

災害安全性と利便性を考慮した段階的居住地域再配置モデルの開発

名古屋工業大学 学生会員 ○内生蔵 達也
 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. はじめに

2011 年 12 月に津波防災地域づくりに関する法律が制定され、地域全体で被害を減らす総合的対策を進めるための推進計画を作成できるようになった。加えて、2020 年 6 月には立地適正化計画制度の居住誘導区域内で「防災指針」が定められるようになった。これらの制度の運用にあたっては、災害からの安全性と日常生活における利便性とのバランスが重要であると考えられる。互いに相反する可能性のある複数の目的を、まちづくりにおいていかにバランスさせ、合意を形成するかは大きな課題である。

中居ら¹⁾は、Okubo et.al.²⁾をもとに、職住近接を考慮した上で、津波リスク、インフラ維持費、交通費用を最小化する居住地配置モデルを定式化し、黒潮町を対象とした数値計算を行った。また、各目的の重視度合いに応じた最適居住地配置を感度分析し、目的間のトレードオフ構造を調べた。しかし、居住地を再編する費用を考慮していないため、すぐに実現することは難しい大規模な移転が解になっている。そこで、本研究では既往のモデル¹⁾に、移転費用を加えた上で、期間内の段階的な居住地の再編を計画するモデルを提案し、諸費用の最小化の観点から優先的に再編すべき居住地域を明らかにする。

2. 最適居住地域配置モデルの定式化

(1) 目的関数の定式化

対象地域全体において、住民が居住地及び施設利用中に受ける津波リスク $D(\mathbf{X}, \mathbf{Z})$ 、土地利用に必要なインフラ維持費 $E(\mathbf{S})$ 、施設利用のための利用者の交通費用 $T(\mathbf{Z})$ 、住宅の移転費用 $C(\mathbf{X})$ の 4 つの部分目的で構成された目的関数を最小化する問題を考える。ここでは、それぞれの部分目的のみを最小化したときの値をそれぞれ D^*, E^*, T^*, C^* とする。 $\hat{D}, \hat{E}, \hat{T}, \hat{C}$ は各部分目的の改善を定義するために準拠する現状の値で、外生変数として与える。 $\hat{D}, \hat{E}$ は現状の人口分布

とインフラの整備有無に基づいて算出する。 $\hat{T}$ は高知県の通勤時間の中央値と黒潮町の人口を乗じた値とする。一方、 $\hat{C}$ は現段階では移転が行われていないため 0 となってしまう。そこで、基準値として、津波リスクの部分目的の最小値 D^* を与える最適解 $\mathbf{X}^*$ を実現するために必要な移転費用とする。以上をもとに、現状と理想との差の比率を最小化することで、各目的関数のスケールを揃える。

$$\min_{\mathbf{S}, \mathbf{X}, \mathbf{Z}} \frac{D(\mathbf{X}, \mathbf{Z}) - D^*}{\hat{D} - D^*} + \frac{E(\mathbf{S}) - E^*}{\hat{E} - E^*} + \frac{T(\mathbf{Z}) - T^*}{\hat{T} - T^*} + \frac{C(\mathbf{X}) - C^*}{\hat{C} - C^*} \quad (1)$$

(2) 変数とパラメータの定義

本モデルでは、移転の実施期間を T としたうえで、事業を開始する基準年 t_0 から各経過年数 t において段階的に人口が移転することを考える。移転前の居住地を k 、移転候補地を i で、通学、通院、仕事などの昼間の活動を a で表し、その活動を行う場所を j とする。 k, i, j はメッシュを表す。また、 t 年に k から i に移転する人口を X_{kit} 、インフラ設備の有無を $S_{it} = \{0, 1\}$ とする。学校、病院、職場などの活動 a をおこなう施設の j における配置数を Y_{jt}^a 、 i の居住者のうち活動 a のために j の施設に通う人数を Z_{ijt}^a で表す。

総津波リスク $D(\mathbf{X}, \mathbf{Z})$ は、昼間と夜間を分けて計上する。メッシュ i の夜間津波リスクは、一人当たりの津波リスク d_i をメッシュ夜間人口 $\sum_{k \in N} X_{kit}$ に乘じたものとする。昼間はメッシュ j の津波リスク d_j を、メッシュ昼間人口 $\sum_{a \in A} \sum_{i \in N} Z_{ijt}^a$ と乗じる。これらの総和と t 年における津波の発生有無 $h_t = \{0, 1\}$ を乗じた値の累積和をリスクとする。また、 r ($0 < r < 1$)を現在価値換算するための割引率とする。なお、対象期間内に津波は一回しか発生しないものとした。

$$D(\mathbf{X}, \mathbf{Z}) = \sum_{t \in T} (1 - r)^t h_t D_t \quad (2)$$

$$D_t = \sum_{i \in N} d_i \sum_{k \in N} X_{kit} + \sum_{j \in N} d_j \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} Z_{ijt}^a \quad (3)$$

インフラ維持費 $E(\mathbf{S})$ は、 i を居住地または施設として利用するために必要なメッシュあたりインフラ維持費 b_i に、インフラ設備の有無 S_i を乗じる。

$$E(\mathbf{S}) = \sum_{t \in T} (1-r)^t \sum_{i \in N} b_i S_{it} \quad (4)$$

総交通時間 $T(\mathbf{Z})$ は、メッシュ ij 間の最短移動時間 τ_{ij} と活動目的別トリップ生成量 Z_{ijt}^a を乗じた値の総和をとった下式で定義する。

$$T(\mathbf{Z}) = \sum_{t \in T} (1-r)^t \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \tau_{ij} Z_{ijt}^a \quad (5)$$

移転に必要な費用として、メッシュ k の土地買収費 c_k^l 、建物取り壊し費 c^r 、建物補償費 c^c を考慮する。移転費用 $C(\mathbf{X})$ は、移転に必要な費用にメッシュ ki 間の移転人口 X_{kit} を乗じたものとする。

$$C(\mathbf{X}) = \sum_{t \in T} (1-r)^t \sum_{k \in N} c_k \left(\sum_{i \in N} X_{kit} - X_{kkt} \right) \quad (6)$$

$$c_k = c_k^l + c^r + c^c \quad (7)$$

(3) 制約条件

制約条件として、以下式(8)～(14)を考慮する。各メッシュに配分する人口の総和は、現在($t=0$)の町の各メッシュ人口 $\sum_{i \in N} X_{ki0}$ の総和 P_0 とし(8)、人口減少を考慮しない(9)。また、メッシュ j に施設 a が配置される($Y_{jt}^a \geq 1$)なら、施設利用者数 $\sum_{i \in N} Z_{ijt}^a$ は、施設 a を維持するための最小利用者数 N^a よりも多く(10)、キャパシティ M^a を超えない(11)。活動 a のトリップ生成の頻度を l^a としてメッシュ人口 $\sum_{k \in N} X_{kit}$ と乗じた値を、メッシュ i からのトリップ生成量とし、全てのトリップはいずれか一つの活動 a を行うと仮定し、施設利用者数 $\sum_{i \in N} Z_{ijt}^a$ と一致する(12)。人口一人当たりの居住面積を f 、活動 a に必要な施設の面積を g^a としたとき、それらにかかる面積の総和は開発可能面積を超えない(13)。在宅・農業の場合は、他のメッシュに移動しないものとする(14)。

$$\sum_{k \in N} \sum_{i \in N} X_{kit} = \sum_{k \in N} \sum_{i \in N} X_{ki0} = P_0 \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{k \in N} X_{kit-1} = \sum_{i \in N} X_{kit} \quad \forall k \in N, \forall t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} Z_{ijt}^a \geq N^a Y_{jt}^a \quad \forall a \in A, \forall j \in N, \forall t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{i \in N} Z_{ijat} \leq M^a Y_{jt}^a \quad \forall a \in A, \forall j \in N, \forall t \in T \quad (11)$$

$$l^a \sum_{k \in N} X_{kit} = \sum_{j \in N} Z_{ijt}^a \quad (12)$$

$$\forall a \in A, \forall i \in N, \forall t \in T$$

$$f \sum_{k \in N} X_{kit} + \sum_{a \in A} g^a Y_{it}^a \leq F_i S_{it} \quad (13)$$

$$\forall a \in A, \forall i \in N, \forall t \in T$$

$$Z_{ijt}^{\text{在宅}} = Z_{ijt}^{\text{農業}} = 0 \quad \text{if } i \neq j \quad (14)$$

$$\forall (i, j) \in N \times N, \forall t \in T$$

3. 分析の枠組みと予想される結果

以上の式をもとに、被災が想定される地域を対象として500mメッシュ単位での数値計算を行う。また、(i) t 年における津波の発生有無 h_t を5年おきに変えた場合、(ii) 30年後に災害が発生するという仮定のもとで割引率を変えた場合の感度分析を行い、被災までの残り期間に応じた最適な移転計画の違いを明らかにする。その際、被災後は、浸水想定区域内において、1m以上浸水する地域は開発できないものとする($S_{it} = 0$)。この計算の結果として、津波が発生する時期が早ければ早いほど事前の移転人口の規模は小さくなり、被災後の移転人口が大きくなることが予想される。また、割引率が高い場合には、地震が発生する直前に移転することが予想される。

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. 2022(印刷中)。
- 2) Okubo, K., Kim, J., Okumura, M.: Sustainable land-use planning model for disaster-affected areas, Proceedings of the International Symposium on City Planning, pp. 10, 2013.