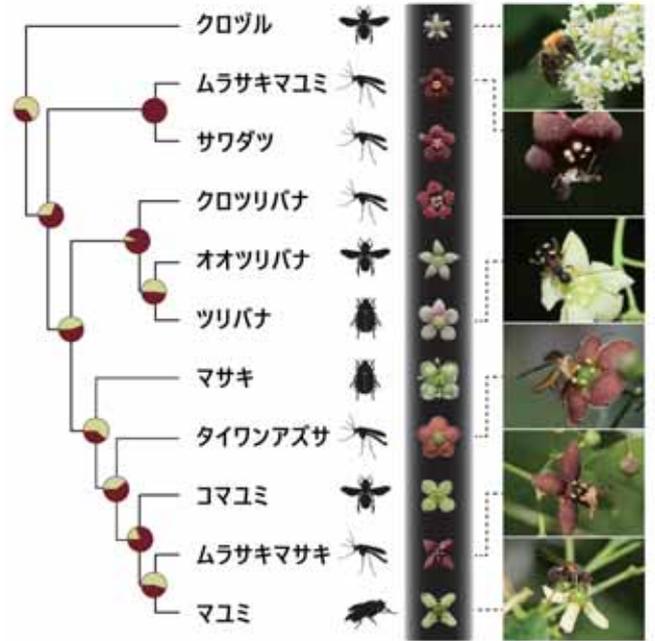


CASE 1

未知なる送粉シンドローム 暗く赤い花に秘められた

ここは台湾, 烏来の山中。
 タイワンアズサの赤い花を訪れる昆虫を探している。
 これは2年ぶり, 2回目の挑戦だ。
 観察を始めたときには登り始めていた陽は,
 遠い山の奥へと消えていった。
 今回もダメなのだろうか…
 夜の森にいっそう心細くなる。
 諦めつつもヘッドライトで花を照らすと,
 小さな虫がうごめいた。
 これこそ探していた送粉者・キノコバエだった。
 歓喜の叫びと共に成し遂げられたこの観察は,
 被子植物に未知の送粉シンドロームが
 存在することを示唆する重要な一片であった。



被子植物は蜜や花粉を報酬として動物を花へ誘い寄せ、個体間での花粉の授受(送粉)を成し遂げている。植物には多様な花が見られるが、クチナシやハマユウのようにスズメガに送粉される植物は白く芳香のある花を咲かせるなど、同じ送粉者をもつ植物が似た花をもつ場合がある。これは送粉シンドロームと呼ばれ、古典的に、ハナバチや鳥など、送粉者に応じた11タイプの花が知られてきた。しかし、このタイプ分けが花の多様性のすべてを記述するわけではなく、身近な植物でもどのタイプにも属さない花をもつものがある。特に、ワインのような深い赤い色をもつ花は、進化的な系統が異なる複数の分類群で起源しているが、送粉者との関係はほとんど未知であった。

私たちは、以前の研究で、日本の山林に広く自生するアオキなど5科7種の植物が、「小さく平たい暗赤色の花に、短い雄しべと露出した蜜腺をもつ」という互いに類似した花をもつことを報告していた。これらの植物はいずれもキノコバエという双翅目昆虫²⁾に送粉されることから、共通した花形質はキノコバエに送粉されることに伴う進化の結果である可能性を指摘していた。

今回の研究では、暗赤色または緑白色の花がみられるニシキギ属植物において、暗赤色花とキノコバエとの進化的関係性を検討した。日本, 台湾,

アメリカ合衆国を舞台に、約258時間の野外観察を行い、1,853頭の訪花昆虫を採集し、体表に付着した花粉に基づいてそれぞれの昆虫の送粉への寄与を評価したところ、暗赤色花をもつ5種はキノコバエに、緑白色花の7種はハナバチや大型のイエバエ、甲虫に送粉されることがわかった(図)。

送粉者タイプと花形質の進化的関係性について調べたところ、キノコバエによって媒介される送粉は、暗赤色の花卉、短い雄しべ、アセトインを中心とした花の匂い、と相関することがわかった。このことは、キノコバエへの適応が、花形質の協調的な進化、すなわち送粉シンドロームをもたらしたことを示唆している。

今回、送粉シンドロームに新たなタイプが加わり、キノコバエとの相互作用が花の進化に重要な役割を果たすことが明らかになった。キノコバエを含む双翅目昆虫は花を訪れる代表的な昆虫であるものの、花の進化との関係性はほとんど検証されることがなく、貴重な実証例になった。一方で、暗赤色の花をもつ植物のすべてがキノコバエに送粉されるわけではない。ひとつひとつ、野外での観察を重ねることで、暗赤色の花の生態と進化を明らかにしていきたい。

本研究成果は K. Mochizuki *et al.*, *Annals of Botany* **132**, 319–333 (2023) に掲載された。

(2023年8月24日プレスリリース)

ニシキギ属における花色と送粉様式の進化パターン。系統樹上の円グラフは、その系統が分岐した時点において緑白色または暗赤色どちらの花色をもっていたかの確率を示す

注: 別名ハエ目。ハエヤカ、アブ、ガガンボなどを含む昆虫分類群

CASE 2

昆虫の変態で制御される 共生器官および共生細菌

昆虫の変態は劇的だ。姿形が大きく変わり、成長から繁殖へ生存原理が転換する。

昆虫と微生物の共生は普遍的だ。

特殊化した細胞や消化管の内部に生存に必要な微生物をすまわせ、

単独では利用困難な食物や環境に適応する。

変態の過程でこのような共生関係はどう制御されているのか？

私たちはカメムシの変態において、昆虫自身の共生器官の構造のみならず、

共生細菌の機能も、幼虫における成長の支持から成虫では繁殖の促進へと切りかわることを発見した。

昆虫の内分泌制御が体内の微生物にまでおよぶという、高度に統合された共生機構の一端が明らかになった。



多くの昆虫類は微生物と密接な共生関係にある。たとえばカメムシ類は、針のような口で植物の汁を吸って生きており、共生細菌による必須アミノ酸やビタミン類の供給が成長および生存に必須である。チャバネアオカメムシは、消化管の後端に多数の袋状の盲囊（もうのう）が配列した共生器官をもち、その内腔に共生細菌を保有する。奇妙なことに、カメムシ類では、共生器官を含む消化管の構造が幼虫と成虫で異なる。幼虫では共生器官の前端が閉じていて、食物は共生器官に流入することはなく、消化管の前半部ですべて消化吸収される（図A）。吸汁性のため、このようなことが可能となるらしい。そのため消化管の後半部は食物が流れず、共生細菌の保有に特化している。一方、成虫では共生器官の前端が開き、食物は消化管の後半部にも流れるようになり、より多量の食物を消化吸収できるようになる（図B）。このような

変化はなぜ、どのようにして生じるのか？幼虫が成虫になる過程で起こる変化であることから、変態に関係があるのではないかと予想した。

昆虫類では幼若ホルモンと脱皮ホルモンの作用により、変態制御遺伝子の発現が変化して、幼虫から成虫への変態が起こる。羽化前の5齢幼虫で成虫化遺伝子 E93 の発現を抑制したところ、脱皮しても幼虫の姿を維持した6齢の過齢幼虫となった（図C）。一方、4齢幼虫で幼虫化遺伝子 Kr-h1 の発現を抑制したところ、脱皮すると5齢の早熟成虫となった（図C）。それらの共生器官を調べたところ、過齢幼虫は6齢なのに共生器官は幼虫型、早熟成虫は5齢なのに共生器官は成虫型であった。すなわち、共生器官が幼虫型になるか成虫型になるかを決めているのは、これらの変態制御遺伝子であることがわかった。

共生細菌の遺伝子発現および物質代謝を調べたところ、アミノ酸の一種であるシステインを特に多量に合成していることがわかった。

チャバネアオカメムシは繁殖力が旺盛な農業害虫として知られ、好適な飼育条件下で約14個の卵を2～3日おきに1ヶ月以上にわたり産み続ける（図C）。卵は堅牢な卵殻に包まれるが、調べたところ卵殻のアミノ酸組成の10%以上をシステインが占めており、卵生産には多量のシステインが必要なことが判明した。

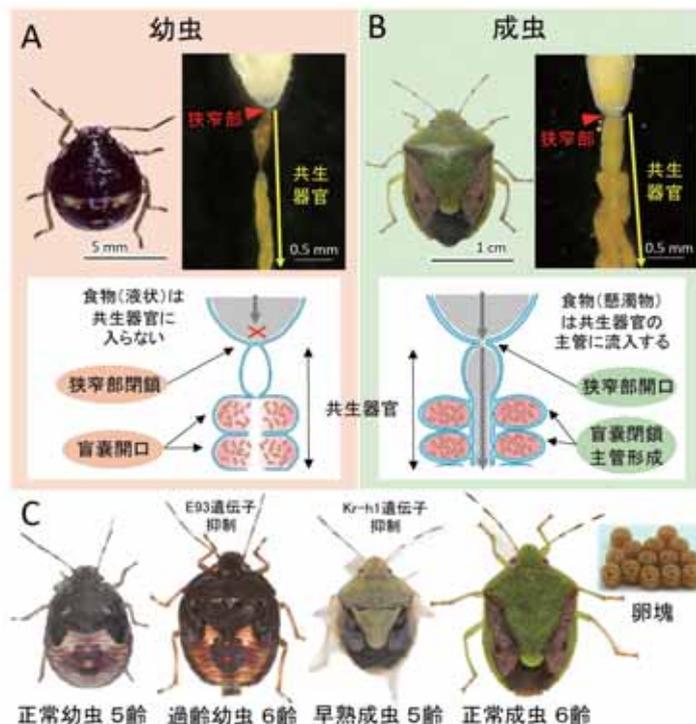
興味深いことに、変態制御遺伝子の操作により誘導した5齢の早熟成虫でも、成虫型の共生器官内の共生細菌はシステインを高生産していた。すなわち、共生細菌の生理機能が宿主昆虫の変態の制御下にあることが示された。

異種生物である体内の共生細菌が宿主昆虫の内分泌制御をうけるという、高度に統合された共生機構の一端を解明した研究成果である。

本研究は、S. Oishi *et al.*, *PNAS*, **120**, e2304879120 (2023) に掲載された。

(2023年9月26日プレスリリース)

チャバネアオカメムシの変態と共生器官。(A) 幼虫の共生器官。(B) 成虫の共生器官。(C) 正常幼虫、過齢幼虫、早熟成虫、正常成虫、卵塊



正常幼虫 5齢 過齢幼虫 6齢 早熟成虫 5齢 正常成虫 6齢

CASE 3

中性子星で起きている 地震の証拠をつかんだ？

今、天文学で注目されている「高速電波バースト」。
わずか数ミリ秒の間だけ電波で光る、謎の爆発現象だ。
最近の進展で、どうやら中性子星で起きていることがわかってきた。
では中性子星でどのように爆発が起きるのか？
中性子星表面には固体地殻があり、地球の地震と同じような破壊現象が起こるのではないかと
従来から議論されていた。今回、高速電波バーストの「余震」の起き方を詳しく調べて見ると、
地球の地震と驚くほどよく似ていることが判明した。
地球以外の宇宙天体でも地震が発生していることを強く示唆する結果といえる。

通信などで使われる電波（可視光線よりずっと波長が長い電磁波）を使って宇宙を見る電波天文学において、2007年に最初に報告された新種の天体現象が高速電波バーストだ。我々が住む銀河系の外、それも数十億光年という宇宙論的な遠方で起きていて、少なくとも一部のものは何度も繰り返して爆発を起こしている。

その起源として有力なのが中性子星だ。太陽より8倍以上重い星が重力でつぶれて、超新星爆発を起こした後に残される、質量が太陽の1～2倍でありながら半径がわずか10 kmという恐ろしく高密度な星だ。中性子星は1億テスラ以上という強烈な磁場を持っており、それが中心部から浮き上がってきて固体地殻を歪め、時に破壊する。そんな地震ならぬ「星震」が起こるのではと、古くから理論的に予想されてきた。

ならば高速電波バーストにも、地震のように、あるイベントに誘発されて次のイベントが起こる「余震」があるのではないか？

そんな着想で、高速電波バーストのイベント間の時間相関を調べたところ、たしかに、発生率が時間のべき乗で減衰する余震が起きていることを突き止めた。この「べき乗で減衰」は、地震では古くから知られている大森・宇津の法則と同じである。余震というと大きな地震の後、小さな地震が多数発生するイメージだが、実は一つ一つのイベントに着目しても、一つのイベントの後に一定の確率で大森・宇津の法則に従って発生する余震が見られる。実際、われわれの相関関数による解析手法を日本の地震データに適用したところ、高速電波バーストとよく似た結果が得られた。とくに、ある一つのイベントの後に余震が発生する確率も10～50%と、二つの現象でよく似ていたのであった。ちなみに、もう一つよく比較される現象である太陽フレアも解析したが、こちらは高速電波バーストや地震との類似性は見られなかった。太陽の表面は流体で、固体地殻のようなものが存在しないせいかもしれない。

スケールが何十桁も違い、構成物質も全く異なる中性子星と地球の間で、これほどの類似点が見られたのは驚きであった。今後、この類似性をさらに理論的に検討することで、高速電波バーストの発生メカニズムや、中性子星の超高密度物質の性質について新たな知見が得られると期待される。筆者は地震については専門家ではないが、地震の大森・宇津の理論的理解もまだまだ十分とは言えないようである。中性子星という全く異なる場所で地震によく似た現象が見られることから、より普遍的な現象として見直すことで、地球地震の余震の理解にも新たな光があてられるのではないかと。今後、さまざまな方向に研究が発展しそうでワクワクしている。

本研究成果は T. Totani and Y. Tsuzuki, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **526**, 2796, (2023) に掲載された。

(2023年10月12日プレスリリース)

