環境保全問題への微生物の利用

武 藤 暢 夫*

Application of Microbes to Environmental Pollution Control

Nobuo MUTOH*

I. 微生物作用の役割とその分野

太古から水圏・大気圏・陸圏の形成とその維持に大きな役割を演じてきた微生物とその作用が、いわば今日の生活環境問題に意識して利用されたのはおそらく19世紀末期における水の生物学的処理であろう。これらはその後、微生物に適する環境を人工的につくってその作用の促進をはかる努力がなされ、とくに1940年代からの関連機器・装置の開発はますますその効用に拍車をかけ、今日に至るまで、水にスラッジに、またごみその他の廃棄物の処理・処分に利用されてきている。

この分野においても、およそ微生物作用の中身には分解と合成の2面がある。これまでの微生物利用は主として環境汚染物質の“分解”(異化)をねらいとするものが多く、しかも易分解性有機物を主体とした“分解するもの”を対象としたものであって、“分解しえないもの”、あるいは“分解能力が阻害される条件下にあるもの”などについては他の理化学的方法に委ねるか、または併用の形で進んできた。

いっぽう、活性スラッジ様物質の生成、藻類の発生、各種の特殊な細菌(硝化・鉄・硫黄・水素細菌など)による化学合成、あるいはまた有機金属化合物の生成といった、いわば“合成”(同化)にかかわると内容のものも、近年においては意識のもとにおかれた微生物作用の大きな所産である。これは通常、分解に伴って起こっているとみなされるが、環境問題のもとにおける系統的な検討と応用はむしろ前者“分解”にくらべてなお内容的には希薄であるといわざるをえない。

このような現況から、生活環境に排出される廃棄系

(固・液・ガス・エネルギー形態)がますます多様化、多量化の一途をたどると思われる今後においては、従来の微生物利用の形態、手法、速度ではかなりの努力を重ねてもこれまでと同等の効果を期待しうるかどうかはきわめて疑わしい。しかしなお後述のとおり捨てがたい幾多の利点と、過去80年来の下水処理における豊富な経験と知識があるという意味において依然として環境保全の技術の主流として適用され、また相応の開発努力がなされるべきものと考えられる。これには反面「微生物によりなにがどのようにできるか」といった問い返しが必ず付随するであろう。微生物の利用はその可能性と限界という観点から見直されるべき必然性を秘めている。

環境保全問題への微生物の寄与あるいは利用といった面は、なにか形あるものを生産するという工業生産とは異質であり、“こうなったから終わり”とか“最終目標はこれ”といったものがその範囲と際限から設定しにくい歯切れのわるさがある。いっぽう、環境汚染物質の処理の目標である安全化・安定化・量の軽減化にしても、微生物の寄与はあるに越したことはないが、端的に言って無くても他の諸法でカバーすることができる。たとえば有機性・無機性の有害物を含むばう大なスラッジや産業廃棄物はいまやその最終処分の方法や場所の問題でまことにきびしい制約を受けているが、その代表的なしまつの方法は無害化して埋立て地(内陸または沿海)に運び土壌中でさらに長年月にわたり安全化し安定化させるという手法である。この安全化、安定化に微生物の寄与する余地を見出すわけであり、それが微生物作用により成功すれば自然の生態系を利用する後遺症のない方法として、また通常もっとも経済的な方法として歓迎されるべきものである。しかし、この例で焼却あるいは化学薬剤などを用い、さらに物理的方法等によりまったく外界に悪影響を及ぼさない<土中隔離>処分ができるとすれば、有機物、有害物質の分解を主目的とする微生物の効用は霞んだ存在になってしまうわけで、事実、微生物作

* 関東学院大学工学部 ()

* Environmental Engineering Department, Kantoh-gakuin University ()

用をあてにしない進め方をしているところもある。

このようにみえてくると、積極的な意味での微生物利用の意義はなにか、そしてそれはどのような分野に適合するもので、そのメリットはなにかという問題が、今日のエコロジー論議のなかに去来してくる。

すなわち、環境汚染物質に対応する第一歩はそれを出さないことに帰結することはいうまでもないが、現実に出されたものに対しては処理するとか、資源の利用をはかるとか、最終処分するとかの対処が余儀なくされる。これを広義の処理ということにすれば、「処理する」ということの目的は、「人の生命と生活の保護」と「自然の資源の確保」の2点にあり、その目標は「安全化と安定化」、手法としては「質の転換と量の軽減」(注：ポリューションロードは質と量との相乗積)にある。この間にあって、微生物による廃棄系の処理は生物という生態系を利用するものであって、微生物の作用を受けた中間過程のもの、あるいは最終生成物(処理物)はほとんど再び人間を含む動・植物生態系に動的あるいは静的エネルギー(資源)として容易に、安全に、かつ比較的経済的に還元しようという利点がある。

しかし、これらを実質的に推進させるためには次に掲げるような大小いくつかの条件と問題点があるように思われる。

1) さきにも述べたように、現段階において微生物により分解または合成しようものが対象となるわけで、したがって、その能力の過大評価は避けるべきであり、しばしば微生物作用に対する無理解もあって過負荷を含む誤用が目につくこと。

2) 微生物の能力の及ばない面、あるいは作用が阻害される条件下においては生態系にのせるための前処理を行なうことが必要であるとともに、他の適当な方法の採用に不要な躊躇をすべきでないこと。

3) たとえば、一般の排水やし尿、あるいはとくに濃厚な有機性排水に多くの例をみるように、生成するスラッジや除去しえない塩類、金属類などが再び原水に返され、処理の系外に除去しえないような悪循環過程をとりやすいこと。そして、その防除のためには処理の目的・程度に応じて適宜他の理化学的、機械的諸法と組み合わせなければならないこと。

4) 生成するスラッジやその他の二次生成廃棄物を皆無にすることはまず不可能と考えられるので、極力その減少化を考えるとともに、とくにその最終処分先と処分方法を常に先行的に考慮しておく必要があること。

5) 「処理」と並行して考えられるべき「資源的活用」(一般にいう回収利用とは別)は熱利用、水回収あるいは

は土壌改良材(ごみの発酵による堆肥、コンポスト)、その他の二次加工材、さらには(緑の)土地造成などがこれに相当すると考えられる。これらについては実行の意図さえあれば今後かなり期待できるが、その実施は社会的な受け入れ感覚、法令上の縦割り規制などをはじめとして流通系、さらには運搬移送などに至るまでの体制に障害のある場合がきわめて多いこと。

6) 生活系固形廃棄物(普通のごみ)の10~20倍にも匹敵する今後の事業系廃棄物の処理・処分問題については、将来、内陸に計画的土地造成の形で求めることはもちろん、沿海に「半島」、「人工島」を造成するような規模のものを考えなければならないかもしれない。つまり土地の生産を目途とする埋立て作業については、微生物作用が密接に関与する多様な埋立て材の長年にわたる変質、変容、利用上の影響など、かなり長期にわたる観察と検討が必要であること。

以上、生活環境における微生物の寄与はわれわれの知らない面でまことに数々あるのであろうが、この章では環境保全技術に関連して「微生物はどこにどのように利用できるか」、「利用の目的はなにか」といった視点から若干の考察を行なった。環境問題での微生物の利用はやはり当面、排水、廃棄物、排ガスなどが対象となり、今後に期待する効用は、濃厚な有機物の分解促進/微量有機物・無機物の効率的除去(たとえば水の高度浄化)/難分解物質の分解/有害物質の分解・除毒(有害金属、放射性廃棄物を除く)/悪臭の除去/スラッジの有効利用などがあげられるが、同時にこれらの課題はそれぞれにむずかしい問題点を内蔵している。

表1は以上に述べた諸点を整理して一括表示したものである。

II. 環境保全分野における微生物作用の特徴

現段階における知識と経験によれば、微生物は適当な栄養条件と環境条件(表2)が整えば他の生物にはみられない速度で増殖することができる。そのうえ対象が分解可能な物質であればそれを栄養とし、代謝し生育するので、その物質の除去(分解)率は比較的高く、単位量あたりの処理経費も低いことが大きな利点であり、これらのことがこれまでの排水、廃棄物の処理法として主流をなしてきたゆえんであろう。

しかしながら、微生物作用を利用するには微生物が増殖し、活性を発現するための基本的条件がみだされることが提出となる。たとえば、水処理の場合には水中に含まれる炭素源の絶対量、およびその割合いははじめ、

表 1 微生物による環境保全対応上の課題と問題点

<生活環境関連上の要求>	<目的とする効用>	<対象となる手段>	<課題と問題点>
<ul style="list-style-type: none"> ・環境汚染防止 (人の健康等生態系保全) ・資源保護 (物質的資源) ・占有土地の狭小化 (土地資源の有効化) ・消費エネルギーの最小化 (エネルギー資源の効率化) ・資源の再生産 (物質・土地・エネルギー回収) ・労働力削減 (労働力の合理的配分) ・経済性 	<ul style="list-style-type: none"> ・高負荷処理 ・高度処理 ⇒ 一般有機物の分解促進 ・難分解質の分解 ・除毒 ・悪臭除去 ・二次廃棄物の発生抑制 ・その他 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・高負荷メタン発酵 ・高負荷活性スラッジ法 ・好気性消化法 ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・多段生物処理 ・余裕のある酸化他法 ・薄層接触プロセス ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・メタン発酵(含高温消化) ・好気性消化法 ・酵素分解法 ・埋立て ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・前処理との組み合わせ ・土壌・底泥中の長期埋設 ・埋立て ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・毒物分解 ・微生物体内への吸収 ・土壌・底泥中の長期埋設 ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・接触ろ床 ・活性スラッジ法 ・土壌処理法 ・酵素利用法 ・動物への投棄 ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・活性スラッジ変法 (長時間法・多段法など) ・多段散水ろ床法 ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・水路・池等による自浄作用の利用 ・分離・濃縮・破碎・脱水・乾燥等のスラッジ前処理 ・コンポストイング ・有機質の農耕地還元 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・栄養バランス/適用濃度限界/温度範囲の拡大/負荷の増大 ・膨化・解体の原因と抑制 ・COD 源, N, P 除去 ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・高度処理のための栄養バランス ・効果の安定性と量的処理能力向上 ・N, P 除去 ・施設用地と維持管理 ⇒ ・「高負荷処理」に同じ ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・合成物質(とくに高分子・油性含毒性)の分解 ・分解の難易性とその判断法・基準 ・有用微生物の検索とその適合条件 ・前処理の方法 ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・有用微生物への障害と耐性 ・馴養の技術 ・共存物質の阻害作用 ・スラッジの実用的処理・処分法 ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・対象物質の選択(適合)性 ・悪臭除去機構の解明(発散・吸着・分解・二次生成物との反応など) ・水処理・ガス処理との組み合わせの可能性 ・動物体内(または給餌段階)における悪臭発生抑制 ・微生物製剤の効果 ⇒ ・余剰スラッジ発生の抑制 ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・自然または人工・半人工池の適合条件と対象排水 ・負荷率と効果の安定性 ・沈積・浄上物の除去等の維持管理, 二次公害 ⇒ { <ul style="list-style-type: none"> ・対象物の性状による取り扱いの困難性 ・前処理および処理各法の合理的組み合わせ ・二次公害防除策 ・維持管理と機器・装置のライフ ・量的還元の可能性(流通, 輸送面をも含めて)

表 2 微生物の生育に影響のある条件項目

栄養条件	環境条件
<ul style="list-style-type: none"> ・カロリー源 ・BOD として測定できる有機物が主体 ・窒素源 ・無機塩類 ・その他 いわゆる微量栄養素といわれるもの 	<ul style="list-style-type: none"> ・水分 ・温度 ・塩類濃度 ・無毒性 (酸・アルカリ分をも含む) ・酸化還元レベル[電位] ・その他 光その他の物理的エネルギー

リン, カリウムなどの無機質をも含めた栄養バランスが不適当な場合とか, 汚濁物の濃度が低すぎるかまたは高すぎる場合などには所期の効果が得られないことがあり, これは生物反応の一つの大きな特色である。当然の

ことながら, 温度, pH, 酸素供給などの環境条件が満足されていても毒性物質が共存する場合とか, 汚濁物質そのものが毒性を示す場合には微生物利用以外の別途の処置を講じる必要がある。適用上の失敗は, その処理法を安易に考えたり過大評価をした場合によく起る。

一般に, 微生物を工業的に利用するにはまずその目的の活性の強い菌株の探索分離を行ない, これを純粋培養したのち増殖の最適条件ならびに生産目的などを考え, 適用の最適条件を明らかにしたうえで使用する。これに対し, 排水・廃棄物処理の分野では, 一般にその方式が好氣的であっても嫌氣的であっても微生物を単離して用いることは少ない。すなわち, 通常の微生物工業では単菌を利用するのにくらべ, いわゆる生物学的処理では

天然の混合培養系における種々の微生物(細菌, 糸状菌藻類, 原生動物など)の共同作用によることが大きな特徴である。たとえばごみのコンポスト化でも, 一般のちゅう芥類の分解に有効と思われる微生物を分離して他の雑芥類に植種してその効果を期待しようとしても, その植種微生物増殖のための条件維持をするのに精いっぱい, 結局は“天然に存在する微生物群”にたよるのがもっとも近道であるというのが過去の体験である。

それは対象となるものが各種混合している場合が多いためと, さらにそれらが多段階にわたる分解を受けて最終段階に到達することなどが主因であると考えられる。

生物学的処理に関与する微生物についてはかなり検索されてはいるが未開拓の部分が多く, 個々の微生物の役割については明確でないものが多い。排水, スラッジの生物学的処理において重要な役割を果たしているといわれている微生物を表3に示す。

表3 排水, スラッジの生物学的処理に関与する微生物¹⁾

1. 活性スラッジ法 (フロックの形成) (有機物の除去)	Zoogloea Bacillus Escherichia Narcardia Flavobacterium Bacterium Achromobacter Alcaligenes Aerobacter Corynebacterium Pseudomonas
2. メタン発酵法 (消 化) (ガ ス 化)	Clostridium Proteus Pseudomonas Bacillus Streptococcus Escherichia Methanobacterium Methanococcus Methanosarchina

[高原(1973)によるまとめ]²⁾

注1) 関与する微生物は同属であっても種によりそのはたらきが異なるものが多くみられるが, ここでは属名までにとどめた。

2) 活性スラッジ法において「フロック形成」に関与する微生物には「有機物除去能」の高いものも少なくないので, 前者に記載されているものは, 後者では省略した。

これらの微生物の混合体, すなわち活性スラッジに代表されるものは, 馴養いかんによっては一見毒性をもつ物質と思われるものでも分解・除去することが徐々に知られてきている。石炭乾留工業, フェノール樹脂工業, あるいは石油精製工業などにおいても窒素, リン酸など

の栄養添加をしてやれば通常の BOD 源, フェノールなどをまず確実にといってよいほど除去できる。フェノールでは 250 mg/l 程度, シアン化物 100 mg/l 程度, ホルムアルデヒド 800 mg/l 程度までは処理対象として考えてよい。しかし, 馴養が不完全な場合には, 一昔まえの教科書にも散見するようにその 1/10~1/50 の濃度でも危険な場合がある。

これに対し, 非 BOD 源であるいわゆる分解しにくい物質が存在することも当然で, 今日の水処理では, ①糖蜜系排水(アルコール蒸留排水, 酵母排水), ②パルプ排水, ③大部分の石油化学工業排水などはその典型的な例である。

①は原料糖蜜に由来するメラノイジン色素, ②はリグニン系物質, ③は種々の難分解物質に起因し, 現段階ではこれらの物質を生物学的に除去することは困難である。さらに, 近年種々大量に生産されている合成高分子化合物の生物分解性については, ポリビニルアルコール(PVA)などの限られたものを除いてはほとんど有効な知見が得られておらず難分解性物質といわざるをえない。以上述べた個々についての特徴を水の生物学的処理についてまとめてみると次のとおりとなる。このことはまたスラッジあるいはごみにも一般的にあてはまる内容であるといえる。

1) 有毒物質を含んでいるもの, 異常な酸・アルカリ分, 油分をもつものには適しないか, あるいは相応の前処理を必要とする。

2) 特殊な(合成)化学物質を含むものは分解困難である。

3) 一般に色度成分は分解・除去困難である。

4) 一般に溶解塩類の除去は困難である。

5) 適当な栄養条件の調整がなければ易分解性有機物といえども分解効率はわるい。

6) 一般に微量有機物の分解・除去には限度があるが, 現在では活性炭吸着, 砂ろ過などと比較して機能上その程度には達しない。

7) 生成するスラッジは一般に粘性, 腐敗性が高く, 濃縮・脱水などが他の方式のものにくらべ困難である。

8) 一般に施設の敷地面積が大きい。

総じて微生物作用の特徴として特筆すべきことは, 微生物が環境に応じてそのマイクロフローを適当に変えていくことができるばかりでなく, みずからのもつ代謝系を組替え, あるいは強化することができることである。新しい対象物を処理するにあたって常とう手段とされる微生物(活性スラッジ)の馴養, 耐性の付与などは, この特徴を有効に利用していることにほかならない。この

ような微生物の馴養に加えて、変異菌の育種、新しい能力をもった菌株の探索などを行なうことにより単に現在の適用範囲（対象物、温度、処理負荷など）をさらに拡大することが可能となるばかりでなく、現在分解不可能とされている物質へも適用可能となることはかなり期待できる。

III. 利用の立場に立ったいくつかの課題

1. 有毒・有害物質への対応

ここでとりあげる内容は、微生物自体が受ける毒性問題（活性阻害）および人体その他への有害な物質の分解・除去という観点からのものである。以下、主として前者に属するものを有毒物質、後者に属するものを有害物質とよび、両者を含めて便宜上毒性物質と表現してみる。

毒性物質はその濃度が低いときには静菌的であり、高いときには殺菌的であって、無影響濃度から殺菌濃度までの範囲では各物質特有の特性がある。また微生物には毒性に対して抵抗性をもつ性質もあるので馴養による効果も期待でき、これらのことを考慮したうえでいわゆる“許容濃度”を把握する必要がある。

現在まで多くの人びとにより各種の物質について馴養効果ならびに許容濃度が発表されてきた。しかしながら、これらの結果は試験法が不同であることもあって発表者により少なからぬ差異がみられる。また発表された毒性物質にはかぎりがあるうへ、各物質単独の毒性についてのデータはあっても共存効果のそれはほとんどみられない現状でもある。また微生物には無害であるかまたは大きな毒性を示さない物質でも人畜には毒性を示すと考えられる物質もあり、これらは現段階では公害対策基本法にもとづく「水質汚濁に係る環境基準」中にみる物質にそれを求めざるを得ないが、当然これらの物質は分解または除去への努力がはらわれなければならない。表4および表5には、これまで水処理の分野において公的に示された代表的な例示としての Müller 報告 (OECD, 1965) の一部をあげる。

シアン、フェノール、ホルムアルデヒドなどが、活性スラッジの馴養により高率に分解されるようになったことはさきにも述べたが、毒性物質の除去にあたっては、それによって微生物が障害を受けない

表4 生物学的下水処理における毒性物質の濃度範囲

毒 性 物 質	記 号	毒 性 濃 度 範 囲	
		散 水 口 床	活 性 汚 泥 法
アルキルスルホン酸		9.5mg/l	7~9.5mg/l
アルキル硫酸		>40 "	50~100 "
アニリン	$C_6H_5NH_2$	—	無 毒
ヒ酸塩、亜ヒ酸塩	As	0.7 "	>0.7 "
エチルアルコール	C_2H_5OH	—	15 "
塩化バリウム	BaCl ₂	—	ca. 1g/l
青酸	CN	1~2mg/l (>50mg/l)	1~1.6mg/l
鉛化合物	Pb	5mg/l	—
ピロカテキノン(カテコール)	$C_6H_4(OH)_2$	—	0.5~1g/l
カドミウム化合物	Cd	—	1~5mg/l
塩化カルシウム	CaCl ₂	—	>20g/l
塩 素	Cl ₂	痕 跡	>0mg/l
クロルデン	$C_{10}H_6Cl_3$	—	無 毒
クロム酸塩、クロム酸、硫酸クロム	Cr	10mg/l	2~5mg/l
中性洗剤(陽イオン)		<10 "	—
" (非陽イオン)		5mg/l	9~100mg/l
ジニトロフェノール	$(NO_2)_2C_6H_3OH$	20 "	4 "
鉄化合物	Fe	>35 "	100 "
ホルムアルデヒド	HCHO	—	800 "
ガス排水		0.4~1%	0.5~1%
"		70mg/l	50mg/l
ヘキサメチレンテトラミン	$(CH_2)_6N_4$	>2g/l	>2g/l
ハイドロキノン	$C_6H_4(OH)_2$	—	(600mg/l)
クレゾール	$CH_3C_6H_4OH$	>5mg/l	—
銅化合物	Cu	1 "	1mg/l
塩化マグネシウム	MgCl ₂	—	>16g/l
硫酸マグネシウム	MgSO ₄	—	>10 "
モータオイル	—	100mg/l	—
食 塩	NaCl	>10g/l (40g/l)	8~9g/l
カセイソーダ、水酸化カリウム	pH 値	—	9~9.5
硫酸ナトリウム	Na ₂ SO ₄	—	>3g/l
亜硫酸ナトリウム	Na ₂ SO ₃	—	300mg/l
チオシアン酸ナトリウム	} SCN	—	} 36 "
チオシアン酸カリウム		—	
ニッケル化合物		Ni	
フェノール(純粋)	C_6H_5OH	>50mg/l	>250mg/l
ピロトルムブルプァ	(植物性殺虫剤)	—	無 毒
ピロガロール粉末	$C_6H_5(OH)_3$	—	500mg/l
レゾルシン	$C_6H_4(OH)_2$	—	>25g/l
ロテノン	$C_{23}H_{32}O_6$	—	無 毒
塩酸、リン酸、硝酸、硫酸	pH 値	—	5
硫化水素、硫化物	S--	>100mg/l	5~25mg/l
ピクリン酸	$(NO_2)_3C_6H_2OH$	20~30 "	—
TNT	$CH_3C_6H_2(NO_2)_3$	>40 "	—
カリ廃物	K	6g/l	—
亜鉛化合物	Zn	—	1~3mg/l

[OECD, 1965], () 内は馴養すれば可能な値。

ばかりか耐性の付与がなされなければならない。この耐性付与はどれでもなににでも というわけにはいかない

表5 汚泥消化に及ぼす毒性物質の影響

毒性物質	記号	範囲
アセトン(ジメチルアセトン)	CH_3COCH_3	>4g/l
アルキルアルコール硫酸	—	500mg/l
アルキル硫酸	—	500 "
エチルアルコール	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	1.6 "
エチルエーテル, 硫酸エーテル	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	>3.6 "
ベンジン	—	400 "
ベンゾール	C_6H_6	<885 "
青酸, 青化ソーダ	—	2~10 "
シアニ化カリウム	CN	25 "
酪酸	pH 値	5.0 "
ブチルアルコール	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	800 "
クロム塩, クロム酸	—	—
硫酸クロム	Cr	200mg/l
陽イオン洗剤	—	100 "
非イオン洗剤	—	500 "
酢酸	pH 値	5.0
ホルムアルデヒド	HCHO	<100mg/l
イソアミルアルコール	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	800 "
銅化合物	Cu	ca 100 "
硫酸マグネシウム	MgSO_4	1g/l(?)
メチルアルコール	CH_3OH	800mg/l
乳酸	pH 値	5.0
モータオイル	—	>25g/l
食塩	NaCl	5~10 "
フッ化ナトリウム	NaF	>11mg/l
カセイソーダ, カルシウム灰汁	—	—
生石灰	pH 値	>~8
硫酸ナトリウム	Na_2SO_4	1g/l(?)
亜硫酸ナトリウム	Na_2SO_3	<200mg/l
チオ硫酸ナトリウム	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	<2.5g/l
チオシアン酸ナトリウム	SCN	>180mg/l
チオシアン酸カリウム	—	—
ニッケル化合物	Ni	200~500mg/l
シュウ酸	pH 値	5.0
リン酸	—	—
硝酸, 硫酸	pH 値	<6.8
硫化水素, 硫化物	S^{2-}	70~200mg/l
四塩化炭素	CCl_4	1.6g/l
トルエン	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	440mg/l
カリ鉍山廃水	K	2g/l
酒石酸	pH 値	5.0
キシレン	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$	<870mg/l

(OECD, 1965)

が, もっぱら馴養という手段がとられる。しかしながら, この馴養技術は長い歴史があるにもかかわらず, 進歩のあとがあまりみられない。馴養期間を短縮し, 馴養効果を大にするための技術開発と馴養効果の判定法は今後の大きな課題であろう。

昨今, 環境汚染問題として有害金属がにわかに焦点化してきた。金属類に対して微生物が関与する分野と問題点はおおむね次の諸点にあるものと思われる。

- 1) 金属の微生物にあたる毒性(活性阻害)
- 2) 微生物による酸化または還元
- 3) 金属化合物の有機化と無機化
- 4) 微生物菌体またはその生産物による金属化合物の吸着と除去
- 5) 金属類の不溶化または可溶化

これらのうち, 活性阻害については従来比較的良好に調べられているし, 馴養による耐性も最近はかなり資料が出されている。図1には微生物の酸素消費の観点からみた阻害性の一例³⁾を, また表6には酢酸分解菌による毒性判定法による馴養効果の一例を示す⁴⁾。

酸化・還元については, たとえば鉄酸化細菌による $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$, 水銀耐性 *Pseudomonas* による $\text{Hg}^{2+} \rightarrow \text{Hg}$ (金属水銀) への還元, さらにヘドロ中の $\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$, $\text{Mn}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ の還元などが知られている。参考までにいえば, 著者の経験による腐敗したヘドロの酸化還元電位は一般的にいって, Eh_{7-8} で $-100 \sim -200 \text{ mV}$, $\text{rH} (= -\log[\text{H}_2])$ で $8 \sim 10$ の場合が多い⁵⁾。

金属の有機化については, たとえば *Penicillium Bre-*

図1 微生物の酸素吸収に対する各種金属類の影響⁴⁾

表 6 生物酸化の可能な毒性物質濃度限界

供 試 物 質	毒 性 判 定 度 (ppm)	馴養すれば 十分に分解 する濃度 (ppm)	馴養しても 分解が不十 分な濃度 (ppm)
硫 酸	15	80	100
塩 酸	30	10	200
硝 酸	80	60	100
カ セ イ ソ ー ダ	600	60	240
カ セ イ カ リ	600	120	300
硫 酸 銅	5	7.5	12.5
硫 酸 亜 鉛	20	5	15
硫 酸 ク ロ ム	1.25	1.25	3.5
硫 酸 マ ン ガ ン	100	250	500
硫 酸 ニ ッ ケ ル	10	5	50
昇 汞	0.2	0.3	0.8
食 塩	10,000	22,000	25,000
塩 化 第 2 錫	20	80	200
塩 化 カ ド ミ ム	15	5	22.5
亜 硝 酸 ソ ー ダ	150	150	900
硝 酸 銀	0.1	0.12	0.2
硝 酸 コ ー バ ル ト	50	22.5	75
硝 酸 鉛	12.5	12.5	125
フ ッ 化 水 素	10	35	40
ホ ウ 酸	800	600	2,800
亜 ヒ 酸 ソ ー ダ	800	200	1,000
シ ア ン 化 カ リ	5	7.5	>30
ナ ト リ ウ ム ア ザ イ ド	5	4	15
シ ュ ウ 酸	5	5	55
グ ル コ ー ス	100,000	5,000	10,000
グ ル タ ミ ン 酸	60,000	55,000	70,000
エ タ ノ ー ル	10,000	15,000	30,000
トリクロール醋酸	60	210	330
フ ェ ノ ー ル	400	400	1,000
システイン塩酸塩	12	30	40
A B S	20	40	70
ラウリル硫酸ソーダ	20	20	200
ニトロベンゼン	300	450	900
サリチル酸	80	160	320
オルトクレゾール	400	120	600
フタル酸	40	60	>120
ペンタクロロ フェノールソーダ	1	2	5
D D T	0.02	0.004	0.02
マ ラ チ オ ン	0.002	0.002	0.008
バ ラ チ オ ン	0.002	0.002	0.008

【本多・井上 (1966) による³⁾】

vicaule による 亜ヒ酸からのトリメチルアルシン [As (CH₃)₃] の生成, *Clostridium Cochlearium* による, またある種の好気微生物による Hg のメチル化が知られている³⁾。

金属の固定化の代表例としては Hg の硫化物化がある。HgS は安定でアルキル水銀化もなく水に対しても難溶性であるため、廃棄物処理法ではとくに Hg 含有ス

ラッジの埋立てに際しては硫化物化を定めているほどである。人工的に意識的にこれを行なう場合にはもちろん硫化水系などを用いるわけであるが、自然界での反応はいわゆる硫酸還元菌の作用によって生じた H₂S により硫化物化は進行しているはずである。Hg にかぎらず、自然界では Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, As, Ag, Cd などの硫化物が存在しているが、とくにヘドロ中の硫化物は H₂S で表示した場合 2 万～3 万 ppm のオーダで存在し、ヘドロ分析を行なうときなどには大きな妨害性を発揮する。

以上述べた毒性物質、とりわけ人体への保健衛生上にかかわる有害物質対応の研究の動向は表 7 に示すとおりである。

表 7 有害物質の分解・除去等にかかわる研究の現況

有毒物質	関与微生物	研 究 者	結 果
Hg	細菌 (<i>Pseudomonas</i>)	外村ら (微工研)	有機水銀の無機化 無機水銀の気化 食塩阻害を受ける
Cd	細菌 (<i>Pseudomonas</i>) 酵母 かび	内田ら (佐賀大) 小田ら (近畿大) 小田ら (近畿大)	60% 菌体内取込 85% 菌体内取込 60% 菌体内取込
Pb	細菌 (<i>Erwinia</i>)	今原ら (京都府大)	60% 菌体内取込
PCB	酵母 (<i>Rhodotorula</i>) 酵母 (<i>Pityrosporum</i>)	坂上 (東工大) 坂上 (東工大)	40% 40% } 分解

【高原 (1973) によるまとめ¹⁾】

総じて、微生物自体に対する毒性の問題については、①毒性判定法の確立と許容濃度の検討がまず要求されること。この場合、単独物質のそれのみならず共存物質との相乗、すなわち複合毒性についての検討が強く要求されること、②毒性物質の分解・除去については微生物への耐性の付与 (馴養法の開発、耐性菌の検索などをも含めて) / 既存研究の実用化 (好適菌の増殖および処理の最適条件の検討など) / 新菌の検索、などが今後に残された重要な課題であろう。

2. 難分解物質への対応 ここにいう難分解物質とは、自然界における微生物作用、あるいは人工的に微生物を利用する現段階の技術においてかなり長期的にみても分解がむずかしいと思われる有機または有機金属物質を念頭においている。たとえば、色素系のもの、石油化学系のもの、合成高分子化合物、有機リン・有機ハロゲン系のもの、環・多環化合物、有機水銀などがそれらに相当するものであろう。これらのうち、いわゆるプラスチック、PCB などのようにその安定性を期待して作られたものが、今日では逆にそれらへの有害性添加物と

ともに分解性が問われなければならなくなったことは皮肉な事実である。

メラノイジンなどの色素やリグニン系物質、および多くの石油化学工場排水中のものなどは生物学的方法によって完全に処理することは困難である。とくに合成高分子化合物の微生物分解については種々研究されているが、現在、ポリビニルアルコール (PVA) を除いてはまだ応用しうる技術がなく、基礎研究を含めてその開発は今後の大きな課題である。

難分解物質を微生物により分解するにはその生物分解性をあらかじめ明らかにしておく必要がある。これについては多くの人びとにより報告されているが、その代表的なものに Ludzack ら (1960) の報告がある⁷⁾。これは広範な化学物質についての生物分解性の難易を総説しているが、たとえば 表 8 はエーテル類の生物分解性を示したもので、ジメトキシメタンを除いて他の物質は難分解である。表 9 はシアン、ニトリル類をまとめたもので、表中のアクリロニトリル以下は十分な馴養を行なえばいずれもかなり分解されることを示している。

合成高分子化合物の分解については、鈴木ら (1972) が PVA を唯一の炭素源として生育する細菌を土壤中から分離し、この菌による PVA の分解、資化機構を調べ、さらにこれを PVA 含有排水の処理に応用することを試みた。この菌は *Pseudomonas* に属するものである

という⁸⁾。このほかには、ポリウレタン、合成ゴムなどを分解する微生物も報告されているが実用化にはほど遠い現状である。

総じて、難分解物質への対応については、①分解の難易性を判断する基準を明確にすることがあること、②とくに最近問題となっている合成高分子化合物については、強い分解力をもつ微生物の検索と同時に微生物による分解可能な化合物をつくることがむしろ要求されること。そしてさらに、とりわけプラスチックなどについてはその安定な性能を期待する面も無視できないので、使用上の区分を明確にするなど今後は使用上の配慮も行なわなければならないであろうこと。③微生物による分解が可能な条件としては被分解物質に親水性を付与すること／微生物による易分解構造をもたせること（資化の可能性）、などが今後の課題となろう。

3. 生物学的硝化と脱窒素 最近、河川・湖沼・海域などで“富栄養化” (Eutrophication) が問題となっている。この現象はまず第一に藻類の異常な発生をきたし、二次的には水道の口過池の閉塞、夏季における水中酸素の欠乏と腐敗に伴う水産上の障害や景観上の阻害その他好ましくない問題が多く起こる。また、その濃度が高い場合、とくに窒素の場合には水稻の青立ち現象もあらわれる。これらは主として窒素、リン酸の過剰が他の有機、無機栄養質と重畳して起こる現象であるとされ、

表 8 エーテル類の生物分解性

化 学 物 質	化 学 式	温度 (°C)	実験日数	濃 度 mg/l	馴養日数	理論値に対する酸素消費量 (%)	除去率 (%)
Diethyl ether	$C_2H_5OC_2H_5$	20	1~10	200~1,000	365	—	0
Dimethoxy methane (metylal)	$CH_2(OCH_3)_2$	"	1/3	333	30	—	88
Methyl phenyl ether	$CH_3OC_6H_5$	"	1~10	400	365	—	23
Ethylene glycol diethyl ether	$(CH_2OC_2H_5)_2$	"	"	200~1,000	"	—	2
Bis-2-ethoxy ethyl ether (diethyl carbitol)	$(C_2H_5OCH_2CH_2)_2O$	"	"	"	"	—	3
Tetraethylene glycol	$[CH_2(CH_2)_2O(CH_2)_2]_2O$	"	"	"	"	—	毒性
Dioxane	$CH_2CH_2OCH_2CH_2O$	"	"	200~ 900	"	—	0

[Ludzack (1960) による]⁷⁾

表 9 シアン・ニトリル類の生物分解性

化 学 物 質	化 学 式	温度 (°C)	実験日数	濃 度 mg/l	馴養日数	理論値に対する酸素消費量 (%)	除去率 (%)
Potassium Cyanide	KCN	20	1~10	10~100	365	—	毒性
Acetonitrile	CH_3CN	"	1+5	490	<1	—	17
Acrylonitrile	CH_2CHCN	"	1~10	100~1,000	365	—	25
Acrylonitrile	CH_2CHCN	22~25	28	89	21	70	95
Lactonitrile	$CH_3CH(OH)CN$	20	8	10	17	60	100
Adiponitrile	$CN(CH_2)_4CN$	"	13	"	8	"	"
Oxydipropionitrile	$CNC_2H_4OC_2H_4CN$	—	10	10+	95	—	"
Benzonitrile	C_6H_5CN	20	4	10	28	60	"

[Ludzack (1960) による]⁷⁾

そのことが昨今、都市の下水処理においても高度処理（俗に三次処理）の主対象として BOD, COD とともにこの N, P があげられているゆえんである。ここではとくに N の除去について述べることになる。

水中からの脱窒素法としては強制エアレーション法、活性スラッジ法の変法、酸化池法、イオン交換法などがあるが、これらは再び汚染系となりうる N の 4 態（有機性・アンモニア性・亜硝酸性・硝酸性）を本質的に変化させるものとはいえない。そこで 図 2 に示すような N_2 形態に変えてしまおうというのがここでの脱窒素のねらいである。

この方法の原理は、好気的条件下での自栄養性硝化菌による NH_4^+-N の酸化過程（硝化）と嫌気的条件下での通性嫌気性脱窒菌による NO_3^--N , NO_2^--N の N_2O , N_2 ガスへの還元過程（脱窒素）の二工程をふむもので、これを一般に生物学的脱窒とよんでいる。それらの階層の反応は次のとおりである。

<硝化工程>

<脱窒素工程>

この反応は、*Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus* の各属を含む広範な一般的な細菌であり、分子状酸素が存在しない場合にはこれらの微生物は硝酸塩、亜硝酸塩を末端電子受容体として利用し、有機物（炭素源・水素供与体として）を酸化してエネルギーを得る特質をもっている。いま C 源をメタノール（他に糖、酢酸、エタノール、アセトンまたは屎尿、下水中有機物などでもよいといわれている）とすれば

なおこのほかに、主として NO_2^- と反応して N_2 ガスを放出するものとして $-NH_2$, H_2S などもある。（次項「悪臭」の項参照）

これらの反応は実際にはかなりの律速因子と制約条件があり、その個々の条件に関する報告は比較的多い。このなかにあつて遠矢（1970）はし尿処理における活性スラッジの混合培養系における一連の検討を行ない、作用

条件と適用条件について次のように示唆している^{9,10}。

<硝化工程> ①硝化菌 (*Nitrobacter* sp.) の増殖は NH_4^+-N により阻害を受ける。また pH が低いと阻害は低く、高いと顕著に阻害される。亜硝酸菌 (*Nitrosomonas* sp.) ではその阻害の程度は低いが、pH が高くなると活性は衰える。最適 pH は前者では 7.0~8.5, 後者では 6.5~8.0 である。②硝化菌は硫化物により活性阻害を受けるが、亜硝酸菌は pH が低ければあまり活性阻害は受けない。③限界スラッジ負荷率は硝酸型硝化では 0.54 kg-BOD/kg-MLSS·day, 亜硝酸型硝化では 0.95 kg/kg·day である。④適合する条件の一例としては、図 3 (a) の型式をとった場合、水温: 10°C 以上、スラッジ負荷率: 0.6kg-BOD/kg-MLSS·day 以下、 $S_a \cdot t$ (活性スラッジ濃度×エアレーション時間): 30,000 ppm·h 以上、エアレーション時間: 10~12 h。

<脱窒素工程> ①通性嫌気性脱窒素菌は好気性・嫌気性いずれの条件下でも増殖可能である。しかしその増殖速度は酸素呼吸（好気性）におけるほうが硝酸呼吸（嫌気性）におけるよりも 2 倍以上はやい。②有機炭素源の添加は不可欠であるが、生し尿、酢酸、ごみ堆積排水などもそれに充当できる。③脱窒素菌の最適 pH 範囲は 8.5~9.0, 最適水温は 38°C 近くであり、この範囲からずれると脱窒素機能はいちじるしく減退する。

①については著者もし尿の好気性消化において酸化還元電位との対比において観察しているがその結果からみると脱窒菌は酸素圧が高ければ発育はよいが酸素を選択的に利用するため脱窒作用は必ずしもこれに併行せず、むしろ酸素の存在は脱窒作用を妨げる傾向があり、これを酸化還元系でいえば pH 8 においてほぼ +200 mV 以下において脱窒が盛んにおこなわれることがわかった¹¹。この値は rH に換算すれば 22.8 であつて半好気性状態下である。

硝化脱窒工程のフローシートの一例を図 3 に示す²⁾。型式 (a) [Ludzack & Ettinger, Wuhrmann, Johnson & Schroepfer らによる] では硝化はエアレーションタンク内で行なわれ、スラッジ自体が水素供与体となる考えである。(b) 形式 [Johnson & Vania による] では硝化と脱窒素工程は切り離され、脱窒素工程では未処理水か、またはメタノールなどが添加される考えのものである。(c) 型式 [Barth, Brenner & Lewis による] では、有機物除去、硝化、脱窒素の各工程が分離されているが (a), (b) にくらべて設備は大きくなるが性能としては信頼がおけるといふ。遠矢は (a) 型式のものに pH 調整、水素供与体添加を行なうことを支持しているもののように見えるが、それぞれに長所短所があるように思われ、

少なくともわが国では、わが国なりの状況（プラントの種類、規模、管理技術者の有無など）により試行の結果をまつ段階にあるものといえよう。

図2 窒素化合物の転換²⁾

図3 生物学的硝化脱窒工程の例³⁾

4. 悪臭への対応 水中の悪臭、またはその物質の直接除去、つまり液相における対策の具体的方法は気相におけるそれよりもかなり条件的に制約を受けるもののように思われる。たとえば、加水分解により物質の特性が変わったり、pH により水中からの発散状況が変わったりすることもあるし、吸着、イオン交換を行なうにしても汚れた水の場合にはその効果がいちじるしく減退するし、加えて気相においてかなり効果が認められている燃焼（熱分解）、接触酸化（分解）、コロナ放電（電気集じん装置方式）などはまず適用できない。中和剤・マスキング剤の使用にしても経済的な問題ばかりでなく、水中から悪臭とマスキング剤自体のにおいが分離して鼻に感じることも経験している。

このようにみえてくると、排水の脱臭対策については一般に次のようなことがいえそうである。

1) 液性（pH など）により抑制できるものについてはその調整に十分留意する。

2) S^{2-} 、 $-SH$ 、 $=S$ 、 $-NH_2$ 、 $=NH$ 、 $-OH$ （フェノール系）、 $-CHO$ 、 $=CO$ 、 $-CN$ などの被酸化性物質は酸素

（空気）または他の強い酸化剤（ Cl_2 、 $-OCl$ 、 ClO_2 、 O_3 、 $KMnO_4$ 、 NO_x 、電解酸化など）で酸化分解できる可能性がある。これらの反応は一般に気相反応よりは液相反応のほうが反応性が高い。

3) S^{2-} に対する Fe^{3+} （または O_2 存在下で Fe^{2+} ）のように、金属と結合させることも場合によっては効果がある。

4) 無機・有機凝集剤による凝集沈殿法も水自体については効果がある場合がある。

5) 腐敗性（生物分解性）有機物は生物学的処理法（酵素利用を含む）でかなりの効果が期待できる。

6) 「きれいな水」（多量の溶解、浮遊、懸濁物を含まない水）に対しては、活性炭その他の吸着剤、イオン交換体・脱色・脱臭用樹脂（吸・脱着、極性利用）なども使いうるであろう。

生物学的硝化処理工程を経た排水、廃棄物がもはや悪臭をもたないか、あるいは他のにおいに変わっていたりすることはしばしば体験することである。たとえば、栄養のある排水に硫化水素、アンモニアなどを添加して観察しても、活性スラッジの存在が水中および空気放散ガス中の両添加物質量と臭気強度を明らかに低減させる効果があることがわかる（図4および5）¹²⁾。

その脱臭機構は空中放散、吸着、分解、二次生成物の副次的反応（とくに NO_2^- の生成とその反応性）などによるものと推測されるが、いずれ

図4 H_2S 気中放散にあたる活性汚泥の効果
(H_2S 添加人工下水, 2l スケール)

図 5 NH_3 気中放散にあたる活性汚泥効果
(NH_4OH 添加人工下水, 2l スケール)

にせよ好気性状態における微生物の作用が関与していることはまちがいない。Summer (1963) は関与する微生物として表 10 に示すものをあげている¹³⁾。

また、ある種の条件下に土壤層に悪臭ガスを通すと脱臭効果があることが主として鶏ふん乾燥の排ガスについて経験的、実験的に知られている。その脱臭機構は、悪臭成分の土壤中水分への溶解、土壤への吸着、土壤微生物による酸化などによるものと推測されている。

さらに“微生物製剤”とも称すべきし尿、下水系有機物の消化促進が十数年ほどまえから脚光を浴び出した。これは直接的にはし尿処理施設(浄化槽を含む)の消化促進あるいはスカム対策をねらいとしたものであったが、脱臭効果もうたい、その製品のすべてではないが、現実にかかなりの効果をあげうるものがあった。これらの製剤について、大森(1968)は分類して、①有機物・菌体を含み、酵素活性をもつもの、②有機物・菌体を含み酵素活性をもたないもの、③有機物・無機物を主成分とし酵素活性をもたないもの——の三つにわけている。そして、①に属するものについての酵素活性を調べ表 11 に示すような結果を得たといっている¹⁴⁾。

また、これらとは別に、動物(人間をも含めることになるかもしれない)に対する給飼餌段階における物質の添加により排出物の発臭を抑制することも微生物作用の応用分野の一つである。たとえば、ヒドロオキシム酸(Hydroxamic acid)またはその誘導体は動物体内でウレアーゼの活性を選択的に阻止して、尿素のアムモニア化を止める効果をもつという。他にある種の複合酵素も

経験的に脱臭効果があることが知られているが、とくに畜産廃棄物などが社会的に問題となっているおりから一考に価する検討対象でもある。

総じて微生物作用による悪臭の抑制は、これまででも、その効果は存在していたのであろうが、ことさらにあげなかった感が一般的には強い。今後の検討と実際の活用への努力がほしい課題である。

表 10 水中汚染(悪臭)物質の分解にあずかる微生物

対 象	バクテリアなど
アンモニア	<i>Nitrobacteraceae</i> S_6 - S_{11}
フェノール	<i>Vibrio cyclospites</i> <i>Vibrio</i> O_1 <i>Pseudomonas</i> S_7 <i>Actinomyceae</i> S_2
チオシアン化物	{ <i>Thiobacillus thiooxydans</i> <i>Thiobacillus</i> S_3 , S_4 , S_5
チオ硫酸塩	
シアン化物	

(W. Summer (1963) による)¹³⁾

表 11 微生物製剤の性状(活性)の一例

種 類	酵 素 活 性	力 価 (U/g)
纖 維 素 分 解 酵 素	セ ル ラ ー ゼ	33,000
	キ リ ラ ナ ー ゼ	
炭水化物分解酵素	ペ ク チ ナ ー ゼ	1,000
	α -ア ミ ラ ー ゼ	
蛋白質分解酵素	S-ア ミ ラ ー ゼ	700
	中性-プロテアーゼ	(pH 7.2) 76
脂肪分解酵素	アルカリ性 "	(pH 8.2) 167
	リ パ ー ゼ	10

[大森(1968)による]¹⁴⁾

5. 廃棄物処理への酵素利用 酵素作用の一部については前項でも触れたが、その利用については、これまであまり意識せずに、その効用を利用してきたものと思われ、こんご改めて広い範囲にわたる廃棄物にその適用を考えてみる必要がある。

微生物によって廃棄物を分解しようとする試みは、すでに多くなされてきたが、マイクロフローラの継続的な変化が分解の進行とともに進み、また基質の組成や環境条件の変化によっても目的とする微生物のみを作用させることは困難であった。これに対して、酵素による分解は基質としての廃棄物と酵素の作用をその作用条件によって調節することが可能である。

酵素利用の対象となりうるものには、産業廃棄物および一般廃棄物のうちたとえば次のようなものがある。

- 1) 食品関係廃棄物としての、食肉、と畜、製めん、製あん、でんぷん、醸造、醸詰、飲食物残飯、医薬品製造業または香料製造業において原料として使用した動物または植物にかかわる固形の不要物。
- 2) 動物および植物を主体とする一般ごみ。
- 3) 下水処理場、し尿処理場のスクリーンかす。
- 4) 各種処理場のスラッジ。
- 5) ビル、ホテル、病院、家庭の排水ポンプの閉塞起因物。

これらの処理のためには、細切、ミキサ、加温タンク、酵素添加槽などの装置を必要とする。また、これらの廃棄物には、酵素阻害物質を含むものがあるので、有効量および酵素添加後の有効持続時間を配慮する必要がある。

総じて、今後この酵素利用を進めるべき方向の要点は、①広範な廃棄物（とくに固形のもの）の対象主成分からみても、また適用至適 pH の広範なことから、とくに中性セルラーゼの効果に期待がかけられること、③ちゅう芥類の粉碎処理（いわゆる“ディスポーザ”処理）を行なう場合にしても、また下水処理等におけるスクリーンかすなどの処理・処分を行なうにしても、このような有機性固形物にたいする処理法の一助として有用であろうこと、③その他、悪臭対策、スラッジなどの粘性除去による濃縮・脱水等の効率向上にも有用であろうこと——などがあげられる。

IV. おわりに

人工的なエネルギー注入を単純化・最小化して“自然の力”で複雑な物質を分解して安全化、安定化、量の軽減化をはかり生態系に順応して環境を保全し、自然の資源を保護するという方向は世界的にみて関係者のひと

く望むところである。微生物の利用はその大きな一環であるが、下水処理への人工的利用以来のたかだか80年の歴史のなかにおける現在の知識、技術の段階では、まだ人びとの期待に十分こたえるには至っていないようである。しかしながら、以上述べてきた諸対象について他の方法を適用するにしても、一般的にいつてこの微生物利用について以上にわれわれはその知識・経験・技術のもちあわせがないことも認めざるを得ない。

冒頭にも述べたとおり、この稿は主題の環境問題の根源をわれわれの生活活動からの廃棄系という観点におき、それらへの対応を“微生物利用の可能性と限界”という視点に立てて述べてきた。そのとりあげた具体的方向としては主として、水、スラッジ、固形廃棄物、土壌などにおける有毒・有害物質への対応、難分解物質への対応、硝化・脱窒素問題、悪臭への対応、酵素作用の見直しなどであった。その記述内容については総論的な域を脱しえなかったが、昭和47年度に科学技術庁計画局が主導した技術開発目標体系化・微生物利用の廃棄物処理に関する技術開発調査（石丸雄雄，岡部富久志，小瀬洋喜，高原義昌，本多淳裕，武藤暢大が参画，参考文献1）に負うところが大きい。そこでとりあげた内容の大綱はおおむね表1に示したようなものであるが、この調査研究は48年度ひきつづき重要課題として、①有害・難分解物質の処理技術、②スラッジの処理・利用・処分技術の二つに絞ってとりあげ検討を進めている。

このすう勢にもみるとおり、ここ当分の廃棄系由来の環境問題は、その対象が固・液・ガス・エネルギーのいずれの形態であるにせよ、①生態系に対する有毒、有害物の除去（安全化）、②分解可能物質の分解の促進（安定化と減量化）、③自然への還元、動的、静的エネルギー回収を主体とする資源科学的利用などがその目標であり、本稿の微生物利用もここに機能集積が行なわれるべきであろうと考えられる。

（昭和49年1月5日受理）

文 献

- 1) 科学技術庁計画局，技術開発目標体系化・微生物利用の廃棄物処理検討会，微生物利用の廃棄物処理に関する技術開発，技術開発目標体系化調査報告書（昭和48年3月）
- 2) G. Sykes, F.A. Skinner, 藤原喜久夫，新井正訳，環境汚染と微生物 10 255, 292, 310 (1953)
- 3) 外村健三，化学 総説 No. 2 154 (1973)
- 4) G.W. Malany, W.D. Sheeys, R. Quillin, *Toxic Effects of Metallic Ions on Sewage Microorganisms, Sewage and Industrial Wastes* 31 (11) 1309 (1959)
- 5) 本多淳裕，醗酵協会誌 27 (4) 189 (1969)

- 6) 武藤暢夫, 関東学院大学工学部研究報告 **17**(1)17 (1973)
- 7) F.J. Ludzack, M.B. Ettinger, *Chemical Structures Resistent to Aerobic Biochemical Stabilization*, Jour. Water Pollution Control Federation **32** 1173 (1960)
- 8) 原田篤也, 田中秀興, 鈴木智雄, 外村健三, 化学総説 No. 2 50 (1973)
- 9) 遠矢泰典, 下水道協会誌 **7** No. 74~78 (1970)
- 10) 同上, 用水と廃水 **13** No. 11~12 (1971)
- 11) 武藤暢夫, 衛生学雑誌 **13** (3) 287 (1958)
- 12) 武藤暢夫, 悪臭公害対策セミナー講演集 No. 3 9 (1973. 11) 悪臭公害研究会
- 13) W. Summer, *Methods of Air Deodorization* **60** 231 (1963)
- 14) 大森英昭, 第1回環境衛生研究発表会講演抄録 60 (1968)

「化学抄報」誌購読のおすすめ

「化学抄報」は、化学関係報文要旨の速報誌として、昭和48年1月から27学協会誌の抄録を開始し、同年6月には57学協会誌に拡大しました。その結果、昭和48年には毎月2回、計24冊（総ページ3072）に7972件の抄録を行ない、これは *Chemical Abstracts* (C.A.) に抄録される日本文献の約8割に相当しました。

昭和49年には、学協会誌だけでなく、官民研究所・出版社発行のものを含め計80誌の化学関係主要論文を抄録し、網羅性を約9割に高めております。また学協会誌配布とほとんど同時に本誌が配られ、C.A. 80分類にしたがった分類索引が付いていて専門に応じて必要箇所のみ

を通読できる特長があり、関係科学者、技術者必読の情報誌となっております。さらに本誌購読者に限り原報複写サービスを開始する予定ですから、つぎにより多数の方々の購読をおすすめします。

会費 本会会員は、団体会員年額1口20,000円（10口以上は割引制度あり）、個人会員（自宅宛送本の場合に限る）年額1口15,000円に割引きます。非会員は年額1口24,000円となります。

申込 ☎ 101 東京都千代田区神田駿河台 1-5 社団法人 日本化学会気付 化学情報協議会（電話 03-292-6161 担当長久保）あて申込書をご請求下さい。

お 願 い

この、4月号はご覧の通りの「微生物・酵素化学」特集号であり内容も吟味致しましたのでご満足頂けたものと存じます。

つきましては本号を少しですが増刷しておりますので会員諸氏はお知り合いの方へご勧誘下さいますようお願い申し上げます。

なお、頒価は 1,300/冊（送料共）です。