

硫酸性温泉紅藻 *Galdieria sulphuraria* による強酸性条件下でのレアアース回収

田中 萌子（筑波大学生物学類）

指導教員：蓑田 歩（筑波大学生命環境系）

【背景・目的】

レアアース（Rare Earth Elements, REEs）は、イットリウム、スカンジウム、ランタノイドを含む 17 種類の金属元素の総称である。REEs は永久磁石、充電電池、合金など最先端の製品に利用されている一方、需要に対して産出量が限られているうえ、採掘や精製の過程で生じる環境への悪影響が懸念されている。このような課題に対し、近年では環境負荷の小さい REEs 供給システムとして、微生物を用いた生物学的回収法が注目されている。

単細胞性紅藻イデニコゴメ綱 (Cyanidiophyceae) に属する *Galdieria sulphuraria* は、光合成で増殖する光独立栄養、糖などの有機物を利用する光混合栄養や従属栄養の栄養形態をとり、温泉をはじめとする高温強酸性の環境 (40 °C, pH5 以下) に生息する。こうした環境では高濃度の金属が溶出しやすく、*G. sulphuraria* は種々の金属に対して高い耐性を持つことが知られている。さらに、先行研究 (Minoda et al. 2015) では、従属栄養で培養した *G. sulphuraria* の細胞が、暗所 / N₂ 通気で Nd(III) などの REEs を回収することが報告されている。

高濃度の金属イオンに対して *G. sulphuraria* が応答するメカニズムは、「細胞外吸着」と「細胞内吸収」に大別される。吸着とは、微細藻類の細胞壁に存在する官能基が金属イオンと物理化学的に結合し、金属を回収するプロセスである。ただし、吸着には低 pH 条件では吸着容量が低下するという制約がある。一方、吸収は細胞が能動的に金属イオンを取り込むプロセスである。吸収プロセスは pH 低下による影響を比較的受けにくいいため、特に強酸性かつ金属濃度が低いことが想定される金属廃液から効率的に REEs を回収するうえで有効であることが期待される。

本研究では、*G. sulphuraria* を用いて強酸性条件下で REEs 回収を実現することを目的とし、本種がより効率的に REEs を集めることのできる培養条件を検討した。さらに、細胞に回収された REEs の局在を観察することで、その回収メカニズムのさらなる理解を目指した。

【材料・方法】

前培養：

G. sulphuraria を、以下の 2 種類の栄養形態をとるよう、2×Allen's 培地 (pH2.5, 40 °C) で通気培養した。

- ・光混合栄養：25 mM のグルコースを添加し、100 μmol photons m⁻² s⁻¹ の白色光を当て培養した。
- ・従属栄養：25 mM のグルコースを添加し、暗所で培養した。

REEs 回収実験：

La, Pr, Nd, Eu, Tb, Dy, Tm の三塩化物を 1 種類ずつ含む pH2.5 の硫酸溶液に、OD₇₅₀=10 になるよう濃縮した細胞に曝露し、暗所 / N₂ 通気で 24 時間インキュベートした。遠心分離によって細胞画分を分け取り、硝酸分解により有機物を分解したのち、細胞に回収された金属濃度を誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) で測定した。

顕微鏡観察：

100 ppm Nd(III) と 24 時間インキュベートした細胞における Nd(III) の局在を走査型誘電率顕微鏡 (SE-ADM) で観察した。また、100 ppm Tb(III) と 24 時間インキュベートした細胞における Tb(III) の局在を蛍光顕微鏡 (545 nm) で観察した。

【結果】

前培養の栄養形態による金属回収量の比較：

光混合栄養、従属栄養で培養した細胞をそれぞれ 50 ppm Nd(III) と 24 時間インキュベートし、回収実験を行った。細胞当たりの Nd(III) 回収量を算出したところ、光混合栄養で培養した細胞は、従属栄養で培養した細胞の約 2 倍の Nd(III) を蓄積した。(下図) 現在、他の REEs でも、光混合栄養で培養した細胞を利用することで最大回収量が増加するのか検討している。

顕微鏡観察：

100 ppm Nd(III) と 24 時間インキュベートした細胞を SE-ADM で観察した結果、一部の細胞の内部に金属とみられる反射電子を放出する黒い粒子が確認された。Nd(III) を含まない硫酸を用いた対照群ではこのような粒子は見られなかった。

Tb(III) 蛍光観察の結果については、発表会にて報告する。

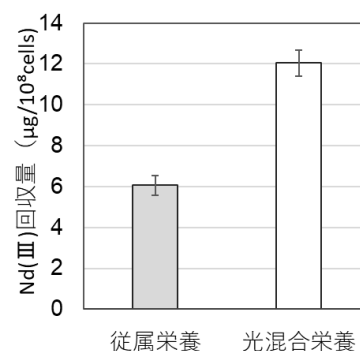


図. 前培養の栄養形態による Nd(III) 回収量の比較

【考察・今後の展望】

本研究では、光混合栄養で培養した細胞を用いることにより、Nd(III) の回収率を約 2 倍に高めることに成功した。顕微鏡観察からは、*G. sulphuraria* が細胞内に Nd(III) を吸収、蓄積していることが示唆された。

今後は透過型電子顕微鏡と元素分析を同時に行うことのできる TEM-EDS を用いて、細胞内の金属イオン局在をさらに詳細に観察したい。また、実際の金属廃液を想定した強酸性溶液を用いて同様の実験を行い、*G. sulphuraria* による REEs の回収についてさらに検討したい。

【参考文献】

1. Cao et al. Resources, Conservation and Recycling 169 (2021) 105519
2. Minoda et al. Applied Microbiology and Biotechnology (2015) 99:1513–1519