

汚泥の処理・処分

川口士郎*

会誌編集委員会から与えられた課題は次の2項目である。すなわち、現在の社会情勢の中で、いかにしたらその最適な処理・処分が可能かという問題と、さらにそれによって生ずる二次公害的な問題に対して、いかなる対策をとるべきかという問題である。前者にある「最適な」という形容詞には若干のこだわりを感じるが、それはそれとして、これらの問題が下水道における現在の重要な問題であることは筆者もかねてから認めている。では、これらの問題に必要にして十分な解答が与えられるかという点、筆者ならずとも困難であるといわざるをえない。この困難のよってきたる主たる原因は、処分に伴う「環境」、たとえば土地とか海洋とかの受容する場所を考慮せざるをえないが、これらの考慮が現段階では未熟であることである。廃棄物としての下水汚泥の量が受容空間に比較して少量である場合には、それほど考慮は不要である。たとえば、下水道がそれほど普及していなかった時代とか、現在でも普及していない地方では、問題の解決は比較的容易である。しかし、多量の汚泥が発生して、処分地が取得しがたい都市域にあっては問題は深刻である。また、広大な処分地が見つかった場合でも、汚泥をおさめたその環境が、どのようにふるまうかということは、現在のところ少しずつ研究が進んでいるという状況である。

このような段階において有益な意見を筆者が述べることは二重の意味で不可能に近い。しかし、筆者なりに常識的な意見を述べて、責任をはたしたいと考えている。

1. 汚泥の処分

この種の議論においては、使用する言葉に明確な意味を与えることが大切である。処分というのは、ある廃棄物(不要なもので、捨てることに決めたもの)をわれわれの生活にふたたび害を及ぼさないように始末することである、と定義する。処理とは、ある廃棄物をなんらかの方法で「いじくる」ことである、とする。処分はいくつかの処理を含んでいる。たとえば、家庭下水の通常の処分は、下水処理場におけるいくつかの処理、すなわち沈殿処理、活性汚泥処理、汚泥処理(これには濃縮処理、

薬品添加処理、脱水処理、焼却処理などが含まれる)などを含んでいる。また、たとえば、汚泥の海洋投棄は、ここでいう処分に当たるかどうか、一概にはいえないことを注意しておくのも無駄ではあるまい。

さて、ここでは、汚泥の処分(になっているかどうか疑問があるけれど)について、いままでどのようなことがなされてきたかを、この種のことにうとい人びとのために略述しよう。

昭和27年に出版された土木工学実用便覧という本で岩井四郎氏は、「下水処理の過程において発生する汚泥もまた当然処分しなければならないが、従来行われていた方法は、簡単には河川海中への投棄、埋設、埋立等であったが、現在では乾燥床による脱水乾燥、機械脱水、加熱乾燥、消化法等が用いられる。このうち汚泥消化法はもっとも進歩した方法で促進汚泥法(活性汚泥法のこと)下水処理には不可分の施設となっている」と述べている。そして、以下に便覧としては異例なほど消化法について詳細な説明を付している。

昭和初年のころを推察するに、昭和5年に大学を出た近藤健武氏が草間偉先生の講義を筆記したノートによれば、汚泥に関しては sludge tank と sludge drying bed だけが記されている。すなわち、下水処理によって生じた汚泥は、処理処分をする場合には、いったんタンクにため、それから乾燥床で乾燥させ、乾燥したケーキは肥料などに使用することを考えていたのである。

下水処理というものは、固形状の廃棄物を水と混ぜて処理場に輸送し、そこでふたたび水と固形物に分離する固液分離と考えれば簡単である。そこで生じた汚泥をふたたび水域などに投棄すれば、もとのもくあみである。このような汚泥処分が異とされなかった理由は、すでに述べたように、受容空間の容量が汚泥量に比較して巨大であると考えられ、汚泥投棄による影響がただちに現われてこなかったからである。もっとも、この種の影響の調査が戦前になされた例を筆者は寡聞にして知らない。

最近のわが国における下水汚泥の処理・処分の実態については、「下水汚泥の処理・処分および利用に関する研究報告書」(昭和43年度・土木学会)に詳細な分析が記載されている。それによると、昭和42年4月1日現在稼働している全下水処理場を調査したところ、なんらかの

* 正会員 東京都立大学助教授 工学部土木工学科

方法で汚泥を処理している処理場は 127 か所、無処理は 8 か所であった。処理方法は無処理を含めて 11 通りであったが、大別すると生汚泥直接脱水（乾燥床による場合と薬品添加機械脱水とがある）、好気性消化、嫌気性消化となり、嫌気性消化を行う場合 92 か所、嫌気性消化と脱水の組合せが全体の大体半分を占めている。これは、前述した岩井氏の指摘と相応している。処分についてみると、海洋投棄、埋立、肥料等、その他となっている。埋立が 97 例、肥料等に利用するのが 30 例、その他 22 例、海洋投棄は意外と少なく 9 例であった。結局、なんらかの方法で土地に処分する例が多いということである。

昭和初年から大体 20 年きざみに汚泥処分の状況を多少異例な資料によって略述したが、それではこの間における研究は、どのような意図をもってなされてきたかについて、以下に筆者の考えを述べよう。

まず最初に、嫌気性消化法が導入され、これについて詳細な研究がなされている。この場合、処分についてはそれほど研究されたわけではなく、処理法としての消化法の研究であった。処理というのは、処分を前提に考えるのはもちろんであるが、前述したように、処分法は限られているし、一つの処分法に適するように処理を行えば、他の処分法にも妥当するという事情があるから、処分法ごとの処理法を考える必要性は少なく、結局、処理自体を目的とした研究で良いわけである。簡単に言えば良い処理をすれば、いかようにも処分できるということである。この消化法は、比較的大容量のタンクを要することと、管理上の問題があって、好気性消化法（とくに処理場の規模が小さい場合）や生汚泥脱水法（とくに薬品添加機械脱水法）に負けてしまったが、最近また見直されてよいという技術者もいるようである。すなわち、経済性の高い処理法にのりかえられたのである。そしてこの経済性の追求も最近になって少し反省がみられる。処理のよしあしをなおざりにして、経済性をのみ追求することは、もちろんほめたことではないのである。また処分に関連する環境調査が従来あまりなされていないことの反動で、この環境調査を重視するあまり、よりよい処理法の開発を軽視する空気もある。このような極端から極端に振動するような風潮は、またあまりほめられることではない。

2. 汚泥処分の二面性

ここで議論しようとするのは、下水道事業者としての立場からする本能的な態度と、環境保護の立場からとられる規制との衝突についてである。これから筆者が論じようとする衝突などは存在しないと考える向きもある

う。それは筆者にいわせると、理想と現実とをよく区別して考えていないことによるのである。

下水道事業自体も、金ばかりくって、何の利益も生み出さないものであるが、ある下水道事業にとっては、汚泥処分も金ばかりくって、何の利益ももたらさない。そこで事業者としては、なるべく安上りに汚泥処分をしようとするのは当然の態度である。また、発生する汚泥を処分するのは、事業としての必要性からであった。これは、ある企業が、法規制の対象となる以前から、自社の廃棄物の処分をしていたのと、まったく同じである。しかし、下水道にあっては、その目的が都市の下水を都市域から排除するばかりでなく、放流水域の保清を考えてきたから、ある企業におけるように環境を無視した処分はしなかった。しかし、環境保護の法律が整備されるまでは、これらの処分は下水道事業の自発性にゆだねられていたのである。

環境保護の立場は、えてして理想に走りやすく、下水道事業の立場は現実主義になりやすいから、両者の間に当面衝突らしき事態が生ずるのである。汚泥処分についていえば、海洋投棄が可能であれば、大都市の下水道事業は便宜である。海洋投棄の結果、海洋がどのようになるかがわからないから、環境保護の立場からは簡単に承認はできない。海洋投棄を海洋還元と字句を修正して解決できるような簡単な問題ではないのである。海洋投棄にかぎらず、多量の汚泥を処分する場合には、埋立にせよ、肥料化にせよ、環境保護上の問題が発生する。また都市下水には産業廃水が混入するから、家庭下水にはない有害物質が混入することがあるので、それだけ汚泥処分は問題の困難性が増幅されるのである。

環境保護の立場を満足させつつ、下水道事業としての汚泥処分を行う完全な方法を一般的に述べることは、すでにこの小論の最初に述べたように筆者にはできない。修身の教科書（現在は道徳の教科書か）的言辞で気がひけるけれども、両者の立場を融和させる処分方法の案出は、誠実な調査研究以外にないものとする。

3. 汚泥処分の理論

ここでは汚泥処分の安定性について述べようと思う。

汚泥の処分とは、わかりきったことであるが、汚泥に含まれる物質が、われわれ人間に対して害を与えないようにすることである。われわれの生活に害を与える物質は、毒物と有機物と目される。毒物はわれわれの生命を直接におびやかすし、われわれの食物の生育に害を与えることで間接にわれわれをおびやかす。有機物は直接の毒性をもたないが、われわれに与える害は毒物と同様で、微弱な毒物と考えてよいであろう。下水の汚泥に含

まれる毒物と有機物の種類と量は、下水汚泥の来歴、たとえばその都市の性格、下水道の排除方式、下水処理の方法、汚泥処理の方法など、によって差があるから、標準的な値を示すのはかなり困難である。さらに、汚泥の性状についての組織的な調査がはじまったばかりであるという事情もある。毒物のうち最近では重金属がとくに注目をあびているが、汚泥に含まれる重金属の量は、測定がむずかしいこともあって、一般的に議論できるほどの測定値が現在のところない。有機物の含有量は一般には50~60%といわれている。

ここで、廃棄物一般について少し解説すると、下水汚泥も廃棄物の一種であるが、泥状の廃棄物というものは相当に大量である。産業から排出される廃棄物は汚泥の形をとっている場合が非常に多いのである。これらの汚泥を分類する場合、有機物や毒物の含有量を示標とすることが一般である。たとえば、有機性汚泥と無機性汚泥とに分けたり、毒性をもつ汚泥とそうでない汚泥に分けたりするのである。下水汚泥は、一般には有機性汚泥のほうにいれられている。浄水場から出る浄水汚泥は無機性汚泥である。なお、廃棄物の分類の考え方について述べると、特定の処分に関係のある示標によって分類するのが便宜である。有機物の含有量は、土地や水域に投棄処分する場合の汚濁に関係するし、焼却する場合には燃焼に関係するから便宜なのである。肥料あるいは土壌改良剤として使用する場合には、肥効成分などが重要な示標となってくる。

下水の汚泥を含めて、廃棄物一般の排出量がどのくらいであるかについては、現況ならびに将来にわたって、全国的あるいは特定の地域について、各種の調査報告が出されている。廃棄物の全国集計値なるものについては現実の処分を考える場合、実際の意義は少ない。全国集計値に、あまりに強い関心をもつのは、一種の現実逃避ではないかと、にくまれ口を筆者はたたいたことがある。ただ、全国的な処分を考える場合には、この種の包括的数値が必要となることも考えられる。たとえば、必要な処分面積を計算して、これがわが国の国土面積にはたしてはまるかどうかを検討するような場合である。筆者は生来の横着者であるから、この種の数値の存在を述べるだけで、資料の名称、具体的な値はここでは記さないこととする。それは、この種の数値が必要となるほど、組織的な処分策が技術的にも、行政的にも確立していない現状にあるからともいえるのである。また、さしあたっての議論にあまり必要でない資料を、ことさらに述べるのは、一種のパダントリーになりはしないかと、おそれるものである。

下水汚泥の処分を含めて、廃棄物の処分とはある空間に廃棄物を place することである。空間としては、大気、

陸地、海洋しかない。下水汚泥を焼却して大部分の成分を大気中に放散せしめる方法もあれば、埋立地に投棄したり、農地に肥料として散布する方法もあり、海洋に投棄する方法もある。汚泥を焼成して固化物を製造し、なんらかの用途に使用することも、結局は陸地処分の一形態である。このような処分方法を通観すると、ある空間におかれた廃棄物の有害成分が、われわれの生活に悪影響を及ぼすような仕方では、その空間に漏出しなければよいということがわかる。有機物についていえば、置かれたままの状態が長年月安定していればよいし、漏出する場合には、その空間のもつ酸化能力の範囲内で、酸化過程のあいだ空間の状態が変化しても、それが無視できるほどであればよい。毒物のうちとくに重金属類は極微量ずつ漏出しても生物により濃縮されるといわれるから、空間への漏出を許すわけにはいかないだろう。したがって、重金属類のように生物濃縮の考えられる物質を含有する汚泥の処分とは本質的に異なっている。以下の議論では、さしあたって重金属類のような生物濃縮性の物質を含む汚泥を除外しておく。

生物に起因する有機性の廃物、すなわち落葉、枯死した植物、動物の死体、糞便、食物残渣などは、生物が地球上に発生して以来存在しているわけである。これらの有機物は分解し、ふたたび生物に取り入れられるという自然のサイクルを形成しているはずである。みたところわれわれの環境で人間の手の加わらないところでは、状況が変化していないようであるから、定常的サイクルが存在しているように考えられる。このようなサイクルの存在の理論的帰結を、ある自然的地域で実証することはもちろん重要である。ここでの議論は、このサイクルの存在を仮定して、先に進もう。

人間も生物の一種であるから、われわれの行動自体が大自然のサイクルに含まれ、その人間が、人間以外の生物が関与するサイクルを議論することも、大自然のサイクルに含まれる。というような一見奇妙なことも考えられるから、サイクルとか自然とかの言葉は、よほど慎重に用いないといけな。筆者が使用する“自然”という言葉は、比較的人間の手の加わっていない現実の空間をさしている。また、サイクルという言葉は概念として使用している。筆者自身この種のことに未熟であるから、用語法に混乱があるかも知れない。

さて、サイクルの存在を認めれば、一定量の空間は一定量の有機物（を含んだ汚泥）を定常的に吸収することが納得できる。この命題が真であるとすれば、とめどなく増大する汚泥は、とめどなく広大な空間を要求することになる。現実には汚泥を処分する空間は技術的には有限であるから、処分できる汚泥量には上限が存在

するはずである。この上限量を定めるには、単位空間あたりの処分量を見いださなければならない。この種の数値として、たとえば水田に肥料として使用した場合、1アールあたりの汚泥 kg が調査されている¹⁾。筆者は、この種の調査の重要性を強調したい。

汚泥の発生量は少なくとも人口に相関するから、人口が増加すれば、汚泥量も増加する。前述の命題によれば処分に必要な空間はより広大になる。利用可能な空間量に相応する汚泥量をこえて、汚泥発生量が増加すれば、空間の状況が悪化することは明らかである。このような事態を回避するには、より広大な空間を利用するようになるか、あるいは空間に漏出する量を減らすしか方法はない。しかし、とめどもなく増加する汚泥に対しては、技術的に早晩限界に達するであろう。振り返って考えてみれば、われわれの技術は歴史的にみて、いつも急場しのぎであり、事態の根本的解決ができた例はないようであるから、汚泥処分、ひいては環境問題を未来永劫にわたって解消する技術を、現時点で案出することができようはずはないとも考えられる。したがって、われわれは現時点でベストをつくせばたりののである。それにしても技術開発を進めたり、行政的に措置したりする余裕をもつためには、急激な汚泥量の増加は望ましくない（環境問題を未来永劫にわたって解決するためには、われわれの倫理観念を変更することが必要ではないかと筆者は考える。すなわち、人類の個の存続でなくて、種の存続を図らなければならないのではないかと、おぼろげに考えている）。

4. 汚泥処分の手法

汚泥処分は、前述したように、なんらかの処分地に汚泥をおくことである。この処分地を取得することは現下の都市事情では困難であるから、下水道事業者の発想としては、汚泥量を減らす処理法を指向することになる。処分すべき汚泥量を減らせば、必要となる処分空間の量は減り、さらに処分空間に運搬する際にも便宜となる。処分すべき汚泥量を減らすことは次の2つの意味をもっている。すなわち

- ① 容積を減らすこと、
- ② 有機物含有量を減らすこと、

である。

従来から採用されている汚泥処理法はこれら2つの目的のいずれか一方、あるいは両方を満足させている。

嫌気性消化法であれば、水分を98%ほども含んでいる生汚泥（下水処理場の沈殿池から排出される未処理の汚泥）を、酸素を絶った容器中で腐敗させる。すると汚泥は分解して、メタンを主成分とする可燃性のガスを放

出し、あとに消化汚泥（嫌気性分解反応の残渣物）が残る。ガスは燃料などに利用し、消化汚泥は脱水してケーキにし処分する。この方法では、処分すべき汚泥の容積は著しく減少し、含有する有機物も減っている。すでに述べたように、この消化法は若干の問題点はあるが、現在に至るも採用されている理由は、汚泥処理の目的を達しうる方法であるからである。

好気性消化法では、生汚泥を好気性状態（酸素が十分ある状態）において有機物を酸化する。次いで脱水し、ケーキにするのは嫌気性の場合と同様である。この場合も上述の目的を達している。ただ、この方法は比較的小規模な施設にしか採用されていないのは、主としてコストの問題である。

嫌気性消化法では消化汚泥の脱水はそれほど困難ではないが、生汚泥を直接脱水するのは困難である。そこで、石灰などの薬品を添加して脱水する方法が開発されたのである。この方法では有機物は減らないが、ケーキにすることで容積は減少する。この薬注生脱水法の欠点（といえはいえるもの）は、高価な薬品を要することであり、有機物が減らないことである。ケーキの固形分は薬品の注入量分だけかえって増加するの欠点である。そこで古くからあった（1930年代）熱処理法の再登場となったのである。この方法については、土木学会の下水汚泥の処分方法に関する研究小委員会報告¹⁾に詳細な調査結果が記載されている。

熱処理法では、生汚泥を200°Cで30分から1時間くらい加熱し、それから脱水してケーキにする。この方法では、有機物が嫌氣的に分解するからケーキの有機物量は減り、ケーキそのものも減る。

熱処理法と似ているが、原理的には異なるものに、ジンマーマンプロセス（ジンプロと略称する）もわが国で一部採用されている。この方法は、高温高圧下で有機物を酸化するのである。したがって、残渣中の有機物は減少している。

わが国で現在採用しているおもな汚泥処理法を概説したが、結局、処分で問題として残るのはケーキである。次に、ケーキ処分法について少し述べる（汚泥処理に伴う分離液の処分も問題である。これは現在のところ、下水処理工程に返送して、下水とともに処理している。下水放流水に対する水質基準がきびしくなると、これら分離液の処分を改めて検討することが必要となるであろう。この小論では、さしあたり、考慮しないこととする）。

ケーキとは、脱水された泥汚のことで、「菓子」である。水分は（印象を固定するためにいうと）50%くらいである。普通は陸地に投棄され、土地の少ない場合には焼却してさらに容積を減らして投棄する。投棄場所がなくなることを予想して、れんがなどを焼成することも研

究されている。下水汚泥は、もともとチッ素分など肥効成分を含んでいるので、ケーキを乾燥し肥料として利用してもいることはすでに述べた。

5. 汚泥処分技術の開発

汚泥処分にはどうしても土地とか海洋とかの空間が必要である。処分空間がなければ、汚泥処分は不可能である。この空間をいかにして下水道事業者に得さしめるかは、国としての行政の責務である。一方、空間に置かれた汚泥がどのようにふるまうか、汚泥をどのように加工すれば処分に便宜となるかは、処分にまつわる技術開発の主要な問題点がある。ここでは、この技術開発の体制について筆者の考えを述べる。

すでにみたように、処分すべき汚泥の容積が小で、含有する有害物質が少なければ、いずれの空間に処分するとしても、便利である。それで、汚泥処理技術の開発はこれらの方向をとっている。また、土地を取得する心要のない処分法、たとえば肥料などの農業利用、れんがなどの製品化に対する下水道事業からの関心が表明されている。海洋投棄がいつかは実現するカナンの地のいとなみと考えられてもいる。これらの方向は妥当である。このような下水道事業者の意向を反映して、商業的なサイドから、最近の技術開発はなされている。これもあたりまえのことで、非難することはできない。商業ベースでの技術開発は、えてして非効率になりがちな官庁機関での開発より能率がよくて、国家的に経済的であるかも知れない。しかし、ここに一つの問題点が伏在する。それは、開発された技術の評価の問題である。これはなにも汚泥処分にかぎったことではなく、その技術の結果が多数の人々の生活に効果をもつ場合には、いつでも起る問題である。この点に関しては、実例をあげなくとも、この小論の読者（ここまで読んでくれた読者）には先刻ご承知のことと思う。

ある技術を評価するには、その技術を開発した人より知識が少なくなく、そしてその技術の結果に利害関係の

ない人の存在が不可欠であるが、この条件を満たすのはなかなか容易ではない。このような条件を満たす人をつくるには、その技術についてある期間ある人を教育することが実際的な方法である。このためにも、官庁サイドの研究機関は存在の意義がある。この筆者の考えが理想にすぎると考える人は、現実の不都合をよくわきまえている人かも知れないし、あるいは現実をよしとし、この種の問題の存在すら関知していない人かも知れない。

6. 廃棄物処分法としての下水道、結びにかえて

現在の下水道は、Fair 教授の著書²⁾にみられるように、ヨーロッパの都市において、家庭汚物の都市からの排除を目的として、自然発生的に形成されたものである。

都市から排除された汚物は処理場において汚泥として回収し、別途に処分しないかぎり、都市周辺の水域を汚濁することは自明の理である。都市からの汚物の排除方法は、日本古来のくみ取りや、ごみ収集にみられるように、水と混ぜて管路輸送する方法が、唯一の方法ではない。しかし、この技術集約の方法は、われわれの社会になじんだのであるから、もはや現在のところ他の方法を並立的に考えることはできない。水処理、とくに実用的には生物処理法について、すでに完成段階に達した下水道技術にあって、これからの研究の主眼は、放流水域の受容能力の調査と汚泥処分技術の確立であると考ええる。すでに述べたように、この両者には深い関係があって、片方のみを解決することはできない。

下水道の受容する汚物が、家庭汚物のみであったら、問題は汚泥処分を含めて比較的容易であろうと考えるから、家庭以外の事業所の汚物の混入が取り扱いにくいものになる。

引用文献

- 1) 土木学会：下水汚泥の処理・処分および利用に関する研究報告書、昭和43年度、昭和44年度、昭和45年度、昭和46年度、(昭和47年度は未刊)。
- 2) G.M. Fair ほか：Water and Wastewater Engineering Vol. 1, 1967, John Wiley, New York.

下水汚泥の処理・処分および利用に関する研究報告書

土木学会が建設省、東京都などをはじめ各所より委託を受けた研究成果を公刊したものです。内容は農業利用、海洋処分、脱水を中心に各年度ごとの研究成果を取りまとめたものです。

- | | | |
|-----------|-----------------|-------------------------|
| ● 43年度報告書 | 1 200 円 (〒 140) | } 1 セット 6 000 円 (〒 230) |
| ● 44年度報告書 | 1 300 円 (〒 140) | |
| ● 45年度報告書 | 1 500 円 (〒 140) | |
| ● 46年度報告書 | 2 000 円 (〒 170) | |

◎土木学会へ直接または主要書店へご注文下さい。書店経由の場合は送料は不要です◎