

時間遅れを考慮した水環境保全計画立案手法の構築

岐阜大学 ○河合俊介

岐阜大学 高木朗義

岐阜大学大学院 岡 徹

1. はじめに

水環境は人間社会生活や生態系にとって重要なものであり、その保全については将来を見据えた上で検討する必要がある。そこで本研究では流域における経済主体行動をモデル化し、水環境保全影響を捉えた上で、最適な排水処理施設整備時期と時間的な費用負担配分を決める手法を構築することを目的とする。特に、排水処理施設整備における事業着手から供用開始までの時間遅れ、および供用開始後における堆積汚濁負荷物質の自然浄化するまでの時間遅れという2種類の時間遅れについて焦点を当て、その影響をふまえた上での計画立案手法を構築する。

2. 2種類の時間遅れ

(1) 時間遅れの概念

排水処理施設の整備事業は、調査・設計・施工という段階をふまなければならず、また近年にでは住民との合意形成を諮る必要があることから多くの調査時間を要し、事業着手から供用開始までに長い年月がかかっている。そのため排出汚濁負荷量は排水処理施設の整備事業中、削減されることはなく、場合によっては増加することもある。一方排水処理施設の供用開始以後に排出汚濁負荷量は急激に削減されるが、堆積汚濁負荷物質の自然浄化にはある程度の時間を要するため、特に閉鎖性水域では排水処理施設の供用後すぐに水質が改善される訳ではない。

(2) 時間遅れのモデル化

ある期の堆積汚濁負荷量は、1期前における堆積汚濁負荷物質のうち溶出せずに残留した量と、家計および各産業から排出された汚濁負荷量のうち流下過程により沈降・堆積する量との和として定式化できる。またある期のフローとしての汚濁負荷量は、家計及び他の経済主体から排出された総汚濁負荷量に地域ごとの物質変化率を乗じて算出された流下汚濁負荷物質と、1期前における堆積汚濁負荷物質からの溶出量との和で定式化できる¹⁾。

$$S(t) = (1 - \varepsilon)S(t-1) + \sum_i \left[(1 - \beta^i) \left[\psi_h^i(t) + \sum_j \psi_j^i(t) \right] \right] \quad (1)$$

$$\Psi(t) = \sum_i \left\{ \beta^i \left[\psi_h^i(t) + \sum_j \psi_j^i(t) \right] \right\} + \varepsilon S(t-1) \quad (2)$$

ここで、 S ：堆積汚濁負荷量、 ε ：堆積汚濁負荷物質からの溶出率、 i ：地域を表す添え字、 β ：物質変化率、 ψ ：排出汚濁負荷量、 h ：家計を表す添え字、 j ：産業分類を表す添え字、 Ψ ：フローとしての汚濁負荷量。

3. 水環境保全計画問題の定式化

時間遅れを考慮するために、動学的概念を取り入れた社会的最適化問題として定式化する²⁾。

$$\max_{T_0} \sum_i N_i \left\{ \max_{x_j} \sum_{t=0}^{T-1} \frac{u[x_j(t), \Psi(t), K(t)]}{(1+r)^t} + v[K(T), \Psi(T)] \right\} \quad (3)$$

$$s.t. \quad \dot{K}(t) = \rho K(t-1) + I(t) - \sum_j p_j(t)x_j(t) - \tau(t) \quad (4)$$

$$\psi_j^i(t) = \gamma_j Y_j^i(t) \quad \psi_h^i(t) = \gamma_h \sum_j x_j^i(t) \quad (5)$$

$$0 \leq \sum_i \tau(t) < \tau_1 \quad \text{のとき} \quad \gamma(t) = \gamma_1 \quad (6)$$

$$\tau_1 \leq \sum_i \tau(t) \quad \text{のとき} \quad \gamma(t) = \gamma_2 \quad (7)$$

eqns.(1),(2)

ここで、 x ：消費量、 N ：世帯数、 T ：最終期、 u, v ：効用水準、 K ：資本、 r ：社会的割引率、 $\dot{K}$ ：資本の増加分、 ρ ：利子率、 I ：所得、 p ：財価格、 τ ：一括税、 γ ：消費量・生産量に対する排出汚濁負荷率、 Y ：各産業の生産量、 T_0 ：建設時期。

この最適化問題では、家計の生涯効用の合計、すなわち社会厚生を最大化を目的としている。ある期の効用はその期の消費量や資本量、および公共用水域の水質を決定する汚濁負荷量に依存する。一方最終期の効用は資本の残存量と水質（フローとしての汚濁負荷量）によって決まる。制約条件には、資本の増加分を表す遷移式がある。これは今期の所得から消費支出と一括税分を差し引いた額と、前期の資本による利子分が来期にまわされるというものである。排出汚濁負荷量は各主体の経済活動に依存することとしている。産業は各種財・サービスの生産量、家計は消費量にある係数を乗じた量が汚濁物質として排出されるとしている。この排出汚濁物質を決める排出汚濁負荷率 γ は排水処理施設の処理能力であると捉えることができるので、一括税の徴収状況により変化する。

4. ケーススタディ

(1) 条件設定

モデルの適応性を調べるために、仮想的な 1 地域において数値シミュレーションを行った。主体としては家計と 1 産業のみが存在するとし、効用関数はコブ・ダグラス型を用いて次のように特定化した。

$$u = x_j(t)^{\alpha^x} K(t)^{\alpha^K} \Psi(t)^{-\alpha^\Psi} \quad (8)$$

$$v = K(T)^{\alpha^{K'}} \Psi(T)^{-\alpha^{\Psi'}} \quad (9)$$

ここで、 $\alpha^x, \alpha^K, \alpha^\Psi, \alpha^{K'}, \alpha^{\Psi'}$: パラメータ。

計画期間は 10 期とし排水処理施設建設費は 8000 億円，維持管理費は每期 800 億円として各期の消費量と一括税について最適解を算出した。そして社会厚生（生涯効用の合計）が最大となる建設時期を算出した。なお、各パラメータは次のように設定した。

$$\varepsilon : 0.02, \beta : 0.98, r : 0.04, \rho : 0.01, \alpha^x : 0.5, \\ \alpha^K : 0.5, \alpha^\Psi : 0.1, \alpha^{K'} : 0.9, \alpha^{\Psi'} : 0.1.$$

また、家計の所得を 600 万円/年，世帯数を 80 万世帯，初期資本量を 1000 万円/世帯とした。排出汚濁負荷率 γ は排出汚濁負荷量の現況値³⁾と消費量から(5)式を用いて $\gamma_1 = 0.0004$ ，供用開始後は排出汚濁負荷量が 3 割削減されるとして $\gamma_2 = 0.00027$ とした。

(2) 結果と考察

建設時期と生涯効用の合計の関係は図 1 のようになった。建設時期を遅らせるほど生涯効用が減少するため、排水処理施設の早急な建設が社会にとって必要であることがわかる。また一括税は支払い期間内で配分されず，建設期にまとめて支払ったほうがよいという結果になった。一方汚濁負荷量の推移は図 2 のようになった。ここでは最適建設期（第 1 期）と 5 期目に建設した場合を比較しており，違いが顕著に表れている。しかし，共に計画中期から高水準で横ばい状態になってしまうため，排水処理施設の改良による処理能力の上昇も考える必要がある。家計が每期操作することのできる消費量の推移は図 3 のようになった。この図からわかるように，家計は計画中期まで所得の一部を資本蓄積にあてながら消費行動をとっていることがわかる。またグラフからは読み取り辛いですが，建設時期の違いにより每期 10% 程度消費量が異なることも確認できた。このことは図 4 の資本の推移からもわかる。

5. 今後の課題

ここでは 1 地域 2 主体で計算を行ったが，今後は実際の流域条件と照らし合わせ，より現実に近い状況での解析を行っていきたい。

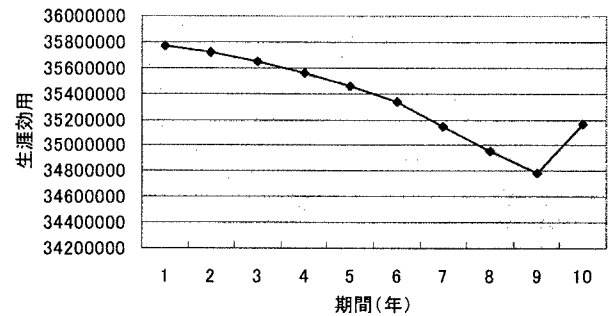


図 1 各建設時期に対する生涯効用の合計

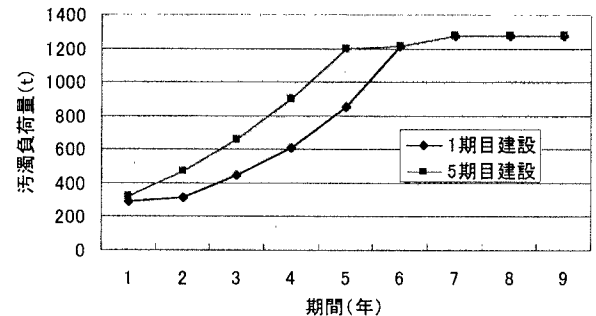


図 2 汚濁負荷量の推移

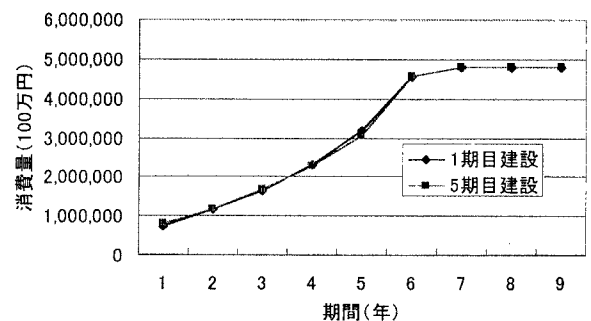


図 3 消費量の推移

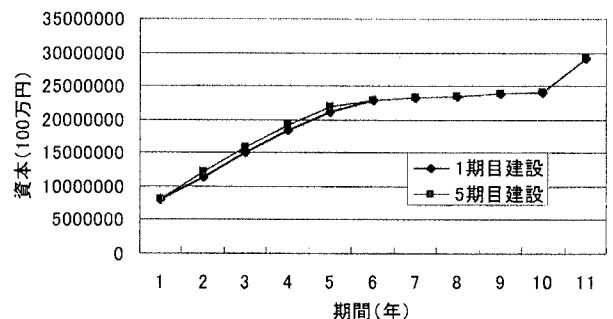


図 4 資本の推移

参考文献

- 1) 篠田成郎：都市内小河川流域での晴天期全窒素・全リン流出特性と土地利用分布との関係，第 4 回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集，pp.249-254，1998。
- 2) 西村清彦：経済学のための最適化理論入門。
- 3) 岐阜県：長良川ビジョンアクションプログラム