

集光性アンテナの発掘から探る光合成色素の進化過程の解明

Elucidating the evolutionary process of photosynthetic pigments through the excavation of
light-harvesting antenna

東京大学大学院 総合文化研究科 三宅 敬太

研究成果概要

本研究課題では、シアノバクテリアにおいて光捕集アンテナの機能を支える「ビリン色素」に着目し、その合成を担う酵素群の進化的起源と多様性を網羅的に探索することを目指しました。ビリン色素自体は光合成におけるエネルギー伝達のみならず、ヒトの腸内細菌によるヘム分解代謝産物でもある。このように、多様な生命現象に関与しているものの、これらビリン合成酵素の進化的変遷は未解明な点が多く、特に一部の色素合成に関わる酵素については、その実体が依然として不明であった。そこで本研究では、スーパーコンピュータの強力な計算資源を駆使し、膨大なゲノム情報から未知の相同遺伝子を高精度に探索した。

具体的な解析手法としては、公共データベースに登録された 6 万種以上の原核生物ゲノムおよび大規模な環境メタゲノムデータを対象とした。タンパク質立体構造による探索を活用し、アミノ酸配列の類似性のみでは検出困難な「構造的相同性」に基づいた高感度な検索を実施した。さらに、得られた膨大な配列群に対して、KOfamScan を用いた分類、および最尤法に基づく大規模な系統樹推定を行うことで、酵素の進化について詳細に解析した。

解析の結果、構造類似性に基づく手法を用いることで、従来手法と比較して約 27% 多くの相同遺伝子を新たに検出することに成功した。これにより、ビリン合成酵素の分布が想定よりも遥かに広範であることが明らかとなった。特に、公共メタゲノムデータの解析から、特定の宿主環境において優占する新規の酵素系統を同定し、生化学的な知見と照らし合わせることで、これまで未発見であった代謝経路に関与する可能性のある酵素を見出した。さらに、大規模な系統樹推定の結果、ビリン合成酵素の活性の起源は光合成細菌の共通祖先よりも古い時代にまで遡ることが示唆された。これは、光合成のための光捕集機能が確立される以前に、嫌気環境における代謝プロセスとして還元活性が先行して獲得されていたという「前適応」の進化シナリオを強く支持すると考えている。

本研究の成果は、進化解析を軸に据えることで、腸内環境と光合成環境という異なる研究分野を繋ぐ新しい知見を提供するものである。今後は同様の手法を使って他の酵素の進化についても検証していきたいと考えている。