

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：38005

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26430027

研究課題名(和文) 臨界期におけるソングバードのさえずり学習を支える神経基盤

研究課題名(英文) Neural basis of songbird vocal learning during critical period

研究代表者

柳原 真 (Yanagihara, Shin)

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・研究員

研究者番号：60392156

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：ソングバードの幼鳥は、臨界期に親鳥から聴いた歌を記憶し、この記憶した歌を手本として自己の歌を修正していく。本研究では、幼鳥の脳内において親鳥の歌の記憶を担うニューロンを神経活動計測によって探索した。その結果、聴覚野における一群のニューロンが、親鳥の歌に選択的応答を示すことを見出した。学習によって形成されるこの聴覚野ニューロンが、親鳥の歌の記憶を担うと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Juvenile songbirds listen to a tutor song and memorize it during critical period. Thereafter, they improve their vocalizations by comparing their ongoing songs and memorized tutor song. In this study, we searched for neurons which represent tutor song memory by recording neuronal activity in freely behaving condition. We found that a group of auditory cortical neurons which exhibit selective auditory responses to the memorized tutor song. These tutor song selective auditory cortical neurons may represent tutor song memory.

研究分野：神経科学

キーワード：ソングバード 発声学習 聴覚 記憶

1. 研究開始当初の背景

ソングバードのさえずりは臨界期における感覚・運動学習に依存する。感覚学習期における幼鳥は、親鳥から聴いた歌を記憶し、脳内に「歌の鋳型」が形成されると考えられる。引き続き感覚運動学習期では、「歌の鋳型」と実際に自己がさえずる歌との間の誤差を少なくするように自己の歌を修正し、最終的には聴き憶えた歌と同じ歌をさえずるようになると考えられる。しかしながら、実際には親鳥から聴き憶えた歌だけに選択的に応答する神経細胞、すなわち歌の記憶を担う細胞はこれまで見つかっておらずその実態は不明であった。

2. 研究の目的

本研究では、親鳥から歌を聴く、という臨界期における経験に基づいて記憶が形成される神経メカニズムを明らかにすることを目的とした。特に、幼鳥が親鳥から歌を聴き憶える感覚学習に焦点を絞り、記憶を担う神経細胞の同定を試みた。従来、高次聴覚野に歌の記憶が保存されることが示唆されている。そこで本研究では、高次聴覚野 NCM からニューロン活動を計測し、親鳥の歌に選択的に応答する神経細胞を探索した。さらに、細胞の応答選択性がどのような神経メカニズムによって形成されるのかを明らかにするために、神経活動計測と薬理実験を組み合わせた実験をおこなった。

3. 研究の方法

独自に確立した自由行動中の幼鳥から同時に複数のニューロン活動を計測する手法を用い、歌の記憶を担う細胞を探索した。聴覚野からニューロン活動を計測している際に、スピーカーから様々な歌を提示し、聴覚応答の選択性を調べた。実験群は、親鳥の歌を聴く前の個体、親鳥の歌を聴いた後の個体、親鳥の歌を聴かなかった個体の3群とした。記

録した個々のニューロンの歌に対する選択性を調べ、親鳥の歌に選択的応答を示すニューロンの割合を3群間で比較した。

さらに、神経活動計測中に薬物を注入する手法を組み合わせた実験をおこない、ニューロンの選択性が生じるメカニズムについて調べた。

4. 研究成果

聴覚野のニューロンはスパイク波形から、スパイク幅の広いBS細胞(broad-spiking neuron)と幅の狭いNS細胞(narrow-spiking neuron)に大別された。学習前は、ほとんどのニューロンは提示した歌に対して非選択的に応答した。これに対し、親鳥の歌を学習した個体から記録した聴覚野BSニューロンの一部から、親鳥の歌に選択的に応答するニューロンが見つかった(図1)。

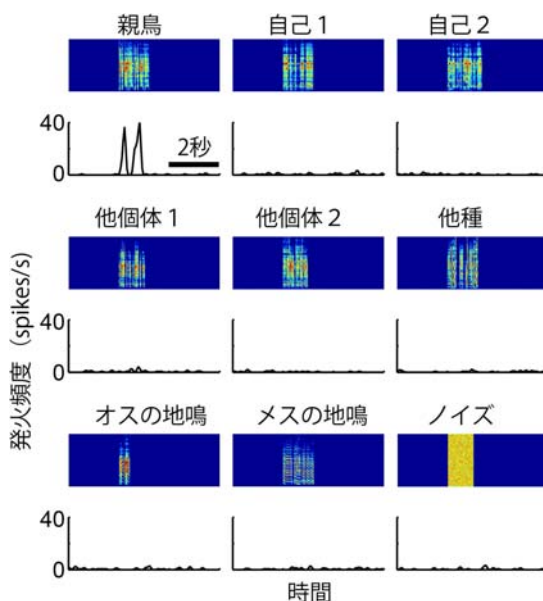


図1: 親鳥の歌に選択的に応答する聴覚野ニューロン

親鳥の歌に選択的な応答を示すニューロンは、学習後の幼鳥から記録したBS細胞においてのみ見いだされた。これに対し、親鳥の歌を聴く前や親鳥の歌を聴かなかった個体では、親鳥の歌に選択的に応答する細胞は見出されなかった(図2)。

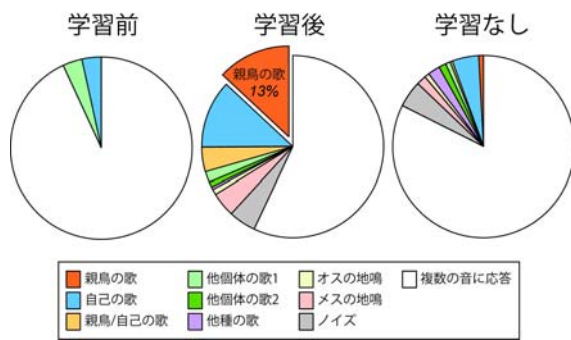


図2：親鳥の歌を学習後、親鳥の歌に選択的
応答を示す聴覚野ニューロンが出現した

さらに、聴覚野の応答選択性ができるしくみを明らかにするために、薬理実験をおこなった。選択的応答を示すニューロンを計測中に、電極近傍へ抑制性神経伝達を遮断する薬剤 (gabazine) を局所投与した。その結果、ニューロンの聴覚応答選択性が顕著に低下した (図3)。このことから、抑制性神経回路が歌記憶形成の過程で重要な役割を果たすことが示唆された。

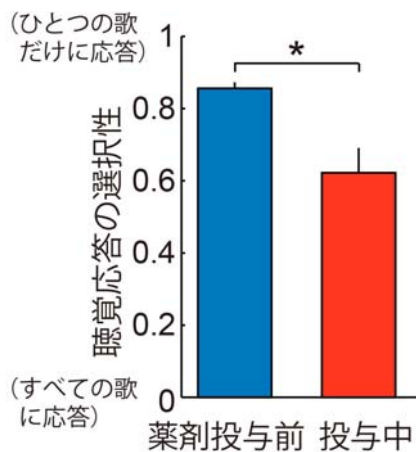


図3：抑制性神経伝達阻害による聴覚応答選
択性の低下

以上の結果から、臨界期に親鳥の歌を聴く学習によって聴覚野に親鳥の歌に選択的に応答するニューロン群が現れ、これら一群のニューロンが集団として親鳥の歌の記憶を表

現するようになると考えられる。この歌の記憶を担うニューロンが、さえずりの感覚運動学習にどのように関わるのかを明らかにしていくことで、臨界期における感覚運動学習の神経メカニズムの理解へつなぐと期待できる。

従来の行動学的研究から、社会的つながりの形成された親鳥から直接歌を聴くことで幼鳥の歌学習が促進されることが知られている。本研究では、親鳥が幼鳥の前に存在することで幼鳥の聴覚野ニューロンの歌に対する応答が顕著に増強する、との知見も得た。親鳥との間の社会的つながりが、幼鳥の脳にどのような影響を与え歌の記憶形成を促進するのか、今後明らかにしていきたいと考えている。

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2件)

① Shin Yanagihara and Yoko Yazaki-Sugiyama
Auditory experience-dependent cortical circuit shaping for memory formation in bird song learning. *Nature Communication* vol 7: 2016 11946 査読有
DOI: 10.1038/ncomms11946

② Yoko Yazaki-Sugiyama, Shin Yanagihara, Patrick M. Fuller, and Michael Lazarus
Acute inhibition of a cortical motor area impairs vocal control in singing zebra finches. *European Journal of Neuroscience* (2015) 41: 97-108. 査読有
DOI: 10.1111/ejn.12757.

[学会発表] (計7件)

①柳原 真 ソングバード大脳聴覚野における聴覚記憶の脳内表現：社会的つながりに基づく学習の神経基盤の解明を目指して
日本動物学会北海道支部講演会 (第559回)
北海道大学 2015年6月

②Shin Yanagihara and Yoko Yazaki-Sugiyama
Experience-dependent sharpening of neural selectivity to learned birdsongs in the auditory cortex of juvenile songbirds 第38回日本神経科学大会 神戸国際会議場、神戸国際展示場 (神戸) 2015年7月

③Shin Yanagihara and Yoko Yazaki-Sugiyama
Emergence of neural selectivity to learned birdsongs in the songbird auditory cortex 日本動物学会第86回新潟大会 朱鷺メッセ：新潟コンベンションセンター(新潟) 2015年9月

④Shin Yanagihara and Yoko Yazaki-Sugiyama
State-dependent auditory selectivity for familiar songs in the auditory association cortex of juvenile songbirds 45th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Chicago, USA) 2015年10月

⑤Shin Yanagihara and Yoko Yazaki-Sugiyama
Auditory experience shapes neural selectivity to a tutor's song in the songbird auditory cortex 11th International Congress of Neuroethology (ICN) (Sapporo, JAPAN) 2014年7月

⑥Shin Yanagihara and Yoko Yazaki-Sugiyama
Emergence of neural selectivity for learned songs in the songbird auditory cortex 第37回日本神経科学大会 パシフィコ横浜 (横浜) 2014年9月

⑦Shin Yanagihara and Yoko Yazaki-Sugiyama
Emergence of neural selectivity for memorized birdsongs in the higher-level auditory cortex of juvenile songbird 44th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Washington DC, USA) 2014年11月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳原 真 (YANAGIHARA, Shin)
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・研究員
研究者番号：60392156

(2) 研究分担者：なし

(3) 連携研究者：なし

(4) 研究協力者：なし