

筑波大学

○萩原 清子

国立公害研究所

北畠 能房

〃

中杉 修身

〃

内藤 正明

1. はじめに

環境問題の取扱い方として環境影響評価から環境管理へとということが検討され始めている。この環境管理の基本的考えに環境資源の適正管理がある。¹⁾

本報告は、湖沼で代表される閉鎖性水域を環境資源とみなし、適正管理のための基礎情報を求めようとするものである。

湖沼の富栄養化の影響としては、レクリエーション、漁業、農業、工業、都市用水供給等への影響が考えられる。この中、本報告では、都市用水供給に与える経済的影響を考察することとする。

2. 環境資源の経済学的取扱い

2-1 経済的影響の考察の意義

経済学は同時に達成することのできないいくつかの目的に対して、限られた資源をいかに使用するかを研究するものと定義されている。²⁾したがって、経済学では環境を資源とみなして多くの研究が行われてきた。

そこで、まず、経済学では環境資源に対してどのようなアプローチがなされているかを簡単に考察することとする。^{3), 4)}

理論的には、ピグー的政策として私的限界費用と社会的限界費用の差に相当する税(汚染税あるいは排出課徴金等と呼ばれる)を課することが環境保全のために望ましいとされている。このような税を課すということは、河川とか湖のような社会的共通資本が限られた量しかない稀少資源であるという認識に基づいて考えられるものである。

このように環境が公共財的性質を有するという認識より、政府の果たす役割が期待されている。ところが、上述のような課税政策を採るにせよ、あるいは、直接、環境保全投資を行うにせよ、難しい問題が伴う。すなわち、前者については、最適課税額(率)を決めるための被害関数の形状によっては唯一の最適税を決められないという問題がある。また、後者については、投資基準決定のための便益の測定方法に関する問題がある。

こうした問題を解決して実際に政策を実行するためには、被害あるいは便益という形で現れる環境汚染の経済的影響を十分に吟味する必要があると考えられる。

2-2 閉鎖性水域の利用形態

湖などの閉鎖性水域の利用としては、(1)レクリエーション(釣、水泳、ボート等)のように直接、水に接して利用する形態、(2)工業用水、農業用水、都市用水、漁業等のように水を何らかの生産のために利用する形態、と(3) (1)や(2)の利用に伴う廃物の棄置場として利用する形態が考えられる。

(1)と(3)の利用を行う個人 i の効用関数は、

$$U^i = U^i(x_j^i, y_k^i, W^i, Q), \quad i = 1, \dots, I, \quad j = 1, \dots, J, \quad k = 1, \dots, K \quad (1)$$

である。ただし、 x_j^i は財 j の個人 i の消費量、 y_k^i は個人 i が供給する生産要素量、 W^i は個人 i の廃棄物、 Q は湖の水質を表している。また、(2)と(3)の利用を行う生産者 n の生産関数は、

$$F^n(x_j^n, Y_k^n, W^n, Q) = 0, \quad n = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, J, \quad k = 1, \dots, K \quad (2)$$

と表される。ただし、 X_j^n は生産者 n の財 j の生産量、 Y_k^n は生産者 n の投入物 k の使用量、 W^n は生産者 n の廃棄物を表している。生産要素 $Y_1, \dots, Y_K$ の価格が与えられると(2)式より生産者 n の費用関数

$$C^n = F^n(X_j^n, W^n, Q) \quad (3)$$

が求められる。

さらに、湖の水質 Q と湖に排出される廃棄物の量とを関連づける関係式は、

$$T(W^n, W^n, Q) = 0 \quad (4)$$

と表される。これはKneeseにより“transfer function”と呼ばれるものである。^(2), 6)

以上より、湖沼など閉鎖性水域の経済的影響を考察するためには利用形態に応じて効用関数(あるいは需要関数)または生産関数(あるいは費用関数)を考慮しなければならないと考えられる。

3. 都市用水供給に与える経済的影響

都市用水供給に与える富栄養化の影響としては、取水地点の変更、浄水処理方式の変更、薬品・エネルギー量の増大や人々の健康への影響、臭い水に対する不快感等が考えられる。

取水地点の変更は、原水水質の悪化により現行の処理システムでは水質基準を守れないために、より良い原水を求めて行われるものである。

浄水処理方式の変更は、緩速ろ過方式①→急速ろ過方式②→急速ろ過方式(活性炭処理を伴う)として考えられる。この中、②については水質の悪化によるものと考えられる。一方、①については、量の要求によって処理能力の大きい急速ろ過方式に変えられる場合と原水水質の悪化によって薬品処理を行わなければならないため急速ろ過方式に変えられる場合が考えられる。

従来、都市用水企業の施設拡張問題は量の要求により投資が行われるものとして考えられてきた。^(2), 10)しかしながら、環境を資源とみなせば、今後、量と質の両方を考慮することが重要になるであろう。^(2), 10)

原水水質が悪化するにつれて流でん池で投入される塩素、硫酸バンド、バック等薬品量は多くなる。さらに、かび臭等が発生すれば活性炭処理も行わなければならない。また、藻類等によりろ過池が目づまりしやすく、表面洗淨や逆流洗淨の回数を多くする必要がある。このように原水水質の悪化により処理薬品量や洗淨ポンプの電力量が

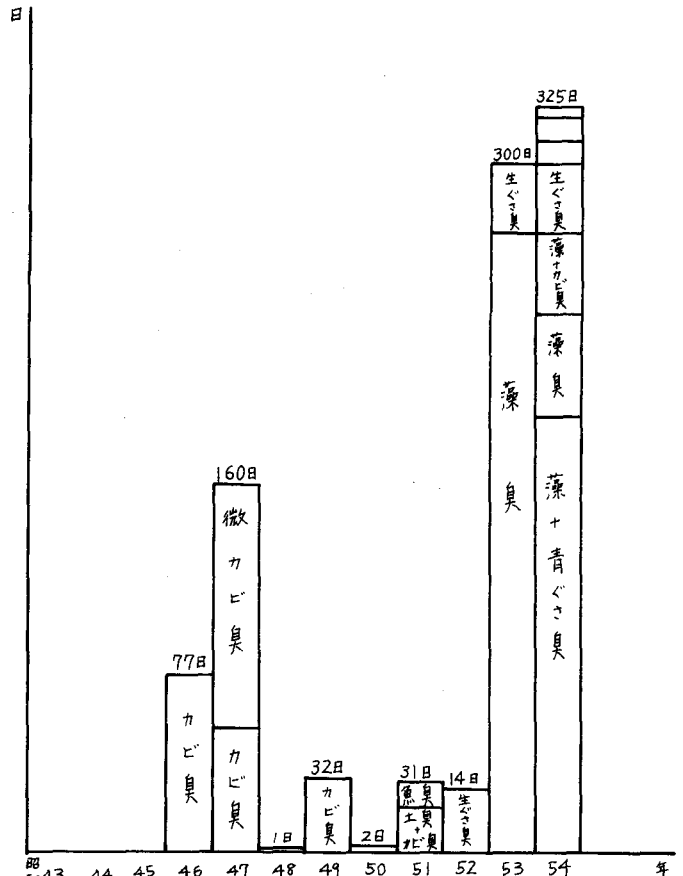


図-1 臭気発生日数

増大する。

また、藻類等の増加に伴う発生活泥量も経済的影響として考慮しなければならない。

消費者の健康への影響については、死亡率や疾病率と水質との疫学的関係の解明の必要性や人の生命をどのように評価するかという非常に大きな問題がある。

さらに、臭い水に対する不快感は個人差の大きいものであり、また計量化するのが難しい問題である。

4. 影響の定量化

閉鎖性水域より取水を行っているA自治体とB自治体について都市用水供給に及ぼす富栄養化の影響の定量化を行った。

4-1 浄水場の状況

A自治体の浄水場（以下ではA浄水場と表す）は全国の浄水場の中では、富栄養化がかなり進行した湖を水源とする浄水場の一つとみなされる。そして、水利用上の影響としては藻類の増殖に伴うpH値の上昇による凝集沈殿処理への障害、ろ過池の間そく及び異臭味の発生等が考えられる。処理方式としては、粒状活性炭ろ過池を有する急速ろ過処理が行われている。このような浄水管理に影響を及ぼす藻類として、ろ過池をつまらせる矽藻類の *Melosira*, *Synedra* や緑藻類の *Closterium*, 異臭の原因となる藍藻類の *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Phormidium* の存在が認められている。

B自治体の原水で昭和26年から54年の間に増加傾向のみられるものは、硬度、塩素イオン、硝酸性窒素、一般細菌数、過マンガン酸カリウム消費量等である。最近（昭和47年から54年）に限ってみれば、硬度、塩素イオン、過マンガン酸カリウム消費量、濁度、色度、鉄、亜硝酸性窒素等に増加がみられる。一方、藻類としては臭いとの関連で、*Phormidium* や *Uroglena* が問題となっている。昭和53年頃より異臭味が顕著となっている（図-1を参照せよ）。春には矽藻類の *Synedra* が多く、沈殿効果を低下させる。また、夏には、緑藻類の *Closterium*, *Pediastrum*, 藍藻類の *Phormidium* が多くなり、沈殿効果の低下やろ過障害を起こす。A自治体の水域で見られる *Microcystis* はあまり見られないが、*Anabaena* による水の草の形成が見られる。図-2と図-3に代表的水質項目の処理プロセスに沿った月平均水質変化を示す。図-2と図-3より、浄水処理で薬品の役割の大きいことがわかる。

なお、A浄水場については、昭和53年7月から54年3月までの日データを使用した。また、B自治体については、3浄水場（B₁浄水場、B₂浄水場、B₃浄水場）について、昭和43年から55年までの年データと昭和49年から55年までの月データを使用した。

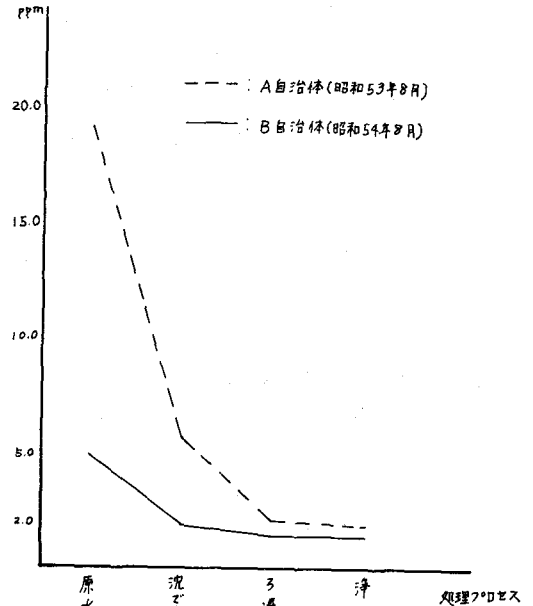


図-2 過マンガン酸カリウム消費量の変化

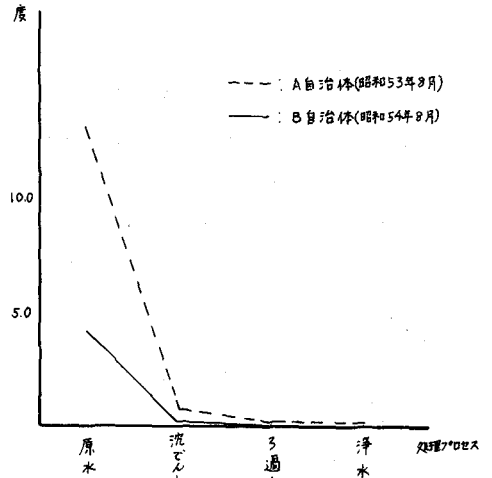


図-3 濁度の変化

4-2 各浄水場における影響の考察

A, B 浄水場とも原水水質の悪化による取水地点の変更は行われていない。ただし、A 浄水場は建設時点²⁾、かなり沖合(約 200 m 沖)から取水している。

A 浄水場の処理方式は、粒状活性炭ろ過池を有する凝集沈殿急速ろ過方式である。一方、B 自治体の浄水場(以下では B 浄水場と表す)では、緩速ろ過方式と活性炭処理を併用した凝集沈殿急速ろ過方式を並行して処理を行っている。このように、原水水質の悪化している A 浄水場では急速ろ過方式しか採用していないのに対して、A 浄水場に比べて水質の良い(図-2 と図-3 を参照せよ) B 浄水場は、緩速と急速ろ過方式を併用している。こうした点からは、A 浄水場と B 浄水場の処理方式の違いは原水水質の悪化によるものと考えられる。一方、B 浄水場は緩速処理を急速処理と共にやっていることから、急速処理方式への移行は量の要求によるものと将来予想される原水水質の悪化によるものと考えられる。したがって、A 浄水場と B 浄水場の資本費の差から単純に、原水水質の悪化による資本費の増大を抽出することはできなかった。また、B 浄水場のみにおける資本費の増加額から原水水質の悪化によるものだけを見い出すこともできなかった。

このため、薬品・エネルギー量と発生活泥量に対する富栄養化影響の定量化を行った。

4-3 富栄養化に伴う費用の増加

都市用水企業の限界費用曲線は図-4 の MC_1 あるいは MC_2 で表される。

MC_1 は水質改善前の限界費用曲線であり、 MC_2 は水質改善後の限界費用曲線である。水質の改善により生産費用が減少するので MC_1 から MC_2 へと右へシフトしている。また、価格は P_0 に固定されていると想定する。

水質改善前の可変費用(薬品・エネルギー費)は、 $OBCX$ に囲まれた部分で表され、改善後の可変費用は、 $OADX$ に囲まれた部分で表される。このとき、水質改善による影響は、“cost-saving”¹⁾ アプローチにより、 $ABCD$ で囲まれる部分、すなわち、水質改善前と改善後の可変費用の差で表すことができる。

A 浄水場の月平均原水水質と単位生産量当たり月平均薬品・エネルギー費を表-1 に示す。²⁾ なお、原水水質として過マンガン酸カリウム消費量を選んだのは、富栄養化の指標の一つとして用いられる COD と過マンガン酸カリウム消費量が関連を有するからである。すなわち、一般に、COD 値は過マンガン酸カリウム消費量の $\frac{1}{4}$ として表される。表-1 より、短期間ながら費用の変動は見受けられ、富栄養化現象が顕著となる夏期に費用が高くなっているのがうかがえる。

表-2 には A 浄水場の費用構成項目の単位生産量当たり月平均費用を示す。²⁾ ただし、表-2 は表-1 と算出方法が違うため、合計値は異なっている。

表-3 には、B 浄水場の単位生産量当たり年平均費用と年平均原水水質を示す。なお、計算に用いた単価は次のとおりである。パツ：39.6 円/kg、硫酸バンド：17 円/kg、塩素：113 円/kg、活性炭：180 円/kg、電気(夏(7.8.9月))：17.25 円/kwh、電気(夏以外)：16.2 円/kwh

表-3 で、 B_1 , B_2 , B_3 浄水場間で費用が大きく違うのは、浄水場によって電力消費量の扱い方が違うためである。また、汚泥ケーキ量のデータが昭和52年4月よりあるので、萩原[1981]で用いた単価を掛けてその費用も

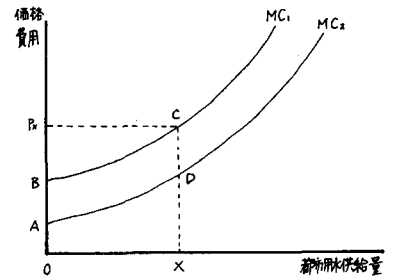


図-4 都市用水企業の限界費用曲線

表-1 A 浄水場の原水水質と月平均薬品エネルギー費

項目	過マンガン酸カリウム消費量 (ppm)	費用 (円/m ³)
7	13.4	13.8
8	19.1	18.0
9	19.2	12.5
10	17.9	8.4
11	16.5	*
12	15.2	*
1	13.0	10.8
2	11.7	11.2
3	13.5	12.4

* : 平均値除

含めると、52年度：10.40円/㎥、53年度：10.40円/㎥、54年度：11.36円/㎥となる。

A浄水場についてはデータが9ヵ月間に短期間のため、以下は、B浄水場のみについて計算した。

B浄水場について、年平均費用と原水水質の関係を求めたが、有意な結果は得られなかった。これは、エネルギー算定に含まれる表洗・逆洗がB浄水場においては原水水質と無関係に行われていることによると考えられる。

したがって、単位生産量当たり年平均薬品費、C、と原水水質、Q、の関係式を求めると以下になる。Qは過マンガン酸カリウム消費量である。なお、計算に用いたデータを表-4に示す。

$$C = -0.400 + 0.822 \ln Q$$

$$(-1.336) \quad (4.066)$$

$$R^2 = 0.610, F = 16.529$$

$$n = 30$$

ただし、括弧内の数値はt-値である。
nはサンプル数である。

上式は、(4)式を $C/X_i^2 = F''(Q)$ の形で求めたものである。

仮に、この式により、富栄養化の状態ではなかったときの過マンガン酸カリウム消費量を2.0 ppmとして費用を求めてみると、0.17円/㎥となる。B2浄水場の昭和54年度の単位生産量当たり年平均費用は、1.82円/㎥であるから、年平均原水水質が昭和54年度の5.9 ppmより3.9 ppm上昇すれば、1.65倍の費用節減となる。B2浄水場の一日最大給水量は30000㎥であるから年間では、約1800万円の費用節減となる。

B自治体の昭和54年の給水原価は55円/㎥であるから、3.9 ppmの水質改善

表-2 A浄水場の費用構成項目の月平均費用の季節変動

項目 (品名) 月	前塩素	PAC	表・逆 洗流量	表・逆洗に 消費電力	汚泥池 流出量	脱水機 消費電力	活性炭 逆洗流量	計
7	0.55	2.10	6.39	0.14	0.06	0.34	0.25	9.83
8	0.93	2.75	3.70	0.12	0.08	0.53	0.54	8.65
9	0.78	2.62	2.45	0.10	0.08	0.53	0.34	6.90
10	0.67	2.45	2.63	0.10	0.08	0.45	0.25	6.63
11	0.60	2.31	3.15	0.10	0.07	0.41	0.21	6.85
12	0.55	2.19	3.59	0.10	0.06	0.37	0.18	7.04
1	0.48	2.01	4.38	0.11	0.05	0.31	0.17	7.51
2	0.44	1.91	3.88	0.10	0.04	0.27	0.17	6.81
3	0.49	2.05	4.59	0.11	0.05	0.32	0.17	7.78

表-3 B浄水場の原水水質と年平均費用の経年変化

浄水場 項目 年度	B1 浄水場		B2 浄水場		B3 浄水場	
	過マンガン酸カリウム 消費量 (ppm)	費用 (円/㎥)	過マンガン酸カリウム 消費量 (ppm)	費用 (円/㎥)	過マンガン酸カリウム 消費量 (ppm)	費用 (円/㎥)
43					3.5	0.77
44	2.9	5.95			4.2	0.66
45	3.4	5.41			4.3	0.93
46	5.5	5.44			5.5	1.10
47	3.6	5.35			5.4	1.07
48	4.6	5.81			4.5	0.97
49	3.7	7.04	3.9	12.75	4.2	1.08
50	3.4	7.32	4.4	11.84	4.9	1.06
51	3.6	7.52	4.0	10.61	4.3	1.13
52	3.8	7.86	4.5	10.18	4.9	1.20
53	3.6	7.55	5.4	10.15	5.5	1.18
54	4.8	7.43	5.9	10.99	5.9	1.09

表-4 B浄水場の薬品費と原水水質

浄水場 項目 年度	B1 浄水場		B2 浄水場		B3 浄水場	
	Q	C	Q	C	Q	C
43	2.6		3.1		3.5	0.77
44	2.9	0.37	3.5		4.2	0.66
45	3.4	0.42	3.3		4.3	0.88
46	5.5	0.48	4.4		5.5	0.94
47	3.6	0.50	4.8		5.4	0.92
48	4.6	0.54	4.4	0.64	4.5	0.87
49	3.7	0.64	3.9	0.92	4.2	0.96
50	3.4	0.72	4.4	1.01	4.9	0.95
51	3.6	0.75	4.0	0.86	4.3	1.01
52	3.8	0.81	4.5	0.93	4.9	1.07
53	3.6	0.78	5.4	0.98	5.5	1.02
54	4.8	0.96	5.9	1.82	5.9	0.95

は、給水原価を約3%押し下げることとなる。

5. おわりに

都市用水供給に与える富栄養化の経済的影響を消費者余剰概念に基づく“cost-saving”アプローチにより、水質の悪化(あるいは改善)による薬品費の増大(減少)として定量化した。

浄水場の費用としては可変費用として薬品費以外にも電力費等が含まれ、また、固定費用として施設費等の資本費がある。したがって、富栄養化の経済的影響を考察するためには、当然、これらの費用項目も考慮しなければならぬと考えられる。この意味で、本報告は富栄養化影響の短期分析である。資本費等をも含めた費用を考慮して富栄養化影響の長期分析を行うことは今後の課題として残されている。

また、長期分析のためには消費者の需要行動も考慮することが必要となる。その際、価格のみでなく、供給される水の品質(臭いも含む)に対する消費者の選好を明示することも考えられるべきであろう。

最後に、人口の健康への影響をどのように考慮するかということが最も大きな問題として残されている。

参考文献

- 1) 中杉修身, 西岡秀三: 環境資源としての水域の評価, 第2回水資源問題シンポジウム, 1982
- 2) Henderson, J.M. and R.E. Quandt: Microeconomic Theory, McGraw-Hill, 1980
- 3) Baumol, W.J. and W.E. Oates: The Theory of Environmental Policy, Prentice-Hall, 1975
- 4) Feenberg, D. and E.S. Mills: Measuring the Benefits of Water Pollution Abatement, Academic Press, 1980
- 5) Kneese, A.V.: Cost of water quality improvement, transfer functions, and public policy, Cost Benefit Analysis and Water Pollution Policy (Peskin and Seskin, Eds.), The Urban Institute, 1975
- 6) 北畠能房: 湖環境の利用に関するモデリング例について, 国立公害研究所研究報告, 18, 1981
- 7) Scarato, R.F.: Time-capacity expansion of urban water systems, Water Resources Research, Vol. 5, No. 5, 1969
- 8) Riordan, C.: General multistage marginal cost dynamic programming model for the optimization of a class of investment-pricing decisions, Water Resources Research, Vol. 7, No. 2, 1971
- 9) Mulvihill, M.E. and J.A. Dracup: Optimal timing and sizing of a conjunctive urban water supply and waste water system with nonlinear programming, Water Resources Research, Vol. 10, No. 2, 1974
- 10) 萩原清子: 水環境を考慮した水価格, 筑波大学経済学論集, 第6号, 1980
- 11) Freeman III, A.V.: A survey of the techniques for measuring the benefits of water quality improvement, Cost Benefit Analysis and Water Pollution Policy (Peskin and Seskin, Eds.), The Urban Institute, 1975
- 12) 萩原清子, 北畠能房, 中杉修身, 内藤正明: 浄水生産に与える富栄養化の経済的影響の予備的解析, 国立公害研究所研究報告, 24, 1981