



気象庁の降雨数値予報を用いた洪水予測

東北大学大学院工学研究科
附属災害制御研究センター
真野 明

1

技術開発の背景

□ 社会の要請

- 中小河川の治水事業の進捗
- 集中豪雨の頻度や規模増大, 地球温暖化
- 地域の高齢化, 災害脆弱性
- 海外における急速な流域の開発
- 人的被害軽減優先, 早期警戒・早期避難

□ 問題解決の資源

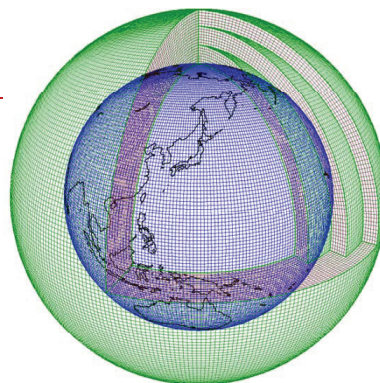
- 気象庁数値予報モデル、ナウキャスト
- 高精度汎用流出解析モデル(Super Tank Model)
- 流域情報データベース

2

講演内容

- 背景
- 気象庁の気象予報モデル
- 流域情報データベース
- スーパータンクモデル
 - モデルの概要
 - 大流域での再現性精度検証
 - 小流域での再現性精度検証
- 洪水予測適用例
 - 国内小流域
 - 国外中規模流域
- まとめ

気象庁の気象予報モデル



- 数値予報
 - メソ数値予報モデル、MSM(日本周辺、格子5km、先行時間33時間、更新日8回、観測値と同化)
 - 全球数値予報モデル、GSM(全球、格子20-60km、9日、日4回、観測値と同化)
 - 実況補外
 - 降水ナウキャスト(日本周辺、1km、1時間、10分)
 - 降水短時間予報(日本周辺、1km、6時間、30分、実況補外+数値予報)
-

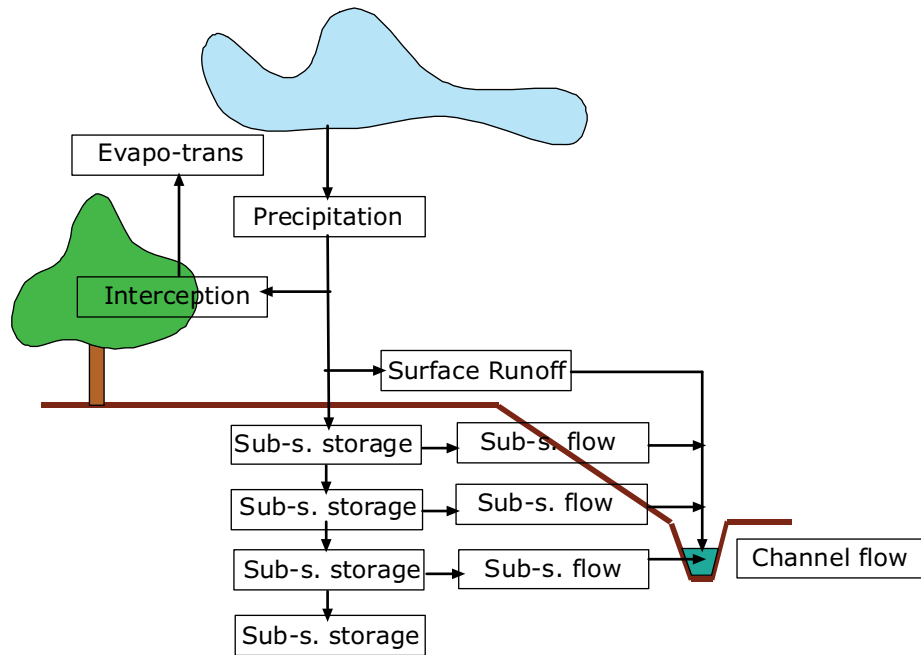
流域情報データベース(全球,国内)

- 地形
 - SRTM90(NASA/USGS, 2003, 90m grid、ac10m)
 - ASTER GDEM(METI/NASA, 2009, 30m grid、ac7-14m)
 - 数値地図10(国土地理院、2008、10m grid、ac5m)
- 土壌
 - Reynolds Global Soil Data (ISRIC- WISE- FAO, 5'~10km grid)
 - 土壌図(国土地理院)→各県デジタル土壌図
- 植生
 - World Vegetation Map (GRID-Geneva, Tokyo Univ.)
 - 日本現存植生図(環境省、生物多様性情報システム)
- 降雨
 - レーダーアメダス解析雨量
 - TRMM(NASDA-NASA, 1971~,5km grid)
 - NWP (Num. Weather Pred.)
 - JMA Products Archive:
 - <http://gpv.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/GPV/>
 - <http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/~gpvjma/index.html>

スーパータンクモデルの特徴

- 高精度
 - 流域の分布情報(地形、土壌、地覆)を取り込んだ分布型モデル
 - 水分輸送現象の高効率近似
 - 汎用
 - パラメータの内部化→同定最小
 - 大流域(10^6km^2)から小流域(10^1km^2)まで
-

流域における水の移動の概念図



7

植生の影響

□ 樹冠遮断タンク

樹冠タンクの水収支式

$$\frac{dh_{VT}}{dt} = P - KE - P_e \quad (1)$$

有効降雨は

$$P_e = P - KE - \frac{dh_{VT}}{dt} \quad \text{タンク非飽和}$$

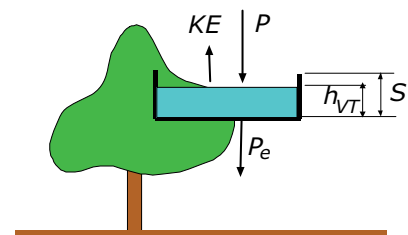
$$= P - KE \quad \text{タンク飽和}$$

KE は樹冠からの蒸発量

標準値

$$\text{森林} : KE = 0.2 \text{ mm/h}, \quad S = 1.5 \text{ mm}$$

$$\text{非森林} : KE = 0.1 \text{ mm/h}, \quad S = 1.5 \text{ mm}$$



8

土壌層の貯留と流出

□ ダルシー則による側方流出

$$q_{surf} = \lambda_1 P_e$$

$$q_{1\,in} = (1 - \lambda_1) P_e$$

$$q_{1\,out} = \lambda_1 c k_{s1} I$$

$$q_{1\,lat} = \lambda_2 q_{1\,out}$$

$$q_{2\,in} = (1 - \lambda_2) q_{1\,out}$$

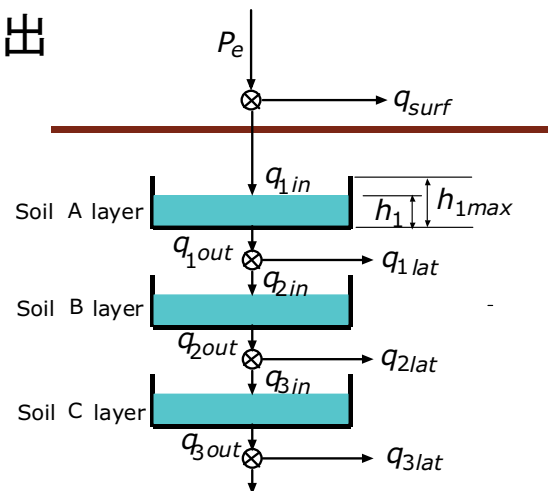
.....

I : 動水勾配、斜面勾配に近似

$\lambda_i \equiv h_i / h_{i\,max}$, i 番目のタンクの飽和度

$k_{s\,i}$: i 番目のタンクの飽和透水係数

c : 飽和透水係数の補正係数 (巨視的透水効果)



9

パラメータの内部化

□ 飽和透水係数

■ Jabro(1992)

■ k_s : 飽和透水係数 (cm/h)

■ P_{2-50} : シルトの質量割合 (%)

■ $P_{<2}$: 粘土の質量割合 (%)

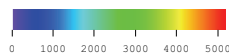
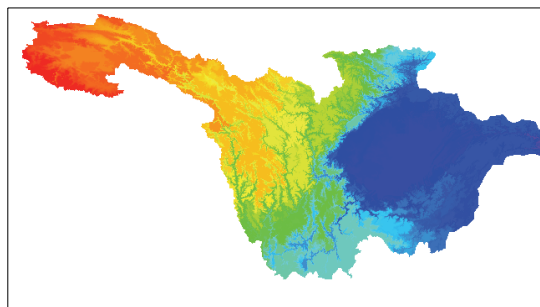
■ Bd : 嵩密度 (g/cm³)

$$\log(k_s) = 9.56 - 0.81 \log(P_{2-50}) - 1.09 \log(P_{<2}) - 4.64(Bd)$$

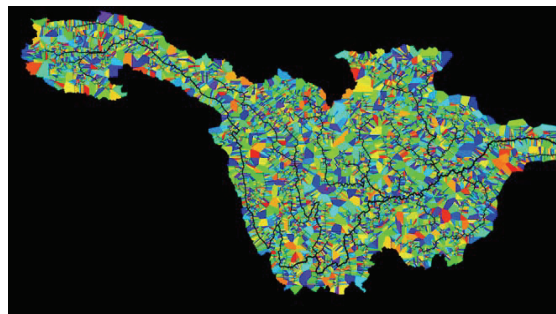
10

大流域に対する再現性検討, Kato(2002)

- 長江上流域
 - 流域面積: $1 \times 10^6 \text{ km}^2$
 - 使用データ
 - 数値地図: GTOPO30,
 - 土壌データ: Reynolds Global Soil Data,
 - 降雨データ: ISLSCP Initiative I,



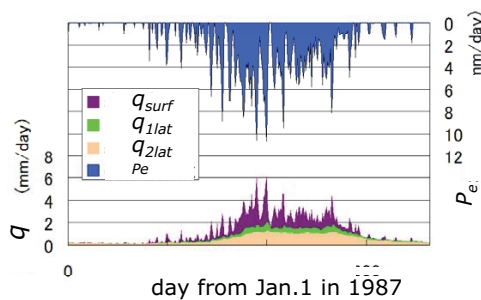
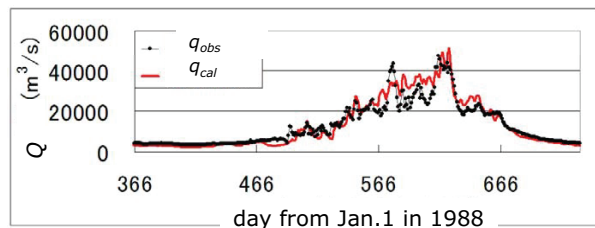
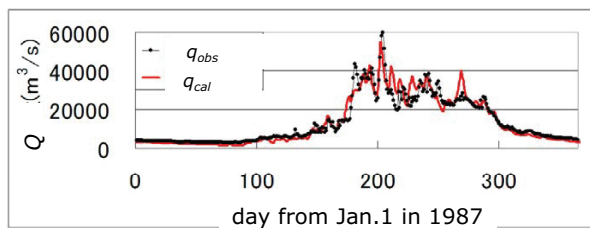
標高分布と河動網



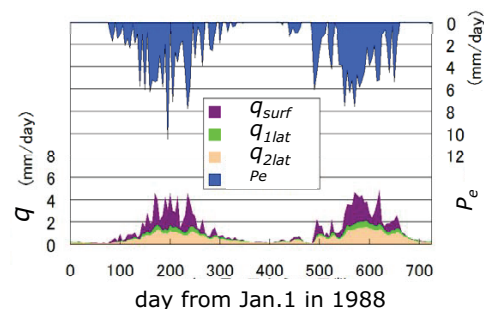
18700 の副流域

流出ハイドログラフの再現

- 長江上流域
 - 2層スーパータンクモデル, $C'=1.6$, $EK'=0.51EK$



Yichang 1987



Yichang 1988

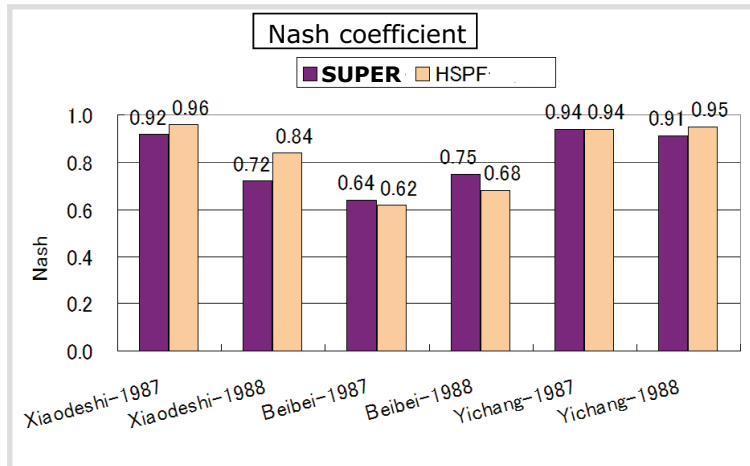
スーパータンクモデルによる再現計算の性能(1)
 長江上流域(流域面積 10^6km^2)

HSPF
 (Hayashi,2004)

SUPER-TANK
 (Kato, 2002)

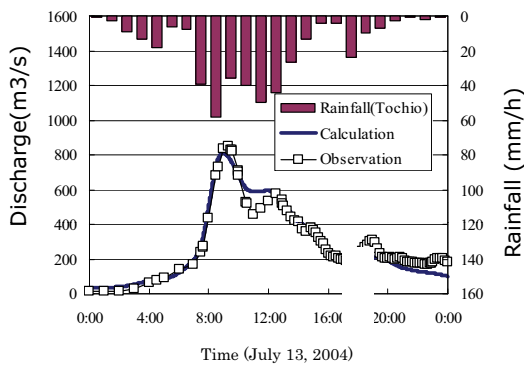
パラメータ数
 1副流域当り 10
 浸透(2)、貯留
 (4)、流出(4)
 10副流域で
 計 100

パラメータ数 流出 1

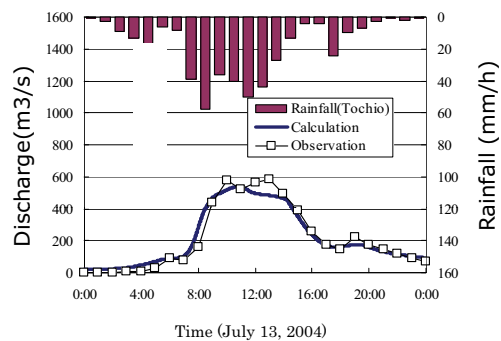


小流域に対する再現性検討、Tatesawa(2007)

- 2004年 新潟福島豪雨
- C=2.0



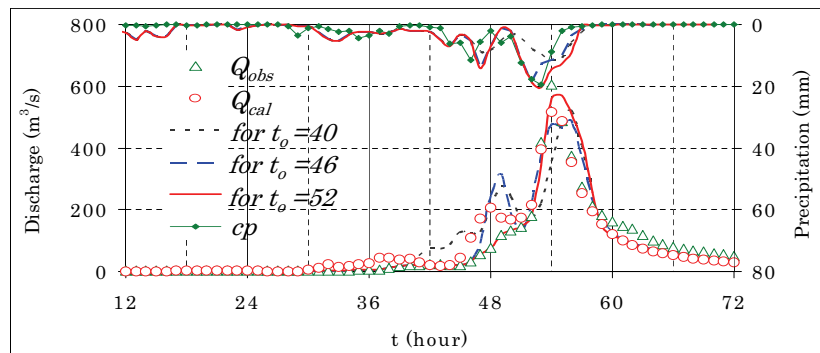
(a) 笠堀ダム



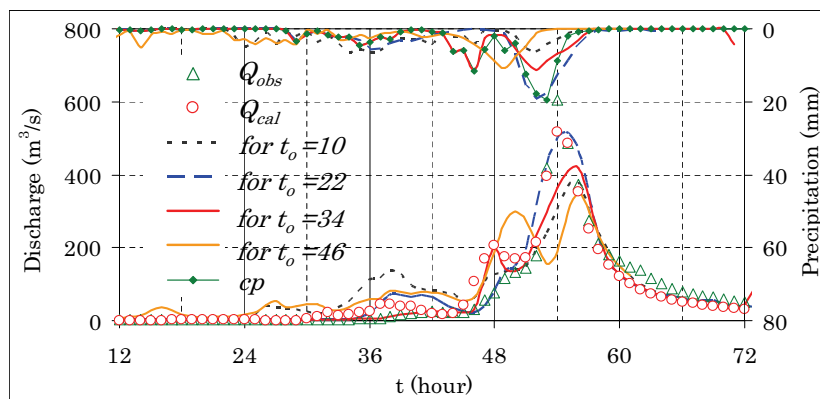
(b) 大谷ダム

七ヶ宿ダム流域での洪水流出予測(流域面積180km²)

MSM

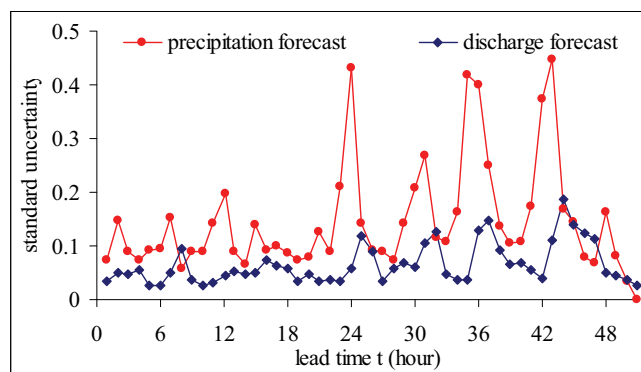
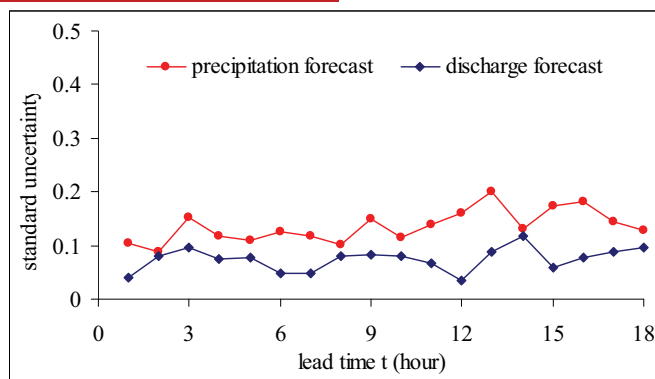


RSM



15

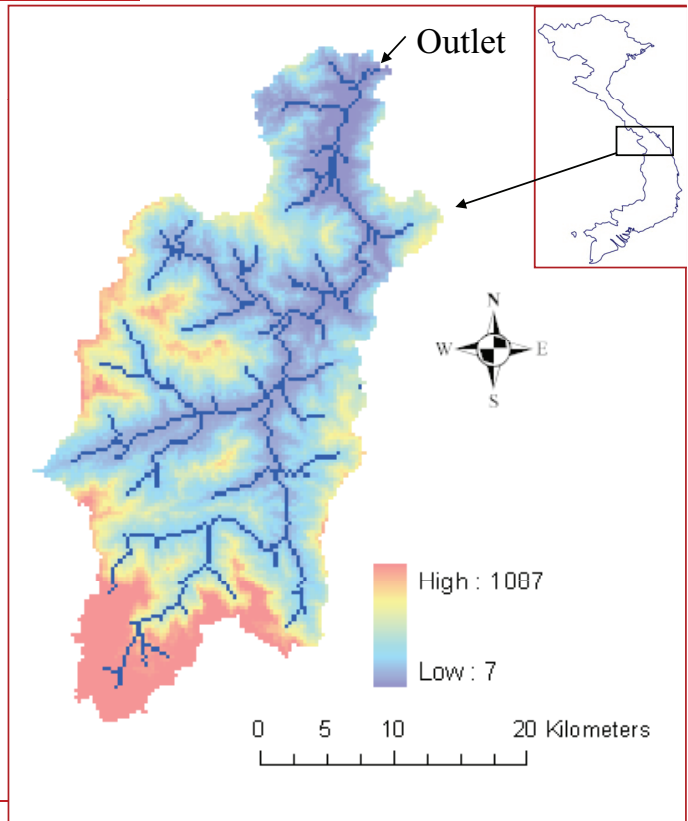
七ヶ宿ダム流域における洪水予測予測誤差(標準偏差)



16

中央ベトナムVe川流域の洪水予測、Nam(2010)

- ❖ Ve 川流域 750km²
- ❖ 擬河道網 500m 格子 (DEM-90m使用)
- ❖ 全球数値予報モデル、格子間隔60km, 予報先行時間84時間



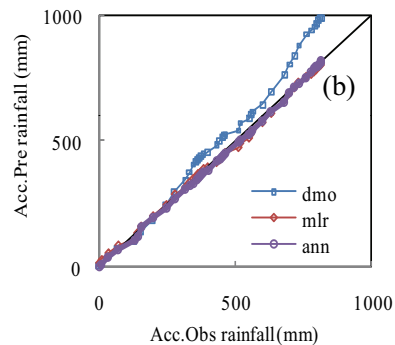
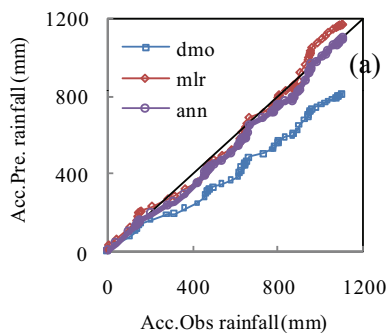
GSM予測降雨の改良

- 線形重回帰モデルによる改良

$$R_{mlr} = a_0 + a_1 R_{dmo} + a_2 P_{V700} + a_3 P_{V850}$$

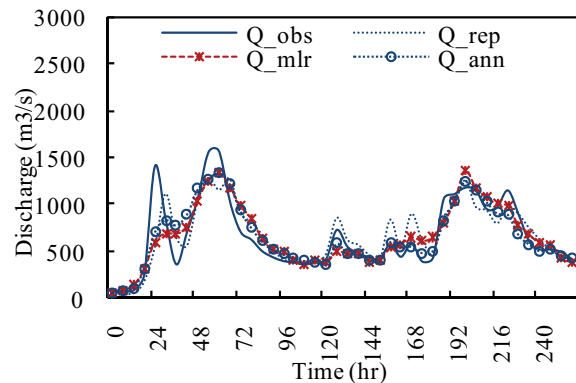
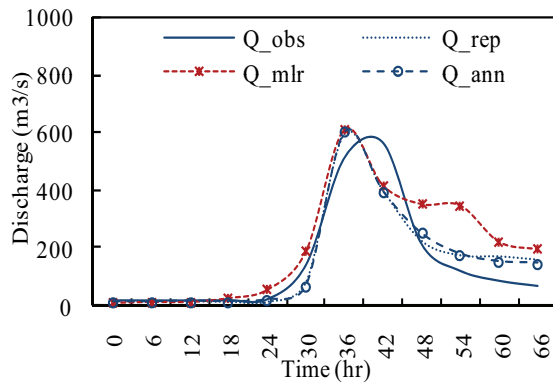
Type of storm event	a_0	a_1	a_2	a_3
Single (a)	-3.37	1.31	0.00	-7.95
Continuous (b)	9.84	0.58	-13.42	10.97

- 人工知能による改良 (3入力ノード)



(a) single event, Oct 10th – 13th, 2008; and (b) continuous events, Nov 17th – 27th, 2008

改良した洪水予測ハイドログラフ



single flood event Oct 10th – 13th (left),
continuous flood events Nov 17th – 27th (right), 2008

Single storm event

Discharge	NSI	Error (%)		
		Runoff	Volume	Peak
Q_rep	0.83	29.73	3.95	5.62
Q_mlr	0.76	35.78	39.94	8.41
Q_ann	0.83	26.03	6.20	5.24

Continuous storms event

Discharge	NSI	Error (%)		
		Runoff	Volume	Peak
Q_rep	0.92	18.3	1.89	15.48
Q_mlr	0.93	21.0	0.26	27.35
Q_ann	0.94	17.10	0.66	20.72

19

まとめ

- 高精度・汎用流出モデル
 - 水輸送現象の効率的なモデル化
 - 地球規模・国内データベースの利用
 - キャリブレーションがほぼ不要な汎用モデル
- 長先行時間洪水予測
 - 気象庁数値予報の利用
 - スーパータンクモデルへの入力
 - 世界中どこでも高精度洪水予測