

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

An Integrated Environment Assessment Model for Water Environmental Improvement Measures with Geographic Information System*

西川薫**・高木朗義***・篠田成郎****

By Kaoru NISHIKAWA**・Akiyoshi TAKAGI***・Seiro SHINODA****

1. はじめに

環境改善策を評価する場合、施策による市場経済への影響と環境改善の効果との両者を把握する必要がある。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。このような施策を実施するためには、詳細な経済評価が必要となる。そこで本研究では、流域GISを援用した流域環境評価モデル²⁾と整合した流域経済評価モデルを構築することにより、総合環境評価モデルを開発することを目的とする。具体的には、図1に示すように流域GISを介して高木ら³⁾が構築してきた応用一般均衡(Computable General Equilibrium: CGE)モデルに基づいて流域経済評価モデルと流域環境評価モデルを連結し、以下の3点に着眼して、モデルを開発する。

- 特定地域を対象とした水環境改善策を経済評価する。
- 特定産業を対象とした水環境改善策を経済評価する。
- 空間的に詳細な環境変化を経済評価する。

2. 総合環境評価モデルの構築

(1) 流域環境評価モデル

篠田ら²⁾は、環境状態を物質循環の連続性から評価する環境指標を提案している。この環境指標は、観測データと人間活動データを基に、全窒素の移動量を推定した物質収支に関する流域環境評価モデルから推定される。長良川流域における全窒素移動量を図2に、環境指標の分布を図3に示す。

*キーワード: 計画手法論, GIS, 環境計画, 河川計画

**学生員, 岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻

***正員, 博(工), 岐阜大学工学部社会基盤工学科

(岐阜市柳戸1-1, TEL: 058-293-2445, E-mail: a_takagi@cc.gifu-u.ac.jp)

****正員, 工博, 岐阜大学総合情報メディアセンター

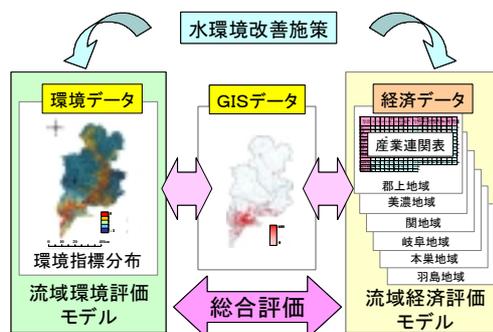


図1 水環境改善施策の総合評価手法

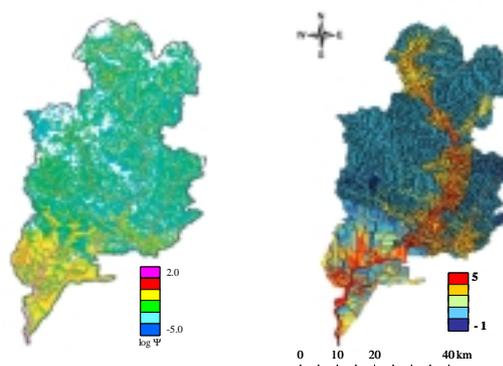


図2 全窒素移動量の分布 図3 環境指標の分布

(2) 流域経済評価モデル

水環境改善策を実施した場合、多数の経済主体活動に様々な影響が及ぶ。例えば、減肥を実施して、水環境が改善されれば、世帯の環境に対する効用が増大したり、内水面漁業や観光業の生産活動に好影響をもたらしたりする。しかしその反面、減肥により栽培作物の生産効率が低下し、それが市場を通じて関連産業に波及し、最終的には消費者である世帯にその影響が帰着する。

一方、河川流域では連続性の観点から、上流域の環境状態は、下流域の環境状態に影響を及ぼす。つまり、上流域で施策を実施して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、下流域の経済活動にも影響をもたらす。

以上のことから、水環境改善策を経済評価するためには、経済主体間の相互関係と、上下流域間の相互関係を考慮した上で水環境改善効果を捉える必要がある。本研究のモデルの概念図を図4に示す。このような視点

から水環境改善施策を経済評価できるモデルとして、CGEモデルを用いる。

a) 地域産業連関表の作成

CGEモデルの基準データセットには産業連関表が不可欠である。しかし、わが国では政令指定都市などを除き、地域産業連関表は都道府県単位が最小である。したがって、長良川流域という範囲で経済評価を行うために地域産業連関表を作成する必要がある。本研究では、流域内の産業特性を考慮するため図5に示すように長良川流域を6区分した地域で、ノンサーベイ手法に基づき、岐阜県産業連関表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。

特定の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。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。施策の影響が小さいその他の産業を統合して表1に示すような35部門に分類する。

これにより、地域特性に応じた水環境改善施策に対する詳細な経済評価が可能となる。

b) 流域GISの援用

本研究では、流域経済評価モデルにGISを援用する。理由は、結果を分かりやすく表示することだけでなく、流域環境評価モデルと連結するためである。これにより、環境への直接的な評価と、施策の経済的な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。使用するメッシュデータとしては、環境指標メッシュ分布データと世帯数メッシュ分布データの2つである。

世帯数メッシュ分布データは、平成12年国勢調査データを利用する。メッシュサイズは、評価精度をできるだけ高めるために現在入手可能な最小の500mとする。

環境指標メッシュ分布データは、長良川流域の環境状態を示すデータとして、流域環境評価モデルで推定される環境指標メッシュ分布データを利用する。このデータは元々100mメッシュデータであるが、経済評価モデルのベースとなっている世帯数分布が500mメッシュデータであるため、500mメッシュデータに変換して使用する。これによって長良川流域全体の詳細な環境変化の影響を捉えることができ、流域環境評価モデルと流域経済評価モデルが連結して、総合環境評価モデルが開発できる。

3. 経済評価指標

本モデルでは、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



図4 流域経済評価モデルの概念図

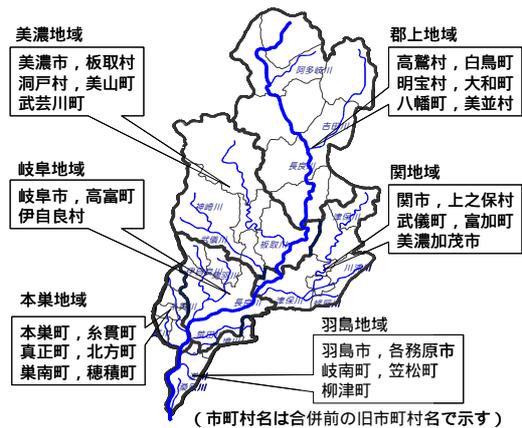


図5 長良川流域の地域区分

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
だれいこん	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	ハルブ・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
育林	機械	

出する。世帯の便益は、以下の式で表わされる。

$$B^m = EV^m + B_e^m \tag{1}$$

ここで、添字 m はメッシュ、 B は世帯の便益、 EV 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ため、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

市場経済に与える影響は、効用の変化分を等価変分 (Equivalent Variation : EV) の概念を適用して計量化する。なお、本モデルは、EV は第一段階の消費に対する効用水準を利用して定義する。すなわち、EV は以下の式を満たすこととなる。

$$V_c(p_H^{wo}, p_C^{wo}, M^{1wo} + EV) = V_c(p_H^w, p_C^w, M^{1w}) \quad (2)$$

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。最終的に EV は以下のようになる。

$$EV = \frac{(\Delta_1^w)^{\frac{1}{\sigma_1-1}} M^{1w} - (\Delta_1^{wo})^{\frac{1}{\sigma_1-1}} M^{1wo}}{(\Delta_1^{wo})^{\frac{1}{\sigma_1-1}}} \quad (3.a)$$

$$\text{ただし, } \Delta_1 = \beta_H p_H^{(1-\sigma_1)} + \beta_C p_C^{(1-\sigma_1)} \quad (3.b)$$

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。式(3)に示す市場経済便益を世帯数メッシュ分布データに基づいてメッシュ単位に配分する。配分方法は以下の式で表される。

$$EV^m = N^m EV \quad (4)$$

ここで、 N は世帯数を表す。式(4)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

本モデルでは、流域環境評価モデルから求められる環境指標を利用して経済的側面から評価を行う。このためには、長良川流域住民の環境指標に対する選好や支払意思額 (Willingness To Pay : WTP) を知る必要がある。しかし、この調査は今夏実施予定であるため、ここでは本研究室の学生を対象にしたプレテスト結果を用いる。

調査方法として CVM を用い、環境改善による WTP を求める。しかし、環境指標の数値では、環境改善のイメージが難しく評価が困難なため、図6に示すように水環境のレベルを4区分し、施策無し (without) の水環境レベルと施策有り (with) の水環境レベルに対する WTP を尋ねた。表2は全6通りの WTP をまとめたものである。この6通りの WTP を、それぞれ現状と改善後の環境指標に当てはめて、メッシュ毎の環境改善便益 B_e^m を以下のように算出する。

$$B_e^m = N^m WTP_{XY} \quad (5)$$

ここで、添字 X, Y は without, with の水環境レベルを表わす。

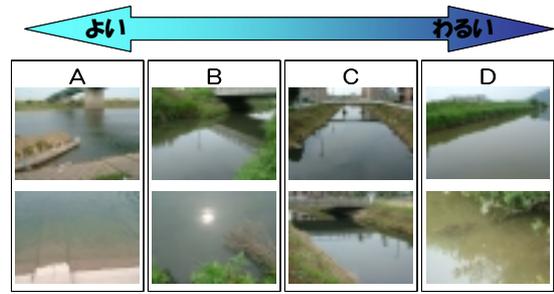


図6 水環境のレベル区分

表2 WTP の調査結果

$WTP_{DA}=4,733$ 円, $WTP_{BA}=4,500$ 円, $WTP_{CB}=2,633$ 円 $WTP_{CA}=4,473$ 円, $WTP_{DB}=2,646$ 円, $WTP_{DC}=3,133$ 円
--

4. 総合環境評価モデルの適応性確認

(1) 水環境改善施策の想定

郡上地域で大根栽培に使用する化学肥料, 化学合成農薬をそれぞれ 30%削減する環境改善策を想定する。モデルでは、大根産業部門の生産効率パラメータを操作することにより表現する。なお、ここでは減肥した分だけ生産が減少すると仮定して、大根産業部門の生産効率が30%低下すると想定する。

(2) 施策による水環境改善の想定

流域環境評価モデルを用いて水環境改善施策を実施した場合の計算を行えば、施策による環境変化を捉えることができる。しかし、ここでは流域経済評価モデルの適用性を確認することを目的とし、環境変化前の環境指標のみ環境評価モデルの推定結果を用い、環境変化後の環境指標については施策実施地点より下流に位置する河川において次式のように改善すると仮定する。

$$Q_w^r = \ln(0.9 \exp(Q_{wo}^r)) \quad (6)$$

ここで、添字 r は水環境が変化するメッシュ, Q は環境指標を表す。

水環境改善施策の実施により、長良川本川全体の水環境が改善されると想定し、長良川本川が通過するメッシュの環境指標が図7のように変化するものとする。

(3) 水環境改善施策の評価

水環境改善施策による各地域の便益は表3, 便益のメッシュ分布は図8のように示される。また、地域内総生産額の変化は表4, 産業別の財価格, 家計消費量, 生産量の変化は図9のように示される。

表3をみると、施策を実施した郡上地域の市場経済便益の合計額は、-387万円の不便益となっているが、環境改善便益の合計額の方が大きいいため、郡上地域全体

の便益では444万円となっている。世帯の便益は、岐阜地域が一番大きい。これは環境改善により正の効果を受ける産業、すなわち内水面漁業と観光業のシェアが岐阜地域で高いためと考えられる。

図8では、それぞれ別途に算出した市場経済便益と環境改善便益を加算し、世帯数を乗じてメッシュ毎の便益額を表示している。そのため、施策を実施する郡上地域では、長良川本川上で正の便益が、本川上以外では負の便益が表れている。実際には、施策は郡上地域の一部で実施されているため、市場経済不便益の分布も一樣でないが、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。

表4をみると、施策を実施する郡上地域では、施策の対象となる大根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-0.079%減少している。下流5地域については、0.001%と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た。

図9をみると、施策による市場経済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、大根産業部門の中間投入が多い農業サービス部門であることが読み取れる。その他の耕種作物部門、その他の畜産部門の変化率も大きい。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。

以上のことから、空間的に詳細な環境変化を経済評価でき、総合環境評価が可能なモデルが開発されたことが確認できた。

5. 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開発した。以下に本研究の成果をまとめる。

水環境改善施策がもたらす詳細な流域環境変化を経済評価するため、長良川流域において流域GISを援用し、流域環境評価モデルの推定結果を流域経済評価モデルに利用可能とした。また、主体間、地域間の相互関係を捉えられる流域経済評価モデルを構築した。

これまでの流域環境評価結果をより、長良川流域の環境改善を効率的に行うためには特定地域、特定産業を対象とした水環境改善施策を実施する必要がある。このような水環境改善施策の経済評価を行うために、長良川流域を郡上、美濃、関、岐阜、本巣、羽島の6地域に区分して地域産業連関表を作成した。

開発した総合環境評価モデルの適用性を確認するため、仮想的な水環境改善施策に対する評価を行った。長良川流域のデータセットを作成し、環境改善施策を

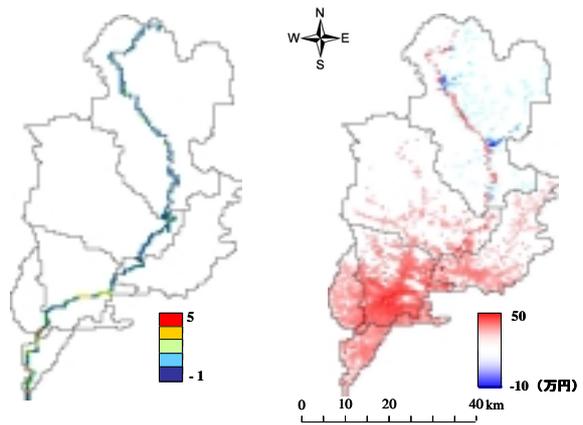


図7 環境改善の分布

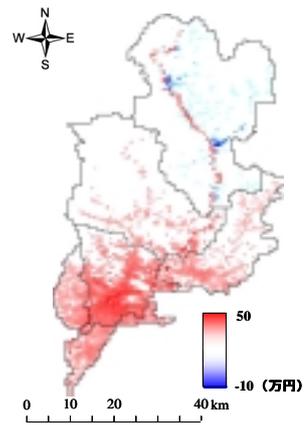


図8 便益の分布

表3 各地域の便益

	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	全流域
市場経済便益 (単位:万円)	-387	157	396	4,722	201	760	5,849
環境改善便益 (単位:万円)	831	272	255	3,064	364	183	4,968
世帯の便益 (単位:万円)	444	428	651	7,786	565	943	10,817
一世帯当たりの便益 (単位:円)	316	349	138	529	174	106	316

表4 地域内生産額の変化額と変化率

地域内総生産額 (単位:百万円)	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	全流域
without	1,941	285,635	1,253,822	2,650,189	492,654	1,580,019	6,264,259
with	1,940	285,638	1,253,824	2,650,223	492,654	1,580,023	6,264,301
変化額	-2	3	2	34	0	4	42
変化率	-0.079%	0.001%	0.000%	0.001%	0.000%	0.000%	0.001%

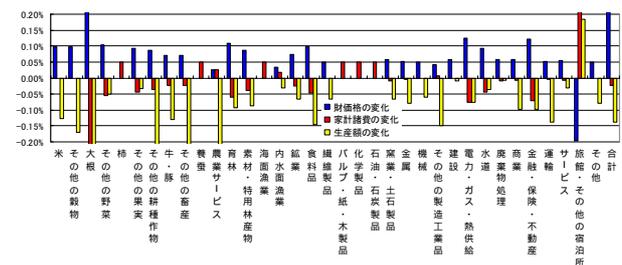


図9 財価格,家計消費量,生産額の産業別変化

施した場合における市場経済便益と環境改善便益を地域単位およびメッシュ単位で算出した。

今後の課題として、局所的かつ特定の産業を対象にした施策の市場経済便益の分布の把握を行うこと、長良川流域住民の環境改善施策に対するWTPを調査し、環境改善便益を算出することなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 水野谷剛, 盛岡理紀, 氷鉦揚四郎: 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, 地域額研究, 第32巻第3号, pp83-106.
- 2) 篠田成郎, 守利悟朗ら: 物質循環状態評価に基づく新しい流域環境指標の提案, 地球環境シンポジウム講演集, vol.12, pp213-218, 2004.
- 3) 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, pp161-169, 2002.