

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14581

研究課題名(和文) ジュウシマツにおける歌の複雑化は家畜化症候群の神経堤細胞仮説に合致するか？

研究課題名(英文) Song complexity in Bengalese finches: Does the neural crest cell hypothesis for domestication account for that?

研究代表者

岡ノ谷 一夫 (OKANOYA, Kazuo)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：30211121

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：家畜化された動物には、白斑がある、頭が丸い、攻撃性が弱い、ストレス耐性が高い等の共通点がある。これを共通して説明するのが家畜化の神経堤細胞仮説である。神経堤細胞は、色素細胞や顎組織、副腎髄質を形成するので、攻撃性が低い個体を選択するうち、これらに関連する特性が弱まるという仮説である。ジュウシマツは野生の小鳥、コシジロキンバラを250年前から日本で家禽として育てた亜種である。両亜種の差異が神経堤細胞仮説に合致するかを検討した。結果、ストレスと白斑、および大脳歌制御システムについてはこれが合致するが、嘴の長さや体の大きさ、扁桃体の大きさなどについては差異が認められなかった。

研究成果の概要(英文)： Domesticated animals have shared properties of shorter head, weaker aggressiveness, white spots, and higher stress resistance. A hypothesis that can inclusively explain these characteristics is "neural crest" hypothesis of domestication. Because domestication selected less aggressiveness, neural crest cells that are involved in forming adrenal medulla which synthesizes corticosterone, migrate slower than wild types. This could result in phenotypes related with domestication, because all phenotypes are related with neural crest cells. Bengalese finches had been domesticated over 250 years from wild white-rumped munias imported from China. We examined whether differences between the two strains might fit with the neural crest hypothesis. Although stress resistance, white-spots, and telencephalic song control areas could be explained by the neural crest hypothesis, bill shapes, body size, and amygdala volume did not fit with the hypothesis.

研究分野：生物心理学、進化生物学

キーワード：神経堤細胞仮説 家畜化 ジュウシマツ コシジロキンバラ 攻撃性 白化 扁桃体 家禽化

## 1. 研究開始当初の背景

ダーウィンは1868年に、多くの家畜化された哺乳動物に共通点があることを報告している[1]。これらの動物は、白斑があり、口吻が短めで、性質が穏やかである。穏やかな性質は家畜化の過程で選択されたと考えられるが、白斑や短い口吻については、特に選択された形跡がないことがこれまで謎であった。ウィルキンスらにより2014年に出版された論文は[2]、家畜化された哺乳動物の共通点を家畜化症候群と呼び、これらは穏やかな特性を選択することで神経堤細胞の移動が遅れることに起因するという仮説(神経堤仮説)を提出している。

日本でペット化された鳴禽であるジュウシマツは、中国から250年前に輸入された野鳥であるコシジロキンパラを祖先とする。私たちは、この鳥がペットとなる過程でストレスレベルや恐怖反応が減少していることを報告した[3,4]。これらの変異は、家畜化症候群を彷彿させる。私たちはさらに、ジュウシマツのさえずり(歌)が複雑化し、歌を制御する脳神経系が増大していることも発見した[5,6]。これは、自己家畜化を経たとされる現生人類における前頭前野の拡大傾向と類似する。私は2014年夏にソーク研究所で行われた家畜化の認知生物学に関するシンポジウムに招待され、ジュウシマツの家畜化過程による歌の変化とヒトの言語の変化を比較して論じた。この考えは高く評価され、Science誌でも紹介された[7]。

1) Darwin, C. (1868). The variation of animals and plants under domestication. London: John Murray.

[2] Wilkins, A. S., Wrangham, R. W. & Fitch, T. W. (2014). The "Domestication syndrome" in mammals: a unified explanation based on neural crest cell behavior and genetics. *Genetics*, 197: 795-808.

[3] Suzuki, K., Ikebuchi, M., & Okanoya, K. (2013). The impact of domestication on fearfulness: a comparison of tonic immobility reactions in wild and domesticated finches. *Behavioural processes*, 100:58-63.

[4] Suzuki, K., Yamada, H., Kobayashi, T., & Okanoya, K. (2012). Decreased fecal corticosterone levels due to domestication: a comparison between the white-backed munia (*Lonchura striata*) and its domesticated strain, the Bengalese finch (*Lonchura striata* var. *domestica*) with a suggestion for complex song evolution. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 317: 561-570.

[5] Honda, E., & Okanoya, K. (1999). Acoustical and syntactical comparisons between songs of the white-backed munia

(*Lonchura striata*) and its domesticated strain, the Bengalese finch (*Lonchura striata* var. *domestica*). *Zoological Science*, 16: 319-326.

[6] Suzuki, K., Ikebuchi, M., Bischof, H.-J., & Okanoya, K. (2014). Behavioral and neural trade-offs between song complexity and stress reaction in a wild and a domesticated finch strain. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. in press.

[7] Gibbons, A. (2014). How we tamed ourselves and became modern. *Science*, 346:405.

## 2. 研究の目的

本研究はジュウシマツとその野生種コシジロキンパラの形態や行動形質を比較して、家畜化による変異が家畜化症候群として理解可能かを検討する。また、家禽種と野生種とで神経堤細胞のマーカーであるFox3D等の発現比較を行い神経堤仮説の妥当性を検証する。さらに、歌行動の複雑化を神経堤仮説のもとに検討し、ヒトにおける言語の発生過程を理解する生物モデルとする可能性を検討する。家畜化症候群の神経堤仮説を利用してヒトと鳥を同列に比較し、歌の複雑化を手がかりに言語の進化について新奇な着想を得るのが本研究の究極の目的である。



上の写真はジュウシマツ(左)とコシジロキンパラ(右)である。家禽種であるジュウシマツは白地に茶と黒のまだらがある。これがジュウシマツの基本的な羽色である。一方コシジロキンパラは、全体に茶色である。この傾向は、家畜化症候群として理解できる。

家畜化症候群は、哺乳動物を対象とした研究により形成され、家畜化による形質変化の多くが神経堤細胞の変性によるとしている。一方、神経堤の形成に関する発生生物学的研究は、鳥類を対象に進捗してきた。従って、家畜化症候群で予測されている形質の変化を鳥類で確認し、それらの形質変化と神経堤細胞の形成についてのデータを対応させることで、この仮説をより正確に検討できるはずである。本研究は、コシジロキンパラとそ

の家畜種であるジュウシマツを対象に、鳥類において得られている神経堤細胞の知見を生かして、これを家畜化症候群の神経堤仮説と対応させ検討してゆくことに、斬新性とチャレンジ性がある。

### 3. 研究の方法

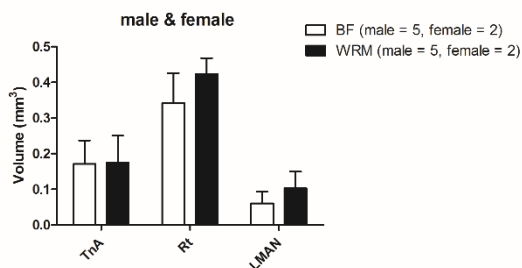
家畜化症候群の神経堤細胞仮説が予測する形質変化のうち、口吻長・副腎体積・脳容量について、家畜種であるジュウシマツとその野生種であるコシジロキンパラとで比較する。脳容量については、大脳・視床・中脳等に細分化して比較し、家畜化により増大した部位と縮退した部位とを明らかにする。

また、神経堤細胞のマーカーである Fox3D の発現を、ジュウシマツとコシジロキンパラの胚発生期で比較する。さらに、ヒトの自己家畜化過程で見られるような認知機能の増大、親和性の増大についてもジュウシマツとコシジロキンパラにおいて比較し、ヒトの言語の発生と対応づけられるような現象が、鳥の歌の複雑化でも見られるのかどうか、またそれが神経堤細胞とどう関連するかを検討する。これらの研究により、家畜化症候群の神経堤細胞仮説を道具として、歌の複雑化と言語の進化を同列に考える。

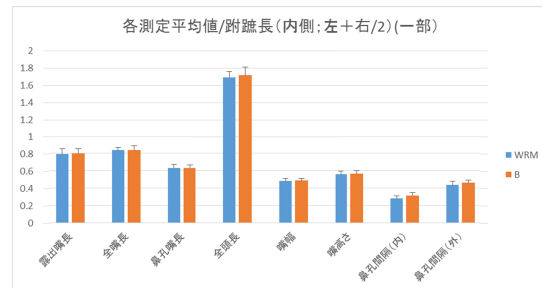
### 4. 研究成果

本研究は野生種であるコシジロキンパラとその家畜種であるジュウシマツとの形質・行動・脳・遺伝子の比較から、「家畜化の神経堤細胞仮説」を検討しようとしたものである。

27年度は扁桃体に対応する神経核 TnA 体積の亜種間比較を行った。TnA の体積については、歌神経核とは異なり、亜種間の差は有意ではなかった(下図)。



28年度は家畜化に関わると考えられているオキシトシンの鳥類ホモログであるメソトシンの cDNA 全長比較を行った。また、口吻長を含む体の形質比較を改めて徹底に行った。オキシトシンは親和的行動に関連しており、家畜化・家畜化などの高密度飼育によって増加すると考えられる。しかしコシジロキンパラとジュウシマツのメソトシン cDNA には差異は見当たらず、これまで得られている行動上・形質上の差異(家畜化によるストレス減少、新規恐怖減少、白化、攻撃性



減少など)を遺伝子の差異に求めるには、他の候補遺伝子を検討する必要がある。

口吻長を含む体の形質比較では、露出嘴長、全嘴長、鼻孔嘴長、全頭長、嘴幅、嘴高、鼻孔間隔等、主に頭部の形態に関わる数値を計測した。家畜化の神経堤細胞仮説では、頭部と顎部の形質が変化することが示唆されているからである。鳥類の形態計測では、体の大きさの差異を比較するにあたり、跗蹠長を基準として用いる。ジュウシマツの跗蹠長はコシジロキンパラより平均 0.7mm ほど大きいので、これを基準に各測定値を比較した。すると、すべての測定値において有意な差は検出されなかった(上図)。

これまで、ジュウシマツとコシジロキンパラにおいて、脳の歌制御系の体積には有意な差を検出し、また、行動指標でも特に恐怖反応の減少と攻撃性の減少では有意な差を検出していた。しかし今回計測した体格因子やメソトシン cDNA には差異はなかった。コシジロキンパラの新規輸入が不可能になった現在、この研究をさらに進めるためには、コシジロキンパラの生息地(東南アジア)における国際共同研究が必要である。

ジュウシマツとコシジロキンパラの全ゲノム配列を比較するプロジェクトは、米国の共同研究者との間で進捗している。国内の共同研究者と進めているウィリアムズ症候群関連遺伝子の比較では、やはり両亜種には差異が見つかっていない。徹底的な形質比較を行ったが、跗蹠長による基準化ですべての差異は消失することから、家畜化でおきている形質的な変化は全般的な大型化であると言える。今年度の研究はいわゆるネガティブ・データが多い結果となったが、このような地道なデータの積み重ねから、ジュウシマツとコシジロキンパラの差異はどこにあるのかという疑問への答えがいつか導き出されるであろう。現在考えられる可能性は、非常に小さな遺伝的差異が、環境によるエピジェネティクスを通して増幅されているのではないかと、という仮説である。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

1. Okanoya, K. (2017). Sexual communication and domestication may give rise to the signal complexity necessary for the emergence of language: An indication from songbird

studies. Psychonomic bulletin & review, 24(1), 106-110.

2. Fehér, O., Ljubičić, I., Suzuki, K., Okanoya, K., & Tchernichovski, O. (2017). Statistical learning in songbirds: from self-tutoring to song culture. Phil. Trans. R. Soc. B, 372(1711), 20160053.
3. Fujii, T. G., Ikebuchi, M., & Okanoya, K. (2016). Auditory Responses to Vocal Sounds in the Songbird Nucleus Taeniae of the Amygdala and the Adjacent Arcopallium. Brain, Behavior and Evolution, 87(4), 275-289.
4. Sasahara, K., Tchernichovski, O., Takahasi, M., Suzuki, K., & Okanoya, K. (2015). A rhythm landscape approach to the developmental dynamics of birdsong. Journal of The Royal Society Interface, 12(112), 20150802.
5. Okanoya, K. (2015). Evolution of song complexity in Bengalese finches could mirror the emergence of human language. Journal of Ornithology, 156(1), 65-72.

[学会発表](計 5件)

1. Okanoya, K. (2017). Auditory pattern learning in birds and humans. The comparative biology of language learning, Leiden, The Netherlands, April 3- April 7
2. 岡ノ谷一夫 (2016) 家禽化による行動変容と関連する遺伝的变化, 行動遺伝学研究会 国立遺伝学研究所(静岡県・三島市), October 13-14.
3. 戸張靖子, 佐藤芳美, 丸谷桃花, 神作宜男, 森千紘, 岡ノ谷一夫 (2016). 鳴禽類におけるメソトシン cDNA クローニング: 全長 cDNA 配列およびアミノ酸配列. 行動遺伝学研究会. 国立遺伝学研究所(静岡県・三島市), October 13-14.
4. Okanoya, K. (2016). Evolutionary emergence of vocal complexity in finches: sexual selection and relaxed selection as two factors. 31st International Congress of Psychology, Yokohama, Japan, July 24-29.
5. Okanoya, K. (2016). Domestication and evolution of signal complexity in finches. The 11<sup>th</sup> International Conference on the Evolution of

Language, New Orleans, USA, March 21-24.

[図書](計 2件)

1. Tobar, Y. & Okanoya, K. In: T. Sasanami, (Ed.) Avian Reproduction: From behavior to molecules. DOI 10.1007/978-981-10-3975-1, Chapter 10. Hormonal responses to a potential mate in male birds, Springer Singapore
2. 岡ノ谷一夫 (2015). 思春期と発声学習 - 鳥とヒトに見る脳機能の類似点 In: 笠井・藤井・福田・長谷川(編). 思春期学 東京大学出版会, pp. 197-210.

6. 研究組織

(1)研究代表者

岡ノ谷 一夫 (OKANOYA, Kazuo)  
東京大学・大学院総合文化研究科・教授  
研究者番号: 30211121

(2)研究分担者

池淵 万季 (IKEBUCHI, Maki)  
国立研究開発法人理化学研究所・脳科学総合  
研究センター・研究員  
研究者番号: 20398994

(4)研究協力者

戸張 靖子 (TOBARI, Yasuko)  
麻布大学・獣医学部動物応用科学科・講師  
研究者番号: 90453919