

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

寺本 雅子¹・市川 温²・立川 康人³・椎葉 充晴⁴

¹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

²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)

³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)

⁴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)

二大都市圏である大阪地域と東京地域を対象として、二種類の土地利用規制(床下浸水規制と床上浸水規制)を実施した場合の費用便益評価を行い、土地利用規制の適用性について検討した。その結果、両地域ともに、床下浸水規制より床上浸水規制で総便益が正になりやすく、適用性が高いと思われる結果となった。ただし、大阪地域では、再現期間が5年の降雨を基準とした床下浸水規制を実施したときに総便益が最大となったことから、比較的弱い降雨で床下浸水する領域の土地利用規制が効果的であると考えられる。東京地域では、床下浸水規制の適用性が極めて低い一方で、床上浸水規制にある程度の適用性が認められた。当該地域は、床上浸水による被害が多いと予想されることから、床上浸水を許容しない土地利用規制を実施するのが適していると考えられる。

Key Words : land use regulation, flood risk, cost-benefit analysis, location equilibrium, flooding above/under floor level

1. はじめに

適切な土地利用による水災害リスクの軽減といった、流域管理的水防災の考え方が提示されてからかなりの年月が経過している。にもかかわらず、そうした水防災手法の適用性や妥当性、実現可能性に関する分析はいまだ十分にはなされていない。近年では、都市域の水災害は、最も発生頻度の高い自然災害の一つとなってきた。土工施設の設置を中心とした河道対策と、ソフト的な手法を含む流域管理的対策の双方を適切に組み合わせ、対象とする地域に適した水防災政策を展開していくことが重要であるだろうし、そのためには、これまで現実的な観点からの検証が不十分だったソフト的な流域管理的対策について、その有効性や限界を見極めていく必要があると考えられる。

このような背景から、筆者らの一部^{1),2)}は、土地利用規制や建築規制といった流域管理的対策の利害得失を経済的に評価する試みを行なってきた。また寺本ら³⁾は、市川ら¹⁾が提案した、土地利用規制の費用便益評価手法を拡張し、所得の多寡によって世帯の立地行動が異なることを考慮した新たな評価手法を提示するとともに、この新たな手法を用いて、市川ら¹⁾と同じ流域(大阪府寝屋川流域)における土地利用規制の費用便益評価を実施している。

本研究では、上述の研究によって開発された手法を用いて、規制がもたらす費用と便益の観点から土地利用規制の適用性について分析する。むろん、規制の適用性は費用と便益の比較だけで決まるものではない。たとえば規制に伴う私権の制限に関して合意が形成されなければ、その規制は適用できないし、あるいは他の水防災対策と比較しなければ、土地利用規制の適用性の良否は判断できない。本研究ではこうしたことは考慮せず、単純に、規制による費用便益を計測することで、複数の土地利用規制の間で適用性を比較する。

市川ら¹⁾、寺本ら³⁾は、土地利用規制として、基準とする降雨に伴って床下浸水による被害が発生するような地区の住宅地としての利用を禁ずるというものを想定していたが、実際の規制としてはやや厳しすぎるように思われる。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だろう。こうしたことを鑑み、本研究では土地利用規制として二種類の規制を考える。一つは、これまでの研究で想定されていた、床下への浸水を許容しない規制である。以下ではこの規制のことを床下浸水規制とよぶ。もう一つは、基準とする降雨によって床下浸水被害が発生する地区の利用は認めるが、床上浸水が発生

する地区の利用は認めないものである。この規制を床上浸水規制とよぶことにする。本研究では、床下浸水規制と床上浸水規制に伴う費用便益をそれぞれ評価し、これらを比較することで、土地利用規制の適用性について検討する。

また、土地利用規制の適用性は、対象とする地域の地理的特性によっても異なる可能性がある。これまでの研究で対象とされていた大阪府寝屋川流域は、比較的平坦な地域がひろがっており、水災害危険度の空間的分布がさほど大きくない。これに対して、地形の起伏がはっきりしていて、同じ基準降雨に対しても、深く浸水する地域と、ほとんど浸水しない地域が明確に分かれるようなところでは、土地利用規制の適用性も異なっているかもしれない。こうしたことを調べるために、本研究では、大阪府寝屋川流域に加えて、流域内に比較的大きな起伏の存在する、東京都の都市中小河川流域（神田川流域など）も検討の対象とする。以下では、大阪府寝屋川流域を大阪地域、東京都の都市中小河川流域を東京地域と称することにする。

以上をまとめると、本研究では、大阪地域と東京地域の二地域を対象として、床下浸水規制と床上浸水規制という二種類の土地利用規制を適用したときの費用と便益を評価し、その結果から、土地利用規制の適用性について分析する。

2. では、これまでの研究^{1),2),3)}を参考にしながら、土地利用規制の費用便益を評価する手法について説明する。3. では、2. で説明した手法を用いて、大阪地域に土地利用規制を適用した場合の費用便益を評価する。上に述べたように、土地利用規制としては、床下浸水規制と床上浸水規制の二種類を考え、それぞれに対する結果を順に述べる。4. では、3. と同様に、東京地域に土地利用規制を適用した場合の費用便益分析結果について述べる。5. では、3. および 4. で示した結果について考察し、6. で本論文の結論を述べる。

2. 土地利用規制の費用便益評価手法

(1) 評価手法の概要

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

であり、市川ら¹⁾、沼間ら²⁾、寺本ら³⁾と同様である。

本研究では、対象地域の水災害危険度を雨水氾濫解析により評価する。具体的に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計算を行ない、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、降雨波形は中央集中型、降雨強度は流域内で空間的に一様とする。

つぎに、土地利用規制を実施した場合の立地状況を、寺本ら³⁾が提案する立地均衡モデルによって予測する。立地均衡モデルとは、対象地域内の世帯や企業の立地選択行動と地主の不動産資産供給行動をモデル化し、土地もしくは建物床面積の需給量が均衡する条件（立地均衡条件）のもとで、地代と立地量を求めるモデルのことである。本研究では、企業の立地行動は考慮せず、世帯と地主のみが賃貸住宅市場を構成するとしている。また、対象地域内の世帯の数は一定としている。

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。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モデルにおいて、住宅床面積供給可能量を小さくすることによって表現する。

最後に、土地利用規制に伴って発生する費用と便益を計測し、これらを比較することで土地利用規制の適用性を評価する。土地利用規制に伴って発生する費用は、地代の上昇や立地量の減少による世帯および地主の効用の変化分であり、一方、土地利用規制に伴う便益は、水災害被害（直接被害）の減少額である。

(2) 立地均衡モデルの基礎式

寺本ら³⁾を参考に、本研究で用いる立地均衡モデルの基礎式について説明する。

まず、所得層 i に所属する世帯が、あるゾーン j に立地したときに得られる効用（立地効用） U_j^i をランダム効用理論（たとえば土木学会編⁴⁾など）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）、 V_j^i は U_j^i の確定項部分、 ε_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次の間接効用関数で与える。

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

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 j の地代 [円/㎡/年]、 c^i, d^i は所得層ごとの定数である。 $\mathbf{E}_j$ 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 ε_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⁴⁾。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。

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

θ^i は立地効用の確率項 ε_j^i が Gumbel 分布に従うとしたときのパラメタである。居住地選択確率は、一つの世帯があるゾーンを居住地として選択する確率であるが、本研究では、そのゾーンに居住している世帯数が全世帯数に占める割合で近似できると仮定する。所得層 i の全世帯数を N^i とすると、上記の仮定から、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、

$$N_j^i = P_j^i N^i \quad (4)$$

と表すことができる。ここで、対象地域の全世帯数を N とすると、

$$N = \sum_{i=1}^H N^i \quad (5)$$

である。

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⁵⁾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。

一方、地主の住宅供給行動は、以下の式で表わされる。

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

ここで、 L_j はゾーン j の住宅床面積供給量 [m^2]、 K_j はゾーン j における住宅床面積供給可能量 [m^2]、 σ_j はパラメタ [$\text{円}/\text{m}^2/\text{年}$] で、地主の定めた地代の最低額に相当する。

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あ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。

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（地代）は均衡地代と呼ばれる。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、均衡地代から求められる。

(3) 土地利用規制に伴う費用便益の評価方法

a) 世帯の費用の評価方法

土地利用規制によって発生する世帯の費用は、効用水準の低下分として計測される。ただし、一般に世帯の効用は貨幣の単位を持たないので、土地利用規制の有無による世帯の効用の変化を以下の方法で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⁶⁾ので、所得層 i の世帯の効用水準 S^i は、

$$S^i = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i V_j^i) \quad (9)$$

として与えられる^{4), 6)}。

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^α 、 R_j^β を用いて以下のように表される。

$$S^{i,\alpha} = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i (d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j^\alpha - {}^t \mathbf{a}^i \mathbf{E}_j)) \quad (10)$$

$$S^{i,\beta} = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i (d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j^\beta - {}^t \mathbf{a}^i \mathbf{E}_j)) \quad (11)$$

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。この効用水準の低下を、世帯所得の低下による効用の低下と同じであるとして、非限定等価的偏差⁷⁾で評価する。すなわち、地代や土地の地理的特性（最寄駅までの所要時間など）を規制前の状態に保ったまま、効用水準を規制後の値にするのに必要な所得の低下額として算出する。

所得層 i に対する非限定等価的偏差を ΔY^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、 ΔY^i を用いて表現すると次式ようになる。

$$S^{i,\beta} = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i (d^i \ln(Y^i - \Delta Y^i) - c^i \ln R_j^\alpha - {}^t \mathbf{a}^i \mathbf{E}_j)) \quad (12)$$

これを ΔY^i について解くと最終的に次式を得る。

$$\Delta Y^i = Y^i \left(1 - \exp\left(\frac{S^{i,\beta} - S^{i,\alpha}}{d^i}\right)\right) \quad (13)$$

土地利用規制を実施した場合、どのゾーンでも地代や土地の地理的特性にかかわらず、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、 ΔY^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 $\sum_{i=1}^H \Delta Y^i N^i$ ということになる。

b) 地主の費用の評価方法

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。一般に、供給者余剰とは、財の供給曲線と均衡価格水準で囲まれた部分の面積のことである。本研究で用いている住宅床面積の供給曲線は式(7)で与えられるから、ゾーン j ($= 1 \sim M$) の地主の供給者余剰 W_j は次のように計算される。

$$\begin{aligned} W_j &= \int_0^{\lambda_j} (\rho_j - R_j) dL_j \\ &= \int_0^{\lambda_j} \left(\rho_j - \frac{\sigma_j K_j}{K_j - L_j} \right) dL_j \\ &= \rho_j \lambda_j - \sigma_j K_j \ln \frac{K_j}{K_j - \lambda_j} \end{aligned} \quad (14)$$

ρ_j は均衡地代、 λ_j は均衡住宅床面積である。

c) 便益の評価方法

水災害危険度の高い土地の利用を規制すれば、水災害による直接的な被害額は減少することが期待される。本研究ではこれを土地利用規制による便益としている。様々な規模（再現期間）の降雨データを用いて雨水氾濫解析を行なうことによって、対象とする地域での水災害被害額の年期待値を算出し、現況での値から、土地利用規制を実施した場合の値を差し引くことで、土地利用規制によってどの程度水災害被害額（の年期待値）が減少するか算定する。水災害被害額の算出方法は、市川ら¹⁾と同様に水害統計¹⁰⁾になった。

3. 大阪地域への適用

(1) 大阪地域の概要

大阪地域で対象とするのは寝屋川流域である（図-1）。本流域は大阪府東部に位置し、北を淀川、南を大和川に囲まれている。流域面積は約 270 km² である。流域には寝屋川および支流が網目状に広がっている。本地域の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、本地域に降った雨水は下水道によって一旦集められ、ポンプにより河川に排水されている。本流域の人口、世帯数、人口密度は平成12年当時でそれぞれ約280万人、約101万世帯、約10300人/km² である。

(2) 間接効用関数の定式化と立地均衡モデルの同定

大阪地域の所得層 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 を、

$$V_j^i = d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j \quad (15)$$

と与える³⁾。ここで Y^i は所得層 i の世帯の年間所得 [円/年]、 R_j はゾーン j の地代 [円/m²/年]、 T_j はゾーン j

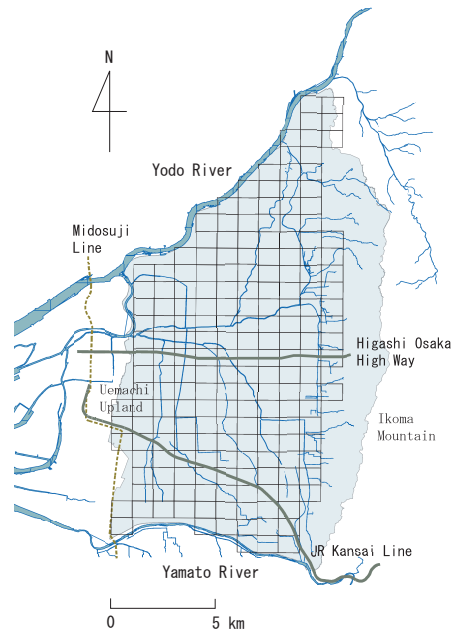


図-1 大阪地域（寝屋川流域）

の最寄駅までの所要時間 [分]、 D_j はゾーン j における最寄駅から都市中心主要駅までの時間 [分]、 I_j はゾーン j に占める工業地の面積割合、 d^i, c^i, e^i, f^i, g^i は定数である。工業地の面積割合については、寺本ら³⁾がこれを当該地域の間接効用関数に含めることによって、立地状況の再現性が向上することを確認しているため、これになった。なお、本研究におけるゾーンは第3次メッシュ区画で分割した領域（図-1中の矩形）とした。1ゾーンの大きさはおよそ1 km² である。大阪地域は196のゾーンに分割された。

大阪地域の立地均衡モデルの同定は、寺本ら³⁾が用いたデータおよび手法を用いて行なった。具体的には、平成12年国勢調査や平成10年住宅・土地統計調査などのデータを用いて、下記のような手法で同定した。

まず、世帯の間接効用関数を次式のように変形する。

$$\begin{aligned} V_j^i &= d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j \\ &= d^i \left(\ln Y^i - \frac{c^i}{d^i} \ln R_j \right) - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j \end{aligned} \quad (16)$$

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(16)に代入し

$$\begin{aligned} V_j^i &= d^i \left(\ln Y^i - \frac{q_j^i R_j}{Y^i} \ln R_j \right) - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j \end{aligned} \quad (17)$$

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

表-1 所得層別パラメタ推定結果（大阪地域）

	低所得層 ($i = 1$)	中所得層 ($i = 2$)	高所得層 ($i = 3$)
d^i	0.6029 (6.35)	0.7046 (3.26)	0.6279 (1.84)
e^i	0.0438 (6.50)	0.0388 (5.89)	0.0373 (5.38)
f^i	0.0435 (6.55)	0.0258 (3.79)	0.0268 (3.66)
g^i	0.0144 (3.21)	0.0166 (3.80)	0.0255 (4.94)
R	0.684	0.580	0.577

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 (17) 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。式 (3) に含まれるパラメタ θ^i は 1 に固定した。

地主の住宅供給モデルのパラメタ値 σ_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した。

また本研究では、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定義した。住宅・土地統計調査には、各行政区の年収 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 万円以上の世帯数が収録されている。これを用いて、国勢調査に収録されている各ゾーンの全世帯数に、住宅・土地統計調査に基づく各所得層の世帯数の比率を乗じることで、ゾーンごとの所得層の世帯数を算出した。その結果、低所得層は約 48 万世帯、中所得層は約 44 万世帯、高所得層は約 9 万世帯となった。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。

表-1 に、式 (15) のパラメタ値を重回帰分析で同定した結果と重相関係数 R の値を示す。括弧内の数値は各係数に対する t 値である。いずれの所得層においても 0.6 程度の相関係数を得ている。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-2, 3 は、立地均衡モデルによって算定された各ゾーンの地代・世帯数と現況の地代・世帯数とを比較したものである。世帯数のほうでやや大きなばらつきが見られるが、地代についてはよく一致している。

以上の結果は所得層の区分の仕方によって変化する可能性があるが、概ね妥当な結果が得られていることから、今回の区分は合理的であると判断した。

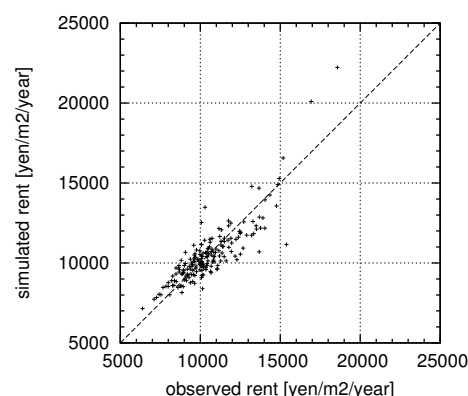


図-2 再現地代と現況地代の比較（大阪地域）

(3) 雨水氾濫解析と土地利用規制対象地域の設定

大阪地域の雨水氾濫解析には、統合型雨水氾濫解析モデル⁸⁾と、大阪府の計画降雨資料⁹⁾をもとに作成した再現期間 2 年から 500 年の中央集中型の降雨データを用いた¹⁾。図-4 は氾濫解析の結果の一例で、再現期間が 40 年の降雨データを用いて得られた最大浸水深の分布である。

このような氾濫解析結果を用いて、各再現期間の降雨事象ごとに土地利用規制の対象となる地域を決定する。市川ら¹⁾、寺本ら³⁾は、最大浸水深が 15 cm を超えると床下浸水による被害が発生すると考え、そうした地域を土地利用規制の対象としていたが（床下浸水規制）、本研究では、これに加えて、床下浸水は許容し床上浸水を許容しない規制（床上浸水規制）についても検討する。すなわち、最大浸水深が 45 cm を超えると床上浸水による被害が発生すると考えて、そのような地域を床上浸水規制の対象とする。

ちなみに、当該地域で床下浸水規制を実施した場合の結果は、寺本ら³⁾が示したものとまったく同一であるが、床上浸水規制の結果との比較を容易にするため、本論文においても示すことにする。

(4) 床下浸水規制の費用便益分析³⁾

a) 規制下での立地状況の予測

雨水氾濫解析の結果から床下浸水が発生すると想定される地域を住宅地として利用することを禁止する。この土地利用規制の影響は、立地均衡モデルの基礎式の一つである、地主の住宅供給行動を表す式 (7) において、 K_j （住宅床面積供給可能量）の値を小さくすることで表現する。

図-5 は、本地域において、床下浸水規制の対象となる面積、ならびに供給可能な住宅床面積の変化を示している。住宅床面積供給可能量は、住宅地もしくは住宅地に転用が可能な土地の面積に各ゾーンの平均容積

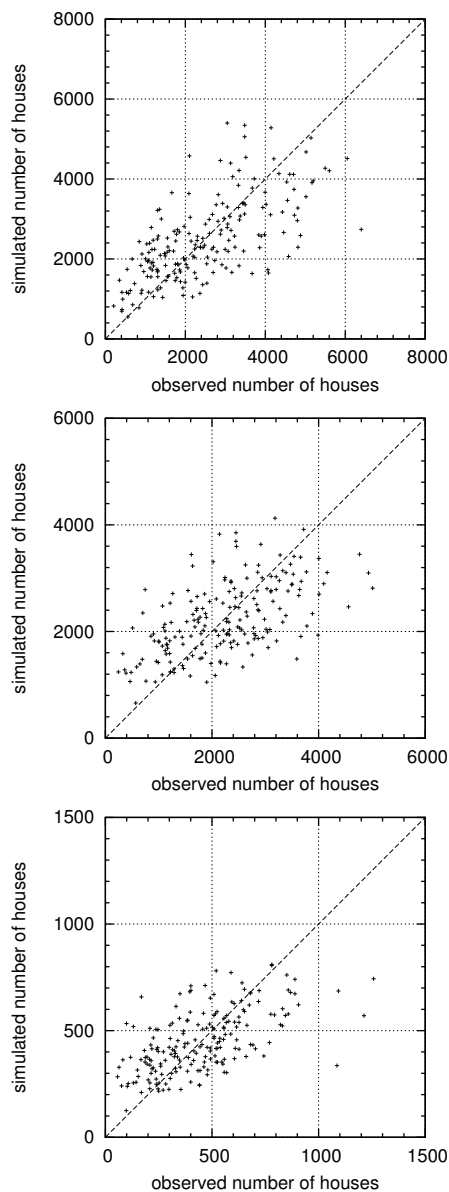


図-3 再現世帯数と現況世帯数の比較（大阪地域）：（上）低所得層，（中）中所得層，（下）高所得層

率を乗じ、すべて足し合わせて算出した。図の横軸は、雨水氾濫計算で用いた降雨事象の再現期間を表している。この図から明らかなように、降雨の再現期間が大きくなるにしたがって土地利用規制面積は増大し、住宅床面積供給可能量は減少する。すなわち、規制のレベルとしては強くなることを意味する。

図-6 は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で、再現期間 80 年の降雨を基準とした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示したものである。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

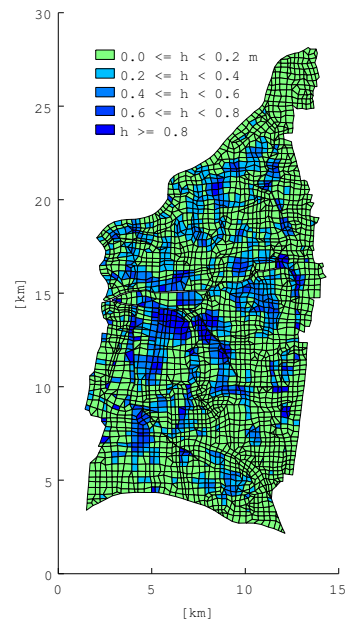


図-4 最大浸水深の分布

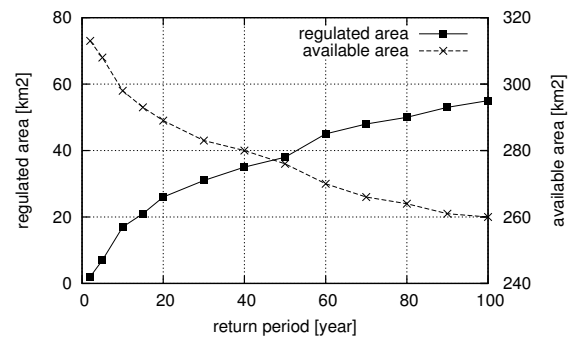


図-5 土地利用規制対象面積と住宅床面積供給可能量（大阪地域、床下浸水規制）

数が減少し、地代が上昇していることがわかる。3.(1)で示しているように、この地域は我が国でも有数の人口密集地域である。土地利用規制面積が大きく、水災害危険度が比較的高いと考えられるゾーンで世帯数は幾分減少するものの、相対的には住宅立地の需要が大きく、規制による住宅地供給量の減少の結果として地代が上昇したものと考えられる。

b) 費用便益の計測結果

床下浸水規制を実施した場合の、各所得層の一世帯が負担する一年当りの費用と全世帯の費用の総額を図-7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大きくなることがわかる。一世帯の支払額を所得層別にみると、高所得層で大きく、低所得層で小さい。土地利用規制が実施されると地代は上昇する。一般に、高所得層の世帯は大きな住宅床面積を需要することから、地代の上昇に伴う絶対額としての負担が低所得層より大きくなったと考えられる。

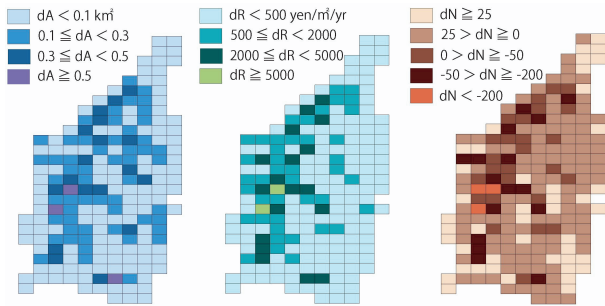


図-6 (左) 土地利用規制面積 (dA) [km^2], (中) 均衡地代の上昇額 (dR) [$\text{¥/m}^2/\text{年}$], (右) 均衡世帯数の増減 (dN) (大阪地域, 床下浸水規制)

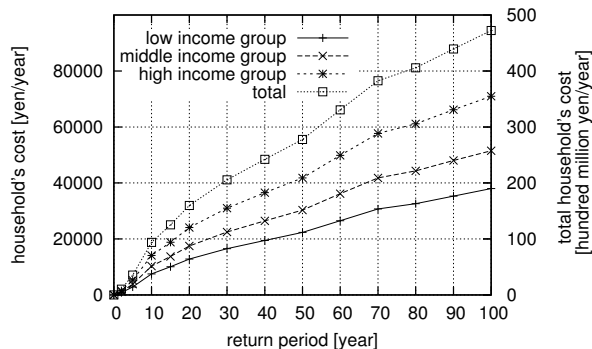


図-7 所得別の世帯の費用 (大阪地域, 床下浸水規制)

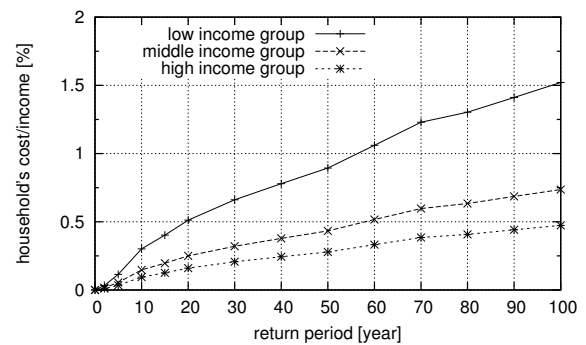


図-8 世帯の費用の所得に対する割合 (大阪地域, 床下浸水規制)

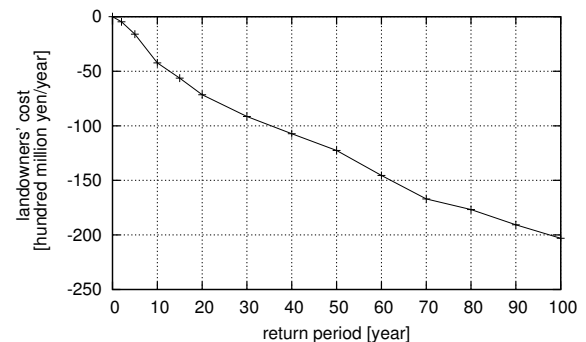


図-9 地主の費用 (大阪地域, 床下浸水規制)

しかし、これを所得に対する割合で考えると様子は異なる。図-8 は各所得層の費用が所得に占める割合を示したものである。いずれの規制レベルにおいても、低所得層の相対的負担が大きく、規制レベルが強まるとともに負担の割合が増加する程度も大きい。すなわち、相対的には低所得層に大きな負担を強いることになる。

地主の費用は、土地利用規制をしていない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である。大阪地域で床下浸水規制を実施した場合の地主の費用を 図-9 に示す。地主の費用はマイナスに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になる。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大している。

土地利用規制の便益は、水災害被害額の減少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を水害統計¹⁰⁾を参考にして算出し、その差から土地利用規制によってどの程度水災害被害額が軽減されるのか調べた。図-10 に、各規制レベルの土地利用規制に対する水災害年期待被害軽減額（各所得層の一世帯当りの額と全世帯の総額）の推移を示す。もっと

も弱い規制である再現期間 2 年相当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。規制レベルが再現期間で 30 年を超えると、被害軽減額は現況の期待被害額に漸近してほとんど変化しなくなる。

以上に示した、大阪地域における床下浸水規制に伴う費用と便益を比較する。図-11 は、床下浸水規制に伴う世帯の費用、地主の費用、および水災害年期待被害軽減額をまとめて表示したものである。また、水災害年期待被害軽減額から費用を差し引いた値も総便益として示されている。総便益が正ならば、社会的な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 25 年までの弱いレベルの土地利用規制を行なった場合は総便益が正であるが、それ以上は費用が大きくなり、総便益が負となっている。以上より大阪地域では、比較的高い頻度で床下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といえる。また、再現期間 25 年を超えた床下浸水規制は過剰であることが明らかとなった。

(5) 床上浸水規制の費用便益分析

a) 規制下での立地状況の予測

雨水氾濫解析によって床上浸水が発生すると予想される地域の土地利用を規制した場合の費用便益を分析

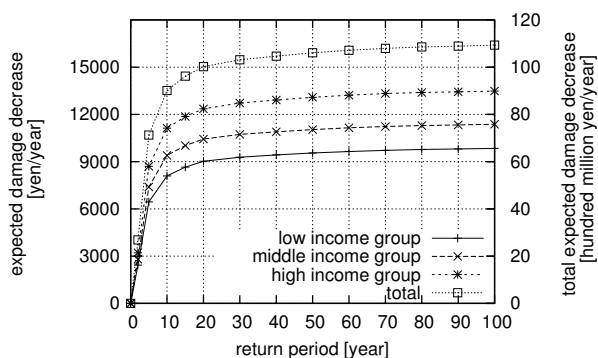


図-10 土地利用規制に伴う水災害年期待被害軽減額（大阪地域、床下浸水規制）

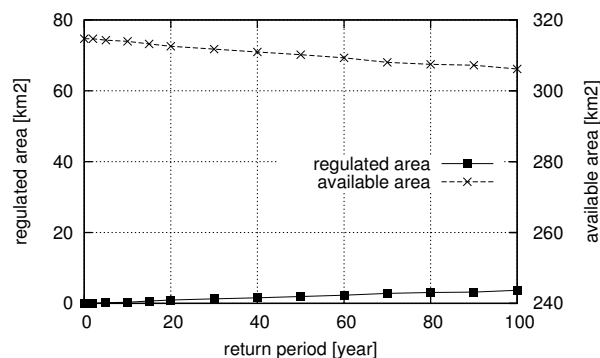


図-12 土地利用規制対象面積と住宅床面積供給可能量（大阪地域、床上浸水規制）

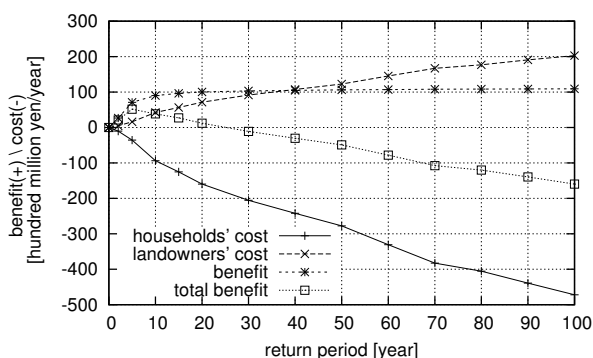


図-11 土地利用規制に伴う費用・便益・総便益（大阪地域、床下浸水規制）

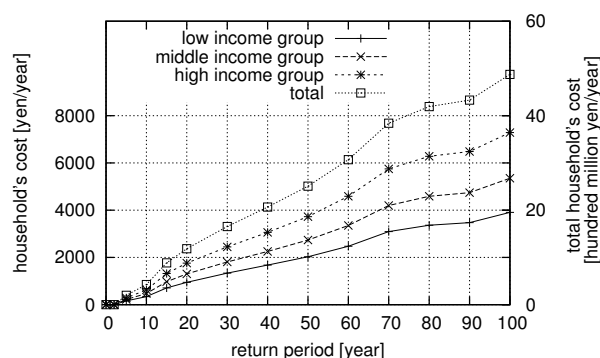


図-13 所得別の世帯の費用（大阪地域、床上浸水規制）

する。図-12 は床上浸水が生じる土地の利用を規制した場合の規制対象面積と住宅床面積供給可能量を示している。一般に、同じ再現期間の降雨事象であっても、床上浸水の発生地域は床下浸水の発生地域に比べてはるかに小さい。この図においても、床上浸水の発生が予想されて土地利用規制の対象となった地域は、床下浸水規制の対象となった地域の約 1/10 にとどまった。再現期間 100 年の降雨事象を基準とした場合でも、床上浸水規制面積は流域面積の 1 % 程度である。

b) 費用便益の計測結果

図-13 は、大阪地域において床上浸水規制を実施した場合の世帯の費用を示したものである。規制面積が小さいことを反映し、床下浸水規制の場合の約 1/10 とかなり小さくなった。また、世帯が負担する費用の所得に対する割合は、床上浸水規制においても床下浸水規制と同様に低所得層の方が大きく、やはり低所得の世帯にとって相対的に負担の重いことが明らかとなった。図-14 は床上浸水規制に伴う地主の費用を示したものである。床下浸水規制と同様、地主の費用は負になっており、土地利用規制が実施されると地主は利益を得ることになる。ただし、床下浸水規制に比べて規制面積が小さいことに伴い、その金額は小さくなっている。

図-15 は床上浸水規制による水災害年期待被害軽減額である。床下浸水規制と比べて被害軽減額は約 1/3 ～ 1/2 となっている。床下浸水規制では、比較的弱い規制の段階で水災害被害額が大きく減少したが、床上浸水規制では、規制を強めるにしたがって徐々に被害軽減額が増えている。

図-16 は、大阪地域における床上浸水規制に伴う費用と便益をまとめて示したものである。本規制を実施した場合、ここで検討した規制レベルのすべてにおいて総便益は正になっており、社会的な便益が費用を上回っている。先に述べたように、床上浸水規制では規制対象の面積が床下浸水規制の約 1/10 とかなり小さく、その一方で被害額の減少は約 1/3 ～ 1/2 と相対的に大きい。そのため、全体として総便益が正になったものと考えられる。ただし、その額は最大でも 20 億円/年程度であって、床下浸水規制での総便益の最大値である約 50 億円/年の半分以下である。

(6) まとめ

大阪地域の結果を以下にまとめる。床下浸水規制では、再現期間 5 年（時間 45 mm 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 25 年以上の強い規制を実施した場合は、費用が便益を上

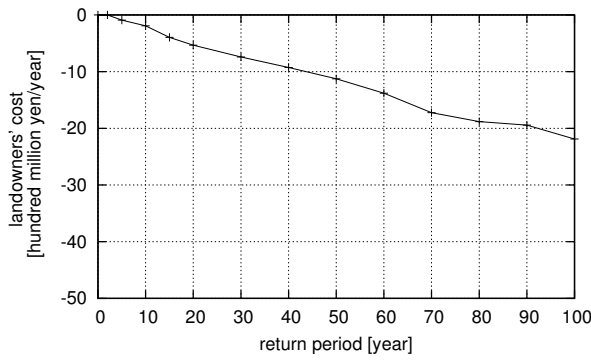


図-14 地主の費用（大阪地域、床上浸水規制）

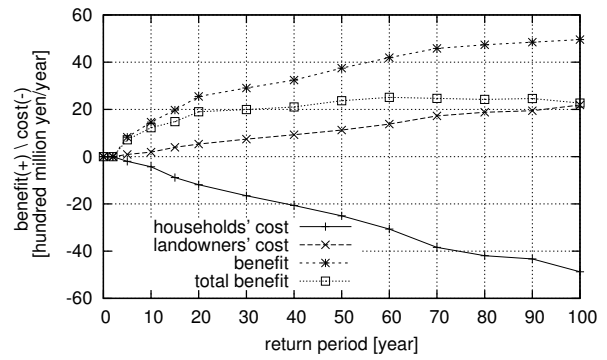


図-16 土地利用規制に伴う費用・便益・総便益（大阪地域、床上浸水規制）

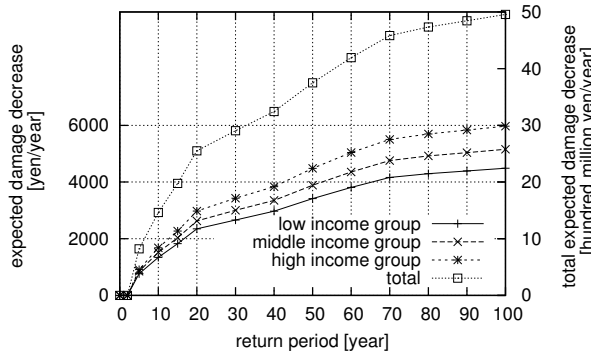


図-15 土地利用規制に伴う水災害年期待被害軽減額（大阪地域、床上浸水規制）

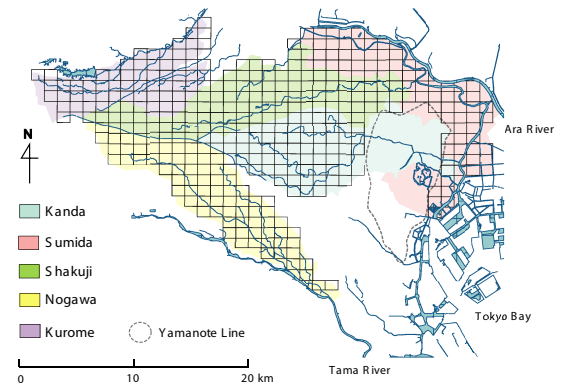


図-17 東京地域

回る結果となった。床上浸水規制では、今回検討したすべての規制レベルにおいて総便益は正となった。ただし、その額は最大で 20 億円/年程度であり、床上浸水規制での総便益の最大値よりかなり小さくなった。

4. 東京地域への適用

(1) 東京地域の概要

東京地域では、荒川と多摩川の二大河川に挟まれた地域を研究対象とする（図-17）。本地域は、神田川に代表される都市中小河川の流域から構成され、台地の浸食によって形成された谷底低地が樹枝状に分布している。そのため、本地域内の地形起伏は比較的大きく、平坦な地形の大阪地域とは地理的特性が著しく異なっている。東京地域は市街化が著しく、ひとたび雨水氾濫が発生すると非常に大きな被害が生じるため、住民の注意を喚起することを目的として、東京都¹¹⁾により浸水予想区域図が作成・公表されている。その対象となっている 9 流域のうち、本研究では分析データが収集可能であった 5 流域（神田川、隅田川、石神井川、野川、黒目川）を対象地域とした。対象地域の総面積は約 400 km²（東西約 40 km、南北約 24 km）であり、東京都の面積の約 18 %を占める。

図-17 中の矩形は第 3 次メッシュ区画であり、以下ではこれをゾーンとして扱う。全ゾーン数は 381 である。また、本地域でも大阪地域と同様に全世帯を高所得層、中所得層、低所得層に分割した。本地域の全世帯数は約 218 万世帯（平成 12 年）で、うち約 94 万世帯が低所得層、約 92 万世帯が中所得層、約 32 万世帯が高所得層と分類された。本地域の人口と人口密度は平成 12 年当時で約 476 万人、約 11900 人/km²である。

(2) 間接効用関数の定式化

東京地域では、寺本¹²⁾によって、水災害危険度が地価に影響を及ぼしていることが明らかにされており、住民が水災害危険度のある程度考慮しながら立地行動していることが示唆されている。これを考慮して、本研究においても、世帯の間接効用関数に水災害危険度を表す項を加える。水災害危険度を表す項としては様々なものが考えられるが、上述したように、東京都では浸水予想区域図が公表されているので、この図から各ゾーンにおける浸水予想面積割合を算出して用いることにした。このようにして定式化した世帯の間接効用関数が次式である。

$$V_j^i = d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j - e^i T_j - f^i D_j - h^i F_j \quad (18)$$

表-2 所得層別パラメタ推定結果（東京地域）

	低所得層 ($i = 1$)	中所得層 ($i = 2$)	高所得層 ($i = 3$)
d^i	0.520 (4.92)	0.065 (0.31)	-1.319 (-5.09)
e^i	0.032 (5.78)	0.032 (5.23)	0.026 (4.74)
f^i	0.043 (11.7)	0.027 (7.21)	0.017 (4.52)
h^i	0.016 (5.00)	0.013 (4.26)	0.015 (4.78)
R	0.647	0.582	0.650

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 j の地代 [円/㎡/年], T_j はゾーン j における最寄駅までの所要時間 [分], D_j はゾーン j における最寄駅から主要駅までの時間 [分], F_j はゾーン j における浸水予想面積割合, c^i, d^i, e^i, f^i, h^i は所得層ごとの定数である。大阪地域では工業地割合 (I_j) を間接効用関数に含めているが、東京地域ではこの項を含めても有意な関係が見られなかったことから、間接効用関数の説明変数には採用しなかった。

(3) 現況に基づく立地均衡モデルの同定

a) 同定に使用したデータ

東京地域における立地均衡モデルのパラメタ同定に使用した各データの作成方法は、ゾーンの浸水予想面積割合 (F_j) を除いて大阪地域の場合と同様である。ゾーンの浸水予想面積割合は、先に述べた通り、東京都の浸水予想区域図から算出した。

b) 立地均衡モデルの同定結果

重回帰分析で推定した間接効用関数のパラメタの値を表-2に示す。括弧内の数値は各係数に対する t 値である。いずれの所得層においても、重相関係数は0.6前後であった。低所得層で高い重相関係数を得たのは大阪のケースと同様である。大阪地域と異なっているのは、高所得層に対する d^i の値が負となっている点である。 d^i の値が負となると、効用関数の性質から、 e^i の値も負となる。これは、地代が高いほど効用が高いということになり、一般的な価値基準とは矛盾することを意味する。つまり、ここで用いた効用関数では、東京地域の高所得層の立地行動を説明できていないということになる。おそらく東京地域の高所得層は、最寄駅までの所要時間などの一般的な指標とは異なる別の要因も考慮に入れて居住地を選択しているものと考えられる。以下では、全世帯から高所得層を除き、低所得層と中所得層のみを対象として検討することにする。具体的には、高所得層が利用している宅地面積を対象地域の全面積から差し引き、あたかも対象地域を高所得層以外の世帯だけで利用しているかのように考える。実際には、高所得層の立地行動がそれ以外の世帯の立地行動にも間接的に影響しているはずだが、ここでは

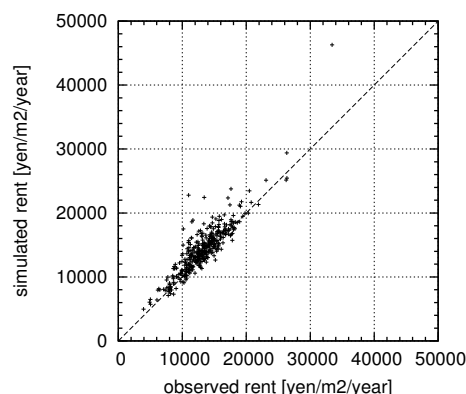


図-18 再現地代と現況地代の比較（東京地域）

それを無視することになる。

図-18は高所得層を考慮しない立地均衡モデルによって算定された各ゾーンの均衡地代と現況地代の比較、図-19は世帯数の再現値と現況値の比較を示したものである。均衡地代は現況とよく一致している。世帯数については全体的な傾向が再現されている。地代や立地量は、今回無視している高所得層の立地行動によっても影響されているはずであり、ここに示した結果は厳密なものとはいえないが、大阪地域と同程度の再現性を有していることから、今回の取り扱いが合理的であると判断する。ただし、以下で示す結果には高所得層の費用・便益が含まれていないことに注意する必要がある。

(4) 雨水氾濫解析

東京地域の水災害危険度の評価は、直交座標系浅水方程式に基づく一般的な平面二次元氾濫流解析（たとえば土木学会¹³⁾など）によって行なう。

水災害危険度の評価に先立ち、まず、氾濫解析モデルにおける流出率と下水道排水能力の値を決定した。具体的には、流出率と下水道排水能力の値を段階的に変えて雨水氾濫計算を繰り返し、実績浸水図と比較した。その結果、流出率を85%、下水道排水能力を30 mm/hrとしたときに最も再現性がよかったため、これらの値を採用した。東京都¹⁴⁾によると、当該地域の市街化率は80～95%で、上記の流出率の値と同程度である。また、30 mm/hrという下水道排水能力の値も、現況の下水道整備状況と比較して妥当といえる。

東京地域の雨水氾濫解析に使用する降雨データは、アメダス確率降雨量計算プログラム¹⁵⁾を用いて作成した。これは、全国のアメダス降雨データから、各アメダス観測地点における確率降雨強度式を作成したものである。確率降雨強度式には次のFair式を用いている。

$$I = \frac{b}{(t+a)^n} T^m \quad (19)$$

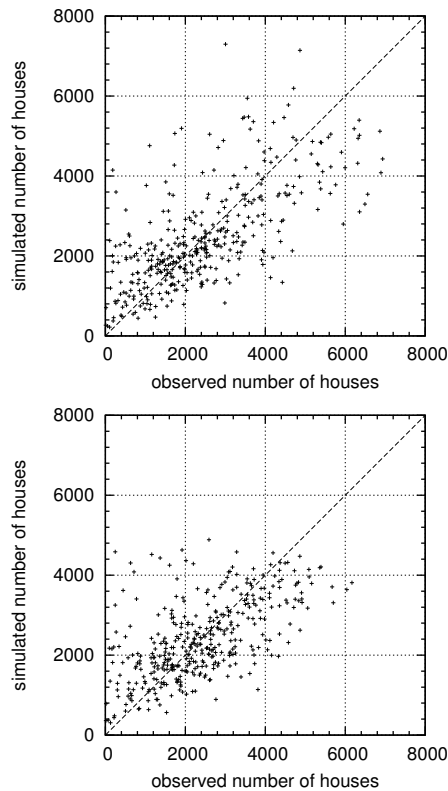


図-19 再現世帯数と現況世帯数の比較（東京地域）：（上）低所得層，（下）中所得層

ただし、 I は降雨強度 [mm/hour]、 T は再現期間 [年]、 t は降雨継続時間 [時間]、 a, b, n, m は定数である。

雨水氾濫計算に用いたのは練馬のアメダス観測地点である。練馬では、上記 Fair 式の定数として、 $a = 1.935$ 、 $b = 81.91$ 、 $m = 0.238$ 、 $n = 0.861$ が与えられている。これらを用いて、再現期間が 2 年から 100 年までの中央集中型の降雨データを作成した。図-20 に再現期間が 40 年の降雨データを示す。図-21 は、これを用いて得られた神田川周辺における最大浸水深の分布である。浸水域は河川や谷部に沿って分布しており、地形的特徴を強く反映していることがわかる。

(5) 床下浸水規制の費用便益分析

a) 規制下での立地状況の予測

各再現期間の降雨データを用いて行なった雨水氾濫解析の結果をもとに、東京地域で土地利用規制を実施した場合の立地状況をシミュレーションする。

図-22 は、床下浸水が発生する地域に対して土地利用規制を実施した場合の規制対象面積と住宅床面積供給可能量の推移を示したものである。東京地域では、再現期間が 2 年の降雨事象を基準とした場合、規制を受ける土地が発生せず、住宅床面積供給可能量は現況と同じく 379km^2 である。土地利用規制のレベルが強くと

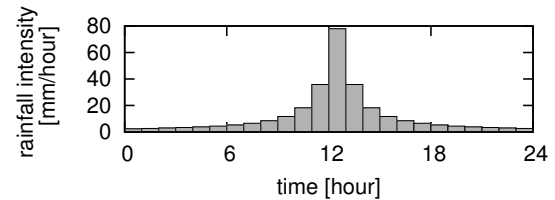


図-20 東京地域の氾濫解析に使用した降雨データ（再現期間 40 年）

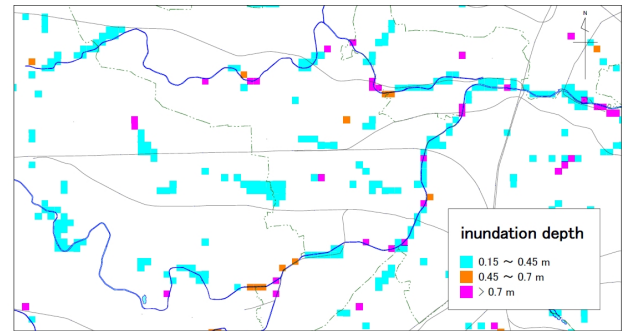


図-21 東京地域の最大浸水深の分布（再現期間 40 年）

なると、規制対象となる土地面積は次第に増加する。住宅床面積供給可能量は順次減少し、再現期間 100 年の基準では 342km^2 になる。

図-23 は、再現期間 80 年の降雨を基準とした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示したものである。地代の上昇額と均衡世帯数の増減は、土地利用規制を実施しない場合の均衡地代と均衡世帯数からの差で表現されている。

これらの図から、土地利用規制面積の大きいゾーンで世帯数が減少し、地代が上昇する傾向があることがわかる。この傾向は都心に近い地域（神田川流域など）で著しく、都心から離れた地域では、土地利用規制を実施しても世帯数があまり変化しないことがわかった。

b) 費用便益の計測結果

床下浸水に対する土地利用規制を実施した場合に世帯が負担する費用は、図-24 に示す通りとなった。土地利用規制レベルを強めるにしたがって、当然ながら世帯の負担する費用は増加する。所得別にみると中所得層の支払額が大きく、低所得層が小さいことがわかる。しかし、所得に対する費用の割合では、低所得層の方が大きくなる。再現期間 100 年を基準とした土地利用規制では、低所得層の費用割合は約 0.9 %、中所得層の費用割合は約 0.4 % となる。

図-25 は地主の費用を示したものである。地主の費用は大阪地域と同様に負となり、土地利用規制の対象となる面積が広くなるほど地主の利益は増大している。

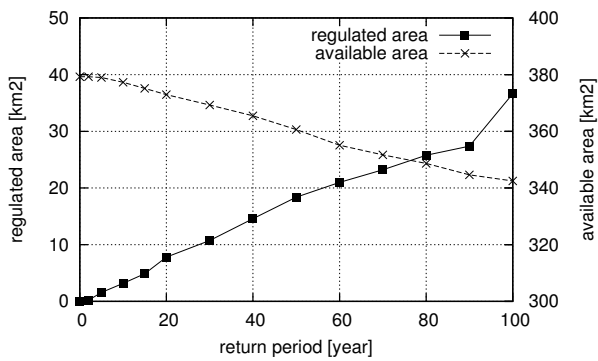


図-22 土地利用規制対象面積と住宅床面積供給可能量（東京地域、床下浸水規制）

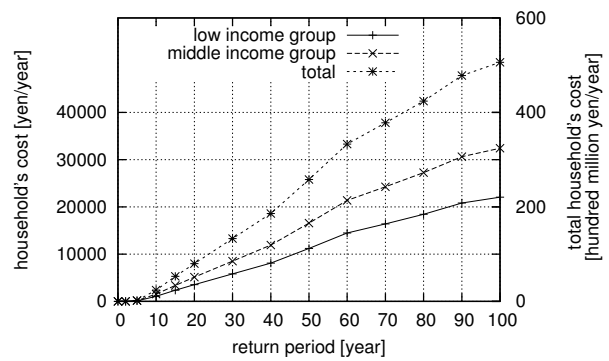


図-24 所得層別一世帯あたりの費用（東京地域、床下浸水規制）

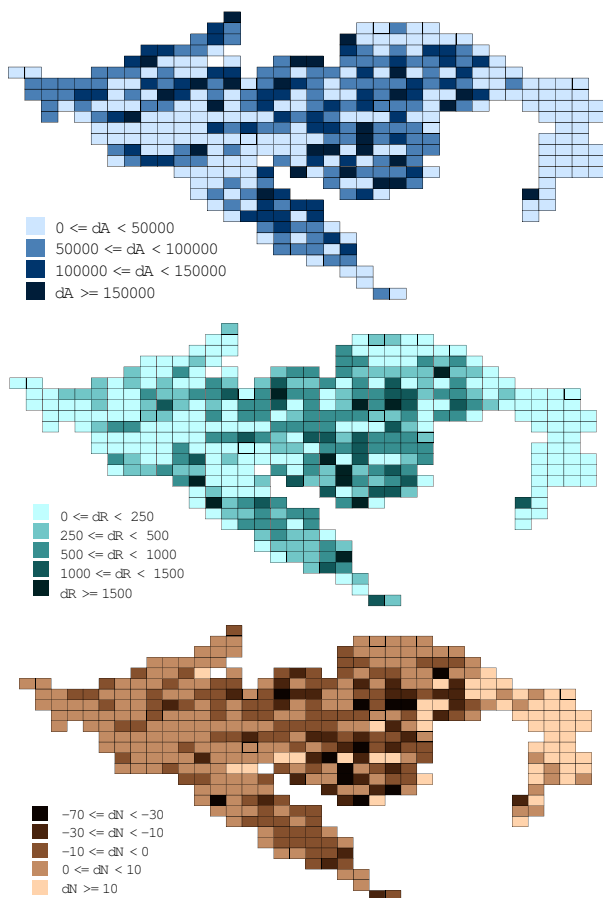


図-23 (上) 土地利用規制面積 (dA) [m^2], (中) 均衡地代の上昇額 (dR) [$円/m^2/年$], (下) 均衡世帯数の増減 (dN) (東京地域、床下浸水規制)

図-26 は東京地域の床下浸水規制に伴う水災害年期期待被害軽減額である。水災害被害軽減額の算出方法は大阪地域と同様である。再現期間 20 年の降雨を基準として土地利用規制を実施した場合、年間期待値で約 40 億円/年、低所得層の一世帯あたりで約 2000 円/年、中所得層で約 2400 円/年の被害額が軽減されると算定された。土地利用規制のレベルを強めると、水災害年期期待被害軽減額は増加するが、再現期間 20 年の降雨を基

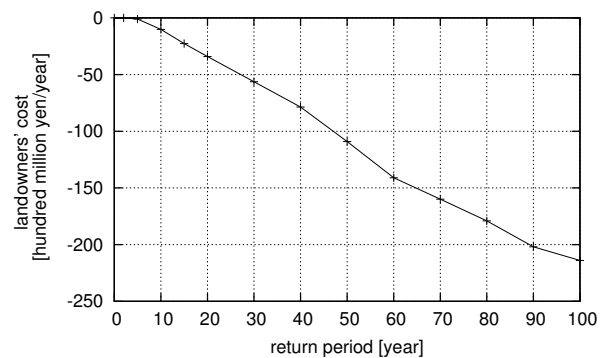


図-25 地主の費用（東京地域、床下浸水規制）

準とした土地利用規制より強い規制レベルでは、軽減される被害額はあまり大きく変化しない。また、土地利用規制による便益は、所得の高い方が大きくなった。

以上に述べた、東京地域を対象とした床下浸水規制による費用と便益を取りまとめて、図-27 に示す。本地域における床下浸水規制の総便益は、比較的弱いレベル（再現期間 5～20 年）で規制を行なった場合にわずかに正になっており、それ以外の規制では大きく負となっている。すなわち、本地域を対象として、床下浸水を許容しないような土地利用規制を実施したとしても、大きな費用対効果は期待されないことが明らかとなった。本地域は人口密度が極めて高い地域であり、河川沿いの水災害危険度が高いと考えられる地区まで高度に利用されている。このような地域で、床下浸水をも許容しない強い規制を実施すると、大きな社会的費用が発生し、全体としてはあまり得策ではなくなるものと考えられる。

(6) 床上浸水規制の費用便益分析

a) 規制下での立地状況の予測

東京地域を対象に、床上浸水を基準とした土地利用規制を行なった場合に規制の対象となる地域の面積と、それに応じて減じられる住宅床面積供給可能量を図-28

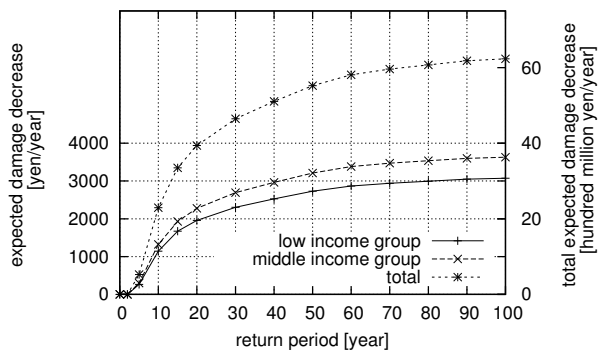


図-26 土地利用規制に伴う水災害年期待被害軽減額（東京地域、床下浸水規制）

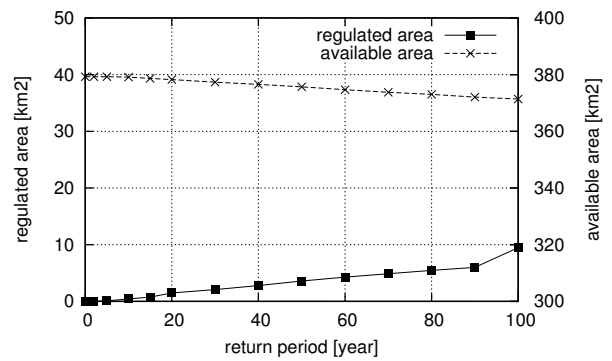


図-28 土地利用規制対象面積と住宅床面積供給可能量（東京地域、床上浸水規制）

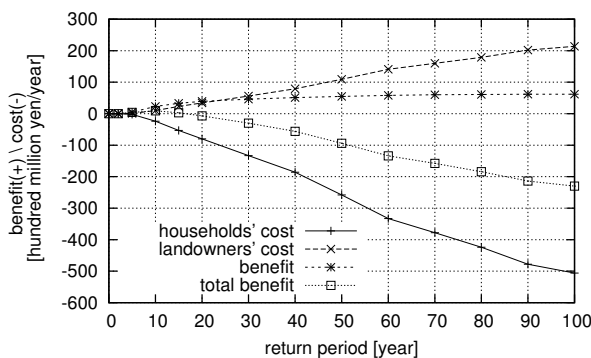


図-27 土地利用規制に伴う費用・便益・総便益（東京地域、床下浸水規制）

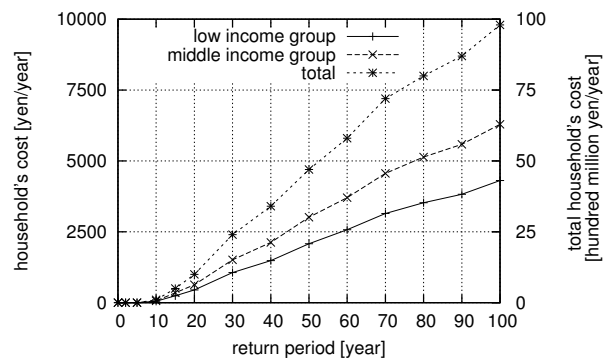


図-29 所得層別一世帯あたりの費用（東京地域、床上浸水規制）

に示す。床下浸水を基準とした場合（図-22）に比べ、規制面積は約 1/4 に減少し、再現期間 100 年の降雨事象を基準とするときでも、その規制対象となる面積は流域面積の約 2 %にとどまっている。

b) 費用便益の計測結果

床上浸水規制に伴う世帯の費用を図-29 に示す。規制面積が小さいことを反映して、世帯の費用は床下浸水規制の場合よりもかなり小さく算定された。各所得層の費用の所得に対する割合は、床下浸水規制の場合と同様に、中所得層より低所得層の方が大きかった。図-30 は、床上浸水規制に伴う地主の費用を示したものである。床下浸水規制による地主の費用と比較すると、規制面積と同様に 1/4 から 1/5 程度に減少している。

床上浸水規制による水災害年期待被害軽減額は、図-31 に示すとおりである。床下浸水規制と比較して、年期待被害軽減額は 2/3 程度となっている。年期待被害軽減額は規制レベルが強まるにつれ徐々に増加している。

東京地域で床上浸水規制を行なった場合の費用・便益・総便益を図-32 にまとめる。床上浸水規制を行なった場合は、再現期間が 20～40 年程度の降雨を対象とすると比較的大きな費用対効果が得られると期待される。また、再現期間が 60 年より大きい降雨を基準とした規

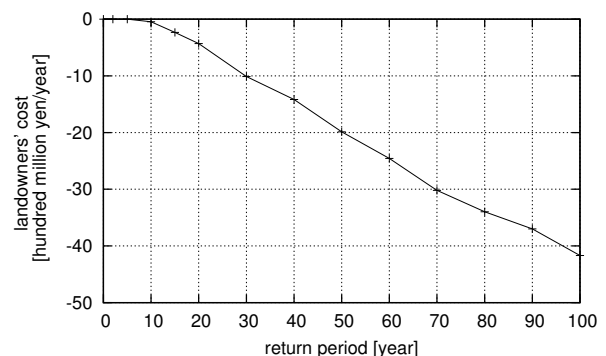


図-30 地主の費用（東京地域、床上浸水規制）

制では、社会的費用が便益を上回ることがわかった。

(7) まとめ

東京地域における床下浸水規制の総便益は、比較的弱いレベル（再現期間 5～20 年）で規制を行なった場合にわずかに正になるだけで、それ以外の規制では大きく負となった。床上浸水規制では、再現期間が 20～40 年程度の降雨を基準として規制を実施すると、比較的大きな費用対効果が得られると期待される。また、再現期間が 60 年より大きい降雨を基準とした規制では総便益が負となった。

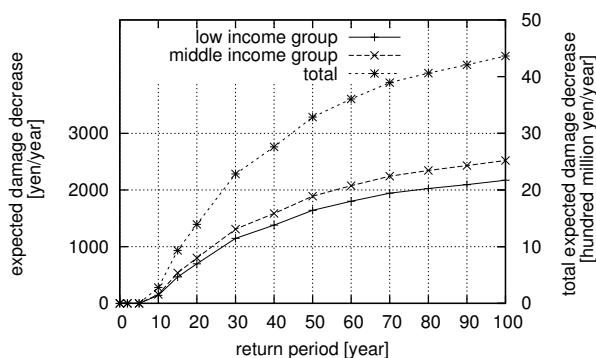


図-31 土地利用規制に伴う水災害年期待被害軽減額（東京地域、床上浸水規制）

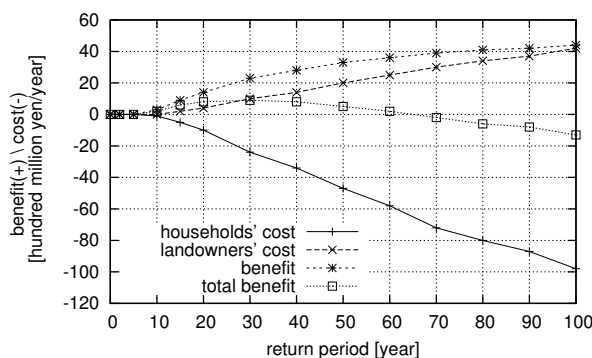


図-32 土地利用規制に伴う費用・便益・総便益（東京地域、床上浸水規制）

5. 考察

3. ならびに 4. で得られた結果に基づいて、水防災のための土地利用規制の適用性について考察する。

床下浸水規制と床上浸水規制を比較すると、大阪地域、東京地域ともに、床下浸水規制より床上浸水規制のほうが総便益が正となる範囲が広く、適用性が高いと思われる結果となった。ただし、大阪地域では、再現期間が 5 年の降雨を基準とした床下浸水規制を実施したときに、床上浸水規制の場合も含めて、総便益の額が最も大きくなった。

これは、大阪地域では、弱い降雨でも大きな浸水被害が発生することを反映している。大阪地域の床下浸水規制による水災害被害軽減額（図-10）をふりかえてみると、再現期間が 2 年ないし 5 年といった比較的弱い降雨を基準として床下浸水規制したときに、水災害被害額が大きく軽減している。つまり、裏を返せば、比較的弱い降雨でも大きな浸水被害が生じることになる。また、より強い降雨を基準として床下浸水規制を実施しても、さほど大きな被害軽減効果が得られていないことから、大阪地域では浸水被害の発生する領域が、比較的弱い降雨で浸水するようなところに限られているということがわかる。

大阪地域の床上浸水規制対象面積（図-12）をみると、再現期間が 2 ～ 5 年の降雨に対して規制の対象となっているところ（つまり床上浸水の発生するところ）はほとんどない。再現期間が 100 年の降雨を基準としても、規制対象となるところは限られている。すなわち、大阪地域では、床上浸水が発生することは少なく、被害の大半が床下浸水によって発生し、しかも、その被害も比較的限られた領域に集中している。以上より、大阪地域では、弱い降雨によって床下浸水する領域の土地利用を規制するのが効果的であると考えられる。

一方、東京地域では、床下浸水規制では総便益がほ

とんど正にならず、適用性が極めて低いが、床上浸水規制では再現期間が 20 ～ 40 年程度の降雨を基準とすると最大で 10 億円/年程度の総便益が得られることが明らかとなった。図-22 と図-28（東京地域の土地利用規制対象面積）を見比べると、当該地域は床上浸水が発生すると予想される領域が大阪地域に比べて相対的に大きく、また、図-26 と図-31（東京地域の土地利用規制に伴う水災害被害軽減額）を比較すると、当該地域では床上浸水による被害が大きな割合を占めていることがわかる。すなわち、この地域では、一定の基準の降雨による床上浸水被害を防ぐような土地利用規制を実施するのが適しているということになる。

このように、大阪地域と東京地域で望ましい土地利用規制は異なるという結果になった。至極当然のことではあるが、それぞれの地域の地理的特性や浸水被害の発生形態にあわせて水防災計画を立案すべきであるし、またそうした水防災計画の立案を支援する技術的枠組みの確立が重要であることを指摘したい。

6. おわりに

本研究では、地理的特性の異なる二つの都市域（大阪地域、東京地域）を対象に、床下浸水規制と床上浸水規制の二種類の土地利用規制を実施した場合の費用便益を評価し、これに基づいて土地利用規制の適用性について検討した。その結果、大阪地域、東京地域ともに、床下浸水規制より床上浸水規制のほうが総便益が正になりやすく、適用性が高いと思われる結果となった。ただし、大阪地域では再現期間の短い降雨を基準とした床下浸水規制が適しており、東京地域ではもう少し再現期間の長い降雨を基準とした床上浸水規制が適していることが明らかとなった。

大阪地域では、再現期間が 5 年の降雨を基準とした床下浸水規制を実施したときに、床上浸水規制の場合

も含めて、総便益の額が最も大きくなった。当該地域は起伏に乏しく平野が広がっている。そのため、床上浸水の発生が予想される領域は小さく、水災害被害は床下浸水によるものが主で、しかもその被害が生じる領域も限られている。このことから、大阪地域では、再現期間が短く比較的弱い降雨によって床下浸水する領域の土地利用を規制するのが効果的であると考えられる。

一方、東京地域では、床下浸水規制では総便益がほとんど正にならず、適用性が極めて低いが、床上浸水規制では再現期間が 20~40 年程度の降雨を基準とすると最大で 10 億円/年程度の総便益が得られることが明らかとなった。当該地域では、中小河川によって開析された谷部で床上浸水が多く発生すると予想され、また、床上浸水による被害が全被害の大きな割合を占めると算定された。このことから、東京地域では、一定の基準の降雨による床上浸水被害を防ぐような土地利用規制を実施するのが適していると考えられる。

本研究では、わが国の代表的な二大都市圏を対象として土地利用規制の適用性について検討してきたわけだが、それぞれの地域に適した土地利用規制は異なるという結果になった。これは、二つの地域の地理的特性や浸水形態の違いを反映している。一口に、土地利用規制といっても、対象とする地域の特性によって、その適用性は大きく異なる。水工施設の設置を中心とした河道対策と、土地利用規制のようなソフト的手法を含む流域管理的対策を適宜組み合わせつつ、個々の地域の特性にあわせて水防災計画を立案することが肝要であり、またそのような計画の策定と評価を可能とする技術の確立が今後の大きな課題であろう。

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。本研究で使用了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) 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.
- 2) 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.
- 3) 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費用便益評価 ―世帯所得の分布を考慮して―，土木学会論文集 B, Vol. 66, 2010.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) (社) 土木学会編：新体系土木工学 60 交通計画，技報堂出版，1993.
- 7) 森杉壽芳 編：社会資本整備の便益評価，186p，勁草書房，1997.
- 8) 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.
- 9) 大阪府土木部河川課：大阪府の計画雨量，1996.
- 10) 国土交通省河川局：平成 14 年版水害統計，503p，2004.
- 11) 東京都建設局：ホームページ，
<http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp>，2009/03/19 閲覧.
- 12) 寺本雅子，西澤諒亮，市川 温，立川康人，椎葉充晴：地価分析を用いた水災害リスクに対する住民意識の評価に関する研究，水工学論文集，第 52 巻，pp. 457-462, 2008.
- 13) 土木学会：水理公式集 [平成 11 年版]，713p，1999.
- 14) 東京都都市整備局：ホームページ，
<http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp>，2009/03/19 閲覧.
- 15) 独立行政法人土木研究所水工研究グループ：アメダス確率降雨量計算プログラム，
<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/amedas/top.htm>，2009/03/19 閲覧.

(2009. 8. 4 受付)

STUDY ON APPLICABILITY OF LANDUSE REGULATION STRATEGIES BASED ON FLOOD RISK ASSESSMENT

Masako TERAMOTO, Yutaka ICHIKAWA, Yasuto TACHIKAWA and Michiharu SHIIBA

Cost-benefit analysis of landuse regulation strategies was performed to evaluate their applicabilities. The study basins were Osaka and Tokyo regions, Japan's two largest cities. In this research, two different kinds of landuse regulation strategies were considered: landuse regulations that prohibit use of area predicted to be inundated under or above floor level with a design rainfall event. The former is called a strict regulation and the latter a weak regulation. It was deemed from results that the weak regulation had broader applicability than the strict one for both regions because net benefit of the weak regulation tended to be positive for a wide range of design rainfall events. However, for Osaka region, the strict regulation based on a design rainfall of 5 years return period was shown to be the most effective because it gave the largest net benefit in all regulations. For Tokyo region, results showed that the weak regulation had some applicability while the strict one did not; this is because economic damages in this region are mainly expected to be caused by flooding above floor level.