

## 減災・復興支援技術プロジェクトユニットの目的と活動

被災地支援・受援を効率化する組織と技術の研究を行う「組織」プロジェクトエリアでは、災害直後の被災状況に関する情報の迅速な収集と解析を「災害空間情報解析ユニット」が担い、**「減災・復興支援技術ユニット」**は、それらの情報を活用して、資源、人員の活用によって減災・復興を進める方法を明らかにするための**「モデリング・計算・デザインの技術」**を研究する。2019年度は、南海トラフ地震津波、2019年10月台風19号水害を念頭に置き、不確実かつ時々刻々変化する状況下の資源、人員の活用を支援するための研究を、複数の科研費<sup>1)2)</sup>の支援を受け他機関研究者との共同研究として進めた。

## 災害時機能を考慮した公共施設の更新計画の研究

### 洪水避難機能を考慮した学校施設の更新・廃止計画の研究<sup>3)4)</sup>

- ・耐用年数を迎える小中学校の更新・廃止を検討する際、平常時の通学利便性と同時に水害発生時の住民の避難場所の機能も考慮すべきと考えて、最適更新・廃止計画の策定方法を提案した。
- ・施設の床面積を平常時の複数の機能と災害時の複数の機能に割当ての際に、各機能ごとの床面積として、需要に比例する変動部分と、固定的に必要な部分とを考慮していることが特徴的である。

表 最適施設更新計画モデルの操作変数

操作変数名	変数	種類	単位
居住地域・用途別・施設別の利用(通学)人数	$\tilde{p}_{t,i,u,j}$	$\forall t \in T, i \in I, u \in U, j \in J$	連続 人
居住地域・用途別の避難人数	$p_{t,i,j}^{ev}$	$\forall t \in T, i \in I, j \in J$	連続 人
施設の総床面積	$a_{t,j}$	$\forall t \in T, j \in J$	連続 m <sup>2</sup>
用途別の施設の床面積	$\tilde{a}_{t,u,j}$	$\forall t \in T, u \in U, j \in J$	連続 m <sup>2</sup>
避難場所に使用可能な非水没床面積	$a_{t,j}^{ev}$	$\forall t \in T, j \in J$	連続 m <sup>2</sup>
期別の施設有無	$x_{t,j}$	$\forall t \in T, j \in J$	0-1
期別・用途別の施設有無	$\tilde{x}_{t,u,j}$	$\forall t \in T, u \in U, j \in J$	0-1
期別・用途別の非水没床の有無	$x_{t,j}^{ev}$	$\forall t \in T, j \in J$	0-1

表 最適施設更新計画モデルの定式化

$$\min \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} D_{t,i,u,j} \cdot p_{t,i,u,j} \quad (1) \quad \sum_{t \in T} D_{t,i,u,j} \cdot p_{t,i,u,j} \leq \tilde{I}^{ev} \quad \forall t \in T \quad (13)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} C^{ev} \cdot x_{t,j} + \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} C^{ev} \cdot R_{t,j} \cdot \tilde{a}_{t,u,j} \leq B \quad (2) \quad \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} D_{t,i,u,j} \cdot p_{t,i,u,j} \leq I^{ev} \quad (14)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} \tilde{p}_{t,i,u,j} = P_{t,i,u} \quad \forall t \in T, i \in I, u \in U \quad (3) \quad \sum_{t \in T} p_{t,i,j}^{ev} = P_{t,i}^{ev} \quad \forall t \in T, i \in I \quad (15)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} \tilde{p}_{t,i,u,j} \leq E_u \cdot \tilde{a}_{t,u,j} \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (4) \quad \sum_{t \in T} p_{t,i,j}^{ev} \leq E_{ev} \cdot a_{t,j}^{ev} \quad \forall t \in T, j \in J \quad (16)$$

$$\sum_{u \in U} \tilde{a}_{t,u,j} = a_{t,j} \quad \forall t \in T, j \in J \quad (5) \quad -A_j^{ev} (1 - x_{t,j}^{ev}) \leq a_{t,j} \quad \forall t \in T, j \in J \quad (17)$$

$$a_{t,j} - a_{t-1,j} \leq R_{t,j} (A_j^{max}) \quad \forall t \in T, j \in J \quad (6) \quad a_{t,j} - A_j^{ev} \leq A_j^{max} \cdot x_{t,j}^{ev} \quad \forall t \in T, j \in J \quad (18)$$

$$a_{t,j} - a_{t-1,j} \geq R_{t,j} (-A_{0,j}) \quad \forall t \in T, j \in J \quad (7) \quad a_{t,j}^{ev} \leq a_{t,j} - A_j^{ev} \cdot x_{t,j}^{ev} \quad \forall t \in T, j \in J \quad (19)$$

$$(\tilde{a}_{t,u,j} - \tilde{a}_{t-1,u,j}) \cdot (1 - R_{t,u,j} \cdot \tilde{x}_{0,u,j}) \leq 0 \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (8) \quad a_{t,j}^{ev} \leq A_j^{max} \cdot x_{t,j}^{ev} \quad \forall t \in T, j \in J \quad (20)$$

$$\tilde{p}_{t,i,u,j} \geq 0 \quad \forall t \in T, i \in I, u \in U, j \in J \quad (21)$$

$$\tilde{a}_{t,u,j} \geq 0 \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (22)$$

$$a_{t,j} \geq 0 \quad \forall t \in T, j \in J \quad (23)$$

$$\tilde{a}_{t,u,j} \geq 0 \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (24)$$

$$\tilde{a}_{t,u,j} \leq \tilde{x}_{t,u,j} \cdot \tilde{A}_{t,u,j}^{max} \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (25)$$

$$\tilde{x}_{t,u,j} \leq x_{t,j} \quad \forall t \in T, u \in U, j \in J \quad (26)$$

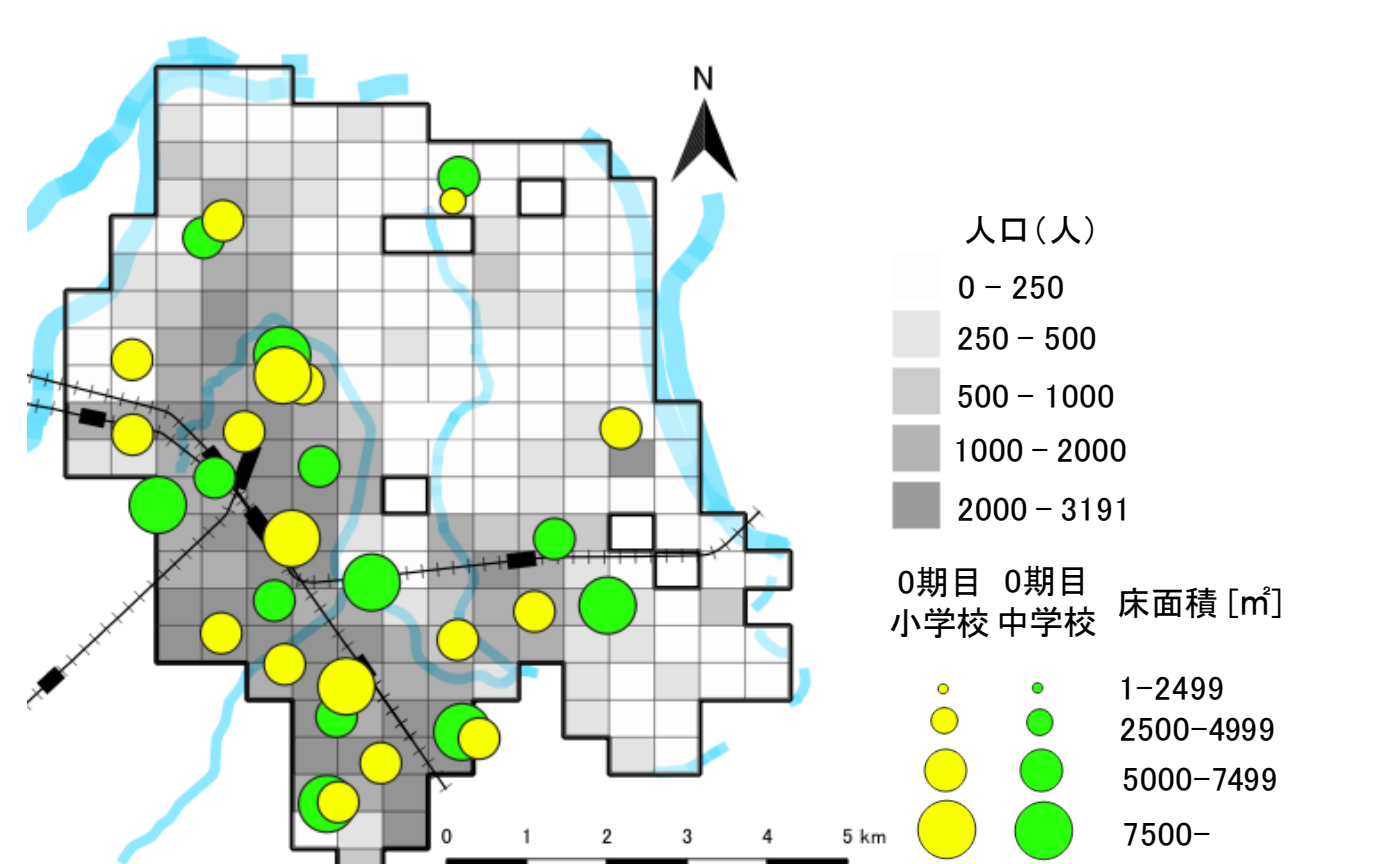


図 初期の小中学校の床面積と人口分布 (S県K市における計算例)

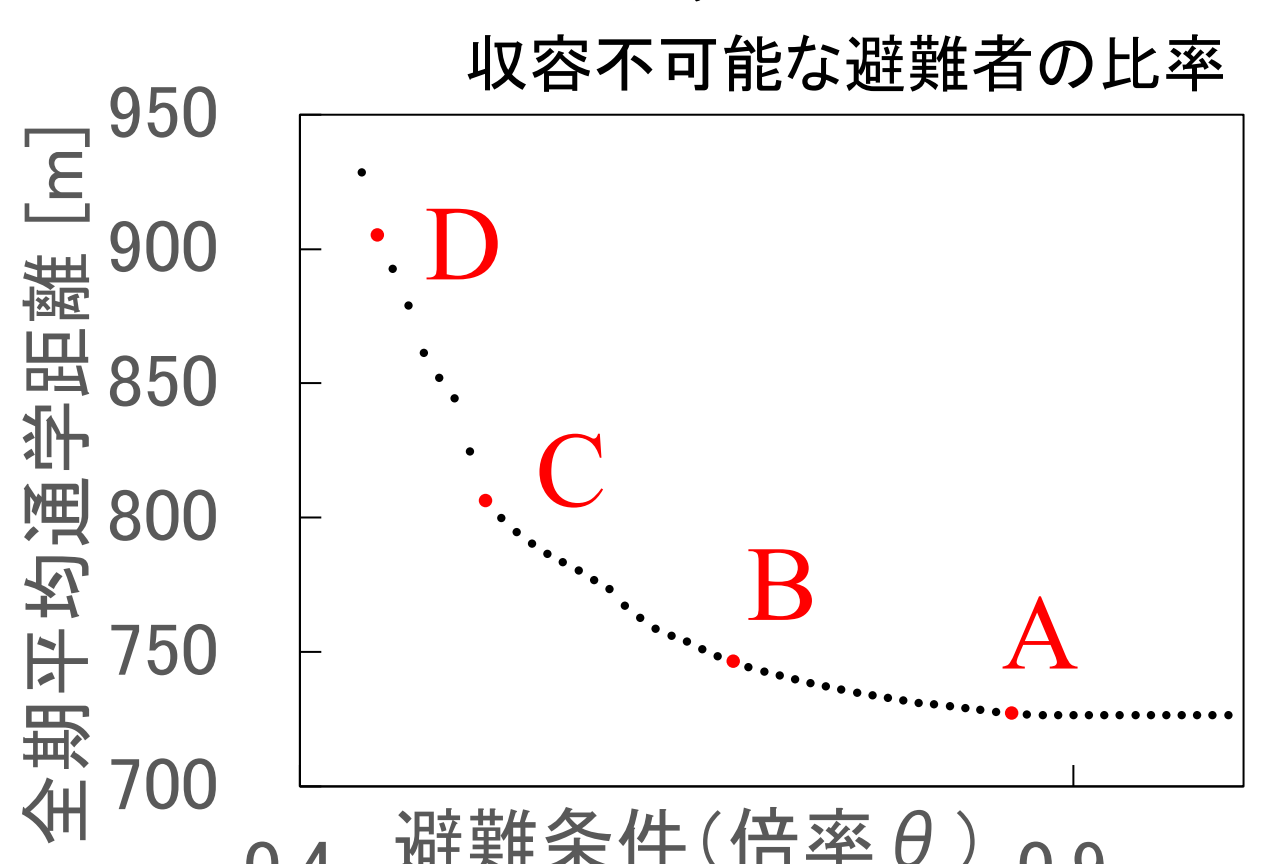


図 小中学校の通学距離と避難条件のトレードオフ

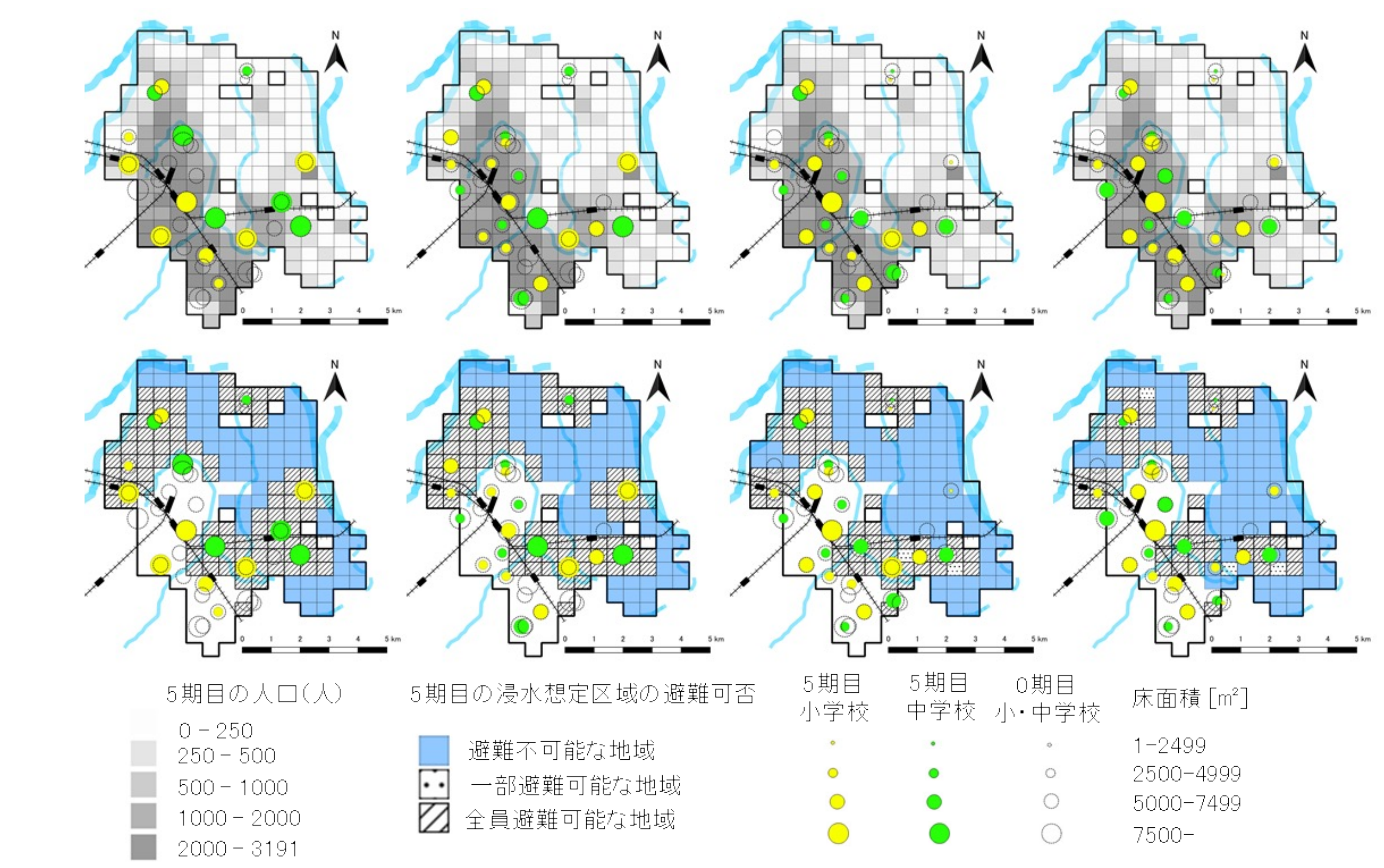


図 更新戦略A, B, C, Dにおける5期目の施設配置・床面積と避難可能地域区分

## 災害リスクを考慮したインフラマネジメントの研究

### 地震による破損リスクを考慮したインフラの点検・更新計画の研究<sup>5)</sup>

- ・高度成長期に作られた社会インフラ施設の経年劣化に備え、この10年ほどで、数理的な点検・補修戦略決定モデルの研究が進んできた。
- ・施設の老朽化により施設が使用不能になる可能性のみを考えてきたモデルを拡張し、供用期間中の災害の発生による機能停止の影響を考慮する方法を提案し、国道の橋梁のゴム支承の点検・更新戦略を計算した。

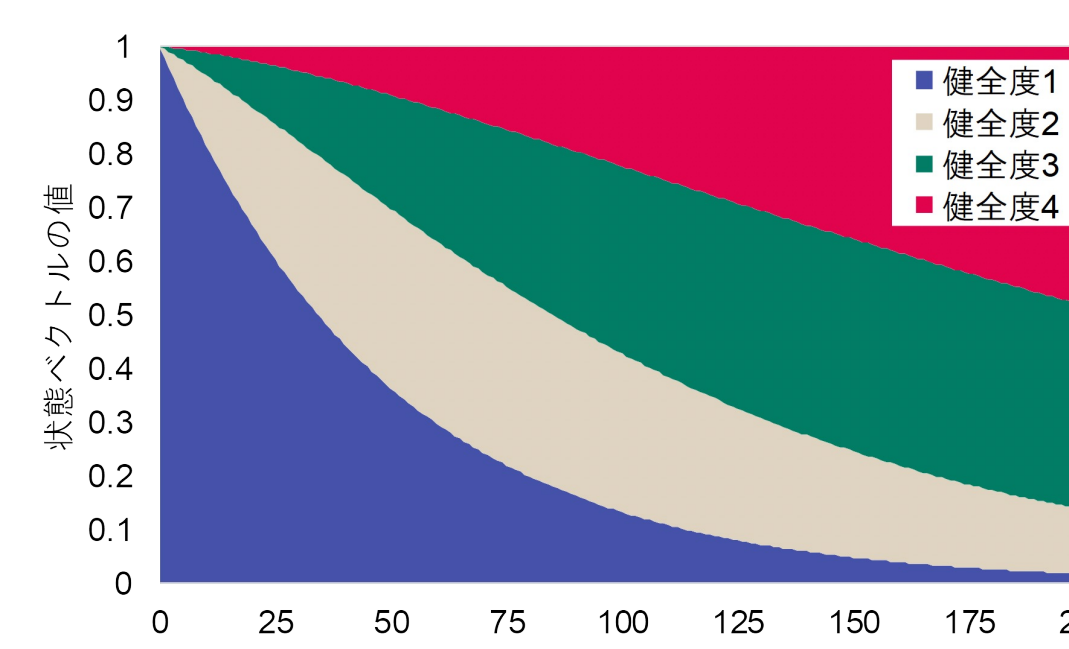


図 経年劣化による健全度変化の想定

表 2種類の更新施策の想定

施策	施策1	施策2
考え方	事後更新	予防更新
想定する政策	使用不能(健全度4)になった時点で更新	健全度3になった時点で更新

図 地震リスクなし

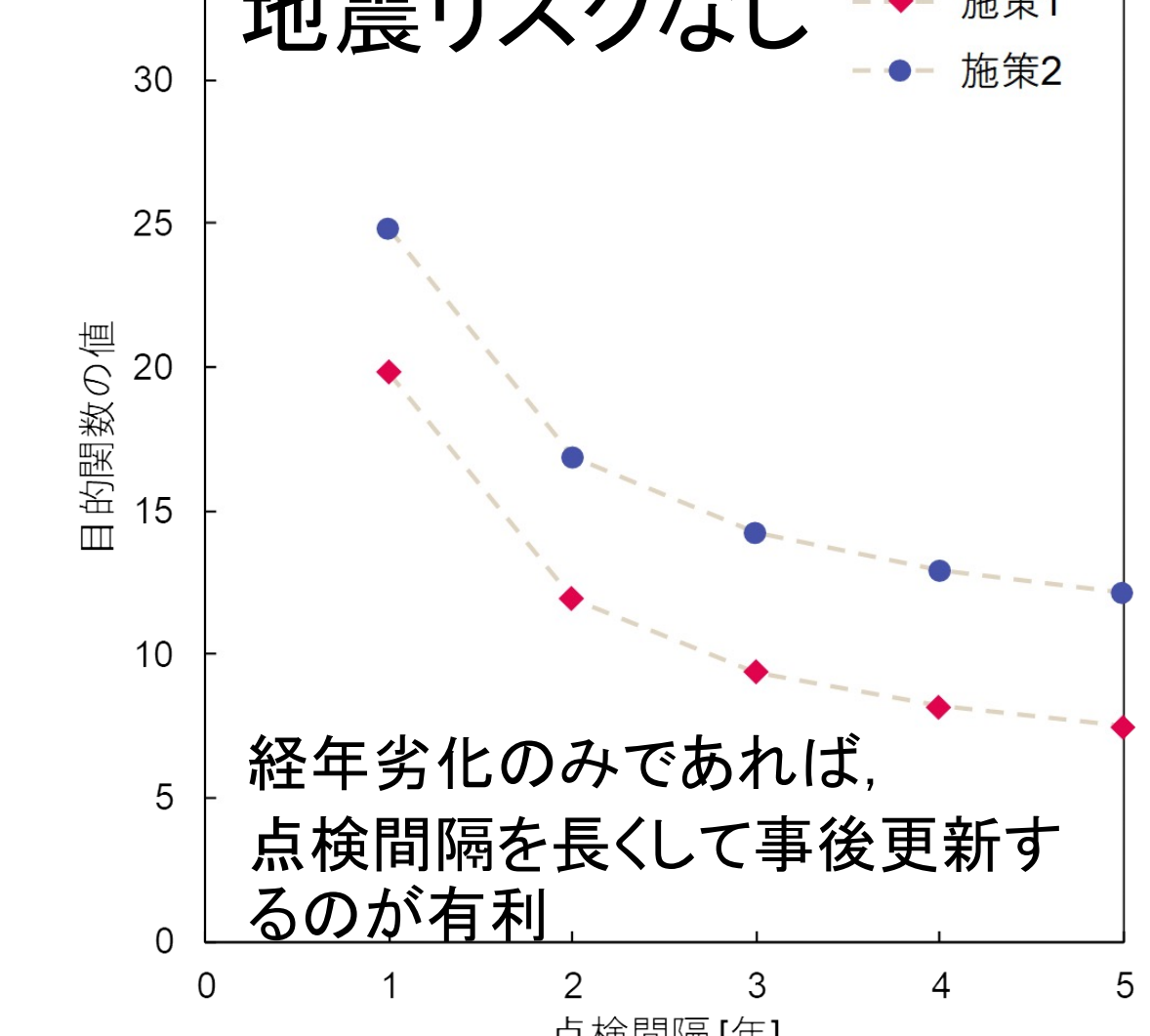
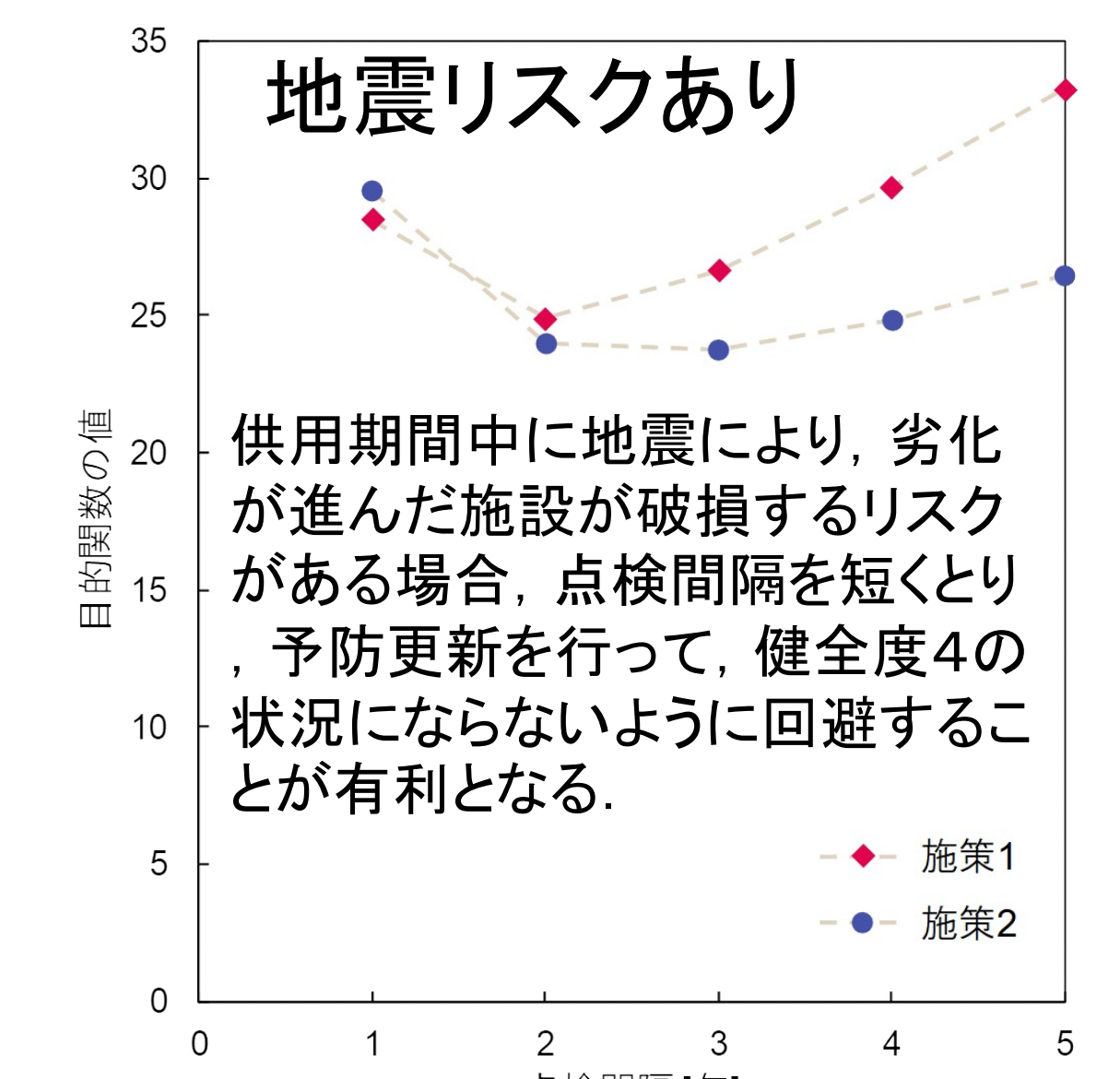


図 2つの更新施策(1:事後更新vs2:予防更新)における最適点検間隔と総費用の比較



## 交通事業者の災害時資産の退避行動の研究

### 緊急時資産退避作業のゲーム論的検討<sup>7)</sup>

2019年10月の台風19号水害で、北陸新幹線、福島交通バスなど、交通事業者の資産に甚大な被害が生じ、車両などの資産を早期に退避させる必要性が指摘された。一方、早期の退避作業はサービスの中で災害後のサービスの再開を困難にする負の影響を持つ。これらを考慮して、どのような場合に資産退避戦略が選択されるかをゲーム理論を用いて分析した。

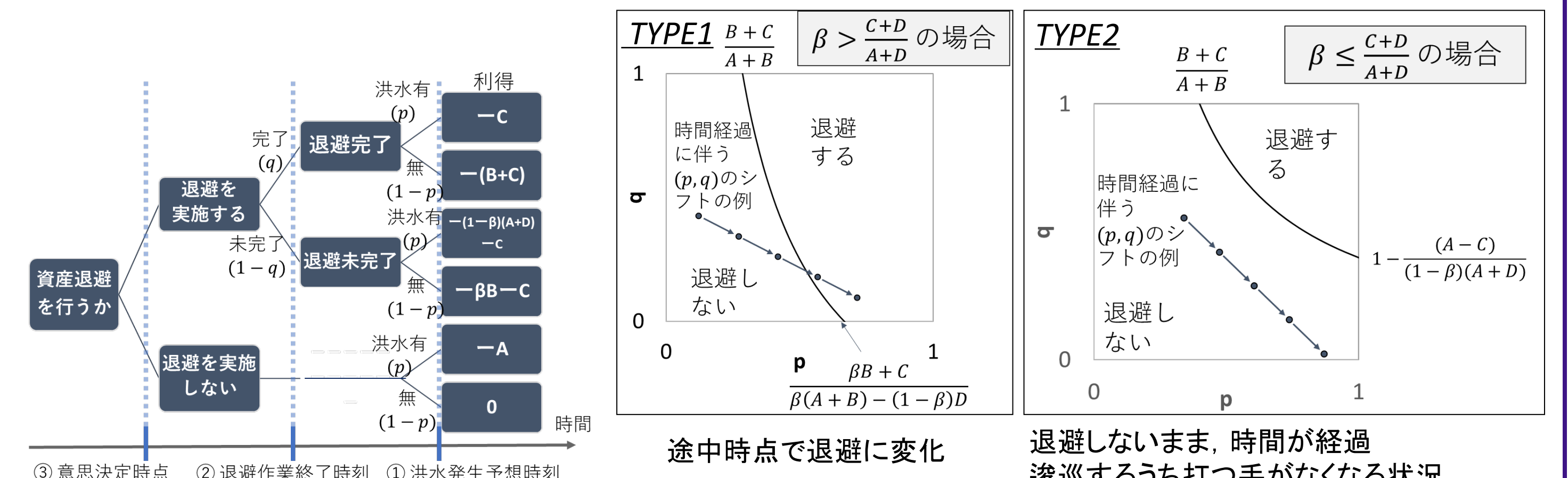


図 交通事業者の意思決定樹 図 時間の経過に伴う事業者の最適戦略の変化

## 将来の災害に貢献できること

自然災害の発生時には、被害を免れた限られた施設や資源の制約の下で対応を取らざるを得ないため、災害時の機能を考慮して公共施設や道路などの配置計画・運用計画を作っていくことが求められる。本ユニットが開発する「モデリング、計算、デザインの技術」により、災害時の機能の考慮を確実にできる。

## 2019年度の活動による成果

- 【外部資金】1) 学振科学研究費 挑戦的研究(萌芽)H29-31「嫌悪施設の包摂的立地による地域防災力向上への挑戦」(代表:奥村, 分担:平野, 井内, 佐々木etc)
- 2) 学振科学研究費 基盤研究(B)H29-31「先進的技術による緊急支援物資ラストマイル輸送システムの構築」(代表 花岡伸也(東工大), 分担:奥村etc)
- 【査読論文】3) 須ヶ間淳, 奥村誠:多機能公共施設の更新戦略最適化, 2019.10, 都市計画論文集, 54(3), pp.758-765.
- 4) 須ヶ間淳, 奥村誠:公共施設の削減方針が洪水避難場所に与える影響, 2019.12, 土木学会論文集 D3,75(5), pp. 1\_223-1\_232.
- 5) 櫻谷慶治, 水谷大二郎, 小濱健吾, 貝戸清之, 音地拓:高速道路斜面災害に対する降雨時通行規制基準値の設定方法, 2019.4, 土木学会論文集F6,75(1), pp.12-30.
- 6) Daijiro Mizutani: Reduction of seismic risk of infrastructure via daily management works, International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) Congress, Session D.4, New York, USA, 2019.9.
- 【口頭発表】7) 奥村誠, 森合一輝:緊急時資産退避作業のゲーム論的検討, 平成31年度東北地域災害科学研究集会, 2019.12.27, 山形大学.