

研究論文

滋賀県の汚水処理システムを対象とした環境効率の評価

高野 昌宏・天野 耕二

Evaluation of Environmental Efficiency Related to Wastewater Treatment Systems
in Shiga Prefecture

Masahiro TAKANO and Koji AMANO

Synopsis:

Objective. It is forecasted that the population of Shiga prefecture should increase until 2030. There is an apprehension that environmental load impact should also increase by population increase. In this study, we estimated future prospect of environmental load related to wastewater treatment systems in Shiga prefecture. The target year is 2003 and 2030. We proposed a new environmental efficiency indicator based on the ratio of water pollutant reduction to greenhouse gas (GHG) emission, and evaluated wastewater treatment systems by utilizing our new environmental efficiency indicator. Our estimation considers sewerage, agricultural community effluent treatment facility, combined household wastewater treatment facility and night soil treatment facility.

Results and Discussion. In 2003, 70% of the total GHG related to wastewater treatment systems in Shiga prefecture was emitted from sewerage. On the other hand, 80% to 85% of the total GHG is estimated to come from sewerage in 2030. It is estimated that the introduction of advanced treatment system accompanying water pollutant reduction (COD: 4%, T-P: 15%, T-N: 1%) should cause nearly 30% increase of GHG emission. In focusing environmental efficiency indicator based on the ratio of water pollutant reduction to GHG emission, the efficiency of sewerage is 50% to 80% higher than that of other wastewater treatment systems.

Conclusions. In this study, we estimated future prospect of environmental load and environmental efficiency related to wastewater treatment systems based on the lifecycle comparison of 8 scenarios considering future technologies and social trends such as water saving lifestyle. Our estimated results showed that the introduction of advanced treatment system for sewerage have possibilities nearly 30% increase of GHG emission. On the other hand, it was showed that water saving lifestyle should cause a definite reduction of GHG emission. We investigated a scenario in which the introduction of advanced treatment system and water saving lifestyle would spread. In comparing estimated result of this scenario with the present conduction, we could show several advantages of the environmental efficiency proposed in this study.

Keywords: environmental efficiency; GHG emission; wastewater treatment systems; advanced treatment

1. はじめに

琵琶湖は、世界有数の古代湖であり、マザーレイク（母なる湖）とも呼ばれるように、その流域の多様な生態系を支える源であるばかりではなく、滋賀県民および近畿1400万人の生活や産業活動を支える貴重な水資源でもある。しかしその反面、人間活動の影響を敏感に受けやすく、日本の高度経済成長が始まった昭和30年代後半から水質が悪化し始め問題とされている。滋賀県は、様々な対策を講

じて琵琶湖の水質の改善を図ろうとしているが、依然として厳しい状況にある。

一方、世界的には地球温暖化防止の観点から、二酸化炭素（CO₂）排出削減という大きな課題がある。18世紀後半頃から、産業の発展に伴い人類は石炭や石油など化石燃料を大量に消費するようになり、大気中のCO₂量は200年前と比べ30%程増加している¹⁾。これからも人類が同じような活動を続けるとすれば、21世紀末にはCO₂濃度は現在

高野 昌宏／立命館大学大学院理工学研究科／〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1

天野 耕二／立命館大学理工学部／〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1

Masahiro TAKANO / Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University / 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577

Koji AMANO / Department of Science and Engineering, Ritsumeikan University / 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577

の2倍以上になり、この結果、地球の平均気温は今より1.4～5.8℃上昇すると予測されている¹⁾。このような未来を現実のものとしないうちに、徹底した省エネルギーやエネルギー転換など様々な取り組みが活発に進められており、これからもより積極的な対策が期待される。

このような現状を踏まえ、滋賀県が将来的に取り組むべき大きな課題として、CO₂排出削減と琵琶湖の保全・回復の両立があげられると考えられる。滋賀県は、国立社会保障・人口問題研究所の試算によると、2030年まで人口の増加が見込まれる数少ない都道府県である²⁾。よって、人口増加またそれに伴う人間活動の活発化により環境負荷の増大が懸念されている。

これは水処理の分野においても例外ではない。污水処理システムのLCA研究の例としては、下水道や合併処理浄化槽の個別の事例研究がある^{3,4)}。特に下水道では、温室効果ガス（GHG）算出に関するマニュアルの整備が進んでいる⁵⁾。しかし、多様な污水処理システムを考慮に入れた総合的な研究事例は少ないと思われる。また、異なる污水処理方法から算定した環境負荷量の違いを評価・比較した研究⁶⁾もなされているが、滋賀県全域というように比較的大規模な地域を対象とした研究は少ない。本研究では、滋賀県の污水処理システムを対象に、水処理と汚泥処理に伴う環境負荷について、各施設の運転実績および各種原単位に基づいて、現状及び将来の環境負荷の推計を行った。

污水処理システムは資源・エネルギーの消費に伴いGHG排出という地球規模の環境負荷を生じさせる一方で、水質汚濁を代表とする地域規模の水環境負荷を低減する効果を有している。污水処理における処理機能の高度化を検討する際には、このようなGHG排出と水質汚濁というトレードオフの関係にある環境負荷について、それぞれ定量的に把握し総合的に評価する必要がある。総合評価の事例として、湖沼における複数の環境負荷を経済価値に換算した統合評価の報告例^{7,8)}もあるが、本研究では、水質保全と温暖化抑制の両面を捉える新たな環境効率評価の方向性を探ることを目的として、汎用的な環境効率の概念に基づいた評価を試みた。環境効率とは、値が大きいほど少ない環境負荷で多くの付加価値を提供していることを示し、一般的に「環境負荷」あたりの「製品やサービスの価値」という比率で表されることが多い^{9,10)}。本研究においては、分子に水質汚濁防止としての付加価値である「処理施設で除去される水質汚濁負荷物質量」、分母に「污水処理システムからのGHG排出量」を適用した「水質保全/GHG排出」という新たな環境効率指標を「水処理GHG効率」と定義し、水質汚濁とGHG排出の両面を考慮した污水処理システムの総合評価を試みた。

2. 研究対象

現在、滋賀県には污水処理施設として下水道、農業集落排水施設、合併処理浄化槽、林業集落排水施設が整備されている。本研究では、このうち下水道、農業集落排水施設、合併処理浄化槽、および農業集落排水施設と合併処理浄化槽からの汚泥処理を行うし尿処理施設を対象に、現状及び将来の環境負荷についての推計を行った。処理人口の極めて少ない林業集落排水施設、各施設に付随する中継ポンプ施設は対象外とした。なお、各処理施設における処理方法については、いずれも一般的な好気性処理を中心とする污水処理システムを適用している。将来については2030年を想定し、利用状況や処理機能の状況、水需要の状況を組み合わせ8つのシナリオを作成し、評価・比較検討を試みた。

また、環境負荷を推計する際にライフサイクルに占める環境負荷割合が大きいと考えられる運転段階を対象としてGHG排出量を評価した³⁾。運転段階におけるGHG排出として、電力や燃料（石油、ガス）等のエネルギー消費に伴う排出に加えて、施設の運転に伴う各処理プロセスからの排出も考慮し、CO₂、CH₄、N₂Oを対象物質とした。なお、水処理や汚泥処理に伴うバイオマス（有機物）由来のCO₂はカーボンニュートラルの考え方によりGHG排出とみなさなかったが、CH₄とN₂OはCO₂に換算した上でGHG排出として考慮した。

3. 2030年の想定シナリオ

2030年における各処理施設からの環境負荷を推計するにあたり、2030年の滋賀県の実際の污水処理状況を1つに特定することは現実的ではない。そこで、2030年の処理の状況について複数のパターンを想定し、それらを組み合わせることで複数の将来シナリオを作成した。具体的には、利用状況、水需要、超高度処理の複数の将来状況を組み合わせ、次に示す8種類のシナリオを作成した。また、Table 1にシナリオの概要を示す。

- A 現状維持シナリオ
- B 下水道普及シナリオ（下水道普及率が約89%に向上した場合）
- C 節水シナリオ（2割程度水需要が減少した場合）
- D 下水道普及・節水シナリオ（下水道普及率が向上し水需要が減少した場合）
- E 超高度処理導入シナリオ（下水道へ超高度処理施設を導入した場合）
- F 下水道普及・超高度処理導入シナリオ（下水道普及率が向上し超高度処理を導入した場合）
- G 節水・超高度処理導入シナリオ（水需要が減少し超高度処理を導入した場合）

Table 1. Outline of scenario

scenario	Sewerage		Water saving		Advanced treatment	
	BAU	spread	BAU	improve	not introduce	introduce
A	○		○		○	
B		○	○		○	
C	○			○	○	
D		○		○	○	
E	○		○			○
F		○	○			○
G	○			○		○
H		○		○		○

H 下水道普及・節水・超高度処理導入シナリオ（下水道普及率が向上、水需要が減少、超高度処理を導入した場合）

3.1 利用状況

利用状況とは、2030年にどの程度の人数がいずれの污水处理施設によって処理を行っているかというものである。Table 2に利用状況の推計結果を示す。

現状維持の場合、現在使用している污水处理施設を将来も使用し続けるものとした。2030年までには、一部の農業集落排水施設や合併処理浄化槽で耐用年数に達する。しかし、現状維持の場合、耐用年数に達した施設については、現状と同等の機能を持つ施設を更新するものとして推計した。

下水道普及拡大の場合、下水道以外の污水处理施設で2030年までに耐用年数に達するものについては、基本的に順次下水道へと切り替わっていくものとした。しかし、地理的条件や経済的条件などから将来下水道への接続が困難な地域が存在するため、現在の日本全国の下水道普及地域における人口密度最小値である30人/haを基準とした。本研究では人口密度のみを基準としたが、実際の下水道整備に関しては人口密度だけでなく多様な要素を判断材料として整備されるため、人口密度以外の要素を加えたより詳細な検討を行う必要があるといえる。2030年の人口密度

Table 2. Population balance of waste water systems in Shiga prefecture

	FY2003	FY2030	
		BAU	spread
Sewerage	1,023,852	1,314,405	1,354,391
	75.6%	85.9%	88.5%
Agricultural community effluent treatment facility	116,486	106,282	99,297
	8.6%	6.9%	6.5%
Combined household wastewater treatment facility	111,421	109,054	76,053
	8.2%	7.1%	5.0%
Forestry community effluent treatment facility	54	45	45
	0.0%	0.0%	0.0%
Maintenance population	1,251,813	1,529,786	1,529,786
	92.5%	100.0%	100.0%
Entire population	1,353,893	1,529,786	1,529,786

が30人/haを下回る市町村について下水道へ接続するのは効率的ではないと判断し、耐用年数経過以降も現状の施設を更新し使用するものとした。

また、基本的に人口増加分は下水道処理区域内に居住すると仮定した。なお、推計を行うにあたり、滋賀県の污水处理整備状況¹¹⁾を参考とした。

3.2 水需要

処理水量は、污水处理施設の運転段階の環境負荷に大きく影響するものと考えられる。そこで水需要の変化により、将来どの程度の水量が污水处理施設で処理されるのかについて推計した。具体的には、市町村ごとに1人1日当たりの生活用有収水量の予測を行い、この予測値に人口の将来推計を乗じることにより、水需要を推計した。なお、将来の污水处理施設の生活処理水量が、過去の家庭給水量実績に基づき算出されていたため、給水量を処理水量と仮定した。

水需要については、各市町村において現在と同等の給水状況である仮定したケースと、現在よりも給水量が2割程度減少するものと仮定した節水のケースを設定した。節水型のモデルを作成するにあたり、滋賀県の各市町村の1人1日当たりの生活用有収水量実績¹²⁾の経年変化を参考とした。節水型のモデルを作成するにあたっては、現在、減少傾向にある大津市の動態¹²⁾を参考とした。現在、増加傾向にある滋賀県他の市町村についても、全国的な節水型社会への移行動向を踏まえて現状値が最大であるものとし、その後大津市と同じ減少傾向を示すと仮定した。節水ケースの処理水量算定においては、大津市の2030年における1人1日当たり生活用有収水量を指数関数近似により推計し、その減少率を他の市町村について適用した。

また、下水道では家庭からの污水以外に、一部の工場排水や不明水などが流入する。本節において推計したのは家庭からの排水のみであるので、将来の下水処理場での処理水量の全体を把握することができない。非家庭系流入水量の将来推計は困難であることから、現在の下水処理場への非家庭系流入水量の割合を将来に対しても適用し、処理水量全体を把握した。

3.3 超高度処理

滋賀県は将来、下水道において生物処理と物理化学処理を併用した超高度処理導入に関する検討が行われている。そこで、超高度処理を導入したケースと、未導入のケースに分け評価を行った。導入の場合、現在、4ヶ所ある琵琶湖流域下水道の処理施設に、生物処理においては凝集剤添加多段硝化脱窒法を、物理化学処理においては砂ろ過法、オゾン処理法、生物活性炭吸着法を導入した場合の評価を行った。Table 3に超高度処理の目標処理水質¹³⁾を示す。超高度処理施設の導入によりCOD、T-N、T-Pに関して通常の高度処理と比較して50%～60%の処理水質低減効果(平均的な流入水質に対する処理率は99%程度)が見込まれるが、その一方でGHG排出など他の環境負荷の増大が考えられる。

4. 現状及び将来の環境負荷

4.1 算出方法

現状については、各処理施設の運転実績¹⁴⁾ およびヒヤリング調査結果、文献値⁴⁾のデータに基づき、各種エネルギー消費に伴う温室効果ガスの排出係数^{15, 16)}や処理プロセス別の温室効果ガス排出係数¹⁵⁾を用いて、各環境負荷物質の排出量を算出した。また、算出した各物質の物質質量ベースの排出量に地球温暖化係数を乗じて、GHG排出量(CO₂換算)を算出した。

将来については、処理量や各処理施設の単位処理量あたりのエネルギー消費量を推計し、それらの値に温室効果ガス排出係数を乗じて算出した。しかし、一部原単位について、現状と同様の値を適用することは現実的でないと考えられるため、将来の原単位についての個別推計を試みた。単位処理量あたりのエネルギー消費量については、各設備の省エネルギー化が進むことで現在よりも減少することが予測される。各処理施設における処理水量とエネルギー消費量の経年実績¹⁷⁾から単位処理量あたりの電力使用量が減少傾向にあることが確認できた。そこで、過去の経年変化から指数関数近似により2030年の値を推計した。推計結果をFigure 1に示す。推計した結果、単位処理量あたりの電力使用量は現状よりも約4割減少するものとした。また、正確な近似ができないものについては、トプランナー方式により、現状で最も省エネルギー化の進ん

Table 3. Target water quality of advanced wastewater treatment¹³⁾

	Unit	Present water quality	Target water quality
COD	mg/l	6	3
T-N	mg/l	6	3
T-P	mg/l	0.05	0.02

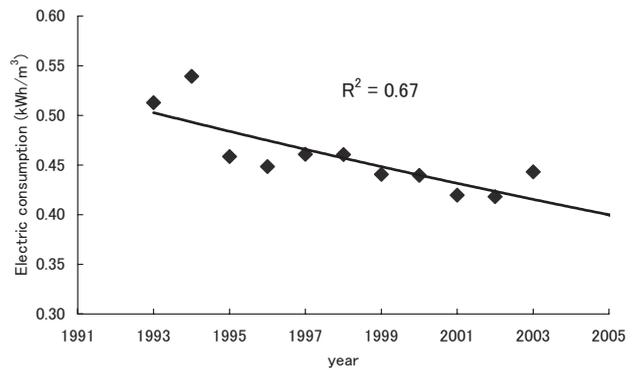


Figure 1. Relationship between electric consumption and treated wastewater volume

でいる施設の値を将来の値と仮定した。また、超高度処理導入の場合は、報告書¹⁸⁾に記載されている単位処理水量あたりのエネルギー消費量に基づき、この値についても省エネルギー化が進むと仮定し、既存施設の単位処理水量あたりの電力使用量により指数関数近似で求めた約4割減少するという結果に基づいて補正した。同様に、電力のCO₂排出原単位は、年によって変動しているため、2030年において現在と同じ値を使用することはできないと考えられる。そこで、資源エネルギー庁による2030年のエネルギー需給展望¹⁹⁾を参考に2030年の値を設定した。この報告書では、省エネルギーや新エネルギーの普及、原子力発電の導入量、経済成長率、国際エネルギー価格などを考慮し、複数の将来像について示している。本研究での2030年の将来像を、ヒートポンプ・燃料電池などの技術の進展や日々の取り組みの徹底によって大幅な省エネルギーが進展した場合と仮定した。この場合、発電による化石燃料消費量を減少させ、また電力需要を抑制させる可能性があり、電力のCO₂排出原単位は1990年比の2/3程度²⁰⁾に抑えられると考えられる。そこで、1990年の関西電力のCO₂排出原単位に2/3を乗じて、2030年の電力のCO₂排出原単位を0.233(kg-CO₂/kWh)と仮定し算出を行った。

また、水質汚濁防止に関する環境負荷評価指標として水質汚濁負荷物質除去量の算出を行った。各汚水処理施設の運転実績¹⁴⁾およびヒヤリング調査結果、カタログデータ⁴⁾に基づいて各処理施設の処理水量に年平均流入水測定値と年平均流入水測定値をそれぞれ乗じ、流入水汚濁負荷量から放流水汚濁負荷量を差し引くことで汚濁負荷物質除去量を推計した。なお、節水した場合も現状維持の場合と同等の汚濁負荷物質除去量が見込まれるものとした。また、超高度処理の水質データは、滋賀県の試算結果¹⁸⁾から引用した。

4.2 算出結果

現状及び将来の汚水処理システムの運用に伴うGHG排

出量算出結果をFigure 2に示す。処理人口の多い下水道からの排出量が、現状においては約70%、将来においては約80%～85%と大部分を占める結果となった。現状においても滋賀県は下水道普及率が約75%と比較的高いが、今後さらに普及率が上昇することにより汚水処理に占める下水道からのGHG排出量の割合が増大する可能性を示す結果となった。なお、下水道からのGHG排出の内、電力起源は現状においては約43%、将来においては超高度処理導入の有無により大きな違いがあらわれ、導入の場合においては約37%、未導入の場合においては約30%であった。現状より電力起源のGHG排出割合が低下する要因としては、電力のCO₂排出原単位や単位下水処理量あたりの電力使用量の改善が挙げられる。電力のCO₂排出原単位の改善により電力起源のGHG排出割合は約3%減少し、単位下水処理量あたりの電力使用量の改善によりGHG排出割合は約9%減少する結果となった。また、超高度処理未導入の場合の電力起源のGHG排出割合の低下が大きいのは、超高度処理導入による電力使用量の増加分がないためである。

将来の各シナリオをみると、下水道で超高度処理を導入した場合（E/Aなど）、排出量は最大で現状よりも約3割増加する結果となった。下水道の普及状況の違い（A/Bなど）によるGHG排出量増加の影響は小さく、下水道への超高度処理の導入の影響が相対的に大きいという結果となった。一方、節水を行う場合（C/Aなど）、下水処理人口が増加しても処理水量はそれほど増加しないことや、将来の各処理施設の省エネルギー化が進むことで単位処理量あたりのエネルギー消費量を減少すると仮定したため、現状と同程度のもしくはそれ以下の排出量であるという結果となった。節水を行うことで、汚水処理施設からのGHG排出量が抑制される可能性を示す結果となった。

本研究では、将来の環境負荷の算出を行う際に「3. 2030年の想定シナリオ」で述べたシナリオごとに様々な設定条件を変化させたが、各設定条件を単独で変化させた場合の

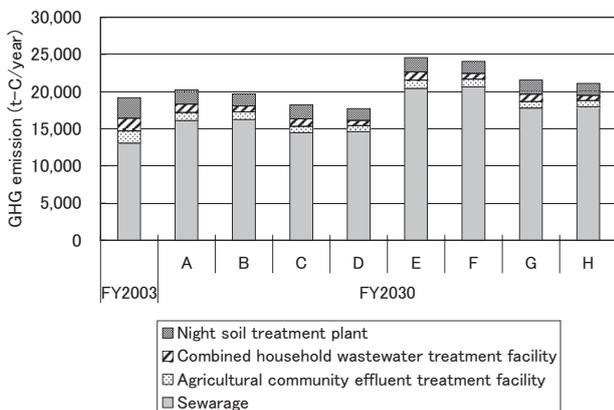


Figure 2. Comparison of GHG emission

環境負荷評価結果への影響は以下の通りである。将来のGHG排出量は、人口増加による影響では約25%増加、電力のCO₂排出原単位の改善による影響では約5%減少、単位下水処理量あたりのエネルギー消費量の改善による影響では約15%減少、下水道普及率の向上による影響（B/Aなど）では約3%減少、節水型社会への移行による影響（C/Aなど）では約11%減少、超高度処理導入による影響（E/Aなど）では約20%増加する結果となった。

Figure 3, Figure 4, Figure 5に将来において流域下水道処理施設に超高度処理施設を導入した場合の水質汚濁負荷物質除去量の算出結果を示す。ここでは例として、他の状況は変化させず、超高度処理導入の有無のみによるCOD、T-N、T-Pの除去量の違いを示している。超高度処理導入を未導入の場合と比較すると除去量の増加は、CODでは約4%、T-Nでは約15%、T-Pでは約1%となった。汚濁負荷物質により除去効果に差はあるが、超高度処理導入により一定の除去効果は期待できると考えられる。

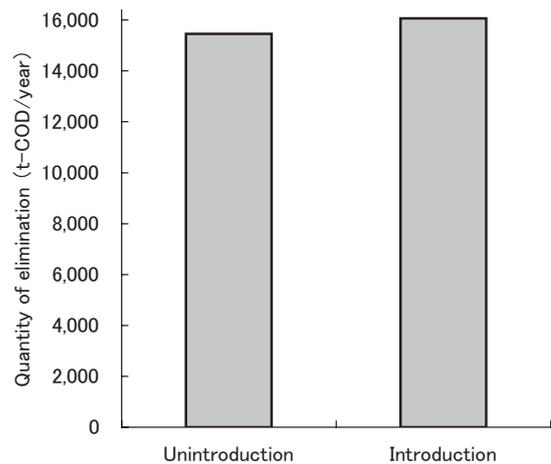


Figure 3. Water pollutant reduction by advanced treatment (COD)

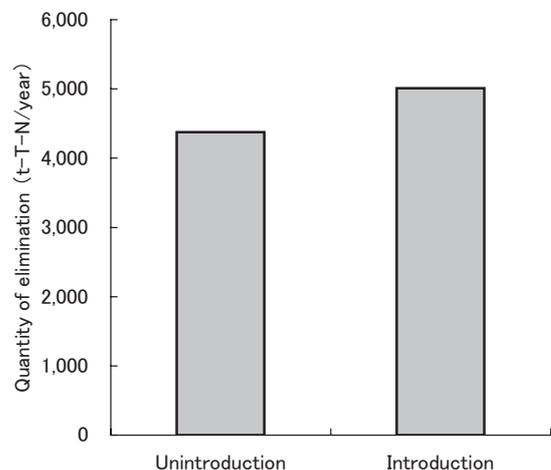


Figure 4. Water pollutant reduction by advanced treatment (T-N)

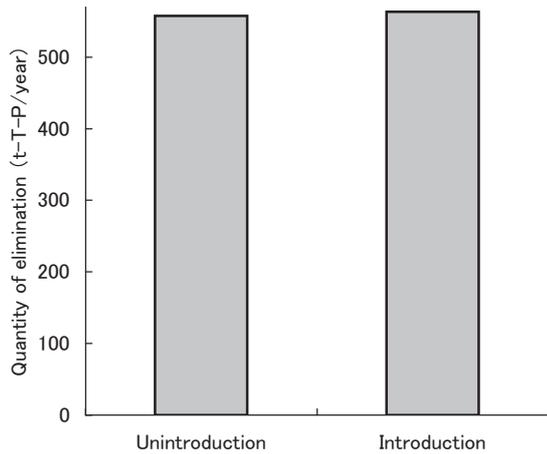


Figure 5. Water pollutant reduction by advanced treatment (T-P)

5. 水処理 GHG 効率

滋賀県の下処理場では、通常の有機物除去を中心とした処理に加えて、窒素、リンの高度処理を行っている。平成15年度末の下処理場における滋賀県の高度処理人口普及率は国内最大である²¹⁾。これにより、琵琶湖の富栄養化の進行を抑制しており、水質は全国の主要な湖沼と比較しても低い濃度を維持している。その一方で、高度処理に伴うCO₂排出など他の環境負荷が大きいと考えられる。そこで本研究では、式(1)に示すようにGHG排出量あたりの汚濁負荷物質(BOD、COD、SS、T-N、T-P)除去量という水処理GHG効率を新たな環境効率指標として算出し、水質汚濁とGHG排出の両面から下水処理システムの評価を試みた。

$$\text{水処理GHG効率} = \frac{\text{水質汚濁負荷物質除去量}}{\text{GHG排出量}} \quad (1)$$

この指標の定義としては、下水処理施設において温室効果ガス1(t-C)を排出する水処理プロセスによって除去される汚濁負荷物質となる。水処理GHG効率が大きい値をとれば、少ないGHG排出量で多くの汚濁負荷物質が除去できると考えられ、環境効率の高い水処理であるといえる。

5.1 算出方法

「4. 現状および将来の環境負荷」で算出した水質汚濁負荷物質除去量とGHG排出量を用いて、各汚濁負荷物質除去量をGHG排出量で除して水処理GHG効率を算出した。また、2030年の各シナリオにおける水処理GHG効率についても同様の手順で算出した。水処理に伴うGHG排出量は、高負荷から中程度の負荷までの除去の場合や低負荷から超低負荷までの除去の場合といった水質汚濁負荷物質の除去効果のレベルにより変化すると考えられる。低負荷から超低負荷までの除去では、微量の汚濁負荷除去のために相対的に多くのGHGが排出される可能性も考えられることから、汚濁負荷物質の除去効果のレベルによるGHG排出量への

影響について重み付け等を行いそれぞれ検証する必要もある。本研究では、このような水質汚濁負荷除去効果のレベルによるGHG排出量の相違に関するデータの詳細が入りできなかったため、流入水質および流出水質から推計した水質汚濁負荷物質除去量の総量を用いて水処理GHG効率を算出している。

5.2 算出結果

Figure 6に2003年の各下水処理施設のCODに関する水処理GHG効率算出結果を示す。下水道の水処理GHG効率は農業集落排水施設の約1.5倍、合併処理浄化槽の約1.8倍となり、他の下水処理施設と比較し高い結果となった。下水道は他の下水処理施設と比較し、汚濁負荷物質の除去率が高いことや、単位処理量あたりのエネルギー消費量も少ないためこのような結果になったと考えられる。この結果より、下水道は他の下水処理施設と比較して、環境効率の高い処理を行っていると考えられる。

Table 4に下水道の現状及び将来の各シナリオにおける水処理GHG効率算出結果を示す。汚濁負荷物質により多少の相違はあるが、将来において超高度処理を導入した場合(E、F、G、H)は、未導入(A、B、C、D)と比較し水処理GHG効率は低い結果となった。これは超高度処理導入による水質汚濁負荷物質除去効果よりも、超高度処理施設の運転によるGHG排出の増加影響の方が相対的に大きいためであると考えられる。また、節水の有無により比較すると、節水を行う場合(C、D、G、H)は行わない場合(A、B、E、F)よりも水処理GHG効率は高い結果となった。加えて、節水・超高度処理導入シナリオ(G)において、水処理GHG効率は現状よりも高くなることから、超高度処理を導入した場合においても節水を行うことにより現状よりも高い環境効率での運転が期待できる可能性があることがわかった。

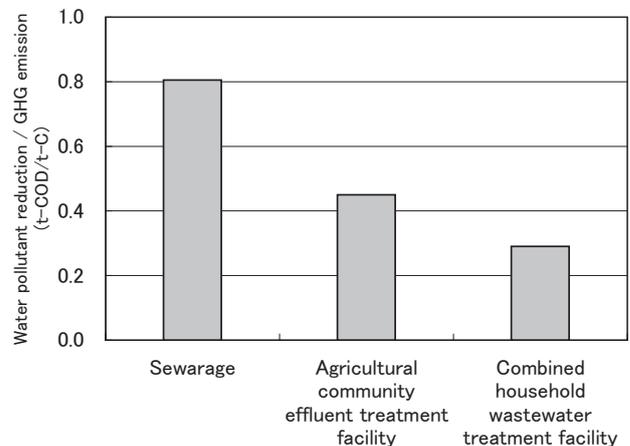


Figure 6 Comparison of environmental efficiency (Water pollutant reduction / GHG emission) related to wastewater treatment [2003]

Table.4 Environmental efficiency of sewerage (Water pollutant reduction / GHG emission)

		BOD (t-BOD/t-C)	COD (t-COD/t-C)	SS (t-SS/t-C)	T-N (t-T-N/t-C)	T-P (t-T-P/t-C)
FY2003		1.639	0.805	1.711	0.225	0.029
FY2030	A	1.949	0.961	2.045	0.272	0.035
	B	1.951	0.962	2.047	0.272	0.035
	C	2.168	1.069	2.275	0.303	0.039
	D	2.170	1.070	2.277	0.303	0.039
	E	1.542	0.786	1.610	0.245	0.028
	F	1.543	0.787	1.611	0.245	0.028
	G	1.771	0.903	1.849	0.282	0.032
	H	1.771	0.903	1.850	0.282	0.032

6. まとめと今後の課題

本研究では、滋賀県の污水処理システムを対象に、現状及び将来の環境負荷の推計を行った。污水処理システムからのGHG排出量は処理人口の多い下水道からの排出が、現状では約70%、将来においては約80%～85%と大部分を占める結果となった。また、下水道への超高度処理の導入は環境負荷を増大させる可能性があることがわかった。一方、節水は環境負荷を抑制させる可能性があることがわかった。このことから、超高度処理導入に際しては、節水を並行して促進することが環境負荷低減の観点から重要になってくるのではないかと考えられる。

また、水処理GHG効率という新たな環境効率指標を提案することにより、水質汚濁とGHG排出の両面から污水処理システムの総合評価を試みた。水質汚濁負荷の除去効果としては、将来において超高度処理を導入した場合、未導入の場合と比較してCODでは約4%、T-Nでは約15%、T-Pでは約1%の除去量の増加となった。また、水処理GHG効率で評価すると、下水道は他の処理施設と比較し、約1.5倍～1.8倍環境効率の高い処理を行っているという結果となった。将来に超高度処理を導入した場合においても節水を同時促進することにより、現状と比較し高い水処理GHG効率が得られる結果となり、現状よりも高い環境効率での運転が見込まれる可能性があることがわかった。今後、水質保全分野において水処理機能の増強を検討する際など、このような環境効率指標を活用することは有効であると考えられる。しかし、水処理による水質汚濁負荷除去量の詳細について、高負荷から中程度の負荷までの除去の場合と低負荷から超低負荷までの除去の場合を区別しながら考慮するなど、水質保全に関する現実的な意義に基づいた環境効率評価にまで踏み込むことも求められよう。

本研究では水処理および水処理に伴い発生する余剰汚泥処理の段階における環境負荷評価を試みたが、水処理の段階だけで考えた場合、水処理技術の高度化による処理設備の増強は環境負荷を増大させる要因にしかならない。しか

し今後は、処理水放流後の下流側水利用の段階まで考慮した水循環全体を見通した環境負荷にどのような影響が表れるのかについて詳細に検討する必要があると考えられる。さらには、人口増加と1人あたり水需要の変化の複合的な効果の詳細を検討する必要がある。具体的には、評価対象に上水道システムを加えるなど、水利用から水処理を系統的に把握し、水系全体での環境負荷評価を行っていく必要があると考えている。

(平成19年5月1日受付、平成19年11月18日採択)

参考文献

- 1) IPCC(気候変動に関する政府間パネル)：“第3次評価報告書”，(2001)
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：“都道府県の将来推計人口(平成14年3月推計)”，国立社会保障・人口問題研究所，(オンライン)，入手先<<http://www.ipss.go.jp/>>，(参照2006-3-1)
- 3) 井村秀文，銭谷賢治，中嶋芳紀，森下兼年，池田秀昭：下水道システムのライフサイクルアセスメント：LCE及びLC-CO₂による評価，土木学会論文集，(1996)，No.552/VII-1，pp.75-84
- 4) (財)日本環境整備教育センター：“平成13年度浄化槽のライフサイクルアセスメントに関する調査報告書”，(2002)
- 5) 社団法人日本下水道協会：“下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き”，(1999)
- 6) 中島英一郎，荒谷裕介，平出亮輔：下水道システムのLCAに関する調査，国土技術政策総合研究所資料，(2005)，No.228，p.83-90
- 7) 稲葉陸太，花木啓祐，荒巻俊也，中谷準：諏訪湖水環境改善効果と対策に伴う地球環境への影響の費用便益換算による統合的評価，環境システム研究論文集，(2001)，Vol.29，p.37-45
- 8) 稲葉陸太，中谷準，荒巻俊也，花木啓祐：複合的な対策

による諏訪湖水環境改善および副次的CO₂排出による地球温暖化への影響の統合的評価, 水環境学会誌, (2002), Vol.25, No.11, pp.635-640

- 9) 柴田昌彦：国内における環境効率の動向, 日本LCA学会誌, (2005), Vol.1, No.3, p.189-194
- 10) (社) 未踏科学技術協会：“持続可能な消費に向けた指標開発とその活用に関する研究報告書”, (2005), p.67-89
- 11) 滋賀県琵琶湖環境部水政課琵琶湖環境政策室：“平成16年(2004年)版環境白書”, 滋賀県, (2004), p.152
- 12) 滋賀県県民文化生活部生活衛生課：“滋賀県の水道”, 滋賀県, (1990-2005)
- 13) 滋賀県：“さわやかな暮らし－滋賀の下水道－”, (2005), p.14
- 14) (社) 日本下水道協会：“下水道統計(行政編)”, (社) 日本下水道協会, 東京, (2005)
- 15) 環境省：“地球温暖化対策の推進に関する法律施行令で定める排出係数一覧”, 環境省, (オンライン), 入手先<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santei_keisuu/>, (参照2007-3-1)
- 16) (株) 関西電力：“環境関連データ”, (株) 関西電力, (オンライン), 入手先<<http://www.kepco.co.jp/corporate/csr/data/data02.html>>, (参照2006-3-1)
- 17) (社) 日本下水道協会：“下水道統計(行政編)”, (社) 日本下水道協会, 東京, (1989-2005)
- 18) 滋賀県下水道公社：“超高度処理実証調査報告書”, (2005)
- 19) 資源エネルギー庁総合政策課：“2030年のエネルギー需給展望”, 経済産業省, (オンライン), 入手先<<http://www.meti.go.jp/report/data/g41004bj.html>>, (参照2006-3-1)
- 20) 経済産業省：“技術戦略マップ(エネルギー分野)～超長期エネルギー技術ビジョン～”, (オンライン), 入手先<www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g51013a41j.pdf>, (参照2006-3-1)
- 21) 滋賀県：“さわやかな暮らし-滋賀の下水道-”, (2005), p.10