

共生する

地球上のすべての生物は細菌、古細菌、真核生物にグループ分けされる。私たちヒトは、数十兆個の細胞核を有する細胞で構成されており、真核生物の一員である。

真核生物は、私たちの祖先である古細菌が好気呼吸をする細菌を細胞内に共生させ、ミトコンドリアを獲得することで成立した。酸素呼吸によってエネルギーを獲得するようになった真核生物のある種が、さらに光合成細菌を細胞内に共生させることで、太陽光のエネルギーを利用して空気中の二酸化炭素から有機物を合成する生物が生まれた。葉緑体を持つ植物である。今から10億年～20億年前の出来事である。これらの進化的イベントは、生物によってもたらされた地球環境の変化が原動力となったと考えられている。

生物学が対象とする共生は、双方が利益を得る相利共生ばかりではない。片側が搾取する寄生や、双方が損をする競争なども共生として捉えられる。競争も進化の原動力となる。『鏡の国のアリス』に登場する「赤の女王」のことは『その場にとどまるためには、全力で走り続けなければならない。』が競争と進化の関係を例えているので、「赤の女王仮説」と呼ばれている。すべての生物種と地球環境は相互に影響を与えながら、全力で走り続けて変化し続けてきた。しかしながら、これらはすべて進化的スケールの時間軸で起こったことである。私たち人間の活動が、この100年ほどで他の生物種や地球環境に与えている影響は、「赤の女王」が期待しているものではない。



東京大学大学院農学生命科学研究科長・農学部長

堤 伸浩

昆虫の病気や病原体を研究する学問領域を昆虫病理学といいます。農学部3年生の「昆虫病理学」の講義で出会って以来30年間、昆虫とその病原体の神秘に魅せられています。細胞から生態系に至るまで、いろいろなレベルでの共生社会を垣間見ることができます。



生産・環境生物学専攻
昆虫遺伝研究室
かつ ま すむ
勝間 進教授



昆虫に垣間見る 共生社会

身近な共生から人間活動を考える

共生とは、異なる種の生物が細胞、個体、生態系といったレベルに関わらず同所的に存在することです。相利共生や寄生などがよく知られていますが、共生の種類には明確な境界はなく、環境や時期によって関係性が変化する場合があります。さらに、人間が観察できる利害関係は限定されているため、実際の関係性を正確に捉えられていない場合もあります。

私は昆虫に感染する微生物を研究していますが、その中でも魅せられているのがバキュロウイルスとボルバキアです。バキュロウイルスは主にチョウやガに感染するウイルスで、宿主幼虫の行動を制御して寄主植物のてっぺんに昇らせ、死亡後に体を溶かすことからゾンビウイルスと言われています(図1)。この恐ろしいウイルスも生態系の中では宿主昆虫の密度を下げることに貢献しており、「森を守るウイルス」としても有名です。一方、ボルバキアは昆虫の細胞の中に存在する細胞内共生細菌であり、昆虫の

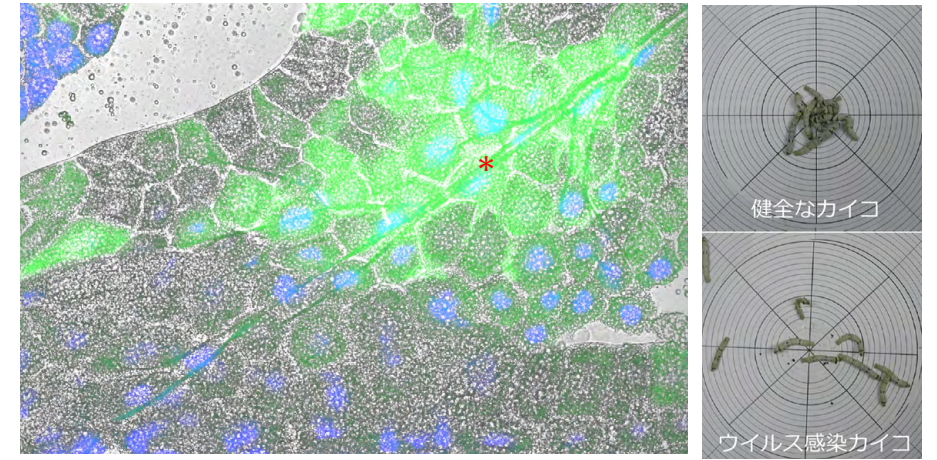


図1. バキュロウイルスによる宿主行動操作

バキュロウイルスは自然界では経口感染によって伝播し、消化管から侵入した後は酸素運搬組織である気管(※で示しています)を利用して全身に広がっていきます(左図で緑色がウイルス感染細胞を表しており、気管に沿って感染が広がっていることがわかります)。全身感染後に宿主の行動が活性化され、健全な状態だとあまり動かないカイコも活発に動くようになります(右図)。

性を操作することが知られています。私の研究対象はトウモロコシの害虫として悪名高きアワノメイガに共生する「オス殺し」ボルバキアです(図2)。このボルバキアに感染したメスが健全なオスと交配すると、後代ではオスは致死し、メスだけになってしまいます。こんな病原体がいたらメスだけになって、この種は途絶えてしまうのでは、と考えるのが普通でしょう。実際、絶滅しか

けた例も知られていますが、大抵の場合は生態系の中では絶妙にバランスがとられているようです。

小さな昆虫と同じように、私たち人間の活動も多様な共生者とのバランスの中に成り立っています。地球という巨大な共生システムの一員であることを忘れずに活動していくことが大事なのは間違いありません。



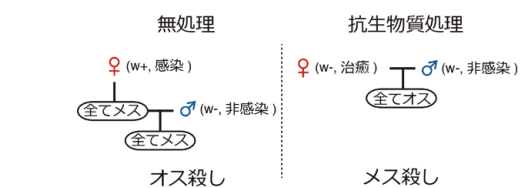
図2. アワノメイガに共生するオス殺しボルバキア

トウモロコシの害虫であるアワノメイガ(左写真)には、オス殺しを引き起こすボルバキアが共生している場合があります。ボルバキアはアワノメイガ細胞の細胞質に存在し、宿主の性決定経路に干渉することでオス殺しを引き起こすことがわかっています(右写真で緑色は細胞核、赤色は細胞質に存在するボルバキアを示しています)。左写真はProc Jpn Acad, Ser B 94 (2018)の図を日本学士院の許可を得て改変したもの。右写真は松田(今井)典子博士の提供による。

教えて！Q&A

■ ボルバキアによるオス殺し

ボルバキアは昆虫の60%以上に感染していると考えられており、その宿主制御の巧みさも相まって「最も成功した寄生者」と言われています。ボルバキアは、「オス殺し」、「遺伝的オスのメス化」、「単為発生」、「細胞質不和合」という4種類の性・生殖操作を行います。オス殺しボルバキアに感染した昆虫を抗生物質処理すると、通常、非感染の場合と同じように性比が1:1に回復します。しかし、オス殺しボルバキアに感染したアワノメイガ類では、ボルバキアを除去すると感染時とは逆のメス殺しが生じます。これは、100年以上の持続感染により、宿主の性決定機構がボルバキアに依存してしまったためであると考えられています。



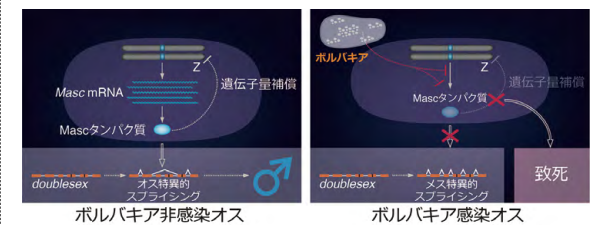
ボルバキアの共生によるアワノメイガ類のオス殺し。
wはボルバキア非感染、w+はボルバキア感染個体を示す。

■ ボルバキアによる感染病の防除

蚊はさまざまなウイルスやマラリア原虫など、多くの病原体を運ぶベクターとして知られており、病気の蔓延を防ぐ一手として蚊の防除が行われてきました。最近の研究で、ショウジョウバエ由来のボルバキアを人為的に感染させた蚊は、病原体の媒介能力が極度に低下することが判明しています。この現象を利用して、ボルバキア感染蚊を野外に放し、感染症の蔓延防止の試みが世界中で行われています。

■ オス殺しのメカニズム

カイコの性決定機構の研究から、カイコのオス化因子Mascはオス化だけではなく、遺伝子量補償にも関与していることがわかっています(弥生65農学最前線参照)。Masc遺伝子を破壊するとオス化できなくなり、遺伝子量補償の破綻によりオスが致死します。ボルバキアはこのMascを無効化することにより、チョウ目昆虫においてオス殺しを実行します。



ボルバキアによるオス殺しのメカニズム。図はProc Jpn Acad, Ser B 94 (2018)の図を日本学士院の許可を得て改変したもの。