

## 適材適所の環境技術 屎尿処理

—環境の視点からの屎尿処理技術の評価—

中村 修 (長崎大学環境科学部)

小林 将也 (長崎大学大学院環境科学研究科)

三浦 真慈 (長崎大学大学院環境科学研究科)

石崎 勝義 (長崎大学環境科学部)

田中 宗浩 (佐賀大学農学部)

Environmental technology and night-soil treatment of putting the right things in the right place -Evaluation of night-soil treatment technology from the perspective of the environment-

Osamu Nakamura, Masaya Kobayashi, Shinji Miura,  
Katsuyoshi Ishizaki and Munehiro Tanaka

Environmental Technology and Night-soil Treatment of Putting the Right Things in the Right Place-Evaluation of Night-soil Treatment Technology from the Perspective of the Environment -

Modern technology has developed in an effort to achieve the efficiency (Reduction of time and costs) of production. The Night-soil Treatment, one of the technologies of environmental conservation, has also developed with an aim to speed up processing and miniaturizing the capacity of the reactive layer. As a result, the processing power has improved but the construction and maintenance costs of the facilities have grown, and the energy consumption for processing has increased substantially.

Given these factors, I have conducted a survey concerning 12 night-soil treatment facilities in Nagasaki Prefecture and the organic liquid manure production facilities of Shiida-Machi, Fukuoka Prefecture, and evaluated the night-soil

treatment from such environmental perspectives as environmental burden, energy costs and material recycling. As a result, it became evident that a technology that was deemed old fashion affords low maintenance costs and minimal environmental burden

### はじめに

本稿では、環境を保全する技術の一つである屎尿処理をエネルギーコストや物質循環という環境の視点から評価する。

生産技術発展の一つの方向性として、時間の短縮、効率化、小型化がある。環境を保全する屎尿処理技術も生産の技術同様に処理の迅速化、反応槽容量の縮小化といった効率化、高度化を目指して発展してきた。その結果、処理速度は速くなり、効率よくなったが、一方で処理に大量のエネルギーを消費し、高いコストがかかるようになった。

しかも、あいかわらず屎尿処理に伴って発生する汚泥の問題は根本的には解決されていない。発生する汚泥のほとんどは、海洋投棄や焼却処理され、新たな汚染源となっている。

現在、屎尿処理に伴って発生する汚泥は、全国で約60%が有効利用されていることになっている<sup>1)</sup>。

受領年月日 2003 (平成15) 年 5月29日

受理年月日 2003 (平成15) 年 8月20日

「有効利用」という表現にはなっているが、その利用の内訳は十分なものではない。

尿処理施設から発生する汚泥の有効利用の内訳が見当たらなかったため、下水汚泥の資料を参考にすると、図1のように下水汚泥も尿汚泥同様に約60%が有効利用されていることになっている。しかし、図2のように有効利用の内訳は緑農地での利用が15%で、残りは建築資材、陸上埋め立てに使用されており、循環利用されているわけではない。

皮肉な言い方をあえてすれば、現代の尿処理技術は、当面の尿尿は効率よく処理されているが、エネルギーを大量に消費することで、汚泥という新たな污染源に「変換」しているにすぎない。

一方、古くて効率が悪いとみなされてきた技術であっても、原理が単純であるがゆえにメンテナンスが容易、維持管理費が安く、環境負荷も小さいというメリットがある。

例えば、福岡県椎田町では尿尿を酵素の添加と簡単な曝気だけで処理している。処理された尿尿は液状の肥料として水田で利用されている。ここでは、

エネルギー消費も処理コストも小さい。さらに、汚泥は農地で液肥として循環利用されているため、廃棄物の発生や資源の消費はきわめてすくない。

尿処理という環境保全の技術だからといって、エネルギーを大量に消費し汚泥を発生させるのであれば、環境の技術としては不十分ではないのか。環境の技術の発展の方向は、当面の処理の効率化とは異なる別のところにあるのではないのか。

本稿は以上のような視点に立って、長崎県内の尿処理施設12箇所と福岡県椎田町有機液肥製造施設についてアンケート調査を実施し、様々な尿処理技術におけるエネルギーコスト、物質循環、ランニングコストを考慮した比較をおこなった。

### 1.尿処理の現状

尿尿の流れは水洗と非水洗とに大別される。環境省の資料によると、平成12年度における全国の尿処理形態は、公共下水道人口7120万人（56.2%）、浄化槽人口3450万人（27.2%）、非水洗化人口2100万人（16.6%）となっている<sup>4)</sup>。

長崎県に目を向けると、公共下水道が県の人口の31.2%を占め、浄化槽人口17.7%、非水洗化人口47.6%となっている<sup>5)</sup>。

### 2.尿処理の技術<sup>6)7)</sup>

尿処理施設は、生物処理、物理化学処理、高度処理、汚泥処理等といった技術を有効に結びつけて処理をおこなっている。現在、多くの処理技術が開発されているが、それらの中から今回調査した尿処理場で用いられている技術を中心に紹介する。

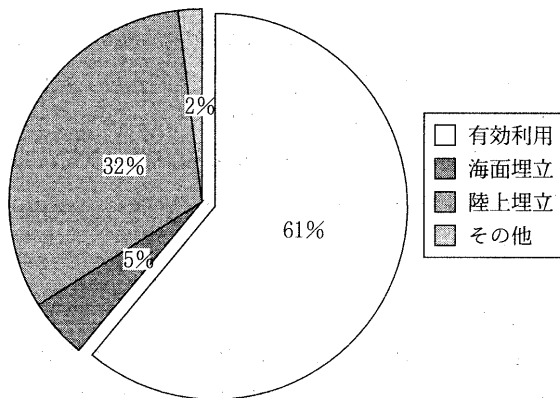


図1. 下水汚泥の処分状況<sup>2)</sup>

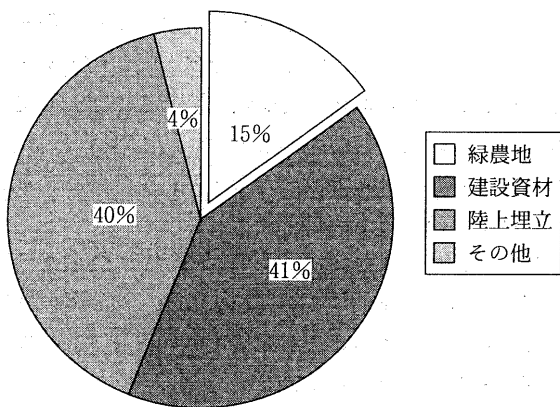


図2. 下水汚泥の有効利用用途<sup>3)</sup>

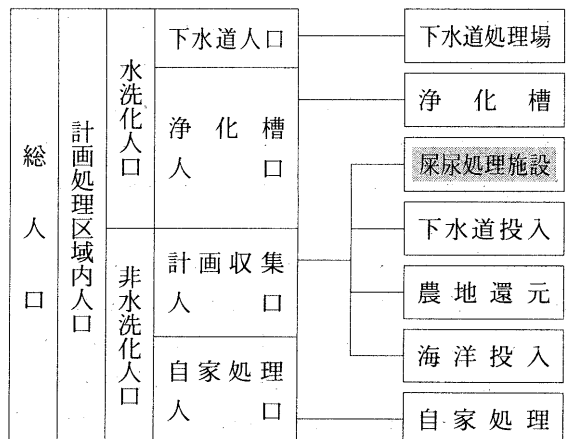


図3. 尿処理の流れ

・嫌気性消化方式

メタン発酵法とも呼ばれ、密閉したタンク内で嫌気性微生物群の代謝作用によって有機性汚泥などを酢酸等に分解し、さらにメタン、二酸化炭素などにガス化する処理法である。これは1%以上の高濃度の有機物を含む汚水を処理する場合に経済性が高いといわれる。

・好気性消化処理

し尿を長期間ばっ気することによって、好気性微生物の活性を高め、その代謝作用によって有機物が分解される。ばっ気を停止させると、フロックを作り有機性浮遊物が沈降する。この原理を一次処理の工程に用いた方式が好気性消化処理である。

・標準脱窒素方式

この方式では生し尿を低希釈(10倍以下)で処理し、脱窒素槽で生成するアルカリを硝化槽の中和剤として利用し、脱窒素槽の水素供与体としてメタノールの代わりにし尿のBODを利用する。

この方式はBODと窒素を同時に除去することが可能である。また、メタノールの使用が大幅に削減でき、アルカリが不要となるなどの利点があるために普及している。

・高負荷脱窒素処理

高負荷処理技術を生物的硝化脱窒素法へ応用した処理法である。高負荷反応槽に好気的な工程と嫌気的雰囲気槽の工程を設けることによって硝化脱窒素を行う。この処理方式ではし尿を無希釈で処理することによって、BOD、SS、窒素、リンを除去することが可能である。さらに、標準脱窒素方式に比べて反応槽の容量は1/5~1/3で処理可能である。

・膜分離高負荷生物脱窒素方式

この方式は高負荷脱窒素方式の固液分離工程や凝

集分離装置に限外ろ過膜や精密ろ過膜を使用した方式である。

限外ろ過膜(UF: Ultra Filtration Membrane)はイオンや分子量の小さなものは通すが、分子量の大きなものは阻止する。0.1~1 $\mu$ mの微生物は完全にろ別することが可能である。

精密ろ過膜(MF: Micro Filtration Membrane)はUFよりも1桁粗い細孔を有する膜であり、0.1 $\mu$ m以上の浮遊物を阻止する。

・二段汚泥法

二次処理工程でBOD除去を行った後に、三次処理として硝化・脱窒工程を設ける方式である。硝化槽と脱窒素槽は1つの系統で汚泥が循環する方式である。

・活性汚泥法

二次処理に用いられる最も代表的な処理技術が活性汚泥法である。ばっ気槽の中に流入した有機物を微生物の働きによって処理する。ばっ気槽でエアレーションをおこなうことで好気的な状態を作り出し、好気性微生物の活性を高めることによって処理を効率化させている。ばっ気槽で処理された汚水は沈殿槽で上澄み液と沈殿物とに分離される。上澄みが処理水として放流され、沈殿物の一部は返送汚泥としてばっ気槽に戻され、残りは余剰汚泥として処理される。返送汚泥は処理能力を維持するために重要な役割を担っている。

3.尿尿処理におけるエネルギー、コスト比較

3-1従来の研究手法と本研究の位置づけ

残念ながら、本稿のような視点での先行研究をさがすことはできなかった。

技術評価という意味では、尿尿処理ではないが、排水処理システムの技術評価に関する先行研究としてLCAを用いた以下のようなものがある。

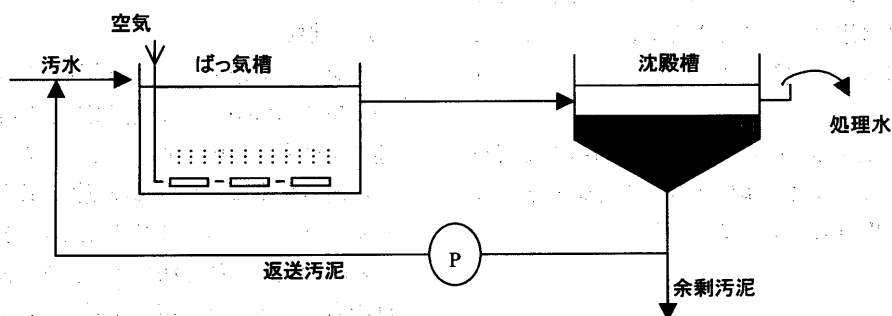


図4. 活性汚泥法のフロー図

霧巻の「LCA手法を用いた排水処理の評価手法に関する研究」では環境負荷量について相違する環境カテゴリーを同一の次元で比較できる評価指標を導入し、下水処理場に適用している<sup>9)</sup>。また、楠本の「LCAによる排水システムの環境影響評価」では従来からの3次処理システムと、新しく提案されている植物の浄化作用を利用して排水処理を行う水耕栽培方式が比較されている<sup>9)</sup>。

鈴木の「公共下水道と浄化槽の経済性比較」は人口集中が中間的な地域において、下水道や合併浄化槽をどのように組み合わせればもっとも大きい投資効果が得られるか、経済性に及ぼす影響の大きい要因が抽出されている<sup>10)</sup>。

このように、一つの施設、あるいは二者の比較は既往の研究に見られるが、エネルギーや物質循環という視点で、処理技術全体を比較検討した研究は見当たらなかった。

そもそも、技術者あるいは専門分野に特化した科学研究者は自分の狭い範囲のフィールドを対象に限定して論じるという研究手法に慣れている。専門に隣接したフィールドであっても批判や評価を避けるのが研究者の手法の「常識」になっている。

しかし、このような研究手法では個別の技術が全体の位置づけの中でどのような発展を目指しているのか、あるいは、技術全体としてどのような可能性と課題を抱えているのか、という視点を失うことになりかねない。

例えば、過去、生産の技術が過度に目先の経済性を追求した結果、適切な廃棄物処理を怠り環境問題を発生させたことは、繰り返すまでもない。それは個別の生産技術の課題ではなく、生産技術全体を覆っていた「発展」の方向性に問題があった。

同様に、環境を保全する技術だからといって、その技術がすべて「正しい」方向に向かっていると限らない。

このような視点を持って環境の技術を評価することは、従来の理系、文系、専門性という概念に縛られた研究者には思いつくことさえできなかったことである。それゆえ、類似の先行研究は存在していなかった。

科学技術の全体の方向性を見渡して個別の技術を評価するという意味で、本研究は科学史研究という手法・視点も取り入れている。

### 3-2 方法

長崎県下のし尿処理場、及び福岡県椎田町の液肥

製造センターに対して、以下の項目についてアンケート調査を実施した。

調査時期：2002年7月

調査方法：し尿処理場に対して、電話連絡後、アンケート用紙を送付して回答を収集。

調査対象の選定方法：長崎県下全てのし尿処理場を対象にしようとしたが連絡がつかない施設もあり、回答を得られた12施設についてまとめた。なお長崎県下にし尿処理場は全部で39箇所ある。

質問内容：し尿処理のフロー及びし尿処理に関わる水使用量、電力使用量、電気代、電力以外でのエネルギー消費（主に汚泥の焼却に用いられる重油）、し尿の処理量、浄化槽汚泥処理、汚泥発生量、処理量1klあたりのランニングコスト、一人あたり処理費用、排水量、排水の水質（窒素、リン、BOD、COD、大腸菌群数）、年間稼働日数、計画処理人口について聞いた。参考資料としてアンケート用紙を添付する。

データの算出方法は以下の①～⑧のとおりである。

- ①ランニングコスト：(電力費+重油費+薬剤費) ÷ 処理量 (円/k l)
- ②処理能力；アンケート結果の値をそのまま利用
- ③エネルギー消費量；消費電力 ÷ 処理量(KL)
- ④二酸化炭素排出量；消費電力 × 二酸化炭素排出係数
- ⑤水資源消費量；水使用量 ÷ 処理量(KL)
- ⑥T-N,T-P排出量；アンケート結果の値をそのまま利用
- ⑦BOD,COD排出量；アンケート結果の値をそのまま利用
- ⑧汚泥発生量；汚泥発生量 ÷ 処理量(KL)

#### 3-2-1 結果

アンケート結果の一覧表を次項に示す。電力、水使用量の項目からは高負荷処理、標準脱窒素処理が他の処理方式に比べて高いということが分かる。

汚泥の発生に関しては好気性二段階処理が低い値を示したが、その他の処理方式は同様の値を示している。汚泥の処理方法では、農地還元を行っている施設もやや見られるが、大部分は焼却後、埋め立てといった方法に拠っている。

A	高負荷脱窒素処理
B	標準脱窒素処理+高度処理
C	高負荷脱窒素処理方式+膜分離方式
D	嫌気性消化処理+活性汚泥処理+凝集沈殿方式
E	二段活性汚泥処理方式
F	液肥化処理

表1. アンケート結果一覧

\*の単位はm<sup>3</sup>  
 ※は平成12年度のデータ

	水使用量	電力使用量	電力以外のエネルギー消費	電気使用による二酸化炭素排出量	し尿の処理量	浄化槽汚泥処理量	総処理量	汚泥発生量	窒素	リン	BOD	COD	計画処理人口	処理量当りの水使用量	処理量当りの電力使用量	処理量当りの二酸化炭素排出量	処理量当りのランニングコスト	汚泥の処理方法	
																			単位
	相川処理場	6742	815883	77906 (重油)	291270	7472	3205	10677	366	11.2	0.69	3.9	5.5	12492	0.631	76.4	27.3	2741	焼却
	北松南部浄化センター	8681	1776300		634139			39262		5.3	0.13	1	20.8	50661	0.221	45.2	16.2	2116	堆肥化+海洋投棄
A	対馬中部クリーンセンター	7465	404478	82300	144399	3576	1325	4902	*14134	18.8		3.7	61	7570	1.523	82.5	29.5	3702.2	焼却
	長崎半島浄化センター	8884.7	1475418	123600	526724	9919	4641	14560	912	9.1	0.1	2	9.6	25000	0.610	101.3	36.2	2976	焼却
	深江浄化センター	17211	391440	55928	139744	7182	2488	9670	400	39.9	0.06	1.3	9.2	13598	1.780	40.5	14.5	1912	焼却
	大村市清掃センター	8245	1161960		414820	19667		19667	454	44.9	0.01	3.49	1.93	11831	0.419	59.1	21.1	5561	焼却
B	長崎市クリーンセンター	2170	7174343		2561240			14558	972	9.1	0.1	2	9.6	25000	0.149	492.8	175.9	9918	堆肥化施設へ
	南高南部組合し尿処理施設	126265	1647055		587999	24896	4776	29672	784	5.46	0.39	2.13	18.1	43378	4.255	55.5	19.8	1774	焼却
C	小浜クリーンセンター	3360	1046508		373603			17938	607	12.6	0.1	2.1	8.9	21398	0.187	58.3	20.8	1904	焼却
	平戸市総合衛生センター	4283	818656		292260	14050	5922	19972	7418	19	0.37		34.2	25000	0.214	41.0	14.6	1350	焼却
D	轟クリーンセンター	34442	1114506	106855	397879	83827	12697	96524	12691	47	3	7.1	16	82107	0.357	11.5	4.1	1273	焼却
E	対馬北部衛生組合					5914	902	6816	61※					9710				4210	農地還元
F	椎田町	1261	471642		168376	9473	2033	11506						12292	0.110	41.0	14.6	3012※	

	処理量当りの水使用量	処理量当りの電力使用量	処理量当りの二酸化炭素排出量	処理量当りのランニングコスト
a 平均	0.864	67.5	24.1	2689
b 平均	2.203	274.2	97.9	5846
c 平均	0.201	49.7	17.9	1627
d 平均	0.357	0.1	4.1	1273
e 平均				4210
椎田町	0.110	41.0	14.6	845

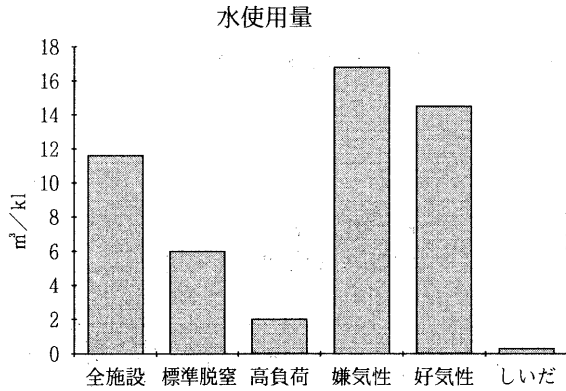


図5. 水使用量比較

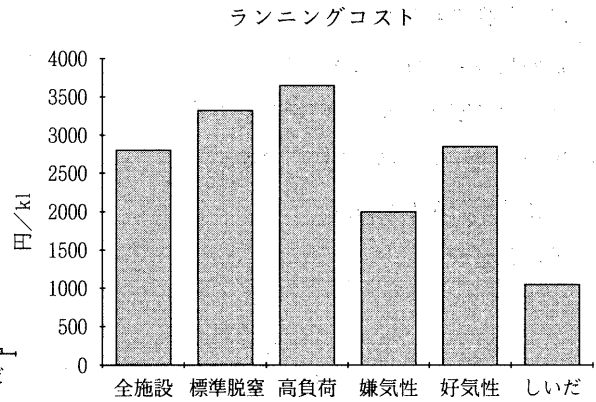


図7. ランニングコスト比較

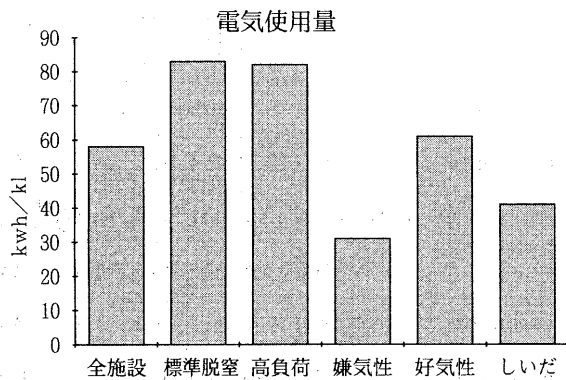


図6. 電気使用量比較

排水に含まれるT-N、T-PおよびBOD、CODの数値では、高負荷処理および標準脱窒素処理の値が他の処理方式に比べて優れている。

### 3-2-2 液肥製造センターとの比較

水使用量、電気使用量およびランニングコストの比較である。ここでのデータは日本環境衛生センター所報によった<sup>11)</sup>。これによると、椎田町で行われている有機液肥化処理が他の処理方式に比べて非常に優れた値を示している。

## 4 適材適所の環境技術

「Small is Beautiful」のなかでシューマッハは中間技術あるいは適正技術という概念を提示して、高度な技術ではなく、地域の文化に応じた適正な規模の技術こそがより有効に働く、ということを論じた<sup>12)</sup>。

尿処理技術に関していえば、嫌気性消化方式から好気性消化処理、高負荷脱窒素処理膜分離技術といったように処理の高速化、反応槽の小型化を目的として発展してきた。

いまや過去の技術と考えられている嫌気性消化方

式は施設が大きい、臭気対策がとりづらといった理由から近年はほとんど新設されなくなった。しかし、今回のアンケート調査から、維持管理費が安価でエネルギー消費量も少ないということが明らかになった。

またローテクとみなされている福岡県椎田町の液肥製造センターでも、設備投資が安く、ランニングコストも低い。しかも、ここでは得られた液肥の農業への有効利用も実践されており、循環型社会という視点で見れば大きなアドバンテージがある。

さて、本稿では効率の良い技術をすべて否定しているわけではないし、古いといわれている技術をすべて肯定しているわけでもない。

確かに、古い技術よりも高度な技術の処理効率は極めて高い。その点だけを見て、高度な技術の方が昔の技術よりも優れている、という単純な「技術信仰」があったのではないだろうか、というのが本研究のスタートである。

調査の結果、効率の良い処理技術はコストも高く、エネルギーの消費も大きかった。ただし、処理量が多く、土地価格も高い都市部では有効な技術であるとする。

一方、椎田町の液肥化技術は、ローテクでコストも安く、エネルギー消費量も少なかった。なにより物質循環という意味において、処理液が液肥として水田で利用されていることは、高く評価されてもいいだろう。

多くの尿尿処理場において、発生する汚泥の処理が大きな課題となっている現在では、椎田町の事例は、循環という意味においてきわめて優れた技術として高い評価を与えることができる。

水田をかかえる農村部においては、コストも安くエネルギー消費量も少なく、なおかつ有機肥料として循環利用できる、椎田町の技術は適正技術として評価される。

本稿では「最も優れた尿尿処理技術」を求め、論じたわけではない。そうではなく、社会背景や地域性によって、多様な尿尿処理技術は、多様に評価されるべきである。つまり、環境の技術というのは、その地域性を反映した「適材適所」を追求すべきである、というのが本稿の一つの結論である。

なお、本稿は2002年度環境省廃棄物処理等科学研究費「食品リサイクルにおける社会技術の開発・研究」(代表研究者 中村修)の成果の一部である。

#### 参考文献

- 1) 環境省：日本の廃棄物H11年度実績データ、1999.
- 2) 日本下水道協会：下水汚泥の処分状況、2000.
- 3) 国土交通省資料：日本の下水道、2000.
- 4) 環境省：一般廃棄物基礎データ、2000.
- 5) 長崎県県民生活環境部廃棄物対策課：一般廃棄物処理の現況、1999.
- 6) 金子光美：生活排水処理システム、技報堂出版、1998.
- 7) 福田文治：初歩から学ぶ水処理技術、工業調査会、1999.
- 8) 鶴巻峰夫 他：LCA手法を用いた排水処理の評価手法に関する研究、土木学会論文集No.643、pp.11-20、2000.
- 9) 楠本茂人 他：LCAによる排水処理システムの環境影響評価、長崎大学工学部研究報告、pp.229-235、2000.
- 10) 鈴木利治：公共下水道と浄化槽の経済性比較、公共事業研究第53巻第3号、pp.59-66、2001.
- 11) 岡崎貴之 他：し尿処理施設の精密機能検査に見る運転実績の現状について、日本環境衛生センター所報第28号、pp.81-97、2001.

- 12) E・F・シューマッハー：スモール イズ ビューティフル、講談社学術文庫、1986