

植物の老化や紅葉には、細菌の遺伝子が関わっていた ～酵素の本来の役割とは異なる触媒活性が新しい代謝系の誕生に重要であることを解明～

ポイント

- ・クロロフィルを持たない細菌が、植物のクロロフィルを分解する遺伝子を持つことを発見。
- ・植物の祖先は細菌からこの遺伝子を受け取り、クロロフィル分解経路を作ったことを解明。
- ・本来の役割と異なる酵素の触媒機能が将来の代謝系の進化に重要であるという仮説を提唱。

概要

北海道大学低温科学研究所の伊藤 寿助教、北海道大学大学院生命科学院博士後期課程の小畑大地氏らの研究チームは、植物の祖先が細菌から酵素を獲得し、それを利用してクロロフィルの分解系を作ったことを解明しました。

植物の光合成に関わるクロロフィルはマグネシウムを中心金属として持っています。クロロフィルの分解は、このマグネシウムがマグネシウム脱離酵素により外されることによって始まります。この反応は植物の老化や紅葉に中心的な役割を果たしています。興味深いことに、植物のマグネシウム脱離酵素と似たタンパク質がクロロフィルを持たない細菌に見つかったことから、その酵素活性を調べたところ、クロロフィルのマグネシウムを脱離する活性を持ち、植物の酵素より高い活性を示すことがわかりました。ただし、この酵素は細菌の中ではクロロフィル分解には関わらず、本来は別の働きをしていると予想されます。また、分子系統解析の結果、植物の祖先が細菌からこの酵素を遺伝子の水平伝播^{*1}によって獲得したことがわかりました。

これらの結果は細菌の酵素が偶然クロロフィルを分解する活性を持ち、それが植物に取り込まれることによって植物がクロロフィルを分解できるようになったことを示しています。この成果は新しい酵素や代謝系の獲得機構の解明に貢献すると期待されます。

本研究は、協定世界時 2019 年 9 月 5 日 (木) 午後 9 時公開の Molecular Biology and Evolution 誌に掲載されました。

なお、本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業の新学術領域研究 (16H06554)、特別研究員奨励費 (18J20898) 等の支援を受けて行われました。

【背景】

秋になると樹木が紅葉します。この紅葉は、葉にたまっていたクロロフィルが分解されることによって起こります。クロロフィルの分解は、マグネシウム脱離酵素がクロロフィルの持つマグネシウムを外すことにより始まりますが、植物では、この酵素がなければクロロフィルの分解が起こらず、老化も正常に進みません。そのため、進化の過程で植物がこの酵素を獲得したことは大きな出来事でした。興味深いことに、マグネシウム脱離酵素と相同な遺伝子がクロロフィルを持たず光合成もしないバクテリアに見つかったことから、本研究においては、このバクテリアの遺伝子が植物のマグネシウム脱離酵素の起源であるという仮説を立て、その検証を行いました。

【研究手法】

植物のマグネシウム脱離酵素と相同な遺伝子が様々な生物においてどのように分布しているかをデータベースで検索し、それらの配列を比較しました。また、バクテリアの相同な遺伝子のタンパク質を大腸菌で発現させ、そのタンパク質のマグネシウム脱離活性を試験管内で測定しました。さらに、植物のマグネシウム脱離酵素の由来を調べるため、分子系統学的な解析を行いました。

【研究成果】

植物のマグネシウム脱離酵素と相同な遺伝子がバクテリアに見つかりました。6種類のバクテリアの酵素を調製し、それらの活性を調べました。その結果、バシラス綱の *Bacillus aquimaris* やクロストリジウム綱の *Clostridium botulinum* 由来のものは酵素活性を持つのに対して、同じバシラス綱でも *Bacillus solani* 由来のものは酵素活性を示しませんでした。植物のマグネシウム脱離酵素はクロロフィル a だけを基質にできるのに対して、バクテリアの酵素はクロロフィル b やクロロフィル c も基質にできること、さらにはバクテリアの酵素は植物のマグネシウム脱離酵素よりも高い活性を持つことも明らかになりました。また、植物のマグネシウム脱離酵素やバクテリアの相同タンパク質の分子系統解析を行ったところ、植物の祖先がバクテリアから遺伝子の水平伝播によってマグネシウム脱離酵素を獲得したことがわかりました。

【今後への期待】

マグネシウム脱離活性を持つバクテリアの酵素の本来の機能はクロロフィルの分解ではないと考えられます。そのため、マグネシウム脱離活性にはバクテリアの生存戦略上の選択圧がかからず、活性の高いものから低いものまで様々なものが存在すると考えられます。それらの中で、活性が高いものが植物に取り込まれてマグネシウム脱離酵素として機能し始め、その段階で選択圧がかかり植物のマグネシウム脱離酵素はクロロフィル b などに対する活性を失ったと考えられます。遺伝子重複により生じた余分な遺伝子が新たな機能を獲得し新しい代謝系を進化させると考えられることが多くありますが、本来とは異なる酵素活性^{*2} が生物間を移動することにより新しい代謝系が出来上がるという本研究の仮説を応用することによって、新しい代謝系の構築過程の解明が進むと期待されます。

論文情報

論文名 Horizontal transfer of promiscuous activity from non-photosynthetic bacteria contributed to evolution of chlorophyll degradation pathway (非光合成型細菌からの、本来とは異なる酵素活性の水平伝播がクロロフィル分解系の進化に貢献した)

著者名 ¹小畑大地, ²高林厚史, ²田中亮一, ²田中 歩, ²伊藤 寿 (¹北海道大学大学院生命科学院, ²北海道大学低温科学研究所)

雑誌名 Molecular Biology and Evolution (進化生物学の専門誌)

D O I 10.1093/molbev/msz193

公表日 日本時間 2019 年 9 月 6 日 (金) 午前 6 時 (協定世界時 2019 年 9 月 5 日 (木) 午後 9 時)
(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所 助教 伊藤 寿 (いとうひさし)

T E L 011-706-5493 F A X 011-706-5493 メール ito98@lowtem.hokudai.ac.jp

U R L <http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/plantadapt/>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimuhokudai.ac.jp

【参考図】

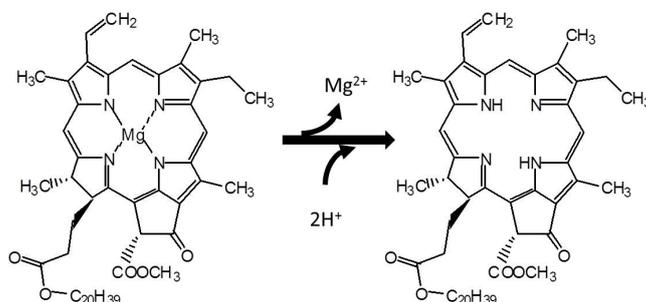


図 1. マグネシウム脱離酵素の反応

クロロフィル (左の分子) はマグネシウム脱離酵素の働きにより中心金属のマグネシウムが外れ、プロトンに置換される。この反応がクロロフィル分解の最初の反応である。

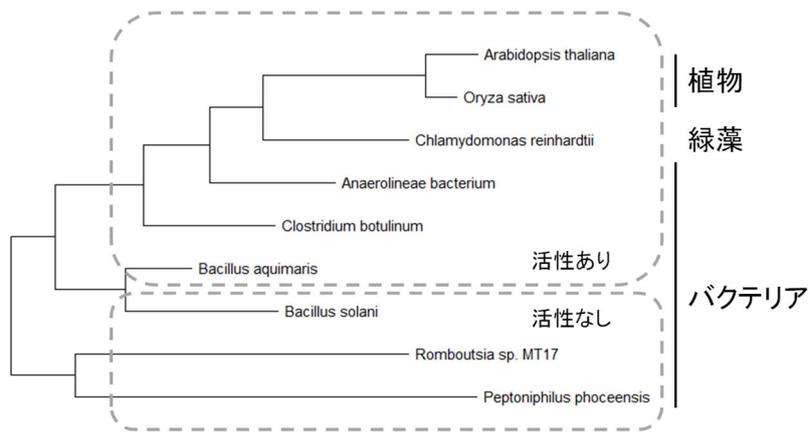


図2. マグネシウム脱離酵素と相同な遺伝子の系統樹

植物の遺伝子はバクテリア由来であることを示唆している。

【用語解説】

- *1 遺伝子の水平伝播 … 新しい遺伝子の獲得方法として、DNA 複製過程で変異が生じやがては新しい機能を持つ遺伝子になるという場合とは異なり、他の生物の持つ遺伝子を直接取り込むこと。
- *2 本来とは異なる酵素活性 … 英語では promiscuous activity と呼ばれ、細胞内では使われないが潜在的には存在する活性。