

LSTMを活用した融雪期間のシームレスな ダム流入量予測手法の提案

日本工営株式会社 流域水管理事業本部 河川計画部 ○伊島実咲
渡邊晋也
一言正之

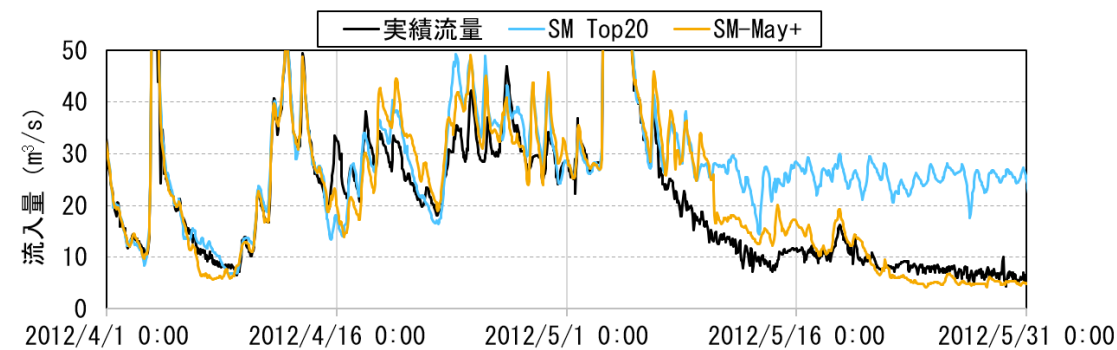
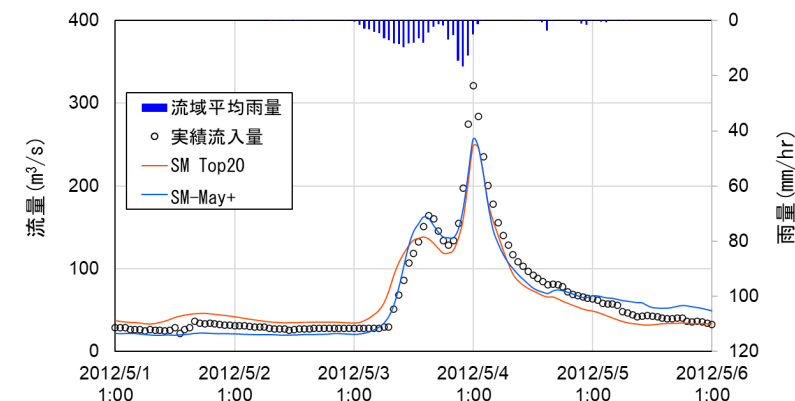
- 近年、気候変動への適応・カーボンニュートラルの観点から、ダム運用高度化の取組が進められている。
- 雪解け水を活用した弾力的管理の拡充による運用高度化操作では、融雪期から平常時まで、年間を通じて高精度なダム流入量予測が必要となる。
- **【課題】** 既往研究では、融雪出水や低水に着目した検討が行われており、それぞれ一定の精度が確保されているが、その間に位置する**融雪期後半の流量低減期の予測精度の検証が不十分**である。

【本研究の目的】

- 融雪期から平常時までのダム流入量をシームレスに予測することを目的として、深層学習（LSTM）を用いて**融雪期における上位洪水と融雪期後半の流入量の両方を高精度に予測するモデルを構築**した。

【本研究の結果】

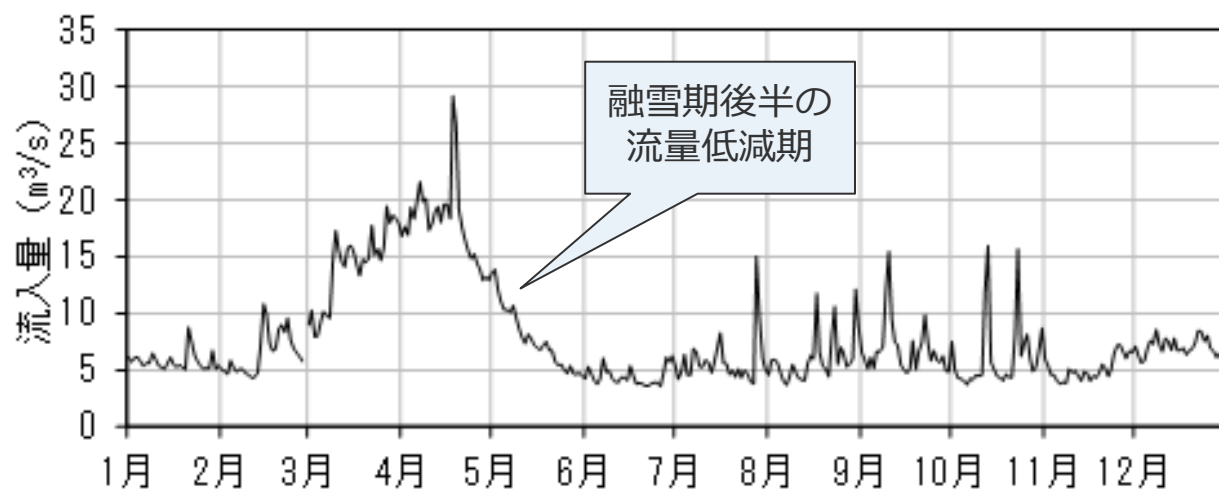
- ①**30日前積雪深**、②**5月データ**を学習に加えることで、上位洪水の再現精度を維持しつつ、融雪期後半の再現性を大幅に改善した。



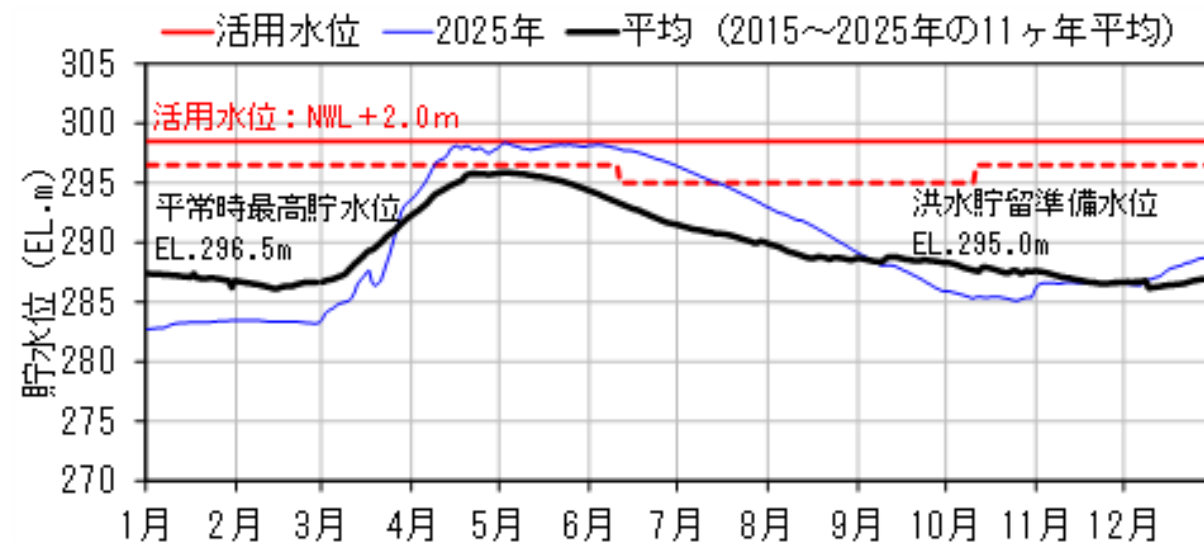
本研究の成果：SM-May+

摺上川ダム流域

- 奥羽山脈付近の阿武隈川水系摺上川上流に位置しており、日本海型気候の影響を受け降雪が多い。
- 3月から5月にかけて融雪に伴う流出が卓越している。
- 令和7年より、雪解け水を貯留し増電を図る運用高度化の試行を実施している。



摺上川ダムの日流入量の年変化 (2015～2025年の平均)

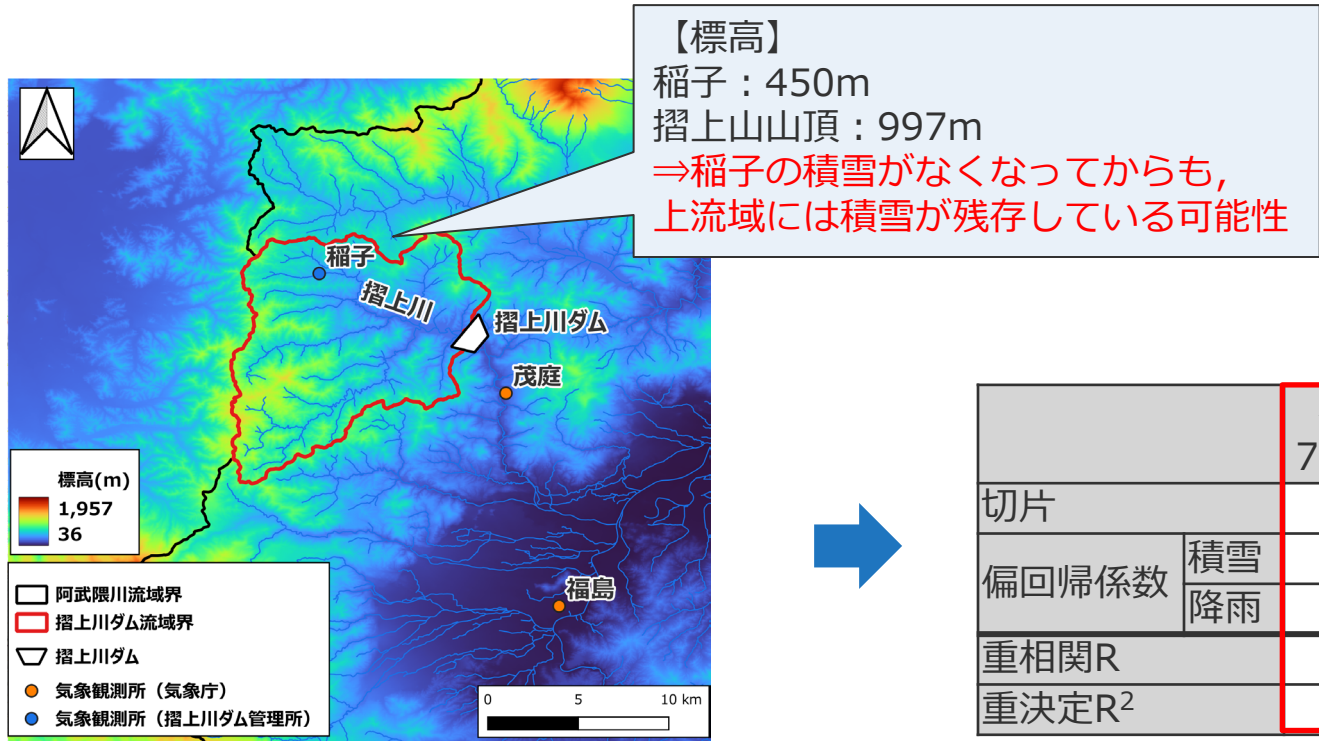


摺上川ダムの貯水位の年変化

- 使用モデル：LSTM
- 入力データ：流域平均雨量(同時刻合成雨量)、気温（茂庭）、全天日射量（福島）、積雪深（稲子）
- 学習期間：2006年から2023年までの融雪期（2月から5月）における上位20洪水

ハイパーパラメーター一覧

条件項目	条件設定
LSTM層数	1
学習回数（エポック数）	1500
ミニバッチ	25
LSTMユニット数	500
タイムステップ数	100



積雪深データ別の重回帰分析結果

	積雪深 72時間前	積雪深 25日前	積雪深 30日前	積雪深 35日前	積雪深 40日前	積雪深 45日前
切片	9.562	6.818	6.146	5.669	5.401	4.955
偏回帰係数	積雪	0.124	0.115	0.105	0.093	0.087
	降雨	0.405	0.426	0.434	0.433	0.436
重相関R	0.626	0.772	0.777	0.761	0.723	0.699
重決定R ²	0.391	0.596	0.603	0.579	0.523	0.489

◆ 設定ケース

学習項目の感度分析ケース一覧

ケース		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
感度分析事項		雨のみ	気温・日射量	積雪深	
学習項目	流域平均雨量（同時刻合成雨量）[mm/hr]	○	○	○	○
	気温（茂庭）[℃]		○	○	○
	全天日射量（福島）[MJ/m ²]		○	○	○
	積雪深（稲子）[cm]			○72時間前	○30日前

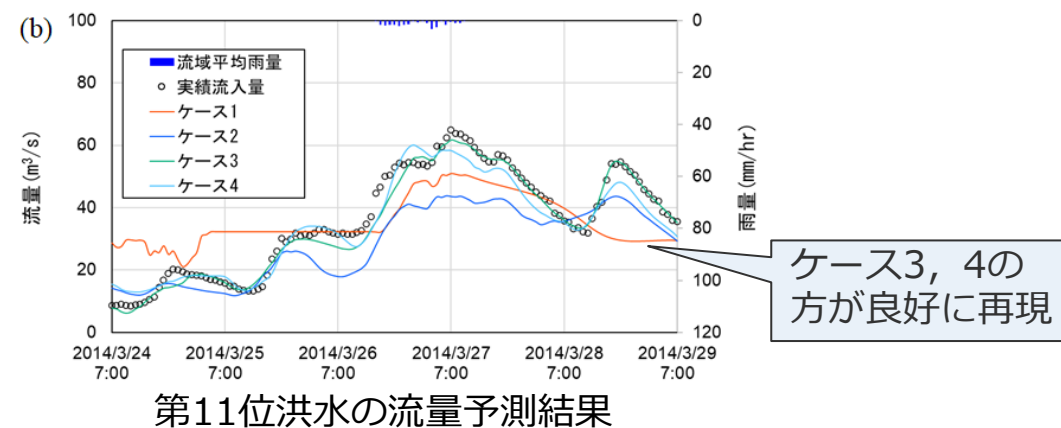
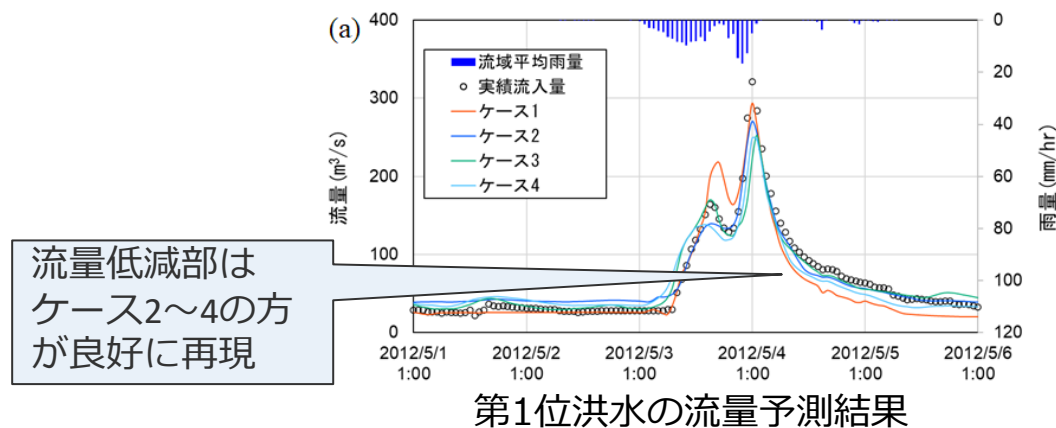
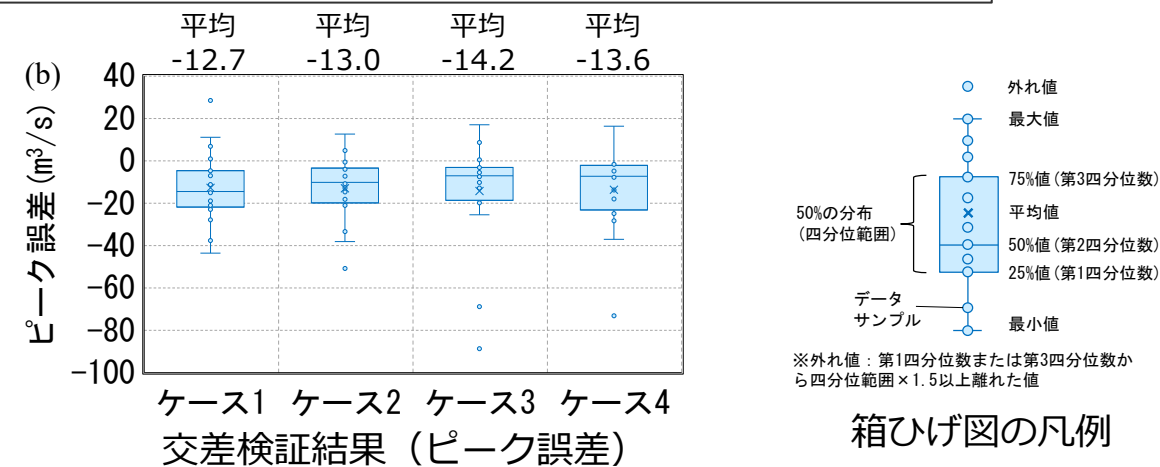
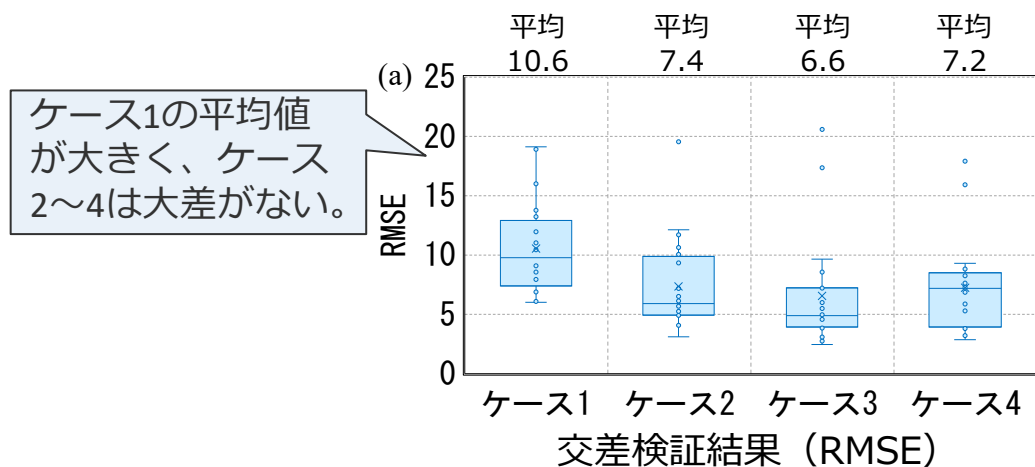
◆ 評価手法

- ① 上位20洪水を対象とした交差検証
 - RMSE, ピーク誤差の平均値と分布状況
- ② 融雪期後半（4月～5月）の再現計算
 - 累加流量誤差の15ヶ年（2009～2023年）平均

➡ 融雪期の大規模な出水イベントと融雪期終盤の予測精度の両方を評価

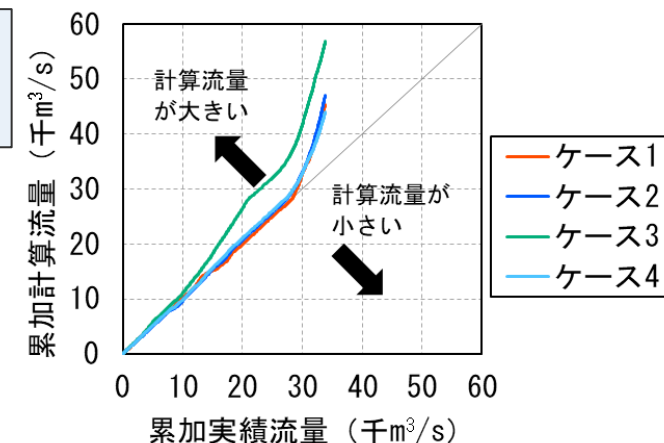
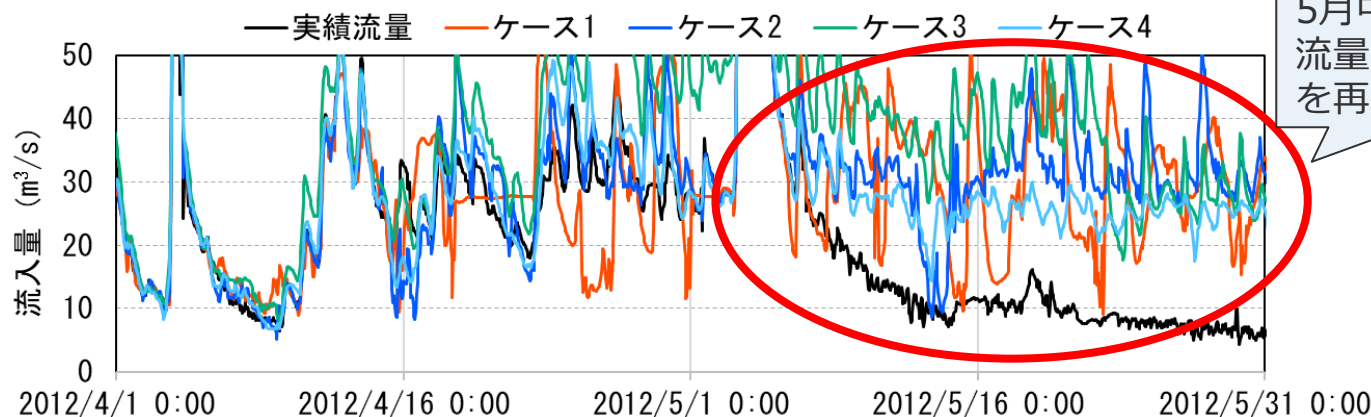
◆ 上位20洪水を対象とした交差検証結果

- ケース1：雨のみ
- ケース2：雨+気温+全天日射量
- ケース3：雨+気温+全天日射量+積雪深72時間前
- ケース4：雨+気温+全天日射量+積雪深30日前



◆ 融雪期後半（4月～5月）の再現計算結果

- ケース1：雨のみ
- ケース2：雨+気温+全天日射量
- ケース3：雨+気温+全天日射量+積雪深72時間前
- ケース4：雨+気温+全天日射量+積雪深30日前



4～5月の再現計算結果（2012年の例）

累加流量の誤差率

ケース	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
累加流量の誤差率[%] (4,5月の通し計算の15ヶ年平均)	140	153	156	91

積雪深は、いずれの年も概ね3月下旬から4月中旬までの間に0cmとなるが、ケース4は5月以降も残雪の影響を考慮できる

➡ 洪水波形を良好に再現でき、4月～5月の累加流量誤差が最も小さい**ケース4**を最適ケースとする

◆ 学習期間の追加

【融雪期後半の流量を再現できない要因】

- 学習期間（5月）の不足が影響していると考えられる

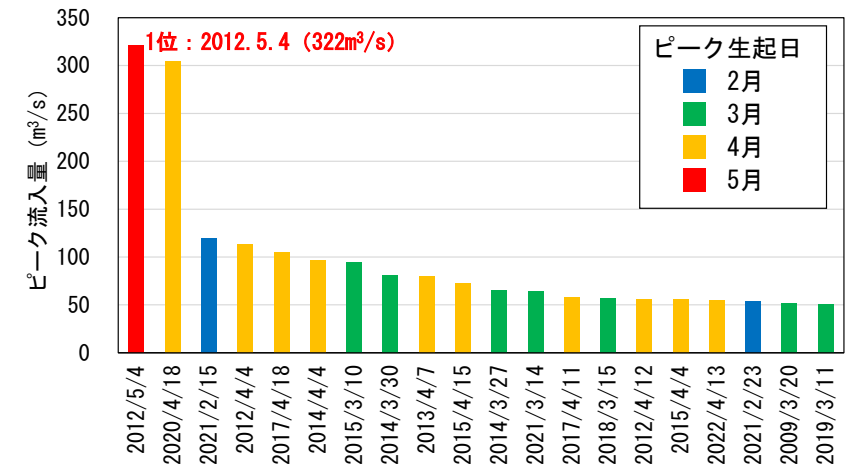


学習項目の感度分析における最適ケース（SM-Top20）に、
積雪終了時期の異なる3年分の5/1~5/31のデータを追加学
習させたモデル（SM-May+）を構築

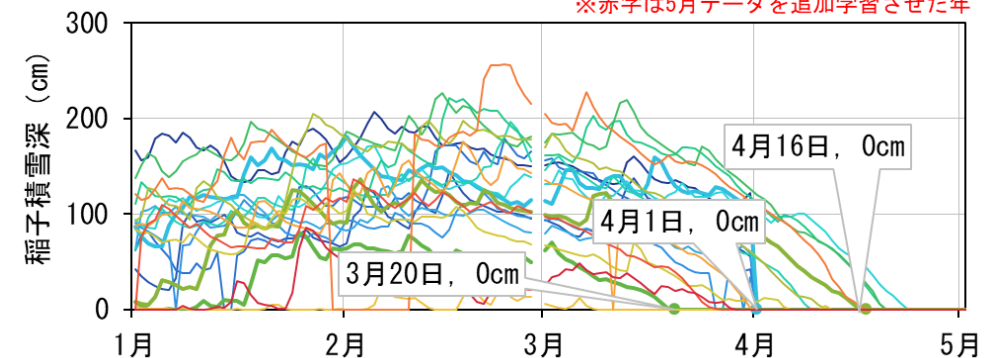


SM-Top20とSM-May+で以下の①②の比較を行う

- ① 上位20洪水を対象とした交差検証
- ② 融雪期後半（4月～5月）の再現計算

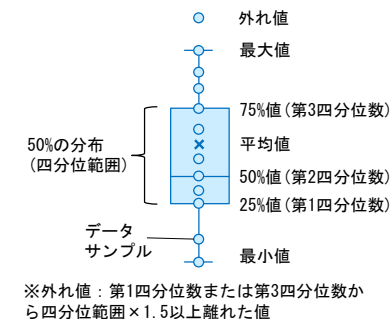
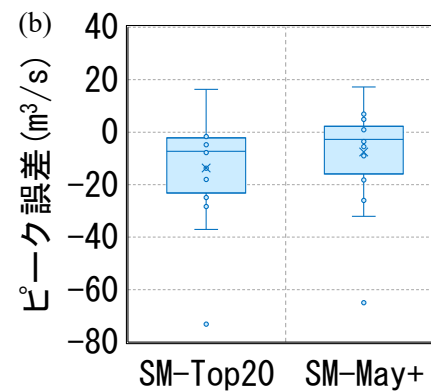
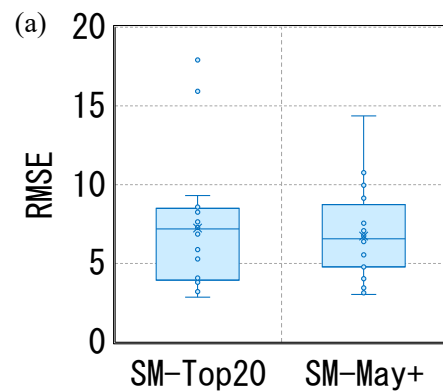


学習洪水一覧

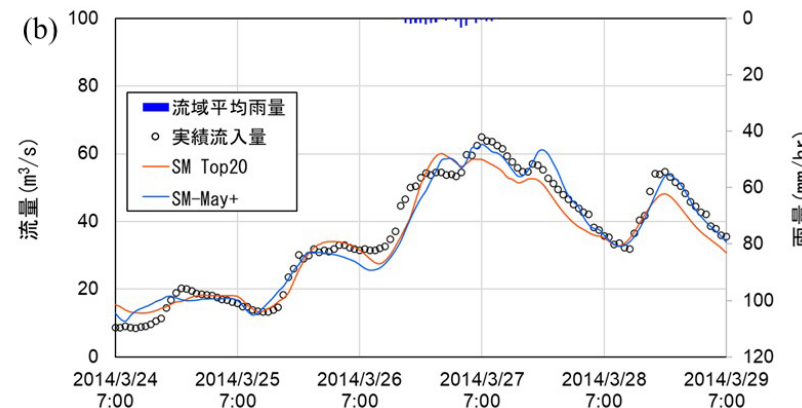
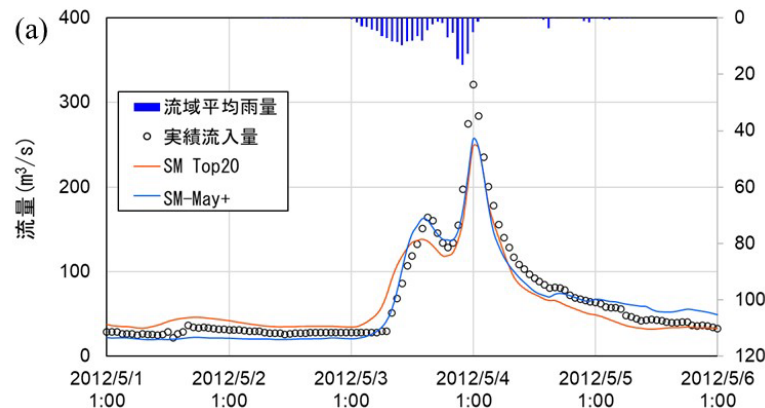


観測積雪深（稲子）の年変化と積雪終了時期

◆ 上位20洪水を対象とした交差検証結果



箱ひげ図の凡例



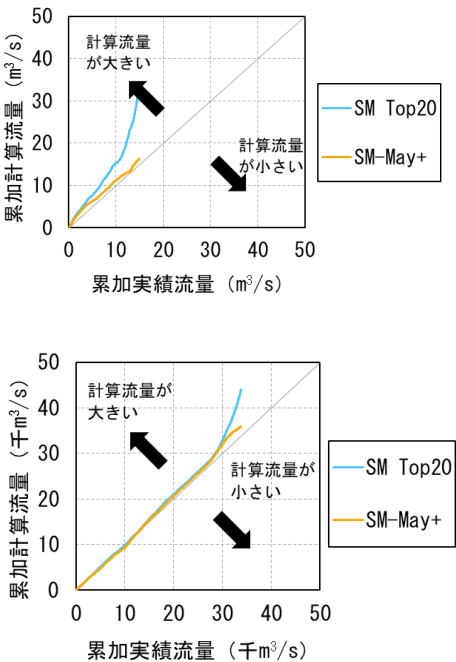
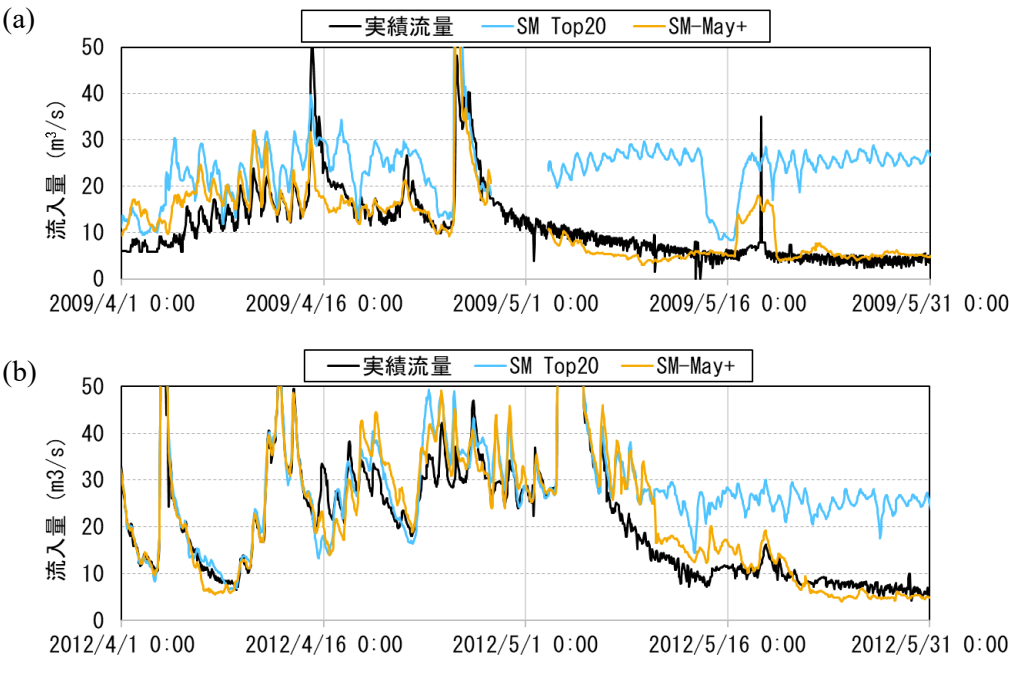
➡ 精度評価指標の平均値およびばらつきに大きな違いは見られず、5月データ3年分を追加しても第一位洪水や中規模洪水の流量波形の再現性は低下しない

◆ 融雪期後半（4月～5月）の再現計算結果

各年の4月から5月の累加流量の誤差率[%]

検証年	SM-Top20	SM-May+
2009	121.8	9.5
2010	28.0	-15.9
2012	30.2	6.4
2013	59.9	4.0
2014	68.2	35.4
2015	52.8	25.9
2018	98.5	29.5
2019	87.0	-1.4
2020	114.9	8.2
2021	139.6	23.1
2022	80.1	41.8
2023	155.4	37.6
平均	86	17

※学習に使用した3年分は除外



ハイドログラフの線が途切れている箇所は、学習データのいずれかに欠測があった期間

SM-Top20とSM-May+の再現計算結果の比較 (a)2009年, (b)2012年

➡ いずれの年においても、SM-May+はSM-Top20より累加流量の誤差率が小さい。また、流量波形の低減部分についても良好に再現できる傾向が確認された。

- 摺上川ダム流域を対象に、LSTMによる融雪期の流入量予測モデルを構築し、学習項目および学習期間が予測精度に与える影響を評価した。



- 学習項目の感度分析では、流域平均雨量に加えて気温・日射量を学習させることで日周期変動の再現性が向上し、さらに30日前の積雪深を学習させることで、洪水波形を良好に再現しつつ、流量低減期（4～5月）の累加流量誤差が最小となった。
- 上位20洪水の学習に加え、積雪終了時期の異なる3カ年分の5月のデータを追加学習させた結果、上位洪水の再現性は低下せず、融雪期後半の流入量低減部の再現性が大幅に向上した。

◆ 汎用化に向けた課題

- 5月データを追加学習する年数について、本検討では3年分で十分な効果が得られたが、流域特性やデータの特性に応じた必要年数を検討する必要がある。
- 積雪深の遡り期間（30日）は、上流域に残存する積雪の影響を間接的に表現している可能性があるが、その物理的根拠の整理および流域特性に応じた設定方法の検討を行う必要がある。