

下水処理に関わる汚染の社会的費用評価

九州大学工学部 学生員 ○國崎剛俊

同上 正員 楠田哲也 森山克美

1. はじめに 下水処理は公共用水域の水質保全を目的の1つとするが、近年、処理水中のリンや窒素が原因と見られる富栄養化が問題となっている。また、下水処理に必要なエネルギーは化石燃料から得られているため、温暖化ガスの発生など環境に負荷を与えている。これらのことは下水道事業において除去すべき汚染物質の環境への負荷放出と捉えることもできる。本研究は、従来の処理費用(処理施設建設費+維持管理費)に加え、このような下水処理に関わる環境への負荷を「社会的費用」という概念で算出し、これも含めた下水処理の総合費用という視点から下水処理を評価することを目的とする。

2. 社会的費用の定義 下水処理に関わる環境への負荷を費用で算出したものを社会的費用と定義する。社会的費用の算出方法としては、被害を避けるために下水をあらかじめ目標水質レベルまで浄化すると想定し、それに要する経費を水質汚染にともなう被害額であるとみなす「予想的回復費の推定」の方法¹⁾を用いた。これによると、処理水質、処理費用と社会的費用の関係は図-1のように示される。

3. 評価項目と評価手法 評価対象処理方式を図-2に示す。(1)水域への処理水の負荷:処理水質の検討項目をCOD Mn、TN、TPとして、各々の目標水質を16mg/l、7.5mg/l、0.5mg/l(循環式硝化脱窒法+凝集剤添加で達成可能な値)に設定し、上述の定義に基づいて処理方式毎に検討項目別社会的費用を求め、それらの和を水質の社会的費用とした。ここで、標準法はCOD除去、循環法はTN除去、凝集剤添加はTP除去のみを目的とした処理法とし、標準法において付加的に除去されるTN、TPの費用は0とした。(2)大気への温暖化ガスの負荷:下水処理に伴って発生する温暖化ガスとして①CO₂、②N₂Oの2つを考える。①CO₂:電力消費は化石燃料の消費であるため、電力消費に比例してCO₂が発生する。処理方式別の消費電力からそれぞれのCO₂発生量を求め、大気に放出されたCO₂をK₂CO₃水溶液吸収/ストリッピング法によって除去・回収するのに要する費用を求めた²⁾。これをCOD等の除去量で割ることによって水質除去原単位当りのCO₂除去・回収費用を見積ることができる。これによって、CO₂の社会的費用も、水質同様、目標水質まで達するためのCO₂除去・回収費と実際の処理水質までに要するCO₂の除去・回収費との差として算出することができる。②N₂O:アンモニア性窒素が含まれている二次処理水を塩素処理すると、塩素処理しない場合と比較して、溶存N₂O濃度が約500倍高くなると報告されている³⁾。よって、N₂Oを発生させない代替プロセスを導入するのに要する費用を社会的費用とする。考えられる代替プロセスは、(i)処理水中にアンモニア性窒素が残留しない循環法、(ii)塩素処理の代替としてのオゾン処理、の2つを考える。

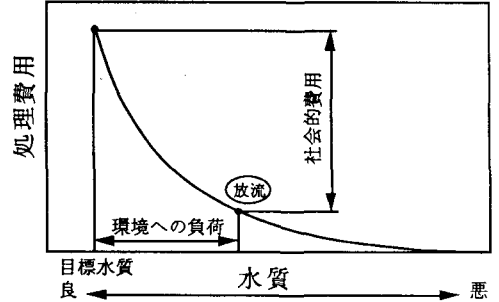


図1 処理水質と社会的費用

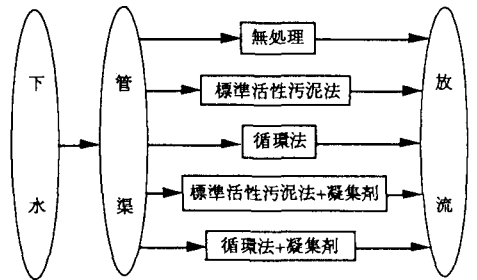


図2 評価対象処理方式

表-1 処理方式別建設費、維持管理

処理方式	建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/年)
標準法	$393 \times (1.25Q)^{0.750} \times 101.9 / 91.7$	$20.3 \times Q^{0.697} \times 101.9 / 91.7$
循環法	$24.0 \times (1.25Q)^{1.00}$	$12.18 \times Q^{0.440}$
凝集剤添加	$55.8 \times (1.25Q)^{0.434}$	$5.27 \times Q^{0.490}$
循環法+凝集剤添加	$24.0 \times (1.25Q)^{1.00} + 55.8 \times (1.25Q)^{0.434}$	$12.18 \times Q^{0.440} + 5.27 \times Q^{0.490}$

表-2 処理方式別処理費用と水質

	水質 処理費用 (円/m ³)	COD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	消費電力 (kWh/m ³)	CO ₂ 発生CO ₂ (g/m ³)	CO ₂ 除去・回収費用 (円/m ³)
未処理下水	100	36	5.1				
標準法	175	16	25	1.7	0.3	143	4.8
循環法	40	16	7.5	1.7	0.53	252	8.5
凝集剤	28	16	25	0.5	0.31	148	5
循環法+凝集剤	68	16	7.5	0.5	0.54	257	8.7

消費電力は汚泥処理(濃縮・消化・脱水)のエネルギーを含む

CO₂除去・回収費用は、除去・回収にともなう発生するCO₂を考慮して算出

4. 結果および考察 (1)水質とCO₂処理方式別の建設費、維持管理費等を表-1, 2に示す⁴⁾⁵⁾。これらのデータより処理水の水質、CO₂と処理費用の関係を求めた結果が図-3, 4, 5である。水質除去原単位当りの処理費用はそれぞれ2.08(円/m³)/(1CODmg/l), 2.29(円/m³)/(1TNmg/l), 23.3(円/m³)/(1TPmg/l), 水質除去原単位当りのCO₂除去・回収費用がそれぞれ0.0574(円/m³)/(1CODmg/l), 0.487(円/m³)/(1TNmg/l), 4.17(円/m³)/(1TPmg/l)と求められた。下水処理に関わる汚染の社会的費用は無処理の場合は式(1)で、その他の方式の場合は式(2)で求められる。

$$Y = (2.08 + 0.0574) \times (C - 16) + (2.29 + 0.487) \times (N - 7.5) + (23.3 + 4.17) \times (P - 0.5) \dots \dots \dots (1)$$

$$Y = 2.08 \times (C - 16) + 2.29 \times (N - 7.5) + 23.3 \times (P - 0.5) + 0.0574 \times (100 - C) + 0.487 \times (25 - N) + 4.17 \times (1.7 - P) \dots \dots \dots (2)$$

Y: 社会的費用(円/m³)、C: 放流水のCOD(mg/l)、

N: 放流水のTN(mg/l)、P: 放流水のTP(mg/l)

これにより社会的費用は、標準法:73円/m³、循環法:41円/m³、標準法+凝集剤添加:50円/m³、循環法+凝集剤添加:18円/m³、無処理:385円/m³となった。実際の処理費用、下水処理の総費用を図-6に示す。これより、集水だけを行って無処理で放流すると結果的には環境に最も負荷を与えるだけでなく、最も非効率的であるということになる。また、社会的費用の内訳は図-7の通りである。(2)N₂O: 循環法および循環法+凝集剤添加に関しては、処理水中にアンモニア性窒素が存在しないとするのでN₂Oの社会的費用は0である。標準法、標準法+凝集剤添加に関しては、塩素処理に代わりオゾン処理プロセスを導入するのに要する費用がN₂Oの社会的費用となる。

5. おわりに 本研究により、下水処理に関わる汚染の社会的費用の評価について一手法を提示した。この手法を用いて、実際の処理費用と同じように「環境への負荷」あるいは「環境の価値」という評価項目を計量化(経済費用化)することによって、より多面的に下水処理方式の評価を行うことができると考える。また、「社会的費用」で求めた無処理の費用が最も高く評価されたが、実際に汚染した状態を原状に戻す費用はさらに高くなると考えられる。

<参考文献>1)植田和弘他: 環境経済学、有斐閣、1985 2)Meyer Steinberg et al, ENVIRONMENTAL CONTROL TECHNOLOGY FOR CARBON DIOXIDE, AIChE Symposium Series, 1980 3)Ralph J. Cicerone et al: Nitrous Oxide in Michigan Waters and in U.S Municipal Waters, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 1978 4)楠田哲也他: エネルギーと経済費用見積による下水道の評価 5)下水道協会: 流域下水道整備総合計画、指針と解説、平成2年

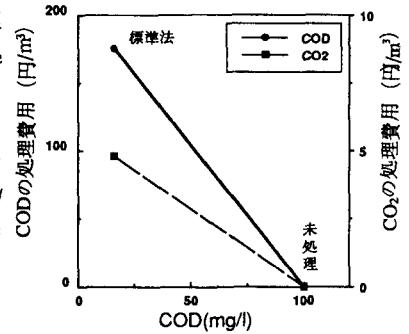


図3 標準法によるCODとCO₂の処理費用

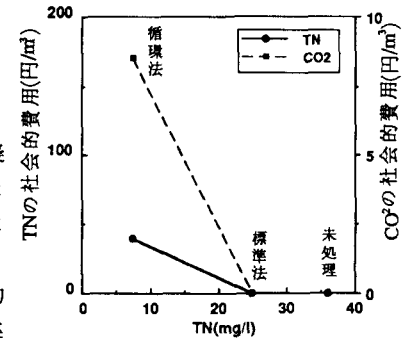


図4 循環法によるTNとCO₂の処理費用

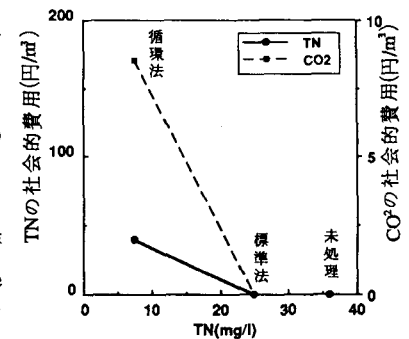


図5 凝集剤添加によるTPとCO₂の処理費用

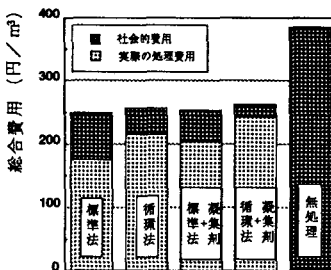


図6 実際の処理費用と社会的費用

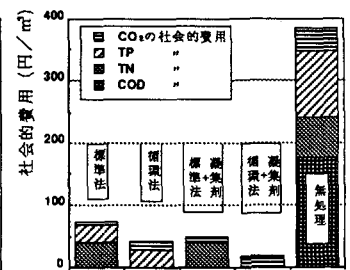


図7 社会的費用の内訳