

施設更新戦略が地域の洪水避難機能に与える影響

東北大学 学生会員 ○須ヶ間淳

東北大学 正会員 奥村 誠

1. はじめに

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一斉に寿命を迎える。人口減少と年齢構成の変化に対応し、削減や機能の見直しを含めた施設更新の戦略を立てる必要がある。その際、これらの公共施設が、洪水等の災害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ことも考慮する必要がある。本研究では、施設更新時における複合化に着目し、それが避難場所確保に与える影響を考察する。

2. 本研究のアプローチ

本研究で取り上げる機能は、小学校機能・中学校機能・病院機能・福祉施設機能の4つであり、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ぶ。医療施設、福祉施設の多くは民間施設であるが、保健医療計画や介護保険事業計画等により公共が設置や運営に関係しており、他の公共施設との複合化の例も存在することから本研究の対象に含めることとした。

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、各期の避難場所の確保状況を確認する避難機能確認モデルの2つを用いる。前者では、①機能複合化を許さない戦略、②2つの公共機能間の複合化を許す戦略、③4つの機能間の複合化を許す戦略のそれぞれに対応して、施設の立地、面積の経時変化を計算する。なお、施設の更新・廃止は、耐用年数を迎えた次の期の期首に行われるとし、複合化はその際に実施できるものとする。この計算結果を後者のモデルに与え、先行研究¹⁾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(1km避難可能率)を評価する。

3. モデルの構築

(1) 施設更新シナリオ設定モデル

定式化で用いる添え字として、時期を $t \in T$ 、居住地を

$i \in I$ 、機能を $u \in U$ 、施設立地点を $j \in J$ と定義する。機能集合 U のうち、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、機能別の施設利用人口を $\tilde{p}_{t,i,u,j}$ 、各施設の延床面積を $a_{t,j}$ 、機能別延床面積を $\tilde{a}_{t,j}$ という非負の連続変数で表す。また、期ごとの施設の有無を $x_{t,j}$ 、各機能を持つ施設の有無を $\tilde{x}_{t,u,j}$ 、公共機能を持つ施設の有無を $x_{t,j}^{pub}$ という0-1変数で表す。

外生変数として、機能別の需要量を $P_{t,i,u}$ 、自治体の予算を B 、期別施設別に耐用年数を迎えるかどうかを $R_{t,j}^{re}$ 、 ij 間距離を $D_{i,u,j}$ 、延床面積の施設別最大値を A_j^{max} 、機能別最大値を \tilde{A}_u^{max} 、機能別最小値を \tilde{A}_u^{min} 、機能別の単位面積当たり最大利用可能人数を M_u 、機能別の移動費用単価を C_u^{move} 、施設の維持費用単価を C^{sus} 、更新費用単価を C^{re} 、割引率を δ で表す。これらの外生変数の値は対象地域(埼玉県川越市)を参考に設定し、機能別に一定距離を超える場合に、 $D_{i,u,j}$ 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延床面積 $a_{0,j}$ 、 $\tilde{a}_{u,0,j}$ を設定する。

$$\min \sum_{t \in T} \delta^{t-1} \{ \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} C_{t,u}^{move} \sum_{j \in J} D_{i,j} \cdot p_{t,i,u,j} + \sum_{j \in J} C_t^{sus} \cdot x_{t,j} + \sum_{j \in J} C_t^{re} \cdot R_{t,j}^{re} \cdot a_{t,j} \} \quad (1)$$

$$\sum_{t \in T} \delta^{t-1} \{ \sum_{j \in J} C_t^{sus} \cdot x_{t,j}^{pub} + \sum_{u \in U^{pub}} \sum_{j \in J} C_t^{re} \cdot R_{t,j}^{re} \cdot \tilde{a}_{t,u,j} \} \leq B \quad (2)$$

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

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

$$a_{t,j} - a_{t-1,j} \leq R_{t,j}^{re} (A_j^{max} - a_{0,j}) \quad \forall t \in T, j \in J \quad (5)$$

$$a_{t,j} - a_{t-1,j} \geq R_{t,j}^{re} (-a_{0,j}) \quad \forall t \in T, j \in J \quad (6)$$

$$(\tilde{a}_{t,u,j} - \tilde{a}_{t-1,u,j}) \cdot (1 - R_{t,j}^{re}) \leq 0 \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (7)$$

$$(\tilde{a}_{t-1,u,j} - \tilde{a}_{t,u,j}) \cdot (1 - R_{t,j}^{re}) \leq 0 \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (8)$$

$$\tilde{a}_{t,u,j} \geq \tilde{x}_{t,u,j} \cdot \tilde{A}_u^{min} \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (9)$$

$$\tilde{a}_{t,u,j} \leq \tilde{x}_{t,u,j} \cdot \tilde{A}_u^{max} \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (10)$$

$$\tilde{x}_{t,u,j} \leq x_{t,j} \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (11)$$

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

キーワード: 施設更新戦略, 避難場所, 洪水災害

連絡先: 〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 S-502 東北大学災害科学国際研究所 TEL:022-752-2160

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・更新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)-(10)は延床面積に関する条件、式(11)(12)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、以上の定式化は③全機能間の複合化を許す戦略を表現している。①複合化を許さない戦略、②公共機能間の複合化を許す戦略は、式(7)(8)のうち、複合化の対象ではない機能に関する制約の $R_{i,j}^e$ を0に固定することで表現できる。

(2) 避難機能確認モデル

このモデルは時期ごとに 1km 以内に避難場所が確保できる人口の評価を行う。定式化で用いる添え字として、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 ij 間距離 $D_{i,j}$ が1km以上であるかを示す0-1変数 $\tilde{D}_{i,j}$ 、地点別の避難人口を P_i 、各施設の避難場所として使用可能な延床面積を a_j^{eva} と定義する。

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \tilde{D}_{i,j} \cdot p_{i,j}^{eva} \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J} p_{i,j}^{eva} = P_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} p_{i,j}^{eva} \leq a_j^{eva} \quad \forall j \in J \quad (15)$$

式(13)は目的関数であり、式(14)(15)の制約条件の下で1km以上の移動を必要とする避難者数を最小化する。式(14)は避難者数に関するフロー保存条件、式(15)は避難者数が施設容量を超えない条件を表す。

4. 複合化の効果

埼玉県川越市を対象として、3つの複合化戦略に対して更新シナリオ設定モデルを適用し、公共機能を有する施設数の推移を求めた結果を図-1に示す。また、その時の1km避難可能率の推移を図-2に示す。機能の複合化により、最大で8.5ポイントの向上がみられた。以下、本研究で扱った洪水は主に郊外部で発生することに注意して、これらの結果が生じた原因を考察する。

複合化を認めなければ、機能ごとに既成市街地を中心に多数の施設が必要となり、予算制約上、郊外部に設置できる施設数は限られるため、避難機能は小さくなる。次に、複合化を認めると、既存市街地において異なる機能を1つの施設で提供できるため、必要な施設数は減少する。予算上の余裕が生まれ、郊外部でも複数の機能を合わせて最小規模を超える施設を置くことが可能となり、避難機能の向

上につながる。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。

複合化は、財務的な観点から有用なばかりではなく、洪水避難の点でも効果があることがわかった。

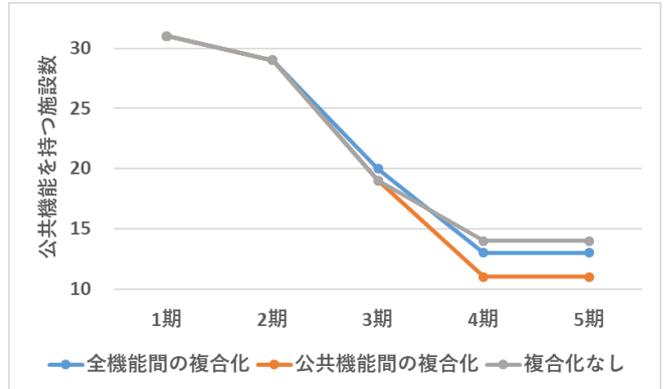


図-1 公共機能を持つ施設数の推移

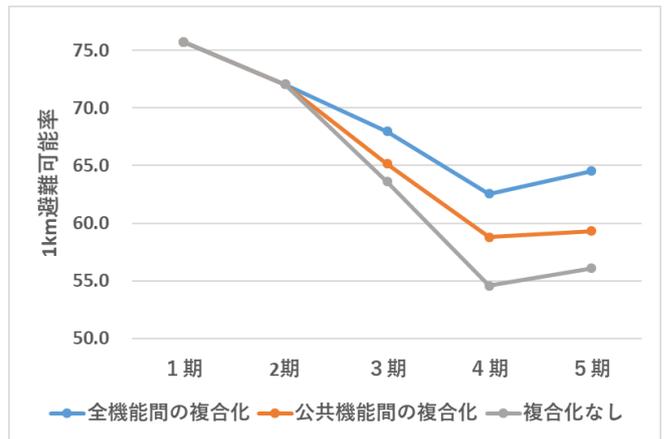


図-2 1km 避難可能率の推移

5. おわりに

本研究では、浸水想定地域と郊外部の範囲が概ね共通していたため、複合化による郊外部への施設立地可能性の増加が、避難場所の確保に好影響を与えた。今後は洪水以外の災害からの避難についても確認する必要がある。また、公共施設管理に関する各種計画には、大規模集約化など別の戦略も提案されている。これらの避難場所の確保への影響も確かめる必要がある。

参考文献

1) 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