

琵琶湖集水域における下水道終末処理場の マテリアルフロー解析

石本 貴之¹・井手 慎司²

¹ 滋賀県立大学大学院 環境科学研究科 博士前期課程(〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500)
E-mail: t13tishimoto@ec.usp.ac.jp

² Ph.D. 滋賀県立大学助教授 環境科学部環境計画学科(〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500)
E-mail: ide@ses.usp.ac.jp

本研究では、1995 と 2000 年度における琵琶湖集水域（滋賀県）全体の下水道終末処理場のマテリアルフローを把握し、同フローから水洗化人口および処理水量当たりの各種原単位を算定した。その結果、期間中に水洗化人口と処理場への流入水量が約 50%増加していたにもかかわらず、スケールメリットが働かず、エネルギー消費量に関する原単位は平均で約 12%増加していたことが明らかになった。また、この原因としては、期間中に小規模な 3 基の処理場が新規に供用を開始したことによって、集水域全体としてはスケールメリットが生じにくくなっていることが推察された。

Key Words: wastewater treatment plant, Lake Biwa, material flow, unit factor, advantage of scale

1. はじめに

滋賀県では、県域と琵琶湖の集水域がほぼ一致しており、県内の人間活動によって生じる水質汚濁負荷は、そのほとんどが琵琶湖に流入する。同県において、そのような人間活動に伴う琵琶湖への流入汚濁負荷の削減に重要な役割を担っているのが下水道終末処理場（以下、下水処理場）である。

県内の下水道普及率は 1995 から 2000 年度にかけて、43 から 62%と、急激な増加を示している¹⁾。このことは、琵琶湖へ流入する生活系汚濁負荷の削減が進んでいると同時に、負荷削減のために投入されるエネルギーや薬品等の下水処理場へのインプットおよび、削減に伴って処理場から産出（排出）される汚泥等のアウトプットが急激に増大していることを意味している。

このように、県内の下水処理場は、汚濁負荷削減によって琵琶湖の水環境保全に重要な役割を果たしている一方で、処理水としての汚濁負荷の排出やエネルギー・薬品消費、廃棄物発生といった環境負荷の大きな点源汚染源ともなっている。そのため、琵琶湖への汚濁負荷を削減すると共に、処理に伴い発生する環境負荷をできるかぎり低減することを目指した、集水域全体としての効率的な処理場の整備計画や運転管理が求められている。

そこで、本研究の目的は、滋賀県における 1995 と 2000 年度における下水処理場のマテリアルフロー（インプ

トとアウトプット）と同フローに基づく各種原単位とを明らかにし、両年度間のマテリアルフローと各種原単位の増減の原因を考察、特定することである。

滋賀県全体の下水処理場のマテリアルフローを明らかにすることができれば、下水処理場が汚濁負荷削減によって流域の水環境保全に果たし得る役割と、それに伴い発生する環境負荷のトレードオフ関係を把握することができる。また、集水域全体の下水処理場のマテリアルフローと各種原単位の経年変化を明らかにし、その原因を特定することができれば、下水道普及率の伸長に伴う流域全体としての処理場の処理効率の変化が明らかとなり、汚濁負荷削減とそれに伴い発生する環境負荷の低減との両立を目指した、流域全体としての処理場の整備計画や運転管理方法に示唆を与えることができるものと考えられる。

なお、本研究における下水処理場とは、滋賀県内に整備されている流域下水道と公共下水道、特定環境保全公共下水道に排除された下水を処理する施設のことを指し、し尿処理施設や農村集落排水処理施設等は含めないものとする。

また、本研究では 1995 と 2000 年度（以下、95 と 00 年度）を調査対象年度とする。原単位としては、水洗化人口と処理水量当たりの各種インプットとアウトプットを求める（それぞれ、水洗化人口原単位と処理水量原単位と呼ぶ）。

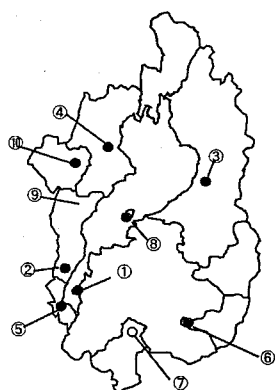


図-1 滋賀県の下水道終末処理場の位置

表-1 滋賀県の下水道終末処理場の概要

区分	処理場名	供用開始
琵琶湖 流域下水道	①湖南中部浄化センター	1982 年
	②湖西浄化センター	1984 年
	③東北部浄化センター	1991 年
	④高島浄化センター	1997 年
公共下水道	⑤大津水再生センター	1969 年
	⑥オー・デュ・プール	1996 年
	⑦信楽浄化センター	2007 年予定
	⑧沖島浄化センター	1982 年
特定環境保全 公共下水道	⑨南小松浄化センター	1993 年
	⑩朽木村浄化センター	1997 年

2. 滋賀県の下水道終末処理場

(1) 滋賀県の下水道終末処理場

滋賀県における下水処理場の位置と下水道の区分を図-1と表-1に示す¹⁾。

県内の下水処理場は、図-1に示す位置にあり、研究時点では、⑦甲賀市信楽浄化センターを除く9つの処理場が供用を開始していた。

また、同県における下水道の区分としては、琵琶湖流域下水道と公共下水道、特定環境保全公共下水道の3つがあり、前者は県の(財)滋賀県下水道公社(以下、下水道公社)によって、後者の2つは県内の市町村によって管理されている。以下、公共下水道と特定環境保全公共下水道をあわせたものを単に公共下水道と呼ぶ。

(2) 研究対象

本研究で対象とする下水処理場のマテリアルフローは、処理場の下水・污泥処理プロセス全体に1年間に投入されるインプットと、プロセス全体から産出あるいは排出されるアウトプットとする(図-2の太枠を横切る矢印)。

なお、⑦信楽浄化センターは、まだ供用が開始されていないため、調査対象外である。

3. マテリアルフローの調査

(1) 流域下水道調査の概要と結果

滋賀県の流域下水道の終末処理場(以下、流域下水処理場)は下水道公社によって管理されている。そこで、流域下水処理場のマテリアルフローの把握は、同公社が発行している維持管理年報(95と00年度)から行う。

同年報には、流域下水処理場の流入水量・汚濁物質濃度やエネルギー消費量などのインプットデータと、流出水量・汚濁物質濃度やし渣、沈砂、污泥発生量などのアウトプットデータが記載されている。

(2) 公共下水道調査の概要と結果

公共下水道の終末処理場(以下、公共下水処理場)は、設置されている区域内のそれぞれの市町村によって管理されている。

調査の手順としては、各市町村の下水道および下水処理場の担当課の連絡先をWebサイトから把握し、アンケート用紙の送付や現地に行くことでデータを入手した。調査項目は、前出の維持管理年報に記載されているデータ項目を参考に表-2のように設定した²⁾。

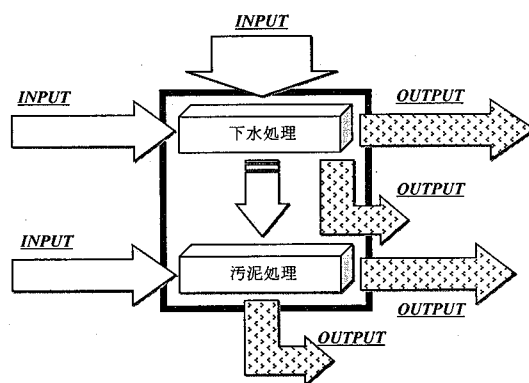


図-2 終末処理場の処理フローと研究対象マテリアルフロー

表-2 公共下水道調査のアンケート調査項目

項目	説明
処理全般	行政区画内人口、処理区域画内人口、処理区域画内水洗化人口
水量・水質	処理場への流入水量と、処理場からの流出水量およびその汚濁物質濃度(pH、COD、BOD、TN、TP、SS)
エネルギー	処理プロセス全体での電力、水、灯油、ガスなどの消費量
薬品	プロセス全体で投入する薬品の消費量
廃棄物	プロセス全体で発生する廃棄物の量(汚泥やし渣、沈砂など)
処理工程	終末処理場の処理方法と処理プロセスを示したフロー図

表-3 公共下水道終末処理場に関する入手データの年度

処理場	水量 水質	エネルギー 電力 重油 ガス	上水	薬品	汚泥 ケーキ
⑤大津水再生センター	00-04				
⑥オー・デュ・プール	98-04	97-04		97-04	—
⑧沖島浄化センター	01-04	04	—	—	04
⑨南小松浄化センター	96-03	01-03	—	—	96-03
⑩朽木村浄化センター	03	03-04	—	03-04	03-04

表4 滋賀県の下水道終末処理場のマテリアルフロー（年間のインプットとアウトプット）

インプット項目		単位	95	00	アウトプット項目		単位	95	00
流入負荷量	COD	kg/年	5812699	8953554	流出負荷量	COD	kg/年	398704	593712
	BOD		11922447	17335033		BOD		71171	100445
	T-N		2012147	3045713		T-N		479934	647979
	T-P		217661	324523		T-P		5686	7216
	SS		11798081	17138082		SS		99093	103676
流入水量		m³/年	71520343	105281032	流出水量		m³/年	66900841	82481044
流入汚濁物質濃度 (= 流入負荷量 ／流入水量)	COD	mg/l	81.3	85.0	流出汚濁物質濃度 (= 流出負荷量 ／流出水量)	COD	mg/l	6.1	5.7
	BOD		166.7	164.7		BOD		0.9	1.0
	T-N		28.1	29.0		T-N		7.5	6.2
	T-P		3.04	3.08		T-P		0.09	0.07
	SS		165.0	163.1		SS		1.3	1.0
エネルギー	電力	kWh/年	38200872	58429595	廃棄物	沈砂	kg/年	21292	22535
	灯油	l/年	1019655	2250950		し渣		106339	550967
	重油	kg/年	4821	4821		合計		127631	573502
	ガス		826	865	汚泥	ケーキ	kg/年	44737000	66247000
		MJ/年	175166941	293180455		スラグ		1389000	6195000
上水		m³/年	18192	24296	焼却灰		kg/年	649000	164000

表5 滋賀県の下水道終末処理場のマテリアルフロー（薬品の年間インプット）

プロセス	薬品名	単位	95	00	プロセス	薬品名	単位	95	00
下水処理	苛性ソーダ	l/年	16252	16442	汚泥濃縮	高分子凝集剤	kg/年	—	868
	PAC		1978034	3482147		硫酸バンド	m³/年	—	517
	メタノール		3084	6091	脱水	消石灰	kg/年	3994597	6066848
消毒	ハイクロン※1	kg/年	—	386		塩化第二鉄		1255042	2087850
	次亜塩素酸ソーダ		59637	83691	焼却	珪砂（9号）	kg/年	623000	2359000
	メルサン※2		357	357		珪砂（4号）		23000	35000

※1 次亜塩素酸カルシウム ※2 塩素化イソシアヌル酸

なお、公共下水道調査に関しては、調査対象年度のデータが入手できないことを想定して、調査対象期間を1995から2004年度までとした。

調査の結果、公共下水処理場に関して入手できたデータの年度を表-3に示す。一部の年度データが入手できなかった理由としては、文書の保管期間が過ぎており、処分されている場合や、最初から記録されておらず、データが存在しない場合などがあった。そのため、対象年度のデータがない場合には、対象年度に最も近い年度のデータを用いることとした（例えば、南小松浄化センターの電力消費量は2001年度以降しか入手できなかったため、2001年度の値を95と00年度の消費量とした）。

ただし、⑥オー・デュ・プールと⑩朽木村浄化センターに関しては、95年に処理場の供用が開始されていなかったために同年度のデータはない。

4. 終末処理場のマテリアルフロー

調査結果から算定した、95と00年度の滋賀県の下水処理場全体のマテリアルフローのインプットとアウトプットを表4と5に示す。

表4において、エネルギーのジュール換算には、資源エネルギー庁が公表しているエネルギー源別標準発熱量表³⁾を用いた（表-6）。ガスの単位であるNm³は、0℃、1

表6 エネルギー源別のジュール換算表

エネルギー源	単位	標準単位 (MJ)	備考
電力	kWh	3.60	
灯油	l	36.7	
重油	l	39.1	A 重油とした
ガス	Nm³	41.1	都市ガスとした

気圧の標準状態であることを指している。

また、表5の消毒用の次亜塩素酸ソーダに関しては、溶液濃度が5%と12%の2種類の使用が確認されたため、質量換算して合計値を求め、その値を示している。

5. マテリアルフロー解析

(1) 処理（流入）水量

対象年度の処理水量と水洗化人口を00/95年比や上水道の使用量などとあわせて表-7に示す。

表より、対象年度間（期間中）に水洗化人口は約50%増加し、それに伴い、処理（流入）水量も同じく約50%増加していたことがわかる。

表-7 終末処理場への流入水量および生活用水消費量

	流入水量 (m³/日)	水洗化 人口 (人)	水洗化人口 原単位 (m³/人・日)	生活用水 消費量※ (m³/日)	給水人口 原単位※ (m³/人・日)
95	195946	423844	0.46	439528	0.34
00	288441	651284	0.44	463842	0.35
00/95比	1.47	1.54	0.96	1.05	1.01

※滋賀県全体

両年度における1人（水洗化人口）1日当たりの下水発生量（流入水量）（水洗化人口原単位）は平均で0.45 m³であったが、これに対して、生活用水の消費量（給水人口原単位）は0.35 m³であり⁴⁾、下水発生量の方が29%大きかった。処理場への流入水量には、生活排水以外の排水量（事業所および工場からの産業系排水量や、上水の消費量に含まれない地下水の消費量や雨水の流入量など）が含まれているものと考えられる。

また期間中に、水洗化人口原単位は、給水人口原単位がわずかながら増加しているにも関わらず、減少していた。これは、生活排水以外の処理場への流入量が期間中に相対的に減少したためだと推察される。

(2) 流入・流出汚濁負荷

下水処理場の1人（水洗化人口）1日当たりの流入および流出負荷量と同負荷量の00/95比を表-8に示す。

表より、95年度と比べて00年度の1人1日当たりの流出負荷量は全体的に減少しており、特に、T-NとT-P、SSの減少が大きいことがわかる。これに対して、1人1日当たりの流入負荷量はわずかしこ減少しておらず、CODに関しては増加していた。

この原因を明らかにするために、汚濁物質濃度の除去率を算出した結果を表-9に示す。濃度除去率はBODを除いて全体的にやや増加しており、特に、T-N除去率の増加が大きい。期間中に除去率が上昇していたことが、流入負荷原単位よりも、流出負荷原単位の減少率の方が大きかった原因だと考えられる。

T-Nの除去率が、他の汚濁物質に比べて大きく増加していた理由は、期間中に新規に供用が開始された⑩朽木村浄化センターの同除去率が約90%と高かったためである。同浄化センターでは、下水処理方法として、T-N除

表-8 滋賀県の終末処理場の流入および流出負荷原単位

g/人・日		95	00	00/95比
流入負荷原単位	COD	37.6	37.7	1.00
	BOD	77.1	74.0	0.96
	T-N	13.0	12.8	0.99
	T-P	1.41	1.37	0.97
	SS	76.3	72.2	0.95
流出負荷原単位	COD	2.6	2.5	0.97
	BOD	0.5	0.4	0.92
	T-N	3.10	2.73	0.88
	T-P	0.04	0.03	0.83
	SS	0.6	0.4	0.68

表-9 滋賀県の終末処理場の平均汚濁物質濃度除去率

	平均濃度除去率 (%)		
	95	00	00/95比
COD	92.5	93.3	1.01
BOD	99.5	99.4	1.00
T-N	73.3	78.6	1.07
T-P	97.0	97.7	1.01
SS	99.2	99.4	1.00

表-10 基本原単位と水洗化人口流入負荷原単位

基本原単位		単位	COD	T-N	T-P
		g/人・日	29.3	12.0	1.17
水洗化人口原単位 (流入負荷原単位)	95	g/人・日	37.6	13.0	1.41
	00		37.7	12.8	1.37
	00/95比	—	1.00	0.99	0.97

去率の高い「単槽式嫌気好気法、急速ろ過法」を用いている。同処理方法は、⑨南小松浄化センターでも用いられており、同浄化センターでもT-N除去率は95%を超えている。

なお、全体のT-N除去率が70%台と小さい理由は、県内の下水の大部分を処理している流域下水処理場の処理方法である「活性汚泥循環変法」の除去率が一般に、60～75%だからである^{5) 6)}。

一方、生活排水の1人1日当たりの汚濁負荷発生量（下水処理場への流入負荷量とほぼ同じ）としては、指定湖沼の湖沼水質保全計画策定の際に用いられる、基本原単位というものがある⁷⁾。同原単位と本研究で算定した95と00年度の水洗化人口当たりの流入負荷原単位を比較したものが表-10である。

表に示すように、基本原単位よりも滋賀県の水洗化人口当たりの流入負荷原単位の方がやや大きい。ただし、下水道には事業所や工場なども接続していることを考えると、この結果からだけでは、滋賀県的生活系排水の流入負荷量が基本原単位よりも大きいとは、必ずしも言えない。

(3) エネルギー消費量

エネルギー消費量と同消費量に関する各種原単位を表-11に示す。表に示すように、期間中にエネルギーの総消費量と水洗化人口および処理水量当たりの原単位は増加していた。ただし、エネルギー源ごとでは、増加が著しいのは灯油と電力だけで、重油とガスはほとんど増加していない。

ここではまず、灯油の消費量の増加に関して考察を行う。下水処理場で灯油を消費するのは、污泥ケーキの焼却と焼却灰の熔融を行う污泥焼却熔融施設である。同施設に関しては、1996年に①湖南中部浄化センターが容量を40から120tに増設しており、同施設の月別のエネルギー（灯油・電力ともに）消費量が導入前の月と比べて約3倍増加していた²⁾。このことが灯油消費量の増加の主要な原因だと考えられる。なお、流域下水処理場のうち対象年度で同施設をもつ処理場は、同浄化センターだけであった。

次に、電力消費量の原単位の増加に関する考察を行う。全国の下水処理場のエネルギーフローを解析した先行研究⁸⁾によれば、処理水量当たりの電力消費量（処理水量原単位）と下水処理場規模（規模とは、処理水量のことを指す）との間には強い逆相関関係があることがわかっ

表-11 滋賀県の終末処理場のエネルギー消費量と同原単位

エネルギー	総消費量 (t/年)			水洗化人口原単位			処理水量原単位		
	95	00	00/95 比	95	00	00/95 比	95	00	00/95 比
電力	137523139	210346542	1.53	324	323	1.00	1.9	2.0	1.04
灯油	37421339	82609865	2.21	88.3	127	1.44	0.52	0.78	1.50
重油*	188501	188501	1.00	0.44	0.29	0.65	0.003	0.002	0.68
ガス	33962	35547	1.05	0.08	0.05	0.68	0.0005	0.0003	0.71
合計	175166941	293180455	1.67	413	450	1.09	2.5	2.8	1.14

※重油に関しては、データが単年度しか入手できなかった

表-12 滋賀県の終末処理場の計画処理水量、処理能力、処理水量、処理効率

処理場	計画処理水量(m³/年)	処理能力 (m³/年)		処理水量 (m³/年)		処理効率 (%)	
		(a) 95	(b) 00	(c) 95	(d) 00	(c)/(a)	(d)/(b)
①湖南中部浄化センター	287620000	4635500	69532500	36071585	56361255	78	81
②湖西浄化センター	42705000	10950000	19162500	10297909	12965189	94	68
③東北部浄化センター	135415000	7628500	17264500	4397319	13928263	58	81
④高島浄化センター	14235000	—	2774000	—	918079	—	33
⑤大津水再生センター	34638500	30368000	30368000	20568880	20568880	68	68
⑥オー・デュ・プール	2102400	—	—	—	231639	—	—
⑧沖島浄化センター	153300	76650	76650	40650	40650	—	—
⑨南小松浄化センター	438000	—	—	144000	146000	—	—
⑩朽木村浄化センター	178850	—	—	—	121077	—	—
合計平均	517486050	53658650	139178150	71520343	105281032	76*	66*

※流域下水道（湖南中部、湖西、東北部、高島浄化センター）だけの平均値

ている。すなわち、処理水量が大きくなるほど、電力消費量の原単位はスケールメリットによって小さくなる。県内全体の下水処理水量は期間中に約 50%増加していたため、上記の理由によって、処理水量当たりの電力消費量は減少していたとしてもおかしくないが、実際には、わずかであるが増加していた。

このように、スケールメリットが生じなかった原因としては、期間中に小規模な処理場が供用を開始したこと、それに伴って処理能力に占める（実績）処理水量の割合（処理効率）が低下したことが考えられる。

このことを裏付けるために、処理場別の計画および処理能力、実績処理水量を表-12 に示す^{9) 10)}。表より、①湖南中部浄化センターの処理水量が集水域全体の処理水量の約 50%を占めていることがわかる。これに対して、期間中に新たに供用が開始された④高島浄化センターの計画処理水量は、流域下水処理場の中で最も小さく、また、新しく供用を開始した他の 2 つの公共下水処理場⑥⑩の処理水量も、流域下水処理場と比べて小さいことがわかる。

処理水量が小さいことと、それによる処理方法の違いのためであろう。流域下水道の全処理場で実施されている「活性汚泥循環変法」による 00 年度の処理水量当たりの電力消費量が 0.60 kWh/m³ であったのに対して、公共下水処理場の処理方法である「オキデーションディッチ法」では 1.13 kWh/m³、「単槽嫌気好気法」では 1.69 kWh/m³ であった。このように、小規模な処理場が増えたために、集水域（県）全体として見たときに、スケールメリットが働かなかったものと考えられる。

事実、①湖南中部と②湖西浄化センターの大規模処理

場では、処理水量の増加に伴い、前述の焼却施設の容量増設に関わらず、スケールメリットによって期間中に処理水量原単位が平均で 41%減少していた。

一方、処理能力に対する実績の処理水量（処理効率）に関しても、流域下水処理場に限ってではあるが、新規の下水処理場の供用が開始されたためであろう、約 76 から 66%へと期間中に大きく減少していた。

実績処理水量が処理能力よりも小さいと、過剰曝気をもたらすことや、その他の設備の電力効率の大幅な低下をもたらすことが指摘されている⁸⁾。このようなこともまた、電力消費量に関する原単位の増加につながったものと推察される。

なお、それでも電力消費量原単位がわずかし増加しなかった理由は、県内最大規模の①湖南中部浄化センターの処理水量の増加にともなうスケールメリットが大きかったためだと考えられる。

(4) 薬品消費量

下水処理場では、処理水の消毒や汚泥の脱水などに大量の薬品を消費している。また、処理プロセスごとに、消費する薬品が異なる。本研究では県内の処理場で消費されている薬品のうち、「下水処理」「消毒」「脱水」「焼却」の各プロセスで最も消費量の多い、それぞれ PAC（ポリ塩化アルミニウム）、次亜塩素酸ソーダ、消石灰、珪砂（9号）を原単位算定の対象とする。ただし、「汚泥濃縮」に関しては、高分子凝集材と硫酸バンドともに 95 年度では使用が確認できなかったため、分析の対象外とした。

水洗化人口と処理水量当たりの薬品消費量を表-13 に示す。処理水量当たりの薬品消費量は、期間中、消毒用

表-13 滋賀県の終末処理場の薬品消費量原単位

薬品		単位	95	00	00/95 比
PAC	水洗化人口原単位	l/人・年	4.67	5.35	1.15
	処理水量原単位	l/m³	0.028	0.033	1.20
次亜塩素酸 ソーダ	水洗化人口原単位	g/人・年	141	129	0.91
	処理水量原単位	g/m³	0.833	0.795	0.95
消石灰	水洗化人口原単位	g/人・年	9425	9315	0.99
	処理水量原単位	g/m³	55.9	57.6	1.03
珪砂 9号	水洗化人口原単位	g/人・年	1470	3622	2.46
	処理水量原単位	g/m³	8.71	22.4	2.57

の次亜塩素酸ソーダを除いて増加していた。このことは、薬品消費量に関しても、処理水量の増加によるスケールメリットが働かなかったことを意味している。

なお、珪砂の消費量が大きく増加しているのは、前述したように、①湖南中部浄化センターが汚泥焼却熔融施設の容量を3倍に増設したためである。

(5) 汚泥発生量・処分量

水洗化人口と処理水量当たりの汚泥ケーキと熔融スラグ、焼却灰の発生量と同原単位を表-14に示す。

表より、焼却灰の発生量は大きく減少し、一方、スラグの産出量は大きく増加していたことがわかる。これもまた、①湖南中部浄化センターにおける焼却熔融施設の容量増設によるものである。

水洗化人口および処理水量当たりの熔融スラグの発生量と焼却灰も、上記と同じ理由によって、それぞれ大きな増加と減少を示している。

流域下水処理場における汚泥ケーキと熔融スラグの処分方法別処分量を表-15に示す¹¹⁾。処分方法としては、埋め戻し材やコンクリート2次製品（建設資材化）としての熔融スラグの利用とコンポスト化が大きく増加している（①湖南中部浄化センターでは、熔融スラグの建設資材化を、③東北部と④高島浄化センターでは、コンポスト化を行っている）。特に熔融スラグの有効利用量の増加率が著しく、埋め戻し材とコンクリート2次製品としての利用を合わせると、期間中に約26倍の伸びを示してい

る。

このため、汚泥ケーキ発生量そのものは、処理場への流入負荷量の増加に伴い、期間中に約50%増加しているにも関わらず、埋立て処分量は約半分にまで減少している。また、汚泥ケーキ発生量のうち埋立て処分に回される割合も36%から12%に大幅に減少している。

(6) 廃棄物発生量

下水処理場における水洗化人口と処理水量当たりの廃棄物（し渣と沈砂）の発生量と同原単位を表-16に示す。

表より、廃棄物の発生量が期間中に大きく増加していたことがわかる。処理場への流入水量や流入負荷量の増加率が約50%であったのに対して、廃棄物の発生量は約3倍に増加している。ただし、表には示していないが、廃棄物のうち沈砂はほとんど増加しておらず、増加量のほとんどはし渣であった。特に、汚泥を濃縮する段階でのし渣増加が著しい²⁾。

処理水量の増加に伴う汚泥発生量の増加が、し渣増加の原因の一つだと考えられるが、それでも処理水量とし渣の00/95比の間には、大きな開きがある。この原因に関しては、組成分析などによって、し渣が家庭系あるいは産業系のいずれの由来であるかを明らかにして、最終的に判断する必要があるだろう。

6. まとめ

本研究では、95と00年度における琵琶湖集水域全体の下水道終末処理場のマテリアルフローを把握し、同フローから各種原単位を算定した。

その結果、期間中に集水域全体の下水道の普及率（水洗化人口）が約50%上昇していたことに伴い、負荷削減のために消費されるエネルギー・薬品量や発生する汚泥量も50%以上増加しており、環境に与える負荷も増大していたことが明らかになった。また、水洗化人口および

表-14 滋賀県の終末処理場の汚泥ケーキ、熔融スラグ、焼却灰の発生量と同原単位

	発生量 (kg/年)			水洗化人口原単位 (kg/人・年)			処理水量原単位 (kg/m ³)		
	95	00	00/95 比	95	00	00/95 比	95	00	00/95 比
汚泥ケーキ	44737000	66247000	1.48	106	102	0.96	0.626	0.629	1.01
熔融スラグ	1389000	6195000	4.46	3.3	9.5	2.90	0.019	0.059	3.03
焼却灰	649000	164000	0.25	1.53	0.25	0.16	0.009	0.002	0.17

表-15 滋賀県の終末処理場の汚泥ケーキと熔融スラグの発生量および処分量

kg/年		95	00	00/95 比
汚泥ケーキ発生量		44737000	66247000	1.48
熔融スラグ	発生量	1389000	6219000	4.48
	埋め戻し材	22000	3919000	178.14
	コンクリート2次製品	258000	3437000	13.32
	コンポスト	3194000	9732000	3.05
埋立て処分		16103000	7697000	0.48

表-16 滋賀県の終末処理場の廃棄物発生量と同原単位

	単位	95	00	00/95 比
廃棄物発生量	kg/年	127631	573502	4.49
水洗化人口原単位	kg/人・年	0.3	0.88	2.92
処理水量原単位	kg/m ³	0.002	0.005	3.05

処理水量当たりのエネルギー消費量はそれぞれ 9%と 14%増加していた。

従来、下水道や下水処理場は、流域の中の整備のしやすい（居住人口が多く、処理効率がよい）ところから整備されてきた。そのため、大量の下水を大規模な処理場で効率的に処理することができ、それによるスケールメリットが大きかった。しかし、流域全体としての下水道普及率が上昇することに伴い、次第に整備しにくいところにも下水道が整備されるようになった。その結果、新設される処理場の規模も小さくなり、スケールメリットが生じにくくなってきている。そのことがエネルギーや薬品消費量に関する原単位の増加に現われているものと考えられる。

ただし、県内では現在、2007年に供用開始が予定されている信楽浄化センターを除き、建設予定の処理場はない。また、流域および公共下水道が整備されていない地域は、農村集落排水処理施設や屎尿処理施設、合併浄化槽などで対処されている。下水道の普及率が約 80%に達した今日、新規の下水処理場建設は今後、あまりないと考えられる。したがって、下水道に接続する水洗化人口がさらに増加し、各処理場の処理効率が向上すれば、再びスケールメリットによる原単位の改善が見られるかもしれない。

一方、従来埋立てられていた汚泥に関しては、建設資材化やコンポスト化など、資源としての有効活用が進んでおり、滋賀県において 2002 年度には、埋立て処分量はゼロとなっていた。汚泥の再資源化の流れは今後、ますます強まっていくだろう。

ただし、滋賀県においては、湖南中部浄化センターの規模が他の処理場に比べて著しく大きく、県内全体の処理場の原単位などは同浄化センターの処理方法の変更によって大きく変わっていくだろうとも推察される。

謝辞：本研究の一部は、科学技術振興事業団および滋賀県地域結集型共同研究事業「環境調和型産業システム構築のための基盤技術の開発」の助成を受けて実施したものである。ここに記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 滋賀県琵琶湖環境部下水道計画課：さわやかな暮らしー滋賀の下水道ー, 2004.
- 2) 滋賀県, (財) 滋賀県下水道公社：維持管理年報, 1995, 2000.
- 3) 資源エネルギー庁総合政策課：エネルギー源別標準発熱量の改訂について, < <http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/energy/030520c.pdf> >, 2006-3-9.
- 4) 滋賀県健康福祉部生活衛生課：平成 7, 12 年度 滋賀県の水道, 1997, 2002.
- 5) 亀田泰武ら：新版 下水処理と水環境 ミクロの世界から地球環境まで, 山海堂, 2002.
- 6) 滋賀県下水道公社：超高度下水処理について < <http://www.shiganogesui.jp/zone/koudoshori/koudoshori5.html> >, 2006-2-19.
- 7) 滋賀県・京都府：琵琶湖に関わる水質保全計画（4 次湖沼計画）, 2002 年.
- 8) 胡洪营, 後藤尚弘ら：水処理場におけるエネルギー消費と物質フローの現状分析, 用水と廃水, Vol.41, No.2, pp.25-31, 1999.
- 9) 滋賀県生活環境部環境政策課：環境白書 平成 8 年版, pp.127-129, 1997.
- 10) 滋賀県水政課琵琶湖環境政策室：滋賀県環境白書 平成 13 年版, pp.164-167, 2002.
- 11) 滋賀県琵琶湖環境部：平成 17 年版 滋賀県の下水道事業, p.100, 2005.

MATERIAL FLOW ANALYSIS OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN THE CATCHMENT AREA OF LAKE BIWA

Takayuki ISHIMOTO and Shinji IDE

In this study, material flows and a wide range of unit factors of wastewater treatment plants (WWTPs) in Shiga, which jurisdictional area is almost identical to the catchment area of Lake Biwa, in 1995 and 2000 were determined. As a result, it was revealed that there is no advantage of scale and the unit factors of energy and chemical dosage, based on total population in service and treated wastewater volume, increased approximately 12% on the average whereas both the total population in service and influent flow to WWTPs increased 50% during the period. This may be due to the fact that new and small scale, three WWTPs have started operation between 1995 and 2000, and taking advantage of scale in treating larger volume of wastewater has been getting more difficult.