

流域GISを援用した総合環境評価モデル による水環境改善施策の効果分析

高木 朗義¹・篠田 成郎²・西川 薫³・松田 尚志³・片桐 猛⁴・永田 貴子⁴

¹正会員 博(工) 岐阜大学工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

E-mail: a_takagi@cc.gifu-u.ac.jp

²正会員 工博 岐阜大学総合情報メディアセンター (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

³学生員 岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

⁴岐阜市人・自然共生部 (〒500-8720 岐阜県岐阜市神田町1-11)

環境改善施策を評価する場合、施策による環境改善効果と市場経済への影響の両者を把握する必要がある。近年、水環境改善施策の環境評価はGISを用いて詳細に行なわれており、これに合わせた詳細な経済評価が求められている。筆者らはこれまでに流域GISを援用した流域環境評価モデルと流域経済評価モデルを統合した総合環境評価モデルを構築してきた。本研究ではこのモデルを用いて、長良川流域を対象に農業施肥の削減と森林管理の強化という水環境改善施策に対する総合評価を行い、環境改善による便益や市場経済便益(不便益)を算出し、施策実施地域、施策対象業種、上下流間の便益帰着構造などを分析することにより、効率的な水環境改善施策に向けた政策的示唆を行う。

Key Words : water environment, strategic environmental assessment, GIS, CGE model, CVM, economic evaluation, chemical fertilizer, forest management, Nagara river

1. はじめに

環境改善施策を実施しようとする場合、施策による環境改善効果だけでなく、市場経済への影響も同時に評価した上で、意思決定を行う必要がある。環境評価と経済評価を合わせた総合評価モデルは、これまでもいくつか開発されている。例えば、水野谷ら¹⁾は水質汚濁物質の動態を表わすエコシステムモデルと流域の社会経済活動を表わすソシオ・エコノミックモデルをリンクし、霞ヶ浦流域での環境改善政策の評価を行っている。一方近年、水環境改善施策の環境評価は、地理情報システム(GIS)を用いて詳細に行なわれており、これにより詳細な地域特性に応じた水環境改善施策が抽出できるようになった。このような施策を評価するためには、詳細な空間経済分析が必要となる。以上のような社会的ニーズを踏まえ、筆者らはこれまでに図-1に示すように長良川流域全域でGISデータを整備し、これを介してCGEモデルに基づく流域経済評価モデル²⁾と全窒素移動量に基づく流域環境評価モデル³⁾を連結した総合環境評価モデル⁴⁾を構築してきた。そこで本研究では、長良川流域における具体的な水環境改善施策をいくつか想定し、このモデルを用いて環境面、経済面の効果を同時に統合的に評価し、長良川流域における効率的な水環境

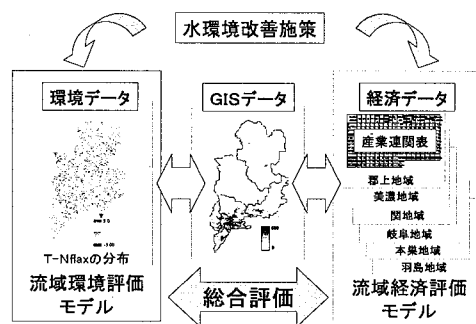


図-1 総合環境評価モデルの概念

改善策について検討することを目的とする。特に次の3点に着目して効率的な施策実施に向けた考察を行う。

- ①水環境改善施策の実施地域における経済的負担や流域全体における効果分析を通して、効率的な施策実施地域について考察する。
- ②水環境施策の対象産業および関連産業への経済的負担や効果分析を通して、効率的な施策対象業種について考察する。
- ③住民意識調査に基づいて身近な河川と流域全体に対する環境改善効果を分析し、上下流間の便益帰着構造および流域連携について考察する。

2. 総合環境評価モデルの概要

(1) 流域環境評価モデル

近年、長良川流域では環境基準項目のBODやCODなどは良くなってきている反面、平時の河川水量の減少や鮎を主とする淡水魚の減少など水環境は悪化しているように見受けられる。このような背景のもと新たな科学的評価手法の確立が求められており、全窒素に関する物質循環の連続性から環境状態を評価する手法が提案されている³⁾。流域という繋がった各所で水環境を評価するためには、各集水域の物質循環の状態を的確に把握することが重要であり、この手法は物質循環の指標として全窒素に着目して水環境評価を行うものである。

本研究の流域環境評価モデルは、上記のように提案された手法を用いる。具体的には、長良川流域の現地観測結果と人間活動のデータ（土地被覆分布（図-2）、森林薄による植生分布や市町の人口、下水道整備率、農業粗生産額、牛豚頭数、工場排水量など）を基に、各メッシュでの全窒素移動量 Ψ_m （以下、T-Nfluxと表す）を次式により算出する。なお、メッシュサイズは100mメッシュとし、対象範囲は長良川流域全体とする。

$$\Psi_m = \Psi_{m-1} + \Phi_m - \Phi_m' \quad (1.a)$$

$$\Phi_m = \sum_i \beta_i A_i \quad (1.b)$$

$$\Phi_m' = \Phi_m e^{-kx} \quad (1.c)$$

ここで、 Ψ_{m-1} は上流メッシュより流入する流域内全窒素移動量、 Φ_m は着目メッシュ m から排出される物質質量、 Φ_m' は着目メッシュ内での変化量、 A_i は土地被覆特性量、 β_i は A_i に対する原単位、 I は土地被覆特性量の数、 k は物質質量変化係数、 x は流下距離を表わす。長良川流域における全窒素移動量（T-Nflux）の現況分布を図-3に示す。

(2) 流域経済評価モデル

流域経済評価モデルは、CGEモデルを利用し経済主体間および上下流域間の相互関係を考慮した上で水環境改善効果が最終的に帰着する消費者としての世帯の便益で評価するものである。これにより、例えば農業の減肥施策が世帯や内水面漁業、観光業の経済活動に直接的にもたらす環境改善効果だけでなく、農業の生産効率低下と市場を通じて波及する関連産業への費用負担が同時かつ統合的に評価できる。一方、河川流域では連続性の観点から、上流域の水環境が改善されれば、河川を通じて下流域の水環境も改善され、その経済活動にも影響をもたらす。本モデルではこの点も踏まえた評価ができる。

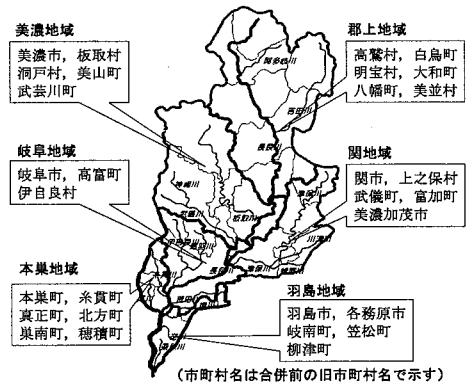


図-4 長良川流域の地域区分

表-1 産業部門区分

産業区分(35部門)		
米	素材・特用林産物	その他の製造工業製品
その他の穀類	海面漁業	建設
だいにん	内水面漁業	電力・ガス・熱供給
その他の野菜	鉱業	水道
かき	食料品	廃棄物処理
その他の果実	繊維製品	商業
その他の耕種作物	パルプ・紙・木製品	金融・保険・不動産
牛・豚	化学製品	運輸
その他の畜産	石油・石炭製品	旅館・その他の宿泊所
養蚕	非鉄製品	その他のサービス
農業サービス	金属	その他
青林	機械	

表-2 地域の世帯数とメッシュ数

地域	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
世帯数	13,547	12,284	31,414	144,521	31,216	43,338	276,320
メッシュ数(500m)	2,935	2,078	1,021	971	317	336	7,658

(3) 地域産業連関表

CGEモデルの基準データセットには、産業連関表が必要不可欠である。本モデルでは、流域内の産業特性を考慮するため長良川流域を6区分した地域（図-4参照）で、石川⁹⁾によるノンサーベイ手法に基づき、岐阜県産業連関表⁹⁾から地域産業連関表を作成した。なお、産業部門は、以下のように設定した。

- ①特定産業を対象とした施策を評価するため、施策の影響が直接的に現れる農林水産業部門を細分化する。
- ②水環境の影響を捉えるため、水質の影響を受ける産業として内水面漁業と観光業を抽出する。
- ③施策の影響が小さいその他の産業を統合して35部門（表-1参照）に分類する。

なお、表-1中の網掛けの産業は、上記の①、②に該当する産業である。また、表-2に6地域の世帯数とメッシュ数（流域経済評価モデルのメッシュサイズは500mメッシュ）を示す。

(4) 流域GISの援用

流域経済評価モデルと流域環境評価モデルを連結するために流域GISを用いる。これにより、施策による環境評価と経済評価を同時に行うことが可能となり、空間的

に詳細な評価ができる。使用するのは、世帯数メッシュ分布データ¹⁰⁾とT-Nfluxの分布データ³⁾との2つである。世帯数メッシュ分布データ¹⁰⁾は平成12年国勢調査データを利用する。T-Nfluxの分布データ³⁾は長良川流域の環境状態を示すデータである。これによって長良川流域全体かつ詳細な総合環境評価ができる。

3. 経済評価指標

本研究では、市場経済便益と環境改善便益を別々に算出し、それを加算することによって世帯の便益を算出する。世帯の便益は、次式で表わされる。

$$B^m = B_M^m + B_E^m \quad (2)$$

ここで、添字 m はメッシュ、 B は世帯の便益、 B_M は市場経済便益、 B_E は環境改善便益を表わす。

市場経済便益と環境改善便益を分けた理由としては、水環境が改善したとしても、精々それを見て楽しんだり、散歩の時間が長くなったりする程度で、世帯の財消費行動自体が大きく変化するとは考え難いからである。もちろん、水環境改善によりレクリエーション機会が増加したり、魚などの消費が増えたりすると考えられる。その点については、生産活動から消費活動の変化までを市場経済便益として捉える。したがって、本モデルでは世帯の財消費行動は直接的に変化しないと考え、環境改善に対する便益を別途に捉えることとする。

(1) 市場経済便益

市場経済便益は帰着先である世帯の効用変化分を等価変分 (Equivalent Variation: EV) の概念を適用して計量化する。市場経済便益は次式を満たす。

$$V_c(p_H^{wo}, p_C^{wo}, M^{1wo} + B_M) = V_c(p_H^w, p_C^w, M^{1w}) \quad (3)$$

ここで、添字 w, wo はそれぞれ施策の有無 (w : 有, wo : 無), V_c は消費に対する効用水準, p_H は当該消費財価格, p_C は貯蓄価格, M^1 は総所得を表す。

(3)式を展開すると次式が求まる。

$$B_M = \frac{(\Delta_1^w)^{\frac{1}{\sigma_1-1}} M^{1w} - (\Delta_1^{wo})^{\frac{1}{\sigma_1-1}} M^{1wo}}{(\Delta_1^w)^{\frac{1}{\sigma_1-1}}} \quad (4.a)$$

$$\Delta_1 = \beta_H p_H^{(1-\sigma_1)} + \beta_C p_C^{(1-\sigma_1)} \quad (4.b)$$

ここで、 σ_1 は代替弾力性、 β_H, β_C は分配パラメータを表わす。次式で表すように、この世帯単位の市場経済便益を世帯数メッシュ分布データに基づいて配分する。

$$B_M^m = N^m B_M \quad (5)$$

表-3 アンケート調査の概要

対象地域	長良川流域15市町 (岐阜市、郡上市、美濃市、関市、山県市、瑞穂市、本巣市、北方町、羽鳥市、岐南町、笠松町、柳津町、各務原市、美濃加茂市、富加町)
調査方法	郵送(ランダムサンプリング)
配布部数	2000部
回収部数	776部
回収率	38.6%
主な調査項目	①身近な川の位置 ②身近な川についての理解度、現状の満足度、将来改善してほしい満足度、そのときのWTP ③長良川流域全体の現状の満足度、将来改善してほしい満足度、そのときのWTP ④環境保全に対する意識

ここで、 N は世帯数を表す。これにより、メッシュ単位での市場経済便益 (不便益) が求められ、地域単位よりも詳細な評価ができることとなる。

(2) 環境改善便益

T-Nfluxの分布データから環境改善便益を求める。世帯が環境改善によって得られる便益を正確に表わすため、環境改善便益を身近な川と長良川流域全体の2つに区分する。本研究では、環境改善便益は居住メッシュにおけるT-Nfluxの改善度によって得られ、長良川流域の環境改善便益は、長良川流域全体におけるT-Nfluxの改善度によって得られるとする。これらの環境改善便益を算出するためには、長良川流域住民の環境指標に対する支払意思額 (Willingness To Pay: WTP) を知る必要がある。そのため、長良川流域住民に対して水環境評価に関するアンケート調査を実施した。

4. 長良川流域住民による環境評価

長良川流域住民による水環境評価に関するアンケート調査の概要を表-3に示す。環境経済評価法としてCVMを用いることを前提にアンケート設計を行った。まず身近な川に対する現状の満足度 (U_{now}) を尋ね、次にどのくらいの満足度まで改善して欲しいか、すなわち将来改善して欲しい満足度 (U_{future}) を尋ね、さらにそのときの支払意思額 (WTP_U) を尋ねた。また身近な川の位置を地図上で尋ねた。

(1) T-Nfluxに対する限界支払意思額 ($MWTP_{flux}$)

長良川流域住民のT-Nfluxに対する限界支払意思額 ($MWTP_{flux}$) は、満足度に対する限界支払意思額 ($MWTP_U$) と満足度に対する限界T-Nflux ($MT-Nflux$) から次式により求める。

$$MWTP_{flux} = \frac{MWTP_U}{MT-Nflux} \quad (6)$$

a) 満足度に対する限界支払意思額 ($MWTP_U$)

アンケート調査結果を用いて、次式により満足度に対

する限界支払意思額 ($MWTP_U$) を求めた。

$$MWTP_U = \frac{WTP_U}{U_{future} - U_{now}} \quad (7)$$

ここで、 WTP_U は将来改善して欲しい満足度まで水環境が改善するときの支払意思額、 U_{future} は将来改善して欲しい満足度、 U_{now} は現状の満足度を表わす。なお、これらは各地域の平均値として求めた。身近な川と長良川流域全体について求めた $MWTP_U$ を表-4に示す。また表-4には、平均値だけでなく、データのばらつきを見るために標準偏差を示した。これを見ると、現状の満足度に対するばらつきが大きいのがわかる。これは同じ地域内でも水環境状態が違ったり、個人によって満足度の感じ方が違うからである。また、改善して欲しい満足度に対するばらつきは小さい。本研究では、このようにばらつきのある満足度と WTP の平均値をもとに、満足度に対する限界支払意思額 ($MWTP_U$) を求めて評価に用いるため、評価結果をみる場合にはデータのばらつきがあることに注意する必要がある。

b) 満足度に対する限界T-Nflux ($MT-Nflux$)

満足度に対する限界T-Nflux ($MT-Nflux$) は、現状の満足度に対するT-Nfluxと理想状態の満足度に対するT-Nfluxから求める。現状の満足度に対するT-Nfluxについては、アンケート調査における流域住民にとっての身近な川の地点におけるT-Nfluxを用いることで、現状の満足度に対するT-Nfluxを算出した。流域住民の身近な川の地点分布を図-5に示す。一方、満足度が100%のとき、すなわち理想状態の満足度に対するT-Nfluxについては、アンケートの自由記入より50年ほど前の環境状態を懐かしむ声が多かったので、1950年頃の環境状態を理想状態として想定し、流域環境評価モデルによって算出した。1950年頃の想定として具体的には、人口を現在の3/4、農業系排水を現在の1/2、工業系排水をゼロ、畜産系排水を現在の70%として想定し、図-6に示すような理想状態のT-Nfluxの分布を求めた。

現状と理想状態の満足度に対するT-Nfluxから次式を用いて、満足度に対する限界T-Nflux ($MT-Nflux$) を算出した。

$$MT-Nflux = \frac{\Delta flux}{\Delta U} = \frac{flux_{ideal} - flux_{now}}{U_{ideal} - U_{now}} \quad (8)$$

ここで、 $flux_{ideal}$ は理想状態のT-Nflux、 $flux_{now}$ は現状環境状態のT-Nflux、 U_{ideal} は理想の満足度 (100%)、 U_{now} は現状の満足度を表わす。身近な川と長良川流域全体の $MT-Nflux$ を表-5に示す。

c) T-Nfluxに対する限界支払意思額 ($MWTP_{flux}$)

身近な川と長良川流域全体のそれぞれについて求めた $MWTP_{flux}$ を表-6に示す。

表-4 満足度に対する $MWTP_U$

地域	郷土	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
現状の満足度の平均値 (%)	55(27)	57(25)	50(24)	47(26)	43(29)	35(23)	48(27)
改善してほしい満足度の平均値 (%)	88(12)	86(12)	83(12)	81(14)	79(16)	73(16)	80(16)
現状の満足度と改善してほしい満足度の平均値の差分 (%)	30(22)	29(21)	33(21)	34(22)	36(25)	38(20)	34(39)
満足度が1%上がったときのWTP	266	136	154	186	151	128	165
標準偏差	230	175	182	280	191	190	221

(0内は標準偏差を示す。上段：身近な川、下段：長良川流域全体)

表-5 満足度に対する $MT-Nflux$

地域	郷土	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
現状のT-Nfluxの平均値	-0.202	-0.208	-0.159	-0.001	-0.162	-0.187	-0.138
理想のT-Nfluxの平均値	-0.208	-0.215	-0.171	-0.056	-0.091	-0.098	-0.158
現状と理想のT-Nfluxの平均値の差分	-0.004	-0.007	-0.018	-0.057	-0.071	-0.063	-0.019
理想(100%)と現状の満足度の差分	42(24)	43(24)	50(23)	53(25)	57(28)	65(22)	54(25)
満足度が1%上がったときのT-Nfluxの変化量	-0.00009	-0.00016	-0.00035	-0.00107	-0.00124	-0.00106	-0.00036
標準偏差	-0.00043	-0.00047	-0.00044	-0.00047	-0.00042	-0.00038	-0.00044

(0内は標準偏差を示す。上段：身近な川、下段：長良川流域全体)

表-6 T-Nfluxに対する $MWTP_{flux}$

地域	郷土	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
身近な川のT-Nfluxに対する $MWTP_{flux}$	-2,830,759	-830,226	-433,981	-172,750	-121,862	-119,985	-458,540
流域全体のT-Nfluxに対する $MWTP_{flux}$	-670,696	-387,978	-412,266	-589,818	-451,864	-498,872	-499,548

5. 長良川流域環境改善施策の効果分析

(1) 水環境改善施策の想定

a) 減肥施策の想定

岐阜県では、現在人と環境にやさしい「岐阜クリーン農業」を推奨している¹¹⁾。「岐阜クリーン農業」とは化学肥料及び化学合成農薬の使用量を従来の栽培と比べていずれも30%以上削減した栽培方法である。そこで本研究では、「岐阜クリーン農業」を上流の郡上地域で実施する施策を施策①、下流の本巣地域で施策を実施する施策を施策②として想定する。化学肥料や化学合成農薬の削減を行う場合、農作物の成長が遅くなり、生産の効率性が低下すると考えられる。また、草取りなどの労働や肥料以外の資本の追加投入が必要になる。モデルでは、農業系産業部門の生産効率パラメータを操作し、間接的に労働と資本を多く投入することでこれを表現している。労働資本投入が通常より増加することで生産要素費用が上昇し、市場価格メカニズムから消費が減少し、最終的に生産量が減少されるという仕組みとなっている。

b) 森林管理の強化施策の想定

近年、林業衰退に伴う森林管理の低下は枝打ちや間伐による余分な水分放出抑制を正常に機能させられなくなっており、森林土壌の乾燥化を招いている。篠田らの先行研究¹²⁾より、森林土壌が乾燥化すると、少降雨時でも土壌とともに窒素が流出してしまうため、河川水における排出汚濁負荷が増加することがわかっている。そこで、美濃地域における間伐などの森林管理を強化する施策を施策③として想定する。具体的には、美濃地域における森林管理、すなわち育林産業部門の労働を追加投入

することを想定する。モデルでは、労働は余りなく投入されている（失業も効率的な経済活動の結果発生している）と仮定されるため、育林産業部門に労働を追加投入すると、他の産業から労働を転換してなくてはならず、労働を追加投入した分だけ生産効率が低下する。

c) シナリオの設定

実際に減肥や森林管理を実施すると農作物や育林の生産効率にどのくらい影響を及ぼすかについては様々な意見があり定かではないため、これらをシナリオとして与えることとし、生産効率パラメータの低下率は0, 5, 10, 20, 30%の5通りとする。さらに、施肥の削減率については、農作物により実現可能な範囲が異なると考えられるので、5, 10, 20, 30%の4通りとする。同様に森林管理を行うことによる汚濁負荷削減率も5, 10, 20, 30%の4通りとする。

(2) 水環境改善施策による水環境改善効果

流域環境評価モデルを用いて、施策を実施した場合の水環境改善効果を求めた。図-7に各施策による T-Nflux の変化量を示す。

(3) 水環境改善施策による経済効果

a) 施策①の効果分析

施策①による各地域の水環境改善便益を表-7、郡上地域の水環境改善便益と総合便益を表-8、下流域の水環境改善便益と総合便益を表-9、流域全体の総便益を表-10に示す。表-7をみると、施肥の削減率を増やすごとに水環境改善便益が指数的に増加していることがわかる。また郡上地域と美濃地域では、身近な川の水環境改善便益が長良川流域全体の改善便益よりも大きい。これは施策を実施する郡上地域の水環境改善が直下流の美濃地域の水環境改善に強く影響しているからと考えられる。表-8をみると、施策を実施する郡上地域では、生産効率が低下すると水環境改善便益はすべて負になるのがわかる。しかし、水環境改善便益と水環境改善便益を合わせた総合便益では、組み合わせにより正や負になる。一方下流域では、表-9をみるとわかるように水環境改善便益、総合便益ともに正の便益しか生じない。施策実施に当たっては、これらを踏まえて費用負担等を考える必要がある。表-10をみると、流域全体の総便益は組み合わせにより、正や負になることがわかる。施策を実施するにあたり、一部の地域だけでなく、流域全体から施策効果を考える必要がある。

ここで、施肥削減率30%、生産効率低下率10%を例として結果を詳細に分析する。図-8に産業別の財価格、家計消費量、生産額の変化を、表-11に地域内総生産額の変化を示す。図-8をみると、施策による水環境改善への波及効果を把握することができる。地域内生産額の変化率が大きい産業部門としては、農業系産業部門の中間

表-7 環境改善便益

		郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽鳥	流域全体
施肥削減率	5%	4,054	1,316	46	54	11	24	5,505
	10%	8,007	2,700	90	104	18	32	10,952
	20%	16,967	5,996	184	208	32	49	23,137
	30%	26,975	9,073	283	315	47	67	36,759
		1,017	506	1,449	9,538	1,578	2,419	16,508

(上段: 身近な川, 下段: 長良川流域全体)

(単位: 万円)

表-8 郡上地域の市場経済便益と総合便益

		生産効率パラメータ削減率				
		0%	5%	10%	20%	30%
施肥 削減率	5%	225	-12,346	-26,221	-58,812	-100,020
		4,421	-8,149	-22,024	-54,615	-95,823
	10%	448	-12,122	-25,998	-58,589	-99,798
		8,739	-3,831	-17,707	-50,298	-91,507
	20%	993	-11,578	-25,454	-58,047	-99,258
		18,589	6,018	-7,858	-40,451	-81,662
	30%	1,599	-10,972	-24,849	-57,444	-98,657
		29,591	17,019	3,142	-29,452	-70,666

(上段: 市場経済便益, 下段: 総合便益) (単位: 万円)

表-9 下流域の市場経済便益と総合便益

		美濃	関	岐阜	本巣	羽鳥	下流域
施肥削減率	5%	121	128	471	58	280	1,058
	10%	1,508	377	1,862	290	643	4,681
	20%	245	258	927	106	346	1,882
	30%	3,086	753	3,893	564	1,054	9,150
		512	519	1,859	201	481	3,573

(上段: 市場経済便益, 下段: 総合便益)

(単位: 万円)

表-10 流域全体の総便益

		生産効率パラメータ削減率				
		0%	5%	10%	20%	30%
施肥 削減率	5%	9,102	-3,468	-17,344	-49,934	-91,143
	10%	17,889	5,318	-8,558	-41,149	-82,358
	20%	37,910	25,340	11,463	-21,130	-62,341
	30%	60,218	47,646	33,769	1,174	-40,039

(単位: 万円)

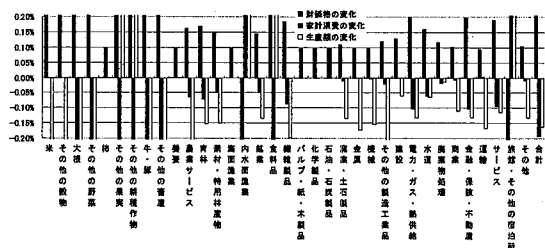


図-8 家計消費量、生産額の産業別変化

表-11 地域内生産額の変化額と変化率

	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽鳥	流域全体
without	230,615	285,635	1,253,822	2,650,189	492,854	1,580,019	6,492,933
with	230,242	285,667	1,253,825	2,650,210	492,854	1,580,022	6,492,809
変化額	-373	32	3	21	0	3	-24
変化率	-0.16%	0.00766%	0.00022%	0.00080%	0.00010%	0.00018%	-0.0049%

(単位: 百万円)

投入が多い農業サービス部門であることが読み取れる。その他の畜産部門の変化率も大きいですが、生産額の少ない産業部門では変化率が大きく現れることに注意して施策の影響を見る必要がある。表-11をみると、施策を実施する郡上地域では、施策の対象となる農業系産業部門へ

の負の効果が地域全体に波及し、地域内総生産額が-0.16%減少している。下流5地域については、わずかながら地域内総生産額が増加し、市場を通じた環境改善の波及効果が生じている。

b) 施策②の効果分析

施策②による各地域の環境改善便益を表-12、本県地域の市場経済便益と総合便益を表-13、下流域の市場経済便益と総合便益を表-14、流域全体の総便益を表-15に示す。表-12と施策①の表-7とを比較すると、施策②の方が下流域で施策を実施する分、身近な環境改善便益を受ける地域も少なく、流域全体の環境改善便益も小さくなる。このように環境改善便益については、上流地域で施策を実施した方が大きくなる。表-13をみると、施策を実施する本県地域では、生産効率が低下すると市場経済便益、総合便益ともにすべて負になるのがわかる。これは農業の生産額のシェアが高い本県地域では、環境改善で得られる正の便益よりも、市場経済便益の負の便益のが大きくなっていることを表す。一方下流域は、表-14をみると、施策②が元々下流の本県地域で実施するため、市場経済の影響を受ける地域が岐阜地域と羽島地域の2地域しかない。しかし、施策①の表-9と比較すると岐阜地域の市場経済便益が高くなっている。これは施策②では岐阜地域の直上流の本県地域で施策を実施するので環境改善の影響が強いからと考えられる。表-15をみると、流域全体の総便益は、生産効率が低下すると全て負になることがわかる。これは施策①と比較して、施策実施地域の市場経済便益の負の影響が大きく、また下流域で施策が実施されるため環境改善便益も小さくなっているからである。このように施策実施地域は上流域の方が施策効果は高いと考えられる。

ここで、施肥削減率30%、生産効率低下率10%を例として結果を詳細に分析する。図-9に産業別の財価格、家計消費量、生産量の変化を、表-16に地域内総生産額の変化を示す。図-9をみると、全体的には同じ減肥施策である施策①の図-8と同傾向であるが、一部の産業では異なることもある。これはその地域の産業特色の影響であり、地域ごとに各産業への影響を考える必要がある。表-16をみると、施策を実施する本県地域への影響の大きさがわかる。そしてそれがそのまま流域全体への影響となっている。全体で、施策①と比較すると、施策②は環境改善便益も小さく、市場経済への負の影響が大きいので、あまり効率的な施策ではないと言える。

c) 施策③の効果分析

施策③による各地域の環境改善便益を表-17、美濃地域の市場経済便益と総合便益を表-18、下流域の市場経済便益と総合便益を表-19、流域全体の総便益を表-20に示す。表-17をみると美濃地域の身近な川に対する環境改善便益が圧倒的に高いのがわかる。これは美濃地域

表-12 環境改善便益

	郡上	美濃	関	岐阜	本県	羽島	流域全体
施肥削減率	5%	0	0	53	913	25	991
		100	50	143	941	239	1,629
	10%	0	0	104	1,887	30	2,002
		204	101	290	1,910	485	3,306
	20%	0	0	212	3,912	40	4,163
		425	212	606	3,990	660	6,905
	30%	0	0	324	8,177	50	8,551
		671	334	957	6,297	1,597	10,898

(上段:身近な川, 下段:長良川流域全体)

(単位:万円)

表-13 本県地域の市場経済便益と総合便益

		生産効率パラメータ削減率				
		0%	5%	10%	20%	30%
施肥削減率	5%	919	-32,578	-69,641	-155,990	-264,313
		1,988	-31,509	-68,573	-154,921	-263,245
	10%	1,873	-31,726	-68,691	-155,044	-263,372
		4,056	-29,543	-66,508	-152,861	-261,189
	20%	3,897	-29,705	-66,674	-153,035	-261,375
		8,469	-25,133	-62,102	-148,463	-256,803
	30%	6,108	-27,497	-64,470	-150,841	-259,194
		13,328	-20,278	-57,251	-143,622	-251,974

(上段:市場経済便益, 下段:総合便益)(単位:万円)

表-14 下流域の市場経済便益と総合便益

	郡上	美濃	関	岐阜	羽島	下流域
施肥削減率	5%	0	0	1,398	311	1,709
		100	50	2,392	575	3,261
	10%	0	0	2,817	419	3,235
		204	101	4,831	934	6,360
	20%	0	0	5,779	623	6,403
		425	212	9,981	1,675	12,900
	30%	0	0	8,928	833	9,761
		671	334	15,549	2,479	19,990

(上段:市場経済便益, 下段:総合便益)

(単位:万円)

表-15 流域全体の総便益

		生産効率パラメータ削減率				
		0%	5%	10%	20%	30%
施肥削減率	5%	5,248	-28,248	-65,312	-151,660	-259,984
	10%	10,416	-23,183	-60,148	-146,500	-254,829
	20%	21,369	-12,233	-49,202	-135,564	-243,904
	30%	33,318	-288	-37,261	-123,632	-231,984

(単位:万円)

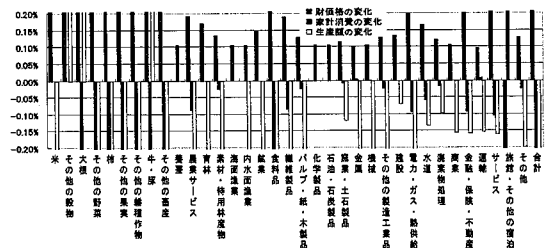


図-9 家計消費量, 生産額の産業別変化

表-16 地域内総生産額の変化額と変化率

	郡上	美濃	関	岐阜	本県	羽島	流域全体
without	230,615	285,635	1,253,822	2,650,189	492,654	1,580,019	6,492,933
with	230,615	285,635	1,253,822	2,650,256	491,366	1,580,023	6,491,717
変化額	0	0	0	67	-1,288	4	-1,216
変化率	0%	0%	0%	0.0025%	-0.26%	0.00025%	-0.019%

(単位:百万円)

内で森林割合が高いことにより、施策③の効果が大きいことを表す。この美濃地域の高い環境改善の影響が流域全体の環境改善につながっている。表-18をみると、施策を実施する美濃地域では、生産効率が低下すると市場経済便益は全て負になるのがわかる。しかし、環境改

善便益と市場経済便益を合わせた総合便益では、組み合わせにより正や負になることがわかる。一方下流域は、表-19 をみるとわかるように市場経済便益、総合便益ともに正の便益しかない。また各便益の大きさも施策①、施策②の表-9、表-14 と比較して大きいことがわかる。これは施策③の方が環境改善の効果が高いからと考えられる。表-20 をみると、流域全体の総便益はひとつの組み合わせ以外ではすべて正になっている。しかし、実際に森林管理を実施したときにどのくらい汚濁負荷が削減でき、またそのときどのくらい生産効率が低下するかの相関関係が明確でないため、この評価結果の取り扱いに注意が必要である。

ここで、汚濁負荷削減率 10%、生産効率低下率 30%を例として結果を詳細に分析する。図-10 に産業別の財価格、家計消費量、生産量の変化を、表-21 に地域内総生産額の変化を示す。図-10 をみると、地域内生産額の変化率が大きい産業部門としては、育林産業部門の中間投入が多い素材・特用林産物部門、繊維製品部門であることが読み取れる。表-21 をみると、施策を実施する本県地域では、施策の対象となる育林産業部門への負の効果が地域全体に波及し、地域内総生産額が-0.22%減少している。下流 4 地域については、わずかではあるが地域内総生産額が増加し、市場を通じた環境改善の波及効果を捉えることができています。全体的にみると、施策①、施策②の減肥施策に比べて、環境改善便益も大きく、市場経済への負の影響も小さいため、施策③は効率的な施策であると言える。

(4) 便益の分布

図-7 に各施策による便益の分布を示す。身近な環境改善便益の分布については、施策を実施した地域に大きく分布していることがわかる。また流域全体環境改善便益の分布については、流域全体に正の便益が発生しているのがわかる。岐阜市周辺で便益が大きいのは、世帯数の分布が多いからである。市場経済便益の分布については、施策を実施する地域では、市場不経済の影響が強く負の便益が表れている。実際には施策は各地域の一部で実施されているため、市場経済不経済の分布も一様でないが、その点については表現できていない。これについては、今後の課題としたい。

6. おわりに

本研究では流域環境評価モデルと流域経済評価モデルを連結した総合環境評価モデルを用いて、長良川流域における水環境改善施策の効果分析を行った。以下に本研究の成果を簡単にまとめる。

表-17 環境改善便益

		郡上	美濃	関	岐阜	本県	羽島	流域全体
汚濁負荷削減率	5%	0	2,041	2	8	1	1	2,052
		703	350	1,002	6,593	1,091	1,672	11,410
	10%	0	4,188	4	16	1	22	4,231
		1,444	719	2,059	13,551	2,242	3,437	23,452
	20%	0	8,846	8	31	2	23	8,910
削減率		3,055	1,520	4,354	28,657	4,742	7,269	49,596
	30%	0	14,098	13	46	4	3	14,163
		4,875	2,425	6,949	45,738	7,569	11,601	79,158

(上段:身近な川, 下段:長良川流域全体) (単位:万円)

表-18 美濃地域の市場経済便益と総合便益

		生産効率パラメータ削減率				
		0%	5%	10%	20%	30%
汚濁負荷削減率	5%	252	-2,117	-4,746	-10,973	-18,948
		2,643	274	-2,355	-8,582	-16,557
	10%	516	-1,853	-4,482	-10,709	-18,684
		5,422	3,053	425	-5,803	-13,778
	20%	1,085	-1,284	-3,912	-10,140	-18,115
削減率		11,451	9,082	6,453	225	-7,750
	30%	1,722	-647	-3,276	-9,504	-17,480
		18,245	15,876	13,247	7,019	-957

(上段:市場経済便益, 下段:総合便益) (単位:万円)

表-19 下流域の市場経済便益と総合便益

		郡上	関	岐阜	本県	羽島	下流域
汚濁負荷削減率	5%	0	128	471	58	280	938
		703	1,132	7,071	1,150	1,953	12,009
	10%	0	258	927	106	346	1,637
		1,444	2,321	14,494	2,349	3,805	24,413
	20%	0	519	1,859	201	481	3,060
削減率		3,055	4,882	30,547	4,946	7,772	51,201
	30%	0	805	2,807	316	617	4,545
		4,875	7,767	48,592	7,888	12,221	81,343

(上段:市場経済便益, 下段:総合便益) (単位:万円)

表-20 流域全体の総便益

		生産効率パラメータ削減率				
		0%	5%	10%	20%	30%
汚濁負荷削減率	5%	14,652	12,283	9,655	3,427	-4,548
	10%	29,835	27,466	24,838	18,610	10,635
	20%	62,652	60,283	57,654	51,426	43,451
	30%	99,588	97,218	94,590	88,362	80,386

(単位:万円)

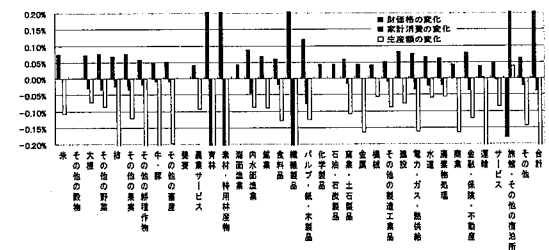


図-10 家計消費量、生産額の産業別変化

表-21 地域内生産額の変化額と変化率

	郡上	美濃	関	岐阜	本県	羽島	流域全体
without	230,615	285,635	1,253,822	2,850,189	492,654	1,580,019	6,492,933
with	230,615	285,002	1,253,823	2,850,196	492,654	1,580,021	6,492,310
変化額	0	-633	1	7	0	2	-623
変化率	0%	-0.22%	0.000071%	0.000264%	0.000035%	0.000105%	-0.00098%

(単位:百万円)

- ①施策実施地域が上下流域で異なる減肥施策の評価を行い、上流域での施策実施の効率性を明らかにした。
- ②環境改善効果と市場経済の影響を流域全体で捉えることにより、森林管理の強化の効率性を明らかにした。
- ③長良川流域住民の意識に基づいた水環境改善施策の評価により、上下流域連携の可能性を示した。

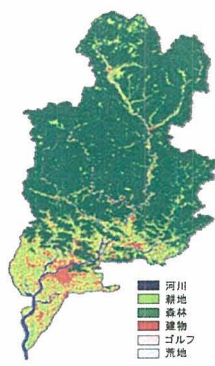


図-2 土地被覆分布³⁾

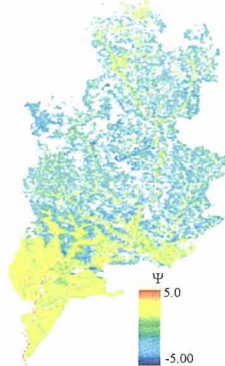


図-3 T-Nfluxの分布³⁾

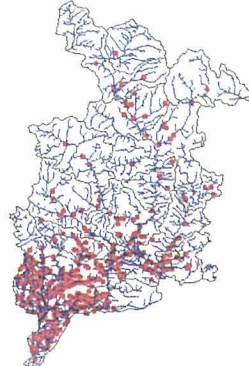


図-5 身近な河川の位置

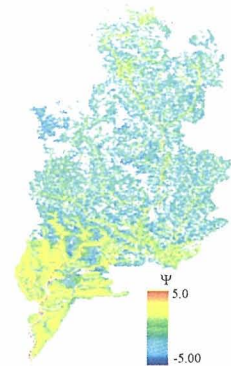
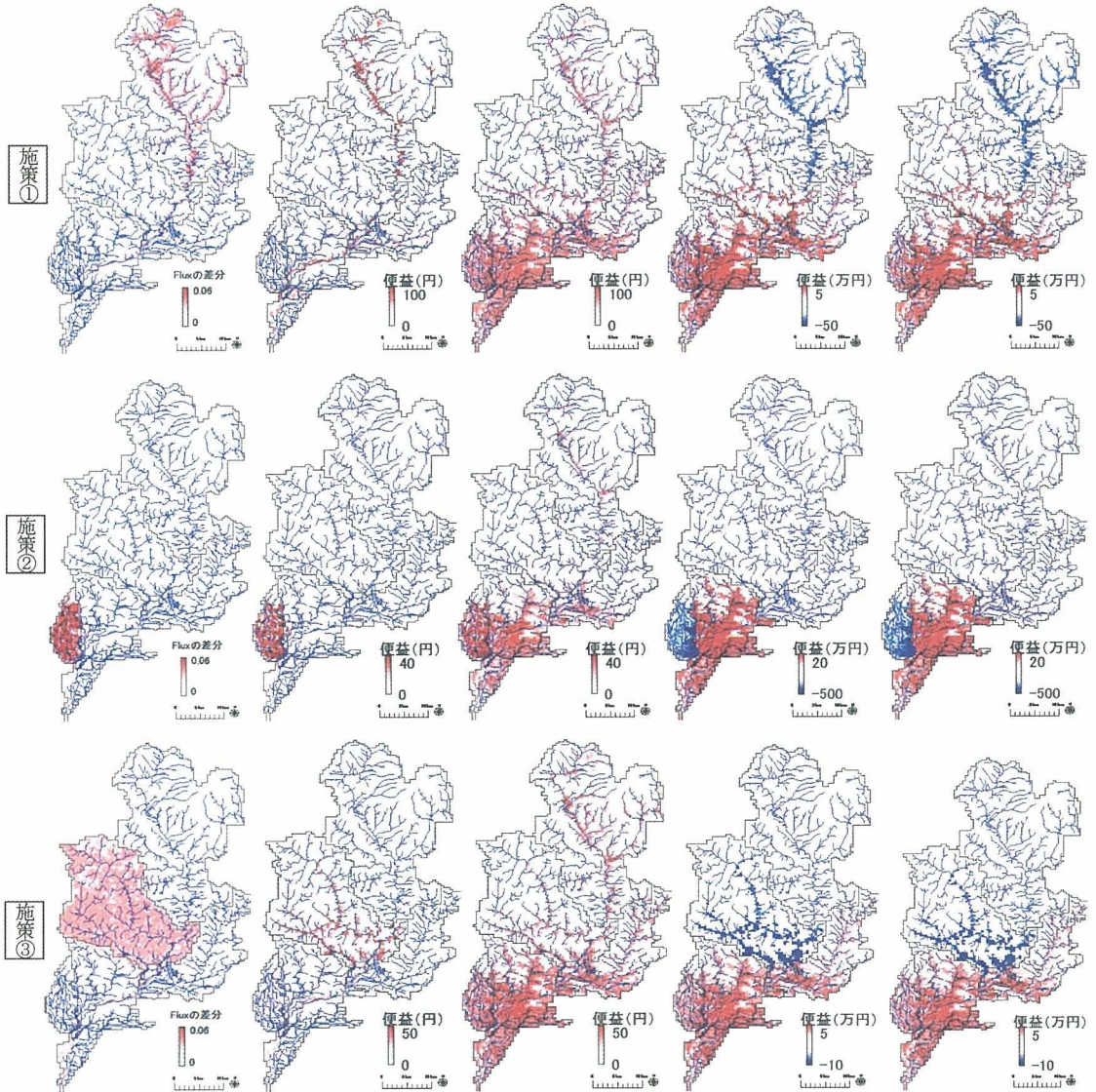


図-6 理想状態を想定した

T-Nflux 分布



環境改善効果

身近な環境改善便益

流域全体環境改善便益

市場経済便益

総便益

図-7 各施策による便益の分布

今後の課題としては、①本研究で得られた政策的示唆に基づいて長良川流域における施策の最適な組み合わせを検討すること、②その際、流域住民における自主的な環境配慮行動に基づく生活排水対策についても効果分析を行うこと、③地域の移入出を考慮し、地域間取引をとらえた効果分析を行うこと、などが挙げられる。

謝辞：なお、本研究は、岐阜市と岐阜大学の共同研究「長良川ニューユートピア計画」の成果の一部である。アンケートの実施にあたり、流域市町、及び住民の方々に多大のご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 水野谷剛，盛岡理紀，氷鉋揚四郎：霞ヶ浦流域における水質改善新技術の導入を考慮した最適環境政策に関する研究，地域学研究，vol.32，No.3，pp.83-106，2002.
- 2) 高木朗義，武藤慎一，村松穂高：GISデータベースに基づいた水環境保全策の経済評価手法の開発，環境システム研究論文集，vol.30，pp.161-169，2002.
- 3) 篠田成郎，守利悟朗，和田祐典，山川淳平，田中雅彦，渡辺美帆，片桐猛：物質循環状態評価に基づく新しい流域環境指標の提案，第12回地球環境シンポジウム論文集，pp.213-218，2004.
- 4) 西川薫，高木朗義，篠田成郎：流域GISを援用した水環境改善施策の総合環境評価モデルの開発，土木計画学研究・講演集，vol.32，CD-ROM，2005.
- 5) Akiyoshi TAKAGI, Kaoru NISHIKAWA, Seirou SHINODA, Shinichi MUTO, Assessment of Water Environment Improvement Projects with Computable General Equilibrium Model using Geographic Information Systems, Proceedings of the 19th Pacific Regional Science Conference, CD-ROM, 137, (2005).
- 6) 西川薫，高木朗義，篠田成郎，永田貴子：流域GISを援用した水環境改善施策の総合環境評価モデルの構築，土木計画学研究・論文集，vol.23（投稿中）.
- 7) 武藤慎一，東海明宏，高木朗義，河合俊一：応用一般均衡分析による難燃剤規制策の評価，環境システム研究論文集，vol.32，pp.287-296，2004.
- 8) 石川良文：都市圏産業連関表の作成と都市圏応用一般均衡モデルの開発，平成14年度～平成15年度科学研究費補助金（基盤(c)(1)）研究成果報告書，2004.
- 9) 岐阜県統計局調査課：岐阜県産業連関表-1995，http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11111/news/c_set.htm
- 10) (財)統計情報研究開発センター：平成12年国勢調査に関する地域メッシュ統計
- 11) 岐阜県農林水産局農林水産政策室：岐阜クリーン農業，<http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11435/clean/>
- 12) 篠田成郎，衣目純，福本圭子，前田敏昭，日置琢三，都築克紀：山地森林流域での全窒素流出過程に及ぼす植生分布の影響評価，京都大学防災研究所年報，No.44(B-2)，pp.229-245，2001.

AN ANALYSIS OF WATER ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT MEASURES WITH COMPREHENSIVE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT MODEL

Akiyoshi TAKAGI, Seiro SHINODA, Kaoru NISHIKAWA,
Takashi MATSUDA, Takeshi KATAGIRI and Takako NAGATA

It is necessary to evaluate both of the effect of environmental improvement and the impact of market economy for assessing the environment improvement measures. Recently, the physical assessment of water environment improvement measures has been performed spatially in detail by the technological advance and the expanded database of GIS. Therefore, we have built the comprehensive environmental assessment model of combining the basin economic assessment model with the basin environmental assessment model that is able to evaluate physically the basin environmental condition until now. In this study, we assess several water environment improvement measures those are the reduction of chemical fertilizer on agriculture and the reinforcement of forest management in the Nagara river basin with this comprehensive environmental assessment model. The implication for realizing the efficient water environmental improvement measure is shown through analyzing the target area, the target sector and the benefit incident structure between upper and down stream regions.