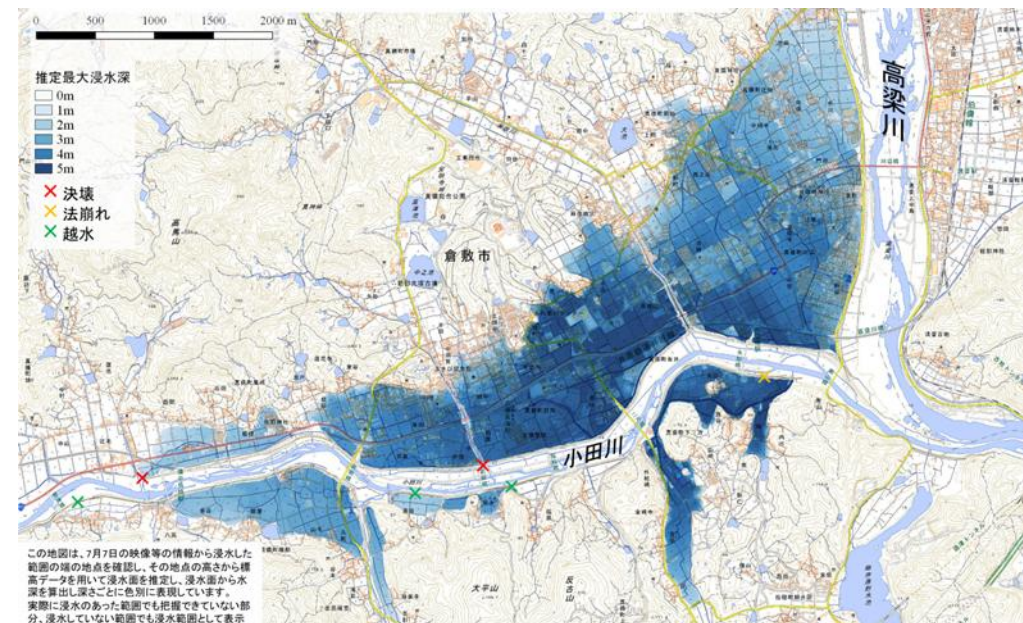


# 岐阜大学 気象データアナリスト養成講座

## 気象データ応用 流域雨量指数を用いた早期避難支援

グループ名: MY STORM

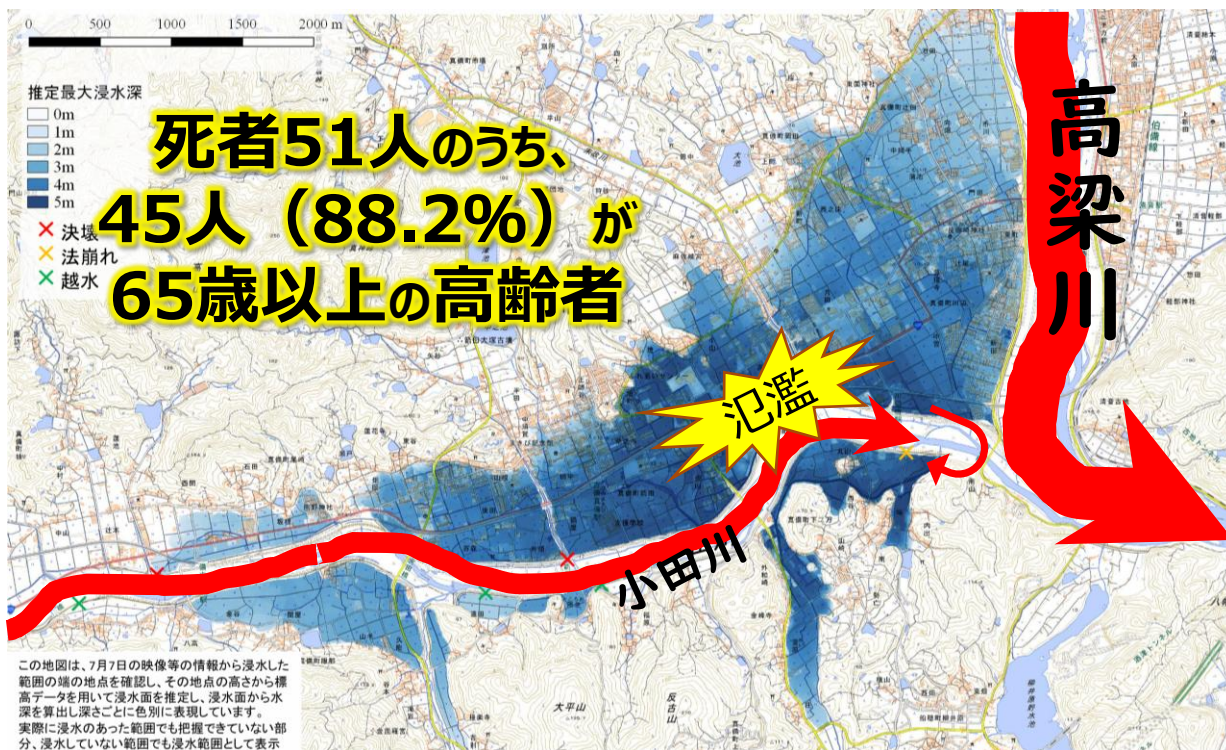
氏名: 河合、金井、塩澤、富、萩原、鈴木



# 背景

## ① 近年、バックウォーターによる支川の氾濫で多くの要配慮者が亡くなった災害

平成30年7月豪雨(岡山県倉敷市真備町)



令和2年7月豪雨(熊本県球磨村)

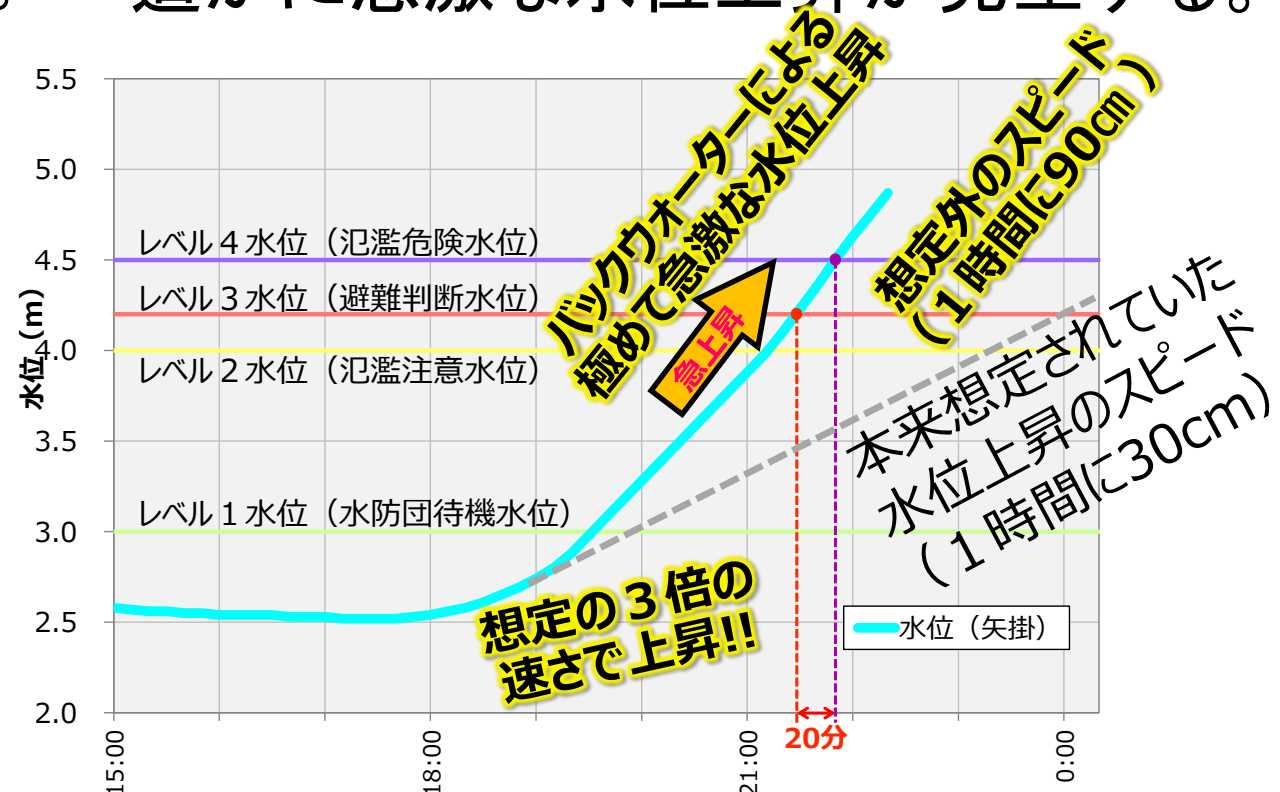
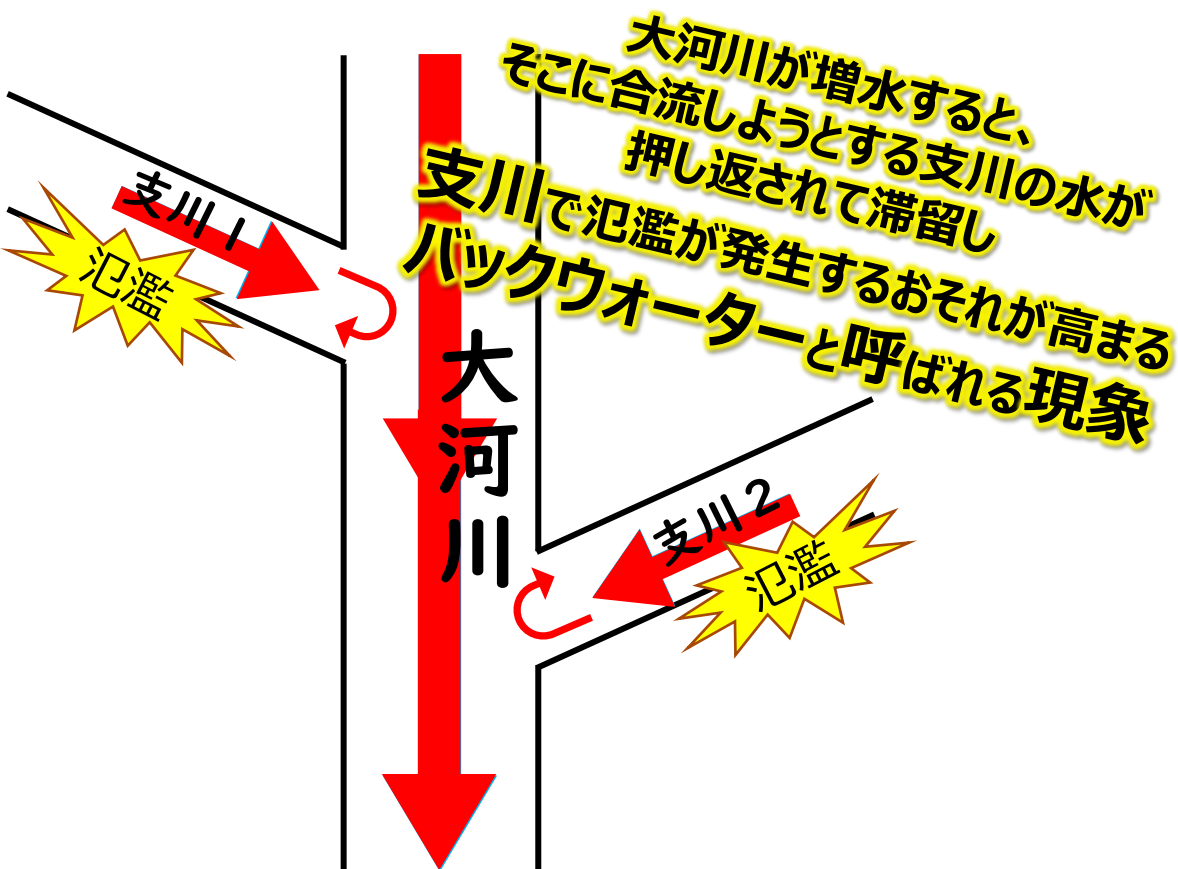


支川では急激な水位上昇が発生するため、特に要配慮者は避難が間に合わない！

# 背景

② 大雨で大河川が増水した場合、大河川よりも先に支川から氾濫する。

③ 支川では本来想定していたよりも遥かに急激な水位上昇が発生する。



平成30年7月豪雨における小田川 (矢掛水位観測所) の水位 (7月5日22:20)

**バックウォーター**は、**大河川が増水**することが原因で発生する。 3

# 目的

★ 大河川の「流域雨量指数の6時間先予測」を用いて、支川氾濫の兆候を早い段階で掴む。

6時間後にバックウォーターが発生するらしい!!  
今から避難の準備をしよう!!

□ 流域雨量指数の6時間先までの予測値 (気象庁ホームページ)

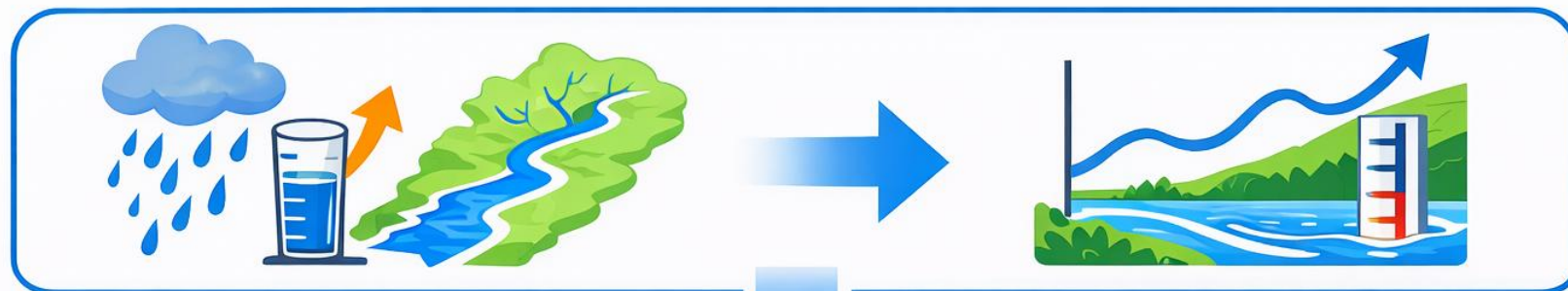
2018年07月06日18時00分 現在

市町村	基準河川	基準IV		基準III		基準II		基準I		05時	06時	07時	08時	09時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	既往最大事例			
		単独	単独	単独	複合	単独	複合	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分
		分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分	分
大河川					79.7		62.9	46.3	44.7	43.2	41.8	40.5	39.3	38.1	37.3	37.0	36.8	36.7	36.6	36.7	36.7	36.9	38.3	43.9	55.9	74.2	83.3	89.2	2018/7/7	指数	日付	
支川					29.1		10.5	17.7	17.3	16.9	16.7	16.5	16.3	16.4	16.6	17.1	17.4	17.5	17.4	17.0	16.7	16.9	18.2	21.6	26.0	28.0	36.7	2018/7/7				

過去の実際値 ← **これを検証!!** → 予測値  
 予測の精度は高いか？  
 命に関わる判断に使っても大丈夫か？

過去にバックウォーターが発生し、支川で被害が発生した時の大河川の「流域雨量指数の実際値」から基準値を設定する。

# 全体の分析の流れ



**STEP1 (PBL実習2)**  
「大河川の流域雨量指数」と  
「支川の水位」の相関を調べる



**STEP2 (PBL実習3)**  
大河川の水位予測を行う  
ための予測モデルの構築



**STEP3 (PBL実習4)**  
洪水リスクを使った  
意思決定支援

# 分析する事例

	災害名	発生年月	現象	河川名
事例①	平成30年7月豪雨	2018年7月	前線	〈本川〉高梁川
				〈支川〉小田川
事例②	令和元年東日本台風	2019年10月	台風	〈本川〉千曲川
				〈支川〉浅川
事例③	令和2年7月豪雨	2020年7月	前線	〈本川〉球磨川
				〈支川〉小川



『国土数値情報河川データセット』 (NII作成)

「国土数値情報」 (国土交通省) を加工

# 使用したデータ

1. 流域雨量指数(6時間先予測値)
2. 流域雨量指数(実況値)
3. 水位

	災害名	河川名	流域雨量指数メッシュ番号	水位観測所
事例①	平成30年7月豪雨	〈本川〉高梁川	5133-75-39	酒津水位観測所
		〈支川〉小田川	5133-74-47	矢掛水位観測所
事例②	令和元年東日本台風	〈本川〉千曲川	5538-02-74	立ヶ花水位観測所
		〈支川〉浅川	5538-02-53	—
事例③	令和2年7月豪雨	〈本川〉球磨川	4830-25-84	渡水位観測所
		〈支川〉小川	4830-25-85	—

# PBL実習2 仮説

- ★ 大河川の「流域雨量指数の6時間先予測」を用いて、支川氾濫の兆候を早い段階で掴む。

大河川の流域雨量指数(6時間先予測値)



バックウォーター発生時の支川の水位

この仮説を検証するために次にあげるステップ1から3の検証を行います

# PBL実習2 分析手法

## ・時系列相関分析

ステップ	変数1	変数2	目的
1	流域雨量指数(6時間予測値)	流域雨量指数(実況値)	6時間予測値の精度の検証
2	流域雨量指数(実況値)	河川の水位	水位と流域雨量指数の関係性
3	河川(本川)の水位	河川(支川)の水位	大河川と支川の水位の関係性
(参考)	流域雨量指数(6時間予測値)	河川の水位	水位と流域雨量指数の関係性

※データが限定されており、それぞれの河川で全ての分析は出来ていない。

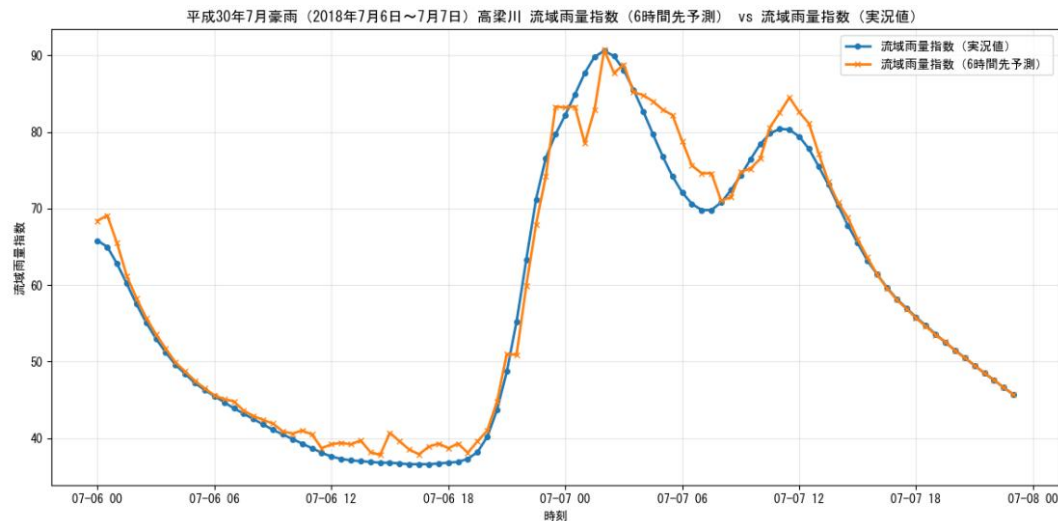
先行検証例

[https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/expert/pdf/r5\\_text/r5\\_shisu-kikendo.pdf](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/expert/pdf/r5_text/r5_shisu-kikendo.pdf)

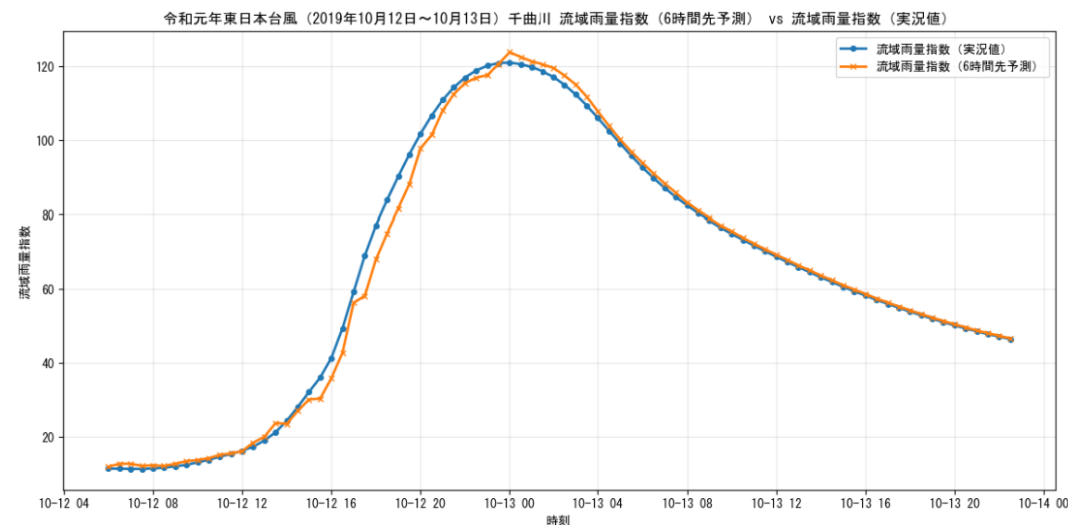
# ステップ1

## 分析結果 流域雨量指数の6時間先予測値と実況値

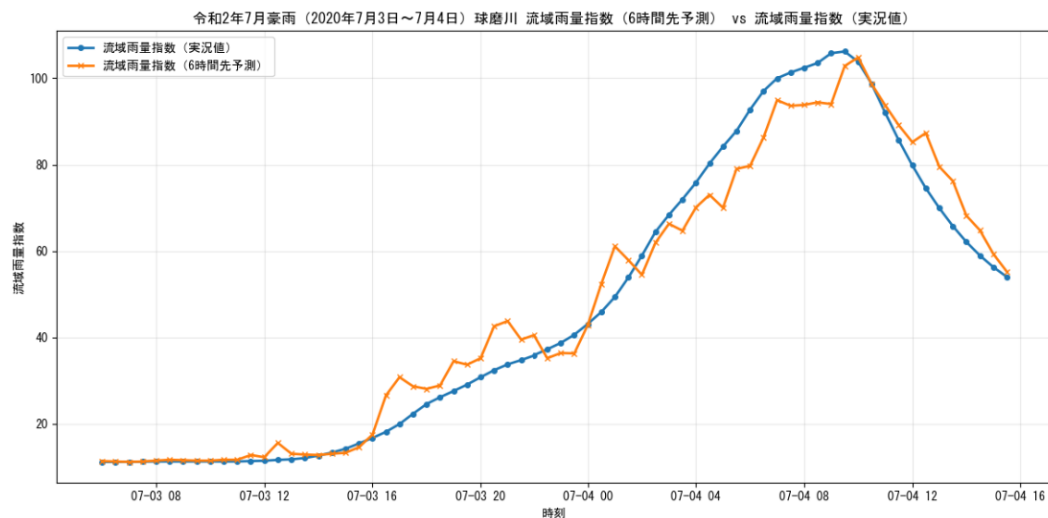
### 高梁川



### 千曲川

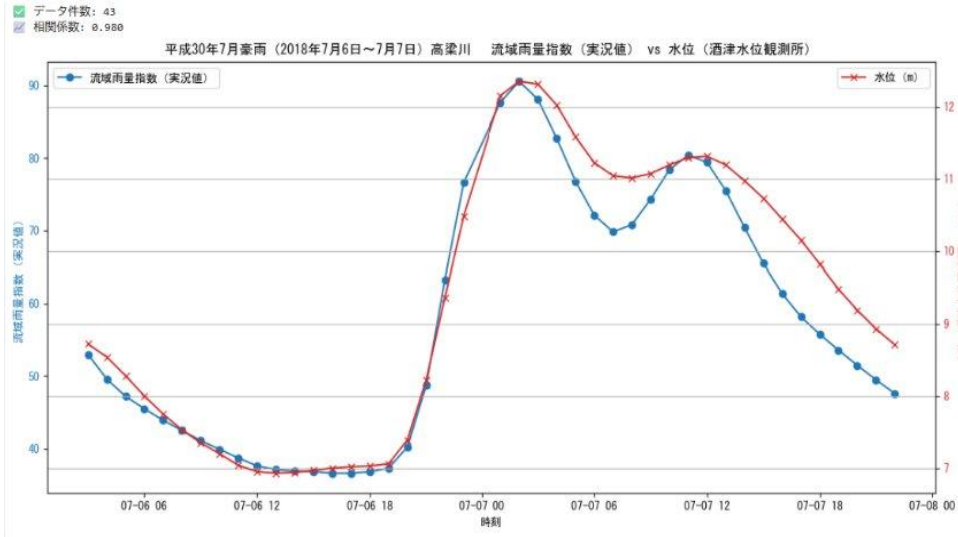


### 球磨川

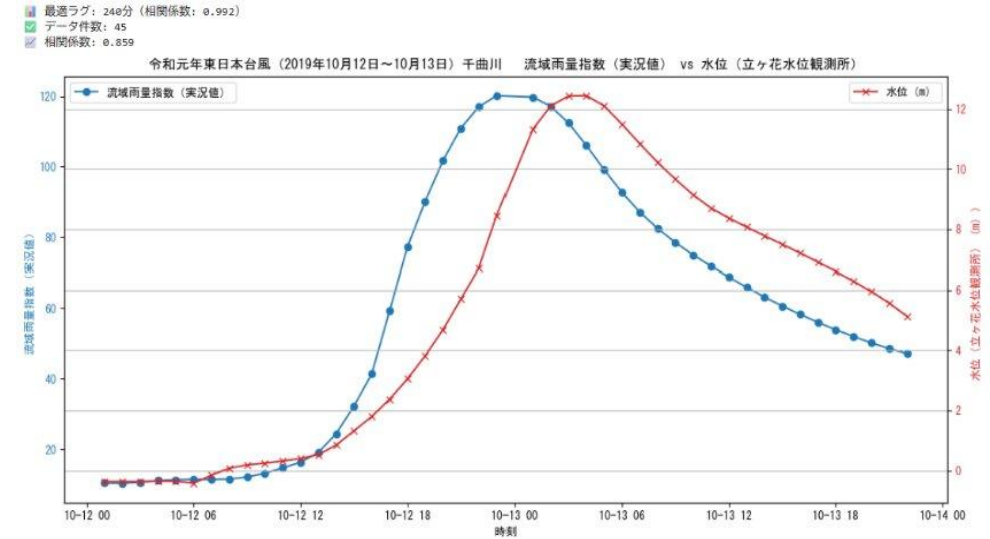


大河川の流域雨量指数(6時間先予測値)と(実況値)  
(Ⅰ)流域面積が広い大河川では予測値の精度が高い。  
(Ⅱ)流域面積が狭い支川では予測値の精度が低い。

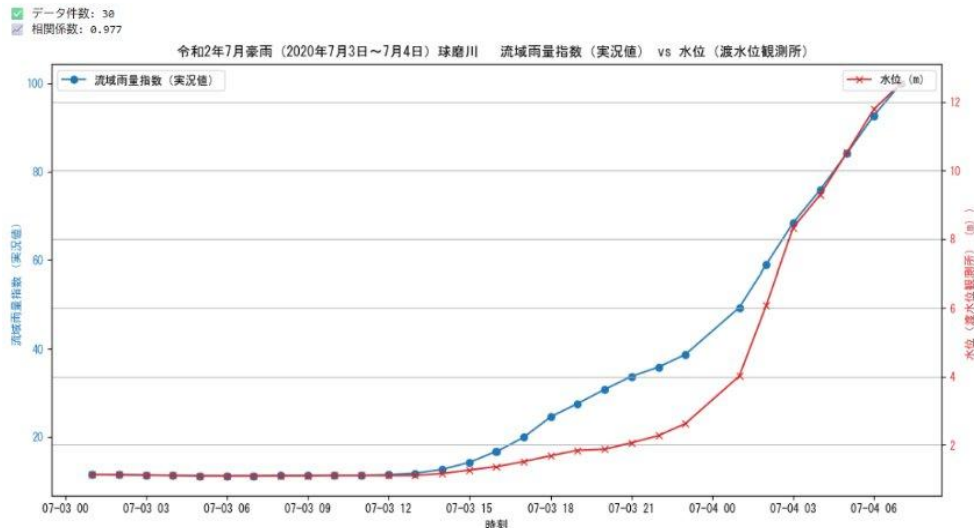
### 高梁川



### 千曲川



### 球磨川



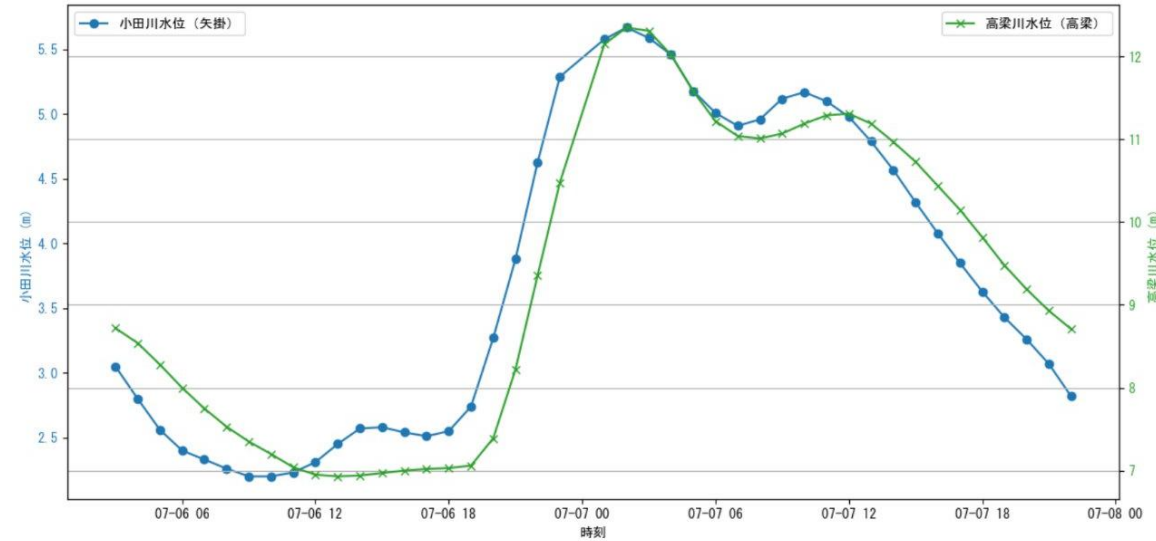
大河川の流域雨量指数(実況値)と水位  
(Ⅲ)大河川では高い相関がある。

(注)千曲川では流域雨量指数の実況値よりも  
水位のピークが遅れていたが、グラフの形の相関は高い。

# ステップ3

## 分析結果 本川と支川の水位との相関

小田川水位vs高梁川水位



大河川の水位とバックウォーター発生時の支川の水位  
(IV) 高い相関がある。

# PBL実習2 分析結果

災害名 (発生年月) 現象	河川名	流域雨量指数の 6時間先予測値と実況値 の相関係数(R2スコア)	流域雨量指数の 実況値と水位 の相関係数	流域雨量指数の 6時間先予測値と水位 の相関係数
平成30年7月豪雨 (2018年7月) 前線	〈本川〉高梁川	0.987(0.970) (I)	0.975(Ⅲ)	0.976
	〈支川〉小田川	0.896(0.774) (II)	0.954	0.895
令和元年東日本台風 (2019年10月) 台風	〈本川〉千曲川	0.997(0.993) (I)	0.859(Ⅲ)	0.851
	〈支川〉浅川	0.967(0.900) (II)	—	—
令和2年7月豪雨 (2020年7月) 前線	〈本川〉球磨川 (水位が途中で欠測)	0.984(0.967) (I)	0.977(Ⅲ)	0.928
	〈支川〉小川	0.877(0.739) (II)	—	—

災害名 (発生年月) 現象	河川名	水位の比較
平成30年7月豪雨 (2018年7月) 前線	〈本川〉高梁川	0.949(IV)
	〈支川〉小田川	

# 仮説 目的とステップ1～3

**大河川の流域雨量指数(6時間先予測値)**

予測値の精度を検証

〈仮説〉

**確認**

(Ⅰ)流域面積が広い大河川では予測値の精度が高い。

(Ⅱ)流域面積が狭い支川では予測値の精度が低い。

**大河川の流域雨量指数(実況値)**

相関関係の有無を検証

〈仮説〉

**確認**

(Ⅲ)大河川では高い相関がある。

**大河川の水位**

〈仮説〉

(Ⅳ)大河川とバックウォーター発生時の支川の水位は高い相関がある。<sup>14</sup>

**確認**

相関関係の有無を検証

**バックウォーター発生時の  
支川の水位**

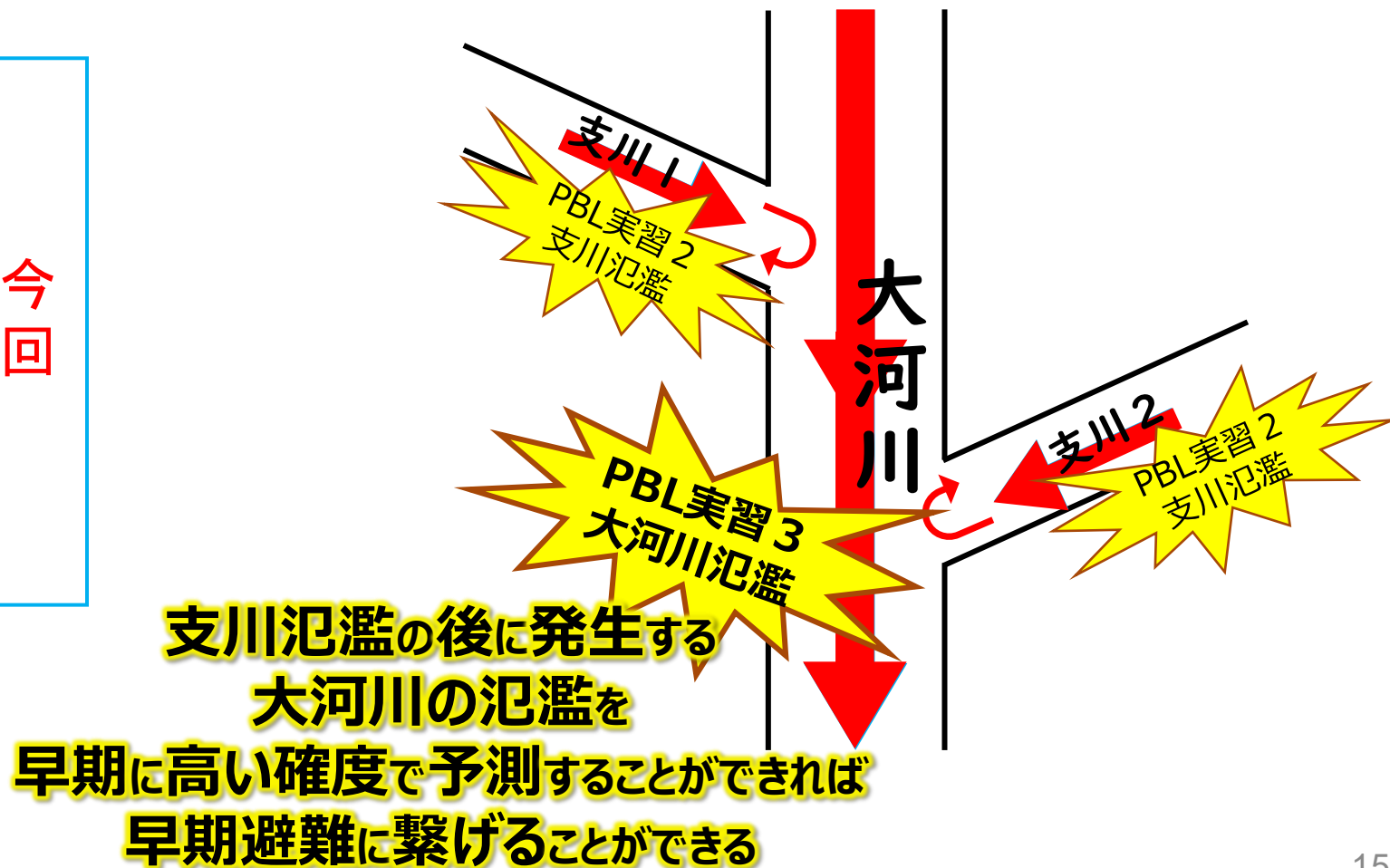
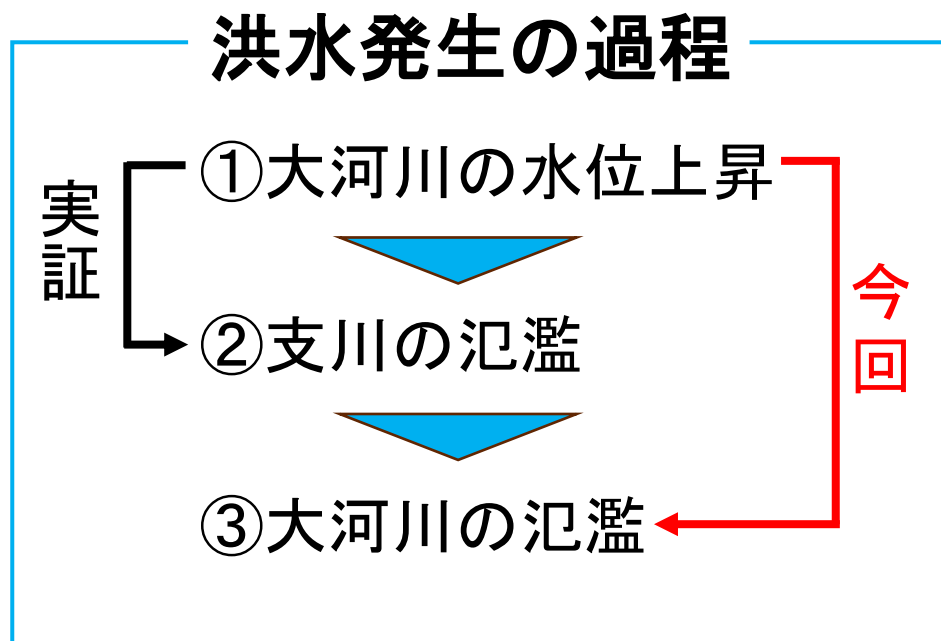
**成立**

〈目的〉

(Ⅴ)大河川の「流域雨量指数の6時間先予測」を用いて、支川氾濫の兆候を早い段階で掴む。

# PBL実習3 目的

大河川の「**流域雨量指数の6時間先予測**」を用いて、  
要配慮者の早期避難に資する「**大河川の水位予測**」を行う。



# PBL実習3 使用したデータ

## 【説明変数】

[名称] 大河川の流域雨量指数の6時間先予測値

[期間] 2023年3月～2025年9月

[粒度] 30分毎

[入手] 岐阜大学気象データサーバ

[名称] 大河川の水位 ※高梁川(観測所名:酒津)、千曲川(観測所名:立ヶ花)、球磨川(観測所名:渡)

[期間] 2023年1月～2025年11月

[粒度] 1時間毎

[入手] 国土交通省水文水質データベース <https://www1.river.go.jp>

## 【目的変数】

[名称] 大河川の6時間先水位 ※高梁川(観測所名:酒津)、千曲川(観測所名:立ヶ花)、球磨川(観測所名:渡)

[期間] 2023年1月～2025年11月

[粒度] 1時間毎

[入手] 国土交通省水文水質データベース <https://www1.river.go.jp>

※予測モデルの検証データには高梁川<2018年>、千曲川<2019年>、球磨川<2020年>の氾濫発生時の流域雨量指数ならびに水位も使用。

# PBL実習3 分析手法

## ①データの読込

- ・大河川の流域雨量指数の6時間先予測値（2023年3月～2025年9月、30分毎）
- ・大河川の水位（2023年3月～2025年9月、1時間毎）

## ②データの前処理

- #1. 連続時刻データフレームを作成
- #2. 時系列データとマージ
- #3. 欠損値補完
- #4. 6時間後の水位を目的変数に作成
- #5. 欠損値のある行を削除
- #6. 説明変数と目的変数をx,yに設定
- #7. 訓練データ(前半7割)と検証データ(後半3割)の分離
- #8. 標準化

整理したDataFrame: 高梁川

説明変数

目的変数

	予測時刻	流域雨量指数（6時間先予測値）	水位	水位_6時間後
14	2023-03-06 14:00:00	5.7	-0.60	-0.62
15	2023-03-06 15:00:00	5.7	-0.61	-0.62
16	2023-03-06 16:00:00	5.7	-0.62	-0.63
17	2023-03-06 17:00:00	5.7	-0.62	-0.64
18	2023-03-06 18:00:00	5.7	-0.62	-0.64
...	...	...	...	...
22549	2025-09-30 13:00:00	9.5	-0.57	-0.54
22550	2025-09-30 14:00:00	9.4	-0.57	-0.54
22551	2025-09-30 15:00:00	9.3	-0.56	-0.54
22552	2025-09-30 16:00:00	9.1	-0.55	-0.54
22553	2025-09-30 17:00:00	9.0	-0.54	-0.53

# PBL実習3 分析手法

## ③予測モデルの構築

### #1.重回帰分析

【回帰式】6時間先の水位 =

$$W1 \times \text{現在水位} + W2 \times \text{流域雨量指数6時間先予測値} + b$$

### #2.LSTM

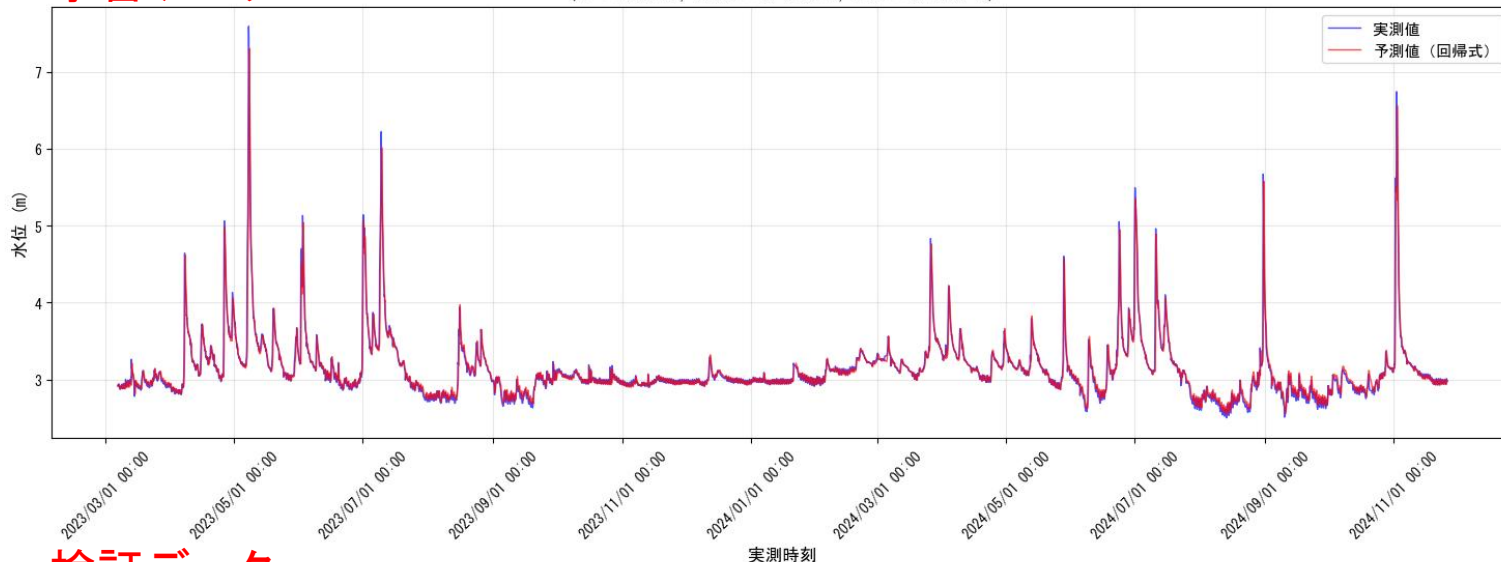
## ④精度評価

$R^2$ 、RMSE、MAE      水位予測値と実測値の比較

# 分析結果 重回帰分析(高梁川)

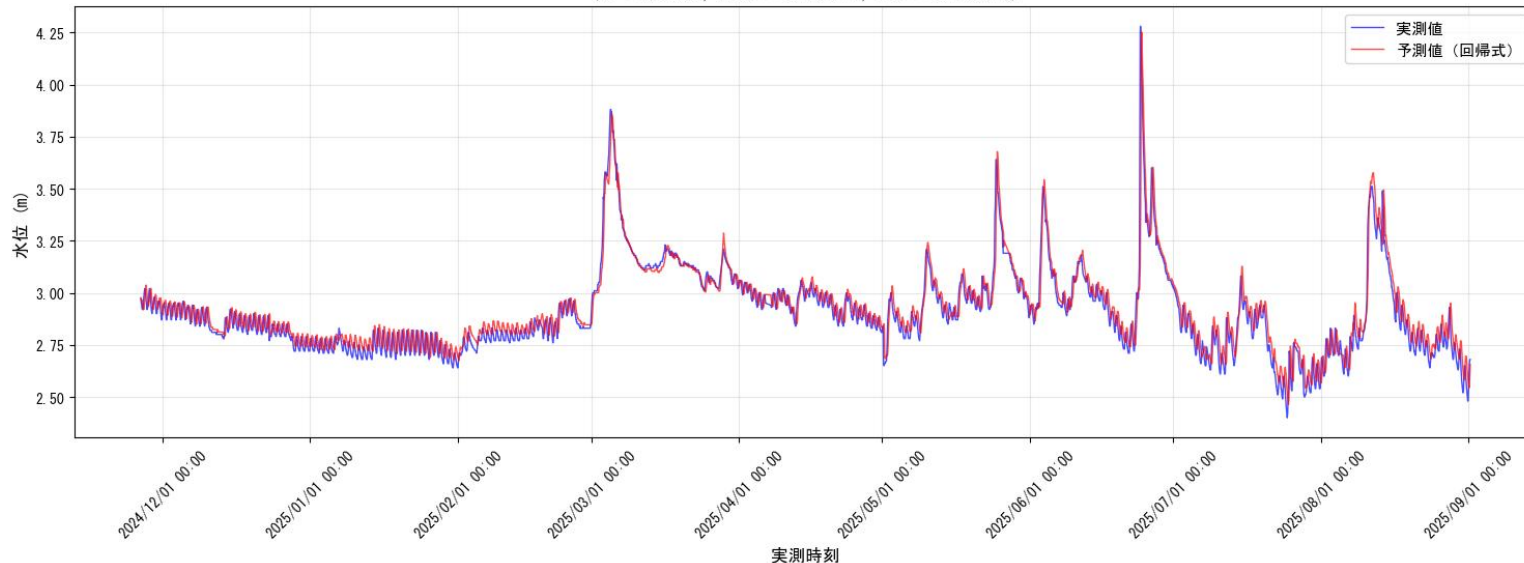
## 学習データ

学習データ: 水位の予測値と実測値の比較  
( $R^2 = 0.8918$ , RMSE = 0.1350 m, MAE = 0.0571 m)



## 検証データ

検証データ: 水位の予測値と実測値の比較  
( $R^2 = 0.9031$ , RMSE = 0.0640 m, MAE = 0.0456 m)



### 回帰式の作成結果

#### 【回帰式】

$$\text{水位}_6\text{時間後} = 0.8791 \times \text{現在水位} + 0.0747 \times \text{流域雨量指数} + -0.0000$$

#### 【データ分割】

学習データ: 15024件 (70.0%)

検証データ: 6440件 (30.0%)

#### 【学習データの精度】

決定係数 ( $R^2$ ): 0.8918

RMSE: 0.1350 m

MAE: 0.0571 m

#### 【検証データの精度】

決定係数 ( $R^2$ ): 0.9031

RMSE: 0.0640 m

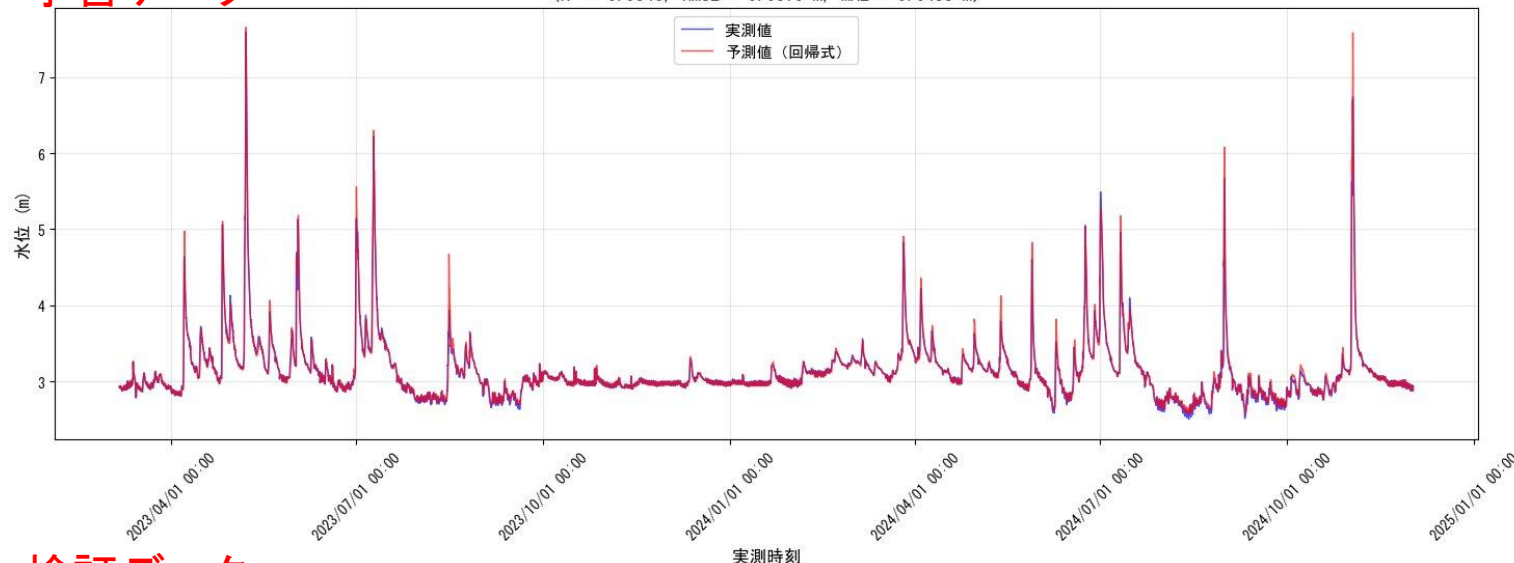
MAE: 0.0456 m

- ✓ 決定係数は約0.9と高い精度で予測
- ✓ 他の河川も同様

# 分析結果 LSTM(高梁川)

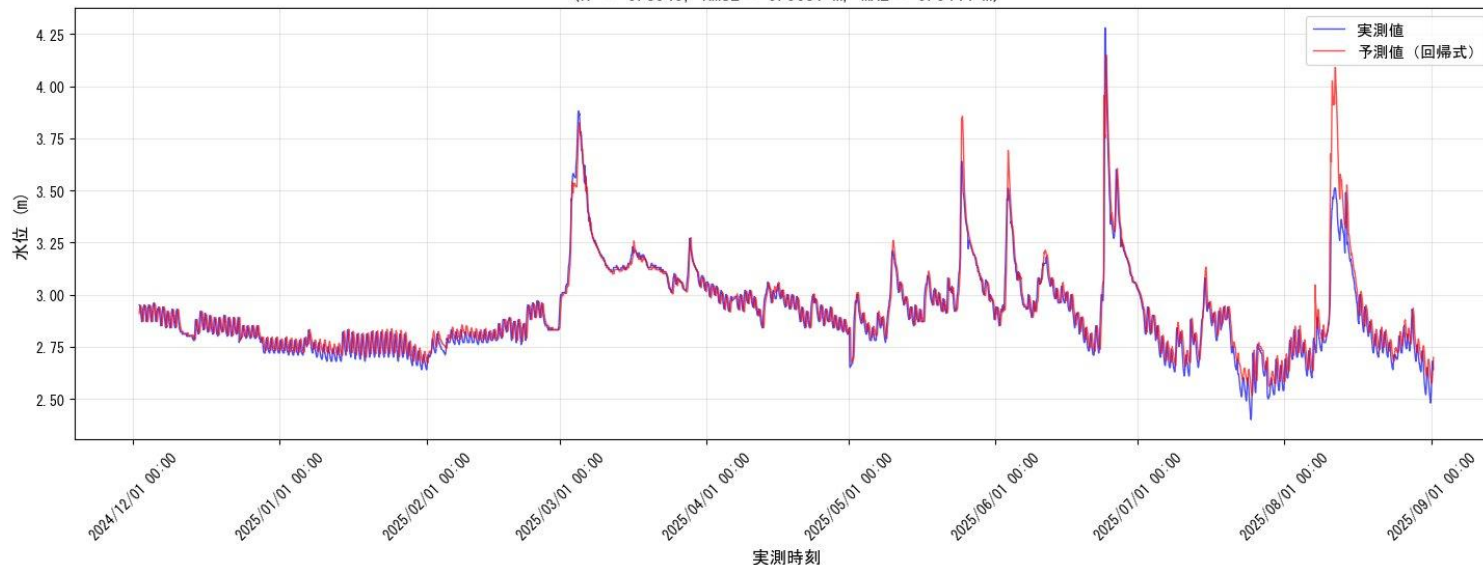
## 学習データ

学習データ: 水位の予測値と実測値の比較  
( $R^2 = 0.9546$ , RMSE = 0.0870 m, MAE = 0.0453 m)



## 検証データ

検証データ: 水位の予測値と実測値の比較  
( $R^2 = 0.8940$ , RMSE = 0.0681 m, MAE = 0.0444 m)



### LSTMの結果

#### 【データ分割】

学習データ: 15198件 (70.0%)

検証データ: 6514件 (30.0%)

#### 【学習データの精度】

決定係数 ( $R^2$ ): 0.9546

RMSE: 0.0870 m

MAE: 0.0453 m

#### 【検証データの精度】

決定係数 ( $R^2$ ): 0.8940

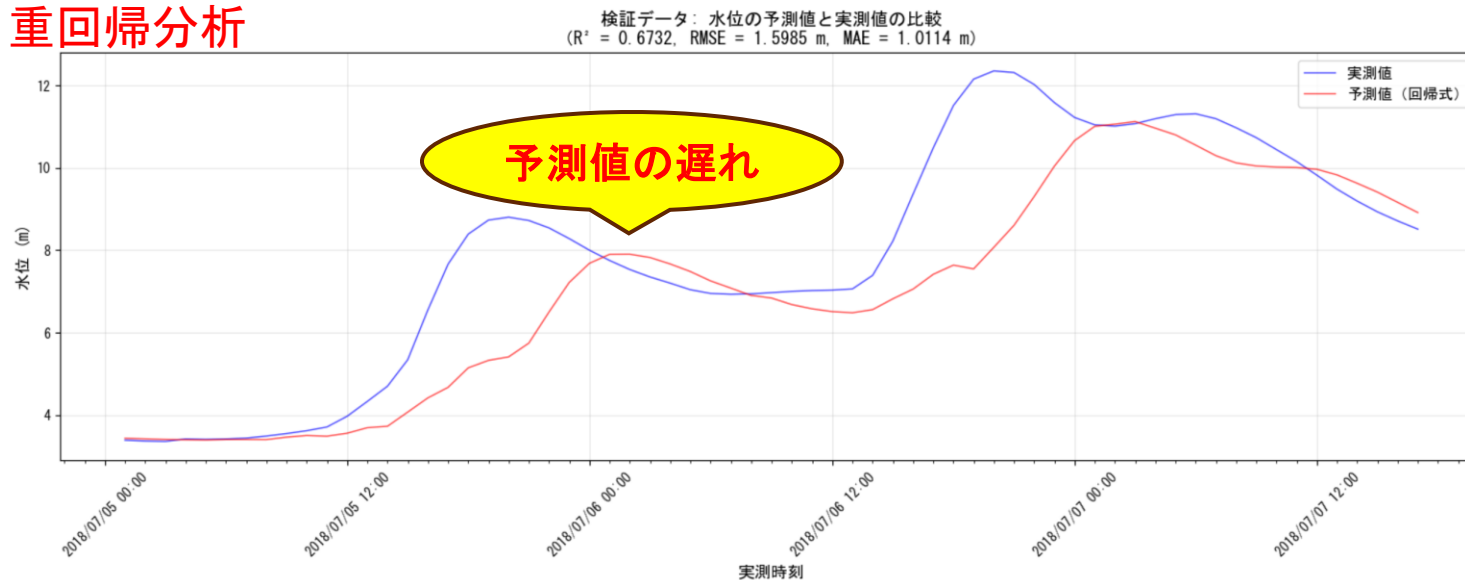
RMSE: 0.0681 m

MAE: 0.0444 m

- ✓ 検証データのRSMEは、重回帰分析に比べ誤差が小さくなった
- ✓ 他の河川も同様

# 分析結果 平成30年7月豪雨 (2018年7月) (高梁川)

## 重回帰分析

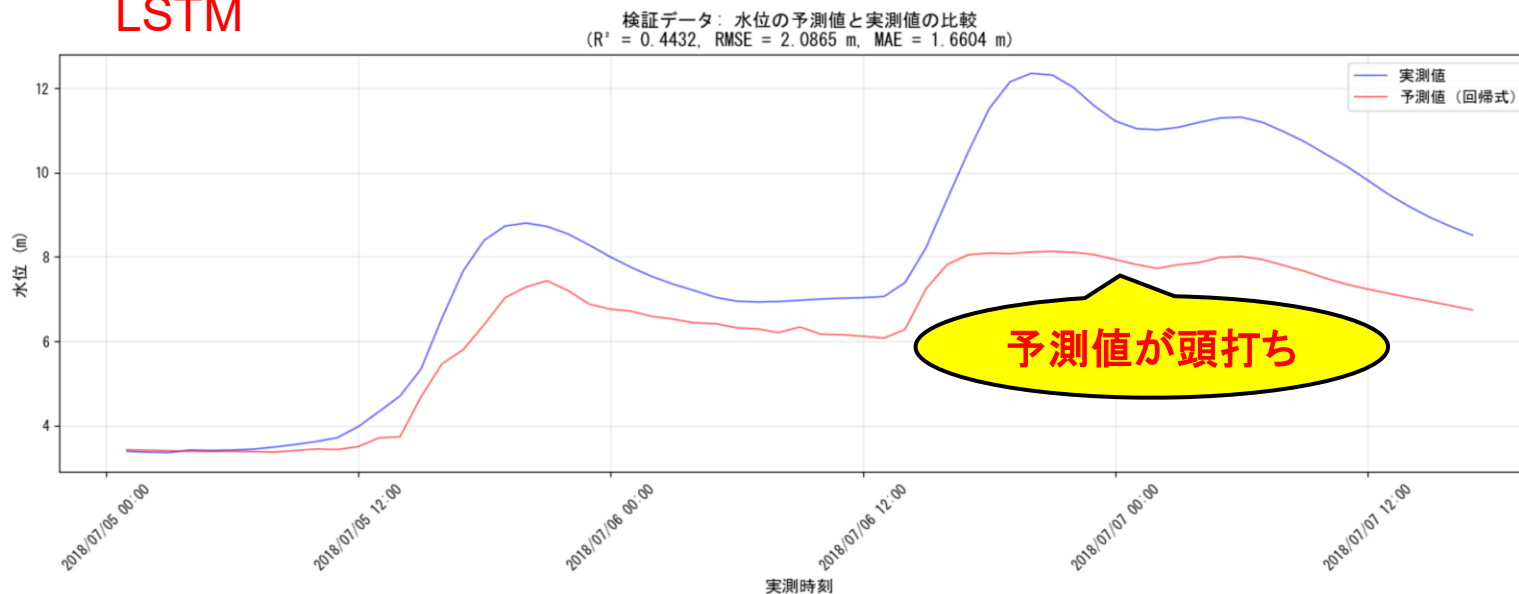


## 検証結果

### 【検証データの精度】

決定係数 ( $R^2$ ): 0.6732  
 RMSE: 1.5985 m  
 MAE: 1.0114 m

## LSTM



## 検証結果

### 【検証データの精度】

決定係数 ( $R^2$ ): 0.4432  
 RMSE: 2.0865 m  
 MAE: 1.6604 m

# PBL実習3 考察

## • LSTMでは予測値が頭打ち

- LSTMでは全データの誤差が小さくなるように最適化される
- 平常時の誤差低減を優先して学習した結果、高水位期のピークは学習データの最大値に近い値にとどまり、実際のピークより控えめに予測されてしまったと考えられる
- 高水位期を重視した損失関数の工夫が必要

## • 予測値の遅れ

### 【重回帰分析】

- 流域雨量指数6時間先予測値のみを説明変数とした場合には遅れなし
- 回帰式の現在水位の係数が約0.87と高く、現在の水位の値の影響を強く受けていると考えられる
- さらなる説明変数の選定が必要

### 【LSTM】

- 低水位期には、予測値の6時間遅れが生じた  
高水位期には、予測値の遅れは見られない
- 低水位期は水位の変動が小さいため、現在水位を予測値に強く反映しているが、高水位期には流域雨量指数6時間先予測値の急激な変動を捉え、流域雨量指数6時間先予測値の影響が強くなり、水位の6時間遅れが発生しなかったと考えられる

# PBL実習3 結果

- 大河川の流域雨量指数6時間先予測値を用い、重回帰分析とLSTMによる水位予測モデルの構築を試みた

## 【重回帰分析】

- 決定係数は高く、基礎的な予測精度は確保できた
- 現在水位への依存が強く、その結果、予測値に約6時間の遅れが生じた。
- 説明変数(ラグ変数など)の工夫が今後の課題

## 【LSTM】

- 重回帰分析より誤差が小さく、高精度な予測が可能であった
- 平常時データ中心の学習により、高水位期のピークが過小評価され、予測値が頭打ちとなった。対策として、高水位を重視した学習が必要である
- 低水位期では6時間の遅れが生じるが、高水位期では遅れは見られなかった

水位予測の高度化には、LSTMを中心としつつ、学習データや損失関数の工夫による災害時予測性能の改善が必要

# PBL実習4 背景

## 河川周辺事業者における水害の影響事例

〈平成30年7月豪雨〉

### 災害概要

- ・平成30年7月豪雨により、倉敷市真備町で大規模な浸水被害が発生

### 被災事業者

- ・倉敷市真備町に立地するタクシー事業者(日の丸タクシー)

### 被害状況

- ・タクシー22台、バス11台が水没
- ・事業用車両という主要資産が一度に喪失

### 事業への影響

- ・被災前と同じ車両数に回復したのは2021年3月
- ・復旧までに約2年8か月を要した
- ・水害が長期的な事業継続に深刻な影響を及ぼした



写真:毎日新聞(2023/7/5)

# PBL実習4 目的

人命を直接コスト／ロス構造に組み込むことが難しい要配慮者施設ではなく、河川周辺に立地する事業者を対象とする。

確率予報に基づいて、対策を実施するか否かの意思決定を行うために、洪水による商品の水没リスクと、事前対策に要するコストおよび被害発生時のロスを定量的に評価することを目的とする。



FLOOD LEAD(フラッドリード)

要配慮者の“逃げ遅れゼロ”を実現する。



河川周辺に立地する事業者の  
“合理的な事前対策判断”の支援を実現する。

# 使用したデータ

## □ 河川周辺に立地する事業所

➤ 分析対象として、以下の3業種を選定した

- (1) タクシー会社・・・資産の移動が容易
- (2) 家電量販店・・・商品単価が高い
- (3) 書店・・・商品は移動させやすいが水に弱い

→ 各業種における営業形態を考慮し、対策費用および被災時の損失額(ロス)を試算した



## □ 気象データ

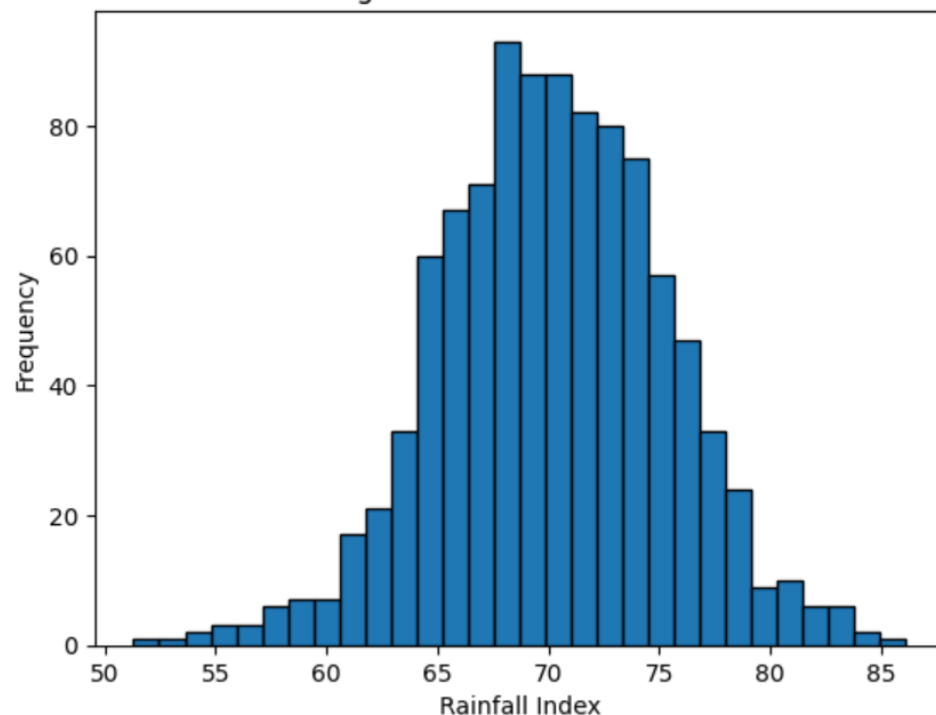
流域雨量指数(高梁川)のダミーデータ



# 仮想の確率予報

## ① 流域雨量指数のダミーデータの作成

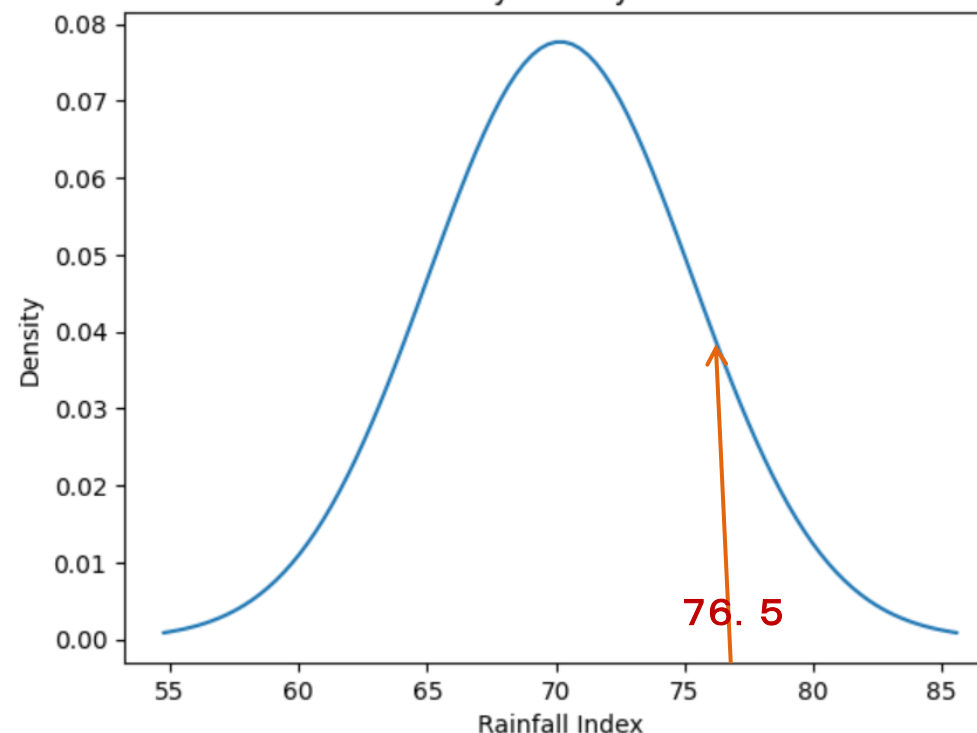
Histogram of Basin Rainfall Index



Average: 70.16371977587917, Standard Deviation: 5.134252086072826

## ② 確率密度関数を計算

Probability Density Function



## ③ 累積分布関数の計算

流域雨量指数 76.5 を上回る確率: **10.86%**

流域雨量指数 76.5 を下回る確率: **89.14%**



洪水が起こる確率が**11%**として、  
各事業者の期待利益を計算

# 意思決定分析

- 洪水が起こる確率が11%の場合の期待利益

事業者	対策なし	対策あり
タクシー会社	-6,374,000円	2,202,000円
家電販売店	540,000円	13,370,000円
書店	-663,900円	-253,100円

どの事業者においても**対策なし** < **対策あり**



対策を取ることが推奨

# 分析結果

- 「タクシー会社」「家電量販店」「書店」いずれでも洪水の発生確率が1桁パーセントで「要対策」の判定

## タクシー会社の例

	P_洪水が起きる	P_洪水が起きない	期待利益_避難する	期待利益_避難しない	期待利益差 (避難 - 非避難)	推奨対策
0	0.00	1.00	2290000.0	2800000.0	-510000.0	避難しない
1	0.01	0.99	2282000.0	1966000.0	316000.0	避難する
2	0.02	0.98	2274000.0	1132000.0	1142000.0	避難する
3	0.03	0.97	2266000.0	298000.0	1968000.0	避難する
4	0.04	0.96	2258000.0	-536000.0	2794000.0	避難する
...	...	...	...	...	...	...
96	0.96	0.04	1522000.0	-77264000.0	78786000.0	避難する
97	0.97	0.03	1514000.0	-78098000.0	79612000.0	避難する
98	0.98	0.02	1506000.0	-78932000.0	80438000.0	避難する
99	0.99	0.01	1498000.0	-79766000.0	81264000.0	避難する
100	1.00	0.00	1490000.0	-80600000.0	82090000.0	避難する

# 分析結果

- 「タクシー会社」「家電販売店」「書店」いずれでも洪水の発生確率が1桁パーセントで「要対策」の判定

事業者	損失割合	要対策のしきい値
タクシー会社	100%	1%
	25%	2%
家電量販店	100%	3%
書店	25%	4%
	10%	7%
	5%	11%

# PBL実習4 考察

## ・分析結果から何が言えるか

### 対象業種

タクシー会社(資産移動が容易)、家電量販店(商品単価が高い)、書店(水に弱い商品)

### 共通した結果

洪水発生確率が 1桁% の段階で、いずれも「要対策」と判定

### 意思決定の示唆

- ・想定したビジネスでは、確率予測の精緻さの重要性は相対的に低い
- ・洪水の可能性が示唆された時点で対策を講じることが合理的

### 対策の考え方

- ・高額商品は2階以上への配置など事前対策が有効
- ・損害額が大きく、対策費が低いほど早期対策が有利
- ・一方で、損害額と対策費が拮抗する場合に確率予報の重要性が高まる

# 結論

## <FLOOD LEADが示す新たな可能性>

- 原点  
要配慮者の「逃げ遅れゼロ」の実現を目指して考案
- 新たな展開  
河川周辺に立地する事業者の  
「合理的な事前対策判断」を支援
- 価値の拡張
  - ・ヒトの命を守る
  - ・ヒトの暮らしを豊かにする身の回りのモノを無駄にしない  
水没から守る
- ▶ FLOOD LEADは、人命と事業・暮らしの両方を守る意  
思決定支援へ

