



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	深い都市廃棄物堆積層における好気性微生物の分解作用に関する実験的研究
Author(s)	田中, 信寿; 牧, 明彦; 神山, 桂一
Citation	北海道大學工學部研究報告, 113, 89-95
Issue Date	1983-02-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41779
Type	departmental bulletin paper
File Information	113_89-96.pdf



深い都市廃棄物堆積層における好気性微生物の 分解作用に関する実験的研究

田中信寿 牧 明彦* 神山桂一

(昭和 57 年 9 月 30 日受理)

An Experimental Study on Aerobic Biodegradation in a High Piled Layer of Municipal Solid Waste

Nobutoshi TANAKA, Akihiko MAKI, Keiichi KOYAMA

(Received September 30, 1982)

Abstract

The aerobic decomposing phenomenon in a layer of municipal solid waste where oxygen may be supplied at a low flow rate, compared with the amount of oxygen required by aerobes, under a natural oxygen deficient condition was experimentally studied. Such an oxygen shortage condition appears to be normal in sanitary aerobic and semi-aerobic landfills.

Consequently, it was noted that there was a refuse decomposing zone with high oxygen consumption of aerobes and that the zone gradually moved downwards. It was noted that almost gas phase in the layer was effective for gas movable space and the flow pattern of gas through the layer can be closely simulated by the piston flow model. It is expected to develop this study and make the simulation model of heat evolution and biological reaction in the layer, in order for this phenomena to be generally described and solved on the specified boundary conditions.

1. はじめに

都市廃棄物処分は、主として中間処理として焼却処理を行なった後、残渣を埋立処分する方法と、直接に埋立処分を行なう方法のいずれかによっている。近時、都市近郊では埋立用地の確保が困難な状態にあり、廃棄物の減量による埋立地の効果的利用、あるいは埋立地に搬入される汚濁量の減少の有効な手段として焼却中間処理・残渣埋立処分方式が多く採用されつつある。直接埋立処分は経済的に有利な処分法であるとともに、生物の自浄作用により、廃棄物を緩やかに土と気体にかえすという極めて自然な方法である。これは、焼却処理が急激な高温酸化処理であるために、有害物質が新たに生成されるかもしれないという潜在的危険性を内包しているのに対比して、すぐれた特徴である。しかし、直接埋立処分は汚濁度の高い浸出水の流出や悪臭ガスの漏出、廃棄物の飛散やカラスの襲来などによる住環境の悪化などの環境問題を引き起こす事例があり、しかも、これらの汚染は長く継続する。

このように現在の都市廃棄物処分法には、それぞれ利点、欠点があるが、欠点として指摘されるものの中には、経験や研究の不十分さから来ているものも少なくない。埋立処分に伴う環境問題に対処するために、処分場が具備すべき技術基準が制定され、また、埋立処分の特徴である自浄作用の効果的発揮のための埋立工法の提案がなされ、その設計基準について研究が進んでいる¹²⁾。これらの技術の中で好気性微生物の活発な有機物分解力を利用した好気性埋立、あるいは准好気性埋立が注目されている。前者では、廃棄物層内に強制的に空気を吹き込むことで、また、後者では、廃棄物層内に生ずる温度差、あるいは水分移動を利用して通気を行ない、好気性分解を促進しようとするものである。

本報告は、これらの好気性埋立、あるいは准好気性埋立において、基礎的な現象として生じていると思われる深い廃棄物層での好気性分解プロセスについて実験的に知見を得ようとするものである。深い廃棄物層とは、廃棄物層において好気性微生物が消費する酸素量に対して埋立地へ供給される酸素量が小さいことを意味している。これを取りあげた理由は好気性埋立においてはエネルギー面から考えて、通気量をそれほど大きく設定できないのが常態であろうし、准好気性埋立においては自然的換気であるため、大きな通気量が期待できないからである。

2. 実 験

埋立地に堆積される廃棄物層を模擬するために、内径 25 cm の塩ビ製円筒カラムに 80 cm の高さに模擬都市廃棄物（以下、人工ごみという）を堆積し、ごみ層下面から一定流量で通気を行ない、温度、ガス組成の変化を測定した。実験の概略のフローは図 1 に示すとおりである。人工ごみ²⁾は当研究室で組成を独自に決定したもので、日本の平均的都市廃棄物を想定している。これには、微生物分解に不活性なプラスチック、ガラス、陶器、金属類などは含まれていない。

塩ビ製カラムの外側面には 3.5 cm 厚のウレタンフォームを、また上下面の内面には 5 cm 厚

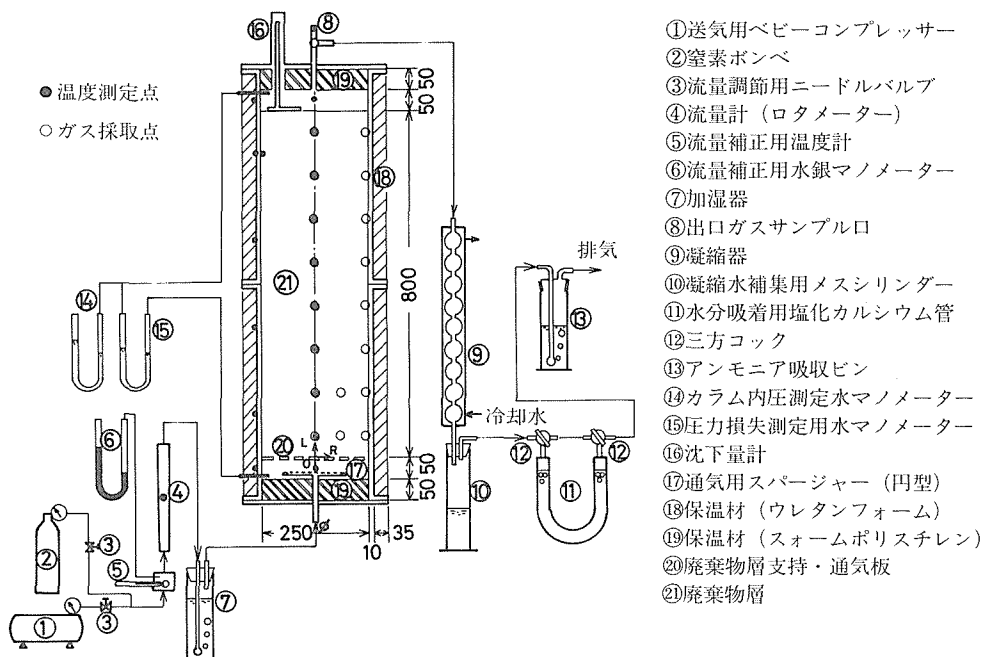


図 1 実験装置概略図

のフォームポリスチレンを用いて保温した。一方、ごみ堆積層が無限の拡がりを持ち、水平方向には同一条件でごみ分解が進行するなら、水平方向への熱移動はゼロとなる。この実験装置は保温性は高いが、断熱系でなく、ごみ分解による発熱と保温材を通る放熱とがほぼ釣り合っていることが簡単な計算で予測できた。実際の埋立地における温度等の境界条件は埋立地内部の状況が完全に知られていない現在においては、ほとんど未知であると言ってよい。したがって本実験は、1つの特殊な境界条件のもとでの結果であるが、深い廃棄物層における分解現象について多くの知見を与えると思われる。さらに、このような研究を進展させ、層内で生じている熱と物質移動を含んだ微生物反応のモデル化ができれば、任意の境界条件に対して、その挙動を解くことが可能となる。

人工ごみの材料は、厨芥類は約1 cmに、またその他のものは約3 cmに切りそろえ、水道水を加えて水分の調整をし、よく混和する。均等性に注意しながらカラム内に充填し、一晩(約16時間)放置した後、通気を開始した。この時点を実験開始日時とした。植種のために北大農場の土を混入した。

実験条件などを表1に整理して示した。

また、実験最終日前日に、ごみ層内のガスの混合状態を知るために、通気を空気から窒素に替えて、トレーサー応答実験を行なった。

測定項目および測定位置は次のとおりである。

(1) 温度測定

- ・ごみ層内温度 ($R = 0$ cm で $L = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75$ cm の各位置で)
- ・カラム上下空間温度
- ・塩ビ製円筒カラム外表温度 ($L = -2.5, 10, 30, 50, 70, 82.5$ cm の各位置で)
- ・塩ビ製円筒カラム内表面温度 ($L = 70$ cm で)
- ・室温

ここで R はカラム中心軸から半径方向に測った距離、 L はガス吹込板から流れ(上)方向へ測った距離を示す。これらはいずれも白金抵抗式温度計を用いて自動記録した。

(2) ガス組成測定

- ・ごみ層内ガス採取点
 - 中心軸 ($R = 0$ cm で $L = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75$ cm の位置)
 - カラム壁近傍 (同一の高さ L で $R = 12.0$ cm の位置)
 - 半径方向中間点 ($R = 6.0$ cm で $L = 5, 15$ cm)
- ・出口ガス (図1⑧)

上記の各点で採取したガスを熱伝導型ガスクロマトグラフに注入し、ピーク高さから検量線を用いて定量した。炭酸ガス、窒素、酸素+アルゴン以外のガスは検出されなかったもので、これらの和が100%となるように修正し、乾燥ガス組成とした。

(3) その他の測定項目

ごみ重量及び含水率は実験開始時と終了時に測定した。廃棄物層の沈下量及び圧力損失は、随時測定した。排ガス中のアンモニア及び水溶性有機炭素量は、凝縮水とアンモニア吸収液(0.5%ホウ酸溶液)を混合させたものについて分析し、求めた。

3. 結果と考察

好気性微生物は、ごみ中の有機物を栄養として利用し、増殖する。その際、酸素を吸収し、有

機物を炭酸ガス、水などに分解し、また熱を発生する。この作用を利用してごみ中の有機物を減少、安定化しようとするのが好気性及び准好気性埋立工法の考え方である。したがって、この現象は、温度や酸素濃度を測定することによって把握することができる。

実験は、好気性微生物の活発な活動を高温と高酸素吸収が、すべての層で終了した後に打切った。これ以後はゆるやかな速度でごみ分解が長期にわたって継続する。

まず、実験結果のうち、ごみ質量や含水率などを表 1 に、また圧力損失や沈下量などの経時変化を図 2 に示した。表 1 から、ごみ減少量を計算すると 2.14 kg (乾) であり、これは、初期ごみ量の 29% に相当する。特に、埋立地において高汚濁水、悪臭の原因となる厨芥類がほとんど分解されていることが実験終了時の観察によって確認される。これらのことは好気性分解法の利点の 1 つである。

図 2 に示した測定項目について次のような特徴がある。圧力損失及び沈下量は活発なごみ分解が継続する期間（高いごみ層温度を示す期間）においてほぼ単調に増加し、その後は一定の値となる。呼吸商（発生した炭酸ガス量/吸収された酸素量）は、実験開始前（充填後）には通気していないために、廃棄物層内の酸素が消費され、炭酸ガスに変っているので実験開始直後は高い呼吸商となるが、これは急激に減少し、一般の好気性分解で見られる呼吸商 1 に近づく。2 日目頃まで（後述するように中温菌分解相で）は、低い値を示すが、再びわずかに上昇し、ほぼ一定の値で推移する。17 日目頃（最上部の層が活発に分解される頃、後述の図 3 参照）に急激に低下し、その後、除々に増加する。アンモニアは、実験開始後ほとんど排出されず、最上部の層が活発に分解される頃に、その多くが排出される。絶対量としては多くはない。有機炭素排出量は実験開始時に多い。これは、実験開始前に嫌氣的雰囲気でごみが放置されている間に生成した揮発性有機物等によるものと思われる。

表 1 実験条件など

使用ごみ：人工ごみ（冬型）
通気ガス：空気（0.3 l / 分（標準状態に換算））
通気期間：30 日間

	開始時	終了時
ごみ量(湿kg)	17.00	15.68
含水率(%)	56.9	66.9
堆積高さ(cm)	80	78.6

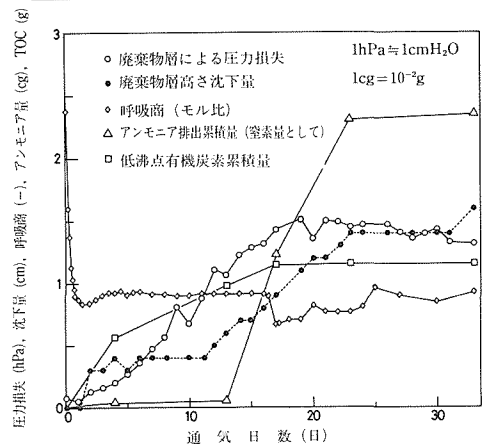


図 2 圧力損失、沈下量などの経時変化

3. 1 廃棄物分解帯の移動

次に、廃棄物層でのごみ分解がどのように進行するかを見るため、各深さごとに測定した廃棄物層中心温度及びガス組成として酸素濃度の経時変化を図 3、4 に示した。いずれも実験開始時の 0 ~ 2 日間の部分を拡大して示した。廃棄物層の半径方向の温度差を中心軸上とカラム外表面との差でみると、中心温度の最高時（約 63℃）に最大の温度差（約 8℃）であった。塩ビカラム外表面温度の時間変化は、その深さにおける廃棄物層中心温度の変化と増減の傾向はよく一致している。

ガス組成の半径方向分布は $L = 5$ cm で大きく、酸素濃度差として最大約 5% であったが、それ以後は、その差は小さく、 $L = 55$ cm 以上ではほとんど差はない。図 4 は半径方向のいくつかの測

表2 分解帯の移動速度 (cm/日)

	ピーク位置移動速度から		供給速度 吸収量	酸素吸収量 (モル/cm)
	図3から	図5から		
中温菌	65	80	54	0.075
高温菌	5	4	3.7	1.1

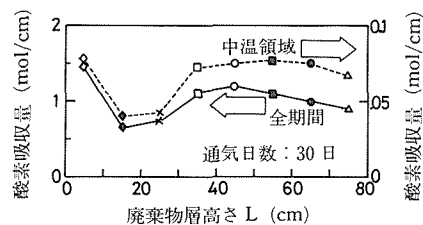


図6 酸素吸収量と高さLとの関係

は、分解速度は温度や酸素濃度以外の多くの因子の影響を受けるからであり、温度と酸素濃度も相互に強い関係があるからである。また、簡単に物質収支を考えてみると、分解帯の移動速度は酸素供給速度（本実験では 4.0 モル/日）と廃棄物層の単位長さ（厚さ）当りの酸素吸収量（モル/cm）の比で近似できるから、中温菌と高温菌分解相について計算すると表2のようになる。ピーク位置の移動速度から求めた値とほぼ一致する。なお、酸素吸収量は高さ $L=30\sim70$ cm の範囲について平均して求めた。

次に、単位長さ（ごみ厚さ）当りの酸素吸収量が流れ方向にどのように変化するかをみると図6のようになる。同図の意味は、例えば $L=10\sim20$ cm の間での酸素吸収量の合計を層厚さ 10 cm で除したものを $L=15$ の点に示している。同図から酸素吸収量の変化の特徴は 0～10 cm 間で高く、10～30 cm 間で低いこと、及び 40～80 cm 間では徐々に流れ方向に低下していることである。0～10 cm 間で高い値を示す理由は、層の下部でガス組成が半径方向に分布が大きかったことなどから考えて、主としてガス吹込み流の影響であると思われる。 $L=40\sim80$ cm で徐々に酸素吸収量が低下する理由は、廃棄物上層になる程、酸素供給量が減少する（下層部で酸素が消費される）ためであるが、通気を 30 日という日数で打切ったために、その影響をより大きく受けることとなったと思われる。

また、中温菌分解相の酸素吸収量を求めて、図6に示した。全実験期間で求めた値と同様の傾向であるが、その値ははるかに小さい。

3. 2 層内のガス混合状態と有効空隙

実験終了前に通気を空気から窒素へ切替えて 2 回、また窒素から空気に切替えて 1 回、計 3 回のトレーサー応答を行なった。前者については $L=35, 55, 75$ cm で、後者については $L=15, 35, 55$ cm で測定を行なった。図7に結果を示す。図中の線は実測値を重ね合せて滑らかに結んだものである。なお、このトレーサー応答によって、ガス混合現象のみを正しく測定できるためには、

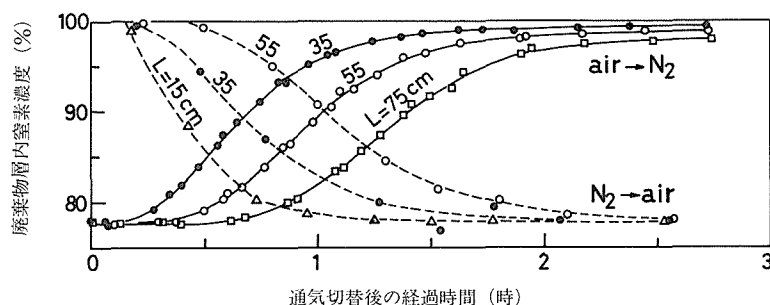


図7 トレーサー応答

呼吸商が1であって、酸素の吸収と炭酸ガスの発生に時間遅れがあってはならない。本測定での状況は近似的にこの条件を満たすにすぎない。

図7から $L=15\text{ cm}$ のものを除いて各 L において応答波形はほぼ同形をしていることが分り、廃棄物層内のガス流れは、ほぼ押し出し流れで近似できると思われる。さらに、各応答波形の平均遅れ及び分散を求め、各測定点間の流れ方向の混合度を示すペクレ数 Pe を Aris の方法³⁾により近似的に求めた。なお、 $Pe=0$ で完全混合、 $Pe=\infty$ で押し出し流れに対応する。窒素から空気に切替えた応答から $L=15\sim 35\text{ cm}$ 間で $Pe=9$ 、 $L=35\sim 55\text{ cm}$ 間で $Pe=24$ 、また空気から窒素に切替えたトレーサー応答から $L=35\sim 55\text{ cm}$ 間で $Pe=16$ 、 $L=55\sim 75\text{ cm}$ 間で $Pe=78$ と求めた。上層にゆくに従い、押し出し流れの状態に近づくことが分り、通気板からの吹込流れの影響によって本実験装置では下層側で混合度は大きい、廃棄物層では基本的には、押し出し流れが形成されると考えてよいことが分る。

次に、各応答波形の平均時間遅れから空隙率を求めると、57～69%の値が求まり、平均すると62%となる。本実験の終了時のごみ(乾)、水分、空気の容積率を、乾ごみの真密度(1.54 kg/l(実測))によって求めると、各々、9、27、64%となり、この空気容積率は、応答による空隙率とよく一致する。したがって、本実験のごみ充填と通気量の条件のもとでは、ごみ層内空隙のほとんどに通気がゆきわたっていると考えてよいことが分る。

4. おわりに

埋立処分を確実なものとするためには、埋立地内で生じている生物学的・物理化学的諸現象を正しく理解することが必要である。ごみ層内を空気が浸透移動し、好気性微生物反応を促進させるプロセスは好気性ないし准好気性埋立地における基本的現象の1つであり、本実験は1方向に空気が浸透していく時の現象を実験的に扱ったものである。これをさらに普遍的な結論とするためには、ごみ層で生ずる微生物反応のシミュレーションを完成する必要がある、本実験の結果はそのためにも役立つと思われるが、さらに検討を進めたい。

本実験によって得られた主な結果は次のとおりである。

ごみ層の酸素要求量に比べて供給される酸素量が少ない場合には好気性微生物反応の特に活発な分解帯が生じ、その分解が時間と共に流れ方向に移動する。それは中温菌分解相、高温菌分解相のいずれにおいてもみられ、その移動速度は酸素供給速度とごみ層の単位厚さ当りの酸素吸収量との比にほぼ等しい。また、ごみ層内のガス流れは本実験条件のもとでは、押し出し流れであり、ごみ層内の空気相のほとんどが有効空隙と考えてよい。

引用文献

- 1) 花嶋正孝 他：土木学会論文集，No.310 (1981-6)，p. 69～76
- 2) 神山桂一 他：衛生工学研究論文集 19 (1983)，p. 136～145
- 3) Aris, R. : Chem. Engng. Sci., 12 (1960)，p. 69