

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*

A Comprehensive Environment Assessment Model for Water Environmental Improvement Measures
with Geographic Information System in the River Basin*

西川薫**・高木朗義***・篠田成郎****・永田貴子*****

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

1. はじめに

環境改善施策を評価する場合、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。経済評価においてもGISを利用して詳細な評価を行った研究もいくつかある。先行研究として高木ら²⁾は、GISデータベースに基づいた応用一般均衡（Computable General Equilibrium：CGE）モデルの構築を行い、対象地域を長良川支川の吉田川流域という狭い地域に絞り、水環境保全策を想定し、社会経済への影響を分析し、費用や便益などを試算することにより、経済評価手法としての適用性を確認している。本研究では、これらの既往研究を参考にし、篠田らの流域GISを援用した流域環境評価モデル³⁾と整合した流域経済評価モデルを開発することにより、総合環境評価モデルを構築することを目的とする。具体的には、図1に示すように長良川流域全域でGISを援用し、この流域GISを介して高木ら²⁾のCGEモデルに基づく流域経済評価モデルと篠田らの全窒素移動量に基づく流域環境評価モデル³⁾を連結し、以下の3点に着眼して、モデルを構築する。

- ①地域の産業特性に応じた水環境改善施策を流域全体で経済評価する。

*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

(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1, TEL:058-293-2445,

FAX:058-230-1248,E-mail:a_takagi@gifu-u.ac.jp)

****正員，工博，岐阜大学総合情報メディアセンター

*****岐阜市 人・自然共生部 水自然室

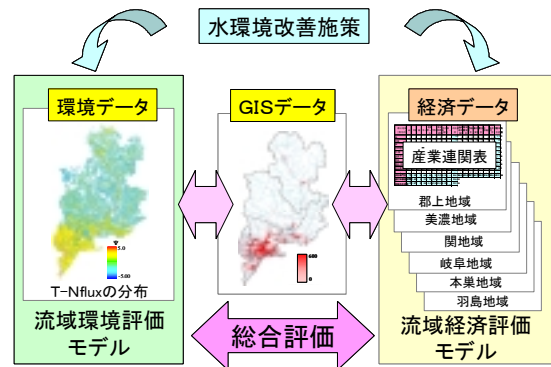


図1 水環境改善施策の総合評価手法

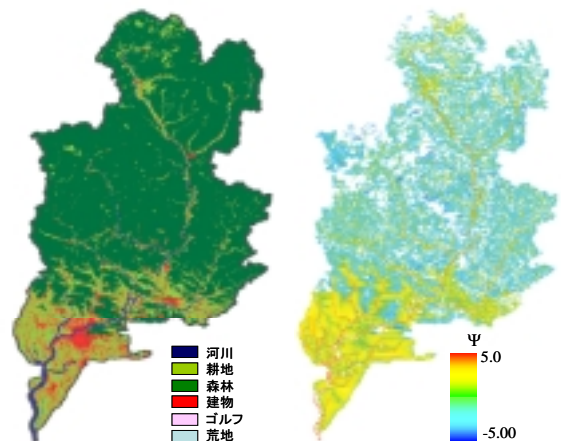


図2 土地被覆分布³⁾

図3 T-Nfluxの分布³⁾

- ②特定産業を対象とした水環境改善施策による全産業への影響を捉え、流域全体で経済評価する。
- ③空間的に詳細な環境評価と同時かつ整合的に水環境改善施策を経済評価する。

なお、先行研究との違いを以下に示す。

- ①GISを用いた評価結果の単位が、先行研究では1kmメッシュであるが、本研究では500mメッシュである。
- ②評価対象地域が、先行研究では吉田川流域(324km²)であるが、本研究では長良川流域全域(1,911km²)である。
- ③評価対象産業部門が、先行研究では2部門であるが、本研究では35部門である。
- ④市場均衡領域が、先行研究では1kmメッシュであるが、本研究では長良川流域を6区分した地域である。これは、先行研究では自家生産行動によるレクリエ

ーションサービスを対象に評価しているのに対し、本研究では産業全体や地域経済を対象に評価するためである。

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³⁾は、環境状態を物質循環の連続性から評価することを提案している。具体的には、長良川流域の物質循環の連続性を把握するため、長良川流域39箇所で全窒素量の現地観測を行い、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、流域内での全窒素移動量 Ψ_m （以下、T-Nfluxと表す）を以下の式により算出している。

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

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

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

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を表す。 k は物質質量変化係数、 x は流下距離を表す。長良川流域における全窒素移動量（T-Nflux）の分布を図3に示す。

(2) 流域経済評価モデル

水環境改善施策を実施した場合、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、減肥により農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。すなわち、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、水環境改善施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。これを概念図に示すと図4のようになる。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、本研究では、CGEモデルを用いる。ただし、地域間交易は



図4 流域経済評価モデルの概念図

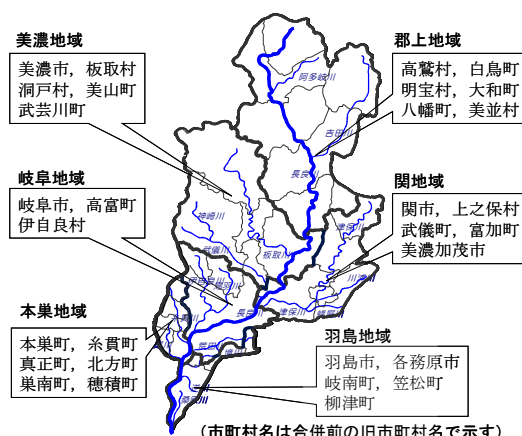


図5 長良川流域の地域区分

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	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
育林	機械	

考慮せず、環境という外部性の変化のみを上下流域間の相互関係として地域単位で考慮し、地域単位で経済評価した結果を環境属性と世帯数によりメッシュに配分している。具体的には次項で説明する。

a) CGEモデルの構築

i) モデルの前提条件

CGEモデル構築の基本的な前提条件を以下に示す。

- ①長良川流域内を図5に示す6地域に区分し、それぞれに世帯（家計）、産業、行政（政府）が存在するものとする。
- ②産業は表1に示す35部門に区分する。
- ③内水面漁業、観光業（旅館・その他の宿泊所）は、水環境の影響を受ける。

- ④各主体は立地選択を行わない。
 ⑤同一地域内の主体は同じ行動をとるものとして、その平均的な行動をモデル化する。
 ⑥産業の利潤はゼロである。
 ⑦各産業の財・サービス市場は、区分した 6 地域で、それぞれ閉じている。
 ⑦地域単位の計算結果をメッシュに配分する。
 なお、以下では 1 地域に着目して、各経済主体の行動モデルを説明する。

ii) 家計行動モデル

家計は労働と資本からなる生産要素を提供して所得を得、予算制約と時間制約の条件下で効用を最大化するように財・サービスを消費するとして定式化する。ここでは、多種の財を効率的に扱うため、武藤⁴⁾のモデルを参考に図 6 に示すように消費行動を階層的にモデル化する。

第一段階では、当該期の消費量 H と貯蓄 C_F を決定し、第二段階では、当該期の消費について合成財消費量 X 、余暇消費量 I を決定し、第三段階では、合成財消費について産業別財消費量 x_j を決定する。

第一段階から第三段階までの家計の財消費行動モデルは、いずれも通常の効用最大化問題として定式化される。すなわち、次式ようになる。なお各段階で特定化した式は武藤⁴⁾を参照されたい。

$$V^l = \max_{x_j^l} U^l(x_j^l) \quad (2.a)$$

$$\text{s.t.} \sum_j p_j^l x_j^l = M^l \quad (2.b)$$

ここで、添字 l は消費の各段階、添字 j は財を表す。この j は家計消費の段階によっては、必ずしも産業と対応した形となっていない部分もあるが、便宜的に j で表す。 U^l は直接効用関数、 x_j^l は財消費量、 p_j^l は財価格、 M^l は所得、 V_c^l は消費に対する効用水準を表す。

iii) 産業行動モデル

産業は生産要素および中間投入財を投入して、財・サービスの生産を行う。ここでは、これを図 7 に示すような二段階に分けて定式化する。第一段階では、労働と資本をひとまとまりとみた合成生産要素と中間投入財の投入量を決定し、第二段階で労働と資本の投入量を決定する。第一段階の財生産行動では、生産技術に Leontief 型を仮定し、その技術制約下で生産費用を最小化するように行動するものとする。その行動モデルは、次式のようになる。なお第二段階のモデルについては、武藤⁴⁾を参照されたい。

$$C_j = \min_{PC_j, x_j^i} c_j PC_j + \sum_i p_i x_j^i \quad (3.a)$$

$$\text{s.t.} y_j = \min \left[\frac{PC_j}{a_j^0}, \dots, \frac{x_j^i}{a_j^i}, \dots \right] \quad (3.b)$$

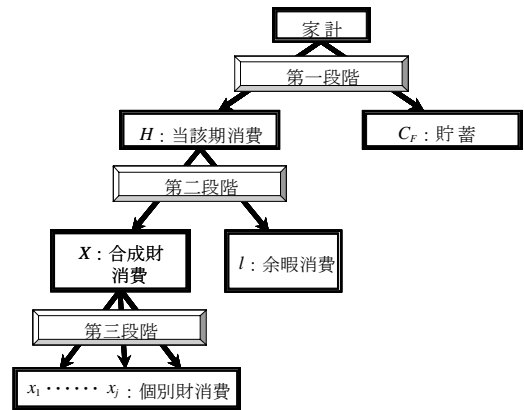


図 6 家計の財消費行動モデルの概念図⁴⁾

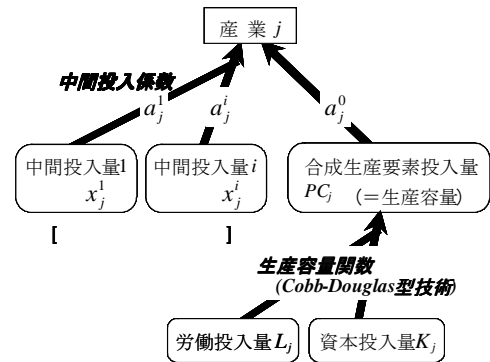


図 7 産業の生産行動モデルの概念図

ここで、 j は産業部門を表す添字、 c_j は合成生産要素の価格を表す。 PC_j は合成生産要素投入量であり、財の生産量を実質的に決定するという意味で生産容量と呼ぶ。 p_i は財 i の価格、 x_j^i は産業 i から j への中間財投入量、 y_j は生産量、 a_j^0 は生産容量比率、 a_j^i は中間投入係数である。 C_j は産業の最適行動下での生産費用を表している。

iv) 水環境の影響を受ける産業の行動モデル

本研究では、内水面漁業と観光業（旅館、その他の宿泊所）が、生産活動において水環境の影響を直接受けるものとする。水環境の影響を受ける産業の行動モデルは、基本的に産業の行動モデルと同様であるが、効率パラメータ η を T-Nflux の関数とする。

内水面漁業では、水環境が改善すると生産量や生産財の質が向上し、生産効率が向上すると考えられる。内水面漁業の生産活動に影響を与える因子として、漁業を行う河川の面積と水環境の状態を用いる。内水面漁業の効率パラメータ η_F を各地域に含まれる長良川本川のメッシュ数 a と長良川本川の T-Nflux の平均値の関数とし、回帰分析により、次式のように定式化した。

$$\eta_F = 0.0009a - 0.26\Psi_{average}^r + 0.14 \quad (4)$$

$$(4.72) \quad (-2.69) \quad (6.61)$$

ここで、 η_F は内水面漁業の効率パラメータ、 a は各地域に含まれる長良川本川のメッシュ数、 $\Psi_{average}^r$ は長良川本川の flux の平均値を示す。（ ）内に示された数値

は、各パラメータの t 値を表している。また相関係数は 0.81 であり、良好な精度が得られている。

一方、観光業では、水環境が改善すると観光客が増えて観光業の生産量は増えると考えられる。このとき観光業は、生産要素を追加的に投入した訳でなく、観光サービスの質が向上するとみなすことができる。すなわち生産効率が向上すると捉えることができる。したがって、観光業の効率パラメータ η_K を、回帰分析により次式のように定式化した。

$$\eta_K = -0.4a - 108\Psi_{average}^r + 171 \quad (5)$$

$$(-3.67) \quad (-2.14) \quad (17.3)$$

ここで、 η_K は旅館・その他の宿泊所の効率パラメータ、 a は各地域に含まれる長良川本川のメッシュ数、 $\Psi_{average}^r$ は長良川本川の T-Nflux の平均値を示す。 t 値から各パラメータが有意であると判断でき、相関係数も 0.91 であり、良好な精度が得られている。

v) 市場均衡条件

本モデルで捉える市場は、6 地域ごとの財市場と生産要素市場である。財市場の均衡条件式は次式で表される。

$$y = [I - (I - \bar{m})A]^{-1} [(I - \bar{m})x + E] \quad (6)$$

ここで、 y は移生産量ベクトル、 I は単位行列、 \bar{m} は移輸入係数を対角化した行列、 A は中間投入係数行列、 x は域内最終需要ベクトル、 E は輸出量ベクトルを表す。また、生産要素市場に関しては、直接的に生産要素需要と供給とが等しいという条件式により表される。

$$\text{労働市場: } \sum_j L_j = L_s \quad (7)$$

$$\text{資本市場: } \sum_j K_j = K_s \quad (8)$$

ここで、 L_j, K_j は労働、資本需要、 L_s, K_s は労働、資本供給を表す。このうち、労働、資本需要は、以下のよう求められる。

$$L_j = a_j^0 y_j D_{L_j} \quad (9)$$

$$K_j = a_j^0 y_j D_{K_j} \quad (10)$$

なお、 y_j は式 (6) より求められる。

労働供給は、総利用可能時間から、余暇消費時間を差

し引くことにより求められ、次式で表される。

$$L_s = \Omega - S \quad (11)$$

b) 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、産業連関表が必要不可欠である。しかし、わが国では政令指定都市などを除き、地域産業連関表は通常、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した。具体的には、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 5 参照) で、石川⁵⁾ によるノンサーベイ手法に基づき、岐阜県産業連関表⁶⁾ 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。
- 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。

作成した地域産業連関表のうち、郡上地域の一部を表 2 に示す。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。地域特性に応じた水環境改善施策として、例えば郡上地域における大根の減肥施策などがある。このような詳細な地域特性を考慮した産業連関表により地域の特産産業への影響まで経済評価することができる。

c) 流域 GIS の援用

本研究では、流域経済評価モデルに流域 GIS を援用する。その理由は、結果を分かり易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、施策による環境への直接的な評価と、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、①世帯数メッシュ分布データ⁷⁾ と②T-Nflux の分布データ³⁾ の 2 つである。

①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。

表 2 郡上地域における産業連関表 (特徴的な部分を抜粋)

郡上地域 [百万円]	米	大根	柿	牛・豚	農業 サービス	育林	素材・ 特用林 産物	内水面 漁業	..	内生部門 計	地域内 最終需 要計	地域内 需要合 計	移輸出 計	最終需 要計	需要合 計	移輸入計	最終需要 計	地域内 生産額
米	13	1	0	12	10	0	0	0	..	365	16	381	1,142	1,158	1,523	0	1,158	1,523
大根	0	0	0	0	0	0	0	0	..	29	45	74	753	798	827	0	798	827
柿	0	0	0	0	0	0	0	0	..	58	93	151	11	104	162	-132	-28	30
その他の耕種作物	0	31	0	84	0	0	0	0	..	564	227	791	173	400	964	-692	-292	272
牛・豚	8	2	0	28	6	1	0	0	..	240	49	289	599	648	888	0	648	888
農業サービス	291	10	30	75	0	0	0	0	..	921	277	1,198	0	277	1,198	0	277	1,198
育林	0	0	0	0	0	10	1,672	0	..	1,682	163	1,845	716	879	2,561	0	879	2,561
素材・特用林産物	0	1	0	0	0	0	30	0	..	528	91	619	2,519	2,610	3,138	0	2,610	3,138
内水面漁業	0	0	0	0	0	0	0	57	..	98	10	108	508	518	616	-24	494	592
..
内生部門計	720	343	30	669	496	93	2,224	181	..	106,799	164,019	270,818	79,729	243,748	350,547	-116,758	126,990	233,789
粗付加価値部門計	803	484	0	219	702	2,468	914	411	..	126,990								
地域内生産額	1,523	827	30	888	1,198	2,561	3,138	592	..	233,789								

②T-Nflux の分布データは、長良川流域の環境状態を示すデータとして、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流域環境評価モデルで推定されるデータを利用する。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。これによって流域環境評価モデルと流域経済評価モデルが連結され、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る総合環境評価モデルとなった。

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。

$$B^m = B_M^m + B_E^m \quad (12)$$

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。この点については、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、これ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、市場経済便益は次式を満たすこととなる。

$$V_c(p_H^{wo}, p_C^{wo}, M^{1wo} + B_M) = V_c(p_H^w, p_C^w, M^{1w}) \quad (13)$$

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 B_M は以下ようになる。

$$B_M = \frac{(\Delta_1^wo)^{\frac{1}{\sigma_1-1}} M^{1wo} - (\Delta_1^w)^{\frac{1}{\sigma_1-1}} M^{1w}}{(\Delta_1^wo)^{\frac{1}{\sigma_1-1}}} \quad (14.a)$$

$$\text{ただし, } \Delta_1 = \beta_H p_H^{(1-\sigma_1)} + \beta_C p_C^{(1-\sigma_1)} \quad (14.b)$$

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(13)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。

$$B_M^m = N^m B_M \quad (15)$$

ここで、 N は世帯数を表す。式(15)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。なお、市場経済便益は、市場財の量と価格の変化から消費者余剰と生産者余剰の和、すなわち社会的余剰の変化分として評価可能である。しかし、本研究では、メッシュ単位で市場経済便益の分布を表現したいため、等価変分を用いることとする。

(2) 環境改善便益

流域環境評価モデルから求められるT-Nfluxを利用して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の環境改善便益と長良川流域全体の環境改善の2つに分類する。身近な川の環境改善便益とは、自分が住んでいるすぐ近くの川の環境が改善することで得られる便益である。長良川流域全体の環境改善便益とは、長良川流域全体の環境が改善することで得られる便益である。本モデルでは、身近な川の環境改善便益は自分が居住するメッシュにおけるT-Nfluxの改善度によって得られ、長良川流域全体の環境改善便益は、長良川流域全体におけるT-Nfluxの改善度の平均値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。そこで、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. 流域住民による長良川流域環境評価

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ほしいか U_{future} を尋ね、さらにそのときの支払意思額 (WTP) を尋ねた。また身近な川の位置を地図上で尋ねた。

アンケートで尋ねている満足度とは、いわゆる水環境に対する効用であり、前章のCGEモデルにおける効用、すなわち市場経済に対する効用とは異なる。本モデルでは、環境と経済という2つの面での効用を別々に世帯の効用と考え、施策の便益を求める。そこで市場経済便益をCGEモデルにより、環境改善便益をCVMにより別々に算出する。併用した理由は、CGEモデルのみでは環境改善による世帯への直接的な便益が評価できないからで

ある。推計精度については、CGEモデルでは実際の社会経済構造を簡略化したことに基づくもの、CVMでは住民の認知にゆだねられており、その精度は異質であるため、評価結果をみる場合には注意が必要である。

(1) $MWTP_{flux}$ の算出

長良川流域住民のT-Nfluxに対する限界支払意思額 ($MWTP_{flux}$) を算出するため、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 ($MT - Nflux$) を算出した。

a) $MWTP_U$

アンケート回答を用いて、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。

$$MWTP_U = \frac{WTP_U}{U_{future} - U_{now}} \quad (16)$$

ここで、 WTP_U は将来改善してほ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} は将来の満足度、 U_{now} は現状の満足度を表わす。身近な川、長良川流域全体のそれぞれについて求めた $MWTP_U$ を表4、表5に示す。

b) $MT - Nflux$

アンケート回答における流域住民にとっての身近な川の地点と全窒素移動量 (T-Nflux) の分布を比較することで、身近な川のT-Nfluxを算出した。これにより、現状のT-Nfluxに対する満足度がわかる。アンケート回答による流域住民にとっての身近な川の位置を図8に示す。理想すなわち満足度が100%のときの環境状態を流域環境評価モデルにより算出した。具体的には、1950年頃の人口、農業、産業などを想定して、図9に示すT-Nfluxの分布を算出した。理想状態と現状のそれぞれにおけるT-Nfluxと満足度から次式を用いて、満足度に対する限界T-Nflux ($MT - Nflux$) を算出した。

$$MT - Nflux = \frac{\Delta flux}{\Delta U} = \frac{flux_{ideal} - flux_{now}}{U_{ideal} - U_{now}} \quad (17)$$

ここで、 $flux_{ideal}$ は理想の環境状態のT-Nflux、 $flux_{now}$ は現状の環境状態のT-Nflux、 U_{future} は将来の満足度、 U_{now} は現状の満足度を表わす。身近な川、長良川流域全体のそれぞれについて求めた $MT - Nflux$ を表6、表7に示す。

c) $MWTP_{flux}$

前節で求めた、 $MWTP_{flux}$ と $MT - Nflux$ を用いて、 $MWTP_{flux}$ を以下の式のように算出する。

$$MWTP_{flux} = \frac{MWTP_U}{MT - Nflux} \quad (18)$$

身近な川、長良川流域全体のそれぞれについて求めた $MWTP_{flux}$ を表8に示す。

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、羽島市、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(住民基本台帳に基づく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

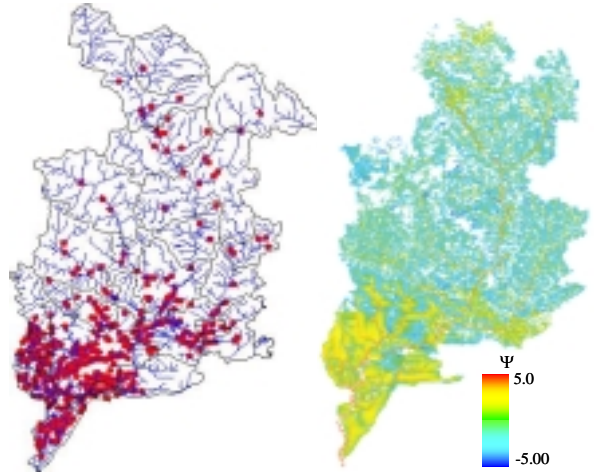


図8 身近な河川の位置 図9 理想状態を想定したT-Nflux 分布

表4 身近な河川の満足度に対する $MWTP_U$

地域	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
現状の満足度の平均値(%)	58	57	50	47	43	35	46
改善してほしい満足度の平均値(%)	88	86	83	81	79	73	80
改善度の平均値(%)	30	29	33	34	36	38	34
WTPの平均値	7,971	3,955	5,072	6,309	5,433	4,846	5,616
満足度が1%上がったときのWTP	266	136	154	186	151	128	165

表5 流域全体の満足度に対する $MWTP_U$

地域	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
現状の満足度の平均値(%)	55	59	56	59	54	49	56
改善してほしい満足度の平均値(%)	80	83	83	83	79	78	82
改善度の平均値(%)	25	24	27	24	25	29	26
WTPの平均値	7,248	4,190	4,921	6,716	4,777	5,518	5,742
満足度が1%上がったときのWTP	290	175	182	280	191	190	221

表6 身近な河川の満足度に対する $MT - Nflux$

地域	郡上	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	-0.153	0.001	0.162	0.167	-0.138
理想のT-Nfluxの平均値	-0.206	-0.215	-0.171	-0.056	0.091	0.098	-0.158
理想と現状のT-Nfluxの平均値の差分	-0.004	-0.007	-0.018	-0.057	-0.071	-0.069	-0.019
理想(100%)と現状の満足度の差分	42	43	50	53	57	65	54
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

表7 流域全体の満足度に対する $MT - Nflux$

地域	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
現状の流域全体のT-Nfluxの平均値	-0.202	-0.208	-0.153	0.001	0.162	0.167	-0.138
理想の流域全体のT-Nfluxの平均値	-0.206	-0.215	-0.171	-0.056	0.091	0.098	-0.158
理想と現状のT-Nfluxの平均値の差分	-0.004	-0.007	-0.018	-0.057	-0.071	-0.069	-0.019
理想(100%)と現状の満足度の差分	45	41	44	41	46	51	44
満足度が1%上がったときのT-Nfluxの変化量	-0.00043	-0.00047	-0.00044	-0.00047	-0.00042	-0.00038	-0.00044

表8 T-Nflux に対する $MWTP$

地域	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
身近な川のT-Nfluxに対する $MWTP$	-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 $MWTP$	-670,696	-367,978	-412,266	-589,818	-451,864	-498,872	-499,548

5. 総合環境評価モデルを用いた施策評価

（１）水環境改善施策の想定

岐阜県では、人と環境にやさしい「岐阜クリーン農業」を推奨している⁸⁾。「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、郡上地域で「岐阜クリーン農業」を実施することを施策として想定する。

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。そこで本モデルでは、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。このように、労働資本投入が通常より増加することで生産要素費用も上昇し、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するという仕組みとなっている。なお、実際に減肥が農作物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ので、これらをシナリオとして与えることとし、生産効率の低下率として0, 5, 10, 20, 30%の5通りを想定する。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通りを想定する。

（２）施策による水環境の改善効果

篠田らの流域環境評価モデルを用いて、施策を実施した場合の環境状態を推計する。具体的には、農業粗生産額に対する全窒素量の原単位 β_a に (1-施肥削減率) を乗じて算出している。図 10 に T-Nflux の変化量すなわち、環境改善効果を示す。

(3) 水環境改善施策の経済評価

施策による各地域の身近な川の環境改善便益を表 9，長良川流域全体の環境改善便益を表 10，市場経済便益を表 11，表 12，総便益を表 13，表 14，流域全体の総便益を表 15 に示す。表 9，表 10 をみると施肥の削減率を増やすごとに環境改善便益は指数的に増加していることがわかる。表 11，表 13，表 15 をみると，施策を実施する郡上地域では，組み合わせにより各便益が正や負になることがわかる。一方下流域では，表 10，表 12，表 14 をみるとわかるように正の便益しかない。これをふまえて施策の費用分担等を考える必要がある。

ここで、施肥削減率 30%、生産効率パラメータ低下率 10%を例として結果を詳細に分析する。図 11 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 11 をみると、施策による

表9 身近な川の環境改善便益

身近な川の 環境改善便益(万円)		郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	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	5,696	184	208	32	49	23,137
	30%	26,975	9,073	283	315	47	67	36,759

表 10 長良川流域全体の環境改善便益

長良川流域全体の 環境改善便益(万円)		郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
施肥 削減率	5%	143	71	203	1,337	221	339	2,314
	10%	284	141	404	2,662	440	675	4,607
	20%	629	313	896	5,898	976	1,496	10,208
	30%	1,017	506	1,449	9,538	1,578	2,419	16,508

表 11 郡上地域の市場経済便益

市場経済便益 (万円)		生産効率パラメータ低下率				
		0%	5%	10%	20%	30%
施肥 削減率	5%	225	-12,346	-26,221	-58,812	-100,020
	10%	448	-12,122	-25,998	-58,589	-99,798
	20%	993	-11,578	-25,454	-58,047	-99,258
	30%	1,599	-10,972	-24,849	-57,444	-98,657

表 12 下流域の市場経済便益

市場経済便益 (万円)		美濃	関	岐阜	本巣	羽島	下流域
施肥 削減率	5%	121	128	471	58	280	1,058
	10%	245	258	927	106	346	1,882
	20%	512	519	1,859	201	481	3,573
	30%	807	805	2,807	316	617	5,355

表 13 郡上地域の総便益

総便益 (万円)		生産効率パラメータ低下率				
		0%	5%	10%	20%	30%
施肥 削減率	5%	4,421	-8,149	-22,024	-54,615	-95,823
	10%	8,739	-3,831	-17,707	-50,298	-91,507
	20%	18,589	6,018	-7,858	-40,451	-81,662
	30%	29,591	17,019	3,142	-29,452	-70,666

表 14 下流域の総便益

市場經濟便益 (万円)		美濃	関	岐阜	本巣	羽島	下流域
施肥 削減率	5%	1,508	377	1,862	290	643	4,681
	10%	3,086	753	3,693	564	1,054	9,150
	20%	6,521	1,600	7,965	1,209	2,026	19,322
	30%	10,386	2,537	12,660	1,941	3,103	30,627

表 15 流域全体の総便益

流域全体の 総便益(万円)		生産効率パラメータ低下率				
		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%	63,360	50,789	33,769	4,317	-36,891

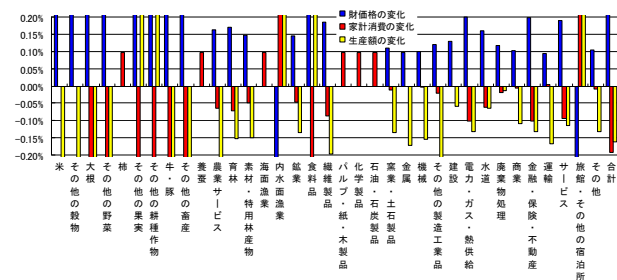


図 11 家計消費量、生産額の産業別変化

表 16 地域内生産額の変化額と変化率

地域内生産額 (百万円)	郡上	美濃	関	岐阜	本巣	羽島	流域全体
施策無し	230.615	285.635	1,253.822	2,650.189	492.654	1,580.019	6,492.933
施策有り	230.242	285.657	1,253.825	2,650.210	492.654	1,580.022	6,492.609
変化額	37.373	22	3	21	1	3	37.378
変化率	-0.16190	0.00766	0.00022	0.00080	0.00010	0.00019	-0.00499

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、農業系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 16 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-0.016%減少している。下流 5 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、河川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。

図12に身近な環境改善便益、図13に流域全体環境改善便益、図14に総環境改善便益、図15に市場経済便益、図16に総便益の分布を示す。図12をみると施策を実施した郡上地域に大きな環境改善便益の分布がみられ、図13をみると流域全体に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。図14をみることで、環境改善によって得られる便益の空間把握が可能となる。図16は、市場経済便益と環境改善便益を合計した総便益の分布を示している。施策を実施する郡上地域では、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、施策は郡上地域の一部で実施されているため、市場経済不利益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。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。

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構築した。以下に本研究の成果をまとめる。

- ①水環境改善施策がもたらす詳細な流域環境変化をとらえた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。
- ②長良川流域の水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。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、地域特性を考慮した水環境改善施策の経済評価を可能とした。
- ③構築した総合環境評価モデルを用いて、実際に想定される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、水環境改善施策を実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、①移出入を考慮し、地域間取引をとらえた SCGE モデルへの発展、②中間投入量の変化による施策効果を推計できるモデルへの改良が挙げられる。

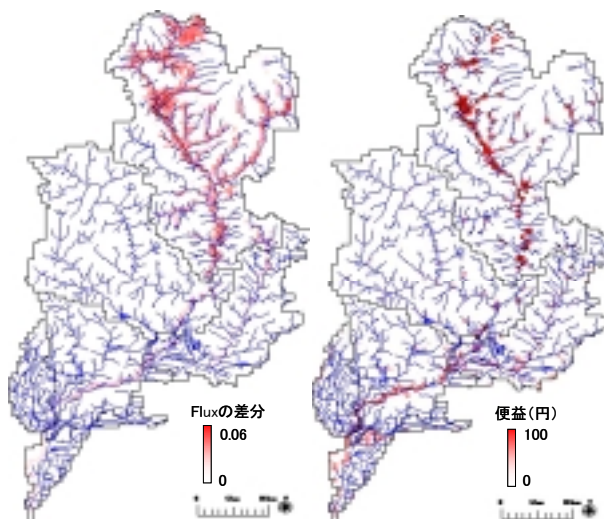


図 10 環境改善効果

図 12 身近な環境改善便益

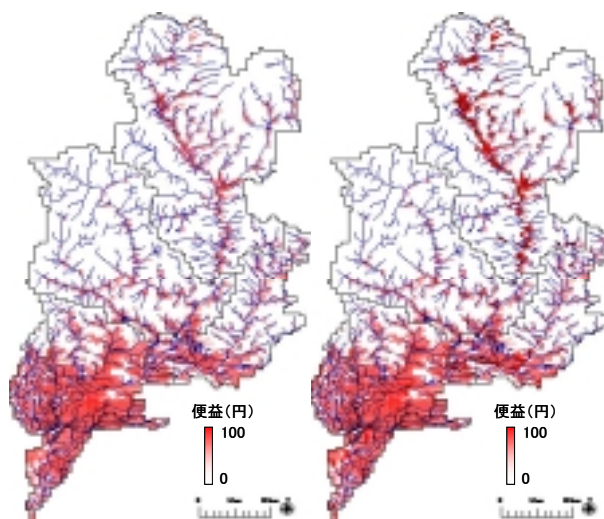


図 13 流域全体環境改善便益

図 14 総環境改善便益

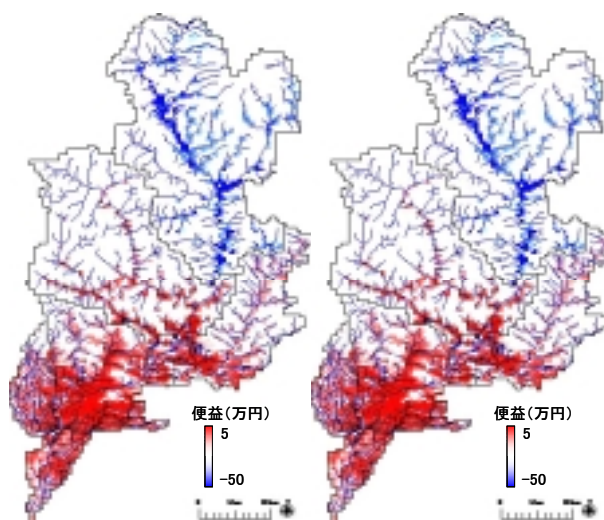


図 15 市場経済便益

図 16 総便益

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、およ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, 第32巻第3号, 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) 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.
- 5) 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.
- 6) 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
- 7) (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
- 8) 岐阜県農林水産局農林水産政策室
: <http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11435/clean/>

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*

西川薫**・高木朗義***・篠田成郎****・永田貴子*****

環境改善施策を評価する場合、施策による市場経済への影響と環境改善効果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。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と統合した流域経済評価モデルを開発することにより、総合環境評価モデルを構築することを目的とする。具体的には、評価対象地域である長良川流域を6地域に分け、施策の影響が大きい農林水産業部門を細分化するとともに、環境の影響を受ける産業を抽出して、各地域の35部門地域産業連関表を作成し、CGEモデルを構築した。この総合環境評価モデルを用い、実際に想定される水環境改善施策に対する評価を行い、モデルの適合性を確認した。

A Comprehensive Environment Assessment Model for Water Environmental Improvement Measures with Geographic Information System in the River Basin*

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

Recently, the physical evaluation of water environment improvement measures has been performed spatially in detail by the technological advance and the expanded database of GIS. Therefore, in this study, we built the basin economic assessment model based on the CGE model by adopting the GIS database, in order to evaluate economically the water environment improvement measures. Furthermore, we developed the comprehensive model of combining the basin economic assessment model with the basin environmental assessment model that is able to evaluate physically the basin environmental condition. We tried to assess some water environment improvement measures in the Nagara river basin with this comprehensive environment assessment model.
