

竹食サル類の苦味感覚の進化を解明

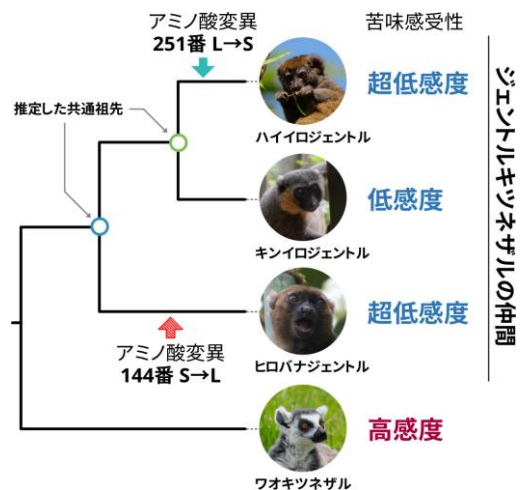
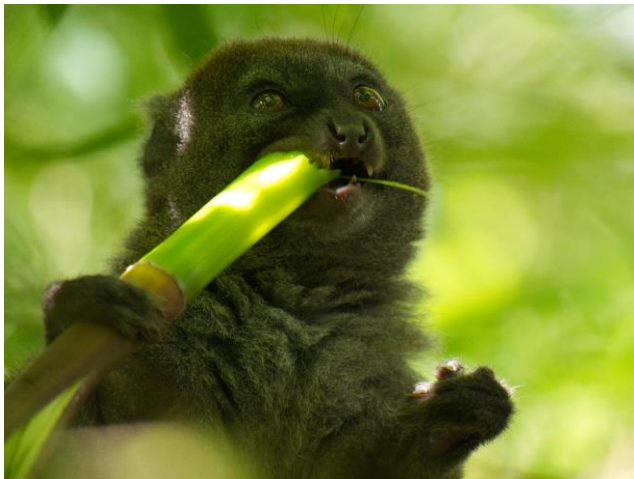
—竹が先か苦味が先か—

概要

苦いという感覚は、舌の上にある苦味受容体に苦味物質が結合したときに起こり、動物は本能的に苦いものを避けます。一方で、パンダのように他の動物が食べない苦い植物を主食とする動物も知られています。サルの仲間にも竹食に特化したグループがあり、京都大学霊長類研究所 今井啓雄 教授、糸井川壮大 同研究員、早川卓志 北海道大学助教らの国際研究グループは、マダガスカル島に生息する竹食性キツネザルの苦味受容体を解析した結果、これらのサルでは進化の過程で苦味感覚を減弱したことを発見しました。

マダガスカル島のタケ類には、多くの哺乳類にとって有毒で苦味を呈する青酸化合物が大量に含まれます。しかし、この島には、こうしたタケを主食とするサルが複数種棲息しています。本研究では、これらのサルについて、TAS2R16 と呼ばれる青酸化合物等を受容する苦味受容体の反応性を培養細胞系で解析した結果、それぞれの種で苦味感覚が減弱していることを発見しました。また、減弱の程度が種によって異なっていたため、その原因となるアミノ酸変異を探した結果、種ごとに異なる変異が苦味受容体の機能を減弱させていることがわかりました。つまり、彼らは平行進化によって竹の苦味を感じにくくなったと考えられます。

本成果は、2021 年 4 月 14 日に英国の国際学術誌「Proceedings of the Royal Society B」にオンライン掲載されました。



写真：竹を食べるハイロジェントルキツネザル ©糸井川壮大

右図：研究成果のまとめ。それぞれの系統で独自にアミノ酸変異がおこり、TAS2R16 の機能が減弱した。

1. 背景

苦いという感覚は、毒物を検知する働きをもつ感覚と考えられており、舌の上にある苦味受容体に苦味物質が結合することで引き起こされます。動物は苦味を感じるとその食べ物に対して忌避反応を示します。これまで当研究室では、ニホンザルや葉食ザルなど様々な霊長類の苦味受容体を比較してきましたが、本研究では、マダガスカルに生息する竹食ザルである「ジェントルキツネザル」に着目しました。ジェントルキツネザルが食べるタケには青酸化合物が多量に含まれていますが、彼らはそれをものともせずタケを日常的に食べています。そこで我々は、多くの哺乳類にとって有毒で苦味を呈する青酸化合物（特に青酸配糖体）に対してジェントルキツネザルは苦味を感じにくくなっており、これによって他の動物が食べないタケを食べられるようになっているのではないかと考え、彼らの苦味受容体について近縁のワオキツネザルと比較研究を行いました。

2. 研究手法・成果

TAS2R16 と呼ばれる青酸化合物などを受容する苦味受容体を遺伝子操作によって導入した培養細胞をジェントルキツネザル 3 種とワオキツネザルそれぞれについて作成し、様々な苦味物質に対する反応を測定しました。果実や葉を食べるワオキツネザルでは、青酸化合物を始め複数の苦味物質（ β グルコシド類）に強い反応を示しました。しかし、ジェントルキツネザル 3 種では、どの種もワオキツネザルよりも反応性が低いことがわかりました。この結果から、ジェントルキツネザルが苦いタケを食べるのに適した苦味感覚を持っていることがわかりました。

一方で、ジェントルキツネザル 3 種間でも苦味反応に差が見られたので、どのアミノ酸変異が苦味受容体の機能に影響を与えているのかを比較検討したところ、苦味受容体の反応性低下に最も関与している変異は、種ごとに異なっていることがわかりました。このことから、ジェントルキツネザルは進化の過程でそれぞれの系統が独自に竹の苦味に対して鈍感になっていった、つまり苦味感覚が平行進化したことがわかりました。

3. 波及効果、今後の予定

この研究によって、苦味受容体の機能がそれぞれの動物の食性に適したものに進化していることの一例を見出しました。また、ジェントルキツネザルの苦味受容体は、種ごとに平行的に機能低下していたことから、竹食が系統ごとに独立して進化した可能性も浮上してきました。今回の研究だけでは、ジェントルキツネザルの仲間がいつ竹食になったのかは解明できませんでしたが、味覚受容体の機能進化を調べることはそれぞれの動物がどのようなプロセスで現在の食性を獲得してきたのかを明らかにするツールとして役立つかもしれません。新規の食性獲得には味覚だけではなく、消化や解毒に関わる酵素の進化も不可欠なので、今後は、これらの酵素と苦味受容体の進化の過程を比較することで、いつジェントルキツネザルの仲間が竹食化したのかについて迫っていく予定です。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は以下の研究者・研究機関との国際共同研究として実施しました。

- 糸井川壮大 研究員, 今井啓雄 教授（京都大学霊長類研究所）
- 早川卓志 助教（北海道大学 大学院地球環境科学研究院）
- Fabrizio Fierro 研究員, Masha Y. Niv 教授
(The Institute of Biochemistry, Food Science and Nutrition, The Robert H Smith Faculty of Agriculture, Food and Environment, The Hebrew University of Jerusalem, Israel)

- Morgan E. Chaney 博士課程学生, Anthony J. Tosi 准教授
(Department of Anthropology, Kent State University, United States of America)
- M. Elise Lauterbur 研究員
(Department of Ecology and Evolutionary Biology, The University of Arizona, United States of America)

本研究は、以下の資金の助成を受けて行われました。

- 科学研究費補助金 基盤研究(B)
研究課題名：霊長類採食活動多様性の感覚的基盤
研究代表者：今井啓雄（京都大学霊長類研究所教授）
研究期間：2015 年 4 月～2019 年 3 月
- 科学研究費補助金 特別研究員奨励費
研究課題名：ジェントルキツネザルのタケ食適応過程における味覚受容体進化機構の解明
研究代表者：糸井川壮太（京都大学大学院理学研究科）
研究機関：2018 年 4 月～2021 年 3 月
- 公益財団法人小林国際奨学財団研究助成
研究課題名：苦味受容体に注目した霊長類個体やオルガノイドを用いたアジア産植物由来天然物の生理活性研究
研究代表者：今井啓雄（京都大学霊長類研究所教授）
研究期間：2018 年 1 月～2020 年 12 月
- 京都大学研究連携基盤
未踏科学研究ユニット「多階層ネットワーク研究ユニット」（今井代表）
本研究の論文は、研究連携基盤次世代研究者支援を受けてオープンアクセス化されました。

<研究者のコメント>

研究室では特殊な食性を示すサル類の味覚受容体を研究してきましたが、その中でも最も特殊な種の一つの味覚受容体の特性を明らかにしました。生物の味覚を研究することは、どうしてそれを食べるのか・食べられるようになったのかという生物の環境適応機構を理解するための重要なアプローチだと考えています。今後も様々な生物を対象に味覚の進化・適応研究していきたいと思っています。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Lowered sensitivity of bitter taste receptors to β -glucosides in bamboo lemurs: An instance of parallel and adaptive functional decline in TAS2R16? (ジェントルキツネザルにおける β グルコシドに対する苦味受容体の感受性減弱—TAS2R16 の平行・適応的機能低下の例か?)

著 者：Akihiro Itoigawa, Fabrizio Fierro, Morgan E. Chaney, M. Elise Lauterbur, Takashi Hayakawa, Anthony J. Tosi, Masha Y. Niv, Hiroo Imai

掲 載 誌：Proceedings of the Royal Society B

DOI：https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0346

< 参考図 >



本研究で対象としたジェントルキツネザル 3 種

左上：ヒロバナジェントルキツネザル(*Prolemur simus*) ©M. Elise Lauterbur

右上：キンイロジェントルキツネザル(*Hapalemur aureus*) ©Morgan E. Chaney

下：ハイイロジェントルキツネザル(*Hapalemur griseus*) ©糸井川壮大