

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23240033

研究課題名(和文) ヒトと動物による人工文法の学習過程と脳機構

研究課題名(英文) Artificial grammar learning by humans and animals: behavioral process and brain functioning

研究代表者

岡ノ谷 一夫 (Okanoya, Kazuo)

東京大学・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) 38,000,000円、(間接経費) 11,400,000円

研究成果の概要(和文)：トリを訓練し、周波数の異なる3つの音を用いて音圧で大小のパターンをつくり、大大小と大小小の弁別をさせると、6羽中1羽のみこれを学んだ。この1羽について、他の刺激属性の要素を用いてテストしたところ、学習が般化した。これに続き、大脳高次聴覚野において単一神経細胞記録を測定する実験を行った。トリの歌から3つの音要素を切り出して組を作り、AABまたはABAのパターンで麻醉下で拘束したトリに聴かせて見た。AABのパターンを頻回、ABAのパターンをまれに聴かせると、特定の3音チャンクによく応答し、かつ他の組み合わせのチャンクにも応答する細胞が数パーセント見つかった。結果はトリが規則学習を示すことを示す。

研究成果の概要(英文)：We tested whether birds (Bengalese finches) are able to demonstrate the capacity to extract a simple rule from examples at a behavioral and a neural level. In the behavioral experiment, birds were tested by an operant go-nogo procedure to discriminate between two groups of sounds that differed on the pattern of sound intensity. Of eight birds tested only one learned the discrimination. This bird demonstrated the generalization of the learned rule through probe tests. In the neural experiment, single-unit auditory responses were recorded in the higher auditory area NCM in anesthetized birds. An odd-ball task showed that about 30% of neurons showed habituation-dishabituation property. Among these, 7% showed generalized response property suggesting the extraction of the rule.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：人工文法 トリ ヒト オペラント条件付け パターン プロソディ 集団符号化

### 1. 研究開始当初の背景

「生物言語学」の名のもとに、言語起源の生物学的な探求が進められているが、これらの研究のほとんどが、ヒトを対象とした「今ある言語機能」についての研究であり、言語の起源そのものを問うものではないのが現状であった。言語起源の解明でもっとも興味深い部分は、文法がいかに創発したかである。問題の取り扱いを容易にするため、申請者は文法をいったん意味から切り離し、系列生成規則として研究することにした。これまで、統計情報にもとづく記号列の分節化に焦点を絞り、ヒト (Abla et al, 2008) やトリ (Takahasi et al, 2010) において分節化の研究を進めてきた。結果、ヒトもトリも、記号どうしの遷移確率が低いところで記号列を分節化し、それにもとない大脳基底核・前帯状皮質が活動することがわかった。

しかしながら、記号列の分節化から文法規則の創発には大きな溝があり、これをどう埋めたらよいか悩むところであった。このため、ここでいったん方向性を変え、ヒトやヒト以外の動物 (鳥類としてジュウシマツ、齧歯類としてデグー) がどのような構造の人工文法 (意味は持たないが構造をもつ記号列) を学習できるのかを検討し、そのための脳機能はどうであるのかを解明し、それらのデータから文法機能の創発について考えることにした。

### 2. 研究の目的

言語の生物学的な起源、特に文法能力の起源について生物心理実験にもとづく知見を供給することが本研究の目的である。ヒトと動物が学習できる人工文法の構造と対応する脳機能を調べ、ヒトがもつ文法機能が特殊なのか、動物がもつ諸認知機能を融合拡張することで実現可能なのかを検討する。『ヒトにおいては系列処理と作業記憶とが機能的に融合しており、複雑な記号列が処理できる』という仮説を立て、確率判断のみで学習できる記号列、階層的な処理が必要な記号列、埋め込み構造を持つ記号列など、複雑さの異なる記号列の学習を検討し、動物とヒトの違いを浮き彫りにする。また、ヒトの文法能力が特殊であるとすれば、どのような進化史がそれを可能にしたのか、特殊でないとすれば何がきっかけで下位機能の融合拡張が起こったのかも考えてゆく。

### 3. 研究の方法

ヒト (霊長類) とジュウシマツ (鳥類) を研究対象とする。動物やヒトの発声要素を材料として用い、統計的記号列、階層的記号列、埋め込み記号列を作成する。これらの刺激を提示して文法規則の学習をさせ、規則から逸脱した刺激に対する応答を行動と脳波、機能的 MRI、フィールド電位、遺伝子発現などの脳活動から測定する。順化・脱順化法とオペラント弁別を行動課題として用いる。初年度

は刺激の作成と順化・脱順化法による検討および脳測定の準備を行う。次年度はオペラント弁別による検討を追加し、最終年度に動物実験の結果からヒトの文法創発を説明する仮説を構築する。

### 4. 研究成果

本研究の目的は、ヒトと動物 (特にトリ) による人工文法の学習に関わる能力と制約について行動学的・神経科学的に検討することであった。地鳴きという単音節の音声を持ちて AAB というパターンと ABA というパターンをヒトとトリ (ジュウシマツ) にオペラント条件づけによって弁別学習させた後、数種のプローブ刺激を聴かせて応答をしらべた。結果、ヒトはパターンを元に学習していたが、トリは音韻を元に学習していたことがわかった。この結果は論文として発表した。次にトリの歌の要素を用いて AAB と ABB のパターンを作り、オペラント条件づけでトリを訓練したが、学習基準に達したトリはいなかった。そこで、周波数の異なる 3 つの音を用いて音圧で大小のパターンをつくり、大大小と大小小の弁別訓練を行うと、6羽中1羽ではあるが、これを学んだ。この1羽について、他の刺激属性の要素を用いてテストしたところ、学習が般化した。この結果から、刺激の音圧次元 (プロソディの一種) でパターンを作ればトリでもこれを学習しさらに般化することが示された。

これに続き、大脳高次聴覚野において単一神経細胞記録を測定する実験を行った。総計 400 ほどの音に応答する神経細胞を同定した。トリの歌から 3 つの音要素を切り出して組を作り、AAB または ABA のパターンで麻醉下で拘束したトリに聴かせて見た。AAB のパターンを頻回、ABA のパターンをまれに聴かせると、特定の 3 音チャンクによく応答し、かつ他の組み合わせのチャンクにも応答する細胞が数パーセント見つかった。これら神経細胞の応答を組み合わせる仕組みがあれば、音列から抽象的なルールを抽出することも可能である。

さらに、ABBA と ABAB のパターンの弁別を幼児に行わせることを試みた。パターンは単独ではなく意味を持たせた場合によく学習が進んだ。これらの結果の一部は国際学会で発表され、上記研究にもとづき 3 本の総説論文を投稿し受理された。

### 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 11 件)

- 1) Kourou, T., Seki, Y., & Okanoya, K. (2014). Local structure sensitivity in auditory information processing in

- avian song nuclei. *Neuroreport*, 25(8), 562-568. DOI: 10.1097/WNR.000000000000136 [ 査読有]
- 2) Miyagawa, S., Ojima, S., Berwick, R. C., & Okanoya, K. (2014). The integration hypothesis of human language evolution and the nature of contemporary languages. *Frontiers in Psychology*, 5-564, 1-6, DOI=10.3389/fpsyg.2014.00564 [ 査読有]
  - 3) Ojima, S., & Okanoya, K. (2014). The non-hierarchical nature of the Chomsky hierarchy-driven artificial-grammar learning. *Biolinguistics*, 8, 163-180. <http://www.biolinguistics.eu> [ 査読有]
  - 4) Kamiyama, K., Abla, D., Iwanaga, K., & Okanoya, K. (2013). Interaction between musical emotion and facial expression as measured by event-related potentials. *Neuropsychologia*, 51, 500-505. doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.11.031 [ 査読有]
  - 5) Katahira, K., Suzuki, K., Kagawa, H., & Okanoya, K. (2013). A simple explanation for the evolution of complex song syntax in Bengalese finches. *Biology Letters*, 9(6), 20130842. doi: 10.1098/rsbl.2013.0842 [ 査読有]
  - 6) Lipkind, D., Marcus, G. F., Bemis, D. K., Sasahara, K., Jacoby, N., Takahashi, M., Suzuki, K., Feher, O., Ravbar, P., Okanoya, K., & Tchernichovski, O. (2013). Stepwise acquisition of vocal combinatorial capacity in songbirds and human infants. *Nature*, 498, 104-109. doi:10.1038/nature12173 [ 査読有]
  - 7) Miyagawa, S., Berwick, R. C., & Okanoya, K. (2013). The emergence of hierarchical structure in human language. *Frontiers in Psychology*, 4, 1-6. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00071 [ 査読有]
  - 8) Seki, Y., Suzuki, K., Osawa, A. M., & Okanoya, K. (2013). Songbirds and humans apply different strategies in a sound sequence discrimination task. *Frontiers in Psychology*, 4, 447. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00447 [ 査読有]
  - 9) Sun, F., Hoshi-Shiba, R., Abla, D., & Okanoya, K. (2012). Neural correlates of abstract rule learning: An event-related potential study. *Neuropsychologia*, 50, 2617-2624. doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.07.013 [ 査読有]
  - 10) ten Cate, C., & Okanoya, K. (2012). Revisiting the syntactic abilities of non-human animals: natural vocalizations and artificial grammar learning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 367, 1984-1994. doi: 10.1098/rstb.2012.0055 [ 査読有]
  - 11) Berwick, R. C., Okanoya, K., Beckers, G. J. L., & Bolhuis, J. J. (2011). Songs to syntax: the linguistics of birdsong. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(3), 113-121. doi:10.1016/j.tics.2011.01.002 [ 査読有]
- [ 学会発表 ] (計 11 件)
- 1) Okanoya, K., Osawa, A., Ono, A., & MacCohon, L. (2014). "Extraction and construction of rules in birds and humans", The syntax of mind "language, music, art", University of Vienna, Austria, 2014/4/17.
  - 2) Okanoya, K. (2014). "Auditory pattern learning in birds and humans, Workshop on the comparative biology of artificial grammar learning", 10th International Conference on the Evolution of Language (EvolangX), Vienna, Austria, 2014/4/14.
  - 3) Koumura, T., Seki, Y., & Okanoya, K. (2013). "Auditory responses in the avian song nuclei to the own song with the systematic modification", 脳と心のメカニズム第14回冬のワークショップ, 留寿都リゾート, 北海道, 2014/1/8.
  - 4) Okanoya, K. (2013). "Bird song as a musical protolanguage", International Summerschool on Agent-based Models of Creativity, Cortona, Italy, 2013/9/5. [招待講演]
  - 5) Ono, S., & Okanoya, K. (2013). "Stimulus- and subject-specific

effects on the behavioural habituation/dishabituation test in Bengalese finches”. Behaviour 2013, Newcastle, UK, 2013/8/4-8.

- 6) 大澤歩美, 岡ノ谷一夫. (2013). “ ‘ The dog bites the men ’ or ‘ the man bites the dog ’ ? Evolution of relation discriminating system of language through iterated learning ”, Human Behavior & Evolution Society 2013, Miami, USA, 2013/7/18.
- 7) 小野聡子, 香川紘子, 高橋美樹, 関義正, 岡ノ谷一夫. (2012). 「ジユウシマツの馴化・脱馴化による歌弁別には刺激特異性が高い」日本動物行動学会第 31 回大会, 奈良女子大学, 奈良, 2012/11/23-25.
- 8) 上村卓也, 関義正, 岡ノ谷一夫. (2012). 「鳥類歌神経核の活動の固体内比較」第 35 回日本神経科学大会, 名古屋, 2012/9/18-21.
- 9) 上山景子, 岡ノ谷一夫. (2012). 「同期タッピングが聴覚記憶痕跡の形成に与える影響」第 35 回日本神経科学大会, 名古屋, 2012/9/18-21.
- 10) 岡ノ谷一夫. (2012). 「進化言語学の現状と課題 : Evolang9 報告」日本進化学会第 14 回東京大会, 八王子, 2012/8/21 .
- 11) Okanoya, K., Suzuki, K., & Seki, Y. (2012). *Failure of operant discrimination learning of simple algebraic concept in a songbird*. Paper presented at the 9th International Conference on the Evolution of Language (EvolangIX), Kyoto, Japan 2012/3/13-16. [査読有]

〔図書〕(計 2 件)

岡ノ谷一夫. (2013). 「つながり」の進化生物学 - はじまりは、歌だった. 東京: 朝日出版社. 296 ページ.

Okanoya, K. (2013). Birdsong for Biolinguists. In: Boeckx C. & Grohmann, K. K. (eds.) The Cambridge Handbook of Biolinguistics, Cambridge University Press, Cambridge, UK., pp431-459.

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 : 3 0 2 1 1 1 2 1