

■ 論 説 ■

太陽エネルギーによる屎尿等の水産資源化

Conversion of Night Soil into Marine Products by Using Solar Energy

中山 大 樹*

Ooki Nakayama

雨 宮 由 美 子**

Yumiko Amemiya

大 野 正 夫***

Masao Ono



*

**

要 旨

屎尿は、希釈した後、活性汚泥法などの好気処理によってBODを低下させて河川に放流すべきものとされている。しかし、汲み取り屎尿は原則として毒物を含まず、肥料分に富んでおり、また沿岸部の浅海は過栄養化のため食物連鎖が渋滞しているのに対し、沖合は逆に極端な貧栄養のために海洋バイオマス生産量が少い。そこで、嫌気消化・固液分離した可溶部分を、沿岸部を通り越して沖合の海面近くに施肥することにより、沿岸の浄化、沖合での水産増殖および屎尿処理の省エネルギー化をはかることを提唱し、関連する衛生問題、下水処理場余剰汚泥等の活用への展望および太陽エネルギー政策全般に言及する。

1. 海洋生産の見直し

食糧問題の将来については悲観論が多いが、表1に示すように、可耕地の10倍の外洋が未利用受光面として手つかずで残されている。水産というと、稚魚放流、魚礁造成などを連想しがちだが、水産物といえども、その源は一次生産である。一次生産のための条件を考えてみると、表2のようになり、陸上より、むしろ海の方が有利である。

海底は万物の墓場だから、N、Pに富んでいるが、蒸溜水でも100メートル透過すれば光は1/100になるので、海面近くにNやPが少ない外洋では、殆ど生物生

表1 地球の表面

| | 10 ⁶ km ² | % |
|------|---------------------------------|------|
| 光合成面 | | |
| 可耕地 | 32 | 6.3 |
| 森林 | 45 | 8.8 |
| 沿岸部 | 40 | 7.8 |
| 未利用面 | | |
| 砂漠等 | 67 | 13.1 |
| 外洋 | 326 | 63.9 |

表2 一次生産のための条件

| | 陸 | 海面 |
|-----------------|----------------|-----------------|
| 光(受光面に比例) | 高 価 | OK |
| 水 | 灌漑が必要 | OK |
| CO ₂ | 0.03%(0.6mg/l) | 90mg/l(陸の150倍!) |
| 微量元素 | 不足しがち | OK |
| N, P | 施肥により補給 | 唯一の制限因子 |

産がおこなわれない。人工的に湧昇流をおこして、海底からNやPを舞い上げらせばよいが、投下したエネルギーが何百、何千倍になって、すぐに戻って来る海底油田ならともかく、深海底にうすく存在している、たかが肥料分のために、鉄やセメントを際限なく投入することは、妙味ある事業とは言えない。

一方、わが国の沿岸部や内海には十分にNやPがあるが、これが嫌がられている。それは、一次生産は水産のための必要条件であるが充分条件ではない事による。将来、米や大豆に匹敵する海洋植物が開発されるまでは、一次生産によって生じた植物プランクトン等が食物連鎖の末に、魚などのバイオマスまで行きつい

* 山梨大学工学部環境整備工学科教授

〒400 甲府市武田4丁目

** 山梨大学工学部環境整備工学科

*** 高知大学海洋生物教育研究センター

て、はじめて水産資源としての価値を持つことになる。

2. 屎尿処理の矛盾

現在、汲み取り屎尿は、嫌気消化させた後、水ですめて活性汚泥法等の方法で好気処理して河川に放流するのが、あるべき姿と考えられている。好気処理とは、主としてBODを除く、つまり有機炭素をCO₂に変えて追い出すことであって、NやPは、かなりの部分が放流水に移行する。これが、水が入れかわりにくい沿岸部に流れ込むと、植物プランクトンが大繁殖し、その炭酸同化作用によって、NやPに見合う量のCO₂が、プランクトンのバイオマスとして、水系に呼び戻されてしまう。それが順調に動物プランクトンを経て魚になれば言う事は無いが、プランクトンの異常発生、ひどい時は赤潮により海底への光の透過が妨げられて、海藻を枯らし、そこにプランクトンの死骸等が積もって腐れば、ヘドロと酸欠の死の海になってしまう。一方、沖の方は、貧栄養のため、太陽の光はむなしく青海原に吸い込まれ、一次生産そのものが沈滞し切った海の砂漠に留まる。

つまり、水がきれいでも海底が明るく、海藻の林にはぐくまれて稚魚が育ち、光合成による酸素がいっぱいで、気持ちよく海水浴ができるような浅海、適度に栄養分があって魚が育つような沖合、というのが理想

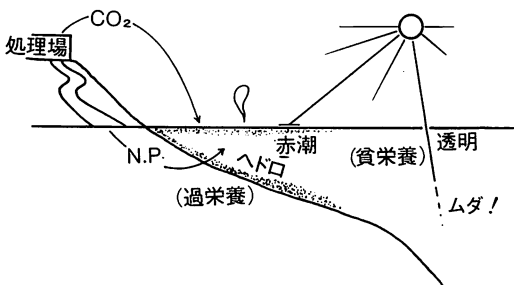


図-1 現 状

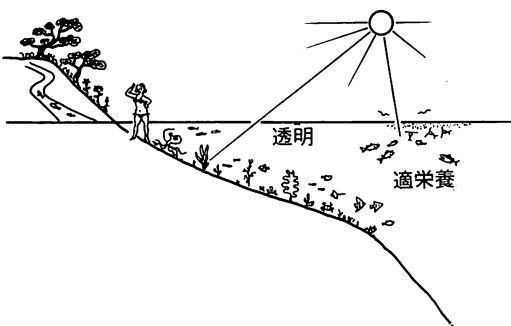


図-2 理 想

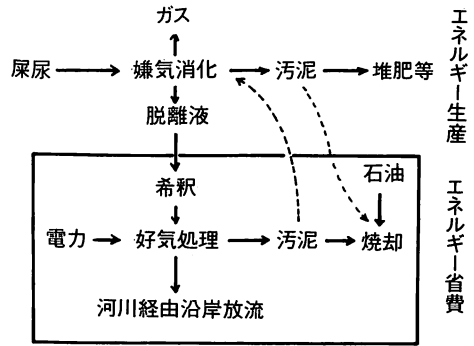


図-3 屎尿陸上処理の方式

であるが、今は、これが逆になっている。現在の屎尿処理方式を図-3のようなものとすれば、最もエネルギーと経費と敷地面積を必要とする下の枠の中の部分について考えなおす余地がある。

3. マリン・ラグーン^{1), 2)}

現在は陸上処理を強化して、放流水中のNやPを減らす方向への努力が主流となっているが、それには、当然、エネルギーや経費の一層の投入が必要である。しかし、沿岸部は過栄養、沖合は貧栄養というのが悪の根元であるのなら、発想を転換して、固形物は除くが、NやPはなるべく残したままの消化屎尿を、沿岸を通り越して、沖合の海面へ運ぶ方が、沿岸浄化、水産増殖、経費節約と、一挙三得になるのではあるまいか。

さて、lagoonは、lakeと同じ語源で、潟の意味だが、水処理の方では汚水処理のための大きな池を指す。ラグーンに於ける浄化作用のメカニズムは図-4のとおり、また活性汚泥法と比較すれば表3ようになる。

つまり、広い面積と長い時間がかかる事以外は、ラグーン法の方がすぐれている。処理時間としては20日ぐらい見れば充分、アメリカのオハイオ州衛生部の基準によれば、1人1日分の、屎尿の分13gを含む全生活排水のBODを75gと仮定した時、これをラグーンだけで処理するには、人口1人当たり20m²あればよいことになっている。人口100万人なら2000ha、つまり4km×5km見当、東京の分として、これを10面、日本全体なら100面でよい計算になる。狭い日本の陸上にこれだけの面積を確保するのは無理だが、わが国の広い200カイリ経済水域を考えれば問題あるまい。屎尿の洋上処理は、マリン・ラグーンとも言うことができ、海水でも淡水のラグーンと同じく、屎尿成分がよくバイオマスに転換されることは、筆者らの実験に

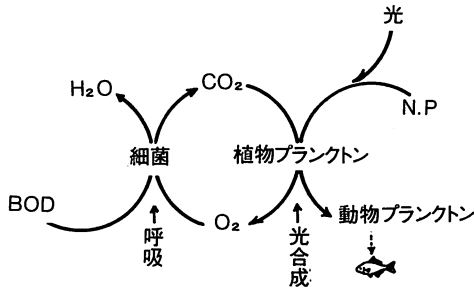


図-4 ラグーンの原理

表3 汚水処理法の比較

| | | 活性汚泥法 | ラグーン法 | |
|----------|---------|-----------|--------|----|
| ラグーン法の利点 | 投入エネルギー | 電力など | 太陽光・風波 | |
| | 運転経費 | 多 | 0 | |
| | 管理 | 面倒 | 不要 | |
| | 処理能力 | BOD | OK | OK |
| | | N, P | 不十分 | OK |
| 副生物 | 余剰汚泥 | プランクトン, 魚 | | |
| 欠点 | 所要時間 | 少 | 大 | |
| | 所要面積 | 少 | 大 | |

表4 尿尿処理の二つの方向

| | 陸上好気処理 | 洋上処理 |
|---------|----------|-------|
| 実は | 河川經由沿岸投棄 | 外海施肥 |
| 陸水・沿岸水 | 富→過栄養 | 清澄 |
| 沖の海面 | 貧栄養 | 貧→適栄養 |
| 投入エネルギー | 多 | 少 |
| BOD | 有害 | 無害 |

より、よく証明されている。³⁾表4に、陸上好気処理法と洋上処理を比較しておいた。

4. 衛生問題

尿尿を海にというと、海洋汚染が危惧されるだろうが、固形物は取り除いてあり、毒物は原則として含まれず、BODは生物濃縮を受ける毒物と違って濃度で効くものだから、外海では問題にならない。

残る問題は病原体だが、寄生虫卵やウィルスは、海中で増殖することが有り得ず、最も気をつけなければならないのは尿尿によってもたらされる可能性がある腸内菌であろう。そこで、サルモネラの代表として鼠チフス菌 *Salmonella typhimurium*、ビブリオの代表として腸炎ビブリオ *Vibrio parahaemolyticus*、腸内菌一般のモデルとして大腸菌 *Escherichia coli* K-12 を用いて、いろいろな実験をした。その結果を

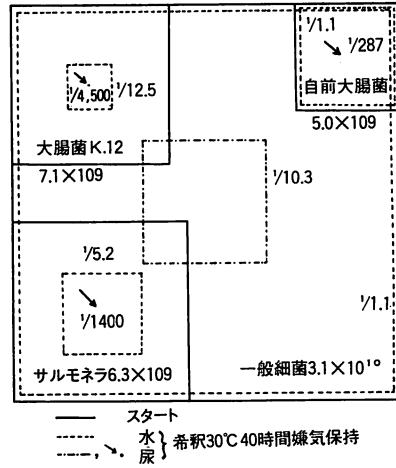


図-5 水または尿で10倍に希釈した人糞中30℃40時間嫌気保持前後の生菌数変化

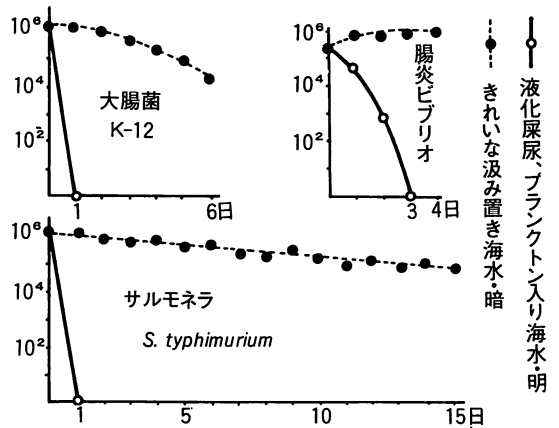


図-6 嫌気消化尿尿 0.2% およびプランクトン添加海水明 (6,000ルクス) 培養および純海水暗培養中の生菌数変化 (20℃)

要約すれば次のとおりである。

新鮮な人糞を、水道水または人尿で10倍に希釈したものを、水洗尿尿および汲取尿尿のモデルと考え、これらに菌を混ぜて、30℃に40時間嫌気的に保持した後、生菌数をしらべると、図-5に示すとおり、水で希釈した場合は菌数が殆ど変化しないか、或は数分の一に減少したのに対し、尿で希釈した場合、サルモネラは 1 / 1400、大腸菌 K-12 は 1 / 4500、もともと人糞中に居た大腸菌は 1 / 287 と、面積表示で点になるぐらいに減少し、汲取尿尿は水洗尿尿にくらべて遙に衛生的なものであることがわかった。⁴⁾

万一、生き残った菌が海に入った時を想定したモデル実験の結果が図-6である。きれいな汲み置き海水

に1ml当り約100万個の割に菌を混ぜ、光を当てずに約20°Cで、ゆるやかにロータリー振盪すると、対照と書いた曲線のとおり、菌は長生きする。ところが、嫌気消化尿を0.2%加え、数種の海産プランクトンを接種し、昼光色蛍光灯で約6000ルクスに照明した方は、極めて急速に死滅する。⁵⁾

従って、たとえば水洗尿が海水浴場に流入したような場合は危険だが、いつも尿を流してプランクトンが濃く発生している海面に、嫌気消化した汲取尿を流す場合は、思いの外安全なものと思われる。

5. 太陽エネルギー固定技術としての評価

エネルギーにしても物質にしても、単位量あたりの価値は質によって決まり、質は種類と濃度で決まる。同じ種類のものは、原則として濃いほど質が良く、価値が高い。この世のすべての事はエントロピーの総量が増大する方向に進み、物にしてもエネルギーにしても、濃縮することは熱力学第二法則に逆らってエントロピーを局部的に減らすことであり、それにはエネルギーの投入が必要である。問題は、そのエネルギーの質であって、エントロピーがふくらみ切った、「うすい」所で何かするには、エネルギーも、うすいもので良いが、トコトンまで濃縮したり、濃いものから別の濃いものを作ったりするときは、濃いエネルギーが必要なものだ。

太陽エネルギーは、総量は大きい極めてうすく、その濃縮にはエネルギーと経費が必要である。濃いエネルギーの投入が不可欠な近代産業を動かすためなら、無理して濃縮することもやむを得ないが、どこかでエントロピーを減らせれば、別の所で、それを上まわるエントロピーの増大が起きる。その集中的な現れが環境破壊であって、太陽エネルギーを、うすいままでする場所があれば、なるべく、そのようにするのが賢明であろう。

汚水の成分は、BODにしてもNやPにしても、ppmの桁の、極めてうすいものであり、汚水処理とは、これらを濃縮、精製することではなく、うすいまま原子の結合状態をちょっと変えて、更にうすく拡散させてしまえばよい。これこそ、うすいエネルギーにふさわしい仕事であろう。現在は、汚水処理のために貴重な濃い電力が投入され、その一方で太陽エネルギーの濃縮が叫ばれているが、太陽エネルギーを、うすいまま汚水処理などに使い、電力を浮かせるのが堅実な第一歩というものはなかろうか。

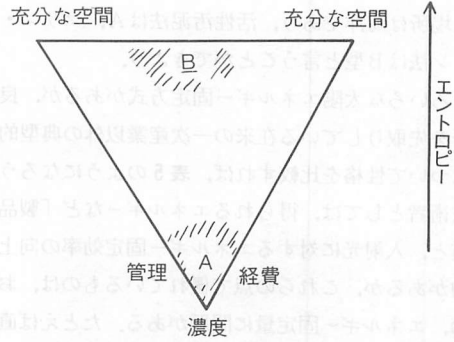


図-7 産業態様三角形

表5 太陽エネルギー固定方式の比較

(黒さがすぐれている度合を示すものとする)

| 固定形態 | 主として電気エネルギー | | | | 化学エネルギー・食糧 | | | |
|--------|------------------|------------|------------|----------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------|
| | 太陽電池 太陽熱 等 | 水力等 | 波力・ 風力等 | 温度差 | 水素 | 油植物 (藻類 を含む) | 農産廃 棄物等 | マリン ラグーン |
| 例 | | | | | | | | |
| 「製品」の質 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 固定効率 | ■ | | | ■ | ■ | | | |
| 固定量 | | ■ | | | ■ | | ■ | ■ |
| 管理不要 | | | | | ■ | | | ■ |
| 濃縮者 | 光学 装置等 | 地形・ 気象等 | 可動 機構 | 熱機関 等 | 觸媒・ (a) 微生物 等 | (b) 植物体 植物体 | (c) 植物体 自動車 等 | 海洋 生態系 |

- 註 a) 藻類と光合成細菌の組み合わせ、ニトロゲナーゼ活性のある藍藻等の利用が考えられる。
- b) アオサゴやユーカリ等の他、単細胞緑藻 *Botryococcus braunii* 等も知られている。
- c) 直接、燃料になる他、メタン発酵原料としても使えるが、集荷が大問題である。

うすいエネルギーを使いこなすには、それなりの方式がある。充分な空間、充分な時間および「濃厚さ」から成る三角座標を考えてみよう。濃厚さとは、濃いエネルギー、純物質、きびしい管理、高い経費などを投入する近代産業の行き方の度合を示すものとする。

いろいろな作業の態様を、この三角形の中の位置であらわしてみると、地価が高い狭い敷地を使って早く仕事をしなければならぬ場合は、図-7のAの領域を使わざるを得ない。時間と空間をぜいたくに使えばよい場合にはBを使うことができ、このような時、カッコ良さからAで作業するのは得策と言えない。Bに適

した場所は海洋であり、活性汚泥法はA、マリン・ラグーン法はB型と言うことができよう。

いろいろな太陽エネルギー固定方式があるが、良い場所を先取りしている在来の一次産業以外の典型的な例について性格を比較すれば、表5のようになる。

技術者としては、得られるエネルギーなど「製品」の質と、入射光に対するエネルギー固定効率の向上に魅力があるが、これらの点で優れているものは、おおむね、エネルギー固定量に問題がある。たとえば直接発電は最も魅力的なエネルギー固定手段だが、関東平野に太陽電池やパラボラ鏡を敷き詰め、埃が積もらないように毎日磨くというのも、たいへんな事だ。マリン・ラグーンの場合、製品は漁獲してはじめて売物になる野生の魚だから、製品の質が高いとは言えず、固定効率も低いが、手間がかからず、広い海を使うので固定量が大きい点に特徴がある。

6. 将来の展望

人口百万の大江戸が300年間疫病の大流行におかされる事もなく過ごして来ることができたのは、尿尿汲み取りシステムに負う所が大きいと思われるが、このままの世界が続けば、汲み取り尿尿は漸減し、産業廃水や雑排水と混ぜて下水処理場で処理される分が増えて来るだろう。都市下水や、下水処理場の汚泥には重金属が含まれている可能性があり汲取尿尿と違って、

安心して海洋施肥に使うことはできない。

下水汚泥から重金属を除去回収した後、尿尿なみに海洋施肥にまわす問題については、日本生命財団の1982年度研究助成金などを頂いて技術を開発中であり、1983年の第2回研究発表会で、その概要を世に問うことになる。

本稿の概要は、第1回研究発表会(1982, 4月)に於いて口頭発表をおこなったもので、部分的には、1)~5)の論文等で公表済みであり、また第1回研究発表会以後に印刷された文献(6)とも内容的に重複した部分があることを、おことわりしておく。

文 献

- 1) O. Nakayama ; World Carbon Problem, Ecotoxicology and Environmental Safety, 1 (2) 249~254 (1977)
- 2) 中山大樹 ; 環境汚染問題と漁業問題の同時解決法 —マリン・ラグーン—, 発酵と工業, 35 (7), 597~599 (1977)
- 3) 中山大樹 ; マリンラグーン構想, 生物による環境浄化, 217~230, 東京大学出版会 (1980)
- 4) 中山大樹 ; 嫌気消化し尿中における食物中毒菌等の消長, 醗酵工学会誌, 59 (4), 297~302 (1981)
- 5) 中山大樹, 大野正夫 ; 海中での腸内細菌の消長に及ぼす尿等の影響, 日本水産学会誌, 47 (2), 165~169 (1981)
- 6) 中山大樹 ; マリンラグーンによる海洋バイオマス, 遺伝, バイオマスのエネルギー利用特号, 36 (4), 10~14 (1982)

お知らせ

太陽電池の研究開発動向シンポ — 太陽エネルギー学会 —

日本太陽エネルギー学会関西支部では、来る5月18日(木)「太陽電池の研究開発動向」をテーマに第4回シンポジウムを開催する。

内容は下記の通り。

〔日 時〕 昭和58年5月18日(木) 13:00~17:00

〔場 所〕 大阪科学技術センター 405号室

〔テーマ〕 「太陽電池の研究開発動向」

サブテーマおよび講師

- (1) II-VI族 化合物半導体太陽電池
松下電器産業㈱無線研究所 松本 仁
- (2) アモルファス太陽電池
三洋電機㈱中央研究所 桑野 幸徳
- (3) ガリウム-ヒ素太陽電池
三菱電機㈱L S I研究所 行本 善則
- (4) シリコン結晶系太陽電池

シャープ㈱エネルギー変換研究所 辻 高輝
〔座 長〕

シャープ㈱エネルギー変換研究所 松木 健次

〔参加費〕 5,000円(テキスト代込み)

〔申込み方法〕 ①氏名, ②所属機関及び部署, ③連絡先住所, 電話, ④参加費支払い方法(現金書留または銀行振込み)を記入したハガキを5月11日までに送ってください。

〒535 大阪市旭区大宮5-16-1, 大阪工業大学機械工学科内, 日本太陽エネルギー学会関西支部(担当, 斉藤義和)

銀行振込先: 三和銀行甲子園支店, 普通預金, 店番480 口座番号61787

日本太陽エネルギー学会関西支部