

リアルタイム洪水予測モデルにおける 複数の目的関数を用いた最適化手法 および自動追加学習手法の考案

株式会社 建設技術研究所 東京本社 水システム部
岡峰奈津美・此島健男子・米勢嘉智



未来につづく
安全・安心を

株式会社 建設技術研究所

1. 多目的最適化問題における課題

2. 順位合成法を用いたパラメータ探索の提案

2-1. 評価関数の設定

2-2. 単純合成による探索結果

2-3. 順位合成法の提案

3. SCE-UA法を用いた追加学習手法

3-1. SCE-UA法を用いた追加学習手法

3-2. 追加学習の初期条件の設定

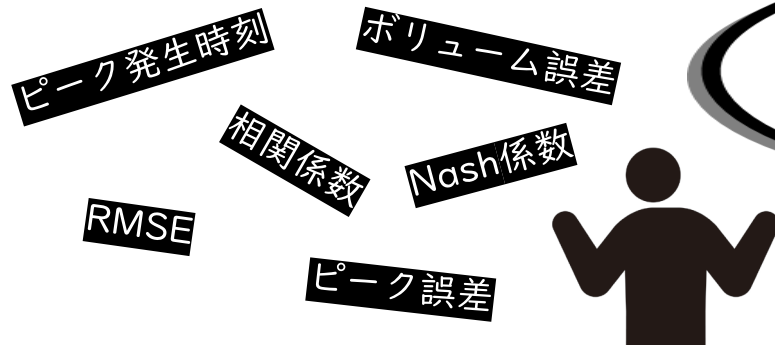
3-3. 自動追加学習システムの導入

4. まとめと今後の展開

1. 多目的最適化問題における課題

1. 多目的最適化問題における課題

実用的な洪水予測モデルの最適パラメータを求める評価関数は？



“ピークの精度が重要だが
ボリュームも合わせたい”

など

様々な評価関数を同時に満足したい

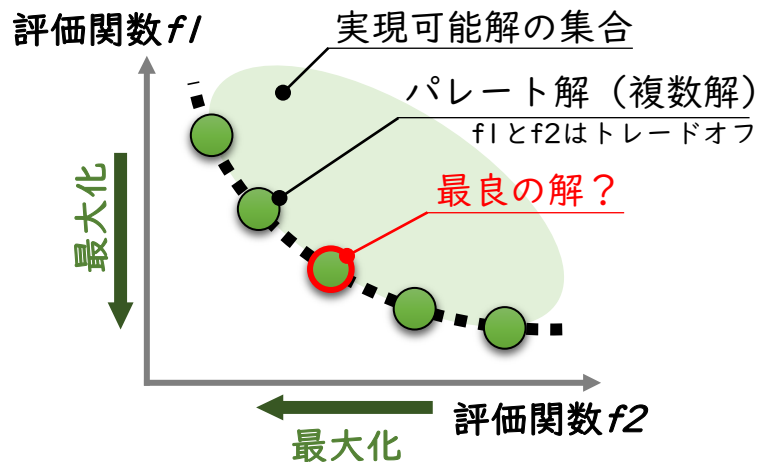


図 多目的最適化のイメージ

SCE-UA法※によるパラメータ最適化で
複数の評価関数を組み合わせるには？

- 課題①：次元や関数値の規模が異なる
- 課題②：パレート解から最良の解の選択

※シンプレックス法，ランダム探索，遺伝的アルゴリズム
に類似した競争進化，集団混合の概念を組み合わせた
パラメータの大域的探索手法 (Duan *et al.*, 1992)

2. 順位合成法を用いたパラメータ探索の提案

2-1. 評価関数の設定

- ・ SCE-UA法によるRRIモデルの最適パラメータの探索を3洪水対象に実施
- ・ 計算値と実測値との適合性を評価する関数は①、②、③の3種類を設定

評価関数①：ピーク誤差

$$f_{\text{①}} = \sum_{k=1}^n \Delta Q_{peak(k)}$$

評価関数②：RMSE

$$f_{\text{②}} = \sum_{k=1}^n \Delta RMSE_{(k)}$$

評価関数③：①+②の単純合成

$$f_{\text{③}} = f_{\text{①}} + f_{\text{②}}$$

f ：評価関数， k ：洪水番号， n ：洪水数(3)

2-2. 単純合成による探索結果

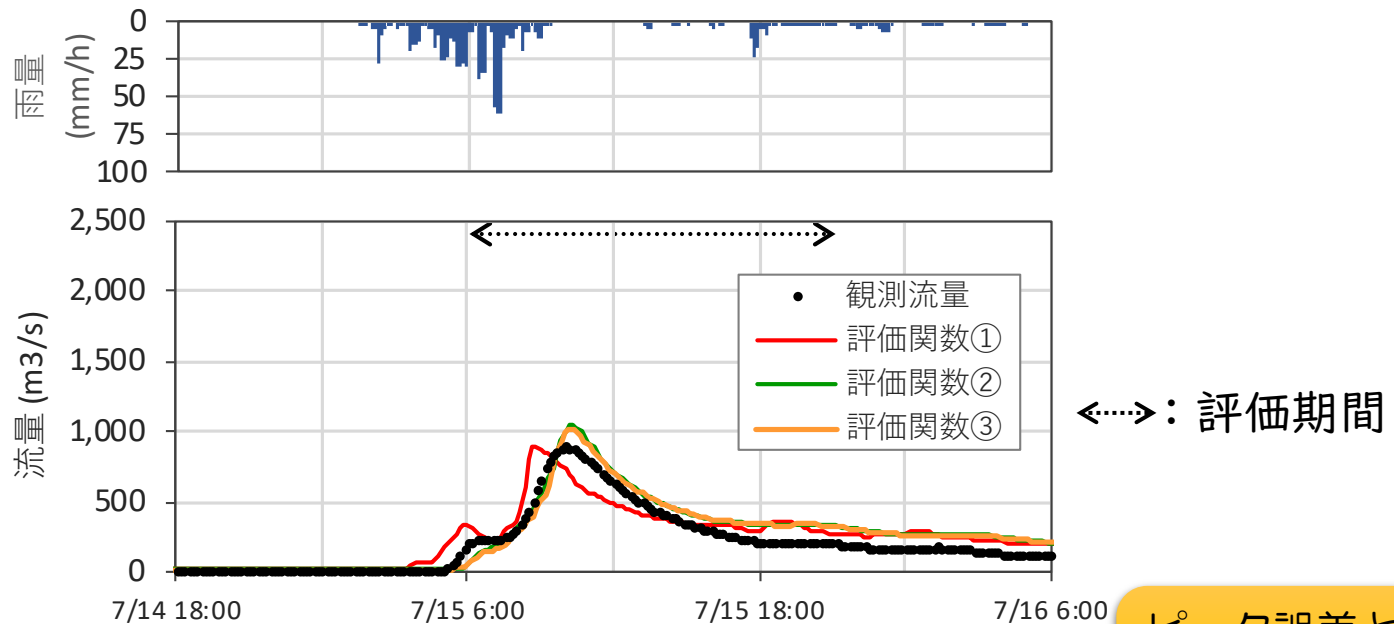


図 洪水No.3における探索結果

表 各検討ケースの誤差

ピーク誤差とRMSE
のバランスが取れた
解がない

関数	ピーク誤差	RMSE
評価関数① (ピーク誤差のみ)	0.02%	126m ³ /s
評価関数② (RMSEのみ)	16.36%	98m ³ /s
評価関数③ (①と②の単純合成)	12.88%	99m ³ /s

2-3. 順位合成法の提案

順位合成法

- 従来のSCE-UA法では、各ポピュレーションの評価関数が良好になるように進化する。
- ⇒ 順位合成法では、
評価関数値をポピュレーション内順位に置き換えて、順位が高くなるように進化する。
複数の評価関数による評価は、順位の合成値のRANKとする。

表 順位合成法による複数の目的関数の評価イメージ

population	評価関数_RMSE	評価関数_ピーク	合成順位
パラメータ⑫	300 (30位)	10% (15位)	45位
パラメータ⑮	200 (10位)	20% (50位)	60位
パラメータ⑥	150 (1位)	30% (75位)	76位
パラメータ④	800 (100位)	0% (1位)	101位
:		:	:

RMSE単独の
ポピュレーション内順位

合成順位のRANKを
最終評価とする

2-3. 順位合成法の提案

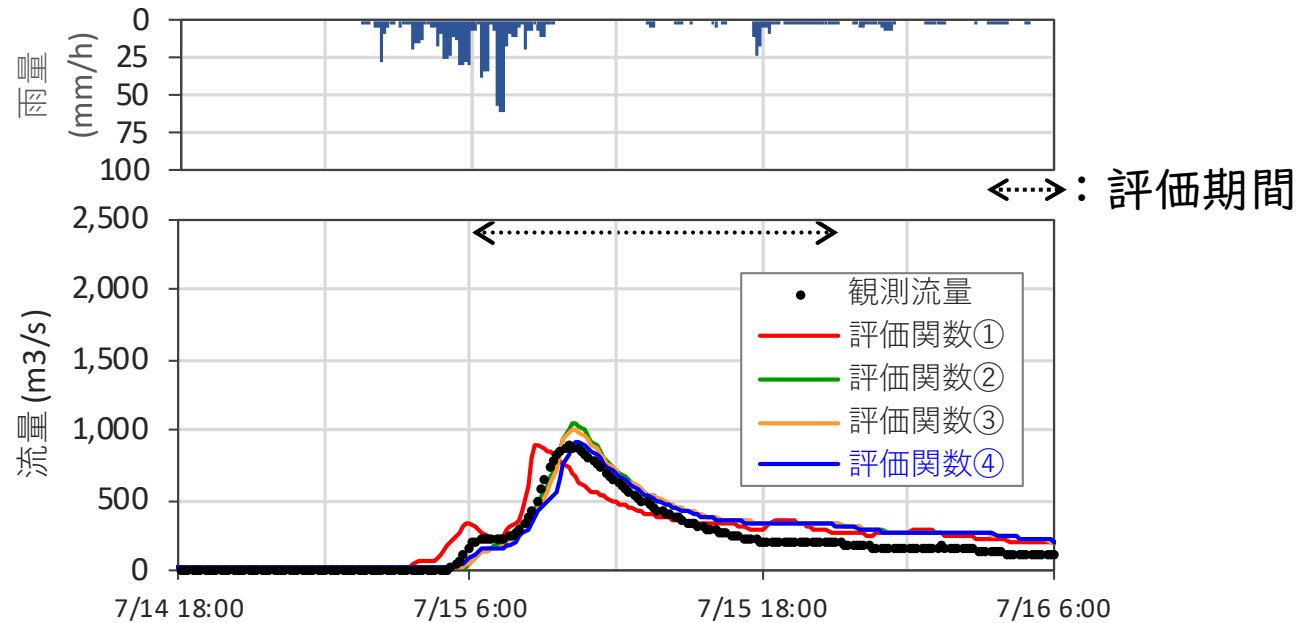


図 洪水No.3における探索結果

表 各検討ケースの誤差

関数	ピーク誤差	RMSE
評価関数① (ピーク誤差のみ)	0.02%	126m ³ /s
評価関数② (RMSEのみ)	16.36%	98m ³ /s
評価関数③ (ピーク+RMSE)	12.88%	99m ³ /s
評価関数④ (順位合成法)	10.99%	102m ³ /s

ピーク誤差と
RMSEのバランス
が取れた解

2-3. 順位合成法の提案

RANK 1 位は最良の解？

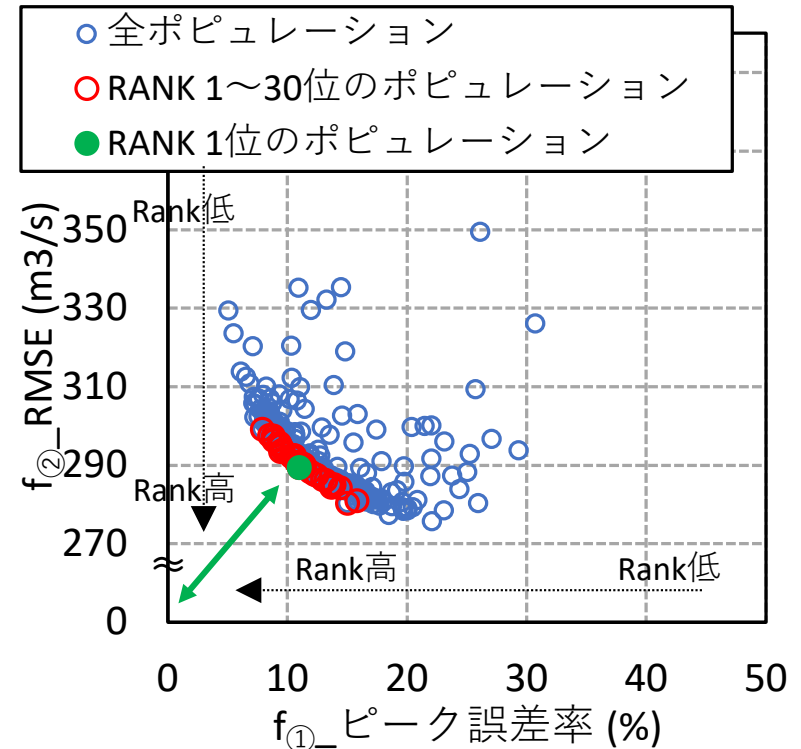
2つの評価関数（RMSEとピーク誤差）の散布図でRANK上位ポピュレーションの位置を確認

RANK上位（30位まで）

全ポピュレーション（実現可能解）
に対してパレート解の形状をなしている

RANK 1 位

RANK 1 位は、2つの誤差ゼロの交点と
ユークリッド距離 \longleftrightarrow が最小の付近に位置



多目的最適化問題の課題に対する順位合成法の有効性

- 課題① \Rightarrow 評価関数値を順位に変換することで、次元や数値規模の違いを無効化
 課題② \Rightarrow RANK 1 位を最良な解に選択

3. SCE-UA法を用いた追加学習手法

3-1. SCE-UA法を用いた追加学習手法

最新洪水の精度が良い
洪水予測モデルに更新したい

最新洪水を検証洪水に追加して
またゼロからパラメータ調整？

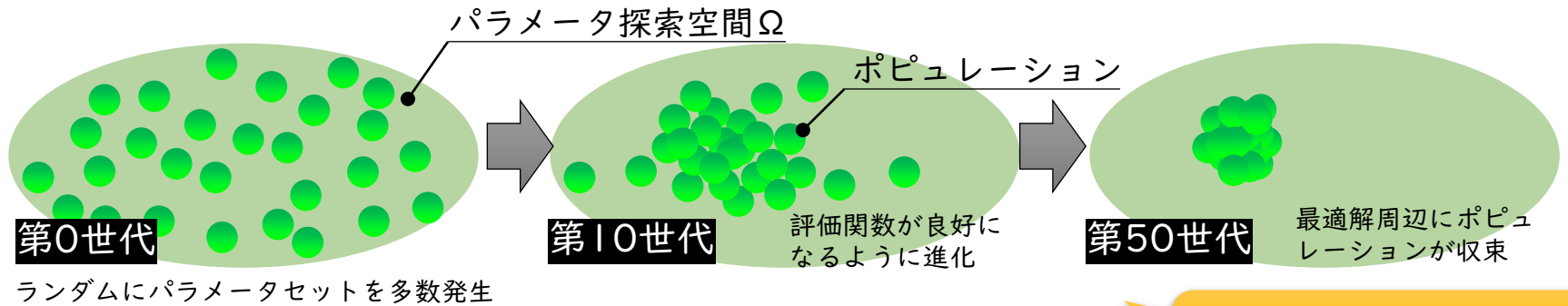
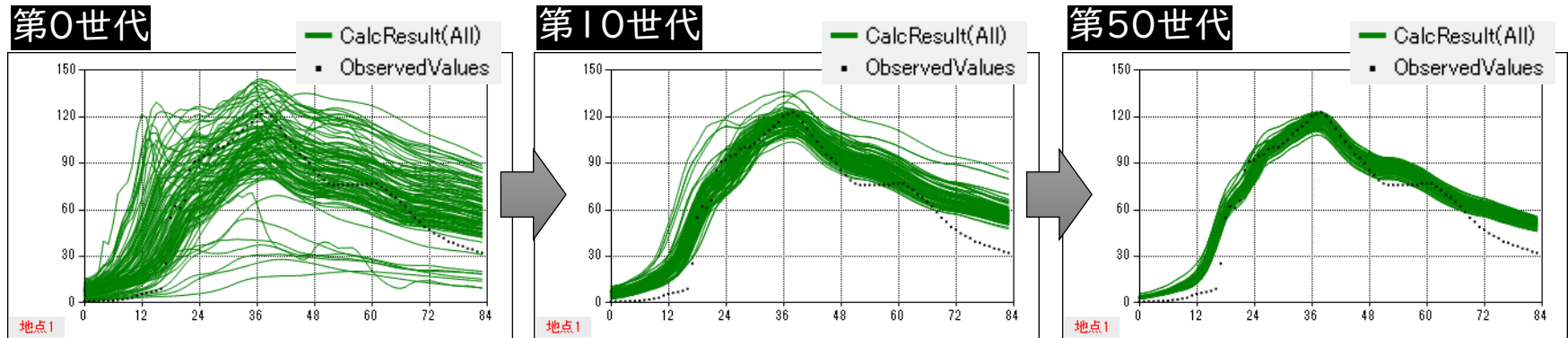


図 SCE-UA法における最適化過程のイメージ

最適化までの豊富な計算資源
を追加学習に利用できないか

3-2. 追加学習の初期条件の設定

- ・ 事前学習洪水（1洪水）、追加学習洪水（1洪水）の計2洪水を設定
- ・ 2洪水に対するパラメータ最適化の初期条件を3ケース設定

検証ケース	初期条件（ポピュレーション）		世代	2洪水の評価関数		学習時間比率
	事前学習 0世代	事前学習 50世代		RMSE	ピーク 誤差	
従来通り学習	新規作成		50	63.9	0.3%	1.00
追加学習①	90%	10%	46	63.8	0.2%	0.93
追加学習②	50%	50%	22	63.8	0.2%	0.51

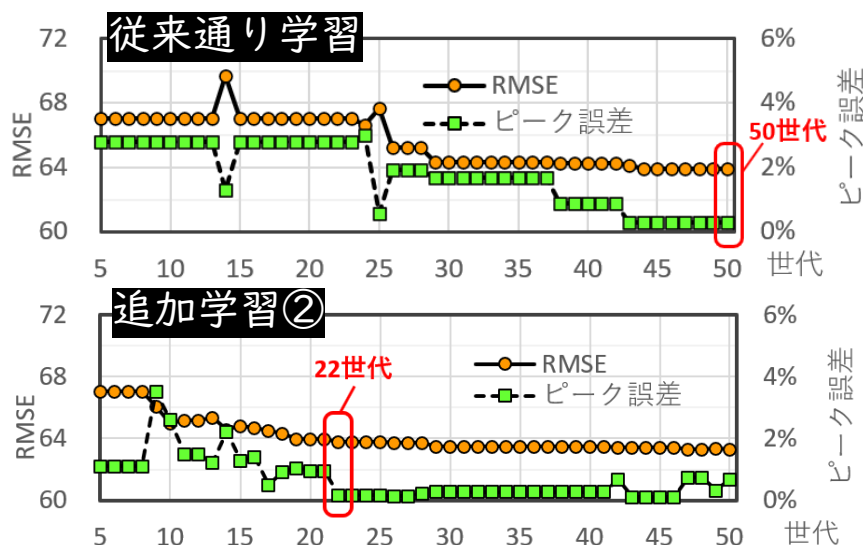


図1 学習の収束状況

従来通りの学習から
約半分に学習時間削減

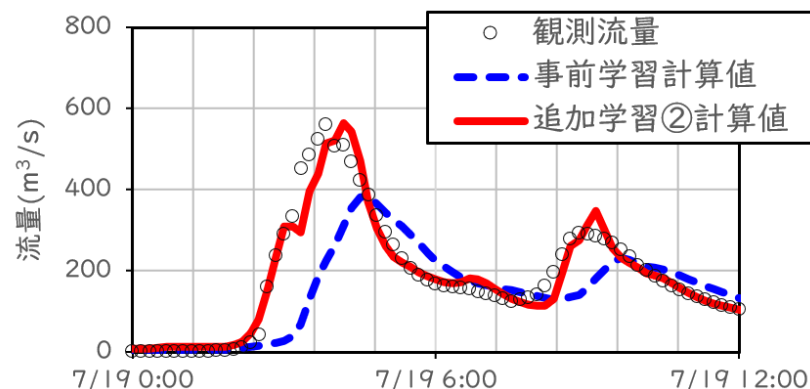


図2 追加学習洪水の再現状況

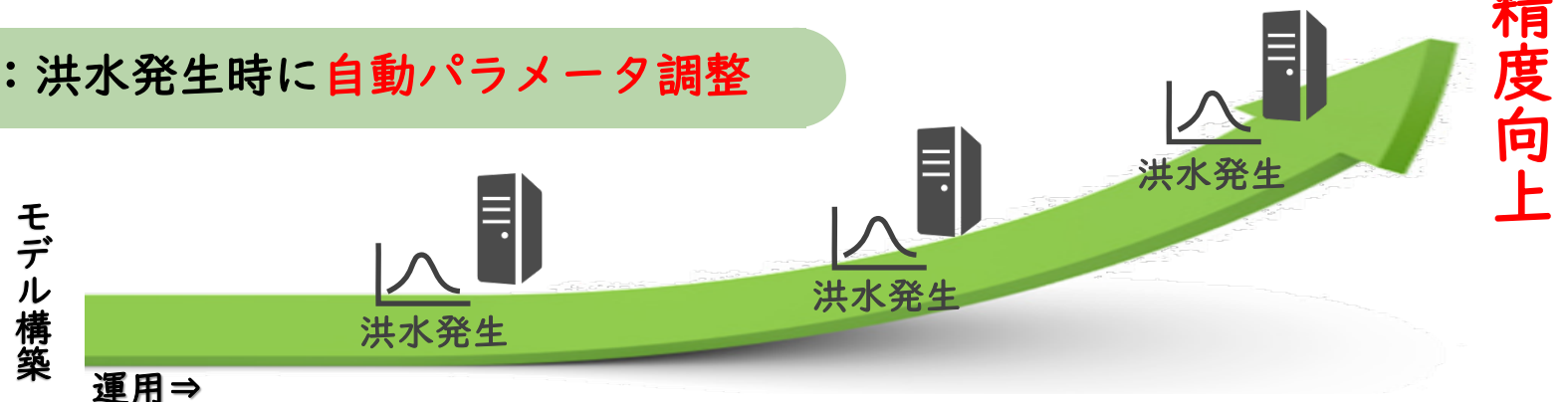
3-3. 自動追加学習システムの導入

実流域におけるRRIモデルの洪水予測システムに適用し
洪水発生後に自動で追加学習を行う自動追加学習システムを導入

従来：モデル構築後の精度は一定



本検討：洪水発生時に自動パラメータ調整



4. まとめと今後の展開

● まとめ

- パラメータの最適化において複数の目的関数を有効に評価する多目的最適化手法として、順位合成法を提案し、その優位性を示した。
- SCE-UA法を用いて新たな経験洪水の追加学習を行う機能を構築した。また、事前学習における計算資源を活用し、初期ポピュレーションの生成方法により早期に良好な評価指標を得るパラメータ探索が可能であることを示した。
- 本研究において提案した順位合成法および追加学習手法について、実流域におけるRRIモデルを対象に適用し、自動追加学習システムに導入した。

● 今後の展開

- 今回の論文で報告した順位合成法について、他の最適化手法やデータ同化手法等への適用や応用方法を検討する。
- 追加学習における最適な初期ポピュレーションの設定方法について、様々な解析モデルや対象流域などで検証し、知見を深める。



未来につづく
安全・安心を

株式会社 建設技術研究所