

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06907

研究課題名(和文) 鳴禽類における親子間の相互作用が発声学習を促進する神経メカニズム

研究課題名(英文) Neural mechanisms underlying the facilitation of vocal learning in a songbird through tutor-tutee interaction

研究代表者

柳原 真 (Yanagihara, Shin)

帝京大学・先端総合研究機構・講師

研究者番号：60392156

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：鳴禽類の幼鳥は、親鳥がさえずる歌を聴き覚え、その後実際に発声練習することで同じ歌をさえずるようになる。この学習には対面で親鳥から歌を聴くことが重要であるが、なぜ対面コミュニケーションが学習を促進するのか、そのメカニズムはわかっていない。幼鳥脳内から神経活動を計測した結果、親鳥の存在が中脳ドーパミン細胞の活動を亢進させ、ドーパミンが大脳聴覚野の応答を増強することが分かった。さらに、中脳腹側被蓋野・黒質には発声開始や睡眠・覚醒制御に関わる細胞が存在することも分かった。これらより、社会的報酬を符号化するドーパミン細胞が歌記憶形成に関わり学習促進につながることを示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小鳥の発声学習と同様に、ヒト乳幼児における言語学習にも対面コミュニケーションが重要である。本研究では、発声学習に特化した小鳥を対象とすることで、ドーパミンによる大脳聴覚野の神経活動の修飾が対面コミュニケーションによる学習促進効果を支える神経メカニズムであることが示唆された。ヒト乳幼児における言語学習も同様の神経メカニズムによって支えられている可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Juvenile zebra finches learn their songs by listening to their father's songs and practicing their vocalizations. Although face-to-face communication with the father bird is important for this learning process, the neural mechanism of why face-to-face communication facilitates learning is not known. We tried to understand how the presence of the father bird affects the neural circuits of the juvenile bird's brain to promote vocal learning. We measured neural activity from VTA/SNc and the auditory cortex of young birds during freely behaving conditions and found that the presence of the father bird increased the activity of midbrain dopamine neurons, and dopamine enhanced auditory responses in the auditory cortex. Furthermore, we found that VTA/SNc neurons are involved in the initiation of vocalization and the control of sleep and wakefulness. These findings suggest that dopamine neurons that encode social rewards are involved in song memory formation and promote learning.

研究分野：神経科学

キーワード：小鳥 発声学習 聴覚

1. 研究開始当初の背景

ヒトの乳幼児が言葉を学ぶ際には、周囲の大人が話しかける言葉を直接聴く対面的コミュニケーションが重要であり、同じ内容をビデオやスピーカーを通して受動的に聴いても高い学習効果は得られない。同様に、音声模倣学習をおこなう鳴禽類においても、幼鳥は社会的つながりが形成された親鳥から直接歌を聴くことが学習に重要であり、スピーカーから提示された歌を受動的に聴くだけでは幼鳥はうまく学習できない。物理的に同じ聴覚刺激でも、学習が成立するかどうかは学習者である幼鳥が親鳥から対面場面で聴覚情報を受けたかどうかに強く依存する。このように、動物種の違いによらず社会的相互作用は音声模倣の学習効果を高めることが知られているが、その神経メカニズムはほとんど分かっていない。

2. 研究の目的

本研究では、親子間の社会的相互作用が子どもの脳神経回路の形成にどのように影響を与え、学習の促進につながるのか、神経細胞・回路レベルで明らかにすることを目的とする。このために、脳内に音声コミュニケーションに特化した神経回路をもつ鳴禽類を研究対象に選び、親鳥との相互作用が幼鳥の脳にどのような影響を与え学習が促進されるのか、そのしくみを探る。幼鳥が歌を異なる行動文脈で聴いている時の腹側被蓋野・黒質の神経活動を比較することで親子間の相互作用が中脳ドーパミン神経の活動に与える影響を調べた。また、歌を聴く以外の状況（覚醒・睡眠・発声）においても神経活動を計測することで、腹側被蓋野・黒質の細胞と行動との関わりについても併せて検討した。

3. 研究の方法

キンカチョウ幼鳥の腹側被蓋野・黒質にテトロード電極を慢性的に埋め込み、親鳥から歌を学習する際の神経活動を計測した。親鳥との対面、非対面場面における聴覚応答の比較に加えて、自発的な睡眠や発声をおこなう際の神経活動も計測した。さらに、大脳聴覚野から神経活動を計測し、ドーパミン投与に対する聴覚応答の変化を調べた。

4. 研究成果

腹側被蓋野・黒質の神経活動計測から、一群のドーパミン細胞は親鳥との対面場面で歌を聴くと強い聴覚応答を示すが、親鳥がいない状況で同じ歌を聴いた場合にはその応答が減弱することを確認した。これに対して、非ドーパミン細胞は逆の応答パターンを示すことも見出した。これらより、親鳥から対面場面で歌を聴く際に、中脳ドーパミン神経が顕著に活動し、対面による学習促進に関与することが示唆された。次に、親鳥から歌を聴く際に放出されるドーパミンの脳内作用部位を同定するために、逆行性トレーサーを大脳聴覚野に

インジェクションし、チロシン水酸化酵素 (TH) の免疫組織化学染色との2重染色をおこなった。その結果、腹側被蓋野・黒質のドーパミンニューロンの一部が大脳聴覚野へ投射していることを確認した。さらに、大脳聴覚野にドーパミンやドーパミンアゴニストを投与した結果、聴覚応答が顕著に亢進することもわかった。しかも、聴覚野細胞はドーパミン存在下で強いバースト発火を示し、発火のタイミングも揃うことも明らかになった。これらより、大脳聴覚野に放出されドーパミンが聴覚野細胞の神経応答を修飾し、歌の記憶形成につながることを示唆された。

歌を聴く以外の状況で腹側被蓋野・黒質の神経活動を計測した結果、ドーパミン神経が睡眠・覚醒に相関して自発発火頻度を顕著に増減させることも見出した (Yanagihara et al *Front Neurosci* (2020))。ドーパミン神経の自発発火頻度は、覚醒時に上昇し、睡眠時に低下した。また、発声中の神経活動計測から、一群のドーパミン神経が発声の開始時に一過的にバースト発火することを見出した (Yanagihara et al *Sci Rep* (2021))。これ以外にも、発声中持続的に高い発火頻度を示す細胞や、発声中に発火頻度を低下させる細胞も見られた。これらの結果から、腹側被蓋野・黒質には発声の開始信号を担う細胞が存在することが示唆された。この発声に関わる細胞は、親鳥存在下であっても聴覚応答を示さない。このことから、腹側被蓋野・黒質には、発声に関わる細胞群と聴覚情報処理に関わる細胞群が混在すると考えられる。

以上の結果から、腹側被蓋野・黒質には親鳥との社会的相互作用によって活動が亢進し「社会的報酬」を符号化すると考えられる細胞や発声開始の役割を担う細胞、睡眠・覚醒制御に関わる細胞、など異なる機能をもつ細胞群が混在することが分かった。この中でも、親鳥との社会的相互作用によって活動が亢進するドーパミン細胞が大脳聴覚野における聴覚記憶の形成に関わり、発声学習の促進効果につながると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yanagihara Shin, Ikebuchi Maki, Mori Chihiro, Tachibana Ryosuke O., Okanoya Kazuo	4. 巻 11
2. 論文標題 Neural correlates of vocal initiation in the VTA/SNc of juvenile male zebra finches	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-01955-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yanagihara Shin, Ikebuchi Maki, Mori Chihiro, Tachibana Ryosuke O., Okanoya Kazuo	4. 巻 14
2. 論文標題 Arousal State-Dependent Alterations in Neural Activity in the Zebra Finch VTA/SNc	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 897
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2020.00897	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yanagihara, S., Ikebuchi, M., Mori, C., Tachibana, R., & Okanoya, K
2. 発表標題 Role of midbrain dopaminergic system in social enhancement of vocal learning in songbird
3. 学会等名 Joint Conference on Language Evolution, Kanazawa, Japan, Podium presentation（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shin Yanagihara, Maki Ikebuchi, Chihiro Mori, Ryosuke O. Tachibana, and Kazuo Okanoya
2. 発表標題 Neural representation of vocal initiation in the zebra finch VTA/SNc
3. 学会等名 第44回日本神経科学大会、神戸コンベンションセンター（Hybrid 開催）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳原真、池淵万季、森千紘、橘亮輔、岡ノ谷一夫
2. 発表標題 鳴禽類の発声開始に関わる中脳腹側被蓋野・黒質の神経活動
3. 学会等名 第44回鳥類内分泌研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------