

メタ概念を導入した 治水計画に関する研究

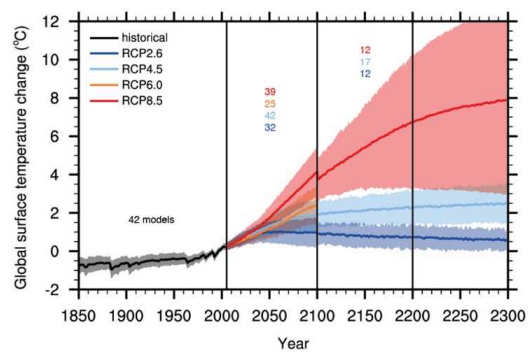
瀬木 俊輔（神戸大学大学院工学研究科）

1

1

気候変動の不確実性

- 地球温暖化の進行に伴う、降雨量の増加
- 治水計画は将来の気候変動への対応が必要
- しかし...気候変動の進行には、多大な不確実性が存在



出典：The IPCC Fifth Assessment Report (2013)

2

2

メタ概念を導入した治水計画

- 今後の治水計画に求められること
 - 段階的な治水施設の整備・施策の実施

本研究の目的

メタ概念を導入した治水計画の分析手法の開発

- 施策のオプション（選択肢）を事前に用意
- オプションの将来的な実施の可能性に関して関係主体の社会的合意（メタ合意）を得る

➤ リアルオプション分析を応用

3

3

リアルオプション分析

- 将来に実現し得るシナリオを網羅的に考慮
- リアルオプション分析を治水計画に適用する意義
 1. 不確実性への柔軟な対応が可能
 - 気候変動のモニタリング状況に合わせた段階的な治水施設整備
 2. 施策の適切な実施時期や潜在的な有効性を示す
 - 流域住民との合意をいつまでに形成すべきか

4

4

研究の方法

■ 2019年度に実施：

- ① 治水計画に関する施策の評価手法の整理
- ② 基礎的なリアルオプション分析手法の開発と有効性の確認

■ 2020年度に実施：

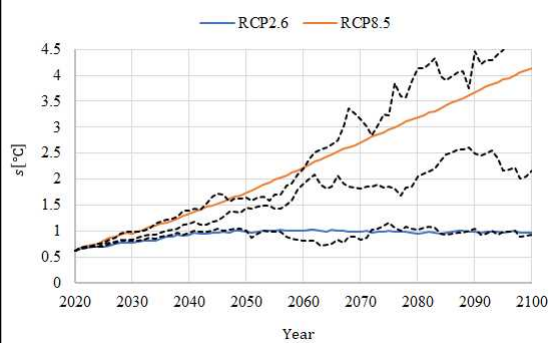
- ③ より実践的な分析に向けたモデルの拡張
 - 治水施設の整備主体の予算制約を考慮
 - 治水施設の状況依存的な整備期間の最適化
 - 多様な目的関数（純便益・死者数）の設定
- ④ 手法の有効性の確認と結果の考察

5

5

気温変化のシナリオ

- 将来シナリオの作成にIPCCの報告書のデータを使用
- ランダムウォークモデルで気温変化を表現



- 赤線：RCP8.5平均シナリオ
- 青線：RCP2.6平均シナリオ
- これらのシナリオ間が予測の90%信頼区間と仮定

6

6

予算と整備の進捗の関係

- 現時点では未整備の治水施設が N_I 件存在
- 整備主体は年間予算 \bar{Y} (定数) を治水施設に配分

$$\sum_{i=1}^{N_I} y_{ti} \leq \bar{Y} \quad \boxed{y_{ti} : t\text{年に施設}i\text{に配分される整備費}}$$

- 整備費に応じて整備が進捗
- 一年当たりの進捗率の増加には上限 \bar{y}_i/c_i 有り

$$x_{t+1,i} = x_{ti} + \frac{y_{ti}}{c_i}, \quad \frac{y_{ti}}{c_i} \leq \frac{\bar{y}_i}{c_i} \quad \boxed{\begin{array}{l} x_{ti} : t\text{年の施設}i\text{の整備進捗率} \\ c_i : \text{施設}i\text{の総整備費 (定数)} \end{array}}$$

7

7

水害のシミュレーション

- 気温変化 s の上昇は降雨量の期待値・標準偏差を増加

$$\begin{aligned} m(s_t) &= (1 + 0.05s_t)m_{\text{base}} \\ \eta(s_t) &= (1 + 0.05s_t)\eta_{\text{base}} \end{aligned} \quad \boxed{\begin{array}{l} s_t : t\text{年の気温上昇} \\ m_{\text{base}}, \eta_{\text{base}} : \text{基準時点の年最大降雨量の} \\ \text{期待値と標準偏差} \end{array}}$$

- 各年のシミュレーションの流れ：
 - ① 年最大降雨量と降雨波形を確率的に決定
 - ② 上流地点から順にピーク流量と破堤確率を計算し確率的に破堤を起こして被害を発生させる
 - 破堤が起きると下流地点のピーク流量は減少

8

8

水害のシミュレーション

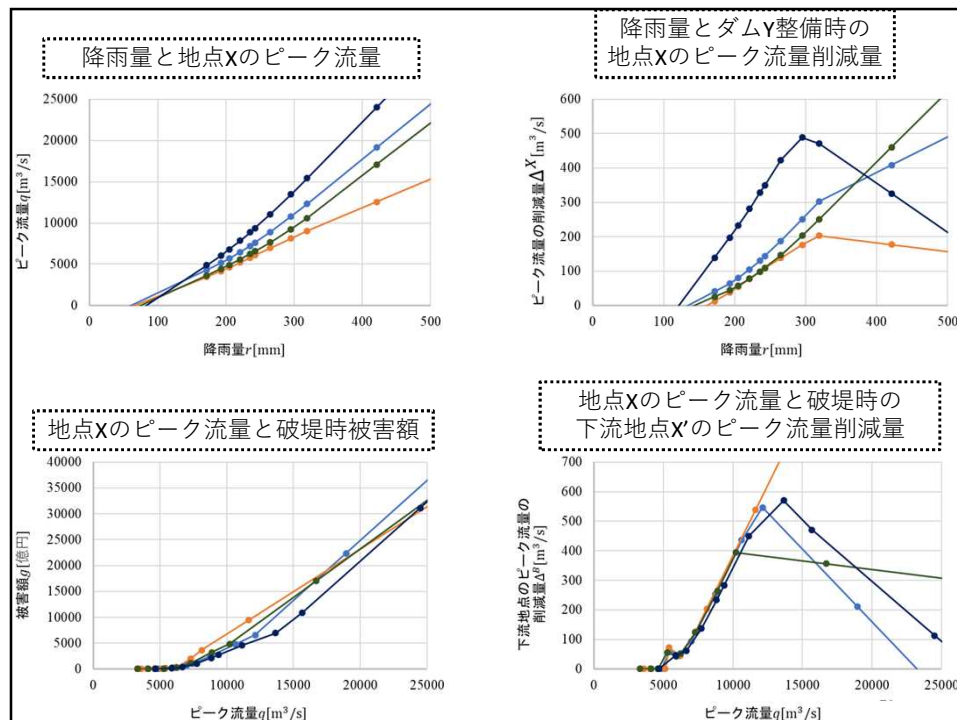
■ 10万シナリオ×80年分のシミュレーション

- 分析中の厳密なシミュレーションは困難

- 降雨量・降雨波形・破堤地点などの条件を変えながら厳密な流出・氾濫解析を1000通りほど実施しておく
- 解析結果を用いて、降雨量・降雨波形とピーク流量などの関係を区分線形関数として表現

9

9



10

目的関数の設定

- 分析は状況依存的な予算配分計画の最適化を行う
 - 目的関数の設定が必要
- 本研究では二種類の目的関数を設定

総費用の割引現在価値の期待値
(純便益)

$$V_0 = E_0 \left[\sum_{t=0}^{T-1} \beta^t C_t + \beta^T v_T \right]$$

期間内の総死者数の期待値

$$V_0^{\text{cas}} = E_0 \left[\sum_{t=0}^{T-1} D_t^{\text{cas}} \right]$$

11

11

リアルオプション分析の適用

- 国内のX川流域の治水施設整備への予算配分
- 年間予算50億円

未整備の治水施設

治水施設 <i>i</i>	$f_i(x_i)$ 関数形	c_i [億円]	\bar{y}_i [億円]	効果を及ぼす 破堤地点 <i>j</i>
ダム	I_1	300	25	1-9
遊水地A	I_1	100	25	1-9
遊水地B	I_1	40	25	1-9
区間1掘削	I_2	90	25	1
区間2掘削	I_2	200	25	2
区間3掘削	I_2	20	25	3
区間4掘削	I_2	50	25	4
区間5掘削	I_2	20	25	5
区間6掘削	I_2	60	25	6
区間7-8掘削	I_2	60	25	7, 8
区間9掘削	I_2	20	25	9

最悪規模の洪水が生じた
ときの破堤地点別被害

破堤地点 <i>j</i>	被害額[億円]	死者数[人]
1	31,000	390
2	17,000	5,700
3	38,000	500
4	15,000	1,000
5	7,300	20
6	13,000	200
7	5,800	30
8	3,000	2
9	6,300	320

12

12

遺伝的アルゴリズムによる求解

- 人工知能の一種である遺伝的アルゴリズムを利用
- 気温上昇が何度になったら整備を始めるべきか？

治水施設 <i>i</i>	純便益 最大化	死者数 最小化
ダム	3.69	0.58
遊水地A	2.94	0.72
遊水地B	1.07	0.65
区間1掘削	1.25	0.65
区間2掘削	4.47	2.73
区間3掘削	0.64	2.22
区間4掘削	0.37	0.56
区間5掘削	0.44	3.82
区間6掘削	1.08	0.34
区間7-8掘削	0.79	0.27
区間8掘削	0.30	0.66

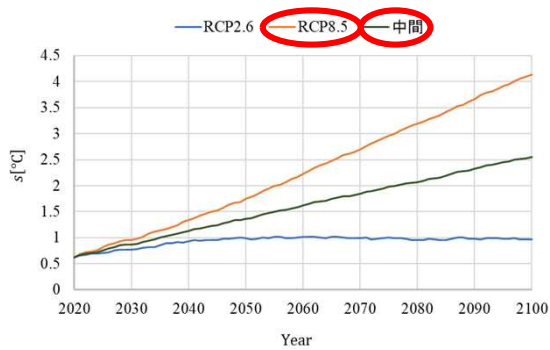
- 10万通りのシナリオを用い最適な整備計画を学習させる
- 二種類の目的関数の各々について最適解を求めた

13

13

状況依存的な最適整備時期

- 治水施設の最適整備時期は状況（気温変化）に依存
 - シナリオを与えれば最適整備時期が確定する



- 具体例として二本のシナリオを考えてみる

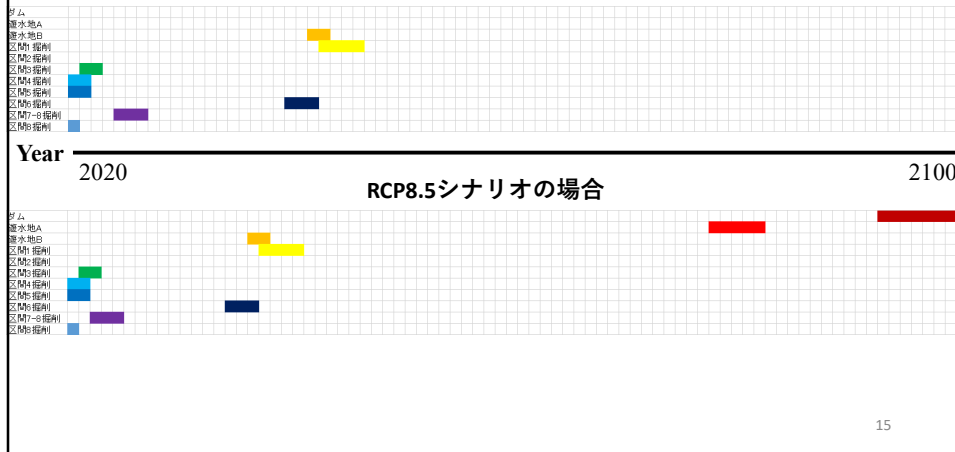
14

14

状況依存的な最適整備時期

■ 目的関数に純便益を使うケースを例にする

中間シナリオの場合



最適性の定義の変更

■ 目的関数を変えれば最適性の定義も変わる

- 純便益：金銭的効率性を重視
- 死者数：予算範囲内において人命の損失を最小化

総費用の割引現在価値の期待値
(純便益)

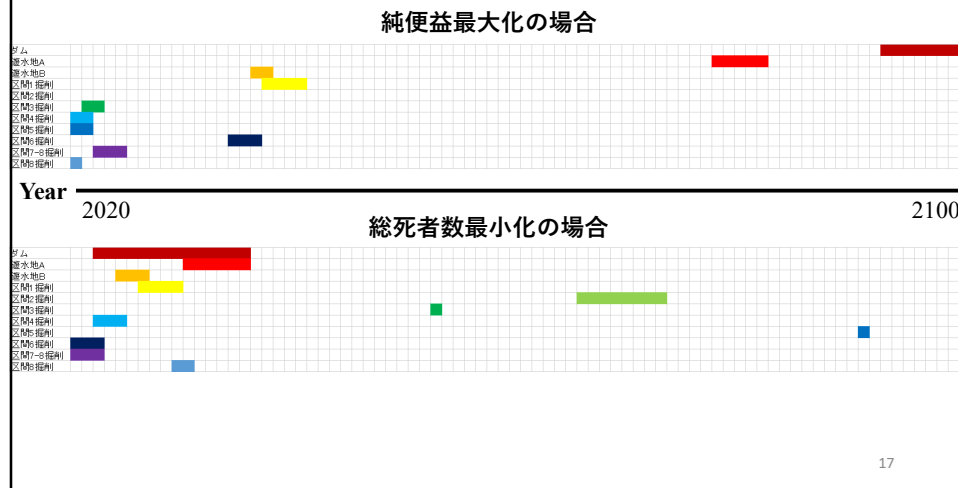
$$V_0 = E_0 \left[\sum_{t=0}^{T-1} \beta^t C_t + \beta^T v_T \right]$$

期間内の総死者数の期待値

$$V_0^{\text{cas}} = E_0 \left[\sum_{t=0}^{T-1} D_t^{\text{cas}} \right]$$

最適性の定義の変更

■ RCP8.5シナリオにおける最適整備時期を比較



17

メタ合意を得るための結果の活用法

- 流域住民の負担となる施策を考慮
 - ・ 住民の負担となる施策が必要になる時期を特定
 - ・ 早急な合意形成が必要な施策を洗い出す
- 流域住民の負担となる施策の有効性を定量的に評価
 - 具体的な合意形成の方法は今後の課題

18

18

まとめと課題

■ 全体の成果

- 気候変動の不確実性を考慮した治水施設の整備計画に対するリアルオプション分析手法の開発
- 開発した分析手法の有効性を確認

■ 今後の課題

- シミュレーションの高度化
- メタ合意に資する情報提供への活用