

# 水災害危険度に基づく土地利用規制の費用便益 評価 —世帯所得の分布を考慮して—

寺本 雅子<sup>1</sup>・市川 温<sup>2</sup>・立川 康人<sup>3</sup>・椎葉 充晴<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 日本工営株式会社 流域・都市事業部 (〒 102-0083 東京都千代田区麹町 4-2)

E-mail: a6643@n-koei.co.jp

<sup>2</sup>正会員 山梨大学准教授 医学工学総合研究部 (〒 400-8511 甲府市武田 4-3-11)

<sup>3</sup>正会員 京都大学准教授 工学研究科 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)

<sup>4</sup>正会員 京都大学教授 工学研究科 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)

流域管理的治水対策の費用便益評価を行う枠組みの中で、世帯の所得分布を考慮できるように立地均衡モデルを拡張し、これを用いて寝屋川流域における土地利用規制の費用便益評価を行うとともに、土地利用規制が世帯に与える影響を所得の違いに応じて分析した。その結果、土地利用規制の影響は各所得層で異なることが明らかになった。所得に対する費用の割合は所得が低いほど大きく、低所得層の負担が大きくなることがわかった。また、再現期間で5年(時間45mm程度)相当の弱いレベルの土地利用規制で総便益が最大となり、再現期間で25年以上の強い土地利用規制を実施した場合は、費用が便益を上回る結果となった。以上より、本流域では、比較的高い頻度で浸水する地区の住宅地としての利用は避けた方がよい可能性のあることが明らかとなった。

**Key Words :** *land use regulation, flood risk assessment, cost-benefit analysis, location equilibrium, household income distribution*

## 1. はじめに

都市域における水災害被害は、適切な流域管理によって軽減できる可能性がある。治水のための流域管理とは、水災害に関する情報提供や、水災害危険度の高い地域における土地利用規制・建築規制などにより、水災害による被害を未然に防止または軽減しようとするものである。

流域管理的治水対策を実施した場合、水災害によって被災する地域は減少し、流域全体での被害は軽減されることが期待される。これが流域管理的治水対策による正の効果である。その一方で、各種規制に伴って居住スペースが減少したり、利便性が低下するといった平常時における負の影響も考えられる。流域管理的治水対策の妥当性は、対策を実施したときに生じる正の効果が負の効果を上回るかどうかで評価できる。

吉田、高木<sup>1)</sup>、高木、吉田<sup>2)</sup>は、流域管理的対策を含む総合的な治水対策を立案するための統合評価モデルを構築し、各種の治水対策による土地利用への影響や社会的な便益を評価している。具体的には、流域管理的治水対策を実施したときの立地状況の変化を立地均衡モデルにより予測し、元の立地状況と規制下での立地状況における効用の差を社会的な便益として算出している。市川ら<sup>3)</sup>は、上記の研究と同様に立地均衡モデルを用いて、土地利用規制を実施したときに生じる正

の効果と負の効果を、規制に伴う便益と費用として定量的に計測し、これらを比較することにより規制の適用性を検討している。また、沼間ら<sup>4)</sup>は、市川ら<sup>3)</sup>が提案した手法を建築規制の費用便益評価に応用している。吉田、高木<sup>1)</sup>、高木、吉田<sup>2)</sup>と、筆者らの研究<sup>3),4)</sup>との違いは、前者が洪水保険も含めて包括的に検討しているのに対し、後者は土地利用規制・建築規制に焦点を絞っていること、規制の対象とする地域を水災害危険度に基づいて設定していることなどにある。

立地均衡モデルとは、世帯や企業の立地行動と地主の不動産資産供給行動をモデル化し、土地(または住宅床面積)の需給量が一致するという条件で、地代(または家賃)を算定するモデルである。一般に、世帯がある土地に立地するときの効用は、世帯の所得、地代、交通に関する利便性や快適性などの環境質の関数で表される。上に挙げた先行研究では、「世帯の所得は同一である」という仮定を設けている。しかしながら、現実には世帯が得る所得の幅は大きい。世帯の所得水準の違いは、当然ながら立地行動に影響を及ぼしており、本仮定は現実を単純化しすぎていると考えられる。また、流域管理的治水対策が世帯に与える利害得失も、所得の多寡によって異なると考えられるが、既往の研究の枠組みではその違いを明らかにすることができない。

そこで本研究では、流域管理的治水対策の費用便益評価を行なう枠組みの中で、世帯所得の分布を考慮で

きるように、これまで用いられてきた立地均衡モデルを拡張する。さらに、拡張した立地均衡モデルを大阪の寝屋川流域に適用して、土地利用規制の費用便益評価を行なうとともに、土地利用規制が世帯に与える影響を所得の違いに応じて分析する。

## 2. 費用便益評価の手順

本研究で用いる土地利用規制の評価手順は、

- (1) 雨水氾濫解析による水災害危険度の評価
- (2) 土地利用規制下での立地状況の予測
- (3) 土地利用規制に伴う費用便益の評価

となっており、市川<sup>3)</sup>、沼間<sup>4)</sup>と同様である。ただし本研究では、(2) および (3) において、世帯所得の分布を考慮できるよう評価手法を拡張している。ここでは、土地利用規制を評価する手順の大まかな流れだけを説明することとし、本研究において拡張された部分については、次章で詳細に説明する。

### (1) 雨水氾濫解析による水災害危険度の評価

土地利用規制の対象とすべき地区は、流域内で水災害危険度が高いと考えられる地区である。本研究では、対象流域において様々な規模（再現期間）の降雨事象に対する雨水氾濫解析を行ない、各地区で得られた最大浸水深で水災害危険度を評価する。雨水氾濫解析には平面二次元非定常流モデルを用いる。

### (2) 土地利用規制下での立地状況の予測

つぎに、土地利用規制を実施した場合の立地状況を立地均衡モデルによって予測する。立地均衡モデルでは、対象地域をいくつかのゾーン（領域）に分け、各ゾーンにおいて土地の需給量が均衡する条件で、地代と立地量を求める。

世帯がある土地に立地することによって得る効用は、地代や利便性の関数となっており、この関数から世帯の住宅需要行動を表す関数が導出される。その一方で、地主は地代収入をできるだけ大きくするように住宅を供給する。住宅床面積供給量は、住宅床面積供給可能量と地代の関数で定式化される。最終的にはこれらの関数群と立地均衡条件から構成される連立方程式を解くことで、全ゾーンの地代および世帯数が算出される。

本研究で想定する土地利用規制は、水災害危険度の高い地域を住宅地として利用することを禁止するものである。すなわち、土地利用規制が実施されると、地主は自分が所有する土地のうち、水災害危険度が高い部分を住宅地として供給できなくなる。このような土地利用規制の影響は、地主の住宅供給行動を表す関数における住宅床面積供給可能量を小さくすることで表現

する。具体的には、雨水氾濫解析の結果から、各ゾーンごとに土地利用規制の対象となる地域を特定し、その地域の住宅床面積供給可能量をもとの住宅床面積供給可能量から差し引く。土地利用規制の対象となる地域は、雨水氾濫解析による最大浸水深が浸水被害の発生する浸水深以上となる地域とする。よって、再現期間の短い降雨事象による雨水氾濫解析結果から決定される規制対象地域の面積は小さく、規制レベルが低いといえる。一方、再現期間の長い降雨事象により決定される規制対象面積は大きくなり、規制レベルが強くなる。このように、再現期間の異なる降雨を用いて雨水氾濫解析を行ない、規制レベルを弱いものから強いものまで変えて、各レベルでの規制対象面積を求める。以上の方法で決定した各レベルの土地利用規制を実施した状況で、立地状況をシミュレーションし、均衡地代、均衡世帯数を算出する。

### (3) 土地利用規制に伴う費用便益の計測

土地利用規制の実施に伴い、地代が上昇し、その結果として世帯の効用が低下すると予想される。また、地代や立地量の変化は地主の効用にも影響を与えるはずである。このような土地利用規制に伴う効用の変化分を、土地利用規制の社会的な費用として評価する。その一方で、水災害に対して脆弱な土地の利用を規制することによって、水災害被害を減少させることができる。これを土地利用規制による便益として計測する。本研究では、規制に伴う行政の負担はないものと仮定している。

## 3. 費用便益評価手法の拡張

### (1) 既往の枠組みの問題点

1. で述べたように、これまでの研究では、世帯の所得を同一であると仮定している。しかし、実際には世帯ごとに所得は異なり、また所得に応じて立地する地区や住宅の大きさも異なっているはずである。

図-1 は、寝屋川流域における地代と一世帯あたりの住宅床面積の関係を、世帯の所得により3グループに分けて示したものである。ここでは所得が400万円/年以下の世帯を低所得層、400~1000万円/年の世帯を中所得層、1000万円以上の世帯を高所得層としている。この図から明らかなように、所得の高い世帯は同じ地代であっても所得の低い世帯より広い住宅に居住している。このように、世帯所得の高低は立地行動の違いに繋がっており、土地利用規制の影響を評価するには、住民の所得の違いを反映できるモデルを開発する必要がある。そこで本研究では、従来の立地均衡モデルを拡張し、世帯間の所得の違いを考慮できるように改

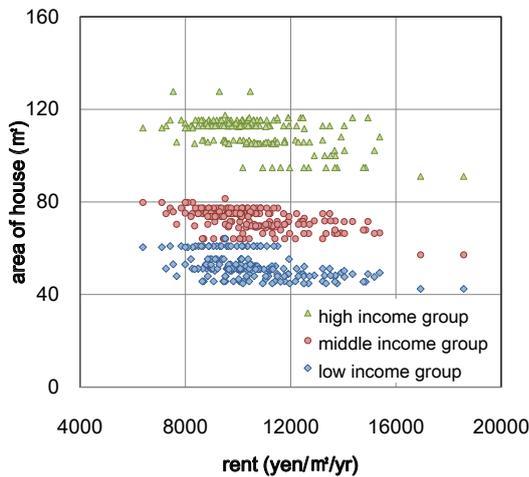


図-1 所得別にみた地代と住宅床面積

良した。次節では、拡張された立地均衡モデルについて説明する。

## (2) 立地均衡モデルの拡張

モデルの基本的な構成は市川ら<sup>3)</sup>と同様であるが、所得に応じて全体の世帯をいくつかのグループ(所得層)に分け、それぞれの所得層ごとに立地行動をモデル化するという点が本研究において拡張された部分である。この拡張された立地均衡モデルでは、ゾーンごとの地代が算出されるのは従来の立地均衡モデルと同じであるが、各ゾーンの世帯数が所得層別に算出される点が異なっている。以下に、複数の所得層を考慮するよう拡張した立地均衡モデルの詳細を述べる。

### a) 世帯の立地選択行動

世帯があるゾーンに立地したときに得られる効用(立地効用)をランダム効用理論(たとえば土木学会編<sup>5)</sup>)に基づき、確率的に変動する部分と変動しない部分に分け、次式のように表わす。

$$U_j^i = V_j^i + \varepsilon_j^i \quad (1)$$

ただし、 $i = 1, 2, \dots, H$  (全所得層数),  $j = 1, 2, \dots, M$  (全ゾーン数),  $U_j^i$  は所得層  $i$  の世帯がゾーン  $j$  を選択したときに得られる効用,  $V_j^i$  は  $U_j^i$  の確定項部分,  $\varepsilon_j^i$  は  $U_j^i$  の確率項部分である。

確定項  $V_j^i$  は、コブダグラス型の直接効用関数から導出される間接効用関数で次式のように与える。

$$V_j^i = d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j - {}^t \mathbf{a}^i \mathbf{E}_j \quad (2)$$

ここで、 $Y^i$  は所得層  $i$  に所属する世帯の所得 [円/年],  $R_j$  はゾーンの地代 [円/㎡/年],  $c^i, d^i$  は定数である。 $\mathbf{E}_j$  はゾーン  $j$  の地理的特性(最寄駅までの所要時間, 最寄駅から都市中心部までの時間など)から構成される列ベクトル,  $\mathbf{a}^i$  は所得層  $i$  の世帯の  $\mathbf{E}_j$  に対する係

数ベクトルである。 $\mathbf{a}^i$  に付いている添え字  $t$  は転置を表している。

立地効用の確率項部分(式(1)中の  $\varepsilon_j^i$ ) が Gumbel 分布に従うと仮定すると、ロジットモデルが導出される<sup>5)</sup>。世帯の立地選択行動をロジットモデルで表現すると、所得層  $i$  の世帯がゾーン  $j$  を居住地として選択する確率  $P_j^i$  は次式で与えられる。

$$P_j^i = \frac{\exp(\theta^i V_j^i)}{\sum_{k=1}^M \exp(\theta^i V_k^i)} \quad (3)$$

$\theta^i$  は立地効用の確率項  $\varepsilon_j^i$  が Gumbel 分布に従うとしたときのパラメタである。ここで、対象地域の全世帯数を  $N$ , 所得層  $i$  の世帯数を  $N^i$  とすると、

$$N = \sum_{i=1}^H N^i \quad (4)$$

である。所得層  $i$  の世帯のうち、ゾーン  $j$  に立地する世帯の数  $N_j^i$  は  $P_j^i$  を用いて、

$$N_j^i = P_j^i N^i \quad (5)$$

と与えられる。

また、各ゾーンにおける所得層  $i$  の一世帯あたりの住宅床面積需要量  $q_j^i$  は、Roy の定理(たとえば中村, 田淵<sup>6)</sup>など)より式(2)を用いて、

$$q_j^i = -\frac{\partial V_j^i / \partial R_j}{\partial V_j^i / \partial Y^i} = \frac{c^i Y^i}{d^i R_j} \quad (6)$$

と表わされる。

### b) 地主の住宅供給行動

地主は、地代収入ができるだけ大きくなるように住宅を供給する。つまり、地代が高い場合には住宅を多く貸し出そうとし、地代が低い場合には住宅供給量を減らす。また、地主は自分の所有する住宅の最低地代を定めていると考えられる。このような地主の住宅供給行動を高木ら<sup>7)</sup>, 大橋・青山<sup>8)</sup>を参考にし、

$$L_j = K_j \left(1 - \frac{\sigma_j}{R_j}\right) \quad (7)$$

として定式化する。ここで、 $L_j$  はゾーン  $j$  の住宅床面積供給量 [㎡],  $K_j$  はゾーン  $j$  における住宅床面積供給可能量 [㎡],  $\sigma_j$  はパラメタ [円/㎡/年] で、地主の定めた地代の最低額に相当する。

### c) 立地均衡条件

各ゾーンにおいて、世帯の住宅床面積需要量と地主の住宅床面積供給量が等しいとき、立地が均衡する。この立地均衡条件は、各ゾーンにおける各所得層の一世帯当たりの住宅床面積需要量と世帯数, 地主の住宅床面積供給量を用いて、

$$L_j = \sum_{i=1}^H q_j^i N_j^i \quad (8)$$

と表わされる。

d) 立地均衡解の算出

立地均衡解は、以上に述べた世帯の立地行動を表す式 (2), (3), (4), (5), (6), 地主の住宅供給行動を表す式 (7) を立地均衡条件式 (8) に代入して得られる  $M$  元の非線形連立方程式から求める。未知数は各ゾーンの地代  $R_j$  ( $j = 1, 2, \dots, M$ ) である。この連立方程式を満たす解を均衡地代と呼ぶ。各ゾーンに立地する世帯の数  $N_j^i$  や立地量  $N_j^i q_j^i$  は、均衡地代から診断的に求められる。

4. 寝屋川流域への適用

前章で拡張した立地均衡モデルを寝屋川流域 (図-2) に適用し、土地利用規制の費用便益を評価する。

寝屋川流域は大阪府東部に広がる流域である。流域面積は約 270 km<sup>2</sup> であり、大阪府の面積の約 14% を占める。流域の約 4 分の 3 は、地盤が河川水面より低い低平地となっており、これらの地域では降った雨はそのままでは河川に流入できず、いったん下水道によって集められ、ポンプにより河川に排水されている。本地域では河川改修が進んだことにより、平成以降の被災家屋数は減少しつつある。しかし急激な都市化によって市街化区域は 75% を超えており、内水域からの雨水流出量が増大し、排水施設的能力を超え浸水する内水被害は依然として繰り返されている。最近では平成 9 年 8 月にも床上・床下浸水合わせて 9213 世帯という浸水被害が発生している。大阪府と流域 12 市は、寝屋川流域水害対策計画 (2006 年 2 月 15 日策定)<sup>9)</sup> に基づき、河道改修や治水緑地、流域調節池等の貯留施設、地下河川による放流施設等の整備、流出抑制対策などを行っている。

本研究では対象地域を第 3 次メッシュ区画で分割し、各区画を立地均衡モデルのゾーンとすることにした。第 3 次メッシュ区画は経度差 45 秒、緯度差 30 秒の経緯度線で囲まれた区画であり、およそ 1 平方キロメートルの大きさである。図-2 中の矩形が第 3 次メッシュ区画である。第 3 次メッシュ区画をゾーンとした理由は、世帯数など立地均衡モデルを適用する上で必要なデータが第 3 次メッシュ区画で整理されていたこと、またこれが筆者らの入手できた最も詳細なデータであったことである。

(1) 間接効用関数の定式化

寝屋川流域の所得層  $i$  の世帯がゾーン  $j$  に立地したときに得られる効用 (の確定部分)  $V_j^i$  は、

$$V_j^i = d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j \quad (9)$$

として与えた。

上式右辺の第四項までは市川ら<sup>3)</sup>と同様であるが、本

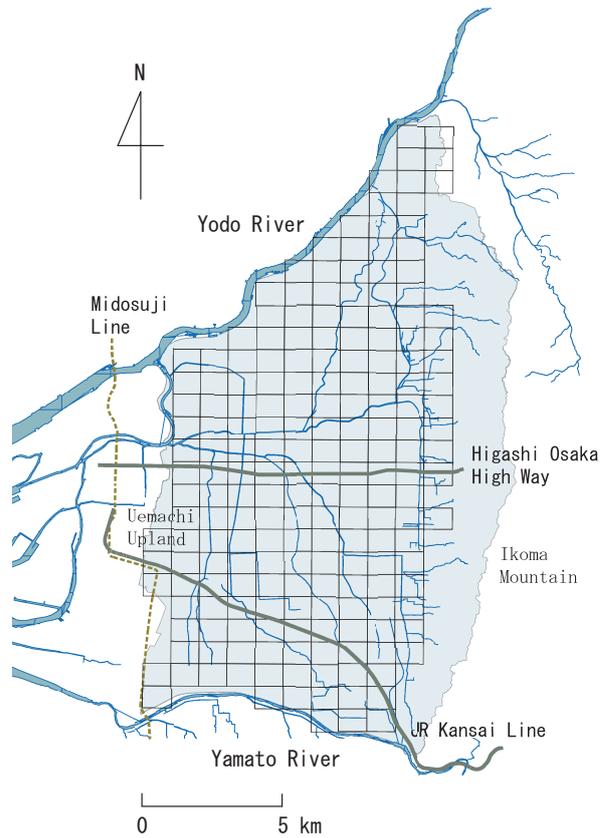


図-2 大阪地域 (寝屋川流域)

研究では効用の説明変数として工業地割合  $I_j$  を新たに加えた。これは、市川ら<sup>3)</sup>が用いた間接効用関数から算出される世帯数と実際の世帯数とを比較し、その誤差と種々の要因との関係を調査したところ、工業地割合との関係が最も明白に認められたためである。具体的には、工業地割合の大きいところで、世帯数が過大に算出される傾向があった。実際、効用の説明変数に工業地割合を導入したことにより、立地均衡モデルのパラメタ同定のための重回帰分析において相関係数が向上した。このことについては、(2)c) で再度述べる。

(2) 現況に基づく立地均衡モデルの同定

a) パラメタ値の同定方法

立地均衡モデルは多数のパラメタを含んでおり、実際の土地利用に基づいてモデルを同定する必要がある。

世帯の立地行動モデルのパラメタ値は、以下の方法で求める。まず、世帯の間接効用関数を次式のように変形する。

$$\begin{aligned} V_j^i &= d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j \\ &= d^i \left( \ln Y^i - \frac{c^i}{d^i} \ln R_j \right) - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、式 (6) より  $c^i/d^i = q_j^i R_j / Y^i$  であるから、こ

れを式 (10) に代入し

$$V_j^i = d^i \left( \ln Y^i - \frac{q_j^i R_j}{Y^i} \ln R_j \right) - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j \quad (11)$$

を得る. 本来  $c^i$  はゾーンには依存しないパラメタであるが, 式 (6) を用いて  $c^i/d^i$  の値を算出すると, ゾーン間でばらつきがある. すなわち,  $c^i, d^i$  のいずれかがゾーンに依存していることを意味する. 本研究では  $c^i$  がゾーンに依存していると考え, 上述のように  $c^i$  を間接効用関数から消去することにした. そして, 式 (11) に含まれるパラメタ  $d^i, e^i, f^i, g^i$  を重回帰分析で推定する. ただし, 効用  $V_j^i$  は直接計測することができないので, 基準ゾーン  $J$  を設定し, あるゾーン  $j$  と基準ゾーン  $J$  の立地選択確率の比を求め, 両辺の対数をとることにより次式を得る.

$$\begin{aligned} \ln \frac{P_j^i}{P_J^i} &= \theta^i V_j^i - \theta^i V_J^i \\ &= \theta^i d^i \left( \frac{q_J^i R_J}{Y^i} \ln R_J - \frac{q_j^i R_j}{Y^i} \ln R_j \right) \\ &\quad - \theta^i e^i (T_j - T_J) \\ &\quad - \theta^i f^i (D_j - D_J) - \theta^i g^i (I_j - I_J) \quad (12) \end{aligned}$$

上式左辺の  $P_j^i$  と  $P_J^i$  は, それぞれ所得層  $i$  の総世帯数に対するゾーン  $j$  と基準ゾーン  $J$  の世帯数の割合であり, 現況のデータから算出する. また, 右辺の  $\theta^i d^i, \theta^i e^i, \theta^i f^i, \theta^i g^i$  にかかる係数を現況のデータから求めることで, これらのパラメタ値を重回帰分析で推定する. ただし,  $\theta^i$  は各パラメタから独立して求めることができないので 1 と置くことにする.

また, 地主の住宅供給モデルのパラメタ値  $\sigma_j$  は, 式 (7) に, 各ゾーンにおける現況の地代, 住宅床面積供給量, 住宅床面積供給可能量を代入することで推定する.

#### b) 同定に使用したデータ

パラメタの同定に使用するデータのうち, 地代, 最寄駅までの所要時間, 最寄駅から主要駅までの時間は, 市川ら<sup>3)</sup>が用いたものと同様である. 工業地割合は, 平成 11 年細密数値情報 (10m メッシュ土地利用) を用いて, 土地利用分類が「工業用地」である面積のゾーンに占める割合として算出した.

また, 所得, 世帯数, 住宅床面積需要量は所得水準ごとにデータを用意する必要がある. そのデータ作成方法を以下に説明する.

世帯の所得データは, 総務省統計局の平成 10 年住宅・土地統計調査に収録されている世帯の年間収入階級のデータを用いて作成した. このデータは年収により, 200 万円未満, 200-300 万円, 300-400 万円, 400-500 万円, 500-700 万円, 700-1000 万円, 1000-1500 万円, 1500 万円以上の 8 区分に分けられている. 本研究

では, 年収 400 万円以下を低所得層, 400~1000 万円を中所得層, 1000 万円以上を高所得層とし, 全世帯を三つの所得層に分類した. またそれぞれの所得層の平均的な所得を 250 万円, 700 万円, 1500 万円とした. 中所得層については所得の上限と下限の平均値を用いた. 低所得層については下限が定められていないため, この層に含まれる 3 区分のうち中央の区分の上限と下限の平均値を採用した. 高所得層については上限が定められていないため, この層に含まれる 2 区分の境界の値を用いた.

各所得層の世帯数は, 住宅・土地統計調査に収録されている各行政区における各所得層の世帯数の割合を求め, 平成 12 年国勢調査に収録されている各ゾーンの世帯数にその割合を乗ずることにより求めた. その結果, 低所得層の世帯数は 484,919 世帯, 中所得層は 436,885 世帯, 高所得層は 88,278 世帯となった. 世帯数の分布状況は, いずれの所得層においても, 対象地域東側から大阪の都市部である西側に向かって増加する傾向となった. とくに, 低所得層の立地が流域西側へ顕著に集中していた.

一世帯当りの住宅床面積は, 平成 10 年住宅・土地統計調査に収録されている所得層ごとの一世帯当たりの居住室の畳数をもとに算出した. このデータは行政区単位で整備されているため, 各ゾーンが属する行政区の一世帯当たりの居住室畳数をそのゾーンの畳数とした. 一つのゾーンが複数の行政区にまたがっている場合は, そのゾーンに対する占有率が最も高い行政区の畳数をそのゾーンの畳数とした. 次に畳数を住宅床面積に換算するために, 平均的な寸法である 3 尺 × 6 尺 (半間 × 1 間, 910mm × 1820mm) を 1 畳とし, 畳数に 1.6562m<sup>2</sup> を乗じた. さらにこの値は居住室のみの面積であるため, 廊下や庭なども含めた住宅全体の面積に換算するために以下の方法を用いた.

まず, 平成 12 年国勢調査に収録されている一世帯あたりの住宅床面積に世帯数を乗じて算出した値をゾーンの合計住宅床面積  $L_j$  とする.

次に, 先ほど畳数から求めた各所得層の居住室面積  $l_j^i$  に各ゾーンにおける所得層の世帯数  $N_j^i$  を乗じ, これをゾーンごとに足し合わせることで各ゾーンの居住室合計面積を求める.

このようにして求めた居住室合計面積  $\sum_{i=1}^8 l_j^i N_j^i$  と合計住宅床面積  $L_j$  の関係を重回帰分析で調べたところ,

$$L_j = 1.49 \sum_{i=1}^8 l_j^i N_j^i + 20788 \quad (13)$$

という回帰式が得られた. よって各ゾーンの各所得層の一世帯あたりの住宅床面積  $q_j^i$  は,

$$q_j^i = 1.49 l_j^i + 20788 / N_j \quad (14)$$

表-1 所得層別パラメタ推定結果

	低所得層 ( $i = 1$ )	中所得層 ( $i = 2$ )	高所得層 ( $i = 3$ )	市川ら <sup>3)</sup>
$d^i$	0.6029 (6.35)	0.7046 (3.26)	0.6279 (1.84)	0.626 (1.91)
$e^i$	0.0438 (6.50)	0.0388 (5.89)	0.0373 (5.38)	0.050 (7.27)
$f^i$	0.0435 (6.55)	0.0258 (3.79)	0.0268 (3.66)	0.027 (3.32)
$g^i$	0.0144 (3.21)	0.0166 (3.80)	0.0255 (4.94)	—
$R$	0.684	0.580	0.577	0.543

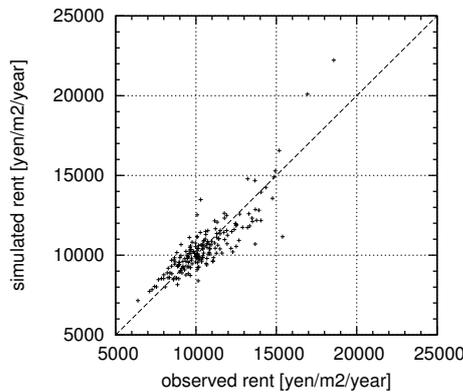


図-3 再現地代と現況地代の比較

として求められることになる。

c) 立地均衡モデルの同定結果

重回帰分析により推定した式 (9) のパラメタ値を表-1 に示す。括弧内の数値は各係数に対する  $t$  値である。まず、本研究において間接効用関数に工業地割合の項を追加したことにより、市川ら<sup>3)</sup> のモデルより重相関係数  $R$  の値が大きくなっていることがわかる。とくに低所得層で高い相関係数を得た。また、各係数についても、高所得層の  $d^i$  を除いて 1% の危険率で有意となっている。

図-3 は、本立地均衡モデルによって算定された均衡地代と現況の地代を散布図で示したものであり、図-4 は所得層ごとに算定された均衡世帯数と現況世帯数とを比較したものである。地代と世帯数の二乗平均平方根誤差を求めたところ、地代の誤差は約 950 円/m<sup>2</sup>/年、世帯数の誤差は約 1900 世帯となった。市川ら<sup>3)</sup> の結果では、地代の誤差は約 700 円/m<sup>2</sup>/年、世帯数の誤差は約 2200 世帯であり、地代に関しては約 250 円/m<sup>2</sup>/年 (平均地代の約 2.5%) 程度再現性が低下したものの、世帯数では約 300 世帯 (平均世帯数の約 5%) 程度再現性が向上している。

(3) 雨水氾濫解析

本研究では、川池ら<sup>10)</sup> によって開発された統合型雨水氾濫解析モデルを用いて寝屋川流域における雨水氾

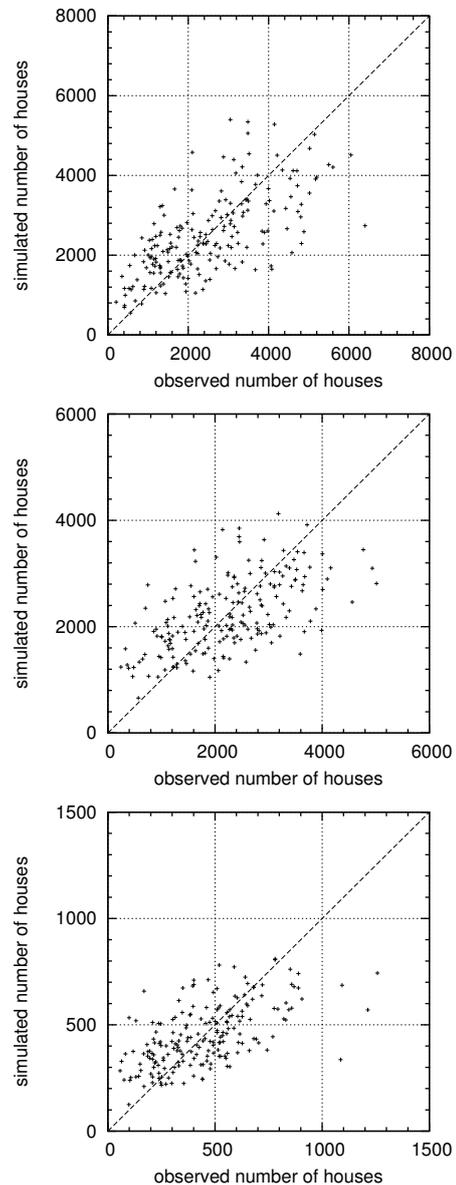


図-4 再現世帯数と現況世帯数の比較：(上) 低所得層，(中) 中所得層，(下) 高所得層

濫解析を行なった。本モデルの当該流域への適用性はすでに確認されており<sup>10)</sup>，ここでは開発者らによるモデルの適用方法をそのまま踏襲した。具体的には、流域を生駒山地からなる外水域とそれ以外の低平地からな

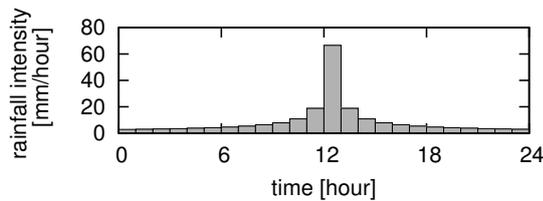


図-5 再現期間 40 年の降雨データ

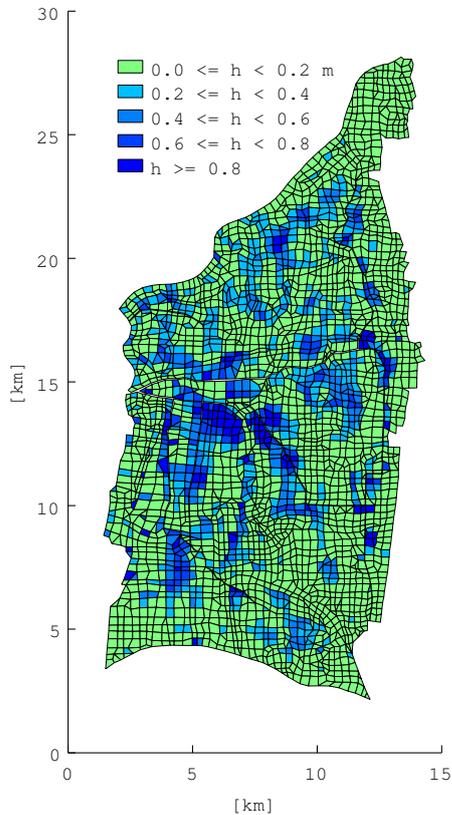


図-6 最大浸水深の分布

る内水域に分割し、内水域を街区形状に即して約 3000 の非構造格子に分割した。内水域の面積は約 200 km<sup>2</sup> なので、平均的には 250 m 程度の空間解像度を持つ非構造格子系で雨水氾濫計算を行っていることになる。外水域からの雨水流出については kinematic wave モデルで計算した。また、寝屋川・第二寝屋川・恩智川・平野川などの河川網をモデル上で表現し、河川網に関連する洪水処理施設として四つの治水緑地と毛馬排水機場を考慮することにした。下水道網については、主要幹線と、関連施設である流域調節池・地下河川を考慮することにした。

解析に使用した雨量データは、大阪府の資料を参考に作成した、再現期間 2 年から 500 年の中央集中型の降雨波形である。一つの降雨波形において、ピーク時を含む 1, 3, 5, ..., 23, 24 時間の降雨量がいずれも同一の再現期間の値となるように作成した。氾濫解析は 24

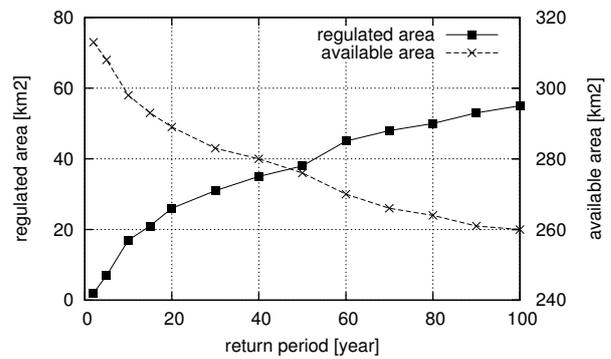


図-7 土地利用規制対象面積と住宅床面積供給可能量

時間分行なった。氾濫解析の結果の一例として 図-5, 6 を示す。図-5 は再現期間が 40 年の降雨データであり、図-6 はこれを用いて得られた最大浸水深の分布である。

#### (4) 土地利用規制下での立地状況の予測

##### a) 検討する土地利用規制

図-7 は、雨水氾濫解析の結果に基づいて算出した、土地利用規制の対象とする面積と住宅床面積供給可能量を示したものである。図の横軸は、雨水氾濫解析で用いた降雨データの再現期間であり、再現期間が大きくなるほど規制としては強いものとなる。規制を強めていくにしたがって、土地利用規制の対象となる面積は増大し、住宅床面積供給可能量は減少している。

本研究で土地利用規制の対象としたのは、市川ら<sup>3)</sup>と同様、雨水氾濫解析の結果、最大浸水深が 15 cm 以上となる地域である。これは、雨水氾濫解析による最大浸水深が 15 cm 以上となるところで浸水被害が発生すると仮定すると、過去の水害（昭和 57 年 8 月）における実際の被災世帯数とモデルで算出した被災世帯数が概ね一致することから、このように定めた。また、住宅床面積供給可能量は、土地利用規制のもとで、住宅地に転用が可能な土地面積に各ゾーンの平均容積率を乗じ、すべて足し合わせたものである。たとえば、再現期間が 2 年の降雨事象を基準とした場合、およそ 2 km<sup>2</sup> の地域が土地利用規制の対象となり、313 km<sup>2</sup> が住宅地として利用可能であることを示している。土地利用規制の対象面積は、再現期間 10 年の降雨を基準としたあたりで大きく増加している。

再現期間が 100 年を超える降雨事象を基準にすると、ゾーン全体が土地利用規制の対象となる地区が発生するため、これ以上の土地利用規制を検討するのは過剰であると判断した。

##### b) 土地利用規制下での均衡地代・均衡世帯数

土地利用規制を実施した場合の立地状況を予測した結果の一例として、再現期間 80 年の降雨を基準とした

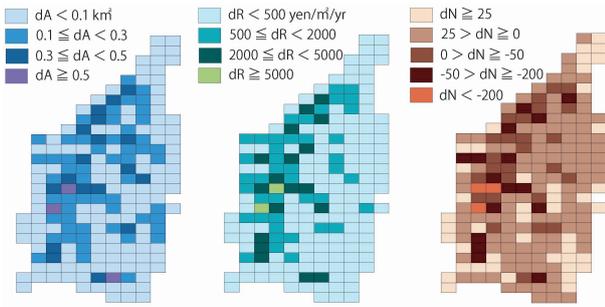


図-8 (左) 土地利用規制面積 (dA), (中) 均衡地代の上昇額 (dR), (右) 均衡世帯数の増減 (dN)

ときの土地利用規制面積, 地代の上昇額, 均衡世帯数の増減の空間分布を図-8に示す. 均衡世帯数の増減と地代の上昇額は, 土地利用規制を実施しない場合の均衡世帯数と均衡地代からの差で表現されている. この図から, 土地利用規制面積の大きいゾーンで世帯数が減少し, 地代が上昇している様子が見取れる.

(5) 土地利用規制に伴う費用便益の計測

a) 世帯の費用

土地利用規制の実施にともなって, 地代が上昇して世帯の可処分所得が低下したり, 世帯が所有できる住宅床面積が減少したりする. こういった効用水準の低下を世帯の費用として計測する. ただし, 一般に世帯の効用は貨幣の単位を持たないので, ここでは, 土地利用規制の有無による世帯の効用の変化分を所得の変化に換算して, 間接的に世帯の費用を算出する.

世帯が立地行動を行なった結果得られる効用水準は, 最大効用の期待値で計測される<sup>11)</sup>ので, 所得層  $i$  の世帯の効用水準  $S^i$  は,

$$S^i = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i V_j^i) \quad (15)$$

として与えられる<sup>5), 11)</sup>.

$S^i$  は土地利用規制の有無で変化する. 規制なしのときの効用水準を  $S^{i,\alpha}$ , 規制ありのときの効用水準を  $S^{i,\beta}$  とすると,  $S^{i,\alpha}, S^{i,\beta}$  は各々の状態での均衡地代  $R_j^\alpha, R_j^\beta$  を用いて以下のように表される.

$$S^{i,\alpha} = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i (d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j^\alpha - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j)) \quad (16)$$

$$S^{i,\beta} = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i (d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j^\beta - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j)) \quad (17)$$

土地利用規制を実施した場合の効用水準  $S^{i,\beta}$  は, 元の効用水準  $S^{i,\alpha}$  より低くなると予想される. したがっ

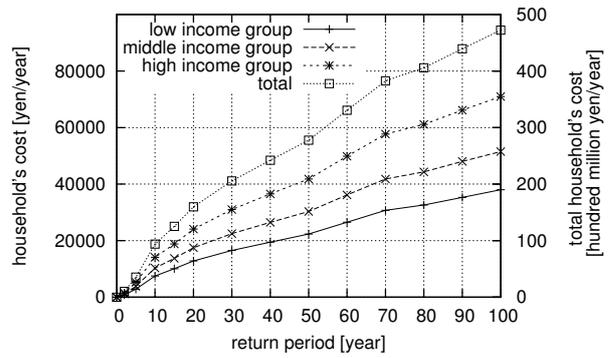


図-9 所得層別一世帯あたりの費用

て, 地代や土地の特性を元の状態に保ったまま効用水準を  $S^{i,\beta}$  まで引き下げのためには, 世帯の所得を減じる必要がある. この所得の減少分が世帯の費用であり, 非限定等価的偏差<sup>12)</sup>で評価する.

所得層  $i$  に対する非限定等価的偏差を  $\Delta Y^i$  と書くことにして, 土地利用規制がある場合の効用水準  $S^{i,\beta}$  を,  $\Delta Y^i$  を用いて表現すると次式のようになる.

$$S^{i,\beta} = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i (d^i \ln(Y^i - \Delta Y^i) - c^i \ln R_j^\alpha - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j)) \quad (18)$$

これを  $\Delta Y^i$  について解くと最終的に次式を得る.

$$\Delta Y^i = Y^i \left( 1 - \exp\left(\frac{S^{i,\beta} - S^{i,\alpha}}{d^i}\right) \right) \quad (19)$$

土地利用規制を実施した場合, どのゾーンでも地代や環境状態にかかわらず, 同じ所得層の世帯は同額の費用を支払うことになる. また,  $\Delta Y^i$  は一世帯が負担する費用である. したがって, 対象地域全体で負担する総費用は  $\sum_{i=1}^H \Delta Y^i N^i$  となる.

各再現期間の降雨に基づいて土地利用規制を実施したときに各所得層の世帯が一年間に負担する費用  $\Delta Y^i$  を図-9に示す. これを見ると, 規制レベルを強めるにしたがって, 世帯の負担する費用は増加する. また所得が高いほど負担する費用の額は高くなっている.

図-10は  $\Delta Y^i$  を各所得層の所得で除して, 所得に対する費用の割合として示したものである. この場合は, いずれの規制レベルにおいても所得が低いほど費用の割合が大きくなっている. 再現期間が20年の降雨を基準とした土地利用規制を実施した場合では, 所得に対する費用の割合は低所得層で約0.5%となっており, 中所得層(約0.25%)の二倍, 高所得層(約0.15%)の三倍程度の負担が予想される. また規制レベルを強めるに従って各所得層の費用の割合は増加するが, 低所得層の増加傾向が他の層よりも大きいことが読み取れる.

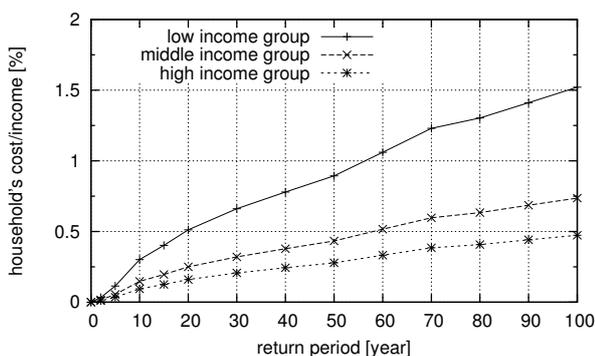


図-10 世帯の費用の所得に対する割合

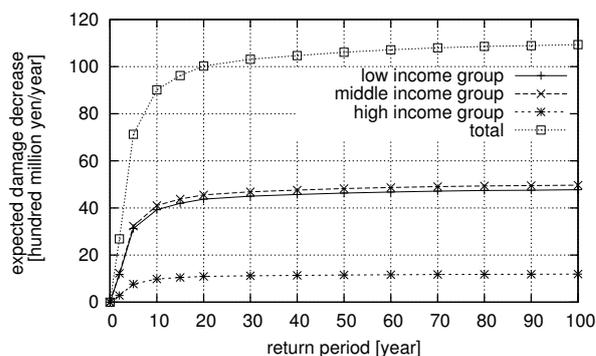


図-12 土地利用規制に伴う水災害被害軽減額（所得層全体および流域全体）

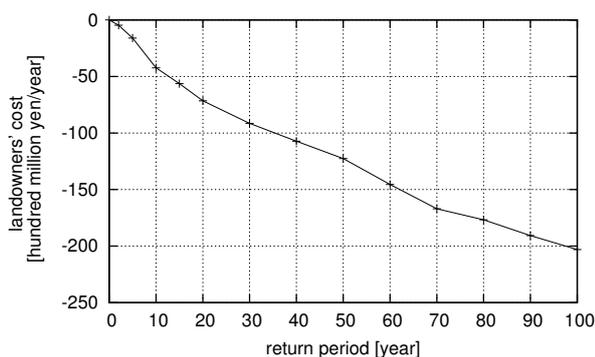


図-11 地主の費用

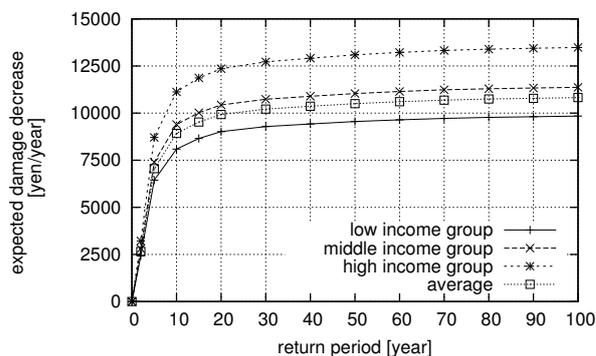


図-13 各所得層一世帯あたりの水災害被害軽減額

b) 地主の費用

地主の費用は、土地利用規制なしの場合の供給者余剰から、規制を実施した場合の供給者余剰を引いたものとして定義される。寝屋川流域において算出した地主の土地利用規制に伴う費用を図-11に示す。地主の費用は負となっていることから、土地利用規制が実施されても、地主が支払うことになる費用は発生せず、むしろ利益をうけることがわかる。これは、土地利用規制が実施されれば、住宅地として供給できる土地の面積は減少するものの、地代の上昇によってそのマイナスが打ち消されるからである。規制レベルが強まるにしたがって地主の利益は増加している。

c) 土地利用規制に伴う便益

土地利用規制による便益は水災害被害額の軽減分として算出される。現況ならびに土地利用規制下での水災害被害額の年間期待値を水害統計<sup>13)</sup>に示されている手順に沿って算出し、その差から軽減額を求めた<sup>3)</sup>。

図-12に、各規制レベルに対する水災害年期待被害軽減額の推移を示す。金額は各所得層ごとの総額、および地域全体の総額である。もっとも弱い規制である再現期間2年の土地利用規制であっても、年間期待値で約27億円の被害額が軽減されると算定された。各所得

層ごとの現況での期待被害額の総額は低所得層で48億円、中所得層で50億円、高所得層で12億円である。再現期間が20~30年をすぎると被害軽減額はほとんど変化せず、現況の期待被害額に漸近しており、水災害被害はほとんどなくなっている。また、所得層ごとに一世帯当たりで換算した年期待被害軽減額を見ると(図-13)、所得が高いほど軽減額が大きい。再現期間20年の降雨を基準とした土地利用規制の場合の年期待被害軽減額は、低所得層で9021円/年(所得の約0.36%,以下同じ)、中所得層で10430円/年(約0.15%),高所得層で12358円/年(約0.08%)となっている。

5. 考察

寝屋川流域における土地利用規制に伴う費用と便益を比較し、本規制の妥当性および有効性を検証する。図-14は、地域全体での世帯の費用、地主の費用、および水災害年期待被害軽減額をまとめたものである。また、水災害年期待被害額からすべての費用を差し引いた値を総便益として示す。総便益が正になっているところでは、社会的便益が費用を上回っていることになる。この図より、再現期間で25年までの弱いレベルの土地利

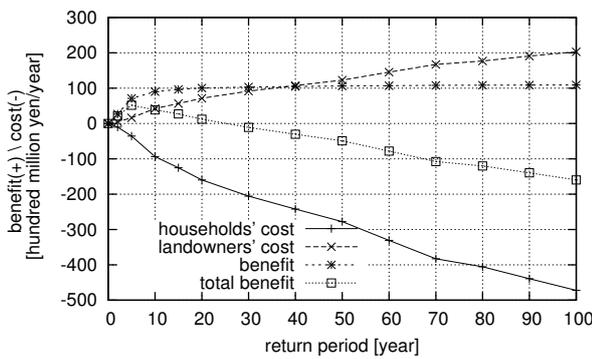
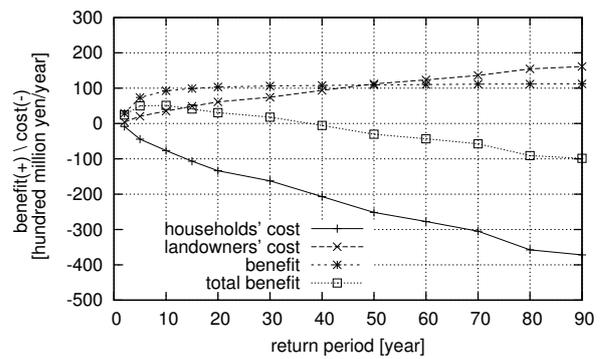


図-14 土地利用規制に伴う費用・便益・総便益

図-15 市川ら<sup>3)</sup>による分析結果

用規制を行なった場合は総便益が正であるが、それより強い規制では費用が嵩み、総便益は負の方向へ大きくなるのがわかる。総便益は再現期間で5年の規制レベルのときに最大となっており、本流域においては、再現期間5年程度の雨（時間45mm程度）で浸水するような、浸水常襲地域を対象として土地利用規制を実施することで大きな効果のあることが示された。

寝屋川流域を対象として同様の検討を行なっている市川ら<sup>3)</sup>の分析結果（図-15）と比較すると、両者とも土地利用規制による総便益が最大となるのは、再現期間が5年程度の雨を基準とした場合で一致しているが、総便益が正となるのは、本研究の分析では再現期間で25年まで、市川ら<sup>3)</sup>の分析では再現期間で40年までと異なっている。4.(2)で示したように、本研究で用いた立地均衡モデルは、市川ら<sup>3)</sup>のものと比較して、地代の再現性が低く、世帯数の再現性が高い。いずれもその差はわずかであり、どちらのモデルの再現性が高いということはできない。ただ、本研究で開発したモデルは、所得の違いによる住宅床面積の違いを考慮しており、土地利用規制に伴う世帯および地主の費用と便益をより適切に評価していると考えられる。このことから、本研究の分析結果のほうが信頼性が高いものと考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、流域管理的治水対策の費用便益評価を行なう枠組みの中で、世帯の所得分布を考慮できるように、これまで用いられてきた立地均衡モデルを拡張し、これを用いて寝屋川流域における土地利用規制の費用便益評価を行なうとともに、土地利用規制が世帯に与える影響を所得の違いに応じて分析した。

まず、対象流域における地代と一世帯あたりの住宅床面積の関係を調査し、この関係が所得によって異なっていることから、世帯の立地行動が所得によって異な

ることを具体的に示した。

つぎに、世帯所得の分布を考慮できるよう拡張された立地均衡モデルの構成・基礎式を示した。このモデルでは、対象とする世帯を複数の所得層に分け、それぞれの所得層ごとに立地行動を表現するようになっており、各ゾーンに立地する世帯数が所得層別に算出されるところが従来の立地均衡モデルと異なっている点である。

最後に、この拡張された立地均衡モデルを用いて、寝屋川流域における土地利用規制の費用便益評価を行なった。はじめに、土地利用規制が与える影響を所得の違いに応じて分析したところ、土地利用規制に伴う費用および便益の所得に対する割合は所得が低いほど大きく、当該地域における水防災のための土地利用規制は、低所得層に対して相対的に大きな影響をもたらすことが明らかとなった。また、本流域では、再現期間で5年（時間45mm程度）相当の弱いレベルの土地利用規制で総便益が最大となり、再現期間で25年以上の強い土地利用規制を実施した場合は、費用が便益を上回る結果となった。以上より、寝屋川流域においては、比較的高い頻度で浸水するような地区については住宅地としての使用を避けた方が社会的に見てメリットがあることが明らかとなった。

ただ、本研究で検討した土地利用規制は、基準とする降雨に対して少しでも浸水するような地区の利用を禁ずるというもので、実際の規制としては厳しすぎるであろう。もう少し現実的に考えるとすれば、たとえば基準とする降雨による床下への浸水は許容する一方で、床上浸水が発生するような地区の土地利用を規制するといった、やや緩やかな規制もありうる。寺本ら<sup>14)</sup>では、本研究で検討した土地利用規制に加えて、床下浸水を許容する土地利用規制についても分析を行なっている。

謝辞： 本研究を進めるにあたり、日本学術振興会科学研究費補助金、若手研究(B)（代表者：市川温，課題

番号 14380201 および 21710184), ならびに(財)国土技術研究センター平成 20 年度研究開発助成の援助をうけました。ここに記して謝意を表します。本研究で使用した寝屋川流域の雨水氾濫解析モデルは京都大学防災研究所川池健司准教授からご提供いただきました。厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 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, No. 20, pp. 313-322, 2003.
- 2) 高木朗義, 吉田正卓: 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, 河川技術論文集, 第 11 巻, pp. 215-220, 2005.
- 3) 市川 温, 松下 将士, 堀 智晴, 椎葉 充晴: 水災害危険度に基づく土地利用規制政策の費用便益評価に関する研究, 土木学会論文集 B, Vol. 63, No. 1, pp. 1-15, 2007.
- 4) 沼間 雄介, 市川 温, 堀 智晴, 椎葉 充晴: 水災害危険度に基づく建築規制政策の費用便益評価に関する研究, 水工学論文集, 第 51 巻, pp. 583-588, 2007.
- 5) 土木学会 編: 非集計行動モデルの理論と実際, 240p, 土木学会, 1995.
- 6) 中村良平, 田淵隆俊: 都市と地域の経済学, 有斐閣ブックス, 324p, 1996.
- 7) 高木朗義, 森杉壽芳, 上田孝行, 西川幸雄, 佐藤 尚: 立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 13, pp. 339-348, 1996.
- 8) 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.
- 9) 大阪府: 寝屋川流域水害対策計画, 2006.
- 10) 川池健司, 井上和也, 戸田圭一, 坂井広正, 相良亮輔: 低平地河川流域における内水氾濫解析法とその寝屋川流域への適用, 水工学論文集, 第 46 巻, pp. 367-372, 2002.
- 11) (社)土木学会編: 新体系土木工学 60 交通計画, 技報堂出版, 1993.
- 12) 森杉壽芳 編: 社会資本整備の便益評価, 186p, 勁草書房, 1997.
- 13) 国土交通省河川局: 平成 14 年版水害統計, 503p, 2004.
- 14) 寺本雅子, 市川温, 立川康人, 椎葉充晴: 水災害危険度に基づく土地利用規制の適用性に関する分析, 土木学会論文集 B, Vol. 66, 2010.

(2009. 6. 22 受付)

## COST-BENEFIT ANALYSIS OF LANDUSE REGULATION STRATEGY BASED ON FLOOD RISK ASSESSMENT USING A LOCATION EQUILIBRIUM MODEL INCORPORATING HOUSEHOLD INCOME DISTRIBUTION

Masako TERAMOTO, Yutaka ICHIKAWA, Yasuto TACHIKAWA and Michiharu SHIIBA

This paper proposes a location equilibrium model incorporating household income distribution. We applied this model to Neyagawa riverbasin, in Osaka, to evaluate social costs and benefits of landuse regulation strategies based on flood risk assessment. The result of the cost-benefit analysis shows that the impact of the landuse regulation strategies on a low income group would be greater than higher income groups. Net benefit of landuse regulations becomes maximum at the regulation level of 5 year flood return period. When regulations based on more than 25 years flood return period are conducted, the net benefit becomes negative. These results reveal that it is beneficial to prohibit the area with high flood frequency from being used for housing.