

# 公共用水流域における総合的地域環境政策

水野谷 剛\*(筑波大学)  
盧克宇 (筑波大学)  
中村中 (東京大学)  
Helmut YABAR(筑波大学)  
氷鮑揚四郎 (筑波大学)

## 1. はじめに

本研究では、茨城県霞ヶ浦流域における環境負荷低減のための最適課税率と税収入額、及び補助金等の最適支出配分とその効果を拡大産業連関分析に基づくモデルシミュレーション分析によって求め、最新データとシミュレーション解を対比させながら、現状と最適政策の差について議論を行う。シミュレーション期間は2004年～2013年の10年間とし、霞ヶ浦へ流入する水域負荷物質量と流域内で排出される大気域負荷物質量両者に制約を与えるコベネフィットアプローチ的シナリオを採用した。

大気汚染物質と水質汚濁物質の同時制御を念頭に置いた政策導入効果に関する研究は、筆者らは Mizunoya et al. (2006) 等において社会経済活動と環境動態を同一のモデルにリンクしたシミュレーション分析により議論を行っているが、本研究の大きな特徴は、バイオマス資源のエネルギー利用はいかなる政策を用いて行うべきなのか、また、バイオマス資源の利用や地域環境政策はどの程度の社会的便益を地域にもたらすのか、更に実際に行われた政策をシミュレーション解として得られた最適政策とを比較し、検証することにある。温室効果ガス・大気汚染物質排出の制御政策については、Hamid (1996) が環境問題に直面しているときの成長経路について、税金と補助金及び生産量規制の政策をどのように組み合わせたときが社会的に最も効率的な成長経路であるかを分析している。地方環境税については、諸富(2002)や松下ら(2004)などの研究があるが、制度論や現状の分析などを主なテーマとしており、本研究のように、モデルシミュレーションによって、価値、物質、エネルギーの各収支を考慮して内生的に導出される最適税率と共に、その効果及び地域経済への影響を総合的にかつ定量的に分析、評価する研究は見当たらない。

## 2. シミュレーションの概要

### 2.1 シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは、霞ヶ浦流域内の物質(水域負荷物質動態モデル、大気域負荷物質動態モデル)、エネルギー、価値収支を記述した各サブモデルを相互依存的に統合した大規模な拡大産業連関モデルである。これは非線形計画法をベースとしており、霞ヶ浦に流入する水質汚濁物質量と流域で排出される温室効果ガス、大気汚染物質を削減しつつ、経済活動の指標としてのGRP (Gross Regional Product) を最大化させる政策オプションの組み合わせを導き出す。水域負荷物質動態モデルは、流域で発生した汚濁物質は最終的には霞ヶ浦に輸送され、流入するという物質収支原則に基づいて構築され、流域から霞ヶ浦に流入する汚濁物質の総量を制御する仕組みとなっている。大気域負荷物質動態モデルは流域内の社会経済活動に伴うCO<sub>2</sub>などの温室効果ガスや大気汚染物質排出が各産業および最終需要部門ごとに明示できる構造となっている。更

に、エネルギー収支モデルは流域内の産業及び家計・政府が必要とするエネルギー量と電力部門等からのエネルギー供給量とのバランスを示して評価している。また価値バランスモデルは、環境負荷物質排出の社会的費用が生産者によって内部化される、生産者負担主義原則に基づいて定義されている。

## 2.2 総合的地域環境政策とシミュレーション設定

本研究では、流域内社会経済活動による温室効果ガスや大気汚染物質の排出といった大気域への環境負荷（以下これらの負荷物質を「大気域負荷物質」と称する）、および河川や湖沼への水質汚濁物質の流入といった水域への環境負荷（以下水域へ負荷物質を与える物質を「水域負荷物質」と称する）の両方を同時に低減する政策を考える。ここでは、これら複数の環境域への負荷の同時制御のための地域環境税の導入を考え、この税収により表1の各政策策項目に補助金として財政支出を行うこととする。地域環境税は、生産者負担主義に基づいて、産業から排出される水質汚濁物質と産業と家計の両方から排出される温室効果ガスおよび大気汚染物質の排出量に応じて課税される。もしこの目的税財源だけでは不十分な場合には県の一般会計からの補助金支出も可能とした。政策の実施主体は茨城県であり、環境対策として政策手段に支出する予算は、目的税収も含み年200億円を上限とした。

表1. 税収入からの支出を想定する政策

政策実施対象	具体的な政策内容
産業	I. 各産業への生産資本ストック減少補助金
養豚業	II. バイオマスリサイクルプラントの設置 III. 生産資本ストック減少補助金
家計(市町村)	IV. 市町村への下水道及び農業集落排水整備のための補助金支給 V. 市町村への合併処理浄化槽設置促進のための補助金支給
土地利用	VI. 米生産者への施肥田植機購入補助金支給 VII. 米生産者への溶出抑制肥料使用補助金支給 VIII. 農業生産者への補助金支給による耕作地の削減(休耕地への転換)

制御対象としたのは、T-N、T-P、CODの3つの水質汚濁物質、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oの3つの温室効果ガス、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の2つの大気汚染物質である。汚染物質の発生源は、産業系、生活系、面源系に分類し、それぞれを更に細分化し定義した。分析対象地域は、霞ヶ浦及びそこへ流入する17の河川、そしてその流域市町村とした。本研究では、茨城県から支出されるべき各市町村への補助金額は合併後の市町村ごとに導出されるよう構築されている。しかし、その他生活排水処理別人口や汚濁負荷発生量などの各内生変数はシミュレーションの詳細化のため、合併前の市町村ごとに導出されるようになっている。分析対象市町村を表2に示す。また、市町村内の一部のみが流域にある場合、その割合に応じて各基礎データを推計した。流域内にある小河川は全てこの17の主要河川のいずれかに合流すると仮定した。モデル内では各市町村で発生した水域負荷物質はすべて河川に流入し、霞ヶ浦へ流入するまでに一定の浄化作用を受けることとした。産業分類は電力・熱エネルギーの発生及び大気域負荷物質、水域負荷物質の発生を考慮して表3の通りに分類した。水域負荷物質の生活系、面源系発生源は表4の通りに分類した。

削減シナリオとして、温室効果ガスについては京都議定書の第一約束期間中の2010年までに削減割り当

てを達成、その他水質汚濁物質および大気汚染物質については2013年までに2004年比10%の削減を達成することを想定した。シミュレーションは、社会的割引率を考慮した対象期間の累積GRPを目的関数とし、最大化問題として解き、ケース1として「プラントが利用不可能であり地域環境税-補助金も導入しないケース」、ケース2として「プラントは利用可能であるが地域環境税-補助金は導入しないケース」、ケース3として「そしてプラントが利用可能であり地域環境税-補助金も導入するケース」の3ケースについて行った。

表2. 分析対象市町村

水域 Index	水域名	河川 Index	河川名	流域市町村 Index	旧市町村名	現市町村名	水域 Index	水域名	河川 Index	河川名	流域市町村 Index	旧市町村 名	現市町村名													
1	土浦沖	1	桜川	1	岩瀬町	桜川市	4	麻生	8	新利根川	24	利根町	利根町													
				2	大和村	桜川市					25	河内町	河内町													
				3	真壁町	桜川市					26	新利根町	稲敷市													
				4	明野町	筑西市					27	東町	稲敷市													
				5	協和町	筑西市					28	旭村	銚田市													
				6	下館市	筑西市					9	北浦(1)	9	銚田川	29	岩間町	笠間市									
				7	下妻市	下妻市									10	巴川	30	美野里町	小美玉市							
				8	つくば市	つくば市											31	茨城町	茨城町							
				9	新治村	土浦市											32	小川町	小美玉市							
				10	土浦市	土浦市											33	銚田町	銚田市							
2	高崎沖	2	清明川	11	美浦村	美浦村	11	山田川	34	北浦町							行方市									
				12	千代田町	かずみがうら市	12	(直接放流)	35	大洋村							銚田市									
				3	高崎沖	3	恋瀬川	13	八郷町	石岡市							6	北浦(2)	13	雁通川	36	麻生町	行方市			
								14	石岡市	石岡市											14	(直接放流)	37	鹿嶋市	鹿嶋市	
								15	玉里村	小美玉市											15	夜越川	38	牛堀町	潮来市	
								16	玉造町	行方市	16	前川	39	潮来町							潮来市					
								3	湖心	6	小野川	17	茎崎町	つくば市	7	外浪逆浦					17	常陸利根川	40	波崎町	神栖市	
												18	牛久市	牛久市									41	神栖町	神栖市	
												19	竜ヶ崎市	竜ヶ崎市												
												20	阿見町	阿見町												
21	江戸崎町	稲敷市																								
22	桜川村	稲敷市																								
23	霞ヶ浦町	かずみがうら市																								
7	一ノ瀬川																									

表3. 産業分類

Index	部門名
1	畑作農業
2	稲作農業
3	酪農業
4	養豚業
5	水産業
6	電力・ガス・熱供給
7	その他の工場・事業系産業
8	その他の産業

表4. 水域負荷物質生活系・面源系発生源分類

Index	生活系	面源系
	生活排水処理分類	土地利用分類
1	下水道	畑
2	農業集落排水	水田
3	合併処理浄化槽	山林
4	単独処理浄化槽	市街地
5	し尿処理場	その他の土地利用
6	雑排水未処理	

### 3. シミュレーションモデルの構造

構築したモデルは 100 近くの式により構成される大規模なものであるため、ここでは重要な式をいくつか記述するにとどめる。

#### 3.1 目的関数 \*以下、(内)=内生変数 (外)=外生変数とする。

既存研究において、最も削減が困難であることが明らかとなっている水質汚濁物質である全窒素の 10 年間の流入量の合計を目的関数として定義し、その最小化を行う。この際、経済指標である GRP 値の成長率に下限制約を与え、更に、全窒素以外の環境負荷物質の排出量も毎年減少させることとする。特に温室効果ガスについては、二酸化炭素重量換算合計排出量 (Total Greenhouse Gas : TGG) を、京都議定書の第 1 約束期間の最終年である 2012 年までに削減割り当てとなっている 1990 年比 - 6% を達成することとした。

$$\min \sum_{t=1} \sum_{h=1} Q^{hl}(t) \quad (1)$$

$$s.t. \quad GRP(t+1) \geq GRP(t) \quad (2)$$

$$TGG \text{ emission in } 1990 - 6\% \geq \sum TGG(t) \quad (3)$$

$$TGG(y+1) \geq TGG(y) \quad (4)$$

$$AZ_4(y+1) \geq AZ_4(y) \quad (5)$$

$$AZ_5(y+1) \geq AZ_5(y) \quad (6)$$

$$\sum_h Q^{hp}(y+1) \geq \sum_h Q^{hp}(y) \quad (7)$$

#### 3.2 河川による流入汚濁負荷

流域市町村の社会経済活動によって発生した水域負荷物質は、河川を通じて霞ヶ浦に流入する。

$$RQM_{ij+1}^{hp}(t) = RQM_{ij}^{hp}(t) + \gamma_{ij}^{hp}(t) + QR_{ij}^{hp}(t) + QD_d^{jp}(t) \quad (8)$$

(霞ヶ浦の水域 h に流入する河川 i の流域市町村 j に流入する負荷量 (内))  
 = (霞ヶ浦の水域 h に流入する河川 i の流域市町村 j の社会経済活動による負荷量(内))  
 + (霞ヶ浦の水域 h に流入する河川 i の流域市町村 j への降雨による負荷量(外))  
 + (:流域市町村 j にある下水処理場 d からの負荷量(内))

#### 3.3 各流域市町村の生活系、面源系および養豚業を除く生産系発生源からの水域・大気域負荷物質排出

生活系、面源系および養豚業を除く生産系発生源からの水域負荷物質排出は、それぞれ生活排水処理別

人口、土地利用別面積、産業生産額に排出係数を乗じたものによって決まる。また同様に養豚業を除く産業による大気域負荷物質排出も産業生産額に排出係数を乗じたものによって決まる。例えば生活系発生源からの水域負荷物質排出は以下の式によって決まる。

$$QZ_{ij}^{hp}(t) = \sum_k E^{pk} \cdot Z_{ij}^k(t) \quad (9)$$

(霞ヶ浦の水域 h に流入する河川 i の流域市町村 j の生活系発生源からの排出(内))  
 = (生活排水処理施設排水処理施設 k の汚濁排出係数(外))  
 \* (河川 i の流域市町村 j における生活排水処理施設 k の使用人口(内))

### 3. 4 温室効果ガス二酸化炭素重量換算合計排出量

温室効果ガス二酸化炭素重量換算合計排出量は、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O の各温室効果ガスの排出量にそれぞれの温室効果能を乗じたものの合計で決定される。

$$TGG(t) = AZ_1 + AZ_2 \cdot GWP_2 + AZ_3 \cdot GWP_3 \quad (10)$$

(温室効果ガス二酸化炭素重量換算合計排出量)

= (二酸化炭素排出量) (バイオマス発電によるカーボンニュートラルを考慮)  
 + (メタン排出量) × (メタンの温室効果能=23)  
 + (亜酸化窒素排出量) × (亜酸化窒素の温室効果能=296)

### 3. 5 価値バランス式

汚染物質排出にかかる社会的費用が生産者によって内部化されるとし、各産業の収入総額が財生産にかかる費用に汚染排出税を加えた支出総額と同額となるものとする。

$$p(t)\tilde{X}(t) = p(t)A_{11}\tilde{X}(t) + \psi\tilde{X}(t) + \tau^l\tilde{X}(t) + \delta\tilde{X}(t) + \tau(t)A_{21}\tilde{X}(t) + \tau(t)A_{23}\{\hat{C}(t) + \hat{G}(t)\} \quad (11)$$

(収入総額) = (中間投入額) + (粗付加価値額) + (汚染排出税額)

ここで、 $\tau(t)$  は t 期における汚染排出税率を示す。

### 3. 6 総予算

茨城県は霞ヶ浦流域の環境負荷を低減するための対策費を予算計上する。財源は地域環境税による税金を主として、必要に応じて一般税収からの支出も行うとする。

$$y(t) \geq \sum_j S_j^1(t) + \sum_j \sum_m S_j^m(t) + \sum_j \sum_l S_j^l(t) + \sum_j SS_j(t) + \sum_j SU_j(t) + \sum_j S_j^{BP}(t) \quad (12)$$

(環境対策予算総額) ≥ (表 1 に示した各政策への支出合計)

## 4. シミュレーション結果

### 4.1 目的関数

各ケースで導出された目的関数値を図1に示す。プラントの社会的便益は、GRPの増加により測定することが出来る。ケース1とケース2の目的関数値の差により、プラントの社会的便益は10年間で3兆3,618億円程(45兆6,992億円-42兆3,374億円)と評価することが出来る。また同様に、ケース2とケース3の目的関数値の差により、地域環境税の社会的便益は、195億円程(45兆7,187億円-45兆6,992億円)である。

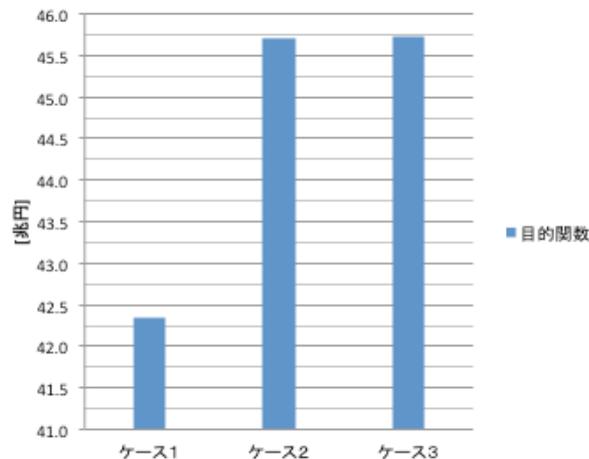


図2 各ケースで導出された目的関数値

### [参考文献]

- [1] 諸富徹(2002),地方環境税による環境管理, その理論的根拠と制度設計, エコノミア Vol.53, No.1, pp. 43-74
- [2] 松下京平, 浅野耕太, 飯國芳明(2004), “社会関係資本への投資としての地方環境税—高知県森林環境税の現状と課題”, 環境情報科学 別冊, 環境情報科学論文集 (18), pp.189-194
- [3] Hamid Mohtadi (1996), Environment, growth, and optimal policy design, Journal of Public Economics, pp.119-140
- [4] 氷鮑揚四郎,水野谷剛,“流域管理と3つの収支”,『都市・地域・環境概論—持続可能な社会の創造に向けて—], 大貝彰, 宮田謙, 青木伸一 編著, 朝倉書店, 2013.4, p.159-165
- [5] Takeshi Mizunoya, Higano(2000),Air Pollutants Emission Reduction and the Optimal Tax-Subsidy Policy for Japan, 地域学研究, 第30巻 第3号, pp.85-104
- [6] Takeshi Mizunoya, Katsuhiko Sakurai, Shintaro Kobayashi, Shanhua Piao, Yoshiro Higano(2006),A Simulation Analysis of Synthetic Environmental Policy, Effective Utilization of Biomass Resources and Reduction of Environmental Burdens in Kasumigaura Basin,地域学研究,vol.36, No.2, pp.355-374