

水災害危険度に基づく建築規制の費用便益 評価と土地利用規制との比較

市川 温¹・寺本 雅子²・沼間 雄介³・西澤 諒亮⁴・立川 康人⁵・椎葉 充晴⁶

¹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)

E-mail: yichikawa@yamanashi.ac.jp

²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)

³非会員 新日鉄ソリューションズ株式会社 (〒 104-8280 東京都中央区新川 2-20-15)

⁴正会員 株式会社建設技術研究所 (〒 460-0003 名古屋市中区錦 1-3-18)

⁵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)

⁶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)

本研究では、大阪地域と東京地域を対象として、水災害危険度に基づいて建築規制を実施した場合に生じる費用と便益を比較することで、建築規制の利害得失や適用性について検討した。その結果、いずれの地域においても、今回検討した範囲では建築規制の総便益は正となり、建築規制は水防災対策として一定程度の適用性を有していること、大阪地域のほうが東京地域より建築規制の総便益が大きくなり、比較的少ない負担で効果的に水災害被害額を減少させることが明らかとなった。さらに、同じ地区を規制対象とする建築規制と土地利用規制を比較したところ、建築規制のほうが土地利用規制より総便益が若干大きいと同程度となることがわかった。このことから、建築規制は床下浸水を許容する土地利用規制とほぼ同程度の適用性を有していると考えられる。

Key Words : *building regulation, flood risk, cost-benefit analysis, location equilibrium, land use regulation*

1. はじめに

都市の水災害リスクを減らすためには、治水施設の整備といったハード的対策に加えて、流域の地理的状況や社会構造を考慮しつつ、流域を適切に管理していくことが望ましいと考えられる。端的に言えば、水災害のような問題は、流域水循環と人間活動が整合していないところで発生する。これまでの、流域水循環のあり方を人間活動に合わせて変更することでその不整合を解消することが多かったわけだが、高密度に集積する人間と資産を収容し、利便性・快適性・安全性を高い次元で両立させるためには、問題の局所的な解決だけでは不十分であり、長期的な視点から新たな流域のあり方とその実現方策についても模索する必要がある。

上述の観点から、筆者らはこれまでに、土地利用規制や建築規制といった流域管理的治水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^{1),2)}。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している。この手法は、土地利用規制が世帯に与える影響を、所得の多寡に応じて評価することが可能である。寺本ら^{3),4)}は本手法を用いて大阪と東京の二大都市圏における土地利用規制の適用性について分析している。

本研究は、寺本ら³⁾が提案した土地利用規制の費用便益評価手法を建築規制の費用便益評価に応用し、建築規制の利害得失・適用性について検討する。また、同一地域での土地利用規制の評価結果と比較し、いずれの流域管理的対策が対象地域に適しているか検討する。

2. 建築規制の費用便益評価手法

(1) 手順

本研究で用いる建築規制の費用便益評価手法は、市川ら¹⁾、沼間ら²⁾、寺本ら³⁾と同様に大きく

- (a) 雨水氾濫解析による水災害危険度の評価
- (b) 建築規制下における立地状況の予測
- (c) 建築規制に伴う費用便益の計測

の三段階に分かれている。

まず、対象地域において様々な規模の降雨事象に対する雨水氾濫解析を行ない、各地区の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。降雨波形は中央集中型とし、降雨強度は流域内で空間的に一様とする。

つぎに、建築規制を実施した場合の立地状況を、立地均衡モデルで予測する。立地均衡モデルとは、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一致するという条件（立地均衡条件）のもとで、地代（家賃）と立地量を算定するモデルのことである。建築規制が実施されれば、地主は不動産資産の供給行動をその規制にあわせて変更すると予想される。その結果、不動産資産の需給バランスが変化し、立地状況も変化すると考えられる。このような、建築規制に伴う立地状況の変化を、立地均衡モデルを用いて予測する。建築規制の対象となる地区は、先に求めた水災害危険度に基づいて決定する。ちなみに本研究で対象とするのは世帯の立地だけであり、企業の立地については考慮しない。

最後に、建築規制の費用（可処分所得や平常時の利便性の低下など）と便益（水災害被害額の減少）とを比較する。建築規制を実施することで地代は上昇し、また一世帯あたりの住宅床面積は小さくなることが予想される。すなわち、世帯の可処分所得は減少し、利便性も低下する。このマイナスの効果を金銭的に評価したものを建築規制の費用と考える。一方、建築規制を実施すれば水災害被害額は減少すると予想される。この水災害被害額の減少が建築規制の便益となる。

以下、個々の手順について説明する。

(2) 雨水氾濫解析による水災害危険度の評価

先に述べたように、本研究では平面二次元非定常流モデルを用いて雨水氾濫解析を行なう。大阪地域では、川池ら⁵⁾が平面二次元非定常流モデルを基礎として開発した統合型雨水氾濫解析モデルを用い、東京地域では直交座標系浅水方程式に基づく一般的な平面二次元非定常流モデル（たとえば土木学会⁶⁾など）を用いる。

統合型雨水氾濫解析モデルは、山地部からの雨水流出と低平地の雨水氾濫を統合的に計算するものである。大阪地域では、対象地域内に明確な山地部（生駒山地）が存在するため、統合型雨水氾濫解析モデルを用いている。山地部からの雨水流出は kinematic wave モデルで、低平地の雨水氾濫過程は平面二次元非定常流モデルでそれぞれ計算される。平面二次元非定常流モデルでは、道路や河川網、住区などの形状に即した非構造格子が用いられている。また、河川網・下水道網での雨水排水過程も個別に計算される。雨水は下水道・ポンプ場を経由して河川網に排水される。下水道とポンプ場の排水能力は、川池ら⁵⁾が本モデルを開発した当時の実際の値としている。河川網下端の境界条件には大阪湾平均満潮位を与える。流域の流出率は 0.8 とする。

東京地域では、大阪地域と異なって明確な山地部がないため、対象地域全体の雨水流動を直交座標系の平面二次元非定常流モデルで計算する。対象地域を十分大きく囲むように計算領域を設定したうえで、陸地では計算領域境界を通じた水の出入りはないものとしてい

る。本モデルは大阪地域のモデルと異なり、河川網・下水道網による雨水排水過程を陽に計算していない。氾濫水は計算対象地域から東京湾に段落ちの形で排水されるものとする。また、流出率を 0.85、下水道排水能力を 30 mm/hr としたときに過去の浸水実績が最もよく再現されたため、これらの値を採用している。

(3) 建築規制下での立地状況の予測

a) 用いる立地均衡モデル

本研究で用いる立地均衡モデルは、寺本ら³⁾が開発した、複数の所得層を考慮したモデルである。このモデルは、対象地域をいくつかの領域（ゾーン）に分割し、各ゾーンごとに土地や建物の需給が一致するという条件でそれぞれのゾーンの地代と立地量を計算する。また本モデルは、所得の多寡によって世帯の立地行動は異なるという前提に基づき、複数の所得層を考慮するようになっている。以下にその基礎式を示す。

本モデルでは、世帯がある居住地を選択したときの効用（立地効用）をランダム効用理論（たとえば土木学会編⁷⁾など）に基づいて、

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

と定式化する。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、 ε_j^i は U_j^i の確率項部分である。

立地効用の確定項部分 V_j^i については、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

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

で与える。 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/㎡/年]、 c^i, d^i は定数、 $\mathbf{E}_j$ 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所要時間など）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。 $\mathbf{a}^i$ の添字 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⁷⁾。世帯の立地選択行動をロジットモデルで表現することになると、世帯の立地選択（ゾーン選択）確率は次式のように表される。

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

ここで、 P_j^i は所得層 i に属する世帯のうち何世帯がゾーン j を選択するかという確率であり、 $\sum_{j=1}^M P_j^i = 1$ である。 θ^i は立地効用の確率項が Gumbel 分布に従っ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。また、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。

各ゾーンにおいて所得層 i の世帯が需要する住宅床面積 q_j^i は、Roy の定理（たとえば中村，田渕⁸⁾など）より式 (2) から次式のように与えられる。

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

上述の諸式は世帯が住宅を需要する行動をモデル化したものであったが、これに対して地主が住宅を供給する行動もモデル化する必要がある。地主の住宅供給行動は次式で表現される。

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

ただし、 L_j はゾーン j における住宅床面積供給量 [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 [円/ m^2 /年] で、地主の定めた地代の最低額に相当する。上式は、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という地主の行動様式を表している。また、多くの地主は、地代の最低額を決めていて、実際の地代がその額より少しでも高くなければ住宅を供給しないという前提になっている。

以上の式 (2)～(7) と、世帯の住宅需要量と地主の住宅供給量とが各ゾーンごとに一致するという立地均衡条件

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

が本研究で用いる立地均衡モデルの基礎式である。実際には、式 (2)～(7) を式 (8) に代入して得られる M 元の非線形連立方程式を解き、未知数である各ゾーンの地代 $R_j (j = 1, 2, \dots, M)$ を求める。この地代を均衡地代とよぶ。各ゾーンに立地する世帯の数 N_j^i や立地量 $q_j^i N_j^i$ (均衡立地量) は均衡地代を用いて求められる。

b) 立地均衡モデルの同定

上述した立地均衡モデルには多数のパラメタが含まれているため、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。本研究では寺本ら^{3), 4)}が用いたデータ・手法をそのまま踏襲してモデルを同定する。

c) 想定する建築規制

本研究で想定する建築規制は、水災害危険度の高い地域では、ある指定された高さまで家屋一階部分の床面を上げなければならないとするものである。このと

き、盛土のようにして敷地全体の高さを上げるのではなく、ピロティ建築のような形態をとるものとする。

建築規制の対象とする地域、およびその地域に対する住居の嵩上げ高は、雨水氾濫解析の結果に基づいて決定する。具体的には、一般的な住宅の一階床面の敷地面からの高さを 45 cm と想定し、ある規模の降雨事象に対して雨水氾濫解析を行なった結果、最大浸水深が 45 cm 以上となって床上浸水が発生すると予想される地域を建築規制の対象とする。また、建築規制の対象となった場合、その最大浸水深に対しても床上浸水が生じないように、30 cm 単位で住居を嵩上げすることとする。たとえば最大浸水深が 60 cm と予想された地域では、住宅一階床面を 30 cm 嵩上げして敷地面から 75 cm の高さとする事で床上浸水が発生しないようにする。

d) 建築規制に対する地主の対応行動のモデル化

ある地域が建築規制の対象となると、その地域の地主は、住宅に対して嵩上げ工事を行なわねばならない。本研究では、沼間ら²⁾と同様に、住宅の嵩上げ工事にかかる費用を、地主が地代の上昇という形で回収すると仮定する。具体的には、地主が要求する最低限の地代、つまり式 (7) 中の σ_j に、嵩上げ工事に必要な費用を上乗せするという形で表現する。

この上乗せされる工事費を $\Delta\sigma_j$ [円/ m^2 /年] として、 $\Delta\sigma_j$ を次式で与えることにする。

$$\Delta\sigma_j = \frac{r \sum_k a_k h_k}{t f_j} \quad (9)$$

ただし、 r : 標準工事費単価 [円/ m^2 /m]、 k : ゾーン j の中で建築規制の対象となる地区を示す添字、 a_k : 地区 k の住宅土地面積 [m^2]、 h_k : 地区 k に対する嵩上げ高 [m]、 t : 回収年限 [年]、 f_j : ゾーン j の住宅床面積 [m^2] である。標準工事費単価とは、住宅を嵩上げするのに必要な、住宅単位面積あたり、単位嵩上げ高あたりの工事費である。本研究では沼間ら²⁾と同様に、東京都中野区が平成 17 年 12 月より実施している高床式工事助成事業⁹⁾を参考として、116,700 円/ m^2 /m と設定した。また、回収年限とは、地主が嵩上げ工事にかかる費用を回収する年限であり、ここでも沼間ら²⁾と同様に 30 年とした。

(4) 建築規制に伴う費用便益の計測

a) 建築規制に伴う費用の計測

建築規制に伴う費用は、地代の上昇による可処分所得や住宅床面積の減少による効用水準の低下という形で世帯が負担する費用と、住宅供給者としての地主が負担する費用とから構成される。

世帯の費用は、市川ら¹⁾、沼間ら²⁾と同様に、非限定等価的偏差¹⁰⁾で評価する。等価的偏差とは、何らかの

選択を行なう際に基準となる要因が、ある状態から別の状態に変化したときに、その新しい状態における効用水準を元の状態のまま得るためには、どれだけの追加所得が必要か示したものである。すなわち本研究にあてはめて考えれば、地代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追加所得ということになる。一般に、効用水準は規制後のほうが規制前より低くなるので、追加所得といっても実際には所得の低下を意味する。つまり、建築規制に伴って世帯が負担する費用ということになる。

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¹¹⁾ので、所得層 i の世帯の効用水準 S^i は、

$$S^i = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i V_j^i) \quad (10)$$

として与えられる^{7),11)}。

S^i は建築規制前後で変化する。規制前の効用水準を $S^{i,\alpha}$ 、規制後の効用水準を $S^{i,\beta}$ 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。

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

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

先に述べたように、本研究における非限定等価的偏差は、地代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追加所得（実際には所得の低下分）であるから、所得層 i の世帯に対する非限定等価的偏差（所得の低下分）を ΔY^i と書くことにすると、次式のようになる。

$$S^{i,\beta} = \frac{1}{\theta^i} \ln \sum_{j=1}^M \exp(\theta^i (d^i \ln(Y^i - \Delta Y^i) - c^i \ln R_j^\alpha - {}^t \mathbf{a}^i \mathbf{E}_j)) \quad (13)$$

上式を ΔY^i について解いて整理すると次式を得る。

$$\Delta Y^i = Y^i \left(1 - \exp \left(\frac{S^{i,\beta} - S^{i,\alpha}}{d^i} \right) \right) \quad (14)$$

ΔY^i は所得層 i に属する一世帯が負担する費用であるから、対象地域の世帯全体で負担する費用は、 $\sum_{i=1}^H \Delta Y^i \cdot N^i$ ということになる。

次に、地主が負担する費用を考える。地主は住宅の供給者であることから、建築規制に伴う地主の費用は、規制による供給者余剰の変化分として定義する¹⁾。ゾーン j の地主の供給者余剰を W_j と書くことにすると、

W_j は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} W_j &= \int_0^{\lambda_j} (\rho_j - R_j) dL_j \\ &= \int_0^{\lambda_j} \left(\rho_j - \frac{\sigma_j K_j}{K_j - L_j} \right) dL_j \\ &= \rho_j \lambda_j - \sigma_j K_j \ln \frac{K_j}{K_j - \lambda_j} \end{aligned} \quad (15)$$

ただし、 ρ_j は均衡地代、 λ_j は均衡住宅床面積である。

上記の供給者余剰を建築規制がない場合とある場合のそれぞれで算出し、その差をとったものが建築規制に伴う地主の費用ということになる。

b) 建築規制に伴う便益の計測

建築規制に伴う便益とは水災害被害額の低下のことである。建築規制による水災害被害額の低下分は、市川ら¹⁾と同様に、雨水氾濫解析の結果から、水害統計¹²⁾の家屋被害額・家庭用品被害額の算出方法を用いて計算する。すなわち、建築規制がある場合とない場合の水災害被害額を算出し、その差をとって、建築規制による水災害被害額の低下分（便益）を求める。

3. 大阪地域に対する適用結果

2. で説明した手法を大阪地域（大阪府寝屋川流域）に適用して建築規制の費用便益評価を行なった結果を示す。図-1 は本地域を示したものである。図に示すように、本地域は大阪府東部に位置しており、北を淀川、南を大和川に囲まれている。面積は約 270 km² である。本地域には寝屋川とその支川が縦横に広がっている。流域の 77 % にあたる地域（主に流域の中下流部）は地盤が河川水面より低くなっており、その地域に降った雨水は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。図中の矩形は標準地域メッシュの第 3 次メッシュ区画であり、本研究ではこの第 3 次メッシュ区画をゾーンとして扱うことにする。本研究で対象としたのは図-1 に示した 196 ゾーンである。

本地域の世帯数は約 101 万世帯（平成 12 年国勢調査）である。総務省統計局の平成 10 年住宅・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。本研究では、この年収区分を利用して、年間所得 400 万円未満を低所得層、同 400 ~ 1000 万円を中所得層、同 1000 万円以上を高所得層と定義した。そして、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

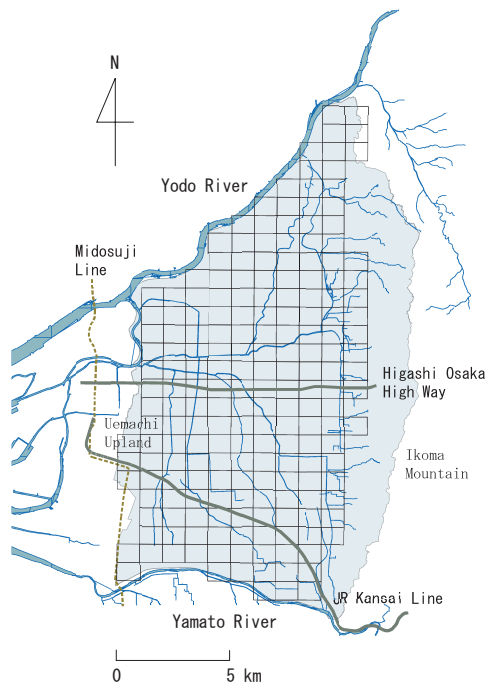


図-1 大阪地域（寝屋川流域）

表-1 所得層別パラメタ同定結果（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

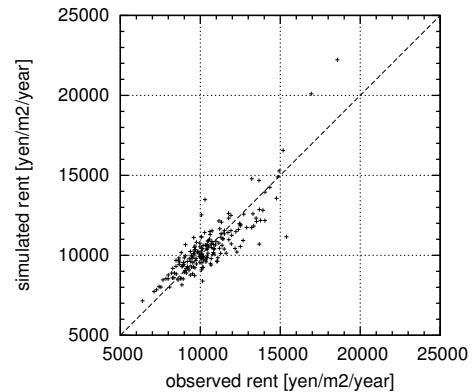


図-2 均衡地代と実際の地代の比較（大阪地域）

となった。またそれぞれの所得層の代表的所得（すなわち式(2)の Y^i ）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。

(1) 間接効用関数の定式化

本研究では式(2)に示す間接効用関数を用いることにしているが、右辺の第三項（ゾーンの地理的特性に起因する効用を表す項）については、対象とする地域に応じて定める必要がある。大阪地域に適用するにあたっては、寺本ら³⁾が定めた次式を用いることにした。

$$V_j^i = d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j - e^i T_j - f^i D_j - g^i I_j \quad (16)$$

ただし、 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/㎡/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都市中心部主要駅までの所要時間 [分]、 I_j はゾーン j において工業地が占める面積割合、 c^i, d^i, e^i, f^i, g^i は定数である。

(2) 立地均衡モデルの同定結果

2. で述べたように、本研究では寺本ら^{3),4)}が用いたデータ・手法をそのまま用いて立地均衡モデルを同定している。表-1に、式(16)に含まれるパラメタの同定結

果を示す。括弧内の数値は t 値を表し、 R は重相関係数である。図-2は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実際の地代を比較したものであり、図-3は立地均衡モデルによって算定された各ゾーンの均衡世帯数と実際の世帯数を比較したものである。均衡地代と実際の地代に関してはある程度一致しているが、それでも大きいところで数千円/㎡/年程度の誤差があり、また世帯数に関してはおおまかな傾向が再現されるところにとどまっている。立地均衡モデルの再現精度を向上させることが今後の大きな課題である。

(3) 雨水氾濫解析結果

つぎに、再現期間が2～100年の中央集中型の降雨データを作成し、これを当該地域の統合型雨水氾濫解析モデルに与えて雨水氾濫解析を行なった。その結果の一例として図-4、5を示す。図-4は再現期間が40年の降雨データであり、図-5はこれを用いて得られた最大浸水深の分布である。

図-6は、雨水氾濫解析の結果から、建築規制の対象となる地区の面積を算出したものである。横軸は雨水氾濫解析に用いた降雨事象の再現期間、縦軸は雨水氾濫解析の結果最大浸水深が45cmを超えたため建築規制の対象となった地域の面積である。最大浸水深の値に応じて、30cmの嵩上げが必要な地域と60cmの嵩上げが必要な地域を分けて示している。想定する降雨

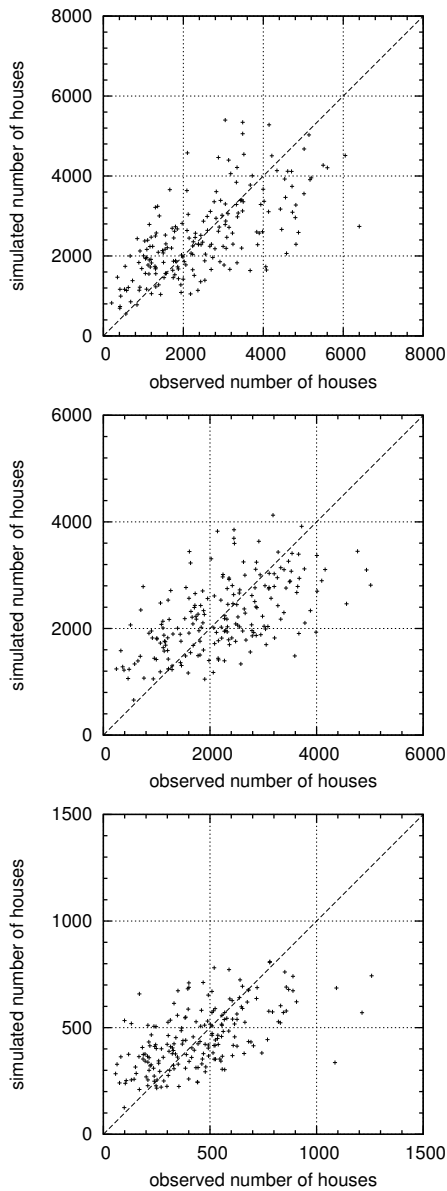


図-3 均衡世帯数と実際の世帯数の比較（大阪地域）：（上）低所得層，（中）中所得層，（下）高所得層

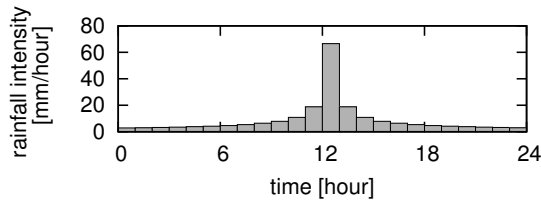


図-4 再現期間 40 年の降雨データ（大阪地域）

事象の規模が大きくなるにつれて、建築規制の対象となる地域が増えていっている。

(4) 建築規制下での立地状況の予測結果

建築規制下での立地状況の予測結果の一例として、再現期間 40 年の降雨を基準として建築規制を実施した

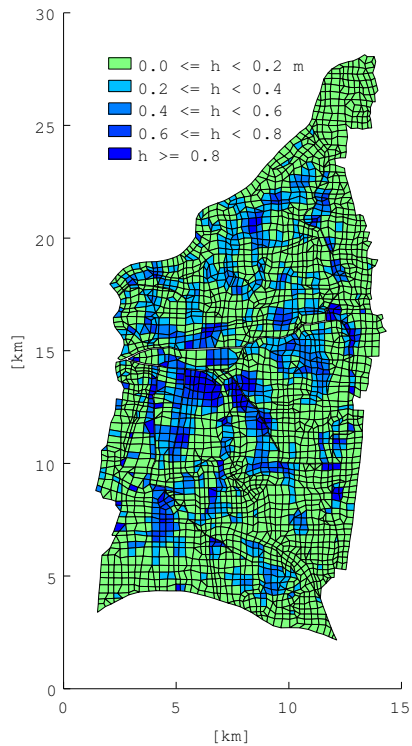


図-5 最大浸水深の分布（大阪地域）

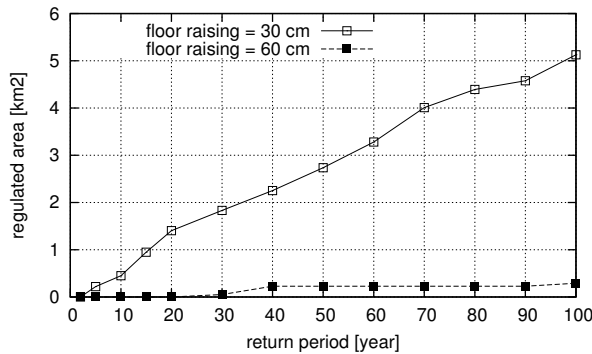


図-6 建築規制の対象となる地区の面積（大阪地域）

場合の地代上昇額を表-2 にまとめた。全 196 ゾーンのうち、地代上昇額が 100 円/m²/年を超えるゾーンはわずか 3 ゾーンであり、また地代上昇額の最大値は 180 円/m²/年だった。図-2 に示したように、本立地均衡モデルで算出される均衡地代と実際の地代との差は数千円/m²/年程度で、上記の地代上昇額と比べてかなり大きい。本研究で実施しているような分析の信頼性を高めるためにも、立地均衡モデルの精度向上は極めて重要といえる。

(5) 建築規制に伴う費用便益の計測結果

図-7 は、式 (14) を用いて算出した、建築規制に伴う一世帯あたりの費用を示したものである。左の縦軸は式 (14) で算出した値そのものであり、右の縦軸はそれ

表-2 再現期間 40 年の降雨を基準として建築規制を実施した場合の地代上昇額（大阪地域）

地代上昇額 [円/m ² /年]	ゾーン数
0~10	170
10~50	11
50~100	12
100~	3

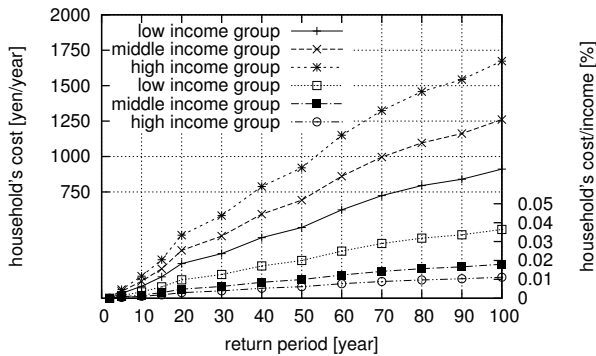


図-7 建築規制に伴う一世帯あたりの費用（大阪地域）

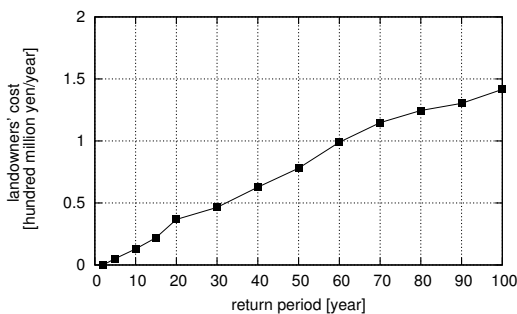


図-8 建築規制に伴い発生する地主の費用（大阪地域）

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たものである。いずれも各所得層に対して示している。これをみると、所得が高いほど大きな額を負担することになるが、所得に対する割合では低所得層ほど相対的な負担が大きくなっていることがわかる。

図-8 は、式 (15) で算出した地主の費用である。再現期間で 60 年相当の規制を実施した場合で年間約 1 億円、再現期間で 100 年相当の規制を実施した場合で年間約 1.5 億円弱という額になっている。

図-9 は、建築規制の実施によって生じる便益、すなわち、水災害被害軽減額の年間期待値を示したものである。図-7 と同様、左の縦軸が一世帯あたりの水災害年間期待被害軽減額そのもの、右の縦軸がそれを各所得層の所得で除したものである。所得が高いほど、水災害被害軽減額そのものは大きくなっている。一方、所得に対する割合は低所得層のほうが大きくなっている。

以上の結果より、大阪地域を対象とした建築規制に

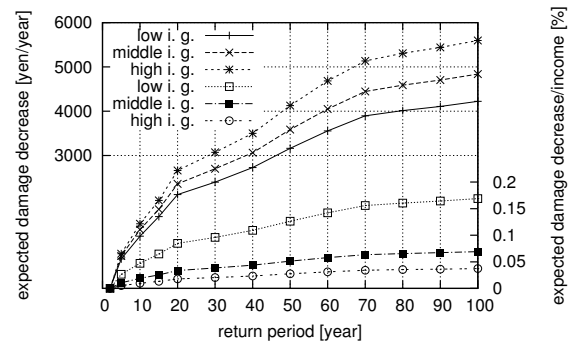


図-9 建築規制に伴う水災害年間期待被害軽減額（大阪地域）（図中の i. g. は income group の略）

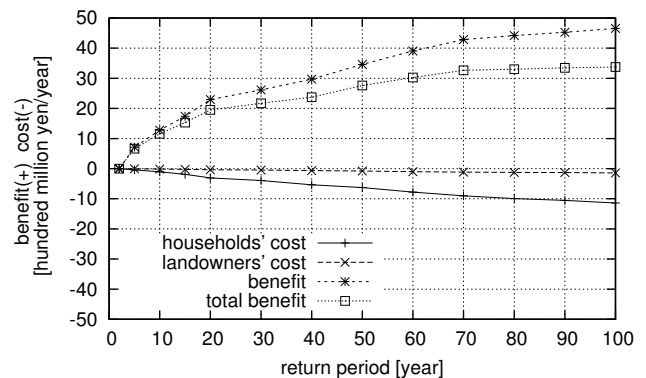


図-10 建築規制に伴う費用・便益・総便益（大阪地域）

伴う費用・便益・総便益をとりまとめたものが図-10 である。これをみると、大阪地域においては、今回検討の対象とした建築規制ではいずれも総便益が正となっていることがわかる。規制の程度を強めるにしたがって、世帯と地主のいずれの費用も増えていっているものの、規制による水災害被害額の軽減も大きくなっており、再現期間で 70 年相当の規制までは総便益が増大している。その後総便益はほぼ一定となっており、このあたりが総便益のピークのようにも思えるが、再現期間で 100 年以上の規制を実施した場合を検討していないため、その結果は定かではない。

4. 東京地域に対する適用結果

大阪地域と同様に、東京地域における建築規制の費用便益評価を行なった結果を示す。図-11 は本地域を示したものである。本地域は、神田川、隅田川、石神井川、野川、黒目川の 5 河川流域にまたがっている。面積は約 400 km² で、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。図中の矩形は 図-1 と同様、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。

本地域の全世帯数は約 218 万世帯（平成 12 年）であ

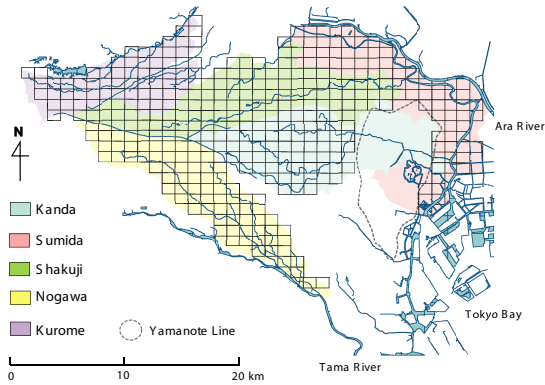


図-11 東京地域

り、大阪地域と同様のデータ・手順を用いて、約 94 万世帯を低所得層、約 92 万世帯を中所得層、約 32 万世帯を高所得層と分類した。

(1) 間接効用関数の定式化と立地均衡モデルの同定

寺本ら⁴⁾は自身らで開発した立地均衡モデルを東京地域に適用している。本研究では、寺本ら⁴⁾が定式化した次の間接効用関数を用いることにした。

$$V_j^i = d^i \ln Y^i - c^i \ln R_j - e^i T_j - f^i D_j - h^i F_j \quad (17)$$

右辺第 4 項までは式 (16) と同様で、 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/㎡/年]、 T_j はゾーン j の最寄駅までの所要時間 [分]、 D_j はゾーン j の最寄駅から都市中心部主要駅までの所要時間 [分] である。右辺第 5 項の F_j はゾーン j の浸水予想面積割合である。 c^i, d^i, e^i, f^i, h^i は定数である。

寺本ら¹³⁾によれば、本地域の住民の立地行動には水災害危険度の影響が見られるとのことであり、本研究においても立地行動の間接効用関数にゾーンの水災害危険度を表す項 F_j を含めることにした。ちなみに大阪地域では立地行動に対する水災害危険度の影響が見られない¹³⁾ことから、当該地域の間接効用関数である式 (16) には水災害危険度を表す項を含めていない。逆に、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とくに意味のある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。

表-3 は式 (17) のパラメタを同定した結果である。表-1 と同様、括弧内の数値は t 値であり、 R は重相関係数である。この表をみると、高所得層に対する d^i の値が負となっており、所得が高いほど効用が高いという通常の価値判断とは矛盾する。寺本ら⁴⁾も指摘しているが、これは、式 (17) で与えられる間接効用関数では、当該地域における高所得層の立地行動を説明できていないということを意味する。以下では、寺本ら⁴⁾と同様に、

表-3 所得層別パラメタ同定結果 (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	0.0319 (5.78)	0.0285 (5.23)	0.0255 (4.74)
f^i	0.0434 (11.67)	0.0270 (7.21)	0.0167 (4.52)
h^i	0.0157 (5.00)	0.0130 (4.26)	0.0146 (4.78)
R	0.647	0.582	0.650

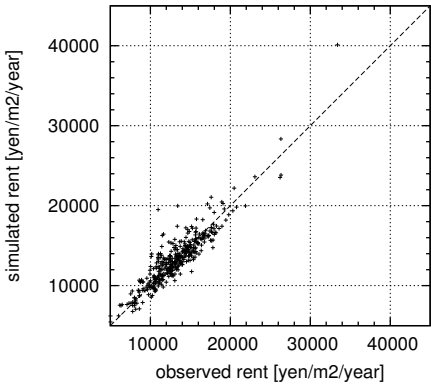


図-12 均衡地代と実際の地代の比較 (東京地域)

低所得層と中所得層に分類される約 186 万世帯のみを対象として検討することにする。すなわち、各ゾーンにおける住宅地として利用可能な面積から、各ゾーンの高所得層が占有している住宅土地面積を差し引くことで、あたかも当該地域では高所得層に分類される約 32 万世帯が存在しないかのように扱うことにする。

図-12 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実際の地代を比較したものであり、図-13 は同モデルによって算定された各ゾーンの均衡世帯数と実際の世帯数を比較したものである。本来、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、その意味で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、今回の取り扱いは合理的であると判断し、以下の分析を進めることにする。当然ではあるが、以下に示す結果には高所得層の費用・便益は含まれていないことに留意されたい。

(2) 雨水氾濫解析結果

大阪地域と同様に、再現期間が 2 ～ 100 年の中央集中型の降雨データを作成し、これを当該地域の雨水氾濫解析モデルに与えて雨水氾濫解析を行なった。雨水氾濫解析の空間分解能は 100 m とした。図-14, 15 は解析結果の一例である。図-14 は再現期間が 40 年の降

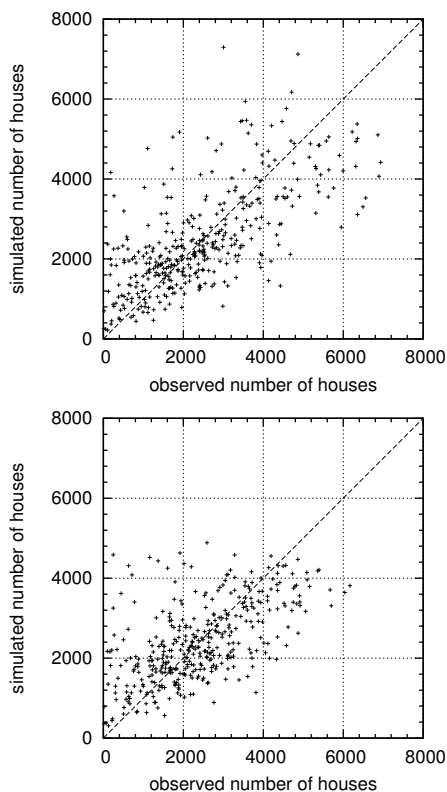


図-13 均衡世帯数と実際の世帯数の比較（東京地域）：（上）低所得層，（下）中所得層

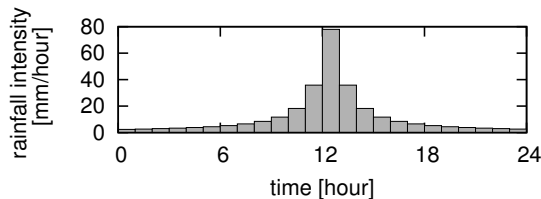


図-14 再現期間 40 年の降雨データ（東京地域）

雨データであり、図-15 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。図中の青い線が神田川の流路を示しており、色のついた矩形が氾濫解析の計算格子（100 m × 100 m）を表している。

図-16 は、雨水氾濫解析の結果から、建築規制の対象となる地区の面積を算出したものである。大阪地域（図-6）と違って、比較的小さな規模（短い再現期間）の降雨事象から 60 cm あるいは 90 cm の嵩上げをしなければならない地区が存在し、また、降雨事象が大きくなるにつれて嵩上げの対象となる地区の面積がほぼ一定の割合で増加している。東京地域では大阪地域と違って、対象地域内に比較的是っきりとした起伏があり、図-15 にも表れているように、浸水する地区は河川周辺の低地が中心となっている。すなわち、東京地域は、大阪地域のように広く浅く浸水するのではなく、河川周辺が深く浸水するという特徴を有している。

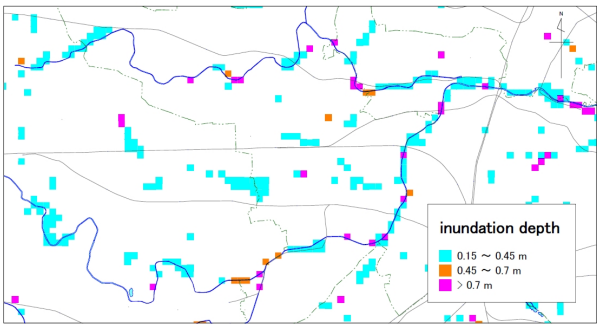


図-15 最大浸水深の分布（東京地域）

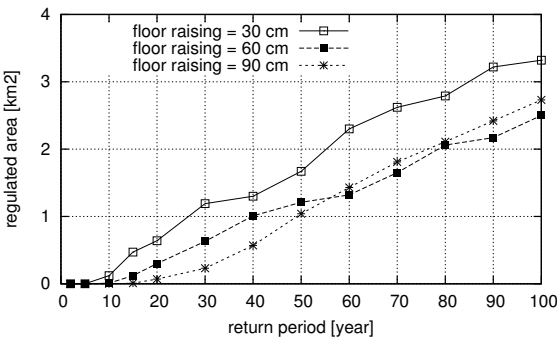


図-16 建築規制の対象となる地区の面積（東京地域）

表-4 再現期間 40 年の降雨を基準として建築規制を実施した場合の地代上昇額（東京地域）

地代上昇額 [円/m ² /年]	ゾーン数
0～10	279
10～50	85
50～100	13
100～	4

この結果、比較的弱い降雨に対しても浸水深が大きくなる地区が生じ、また降雨が強くなるにつれて深く浸水する地区が河川周辺部に一定の割合で広がっていくものと考えられる。

(3) 建築規制下での立地状況の予測結果

建築規制下での立地状況の予測結果の一例として、再現期間 40 年の降雨を基準として建築規制を実施した場合の地代上昇額を表-4 にまとめた。大阪地域と同様に、地代上昇額はさほど大きなものではない。全 381 ゾーン中、最も地代が上昇したゾーンでその上昇額は 390 円/m²/年であった。

(4) 建築規制に伴う費用便益の計測結果

図-17 は、東京地域における建築規制に伴う一世帯あたりの費用を示したものである。図-7 と同様に、左の縦軸は一世帯が負担する額そのものであり、右の縦

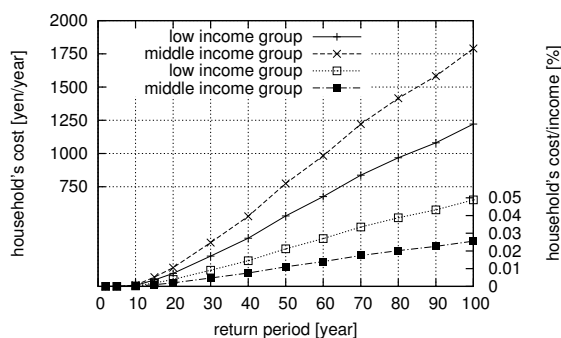


図-17 建築規制に伴う一世帯あたりの費用（東京地域）

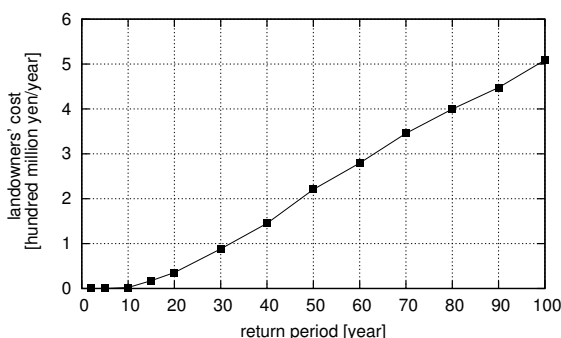


図-18 建築規制に伴い発生する地主の費用（東京地域）

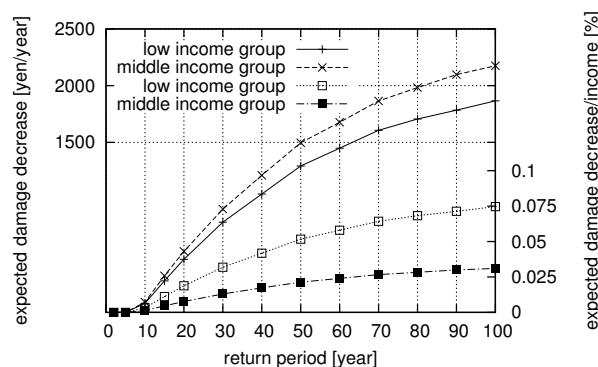


図-19 建築規制に伴う水災害年期待被害軽減額（東京地域）

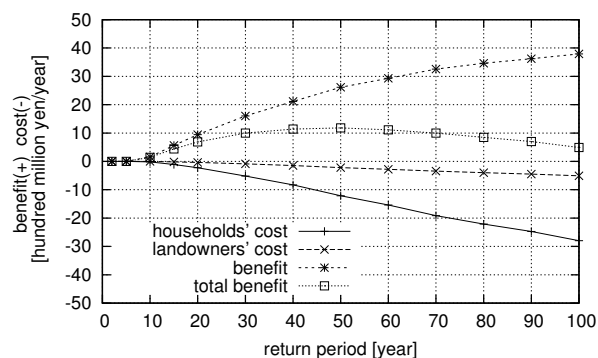


図-20 建築規制に伴う費用・便益・総便益（東京地域）

軸はそれ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たものである。これをみると、大阪地域と同じく、所得が高いほど大きな額を負担するが、所得に対する割合では低所得層ほど負担が大きいがわかる。大阪地域と比較すると、中所得層で500円/年程度、低所得層で300円/年程度負担額が大きくなっている。これは、東京地域では大阪地域に比べて建築規制の対象となる地区の多いことが原因だと考えられる。

図-18は東京地域での地主の費用である。再現期間で100年相当の規制を実施した場合で年間約5億円となっている。図-19は建築規制に伴う水災害被害軽減額の年間期待値を示したものである。期待被害額が一世帯あたり2000円/年前後減少すると予測されている。

以上より、東京地域を対象とした建築規制に伴う費用・便益・総便益をとりまとめたものが図-20である。総便益は、再現期間で50年相当の規制を実施したときに最大となっており、それより強い規制では、総便益は正ではあるものの、徐々に費用が大きくなって、総便益は低下している。

5. 考察

(1) 建築規制の適用性に関する考察

3. および4. で示した結果からまずわかることは、建築規制は水防災対策として一定程度の適用性を有して

いるということである。大阪地域、東京地域のいずれにおいても、今回検討した範囲では総便益が正となっており、社会的な便益が費用を上回っている。もちろん総便益が正であるだけではその治水対策を採用する理由になり得ないだろうし、また、建築規制だけで十分な水防災効果が得られると主張しようとするものでもない。しかしながら、本研究で示された結果から、建築規制には水防災対策としての有用性がさほど認められないと主張することもまた難しいと思われる。少なくとも、ハード的な水防災対策と組み合わせることや、治水施設の設計外力を超過するような事象に対する補完的な対策として活用することは十分に検討に値すると思われる。

つぎに、大阪地域と東京地域の結果を比較すると、大阪地域のほうが総便益の額がどの規制レベルでも大きくなっている。4.(2)で述べているように、大阪地域では東京地域に比べて浅く広く浸水する傾向があり、大きく嵩上げをしなければならない地区が少ない。その結果、比較的少ない負担で効果的に水災害被害額を減少させることができたものと考えられる。

このように、東京地域では大阪地域より建築規制の適用性が低いように思われる結果となったが、東京地域で建築規制をまったく実施する必要がない、あるいは実施してはいけないというわけでは当然ない。東京

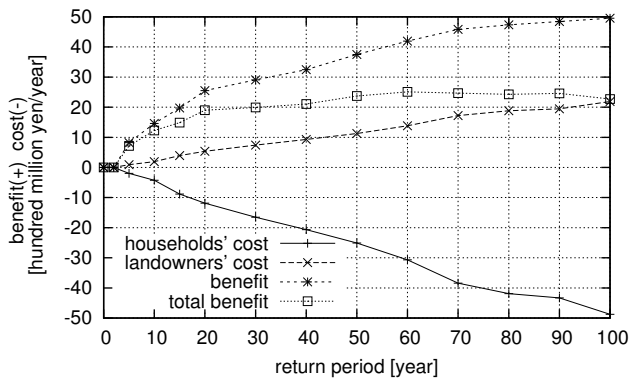


図-21 土地利用規制に伴う費用・便益・総便益（大阪地域）

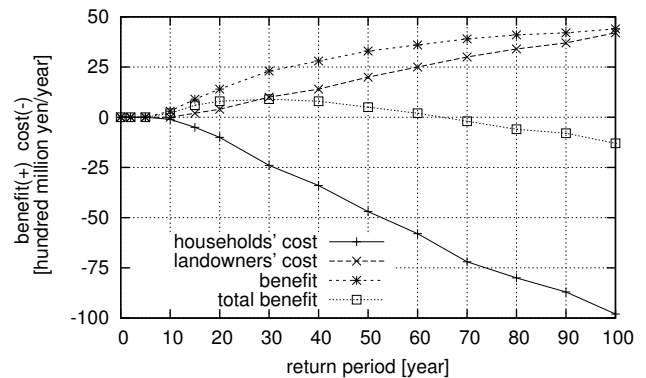


図-22 土地利用規制に伴う費用・便益・総便益（東京地域）

地域では、資産被害が極めて大きくなる床上浸水が発生する地区が多いのだから、そうした地区に対するケアがむしろ重要となってくるはずである。ハード的な施設で一定程度の水防災対策を施したうえで、これを超過する外力に対する備えとして建築規制を実施することは有益であると考えられる。

(2) 土地利用規制との比較

寺本ら⁴⁾は、本研究と同じ地域を対象として、水災害危険度に基づく土地利用規制の費用便益分析を実施している。その結果と、本研究で得られた結果を比較することで、双方の適用性について考察する。

寺本ら⁴⁾は、二種類の土地利用規制方法について検討している。すなわち、床下浸水を許容しない規制と、床下浸水は許容し床上浸水を許容しない規制である。本研究で想定している建築規制は、住居をピロティ建築のような形で嵩上げするものであるから、たとえ嵩上げしたとしても、床下への浸水はまぬがれない。したがって、本研究の結果と比較すべきは、床下浸水を許容する土地利用規制に対する結果ということになる。この場合、土地利用規制、建築規制のいずれにおいても、規制の対象となるのは床上浸水が予想される地区であり、当然ながらそれらはまったく同一の地区である。

図-21, 22 はそれぞれ、大阪地域、東京地域における、床下浸水を許容する土地利用規制に対する費用便益評価の結果である⁴⁾。これらと、建築規制に対する費用便益評価の結果である 図-10, 20 を比較すると、大阪地域・東京地域のいずれにおいても建築規制のほうが総便益が若干大きいと同程度であることがわかる。大阪地域では、再現期間が40年程度の降雨を基準とした規制までは、総便益に目立った違いはないが、それより強い規制になると建築規制のほうが総便益がわずかに大きくなっている。東京地域では、総便益の最大値は、土地利用規制、建築規制ともに10億円/年強でほ

ぼ同等である。総便益が正となる範囲は建築規制の方が広いという結果になった。以上のことから、建築規制は床下浸水を許容する土地利用規制とほぼ同程度の適用性を有していると考えられる。

6. おわりに

本研究では、わが国の二大都市圏である大阪地域と東京地域を対象として、水災害危険度に基づいて建築規制政策を実施した場合に生じる費用と便益を比較することで、建築規制の利害得失や適用性について検討するとともに、当該地域において土地利用規制を実施した場合の結果と比較することで、いずれの流域管理の治水対策が対象地域に適しているか検討した。

まず、対象地域の水災害危険度を雨水氾濫解析によって評価した。つぎに、建築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し、最後に、建築規制に伴って発生する費用（可処分所得や平常時の利便性の低下など）と便益（水災害被害額の減少）を計測し、両者を比較した。その結果、本研究で対象とした、大阪地域、東京地域のいずれにおいても、今回検討した範囲では総便益が正となり、建築規制は水防災対策として一定程度の適用性を有しているということが明らかとなった。

また、大阪地域と東京地域の結果を比較したところ、大阪地域のほうが総便益の額がどの規制レベルでも大きくなっていた。これは、大阪地域では東京地域に比べて浅く広く浸水する傾向があるため、大きく嵩上げをしなければならない地区が少なく、結果として、比較的少ない負担で効果的に水災害被害額を減少させることができたものと考えられる。

最後に、同じ地区を規制の対象とする建築規制と土地利用規制を比較したところ、大阪地域・東京地域のいずれも、建築規制のほうが土地利用規制より総便益が

若干大きいと同程度となることが明らかとなった。すなわち、建築規制政策は床下浸水を許容する土地利用規制とほぼ同程度の適用性を有していると考えられる。

わが国の都市圏では、非常に稠密な土地利用が進んでいる。そのことが水災害のような自然災害に対するリスクであると同時に、高い生産性をもたらす源泉ともなっている。本研究で示した結果は、建築規制のような緩やかな規制を用いることで、都市域に住む世帯の効用をあまり損なわずに水災害に対するリスクを低下させうることを示唆している。

現実的な観点からすれば、現在の土地利用を水災害危険度にあわせて変更していくには、かなりの時間と労力を要すると考えられる。その点、建築規制は、建物の更新にあわせて、ゆっくりではあるが確実にその効力が社会に及んでいく。実際に、近年、いくつかの自治体では、水災害危険度の高い地区における建築物の構造に関する条例を定めている。また、本研究でも参考としたが、東京都中野区⁹⁾は、規制という形ではなく、住宅の耐水化工事への経済的補助を行なうことで、水災害に対してより頑強な街を創出するための誘導策を実施している。このような取り組みは、これからの水防災を考える上で極めて重要な視座を与えるものと思われる。建築規制のような拘束力を持つ治水対策と、防災・減災行動に対する経済的インセンティブを与える対策、ならびにハード的対策を適宜組み合わせることで、公助と自助から成るバランスのよい水防災政策を展開することが可能であるだろうし、またそうした政策を立案するための基本的な考え方や技術的枠組みを整備することが今後の大きな課題であると考えられる。

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) (研究代表者：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受けました。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御提供頂きました。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) 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.
- 5) 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.
- 6) 土木学会: 水理公式集 [平成 11 年版], 713p, 1999.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 東京都中野区: 高床式工事助成事業の実施について, <http://www.city.tokyo-nakano.lg.jp/index.html>, 2009/03/19 閲覧.
- 10) 森杉壽芳 編: 社会資本整備の便益評価, 186p, 勁草書房, 1997.
- 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) 国土交通省河川局: 平成 14 年版水害統計, 503p, 2004.
- 13) 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.

(2009. 8. 4 受付)

COST-BENEFIT ANALYSIS OF BUILDING REGULATION BASED ON FLOOD RISK ASSESSMENT AND ITS COMPARISON TO LAND USE REGULATION

Yutaka ICHIKAWA, Masako TERAMOTO, Yuusuke NUMA, Ryosuke NISHIZAWA,
Yasuto TACHIKAWA and Michiharu SHIIBA

This research investigated the social costs/benefits and applicability of a building regulation strategy based on flood risk assessment. The study areas are Osaka and Tokyo regions, both of which are the highest population density areas in Japan. The investigations showed that the social benefits of building regulations exceeded the costs in both regions and the total benefit for Osaka region was larger than that for Tokyo region. This result indicates that the building regulation strategy has a degree of applicability as a countermeasure for flood hazards and it is more effective in Osaka region than in Tokyo region. The building regulation strategy was also compared to a land use regulation strategy. The results showed that the total benefit of the building regulation strategy was larger than or almost same as that of the land use regulation strategy. It suggests that the building regulation strategy has the same degree of applicability with the landuse regulation strategy.