



2022年4月22日

害虫の生存を支えるバクテリアが無数のゲノムを持つことを発見 ～ヒトのミトコンドリア病発生機構の理解や安全な害虫防除法開発への貢献に期待～

私たちヒトは、両親からひとつずつゲノムをもらい受け、細胞核に2つのゲノムを収納しています。これに対し、核を持たない単細胞生物であるバクテリアは、細胞にひとつしかゲノムを持たないのが普通です。今回、豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端融合研究所 中鉢 淳准教授の研究チームは、害虫と融合・一体化した共生バクテリアが、その細胞に非常に多数のゲノムを持つことを明らかにしました。これは、宿主昆虫への栄養供給効率を高めるとともに、外界から隔離されて劣化の進みがちな共生バクテリアのゲノムの安定保持に役立っている可能性があります。

<概要>

研究チームは、米国テキサス大学のナンシー モラーン教授と共同で、植物害虫の「キジラミ」にすむ共生バクテリア「カルソネラ」が、ひとつの細胞に数千個から数万個ものゲノムを持つことを明らかにしました。研究チームはこれまでに、このバクテリアが、一部の遺伝子を宿主キジラミの核に移しながら、オルガネラと同レベルにまでゲノムを縮小してきたことを明らかにしており、今回、その極小ゲノムが細胞内にきわめて多数存在することを解明しました。

<詳細>

ゲノムとは、ある生物をその生物として存在させるために必要な最小限の遺伝情報セットのことです。「バクテリア」*1の多くは、細胞内にゲノムをひとつしか持たないのが普通ですが、一部の種は複数のゲノムを持ちます。これに加え、酸素呼吸の場「ミトコンドリア」や光合成の場「葉緑体」といった「真核生物」の「オルガネラ」*2も、小さなゲノムを数個から数十個程度持つことが知られています。これらのオルガネラは10億年以上前に、単細胞の真核生物が取り込んだバクテリアの末裔で、その進化過程で多くの遺伝子を宿主の核ゲノムに移し、ゲノムが大幅に縮小しています。通常バクテリアが環境中で周囲のバクテリアなどと自由に交流し、ゲノム構造を更新できるのと異なり、宿主細胞中に隔離されたオルガネラでは、ゲノムに変異が蓄積しがちです。とくに私たちヒトを含む動物のミトコンドリアでは変異が起きやすく、こうした変異の蓄積が、ヒトに多くの病気をもたらすことが知られています。オルガネラが多数のゲノムを持つのは、こうしたゲノムの劣化に対処する手段と考えられています。

このような真核生物とバクテリアの融合進化は、真核生物が多細胞化した後も繰り返し起きており、身近な昆虫でその例を見ることができます。さまざまな昆虫が共生専用の器官を持ち、その細胞内に多様なバクテリアを収納し、親から子へと受け継いでいます。こ

うした共生細菌は、オルガネラと同様、宿主と融合・一体化しており、互いにパートナーなしでは生きることができなくなっています。そのゲノムはオルガネラと同じく、大幅に縮小することが知られていましたが、その細胞内での数については、よく分かっていませんでした。

今回研究チームが解析したのは、北米の街路樹などの汁を吸う「キジラミ」^{*3} *Pachypsylla venusta* (パキシラ・ベヌスタ) の共生器官にすむ「カルソネラ (*Candidatus Carsonella ruddii*)」^{*4} という共生細菌です。この共生細菌は、キジラミの餌である篩管液に不足する必須アミノ酸などの栄養を合成・供給し、キジラミの生存を支えており、このカルソネラなしでは、キジラミは生きられません。研究チームのこれまでの解析で、カルソネラは、キジラミとの融合進化の過程で、一部の遺伝子を宿主の核ゲノムに移しながら^{文献¹}、葉緑体ゲノムと同レベルにまでゲノムを極小化している^{文献²} ことが明らかになっていました。今回は、絶対定量 PCR^{*5} などの手法を用いて、この極小ゲノムのカルソネラ細胞内での数を調べました。その結果、細長いひとつのカルソネラ細胞内に、数千個から数万個と、きわめて多数のゲノムが詰め込まれていることが明らかとなりました。この極端な状態は、細胞分裂を抑えて資源やエネルギーの浪費を防ぎ、キジラミへの栄養供給関連の代謝に注力することで、栄養供給効率を高めている可能性があります。また、オルガネラと同様、共生器官に隔離された共生細菌は外界との交流がなく、ゲノムに変異が蓄積しがちです。多数のバックアップコピーを用意することで、このゲノムの劣化に対処している可能性も考えられます。

<今後の展望>

カルソネラの極小ゲノムの複製や、ユニークな細胞分裂の機構を解明し、ゲノム分配の仕組みを知ることで、ヒトのミトコンドリア病の発生過程の理解の深化や、安全な害虫防除法の開発への貢献が期待できます。

<論文情報>

Atsushi Nakabachi and Nancy A. Moran (2022). Extreme polyploidy of *Carsonella*, an organelle-like bacterium with a drastically reduced genome.

Microbiology Spectrum, 2022 Apr 18; e0035022. doi: 10.1128/spectrum.00350-22.

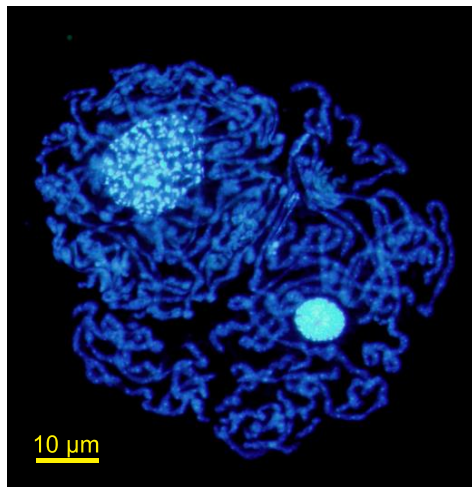
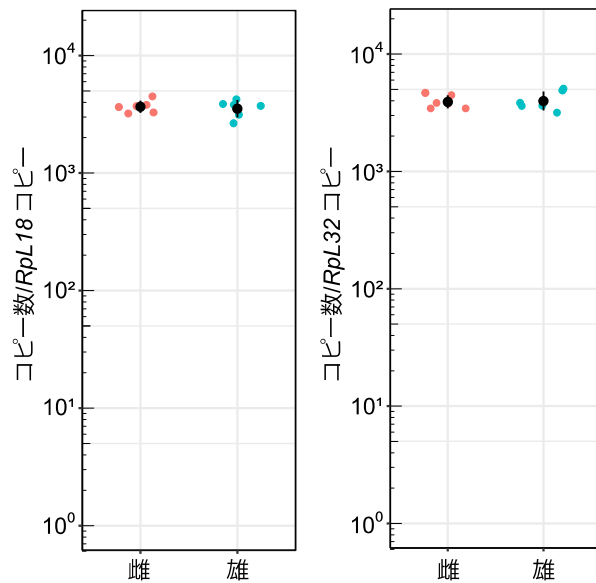
A**B**

図 A : 共生バクテリア「カルソネラ」を収納する共生器官の細胞を DNA 染色試薬で染めたもの。2つの共生器官細胞、2つの核と、その周りを囲む長大なヒモ状のカルソネラ細胞が観察されます。

図 B : 絶対定量 PCR の結果。キジラミの雌雄に関わらず、カルソネラのゲノムが、共生器官細胞の核ゲノムの約 4,000 倍の数だけ存在することを示します。共生器官細胞が 16 倍体 (ひとつの核にゲノムを 16 個収納している) であるため、共生器官細胞ひとつあたりにカルソネラゲノムが約 60,000 個含まれることを意味します。図 A のように、共生器官細胞には、長大なカルソネラ細胞がごく少数しか含まれないケースが多いため、カルソネラは個々の細胞に、数千個から数万個のゲノムを持ちうるということが分かります。

* 1 原核生物、真核生物

地球上の生物は大きく、細菌(バクテリア)、古細菌(アーキア)、真核生物(ユーカリア)の 3つのグループに分けられます。私たちヒトを含む動物や植物などは「真核生物」で、細胞内に核膜に包まれた「核」を持ち、ここにゲノムを収納しています。これに対し、細菌と古細菌は核を持たず、細胞内に剥き出しのゲノムを保持しており、これらをまとめて「原核生物」と呼びます。

* 2 オルガネラ

細胞内に存在し、特定の機能と構造を持つ単位で、細胞小器官、細胞内小器官ともいいます。

* 3 キジラミ

半翅目のキジラミ上科に属する昆虫の総称で、世界で4,000種ほどが知られています。アブラムシなどと近縁で、植物師管液のみを餌とし、植物の病原体を媒介するため多くの重要な農業害虫種を含みます。なお、動物に寄生する「シラミ」と直接の関係はありません。

* 4 カルソネラ

Candidatus Carsonella ruddii。キジラミに不足する必須アミノ酸などを合成・供給してキジラミの生存を支える共生バクテリア。2億年ほど前にカルソネラの共通祖先がキジラミの共通祖先に感染したのち、垂直感染のみで受継がれ、キジラミと共種分化してきたものと考えられています。共生器官の中でしか生きられない一方、キジラミもカルソネラなしでは生きられないため、選択性が高く、安全な新規害虫防除法開発の標的として注目されます。

* 5 絶対定量 PCR

標的の DNA 配列を増幅する PCR (polymerase chain reaction : ポリメラーゼ連鎖反応) を利用して、試料中の標的配列の数を算出する技法です。

文献 1

Parallel histories of horizontal gene transfer facilitated extreme reduction of endosymbiont genomes in sap-feeding insects. *Mol Biol Evol.* (2014) 31(4):857-71. doi: 10.1093/molbev/msu004.

文献 2

The 160-kilobase genome of the bacterial endosymbiont *Carsonella*.
Science. (2006) 314(5797):267. doi: 10.1126/science.1134196.



本件に関する連絡先

広報担当：総務課企画・広報係 高柳・岡崎・高橋

TEL:0532-44-6506 FAX : 0532-44-6509

Email: kouho@office.tut.ac.jp