研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

研究題目	キンカチョウにおける嗜好性音響の認知・生成・機能	報告書作成者	田中　雅史
研究従事者	田中　雅史		
研究目的	人間は、有史以前より様々な文化圏で音楽を営んできた[1)]。音楽は、単なる抽象的な音響であるのにもかかわらず、ある状況下で人の情動を強く動かし、人の美的感覚を刺激して快楽をもたらすことができる。また音楽は、共感を喚起して連帯感を強めたり、心の傷や身体の痛み、ときに神経疾患の症状すら緩和しうることが知られている[2)]。音楽は、どのようにしてこうした不思議な作用をもたらすのだろうか？音楽についての思索や研究は古くから行われているのにもかかわらず、そもそもなぜ人が音楽を営むようになったのかについてすら、いまだ謎に包まれている。進化の歴史においては、何かしらの選択圧が働いたことで人も音楽を獲得したのだと考えられるが、はたして音楽が生存や生殖に役立つのだろうか。人と進化的に比較的近いチンパンジーなどの霊長類であっても、原始的ながら音楽を生み出せるのかどうか、一定の結論はえられていない[3)]。音楽は、生物学的な制約を超越した人間の精神のみが享受する表現手段だとする近代思想の影響も根強く、近年でも音楽はもっぱら人のみを対象として研究されているのが現状であるが、ヒトを対象とした実験手法には制限があり、音楽を支える詳細な神経基盤は解明されていない。そこで、本研究は、キンカチョウというスズメ亜目の鳥(songbird, 歌鳥)の、新しい比較動物学的な音楽研究の動物モデルとしての可能性に着目し、その歌の音楽的特性や、音楽的嗜好、また、こうした音楽的特性がどのように世代を超えた文化として伝承されるか明らかにすることを目的とする。 文献 [1)]Doolittle E, & Brumm H. (2012) Journal of Interdisciplinary Music Studies. 6: 55-85. [2)]Holmes D. (2012) Lancet Neurology. 11(6):486-7. [3)]Wallin NL, Merker B, & Brown S. (2000) "The Origins of Music" (MIT press)		

研究内容	本研究では、キンカチョウを新しい音楽研究の動物モデルとして確立することを目指し、その音響的な認知・生成・機能を探究した。まず、オペラント条件づけを利用し、異なる抽象的音響が流れる2つのボタンを押す頻度から、キンカチョウが好む音響的特性を同定した。また、本研究は、キンカチョウの歌に音楽解析の手法を適用することで、その動的な音響特性を明らかにすることも目指した。キンカチョウの歌のリズム・旋律・ダイナミクスなどの音楽的特性は、MATLAB(Mathworks 社)とIgor(Wave Metrics 社)というソフトウェアにて定量化するアルゴリズムの解析を行った。さらに、こうした音楽的特性を備えた歌が、ヒトの音楽のように、世代を超えて鳥から鳥へと伝えられている可能性を検討するため、幼少期に成鳥から隔離されたキンカチョウの歌の分析や、様々な歌に対するキンカチョウの学習成績を調べた。本研究の成果によって、キンカチョウが、(1)抽象的音響への嗜好を有し、(2)音楽的な歌を生成する能力を持ち、(3)抽象的音響がもつ生物学的意義が明らかになれば、比較動物学的な音楽研究を拓く画期的な発見となることが期待できる。

研究概要報告書 【サウンド技術振興部門】

研究のポイント	(1) 認知:キンカチョウが好む音響的特性を同定する ・それぞれ異なる抽象的音響が流れる2つのボタンを押す頻度から、キンカチョウが好む音響的特性を同定する (2) 生成:キンカチョウの歌に音楽解析の手法を適用し、その動的な音響特性を明らかにする ・キンカチョウの歌の解析を行うソフトウェアを開発し、そのリズムなどの音楽的特性を定量化する (3) 機能:抽象的音響の生物学的意義を探る ・キンカチョウの歌の音楽的特性が世代を超えて伝承されていく文化的性質をもっている可能性を検討する
研究結果	予備実験から、キンカチョウは、メロディーとリズムを有する抽象的音響(サイン波から構成された単旋律)が流れるボタンを好んで押すことが明らかになり、本研究ではさらに、キンカチョウは、リズムを有するサイン音であれば、必ずしもメロディーが存在しなくても好む傾向があることがわかり、キンカチョウにとって、音響のリズムが重要な役割を果たしている可能性が示唆された。そこで、人の音楽分析にも使われるリズム推定法(リズモグラム)を使って、鳥の歌に含まれるリズムを解析してみたところ、どのキンカチョウの歌にも、1分あたり600回(600 bpm)程度で刻まれる速い安定したリズムが存在することがわかった。さらに、キンカチョウの歌の発声順序をランダムに入れ替えてシャッフルすると、このリズムが崩れることも明らかになり、キンカチョウは、さえずりの最中に、自分の発声の長さをダイナミックにコントロールすることで安定したテンポを保っていることが示唆された(**説明書図1参照**)。興味深いことに、ヒトの発話のリズムを分析してみたところ、こうしたダイナミックなリズム調節は見られなかったが、ヒトがアカペラで歌う歌には、キンカチョウの歌と同様のダイナミックなリズム調節が確認され、長くヒトの発話学習のモデルとして用いられてきた鳥の歌は、発話よりも歌に類似した時間的構造をもっていることが示唆された。歌の安定したテンポは生後の経験を通して身につくらしく、幼少期に他の鳥から隔離され、成熟した歌を聞いたことがないキンカチョウでも、成長とともに歌をさえずるようになるが、その歌はテンポの安定性が低く、安定したテンポは、世代間で伝承される文化的形質である可能性がある。事実、正常な歌の発声順序を入れ替えてテンポを不安定にすると、キンカチョウの好みが減少することも、オペラント条件づけによるボタン押しの実験から示唆された。
今後の課題	本研究によって、キンカチョウの歌のリズムには、ヒトの歌と類似した時間的性質が確認された。本研究で用いたリズム解析のアルゴリズムは、現在開発中の C++での音楽解析プログラムに実装予定であり、今後、メロディーやダイナミクスといった音楽的性質の解析を含めて、様々な動物種の発声や、ヒトの発話、歌、音楽を比較することで、それぞれの音楽的性質の違いを明らかにする予定である。キンカチョウは、伝承に適した歌を聞くときには、運動と関連した大脳皮質でドーパミンが放出されることで模倣のための神経回路が働くことが知られている(Tanaka et al., 2018 *Nature*)。今後の研究で、キンカチョウがもつ抽象的音響への好みを支える神経回路を解明できれば、キンカチョウという小さい鳥を用いた研究が、音楽の起源を理解する手がかりとなるかもしれない。

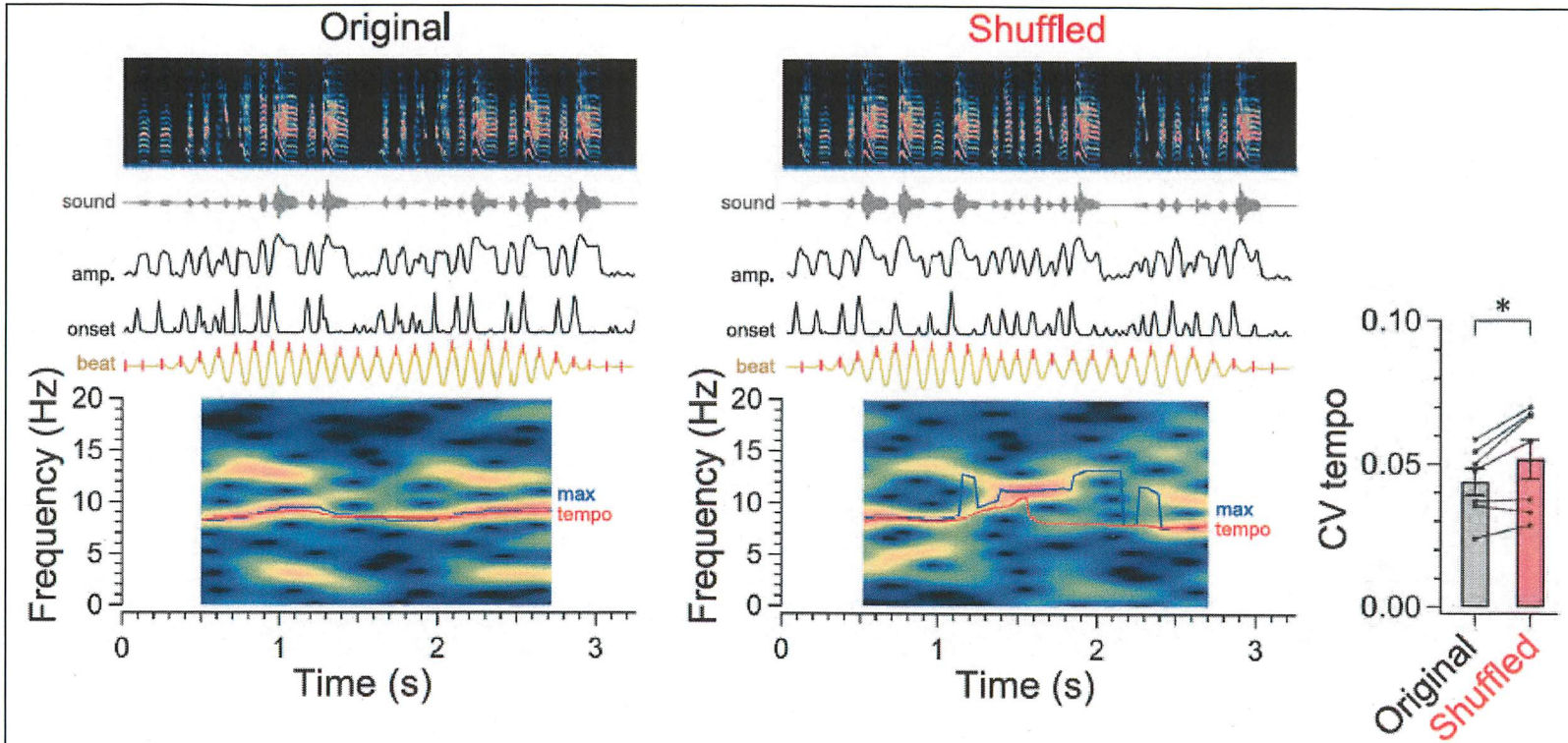

図 1. キンカチョウの歌のリズム分析と発声シャッフルの結果

キンカチョウの歌のリズムを解析するために、歌(左・中図の sound。上の図はスペクトログラム)に短時間フーリエ解析を行い、周波数成分 100～10,000 Hz でのマグニチュードを計算し(左・中図の amp.)、その微分波形を半波整流することで、発声の開始時間を推定した(左・中図の onset)。このオンセットに対して比較的長い時間窓(1秒)での短時間フーリエ解析を行い、そのマグニチュードの最大値(左・中図の max)に対して、さらに長い時間窓(2秒)で最頻値を計算し、その最頻値の周波数を中心とした対数正規分布(log-normal)で重みづけした時の最大値を計算することで、テンポの推定値とした(左・中図の tempo)。このテンポの推定値を逆フーリエ変換することで、歌のリズムを可視化することもできた(左・中図の beat。赤の縦線はピーク)。テンポの推定値は、通常のキンカチョウの歌では 10 Hz 程度で安定していたが(original。左図)、発声順序をランダムに入れ替えると安定性が減少する傾向がみられた(shuffled。中図)。テンポの安定性の指標としてテンポの変動係数(CV tempo)を計算したところ、発声順序を入れ替えると CV tempo が増大、テンポが不安定になることが示された($t(6) = 2.990$, $p = 0.024$, $n = 7$ birds)。

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)