

閉鎖性水域における水質改善のための最適な汚濁負荷削減量配分に関する研究

岐阜大学 正会員○高木朗義 岐阜大学大学院 学生員 稲垣貴政
岐阜大学 正会員 武藤慎一 東京工業大学 正会員 上田孝行

1. はじめに

近年、閉鎖性水域では産業発展と人口集中および地形特性から富栄養化が深刻な問題となっている¹⁾。そのため、水質改善政策としては汚濁物質の除去よりも流入防止が重要視されている。またこの問題には上流域からの発生汚濁が下流域に被害を及ぼすという利害関係の対立問題も存在するため、水質改善政策の実施には費用負担問題も含めた総合的評価が必要である。

これまでも閉鎖性水域の水質改善政策を経済的に分析した研究はいくつかある^{2),3)}。しかし、これらの研究では一般均衡理論の枠組みになっていない、理論モデルの構築にとどまっているなどの問題点がある。またゲーム理論を用い、水質改善政策の費用配分問題に焦点を当てた分析を行った研究もある⁴⁾。

本研究では、地域毎の経済主体がとる排水処理(汚濁負荷削減)行動を明示的に扱い、閉鎖性水域の特性である汚濁の蓄積現象を分析できる動学的地域間応用一般均衡モデル(Dynamic Spatial Computable General Equilibrium モデル:略してDSCGEモデル)を構築し、地域間、主体間の帰着便益を整理することによって費用負担問題も含めた評価を行い、地域間、主体間の最適な汚濁負荷削減量の割り振りを試みる。

2. DSCGE モデルの構築

2.1 前提条件

- 1)一つの流域を対象とし、社会経済空間は上流に位置する都市(都市1)と下流に位置する閉鎖性水域沿岸都市(都市2)の2都市からなるものとする。
- 2)都市1には汚水を排水する産業(例えば農業、工業)が存在し、都市2には閉鎖性水域の水質の影響を直接受ける産業(例えば漁業、レクリエーション産業(以下R産業))が存在するものとする。また各都市には家計および政府が存在するものとする。
- 3)家計の排水処理(汚濁負荷削減)は政府が一括して行い、都市1の産業は自己処理するものとする。

2.2 都市1産業の行動モデル

都市1の各産業はある時点 t において、労働と資本

からなる生産要素を投入して財の生産を行うとともに、自ら排水処理(汚濁負荷削減)を行い、費用最小化行動するものとして定式化する。

$$C_{1j}(t) = \min_{L_{1j}, K_{1j}, q_{1j}} \left[w(t)L_{1j}(t) + r(t)K_{1j}(t) + \sum_l \delta'_{lj}(t) \cdot (q_{1j}(t) - Q_{1j}(t)) \right] \quad (1a)$$

$$s.t. \quad Y_{1j}(t) = F_{1j}[L_{1j}(t), K_{1j}(t), q_{1j}(t), Q_{1j}(t)] \quad (1b)$$

ここで、添字 $1j$:都市1の j 産業、添字 l :水質項目、 Y :財生産量、 C :生産費用、 δ :汚濁負荷削減単位費用(排水処理技術力)、 q :発生汚濁負荷量、 Q :排出汚濁負荷量(排水規制値)、 $F[\cdot]$:生産関数、 L, K :労働、資本投入量、 w :賃金率、 r :利子率

2.3 都市2産業の行動モデル

都市2の各産業はある時点 t において生産要素を投入し、閉鎖性水域水質に依存した生産技術下で財の生産を行い、費用最小化行動するものとして定式化する。

$$C_{2j}(t) = \min_{L_{2j}, K_{2j}} [w(t)L_{2j}(t) + r(t)K_{2j}(t)] \quad (2a)$$

$$s.t. \quad Y_{2j}(t) = F_{2j}[L_{2j}(t), K_{2j}(t), S(t)] \quad (2b)$$

ここで、添字 $2j$:都市2の j 産業、 S :閉鎖性水域水質

2.4 家計の行動モデル

都市1, 2の家計は同様の行動をとるものとする。

沿岸域でのレクリエーション活動は、家計自らがR産業より供給される財を投入し、レクリエーションサービスを生産して消費するという自家生産関数⁵⁾の概念を用い、閉鎖性水域水質に依存した生産技術下で費用最小化行動するものとして定式化する。なお、R産業が供給する財には e^R の税が負荷されるとする。

$$c'_R(t) \cdot u'_R(t) = \min_{x'_R, t'_R} (1 + e^R) p_R(t) x'_R(t) + w(t) t'_R(t) \quad (3a)$$

$$s.t. \quad u'_R(t) = f[x'_R(t), t'_R(t), S(t)] \quad (3b)$$

ここで、添字 i :居住都市、 u_R :レクリエーションサービス生産量、 x_R :R産業が供給する財の投入量、 t_R :レクリエーション時間投入量、 p_R :レクリエーション財価格、 c_R :レクリエーションサービスの単位費用

このレクリエーション活動を含め、家計は生産要素を提供して所得を得、予算・時間制約、資本の蓄積方程式による制約条件下で通時的な効用を最大にするように財・サービスの消費を行うものとして定式化する。

$$V^i(w, c_R^i(p_R, w, S), w\Omega - \tau^i, p_h^i, S^i) = \max_{x'_{ij}, s', u'_R, q'_h, S^i} \int_0^\infty U^i(x'_{ij}, s', u'_R, q'_h, S^i) \exp(-\rho t) dt \quad (4a)$$

$$s.t. \quad \dot{K}(t) = [w(t)\Omega - \tau'(t) - \sum_{i'} \sum_j (1 + e_j) p_{xy}(t) x'_{ij}(t) + w(t)s'(t) + c'_R(t)u'_R(t) + p'_h(t)q'_h(t)] + (r - \gamma_K)K(t) \quad (4b)$$

ここで、 x'_{ij} ：都市 i' の j 産業が生産する財 j の消費量、 s ：余暇消費、 q_h ：家計からの発生汚濁負荷量、 S' ：都市 i の家計に対する閉鎖性水域水質、 e_j ：財 j にかかる税、 ρ ：主観的割引率、 p_{xy} ：財 j の価格、 p'_h ：排水処理価格、 Ω ：総利用可能時間、 K ：資本ストック、 r ：資本の実質利子率、 τ ：一括税、 γ_K ：資本ストックの減耗率、 $\dot{K}$ ：時点 t における資本ストックの増加分

2.5 市場均衡条件

R 産業以外の産業が供給する財の市場はオープンであるとする。よって、対象とする空間経済システムにおいて閉じている市場は以下ようになる。

$$\text{労働市場：} \sum_i \sum_j L_{ij}(t) = L_h(t) \quad (5a)$$

$$\text{資本市場：} \sum_i \sum_j K_{ij}(t) = \sum_i K'_h(t) \quad (5b)$$

$$\text{レクリエーション財市場：} \sum_i x'_R(t) = Y_{2R}(t) \quad (5c)$$

ここで、 L_h ：労働供給量($L'_h(t) = \Omega - s'(t) - t'_R(t)$)

2.6 政府の行動モデル

【排水処理部門】

排水処理部門の活動を利潤最大化行動で定式化する。

$$\pi'_R(t) = \max_{q'_h(t)} p'_h(t)q'_h(t) - \sum_i \delta'_h(t) \cdot (q'_h(t) - Q'_h(t)) - pf'(G') \quad (6)$$

ここで、 δ_h ：家計の汚濁負荷削減単位費用(排水処理技術力)、 Q_h ：家計からの排出汚濁負荷量(排出基準)、 G ：処理施設規模、 $pf(\cdot)$ ：固定費用、 π_R ：排水処理部門の利潤

【水質管理部門】

政府は、閉鎖性水域の水質管理を行うものとする。政府がコントロールできる政策変数は、①排水規制値および排出基準 Q 、②都市1産業およびR産業の生産する財に対する税率 e 、③徴収した税をもとに行う閉鎖性水域水質浄化事業であるとする。今、閉鎖性水域の水質変化については次式が成立するものとする。

$$\dot{S} = f^w[Q'_h(t), Q_{ij}(t)] - bS(t) - f^p[e(t)] \quad (7)$$

ここで、 $f^w[\cdot]$ ：各主体からの排出汚濁負荷量による水質汚濁、 b ：自然浄化率、 $f^p[\cdot]$ ：水質浄化事業による水質浄化

DSCGE モデルに定められる条件式を含めた制約条件の下で、政府は各政策変数を CES 型で定式化される社会的厚生関数 W を最大化するように決定する⁶⁾。

$$\max_{e_j, e^R, Q_{ij}, Q'_h} W = \left\{ \sum_i v_i^{1-\varepsilon} \right\}^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \quad (8a)$$

$$s.t. \quad \dot{S} = f^w[Q'_h(t), Q_{ij}(t)] - bS(t) - f^p[e(t)] \quad (8b)$$

ここで、 $\varepsilon \geq 0$ ：公平性への社会的配慮の強さを表すパラメータ

3. 評価対象とする政策

本研究では伊勢湾流域を対象として分析を行う。伊勢湾では平成8年度末に「伊勢湾特定水域高度処理基本計画」が策定され、将来の水質目標を達成するための汚濁負荷削減量が表-1のように定められている⁷⁾。

表-1 伊勢湾流域における汚濁負荷削減量

発生源	項目	現況負荷量	目標負荷量	削減量	削減率
家庭	COD	169	62	107	63
	T-N	77	51	26	34
	T-P	7.3	3.2	4.1	56
工場	COD	115	75	40	35
	T-N	66	43	23	35
	T-P	6.1	3.97	2.13	35
家畜	COD	16	10	6	35
	T-N	10	6	4	35
	T-P	4.9	3.2	1.7	35
面源	COD	105	89	16	15
	T-N	34	26	8	24
	T-P	1.4	1.09	0.31	22
合計	COD	405	236	169	42
	T-N	187	126	61	33
	T-P	19.7	11.46	8.24	42

単位：負荷量(t/日)、削減率(%)

本研究では表-1に示す汚濁負荷量を前提条件として、各主体(発生源)への配分を見直し、どの地域のどの主体にそれを割り振ることが経済効率的であるかを探索し、地域、主体毎の最適な汚濁負荷削減の割り振りを求める。なお、面源については政府が行うものとする。

2で示した DSCGE モデルとの関係を述べると、家庭、工場、家畜については政策変数 Q を地域、主体別に決定することに相当し、面源については $f^p[\cdot]$ を決定することに相当するものである。

4. おわりに

結果はページの都合上掲載困難であるため、講演時に示す。

【参考文献】

- 1) 中村英夫編：都市と環境、pp.236-241、ぎょうせい、1992。
- 2) 新沢秀則：水資源配分のシステムに関する環境経済学的研究、大阪大学学位論文、1990。
- 3) 米田朗・氷飽揚四郎：霞ヶ浦における水質汚染改善のための経済政策、日本地域学会第35回年次大会論稿集、pp.33-40、1998。
- 4) 高野浩一・榊原弘之・岡田憲夫：流域下水道整備事業の費用配分法に関するゲーム理論的考察、土木計画学研究・講演集 No.20(1)、pp.131-134、1997。
- 5) Johansson, P-O. : Cost-Benefit Analysis of Environmental Change, Cambridge University Press, pp.32-33, 1993。
- 6) 上田孝行・長谷川専・森杉壽芳・吉田哲生：地域修正係数を導入した費用便益分析、土木計画学研究講演集 No.21(2)、pp.105-108、1998。
- 7) 伊勢湾浄化下水道計画連絡協議会：伊勢湾に関する下水道事業費用効果分析、下水道協会誌 Vol.36, No.439, pp.40-46, 1999。