

平成30年6月6日現在

機関番号：38005

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06724

研究課題名(和文) 学習を制限する臨界期の経験依存的神経回路成熟のメカニズムの解明

研究課題名(英文) Experience dependent neuronal circuit wiring regulating zebra finch song learning

研究代表者

杉山 陽子(矢崎陽子)(Yazaki-Sugiyama, Yoko)

沖縄科学技術大学院大学・臨界期の神経メカニズム研究ユニット・准教授

研究者番号：00317512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトの言語発達と同様にキンカチョウは成鳥の歌を聴いて覚え、模倣することで歌を学習する。本研究ではキンカチョウはどの様に自身の種の歌を検出し、ここから何を学ぶのか、その神経メカニズムを明らかにする研究を行った。その結果、キンカチョウの第一次聴覚野には歌のテンポと音響構造のそれぞれコードする二つの異なる神経細胞群が存在することを明らかにした。臨界期には親の歌を聴くことで、神経回路が形成されるが、これとは別の生得的な神経回路があり、この二つの神経回路が協調し歌学習を制御していることを示唆した。これらの結果は論文、学会発表などで発表を行い、またプレスリリース、一般公演を行うなども行った。

研究成果の概要(英文)：Like humans learn to speak, songbirds learn to sing by listening to conspecific adult vocalizations during development. In zebra finch, one type of songbird, juveniles develop their own unique song while maintaining species specific characteristics. In this study, we found that zebra finch juveniles, raised by foster parents of another species, learned the acoustic morphology of song elements, but not the temporal silent gap patterns from the foster fathers' songs. We further found two subsets of neurons in the primary auditory area carrying complementary information about zebra finch songs. Those suggest parallel information processing of sound morphology and temporal gap pattern of song via two distinct groups of neurons, enabling zebra finches to develop songs that are simultaneously unique yet species-specific. Our study suggests how our brain circuits handle learning behavior under innate restrictions.

研究分野：神経生物学

キーワード：臨界期 聴覚 経験依存的可塑性 学習 発声

1. 研究開始当初の背景

高等動物では生後発達の特定の時期、「臨界期」には外界から受ける感覚刺激に依存して神経回路が形成・成熟することが知られている。さらにこの時に形成された神経回路によってその後の学習能力など高次機能の発達が左右されることが考えられるが、これを一貫して研究する実験系はあまりない。

2. 研究の目的

歌を鳴くトリ、ソングバードは生後の臨界期に親の歌を聴いて覚え、模倣することで歌を学習する。本研究ではソングバードの一種であるキンカチョウの歌学習をモデルとして用い、どの様に聴いた歌を覚えるのか、つまり臨界期の聴覚経験が神経回路にどのような変化を及ぼすのか(記憶形成のメカニズム)、さらにその神経回路が後の発声学習をどう制御するのか(学習メカニズム)、その神経メカニズムを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

発達期の歌学習を制御するなどの行動学的実験を行い、どの様な聴覚経験を持つのか予め記録を行った個体を用いて、慢性細胞外記録、細胞内記録など電気生理学的手法より神経細胞からその活動を記録し、聴覚神経回路の特異的聴覚応答と、この神経回路の発達を明らかにした。また、様々な音刺激を用いることにより、キンカチョウの聴覚経路の中でどの様に聴覚情報が処理されるのか明らかにする研究を行った。

4. 研究成果

本研究では発期の聴覚経験によりどの様に神経回路が発達するのかあきらかにするため、まずどの様な聴覚経験が歌学習に必要なのか、どの様に聴覚情報が選択されるのか明らかにする研究を行った。

ヒトが言葉を発達させるように歌を唄うトリ、ソングバードは発達期に大人の歌を聴き、真似することで歌を学習する。ソングバードの一種であるキンカチョウはそれぞれのオス個体がそれぞれの個体に固有の、「キンカチョウの歌」を唄うが、キンカチョウのヒナがどの様にこのここに違う「キンカチョウの歌」を認識し、これ歌を選択的に学習するのか、つまり脳内でどの様「同種の歌」という情報を解読されているのか明らかした。

私達の研究チームではまず、キンカチョウのヒナを良く似た種のトリ、ジュウシマツの仮親に育てさせた。通常、キンカチョウのヒナはキンカチョウの歌を選択的に学習するが、生まれてすぐにジュウシマツの巣の中に移し、ジュウシマツの歌しか聞えない状態で飼育すると、ジュウシマツの歌を学習することが知られていた。しかし、今

回の研究でキンカチョウのヒナはジュウシマツの歌の要素は学習しても歌のテンポは学習せず、キンカチョウの歌のテンポにジュウシマツの歌の要素を重ねていることを明らかにした(図1)。

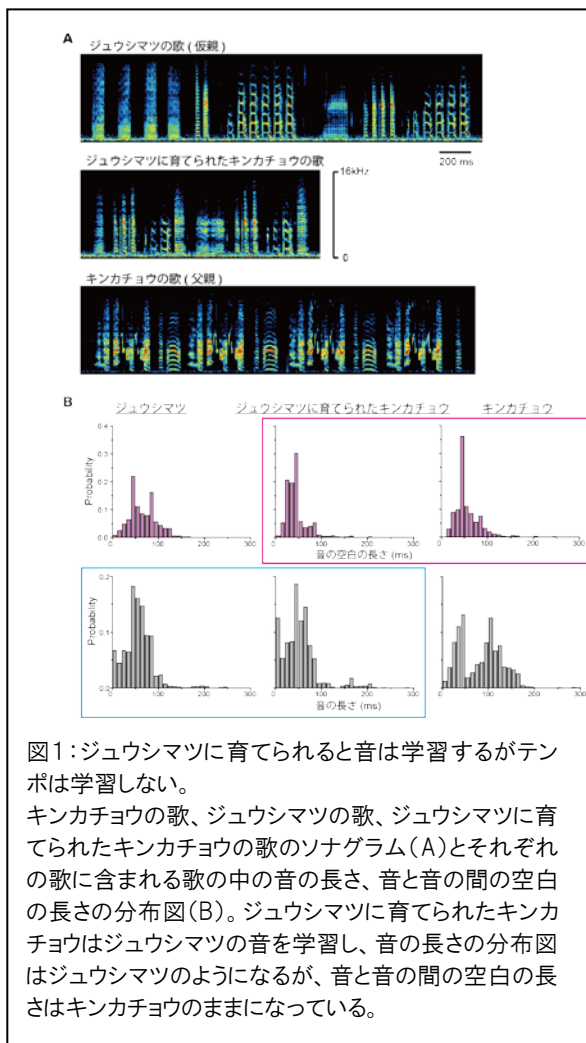


図1:ジュウシマツに育てられると音は学習するがテンポは学習しない。キンカチョウの歌、ジュウシマツの歌、ジュウシマツに育てられたキンカチョウの歌のソナグラム(A)とそれぞれの歌に含まれる歌の中の音の長さ、音と音の間の空白の長さの分布図(B)。ジュウシマツに育てられたキンカチョウはジュウシマツの音を学習し、音の長さの分布図はジュウシマツのようになるが、音と音の間の空白の長さはキンカチョウのままになっている。

そこでこの歌のテンポは生得的に決定していると考え、歌のテンポがキンカチョウの脳内でどの様に‘解読’されているのか調べてみると、キンカチョウの第一次聴覚野には音の構造に関係なく、そのテンポ、特に短い音と音の間の空白に特異的に反応する‘テンポ細胞’があることが明らかになった(図2)。

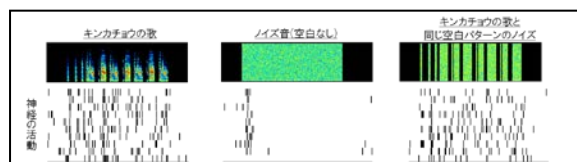


図2: 第一次聴覚野で見つかった‘テンポ細胞’の音に対する反応。テンポ細胞はキンカチョウの歌を流すとそれに反応して活動する(1本の棒が1回の活動を示す)。しかし、ノイズを流しても最初の反応のみで、後は反応しない。しかし、同じノイズをキンカチョウの歌のテンポに合わせて空白を挿入すると反応する。

この細胞は、長すぎる音や短すぎる音、長すぎる空白や短すぎる空白には反応せず、ある範囲の長さにある音、空白に反応していることが分かりました。そしてこのテンポ細胞が良く反応する音、空白の長さはキンカチョウの歌によくある音の要素、その間の空白の長さとも一致していることが明らかになった(図3)。さらに、このテンポ細胞の特性は生育環境に依存せず、生得的に決定していることが分かった。実際に、キンカチョウのヒナのテンポ細胞は他の種の歌には反応せず、さらにキンカチョウの歌でもその空白の長さを長くしてしまうだけで反応しなくなってしまうことから、キンカチョウのヒナの脳内ではこのテンポ細胞が、「キンカチョウの歌」を検出するバーコードリーダーとして機能し、様々な個々に固有のキンカチョウの歌を検出し、これを学習するのに役立っていることを示唆した。

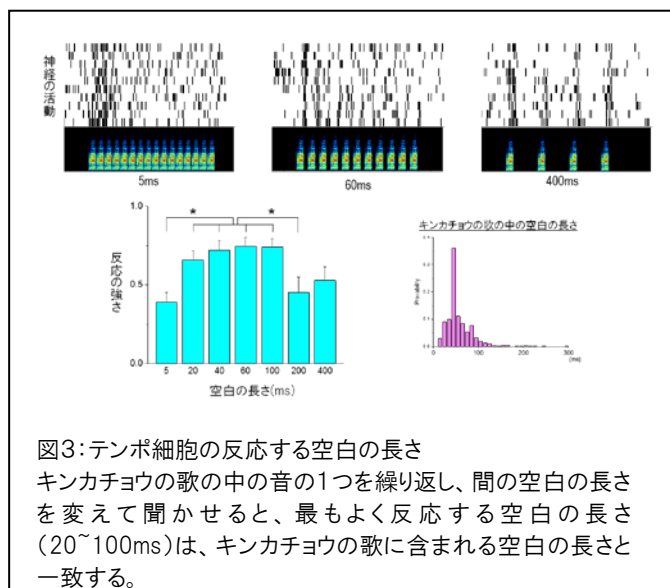


図3:テンポ細胞の反応する空白の長さ
キンカチョウの歌の中の音の1つを繰り返し、間の空白の長さを変えて聞かせると、最もよく反応する空白の長さ(20~100ms)は、キンカチョウの歌に含まれる空白の長さとも一致する。

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)

Araki M., Bandi M. M. and *Yazaki-Sugiyama Y. (2016) Mind the Gap: Neural Coding of Species Identity in Birdsong Prosody. *Science* 354: 1282-1287

Featured: *Science* 354: 1234-1235

Yanagihara S. and *Yazaki-Sugiyama Y. (2016) Auditory experience dependent cortical circuit shaping for memory formation in bird song learning. *Nat. Commun.*, doi: 10.1038/NCOMMS11946. (featured article)

[学会発表] (計12件)

(招待講演)

Yazaki-Sugiyama Y., *Birdsong 7: Communication in Context - The Relation Between Perception and Production* "Listening to the sound of silence: Neuronal coding of species identity in the zebra finch songs. University of Maryland, USA, Nov 2017

Yazaki-Sugiyama Y., *Symposium at 88th Annual Meeting of Zoological Society* '動物の行動多様性を生み出す適応行動制御の神経基盤' 'トリの歌学習における種の同一性と個の多様性を同時に担う神経基盤', Toyama Japan, Sept 2017

Yazaki-Sugiyama Y., *Hearing Research Meeting* 'Listening to the sound of silence: Neuronal coding of species identity in the zebra finch songs', Samsung Medical center South Korea, Sept 2017

Yazaki-Sugiyama Y., *Gordon Research Conference -Auditory Systems* Selected short talk

'Mind the gap: Neuronal coding of species identity in birdsong prosody', Bates College USA, July 2016

Yazaki-Sugiyama Y., *9th Avian Model Systems meeting*

'Chemogenetic control of neuronal activity in songbirds', Taipei Taiwan, March 2016

Yazaki-Sugiyama Y., *Symposium at 93rd Annual Meeting of Physiological Society of Japan*, 'Women Scientists Symposium: The analysis of principles underlying the neuronal network formation in the developmental stage.'

'Early auditory experiences shape neuronal circuit to form auditory memory in zebra finch song learning.', Sapporo Japan, March 2016

Yazaki-Sugiyama Y., *Symposium at 38th Annual Meeting of Japanese Neuroscience Society*, 'The mechanisms of neuronal circuit formation and maturation in the developing brain'

'Learning to be a zebra finch. How does one identify vocalizations of one's own species?', Kobe Japan, July 2015

(一般発表)

Araki M, Bandi M.M. & Yazaki-Sugiyama Y., Neural coding of species identity in birdsong prosody. The 46th Annual Meeting of Society for Neuroscience,

Nov 2016, San Diego, USA

Kudo T. & Yazaki-Sugiyama Y., Early auditory experience modifies neuronal firing properties of neurons in zebra finch auditory cortex. The 46th Annual Meeting of Society for Neuroscience, Nov 2016, San Diego, USA

Yanagihara S. & Yazaki-Sugiyama Y., State-dependent auditory selectivity for familiar songs in the auditory association cortex of juvenile songbirds. The 45th Annual Meeting of Society for Neuroscience, Nov 2015, Chicago, USA

Araki M & Yazaki-Sugiyama Y., Temporal cue cognition provides auditory information for species detection in the auditory forebrain of the zebra finch. The 45th Annual Meeting of Society for Neuroscience, Nov 2015, Chicago, USA

Yanagihara S. & Yazaki-Sugiyama Y., Experience-dependent sharpening of neural selectivity to learned birdsongs in the auditory cortex of juvenile songbirds, The 38th annual meeting of the Japan Neuroscience Society, July 2015, Kobe

〔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

杉山 陽子（矢崎 陽子）（Yoko Yazaki-Sugiyama）

研究者番号：00317512