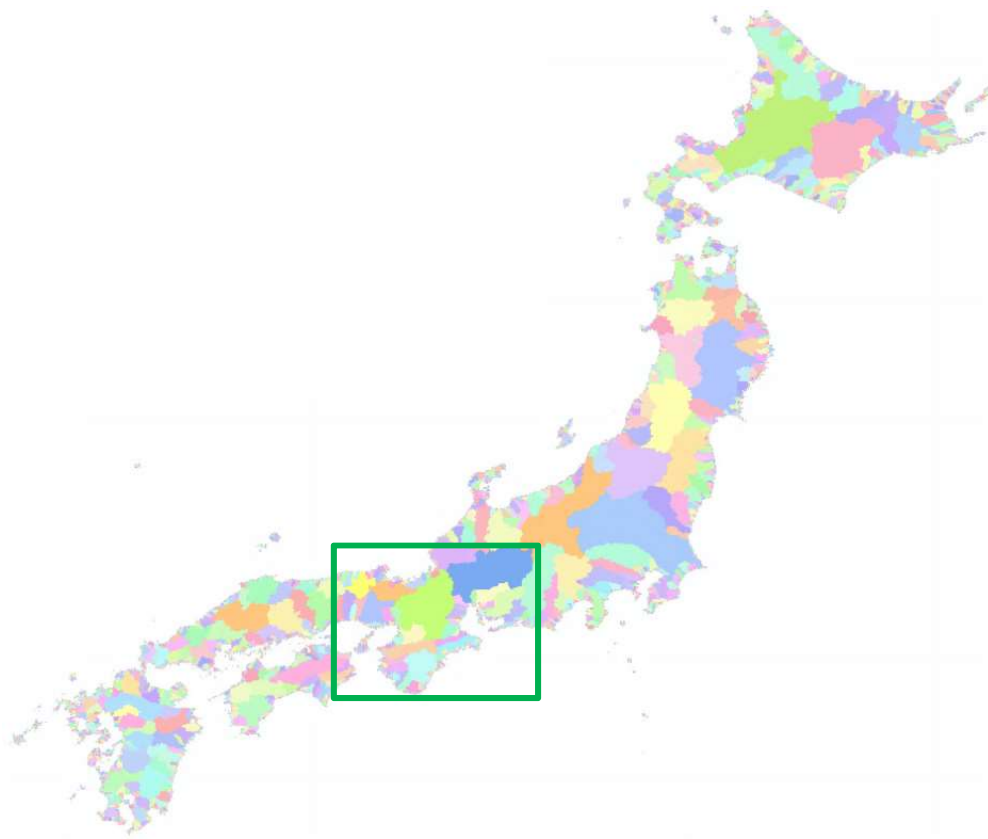


任意地点を対象とするリアルタイム 水位・流量予測に向けた技術開発 について

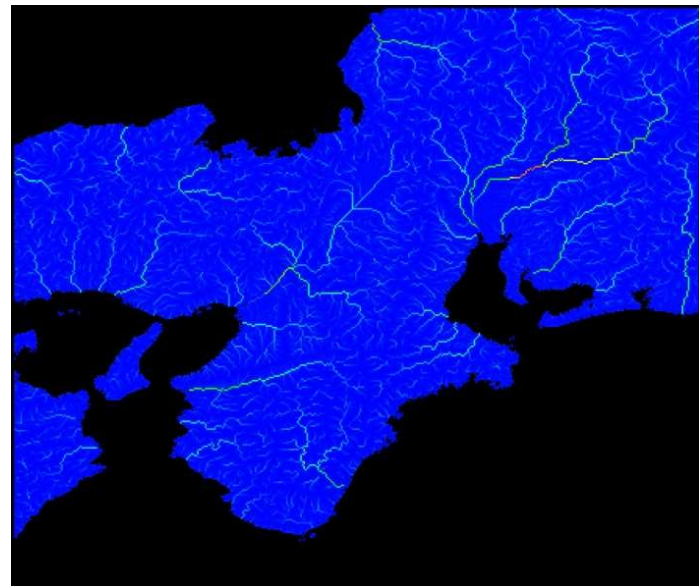
京都大学工学研究科

立川康人

実時間予測では、特定の地点の予測でなく、河川網全体での流量・水位を予測して、任意地点を予測対象とする予測システムの開発・運用が主流になる。

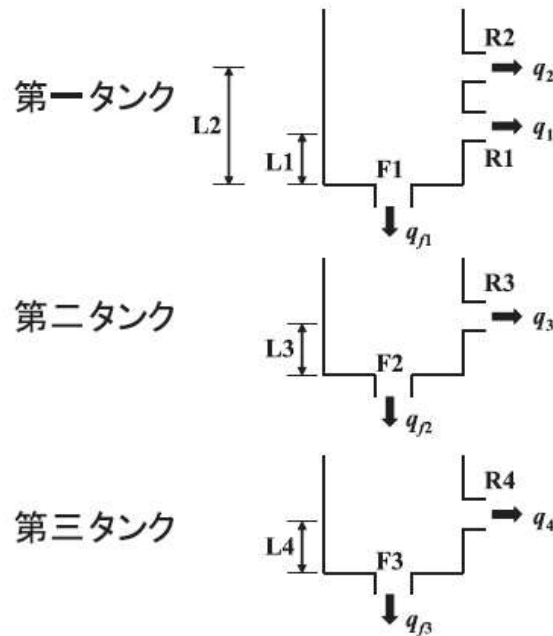


たとえば日本
(関東、中部、関西)



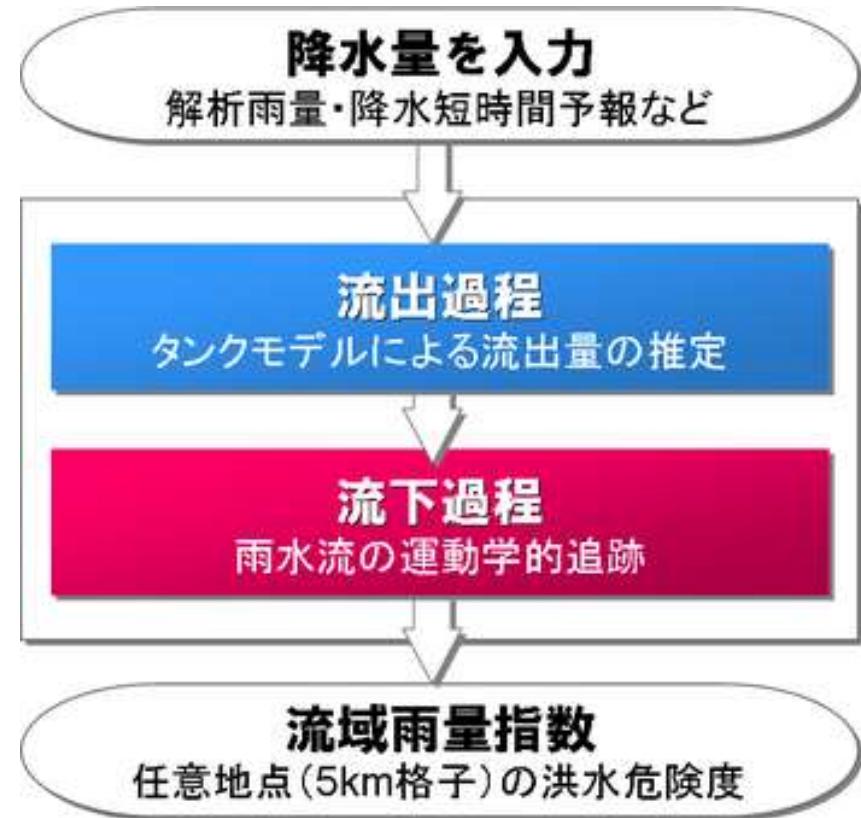
気象庁が出す洪水警報・注意報、大雨警報・注意報

- 雨量土壌指数 Soil water index
- 流域雨量指数 Basin rainfall index

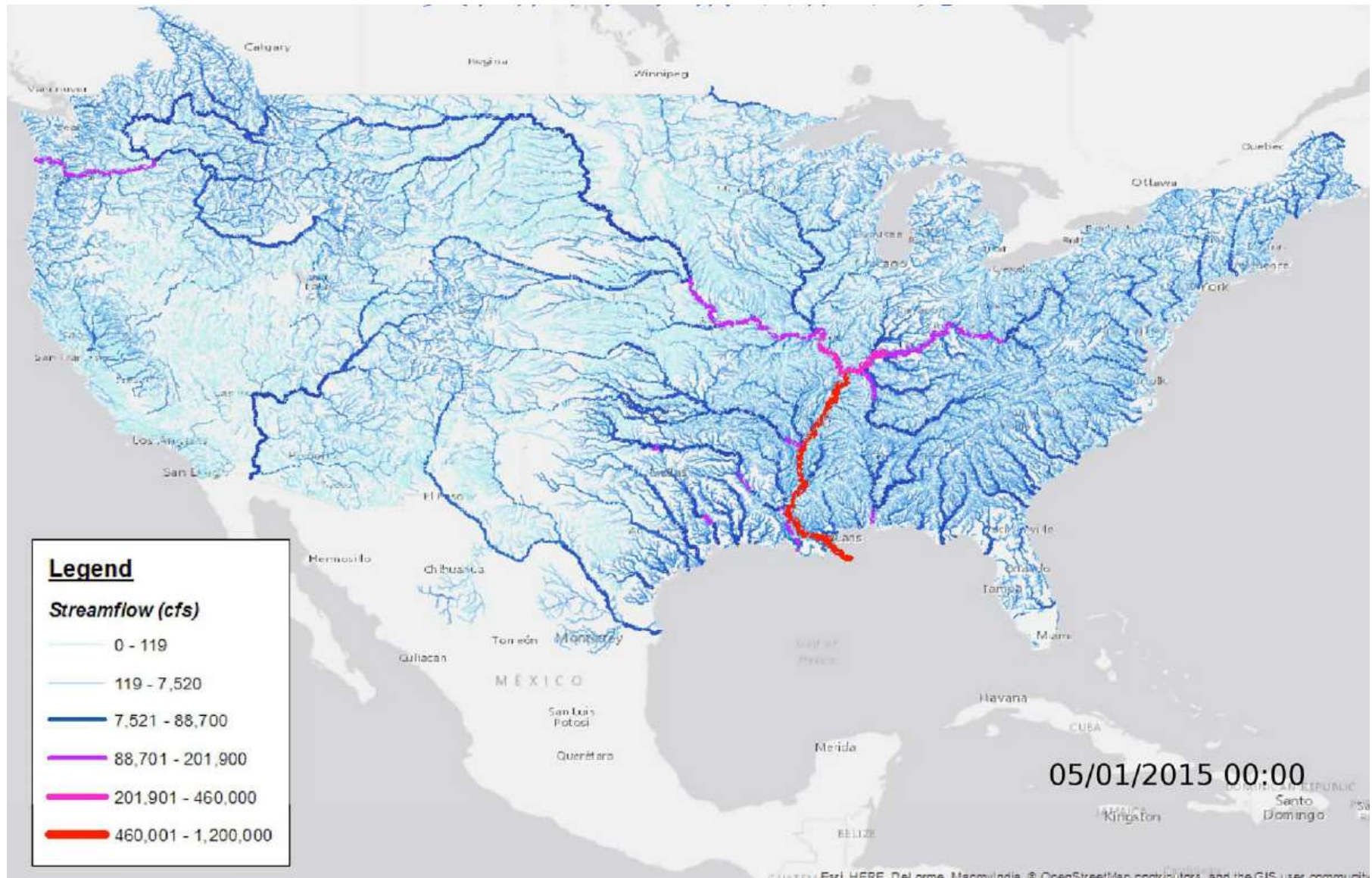


第3図 直列三段タンクモデル

Ishihara and Kobatake (1979) による。R, F, L は、流出率、浸透率、底面から孔までの高さを表す。実際に利用している値については、第1表を参照。



米国 The National Water Model



河川網の任意地点での流量・水位を 予測するための技術的課題

- **降雨予測情報**: 十分な空間分解能と精度を持つようになってきている。
- **降雨流出モデル**: モデル構造やモデルパラメータ同定が不十分であることを補う仕組みが必要である。
- **河川流モデル**: モデルパラメータ同定が不十分であることを補う仕組みが必要である。
- **フィルタリング(同化、フィードバック)システム**: 限られた時間内に、空間的に広がる状態量やモデルパラメータを、観測水位とモデル値から推定する仕組みが必要となる。

降雨流出モデル:モデル構造 やモデルパラメータ同定が 不十分であることの分析

熊野川流域

- 基準点:相賀(おうが)
- 流域面積:2,360km²
- 年平均降水量:2,800mm
- 2011年台風12号による最大流量の推定値: 24,000m³/s (=36mm/h)



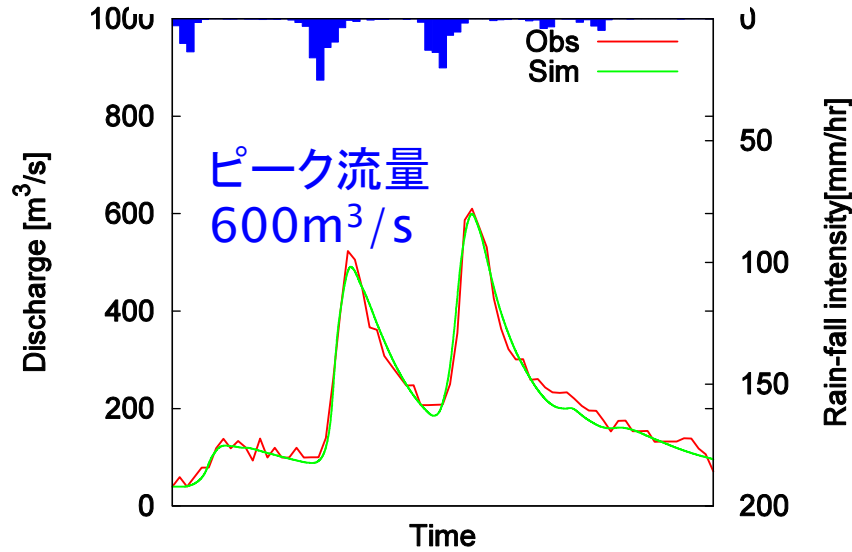
洪水規模の分類

規模の分類	小規模洪水	中規模洪水	大規模洪水
ピーク流量 (m ³ /s)	1,000 未満	1,000 以上 2,500 未満	2,500 以上
イベント数	43	21	8
1イベントのごとの流出率	0.55 未満	0.55以上 0.8 未満	0.8 以上
イベント数	33	29	10

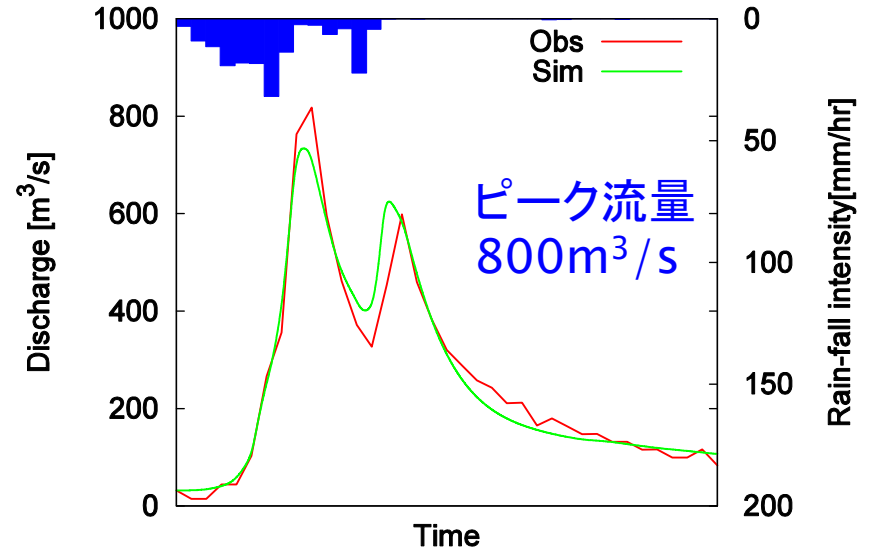
1990年以降の72洪水を、ピーク流量で分類した。
ピーク流量は概ね、流出率に対応する。

72個の洪水の同定計算

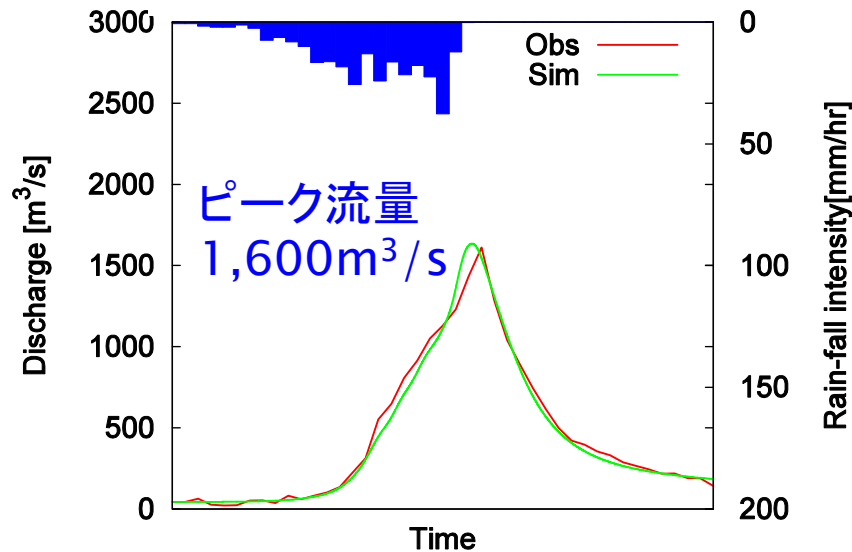
洪水26のP26での再現結果



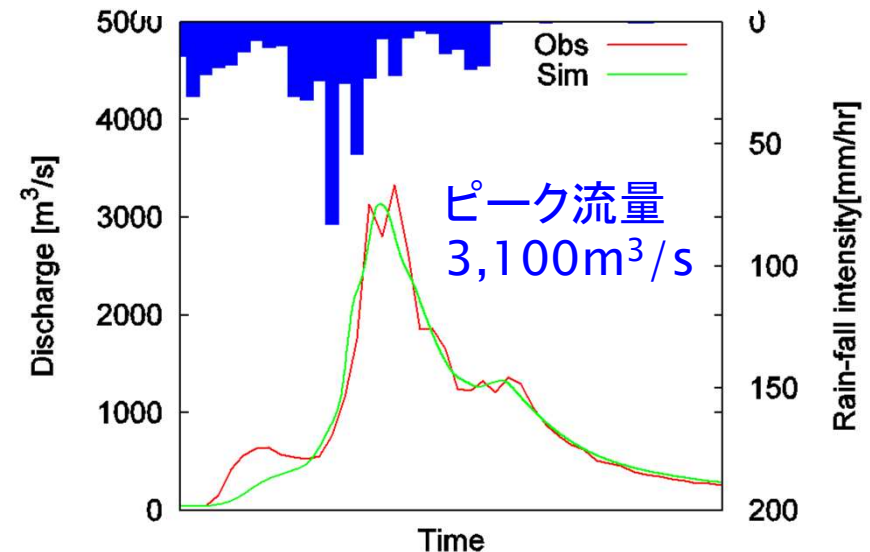
洪水7のP7での再現結果



洪水9のP9での再現結果

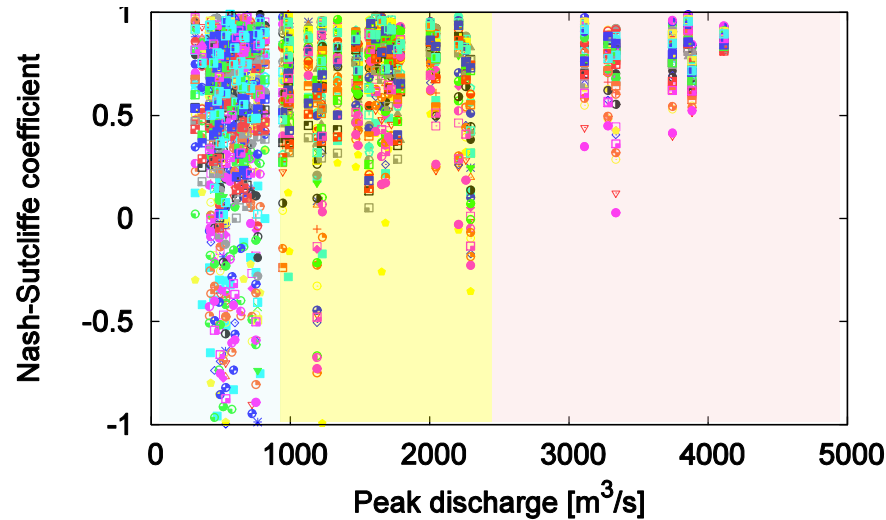


洪水52のP52での再現結果

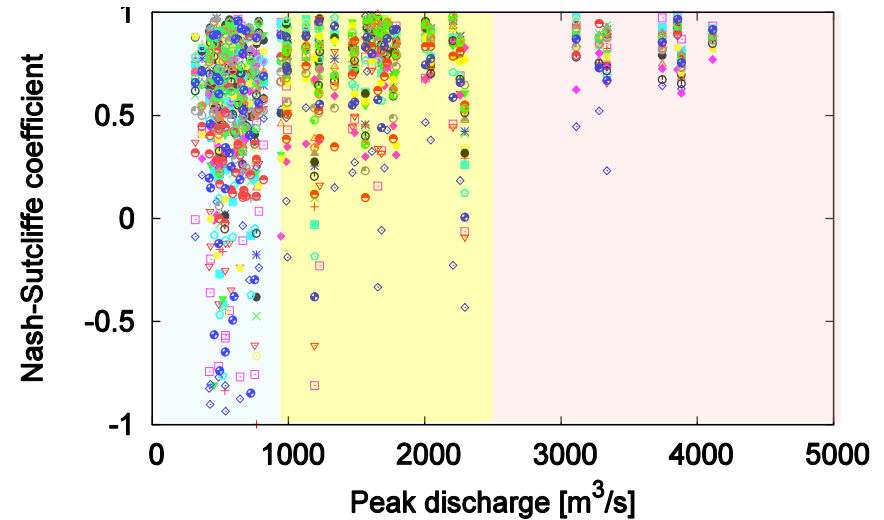


72個の洪水の再現性の分析(ナッシュ指標)

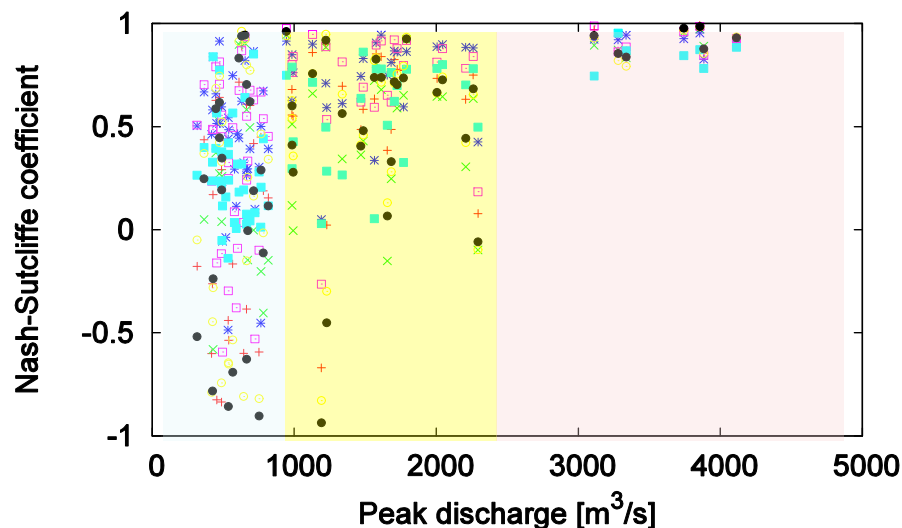
小規模洪水パラメータセット43個による再現結果



中規模洪水パラメータセット21個による再現結果



大規模洪水パラメータセット8個による再現結果



横軸方向に、72個の対象洪水の観測ピーク流量をとり、縦軸に異なるパラメータセットによる洪水の再現性をナッシュ指標で表す。

$$N_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_o(i) - Q_c(i))^2}{\sum_{i=1}^N \left(Q_o(i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_o(i) \right)^2}$$

$Q_o(i)$: 観測量
 $Q_c(i)$: 予測値

ナッシュ指標による再現計算結果

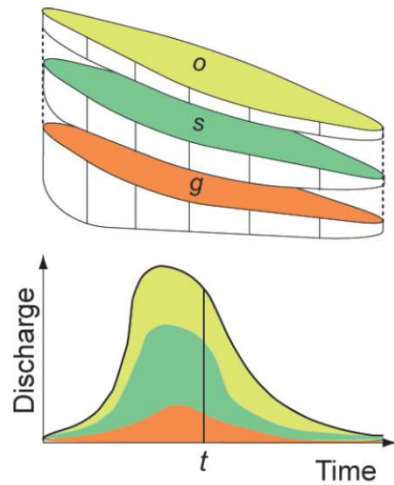
■ NASH指標の平均

	小規模洪水を再現	中規模洪水を再現	大規模洪水を再現
小規模洪水で同定したパラメータセット	0.397	0.671	0.790
中規模洪水で同定したパラメータセット	0.415	0.697	0.838
大規模洪水で同定したパラメータセット	-0.218	0.564	0.896

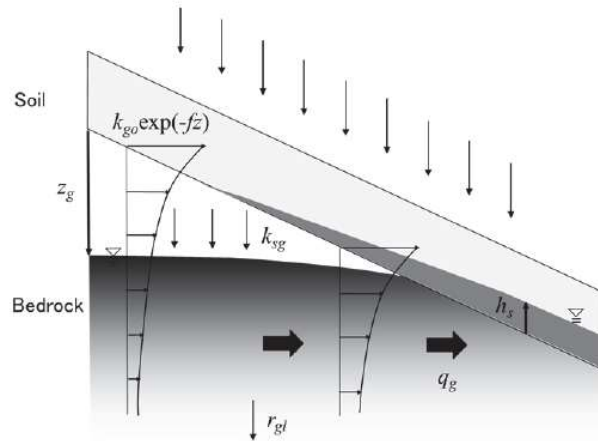
■ NASH指標の標準偏差

	小規模洪水を再現	中規模洪水を再現	大規模洪水を再現
小規模洪水で同定したパラメータセット	0.63	0.26	0.11
中規模洪水で同定したパラメータセット	0.62	0.25	0.08
大規模洪水で同定したパラメータセット	1.12	0.39	0.055

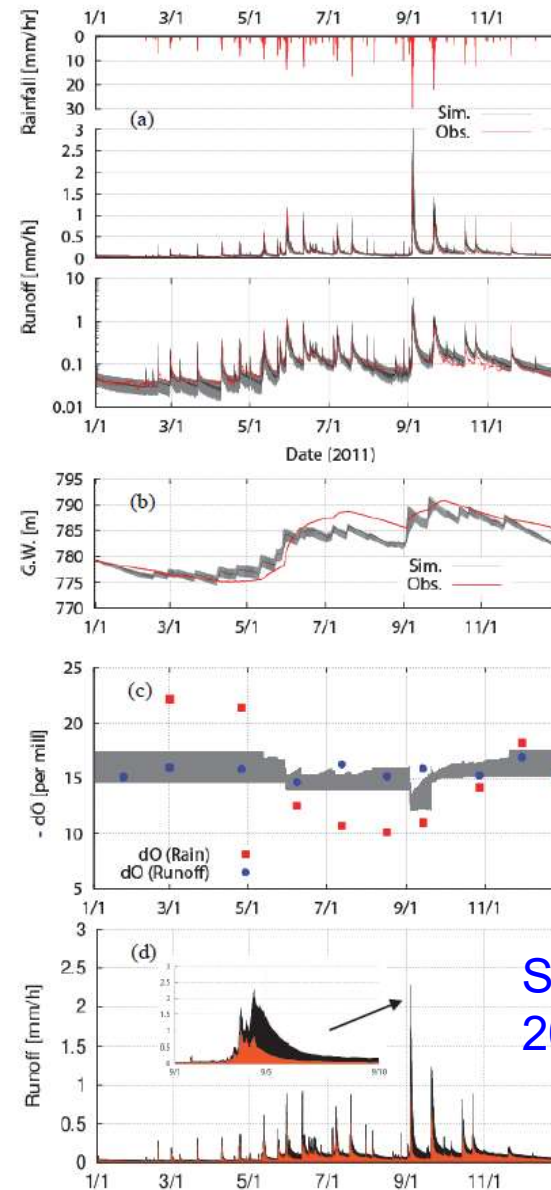
一つの同じパラメータセットで小洪水から大洪水まで再現し得る新たな降雨流出過程のモデル構造の提案(佐山・小杉, 2015)



T-SAS developed by Dr. Sayama

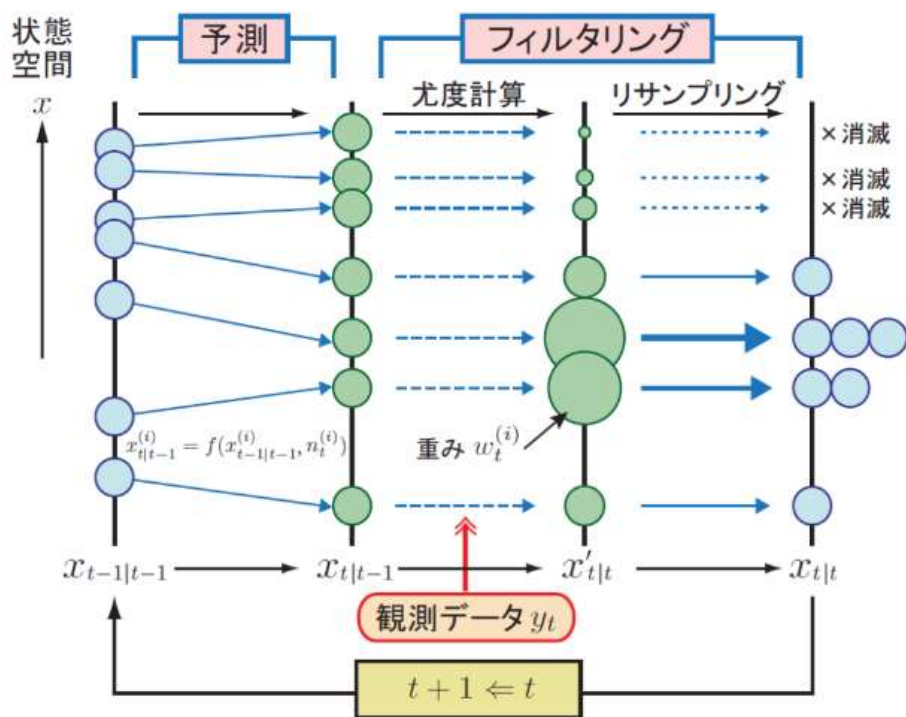


Model structure incorporating mountainous groundwater developed by Dr. Sayama



Sayama & Kosugi, 2015

粒子フィルタ(フィルタリング手法の一つ)



【概要】

状態の確率密度分布を多数のサンプル(粒子)で近似する

尤度

$$\lambda_t^{(i)} = p(y_t | x_t^{(i)}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_t^{(i)} - y_t)^2}{2\sigma^2}\right)$$

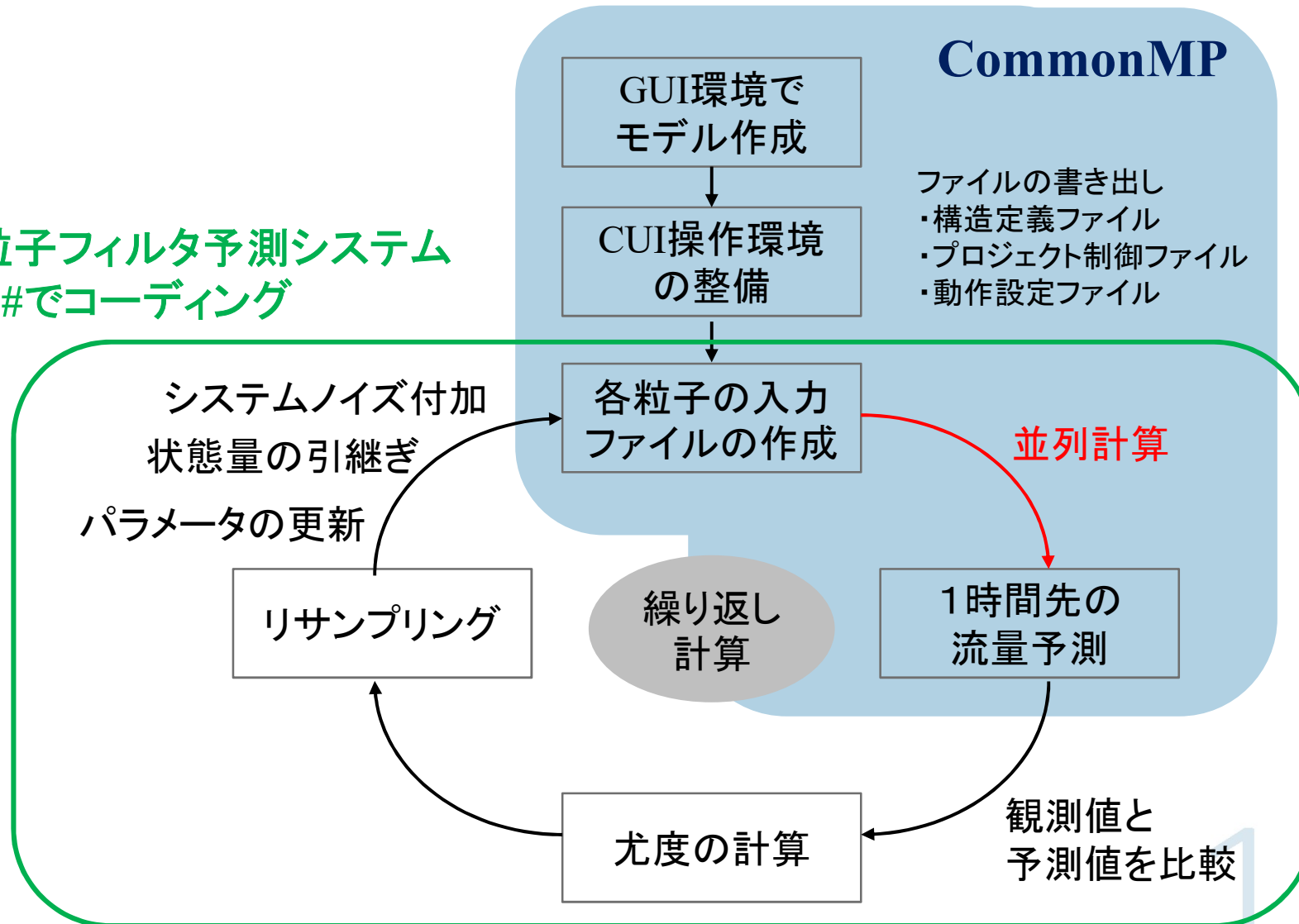
$\lambda_t^{(i)}$: i 番目の粒子の尤度 y_t : 観測ベクトル
 $x_t^{(i)}$: i 番目の粒子の状態ベクトル
 σ : 観測ノイズと関連した標準偏差

出典

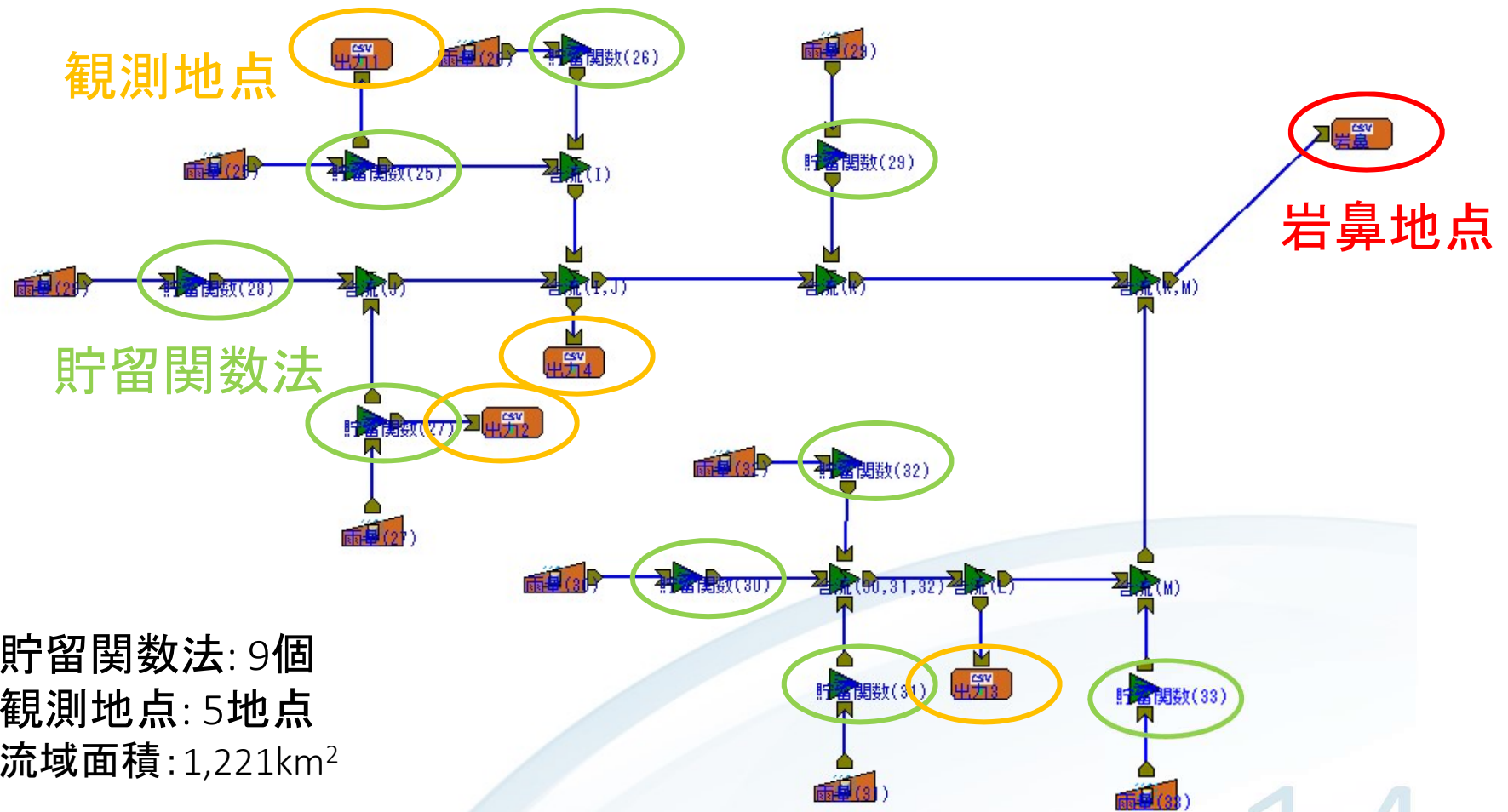
樋口知之: 粒子フィルタ, 電子情報通信学会誌, 88(12), pp. 989-994, 2005.

実時間予測システムのアルゴリズム

粒子フィルタ予測システム
C#でコーディング

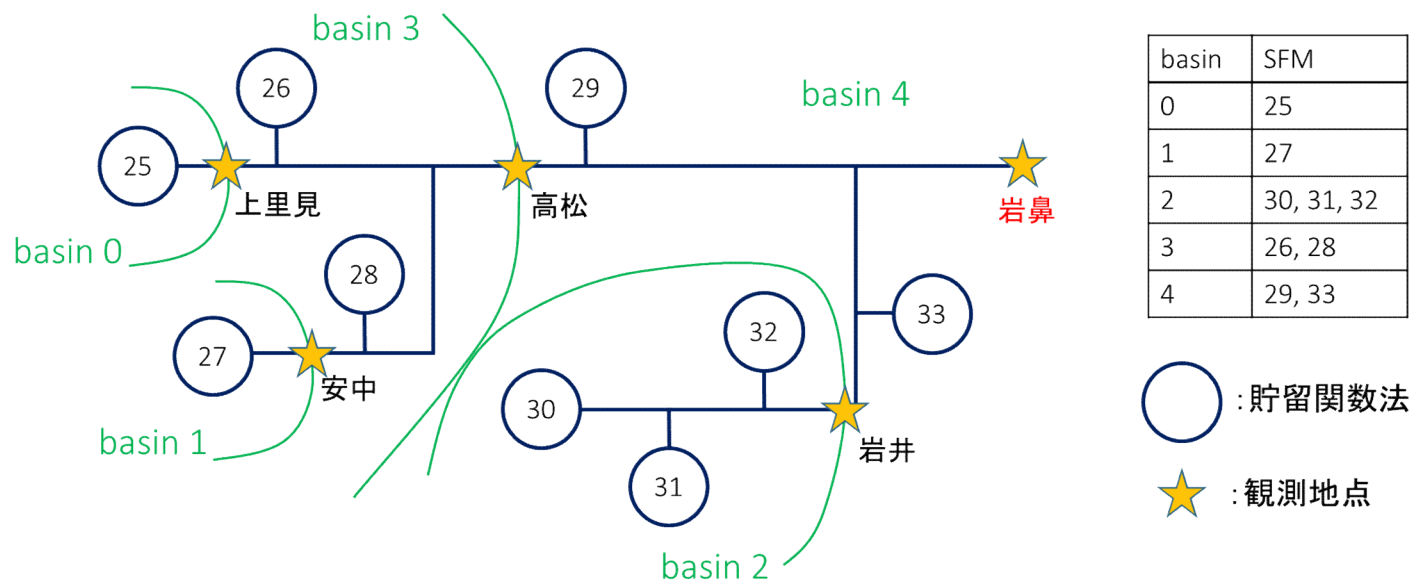


岩鼻流域



貯留関数法: 9個
観測地点: 5地点
流域面積: 1,221km²

計算条件



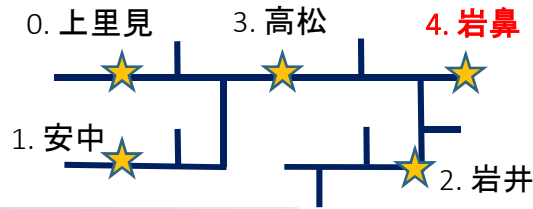
観測値の利用の仕方

- A) 5つの流量観測値を用いる
- B) 岩鼻地点の流量観測値のみを用いる

複数の観測地点を用いることで結果はどれほど向上するのか、

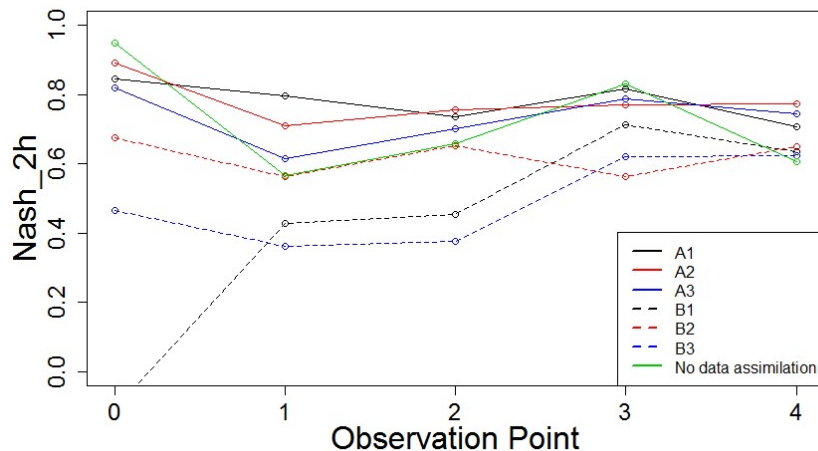
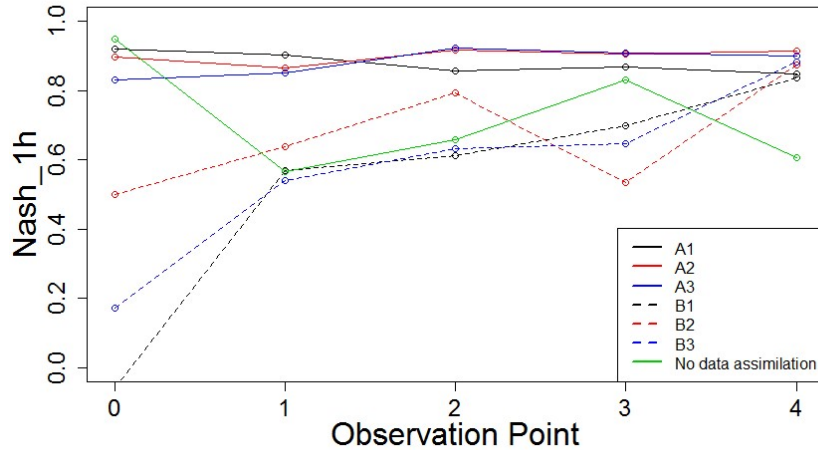
また下流端だけの場合、上流部の予測精度は向上するのかを検討する

結果



	観測地点
A	5地点
B	岩鼻地点

	同定対象
1	K, F_1
2	S
3	S, K



【一時間予測】

A)すべての地点で0.8以上

B)岩鼻地点で予測精度向上

【二時間予測】

岩鼻地点:A)の方が良い

→途中地点の観測値を用いることで下流端の精度向上

B)岩鼻地点でもデータ同化なしと同程度

同定対象として s を選択したケース2)が最も安定してよい結果を出せている

→A2)について考察する

まとめ

- 実時間予測では、特定の地点の予測でなく、河川網全体での流量・水位を予測して、任意地点を予測対象とする予測システムの開発・運用が主流になる。
- 予測モデルの構造やパラメータ同定の不十分さを補うために、面的なフィルタリング（データ同化、フィードバック）の仕組みの導入が必要になる。
- 予測モデルが不十分だと、フィルタリングを導入しても予測精度は上がらない。あらゆる規模の洪水を一つのパラメータセットで再現できる流出モデルはできていない。流出過程のモデル化に改めて焦点を当てる必要がある。

ピーク流量誤差による再現計算結果

■ ピーク流量誤差の平均 (m³/sec)

	小規模洪水を再現	中規模洪水を再現	大規模洪水を再現
小規模洪水で同定した パラメータセット	196.6	433.1	532.5
中規模洪水で同定した パラメータセット	186.8	403.9	498.9
大規模洪水で同定した パラメータセット	207.5	432.5	455.0

■ ピーク流量誤差の標準偏差 (m³/sec)

	小規模洪水を再現	中規模洪水を再現	大規模洪水を再現
小規模洪水で同定した パラメータセット	193.0	398.7	494.8
中規模洪水で同定した パラメータセット	188.5	391.8	511.6
大規模洪水で同定した パラメータセット	185.4	419.1	495.3