

流域管理と地域計画の連携を考慮した 総合的な洪水災害リスクマネジメント方策の 経済評価システム

ECONOMIC EVALUATION SYSTEM FOR
INTEGRAL FLOOD DISASTER RISK MANAGEMENT
WITH COORDINATION BETWEEN BASIN MANAGEMENT AND URBAN PLANNING

高木朗義¹・吉田正卓²
Akiyoshi TAKAGI and Masataka YOSHIDA

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

²正会員 修(工) 株式会社建設技術研究所 大阪支社河川部 (〒540-0008 大阪市中央区大手前1-2-15)

The flood disaster risk has been increasing by the increase of flood flow caused by the expansion of urbanization, the progress of the urbanization to a flood area and so on. The catastrophic flood disaster is unmitigable by only the risk control such as the construction of flood prevention facilities. It is under the necessity of the integral flood disaster risk management including non-construction measures as the land use regulation and risk finance as flood disaster insurance with coordination between river basin management and urban planning. In this study, we developed the economic evaluation system for the integral flood disaster risk management. This system is made intelligible for a planer or people using GIS. The applicability of system was checked through the simulation at the actual river basin.

Key Word : basin management, urban planning, risk management, economic evaluation, GIS

1. はじめに

わが国では、流域管理と地域計画が連携して進められてこなかったことを一因として、都市化の拡大による洪水時河川流出量の増大や内水氾濫域への市街化進行などを招き、洪水災害への危険性が高まっている。また、施設整備による治水対策（リスクコントロール）では対応しきれない洪水が多発しており、災害復興資金の財源調達（リスクファイナンス）の重要性も問われている。そこで本研究では、流域管理と地域計画の連携を考慮した総合的な洪水災害リスクマネジメント方策を立案する際に必要な経済評価システムを開発することを目的とする。なお、システム開発にあたってはGISなどを用いて計画立案者や住民へわかりやすく情報提供することも目指す。

開発するシステムは、治水安全度という指標を介して流出氾濫現象と土地利用変化の相互依存関係を捉えたモデルを採用することにより、流域管理と地域計画の施策が相互に及ぼす効果（不効果）を評価可能とする。例え

ば、治水施設や洪水保険制度を整備すると、個人や企業の資産が災害脆弱地区に集中し、却って被害ポテンシャルを大きくしないか評価できる。また洪水保険制度や土地利用計画による洪水被害軽減効果も評価できる。これにより、相互の施策効果を見ながら流域管理と地域計画それぞれの施策の種類や規模などが検討でき、連携を考慮した効率的な施策の組合せが提案可能となる。

本研究では、治水施設（具体的には流出抑制施設）整備、洪水保険制度整備、土地利用計画という3つの具体的な洪水災害リスクマネジメント方策を例にとり、実際の流域を対象とした実証分析を通してシステムの適用性を確認する。また入出力データをGISシステム上で管理することにより、条件や結果をわかりやすく表示するものとする。流域管理を地域に根付かせ、真の地域計画にしていくなめには、住民と政府間の相互理解は不可欠である。本システムのシミュレーション結果を視覚的にわかりやすく示すことができれば、それによって総合的な災害リスクマネジメント方策に対する住民の認知・理解は深まり、施策の実現性が高まると考えられる。

2. システムの概要

(1) システムの使用目的と適用範囲

流域管理と地域計画の連携を考慮した総合的な洪水災害リスクマネジメント方策を経済的に評価するためには、従来から行われてきた総合治水対策に加え、土地利用規制や洪水保険制度など、様々な施策による効果を同時、かつ整合的に捉えられるモデルでなければならない。そのため著者らはこれまでに流出氾濫現象を捉えられるモデルと住民の自主的な行動に基づく立地変化を捉えられるモデルを統合し、洪水危険度を内生化した立地均衡モデルを構築している¹⁾。また、これを改良してリスクファイナンス方策も整合的に評価可能なモデルを構築してきた²⁾。本研究では、このモデルを基に実地域における施策評価に適用すべくシステム化を図ったものである。本システムではGISを活用することにより、データベースの共通化が図られるだけでなく、各地域の洪水危険度や施策効果が視覚的に認識しやすくなる。そのため、総合的な洪水災害リスクマネジメント方策の立案時に、地域住民や企業に対し、なぜ対策が必要であるか、地域がどれくらいの洪水危険度であるかをわかりやすく説明でき、総合的な洪水対策に対する理解が得られやすくなると考えられる。

(2) システムの構成と流れ

図-1にシステムの構成を示す。この図に示すように本システムは、流出計算モデル、氾濫解析モデル、および空間経済モデルをサブシステムとした上で、GISを用いることによってデータベースを統一し、各サブシステムを連結させている。サブシステムとして組み込まれる具体的なモデルには様々なものがあるため、本システムでは各サブシステムを独立させており、流域条件などに合わせてモデルを変更可能なシステムとしている。空間経済モデルとしては、立地均衡モデルや応用一般均衡(CGE)モデルなどが適用可能であるが、本研究では、中小河川流域を対象とするため立地均衡モデルを採用している。また、流出計算モデルはkinematic waveモデル³⁾を、氾濫解析モデルはダイナミックウェーブモデルによる2次元平面流れの氾濫解析モデル⁴⁾を採用している。

システムの流れを図-2に示す。流出計算モデルと氾濫解析モデルによって導出された浸水深を治水安全度として空間経済モデルに入力し、世帯・企業と地主がその情報に基づいて土地を市場取引し各地域の立地量が決定する。さらに、立地量変化、すなわち土地利用変化が流出氾濫現象に及ぼす影響を見るために、再び流出氾濫計算を実施し、その結果に基づいて立地均衡計算を再度行う。これを浸水深(治水安全度)と立地量(流出率)が収束する(前ステップの計算値と同じ値になる)まで繰り返す。この時、洪水災害リスクマネジメント方策が実施さ

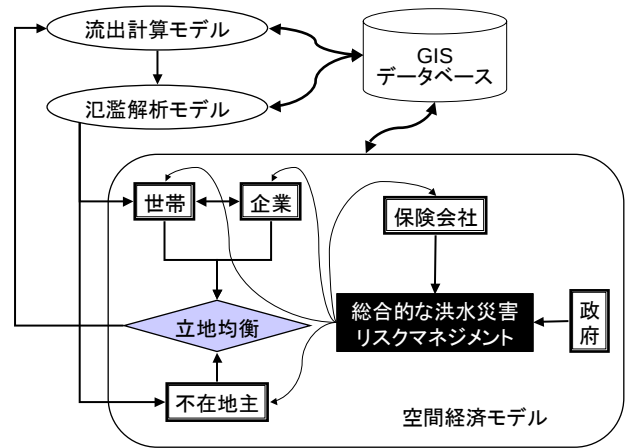


図-1 システムの構成

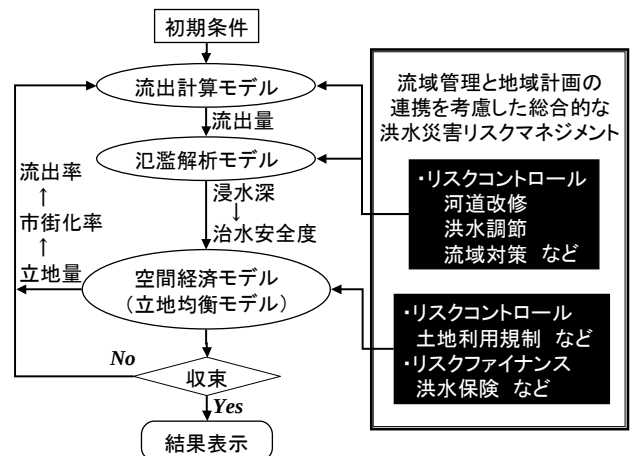


図-2 システムの流れ

れば、その施策効果によって、治水安全度や土地の魅力が変化し、各主体の行動を介して土地利用が変化する。最終的にその変化は世帯・企業の効用や利潤の変化となって現れ、これを地域における社会厚生として集計することにより施策の経済的な評価が行えるものである。

3. サブシステムとモデルの概要

(1) 流出計算モデル

本研究では、流出モデルとしてkinematic waveモデル³⁾を用いる。kinematic waveモデルは流域を長方傾斜面と河道の組み合わせとみなし、斜面と河道における流れを水理学的に解析し、流出量を求める方法である。

(2) 氾濫解析モデル

氾濫域が比較的狭く、しかも氾濫域からの流出がなく閉鎖的な流域の場合、氾濫域を遊水地のようにみなして、河川からの氾濫流量と、氾濫域の地形から決まる水位一貯留量との関係から連続式だけを用いて、つまり水量だけから氾濫過程、氾濫量を求めることができる。以上のことから本研究では、ダイナミックウェーブモデルによる2次元平面流れの氾濫解析モデル⁴⁾を用いる。

(3) 空間経済モデル

a) モデルの仮定

- ①社会はいくつかの地区（ゾーン）で構成されており、ゾーン内は均一空間であるとする。
- ②各ゾーンの土地利用は任意である。すなわち、居住用および業務用の土地利用が混在しているものとする。
- ③社会はいくつかの確率で発生する洪水状態で構成されているものとする。洪水状態は対象とする地域や河川特性および河川計画規模を考慮するとともに、超過洪水対策として洪水保険が有用である点も踏まえて、現況で浸水しない状態から、計画規模以上の想定し得る最大状態までを何段階かに分けて捉える。
- ④社会は同一の選好をもつ多数の世帯、同じく同一の選好をもつ多数の企業（企業所有者）、ゾーン毎に一括して土地を所有する地主、政府の4部門と土地市場にて構成されているものとする。本来、企業と世帯の間には労働や財に関する需給関係が存在するが、本研究では土地需給に関する競争のみを考えることとし、財や労働に関する市場を考えないこととする。なぜなら、本研究における対象地区は、比較的小さな範囲を想定しており、この範囲で労働や財の市場が閉じているとは考えにくいからである。
- ⑤世帯および企業が土地サービスを需要するときは、地主から土地を賃借する。すなわち、土地の使用については賃貸借契約のみとし、売買契約は考えないものとする。
- ⑥立地均衡と土地取引は災害が起こるかもしれない将来を見越して現時点で行われると考え、ワルラス的な多市場同時均衡に基づき、ゾーン毎に土地サービスの取引量と地代が内生的に決定されるものとする。
- ⑦評価指標は、社会厚生と被害ポテンシャルとする。社会厚生は、社会全体（本研究では対象地域）における各主体の厚生（期待効用水準や利潤など）の総和で定義される。一方、被害ポテンシャルとは、災害事象が発生した場合における社会全体の被害規模であるため、災害時に他地域に被害が波及しなければ、被害地域における資産量の総和として捉えることができる。本研究では、世帯および企業の保有資産量を一定と仮定しているため、被害ポテンシャルを水害被災地域における世帯数と企業数として定義できる。なお、被害ポテンシャルは、小さいほど良いという指標である。

b) 世帯の行動モデル

世帯は、洪水状態ごとの所得制約の下での期待効用最大化行動をとることを原則とする。立地選択行動は、ランダム効用理論に基づき、確率的に捉えるものとする。総合的な洪水災害リスクマネジメント方策を経済評価するためには、少なくとも治水安全度、洪水保険加入、土地需要およびその他消費という4要素を捉える必要がある。本研究では、これらの最低限必要な4要素を評価するためのモデルを用いる。

すべての世帯は任意のゾーンに居住するものとし、ゾーン、洪水状態毎の予算制約下で土地需要量、合成財需要量をコントロールして期待効用を最大にするように行動するものとする。また、世帯は洪水保険に加入するが、洪水による資産被害のうち洪水保険でカバーできない分が存在するものとする。世帯は各ゾーンで得られるであろう期待効用水準に従って、より高い期待効用水準を達成できるように居住地区を選択する。本研究ではこれをLogitモデルにて表現する。このLogitモデルにより得られる地区選択確率より各ゾーンにおける立地量が決定される。

c) 企業の行動モデル

企業は、洪水状態ごとの生産技術制約の下で、利潤量に対する効用に各環境状態の発生確率を乗じた期待効用最大化行動をとることを原則とする。立地選択行動は、ランダム効用理論に基づき、確率的に捉えるものとする。世帯の行動モデルと同様に最低限必要な要素を評価するためのモデルを用いる。

不確実性下では、企業は利潤が定かではないという危険に直面しているため、このような危険に対する企業の行動が決定的な役割を演じる。ここでは、企業所有者を想定してこのような企業の行動を捉えるものとする⁹⁾。具体的には利潤量を変数とする効用関数を導入し、期待効用の最大化が企業の目的と考える。企業はゾーン、洪水状態毎の生産技術制約下で土地需要量、合成財供給量、労働需要量をコントロールして期待効用最大化行動をするものとする。企業も世帯と同じように立地選択行動をとるものとし、これをLogitモデルにて表現する。

d) 土地供給者の行動モデル

不在地主は、洪水状態ごとの土地供給制約の下で、地代収入から得られる効用に対して期待効用最大化行動をとることを原則とする。現実には世帯が地主であったり、企業が地主であったりする場合もあるが、空間経済モデルの簡略化のため、それらの地主的性質を不在地主として仮想的に独立させている。

地主は地区毎に一括して土地を所有し、地代（均衡価格）によって供給面積を変化させるものとし、大橋・青山¹⁰⁾を参考にした土地供給モデルを用いる。このモデルを用いることで、地代の上昇が供給量を増加させ、下落が供給量を減少させる不在地主の行動が捉えられる。

e) 政府の行動モデル

政府は、世帯と企業からの税収をもとに治水対策への投資を実施することを原則とする。政府は、世帯と企業から徴収した一括固定税を原資として、流出抑制施設整備を行う。

f) 均衡条件

土地市場で集計された需要と供給が均衡し、各ゾーンの市場均衡価格（地代）が決定される。地代が決定される市場均衡条件は世帯と企業の利用面積が地主の供給面積に等しいということである。市場均衡によって決定さ



図-3 対象地域とゾーン番号

表-1 対象地域の諸元

対象地域面積	約62km ²
対象地域内世帯数	6,5918戸
対象地域内企業数（従業者数）	85,806人

表-2 立地均衡モデルのデータおよびパラメータ

世帯資産量	15,000（千円）
勤労所得	7,451（千円）
企業資産量	43,420（千円）
賃金率	2,173（円）
生産効率	0.6
利子率	0.04
減価償却率	0

表-3 浸水深ごとの資産被害率

	床上浸水		
	50cm未満	50～99cm	100cm未満
世帯被害資産額率	0.126	0.176	0.415
企業資産被害率	0.195	0.387	0.745

表-4 浸水レベルの区分

浸水レベル0	浸水しない
浸水レベル1	50cm未満
浸水レベル2	50～99cm
浸水レベル3	100cm以上

れた地代により世帯と企業は期待効用最大化行動をとり、その結果、各ゾーンへの立地量が決定される。市場均衡条件、立地均衡条件よりワルラス的な多市場同時均衡に基づき、各ゾーンの立地量と地代の均衡解が同時に決定される。

4. システムを用いた実証分析

(1) 対象地域とデータ

対象地域は、岐阜県南部を流れる境川流域とする。図-3に示すように対象地域は、1kmメッシュで60ゾーンに分割し、各ゾーンについて番号を付けている。対象地域の諸元は表-1に示すとおりである⁷⁾。

立地均衡モデルのデータおよびパラメータ、浸水深ごとの資産被害率を、水害統計⁸⁾と対象地域における産業

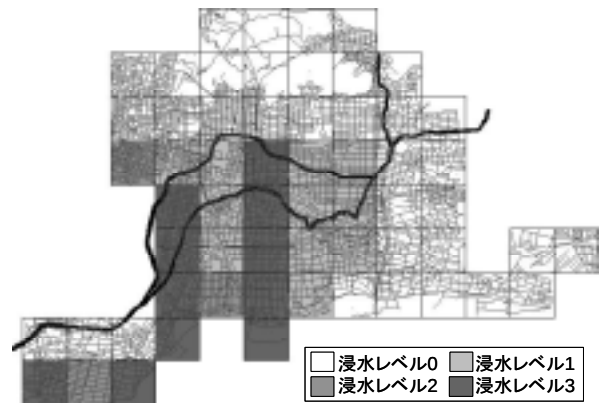


図-4 1/5洪水発生時の浸水深（現況立地均衡状態）

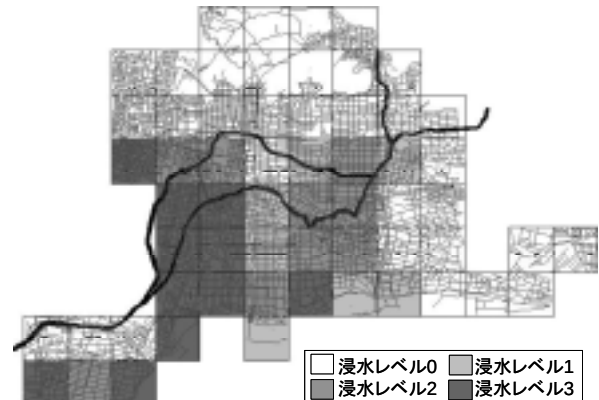


図-5 1/50洪水発生時の浸水深（現況立地均衡状態）

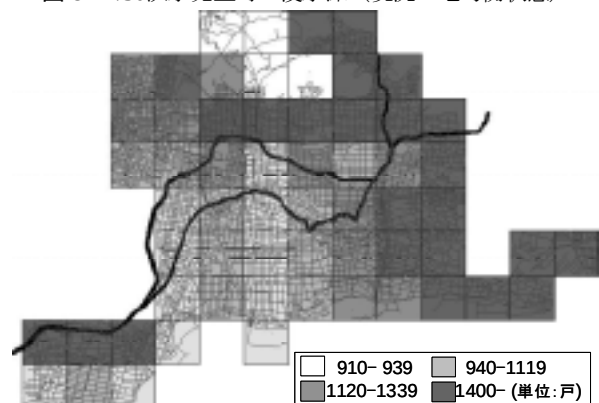


図-6 現況立地均衡状態における世帯数分布

分布⁹⁾より、表-2、表-3のように設定した。

シミュレーションを行う際に実施する施策は、浸水深を3段階に区分し、浸水レベルによって実施する施策のレベルが異なるものとした。浸水レベルの区分を表-4に示す。

(2) 現況再現結果

現況データを当てはめて流出氾濫計算と立地均衡計算を行い、これらが収束した状態における1/5と1/50の発生確率に対する各ゾーンの浸水深を表-4に従って分類した結果を図-4と図-5に、世帯数分布を図-6に示す。企業数（従業者数で代理）についても同様な図が示されるが紙面の都合上ここでは省略する。これらの結果からいくつかのゾーンにおいて推定精度が低い場合があるものの、全体的にはほぼ現況再現ができたと言える。

(3) 想定した洪水災害リスクマネジメント方策

洪水災害リスクマネジメント方策として、種類の異なる3施策を同時、かつ整合的に評価できることを確認するため、まずは施策を単独で実施する場合について表-5に示すような想定をした。洪水保険制度についてはリスクプレミアムを1.0～1.7（0.1きざみ）、土地利用規制と流出抑制施設整備については、各ゾーンの浸水レベルに合わせて、それぞれ0～30%（10%刻み）、0～30,000m³（10,000m³刻み）として、各施策を単独で実施した場合について経済評価を行う。次に表-5の評価結果を参考に、表-6に示す施策を抽出し、それらを組み合わせて実施する複合施策の経済評価を行う。各施策の概要は以下のとおりである。

a) 洪水保険制度

洪水によって損傷する資産の一部は、リスクプレミアム付きの保険料を支払うことで被災後に回復することができる。洪水保険にリスクプレミアムを設定することによって最適カバー率¹⁰⁾が合成財消費と土地消費の関係から導出される。なお、保険加入することで効用が低下する場合は、世帯・企業は保険に加入しないこととなる。

b) 土地利用規制

浸水レベル1～3のゾーンにおける土地供給可能面積を制限することにより、安全な地域への住み替えを誘導する施策を想定する。土地利用規制を浸水レベルに合わせて各ゾーンで実施した場合について施策効果を見ることとする。ただし、同一浸水レベルのゾーンは同じ土地利用規制率が導入されるものとする。

c) 流出抑制施設整備

世帯および企業から徴収する一括固定税を原資として、各ゾーンに流出抑制施設を整備し、被害を軽減させる。流出抑制施設の建設費単価を1m³当たり10万円とし、施策実施ゾーンの世帯と企業が一括固定税として支払うこととする。土地利用規制と同様に、同一浸水レベルのゾーンは同じ規模の施設整備を実施するものとする。

(4) 施策を単独で実施した場合の結果

施策を単独で実施した場合の各ケースについて社会的総便益を算出した結果を図-7に整理した。また、洪水保険制度の施策①を導入した場合における保険加入世帯のゾーン分布を図-8に、各ゾーンの世帯数の増減数分布を図-9に示す。もちろんこれ以外のケースについても様々な結果が得られているが、紙面の都合上省略する。

単独施策の評価結果をまとめた図-7を見ると、まず洪水保険制度については、リスクプレミアムが高くなる程、便益が小さくなっていることがわかる。これは常識的な結果であるが、洪水保険の加入者だけを評価しており、リスクプレミアムの受け取り側を評価していないという問題があり、これについては今後システムを改良する必要がある。土地利用規制が行われると、土地という貴重な資源が消失することによって土地価格が上昇し、流域

表-5 単独で実施する洪水災害リスクマネジメント方策

施策 No.	洪水保険制度	土地利用規制 (規制率: %)			流出抑制施設整備 (施設容量: m ³)		
		A	B	C	A	B	C
without	1.0	0	0	0	0	0	0
①	1.0	0	0	10	0	0	10,000
②	1.1	0	0	20	0	0	20,000
③	1.2	0	0	30	0	0	30,000
④	1.3	0	10	10	0	10,000	10,000
⑤	1.4	0	10	20	0	10,000	20,000
⑥	1.5	0	10	30	0	10,000	30,000
⑦	1.6	0	20	20	0	20,000	20,000
⑧	1.7	0	20	30	0	20,000	30,000
⑨	—	0	30	30	0	30,000	30,000
⑩	—	10	10	10	10,000	10,000	10,000
⑪	—	10	10	20	10,000	10,000	20,000
⑫	—	10	10	30	10,000	10,000	30,000
⑬	—	10	20	20	10,000	20,000	20,000
⑭	—	10	20	30	10,000	20,000	30,000
⑮	—	10	30	30	10,000	30,000	30,000
⑯	—	20	20	20	20,000	20,000	20,000
⑰	—	20	20	30	20,000	20,000	30,000
⑱	—	20	30	30	20,000	30,000	30,000
⑲	—	30	30	30	30,000	30,000	30,000

表-6 組み合わせて実施する方策

	施策 No.	浸水レベル		
		1	2	3
土地利用規制 (規制率: %)	①	0	0	20
	②	0	20	20
	③	20	20	20
流出抑制施設 整備 (施設容量: m ³)	①	0	0	20,000
	②	0	20,000	20,000
	③	20,000	20,000	20,000
洪水保険制度	①	1.1		
	②	1.2		

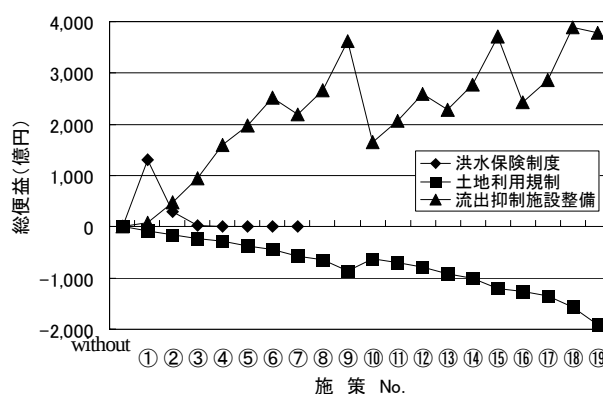


図-7 施策を単独で実施した場合の社会的総便益

全体で不便益が発生する。一方、流出抑制施設整備は世帯や企業が享受する便益が負担費用を上回るため、整備レベルを高くする程、社会的便益が大きくなっている。

以上の結果から、単独施策を実施した場合については妥当な評価結果を示すことができたため、経済評価システムとしての適用性を確認できたと言えるだろう。

(5) 施策を組み合わせる実施した場合の結果

複合施策のうち、洪水保険制度の施策②と土地利用規制、流出抑制施設整備の各施策を組み合わせる実施した場合の評価結果を図-10に示す。また、3方策とも施策②を選び、それらを組み合わせる実施した場合の世帯数分布を図-11に示す。単独施策の場合と同様にこれ以外にも様々な結果が得られているがここでは省略する。

図-10を見ると、流出抑制施設整備を組み合わせることにより社会的総便益が発生することがわかる。しかし、流出抑制施設整備を過度に行うと必要でないゾーンまで費用負担となって効用が減少する一方、洪水危険地区への住み替えを促進してしまい、却って被害ポテンシャルを高めてしまう場合があることがわかった。

以上のことから、総合的な洪水災害リスクマネジメント方策に対して同時かつ整合的に評価結果を示すことができたため、経済評価システムとしての適用性を確認できたと言えるだろう。

5. おわりに

本研究では、流域管理と地域計画の連携を考慮した総合的な洪水災害リスクマネジメント方策を同時かつ整合的に経済評価できるシステムを構築し、洪水保険制度、土地利用規制、流出抑制施設整備という3施策を例にした実証分析を通して、その適用性を確認した。また、GISなどを利用することで結果をわかりやすく表示することができた。これによって、対象地域の住民や企業に対し、洪水危険度や総合的な対策の必要性の認知に繋がる経済評価システムが構築できたものと考えられる。

今後の課題としては、複合施策について種類、規模、場所の最適な組合せを自動探索できるように、社会的総便益と被害ポテンシャルを組み合わせる評価指標を考案し、システムの改良を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 高木朗義・武藤慎一他：応用都市経済モデルを用いた治水対策の経済評価，河川技術論文集，Vol.7，423-428，2001。
- 2) 吉田正卓・高木朗義：災害リスクマネジメントに基づいた総合治水対策の評価モデルの構築，土木計画学研究・論文集，Vol.20，313-322，2003。
- 3) 鮎川登他：河川工学—土木教程新書，鹿島出版会，pp.80-81。
- 4) 土木学会；水理公式集例題プログラム集，平成13年度版。
- 5) 酒井泰弘：不確実性の経済学，有斐閣，1982。
- 6) 大橋健一・青山吉隆；土地政策からみた地域の開発効果の計量化に関する研究，土木計画学研究・講演集，No.11，pp.391-397，1988。
- 7) 総務省統計局：国勢調査に関する地域メッシュ統計，2000。
- 8) 国土交通省河川局河川計画課；平成12年水害統計，2001。
- 9) 総務省統計局：事業所・企業統計調査に関する地域メッシュ統計，2001。
- 10) 横松宗太・小林潔司：防災投資による物的被害リスクの軽減便益，土木学会論文集，No.660/IV-49，pp.111-123，2000。

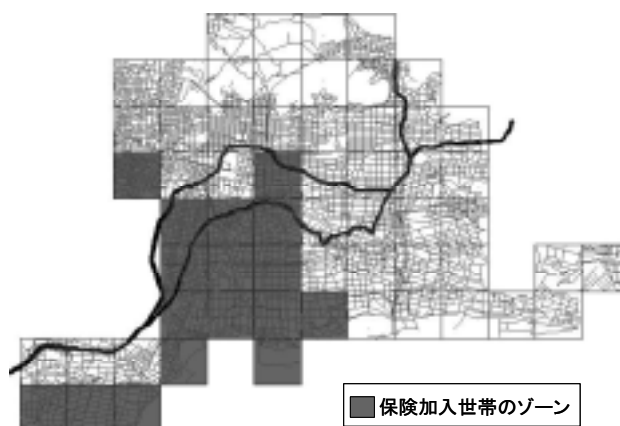


図-8 洪水保険制度①導入時の保険加入世帯のゾーン分布

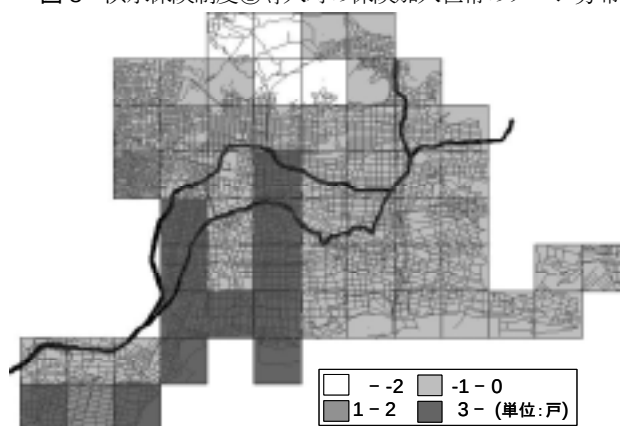


図-9 洪水保険制度①導入時の世帯増減数

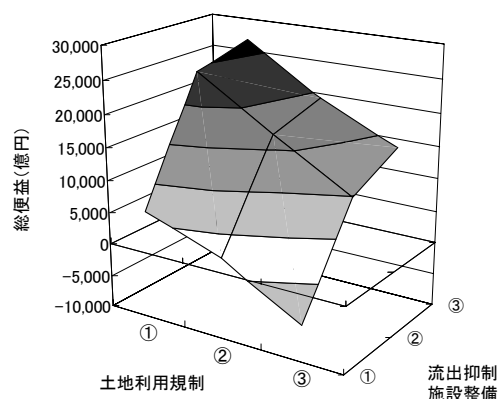


図-10 複合施策による社会的総便益

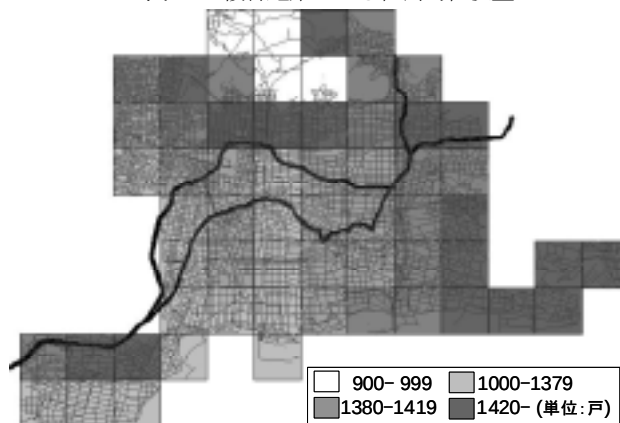


図-11 施策②を組み合わせる実施した時の世帯数分布

(2005. 4. 7受付)