
自然環境における汚水浄化機構の解明と
その資源化処理に関する研究

Studies on resolution of purificatory mechanism of sewage in natural environment and use of the waste as resources

代表研究者	京都大学農学部講師	小林 達 治
協同研究者	京都大学名誉教授	川 口 桂三郎
	京都大学農学部教授	久 馬 一 剛
	京都大学農学部教授	高 橋 英 一
	京都府立大学農学部教授	服 部 共 生
	大阪府立大学農学部教授	山 口 益 郎
	岡山大学農学部教授	下 瀬 昇

A sewage is purified by the action of soil microorganisms, according to the changes of microbial flora in succession as i) heterotrophs, ii) photosynthetic bacteria, and iii) algae.

By utilizing the principle of successive proliferation of microorganisms, we have successfully treated sewage from waste water including organic matters of high concentration (over few thousand ppm as B.O.D.).

From many experimental results, we succeeded to construct practical treatment plants of waste solution.

The present treatment not only purifies the organic liquid wastes, but also produces valuable microbial cells which can be used as animal feed and fertilizer. The photosynthetic bacterial cells serve to supply essential proteins, to increase the survival rate of young fish fry, and to stimulate egg laying in birds. As the quantity used represents only 1/10,000 of the total food intake, it is more likely that it acts as a stimulant.

The advantages of this system over the activated sludge process are: a) Dilution is not required so the system can be used in areas where water is a scarce resource. b) Unlike the activated sludge method which creates a secondary sludge disposal problem, this system produces photosynthetic bacteria and green algae which are excellent and useful by-products. c) Because very little dilution is required, the area for the treatment facilities is much less in comparison with the activated sludge method.

Furthermore, photosynthetic bacterial cells are useful as organic fertilizers for persimmon and mandarin production. Not only had the number of fruit per tree increased, but also the average fruit is heavier, sweeter (increase in sugar content), and more attractive in appearance (increase in carotenoid pigments).

Carcinogenic dimethylnitrosamine is formed in heavily polluted environment. Photosynthetic bacteria are capable of metabolizing this compound and inactivate harmful viruses in sewage. They would contribute to the purification of waste products in nature.

Photosynthetic bacteria assimilate carbon dioxide and fix molecular nitrogen by means of the solar energy. In brief, photosynthetic bacteria are concluded to have an extremely important role in the natural environment.

研究目的

自然環境における汚染と浄化過程における物質循環を詳細に検討する。まづ、汚水浄化機構を解明し、その理論をもとにして、汚水浄化装置の開発、実用化を行い、ついで、その浄化装置により副生した物質の資源化利用方法の確立を目的とする。

研究成果

特に光合成細菌の研究を中心に仕事を進め、図1に示すような、自然環境における汚染と浄化過程における光合成細菌の位置づけを確認して、次に記述するような成果をえた。

自然環境における汚水浄化機構の解明を詳細に検討した結果、有機物含有量 (BOD 数 1000 ppm

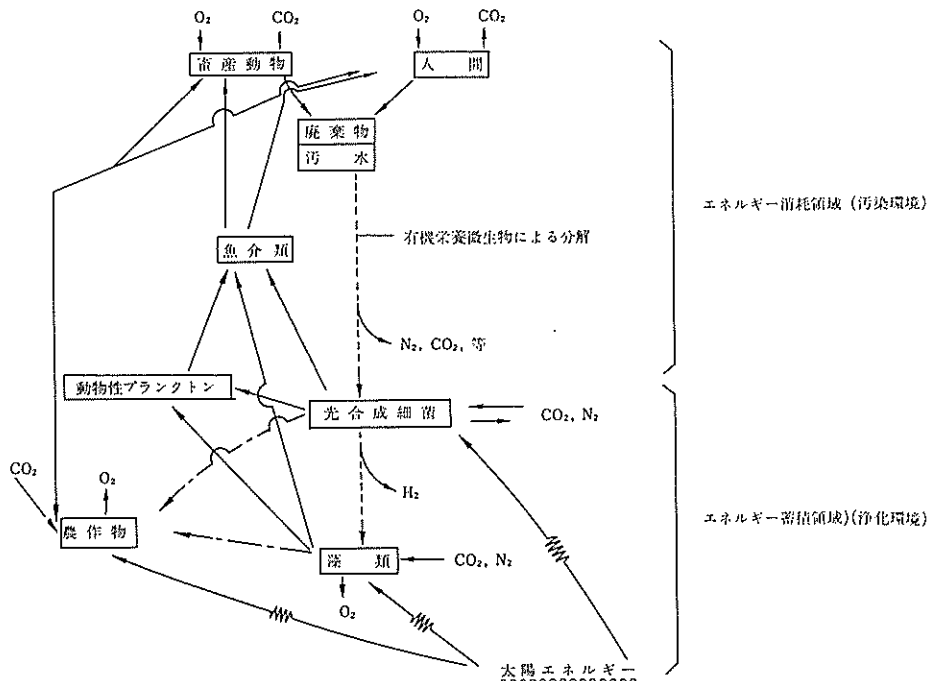


図1 自然環境における光合成細菌の役割を示す模式図

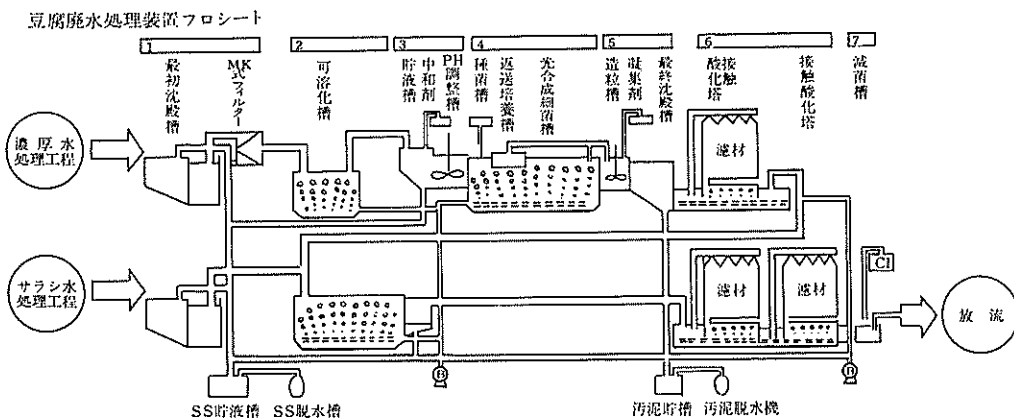


図2 光合成細菌利用による豆腐工場廃水処理実用化プラント・フローシート

以上) に応じて、(1) 有機栄養微生物、(2) 光合成細菌、(3) 藻類という微生物の生態的変動により浄化が進むことを確認しその浄化機構を水処理技術に利用した実用化プラントの設計・製作・運転管理に成功した(図2参照)。まず、第1槽で好気性の有機栄養微生物を生育させるために曝気をする。つぎにその上液部を第2槽の光照射光合成細菌培養槽に転流せしめて、若干、通気をしながらか培養すると光合成細菌が、かなりよく生育し、その菌体のカロチノイド系色素の影響で培養液はピンク色になる。(この光合成細菌培養は廃水の種類や濃度によって、4槽を設置し、通気方法を工夫すれば最終第4槽では凝集剤を添加しなくても容易に沈殿するようになる)。光合成細菌体を沈殿除去後(菌体利用については後述する)上液部は第3槽の藻類培養槽へ転流せしめて、光照射曝気をする。最初、BOD数1000ppm以上であった汚水も最終的にはBOD20~10ppm以下にまで浄化され、放流することができるようになる。冬期、寒い地帯(日本では東北地方以北)では藻類の増殖が悪いため、そのような寒冷地においては、図2に示すように藻類槽のかわりに撒布床を設置し、現在、実用化プラントが稼働するようになった。(発表論文1, 2参照)

この光合成微生物を利用する廃水処理ならびにその資源化に適用しうる廃水の種類は各種微生物工業廃液、化学合成工業廃水、食料品工業、製紙パルプ、石油精製、羊毛洗滌、し尿、畜舎汚水等有機物含有汚水に適用できるので利用範囲はかなり広く、今後の発展が期待される。(発表論文3参照)

光合成細菌は自然界においては炭酸固定、窒素固定、あるいは汚水の浄化に貢献しているが、増殖した菌体は動物性プランクトンや魚介類の「えさ」として利用されていることを明らかにしてきたので魚の孵化直後の仔魚の育成に与える影響を調べたところ、配合飼料に比べて、その菌体の添加効果は著しく高く、養殖漁業の隘路になっていた初期餌料として、今後有望視されることになった。

光合成細菌体は、菌体中に多量のタン白質を含

有し、そのアミノ酸組成もよく、ビタミンも豊富で、とくにB₁₂は非常に高く、畜産飼料として産卵鶏の配合飼料に添加すると産卵率が著しく向上することが明らかとなった。(発表論文8)

また、光合成細菌は水田における環境浄化にも一役かっていることが証明された。(発表論文7参照)

水稲は茎葉の繁茂する時期、すなわち栄養生長期には根圏域の酸化還元電位も割合高く、嫌気性である硫酸還元菌はそれ程、優勢に生育してこないが、幼穂形成期、すなわち生殖生長期になると根の酸化力は衰え、急激に硫酸還元菌が繁殖して水稲根に有害な硫化水素を発生し、著しく根の呼吸に悪影響をおよぼす。これが秋落ち現象の主原因となっていた。しかし自然環境に生存する土壤微生物の生態的変動はそのような悪環境をきれいな環境にする微生物、すなわち光合成細菌が急に増殖して蓄積した硫化水素で汚染された環境を浄化してゆくことが明らかとなった。そしてそのような時期に水稲は出穂してくるという相関性も確認することができた。

光合成細菌の水田における研究はさらに進展し、出穂3週間前の追肥として無機肥料(塩化アンモニア)、クロレラ藻体、光合成細菌体(PSB菌体)をそれぞれ等量ずつ(無機塩類に換算して同量ずつ)追肥したところ、1穂粒数が無機肥料の66.8粒に対してクロレラ71.6粒、光合成細菌体87.9粒と粒数増加に効果のあることが判明した。このような現象の発見は植物の花芽形成の時期に核酸・アミノ酸代謝が変動し、特に核酸ではウラシル、シトシンの塩基類が、アミノ酸ではプロリンが非常に代謝要求されることを見出す契機となり、ウラシル、プロリンの施用が果実の増収に著しく効果を発揮することが実証されるに至った。(この効果は水稲やトマトに限らず、他の植物にも有効であることが確認され、実用化の方向に向っている。)

前述したように汚水処理後の光合成細菌体を含む副生汚泥を有機肥料として施用した場合、富有柿やみかんの増収はいうまでもなく、果色がよくなり(カロチノイド系色素含量増大)糖量も増加

するという果実の品質向上に役立つことが明らかとなった。したがって汚染度の高い各種廃水の処理により副生する汚泥は、有機肥料として再資源化できる見通しをうることができた。その上、光合細菌体有機肥料を施用すると、果実中のビタミン B₁ や C の含有量が無機肥料のみ施用に比べて増加し、果実の貯蔵性も増大することが確認された。(発表論文 6 参照)

トマト、その他連作障害を引起す植物は多数認められているが、その害作用の主原因は植物病原性糸状菌の旺盛な繁殖によると考えられている。しかし自然界においては、そのような病原性糸状菌に対して天敵となる放線菌が存在しており、抑圧することを見出してきているが、そのような農業有用菌である放線菌の「えさ」として、光合成細菌体は非常によいものであることが判明した。(発表論文 5 参照)

現在、ハウス栽培、その他連作障害を引起している農地は拡大する一方であるが、このような自然の生態系を利用した廃水処理副生汚泥を農地へ還元することにより、植物の病気は抑えられ、農産物の生産性は増大し、収穫物の品質を向上せしめることを見出したことは極めて大きな意義があるといえよう。

廃水処理の場合、副生汚泥の処理、例えば沈殿除去、乾燥という操作はかなり面倒なものである。そこで自然の生態系利用による水処理技術を利用して B.O.D. 30,000 ppm という腐水性の極めて高い羊毛洗滌廃液を簡易処理した後、その処理水を有機肥料液として利用し、かつ、3 次処理するという実験を行なった。その結果、1 日排水量 100 ton と仮定して 10 ヘクタールの緑地帯があれば、十分、廃水は完全に浄化されると同時に、緑地帯もよく繁茂して、きれいな環境に保たれるという結果をえた。

その外、自然界における光合成細菌の生態生理を詳細に追究し、光合成細菌は自然環境において、大きな活躍をしているという次のような観察結果をうることができた。たとえば湖や海の富栄養化に際して、増殖した動物ならびに植物性プランクトンは冬期気温の低下とともに、底の方へ沈

殿し、それが翌春の温度上昇に伴って、腐敗菌による汚染のもとになり、分解の際に生ずる有毒物質や悪臭物質の発生が水質公害を生ずる結果とな

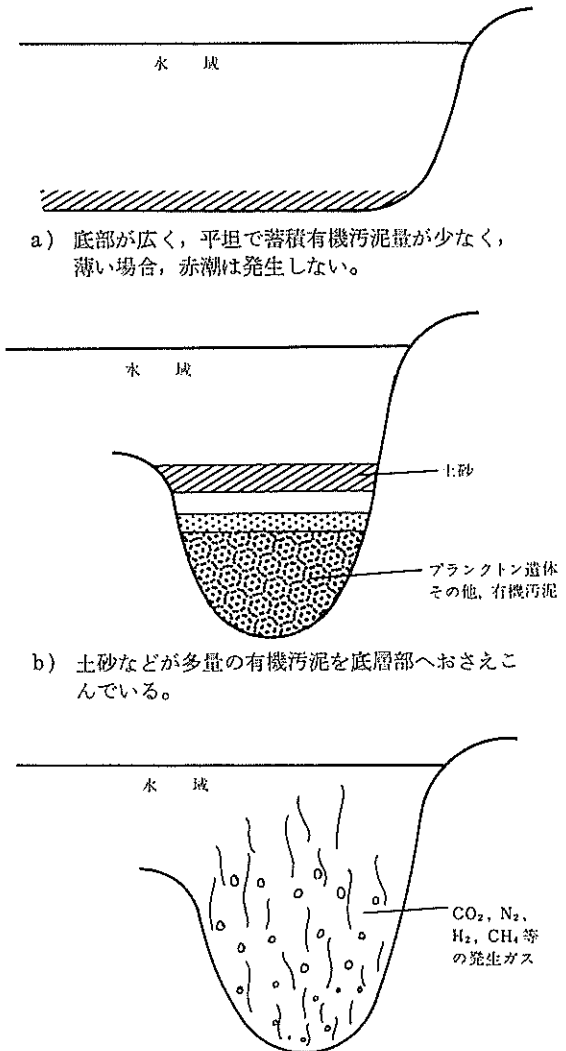


図 3 赤潮発生機構を示す模式図

っている。そのような蓄積汚泥が腐敗分解をうけるときには、硫化水素は数 10~数 100 ppm 有毒アミンである、ブレトシン (Tetramethylene-diamine), カダベリン (Pentamethylene-diamine) などを含む、悪臭アミン類は数 100 ppm に及び、もし、そのような有毒物質が多量含まれる状態になると悪臭物質の拡散はもちろんのこと、植物や動物の成長は阻害され、ひどい場合には死滅するに至る。しかし、光合成細菌はそのような有毒アミンや硫化水素を好んで基質として利用し、除去し、かつ動植物に良好な影響を与える有効物質にかえ、また、種々の有効成分を分泌するので、光合成細菌は自然界の汚染を取除く救世主といえるような結果をえた。光合成細菌の 1 種 *Chromatium* は硫化ソーダーを基質として生育し、培地中に存在する硫化水素をよく除去する。その際、光の当る光照射条件の方が、暗黒条件に比べて硫化水素の除去率は格段に高いことを認めた。また、紅色非硫黄細菌である *R. capsulatus* はプトレシンやカダベリンという猛毒アミンをも利用する能力をもっていることがわかり、この場合も同様に光照射条件の方が、暗黒の場合よりも生育ならびに除去率とも、かなり高いことが認められた。(発表論文 4 参照)

有機汚泥の腐敗分解中に発ガン、催奇性物質である Dimethylnitrosamine の生成があることを確認した。しかし、そのような汚染環境において、光合成細菌は増殖し始め、そのような有毒物質を資化除去してしまうことを証明した。次いでマウスの飼育実験を行ない、Dimethylnitrosamine の 5 ppm 濃度の飲料水を 4~6 ヶ月与えると、肝臓ガンが発生することを認めたが、光合成細菌体を投与することによりそのような発ガン性の抑止効果のあることが確かめられた。(発表論文 9) 赤潮発生機構の解明を急ぎ、モデル実験ならびに

赤潮発生域での試料調査を詳細に行い、赤潮は図 3 に示すように海底の構造と蓄積有機汚泥に密接に関係していることを明らかにした。(発表論文 10 参照)

発表論文

- 1) 小林達治: 光合成細菌の基礎 日土肥誌 46, 101-109 (1975)
- 2) 小林達治: 光合成細菌の応用 日土肥誌 46, 148-158 (1975)
- 3) 小林達治: 水処理技術と土壌微生物 土と微生物 17, 37-46 (1975)
- 4) Michiharu Kobayashi: "Role of photosynthetic bacteria in foul water purification" Progress in water Technology 7, 309~215 (1975); Utilization and disposal of wastes by photosynthetic bacteria", ed. by H. G. Schlegel and J. Barnea: Microbial Energy Conversion. 443-453 (1976) (Göttingen, Federal Republic of Germany)
- 5) 小林達治, 阿江教治, 岸本真希男, 木下昌三, 鳥飼康子, 高橋英一, 葛西善三郎: 羊毛洗滌廃液の処理と処理液の利用に関する研究 日農化誌 50, 157-161 (1976)
- 6) 小林達治, 藤田祥勝, 華澤正義, 中条利明, 阿江教治, 鳥飼康子, 高橋英一, 葛西善三郎: 果実の品質におよぼす光合成細菌体施用の効果 日土肥誌 47, 412-414 (1976)
- 7) Michiharu Kobayashi: "Effect of organic matters on higher plants" Japan Agricultural Research Quarterly 10, 7-11 (1976)
- 8) Michiharu Kobayashi and Shin-ichiro Kurata: Mass culture and call utilization of photosynthetic bacteria, Internal Symp. of Microbial growth on C₁-compounds, Pushchino, USSR, 205-207 (1977); Process Biochemistry (England) (in Press)
- 9) M. Kobayashi, N. Taketomo, and Y. T. Tehan: Formation of dimethylnitrosamine in polluted environments and the role of photosynthetic bacteria J. Ferm. Technol. 55, 615-620 (1977)
- 10) 小林達治: 光合成細菌に関する研究第 39 報; 日農化学会, 昭和 52 年度, 講要 189 頁, 日水誌 (投稿中)