

2022年5月26日

国立大学法人京都大学  
国立研究開発法人理化学研究所  
Symbiobe株式会社

## ゼロカーボン窒素肥料の作出に成功

### ○概要

京都大学大学院工学研究科の沼田圭司教授（理化学研究所環境資源科学研究センターバイオ高分子研究チーム・チームリーダー）は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）「共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT)」、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）「研究開発型スタートアップ支援事業／シード期の研究開発型スタートアップに対する事業化支援(STS)」の支援のもと、京都大学大学院農学研究科附属農場（中崎鉄也教授）及び Symbiobe 株式会社と協同で、紅色光合成細菌を用いてゼロカーボン肥料の作出に成功しました（図1）。

窒素は、農業肥料の三要素の一つであり、窒素肥料はハーバー・ボッシュ法により化学合成され、利用されるのが主流です。紅色光合成細菌は大気中の二酸化炭素と窒素を直接固定し増殖することができます。今回、海洋性の紅色光合成細菌を効率良く培養する方法を確立し、独自のプロセスにて試作肥料を調製しました。成分解析の結果、植物の生育に充分と言われる10%以上の窒素を含んでおり、今後、化学肥料に代わるサステナブル且つオーガニックな肥料の新たな選択肢として、次世代農業の普及・発展に貢献し、さらには砂漠化地帯の緑化や乾燥農業の促進にも貢献することが期待されます。

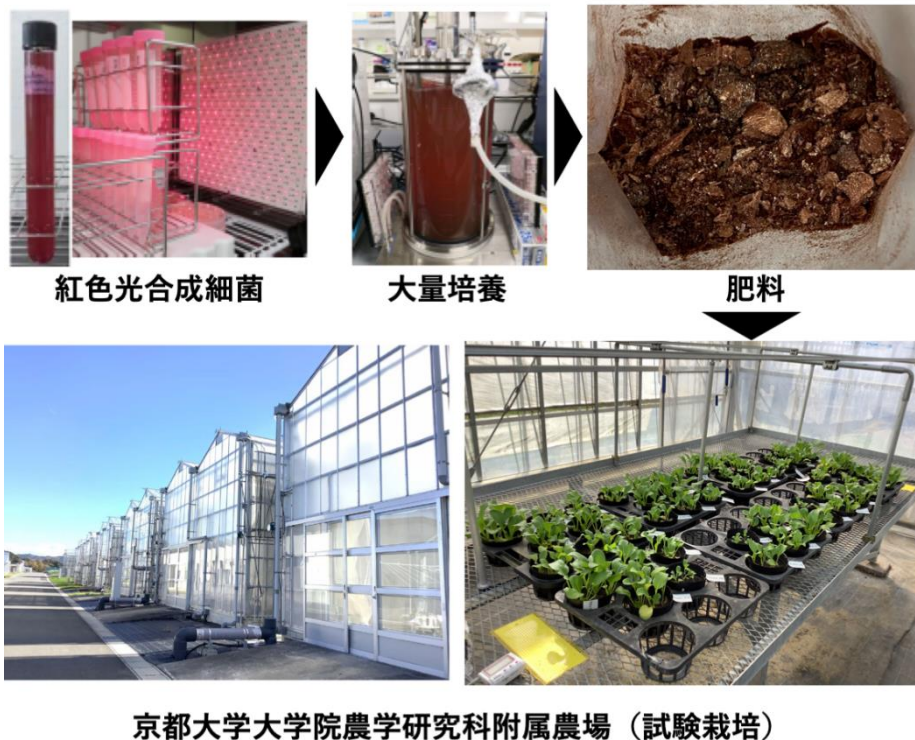


図1 | 光合成細菌を使用した試作肥料の農場・圃場試験

## 1. 背景

二酸化炭素等の温室効果ガスを原因とする環境変動による食料生産性の低下が危ぶまれる一方で、世界的な人口の継続的な増加に伴い食料需要・農作物需要が増加しています。このような状況下で、農作物生産を加速させるため、これまで様々な化学肥料が利用されてきましたが、化学肥料の過度の利用によって土壌の質が損なわれることが分かっており、その結果として、持続可能な土壌を維持する有機農業やオーガニック肥料が注目されています。海洋性紅色光合成細菌は、光合成により二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) を固定し、同時にニトログeneratorにより大気中から固定した窒素 ( $\text{N}_2$ ) と海水中のミネラル成分を利用しながら増殖します (図2)。沼田圭司教授の研究室では、これまで海洋性光合成細菌を用いて様々なバイオ高分子を生産する研究を進めてきましたが、この度、この海洋性光合成細菌の特性を生かして、大気中の  $\text{CO}_2$  (炭素源) や  $\text{N}_2$  (窒素源) を資源とすることで、従来のハーバー・ボッシュ法に依らないゼロカーボンベースの有機農業肥料を生産できることを見出しました。

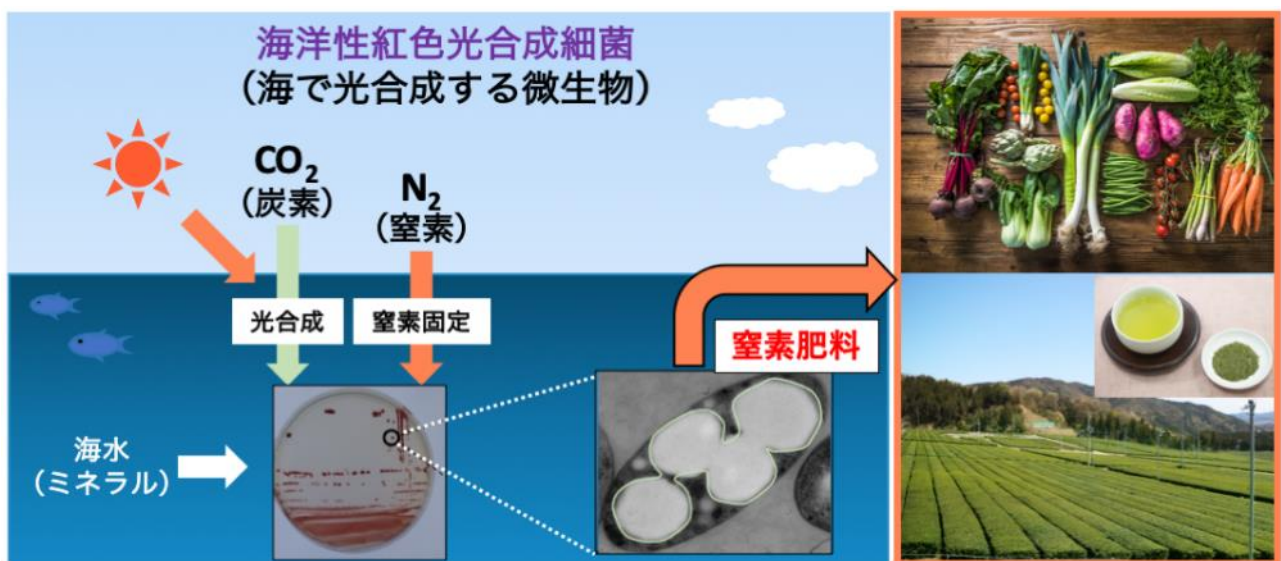


図2 | 海洋性光合成細菌の特徴と肥料としての利用

2021年11月より、沼田圭司教授をプロジェクトリーダーとして、JST・共創の場形成支援プログラム・地域共創分野において取組みを進めている「ゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点」(代表機関：京都大学、幹事自治体：京都府、幹事企業：(株)島津製作所)では、天然資源である大気中の二酸化炭素や窒素を固定する海洋性光合成細菌を有効利用する技術を基盤に、温室効果ガスの削減を進めながら同時に様々な製品や有用物質を生産する資源循環型物質生産プラットフォームの構築を進めることで、地球環境の保全また持続可能な開発目標(SDGs)に貢献することを目標にしています。未来を見据え、革新的な研究開発と自立的・持続的な拠点形成を産官学連携のもと強力に推し進めています。同時に、地元の自治体、企業等の連携のもと地域共創の場の形成を進めていきたいと考えています。

## 2. 研究手法・成果

ゼロカーボン窒素肥料を効率的に生産するために、JST 戦略的創造研究推進事業 ERATO (京都大学大学院工学研究科材料化学専攻沼田研究室、理化学研究所環境資源科学研究セ



ンターバイオ高分子研究チームが参画) 及び Symbiobe 株式会社で培った技術を応用し、海洋性紅色光合成細菌の最適な培養条件を確立しました。海洋性紅色光合成細菌の光合成に適した人工光を照射し、10L 量の連続培養をラボスケールで行い、高純度の窒素肥料を安定して生産することが可能になりました。さらに、複数回の洗浄と集菌を繰り返した後、精製した細胞を破砕および凍結乾燥させることで、土壌に馴染む粉末状に加工することが可能となりました。この光合成細菌由来の窒素肥料の成分分析を行ったところ、植物が生育するために十分な量の窒素成分を含有していることを確認しました (図 3)。

次に、開発した肥料を用いて、京都大学大学院農学研究科附属農場にて、小松菜を用いた実証実験が為されました。窒素無施肥の土壌と即効性化成配合肥料 (1g/L) を散布した土壌を比較コントロールとして、光合成細菌由来の窒素肥料を標準量 0.71 g/L (1g/L の化成配合肥料と同じ窒素量) の 1/2 から 4 倍の範囲で与えた土壌を用意し、各々に小松菜の種子をまいて、その後の生育を比較しました。播種後 14 日後の小松菜の生育を比較すると、光合成細菌由来の窒素肥料を与えた小松菜は、窒素無施肥の土壌と比較して、優位な生育を示しました。また、化成配合肥料散布土壌と比較してもやや劣るものの近い生育が確認されました。また、35 日目では、化成配合肥料散布土壌にも遜色のない健全な生育を示し、肥料量に応じた良好な生育が確認されました (図 4)。これは、光合成細菌由来の肥料には、窒素成分の効果が穏やかに発揮される緩効性肥料に似た特徴があることによるものと考えられます。これらの結果は、光と大気中の窒素と二酸化炭素から生産したゼロカーボンベースの光合成細菌肥料が、化成配合肥料の窒素原料の代替品となることを示唆しました。

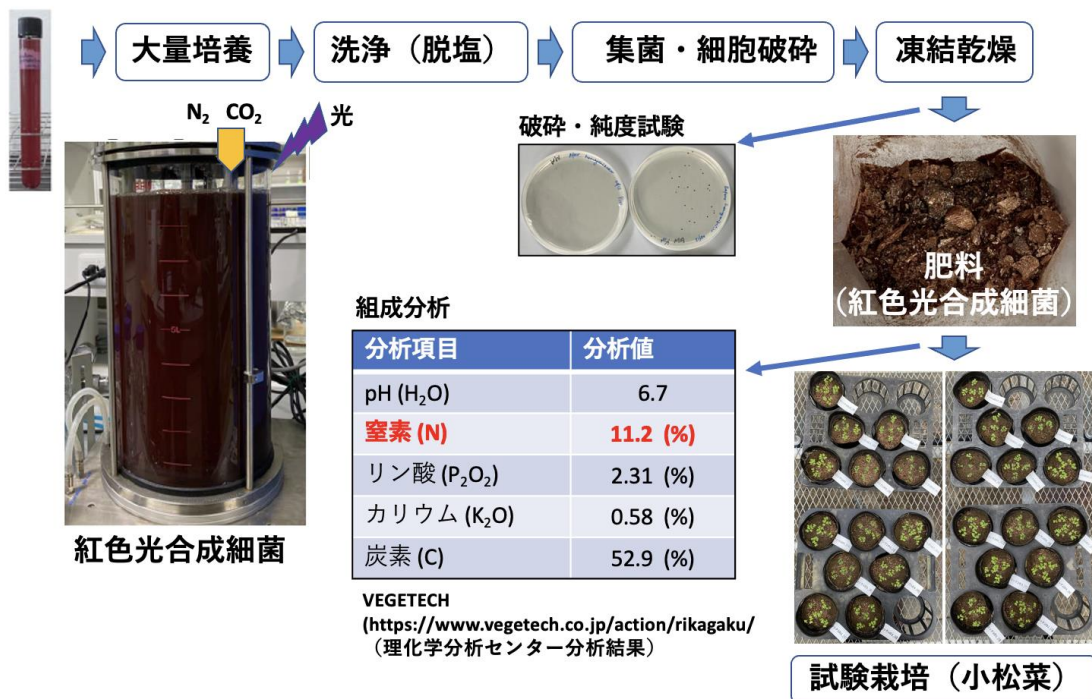


図 3 | 光合成細菌からの窒素肥料の生成

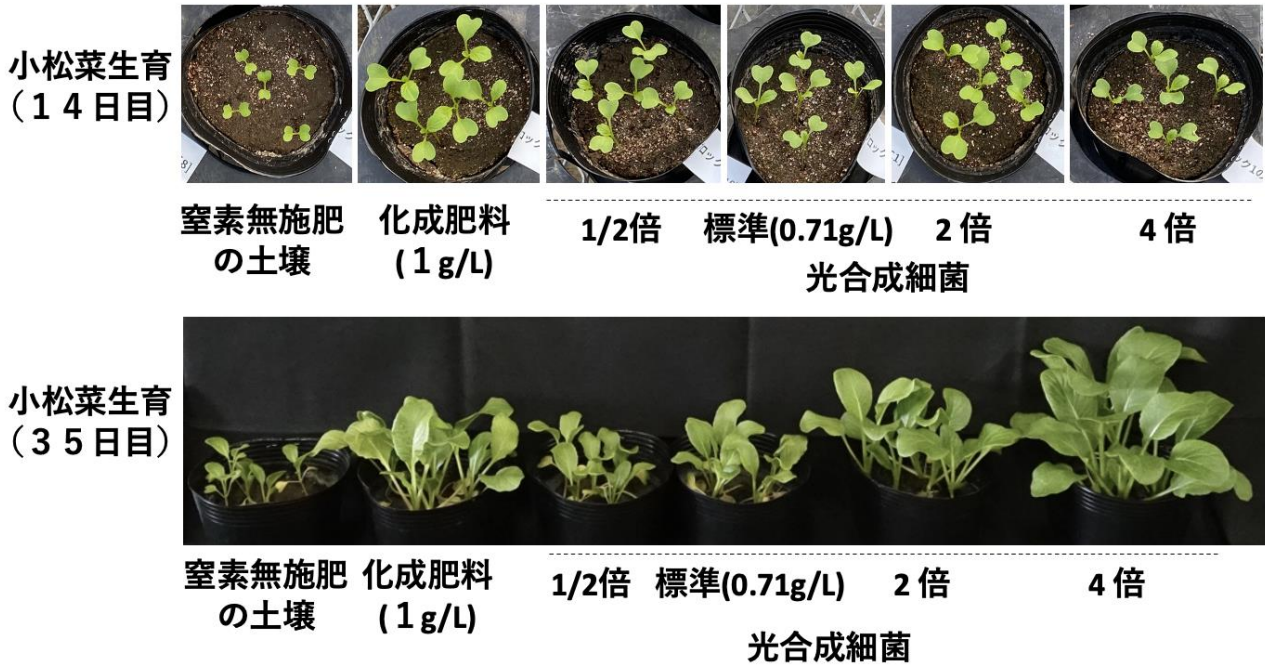


図4 | 光合成細菌肥料を与えた小松菜の生育比較

### 3. 波及効果、今後の予定

今回、紅色光合成細菌をベースにした環境に優しい農業用窒素肥料の生産に成功しました。これまで主流であったハーバー・ボッシュ法を用いて生産された化学肥料に代わるサステナブル且つオーガニックな肥料の新たな選択肢として、次世代農業の普及・発展への貢献が期待されます。今後さらに光合成細菌の大規模培養施設の拡大・展開を進めていくことで、本肥料の生産拡大と安定供給が可能になります。京都府の持続可能な次世代農業の普及・発展とともに、産学官が一体となり、地域に根ざしたゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点の形成が進展していくことが期待されます。

### 4. 研究開発プロジェクトについて

本プロジェクトは、主として以下の事業の支援のもと進められました。

(1) 国立研究開発法人科学技術振興機構

共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT) 地域共創分野・育成型

「ゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点」

- ・代表機関 京都大学
- ・幹事自治体 京都府
- ・幹事企業 株式会社島津製作所

(2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構

研究開発型スタートアップ支援事業／シード期の研究開発型スタートアップに対する事業化支援(STS) 「光合成細菌を用いたバイオ高分子・農業用窒素肥料生産技術の開発」

## <用語解説>

- ・海洋性紅色光合成細菌

約 1-2 $\mu\text{m}$  ほどの大きさで、赤紫色の楕円形を示す非硫黄型紅色光合成細菌。近赤外光のもと二酸化炭素を利用して非酸素発生型の光合成を行う。また、大気中の窒素をニトロゲナーゼで固定して生育する。

- ・ハーバー・ボッシュ法

四酸化三鉄を触媒に用い、低温高圧の状況下で水素と窒素を合成するアンモニアの工業的製法。