

光合成細菌（主として *Rhodobacter capsulatus*）の 農業，畜産，環境，水産への応用

牧 孝昭

光合成細菌が小林¹⁾，北村²⁾および永井³⁾，佐々木⁴⁾らの研究により，その多面的な機能が注目され始めて，すでに50年以上が経過している．光合成細菌の働きは実に多彩で表1のように農業，畜産，環境，水産，さらに医薬分野への応用が可能で，現在問題となっている食糧生産，エネルギー生産，環境問題などの解決に大きく貢献できる微生物のひとつとして期待されている．

本稿では光合成細菌の現場への応用を紹介する．

農業分野での利用

近年，有機農業への取り組みが世界的に叫ばれており，食の安全・安心は元より，高品質でおいしい農産物が求められている．化学肥料，農薬一辺倒からバイオマス系の有機物利用および有機質肥料主体の農業体系に変わりつつある．このような背景のなかで，光合成細菌（主として *Rhodobacter capsulatus*）の生きた代謝機能および有機栄養物質としての菌体がどう利用されているか紹介する．

水田作物での利用 水田では水稻の根圏環境は常に還元状態にあり，前作の作物遺体である残根，イナワラなどの有機物と新たに施用された有機質肥料や堆肥などの未分解有機成分が，土壤微生物により還元状態で分解される．その際，多量の低級脂肪酸，アミン類，硫化水素などの有害物質が生成され水稻の根の養分吸収を阻害することが知られている．これに対して光合成細菌の活発な代謝機能を利用して，これらの有害物質を分解，低

減化することが可能である⁵⁾（図1）．

光合成細菌を水稻へ施用した試験では，処理区は対照区と比較して収量が増加した（表2）．この試験結果などにより「水稻への光合成細菌施用」は長野県農林研究財団から長野県の普及技術として認められている．

また，光合成細菌を利用して食味値が高いササニシキを10 aあたり1トン以上を安定して収穫している農家の例もある⁶⁾（図2）．

畑作物での利用 畑作では主としてイチゴ（図3），メロン，トマト，ナス，キュウリ，レタス，ミカンなどの果菜・果樹類の品質向上（日持ち，色つやの向上，ビタミン類の増加）および土壤病害の予防・軽減に効果を

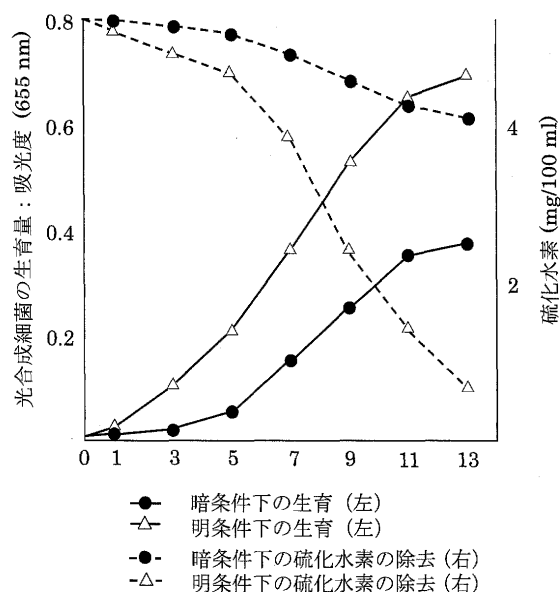


図1. 光合成細菌（*Chromatium* sp.）の硫化ナトリウム培地中における生育と硫化水素の除去

表1. 光合成細菌の利用例

菌体成分の利用	
抗コレステロール機能食品の原料	
家畜・魚類の栄養補給	
医薬・動物薬	
抗ウイルス活性賦活剤	
農作物の品質向上	
5-アミノレブリン酸	コエンザイム Q10
代謝機能の利用	
植物根圏環境の改善	
高濃度有機廃水処理システム	
養殖場の環境浄化	
水素ガス，バイオフィルムの生産	
バイオセンサーへの応用	

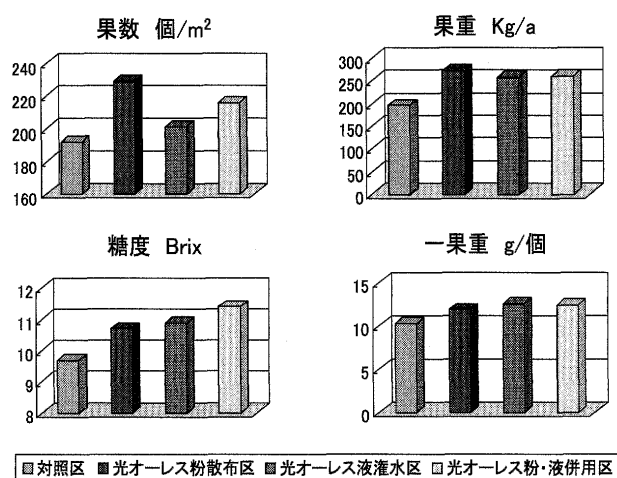
表2. 光合成細菌の水稻への使用効果（収量調査結果：kg/a）
（長野県北安曇農業改良普及センター）⁴⁾

	全重	わら重	もみ重	粗玄米重	粗玄米重指数
移植時苗箱処理 + 本田処理	145	49.9	96.1	77.2	115
移植時苗箱処理	151	50.7	98.2	78.6	117
対照区	134	48.1	84.3	66.9	100

特 集



図2. 光合成細菌を使用した水稻の刈取り前



(長野県野菜花き試験場)

図3. 光合成細菌(光オーレス粉)のイチゴへの施用効果

あげている^{7,8)}。

光合成細菌は菌体内にビタミン、アミノ酸、色素などを豊富に含み(表3)、それらの成分は作物の体内に直接取り込まれると考えられている⁹⁻¹³⁾。

近年、阿江ら¹⁴⁾によりリービッヒの無機栄養説に対して、“有機栄養学説”が“PEON(ペオン)理論”(図4)により実証されつつある。PEONとは(phosphate buffer extractable organic nitrogen)の略であり、作物は相当量の窒素をアンモニア、硝酸態窒素ばかりでなく、8000 Da近辺の分子量のタンパク様窒素を直接吸収していることが解明され、これらのタンパク様窒素を多く有する光合成細菌菌体分解産物の有用性もより具体的になりつつある。

畜産分野での利用

“健康卵”、“健康肉”の生産 光合成細菌菌体成分を有効利用した菌体混合飼料を豚および鶏に与えることに

表3. 光合成細菌中のビタミン、色素含有量

種類		光合成細菌	酵母(参考)
ビタミン	B ₂	3,600 μg/100g	2,900 μg/100g
	B ₆	3,000 μg/100g	2,400 μg/100g
	葉酸	2,000 μg/100g	1,700 μg/100g
	B ₁₂	200~2,000 μg/100g	1 μg/100g
	C	20,000 μg/100g	—
	D	10,000 IU	300,000 IU—
	E	31,200 μg/100g	—
色素	細菌性葉緑素	56.1 mg/g	—
	カロチノイド総量	41.7 mg/g	—

PEONの生成過程〔仮説〕

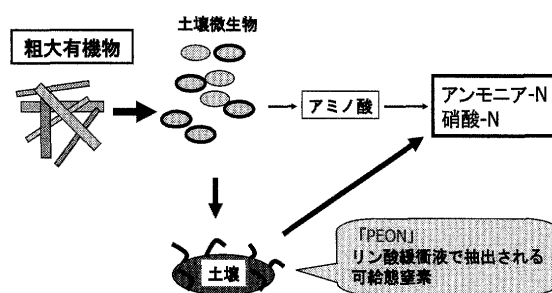


図4. PEON理論(文献12より)

より健康志向に合致したLDLコレステロールの少ない健康卵の生産および肉の生産が可能であることが最近の研究で明らかになった¹⁵⁻¹⁷⁾(図5, 6)。

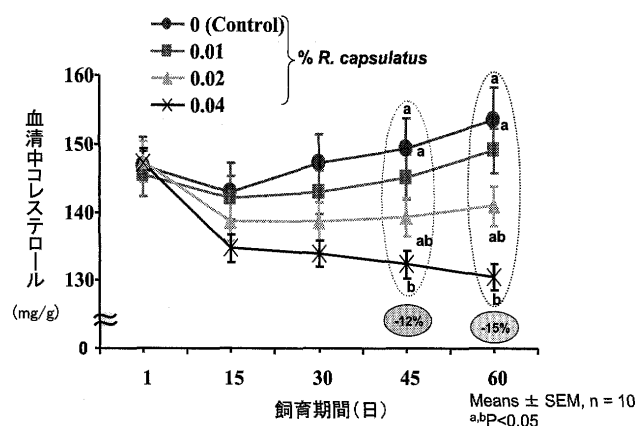
畜舎からの悪臭軽減 光合成細菌の生きた菌の代謝機能を活用して、畜舎から発生する悪臭の軽減を行っている。光合成細菌はアンモニア、低級脂肪酸などの悪臭成分を資化し無臭にする効果がある^{3,18)}(図7)。

実際に市販されている光合成細菌は、*Rhodobacter capsulatus* 以外に *R. palustris*, *R. spheroides* が主なものである。主に養豚、養鶏で使用されている。

高温好気発酵(TAO)システムによる有機液肥の製造 TAOシステム(図8)は畜産糞尿に高温菌を添加後、曝気を行い、高温好気液状発酵により機能性成分に富む液体肥料を生産するものである。発酵終了後に光合成細菌を添加することにより、より高品質で無臭の液肥に品質を向上させることが可能である¹⁷⁾。この液肥を施用した水田では冷害を回避して平年通りの収量を確保できたという報告がある²⁰⁾(図9)。

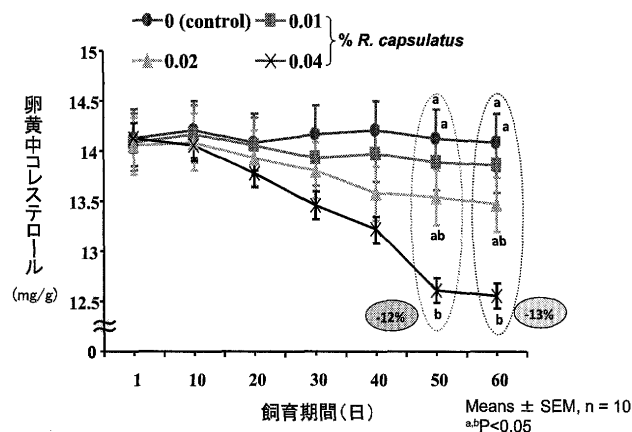
水産分野での利用

光合成細菌はクルマエビ養殖など栽培水産および観賞魚、ニシキゴイ飼育などで利用されている。当社は水産分野向けに菌体の有効成分を固定化した商品も開発して



⇒ 体重の増加、飼料効率の改善
血清中コレステロール、トリグリセライドの減少
HDLコレステロールの増加

図5. 光合成細菌による血清中コレステロールの推移



⇒ 卵黄中のコレステロール、トリグリセライドが減少し、
HDLコレステロールの増加、卵黄色の改善が見られた

図6. 光合成細菌による卵黄中コレステロールの推移

いる²¹⁾(図10)。

クルマエビ養殖での利用 日本のクルマエビ養殖場で10年前から光合成細菌をはじめとする微生物商品を使用し、抗生物質の使用を抑える“有機養殖”システムが採用され、高品質なクルマエビを生産している。光合成細菌はクルマエビの餌料に添加し、光合成細菌の代謝機能、光合成細菌菌体が含有する有効成分（ビタミン、ミネラル、アミノ酸、色素など）を活かしている。

光合成細菌など微生物商品の利用で養殖環境を改善、生態系に対して安全で、持続的に高品質な水産物を生産する有機養殖を可能にしている。

熱帯魚飼育などでの利用 光合成細菌が光合成を行う際に汚れの原因となる水中の窒素を代謝、水質を浄化することができる。飼育環境の改善を図るため、活魚水槽、観賞魚池などで利用されている。

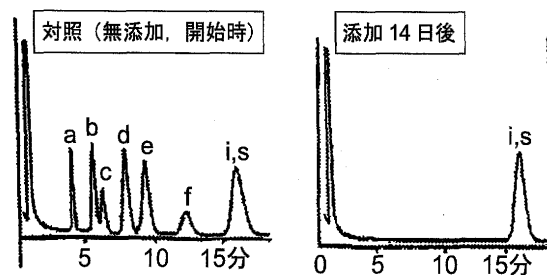
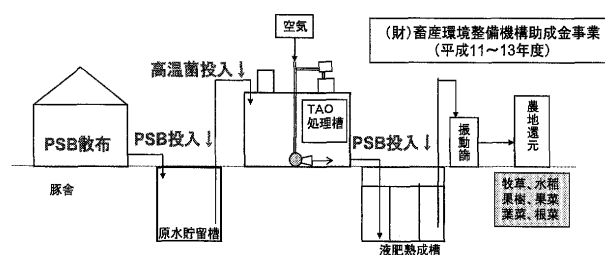


図7. 光合成細菌による低級脂肪酸の脱臭効果³⁾。ピーク：a, 酢酸；b, プロピオン酸；c, イソ酪酸；d, *n*-酪酸；e, イソ吉草酸；f, *n*-吉草酸；i, s, 標準マーカー。

TAO(高温好気発酵)システムのフロー



TAOシステムの目的・特徴

1. 良質の液体肥料を製造します。
2. 悪臭の発生を抑えます。
3. 設置面積が少なく、管理が容易です。
4. ランニングコストが低減できます。

図8. TAO (高温好気発酵) システム

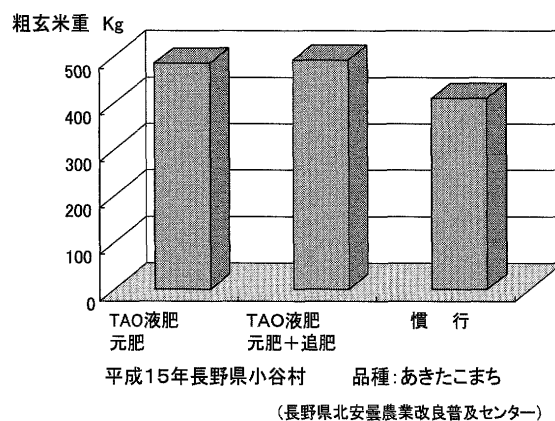


図9. 冷害時におけるTAO液肥の効果

光合成細菌体に含まれるビタミン、ミネラル、アミノ酸、色素成分を熱帯魚、ニシキゴイなどが摂取することによって、魚が健康になり、色も鮮やかになるため観賞魚としての価値が向上する。

今後の課題と展望

市販されている光合成細菌商品の使用分野は、農業、水産、環境浄化など多岐にわたり、近年インド、中国ではヒトの飲用にも用いられている(図11)。しかし、こ

特 集



図10. クルマエビ養殖場と光合成細菌を利用した観賞魚向け資材

れら商品がうたう効能や成分などはまちまちである。光合成細菌商品に関する統一的表示方法、効能などの客観的評価基準が求められる。

長年にわたる研究により、光合成細菌は多種多様な生理活性を持つ菌体成分を含有していることが報告されており、今後はヒトへの活用が期待される。筆者らは微生物の有効利用の新しい概念として『Ecobiotics』（エコバイオティクス）を提唱している²²⁾。

『Ecobiotics』とはecologyやeconomyのecoと、bioticsを組み合わせた筆者らの造語で、図12のようにプロバイオティクスの微生物群とバイオコントロールの微生物群の一部を含み、微生物を用いて現場環境を自然生態系に近づける働きを意味している。光合成細菌は『Ecobiotics』で期待される微生物群の中で代表的なもののひとつである。

文 献

- 1) Kobayashi, M. et al.: *Anoxygenic Photosynthetic Bacteria* (Blankenship, R. E. et al.), p.1269, Kluwer Academic Publishers (1995).
- 2) 北村 博ら：光合成細菌, p.339, 学会出版センター (1984).
- 3) 小林達治：光合成細菌で環境保全, p.99, 農山漁村文化協会 (1993).
- 4) 永井史郎：極限環境微生物ハンドブック, サイエンスフォーラム, p.298 (1991).
- 5) 佐々木健：生物工学会誌, **71**, 428 (1993).
- 6) 牧 孝昭：農業技術体系, 農山漁村文化協会 (1993).
- 7) 長野県農林研究財団：施肥改善だより, 第38号, p.23 (1997).
- 8) 長野県農林研究財団：施肥改善だより, 第44号, p.12 (2005).
- 9) 小林達治ら：光合成細菌の機能と応用, シーエムシー出版 (2006).
- 10) 小林達治：土肥誌, **45** (7), 315 (1974).
- 11) 小林達治：土肥誌, **47** (9), 412 (1976).
- 12) 小林達治：月刊廃棄物, 10月号, p.61 (1995).
- 13) 農山漁村文化協会編：現代農業, 3月号, p.190 (1997).
- 14) 阿江教治：農業技術体系, 第2巻, p.44 (2002).
- 15) Tsujii, H. et al.: *Poultry Science*, **86**, 714 (2007).
- 16) Tsujii, H. et al.: *Poultry Science*, **86**, 1920 (2007).
- 17) Tsujii, H. et al.: *Animal Science Journal*, **79**, 460 (2008).
- 18) Kobayashi, M. et al.: *Proc. IV. Internat. Frem. Symp.*, p.527 (1972).
- 19) Kobayashi, M. et al.: *Prog. Wat. Tech. Vol.11. Nos.1/2.*, p.279 (1978).
- 20) 畜産環境整備機構, 家畜排せつ物処理コスト低減等技術開発推進事業, 技術開発推進事業研究報告書, p.59 (2003).
- 21) 岡本信明ら：日水誌, **54**, 2225 (1988).
- 22) 猿田年保：圃場と土壌, **42** (8), 10 (2010).

海外での事例



図11. 海外での光合成細菌の利用事例 (光合成細菌を煮沸後飲用)

エコバイオティクスの概念の位置づけ

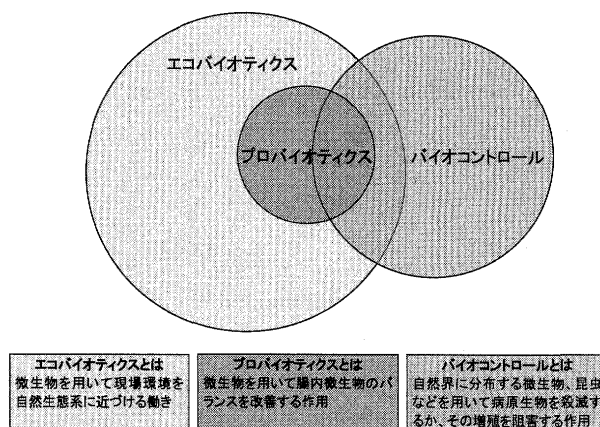


図12. エコバイオティクスの概念