# 公共施設更新戦略が洪水避難場所に与える影響

# Renewal policy of public facilities on the accessible flood evacuation sites

須ヶ間 淳\*

#### Atsushi SUGAMA

\*地域計画学/被災地支援研究室(指導教員:奥村誠 教授)

本研究では、予算内で平常時の住民の利便性を最大化するように施設更新シナリオを設定するモデ ルと、その施設配置に対して各期の避難場所の確保状況を確認するモデルの2つを用いて、公共施設 の更新に関する戦略が、主に周辺部で発生する洪水災害からの避難場所に与える影響を分析した.施 設数削減戦略下では, 平常時の利便性と機能の維持に必要な費用の和にあまり違いが生じない場合で も、避難に与える影響が大きく異なることを示した.特に複合化戦略は浸水が想定される周辺部にも 施設を残すことを通して、避難の可能性を高めることが明らかになった.

Key Words: 施設更新戦略, 避難場所, 洪水災害

# 1. 序論

我が国では高度経済成長期に建設された大量の公共 施設が今後寿命を迎える。人口減少と年齢構成の変化 に対応し、削減や機能転換を含めた施設更新戦略を立 てる必要がある. これらの施設は、洪水発生時に一時的 に身を守るための避難場所の機能を持つものの、施設 更新に関する既往研究は平常時の機能に留まるもの 1) が多く、避難場所に関する既往研究は施設更新を考え ない短期的な検討2)が多い、本研究では、公共施設の更 新戦略のもとで施設更新の具体的なシナリオを作成し, 洪水避難場所に与える影響を考察する.

# 2. 本研究のアプローチ

本研究では小学校・中学校・病院・福祉施設の4つの 機能を取り上げ、それぞれ公立小・中学校、病床数 20 床以上の医療施設、特別養護老人ホーム等の入居型施 設に対応する.2つの学校機能をまとめて公共機能と呼 š.

本研究では、予算内で平常時の住民の利便性を最大 化するように施設更新シナリオを設定するモデルと, その施設配置に対して各期の避難場所の確保状況を確 認するモデルの2つを用いる. 前者では, 各施設更新戦 略に対応して,施設の立地・面積の経時的変化を1期か ら5期まで(1期は10年)計算する.後者のモデルでは、 先行研究 3)で許容避難距離とされる 1km 以下の移動で 避難場所に収容できる住民の比率を時期ごとに計算す る. そして, 各期を通じた平均値(平均 1km 避難可能率) を評価する. 本研究は埼玉県川越市を対象地域として 分析を行う.

### 3. モデルの構築

(1)施設更新シナリオ設定モデル

時期 $\epsilon t \in T$ , 居住地 $\epsilon i \in I$ , 機能 $\epsilon u \in U$ , 施設立地 点をj∈Jという添え字で表す. 小学校機能と中学校機 能をまとめて公共機能 $u \in U^{PUB} = \{1,2\}$ と定義する. 操 作変数として、機能別の利用人口 $ilde{p}_{t,i,u,j}$ ,各施設の床面積  $a_{t,j}$ ,機能別床面積 $\tilde{a}_{t,j}$ をそれぞれ非負の連続変数で表す. また,期ごとの施設の有無 $x_{t,i}$ ,機能別の施設の有無 $\tilde{x}_{t,u,i}$ ,

公共機能施設の有無 $x_{t,i}^{pub}$ をそれぞれ 0-1 変数で表す. 外生変数として、機能別の需要量 $P_{tin}$ 、市区町村の予算 B, 期別施設別の耐用年数の到来 $R_{t,i}^{re}$ , ij間距離 $D_{i,u,j}$ , 床 面積の施設別最大値 $A_i^{max}$ ,機能別最大値 $\tilde{A}_u^{max}$ ,機能別 最小値 $ilde{A}_{u}^{min}$ ,機能別の面積当り最大利用可能人数 $M_{u}$ , 機能別の移動費用単価 $C_u^{move}$ ,施設の維持費用単価 $C^{sus}$ , 建替え費用単価 $C^{re}$ ,割引率 $\delta$ を考える.これらの外生変 数の値は対象地域の実情に合わせて設定し、機能別に 一定距離を超える場合に、 $D_{i.u.i}$ にペナルティを加える ことで,利用許容距離を表現する.また,初期条件とし て既存床面積 $a_{0,j}$ 、 $\tilde{a}_{u,0,j}$ を設定する.

$$\min \sum_{t \in T} \delta^{t-1} \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} C_u^{move} \sum_{j \in I} D_{i,j} \cdot p_{t,i,u,j} \right.$$

$$\left. + \sum_{j \in J} C^{sus} \cdot x_{t,j} + \sum_{j \in J} C^{re} \cdot R_{t,j}^{re} \cdot a_{t,j} \right\}$$

$$\sum_{t \in T} \delta^{t-1} \left\{ \sum_{j \in J} C^{sus} \cdot x^{pub}_{t,j} \right.$$

$$\left. + \sum_{u \in U^{pub}} \sum_{j \in J} C^{re} \cdot R_{t,j}^{re} \cdot \tilde{a}_{t,u,j} \right\} \leq B$$

$$(2)$$

$$\sum_{j \in J} p_{t,i,u,j} = P_{t,i,u} \qquad \forall t \in T, i \in I, u \in U$$
(3)

$$\sum_{i \in I} p_{t,i,u,j} \le M_u \cdot \tilde{a}_{t,u,j} \qquad \forall t \in T, u \in U, j \in J$$
 (4)

$$\sum_{u \in U} \tilde{a}_{t,u,j} = a_{t,j} \qquad \forall t \in T, j \in J$$

$$a_{t,j} - a_{t-1,j} \le R_{t,j}^{re} (A_j^{max} - a_{0,j}) \qquad \forall t \in T, j \in J$$

$$(5)$$

$$a_{t,j} - a_{t-1,j} \ge R_{t,j}^{re}(-a_{0,j})$$
  $\forall t \in T, j \in J$  (7)

$$(\widetilde{a}_{t,\eta} - \widetilde{a}_{t-1,\eta}) \ge R_{t,j}(-u_{0,j}) \qquad \forall t \in \mathbf{I}, \eta \in \mathbf{J}$$

$$(\widetilde{a}_{t,\eta,i} - \widetilde{a}_{t-1,\eta,i}) \cdot (1 - R_{t}^{re}) \le 0 \quad \forall t \in \mathbf{T}, u \in \mathbf{U}, j \in \mathbf{J}$$

$$(8)$$

$$\begin{split} &(\tilde{a}_{t,u,j} - \tilde{a}_{t-1,u,j}) \cdot (1 - R_{t,j}^{re}) \leq 0 \ \forall \ t \in \textit{\textbf{T}}, u \in \textit{\textbf{U}}, j \in \textit{\textbf{J}} \\ &(\tilde{a}_{t-1,u,j} - \tilde{a}_{t,u,j}) \cdot (1 - R_{t,j}^{re}) \leq 0 \ \forall \ t \in \textit{\textbf{T}}, u \in \textit{\textbf{U}}, j \in \textit{\textbf{J}} \end{split} \tag{8}$$

$$\tilde{a}_{t,u,j} \geq \tilde{x}_{t,u,j} \cdot \tilde{A}_{u}^{min} \qquad \forall \ t \in \textit{\textbf{T}}, u \in \textit{\textbf{U}}, j \in \textit{\textbf{J}}$$

$$\tilde{a}_{t,u,j} \leq \tilde{x}_{t,u,j} \cdot \tilde{A}_{u}^{max} \qquad \forall \ t \in \boldsymbol{T}, u \in \boldsymbol{U}, j \in \boldsymbol{J}$$
 (11)

$$\tilde{x}_{t,u,j} \le x_{t,j}$$
  $\forall t \in T, u \in U, j \in J$  (12)

$$\tilde{x}_{t,u,j} \le x^{pub}_{t,j} \qquad \forall t \in T, u \in U, j \in J$$
 (13)

式(1)は目的関数であり、式(2)-(13)の制約条件の下 で移動費用と施設の維持・建替え費用の和を最小化す る. 式(2)は自治体の予算制約, 式(3)は利用者数に関す るフロー保存条件、式(4)は利用者数が施設の容量を超 えない条件, 式(5)-(11)は床面積に関する条件, 式 (12)(13)は施設がなければ機能が存在できないという 条件を表す. なお,施設の建替え・廃止は,耐用年数 を迎えた次の期の期首に行われるとする. 式(8)(9)のう ち、複合化の対象となる機能以外の $R_{t,i}$ を0に固定する ことで、複合化の対象範囲を限定する.

#### (2)避難機能確認モデル

時期ごとの施設配置シナリオに対して 1 km 以内に避難場所として洪水により水没しない公共機能の床を確保できる人口の評価を行う. 添え字として, 居住地を $i \in I$ , 施設を $j \in J$ と定義する. 操作変数として居住地別施設別の避難人口を $p_{i,j}^{eva}$ , 外生変数としてi j間距離 $D_{i,j}$ が1 km 以遠であるかを示す 0 - 1 変数 $\tilde{D}_{i,j}$ を用いる.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \widetilde{D}_{i,j} \cdot \mathcal{P}_{i,j}^{eva} \tag{14}$$

式(14)は目的関数である. 制約条件として, 避難者数 に関するフロー保存条件, 避難者数が施設の容量を超えない条件を考え, その下で 1km 以上の移動を必要とする避難者数を最小化する.

# 4. 各戦略の避難場所への影響

# (1) 施設数の削減方針に関する戦略の影響

多くの市区町村では財務的観点から施設数削減が不 可避な状況にあり、それが避難距離に重大な影響をも たらすと考えられる.まず、複合化を許さない条件下で、 維持費用単価C<sup>sus</sup>を標準値の 0.00 倍から 1.23 倍まで 0.01 ポイント刻みで動かし、施設更新シナリオを計算 する. この値が小さい場合に施設数維持戦略を, 値が大 きい場合は削減戦略を意味する. 生成した施設更新シ ナリオに対する平均 1km 避難可能率の分布を図-1 に青 線で示す. 維持戦略をとるほど避難先が増え, 避難可能 率は大きい。他方 0.83 倍よりも増加させると施設数は 減少するが、1km 避難可能率は大きく変動し、施設を 削減したほうがむしろ好転する場合もある. これは, 残 される施設数は同じでも, 施設の位置の如何により避 難への影響が大きく異なることを示している。施設更 新戦略は基本的には平常時の利便性を優先して検討さ れるが、その利便性に大きな差がないのであれば、災害 時の避難にも配慮することが望ましい. すなわち避難 に与える影響を確認することが必要である.

1km 避難可能率が突出して大きい 1.18 倍とその前後 1.15 倍, 1.19 倍における 5 期目の施設立地状況と 1km 避難可能地域 (平均避難距離が最小となる例) を図-2 に示す. 1.15 倍, 1.18 倍のケースでは周辺部の小学校が維持されること(図-2①)が, 1.18 倍, 1.19 倍のケースでは浸水想定域付近の中学校が維持されること(図-2②)が, 避難に好影響を与えている. 1.18 倍では好影響を与える要素が偶然 2 つ揃ったために 1km 避難可能率が大きくなった. しかし,複合化を許さない条件下では、小中学校が隣接して立地し(図-2③),避難場所の点では効率的とは言えない場合も多い.

# (2)複合化の範囲に関する戦略の影響

さらに、公共施設等総合管理計画等に記載されることの多い複合化の影響について分析を行う。施設更新シナリオ設定モデルの式(8)(9)の $R_{t,j}$ を変化させ、(b)公共機能間の複合化を許す戦略、(c)4機能間の複合化を許す戦略を表現し、それぞれについて前節と同様の計

算を行った. 平均 1km 避難可能率の分布を図\_1 に示す. 複合化によって, 事前の配置に限定されずに施設配置 を考慮できるため, 1km 避難可能率は向上する. この効果は, 公共機能を超えて全機能で複合化できるときにより大きくなる.

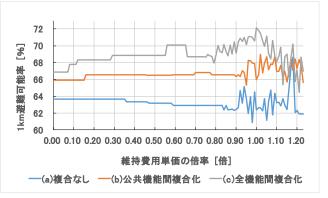


図-1 各戦略下での平均 1km 平均避難可能率

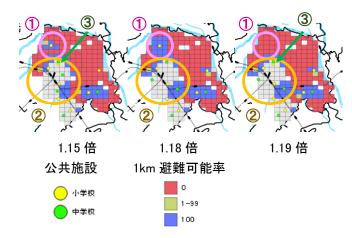


図-2 5期目の公共施設立地状況と1km 避難可能地域

### 5. 結論

以上より,施設数を削減する場合,平常時の利便性や機能の維持に必要な費用にあまり違いが生じない場合でも,避難に与える影響が大きく異なることがわかった.特に複合化戦略は浸水が想定される周辺部にも施設を残すことを通して避難の可能性を高めることが明らかになった.今後は,洪水以外の災害からの避難についての確認や,別の施設更新施略に関する分析・検討が必要である.

### 6. 参考文献

1)中村圭吾・村木美貴: 行政サービス維持の観点から見た公 共施設削減の在り方に関する研究, 都市計画論文集, VOL. 50, NO.3, PP.1004-1009, 2015

2) 小柳雄輝・有川太郎:津波避難シミュレーションを用いた 津波避難タワーの効果の検討, 土木学会論文集 B2, VOL.72, No.2, PP.I 1567-I 1572, 2016

3)小芝弘道, 片田敏孝, 及川康:河川洪水時における避難計画に対する住民の受容実態, 土木学会年次学術講演会講演概要集, PP.74-75, 1999 **(2019 年 2 月 5 日提出)**