

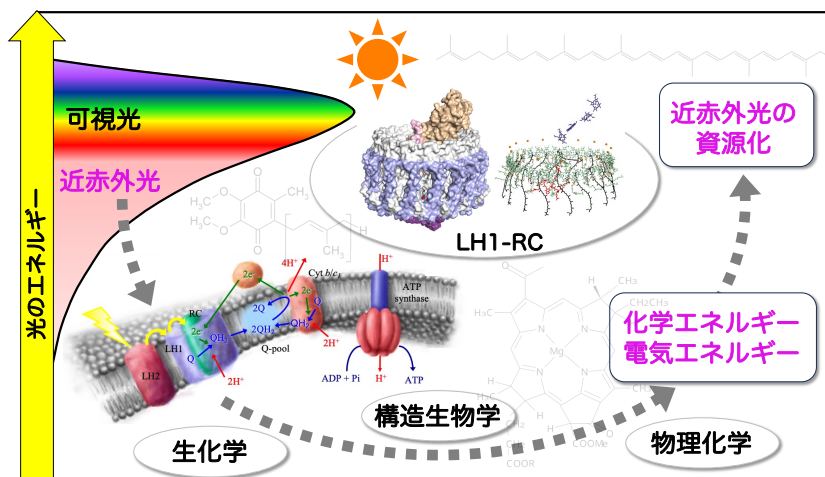
光合成細菌による近赤外光資源化機構の解明

研究期間: 2023~

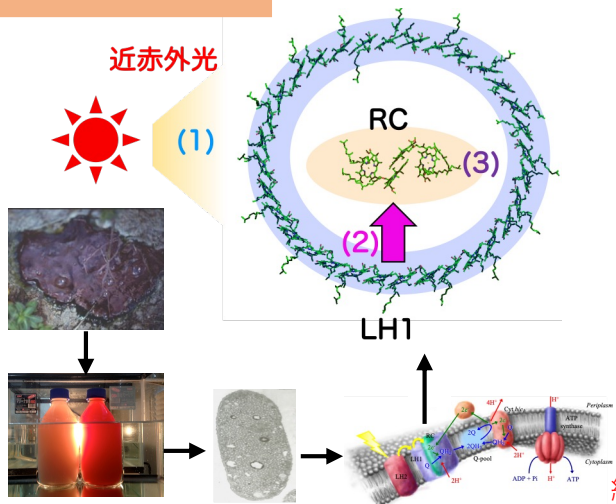
研究背景・目的

近赤外光は、地上に降り注ぐ太陽光の約4割を占めるが、エネルギーが低いため、植物などが利用できないエネルギー資源である。一方、原始の光合成生物である紅色光合成細菌は、この近赤外光を用いて光-物質変換を可能にしているが、その詳細な分子機構は不明である。

本研究では、紅色光合成細菌が近赤外光を資源化する仕組みを明らかにすることを目標とし、未利用のエネルギー資源を活用するための基盤技術の創出を目指している。



実験概要



(1) どのように近赤外光を集めるのか？
(光捕集システムの仕組み)

(2) どのように低いエネルギーを高いエネルギーに変換するのか？ (uphillエネルギー移動機構)

(3) どのように生じた還元力を伝達するのか？
(キノン・キノール輸送機構)

CryoEM構造解析
超高速分光
赤外分光

紫外・可視・近赤外分光
ラマン分光
カロリメトリー

紅色光合成細菌による近赤外光資源化機構の構造・機能的理解

結果と考察

(1) 光捕集システムの仕組み

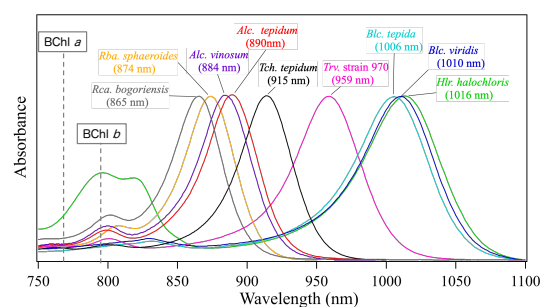
- 個々のBChlとタンパク質間の静電的な相互作用（水素結合、電荷）や π - π 相互作用により、吸収エネルギーを制御。
- 円状に配列したBChl集合体において、隣接するBChl間の励起子相互作用ならびに電荷移動状態の寄与により、吸収エネルギーを制御。

(2) uphillエネルギー移動機構

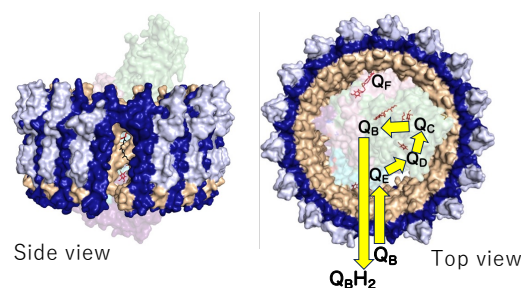
- LH1とRC間のuphillギャップに比例して、エネルギー移動速度が低下する傾向が見られ、熱エネルギーの重要性が示唆された。
- 現在、構造との関連性について調べており、より多くの種について構造機能相関の検証を進めている。

(3) キノン・キノール輸送機構

- LH1のキノングートを介した拡散輸送により、キノン・キノール輸送を可能にしている。
- キノン輸送のドライビングフォースについて、構造的視点から検証を進めている。



各種紅色光合成細菌LH1-RCの吸収特性



Btc. tepida LH1-RCのキノングート (PDB:9J2F)

発表論文

1. Yue, X.-Y., Wang, G.-L., Kosaki, S., Nagashima, K.V.P., Wu, Y.-L., Kobayashi, Y., Sugiyama, T., Kanno, R., Purba, E.R., Takaichi, S., Mizoguchi, A., Humbel, B.M., Madigan, M.T., Mino, H., Tani, K., Kimura, Y.*, Wang-Otomo, Z.-Y. and Yu, L.-J. "A Native LH1-RC-HiPIP Supercomplex from an Extremophilic Phototroph", *Communications Biology* 9, 502, 2026.
2. Kimura, Y.*, Kanno, R., Mori, K., Matsuda, Y., Seto, R., Takenaka, S., Mino, H., Ohkubo, T., Honda, M., Sasaki, Y.C., Kishikawa, J.-I., Mitsuoka, K., Mio, K., Hall, M., Purba, E.R., Mochizuki, T., Mizoguchi, A., Humbel, B.M., Madigan, M.T., Wang-Otomo, Z.-Y., and Tani, K. "The Thermal-Stable LH1-RC Complex of a Hot Spring Purple Bacterium Powers Photosynthesis with Extremely Low-Energy Near-Infrared Light", *Biochemistry* 64, 170–179, 2025.
3. Nagashima, K. V. P., and Wang-Otomo, Z.-Y., "Biochemical and Spectroscopic Characterizations of a Hybrid Light-Harvesting Reaction Center Core Complex", *Biochemistry* **57**, 4496–4503, 2018. Tani, K., Nagashima, K.V.P., Kojima, R., Kondo, M., Kanno, R., Satoh, I., Kawakami, M., Hiwatashi, N., Nakata, K., Nagashima, S., Inoue, K., Isawa, Y., Morishita, R., Takaichi, S., Purba, E.R., Hall, M., Yu, L.-J., Madigan, M.T., Mizoguchi, A., Humbel, B.M., Kimura, Y.*, Nagasawa, Y., Dewa, T., and Wang-Otomo, Z.-Y. "A Distinct Double-Ring LH1-LH2 Photocomplex from an Extremophilic Phototroph", *Nature Communications* 16, 1410, 2025.
4. Tani, K., Kanno, R., Nagashima, K.V.P., Kawakami, M., Hiwatashi, N., Nakata, K., Nagashima, S., Inoue, K., Takaichi, S., Purba, E.R., Hall, M., Yu, L.-J., Madigan, M.T., Mizoguchi, A., Humbel, B.M., Tani, K., Kanno, R., Nagashima, K.V.P., Kawakami, M., Hiwatashi, N., Nakata, K., Nagashima, S., Inoue, K., Takaichi, S., Purba, E.R., Hall, M., Yu, L.-J., Madigan, M.T., Mizoguchi, A., Humbel, B.M., Kimura, Y.*, and Wang-Otomo, Z.-Y. "A Native LH1-RC-HiPIP Supercomplex from an Extremophilic Phototroph", *Communications Biology* 8, 42, 2025.
5. Tani, K., Kanno, R., Harada, A., Kobayashi, Y., Minamino, A., Takenaka, S., Nakamura, N., Ji, X.-C., Purba, E.R., Hall, M., Yu, L.-J., Madigan, M.T., Mizoguchi, A., Iwasaki, K., Humbel, B.M., Kimura, Y.*, and Wang-Otomo, Z.-Y. "High-Resolution Structure and Biochemical Properties of the LH1–RC Photocomplex from the Model Purple Sulfur Bacterium, *Allochromatium vinosum*", *Communications Biology* 7, 176, 2024.
6. Kimura, Y.*, Tani, K., Madigan, M.T., Wang-Otomo, Z.-Y. "Advances in the Spectroscopic and Structural Characterization of Core Light-Harvesting Complexes from Purple Phototrophic Bacteria", *The Journal of Physical Chemistry B* 127, 6–17, 2023.

学会発表

1. Hirose, K., Mori, K., Takenaka, S., Madigan, M.T., Wang-Otomo, Z.-Y. Tani, K., and Kimura, Y. "Spectroscopic and structural characterization of purple bacterial LH1–RC complexes containing bacteriochlorophyll b ", The 63th Annual Meeting of the BSJ, Nara, Sep. (2025).
2. Kazuki Inada, Seiji Akimoto, Shinji Takenaka, Michael T. Madigan, Zheng-Yu Wang-Otomo, Kimura, Y. "Characterization of the light-harvesting 1 reaction center complex from psychrophilic purple nonsulfur bacteria ", AOICP2024, Kobe, Sep. (2024).
3. Kimura, Y., Kanno, R., Mori, K., Seto, R., Matsuda, Y., Takenaka, S., Mino, H., Hall, M., Purba, E. R., Mizoguchi, A., Humbel, B.M., Madigan, M.T., Wang-Otomo, Z.-Y., Tani, K., "Structural Basis for Enabling Photosynthesis with Extremely Low-energy Near-infrared Light in the LH1–RC Complex of a Thermophilic Purple Nonsulfur Bacterium ", 21st IUPAB & 62nd BSJ JOINT CONGRESS, Kyoto, June (2024)

共同研究先

茨城大学、筑波大学、神奈川大学、 Southern Illinois University, Leibniz-Institute, Chinese Academy of Sciences, Centre Algatech

研究費

基盤研究C 19K06563 学術変革A 24H02084, 26H01093