



令和3年7月16日

報道機関 各位

東北大学大学院生命科学研究科

根粒菌の共生ゲノム領域の柔軟性 共生ゲノム領域の大規模な変化が共進化を起こす

【発表のポイント】

- マメ科植物と共生窒素固定を行う根粒菌は地球環境への負荷を低減する有用微生物である。
- マメ科植物との共生生活に欠かせない根粒菌の共生遺伝子が集中しているゲノム領域が高頻度で大規模な欠失・重複を起こすメカニズムを室内進化実験^{*1}で明らかにした。
- 本研究により、根粒菌共生ゲノム領域の再編成が自然界における根粒菌の共進化機構であることが強く示唆された。
- 今後マメ科作物の増収や温室効果ガス削減へ向けた根粒菌の利用研究に貢献することが期待される。

【概要】

根粒菌はマメ科植物の根に根粒を形成して共生窒素固定を行う土壌細菌です。野外の根粒菌株毎に共生遺伝子が集中しているゲノム領域が異なることは知られていましたが、その生成機構についてはこれまで不明でした。東北大学大学院生命科学研究科の南澤特任教授らのグループは、ダイズ根粒菌の共生ゲノム領域の欠失・重複の変化を捉え、根粒菌の共生システムの柔軟性を明らかにしました。

本研究は、マメ科植物と共生する根粒菌の柔軟な共進化機構をゲノムレベルで初めて明らかにした重要な報告です。本研究によって、根粒菌を利用したマメ科作物の増収や温室効果ガス削減への研究に発展することが期待されます。

本研究成果は、7月16日のThe ISME Journal 誌(電子版)に掲載されます。

【詳細な説明】

根粒菌はマメ科植物根に根粒を形成し共生窒素固定を行う土壌細菌で、根粒菌のゲノムは土壌生活に必須なゲノムコアと共生生活に必須な共生ゲノム領域(共生アイランド^{*2})から構成されています(図1)。農地土壌由来の根粒菌の共生アイランドは保存性の高いゲノムコアとは異なり分離株毎に構造変化が見られますが、そのメカニズムは不明でした(図1)。

南澤特任教授らのグループは、ダイズ根粒菌と特定の遺伝型ダイズの間に見られる共生不和合性^{*3}を利用して、根粒菌の共生アイランドの構造変化の法則性を調べました。その結果、共生アイランド上に多数分布している二つの挿入配列^{*4}の間で相同組換えが起ることにより窒素固定遺伝子^{*5} (*nif*) や3型タンパク質分泌系^{*6} 遺伝子(*rhc*)を含む巨大な領域(最大 54.1 万塩基対)が失われる(欠失^{*7})ことを明らかにしました(図2)。さらに、*sacB* 遺伝子^{*8}マーカーの挿入株を用いることにより、通常培養で細胞当たり約1万分の2の頻度でその欠失株が確率的に生成しており、宿主植物は欠失株を含んだ集団から共生効率の高い株を選択していることも明らかになりました。

さらに、北海道のダイズ根粒菌株コレクション(62 株)を材料に、重複^{*9}現象を起こした株を探索したところ、2 株が挿入配列を介した相同組換えによる重複現象(最大 357 kb)が発見されました。

本研究により、根粒菌の共生アイランドの挿入配列の相同組換えによる欠失と重複による再編成が、自然界で起っている根粒菌とマメ科植物の共進化機構であることが明らかになりました。その成果は、根粒菌によるマメ科作物の増収や温室効果ガス削減へ向けた根粒菌研究の発展が期待されます。

本研究は科学研究費補助金基盤 B (18H02112)、生物系特定産業技術研究支援センター・イノベーション創出強化研究推進事業(30012B)、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) (JPNP18016)の支援を受けました。

【用語説明】

- *1 室内進化実験:実験室で生物の進化を起こさせること。実験室進化や人工進化実験とも言われ、主に世代時間が短い微生物を用いた研究が多い。
- *2 共生アイランド:根粒菌の環状ゲノム上に存在する共生と窒素固定に必要な遺伝子が集中するゲノム領域(図 1)。
- *3 共生不和合性:本来は共生窒素固定が可能な菌と植物であるにも関わらず、特定の遺伝型のマメ科植物と特定の根粒菌株が共生できない現象。
- *4 挿入配列:細菌が保有する最小の転移因子で、転移活性のタンパク質のみをコードしている。
- *5 窒素固定遺伝子:生物的窒素固定を触媒するニトロゲナーゼタンパク質等をコードしている遺伝子

- *6 3型分泌系:細菌から高等動植物の細胞へ直接タンパク質を撃ち込む装置である。病原菌が3型分泌系を介して宿主に病原因子を撃ち込むが、共生菌である根粒菌も3型質分泌系を保有しており、根粒菌の共生を有利にする場合や、拒絶する場合が知られている。本研究では拒絶する関係を利用し、根粒菌の3型分泌系遺伝子(*rhc*)の欠損株を検出している。
- *7 欠失:ゲノム DNA の塩基配列の一部が失われる現象。
- *8 *sacB* 遺伝子: *sacB* 遺伝子が機能するとレバンスクラゼ活性が発現し、スクロース存在下で微生物細胞が致死となる。したがって、導入した *sacB* 遺伝子の欠損が起るとスクロースを含む寒天培地上でコロニーを生成、負の選択マーカーとして利用されている。
- *9 重複:ゲノム DNA の塩基配列が重複する現象。

【図】

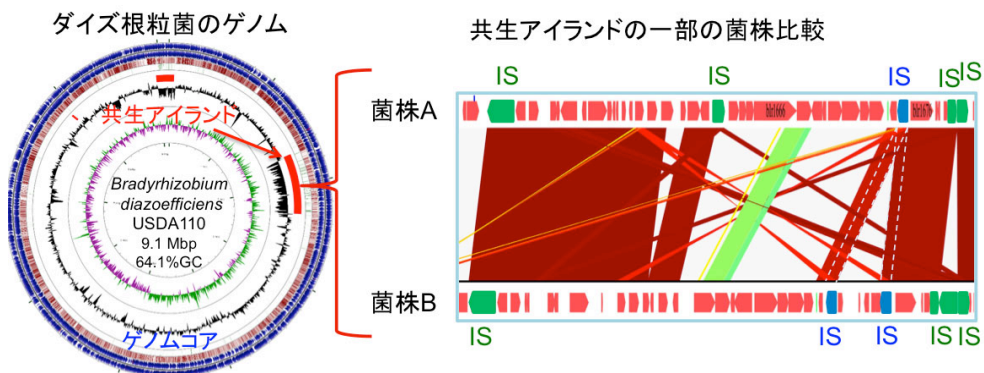


図1 ダイズ根粒菌の環状ゲノム上の共生アイランドと二つの分離株の比較
同色の IS は同じ種類の挿入配列

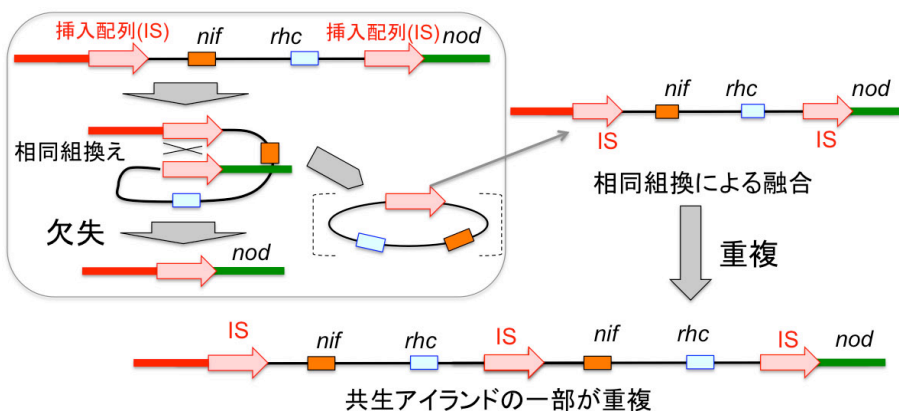


図2 共生アイランド上の挿入配列(IS)間の相同組換えによる欠失と重複
nif, *rhc*, *nod*はそれぞれ、窒素固定遺伝子、3型分泌系遺伝子、根粒形成遺伝子を示す。

【論文題目】

題目: Evolution of rhizobial symbiosis islands through insertion
sequence-mediated deletion and duplication

著者: Haruka Arashida, Haruka Otake, Masayuki Sugawara, Ryota Noda,
Kaori Kakizaki, Satoshi Ohkubo, Hisayuki Mitsui, Shusei Sato, and
Kiwamu Minamisawa

筆頭著者情報: (氏名、所属): 嵐田遥、東北大学大学院生命科学研究科

雑誌: The ISME Journal

DOI: 10.1038/s41396-021-01035-4

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科

担当 特任教授 南澤 究 (みなみさわ きわむ)

電話番号: 022-217-5714

Eメール: kiwamu.minamisawa.e6@tohoku.ac.jp

担当 教授 佐藤 修正 (さとう しゅうせい)

電話番号: 022-217-5688

Eメール: shusei.sato.c1@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科広報室

担当 高橋 さやか (たかはし さやか)

電話番号: 022-217-6193

Eメール: lifsci-pr@grp.tohoku.ac.jp