閉鎖性水域における水質改善政策の経済分析

Economic Evaluation of The Water Quality Improvement Policy in The Closed Water Area

高木朗義*1, 上田孝行*2, 武藤慎一*3, 稲垣貴政*4, 橋本直也*5
Akiyoshi TAKAGI*1 ,Taka UEDA*2, Sinichi MUTOH*3, Takamasa INAGAKI*4, and Naoya HASHIMOTO*5

ABSTRACT: In recent years, it is concerned the eutrophication by nitrogen or phosphorus in the closed water area like the developed bay area, the inland sea or the lake as one of water pollution problems. For such problems, it is necessary to argue not only about removing pollutants but also about regulatory of inflow pollutants and problems of cost burden. In this paper, we built the spatial economic model based on the concept of general equilibrium theory to evaluate the water quality improvement policy. The model is focused on agent's activities with drawing and exhausting water, and cleared the incidence relationship of benefits/costs among agents by the benefit incidence table. We examined effects or influences of water pricing to improve pollutants.

KEYWORD: economic evaluation, water pollutant improvement, closed water area

1．背景・目的

近年，公共用水域における水質汚濁問題の１つとして，窒素やリンなどによる富栄養化問題が取り上げられている [1]．特に，内湾，内海，湖沼などいわゆる閉鎖性水域においては汚濁物質が拡散されにくいため，一度汚濁物質が溜まるとその改善が非常に困難となってくる [2]．また，上流域の主体が発生させた汚濁が下流域の主体に被害を及ぼすという上下流問題も存在する．そのため，閉鎖性水域の水質改善に関わる政策としては，汚濁物質の除去をいかに行うかという問題とともに，その流入をいかに防ぐかという問題も併せて考えていく必要がある．現在では，下水道の整備および高度処理化の他，農業の汚濁負荷削減対策，工場への排水規制，ノンポイント汚濁負荷削減対策等のいわゆる発生源対策並びにヘドロの浚渫や覆砂等，様々な政策の検討が行われているが，これらを実施する場合には費用負担の問題も発生するため，効果と負担の両者を考慮した総合的な政策評価が必要となってくる．

そこで本研究では，閉鎖性水域の水質改善政策に対し，効果と負担問題とを同時に分析するための空間経済モデルの提案を行う．そして，本モデルを用いて，実際に水質改善政策の評価を行うことによりモデルの有効性を検討する．

2．既往研究の整理

これまでも，閉鎖性水域の水質改善政策を扱った研究はいくつか見られる．

まず，岡(1994)[3]では，琵琶湖に流入する事業系排水の負荷に対する評価として，その費用関数の推定を行っている．しかし，政策的な意味での評価は，一般的な経済理論の枠組みでの議論にとどまっており，具体的な議論まではなされていない．

社会経済モデルを構築し，水質改善政策の評価を行っているものには，新沢(1990)[4]や米田・氷飽(1998)[5]がある．前者は，産業連関モデルを用いて，家計や産業による水質汚染がどのように拡がっていくのかをモデル分析しているが，一般均衡分析の枠組みまでにはなっていない．後者は，一般均衡モデルのフレームにて政策評価を試みているが，理論モデルの構築のみにとどまっているように思われる．また，ゲーム論の観点から閉鎖性水域の改善政策を取り扱ったものある．高野・榊原・岡田(1997)[6]では，特に水質改善事業のための費用負担について，その費用配分問題に焦点を当てた分析が行われている．

本研究にて構築されるモデルは，米田・氷飽(1998)[5]のような一般均衡モデルによるモデルである．特にここでは，各経済主体の取水と排水に関わる行動を明示的に表現することにより，主体の活動が閉鎖性水域の水質に与える影響，そしてその水質の変化が逆に主体の活動に及ぼす波及的な影響まで含めて評価できる枠組みとなっている．また，一般均衡モデルであるため，高野・榊原・岡田(1997)[6]が議論している費用負担の問題についても検討が可能となると思われる．

*1 中日本建設コンサルタント㈱計画本部　Planning Department, Nakanihon Engineering Consultants Co., Ltd.
*2 東京工業大学工学部開発システム工学科　Department of Developing Systems Engineering, Tokyo Institute of Technology
*3 岐阜大学工学部土木工学科　Department of Civil Engineering, Gifu University
*4 岐阜大学大学院工学研究科博士前期課程土木工学専攻　Department of Civil Engineering, Master Course, Gifu University
*5 中央コンサルタンツ　Chuoh Consultants Co., Ltd.

3．空間経済モデルの概要

3.1 空間経済モデルの前提条件

本研究で構築する空間経済モデルは，以下の前提条件に基づいている．

1) 一つの流域を対象とし，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(図-1)．
2) 都市 1 の産業は，農業，工業やサービス業等の取水・排水を行う産業を，都市 2 の産業は，漁業，レクリエーション(以下 R)産業等の閉鎖性水域の水質に大きな影響を受ける産業を想定する．また，各都市には，家計，不在地主および政府が存在する．
3) 家計も取水・排水活動を行うとするが，その供給および排水処理は，政府が一括して行うものとする．
4) 市場は，生産要素および各財の市場からなるが，労働・土地市場と R 財以外の市場はオープンであるとする．

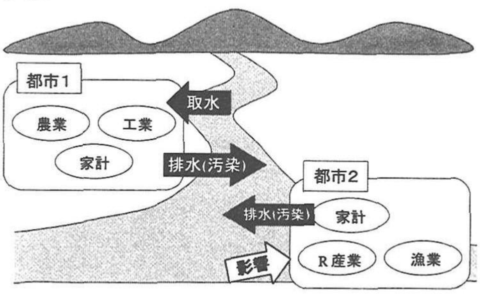

図-1　空間経済モデルの全体構成

3.2 都市 1 産業の行動モデル

都市 1 の各産業は労働と資本，土地からなる生産要素に加え，水も投入して財の生産を行い，生産された財はより大きな経済システムで取引が行われる市場へ供給されるものとする．水は産業が直接河川から取水し，使用の前後に自己浄化して再び下流河川へ放流するものとする．以上の産業の生産活動を，二段階の最適化行動をとるものとして定式化する[7]．

【第一段階：財$1j$の生産行動】

まず都市 1 の産業は，労働と資本，土地をひとまとまりとみなした合成生産要素と水の取水量および排水量を決定する．この行動モデルを，以下のように Leontief 型生産技術制約の下での生産費用最小化行動の枠組みで定式化する．

$$C_{1j}=\min_{PC_{1j},x_{1j}^W,z_{1j}^W}\left[c_{1j}PC_{1j}+p_{1j}^W x_{1j}^W+s_{1j}^W z_{1j}^W\right] \tag{1.a}$$

$$\text{s.t. } Y_{1j}=\min\left[\frac{PC_{1j}\left(L_{1j},K_{1j},H_{1j}\right)}{a_{1j}^0},\frac{x_{1j}^W}{a_{1j}^{x^W}},\frac{z_{1j}^W}{a_{1j}^{z^W}}\right] \tag{1.b}$$

ここで，添字$1j$：都市 1 の j 産業を表す，PC：合成生産要素，x^W：取水量，z^W：排水量，Y：財生産量，L, K, H：労働，資本, 土地投入量，c：合成生産要素の単位費用(次の段階にて導出)，p^W：単位浄水費用，s^W：単位排水処理費用，a^0：合成生産要素比率，a^{x^W}, a^{z^W}：取水および排水量比率，C：財$1j$の生産費用．

式(1)を解くと以下のように合成生産要素投入量および取水，排水量が求められる．

$$PC_{1j}=a_{1j}^0 Y_{1j},\quad x_{1j}^W=a_{1j}^{x^W}Y_{1j},\quad z_{1j}^W=a_{1j}^{z^W}Y_{1j} \tag{2}$$

また，これらを式(1)の目的関数に代入することにより，産業$1j$の生産費用関数が求められる．

$$C_{1j}=\left[a_{1j}^0 c_{1j}+a_{1j}^{x^W}p_{1j}^W+a_{1j}^{z^W}s_{1j}^W\right]Y_{1j} \tag{3}$$

【第二段階：生産要素投入行動】

続いて都市 1 の産業は，労働と資本，土地の投入量を決定する．その行動モデルは，合成生産要素に関する技術制約下での生産要素費用最小化行動として定式化する．なお，ここでは合成生産要素関数をコブ・ダグラス型技術を用いて特定化する．

$$c_{1j}=\min_{L_{1j},K_{1j},H_{1j}}\left[wL_{1j}+rK_{1j}+aH_{1j}\right] \tag{4.a}$$

$$\text{s.t. } PC_{1j}=\eta_{1j}L_{1j}^{\alpha_{1j}^L}K_{1j}^{\alpha_{1j}^K}H_{1j}^{\alpha_{1j}^K}=1 \tag{4.b}$$

ここで，L, K, H：労働, 資本, 土地投入量，w：賃金率，r：利子率，a：地代，η_{1j}：比率パラメータ，$\alpha_{1j}^L,\alpha_{1j}^K,\alpha_{1j}^H$：分配パラメータ($\alpha_{1j}^L+\alpha_{1j}^K+\alpha_{1j}^H=1$)，$c$：合成生産要素の単位費用．

式(4)を解くと，以下のように単位合成生産要素あたりの生産要素需要関数が求められる．

$$\text{労働：}D_{L_{1j}}=\frac{1}{\eta_{1j}}\left[\left(\frac{r\alpha_{1j}^L}{w\alpha_{1j}^K}\right)^{\alpha_{1j}^K}\left(\frac{a\alpha_{1j}^L}{w\alpha_{1j}^H}\right)^{\alpha_{1j}^H}\right] \tag{5.a}$$

$$\text{資本：}D_{K_{1j}}=\frac{1}{\eta_{1j}}\left[\left(\frac{w\alpha_{1j}^K}{r\alpha_{1j}^L}\right)^{\alpha_{1j}^L}\left(\frac{a\alpha_{1j}^K}{r\alpha_{1j}^H}\right)^{\alpha_{1j}^H}\right] \tag{5.b}$$

$$\text{土地：}D_{K_{1j}}=\frac{1}{\eta_{1j}}\left[\left(\frac{w\alpha_{1j}^H}{a\alpha_{1j}^L}\right)^{\alpha_{1j}^L}\left(\frac{r\alpha_{1j}^H}{a\alpha_{1j}^K}\right)^{\alpha_{1j}^K}\right] \tag{5.c}$$

また，これらを式(4)の目的関数に代入することにより，合成生産要素の単位費用c_{1j}が求められる．

$$c_{1j}=\frac{1}{\eta_{1j}}\left[w\left(\frac{r\alpha_{1j}^L}{w\alpha_{1j}^K}\right)^{\alpha_{1j}^K}\left(\frac{a\alpha_{1j}^L}{w\alpha_{1j}^H}\right)^{\alpha_{1j}^H}+r\left(\frac{w\alpha_{1j}^K}{r\alpha_{1j}^L}\right)^{\alpha_{1j}^L}\left(\frac{a\alpha_{1j}^K}{r\alpha_{1j}^H}\right)^{\alpha_{1j}^H}+a\left(\frac{w\alpha_{1j}^H}{a\alpha_{1j}^L}\right)^{\alpha_{1j}^L}\left(\frac{r\alpha_{1j}^H}{a\alpha_{1j}^K}\right)^{\alpha_{1j}^K}\right] \tag{6}$$

これを式(3)に代入することにより，産業の生産費用が決定する．

次に，その生産費用を用いて産業$1j$の利潤最大化問題を考えてみる．

$$\pi_{1j}=\max_{Y_{1j}}\ p_{1j}Y_{1j}-C_{1j} \tag{7.a}$$

$$\text{s.t.}C_{1j} = \left[a_{1j}^{0}c_{1j} + a_{1j}^{x^W} p_{1j}^{W} + a_{1j}^{z^W} s_{1j}^{W}\right]Y_{1j} \tag{7.b}$$

式(7)の一階条件より，財$1j$の価格が求められる．

$$p_{1j} = a_{1j}^{0}c_{1j} + a_{1j}^{x^W} p_{1j}^{W} + a_{1j}^{z^W} s_{1j}^{W} \tag{8}$$

式(8)の財価格のもとでは，産業$1j$の利潤はゼロとなることがわかる．また，式(7.a)より産業$1j$の利潤関数の全微分形が以下のように求められる．

$$d\pi_{1j} = Y_{1j}dp_{1j} - L_{1j}dw - H_{1j}da - K_{1j}dr - x_{1j}^{W}dp_{1j}^{W} - z_{1j}^{W}ds_{1j}^{W} \tag{9}$$

3.3 都市２産業の行動モデル

都市 2 の産業は，生産活動において閉鎖性水域の水質Qの影響を直接的に受けると想定する．そして，この水質Qは，各主体からの排水量に依存するものとする．また，都市 2 の産業は水の投入を行わないものとする．その行動モデルは生産要素の投入行動のみによって定式化される．すなわち，式(4.b)における産業$1j$の行動モデル定式化での合成生産要素関数を通常の生産関数に置き換え，その技術制約下での費用最小化問題として定式化される．なお，生産関数は，ここでもコブ・ダグラス型技術を用いて特定化するが，その中の生産効率パラメータη_{2j}が水質Qに依存するものとしている．

$$C_{2j} = \min_{L_{2j},K_{2j},H_{2j}} \left[wL_{2j} + rK_{2j} + aH_{2j}\right] \tag{10.a}$$

$$\text{s.t. } Y_{2j} = \eta_{2j}(Q)\cdot L_{2j}^{\alpha_{2j}^L} K_{2j}^{\alpha_{2j}^K} H_{2j}^{\alpha_{2j}^K} \tag{10.b}$$

ここで，添字$2j$：都市 2 の j 産業を表す，Y：生産量，Q：水質，$\alpha_{2j}^L, \alpha_{2j}^K, \alpha_{2j}^H$：分配パラメータ($\alpha_{2j}^L + \alpha_{2j}^K + \alpha_{2j}^H = 1$)．

式(10)を解くと式(5)と同様の各生産要素需要関数が求められる．さらに，それらを式(10)の目的関数に代入すると，産業$2j$の費用関数C_{2j}が求められる．

$$C_{2j} = \frac{1}{\eta_{2j}}\left[w\left(\frac{r\alpha_{2j}^L}{w\alpha_{2j}^K}\right)^{\alpha_{2j}^K}\left(\frac{a\alpha_{2j}^L}{w\alpha_{2j}^H}\right)^{\alpha_{2j}^H} + r\left(\frac{w\alpha_{2j}^K}{r\alpha_{2j}^L}\right)^{\alpha_{2j}^L}\left(\frac{a\alpha_{2j}^K}{r\alpha_{2j}^H}\right)^{\alpha_{2j}^H} + a\left(\frac{w\alpha_{2j}^H}{a\alpha_{2j}^L}\right)^{\alpha_{2j}^L}\left(\frac{r\alpha_{2j}^H}{a\alpha_{2j}^K}\right)^{\alpha_{2j}^K}\right]\cdot Y_{2j} \tag{11}$$

この費用関数を用いて，産業$2j$の利潤最大化問題を考えてみる．

$$\pi_{2j} = \max_{Y_{2j}} \ p_{2j}Y_{2j} - C_{2j} \tag{12}$$

式(12)の一階条件より，財$2j$の価格が求められる．

$$p_{2j} = \frac{1}{\eta_{2j}}\left[w\left(\frac{r\alpha_{2j}^L}{w\alpha_{2j}^K}\right)^{\alpha_{2j}^K}\left(\frac{a\alpha_{2j}^L}{w\alpha_{2j}^H}\right)^{\alpha_{2j}^H} + r\left(\frac{w\alpha_{2j}^K}{r\alpha_{2j}^L}\right)^{\alpha_{2j}^L}\left(\frac{a\alpha_{2j}^K}{r\alpha_{2j}^H}\right)^{\alpha_{2j}^H} + a\left(\frac{w\alpha_{2j}^H}{a\alpha_{2j}^L}\right)^{\alpha_{2j}^L}\left(\frac{r\alpha_{2j}^H}{a\alpha_{2j}^K}\right)^{\alpha_{2j}^K}\right] \tag{13}$$

産業$2j$も産業$1j$と同様に，式(13)の財価格のもとでは利潤がゼロとなる．また，式(12)より産業$2j$の利潤関数の全微分形が以下のように求められる．

$$d\pi_{2j} = Y_{2j}dp_{2j} + p_{2j}\frac{\partial Y_{2j}}{\partial Q}dQ - L_{2j}dw - H_{2j}da - K_{2j}dr \tag{14}$$

3.4 家計の行動モデル

都市 1，都市 2 の家計は基本的には同様の行動をとるものとする．すなわち，生産要素を提供して所得を得，予算制約と時間制約の下で効用を最大化するように財・サービス消費を行う．なお，家計のレクリエーション消費に関しては，家計自らが都市 2 に位置する R 産業より供給される R 財と時間資源を投入することにより，レクリエーションサービスを生産し消費するという自家生産関数の概念を用いて定式化する[8]．

【レクリエーションサービス生産行動】

まず家計は，R 財と時間を投入してレクリエーションサービスを生産する．その行動モデルは，レクリエーションサービスに関わる生産技術制約の下での費用最小化問題により定式化される．なお，生産技術はここでもコブ・ダグラス型技術を用いて特定化し，その比率パラメータが閉鎖性水域の水質Qに影響されるものとしている．

$$c_R^i \cdot u_R^i = \min_{x_R^i, t_R^i} \ p_R x_R^i + wt_R^i \tag{15.a}$$

$$\text{s.t. } u_R^i = \eta_R^i(Q)\cdot\left\{x_R^i\right\}^{\alpha_i^R}\left\{t_R^i\right\}^{\alpha_i^t} \tag{15.b}$$

ここで，添字i：都市を表す，u_R：単位トリップあたりのレクリエーションサービス生産量，x_R：R 産業より供給される R 財の投入量，t_R：レクリエーションに関わる時間投入量，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．

式(15)を解くことにより，R 財投入量およびレクリエーションに関わる時間投入量が求められる．

$$\text{R 財投入量：} x_R^i = \frac{1}{\eta_R^i}\left(\frac{w\alpha_i^R}{p_R\alpha_i^t}\right)^{\alpha_i^t}\cdot u_R^i \tag{16.a}$$

$$\text{時間投入量：} t_R^i = \frac{1}{\eta_R^i}\left(\frac{p_R\alpha_i^t}{w\alpha_i^R}\right)^{\alpha_i^R}\cdot u_R^i \tag{16.b}$$

さらに，これらを式(15)の目的関数に代入することにより，レクリエーションサービスの単位費用c_R^iが求められる．

$$c_R^i = \frac{1}{\eta_R^i}\left[p_R\left(\frac{w\alpha_i^R}{p_R\alpha_i^t}\right)^{\alpha_i^t} + w\left(\frac{p_R\alpha_i^t}{w\alpha_i^R}\right)^{\alpha_i^R}\right] \tag{17}$$

【財消費行動】

続いて家計は，上記のレクリエーションサービスを含めた財の消費量を決定する．その行動モデルは，所

得制約と時間制約の下での効用最大化問題として定式化される．なお，効用関数は CES 型関数により特定化し，特に，都市 2 の家計は閉鎖性水域の水質に対し存在価値を有しているものとする．

$$V^i = \max_{x_{ij}^i, s^i, H_h^i, u_R^i, x_h^{Wi}} \left[\sum_{i'} \sum_j \{\alpha_{i'j}\}^{\frac{1}{\sigma}} \{x_{i'j}^i\}^{\nu} + \{\alpha_T\}^{\frac{1}{\sigma}} \{T^i\}^{\nu} + \{\alpha_H\}^{\frac{1}{\sigma}} \{H_h^i\}^{\nu} + \{\alpha_R\}^{\frac{1}{\sigma}} \{u_R^i\}^{\nu} + \{\alpha_{xW}\}^{\frac{1}{\sigma}} \{x_h^{Wi}\}^{\nu} \right] + u_Q^i(Q) \tag{18.a}$$

$$\text{s.t.} \sum_{i'} \sum_j p_j x_{i'j}^i + wT^i + a_h^i H_h^i + c_R^i u_R^i + \{p_h^W + \alpha_{zW} s_h^W\} x_h^{Wi} = w\Omega + r\overline{K^i} + y_L^i - \tau^i \tag{18.b}$$

ここで，$x_{i'j}$：都市 i' の産業の生産財 j の消費量，T：余暇消費，H_h：居住用土地消費，x_h^W：取水量，u_Q：水質 Q に対する存在価値の効用分，p_j：財 $i'j$ の価格，a_h：居住用地代，p_h^W：取水・浄水価格，s_h^W：排水(下水)価格，Ω：総利用可能時間，r：資本利子率，$\overline{K}$：資本保有量，y_L：土地所有者からの配当収入，τ：一括税．

式(18)において，都市 1 の家計の場合は $u_Q^1(Q)=0$ と考えればよい．式(18)では，家計からの排水が取水量の一定率倍 α_{zW} で排水されるとして定式化しており，結局，家計は取水量のみを決定するメカニズムとなっている．

式(18)を解くと各消費量が以下のように求められる．

$$\text{財 } i'j：x_{i'j}^i = \frac{\alpha_{i'j}\{w\Omega + r\overline{K^i} + y_L^i - \tau^i\}}{p_j^{\alpha_{i'j}} \cdot \Delta} \tag{19.a}$$

$$\text{余暇消費}：T^i = \frac{\alpha_T\{w\Omega + r\overline{K^i} + y_L^i - \tau^i\}}{w^{\alpha_T} \cdot \Delta} \tag{19.b}$$

$$\text{土地消費}：H_h^i = \frac{\alpha_H\{w\Omega + r\overline{K^i} + y_L^i - \tau^i\}}{a_h^{i\,\alpha_H} \cdot \Delta} \tag{19.c}$$

$$\text{R 消費}：u_R^i = \frac{\alpha_R\{w\Omega + r\overline{K^i} + y_L^i - \tau^i\}}{c_R^{i\,\alpha_R} \cdot \Delta} \tag{19.d}$$

$$\text{水消費}：x_h^{Wi} = \frac{\alpha_{xW}\{w\Omega + r\overline{K^i} + y_L^i - \tau^i\}}{\{p_h^W + \alpha_{zW} s_h^W\}^{\alpha_{xW}} \cdot \Delta} \tag{19.e}$$

$$\text{水排水}：z_h^{Wi} = \alpha_{zW} x_h^{Wi} \tag{19.f}$$

ただし，$\Delta = \sum_j \alpha_{i'j} p_j^{1-\sigma} + \alpha_T w^{1-\sigma} + \alpha_H a_h^{i\,1-\sigma} + \alpha_R c_R^{i\,1-\sigma} + \alpha_{xW}\{p_h^W + \alpha_{zW} s_h^W\}^{1-\sigma}$．

式(19)を，式(18)の目的関数に代入すると，間接効用関数が求められる．

$$V^i = I^i \cdot \Delta^{\frac{1}{\sigma-1}} + u_Q^i(Q) \tag{20}$$

ただし，$I^i = w\Omega + r\overline{K^i} + y_L^i - \tau^i$，$u_Q^1(Q) = 0$．

式(20)より間接効用関数は，各価格ベクトルと所得および水質 Q からなることがわかる．よって，間接効用関数の全微分形は以下のように表される．

$$dV^i = \frac{\partial V^i}{\partial I^i}\left[\sum_{i'} \sum_j x_{i'j}^i dp_j - T^i dw - H_h^i da_h^i - \left\{ x_R^i dp_R + t_R^i dw + u_R^i \frac{\partial c_R^i}{\partial Q} dQ \right\} - x_h^{W^i}\left\{ dp_h^{W^i} + \alpha_{zW} ds_h^{W^i} \right\} + \Omega dw + \overline{K^i} dr + dy_L^i - d\tau^i + \frac{\partial u_Q^i}{\partial Q} dQ \right] \tag{21}$$

3.5 政府の水供給行動モデル[9)]

政府は，河川から取水して浄化させた上で，各都市の家計に水の供給を行い，さらに家計からの排水に対しては排水処理を行う．

【取水・浄水費用】

まず取水と浄水については，取水時の水質を Q_l^i とし，それを $Q_l^{i'}$ にまで改善させて水供給を行うとする．ただし，Q_l は水質項目 l の水質を表している．

この行動モデルを利潤最大化行動の枠組みにて定式化する．ただし，取水および浄水に関わる費用関数は，取水される水量と水質の改善度に依存するとし，さらに建設費に相当する固定費用も考慮することとする．

$$\pi_{CG}^i = \max_{x_h^{Wi}} \; p_h^{Wi} x_h^{Wi} - C_W^i \tag{22.a}$$

$$\text{s.t.} C_W^i = \left\{ \omega^i + \sum_l \gamma_l^i \left(Q_l^{\prime i} - Q_l^i \right) \right\} x_h^{Wi} + pf^i(B^i) \tag{22.b}$$

ここで，C_W：取水・浄水費用，ω：取水にかかる単位費用，γ_l：水質項目 l に関し水質浄化にかかる単位費用(浄水施設の技術力)，Q_l：取水時の水質，Q_l'：浄化後の水質，x_h^W：家計への水供給量，pf：浄水に関わる固定費用，B：浄水施設の施設規模，π_{CG}：取水・浄水活動における政府利潤．

式(22)の一階条件より，取水・浄水価格 p_h^W が求められる．

$$p_h^{Wi} = \omega^i + \sum_l \gamma_l^i \left(Q_l^{\prime i} - Q_l^i \right) \tag{23}$$

【排水処理費用】

一方，排水処理に関しては，家計の排水を回収し，排水処理を施して河川に放流しているとする．その行動も，取水・排水活動と同様に利潤最大化の枠組みで定式化し，排水処理費用も水量および水質に依存するものとする．

$$\pi_{RG}^i = \max_{x_h^{Wi}} \; s_h^{Wi} z_h^{Wi} - R_W^i \tag{24.a}$$

$$\text{s.t.} R_W^i = \left\{ \kappa^i + \sum_l \delta_l^i \left(Q_l^{mi} - Q_l^{ni} \right) \right\} z_h^{Wi} + sf^i(G^i) \tag{24.b}$$

ここで，R_W：排水処理費用，κ：排水に必要な単位費用，δ_l：水質項目 l に関し排水処理にかかる単位費用(処理施設の技術力)，

Q_l^{n} ：排水時の水質，Q_l^{m} ：排水処理後の水質，z_h^W ：家計からの排水量，sf ：排水に関わる固定費用，G ：処理施設の施設規模，π_{RG} ：排水処理活動における政府利潤．

式(24)の一階条件より排水価格 s_h^W が得られる．

$$s_h^{Wi} = \kappa^i + \sum_l \delta_l^i \left(Q_l^{mi} - Q_l^{ni}\right) \tag{25}$$

【政府利潤】

式(23),(25)のように取水・浄水価格および排水価格が求められたが，それらの価格の下では，いずれも政府の利潤が固定費用分だけ負となる．そのため，政府は収支バランスを成立させるため，その損失分を一括税τにて賄うものとする．よって，政府の最終的な利潤は以下のように求められる．

$$\begin{aligned}\pi_G = \sum_i \Bigg[& p_h^{Wi} x_h^{Wi} - \left\{\omega^i + \sum_l \gamma_l^i \left(Q_l^{\prime i} - Q_l^i\right)\right\} x_h^{Wi} \\ & + s_h^{Wi} z_h^{Wi} - \left\{\kappa^i + \sum_l \delta_l^i \left(Q_l^{mi} - Q_l^{ni}\right)\right\} z_h^{Wi} \\ & + \tau^i - pf^i\left(B^i\right) - sf^i\left(G^i\right)\Bigg] (= 0)\end{aligned} \tag{26}$$

3.6 土地所有者の行動モデル

土地所有者は，所有している土地を家計，産業に対し提供して，地代収入を得る．その地代収入は家計に配分されるものとする．

$$\pi_L = \sum_i \sum_j a_{ij} \overline{H_{ij}} + \sum_i a_h^i \overline{H_h^i} \tag{27}$$

ここで，π_L ：地代収入，$\overline{H}$ ：各用途の利用可能土地面積．

3.7 市場均衡条件

労働・土地市場，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のようになる．

労働市場：$\sum_j L_{ij} = L_S^i$ (28.a)

土地市場：$\sum_j H_{ij} = \overline{H_{ij}}$，$H_h^i = \overline{H_h^i}$ (28.b)

R 財市場：$\sum_i x_R^i = Y_{2R}$ (28.c)

ここで，L_S ：労働供給量であり，以下の関係式が成立する．

$$L_S^i = \Omega - T^i - t_R^i \tag{29}$$

4．便益定義と便益帰着構成表

4.1 政策の設定

ここでは，閉鎖性水域の水質を改善するために，政府が家計からの排水に対し，排水処理技術を改善した場合を考える．このとき，政府は排水処理費用を増加させてその費用を賄うとする．その結果，式(25)より排水処理価格が上昇し，それが式(19)の家計の需要関数を通じて家計行動にも影響を与える．

一方，排水処理技術の改善は，閉鎖性水域の水質改善をもたらす．このとき，都市 2 の産業行動および家計のレクリエーション生産行動における生産効率が向上する．これを水質変化による直接的生産増大と呼ぶ．これらの行動の変化も市場メカニズムを介して家計の需要行動へ影響を与える．

以上の結果，政策の実施に伴い家計の効用水準は以下のように変化する．

$$V^i\left(p_{i'j}{}^A, a_h^{iA}, w^A, r^A, p_R{}^A, Q^A, I^{iA}\right) \Rightarrow V^{iB} \tag{30}$$

ただし，A, B ：政策なし，ありを表す．

4.2 便益定義

式(30)より，等価的偏差(以下 EV と略す)の概念を用いて便益を定義する．ここで，産業の利潤も家計に分配されるとすると，EV は家計の間接効用関数を用いて表すことができる．

$$V^i\left(p_{i'j}{}^A, a_h^{iA}, w^A, r^A, p_R{}^A, Q^A, I^{iA} + EV^i\right) = V^{iB} \tag{31}$$

家計の間接効用関数は式(20)のように特定化されているので，EV は以下のように計算することが可能である．

$$EV^i = \frac{I^{iB}\left\{\Delta^B\right\}^{\frac{1}{\sigma-1}} - I^{iA}\left\{\Delta^A\right\}^{\frac{1}{\sigma-1}}}{\left\{\Delta^A\right\}^{\frac{1}{\sigma-1}}} + \frac{u_Q^{2B} - u_Q^{2A}}{\left\{\Delta^A\right\}^{\frac{1}{\sigma-1}}} \tag{32}$$

4.3 便益帰着構成表

続いて，式(31)にて定義された EV について，帰着先等の詳細な分析を行うため，便益帰着構成表の作成を行う．EV は間接効用関数の全微分形(式(21))より以下のように変形される．

$$EV^i = \oint_{A \to B} \frac{\partial e^i}{\partial V^i} dV^i \tag{33.a}$$

$$\begin{aligned}= \oint_{A \to B} \frac{\partial e^i}{\partial V^i} \frac{\partial V^i}{\partial I^i} \Bigg[& \sum_{i'} \sum_j x_{i'j}^i dp_j - T^i dw - H_h^i da_h^i \\ & - \left\{x_R^i dp_R + t_R^i dw + u_R^i \frac{\partial c_R^i}{\partial Q} dQ\right\} - x_h^{W^i} \left\{dp_h^{W^i} + \alpha_{zW} ds_h^{W^i}\right\} \\ & + \Omega dw + \overline{K^i} dr + dy_L^i - d\tau^i + \frac{\partial u_Q^i}{\partial Q} dQ \Bigg]\end{aligned} \tag{33.b}$$

ここで，e^i ：支出関数．

これに，式(9)と(14)で求められた利潤関数の全微分形を代入する．そして，これらを主体ごとに項目に分けて表したものが表-1 の便益帰着構成表である．

表-1 の便益帰着構成表から，排水費用の上昇により $\sum \alpha_{zW} s_h^{Wi} dx_h^{Wi}$ の損失が生まれていることがわかる．こ

表-1　便益帰着構成表

	都市1		都市2		不在地主	政府	合計
	産業	家計	産業	家計			
排水費用変化						$-\oint_{A\to B}\sum_i z_h^{W^i} d\{\kappa^i+\sum_l \delta_l^i(Q_l^{mi}-Q_l^{ni})\}$	$-\oint_{A\to B}\sum_i z_h^{W^i} d\{\kappa^i+\sum_l \delta_l^i(Q_l^{mi}-Q_l^{ni})\}$
排水価格変化		$-\oint_{A\to B}\alpha_{zW}x_h^{W1}ds_h^{W1}$		$-\oint_{A\to B}\alpha_{zW}x_h^{W2}ds_h^{W2}$		$\oint_{A\to B}\sum_i[\alpha_{zW}x_h^{Wi}ds_h^{Wi}+\alpha_{zW}s_h^{Wi}dx_h^{Wi}$ $-\alpha_{zW}\{\kappa^i+\sum_l\delta_l^i(Q_l^{mi}-Q_l^{ni})\}dx_h^{W^i}]$	$\oint_{A\to B}\sum_i[\alpha_{zW}s_h^{Wi}dx_h^{Wi}$ $-\alpha_{zW}\{\kappa^i+\sum_l\delta_l^i(Q_l^{mi}-Q_l^{ni})\}dx_h^{W^i}]$
水質の存在価値増大				$\oint_{A\to B}\frac{\partial u_Q^2}{\partial Q}dQ$			$\oint_{A\to B}\frac{\partial u_Q^2}{\partial Q}dQ$
一般財価格変化	$\oint_{A\to B}\sum_j Y_{1j}dp_{1j}$	$-\oint_{A\to B}\sum_{i'}\sum_j x_{i'j}^1 dp_{1j}$		$-\oint_{A\to B}\sum_{i'}\sum_j x_{i'j}^2 dp_{1j}$			0
レクリエーション効用増大		$\oint_{A\to B}u_R^1\frac{\partial c_R^1}{\partial Q}dQ$		$\oint_{A\to B}u_R^2\frac{\partial c_R^2}{\partial Q}dQ$			$\oint_{A\to B}\sum_i u_R^i\frac{\partial c_R^i}{\partial Q}dQ$
R財価格変化		$-\oint_{A\to B}x_R^1 dp_R$	$\oint_{A\to B}Y_{2R}dp_{2R}$	$-\oint_{A\to B}x_R^2 dp_R$			0
直接的生産増大			$\oint_{A\to B}\sum_j p_{2j}\frac{\partial Y_{2j}}{\partial Q}dQ$				$\oint_{A\to B}\sum_j p_{2j}\frac{\partial Y_{2j}}{\partial Q}dQ$
賃金率変化	$-\oint_{A\to B}\sum_j L_{1j}dw$	$\oint_{A\to B}L_S^1 dw$	$-\oint_{A\to B}\sum_j L_{2j}dw$	$\oint_{A\to B}L_S^2 dw$			0
資本利子率変化	$-\oint_{A\to B}\sum_j K_{1j}dr$	$\oint_{A\to B}\overline{K^1}dr$	$-\oint_{A\to B}\sum_j K_{2j}dr$	$\oint_{A\to B}\overline{K^2}dr$			0
土地地代変化	$-\oint_{A\to B}\sum_j H_{1j}da_{1j}$	$-\oint_{A\to B}H_h^1 da_h^1$	$-\oint_{A\to B}\sum_j H_{2j}da_{2j}$	$-\oint_{A\to B}H_h^2 da_h^2$	$\oint_{A\to B}\sum_i\overline{H_h^i}da_h^i+\sum_i\sum_j\overline{H_{ij}}da_{ij}$		0
地代配当変化		$\oint_{A\to B}dy_L^1$		$\oint_{A\to B}dy_L^2$	$-\oint_{A\to B}d\pi_L$		0
税再配分		$\oint_{A\to B}d\tau^1$		$\oint_{A\to B}d\tau^2$		$-\oint_{A\to B}\sum_i d\tau^i$	0
合計	0	式(33.b) (ただし，$u_Q^1=0$)	0	式(33.b)	0	0	*SNB*

ただし表中では，簡単化のため$\frac{\partial e^i}{\partial V^i}\frac{\partial V^i}{\partial I^i}$を省略して示した.

れは，税の増徴策等を実施した場合に生じるデッドウェイトロスと考えられる[10]．すなわち，政府としては排水費用が$d\{\kappa^i+\sum_l \delta_l^i(Q_l^{mi}-Q_l^{ni})\}$だけ増加したため，それを排水価格$s_h^W$の上昇によって賄おうとしたが，価格上昇に伴う取水量の減少によって回収できなくなる費用が発生し，それがデッドウェイトロスとして損失を生んでいると考えられる．しかし，損失が発生している一方で，水質改善に伴い，存在価値の増大，直接的生産の増大等による効用の上昇分が認められる．

また，排水処理技術の改善(例えば下水道の高度処理化)に要する費用が社会的費用として掛かることがわかる．その他の項目に関しては，すべてキャンセルアウトされており，社会的純便益(SNB)に対しては影響を及ぼさないこともわかる．都市 1，2 の産業の利潤はゼロとなることは既に述べたとおりであり，その最下欄の便益総和はゼロとなっている．

以上の結果，政策に伴う社会的総便益(SNB)は以下のような形となる．

$$SNB=\oint_{A\to B}\frac{\partial e^i}{\partial V^i}\frac{\partial V^i}{\partial I^i}\Big[-\sum_i z_h^{W^i} d\{\kappa^i+\sum_l \delta_l^i(Q_l^{mi}-Q_l^{ni})\}$$
$$-\sum_i \alpha_{zW}\{\kappa^i+\sum_l \delta_l^i(Q_l^{mi}-Q_l^{ni})\}dx_h^{W^i}+\sum_i \alpha_{zW}s_h^{Wi}dx_h^{Wi}$$
$$+\frac{\partial u_Q^2}{\partial Q}dQ+\sum_i u_R^i\frac{\partial c_R^i}{\partial Q}dQ+\sum_j p_{2j}\frac{\partial Y_{2j}}{\partial Q}dQ\Big] \quad (34)$$

5．水質改善政策の評価

5.1 政策の設定

ここでは，3 章にて構築した空間経済モデルを愛知県に適用することにより，モデルの有効性を検討する．政策は，4 章にて説明を行った政府による排水処理技術の向上政策を想定する．ただし，ここでは，都市 1 の産業からの排水も政府により処理されているものとして評価を行った．

本シミュレーションにあたり，新たに想定した仮定を以下に示す．

①産業のみ地域区分した．すなわち，都市 2 の産業として漁業，レクリエーション産業を，都市 1 の産業として残りの産業を想定した．

②家計は，都市 1 と都市 2 をまたがり，代表的な 1 家計を想定した．

③水質Qは，都市 1 産業および家計からの排水量に対し比例的に変化するものとした．

④水質の存在価値については，その計量化が困難であるため，ここでは考慮しないこととした．

⑤土地については考慮しない．

5.2 パラメータ設定

数値シミュレーションを行うためには，3 章にて構築したモデルの生産関数あるいは費用関数および効用関数のパラメータを設定する必要がある．ここでは，

応用一般均衡モデルのパラメータ設定にて適用されるキャリブレーション手法によりパラメータ設定を行った[7]. キャリブレーション手法とは，ある基準年のみを取り出して，その年のデータセットを正確に再現できるパラメータを決定する方法である．そこで，本研究では基準年を 1997 年(平成 9 年)として，愛知県の経済データは県民経済計算年報[11]，取水および排水量データは国土庁水資源部による水資源データ[12]を基に作成し，先のキャリブレーション手法によりパラメータを設定した．

【産業の生産関数のパラメータ設定】

作成した産業のデータセットを表-2 に，それより設定されたパラメータを表-3 に示す．

表-2 産業のデータセット

	産業 1j	産業 2j
労働投入	118,499	26,675
資本投入	71,894	11,022
取水量	133,889	
排水量	127,195	
生産額	191,723	37,690

(単位：労働，資本，生産額=億円，水量=百万m³)

表-3(1) 都市 1 産業のパラメータ

投入係数		比率パラメータ	分配パラメータ	
a_{1j}^{0}	$\alpha_{1j}^{x_{1j}^{w}}$	η_{1j}	α_{1j}^{L}	α_{1j}^{K}
0.99	0.01	228.31	0.62	0.38

表-3(2) 都市 2 産業のパラメータ

比率パラメータ	分配パラメータ	
η_{2j}	α_{2j}^{L}	α_{2j}^{K}
413.68	0.71	0.29

【家計のパラメータ設定】

家計行動モデルでは，レクリエーション生産関数と効用関数とのパラメータを決定する必要がある．まず，レクリエーション活動については，愛知県のデータが得られなかったため，全国のデータ[13]を用いて分配パラメータを決定し，それを便宜的に用いた．ただし，比率パラメータは愛知県のデータに整合するように求めている．また，財の消費量データは県民経済計算年報より求めた．作成したデータセットを表-4 に示し，設定された家計に関するパラメータを表-5 に示す．

表-4 家計のデータセット

総所得	466,397
産業 1j の財消費	191,723
レクリェーションサービス消費	56,127
余暇時間消費	202,704
取水量	8,518
排水量	7,325

(億円)

表-5(1) 家計のパラメータ(レクリエーション生産関数)

比率パラメータ	分配パラメータ	
η_{2j}	α_{2j}^{L}	α_{2j}^{K}
413.68	0.71	0.29

表-5(2) 家計のパラメータ(効用関数)

代替弾力性	分配パラメータ			
σ_h	α_{1j}	α_{2j}	$\alpha_{x_h^w}$	α_{t_y}
0.80	0.64	0.19	0.03	0.15

【水質変化に関わるパラメータ】

水質 Q が変化することにより影響を受ける都市 2 産業の生産関数および家計のレクリエーション生産関数中の生産効率パラメータ $\eta(Q)$ については，排水費用と水質の関係を定式化していないため，仮想的に設定を行った．具体的には，排水費用の 1.2 倍の上昇に対して，水質 Q が 1.1 倍改善されるものとした．このとき，都市 2 産業の生産財とレクリエーション財の生産関数中の生産効率パラメータ $\eta(Q)$ を水質に対する線形関数として定式化すると $\eta(Q)$ も 1.1 倍され，水質改善に伴う生産量増大を生むこととなる．

5.3 シミュレーション結果

5.2 節で設定されたパラメータの下で，排水技術の改善に伴い排水費用，すなわち

$$\kappa^i + \sum_l \delta_l^i \left(Q_l^{mi} - Q_l^{ni}\right) \tag{35}$$

が，1.2 倍となった場合のシミュレーション分析の結果を示す．これに伴い，排水価格も 1.2 倍となり，それが取水・排水量に影響を与える．

表 6 に，産業の生産要素投入量および家計の財消費量の変化を示した．

また，式(32)にて定義された EV により，便益計算を行った結果，1,920(億円/年)の便益が生じる結果となった．ただし，存在価値については計測が困難なためここでは省略している．

続いて，結果についてさらに詳細な分析を行うため，表-1 の便益帰着構成表における各項目について台形近似で消費者余剰および生産者余剰の計測を行った．その結果を表-7 に示す．なお，効用変化に対する限界支出と所得の限界効用の積を表す $\dfrac{\partial e^i}{\partial V^i}\dfrac{\partial V^i}{\partial I^i}$ については計量化が困難であるため，ここでは簡単化のため 1 とおいて，便益帰着構成表の作成を行った．

これによれば，表-1 にて解説を行ったデッドウェイトロスは，約 1,820(億円/年)となっているものの，閉鎖性水域の水質改善に伴う家計のレクリエーション生産

表-6(1)　シミュレーション結果(価格変化)

	政策無し	政策有り	変化率
水価格	1	1.2	20.00%
賃金率	2,123	1,938	-8.74%
利子率	1	0.91	-8.84%
一般財	1	0.91	-8.57%
レク財	1	0.84	-16.26%

表-6(2)　シミュレーション結果(産業)

	産業１ j			産業２ j		
	政策無し	政策有り	変化率	政策無し	政策有り	変化率
労働需要	118,490	108,305	-8.60%	26,675	23,616	-11.47%
資本需要	71,894	71,947	0.07%	11,022	10,684	-3.07%

(単位：億円)

表-6(3)　シミュレーション結果(家計)

	政策無し	政策有り	変化率
一般財	191,723	191,978	0.13%
レク財	56,127	60,294	7.42%
取水量	8,518	6,862	-19.45%
排水量	7,325	6,077	-16.00%
余暇時間	95.48	95.74	0.27%

(単位：財-物量，水-億m^3，余暇-億時間)

表-7　便益帰着構成表 (数値計算版)　(単位：億円)

	家計	都市１産業	都市２産業	政府	合計
排水費用変化				-1,806	-1,806
排水価格変化	-1,538	-268		-14	-1,820
一般財価格変化	16,450	-16,450			0
水質変化による直接的生産増大			1,070		1,070
レクリエーション効用の増大	3,294				3,294
レクリエーション財の価格変化	4,378		-4,378		0
賃金率変化	-12,670	10,356	2,314		0
資本利子率変化	-7,325	6,357	968		0
税再配分	-1,820			1,820	0
合計	768	-4	-26	0	738

性の向上および都市 2 産業の生産性の向上による便益がそれぞれ約 3,290(億円/年)，約 1,070(億円/年)と損失を上回っているため純便益が正となっている．

6．結論

本研究では，近年重要な問題と指摘されている閉鎖性水域における水質汚濁問題に対し，その改善政策の効果および影響を評価するための空間経済モデルの構築を行った．本モデルは，一般均衡モデルの枠組みでのモデル化を行っているが，特に各経済主体の取水および排水行動に着目してモデル化しており，各主体の活動が閉鎖性水域の水質に及ぼす影響，さらに水質変化が主体の行動に与える影響を詳細に評価し得るモデルとなっている．

また，上記空間経済モデルを用いて便益帰着構成表を作成し，政府による排水処理技術の向上政策を実施した場合の影響について分析を行った．その結果，政策による社会的純便益は，政策に伴うデッドウェイトロスと水質の改善に伴うレクリエーション効用の増大，閉鎖性水域沿岸産業の生産性向上の効果からなることがわかった．

さらに，愛知県を対象として数値シミュレーションによる定量的な分析を行い，本モデルの有用性を明らかにした．しかし，ここでは一部仮想的な想定を行った部分があり，今後はそれらの部分すなわち水質 Q に関わる関数，パラメータ設定についての論証等を行った上で再度シミュレーション分析を行う必要があると思われる．

また，本研究で取り上げた政策は，汚濁物質の流入に対する政策であり，汚濁フローについての検討を行ったものといえる．しかし，これまで溜まってきたヘドロ等の汚濁ストックに対する処理策についても重要な問題と考えられ，本モデルを拡張することにより，汚濁ストックを含めた対策に対する評価モデルの構築が今後の課題として上げられる．

【参考文献】

1)中村英夫編(1992)：都市と環境，pp.236-241，ぎょうせい．

2)海洋産業研究会編(1987)：東京湾 21 世紀構想，鹿島出版会．

3)岡敏弘(1993)：事業系排水負荷削減の費用調査，環境政策の経済学的分析に関する研究報告書－Ⅱ，pp.32-38，滋賀県琵琶湖研究所．

4)新沢秀則(1990)：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．

5)米田朗・氷飽楊四郎(1998)：霞ヶ浦における水質汚染改善のための経済政策，日本地域学会年次学術講演会．

6)髙野浩一・榊原弘之・岡田憲夫(1997)：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．

7)武藤慎一(1999)：環境政策評価への計量厚生分析の適用，岐阜大学学位論文．

8)Johansson, P-O. (1993): Cost-Benefit Analysis of Environmental Change, Cambridge University Press, pp.32-33.

9)近藤浩治・上田孝行・山田貴久(1997)：水資源政策の空間的分析の試み，土木学会第 52 回年次学術講演会，pp.120-121.

10)常木淳(1995)：公共経済学，新世社，pp.111-117.

11)経済企画庁経済研究所(1997)：県民経済計算年報，大蔵省印刷局．

12)国土庁長官官房水資源部(1996)：日本の水資源－水資源の有効利用－，大蔵省印刷局．

13)浅井泰範(1993)：朝日新聞ジャパン・アルマナック，朝日新聞社．