

排水処理汚泥の処理処分に伴うりん・窒素の挙動調査(その1)

木村賢史 嶋津暉之 三好康彦

1 はじめに

東京湾等の富栄養化防止対策の一環として、東京都は発生源でのりん(P)、窒素(N)の排出削減対策を進めている。一般に、環境水中のP、Nは、生活排水、し尿、工場排水等に起因している。そのため、P、Nの削減方法の一つとして、排水や下水の処理過程での削減対策が実施されている。排水等の処理過程では、Pは汚泥に移行するが、Nは一部大気に放出され、残りが汚泥に移行して排水処理の系外に排出される。従来の対策は、この汚泥を系外に排除するまでにとどまっておらず、汚泥中に取り込まれたP、Nが、その後、どのような処理処分を経ているのかまでは、把握されていないのが実情である。そこで、筆者らは、汚泥中に取り込まれたP、Nの運命調査を実施し、系外に排除されたP、Nがどの程度再び環境水中に排出されるのか否かを調べることにした。ここでは、東京都内の発生源別の排水処理汚泥等の発生量と汚泥中のP、N量、処分先について実態調査を行ったので、その結果を報告する。

2 調査方法と調査項目並びにP、N量等の算出方法

(1) 調査方法

調査は、アンケート方式で行った。調査対象事業場は、P、N排出量の大きい事業場を選んだ。

ア し尿浄化槽

公社7、都営10、公団14の住宅団地についての個別調査並びに水質汚濁防止法届出対象の全公的団地し尿浄化槽についての総括調査、並びに、大規模民間団地15か所の個別調査を行った。

イ し尿処理場

都内の全し尿処理場11か所の個別調査を行った。

ウ 下水処理場

都区市の全下水処理場23か所の個別調査を行った。た

だし、1か所は新設のため汚泥の排出はなかった。

エ 工場

N排出量8kg/日、またはP排出量1kg/日以上 of 工場28社については現場調査を行った。このP、N量は、排水量500m³/日の住宅団地汚水処理施設のP、N排出負荷量に匹敵する。

(2) 調査項目

各発生源別に、月別・年間の排出汚泥量及びその最終処分先別量、汚泥最終処分先地名、処理水量、汚泥含水率、排水及び汚泥処理フロー図、処理水及び汚泥中のP、N濃度、その他にし尿処理場については、し尿等の投入量及びその構成量、希釈水量等についても調査を行った。

(3) 処分先別汚泥量と汚泥中P、N量の算定方法

ア し尿浄化槽

届出し尿浄化槽のうち、公的団地し尿浄化槽の排出汚泥量及び最終処分先汚泥量は実績値から、汚泥中のP、N量は〔P、N発生量-処理水中のP、N量〕から求めた。その他民間団地、病院、学校、大規模店舗等からの排出汚泥量は単位処理水量当たりの汚泥量(15民間団地の平均値)と排水量(環境保全局データ)から求め、処分先別汚泥量は公的団地汚泥の処分比率で配分した。処分先別P、Nは汚泥の処分比率で配分した。

なお、いずれの場合もN量は大気放出分を含めた。以下同様。

P、N発生量は団地の平均実測値である流入水P濃度4mg/l、N35mg/lに排水量を乗じて算出した。

イ し尿処理場

排出汚泥量及び最終処分先汚泥量は実績値から、汚泥中のP、N量は〔P、N発生量-処理水P、N量〕から求めた。P、N発生量は(し尿等の実績の投入量÷1人当たりし尿等排出量)×1人当たりP、N排出量から求めた。処分先別P、N量は実績値を使用した。なお、P、N発生

量算出のための原単位は表1のとおりである。

表1 し尿処理場における発生P.N量算出原単位

	生し尿	し尿浄化槽汚泥 (単独処理)	し尿浄化槽汚泥 (合併処理)
排出量(ℓ) 人・日	1.4	0.75	1.2
P排出量(g) 人・日	0.77	0.12	0.41
N排出量(g) 人・日	① 9.0	② 0.42	③ 1.4

注1) 排出量(ℓ)/人・日は、し尿処理施設構造指針解説(1988年版)の値を用いた。

注2) P排出量(g)/人・日は、「東京湾富栄養化対策指導指針」で使用したフレーム値を用いた。

注3) N排出量(g)/人・日は、①は注2)の指針の値、②と③はP排出量の7/2倍値を用いた。

ウ 下水処理場

排出汚泥量及び最終処分先汚泥量は実績値から、汚泥中のP, N量は〔流入水P, N量－処理水P, N量〕から求めた。流入水, 処理水のP, N濃度は実測値であり、処分先別P, N量は汚泥の処分比率で配分した。

エ 工場

ウの下水処理場の場合と同様に算出した。

3 調査結果及び考察

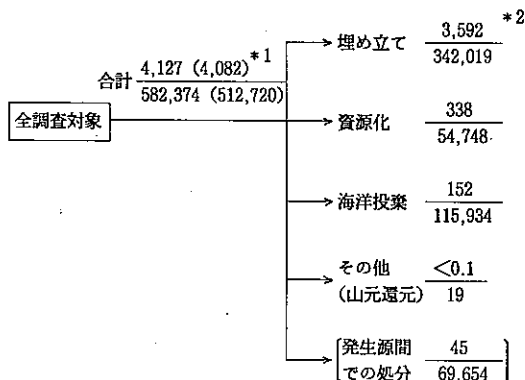
(1) 排出汚泥量と最終処分先汚泥量

排出汚泥量は、個別し尿浄化槽汚泥及びし尿処理場搬入分を除いたし尿浄化槽, 下水処理場搬入分を除いたし尿処理場, 下水処理場から合計で433千t/年であり、さらに工場28社を加えると513千t/年の汚泥が下水等の処理過程で系外に排出されている。

また、図1に全調査対象の最終処分先汚泥量を示したが、埋め立て量が全体(発生源間の搬入分を除いた量。以下同じ)の66.7%、海洋投棄が22.6%、資源化量が10.7%であった。汚泥の大部分が利用されることなく捨てられており環境保全の上からも、より一層の資源化が強く望まれる。

埋め立て量では下水処理汚泥が9割以上、海洋投棄ではし尿浄化槽汚泥が6割以上、資源化量では工場汚泥(28社)が6割以上を占めていた。

汚泥の資源化では、肥料や土壌改良剤としての活用が



*1. () 内は、発生源間での処分量を差し引いた量を示す。

*2. 上段 : 上段は汚泥中P量 (t/年), 下段は汚泥量 (t/年) を示す。

図1 最終処分先別総汚泥量とP量

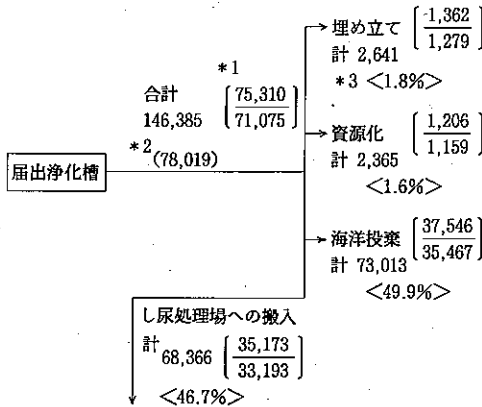
9割以上を占めている。

(2) 発生源別の排出汚泥量と最終処分先汚泥量 ア し尿浄化槽汚泥

し尿浄化槽汚泥は全体で146千t/年(含水率96~98%)発生し、公的団地し尿浄化槽汚泥量とその他(民間団地等)のし尿浄化槽汚泥量とは、ほぼ半々の量となっている(図2)。

表2に単位処理量(m³)当たりの発生汚泥量(kg)を示したが、公的団地浄化槽が3.1~4.4kgに対して、民間団地の場合(15団地平均)は2.4kgと小さく、汚泥発生量を低く抑えていることがわかる。また、個別に調査した43団地の結果によると、3~4kg/処理水量(m³)が一番多く、全体の約3割を占め、1~4kgでは全体の7割が含まれていた(図3)。水質汚濁防止法に基づく届出浄化槽の多くは、この程度の汚泥を出しているものと考えられる。

次に、最終処分先汚泥量をみると、総汚泥量のうち自前や業者渡しの資源化量は2%に過ぎない。しかし、し尿処理場搬入分(47%)は、し尿処理場で再度処理され、その一部は環境水に流出することになるものの、図4にみるとおりし尿処理場汚泥の資源化率が約7割と高いため、汚泥に再度移行したかなりの部分は肥料等に資源化されている。なお、し尿浄化槽汚泥の処分先は、施設の設定地域によっても異なり、多摩地域では浄化槽汚泥の



- *1. (上段/下段) : 上段は、公的団地汚泥量、下段はその他(民間団地等)の汚泥量を示す。
- *2. () 内はし尿処理場搬入分を除いた量を示す。
- *3. < > は構成比を示す。
- *単位: t/年

図2 届出し尿浄化槽排出汚泥量と最終処分先汚泥量

表2 団地し尿浄化槽汚泥中のP濃度と単位処理水量当たりの発生汚泥量

	P (kg) / 汚泥 (t) (平均値)	汚泥量 (kg) / 処理水量 (m ³) (平均値)
公 社 (26)	0.484	3.1
都 営 (118)	0.656	4.4
公 団 (25)	0.692	3.8
民 間 (15)	0.542	2.4

ほとんどはし尿処理場へ、区部では全て海洋投棄されている。

今回の調査によれば、多摩地域と区部の総汚泥量の50%は海洋投棄処分されていた。

イ し尿処理場汚泥

し尿処理場11からの排出汚泥量は、全体で19kt/年発生し、そのうち7割弱を肥料等に資源化しており、汚泥の有効活用が進んでいる(図4)。その他の処分先は、埋め立て処分が2事業場、海洋投棄1、下水処理場搬入

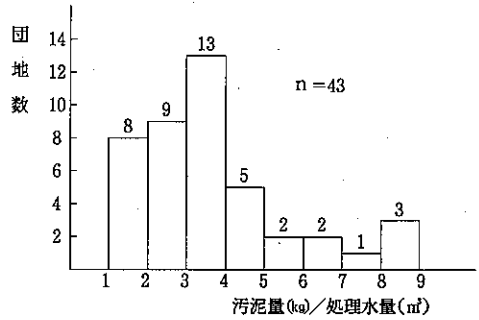


図3 団地し尿浄化槽の単位処理水量当たりの発生汚泥量分布

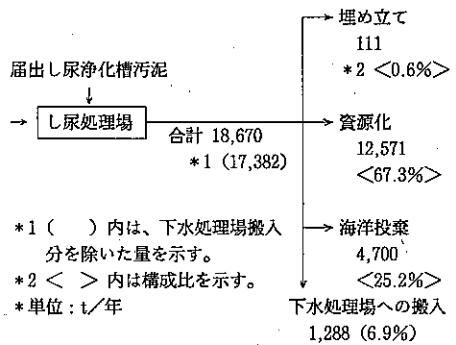


図4 し尿処理場排出汚泥量と最終処分先汚泥量

1にすぎず、し尿処理場間の連携を強化し、汚泥処理量の調整を行えば、全汚泥量の資源化を進めることも可能と考えられる。し尿処理場汚泥は、有害物の混入もほとんどなく、そのまま捨てるのは資源の浪費ともいえるし、環境保全上も決して好ましくない。

また、汚泥の処分のうち、自前処分しているものは少なく、業者渡しが圧倒的に多い。資源化の場合でも全資源化量のうち、自前で資源化しているのは17%に過ぎない。

ウ 下水処理場汚泥

図5にみるとおり、下水処理場からの排出汚泥量は、全体で338kt/年に達しているが、そのうち96%は埋め立て処分である。資源化量は8kt/年程度であり、有

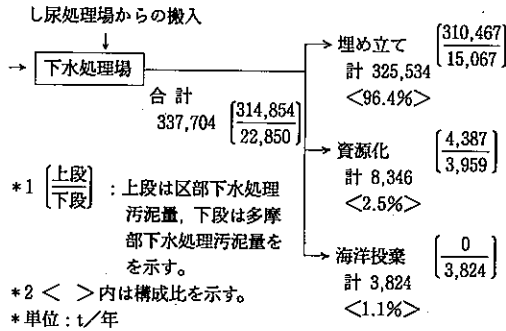


図5 下水処理場排出汚泥量と最終処分先汚泥量

効利用があまり行われていない。

一般に、下水処理汚泥は、工場排水等に起因する有害物の混入がみられる場合もあり、肥料等には活用しにくい面があるが、下水普及地域内に工場等の立地が少ない処理場では、汚泥を肥料として十分に活用できる。今回の調査でも、量的にはすくないが、資源化量のうち5割弱は多摩地域の下水処理場で肥料として、残りは路盤材等の建設材料に活用されている例がある。都下水道局でも下水汚泥の資源化を積極的にすすめているが、技術や費用等の面で課題も多い。区部下水処理汚泥量のうち、路盤材や細粒材等に活用している量は2%にも満たない。下水処理汚泥の排水量を区部と多摩部に分けてみた場合、区部下水処理汚泥量が全体の9割以上を占めており、そのほとんどは東京湾の埋め立て処分場に埋められている。

エ 工場排水処理汚泥

調査した28社の排水処理排出汚泥量と最終処分先汚泥量を図6に示した。28社全体で80千t/年発生し、そのうち約4割が資源化されており、比較的有効に活用されていることが分かる。資源化先としては、約9割が肥料や土壌改良剤として活用されているが、他にミミズの養殖や飼料、薬品製造等に幅広く再利用されている。

(3) 排出汚泥量とP, N量との関係

発生源別の排出汚泥中のP, N量とPの最終処分先別量を図1, 図7に示す。し尿浄化槽(個別し尿浄化槽を除く。), し尿処理場, 下水処理場, 工場(28社)から合計7,300t/年のPが発生し、そのうち汚泥に4,100

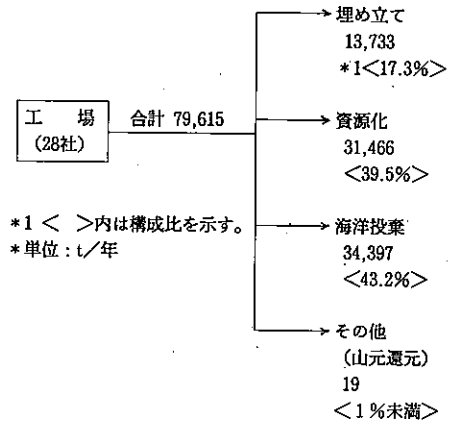
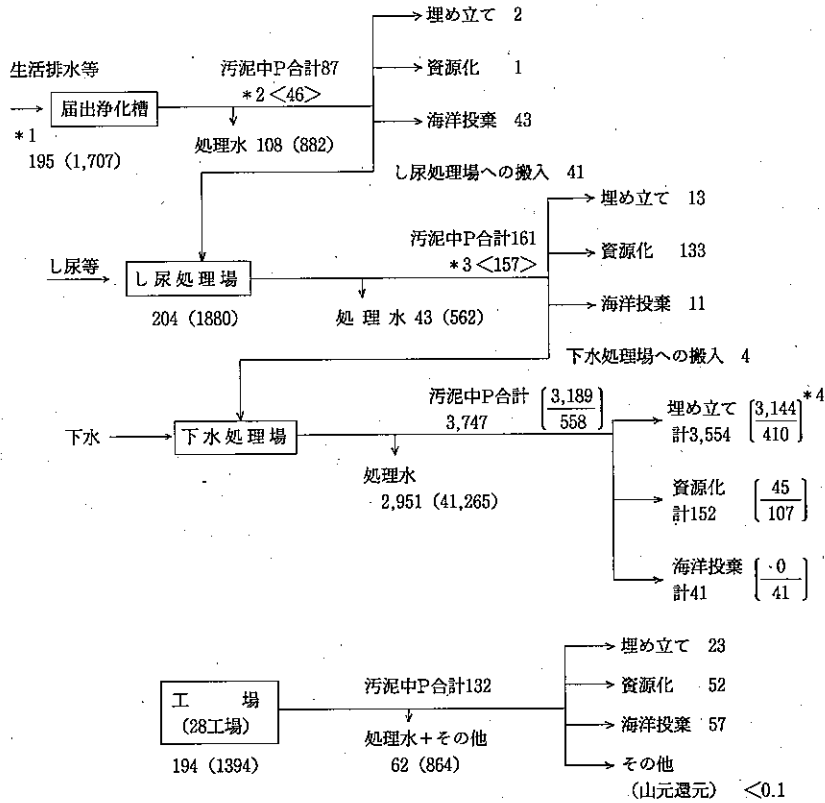


図6 工場(28社)の排水処理汚泥排出量と最終処分先汚泥量

t/年と約5割以上が移行し、残り3,200t/年が処理水に含まれて環境水中に排出されている。すなわち、現在の処理状態でも5割以上のPが排出処理過程で汚泥中に取り込まれて除去されていることになる。次に、今回の調査結果から発生源別汚泥1t当たりのP量を計算すると、し尿浄化槽汚泥0.6kgに対して、し尿処理場汚泥8.6kg, 下水処理場汚泥11kgと後二者の値が高い(表3)。下水処理場汚泥のP量が多いのは、汚泥中に占める焼却灰の比率が高いこと、また、し尿処理場汚泥では、処理対象の生し尿や浄化槽汚泥のP含有率が高いこと等が影響しているものと考えられる。また、これらの値は平均値であるため、実際の個々の処理施設によっては、これよりも高い値になる場合もある。例えば、嫌気-好気法等の生物学的脱りん法や凝集沈澱法等の処理方式を採用している処理施設では、汚泥中のP量は上記値の数倍にも達する。

このようにPを多量に含む汚泥は、極力肥料等に資源化し、活用していくことが省資源や東京湾等の富栄養化防止の面からも重要な課題となる。しかし、現在の最終処分先別のP量をみると(図1)、全P量のうち、埋め立てで8割以上も処分しており資源化量は1割にも満たない。一方、N量については、合計で73千t/年発生し、そのうち約6割が汚泥や大気中に移行している。Nの場合、処理過程での脱窒や汚泥焼却に伴うガス化により大



- *1 P (N) 量, (単位: t/年) 以下同じ
- *2 < >内は, し尿処理場搬入分を除いた量
- *3 < >内は, 下水処理場搬入分
- *4 (—)の上段は区部下水処理汚泥中P量, 下段は多摩部下水処理汚泥中P量を示す。

図7 発生源別排出汚泥中のP、N量とPの最終処分別量

気中へ拡散する量も多いと考えられる。

(4) 発生源別の排出汚泥量とP、N量との関係
ア し尿浄化槽汚泥

表3 発生源別排出汚泥中のP濃度

	P(kg) / 汚泥(t)
し尿浄化槽	0.59
し尿処理場	8.6
下水処理場	11.1
工場(28工場)	1.7

し尿浄化槽汚泥中のP量は, 全体で87t/年であるが, そのうち公的団地し尿浄化槽汚泥中のPが5割以上を占めている(図7)。処分先別P量は, 汚泥の処分比率で配分してあるが, し尿浄化槽汚泥の場合は, 特に焼却をしていないため汚泥性状はほぼ均一とみられることから, Pの配分に大きな間違いはないと思われる。

また, P量の約4割強は汚泥の処分に伴ってし尿処理場に搬入されるため, 一部のPは環境水に流出するが, し尿処理場での汚泥中のPの資源化率が8割と高いため(図4), 汚泥に移行したPのかなりの部分が回収されているものと考えられる。ただし, 汚泥からの正確な流出量の把握は今後の課題である。なお, 今回の調査結果から, 単位汚泥量(t)当たりのP量(kg)を計算すると,

0.48~0.69kgの範囲にあり、公団団地のし尿化槽汚泥が一番大きい値を示している(表2)。

同様に、個別調査した40団地し尿浄化槽汚泥(図8)についてみると、0.3~0.5kg/tの範囲に団地の約4割が、0.3~0.9kg/tでは8割の団地が含まれ、一般的に、0.3~0.9kg/tあたりが団地汚泥のP含有量と考えられる。

Nについては、17kt/年の発生量に対して、約5割弱が汚泥や大気中に移行している。

イ し尿処理場汚泥

し尿処理場では、発生P量の約80%が汚泥に移行しており、他のし尿浄化槽汚泥45%、下水処理場汚泥56%、工場汚泥(28社)68%に比べて、汚泥へのPの転換率が高い(図7)。これは、発生P量の計算に用いた単独浄化槽汚泥のP原単位を高目にみたことと、一部の処理場で凝集剤を用いた高度処理が行われていることによるものと考えられる。

汚泥の処分先別P量をみると、資源化されているP量が全体の80%以上を占め、Pの有効利用が目立つ。特に、し尿処理場汚泥の場合、下水処理汚泥と同様に、焼却灰の割合が約2割と高い。

焼却灰と脱水汚泥ではPの含有量に大きな差がある。某市下水処理場の例では、焼却灰は脱水汚泥に比べて約16倍のPを含有していた。焼却灰の比率が高い資源化汚泥の場合、汚泥1t当たり14.4kgであり、海洋投棄する脱水汚泥4.5kgと比べて3倍以上のPを含有していた。

Nについては、1,900t/年の発生量に対して7割が汚

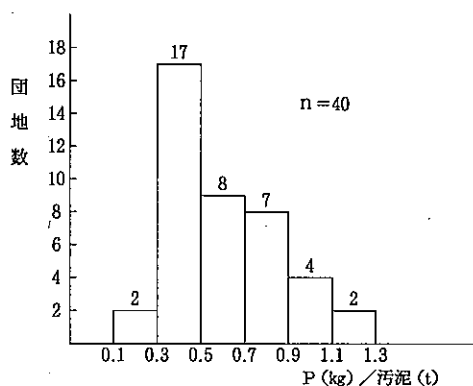


図8 団地し尿浄化槽汚泥中のP濃度分布

泥や大気中に移行している。

なお、脱水汚泥や焼却灰等、汚泥の形態別による正確なP、N量については来年度調査する予定である。

ウ 下水処理場汚泥

下水処理場では、発生P量6,700t/年の約56%(3,700t/年)が汚泥中に移行しているが(図7)、そのうちの85%は区部の下水処理場から発生している。区部、多摩地域を合わせると、汚泥中のP量の95%は埋め立て処分しており、水環境への流出が懸念される。

Nについては、68kt/年の発生量に対して、約4割が汚泥や大気中に移行している。今回調査したT市下水処理場の例でみると、汚泥焼却と処理過程での脱窒により、発生N量の8割弱が大気中に拡散している計算になる(図9)。この値は、限られたデータから算出したものであるため、一般的な値とは言いにくい、かなりのNが大気中に放出していることは確かである。今後、さらにデータを積み重ね、正確な量を把握していくことが必要である。

エ 工場排水処理汚泥

28工場では、発生P量の約7割が排水処理汚泥に移行しているが、そのうち、資源化で4割、海洋投棄で4割強が処分されている。

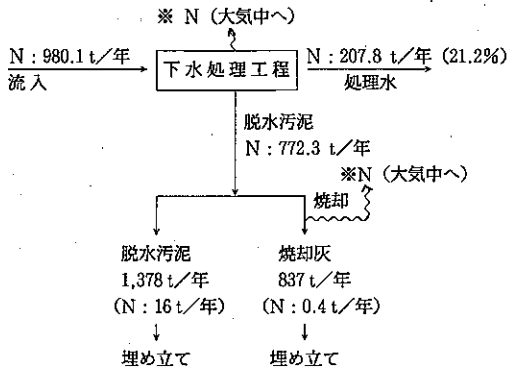
Nについては、28工場合計で1,400t/年発生し、そのうち約4割弱が汚泥や大気中に移行していると算出された。

P、Nの回収が良好な例として、M乳業工場のP、N負荷量収支をみると、流入P量の7割弱、N量の6割強が汚泥に移行している(図10)。しかも、排出汚泥は全て肥料や飼料として活用されているため、汚泥に移したPが再び環境水中に戻る率は、極めて低いと推定される。

(5) 東京湾流域内での汚泥の処分量とP量

東京湾の富栄養化という視点から考えると、汚泥中のPが、どの程度東京湾流域内で処分されているかを把握する必要がある。発生源別汚泥の最終処分地を表4に示したが、いずれも少なからず他県に依存している。特に、工場の場合、28社のみ調査にもかかわらず、汚泥の最終処分先は1都15県にも及んでおり、処分のほとんどを他県に依存しているのがよくわかる。

次に、東京湾流域内及び都内での汚泥処分量とそれに伴うP量を表5に示す。発生源別の都内処分量をみると、下水処理汚泥の区部埋め立て処分量が大きく寄与して、



※ N (大気中へ拡散) 量 : 755.9 t/年 (流入の80%弱)

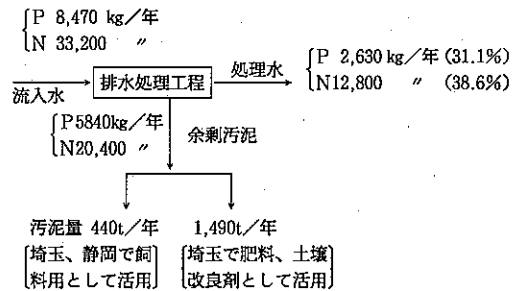
図9 T市下水処理場のN負荷量の収支

全汚泥量の約60%, 全P量の87%が都内で処分されている。しかし、区部で発生する下水処理汚泥を除くと、都内での処分量は、汚泥量で全体の2%, P量で11%まで減少し、他県への依存度が極めて高くなる。

また、東京湾流域内での処分量では、全汚泥量の約62%, 全P量の約90%を占める。都内処分量と同様、区部の下水処理汚泥量が大きく影響しており、これらを除くと、汚泥量の2%, P量の12%弱が東京湾流域内で処分されていることになり、その何%かは東京湾に流出する可能性を秘めているわけである。

区部の下水処理汚泥のほとんどを埋め立て処分している東京湾の埋め立て処分場では、浸出水を処理するため凝集沈澱法等を組み込んだ処理施設を場内に設けて処理した後、その処理水を再度下水処理場で処理している。この場合のP, Nの流出量を試算してみる。5,000m³/日の浸出水をP濃度0.5mg/l, N濃度300mg/lまで処理した場合、下水処理場への返送P, N量は、それぞれ0.9t/年, 548t/年である。下水処理場で0.9t/年の56%, 548t/年の60%が汚泥や大気中に移行したとすると、Pで0.4t/年, Nで329t/年が水環境中に排出される計算になる。この量は、Pでは2,700人規模の住宅団地し尿浄化槽の排出量に、Nでは小規模な市の下水処理場の排出量に匹敵する量である。

また、し尿浄化槽及びし尿処理場では、排出汚泥を他県での肥料等への資源化とC海域の海洋投棄で、全体の9割以上を処分しているため、東京湾流域内でのP処分量は非常に少ないものと考えられる。



※ 排水処理工程で脱窒が起こらないとして計算した。

図10 M乳業工場のP, N負荷量の収支

28工場では、汚泥の処分に伴って全体の2割以上のP量が東京湾流域で処分されていた。

4 まとめ

今回の調査から、排出汚泥量とP, N量に関して次の諸点が明らかになった。

- ① 排出汚泥量はし尿浄化槽(個別し尿浄化槽及びし尿処理場搬入分を除く。), し尿処理場(下水処理場搬入分を除く。), 下水処理場から合計で433千t/年, これに工場(28社)を加えると, 513千t/年が排水等の処理過程から排出されていた。
- ② 最終処分先別汚泥量では, 埋め立てが全体の7割弱, 海洋投棄が約2割, 資源化が約1割であった。これらのうち, 埋め立て量では下水処理汚泥が9割以上, 海洋投棄量ではし尿浄化槽汚泥が6割以上, 資源化量は工場汚泥(28社)が6割以上を占めていた。
- ③ 汚泥の資源化では, 肥料や土壌改良剤としての活用が9割以上を占めていた。
- ④ 汚泥の最終処分地は, し尿浄化槽汚泥(公的団地と民間15団地分)の場合が1都3県に, し尿処理場汚泥は1都5県に, 下水処理場汚泥は1都5県に, 工場(28社)汚泥は1都15県に及んだ。
- ⑤ Pはし尿浄化槽(個別し尿浄化槽を除く。), し尿処理場, 下水処理場, 工場(28社)から合計で7,300t/年が排出され, そのうち汚泥に4,100t/年と5割以上が移行していた。Nについては, 同様に合計で73千t/年が排出され, そのうち約6割が汚泥や大気中に移

表 4 発生源別排出汚泥の最終処分地

	埋立て	資源化	海洋投棄	し尿処理場	その他	合計
※ し尿浄化槽	千葉(1)	長野(2) 新潟(1) 都内(1)	C海域 (区部の 団地は全て)	多摩の団地は資源 化(4)を除き全て	—	1都3県
し尿処理場	都内(1) 千葉(1)	長野(1) 茨城(1) 埼玉(3) 山梨(2) 都内(2)	C海域 (1)	—	—	1都5県
下水処理場	千葉(7) 福島(1) 岐阜(2) 神奈川(2) 都内(1)	都内(1) 山梨(2)	C海域 (1)	—	—	1都5県
工場 (28)	福島(5) 神奈川(3) 千葉(4) 群馬(2) 埼玉(1) 愛知(1) 山形(1) 富山(1) 静岡(1)	静岡(2) 埼玉(4) 都内(1) 千葉(3) 栃木(2) 茨城(1) 長野(2) 神奈川(1) 山梨(2) 群馬(1)	C海域	—	(山元還元) 大分(1) 宮城(1)	1都15県

- ・()内は事業場数・処分が複数県にまたがる場合は、ダブル計上している。
- ・※水質汚濁防止法に基づく届出し尿浄化槽(全公的団地及び民間15団地分)

表 5 東京湾流域内及び都内での汚泥処分量とP量

	東京湾流域(東京、千葉、埼玉、神奈川)				東京都内			海洋投棄 (C海域)		全 体 量 t/年	
	汚泥量(t/年)		P量(t/年)		汚泥量(t/年)		P量 (t/年)	汚泥量 (t/年)	P量(t/年)	汚泥量 (t/年)	P量(t/年)
	埋め立て	資源化	埋め立て	資源化	埋め立て	資源化					
し尿浄化槽	1,362	84	1	<1	0	84	<1	73,014	44	146,385 (78,019)	87 (47)
し尿処理場	111	2,500	13	76	52	1,640	61	4,700	11	18,670 (17,382)	161 (157)
下水処理場	311,883	925	3,537	11	(多摩部) 1,230 (区部) 310,467	5,319	3,523	3,824	41	337,704	3,747
工場 (28工場)	2,724	4,620	23	8	0	t	t	34,397	57	79,615	132
合計	316,080	8,129	3,574	95	311,749	7,043	3,584	115,935	153	582,374 (512,720)	4,127 (4,082)

- ・()内は、し尿処理場、あるいは下水処理場搬入分を除いた量である。

行している。

⑥ 今回の調査から発生源別汚泥 1 t 当たりの P 量を計算すると、し尿浄化槽汚泥 0.6kg、し尿処理場汚泥 8.6kg、下水処理場汚泥 11kg、工場 (28社平均) 1.7kg であった。

⑦ 都内での最終処分量をみると、全汚泥量の約 60%、全 P 量の約 87% となる。しかし、区部の下水処理汚泥分を除くと、汚泥量で全体の 2%、P 量で 11% が都内で処分されているにすぎない。東京湾流域では、全汚泥量の約 62%、全 P 量の約 90% を占めるが、同様に区部の下水

処理汚泥を除くと、それぞれ 2% と 12% が東京都流域内で処分されている。

今後は、埋め立て処分場からの P、N 流出量やし尿処理場での汚泥焼却等による P、N の挙動を調査し、汚泥の処理処分に伴う P、N の環境への回帰量を明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) 東京都下水道局：東京都下水道事業年報 (62年度)。