

風水害対策および水資源確保への応用



京都大学工学研究科 社会基盤工学専攻
(工学部 地球工学科)

立川 康人

d4PDFによって初めてできるようになったこと

- 1) 低頻度水文現象のノンパラメトリックな頻度解析が初めてできるようになった。
- 2) 最大クラス(1000年程度の再現期間の水文事象の強度)の推定ができるようになった。

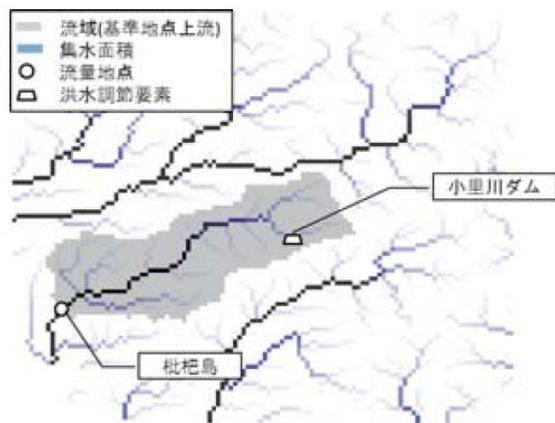
超多数アンサンブル気候予測実験データを用いた 極値河川流量の将来変化の分析

立川、宮脇、田中、萬、加藤、市川、キム、土木学会論文集, 73(3),
2017

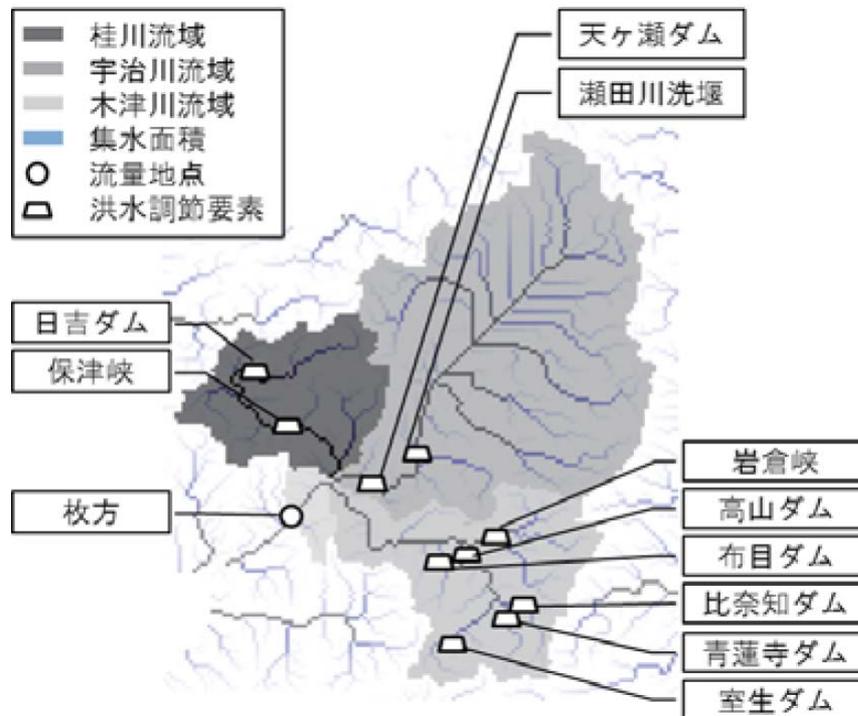
d4PDFを用いた三大都市圏の河川流量極値の変化



(a) 荒川流域(2940km²)



(b) 庄内川流域(1010km²)

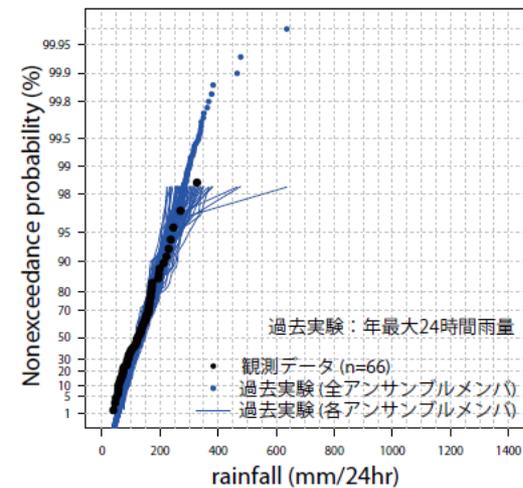


(c) 淀川流域(8240km²)

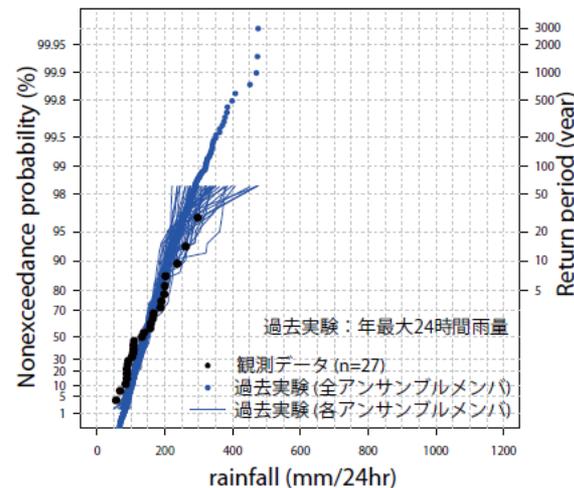
図中のダムおよび調整地の流水制御を降雨流出モデルに導入した

d4PDFを用いた淀川、庄内川および荒川の 流域平均雨量の年最大24時間雨量の確率分布 過去実験と4°C上昇実験の比較

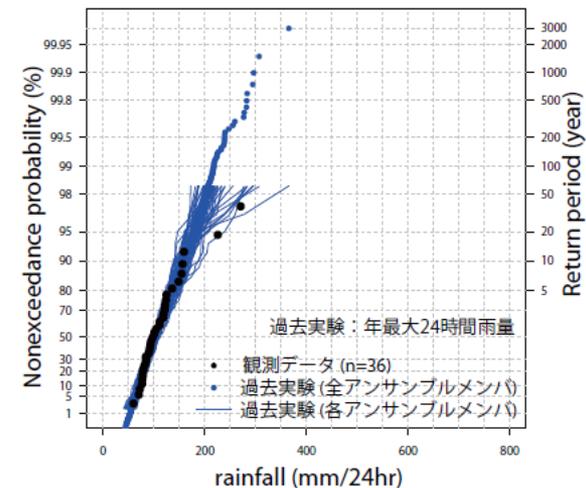
年最大24時間降水量の確率プロットの比較。黒点：観測降雨，青点：d4PDF過去実験の全アンサンブルメンバ(3000年分=60年×50メンバ)、青細線：過去実験の60年ごとのアンサンブルメンバ。



(a) 荒川流域



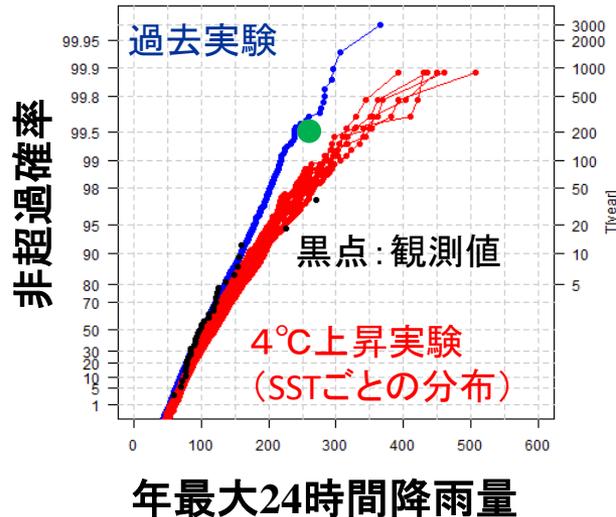
(b) 庄内川流域



(c) 淀川流域

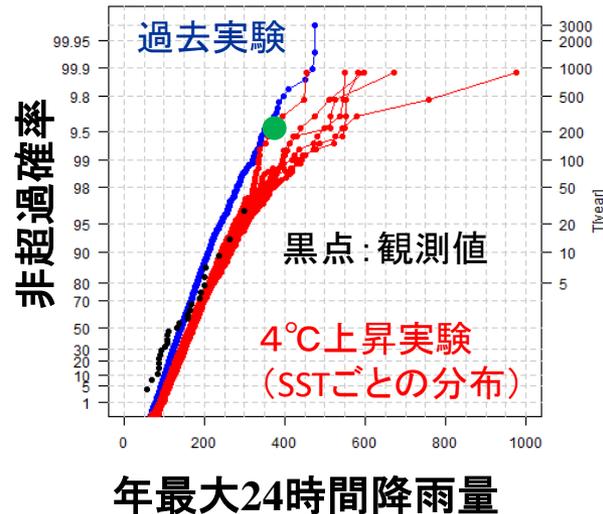
d4PDFを用いた淀川、庄内川および荒川の 流域平均雨量の年最大24時間雨量の確率分布 過去実験と4°C上昇実験の比較

淀川流域(枚方上流域)



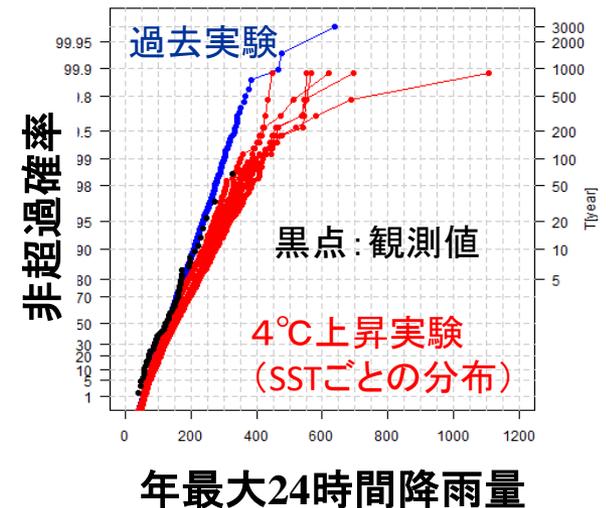
- 計画降雨(1/200 24時間雨量)
261mm / 24hrs
- 過去実験(1/200超過確率)
239mm / 24hrs
- 将来実験(SSTごとの1/200超過確率の年最大24時間雨量の平均値)
329mm / 24hrs

庄内川流域(枇杷島上流域)



- 計画降雨(1/200 24時間雨量)
376mm / 24hrs
- 過去実験(1/200超過確率)
350mm / 24hrs
- 将来実験(SSTごとの1/200超過確率の年最大24時間雨量の平均値)
474 / 24hrs

荒川流域(岩淵上流域)



- 計画降雨(1/200 3日雨量)
548mm / 3 days
- 過去実験(1/200超過確率)
480 mm / 72hrs
- 将来実験(SSTごとの1/200超過確率の年最大72時間雨量の平均値)
610 / 72 hrs

d4PDFを用いた三流域の降水極値の変化

流域	降雨継続時間	年最大降水量 Rainfall(mm)					
		再現期間200年			再現期間900年		
		過去実験	4度上昇実験 ^{*1}		過去実験	4度上昇実験 ^{*2}	
荒川流域	24 hours	333	459		466	664	
	48 hours	415	555		552	816	
	72 hours	480(538 ^{*3})	610		623	856	
	96 hours	513	646		645	891	
庄内川 流域	24 hours	350 (376 ^{*3})	474		470	638	
	48 hours	471	585		558	792	
	72 hours	525	659		647	903	
	96 hours	578	724		720	1010	
淀川流域	24 hours	239 (261 ^{*3})	329		296	455	
	48 hours	321	406		395	541	
	72 hours	363	443		434	572	
	96 hours	373	459		459	591	

*1: SSTごとに4度上昇実験アンサンブルデータを同じ母集団からの標本とみなして200年確率値を得て、異なるSSTのそれらを平均した値. *2: SSTごとに4度上昇実験アンサンブルデータを同じ母集団からの標本とみなした場合の最大値を得て、異なるSSTのそれらを平均した値. *3: 国土交通省による計画雨量.

現在の200年確率雨量と4度上昇実験の200年確率雨量の違い

流域	降雨継続時間	年最大降水量 Rainfall(mm)					
		再現期間200年			再現期間900年		
		過去実験	4度上昇実験*1		過去実験	4度上昇実験*2	
荒川流域	24 hours	333	459	(1.34)	466	664	
	48 hours	415	555	(1.34)	552	816	
	72 hours	480	610	(1.27)	623	856	
	96 hours	513	646	(1.26)	645	891	
庄内川 流域	24 hours	350	474	(1.35)	470	638	
	48 hours	471	585	(1.24)	558	792	
	72 hours	525	659	(1.26)	647	903	
	96 hours	578	724	(1.25)	720	1010	
淀川流域	24 hours	239	329	(1.38)	296	455	
	48 hours	321	406	(1.26)	395	541	
	72 hours	363	443	(1.22)	434	572	
	96 hours	373	459	(1.23)	459	591	



1.3 倍増加

現在の900年確率雨量と4度上昇実験の200年確率雨量の違い

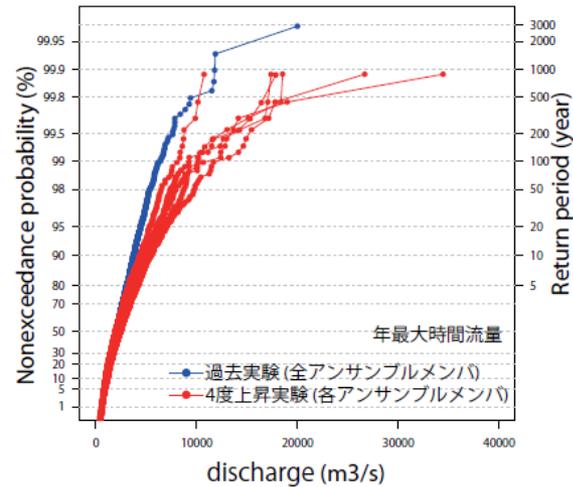
流域	降雨継続時間	年最大降水量 Rainfall(mm)						
		再現期間200年			再現期間900年			
		過去実験	4度上昇実験*1		過去実験		4度上昇実験*2	
荒川流域	24 hours	333	459		466	(0.98)	664	
	48 hours	415	555		552	(1.00)	816	
	72 hours	480	610		623	(0.98)	856	
	96 hours	513	646		645	(1.00)	891	
庄内川 流域	24 hours	350	474		470	(1.01)	638	
	48 hours	471	585		558	(1.05)	792	
	72 hours	525	659		647	(1.02)	903	
	96 hours	578	724		720	(1.25)	1010	
淀川流域	24 hours	239	329		296	(1.01)	455	
	48 hours	321	406		395	(1.03)	541	
	72 hours	363	443		434	(1.02)	572	
	96 hours	373	459		459	(1.00)	591	



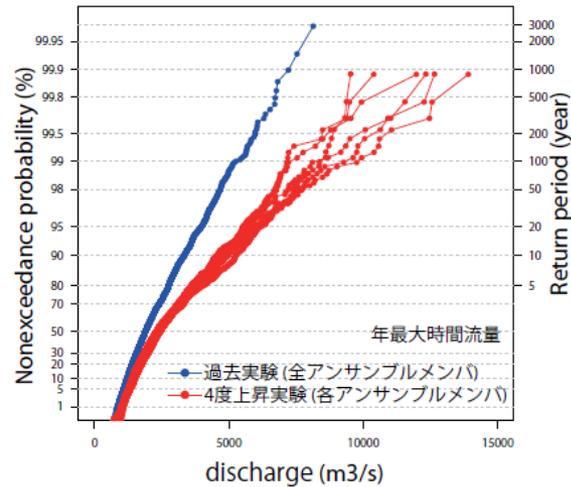
ほぼ同じ

d4PDFを用いた河川流量極値の変化

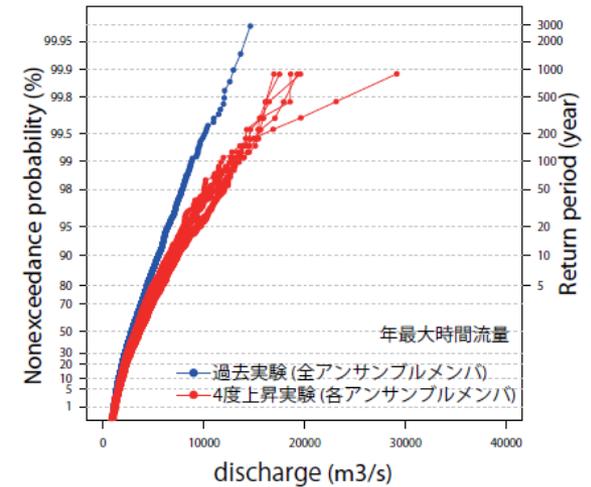
年最大時間流量の確率プロット。青線：過去実験、赤線：4度上昇実験(SST設定ごとに確率プロット)



(a) 荒川流域



(b) 庄内川流域

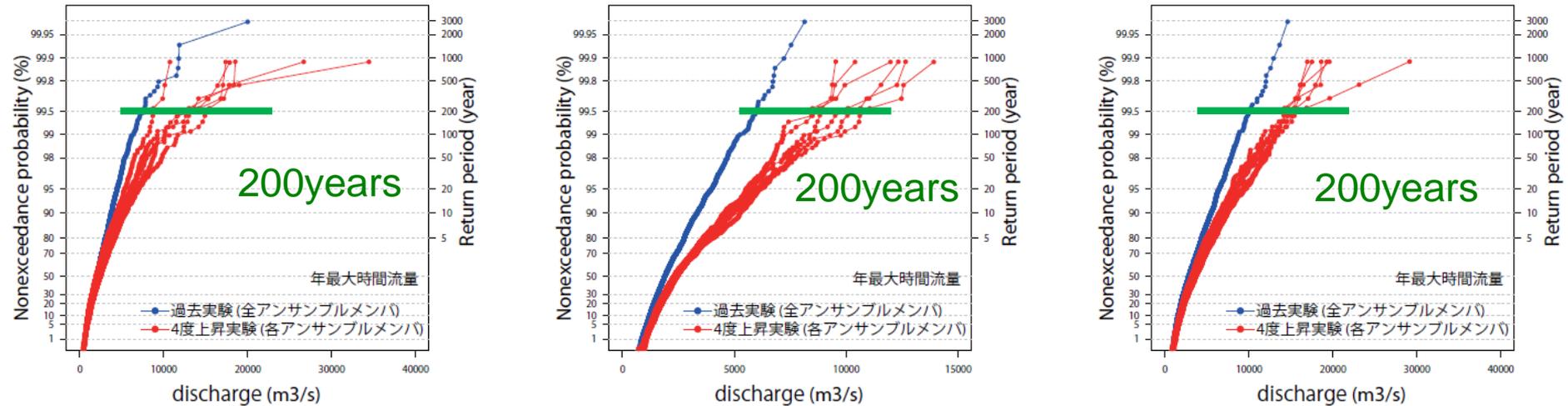


(c) 淀川流域

流域		年最大流量 (m ³ /sec)					
		再現期間200年			再現期間900年		
		過去実験	4度上昇実験* ¹		過去実験	4度上昇実験* ²	
荒川(岩淵)		7,611	12,801		11,780	20,934	
庄内川(枇杷島)		5,975	9,525		7,240	11,794	
淀川	ダムあり	10,100	15,165		12,987	20,168	
(枚方)	ダムなし	12,307	18,328		15,723	23,191	

d4PDFを用いた河川流量極値の変化

年最大時間流量の確率プロット。青線：過去実験、赤線：4度上昇実験(SST設定ごとに確率プロット)



(a) 荒川流域

(b) 庄内川流域

(c) 淀川流域

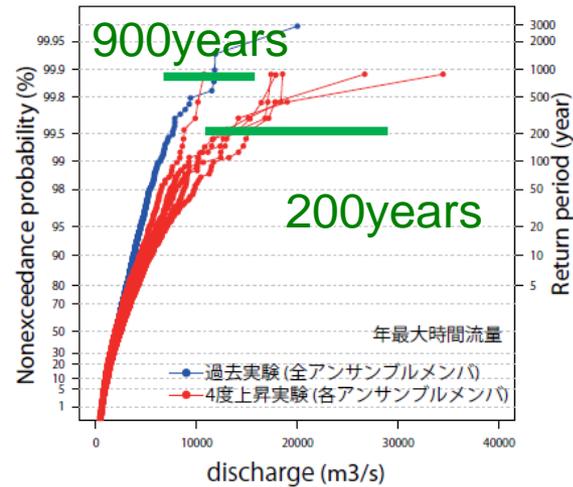
流域		年最大流量 (m ³ /sec)					
		再現期間200年			再現期間900年		
		過去実験	4度上昇実験* ¹		過去実験	4度上昇実験* ²	
荒川(岩淵)		7,611	12,801	1.68	11,780	20,934	
庄内川(枇杷島)		5,975	9,525	1.59	7,240	11,794	
淀川	ダムあり	10,100	15,165	1.50	12,987	20,168	
(枚方)	ダムなし	12,307	18,328	1.49	15,723	23,191	



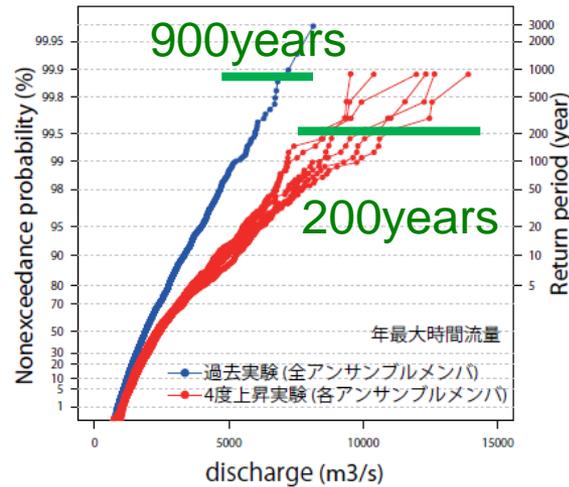
1.5 – 1.7 倍増加

d4PDFを用いた河川流量極値の変化

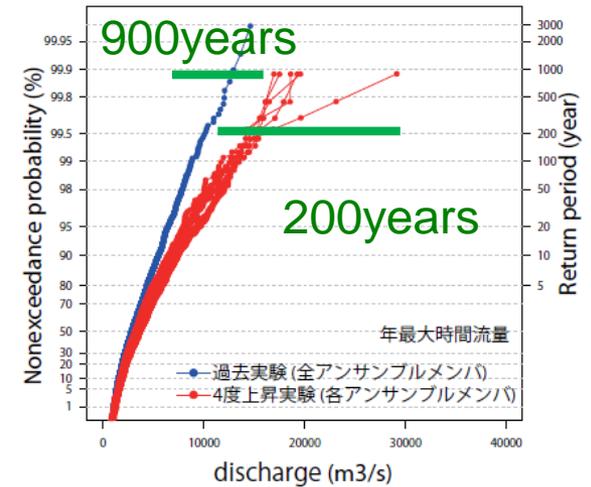
年最大時間流量の確率プロット。青線：過去実験、赤線：4度上昇実験（SST設定ごとに確率プロット）



(a) 荒川流域



(b) 庄内川流域



(c) 淀川流域

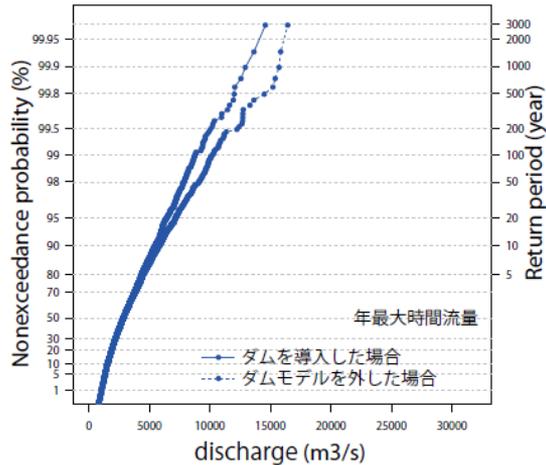
流域		年最大流量 (m³/sec)						
		再現期間200年			再現期間900年			
		過去実験	4度上昇実験*1		過去実験	4度上昇実験*2		
荒川	(岩淵)	7,611	12,801		11,780	1.09	20,934	
庄内川	(枇杷島)	5,975	9,525		7,240	1.32	11,794	
淀川	ダムあり	10,100	15,165		12,987	1.17	20,168	
(枚方)	ダムなし	12,307	18,328		15,723	1.17	23,191	



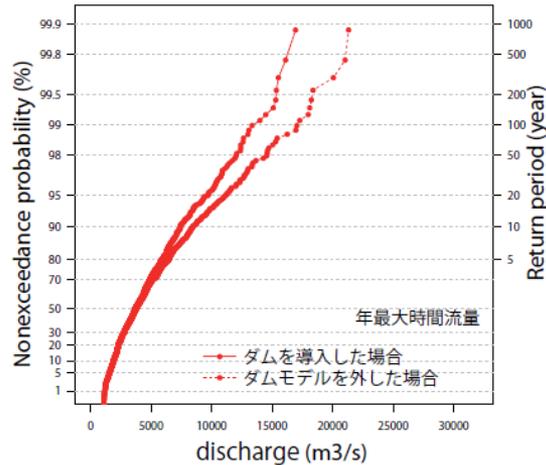
1.1 – 1.3 times larger

d4PDFを用いた河川流量極値の変化

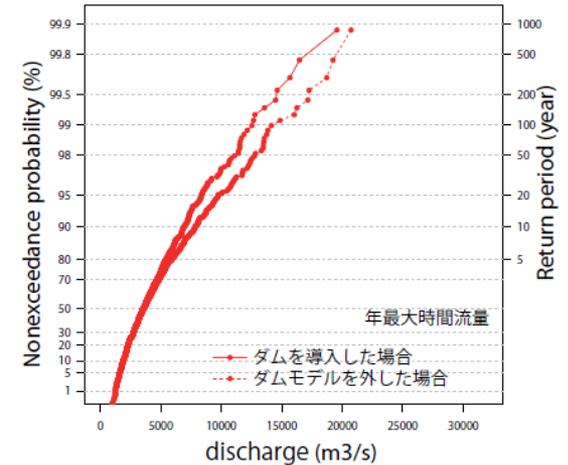
淀川流域枚方地点におけるダム貯水池の効果の分析



(a) 過去実験



(b) 4度上昇実験 (MP)



(c) 4度上昇実験 (MR)

淀川流域のダム貯水池による洪水調節効果を分析した。年最大時間流量を記録したすべての洪水（過去実験3000年分と4度上昇実験5400年分）について、ダム貯水池が存在しないと仮定してダムモデルを外した流出計算を行った。

- 過去実験では枚方地点で約3000m³/s、4度上昇実験では3000～5000m³/sの洪水低減効果を確認した。
- 4度上昇実験の中で、それぞれの実験で最大となる洪水について、洪水低減効果が減少する場合があることを見出した。

全対象洪水でのダム貯水池が満水に達した洪水の割合 (%) 100年間の間に満水に達する平均的な回数に相当する。

ダム	過去 実験	4度上昇実験					
		CC	GF	HA	MI	MP	MR
天ヶ瀬ダム	0.1	0.7	1.1	0.6	0.5	1.1	0.7
高山ダム	0.0	0.1	0.5	0.1	0.6	0.7	0.4
青蓮寺ダム	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1
室生ダム	0.2	1.0	3.3	2.4	3.7	3.4	2.1
布目ダム	0.1	0.5	1.3	1.5	2.1	2.0	0.6
比奈知ダム	0.0	0.2	0.5	0.1	0.6	0.6	0.4
日吉ダム	2.1	2.9	4.1	3.2	1.9	4.8	3.3

ダム	調節方式	制限水位容量 $S_E (\times 10^6 \text{m}^3)$	有効貯水容量 $S_F (\times 10^6 \text{m}^3)$	洪水量 $Q_f (\text{m}^3/\text{s})$	最大放流量 $Q_{\max} (\text{m}^3/\text{s})$	一定率 $a [-]$	集水面積 (km^2)	比洪水量* ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)
天ヶ瀬ダム	一定量	6.0	20.0	840	-	0	4200	2.39
高山ダム	一定率一定量	13.8	49.2	1300	1800	0.24	615	2.11
青蓮寺ダム	一定量	15.4	23.8	450	-	0	100	4.5
室生ダム	一定量	6.55	14.3	300	-	0	169	1.77
布目ダム	一定率一定量	9.0	15.4	100	150	0.14	75	1.33
比奈知ダム	一定量	9.4	18.4	300	-	0	76	3.95
日吉ダム	一定量	16.0	58.0	150	-	0	290	0.52

*洪水量を集水面積で割った値。天ヶ瀬ダムの比洪水量は琵琶湖流域の流域面積 3848km^2 を除いて計算した値である。

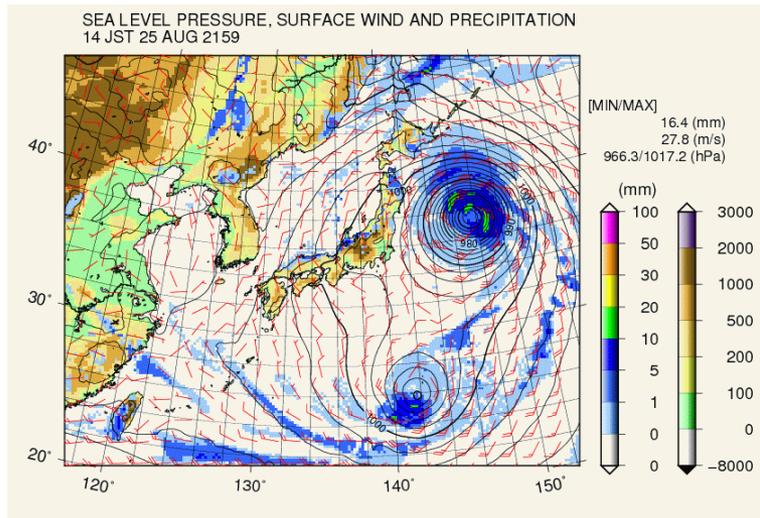
全対象洪水でのダム貯水池が満水に達した洪水の割合 (%) 100年間の間に満水に達する平均的な回数に相当する.

ダム	過去 実験	4度上昇実験					
		CC	GF	HA	MI	MP	MR
天ヶ瀬ダム	0.1	0.7	1.1	0.6	0.5	1.1	0.7
高山ダム	0.0	0.1	0.5	0.1	0.6	0.7	0.4
青蓮寺ダム	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1
室生ダム	0.2	1.0	3.3	2.4	3.7	3.4	2.1
布目ダム	0.1	0.5	1.3	1.5	2.1	2.0	0.6
比奈知ダム	0.0	0.2	0.5	0.1	0.6	0.6	0.4
日吉ダム	2.1	2.9	4.1	3.2	1.9	4.8	3.3

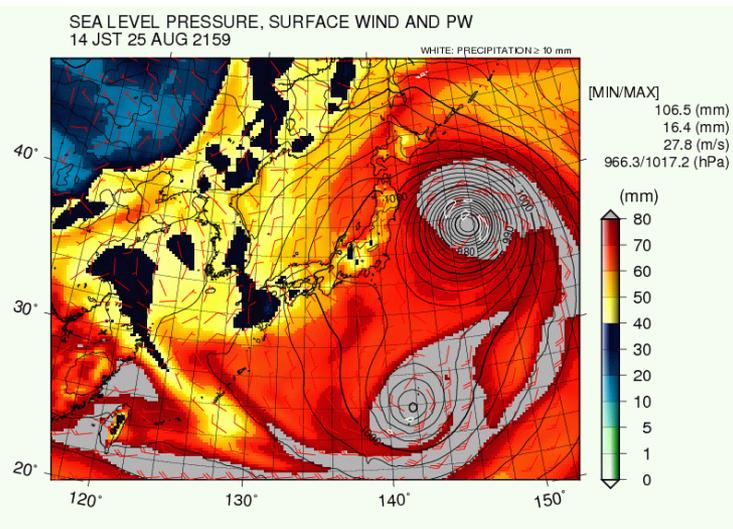
ダム	調節方式	制限水位容量 $S_E (\times 10^6 \text{m}^3)$	有効貯水容量 $S_F (\times 10^6 \text{m}^3)$	洪水量 $Q_f (\text{m}^3/\text{s})$	最大放流量 $Q_{\max} (\text{m}^3/\text{s})$	一定率 $a [-]$	集水面積 (km^2)	比洪水量* ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)
天ヶ瀬ダム	一定量	6.0	20.0	840	-	0	4200	2.39
高山ダム	一定率一定量	13.8	49.2	1300	1800	0.24	615	2.11
青蓮寺ダム	一定量	15.4	23.8	450	-	0	100	4.5
室生ダム	一定量	6.55	14.3	300	-	0	169	1.77
布目ダム	一定率一定量	9.0	15.4	100	150	0.14	75	1.33
比奈知ダム	一定量	9.4	18.4	300	-	0	76	3.95
日吉ダム	一定量	16.0	58.0	150	-	0	290	0.52

*洪水量を集水面積で割った値. 天ヶ瀬ダムの比洪水量は琵琶湖流域の流域面積 3848km^2 を除いて計算した値である.

最大クラス洪水をもたらす降水要因の分析(淀川)



(a) 降水強度と気圧



(b) 可降水量

d4PDFで得られた淀川流域での最大クラス
(再現期間1000年超に相当)の流量・降水量

順位	最大流量 (m ³ /s)	最大時間雨 量 (mm/hr)	最大24時間 雨量 (mm)	降水要 因	発生時期
過去実験 (3000年分の上位3位)					
1	14,589	14	224	台風	Aug. 22
2	13,642	38	239	台風	Aug. 23
3	12,928	25	365	台風	Aug. 22
4度上昇実験過去実験 (5600年分の上位5位)					
1	29,135	63	442	台風	Aug. 25
2	23,115	37	330	台風	Aug. 18
3	19,604	28	195	台風	Sep. 3
4	19,570	21	403	低気圧	Jul. 27
5	19,263	25	505	前線	Jul. 29

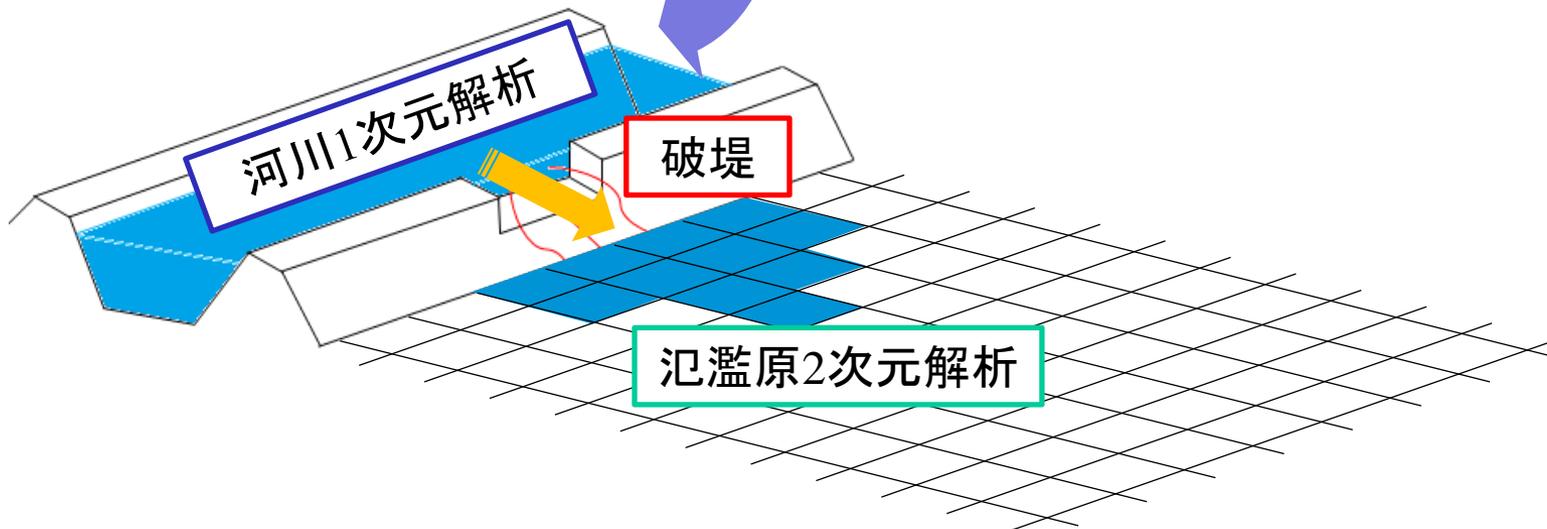
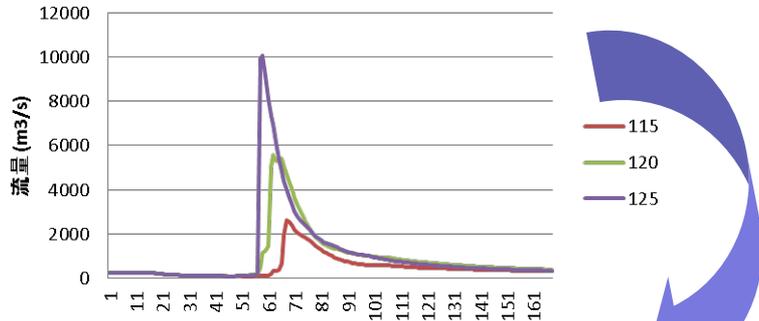
淀川流域での主要な既往洪水

順位	最大流量 (m ³ /s)	2日雨量(mm)	気象要因	発生時期
1	9,500	295	台風	Sep. 2013
2	7,970	215	台風	Sep. 1959
3	7,800	249	台風	Sep. 1953
4	7,206	234	前線	Oct. 1961
5	6,868	203	台風	Sep. 1965

影響評価研究の応用・発展

洪水流量から浸水・氾濫解析へ

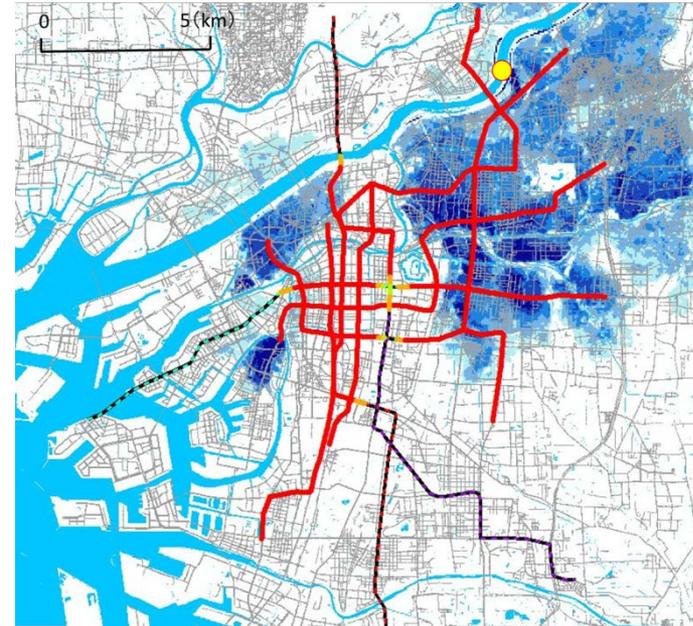
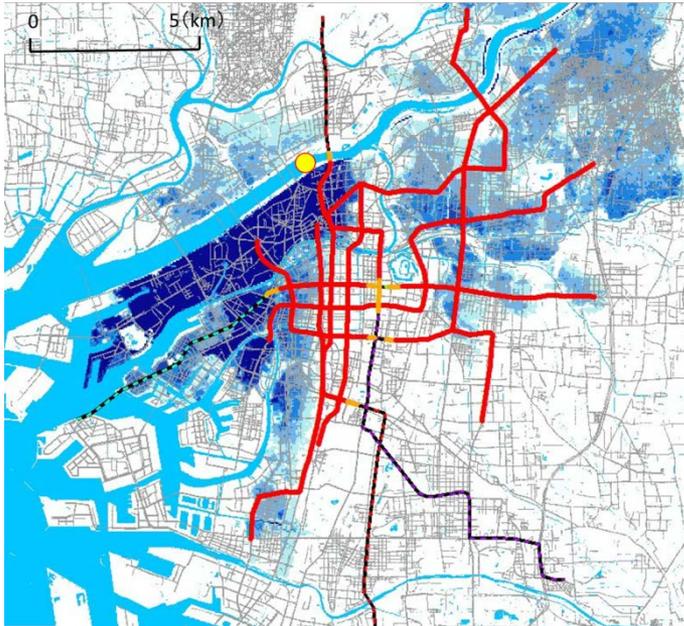
河川流量（上流側境界条件）



広域氾濫解析モデル

(京大防災研：川池)

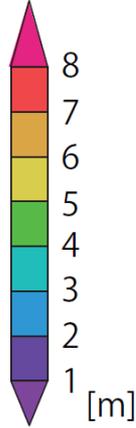
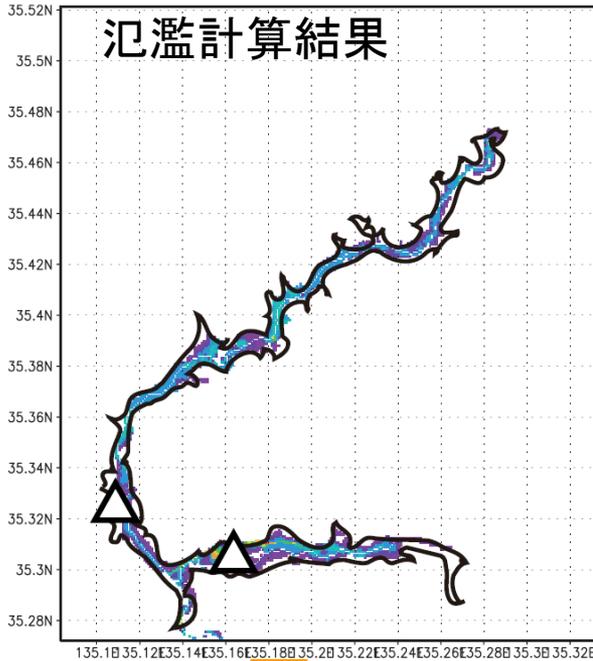
d4PDFを用いた淀川下流の最大クラス洪水での推定氾濫計算(武田、川池)



d4PDFによる降雨から算出した河川流量を用いて、想定破堤による氾濫解析を行った。一例として、枚方地点でピーク流量:28550m³/sの場合の最大浸水深の様子を示す。この計算では、淀川上流の多くの場所で洪水流が堤防を越水して流れており、右岸にも浸水が広がっている。ここでは、破堤箇所の上流で越水していても、越水箇所では堤防が保っており、破堤箇所は越水した時点で破堤すると設定している。地下鉄を伝って氾濫水が吹き出し、新たな浸水も生じており、計画洪水流量を想定した場合よりも、浸水深の大きい地域が広範囲に広がっている。

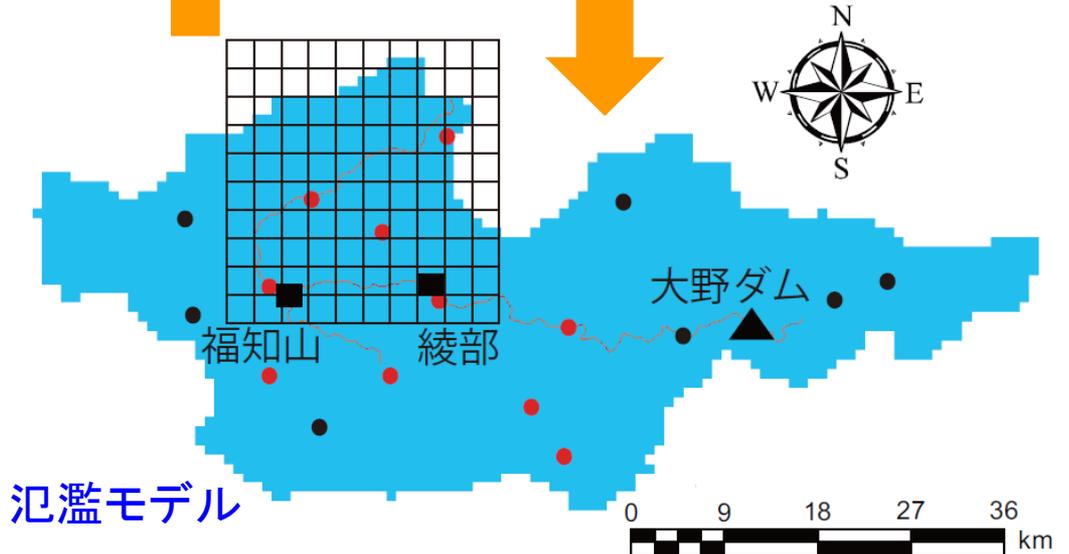
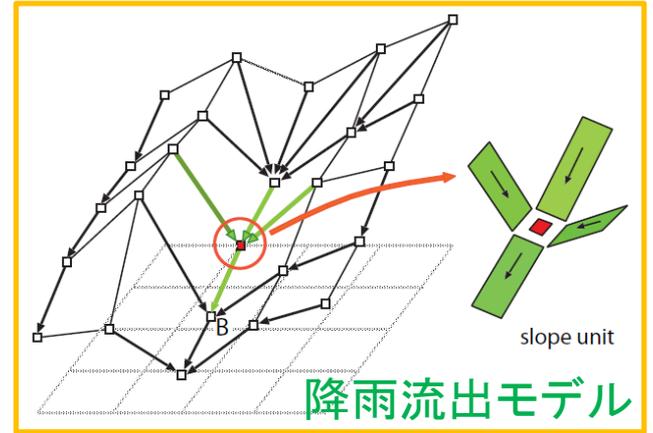
d4PDFを用いた京都市域の浸水リスクカーブ

(浸水および浸水被害の変化の確率的な評価、田中ら 2017)



最大浸水深の空間分布を得て、治水経済調査マニュアルに従って被害額を算定する。

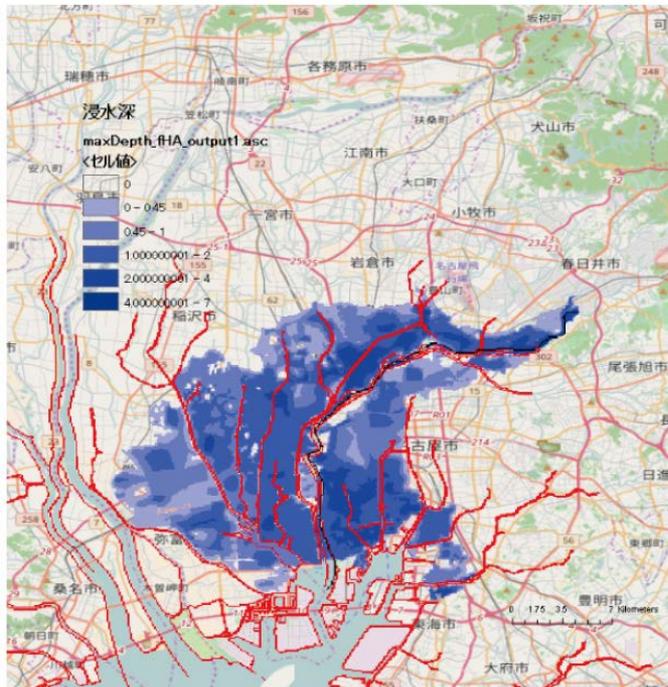
d4PDF 降水データ



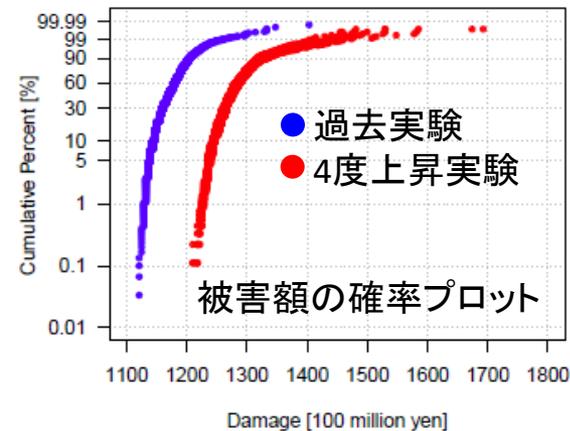
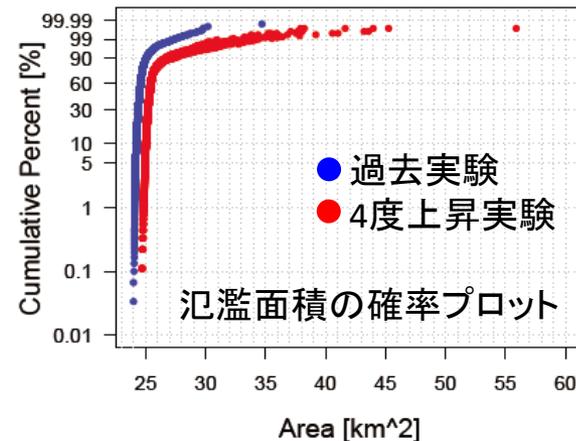
d4PDFを用いた庄内川流域の浸水リスクカーブ

(浸水および浸水被害の変化の確率的な評価、田中ら)

- 分布型流出モデルとネスティング型氾濫モデルを用いて流出・氾濫計算を実施した。
- 外水・内水氾濫計算結果から浸水被害額を算定し、リスクカーブを作成した。

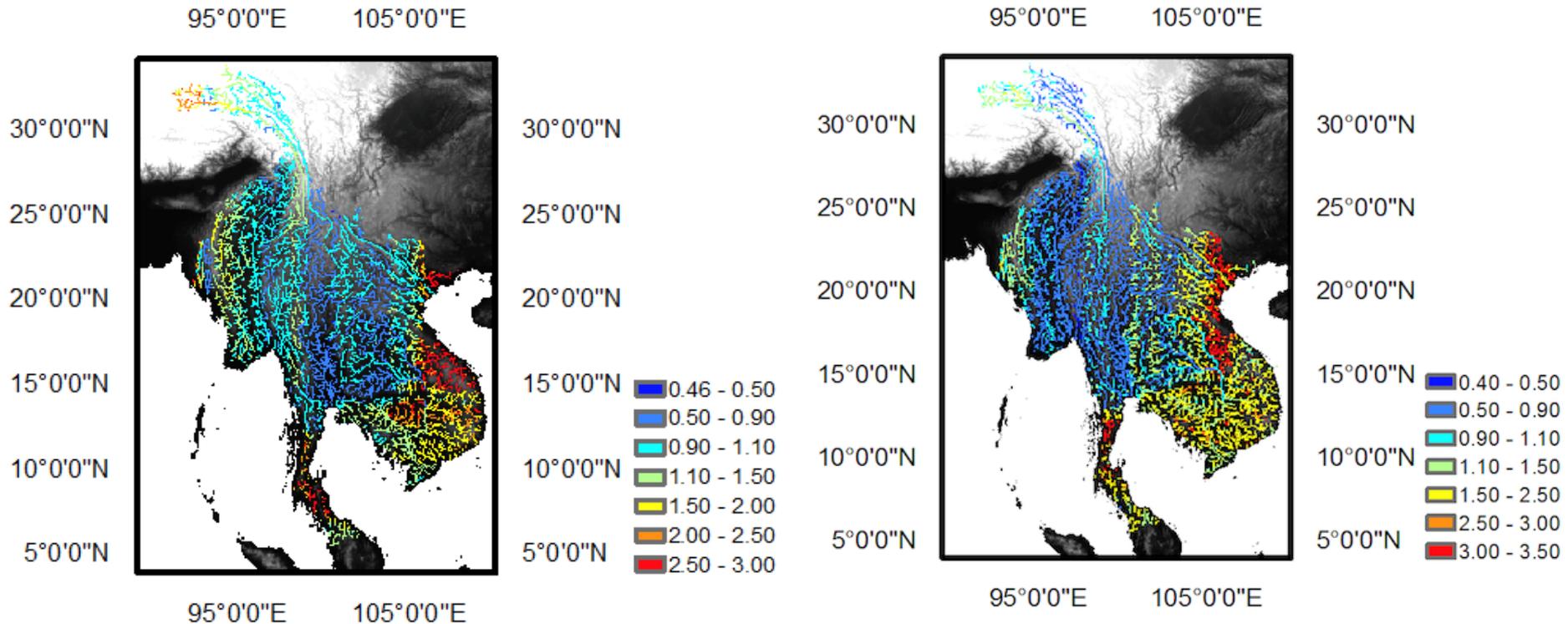


4度上昇実験で SST パターンが HA の場合の最大浸水域



床下浸水深を10cm-44cmとして被害計算した場合

インドシナ半島全域を対象とした年最大日流量の変化の分析例 (Patinya, Yorozu, Tachikawa)

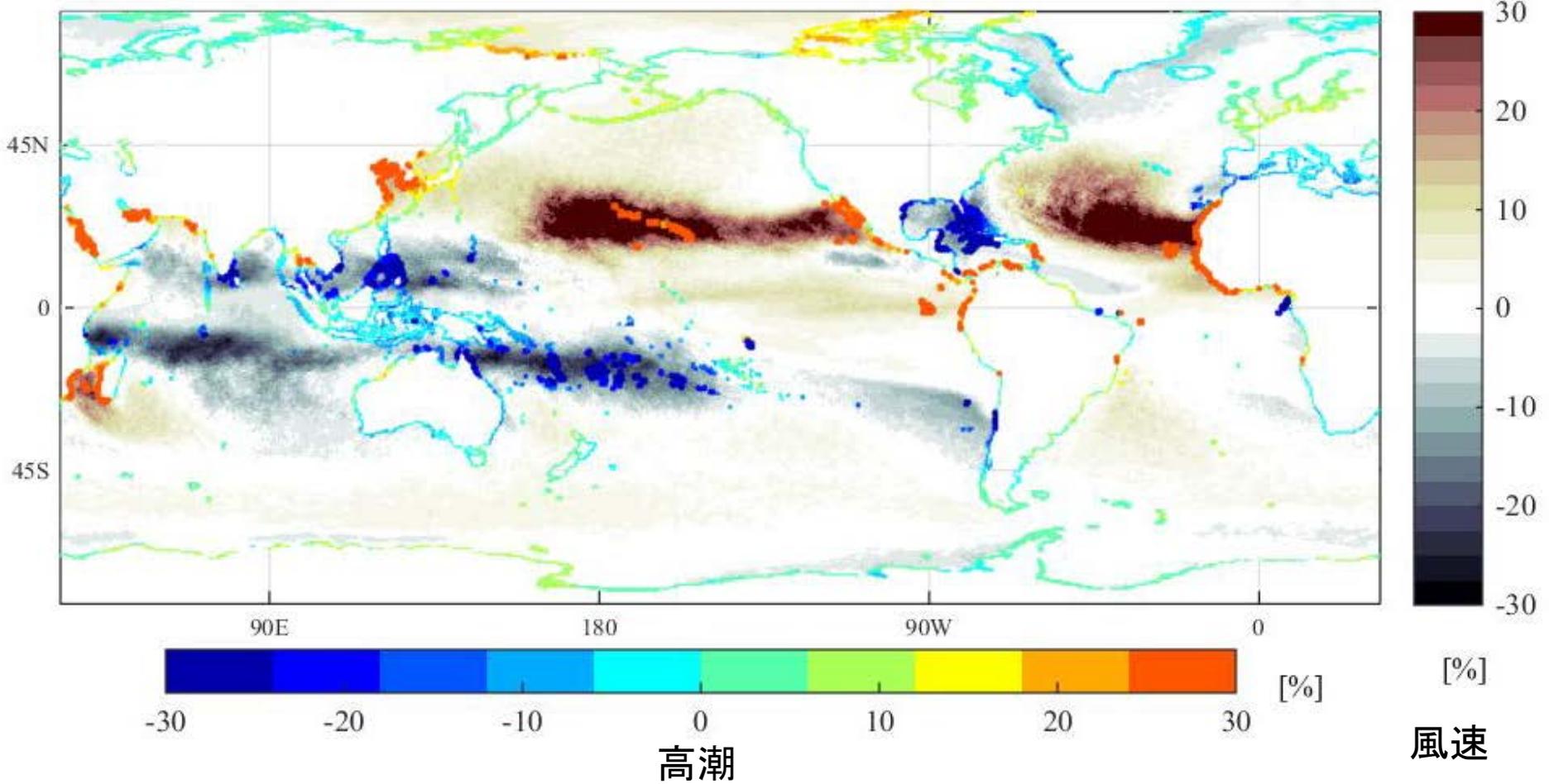


d4PDFの海面水温パターン MR での4°C上昇実験900年分(60年×15メンバ)の年最大日流量の平均値と過去実験(60年×100メンバ)の年最大日流量の平均値の変化比率。

すべての海面温度パターンを含む4°C上昇実験の年最大流量の95パーセンタイル値と過去実験のそれとの変化比率の空間分布を示したものである。概ね20年確率に相当する年最大流量の変化を示したもの



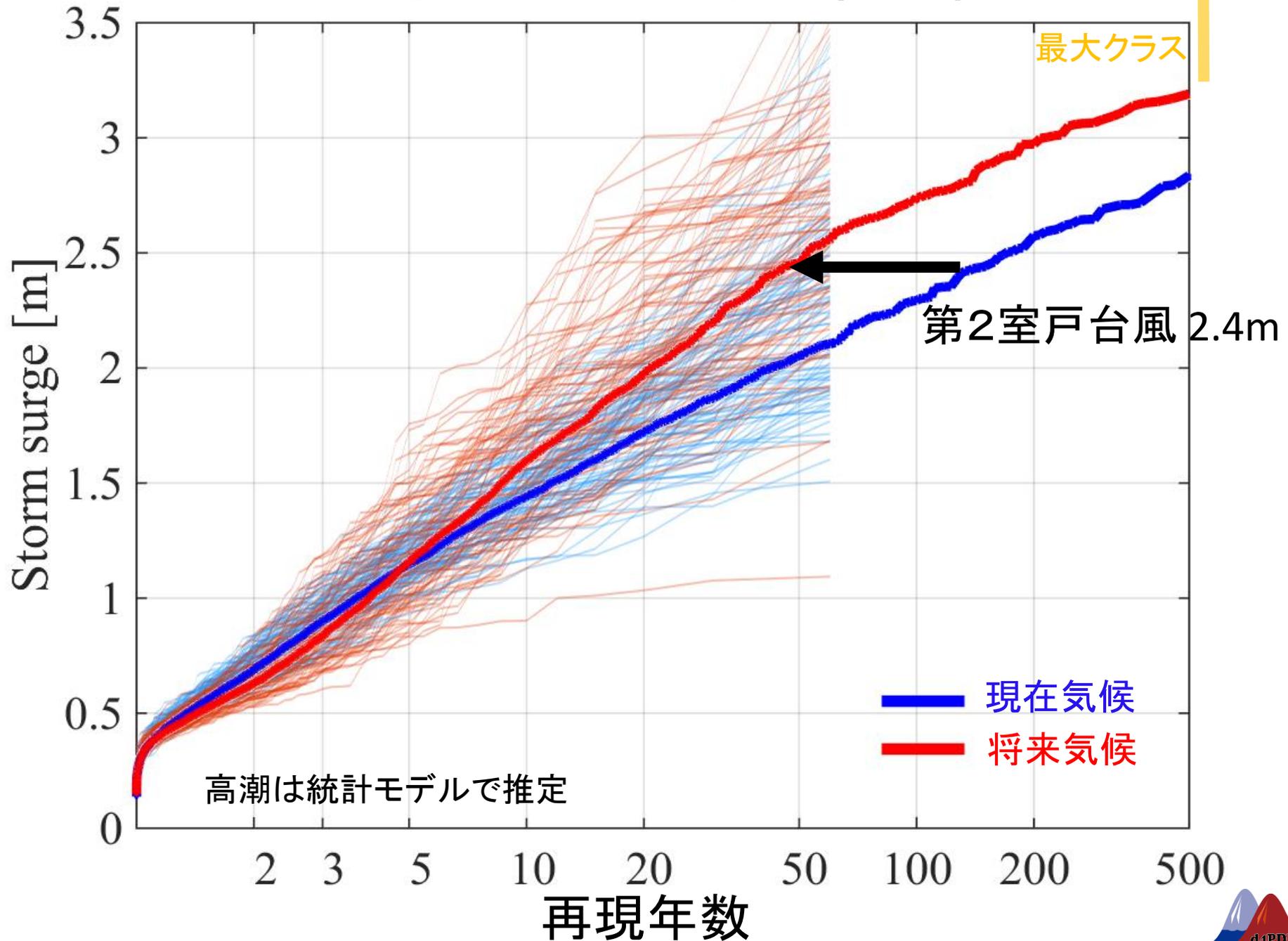
将来変化割合：100年確率高潮



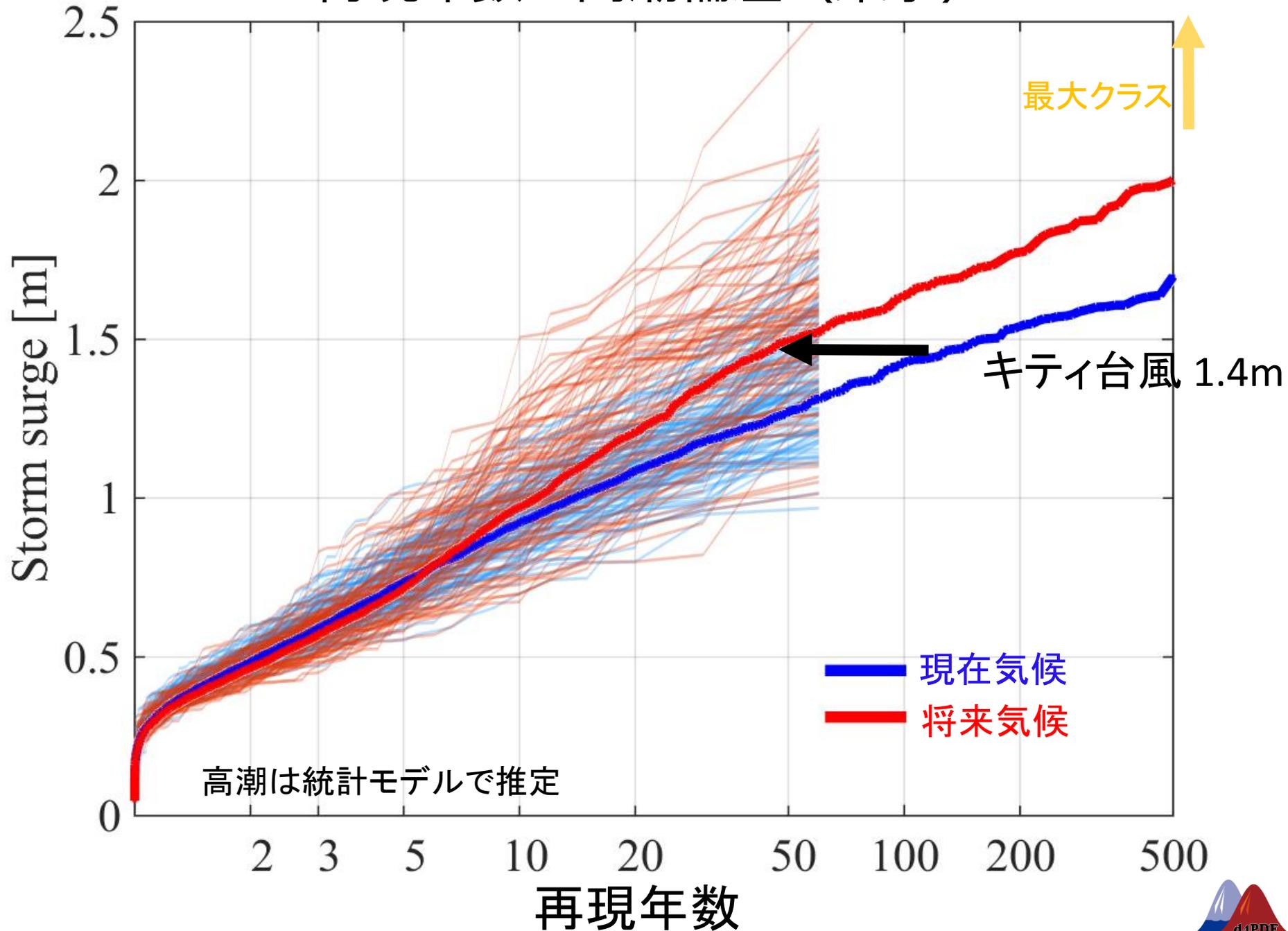
高潮は簡易モデルで推定



再現年数：高潮偏差（大阪）



再現年数：高潮偏差（東京）

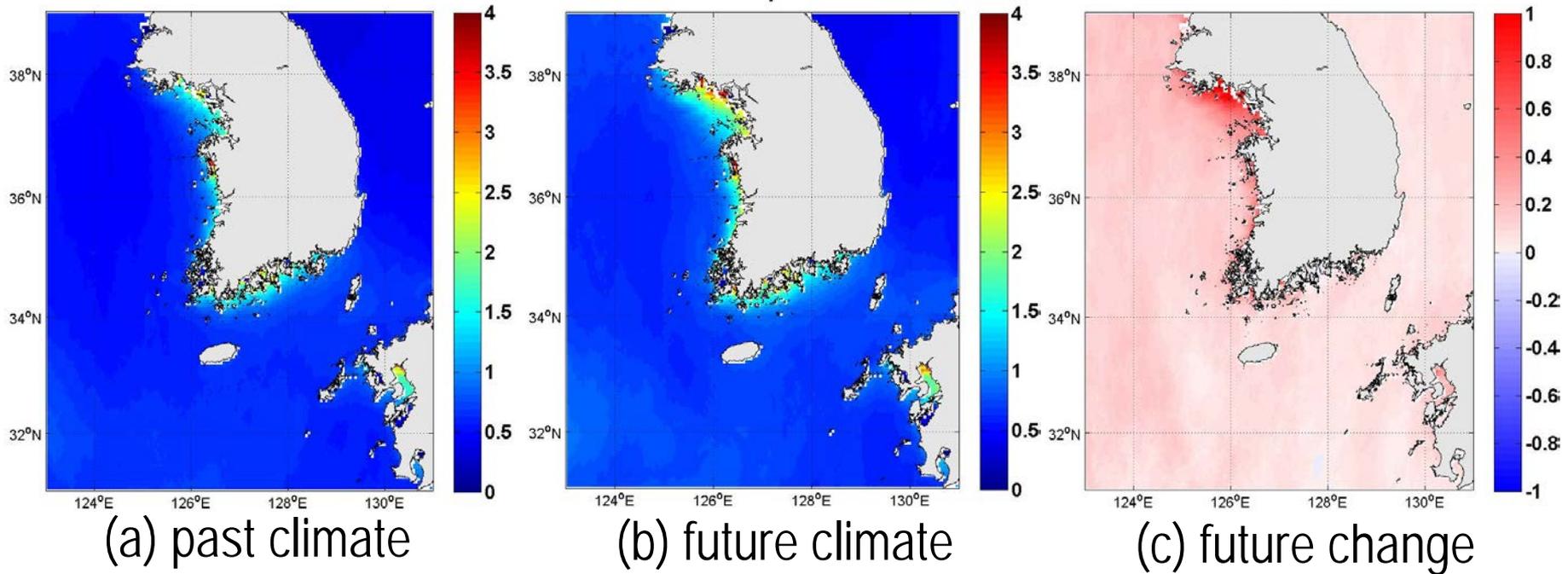




朝鮮半島についても同様に展開

非線形長波モデルで計算

- with 100-year return period (unit : m)

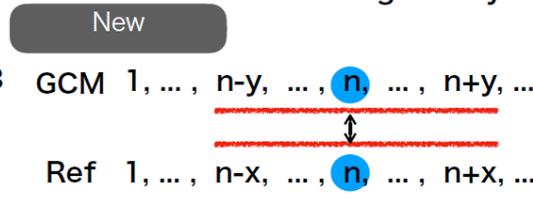
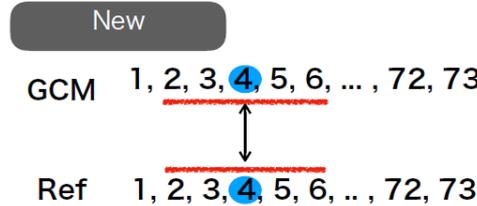
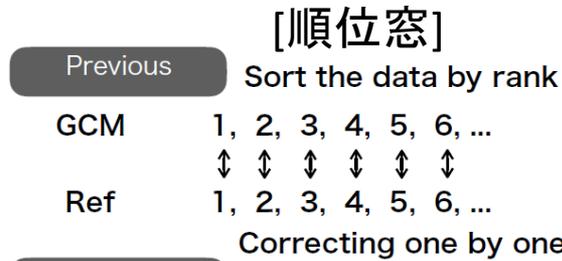


AMeDAS-d4PDFバイアス補正降水量データの開発

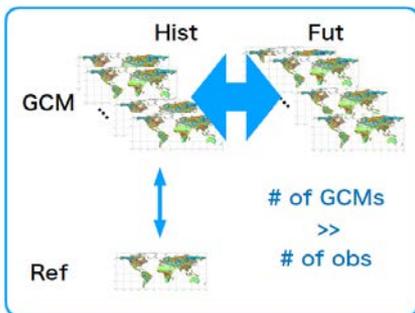
(渡部ら,水工学論文集,2018)

東京大学 渡部哲史

全アメダス地点を対象に(現在1500年, 将来5400年)の降雨量を作成。
大規模アンサンブル実験の特徴を活かし「ハイブリッド(バイアス保存 + トレンド保存)」 「dual moving-window」を提案。従来の極端な補正結果を改善。「2段階補正(日→時間)」により日単位の再現性を重視。



- ✓ 対象の5日間に前後を含めた25日間を設定
- ✓ 順位統計量に関しても移動平均を考慮



- ✓ 順位統計慮窓
モデル出力の将来変化：詳細
参照データとの比較：粗く

日降水量 1/10年規模
1981-10年 (1951-1980で較正)

参照データとの比

	参照	提案	比較1	比較2	提案	比較1	比較2
秋田	108.0	145.8	142.0	149.0	1.35	1.31	1.38
仙台	147.0	145.9	148.8	155.5	0.99	1.01	1.06
東京	222.5	195.7	326.3	381.7	0.88	1.47	1.72
富山	126.0	195.6	166.1	179.3	1.55	1.32	1.42
名古屋	166.0	212.8	216.1	228.0	1.28	1.30	1.37
大阪	149.0	216.5	212.9	226.1	1.45	1.43	1.52
尾鷲	549.0	543.3	760.4	781.6	0.99	1.39	1.42
米子	151.5	187.0	209.7	208.7	1.23	1.38	1.38
松山	167.0	198.0	172.1	184.4	1.19	1.03	1.10
萩	204.0	217.8	219.3	231.1	1.07	1.08	1.13
高知	265.0	320.8	453.7	514.0	1.21	1.71	1.94
福岡	187.0	231.0	262.4	273.0	1.24	1.40	1.46
都城	308.0	300.0	337.0	352.7	0.97	1.09	1.15

- ✓ クオントイルマッピング手法(比較1,2)の顕著な過大推計を改善

まとめ

- 1) 低頻度水文現象のノンパラメトリックな頻度解析が初めてできるようになった。
- 2) 最大クラス(1000年程度の再現期間の水文事象)の強度の推定ができるようになった。
- 3) バイアス補正を加えた分析をしていく必要がある。