

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月28日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14818

研究課題名(和文)新世界ザル採食果実の匂い物質から模索する霊長類の感覚生態

研究課題名(英文) Primate sensory ecology approached through odorant analysis for dietary fruits of New World monkeys

研究代表者

河村 正二 (Kawamura, Shoji)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：40282727

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：果実は熟するにつれ色や匂いを変化させ動物を惹きつける。果実選択における色の効果は多く研究されてきたが、果実の匂い、動物の嗅覚、視覚の相互関係については知見が乏しかった。本課題は野生のシロガオオマキザル(*Cebus imitator*)の行動観察と採食果実の色度及び匂い物質の測定の統合を試みた。その結果、匂い嗅ぎ行動の頻度と果実の成熟に伴う匂い総量の増加に正の相関があることを明らかにした。また、「赤緑色弱」個体はより頻繁に匂い嗅ぎを行い、色覚の不利を補う戦略をとっていた。果実の物性、動物の感覚、採食戦略が複雑に相互作用している実態を明らかにし、霊長類の多様な採食行動への理解を深めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトを含めて霊長類は視覚の動物と考えられ、特に色覚は熟した果実の採食に重要と考えられてきた。しかし、霊長類の果実採食において匂い嗅ぎ行動が頻繁に観察されることや、色覚において不利とみられてきた「赤緑色弱」がカモフラージュ資源の獲得に有利であるという近年の知見などから、ヒトを含めた霊長類の感覚進化を再考する必要性が生じた。本課題は、様々な植物種に対して、果実の色や匂いの多様な変化パターンに応じて、霊長類が色覚や嗅覚を相補的に柔軟に使い分ける戦略をとっている実態を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The senses play critical roles in helping animals evaluate foods, including fruits which can change both in color and scent during ripening to attract frugivores. While numerous studies have assessed the impact of color on fruit selection, little is known about fruit scent, and how olfactory and visual data are integrated during foraging. We combine behavioral data on wild white-faced capuchins (*Cebus imitator*) with measurements of fruit colors and scents from dietary plant species. We show frequency of olfactory behavior is positively correlated with increases in the volume of fruit odors produced during ripening. Monkeys with red-green colorblindness sniffed fruits more often, indicating that increased reliance on olfaction is a behavioral strategy that mitigates decreased capacity to detect red-green color contrast. These results demonstrate a complex interaction among fruit traits, sensory capacities and foraging strategies which help explain variation in primate behavior.

研究分野：自然人類学

キーワード：感覚進化 霊長類 果実採食 色覚 嗅覚 新世界ザル オマキザル 匂い物質

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

従来、ヒトを含めて霊長類は一般に視覚依存の動物とみなされ、霊長類の感覚認知の研究も視覚にフォーカスしたものが多かった。これは無理もないことで、現に a) 霊長類はナビゲーションや食べ物・捕食者・交配相手を見つけるのに視覚に大きく頼り、b) 霊長類の起源と適応放散に視覚が重要とされており、c) 両眼立体視や高解像度視力や 3 色型色覚など霊長類の視覚システムの進化には多くの特徴の獲得がみられる。しかし、近年の研究から他の感覚の重要性が見直されてきている。例えば、霊長類は microsmatic (嗅覚が貧弱の意) であるという広く行き渡った見方は過度の単純化と指摘されている。ヒトの嗅覚は従来考えられていたよりずっとよいことが示されているし、果実の様々な匂いを含めて特定の物質に対しては、リスザルとヒトは、macrosmatic とされるイヌやラットより感度がよいことが報告されている。色覚タイプの異なる狭鼻猿類と新世界ザル類の間で、嗅覚受容体機能遺伝子数に大きな違いがないことがわかり、一方で受容体レパートリーには大きな種差があることから、嗅覚も霊長類で種ごとに動的・適応的に進化してきたことがわかってきた。霊長類において果実識別の主感覚と考えられてきたのは 3 色型色覚である。しかし、研究代表者・河村は 3 色型と 2 色型からなる色覚多様性の顕著な新世界ザル類の行動観察から、果実採食には明暗視や嗅覚など他の感覚も動員されており、これにより色覚型間に採食効率の差が生じていないことを示してきた。霊長類が程度の差はあれほぼ普遍的に果実食であることを考えればこれは不思議なことではないのかもしれない。しかし、これまで嗅覚や他の非視覚感覚がどのように視覚と相互作用して霊長類の採食行動を導くのかあまり研究されてこなかった。果実にとっても種子散布は重大な生存戦略である。そこで果実の側に立って成熟段階による栄養価の変化を最もよく反映する物性は何かを調べ、それに必要な感覚は何かをみるという着想を得た。

2. 研究の目的

感覚は動物と外界のインターフェイスとして食べ物の検出や評価に重要な働きをする。霊長類は一般に視覚の動物とされ、ヒトを含めた感覚生態の研究においても嗅覚や触覚などの視覚以外の感覚は軽視されてきた。しかし、霊長類は採食時に、頻繁に匂いを嗅いだり触ったりしている。本計画は色覚種内変異の顕著な新世界ザルに注目し、その採食果実の匂い物質を測定する。硬度、色度といった他の物性と合わせ栄養価の指標として評価することで、霊長類の果実選択に重要な感覚を模索するという新しいアプローチを提案する。これにより、ヒトを含めた霊長類が栄養価の高い食料を選択するためにどのように様々な感覚を使うのかについての理解を進展させる。

3. 研究の方法

調査地のコスタリカ国グアナカステ自然保護区サンタロサ地区でノジロオマキザル、チュウバイテクモザル、マントホエザルの採食果実を採集する。現地で加熱脱着型多孔質吸着剤を用いて匂い物質を収集する。色度、サイズ、硬度を測定し、一部試料を栄養成分分析用に乾燥する。匂い物質及び栄養成分を研究室で分析する。成熟段階によるこれらの物性の変化を種ごとに明らかにし、もっとも栄養状態を反映する物性変化を突き止める。サルの採食行動記録と照合し、物性からの予測との整合性を検証する。採食に重要な匂い成分を推定する。

4. 研究成果

ヒトを含めて霊長類は視覚の動物と考えられ、特に色覚は熟した果実の採食に重要と考えられてきた。しかし、霊長類の果実採食において、匂い嗅ぎ行動が頻繁に観察されることや、色覚において不利とみられてきた「赤緑色弱」が、昆虫などのカモフラージュ資源の獲得に有利で

あるという近年の知見などから、ヒトを含めた霊長類の感覚進化を再考する必要が生じた。果実は熟するにつれ、色や匂いを変化させ、果実食動物を惹きつける。動物の果実選択における色の効果は多く研究されてきたが、果実の匂い、動物の嗅覚、視覚の相互関係については知見が乏しかった。そこで本課題は、野生のシロガオオマキザル(*Cebus imitator*)の行動観察と、その採食果実の色度及び匂い物質の測定の統合を試みた。その結果、熟するにつれて匂い総量が増加する果実ほどサルは匂い嗅ぎ行動をより頻繁にとる、即ち、匂い嗅ぎ行動の頻度と果実の成熟に伴う匂い総量の増加に正の相関があることを明らかにした。また、2色型色覚(「赤緑色弱」)個体は3色型色覚(「正常色覚」)個体よりも頻繁に匂い嗅ぎを行い、色覚の不利を補う戦略をとっていることを明らかにした。これらの結果により、果実の物性、植物の種子散布戦略、動物の感覚、動物の採食戦略が複雑に相互作用している実態を明らかにし、霊長類の多様な採食行動への理解を深めた。本課題は、様々な植物種に対して、果実の色や匂いの多様な変化パターンに応じて、霊長類が色覚や嗅覚を相補的に、柔軟に使い分ける戦略をとっている実態を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

原著論文

1. Melin, A. D., Nevo, O., Shirasu, M., Williamson, R. E., Garrett, E., Endo, M., Sakurai, K., Matsushita, Y., Touhara, K., [Kawamura, S.](#) (2019). Fruit scent and observer colour vision shape food-selection strategies in wild capuchin monkeys. **Nature Communications**, Accepted. DOI: 10.1038/s41467-019-10250-9. Open. 査読あり
2. Hogan, J. D., Fedigan, L. M., Hiramatsu, C., [Kawamura, S.](#) and Melin, A. D. (2018 Jul 18). Trichromatic perception of flower colour improves resource detection among New World monkeys. **Scientific Reports**, 8: 10883. Open. 査読あり
3. Melin, A. D., Chiou, K. L., Walco, E. R., Bergstrom, M., L., [Kawamura, S.](#) and Fedigan, L. M. (2017 Sep 26). Trichromacy increases fruit intake rates of wild capuchins (*Cebus capucinus imitator*). **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 114 (39): 10402–10407. Open. 査読あり

総説

4. [Kawamura, S.](#) and Melin, A. D. (2017). Evolution of genes for color vision and the chemical senses in primates. In: *Evolution of the Human Genome I: The Genome and Genes* (Saitou, N. ed.), pp. 181-216, Springer Japan, Tokyo. 査読あり

〔学会発表〕(計23件)

1. Hogan, J. D., Fedigan, L. M., Hiramatsu, C., [Kawamura, S.](#) and Melin, A. D.: Seeing the flowers for the trees: trichromacy provides food detection advantages for whitefaced capuchins. **The 88th Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropology**, Huntington Convention Center of Cleveland, Cleveland, Ohio, USA, March 27-30, 2019. (Poster)
2. [河村正二](#): オマキザルの採食選択における果実の匂い成分と色覚型の影響. **第6回ケモビ研究会(Chemosensation and Behavior Workshop 2019)**、ホテル マホロバ・マインズ三浦、三浦海岸、神奈川県、2019年3月11-13日。(口演)
3. [河村正二](#): 霊長類の感覚進化: コスタリカのお猿さん観察から始まった. **朝日カルチャーセンター 朝日 JTB・交流文化塾 首都圏本部横浜教室**、ルミネ横浜 8階(横浜駅東口)、横浜、2019年2月16日。(口演) (Invited)
4. [河村正二](#): 霊長類感覚系遺伝子の進化生態遺伝学: **第72回 日本人類学会大会: 公開シンポジウム DNA からみたヒトの進化 ~ 故宝来聡博士の業績を顕彰しつつ ~**、国立遺伝学研究所、三島市、静岡県、2018年10月19-22日。(口演) (Invited) (シン

ポジウム企画：田嶋敦、斎藤成也)

5. Melin, A. D., Shirasu, M., Williamson, R., Endo, M., Nevo, O., Touhara, K., Kawamura, S.: Wild capuchins (*Cebus imitator*) vary their sensory investigation behaviors in accordance with how reliably fruit traits signal nutritional ripeness. **第34回日本霊長類学会大会**、武蔵大学江古田キャンパス、東京都練馬区、2018年7月13-15日。(口演)
6. 河村正二: 霊長類進化の視点から見るヒト色覚多様性の意味. **東京工芸大学 色覚を考える展：色をめぐるレクチャーシリーズ(公開講座)**、東京工芸大学 厚木キャンパス、厚木、神奈川県、2018年6月9日。(口演) **(Invited)**
7. 河村正二: 眼の起源と進化を考える：進化の視点から見たヒトの色覚多様性. **朝日カルチャーセンター 朝日JTB・交流文化塾 首都圏本部横浜教室**、ルミネ横浜8階(横浜駅東口)、横浜、2018年5月19日。(口演) **(Invited)**
8. Kawamura, S.: Evolution diversity and adaptation of color vision and chemical senses in New World monkeys. **The 1st AsiaEvo Conference: Symposium “Molecular and genetic basis of adaptive evolution”**, Sheraton Dameisha Resort, Shenzhen, China, April 18-20, 2018. (Oral) **(Invited)** (Symposium organized by K. Tamura and **S. Kawamura**)
9. 河村正二: 霊長類の色覚とケミカルセンスについての進化生態遺伝学: **平成30年度遺伝研研究会「マクロ生態学と遺伝学の融合」**、国立遺伝学研究所 図書館3Fセミナー室、三島市、静岡、2018年4月14-15日。(口演) **(Invited)**
10. 河村正二: 霊長類進化の視点から考えるヒト色覚の多様性の意味：**第123回日本解剖学会総会・全国学術集会：シンポジウム「視る」を観る～眼球の解剖と機能の多様性～**、日本医科大学武蔵境校舎・日本獣医生命科学大学、武蔵野市、東京、2018年3月29日。(口演) **(Invited)** (シンポジウム企画：影山幾男、岡部正隆)
11. 河村正二: 新世界ザルの嗅覚・味覚受容体とその採食果実の匂い成分を切り口にした霊長類の感覚進化の解明：**日本農芸化学会2018年度大会：シンポジウム 化学で進化・多様性を考える**、名城大学 天白キャンパス、名古屋、2018年3月18日。(口演) **(Invited)** (シンポジウム企画：永田晋治、鈴木義人)
12. Kawamura, S.: Sensory genetics of primates to fish. **Department of Anthropology and Archeology Seminar**, University of Calgary, Calgary, Canada, March 12, 2018. (Oral) **(Invited)**
13. Kawamura, S.: Evolutionary genetics of vision and chemical sense in humans, wild primates and fish. **The International Alliance Research Internship (IARI) Symposium 4th Workshop in Biosciences**, ENS de Lyon, Cancer Research Centre of Lyon, INSA Lyon, Lyon, France, February 27 – March 1, 2018. (Oral) **(Invited)**
14. Kawamura, S.: Divergent Evolution of Olfactory and Taste Receptor Repertoire in New World Monkeys. **The 62nd Primates Conference**, Japan Monkey Centre, Inuyama, January 27 - 28, 2018. (Oral) **(Invited)**
15. Kawamura, S.: Vision and chemical sense in humans, wild primates and fish. **Zhejiang University- The University of Tokyo Joint Symposium 2017**, The University of Tokyo, Kashiwa Campus Library, Media Hall, November 29 - 30, 2017. (Oral)
16. Melin, A. D., Chiou, K. L., Walco, E. R., Kawamura, S. and Fedigan, L. M.: Red-green colour vision increases fruit intake rates of wild capuchins (*Cebus capucinus imitator*). **Canadian Association for Physical Anthropology 45th Annual Meeting**, Matrix Hotel,

Edmonton, Alberta, Canada, October 25th – 28th 2017. (Oral)

17. 河村正二、直井工、林真広、蘆野龍一、今井啓雄、新村芳人、東原和成、**Melin, A. D.**: 新世界ザルにおける化学物質感覚の多様化進化. **第89回日本遺伝学会大会**、岡山大学 津島キャンパス、岡山市、2017年9月13-16日。(口演)
18. 河村正二、直井工、林真広、蘆野龍一、今井啓雄、新村芳人、東原和成、**Melin, A. D.**: 新世界ザルにおける嗅覚及び味覚受容体の多様化進化. **第33回日本霊長類学会大会**、コラッセふくしま、福島市、2017年7月15-17日。(口演)
19. Kawamura, S., Naoi, T., Hayashi, M., Ashino, R., Niimura, Y., Touhara, K., Imai, H., Veilleux, C. C., Garrett, E. C., Melin, A. D.: Divergent evolution of olfactory and taste receptor repertoire in New World monkeys with diverse color vision types and feeding habits. **Annual Meeting of the Society for Molecular Biology and Evolution 2017 (SMBE 2017)**, JW Marriott hotel, Austin, USA, July 2nd - 6th 2017. (Oral)
20. 河村正二: 新世界ザル色覚・嗅覚・味覚遺伝子のターゲットキャプチャーと採食果実の物性分析. **京都大霊長類研究所 共同利用研究会「霊長類の食性の進化」**、京都大霊長類研究所、犬山市、2017年2月4日～5日。(口演) (**Invited**)
21. Kawamura, S.: Sensory genetics, ecology and evolution: Color vision of primates and fish, and study extension to chemical sense in primates. **The International Alliance Research Internship (IARI) Symposium**, The University of Tokyo, Kashiwa Campus Library, Media Hall, January 30th, 2017. (Oral) (**Invited**)
22. Williamson, R. E., Rothman, J. M., Kawamura, S. and Melin, A. D.: How reliable are color and softness as fruit nutritional cues? Integrating food properties and foraging data from Costa Rican capuchins in a dry tropical forest. **Joint meeting of the International Primatological Society and the American Society of Primatologists**, Navy Pier, Chicago, USA, August 21-27, 2016. (Oral)
23. 遠藤瑞輝、白須未香、Williamson, R. E.、Nevo, O.、Melin, A. D.、東原和成、河村正二: ノドジロオマキザル採食果実の匂い成分分析による霊長類採食行動に寄与する感覚の検討. **第32回日本霊長類学会**、鹿児島大学 郡元キャンパス、鹿児島、2016年7月15-17日。(口演)

〔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〕

河村正二研究室ホームページ

<http://www.jinrui.ib.k.u-tokyo.ac.jp/kawamura-home.html>

Shoji Kawamura Lab Home Page

<http://www.jinrui.ib.k.u-tokyo.ac.jp/kawamura-home-E.html>

6. 研究組織

(1)研究分担者(無し)

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 遠藤 瑞輝(河村研究室・大学院生)

ローマ字氏名：ENDO, Mizuki

研究協力者氏名：Amanda Melin (University of Calgary, Assistant Professor)

研究協力者氏名：白須 未香(共同研究者 東原和成教授研究室・助教)

ローマ字氏名：SHIRASU, Mika

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。