

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：33901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25285198

研究課題名(和文) 感覚情報と運動の実時間同期メカニズムの解明 - 発声模倣能力を手掛かりにした研究

研究課題名(英文) Understanding the mechanisms for realtime sensory-motor synchronization - a study focusing capability for vocal learning

研究代表者

関 義正 (Seki, Yoshimasa)

愛知大学・文学部・准教授

研究者番号：50575123

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,200,000円

研究成果の概要(和文)：発声模倣(学習)能力とリズムに対する運動同調の関連を調べるために、オペラント条件づけ技術を用いてセキセイインコとジュウシマツを訓練し、メトロノーム刺激に合わせた運動を生成させた。そのタイミングを分析し、同調能力を比較検討した。セキセイインコとジュウシマツはともに発声模倣能力を有するが、その可塑性の程度が異なる。もし、先に提唱されている発声学習とリズム同調仮説が正しいとすればセキセイインコのほうがリズム同調能力が高いことになる。実験の結果、この仮説を示唆するデータが得られた。とはいえ、セキセイインコの実験結果もヒトの実験結果とはかなり異なることから、他の要因の検討も重要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：To understand the mechanisms for realtime sensory-motor synchronization, this study focused on the capability for vocal learning of budgerigars and Bengalese finches. Budgerigars have larger plasticity for vocal learning than Bengalese finches, so that we could expect that budgerigars show better performance in synchronization for rhythmic sounds, if we follow the "vocal learning and rhythmic synchronization hypothesis". The birds were trained to generate a series of key-pecking in response to a metronomic stimulus using an operant conditioning technique. The results revealed the Bengalese finches had a lesser performance than budgerigars; however, even in budgerigars, the performance were quite different from that of humans. Therefore, the study indicated further studies considering other factors in addition to vocal learning will be necessary to see the evolution and the mechanisms of the capability for rhythmic synchronization in perspective.

研究分野：比較心理学

キーワード：実験心理学

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトは行進曲に合わせて歩いたり、音楽のリズムに同調してダンスをしたりすることができる。しかし、このような能力は他の動物においては一般的ではない。例外的にオウムなど一部のトリにこの能力があるという報告があるため、リズム同調能力はヒトとオウムに共通である発声模倣（発声学習）能力の副産物として獲得されたのではないかという仮説が提唱された（Patel, 2006）。

### 2. 研究の目的

そのため、この仮説の妥当性を検証し、ヒトの音楽に対するリズム同調能力の起源とメカニズムについての理解を深めるために、発声学習能力の程度が異なる2種の鳥類（ジュウシマツ・セキセイインコ）およびヒトを対象にリズム同調能力を検討し、その結果を直接比較することで、発声学習能力との関連を調べることとした。

ジュウシマツは限定的な発声模倣能力を持つ。この種のヒナは成鳥のさえずりを聞いてそれを模倣する。また、その模倣のための神経系についてはオスのみに見られる。

一方で、セキセイインコはオス・メスともに発声模倣能力を持ち、その能力は生涯維持される。また、人の会話を真似することも知られるように、その可塑性はジュウシマツよりも相当程度高い。

これらの特徴を活かし、オペラント条件づけの技術により、統制条件下における十分な数の個体を用いた実験を行うこととした。

### 3. 研究の方法

#### (1)ジュウシマツを対象とした実験1：

一定のテンポで提示される視聴覚刺激つまり電子的なメトロノームに合わせた「つつき行動」を生成するようオペラント条件づけ技術を使って訓練した。一定テンポで提示される視聴覚刺激に対し、連続5回のつつき行動を生成するよう訓練した。テンポについてはすべての個体について、600ms、900ms、1200ms、1500msの各条件で実験した。また不定テンポ（600msから1800msまでのランダムな間隔）で提示される刺激に対するつつき行動も記録し、その応答時間と、一定テンポで刺激が提示された場合とでつつきタイミングを比較することができるようにした。

#### (2)ジュウシマツを対象とした実験2：

先の実験結果を受け、メトロノーム刺激を提示しながら、そのリズムに合わせたつつき行動を4回行わせ、その後、刺激を提示することなく、引き続き2回余分のつつき行動を生じさせる訓練を行った。この条件では個々の刺激に対する応答としてキーをつつくだけでは課題の要求を満たすことができない。つまり、メトロノームのリズムから刺激タイミングを抽出し、いわば「リズムの再生（再現）」をすることが必要になる。

また、神経系との関連を調べるために、一部の個体において、大脳皮質相当部位に位置し、また発声模倣の中枢ともいえる神経核HVCの損傷実験を行った。そして、この操作による本実験でのつつき行動への影響を検討した。

#### (3)セキセイインコを対象とした実験：

オペラント条件づけによりセキセイインコを対象に、左右2つの反応キーを交互につつくよう訓練した（図1）。被験体自身のペースで8回タップすれば、それがどのようなタイミングであっても報酬が得られるものとした。つつき行動の安定後、その自発的タップタイミングを分析し、タップ間隔の中央値をオンセット間隔（Inter Onset Interval; IOI）としたメトロノーム音を個体ごとに作成、それを聴覚刺激として呈示しつつ課題を行わせるテストをした。IOIを10%短縮、10%および20%伸長、不規則にした条件でもテストを行った。ここでも引き続き、被験体の自由なペースで8回タップするだけで報酬が得られるものとした。

これにより、自発的なリズムの生成ならびに身体運動における外的なリズムへの「引き込み」現象、つまりヒトが歩くときに行進曲につられて足が動いてしまう、というのと似た現象が見られるのかをどうかを検討した。



図1. (3)の実験において、セキセイインコが2つのキーを交互につついていく様子

(4)ヒトを対象とした実験：

13 人を対象に棒を使って左右のパッドを自由なタイミングで交互に叩く課題で同様にテストした。

#### 4. 研究成果

(1)ジュウシマツを対象とした実験 1：

刺激を提示しながらのキーつき行動は刺激の提示よりも遅れて生じた。つまり、リズムカルな運動パターンは生じたものの、これは個々のメトロノーム刺激への単純な応答から生じたものであることを示唆する結果であった(図2：上図)。このことから、ジュウシマツが刺激のタイミングからリズムを抽出し、リズムを予測してリズムにあわせて能動的かつリズムカルに運動することを示す証拠は得られなかった。

リズムに合わせた身体運動実験では、ヒトがメトロノームに合わせて運動する際には、それぞれの刺激が提示されるタイミングよりもやや先んじて身体運動が生じることが知られている。しかし、ジュウシマツにおいては、この現象も見られなかったということになった。

申請者らによるセキセイインコを用いた過去の研究(Hasegawa et al., 2011, Sci. Rep.)では、刺激のオンセット付近でのつつき行動が多くみられた。このことから、セキセイインコはヒトと同様に、刺激からリズムを抽出し、刺激の提示タイミングを予測できると結論した。しかしながら、ジュウシマツのつつき行動はこのセキセイインコの行動とも異なり、オス・メスともつつき反応はすべて刺激の提示に対する応答として解釈可能なものであった。

この違いは、セキセイインコの発声模倣が生涯続くのに対し、ジュウシマツのそれがヒナの時期においてのみ生じることに起因するものとも考察できる。

(2)ジュウシマツを対象とした実験 2：

この実験においては、トリにメトロノームに合わせて4回つつき行動を行わせ、その後、刺激の提示がなされるはずの時点で実際には刺激が提示されないにもかかわらず、そのタイミングで2回のつつき行動を生じることが求められた。この条件では、刺激が提示されるはずの時点で先立って、つつき反応が見られるようになった(図2：下図)。

つまり、リズムの後追いが不可能な条件においては、ジュウシマツであっても、メトロノームのリズムパターンを覚え、また、そのタイミングからリズムの再生ともいえるべき行動を生じることが示された。

ジュウシマツの身体運動におけるリズムの再生能力については、そのような行動が報酬の獲得につながる状況では、訓練次第でこれが引き出され得ることを示す結果を得た。なお、さえずりを生成する脳神経系の中核である HVC を損傷する実験を行った結果、これ

はさえずりのパターンに変化をもたらしたものの、身体運動によるリズム再生能力のパフォーマンスに影響を及ぼすことを示す強い結果は得られなかった。

ジュウシマツはリズムのタイミングを覚えてこれを自身で表現する能力を潜在的には有するものの、これは能動的に表れるわけではないと考えられる。

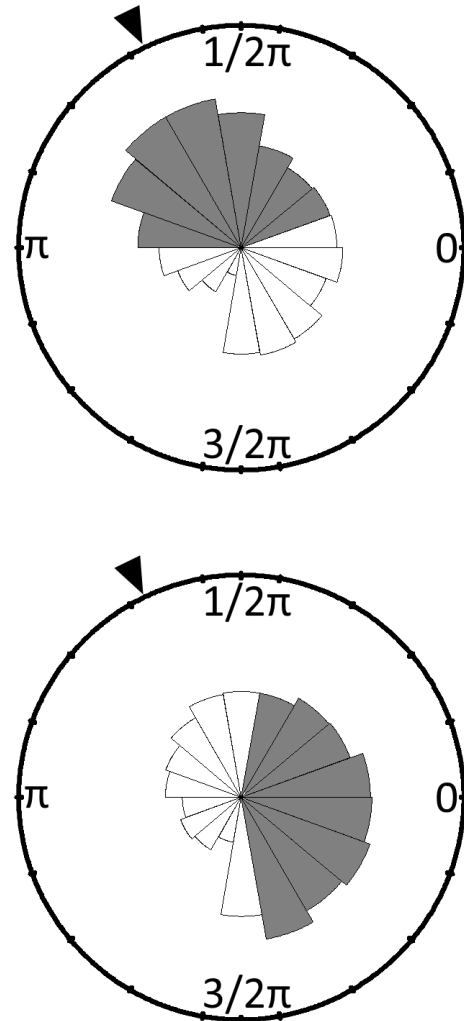


図2. ジュウシマツのキーつきタイミングの頻度分布を表したグラフ。反時計回りに時間の流れを表し、「0」がメトロノーム刺激の開始時点を表す。矢印は推定されるメトロノーム刺激に対する応答潜時を表す。着色部分は有意につつき反応の頻度が高い範囲を表す。

(上図)実験1の結果の1例。リズムに対する応答としてキーつきが生じていたものと考えられる。

(下図)実験2の結果の1例。リズムを予測してメトロノームの開始時点につつき反応を生じるようになったと考えられる。

なお、これら(1)(2)の研究結果をまとめた論文をすでに英文学術誌に投稿し、また査読のコメントに沿った改稿版を投稿している。

(3)セキセイインコを対象とした実験：

音刺激のオンセットを基準に各条件 700 回ずつのタップタイミングを分析したところ、つつき運動におけるメトロノームのリズムへの引き込みは、すべての個体において観察されたわけではなかった。しかしながら、一部の個体においては、引き込みと解釈可能なデータが得られた。2羽のインコにおいてはつつきタイミングの頻度分布は一様ではなく、有意な偏りが見られた(図3)。

また、短縮条件においては刺激オンセットにやや先立つ時点により多くの反応が生じた。加えて1羽のタップ間隔は、メトロノームの音間隔を短縮した条件では短く、伸長した条件においては長くなった(図4)。これは「引き込み」効果による影響と考えられる。

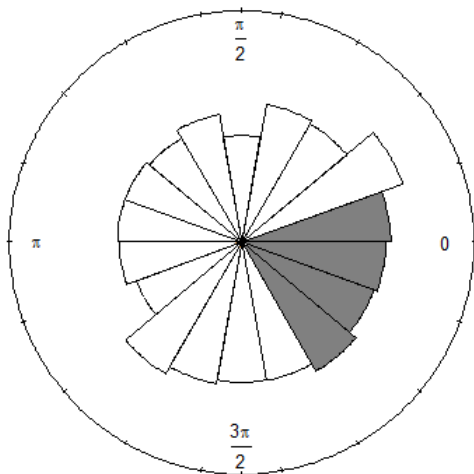


図3 . セキセイインコによる自己ペースのキーつつきタイミングの頻度分布を表したグラフの一例。グラフの表現形式は図2と同様。

自己ペースでつつくだけで報酬を得られるにもかかわらず、リズムの影響を受けメトロノームの開始時点につつき反応が生じているものと考えられる。

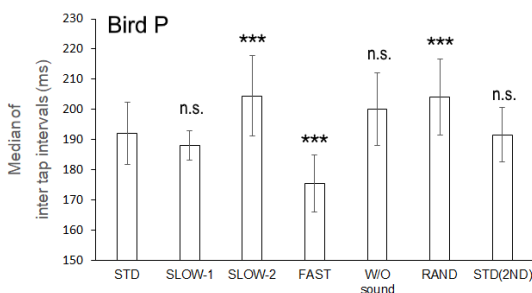


図4 . メトロノームの間隔の違いがもたらしたセキセイインコによる自己ペースのキーつつき間隔への影響を表したグラフの一例。STDは標準、FASTは間隔を短縮、SLOWは間隔を伸長、RANDは間隔を不定にしたメトロノームを提示したときのつつき間隔の平均(ミリ秒)と標準誤差を表したもの。\*は標準刺激に対するつつき間隔の統計的な差を表す(\*\*\*  $p < .001$ )

(4)ヒトを対象とした実験：

各条件 35 回ずつタップタイミングを分析したが、ほとんどの被験者から音のオンセット付近に強い偏りを持つ頻度分布を得た(図5)。被験者に対しては自己ペースでタップするようにとのみ教示したために、被験者ごとに課題を行うための様々な戦略を取ることが想定された。そして実際に、同調を拒む傾向を示した被験者も現れたが、そのような被験者でさえ、少なくとも一部の条件で、音のオンセットを基準に一定の偏りを示した。

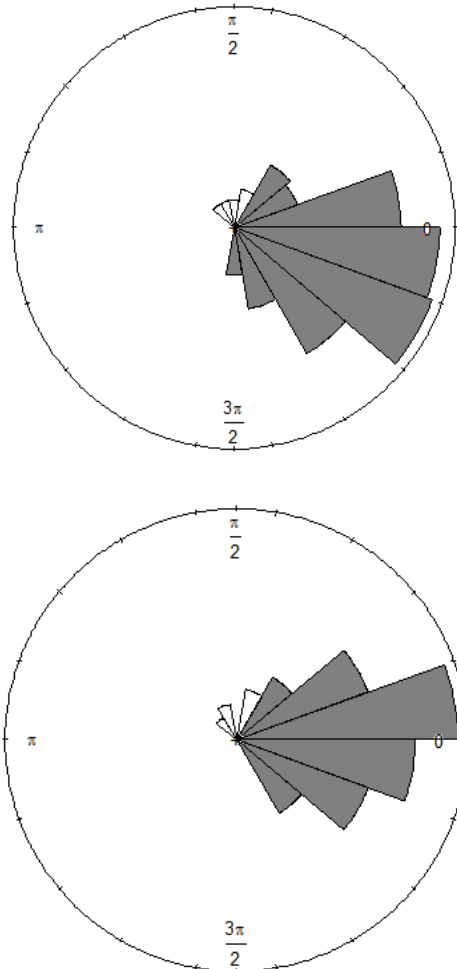


図5 . ヒトによる自己ペースのタップタイミングの頻度分布を表したグラフ。グラフの表現形式は図2と同様。

上図：標準メトロノームの提示条件  
下図：短縮メトロノームの提示条件

これらの結果から、ヒトのリズムに対する優れた同調能力およびリズムに対する強い同調傾向があらためて強調されることとなった。

一部のインコにおいて見られた現象は発声学習能力とリズム同調の関連を示したとも言える一方、この能力だけでヒトの優れた同調能力のすべてを説明できるものではないことも示唆された。

なお、(3)(4)の研究結果をまとめた論文についてはすでに英文学術誌に投稿し、査読のコメントに沿った改稿作業をしている。

加えて、研究期間には、研究の背景となる現象についてさらなる知見を得るため、これら鳥類の発声模倣能力と各種同調能力についての関連研究を並行して行った。それらについても学会、学術誌上にて各種報告を行った。

以上の成果全体から、本研究はリズムに対する身体運動の同調能力に対する発声学習能力の関連の可能性を示唆しつつも、ヒトの極めて優れたリズム同調能力には他の要素も関連している可能性を示したものと考えている。これにより、新たな研究の計画立案と実施が可能になり、またこのことはヒトの音楽性や同調行動の起源とメカニズムについての理解を増し加えていくことにつながるものと期待している。

#### 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 5 件)

Seki Y., Osmanski, MS. & Dooling, RJ. (2018) Failure of Operant Control of Vocal Learning in Budgerigars. *Animal Behavior and Cognition* 5(1):154-168. 査読有, DOI: 10.26451/abc.05.01.11.2018

Seki Y. (2017) What budgerigars tell us about vocal communication. *Journal of the Phonetic Society* 21(1):31-37. 査読有, DOI: 10.24467/onseikenkyu.21.1\_31

Ikkatai Y. & Seki Y. (2016) Effect of conspecific and heterospecific video playback on food consumption in budgerigars and Bengalese finches. *Psychologia* 59:81-90. 査読有, DOI: 10.2117/psysoc.2016.81

Ikkatai Y., Okanoya K & Seki Y. (2016) Observing real-time social interaction via telecommunication methods in budgerigars. *Behavioural Processes* 128:29-36. 査読有, DOI: 10.1016/j.beproc.2016.03.020

Seki Y. & Dooling RJ. (2016) Effect of auditory stimuli on conditioned vocal behavior of budgerigars. *Behavioural Processes* 122:87-89. 査読有, DOI: 10.1016/j.beproc.2015.11.002

[学会発表](計 12 件)

Seki Y. Cockatiels: a novel animal model for studying the evolution of music and language. 12th Evolution of Language International Conference, 2018年4月17日. Hotel Filmar (Torun, Poland)

夏目登子・神谷真由・林亜海・伊東采音・関義正 オカメインコヒナ音声の定量的分析による発達と個体差の検討 行動2017(日本動物行動関連学会・研究会合同大会)2017年8月30日 東京大学(東京都目黒区)

Seki, Y. Evaluation of capability for rhythmic synchronization in avian vocal learners using operant conditioning methods. 35th International Ethological Conference, 2017年7月31日. Estoril Congress Center (Estoril, Portugal)

関義正 「ヒトの音楽性に迫る: その起源と発達についての多角的検討」話題提供 日本赤ちゃん学会第17回学術会議, 2017年7月7日. 久留米シティプラザ(福岡県久留米市)

Seki, Y. Studies of rhythmic synchronization in avian vocal learners using operant conditioning methods 173<sup>rd</sup> Meeting of the Acoustical Society of America, 2017年06月27日. John B. Hynes Veterans Memorial Convention Center (Boston, MA)

Seki, Y. Entrainment to metronomic sounds in vocal learning birds; Studies using key pecking operant tasks 生物音響学会第3回研究発表会, 2016年12月11日. 伊良湖シーパークアンドスパ (愛知県田原市)

Seki, Y. Entrainment to metronomic sounds in vocal learning birds; Studies using key pecking operant tasks. 日本動物心理学会第76回大会, 2016年11月25日. 北海道大学(札幌市)

関義正 トリのさえずり・オウムの声まねを手がかりに歌・音楽の生得性を考える. 日本音楽教育学会第47回大会, 2016年10月9日. 横浜国立大学(横浜市)

関義正 トリは歌をうたうこと・聴くことを楽しむか: 生物学的に考える歌の生得性. 日本赤ちゃん学会第16回学術集会, 2016年05月21日. 同志社大学今出川キャンパス(京都市)

Seki, Y. Production of temporal interval in a key-peck task of Bengalese finches. Time and Awareness; a symposium and a workshop, 2015年12月18日. 東京大学駒場キャンパス(東京都目黒区)

Seki, Y., Okanoya, K & Ikkatai, Y. Production of temporal interval in a key-peck task of Bengalese finches. 日本動物心理学会第75回大会, 2015年09月10日. 日本女子大学目白キャンパス(東京都杉並区)

Seki, Y. & Okanoya, K. Lack of rhythmic synchronization in a key-pecking task of Bengalese finches. 日本動物心理学会第74回大会, 2014年07月19日. 犬山国際観光センター(愛知県犬山市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

関 義正 (SEKI, Yoshimasa)

愛知大学・文学部・准教授

研究者番号：5 0 5 7 5 1 2 3

### (2) 研究分担者

一方井 祐子 (IKKATAI, Yuko)

理化学研究所・BSI・研究員

研究者番号：0 0 7 0 9 2 1 4

(平成26年度)