。すなわち、コモンマーマセットの行動実験によって、ヒト以外の霊長類における音列処理の仕組みをより深く調べることにした。

先行研究において、プレイバック実験では通常は発声されない順序に並べ替えた音声再生された。そのため、鳴き声の順序の違いに反応したのか、全体としての新規性に反応していたのかが明確にできない。また、馴化-脱馴化法を用いた選好注視実験には、長期間の訓練が不要で動物の自然な反応を評価できるメリットはあるが、結果の解釈が簡

単ではない。こうした問題を解決しつつ、サルの音列処理能力を明らかにするために、弁別訓練をおこなった。

## 3. 研究の方法

(1) 音列の規則性に基づいた弁別が可能かどうかを調べた。

①本実験では ABAB と AABB パターンの弁別訓練を行うが、もし、サルが要素 A (0.5 kHz/50 ms) と B (2 kHz/200 ms) を弁別できなければ ABAB と AABB の刺激パターンは主観的には同じ配列として認識されてしまう。そこで、要素 A と B との弁別が可能であることを確かめた。

被験体には、オスのコモンマーマセットを 2 個体用いた。実験は京都大学動物実験委員会の指針に従っておこなった。実験には、2 本の止まり木があるオペラントボックスを用いた。刺激として、A と B の要素を構成する次元の組み合わせ (2 周波数×2 時間) で 4 刺激パターンを作成した (図 1)。個体ごとにそのうちの 1 刺激を正刺激とし、それ以外を負刺激とした。訓練では、まず 1 本目の止まり木に 3-5 秒間滞在すると、刺激音を提示した。その刺激が正刺激であった場合は、5 秒以内に他方の止まり木に移動すると、報酬に 1 秒間アクセスできた (ヒット)。移動しなかった場合はミスとした。しかし、負刺激が呈示された場合は、止まり木の移動によって 3 秒間の暗間隔となった (誤警報)。移動しなければコレクトリジェクションとした。刺激の呈示順はランダムであったが、4 試行に一度どれかの刺激パターンを呈示した。1 日に 1 セッション 40 試行を行った。成績は総試行数に対するヒットとコレクトリジェクションの合計とし、学習基準を 70 パーセントとした。連続する 3 セッションで基準を満たせば訓練を終了した。

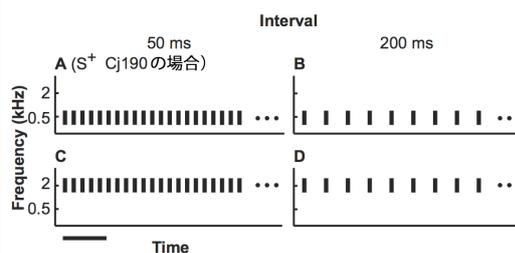


図 1 研究(1)①で用いた刺激パターン

②要素どうしの弁別を確認したのち、ABAB と AABB パターンの弁別訓練を行った。基本的な手続きは上記の通りであった。

刺激には、ABAB と AABB パターンの 2 刺激パターンを用いた (図 2)。個体ごとに正刺激をカウンターバランスした。刺激の呈示順はランダムであったが、2 試行に一度どれかの刺激パターンを呈示した。1 日に 1 セッション 40 試行を行った。成績は総試行数に対するヒットとコレクトリジェクションの合計とし、学習基準を 70 パーセントとした。訓

練の結果、成績が向上しなかったため、先の訓練に要したセッション数の2倍のセッション数で訓練を打ち切った。



図2 研究(1)②で用いた刺激パターン

(2) 音列刺激の短期記憶に依存した弁別が可能かを調べた。上述のパターン弁別では、正刺激と負刺激が訓練期間を通じて同一であり、試行間は長い無音期間で分割されていた。つまり、参照できる外部手がかりがないため、課題の遂行のためには、刺激音列を長期記憶に貯蔵しなければならず、その負荷のために絶対弁別ができなかったかもしれない。このことを明らかにするために、変化検出課題を用いた弁別訓練の結果を、絶対弁別課題の結果と比較した。そのために、まず絶対弁別訓練を行った後に相対弁別訓練を行った。さらに、学習歴の影響を排除するために、もう絶対弁別訓練を反復した。また、要素間の空白期間が長く、音列の規則性を知覚できなかったかもしれない。そこで刺激要素間の時間間隔を変え、AB-ABとAA-BBパターンとすることで、刺激パターンに局所的な特徴を加えた(図3)。絶対弁別条件では、上述のパターン弁別訓練と同じ手続きで訓練した。変化検出課題をもちいた相対弁別訓練では、まず1本目の止まり木に3-5秒間滞在すると、どちらかの刺激パターンを参照刺激として提示した。正試行では、2-6秒後に標的刺激に置き換わった。標的刺激の提示から5秒以内に他方の止まり木に移動すると、報酬に1秒間アクセスできた(ヒット)。移動しなかった場合はミスとした。しかし、負試行では、参照刺激が提示され続け、止まり木の移動によって3秒間の暗間隔となった(誤警報)。移動しなければコレクトリジェクションとした。試行の順序はランダムであったが、2試行に一度どれかの刺激パターンを呈示した。1日に1セッション40試行を行った。成績は総試行数に対するヒットとコレクトリジェクションの合計とし、学習基準を70パーセントとした。連続する3セッションで基準を満たせば訓練を終了した。

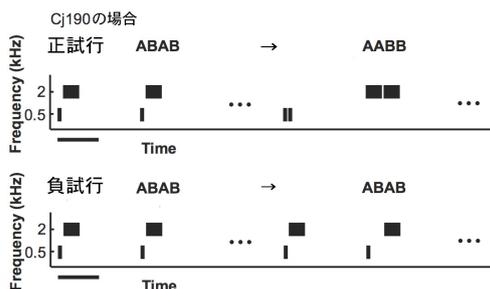


図3 研究(2)の相対弁別条件での刺激パターンの例

(3) 音列の時間的特徴が弁別効率に影響するかどうかを調べた。これまでの実験で、サルが音の順序を手がかりにまとまった音列を知覚しないことがわかった。また、音列の変化には気づくことができたことから、短期記憶に依存して刺激音列の予測ができることが示唆された。しかし、この結果によって、サルが刺激のパターン全体を予測したのか局所的な特徴を検出したのかは不明であった。この問題を解決するために、二つの相対弁別訓練を行い、結果を比較した(図4)。訓練条件の一つでは、研究1で用いた刺激と同じく要素のオンセットのタイミングが一定のABABとAABBパターンが一定の刺激音列を呈示した。もう一方の訓練では、要素間の無音期間が一定の音列パターンを用いて相対弁別訓練を行った。訓練は上述の相対弁別訓練と同じ手続きで行った。

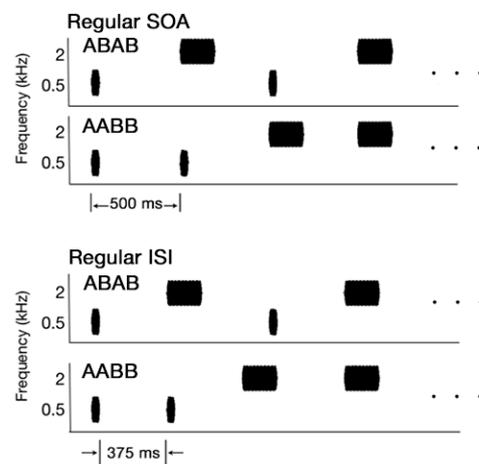


図4 研究(3)で用いた刺激対

#### 4. 研究成果

(1) 課題の遂行のためには、周波数と時間感覚の両方を同時に処理しなければならなかった。訓練開始後、どちらのサルも正刺激への反応を維持しつつ負刺激への反応を抑制することを学習した。その結果、音列を構成する物理的特性を弁別できた(図5a)。

そこで音列パターン弁別訓練を開始したが、負刺激への反応が抑制されず、刺激音列を弁別できなかった(図5b)。このことから、サルは音の周波数などの物理的特性を認識できるが、音の順序の特徴を正しく分析して音列の規則性を知覚できないことが明らかとなった。すなわち先行研究においてサルにおけるシンタクスの理解を示唆した研究では、配列が異なることで生じるプロソディの違いを手掛かりに弁別していた可能性を示唆することとなった。この結果は、学会において公表し、国際学術雑誌に投稿した。

(2) 音列パターンの時間的局所手がかりを与えても、順序の判断が困難なため絶対弁別はできないが、変化の検出はできると予想した。絶対弁別課題では弁別が不可能であったが、相対弁別課題では訓練にともない負刺激

に対する反応を抑制できるようになり、弁別が可能であった(図6)。この結果は、音列の規則性を長期記憶に貯蔵したり、その記憶を元に弁別したりはできないが、短期記憶に基づく弁別は可能であることを示している。すなわち音列を「語彙」として知覚することが不可能であるといえる。ヒト幼児には音列の弁別ができて、その音列を長期記憶に貯蔵できず、弁別が短期記憶に依存することが知られるようになった。その意味で、サルの音列知覚の仕組みはヒト幼児の聴覚認知のモデルになる可能性が示唆された。

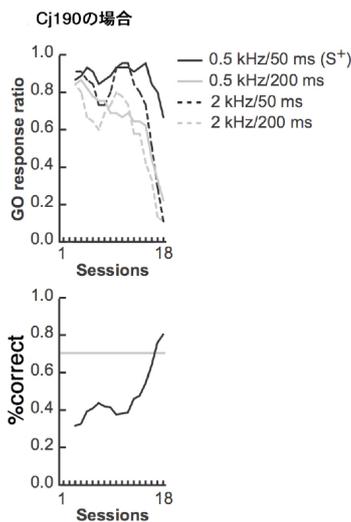


図5a 研究(1)①の結果

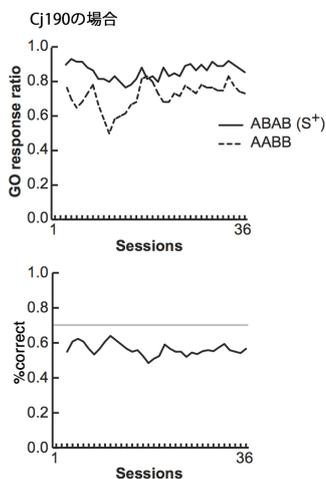


図5b 研究(1)②の結果

(3) 音列全体を予期できるなら、要素のオンセット間隔が一定でない音列からは規則性を抽出しにくい。要素のオンセット間隔が一定している刺激どうしの弁別訓練の方が学習基準に早く到達すると予想した。結果、1個体は音列の要素間の無音の間隔が一定で、まとまったチャンクの知覚が難しい刺激パターンどうしの刺激対での弁別効率が高かった。しかし、もう1個体では、この条件では学習基準に達することができなかった。2個体しか対象としなかったものの、比較し

た訓練条件での学習効率には種のレベルとして一貫した傾向がなかった。弁別のための局所手掛かりが提示される時間間隔の規則性が弁別方略に個体差があることを示唆している(図7)。この個体では訓練条件を交替させながら訓練が進行中である。

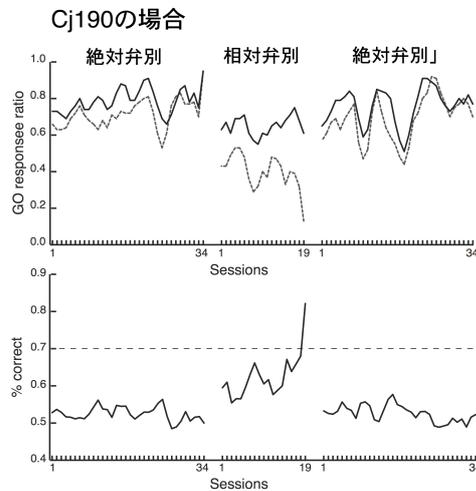


図6 研究(2)の結果

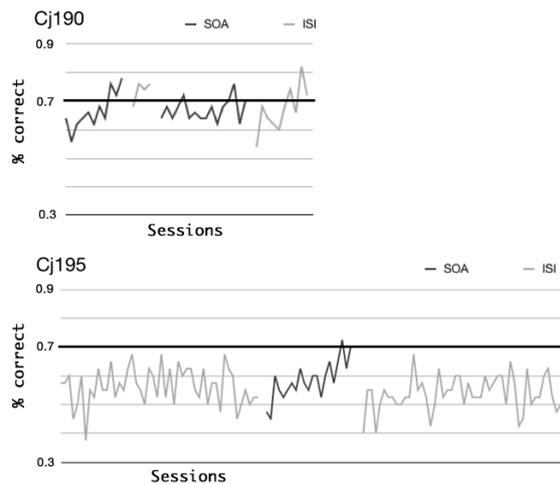


図7 研究(3)の結果

研究計画期間を過ぎた現在も、チンパンジー新生児はまだ誕生しないが、誕生すれば、当初の予定通り、規則的な音列を提示し、誘発された脳波を計測することで、ヒト以外の霊長類が全般的に音列のシンタクスに感受性が低いのかどうかを確かめる予定である。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

- ① Wakita, M. (2016) Interaction between perceived action and music sequences in the left prefrontal area. *Frontiers in Human Neuroscience* 10: 656. 査読あり <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00656>

- ② Koda, H., Tokuda, I.T., Wakita, M., Ito, T. and Nishimura, T. (2015) The source-filter theory of whistle-like calls in marmosets: acoustic analysis and simulation of helium-modulated voices. Journal of Acoustic Society of America 137: 3068-3076. 査読あり  
<http://dx.doi.org/10.1121/1.4921607>

〔学会発表〕 (計 4件)

- ① Wakita, M. Vocal communication in non-human primates revisited: Small New World monkey, big new horizon? In contributed symposium 'Marmoset cognition: clue for understanding cognitive evolution in social animals'. 第31回国際心理学会 パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市) 2016年7月25日
- ② Wakita, M. Auditory sequence perception in common marmosets (*Callithrix jacchus*). 第25回国際霊長類学会 ハノイ (ベトナム) 2014年8月12日
- ③ Wakita, M. Auditory sequence perception in common marmosets (*Callithrix jacchus*). 日本動物心理学会 第74回大会犬山国際観光センター (愛知県犬山市) 2014年7月20日
- ④ Wakita, M. Involvement of Broca's area in temporal control of action. 第9回欧州神経科学会 ミラノ (イタリア) 2014年7月7日

〔図書〕 (計 1件)

- ① 脇田 真清, 「絵はわかる？」 動物心理学会(監修), 藤田和生(編著)「動物たちは何を考えている? -動物心理学の挑戦-」 技術評論社. (2015) pp70-74.

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0件)  
○取得状況 (計 0件)

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

脇田 真清 (WAKITA, Masumi)  
京都大学・霊長類研究所・助教  
研究者番号: 40301270

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし

### (4)研究協力者

なし