

性器を取り替えちゃった昆虫 トリカヘチャタテ

北海道大学大学院農学研究院准教授 吉澤 和徳

はじめに

性や性器に関わる話題を公然と口にするのは普段でも抵抗がある。多感な高校生を相手にした授業で、ともなればなおさらであろう。しかし、性や性器（交尾器）の研究は進化生物学の最も活発な分野の一つでもあり、非常に魅力的な話題が多い。また高校生は性の話題には興味津々なので（少なくとも私の経験から言えば間違いない）、良い題材をうまく取り扱えば、性は非常に良い教材にもなるだろう。私は大学1年生を対象とした生物学の講義を担当しているが、性淘汰の実例を交えた説明への反応は上々で、通常自然淘汰の事例よりも学生の理解度も高い。また、適応進化でしばしば誤解される「種の利益や存続のため」という呪縛を解く上でも、性淘汰や性的コンフリクトは格好の話題である。

ブラジルの洞窟に棲息するトリカヘチャタテは、メスがペニスを持つという常識では考えられないような特徴が注目を集め、2017年のイグ・ノーベル生物学賞の受賞対象となった。トリカヘチャタテの名前のもとになった平安時代の「とりかへばや物語」から2016年に大ヒットとなった「君の名は」まで、性の入れ替わりを題材にした物語は多い。そして、まさにこの「性の入れ替わり」を示すトリカヘチャタテは、人間が作り出した物語すら超越する性の有り様を見せてくれる。本稿では「メスにペニス？オスにヴァギナ!？」という直感的な面白さだけではなく、研究の過程やこの特殊な構造の進化的な背景を掘り下げたいとおもう。

・研究の過程

今回は私が主導した研究が受賞したが、実はトリカヘチャタテを最初に発見したのも、またトリ

カヘチャタテを新種として報告したのも私では無い。トリカヘチャタテはブラジルの Rodrigo Ferreira 教授によって採集され、スイスの Charles Lienhard 博士によって2010年に新種記載されている（いずれも今回の共同受賞者）。この段階でメスにペニスのような構造があることも報告されているが、その機能や性淘汰研究での重要性については明らかにされておらず、それらを明らかにしたのが今回イグ・ノーベル賞を受賞した研究の成果である。実はこの研究を進める段階で、私自身生きたトリカヘチャタテすら見ていない。ブラジル調査のための研究費申請は何件か行ったのだが、「メスにおちんちんがついた昆虫を研究する」などという申請書はハナから信じてもらえなかったからか、それともただ単に申請書の出来が悪かったからか、全て門前払いであった。論文の出版後ようやく研究費が獲得でき、2016年3月ようやく生きたトリカヘチャタテの交尾を拝むことができた（写真1）。

したがって、2014年に出版した受賞論文での



写真1：トリカヘチャタテの一種の交尾状態の生態写真。後ろからマウントしている個体がメスで、交尾姿勢も通常の動物とは逆になっている。

交尾器の研究は、全てブラジルから送ってもらったサンプルに基づいて日本で行なわざるをえなかった。交尾器の機能を明らかにする上で、まずはトリカヘチャタテを交尾状態のまま固定してもらう必要がある。生きた昆虫を瞬間固定するには、液体窒素を使う場合が多いのだが、ブラジルの共同研究者の研究室からですら1200キロ以上離れたフィールド、しかも洞窟の中で、そのような手法は使えない。そこで、洞窟の中に魔法瓶でお湯を持ち込み、そのお湯で交尾中のトリカヘチャタテを瞬間的に殺すという方法を考案した。これは実に簡単かつ安価で、また実にうまくいった。交尾中のペアは2万キロの旅を経てもその状態を乱すことなく、無事日本にたどり着いた(写真2)。

いよいよその交尾状態のペアの観察である。昆虫の内部構造の観察に高価なCTスキャンを使う手法も当時一般的になってはいたが、前述の通り研究資金は無い。また、CTで作ったコンピュータグラフィックではなく、やはり交尾した状態の実物の生写真を論文では使いたいとも思った。昆虫の交尾器の観察では、水酸化カリウムを使って筋肉など内部組織を溶かしてしまう場合が多いが、これを交尾中のペアでそのままやってしまうと、筋肉の締め付けにより固定されていた交尾器同士が外れることになる。そこで交尾ペアの腹部を寒天で固めてしまい、そのあと水酸化カリウムで組織を溶かす方法を考案した。寒天が水酸化カ

リウムで溶けないこと、水やアルコール中では白濁する寒天もグリセリン中ではほぼ透明になることを予備実験で確認の上、トリカヘチャタテの交尾ペアの観察・撮影に挑み、成功した(写真3)。

このように、私がこの研究で使った手法は、旧来の手法に若干独自の捻りを加えただけ。撮影機材も普通の光学顕微鏡と民生品のデジカメで、高価な薬品も一切使わず、直接使った研究費は数千円程度に収まった。現在は研究費も当たったので、共焦点レーザー走査顕微鏡や、大型放射光施設SPring-8でのCTスキャン、またDNAによる系統解析なども用いてメスベニスの構造の詳細とその進化経路の解明を進めているが、トリカヘチャタテ研究の最初の成果は、一般家庭や中高の理科室にもあるような機材と薬品の組み合わせによってもたらされたのである。

・交尾器はなぜ逆転した？

一般の方がトリカヘチャタテの話聞いて驚く最大の理由は、「ペニスがついている方がオス」という認識が極めて一般的だからであろう。この一般的な認識とは異なり、生物学的に雌雄はそれらがつくる配偶子の大小によってのみ定義される。動物の場合、大きな配偶子である卵をつくるのがメス、小さな配偶子である精子をつくるのがオス、という具合である。とはいえ、ペニスはオスの構造に限定して適用すべきとする意見もあり、メス

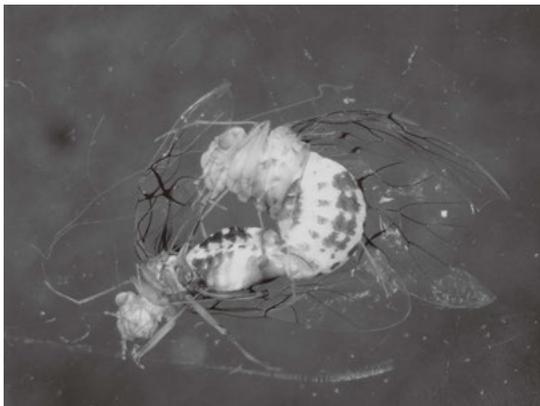


写真2：日本に無事届いたトリカヘチャタテの交尾標本。

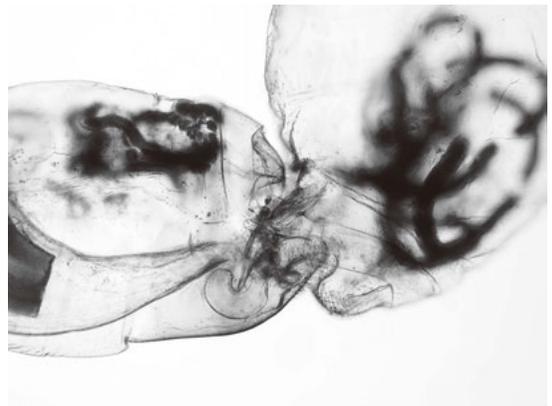


写真3：交尾標本の腹部を透過した状態。左がオスで右がメス。オスの腹部にU字型をした雌ペニスが挿入されている様子が見取れる。

の構造を「ペニス」と呼称したことは批判もされた。しかし、ペニスは体内受精を行うオスで何度も独立に進化しており、「ペニス」とこれまで呼ばれてきた構造の実態も様々である。オスペニスがそもそも異質な構造のまとめりであり、さらにペニスの有無に性を決定づける意味がないのであれば、「交尾に際して異性に挿入され、精子のやり取りを行う」トリカヘチャタテのメスの構造もペニスと呼称して差し支えないと考えている。

ではこのような交尾器の入れ替わりがなぜ生じたのだろうか？そこには性淘汰が重要な役割を果たしている。通常の動物の場合、小さな配偶子である精子は短時間で大量に作ることが可能であるが、大きな配偶子である卵はそうたくさん作ることができない。したがって、オスは別々のメスと繰り返し交尾してより多くの子を残すことも可能だが、メスが残せる子の数は自身が作ることができる卵の数によって制限され、交配するオスが増えても残せる子が増えることはない。そのためオスは交尾に積極的で、メスをめぐってオス同士が争ったり、メスに対して積極的にアピールしたりする一方、メスはそれほど交尾に積極的ではなく、オスを厳しく選り好みする。これが性淘汰という強い進化の力を生み出し、しばしばオスにとって生存には不利だが繁殖においては有利になるような、角や飾り羽などの形質が進化する。

この性淘汰は、生殖に直接関わる交尾器にももちろん強く働く。オス交尾器にはメスの選り好み、オス間の競争、雌雄間の葛藤などから生じる強い性淘汰が働いており、進化速度も速く、非常に多様な形態を示す。例えばトンボのオス交尾器には、先端にへら状の大きな返しがついており、これを使って前に交尾したオスの精子をメスの体内から掻き出したあと、自分の精子をメスに渡す。またアズキゾウムシではオス交尾器の先端に長い棘がついており、交尾時にこれをメスの膈壁に突き刺してメスを弱らせ、他のオスと再交尾する可能性を減らすことで、自分の精子を受精に使うってもらうよう仕向ける。交尾は子孫繁栄のための雌雄の仲睦まじい行いなどではなく、たとえ相手を傷つ

けてでも自分の利益を高めようとする激しいせめぎ合いの場なのだ。

そして通常はメスがオスを選ぶことで生じる性淘汰の方向は、時に雌雄間で逆転する。オドリバエの仲間では、オスがメスを引き付けるために婚姻贈呈と呼ばれる餌を与え、メスは餌を食べている間だけオスに交尾を許す。この段階では性淘汰の方向は通常通りなのだが、ある種のオドリバエではメスは自分で一切餌を捕らず、オスからもらう婚姻贈呈だけに餌を頼るようになる。このような種では、オスからもらう婚姻贈呈をめぐるメスの方が交尾に積極的になり、性淘汰の方向が逆転する。このハエのメスは腹部に自在に膨らませることができる袋状の構造を持ち、また脚にはフサフサの毛が生え、それを腹部に添えて飛翔する。いずれも腹部を大きく見せることで、自分があたかも成熟した卵をたくさん持ちすぐにも産卵可能であるかのように見せかけ、オスに交尾相手として選んでもらいやすくする構造として進化したものである。

この性淘汰の逆転こそが、トリカヘチャタテのメスにペニスが進化した鍵である。トリカヘチャタテのオスは交尾の際、精子の入った大きなカプセルをメスに渡す(写真4)。この精子は受精に使われることもあるが、それは産卵の準備が整っ



写真4：メスの精子貯蔵器官に見られた精子カプセル。右側の5つのカプセルは精子が消化済の空のカプセルで、左の2つはまだ受け取り構造についてままの中身の入ったカプセル。

たメスに精子を渡した場合だけで、卵が成熟していないメスに渡された精子は、おそらく卵の成熟のための栄養として消化されてしまう。トリカヘチャタテの生息する洞窟は栄養分が乏しいため、オスから渡される精子はメスにとって非常に重要な栄養源となっていると考えられる。そしてこの精子としてオスから受け取る栄養をめぐるメスが交尾に積極的になり、性淘汰の方向が逆転したと考えられる。実際、トリカヘチャタテのメスは多数回交尾する。交尾器の構造から判断して、この多数回交尾がメスの能動的な行動であることは疑いない。

メスペニスに加え、トリカヘチャタテではもう一つ奇妙な構造が進化している。それは、切り替えスイッチのついた精子の受け取り構造である。トリカヘチャタテのメスの精子貯蔵袋の入り口には、精子の輸送管を二又に分ける板がついている。この板の存在により、トリカヘチャタテは一度に2個の精子のカプセルを受け取ることが可能になっている。もし精子の受け取り口が1個しかない場合、メスは受け取ったカプセルを消化するまでしばらくの間は再交尾ができない。一方でもし受け取り口が2個あれば、交尾直後に別のオスと交尾して精子カプセルをもらうことも可能だし、さらに1回の交尾でオスから2個の精子カプセルをもらうことも可能になる。

私たちは、この精子受け取り構造がメスペニスの進化に重要な意味を持つと考えている。なぜなら、性淘汰の逆転した生物は少なからず知られているにもかかわらず、メスにペニスが生じた例は現在のところトリカヘチャタテでしか知られておらず、性淘汰の逆転だけではメスペニスの進化を説明するには不十分だからである。トリカヘチャタテの交尾時間は40～70時間と極めて長く、この間、メスはペニスの根元に生えた棘でオスを内側から拘束する(写真5)。特殊な精子受け取り口を持つメスは、1回の交尾でオスから2つの精子カプセルをもらえる可能性がある。オスからより確実に多くの精子を得るための拘束構造として、メスペニスが進化した可能性が高い。



写真5：写真3の標本をオスの腹側から見た状態。オスの内部でメスペニス根元の棘構造が四方に広がり、オスを内側から把握している。

以上、さもよく分かっているかのように書いてきたが、性淘汰は現在も活発に研究が続けられている分野で未知の点も多い。交尾器に働く淘汰に関しても、その主たる要因がメスの選り好みによるものなのか、雌雄の性的対立によるものなのか、議論が続いている。トリカヘチャタテも発見から間もない昆虫で、メスペニスの進化を明らかにするためには、基礎データの蓄積が必要である。

・おわりに

トリカヘチャタテの雌雄交尾器の逆転を発表したのは2014年。この広く一般の興味を引くであろう発見は、普段注目されることの少ない分類学や形態学の成果を宣伝する格好の機会になると思いい、大学を通してプレスリリースを出した。思惑は的中し、複数のマスコミから取材や問い合わせを頂いたが、そのほとんど全てから、朝刊にはふさわしくない話題のため没になった、とお返事を頂いた。

イグ・ノーベル賞の受賞は状況を完全に一変させた。報道を躊躇させる原因になった「ペニス」

の語が、一度は記事を没にした新聞社の朝刊にも載り、テレビでも流された。今回の受賞やそれに関する報道が、性に関わる面白い研究がもっと広く紹介され理解される機会に、そしてそのような話題を授業などでも紹介しやすくなる機会になればと願っている。なお、トリカヘチャタテ以外の交尾器進化の話題をお求めの際には、今回の共同受賞者である上村佳孝さん（慶應義塾大学）の「昆虫の交尾は味わい深い」と、メノ・スヒルトハウゼンの「ダーウィンの覗き穴：性的器官はいかに進化したか」をおすすめする。

今回受賞対象となったのは分類学や比較形態学という、地味な記載科学の成果である。さらにチャタテムシは、私が大学で研究を始めるまで20年以上、国内に分類学者が不在だった昆虫で、現在でも世界で5人程度しか専門の研究者がいない。昆虫学者からも軽視されてきた虫の分類を私が研

究テーマにできたのは、当時甲虫やハチなど需要の高い虫を研究している学生が充実しており、需要のほとんど無い虫の研究をやるゆとりがあったからである。今回のような発見が将来なされることは、私も含めて当時誰も想像していなかった。常識を覆すような発見は、全く予想もしないところから出てくる。その何が出るか分からない領域を、研究者の純粋な興味と探究心で切り開いていくのが基礎科学の役割であり、現在実用化されている様々な技術も、もとをたどれば全て基礎科学に行き着く。現在のように「すぐに成果が出て」「役に立つ」研究が評価され、選択と集中が行われる環境では基礎科学は細っていき、革新的な発見は困難になるだろう。現在の成果主義的な風潮と対をなすイグ・ノーベル賞は、本来の科学のあるべき姿を問い直してもいる。

『あなたのまわりのデータの不思議 統計から読み解く』

著：東京理科大学客員教授 景山三平



check

- ◆世の中で見る統計データは本当に正しいのか？
楽しみながら統計的な考え方も身につけられます
- ◆全44種のテーマを収録しています

主な収録テーマ

あなたも毎日「統計」をつかっている／統計はウソつき？／山師が穴を掘れば金鉱脈にあたるのか？／偏差値は神様？／世論調査は正しいのか？／湖にいる魚の総数がわかる？／賭け事に必勝法はあるのか？／くじ引きは早いもの勝ち？／999999999もランダム！／いいことも悪いことも続けて起こりがち？／信長と秀吉のさい銭投げのヒミツとは？／学校で習う確率と社会で使う確率は同じなの？

B6判／176頁／
定価(本体1,200円+税)

◎指導資料としてご購入いただけるようになりました  DVD教材

増 補 新 訂 版 化学基礎・化学 対応

化学 実験室 BEST100 PLUS

第1巻 物質の構成・物質の変化 第2巻 物質の状態・無機物質
第3巻 有機化合物・高分子化合物

増 補 新 訂 版 物理基礎・物理 対応

物理 実験・観察室 BEST100 PLUS

第1巻 物体の運動 第2巻 エネルギー・波 第3巻 電気

増 補 新 訂 版 生物基礎・生物 対応

生物 実験・観察室 BEST100 PLUS

第1巻 生命の連続 第2巻 情報の伝達と反応 第3巻 環境への適応

3巻セット価格：本体 57,000 円 + 税 各巻価格：本体 19,000 円 + 税

▷「高校講座」をはじめとする NHK の貴重な番組映像から重要度の高い実験を厳選しました。

▷全クリップにコンパクトでわかりやすい解説ナレーションを収録。

▷各クリップの収録時間は 1～5 分程度ですので、導入・展開・まとめなど、あらゆる授業にご活用いただけます。

増補新訂版のポイント

◎各巻に指導用資料 CD-ROM（全クリップのナレーションテキストデータ、生徒用ワークシートの Word データを収録）付き！

◎新たなクリップの追加や差し替えを行いました

◎化学・物理には NHK 「大科学実験」の映像も収録



企画・制作：NHK エデュケーショナル 発行：NHK エンタープライズ 販売：実教出版株式会社
©2017NHK エンタープライズ（化学） ©2015NHK エンタープライズ（物理） ©2016NHK エンタープライズ（生物）