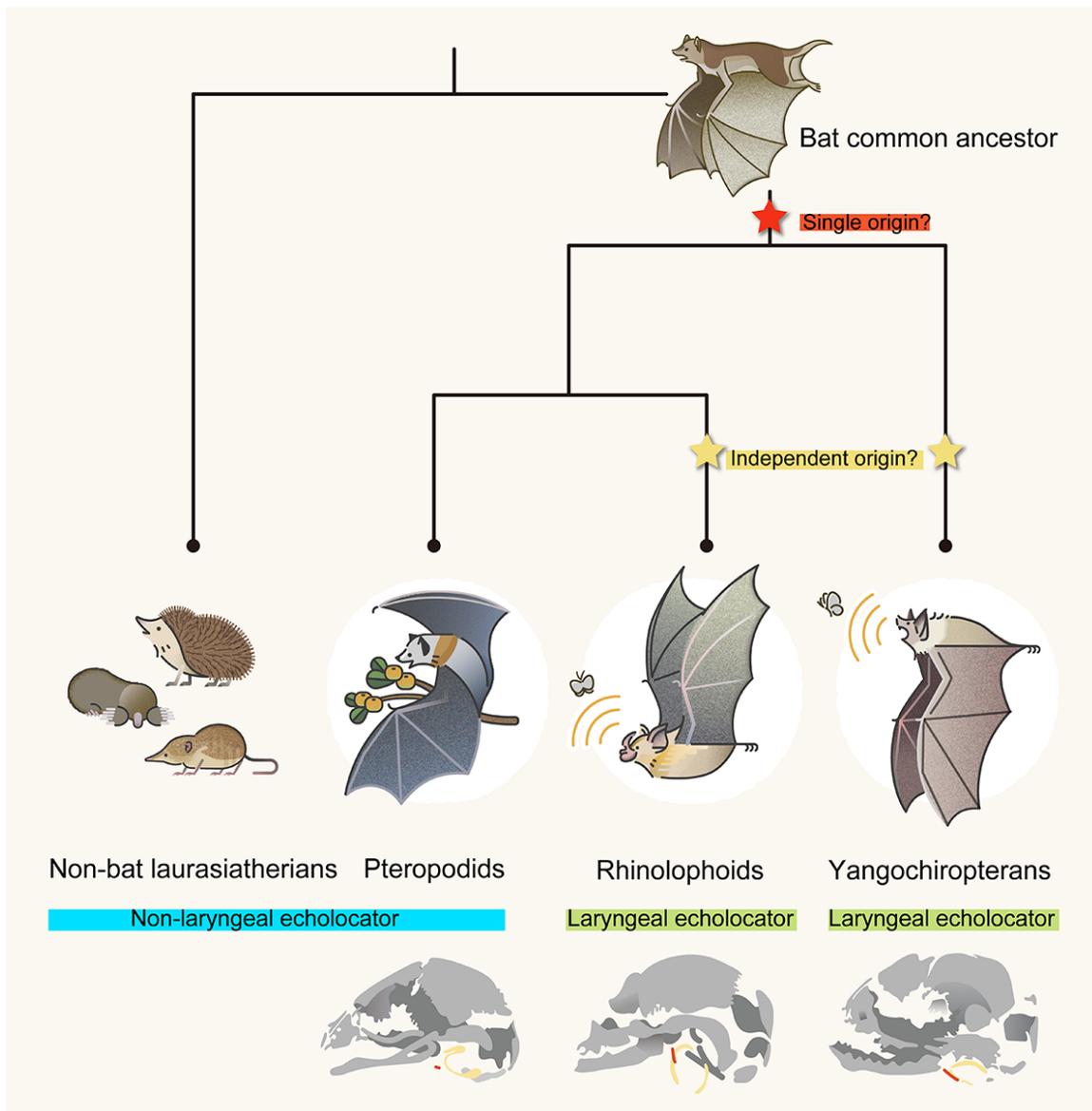




新学術領域研究

進化の制約と方向性

～微生物から多細胞生物までを貫く表現型進化原理の解明～



号外

コウモリ類における超音波利用能力の進化的起源を解明

Embryonic evidence uncovers convergent origins of laryngeal echolocation in bats

Taro Nojiri, Laura A. B. Wilson, Camilo López-Aguirre, Vuong Tan Tu, Shigeru Kuratani, Kai Ito, Hiroki Higashiyama, Nguyen Truong Son, Dai Fukui, Alexa Sadier, Karen E. Sears, Hideki Endo, Satoshi Kamihori, Daisuke Koyabu

Current Biology (2021) 31, 1-12

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.12.043>

Bats are the second most speciose group of mammals, comprising 20% of species diversity today. Their global explosion, representing one of the greatest adaptive radiations in mammalian history, is largely attributed to their ability of laryngeal echolocation and powered flight, which enabled them to conquer the night sky, a vast and hitherto unoccupied ecological niche. While there is consensus that powered flight evolved only once in the lineage, whether laryngeal echolocation has a single origin in bats or evolved multiple times independently remains disputed. Here we present developmental evidence in support of laryngeal echolocation having multiple origins in bats. This is consistent with a non-echolocating bat ancestor and independent gain of echolocation in Yinpterochiroptera and Yangochiroptera, as well as the gain of primitive echolocation in the bat ancestor, followed by convergent evolution of laryngeal echolocation in Yinpterochiroptera and Yangochiroptera, with loss of primitive echolocation in pteropodids. Our comparative embryological investigations found that there is no developmental difference in the hearing apparatus between non-laryngeal echolocating bats (pteropodids) and terrestrial non-bat mammals. In contrast, the echolocation system is developed heterotopically and heterochronically in the two phylogenetically distant laryngeal echolocating bats (rhinolophoids and yangochiropterans), providing the first embryological evidence that the echolocation system evolved independently in these bats.

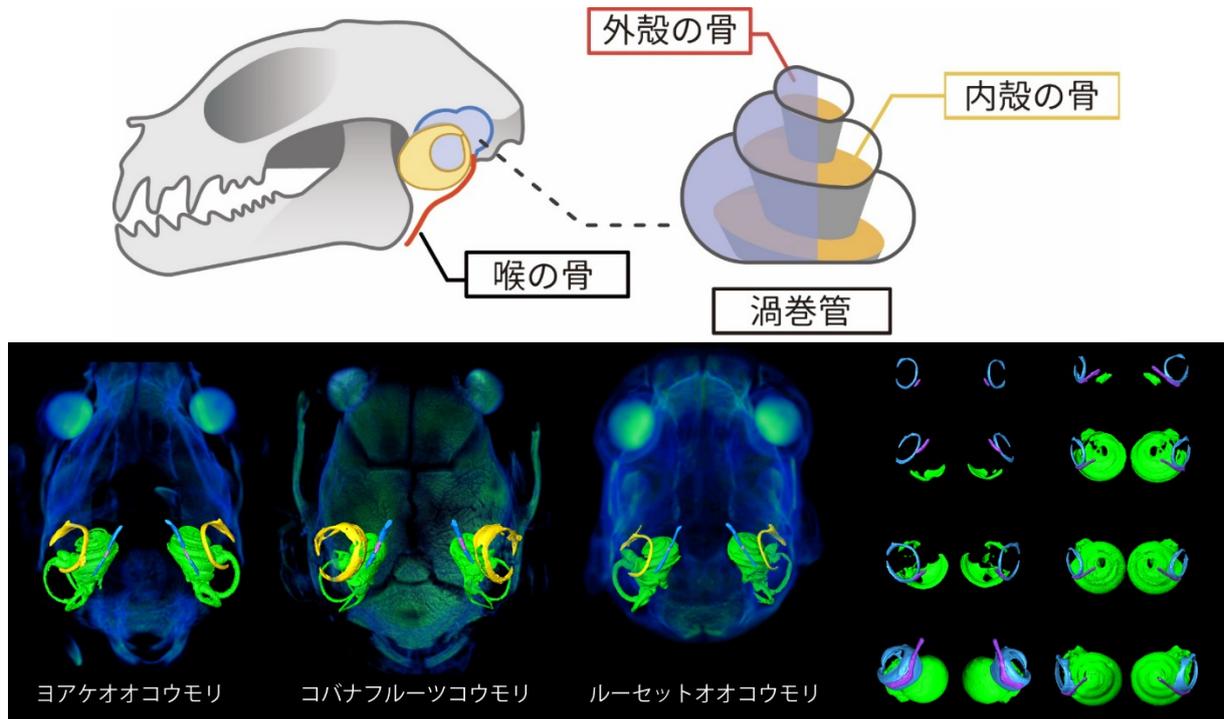
コウモリ類における超音波利用能力の進化的起源を解明

2021年3月8日 東京大学プレスリリース

ハリウッド映画などの影響で獰猛で吸血のイメージもあるコウモリですが、吸血性のコウモリは実際は中南米に3種いるだけで、1400種以上とされる大半は、夜空を飛び回って虫を捕らえて生きています。コウモリは、光のない闇夜で効率的に虫を探索・捕獲するためにノドで生成した超音波を周囲に照射し、反射音を受信することで、虫までの距離や虫の形状を正確に把握する超音波利用能力(エコーロケーション)を進化させたことが知られています。しかし、これまでこの超音波利用能力がどのような過程で進化してきたのか、また飛行能力とどちらが先に進化したのか論争が続いてきました。

このたび東京大学の野尻太郎大学院生および福井大助教らは、筑波大学の小藪大輔准教授らとともに高解像 X 線マイクロ CT を用いて、世界のさまざまな種のコウモリとその他代表的な哺乳類の胎児期の成長解析と進化解析をおこないました(図 1)。その結果、コウモリの共通祖先はまず初めに飛行能力を獲得し、そのあと3つの系統にわかれ、のちに2つの系統が超音波利用能力を各々個別に獲得したという進化史の全貌が明らかになりました。

コウモリは新型コロナウイルスの感染源の一つである可能性が指摘されており、その生態や進化に関する研究を進めることで、ウイルスの様々な問題の解決への糸口がつかめてくると期待されます。本研究成果は国際学術誌「Current Biology」に3月6日付(午前1時間)で掲載されます。



(図 1) 様々なコウモリにおける聴覚器官の構造とその発生

【発表概要】

地球上にはヒトを含む哺乳類が約 6,000 種生息していますが、このうち 4 分の 1 をコウモリが占めています。地味で普段あまり見かけることのないコウモリですが、実は地球上で大変繁栄している動物といえます。この大繁栄を可能にしたものが、飛行能力と超音波利用能力であると考えられています。夜空を飛ぶことで天敵に襲われる危険から逃れ、特殊な超音波利用能力を獲得したことで光のない暗闇でも

周りの環境を正確に認識できるようになりました。多くのコウモリは、ノドで生成された超音波を周囲の物体に照射し、跳ね返ってきた音(エコー)を聞くことで、物体までの距離や物体の形状を把握する超音波利用能力(エコーロケーション)を備えています。哺乳類ではほかにイルカやクジラなどの鯨類にも同じ能力が備わっています。しかし、鯨類とコウモリは類縁関係がとても遠いので、それぞれ独自に超音波利用能力を進化させたと考えられています。こういった他人の空似のような進化のことを「収斂進化」といいます。

こんにち存在するコウモリは血縁関係から大きく3つのグループ(グループ1:オオコウモリ類、グループ2:キクガシラコウモリ類、グループ3:ヤングコウモリ類)にわけられます(図2~4)。このうち、グループ2とグループ3は超音波利用能力をもちますが、グループ1は超音波利用能力を持っていません。この超音波利用能力がどのように進化したのかは論争的となってきました。二つの仮説が提唱されており、主流の学説となっている「全てのコウモリの共通祖先で一度進化して、グループ1でその能力が失われた」という単一起源説と、「コウモリが3つの系統に分かれたあと、系統の離れたグループ2とグループ3でそれぞれ個別に超音波利用能力が進化した」という二回起源説がありました。特に骨や化石を扱う研究者が主に前者の仮説を支持し、遺伝子を扱う研究者が主に後者の仮説を支持し、立場によって意見が対立してきました。

今回、東京大学、筑波大学、理化学研究所、ベトナム科学アカデミー、豪ニューサウスウェールズ大学、米カリフォルニア大学の国際共同研究チームは長年の論争を解決するため、超音波利用能力に関わる耳の渦巻き管とノドの成長に着目して、34種のコウモリとコウモリ以外の様々な哺乳類の胎児期の成長過程を分析しました。先端的な高解像マイクロCTを用いた解析の結果、超音波利用能力をもつグループ2とグループ3のノド(図3)と渦巻き管(図4)は、オトナになると見分けがつかなくなるほど見た目は酷似しているものの、胎児期における「形成の過程」が全く異なることが分かりました。一方で超音波利用能力をもたないグループ1の渦巻き管からノドにかけての器官群の形成の過程は、コウモリ以外の哺乳類と違いがありませんでした。これらの事実は、グループ2とグループ3の渦巻き管とノドは、オトナにおける見た目と機能は類似しているものの、進化の道筋が全く異なる「他人の空似」であることを意味します。このことから、超音波利用能力はコウモリの共通祖先で獲得されたのではなく、コウモリの共通祖先が3つの系統に分かれたあとに、グループ2とグループ3で超音波利用能力が個別に進化した収斂進化(注1)の事例に当てはまることが明らかとなりました。

また、コウモリ誕生の裏には未解決の謎がもう一つあります。飛ぶ能力をいつ獲得したのかという問題です。飛ぶ能力と超音波利用能力はコウモリで同時に進化したのか、それともどちらかの能力が先に進化したのか、これまで決着がついていませんでした。研究チームがコウモリの化石の再検討を行った結果、現在見つかっているなかで最古の化石コウモリは、恐らく超音波利用能力を備えていなかったと結論づけられました。つまり、コウモリはまず空を飛ぶ能力を獲得したあと、3つの系統にわかれ、虫を捕らえるための巧みな超音波利用能力はそのうち2つの系統でそれぞれ個別に進化したとの結論が得られ、これはコウモリの進化史についての理解を大きく前進させる成果です。

【今後の期待】

コウモリを研究する科学者は非常に少なく、その実態は未だ多くが謎に包まれています。一方で、コウモリは今なお世界各地で猛威をふるっている新型コロナウイルスの感染源の一つである可能性が指摘されているほか、狂犬病ウイルスやエボラウイルスといった人獣共通感染症の感染源でもあると指摘されています。様々な動物に重篤な症状を及ぼすこれらのウイルスにコウモリが感染しても、不思議なことにコウモリには重篤な症状がほとんど起きません。コウモリがなぜこれほどの強力な免疫系を獲得するに至ったか現段階ではまだわかっていませんが、飛行に必要な極めて高い代謝系を持っていることと関係しているという仮説もあります。コウモリの生態、ゲノム、生理、進化に関する基礎研究が進むことで、コウモリはどのような免疫系と代謝系によって様々なウイルスとうまく付き合っているのか、どこのコウモリがどのようなウイルスを持っているのか、どのようにすれば人間への感染を防ぐことができるのかなど、様々な問題の解決への糸口がつかめてくると期待されます。

【論文情報】

<タイトル>

Embryonic evidence uncovers convergent origins of laryngeal echolocation in bats

<著者名>

野尻太郎, Laura Wilson, Camilo López-Aguirre, Vuong Tan Tu, 倉谷滋, 伊藤海, 東山大毅, Nguyen Truong Son, 福井大, Alexa Sadier, Karen Sears, 遠藤秀紀, 上堀智司, 小藪大輔

<雑誌>

Current Biology, 2021, 31, 1-12

<DOI>

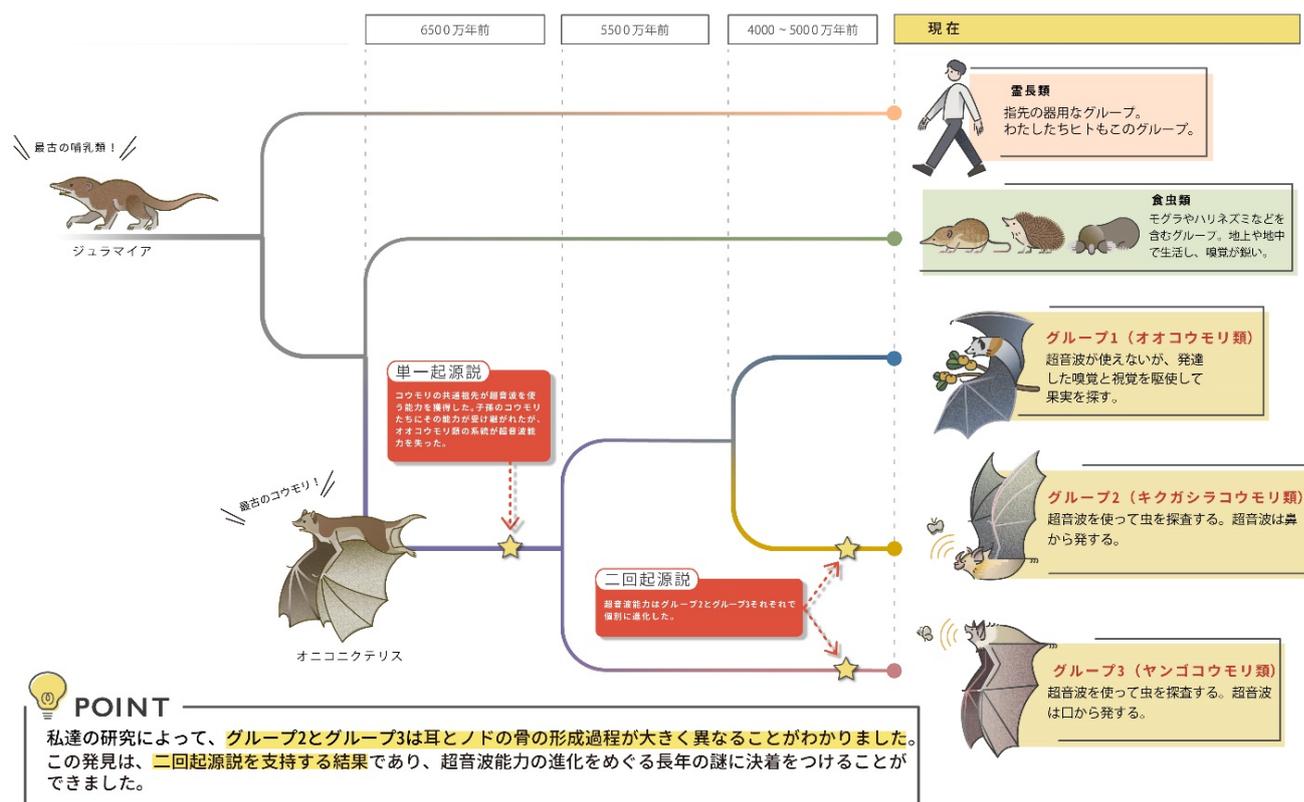
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.12.043>

【研究支援】

本研究成果は、文部科学省 新学術領域研究「進化制約方向性」、日本学術振興会 国際交流事業 ドイツとの国際共同研究プログラム、科学研究費補助金事業 (18H02492, 18K19359, 18KK0207) の一環として得られました。

超音波能力の進化の謎に挑む

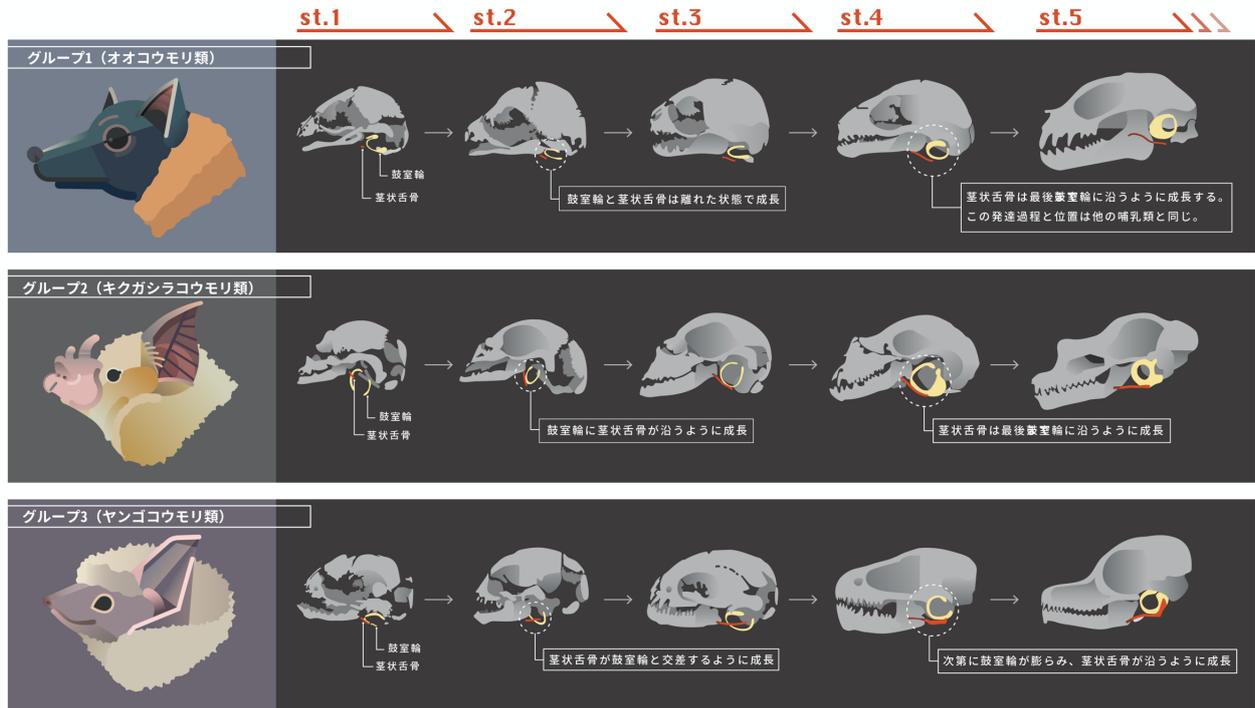
コウモリ類は超音波を使って獲物の形や距離を暗間のなかでも正確に把握できる特殊な能力を持つことで知られます。しかし、この能力を持たないコウモリ類もいます。そのため、この能力がコウモリ類の歴史のなかで一度だけ進化したのか（**単一起源説**）、あるいは二回進化したのか（**二回起源説**）、これまで論争が続いてきました。この問題を解決するため、私達は世界各国からコウモリの胎児標本を集め、超音波能力と深く関わる耳とノドの骨の成長を高解像度CTを用いて調べました。



(図2) 超音波利用能力の進化の謎に挑む

コウモリのノドの骨の発達過程

コウモリは超音波能力を発揮するためには、自ら出した発声音と、獲物から跳ね返ってきた反射音の違いを細かく聞き分ける必要があります。ノドの骨の一部である“茎状舌骨”はノドから耳に直接音を伝える働きをします。本研究によって、ノドの骨の一部である“茎状舌骨”の成長過程が3つの大きなグループの間で大きく異なることがわかりました。



(図3) コウモリのノドの骨の発達過程

渦巻管の形成過程の比較

本研究によってグループ1 (オオコウモリ類) の渦巻管の形成過程は一般的な陸棲哺乳類と同じなのに対して、グループ2 (キクガシラコウモリ類) とグループ3 (ヤンゴコウモリ類) の形成過程はそれぞれ異なることがわかりました。



(図4) 渦巻管の形成過程の比較

Constrained & Directional Evolution Newsletter Vol. 4 No. S7

発行：2021年3月5日

発行者：新学術領域研究「進化の制約と方向性～微生物から多細胞生物までを貫く表現型
進化原理の解明～」(領域代表者 倉谷 滋)

編集：Constrained & Directional Evolution Newsletter 編集委員会(編集責任者 深津 武馬)

領域 URL：<http://constrained-evo.org/>