

## 複数の洪水シナリオとコンパクト性を考慮した 最適土地利用計画およびトレードオフ構造の検討

名古屋工業大学 学生会員 ○鬼頭 征也  
 名古屋工業大学 正会員 中居 楓子  
 東北大学 正会員 大窪 和明  
 名古屋工業大学 正会員 秀島 栄三

### 1. 研究の背景および目的

将来的な人口減少や高齢化が課題となる現代の都市計画では、住まいと生活機能の近接性向上や都市機能の効率的利用が求められる。2014年の都市再生特別措置法改正では立地適正化計画制度が新たに創設され、将来的に人口密度を維持することにより、都市サービスへのアクセスを担保する居住誘導区域（以下「誘導区域」）を定められるようになった。2020年には誘導区域内に防災指針が定められるようになり、各自治体は浸水が想定される地域を誘導区域から除くか、何らかの対策を講じつつ誘導の方針を維持するか、といった判断に直面している。一般的に、誘導区域は既に市街地が形成されていること、また、洪水の頻度と経済性などの観点から除外という判断が適当でない場合もあり、浸水想定区域における方針には難しい判断が求められる。

こうした都市の利便性と災害リスク低減のジレンマを解析する既往の研究として、中居ら<sup>1)</sup>や大窪ら<sup>2)</sup>による最適土地利用モデルがある。しかし、これらのモデルでは、各用途地域が隣接する場合の効率性は明示的に考慮されていない。そこで、本研究では大窪ら<sup>2)</sup>のモデルを基に、水害を避けることによる地代減少の抑止効果に加え、用途地域を隣接させることによる地代上昇効果を考慮した場合の最適土地利用計画問題を定式化する。また、破堤位置と破堤確率が異なる複数の洪水シナリオ別に最適解を求めることで、遊水池のような破堤しやすい箇所を作った場合と破堤位置が不確実な場合の土地利用を総地代の観点から比較する。

### 2. 最適土地利用計画モデル

本研究では、地域を $n$ 個のメッシュに分割した領域とし、期待地代収入を最大化するようメッシュ $i \in I$ に住居、商業、工業、その他の用途 $k \in K$ の面積 $x_{ik}$

を配分する。1で述べた状況を表現するため (i) あるメッシュにおいて計画期間内に水害が発生すると地代が下がること、(ii) あるメッシュに隣接するメッシュの用途が同じなら土地の維持管理費用が低下すること、(iii) 土地利用を変更すると費用が掛かることを考慮した目的関数とする。

まず、(i) に関する期待地代収入の観点から見た水害抑止効果の部分目的 $D(X)$  (式(1)) は、メッシュ $i$ 自身の期待地代収入と対応する土地利用面積をかけた形とする。

$$D(x) = \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} E_p [r_{ik}^s] x_{ik} \quad (1)$$

次に (ii) に関する部分目的 $C(X)$  (式(2)) では、第一項として維持管理費用 $c_k x_{ik}$ を考え、隣り合うメッシュの用途が同じ場合に比例した維持管理費用の低減効果 $z_{ik}$ が生じると考える。ただし、 $z_{ik}$ は制約条件式(3)(4)を考える。式(3)では、他の制約条件式がなければ $z_{ik}$ は右辺の値をとり、非負のパラメータ $\alpha_k$ に比例した形で、 $i$ の維持管理費用 $c_k x_{ik}$ の一部が低減する。一方、 $z_{ik}$ が正となるのは $x_{ik}$ が正かつ $i$ に周辺と同様の土地利用がある場合だけである (式(4))。ただし $i$ が周辺から受ける影響は、 $i$ 単独の維持管理費用よりも低いと仮定した。

$$C_1(X) = \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} (c_k x_{ik} - z_{ik}) \quad (2)$$

$$z_{ik} \leq \alpha_k c_k \sum_{l \in N_i} x_{lk} \quad (3)$$

$$z_{ik} \leq c_k x_{ik} \quad (4)$$

(iii) に関する土地利用変更費用は、ある $i$ における既存の面積 $x_{ik}^o$ と配分する面積 $x_{ik}$ の差分に単位面積当たりの拡大費用 $h_k$ 、もしくは撤退費用 $d_k$ を乗じたものとする。また、これらの二つの値のうち大きい値のものを $C_2(x)$ とする (式(5))。

$$C_2(x) = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \max \{h_k(x_{ik} - x_{ik}^0), d_k(x_{ik}^0 - x_{ik})\} \quad (5)$$

以上を踏まえ、本研究で求める期待地代収入最大化モデルは、上記の式を足し合わせた式(6)となる。

$$\max_x D(x) - \{C_1(x) + C_2(x)\} \quad (6)$$

なお、メッシュに配分する面積 $x_{ik}$ の総和は現在の $x_{ik}^0$ の総和と等しくなるよう制約を置く。(式(7))

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{ik} = \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{ik}^0 \quad (7)$$

期待地代は、計画期間中に得られる地代の総和の期待値である。ここでは土地利用形態が $k$ のメッシュ $i$ について水害前の地代を $r_{ik}$ 、シナリオ $s$ 発生後の地代を $r_{ik}^s$ で表す。水害シナリオ $s \in S$ は河川の各破堤点による浸水範囲を考える。各シナリオの発生確率は $p_s$ とし、計画期間のうち、 $t = 1$  (計画期間最初の年) から $t = T$  (計画期間最後の年) のうちのどこかで1回だけ洪水が発生するものとする。地代は災害の前後でしか変化しないと仮定する。以上を踏まえ、社会的割引率を $\beta$ とおくと、計画期間を $T$ 年間とした場合の期待地代は次式で表せる。

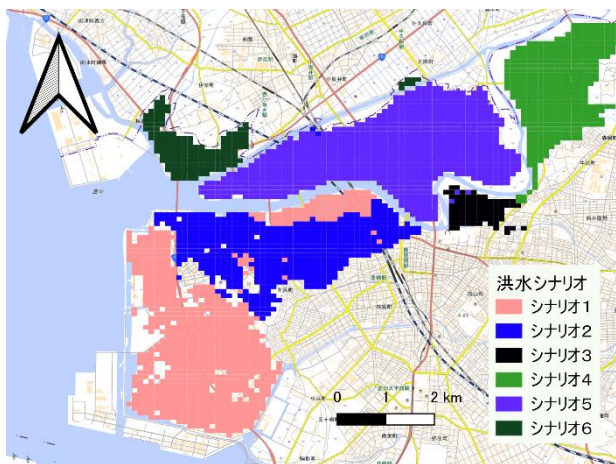


図-1 各洪水シナリオの空間分布

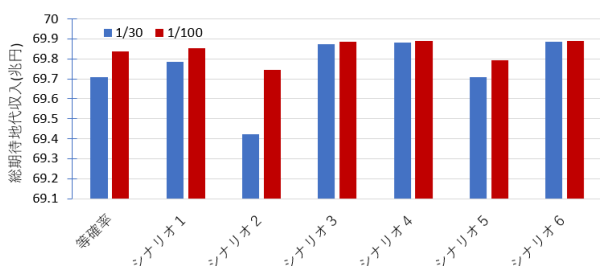


図-2 各洪水シナリオの期待地代収入  
(各年の発生確率: 1/30, 1/100 の場合)

$$E_p[r_{ik}^s] = \frac{1 - \beta^T}{1 - \beta} r_{ik} - \frac{r_{ik} - r_{ik}^s}{1 - \beta} \sum_{t=1}^T p^s (\beta^{t-1} - \beta^T) \quad (6)$$

### 3. 対象地域およびパラメータ設定

豊橋市を対象とし、豊川と豊川放水路の洪水シナリオを考える。破堤点別の浸水域は、国土地理院の浸水ナビのAPIを用いて市内各地点に最大の被害をもたらす破堤点(「最大浸水破堤点」データ)を取得したうえで、破堤点が同一となるような一体的な区域を1つのシナリオとする。この結果、対象河川では図-1に示す6つの破堤シナリオが作成された。

各年の破堤シナリオ $s$ の発生確率 $p_s$ は、超過洪水の発生確率 $p_s^H$ と破堤確率 $p_s^B$ の同時確率 $p_s = p_s^H p_s^B$ とする。ただし、今回は $p_s^H$ に1/30と1/100という2つのパターンを仮定した。また、 $p_s^B$ は破堤確率が全シナリオ一定( $p_s^B = 1/6$ )のパターンと、1点のみ破堤しやすい場合( $p_s^B = 1$ ,  $s$ 以外は1)を仮定した。

### 4. 結果および考察

図-2に各シナリオの総期待地代収入を示す。超過洪水の発生確率 $p_s^H$ が1/30(青)の場合はシナリオ間でばらつきがあったが、1/100(赤)の場合はあまり変わらなかった。つまり、洪水の発生確率が小さいなら洪水による損失があっても土地利用を変えないほうが良いといえる。流域治水施策では遊水池のような箇所を設けることが効果的と言われているが、本結果からは特定の破堤点で破堤しやすい場合(シナリオ1~6)と不確実な場合(等確率)についてシナリオ2, 5を除いてあまり差がなかった。

### 参考文献

- 1) 中居楓子, 内生蔵達也, 大窪和明: 津波リスクの低減と平常時の利便性を考慮した最適居住地域配置モデルによるトレードオフの分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.77, No.5, pp. I\_431-I\_447, 2022.
- 2) 大窪和明, 中居楓子: 複数の水害シナリオに対するロバスト最適化による土地利用計画の検討, 第66回土木計画学研究・講演集, Vol. 66, CD-ROM, Vol.66, 2022.