



# C-09: 気候変動に伴う 全球および特定脆弱地域への 洪水リスク影響と減災対策の評価

Assessment of the impact of climate change on flood disaster risk and its reduction  
measures over the globe and specific vulnerable areas

研究代表: 竹内邦良

深見和彦、田中茂信、郭栄珠、中須正、  
長谷川聡、上野山智也、廣江亜紀子、

Duminda Perera: 土木研究所ICHARM

馬籠純: 山梨大学、 手計太一: 富山県立大

# 気候変動に伴う全球および特定脆弱地域への 洪水リスク影響と減災対策の評価

主要陸地

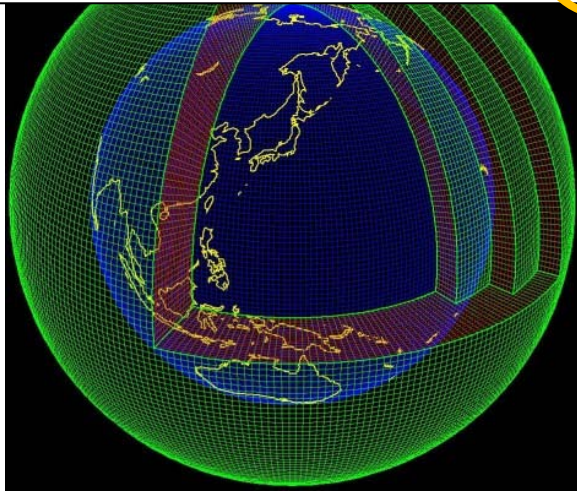
90m-20kmメッシュ河道網図

河道網整備

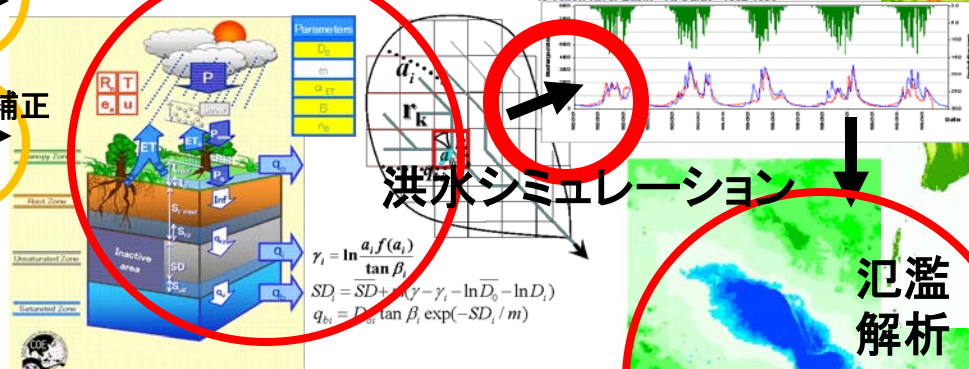
気象研 全球

20kmメッシュ予測モデル

バイアス補正



Block-wise use of TOPMODEL with  
Muskingum-Cunge method (BTOPMC)



洪水シミュレーション

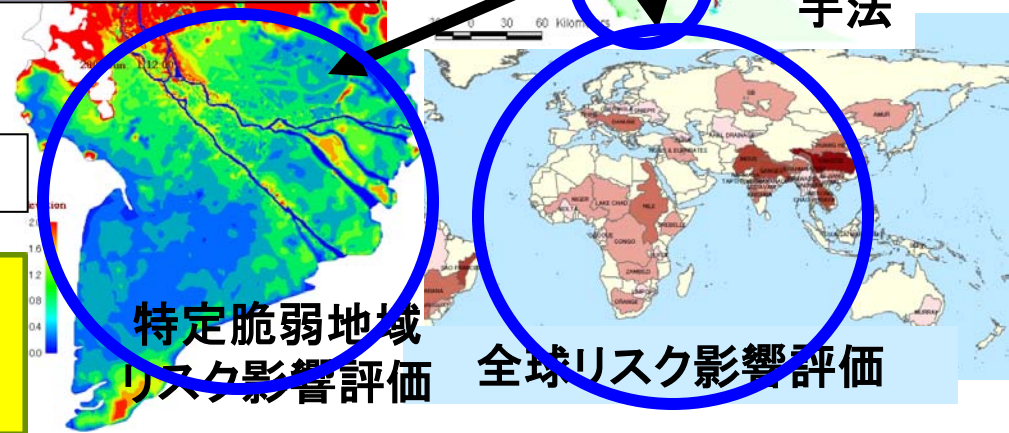
氾濫  
解析



影響評価  
手法

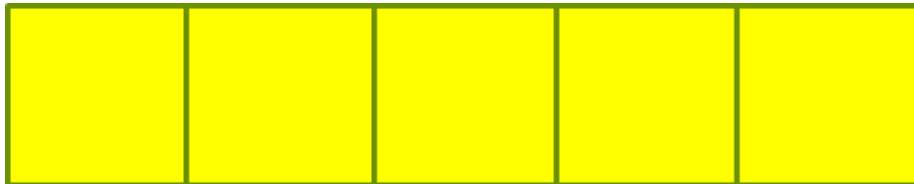
↑ ↓ 比較を通じた不確実性評価

前期実験、後期実験、60km不確実性実験



特定脆弱地域  
リスク影響評価

全球リスク影響評価



# バイアス補正

長谷川 聡、  
猪股 広典、深見 和彦

# 降水量のバイアス補正手法の開発 ～ハイブリッド法～

①極値(非超過確率の全体上位0.5%)

⇒通年で補正を行う

②その他のデータセット

⇒月別に補正を行う

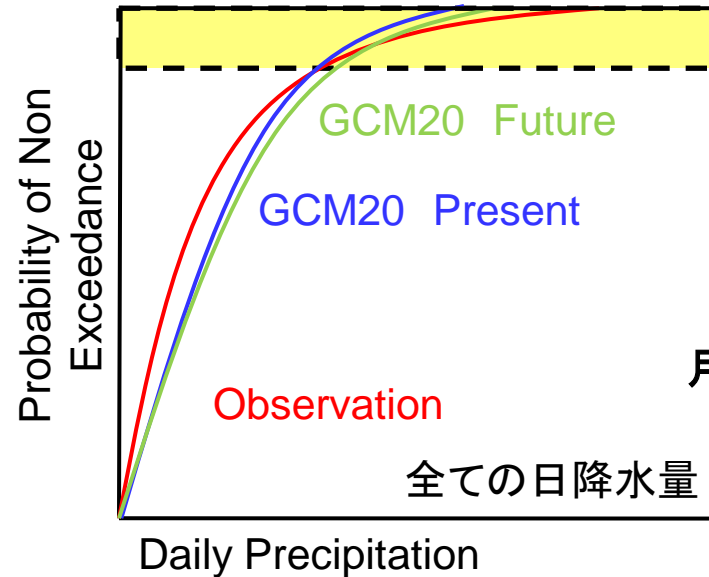
補正方法:クオンタイル毎には、現況の観測値( $P_{Obs_q}$ )と計算値( $GCM20_{Pre_q}$ )の比( $\alpha_q$ )は、将来の推定値( $P_{Fut_q}$ )と計算値( $GCM20_{Fut_q}$ )の比と同じであるとする。

$$\frac{P_{Obs_q}}{GCM20_{Pre_q}} = \alpha_q$$

$$\frac{P_{Fut_q}}{GCM20_{Fut_q}} = \alpha_q$$

(通年分布に合わせる  
季節外れのイレ  
ギュラーを避ける)

全体上位  
0.5%  
(25年日データ  
の上位46位)

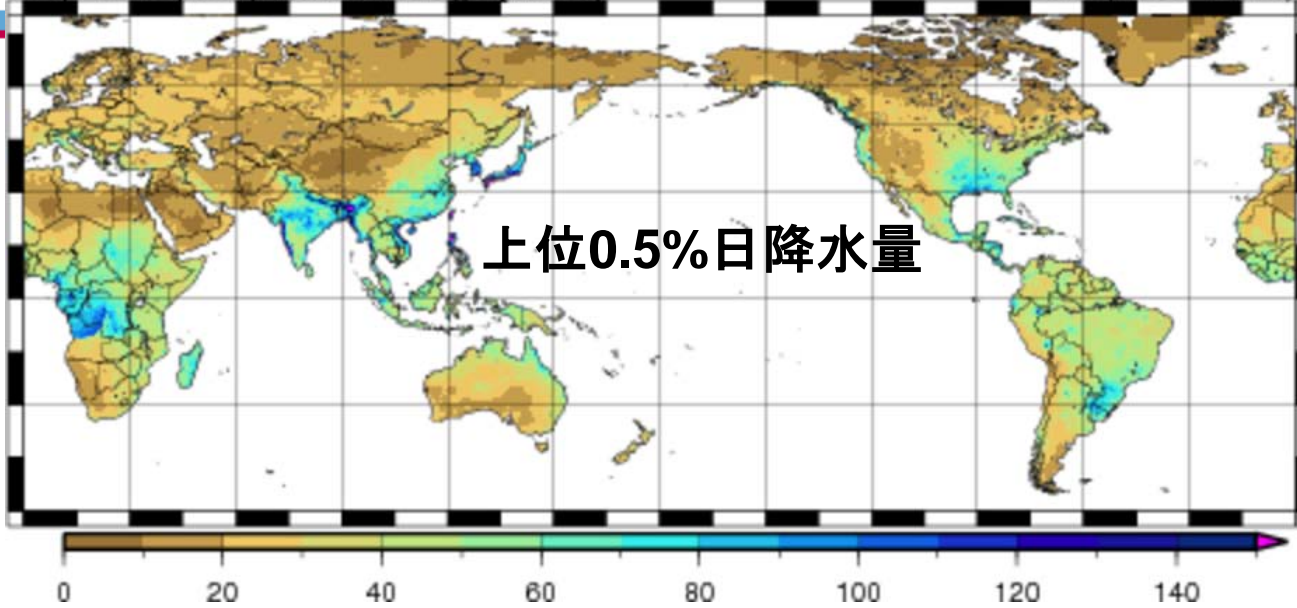


それ以外  
95.5%  
月別分布に合  
わせる

# 日降水量観測値でバイアス補正

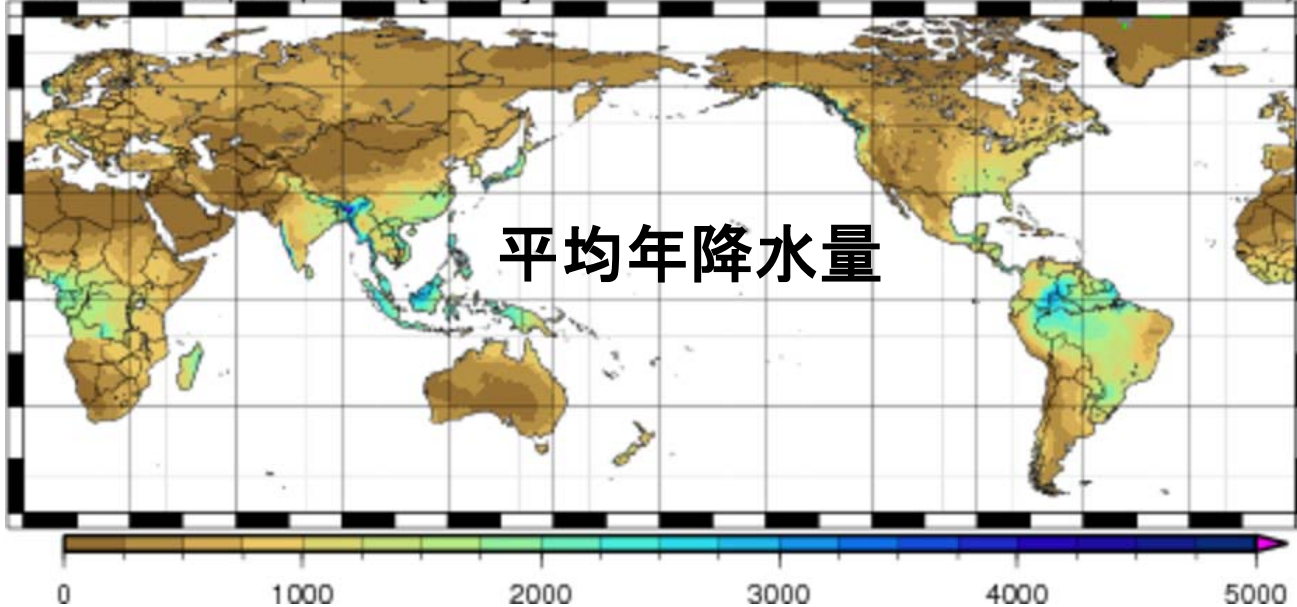
Top 0.5% precipitation average [mm/d]

obs (1980-2004)



annual mean precipitation [mm/yr]

obs (1980-2004)



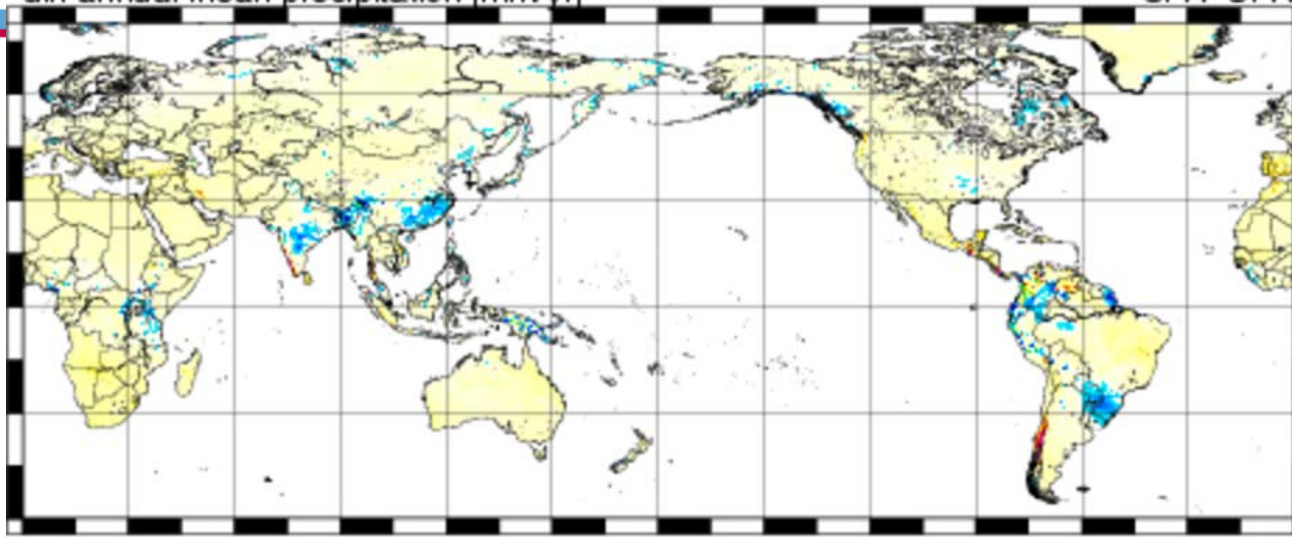
## 観測値

- アジア地域のAPHRODITE-MAおよび
- MRIによりAPHRODITEを引き継ぐ  
全球陸面を対象とした日降水量データセットの試作版
- 1980-2004年の25年間

# MRI-AGCM3.2Sの平均年降水量の将来変化

diff annual mean precipitation [mm/yr]

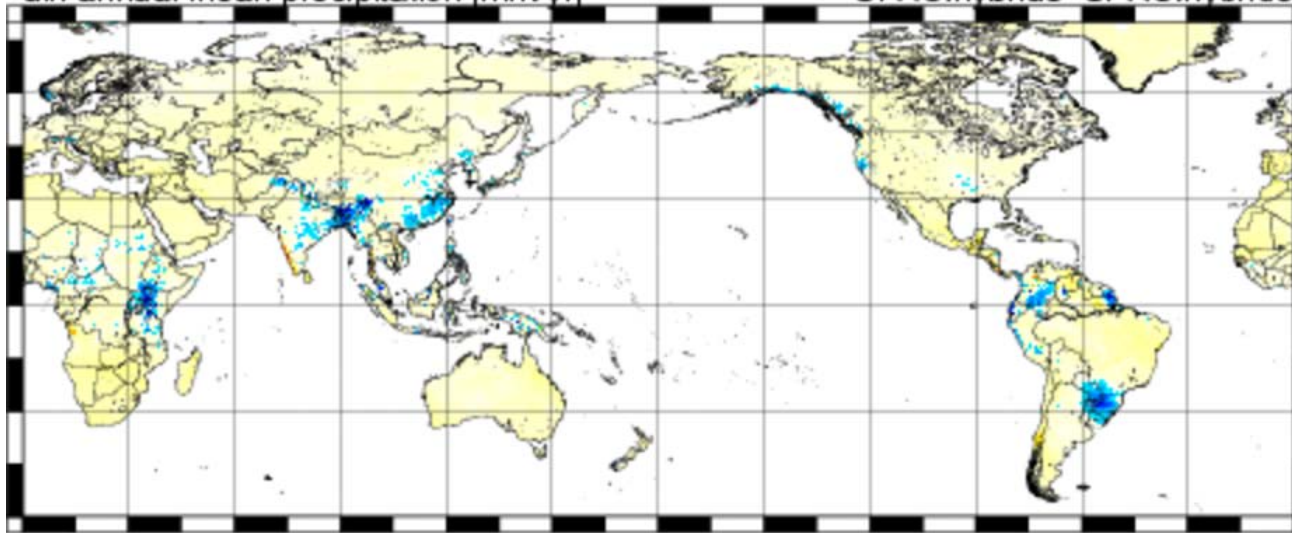
SFA-SPA



-800 -600 -400 -200 0 200 400 600 800

diff annual mean precipitation [mm/yr]

SFAC.hybrid3-SPAC.hybrid3



-800 -600 -400 -200 0 200 400 600 800

世紀末-現在

**BC無**

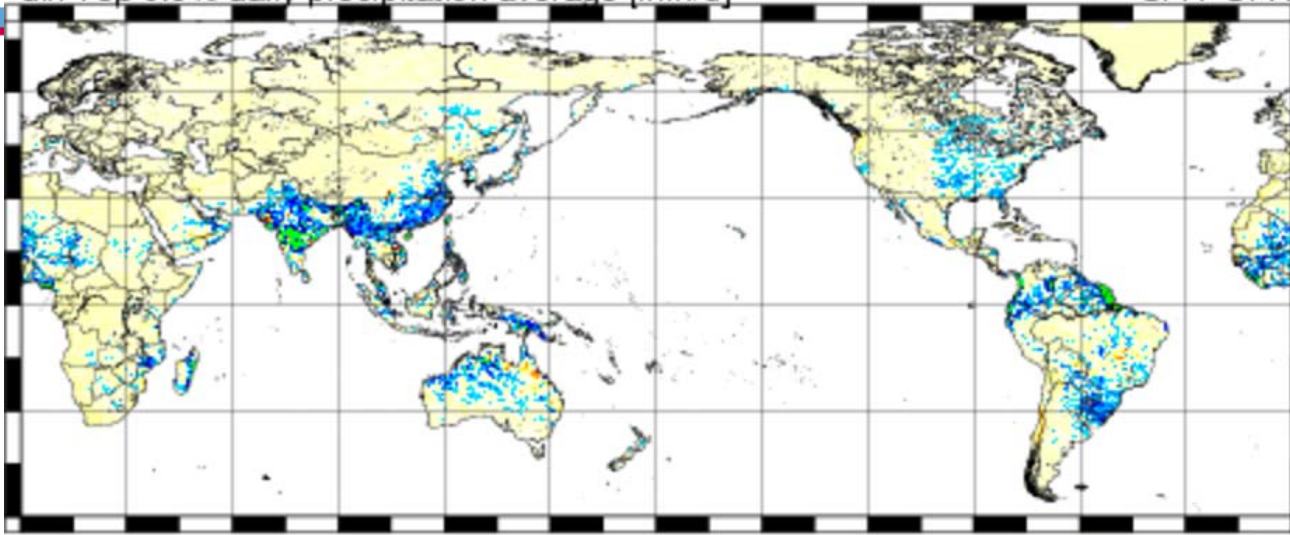
**BC有**

年降水量では  
BCの影響小

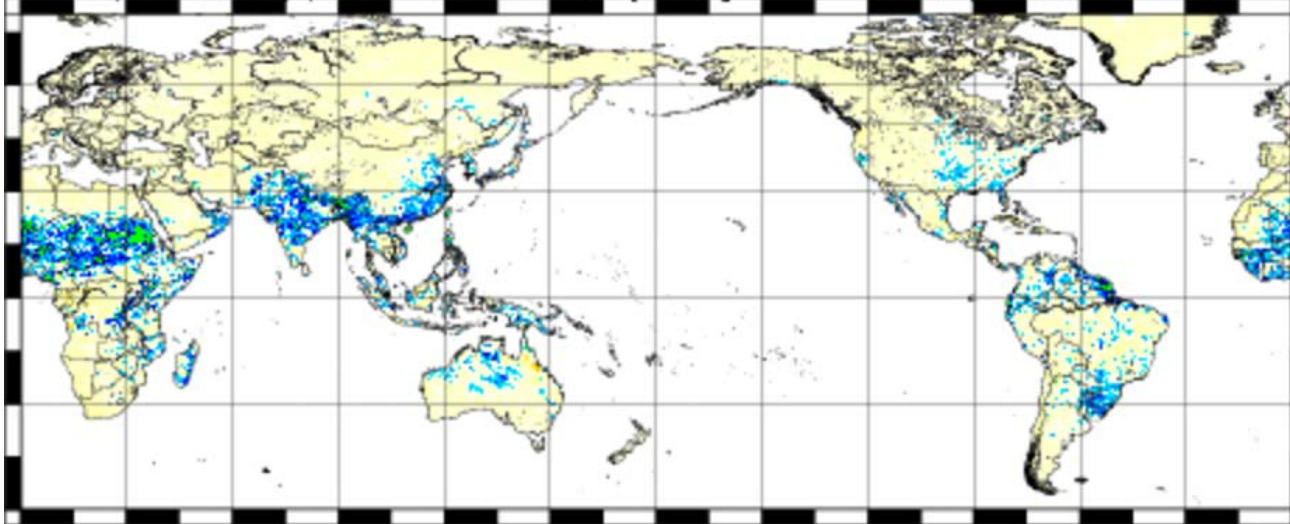
# MRI-AGCM3.2Sの極端に強い降水の将来変化

diff Top 0.5% daily precipitation average [mm/d]

SFA-SPA



-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60  
diff Top 0.5% daily precipitation average [mm/d] SFAC.hybrid3-SPAC.hybrid3



-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60

世紀末-現在

BC無

BC有

極端降水量  
ではBCの影響大

# 洪水シミュレーション

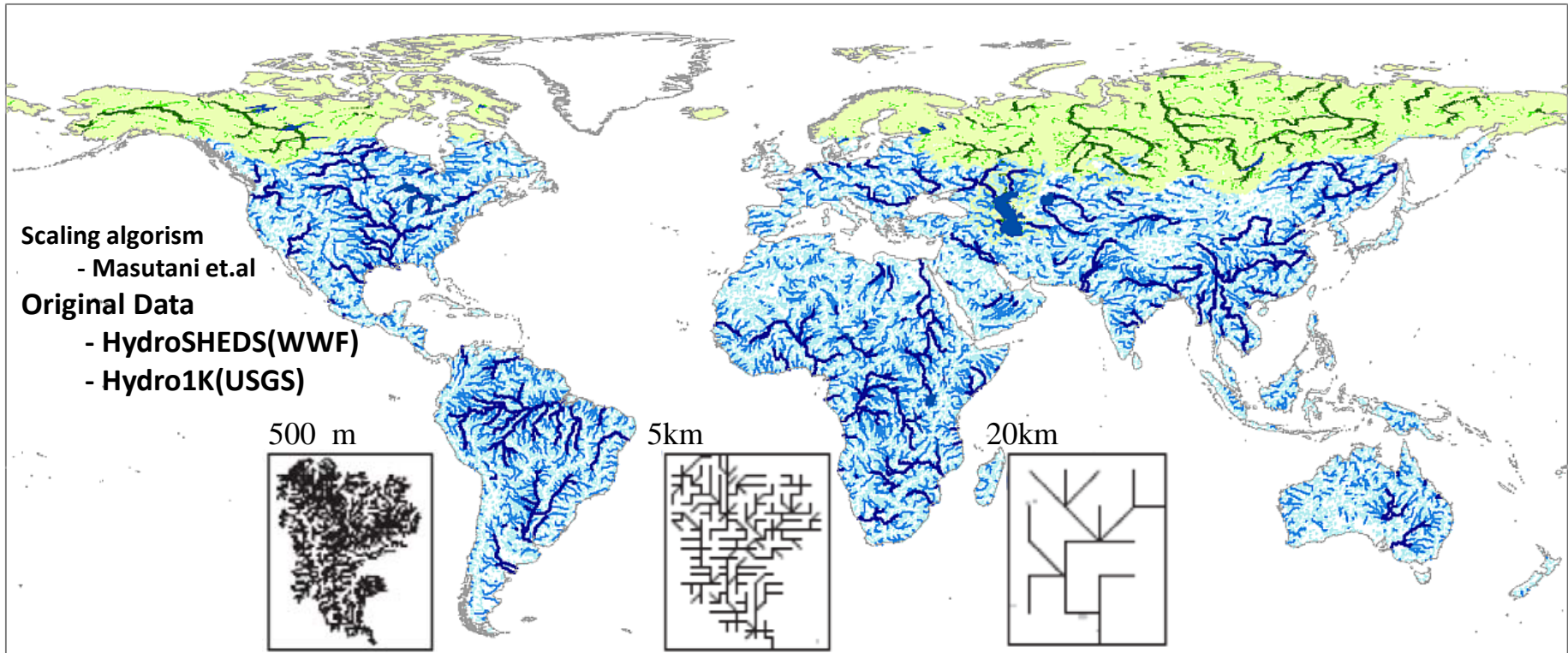
馬籠 純

- 20kmメッシュ流域シミュレーションの合成による全球評価
- 5000km<sup>2</sup>以上の2393流域の日流量シミュレーション



# スケールフリーー全球河道網

(解像度 90m to 20km)



**Green: 1km to 20km**

**Blue : 90m to 20km**

High level resolution 3'' ( $\doteq$  90m original), 6'', 9'', 12'', 15''

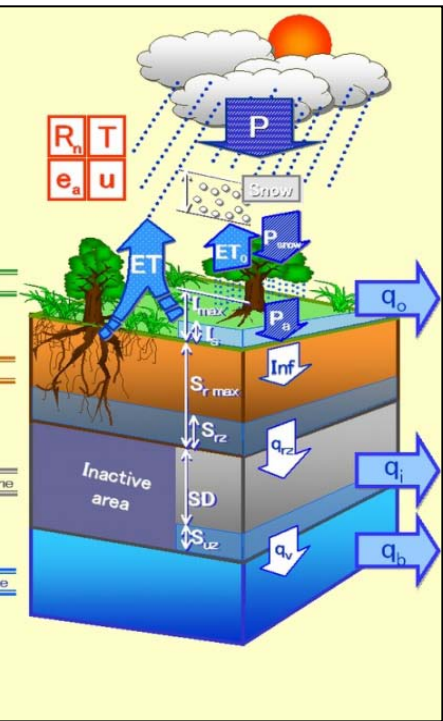
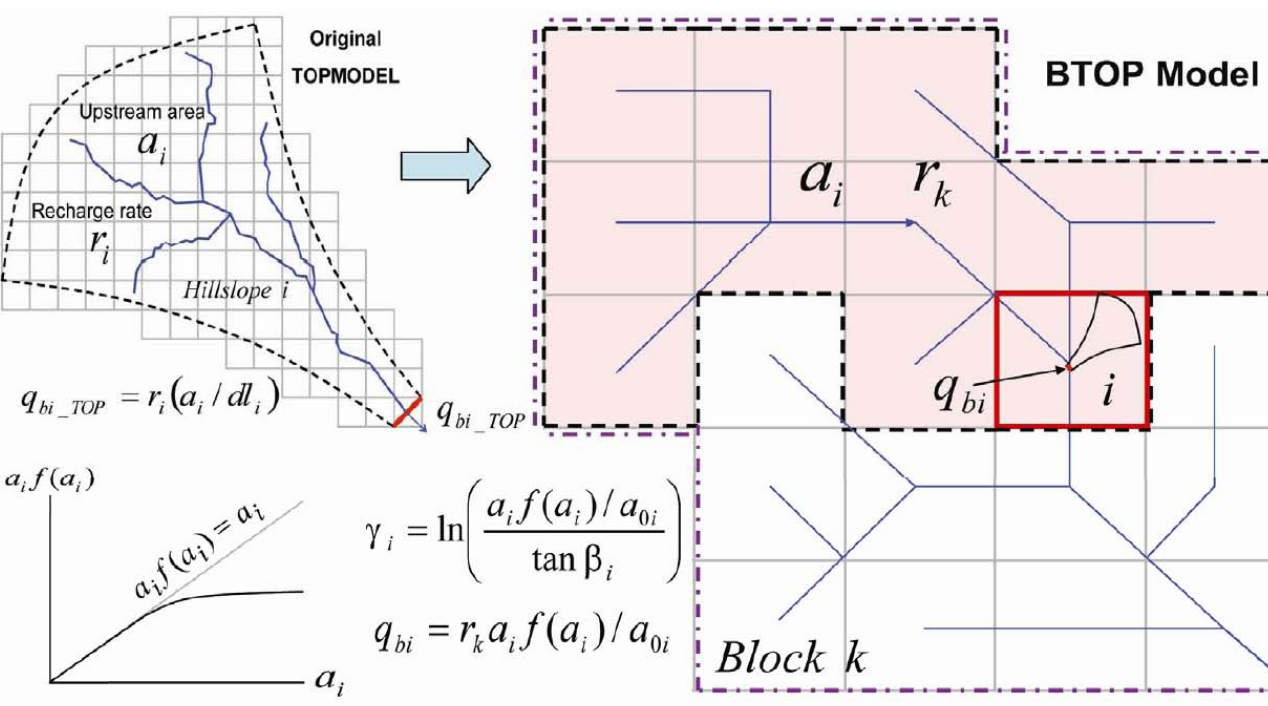
Middle level resolution 30'' ( $\doteq$  1km), 45'', 60'', 90'', 2.5'

Low level resolution 5' ( $\doteq$  10km), 10''

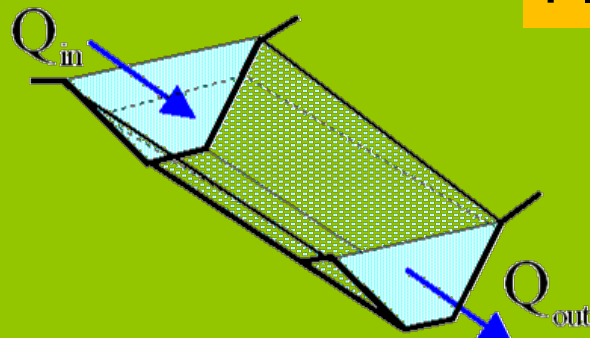
# 分布型水文モデル BTOP

## Runoff Generation

$D_0$
$m$
$Sr_{max}$
$B$
$n_0$



## Flow Routing



Muskingum-Cunge(M-C)  
Modified M-C  
Modified Manning Eq.

Takeuchi, Ao, Ishidaira, HSJ, 44(4), 1999  
Takeuchi, Hapuarachchi, Zhou, Ishidaira, Magome, HP, 22, 2008

Takeuchi, Ishidaira, Sawada, Masumoto (eds) Studies of the MRB, HP, 22(9), 2008

# 1/50年最大日流量の変化率(%) (3.2S, BC利用)

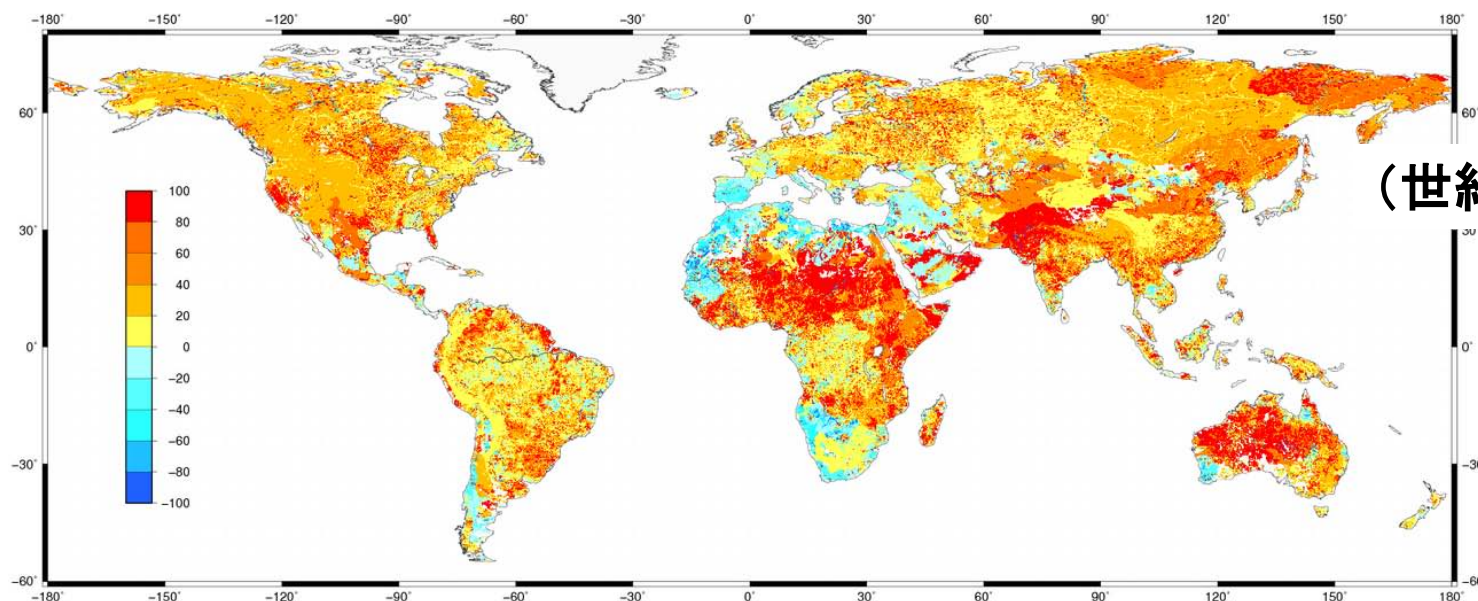
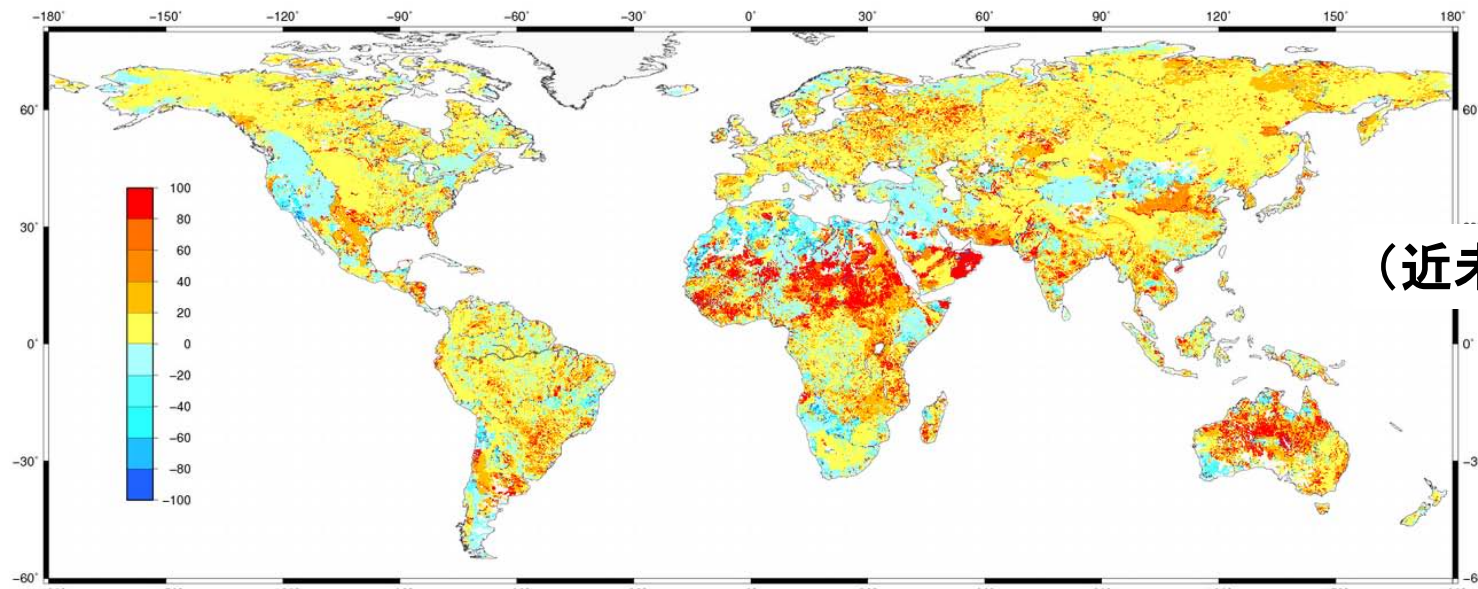
解像度 20km

(近未来－現在)/現在

近未来では  
乾燥域を中  
心に、減少  
するところも  
ある

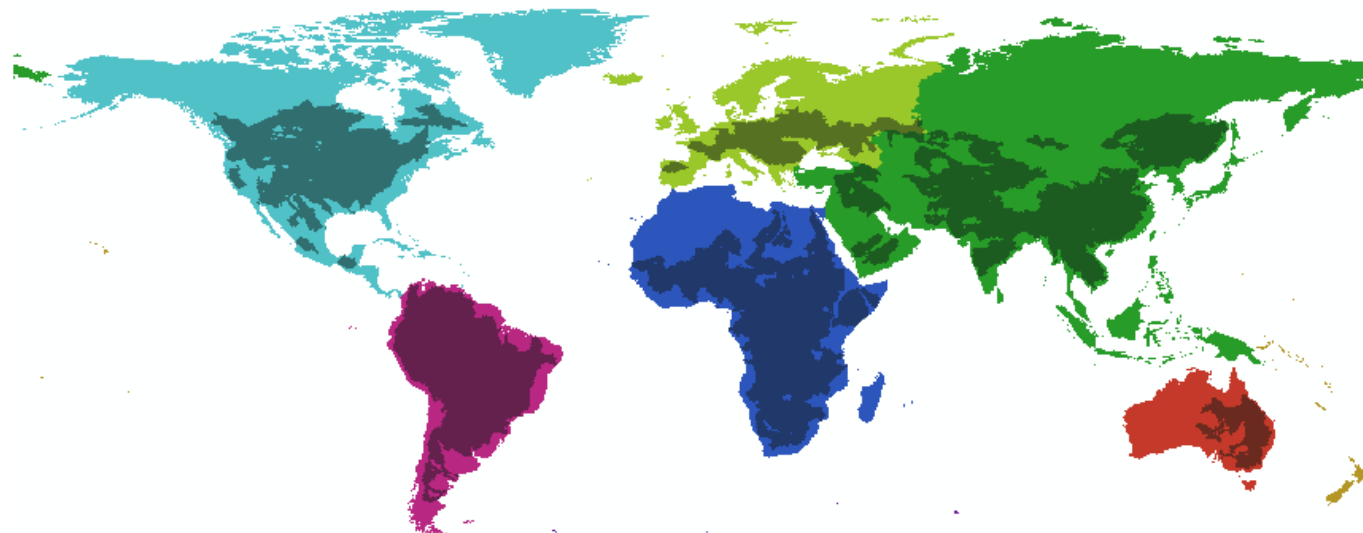
(世紀末－現在)/現在

世紀末では  
地中海周辺  
域を除き、広  
く増加



# 1/50年最大日流量の変化(3.1S, 3.2S, BC)

平均		世界	アフリカ	アジア	大洋州	北米	南米	欧州	現況比%
3.1S	近未来	20	34	16	45	10	14	18	
	世紀末	44	57	48	73	39	28	26	
3.2S	近未来	17	30	12	10	15	13	14	現況比%
	世紀末	40	51	43	22	35	35	15	
標準偏差		世界	アフリカ	アジア	大洋州	北米	南米	欧州	
3.1S	近未来	55	72	52	67	42	37	37	
	世紀末	45	60	38	57	35	32	34	
3.2S	近未来	52	64	51	50	43	40	36	
	世紀末	41	57	34	44	32	27	35	

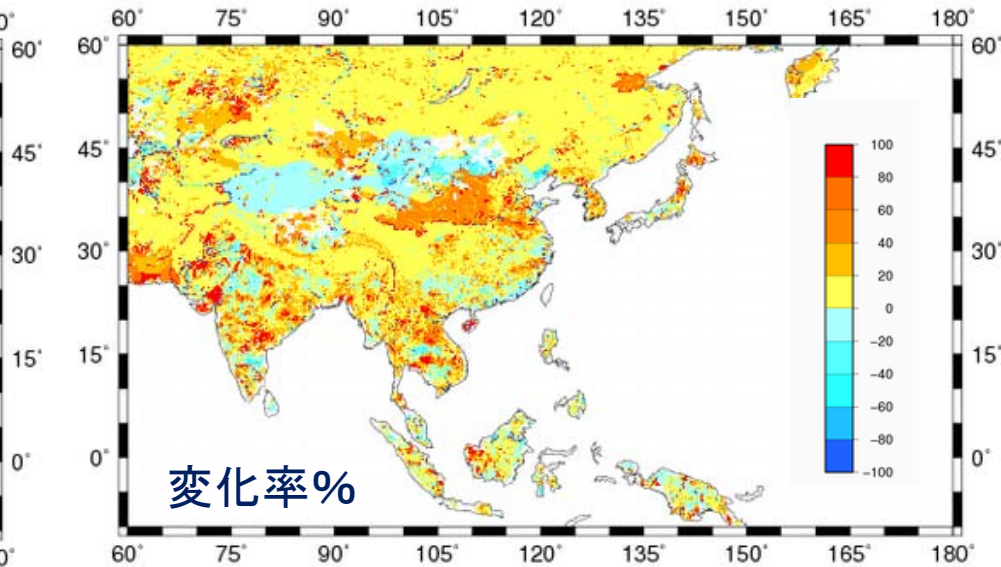
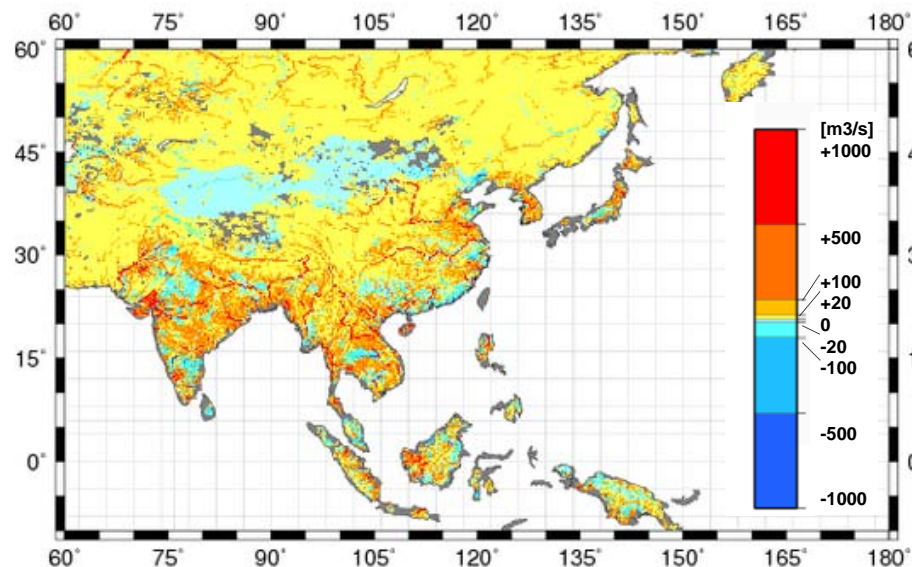


15万km<sup>2</sup>以上の流域、北極域を除く

# 1/50年最大日流量の変化(3.2S, BC利用)

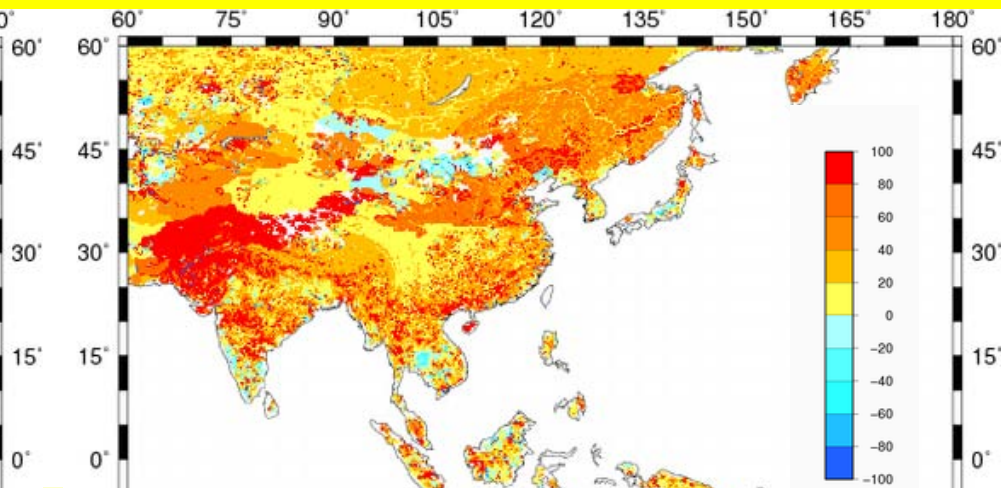
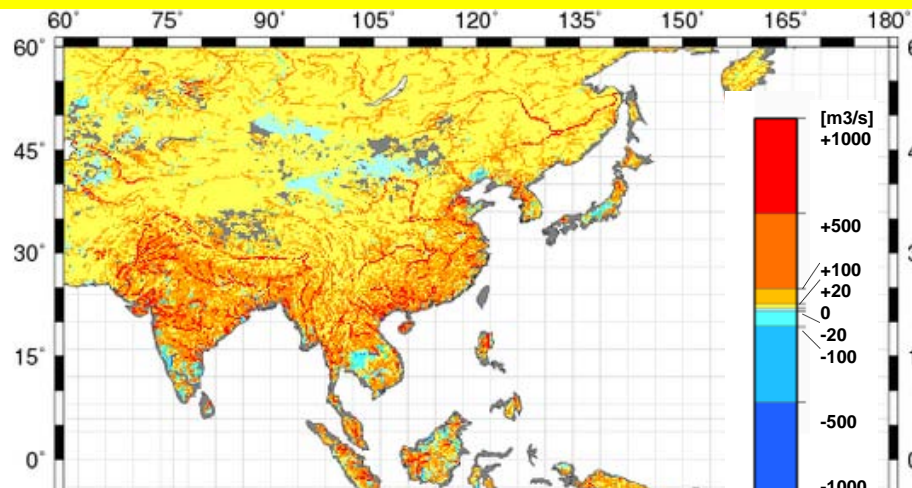
差(m<sup>3</sup>/s) (近未来-現在):

変化率(%) (近未来-現在)/現在



差 (m<sup>3</sup>/s) (世紀末-現在)

変化率(%) (世紀末-現在)/現在

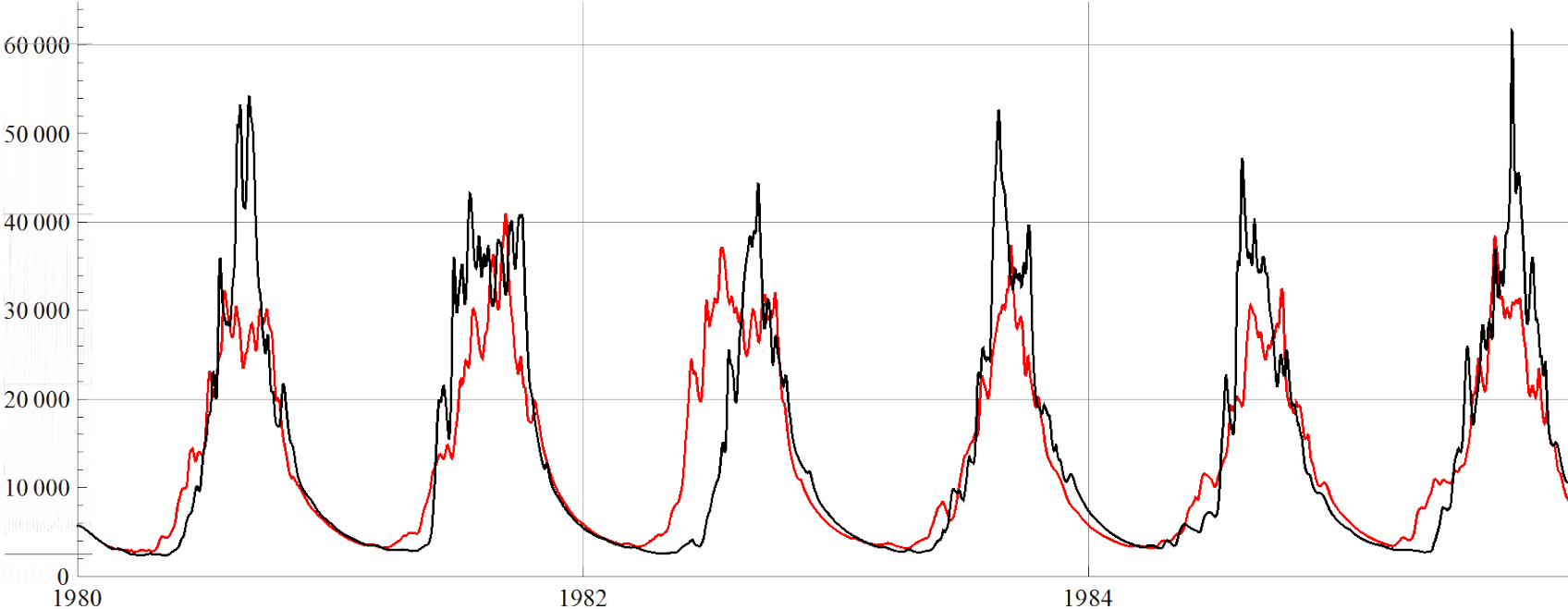


# BCの重要性

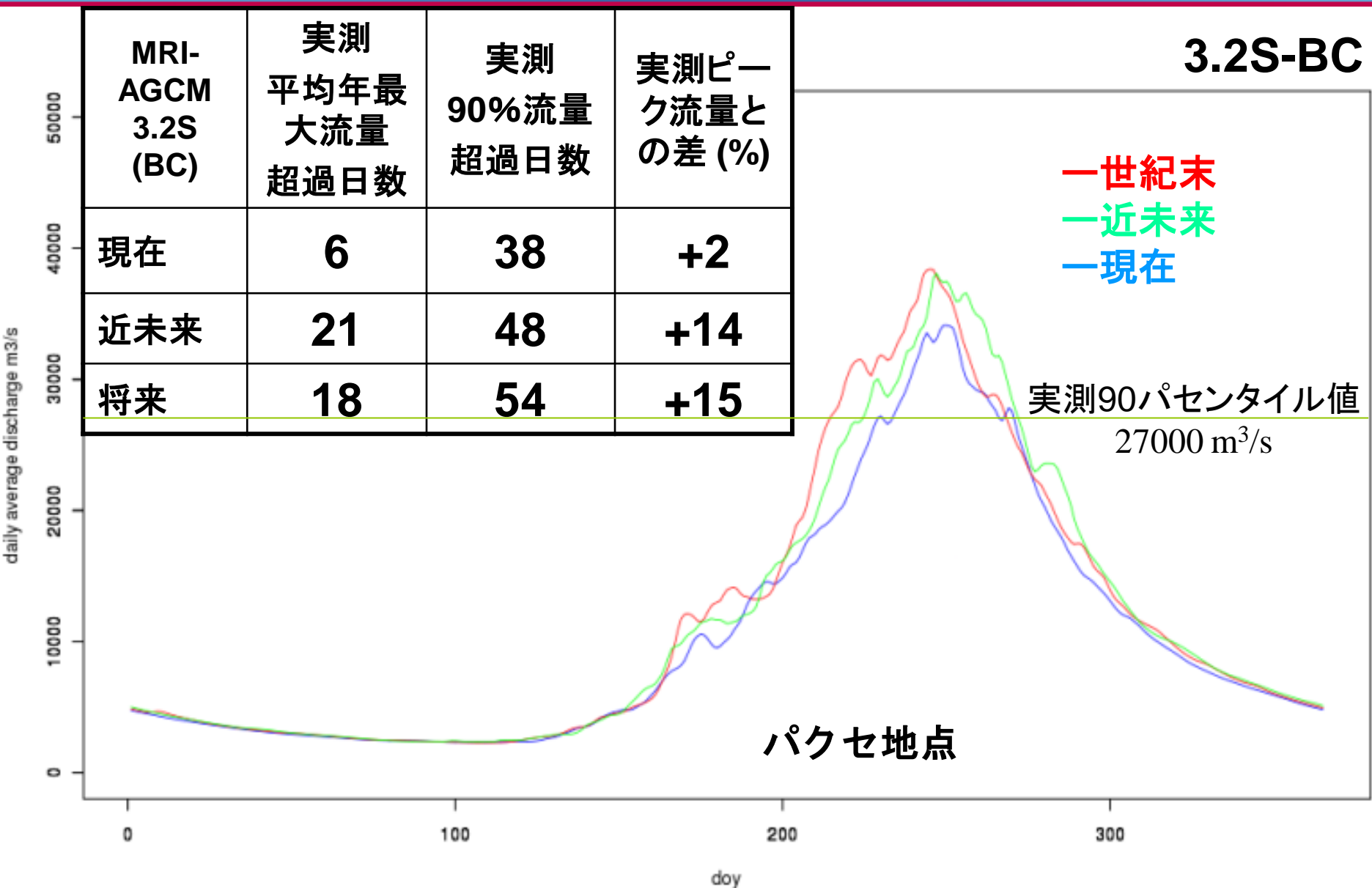
— BCなし  
— BCあり

## 3.1S

### メコン・カンポンチャム地点



# メコン川（パクセ地点） 流況パターンの変化



# リスク評価

深見和彦、田中茂信、郭栄珠、中須正、  
上野山智也、廣江亜紀子、Duminda Perera

- 全球、特定脆弱地域
- HazardとExposureの特定:  $R = H \times E \times V$ 
  - 数値比高地図 + (H-Q curve) の利用
  - ポテンシャル浸水域の気候変化による変化
    - ⇒ 浸水域での潜在洪水被害人口の推定
    - ⇒ 潜在被害額の推定



# 全球評価

郭栄珠

# 研究手法

Flood HAZARD Zone

FIL Algorithm

HydroSHED 15S (SRTM DEM)

DEM, River, Flow-direction  
500m resolution

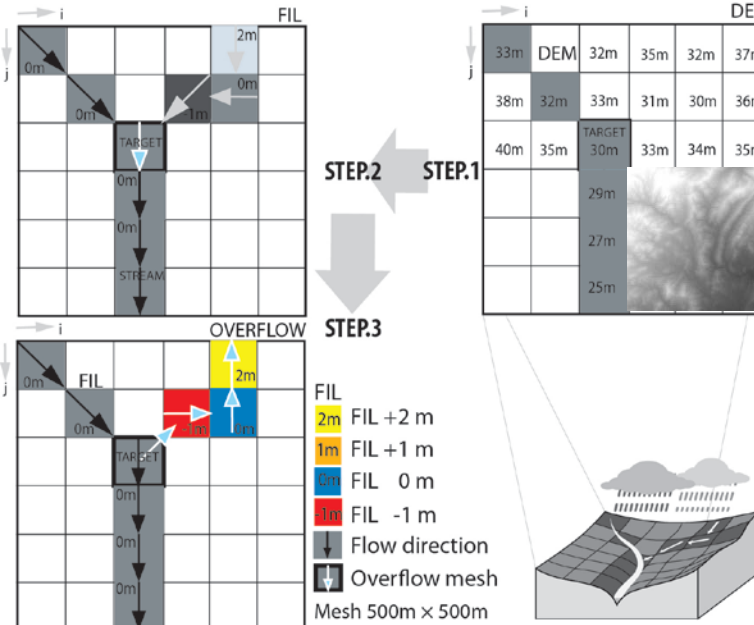
浸水域・浸水位推定

数値標高地図から推定した  
数値比高地図

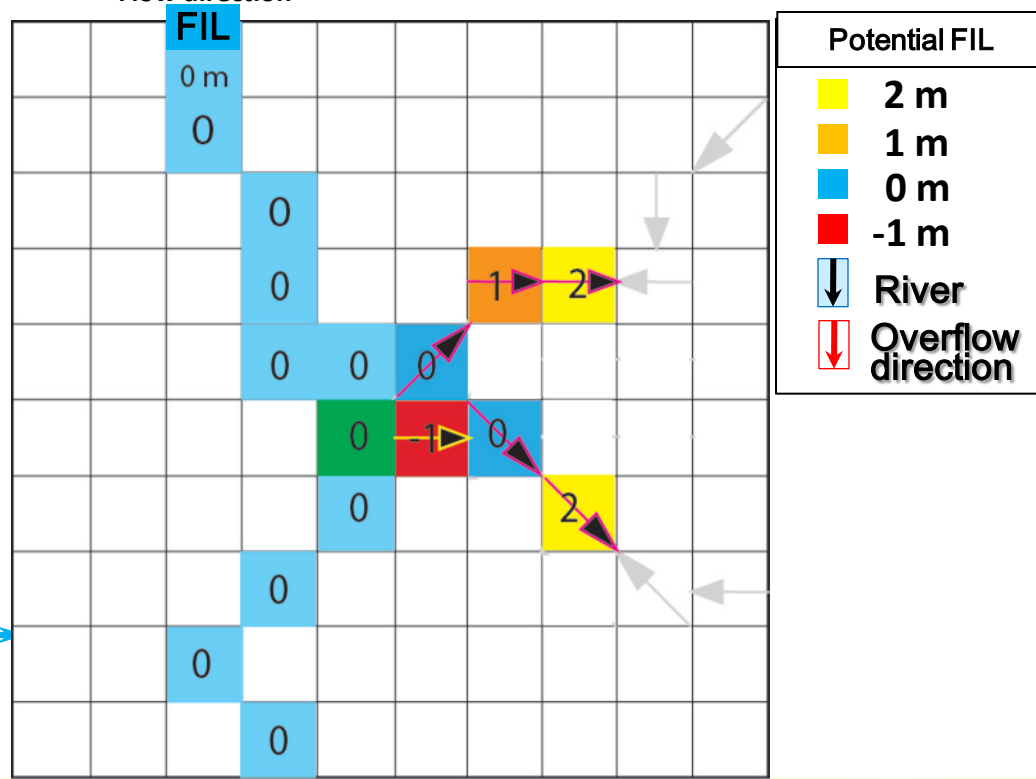
洪水水位

Manning式

洪水流出量

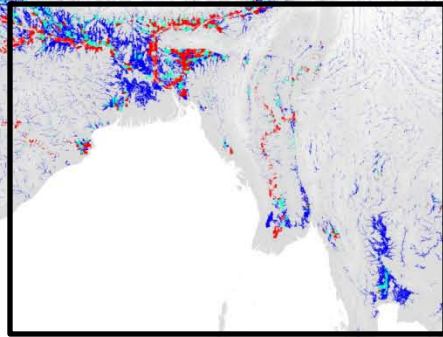


Flow direction

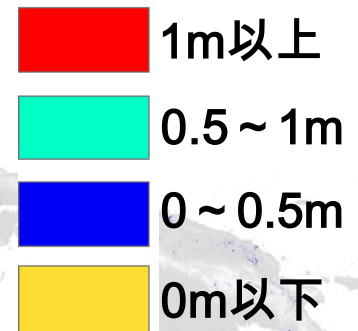


# MRI-AGCM 3.2S-BC

## 人口密度10名以上の地域での 1/50年最大洪水浸水深の増加

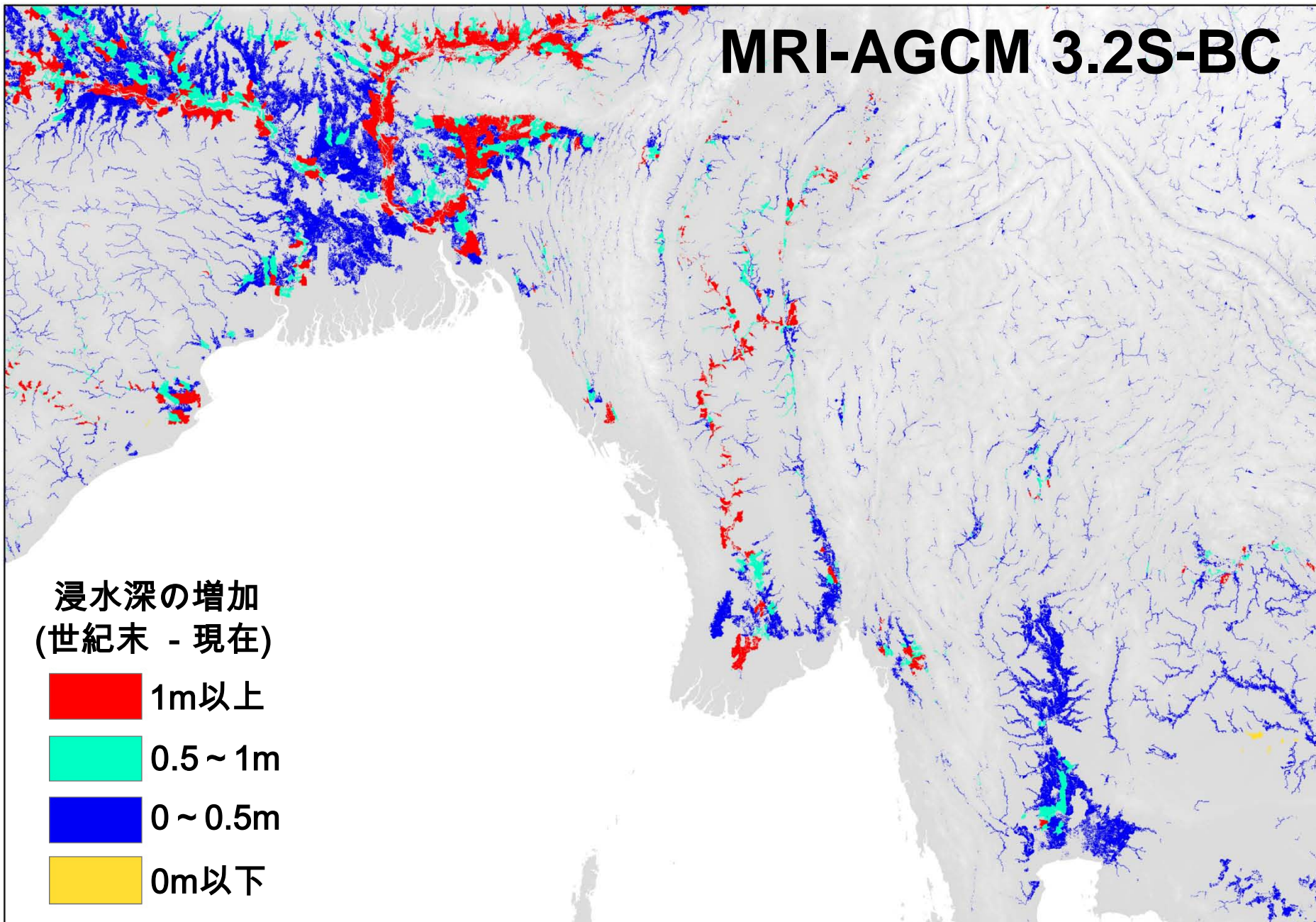
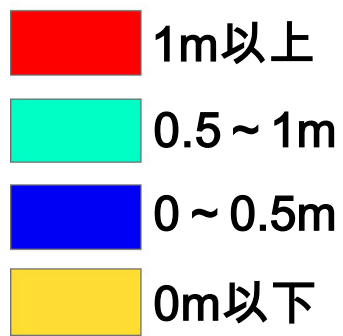


浸水深の増加  
(世紀末 - 現在)



# MRI-AGCM 3.2S-BC

浸水深の増加  
(世紀末 - 現在)



# アジアでの洪水氾濫域・被害人口の増加

65E-150E, 50N-10S

	MRI-AGCM3.2S BC				MRI-AGCM3.1S BC			
	氾濫域 (万km <sup>2</sup> )	増加 (%)	被害 人口 (百万人)	増加 (%)	氾濫域 (万km <sup>2</sup> )	増加 (%)	被害 人口 (百万人)	増加 (%)
<b>現在</b> (1980-2004)	181		576		179		567	
<b>近未来</b> (2015-2039)	184	+1.6	590	+2.4	179	+0.4	573	+1.0
<b>世紀末</b> (2075-2099)	188	+4.2	611	+6.1	185	+3.4	595	+4.9

人口密度1人/km<sup>2</sup>以上の地域の集計  
 5000km<sup>2</sup>以下の流域を除く。その都市は含まれていない。  
 世紀末での1/50年最大洪水による氾濫面積の増加は3.4-4.2%  
 同被害人口は4.9-6.1%増(将来都市人口増考慮しない場合)  
 (現在人口で) 2800-3500万人

# 特定脆弱地域の解析

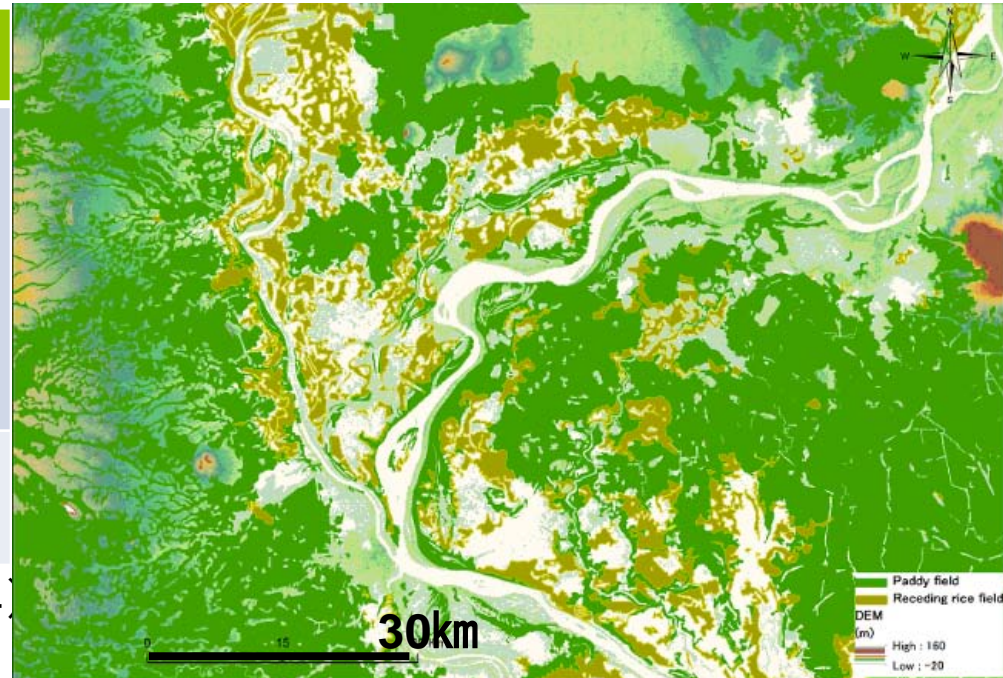
- メコン下流域 中須正、田中茂信
- ネパール 上野山智也、廣江亜紀子、深見和彦、  
Duminda Perera, Nepal Development Research Institute

# カンボジア・天水田耕作への影響の検討

カンボジアは農業国 GDPの30% 労働力の60%が農業

作付面積 (千 ha)	水田形態の比率(%)			
	灌漑水田	天水田	陸稲畑	浸水水田
2,347	16	<b>75</b>	1	8

(農文協編:作物, No.1, pp.107~120, 2009年)



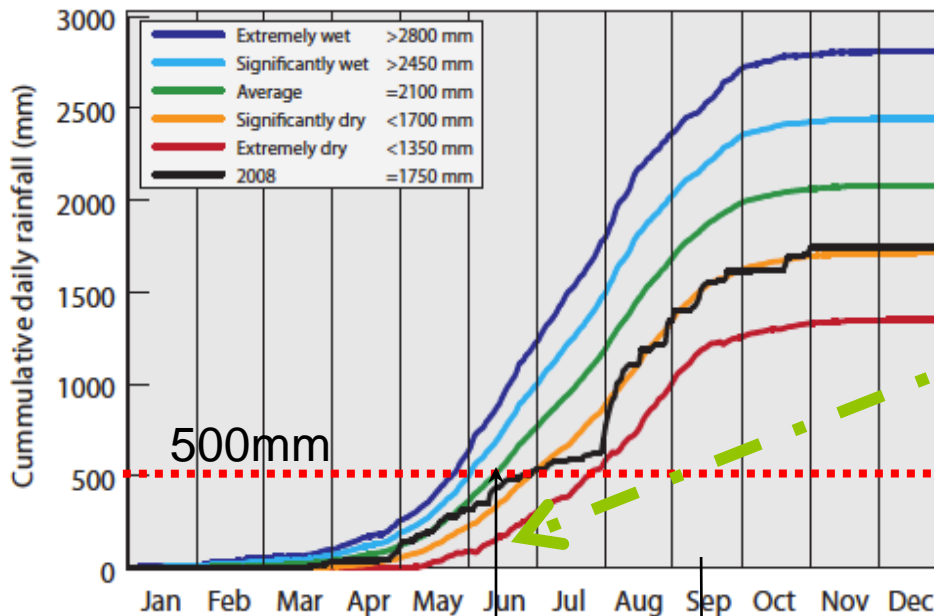
コンポンチャム県地域  
(MRC : FMMP data, 2010年)

作付け面積が大きく・降雨、  
洪水によるリスクの大きい天水田  
(Wet Season Rice)に  
与える影響を調べる

緑色 : 天水田主体稲作  
浅黄色 : 洪水利用水田主体稲作

# 植えつけと刈取り時期の関係

## カンボジア（洪水期稲作）

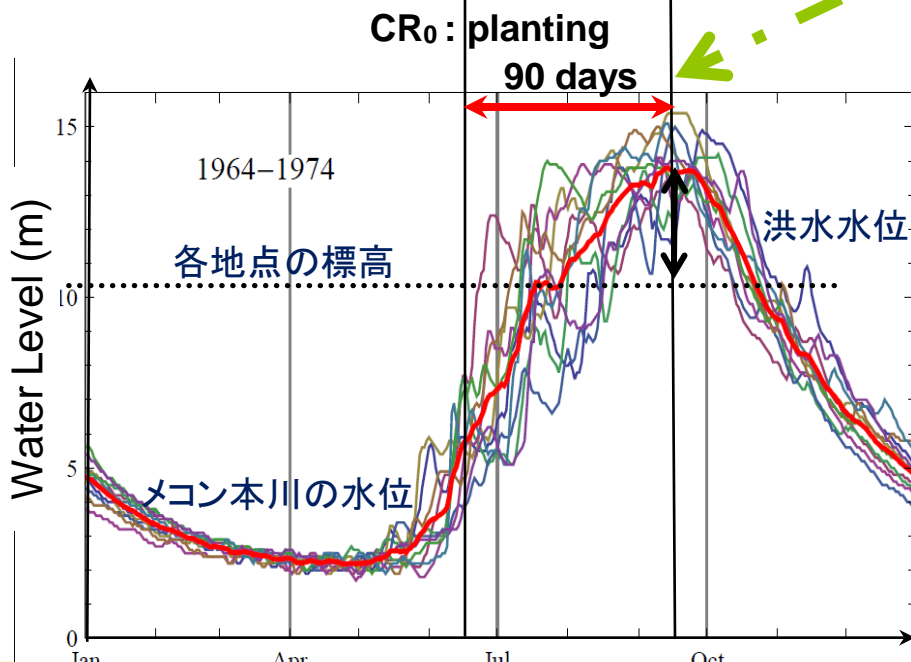


田植：年初より累加雨量500mmに達する日

刈り取り：田植えより90日後（増本ら）

この間の洪水生起の有無、早遅が稲の生産に影響を与える

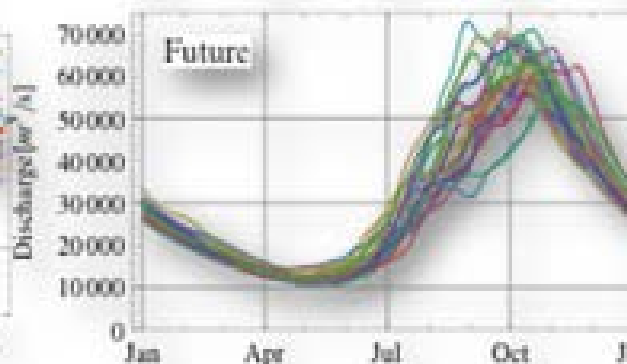
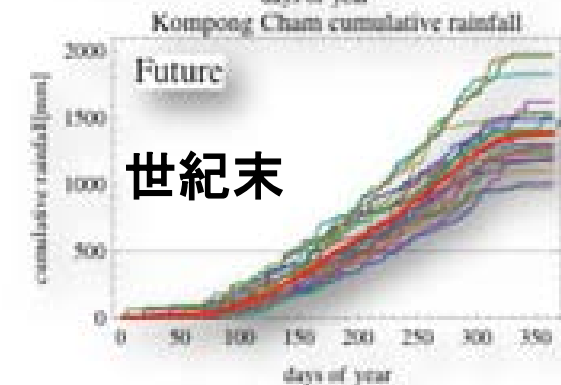
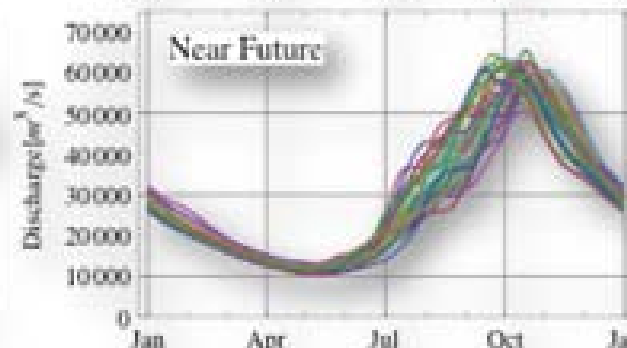
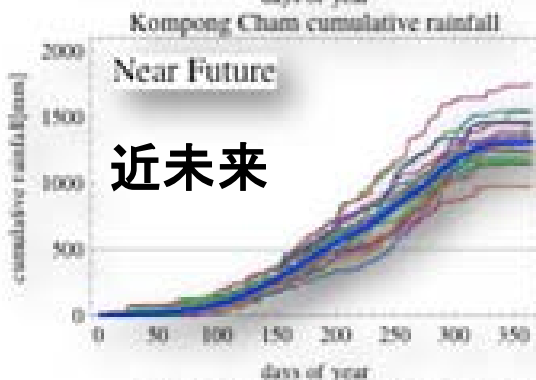
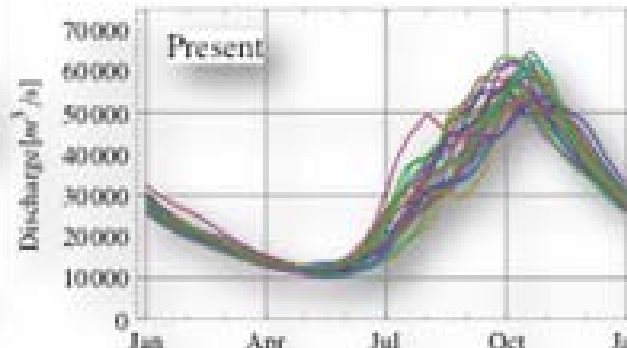
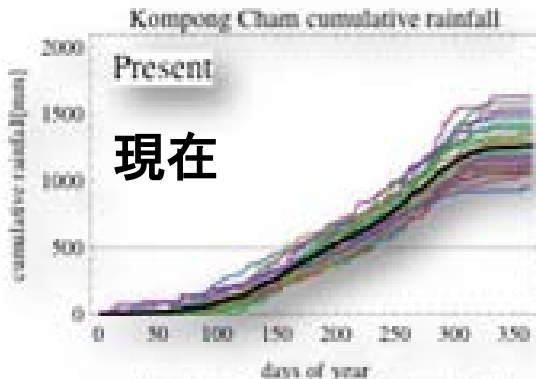
稲作不適地域：平年（平均洪水）でも被害（50cm以上浸水）を受けるところ





# 累加降水量および水位変化

## 500mm到達日



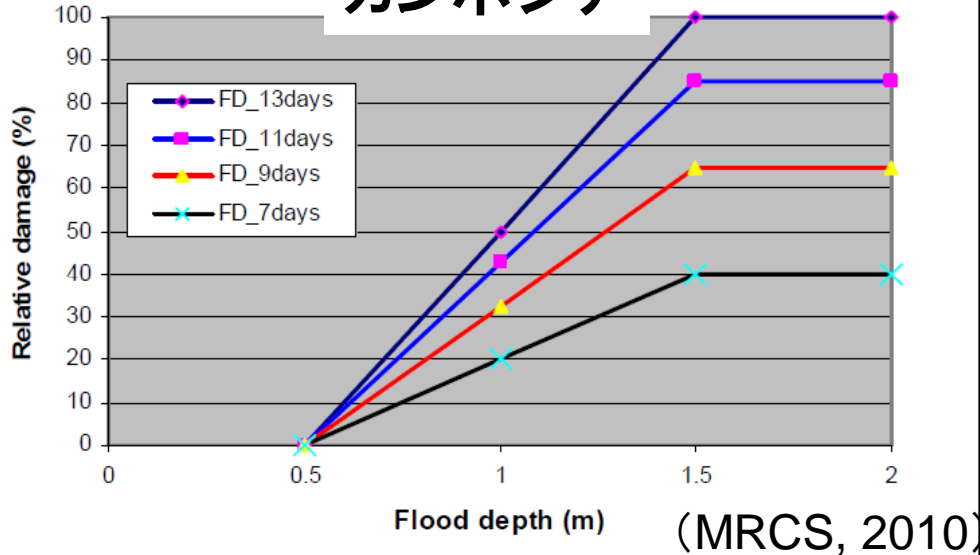
	平均	SD	変動幅
現在	6月17日	20日	73日間
近未来	6月15日	22日	79日間
世紀末	6月6日	26日	90日間

## 洪水ピーク発生日

時期	平均年最大	発生日	SD
現在	57600 $\text{m}^3/\text{s}$	10月11日	10日
近未来	59830	10月12日	11日
世紀末	63160	10月11日	16日

# 冠水による水稲被害の推定方法

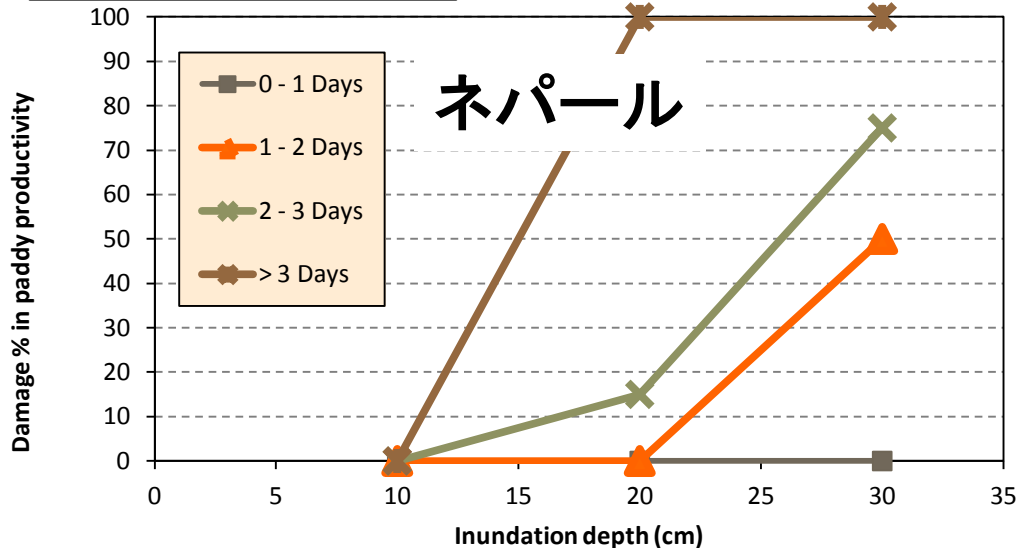
## カンボジア



## 現地調査結果

Damage % in Nam Mae Kok Focal area (%)

## ネパール

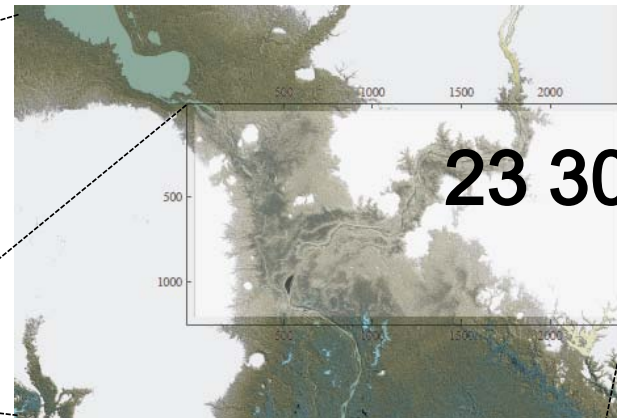


	草丈/稈長
日本 (コシヒカリ <sup>1)</sup> )	90 cm (稈長)
ネパール (西ラプティ 下流域 <sup>2)</sup> )	30 cm (雨季・草丈)
カンボジア (在来種 <sup>3)</sup> )	1m以上 (稈長)

- 1) (独) 農業・食品産業技術総合研究機構
- 2) NDRI
- 3) (社) 海外農業開発コンサルタンツ協会

# 洪水位上昇により稲作が不適となる地域

メコン川  
コンポンチャム県  
9800 km<sup>2</sup>  
168万人

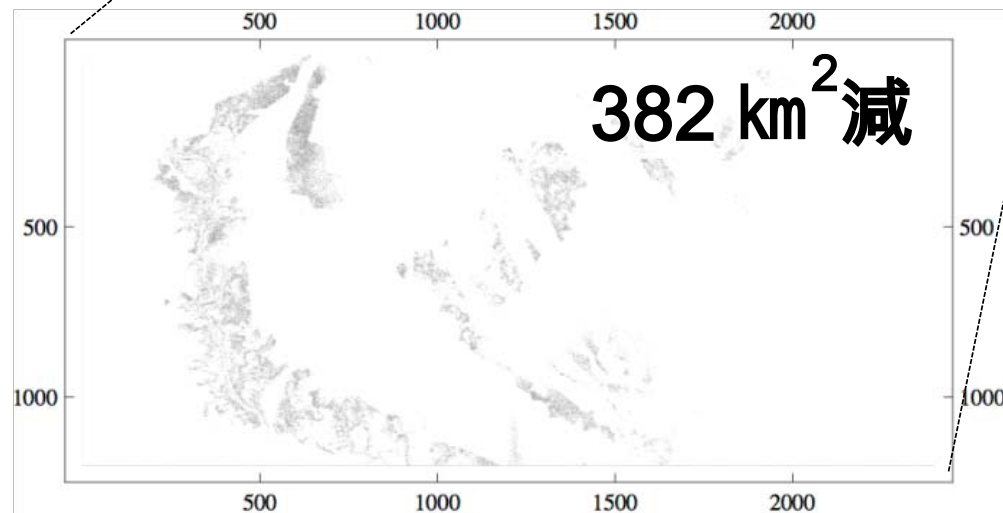


23 300 km<sup>2</sup>

作付可能面積: 18800 km<sup>2</sup>

新たに稲作不適となる地域  
(21世紀末-現在)

3.1S-BC



382 km<sup>2</sup>減

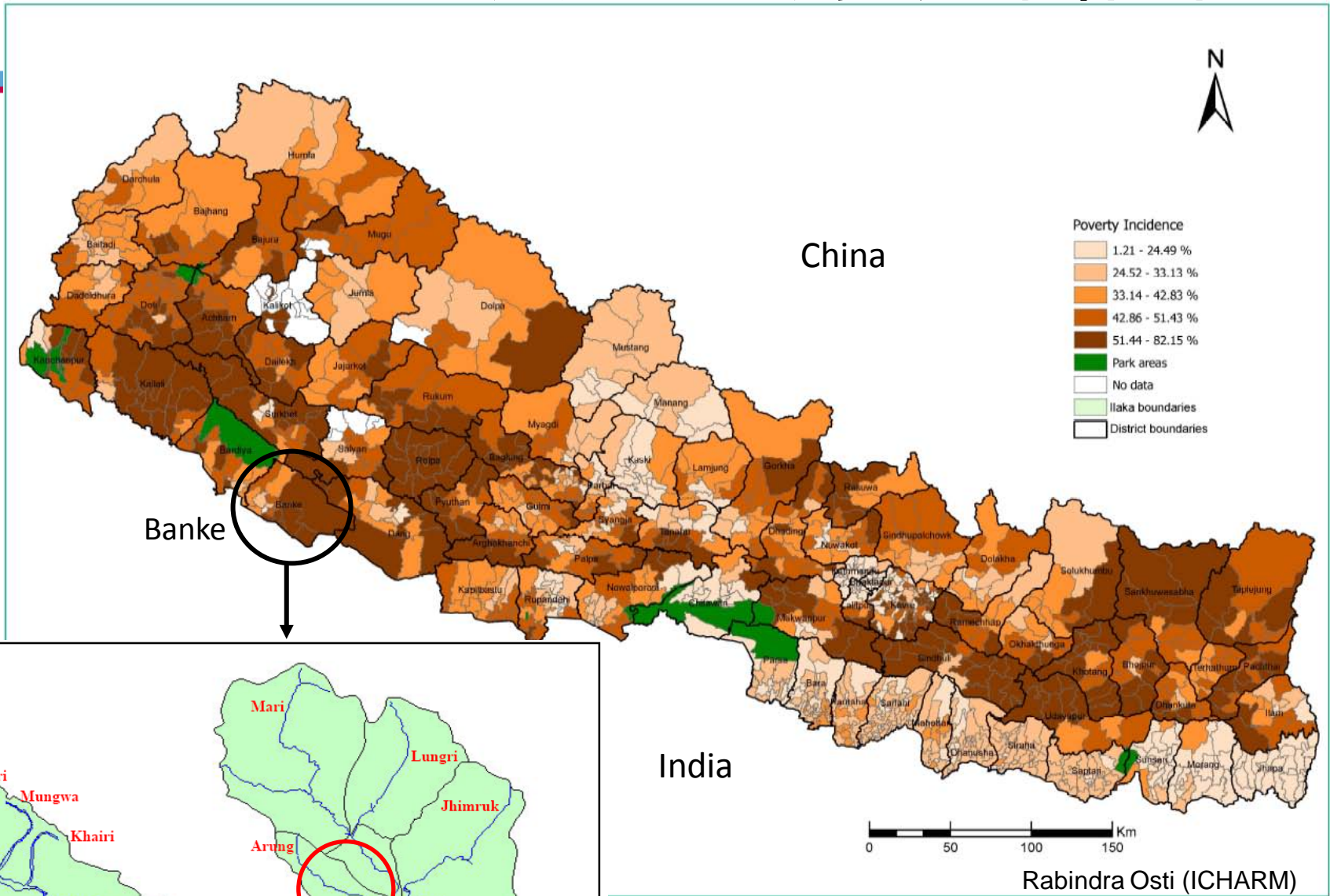
近未来では  
147 km<sup>2</sup>減

# 水稻被害予測

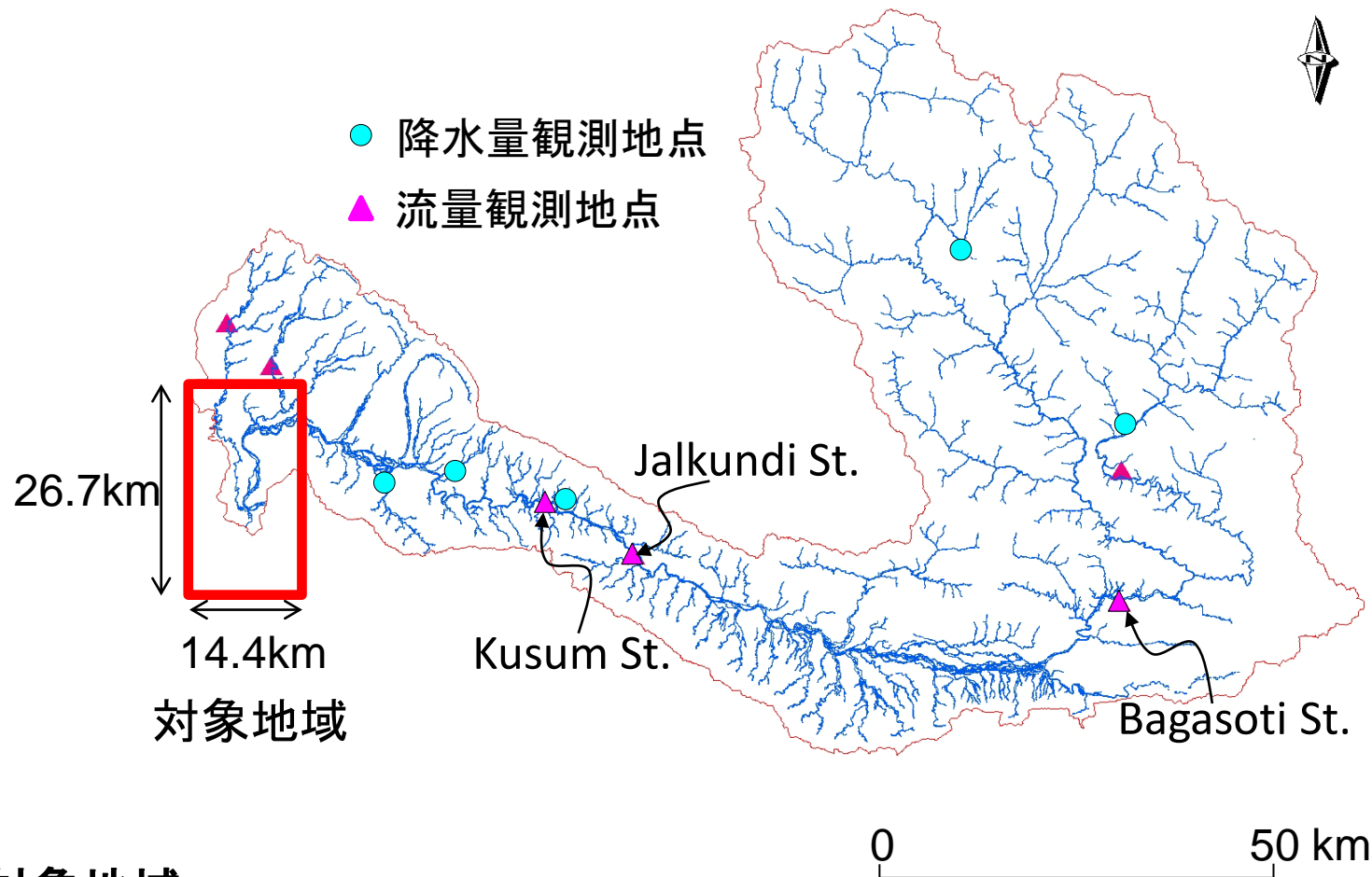
被害額 Mil. USD	MRI-AGCM 3.1S		MRI-AGCM 3.2S	
	年平均被害額	最大年	年平均被害額	最大年
現在	4.81	47.3	1.91	14.7
近未来	8.56	68.3	3.24	14.8
21世紀末	42.3	144.8	3.36	17.3

⇒モデル差大

# ネパール・西ラプティ川流域への気候変動の影響の検討



# 西ラプティ川流域および検討対象地域

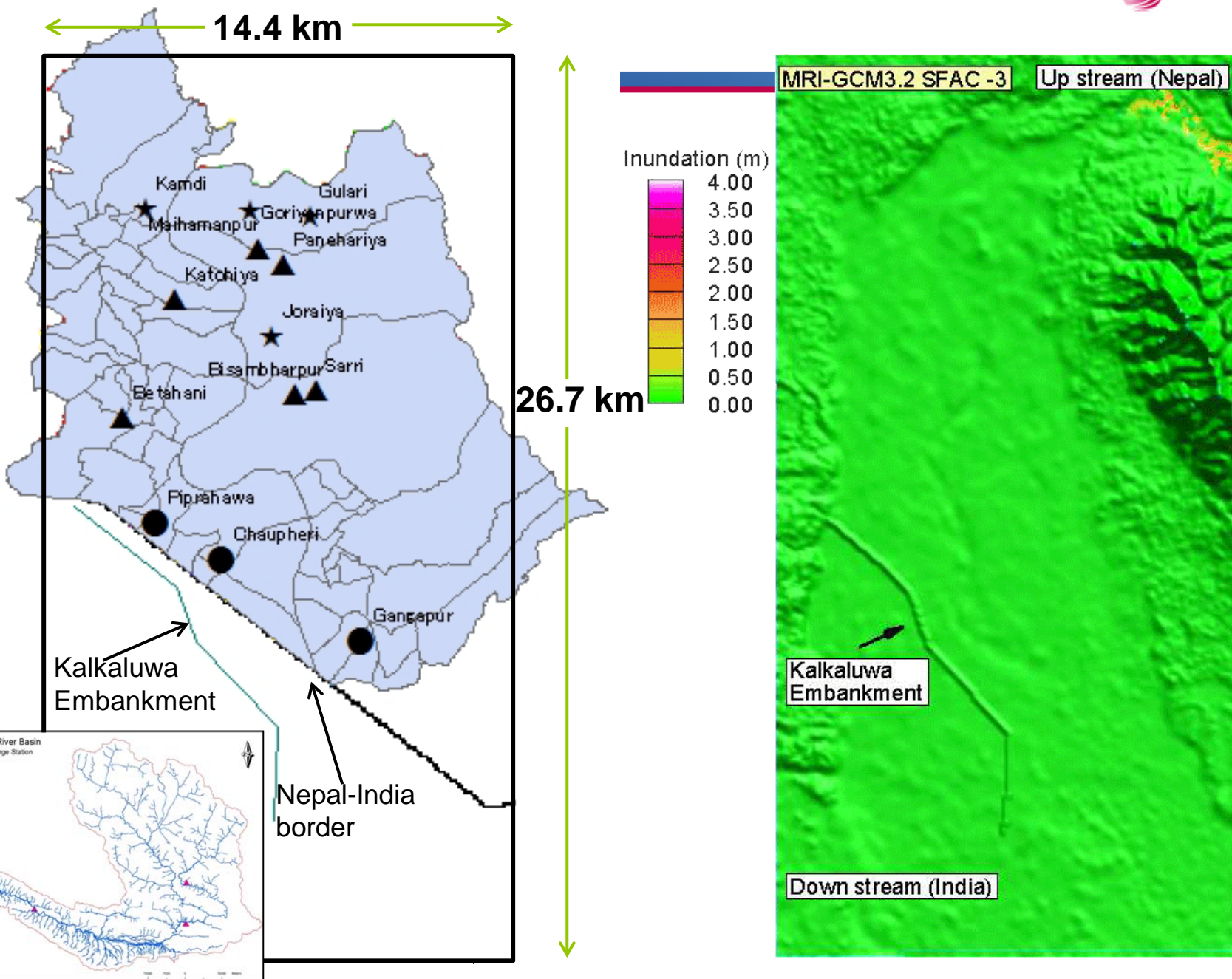


## 対象地域

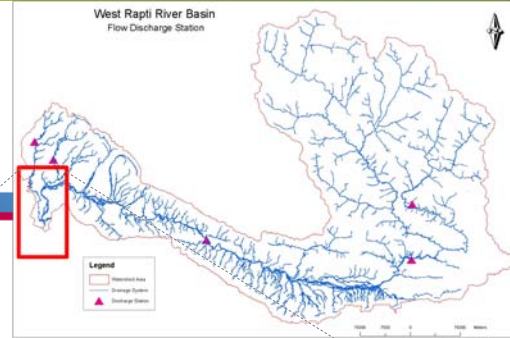
標高: 約120~400 m (氾濫原は約130m)

人口: 約5万人

# 世紀末での1/50年最大洪水の氾濫シミュレーション

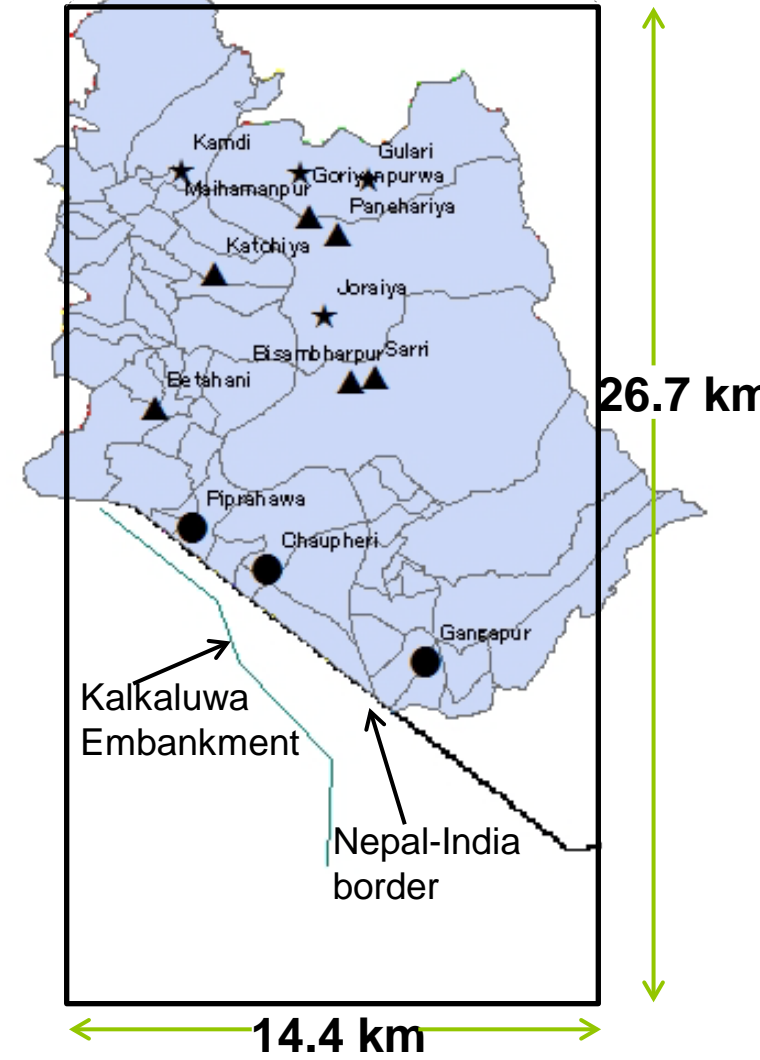
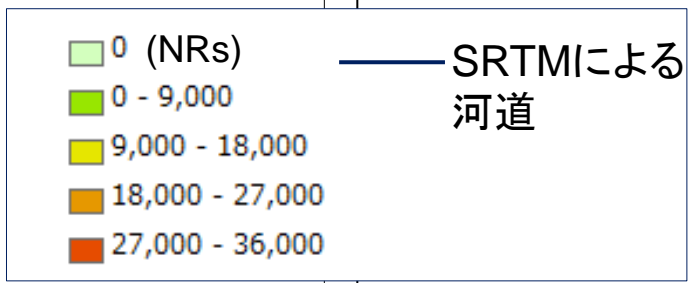
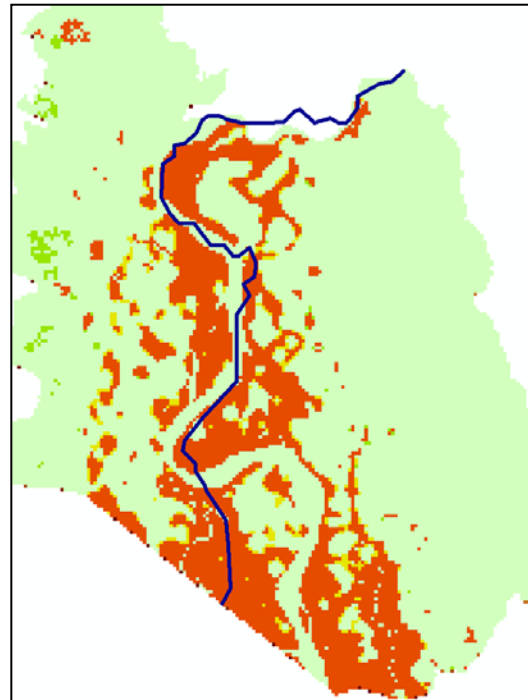
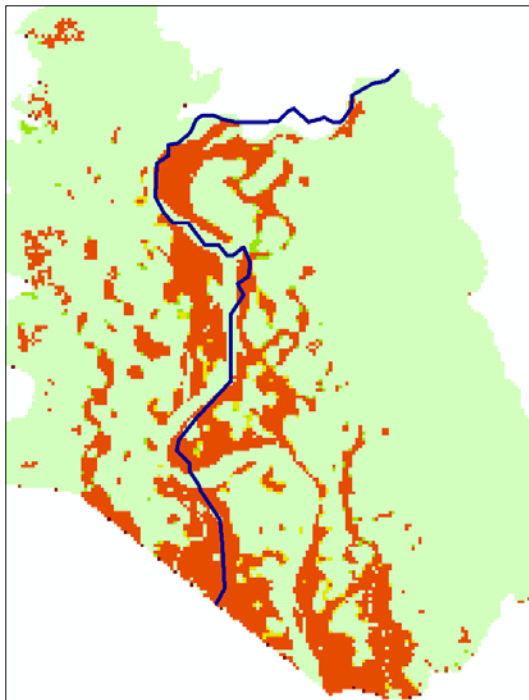


# 稲作被害 3.2S BC



現在

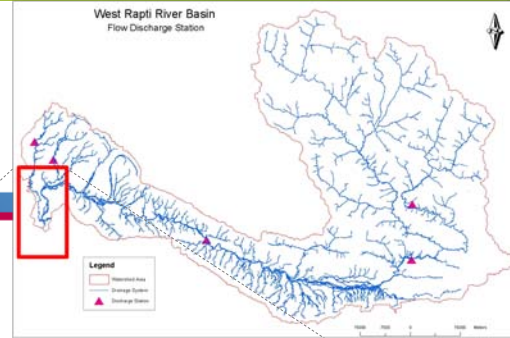
世紀末



作付・被害関数は2011年調査による

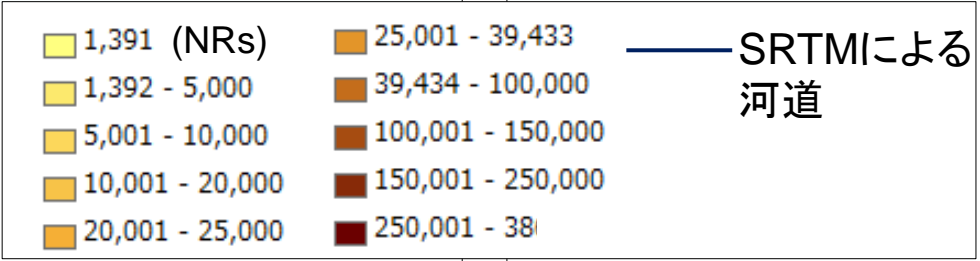
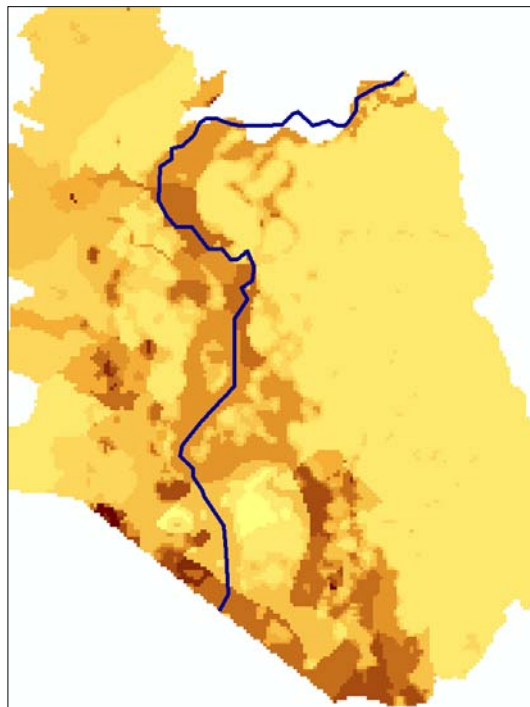
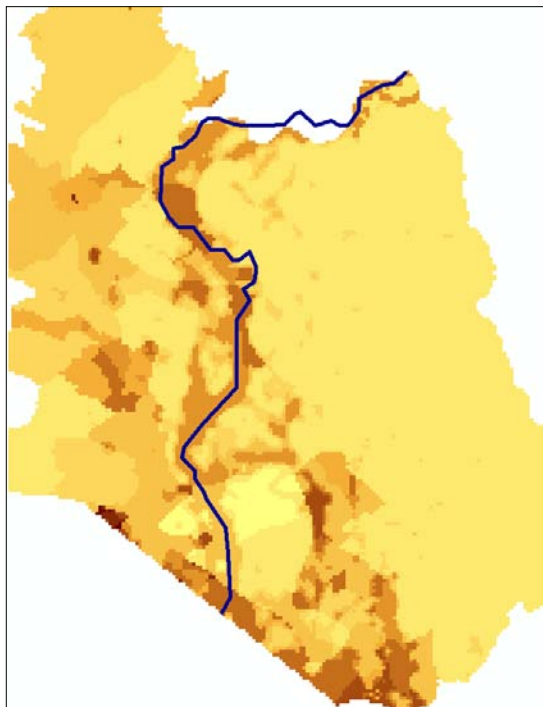


# 家屋への被害 3.2S-BC

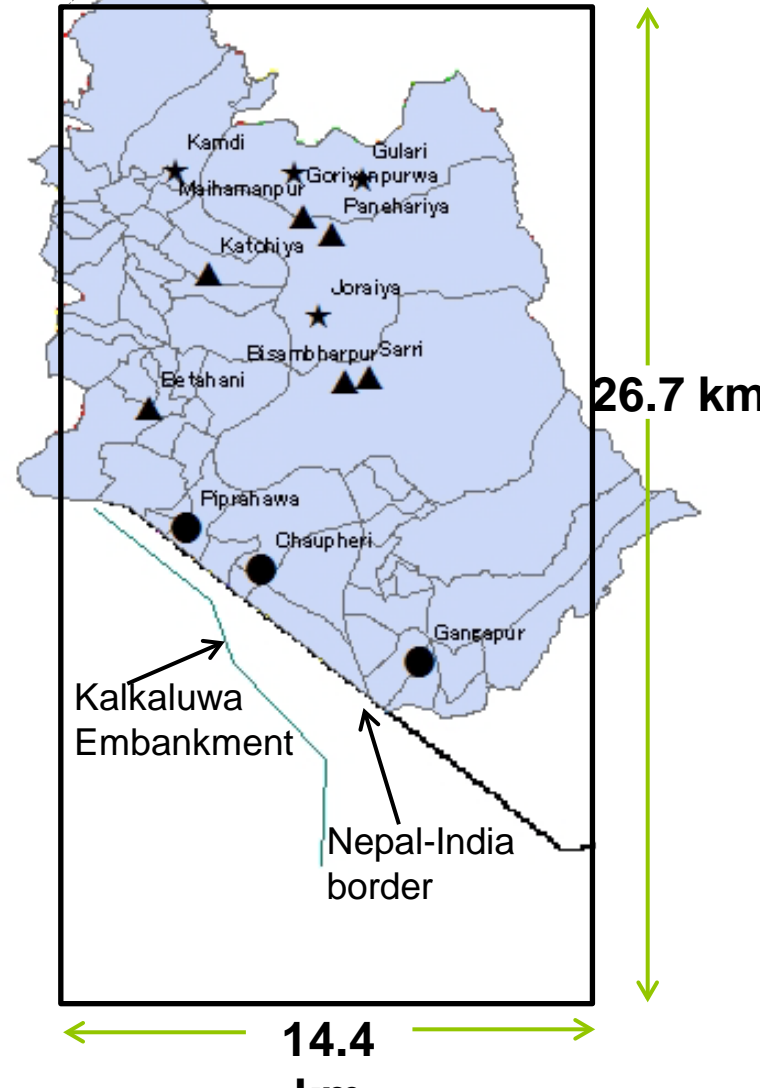


現在

世紀末



住居分布・被害関数は2011年調査による



# 本研究の成果

- MRI-GCM20の高解像度を生かした、詳細な洪水影響評価の技術整備を行い、実例を示した
  - **バイアス補正**: 地上観測に基づくGCM降雨の補正スキームの開発。Local評価に不可欠。
  - **河道網**: 解像度90m-20kmで全球整備。スケールフリーで使える。
  - **水文解析**: 分布型BTOPモデルで5000km<sup>2</sup>以上の全流域の日流量を算定し、極端流量の変化を評価した。但し流域ごとのパラメータ同定は未完である。世界平均では、1/50年最大日流量は、近未来17-20%、世紀末で40-44%増加する。
  - **浸水位法**: **洪水氾濫域の全球評価のための簡易推定法**の開発。アジア地域では現在1人/km<sup>2</sup>以上の地域で、1/50年最大洪水氾濫面積が世紀末には3-4%拡大する。
  - **不確実性評価**のため、3.1S, 3.2S, (一部3.2H)を解析。
  - **特定脆弱地域** (Local basin) の農業・社会経済影響評価は、**現地パートナー** (MRC, NDRI) との共同で実施。能力開発を含む。