

微生物による有機性廃棄物の分解処理

Degradation of Organic Wastes by Microorganism

キーワード

微生物, 廃棄物, 分解, 有機酸, クーラント

富山工業高等専門学校 物質工学科 教授

米谷 正

1. はじめに

微生物と聞いて“汚いもの”あるいは“病気”を連想する人が一般的と思われる。前者は食物の腐敗菌であり後者はコレラや結核などの伝染病を引き起こす病原菌である。しかし人類は微生物からそれ以上の恩恵を受けてきていることを忘れてはならない。もし地球上から全ての微生物がいなくなったらどうなるであろうか。食物は腐らないし伝染病にかかる心配もなくなるが、次第に動物の排泄物や死んだ動植物の積み重なった山に取り囲まれるようになり息もつけなくなってくる。これまで有機物が自然に分解していくと考えられていたこと、すなわち地球の環境浄化は実は微生物によって静かに行われてきたのである。

人類が微生物を初めて見たのは 17 世紀になってからと極く最近のことである。当時すでに日本酒の製造方法などは確立されていたが、微生物の存在を全く知らずに行われていた。微生物の持つ能力や取り扱い方法が知られるようになったのは 19 世紀になってからのことであり、今日の微生物学およびその利用学がコッホおよびパスツールによって確立された。現在も基本的には彼らの確立した方法に従い微生物を取り扱い利用している。地球ができて 46 億年、生物が誕生して 30 億年が経過し、進化の過程を経て現在地球上で生物界は動物、植物、微生物の三つに分類されている。しかし最初に地球上に現れた生物は微生物であり、現在最も高等な生物として地球上で君臨している人類がこの微生物に多大なお世話になっているといえる。

産業革命以前は地球環境は知らないうちに微生物によって保たれていたわけであるが、人口が増え産業活動が飛躍的に発展した結果、環境を人口的に維

持する努力をしないと生物の住めない地球になってしまう恐れがでてきている。今回ここで述べさせていただくのは微生物による産業廃棄物の分解処理に関するものである。最初は産業廃棄物の埋立場で起きた問題について、次は水溶性切削油(クーラント)の分解処理に関することで当研究室でこれまで行ってきたことを概説させていただく。

2. 有機性廃棄物の最終処分

2.1 産業廃棄物の埋立

最近新聞などマスコミで廃棄物の埋立場に関する問題が頻繁に報道されるようになってきた。すなわち生産活動を行う際に廃棄物が発生するが、その大部分はリサイクルされ有効利用されるとしても、そうできないものは産業廃棄物として処分しなければならなくなる。それらは中間処理を経て最終処分されるが、例えば燃焼させて燃え殻を埋め立てるということである。このように廃棄物の最終的な処分場は現在のところ如何にしようとも必要不可欠なものと考えられる。廃棄物は大別して燃え殻、汚泥、ガラスくず、鉋さい、紙くず等の産業廃棄物と、それ以外の一般廃棄物に大別される。また埋立場については次の三つに分類される。すなわち、安定三品目(建設廃材、ガラス・陶器くず、金属くず)を埋め立てる「安定型処分場」、有害化学物質を含む廃棄物を埋め立てる「しゃ断型処分場」(この種の埋立場はあまり見られない)、そしていずれでもない産業廃棄物および一般廃棄物を埋め立てる「管理型処分場」である。今回取り上げるのは A 社の「産業廃棄物の管理型処分場」で発生した問題の原因と対策に関するものである。

2.2 管理型処分場

産業廃棄物の最終処分のためA社では管理型処分場での埋立を行っている。この方法は山間部にゴムシートあるいは合成繊維シートを敷き、土壌と廃棄物を交互にサンドイッチ状に埋めていき、汚水が出てきても地下水を汚染しないような構造になっている。これは何ら前処理の必要なく簡便に大量の廃棄物を処分できることから全国各地で行われている方法である。管理型埋立場では雨水と埋立物そのものが含んでいる水分が次第に下に沈みシート上に貯まってくる（それを浸出水と呼ぶ）。A社埋立場では中間処理をした廃棄物や余剰汚泥などを埋め立てている。そこで発生した問題は、浸出水のBOD（生物学的酸素要求量）値が10,000mg/lを越す高い値を示すようになったことである。そこで最初にこの高BOD浸出水発生の原因を明らかにし、次にその処理方法に関する知見を得ることを目的に研究を行った。

2.3 有機性廃棄物の微生物分解⁽¹⁾

A社埋立場から入手した浸出水をガスクロマトグラフィで分析したところ、酢酸からカプロン酸にいたる有機酸が100から5,000mg/lの濃度で含まれていることが明らかになった。各種化学物質のBODに与える影響については既に明らかにされているが、浸出水のBODの大部分がこの有機酸に起因すると結論づけられた⁽²⁾。

上で述べたとおり管理型処分場では埋立物と土壌を1~2m毎に交互に埋めていくが、この土壌には種々の微生物が 10^8 cells/g程度生息していることが知られている。そこで埋立条件下での有機性廃棄物の分解、すなわち土壌中に生息している種々の微生物の影響を検討しようとした。最初に前実験として富山工業高等専門学校の敷地内およびA社埋立場周辺の土壌を採取し、それぞれに一定量の蒸留水を加え攪拌後放置して土壌上澄み液を調製した。ついでそれぞれの上澄み液と口紙の混合物を一定条件下で処理することにより口紙の分解、すなわち有機酸の生成量を分析した結果、ほとんどの土壌上澄み液において有機酸の発生が認められた。以上の前実験の結果と入手の容易さを考慮してA社埋立場から定期的に入手できる土壌上澄み液を以後の実験で用いることにした。

浸出水中に高濃度で有機酸が含まれていることが明らかになったが、これは有機性埋立物の微生物分解によって生成したものであろうことは容易に推定

される。しかしこれまで有機性廃棄物の埋立条件下での分解についてはほとんど検討されていなかった。そこで有機性廃棄物のモデル物質として最初に口紙（セルロース）を取り上げ種々の検討を行った。方法は100ml三角フラスコに口紙と土壌上澄み液を入れ、蒸留水で全量を100mlとした。これに綿栓をし4℃~60℃で放置した。蒸発した水分について1週間に1回蒸留水を補充した。このようにしてセルロースを主成分とする口紙と土壌上澄み液の混合物中に生成してくる有機酸を分析した結果、酢酸をはじめプロピオン酸、酪酸などを生成することが明らかになった。図1は全有機酸濃度を示したものであるが、40℃以下では有機酸の生成はあまり見られないのに対して50℃では3~4週間後に約8,000mg/lの濃度に達した。埋立場内の温度を直接測定することは困難であるが、浸出水の温度から推定することができる。それによれば季節により少し変動があるが45~55℃の範囲にあり、埋立場内の温度が分解に極めて適した温度であるということが出来る。

以上のような検討から埋立条件下での土壌微生物による有機性物質の分解を次の方法で評価することにした。

（評価方法）

- ① 100ml 三角フラスコに試料 5g と土壌上澄み液 80ml を入れ、蒸留水で全量を 100ml とし良く攪拌する。但し、含水率の高い試料は 25g とする。
- ② 綿栓を施し、50℃のインキュベータ内に静置する。
- ③ 一週間毎に蒸発した水分を補充し、生成した有機酸濃度を分析する。

この方法で他のモデル物質についても分解実験を行ったところ、図2の示す結果が得られた。すなわちタンパク質のモデル物質であるペプトンでは酢酸から吉草酸まで種々の有機酸が高濃度で生成した。また大豆油では低濃度の有機酸が検出されるに留まった。これは大豆油が三角フラスコ内で二層に分離し浮いてきたため接触面積が小さくなってしまったためと考えられる。図2より浸出水中に含まれる有機酸は、ここで取り上げたような有機物が土壌微生物により分解した結果生成したものであろうと推察された。

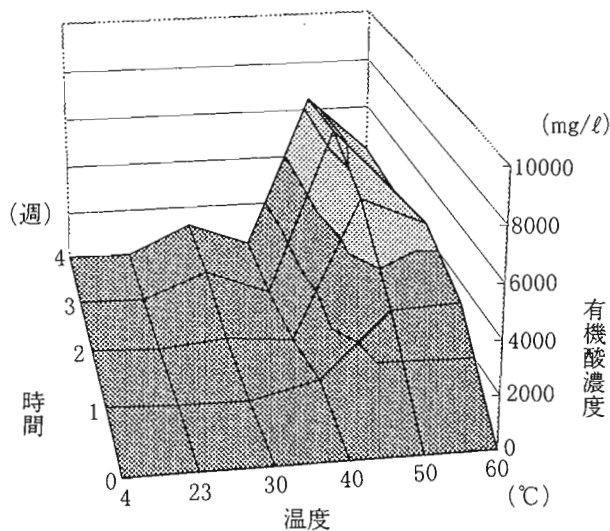
管理型埋立場において実際に処分されている廃棄物について土壌微生物による分解を先に設定した分解条件で実験室的に評価した。用いた106種の試料は、活性汚泥槽からの余剰汚泥、油泥、メッキ汚泥、塗料かす、焼却灰に大別される。その結果、図3に

示したように有機酸を生成するものが多く見られるが、大別すると次の三つのグループに分けられることが明らかになった。第一は有機酸濃度が5,000mg/l以上になり、反応開始4週間後も高濃度の有機酸が存在する試料であり、第二は有機酸濃度が数千mg/l前後に上昇した後、消失していく試料であり、第三は当初から有機酸の生成がほとんど認められない試料である。第一のグループは実際に埋立てた場合に浸出水中の有機酸の生成の大きな原因となると考えられることからそれらの直接埋め立ては問題があると言わざるを得ない。しかしそれらを直ちに埋立て中止にすることは廃棄物の山を築くだけのことにな

り、ここに環境問題の難しさがある。

2.4 有機酸の分解処理⁽³⁾

A社埋立場では高BOD浸出液を毎日汲み上げ処理を行っている。当初はこれを通常の活性汚泥槽で分解していたが極めて大きな装置が必要であった。そこでこの高BODの原因である有機酸を最初に除去し、ついで一般の廃水とともに活性汚泥槽で処理をしようとする二段階処理を考え種々の検討を繰り返す中から有機酸を効率よく分解する混合菌体を見いだした。この混合菌体の有機酸分解に関する最適条件を求めたところ40~50℃が最適であることが明らかになった。この混合菌体が入った発酵槽から毎日一定量の処理液を抜取り、新たに浸出液を入れて24時間、約40℃で処理をすることにより図4に示すように有機酸をほぼ完全に分解できることが可



ろ紙(5g)と土壌上澄み液(100ml)の混合物を4~60℃の高温槽中に置いた時の発生する有機酸濃度。

図1 ろ紙の分解に及ぼす反応温度の影響

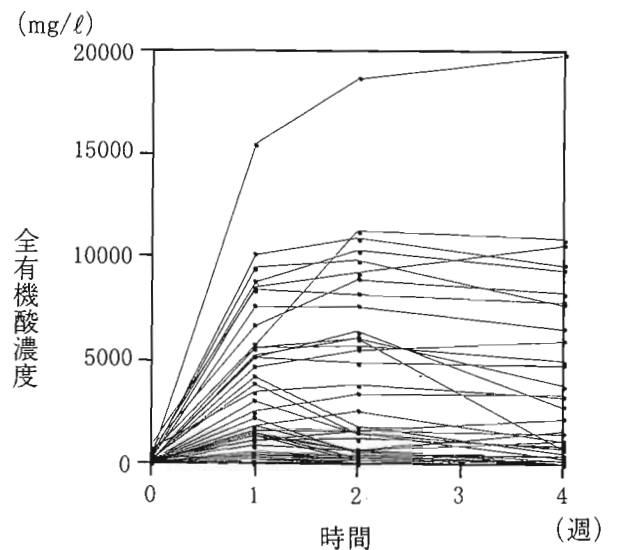


図3 実際の有機性廃棄物の微生物分解による全有機酸濃度

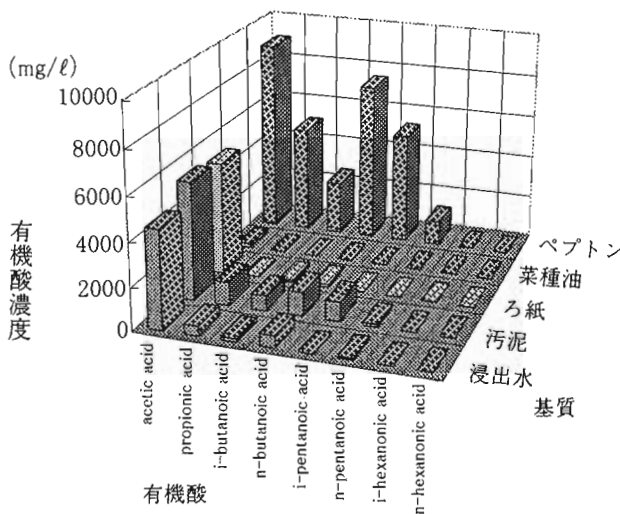


図2 汚泥とモデル化合物の微生物分解で発生する有機酸濃度および浸出液中の有機酸濃度

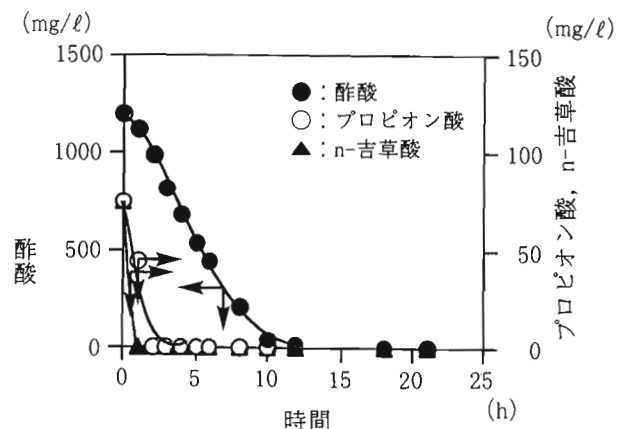


図4 浸出液中の有機酸の分解

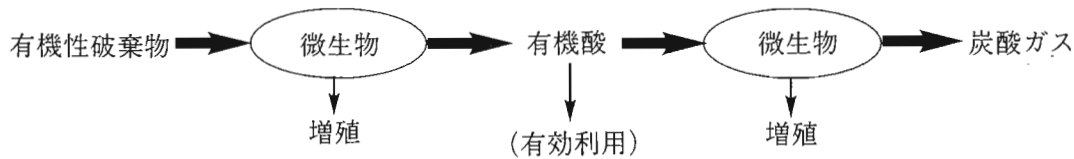


図5 有機性廃棄物埋立後の分解過程

能になった。

このように現在A社埋立場では、図5に示したように有機性埋立物が微生物によって分解し、発生した有機酸を再び微生物によって処理した後、活性汚泥槽を通して放流している。中間の有機酸の有効利用ができれば良いが現在のところ成功していない。

3. 水溶性切削油の分解

3.1 研究の背景

難燃性、良好な冷却効率、また作業環境の改善という長所を持つ水溶性切削油（クーラント）が、油性切削油に代わり使用されるようになってきている。しかし、クーラントには油性のものより腐敗・劣化しやすいという短所がある。そのために頻繁に交換しなければならず、従ってかなりの量の使用済みクーラントが定常的に発生することになり、それを産業廃棄物として処理していかなければならないという問題が新たに起きた。

クーラントには、防錆性、清浄性、潤滑性を有するアルコールアミン類が主成分（10,000mg/l）として含まれ、その他に微量の防腐剤および界面活性剤が添加された水溶液である。このアルコールアミン類は難分解性かつ生物にとり有害な物質であるため使用済みクーラントを通常の活性汚泥法で処理しようとする、活性汚泥中の微生物を死滅させる危険がある。

このクーラントの処理に向けて最近になり微生物処理を行う装置「バイオフィン」が不二越（株）より開発され発売されている。本装置は使用済みクーラントに酸処理を施し、有機酸や界面活性剤を除いた後に単一の微生物を用いてアルコールアミン類の分解を行う方法である。そこで我々はこの酸処理を省略した方法、すなわち直接クーラント廃液に対し混合菌を用いて分解処理しようと考えて研究に着手した。

3.2 スクリーニング⁽⁴⁾

使用済みクーラントをその発生源において個別に

微生物処理した後、一般排水とともに活性汚泥槽を通して河川へ放流するという二段階処理が、現段階では最も好ましい方法と考えられる。そこで実際に使用されているトリエタノールアミン（以下TEAと略）を主成分とするクーラントを大量かつ安価に効率良く分解する微生物処理法の確立を目的に最初に微生物のスクリーニングを行った。

さて微生物のスクリーニングについて少し触れると、これは微生物が我々の考えの及ばないような偉大な能力を持っているということを前提に目的に合った微生物を探し出すことを言う。そして探しあてた微生物についてはそれを増やすことは簡単なことであり、またその能力を最大限に発揮する条件を見つけて実際に利用できるようにする。このように天然に存在する微生物の未知の機能に頼っていることから眉唾に聞こえるかも知れないが、この方法により実際に多くの微生物がスクリーニングされ工業的に用いられている。

本研究ではクーラントを培地に用い、富山県内の機械工場周辺の土壌を中心に数百サンプルを採取して分解菌をスクリーニングし、その中の有機物をほとんど全て分解する微生物を探索した。この部分は文章で書くと簡単に終わってしまうが、実際には時間がかかり、またこの結果が以後の殆ど全てを決めてしまうくらいに重要なところである。その結果我々は混合菌を一つ見いだすことができた。

3.3 TEAの分解

ここで得られた混合菌液を用いてクーラントの分解について検討を行った結果を述べると、混合菌液とクーラントを1:1の割合で混合し、30℃、80rpmで分解した。その際にTEA濃度はイオンクロマトグラフィーにより、またCOD（化学的酸素要求量）はJIS法のマンガン法により分析し、また菌体の増殖についてはOD_{610nm}による濁度（吸光度ABSで評価）を測定することにより求めた。図6に示すとおりTEAについては、初期の値が3500mg/lであったものが最初の2日間はあまり変化しなかったが、3日目から4日目にかけて大きく減少していき4日後に

は完全に消失した。また COD については最初は 4200mg/l であったものが平均して減少していき最終的には約 1000mg/l に減少した。一方菌体の増殖は 24 時間で 4 分の 3 以上進み、その後はあまり増殖は見られなかった。この結果は菌体の増殖には TEA はほとんど関係せず、その他の有機性物質、すなわち界面活性剤などが栄養源となり、増殖が終わった後に TEA を分解していることを示唆している。

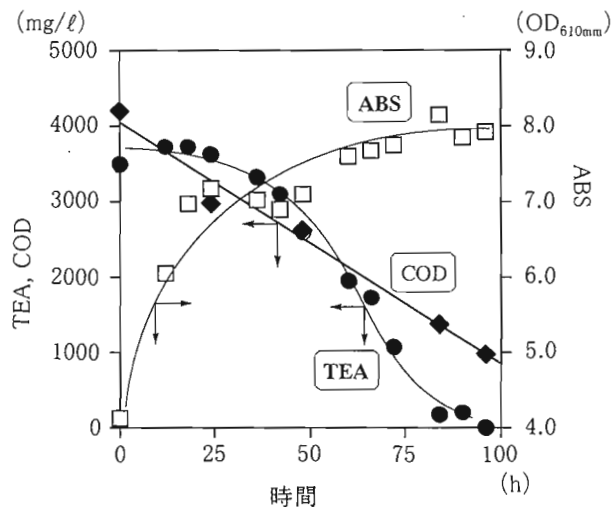


図6 クーラントの微生物分解における菌体の増殖、COD および TEA 濃度の減少

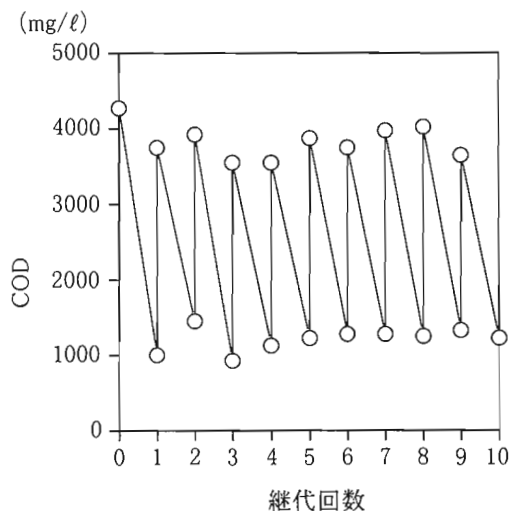


図7 クーラントの半連続微生物分解

次に、今述べた分解処理液の半量を抜き取り、同量のクーラントを加え再び分解させるということをして4日間毎に繰り返す回分法による半連続分解実験を行った。図7はその結果を表している。処理前は COD 約 4000mg/l で、処理後は約 1000mg/l という結果になった。この結果から半連続的な方法によるクーラント廃液の処理が可能であることが明らかになった。これについてはスケールアップを現在検討中である。

4. まとめ

日本に環境庁ができて 20 年以上が経過し、当初の公害という言葉はあまり聞かれなくなってきた。これは直接的に被害を及ぼすような問題はかなり解決されてきたことを示している。それに代わり最近では環境問題が大きく取り上げられるようになってきた。すなわち環境を保護する、あるいは維持するためにどうすればよいか問題となっている。これに対して廃棄物のリサイクル、あるいは廃棄物そのものを出さないゼロエミッションを志向した取り組みに大きな精力を注がなければならないことは論を待たない。今回取り上げた二つの問題はいずれも現在起こりつつある問題を効率良く解決するために微生物の力を利用した例であるが、これで良しとするのではなく、本質的にこのような問題が起こらない方法を開発すべきであろう。これは見方を変えると石油危機以降叫ばれてきた省エネルギーをさらに大きく進める取り組みと思えてならない。

文献

- (1) 佐伯隆司, 浦井久栄, 米谷正; 富山工業高等専門学校紀要, 31, p11-16(1997)
- (2) 須藤隆一; 環境浄化のための微生物学, 講談社, p79-82(1983)
- (3) 米谷正, 佐伯隆, 相沢一, 道田達也, 前多伊佐夫; エコテクノロジー研究, 1(2), p200-201(1995)
- (4) 安井学; 富山工業高等専門学校特別研究報告書, (1998)



米谷 正

1950年富山県生まれ。
1970年富山工業高等専門学校工業化学科卒業。同年富山工業高等専門学校勤務。
1983年薬学博士。現在同校物質工学科教授。