

(気候変動に関する政府間パネル(IPCC)気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書(SREX)第8章「持続可能で韌性のある未来へ向けて」第1回主要執筆者会合集合写真、2009年11月、パナマ)

不確実性を考慮に入れた近未来予測に基づく水災害リスク変化の推定



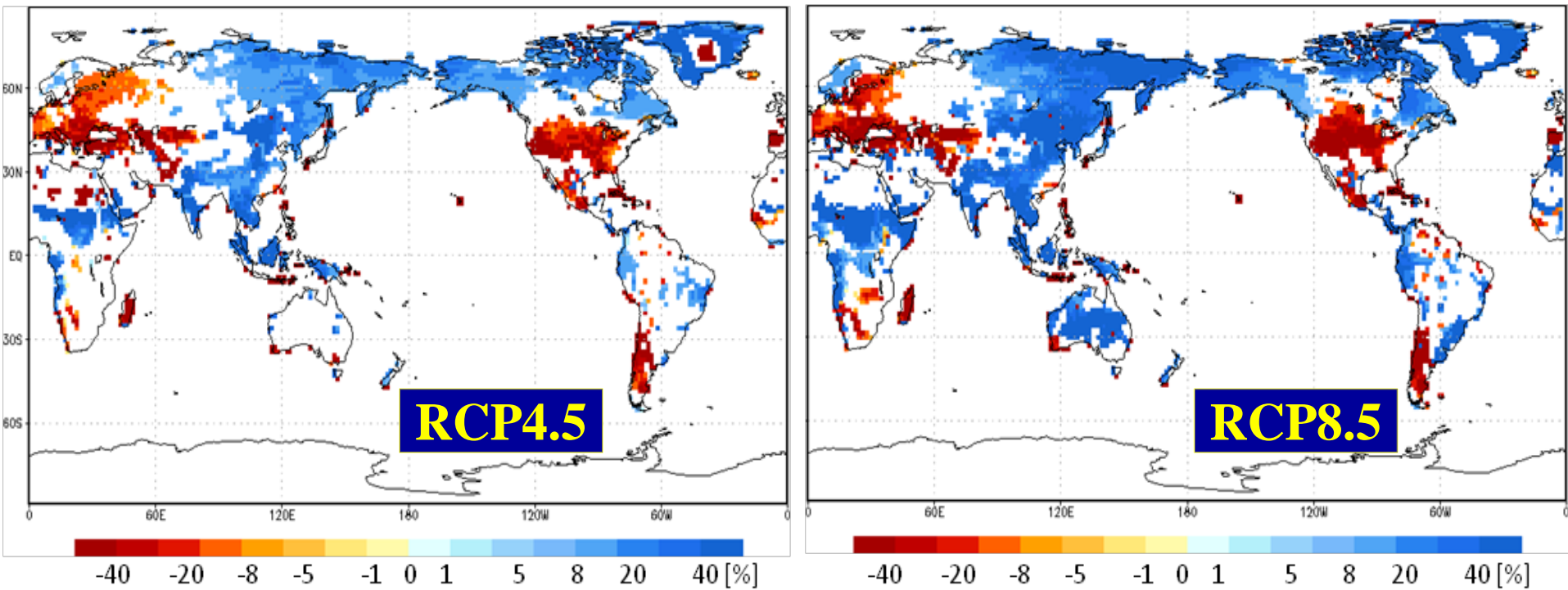
東京大学生産技術研究所 沖 大幹

21世紀気候変動予測革新プログラム平成23年度研究成果報告会、一橋記念講堂、2012年2月28日

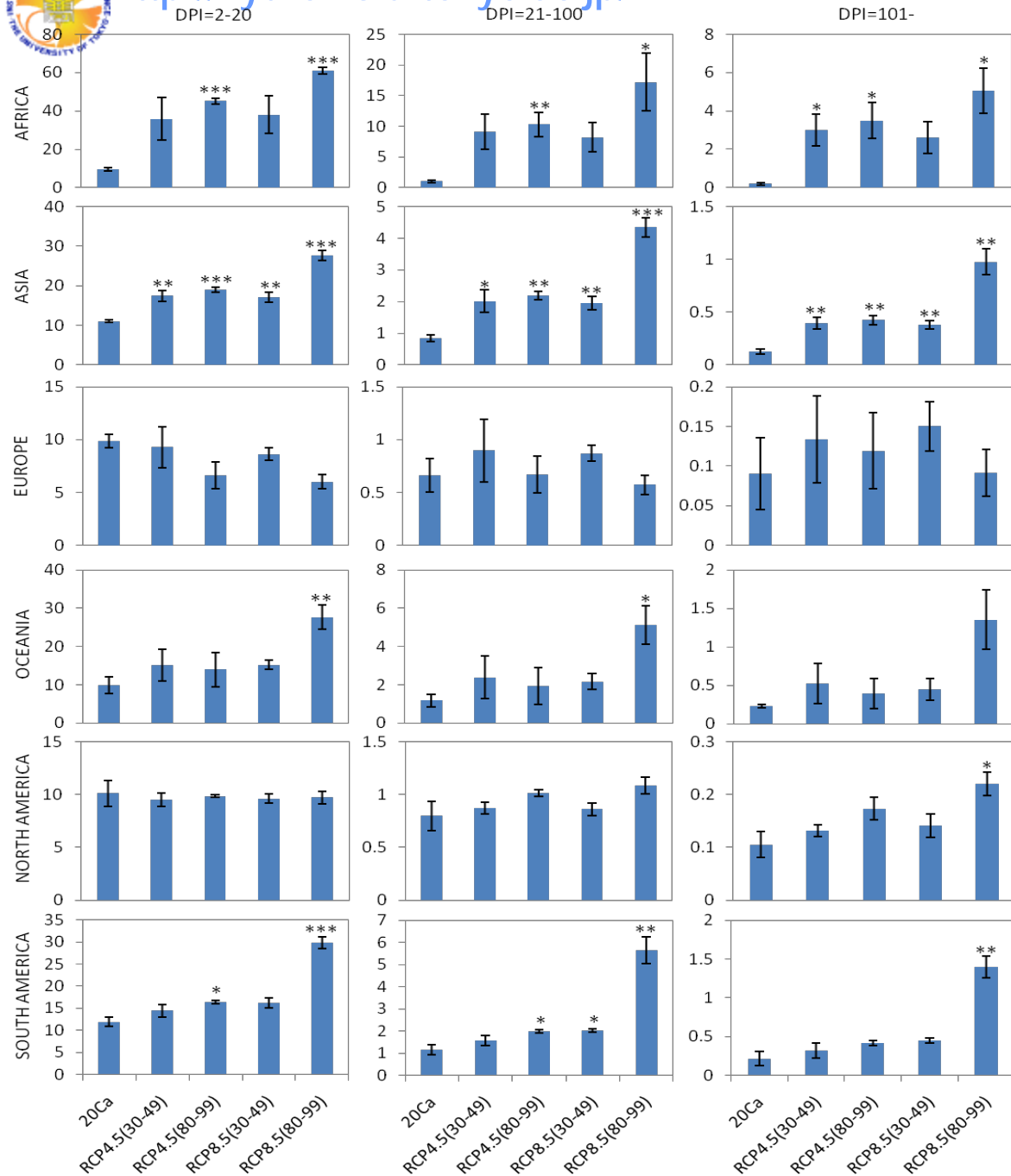
MIROC5

洪水变化

MIROC5 2080-99年河川流量の 1980-99年に対する変化(%)



↑統計的に優位な変化を示す地域のみ色づけ。北アメリカ中央部、南アメリカ南部、ヨーロッパほぼ全域で減少。アジア、オセアニア、北アメリカ高緯度で増大。



流量確率指数2～20年、21～100年、101年以上の洪水が生じる頻度を各大陸ごとに示す。5つの棒グラフは左から、1980-99年、(2030-49年、2080-99年) × (RCP4.5、RCP8.5)。*は変化の統計的有意性(*90%, **95%, *99%)を示す。**

アジア・アフリカ・オセアニア・南米においては甚大な洪水が統計的に有意に増加することが示され、一方で、北米では少ししか増加せず、ヨーロッパではほとんど変わらないという結果が得られた。特にRCP8.5シナリオでは、甚大な洪水の頻度が21世紀末において20世紀と比較してアフリカでは10倍に、アジアや南米ではそれぞれ7倍と5倍に増加することが想定される。

気候変動

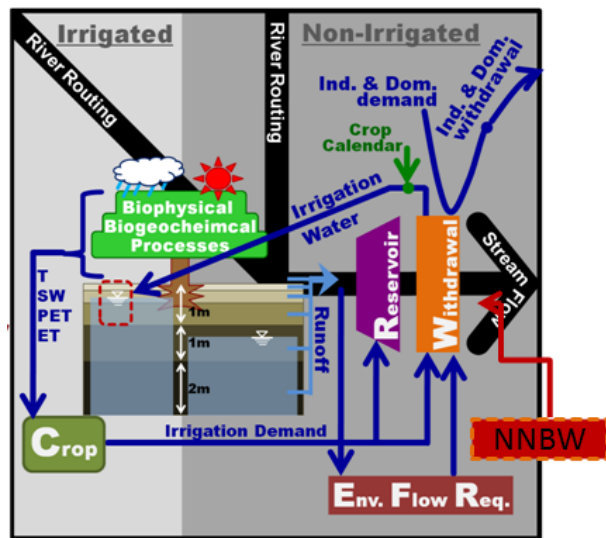
と

人間活動

Human Impact and Ground Water – MATSIRO

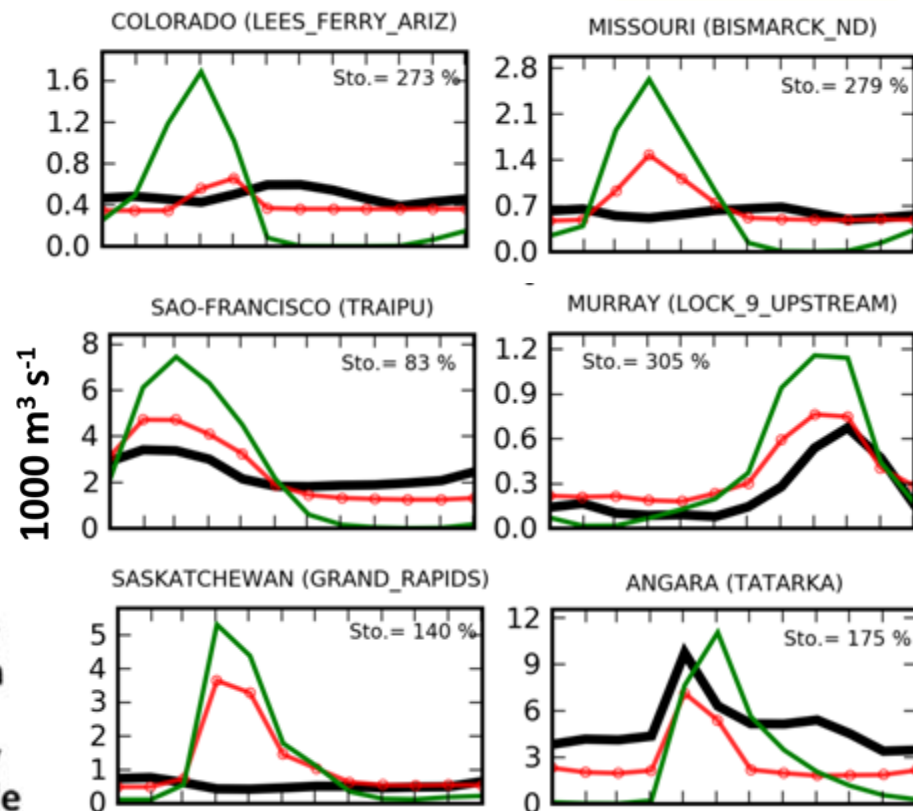
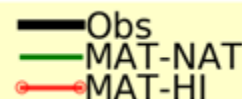
(Pokhrel, 2011)

「ダム」や「灌漑取水」などの水循環に対する人為操作の考慮が可能。
 大川川についてピークの大きさとタイミング，少流量期間について再現性が向上。
 ⇒極端現象研究への貢献!!



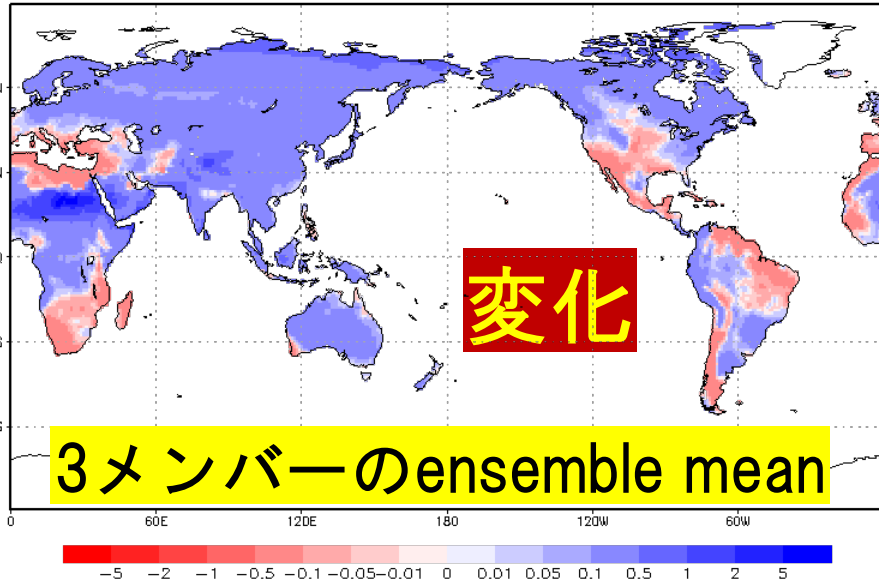
現在気候での流量の再現

[highly regulated basins]

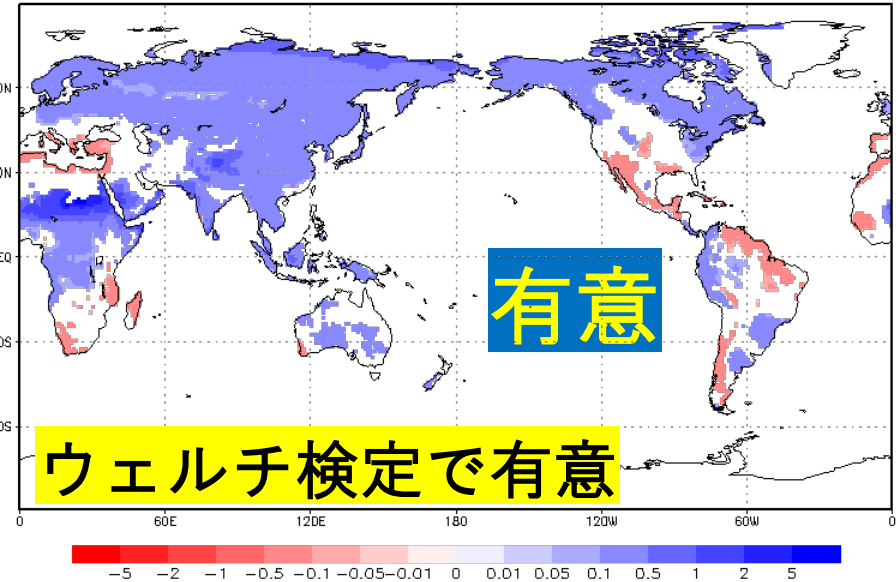


年降水量

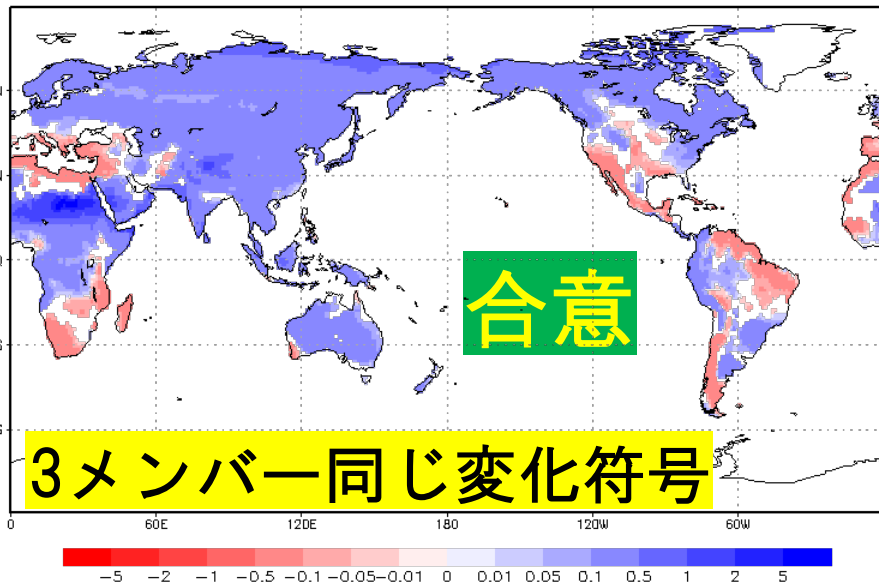
diffrat Precipitation (21c-20c)/20c LTID



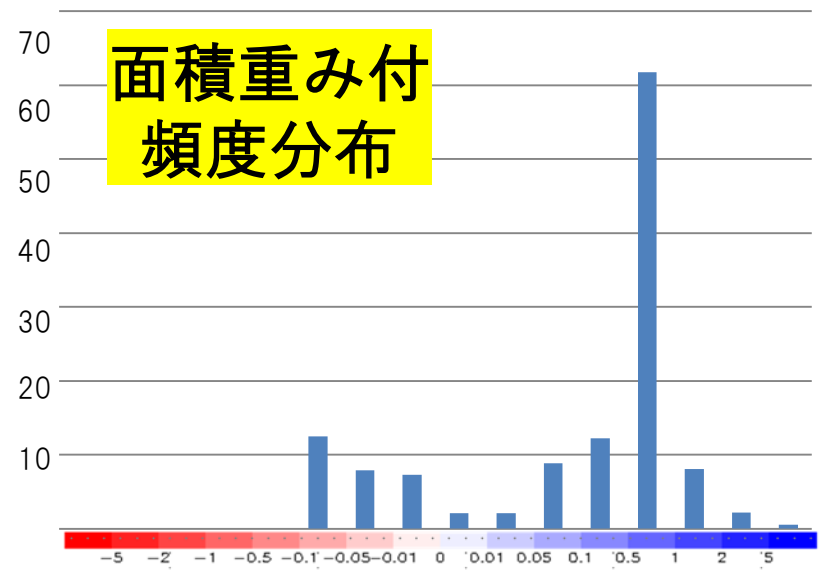
diffrat Precipitation significant (21c-20c)/20c LTID



diffrat Precipitation agree (21c-20c)/20c LTID

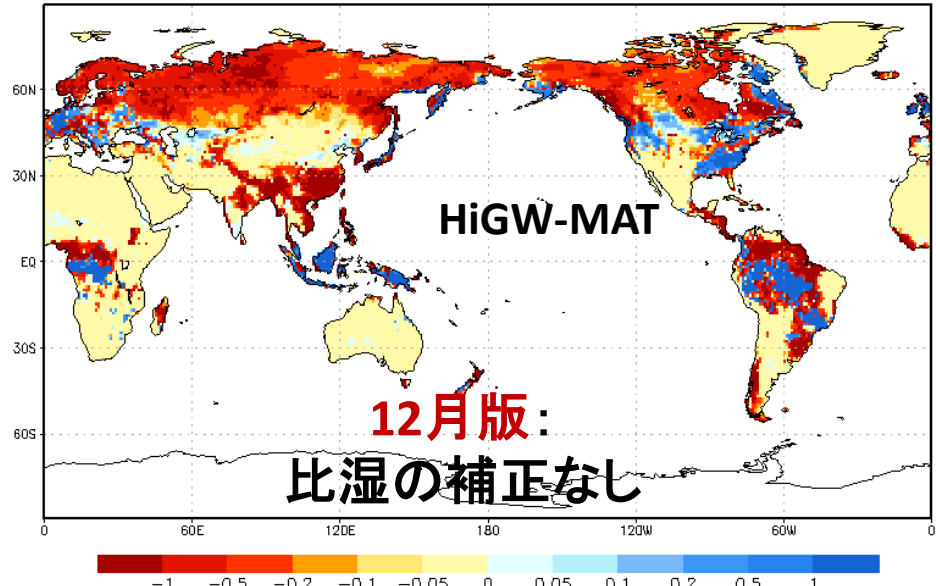
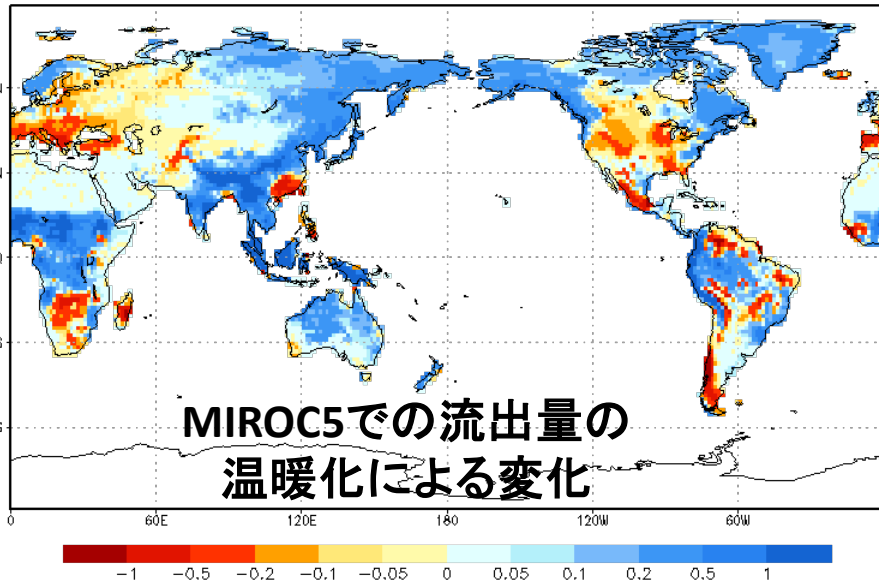


[10⁶km²]

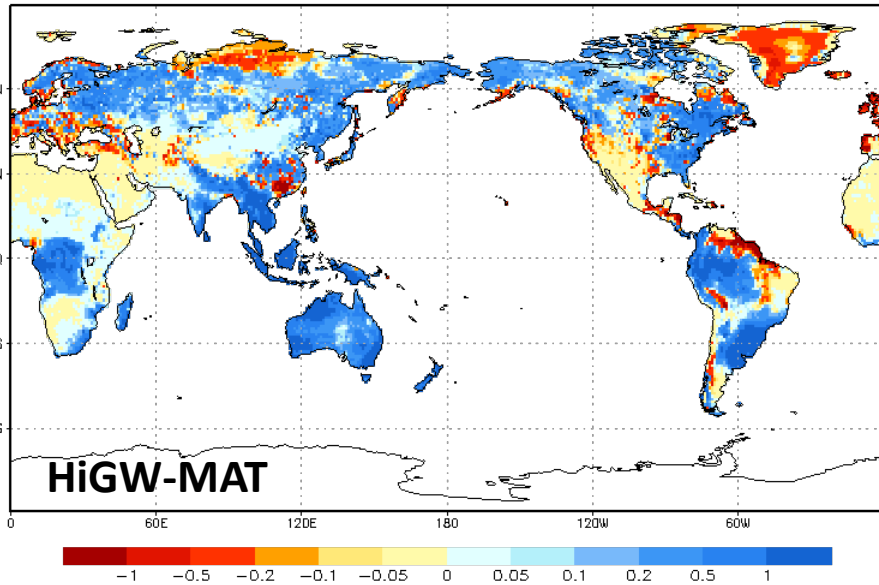


流出量変化

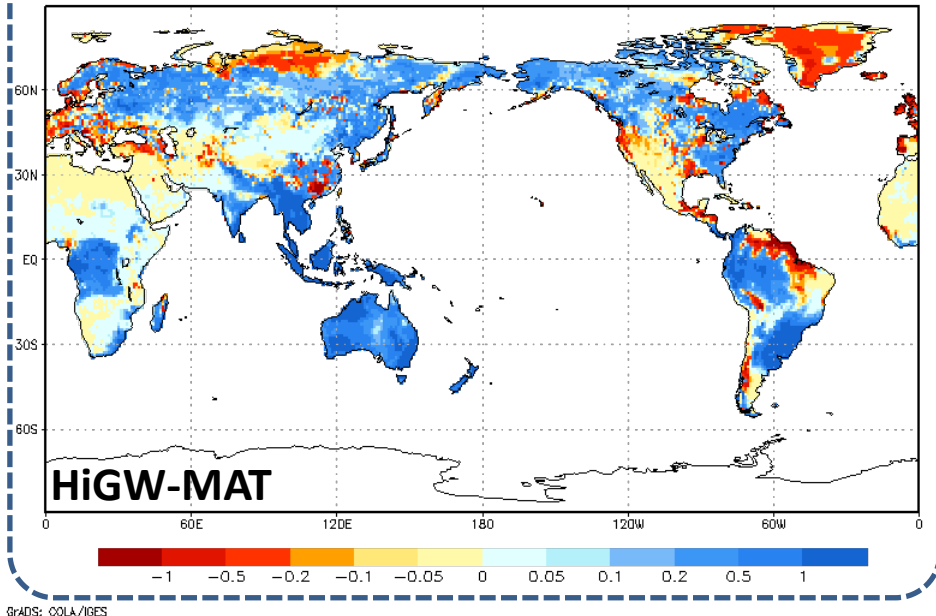
diff runoff 21c-20c MIROC5 [mm/yr] unoff 21c-20c noncorrectQair [mm/dy]



中間: 相対湿度一定で比湿変化適用
diff runoff 21c-20c run1 [mm/dy]

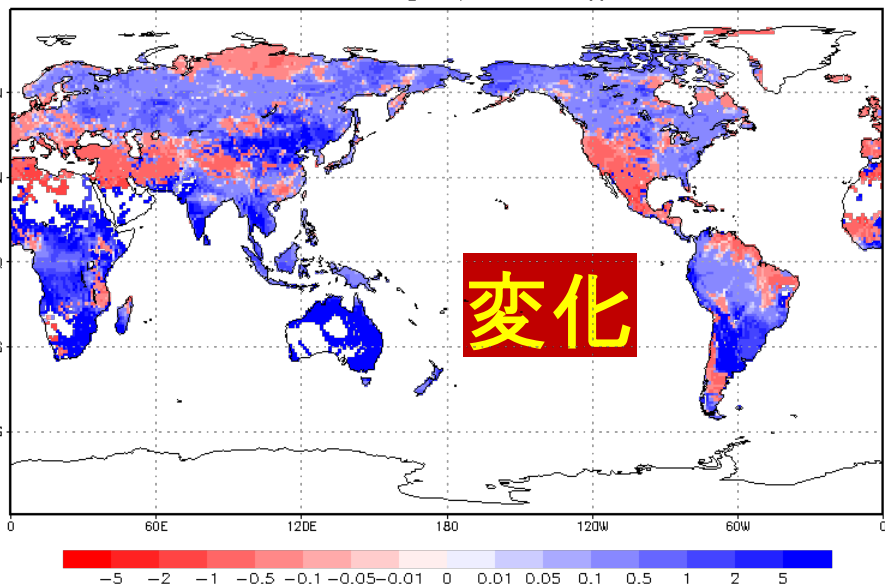


New: 温暖化による相対湿度の変化を考慮
diff runoff with newQair 21c-20c [mm/dy]

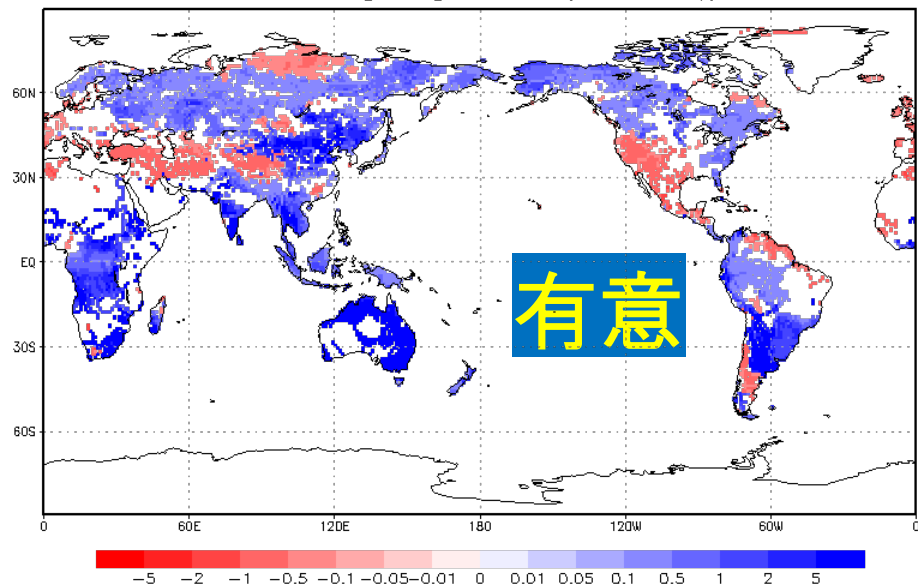


年河川流量

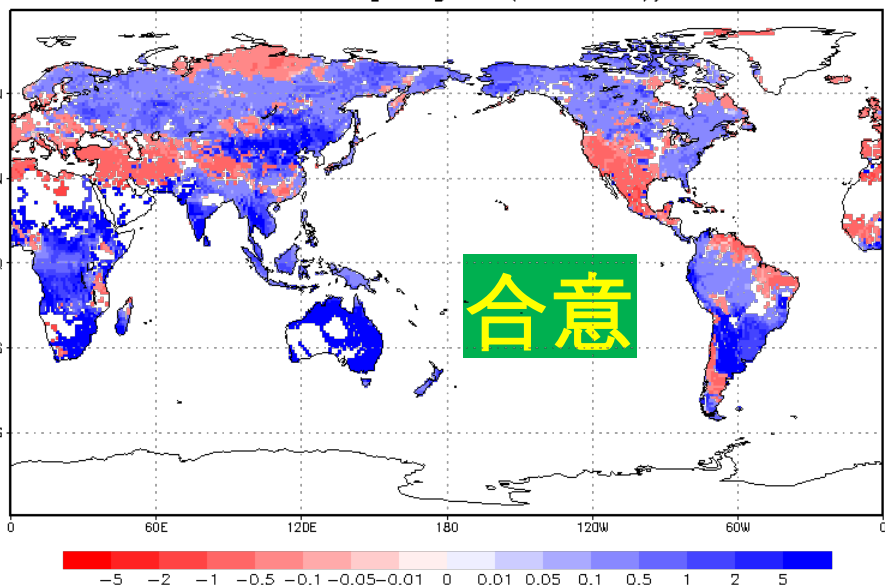
diffrat RiverDischarge (21c-20c)/20c LTID



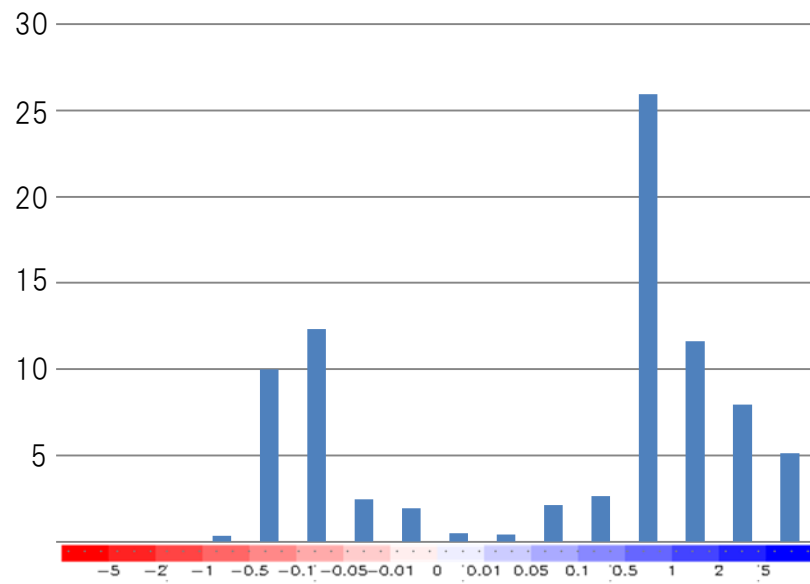
diffrat RiverDischarge significant (21c-20c)/20c LTID



diffrat RiverDischarge agree (21c-20c)/20c LTID



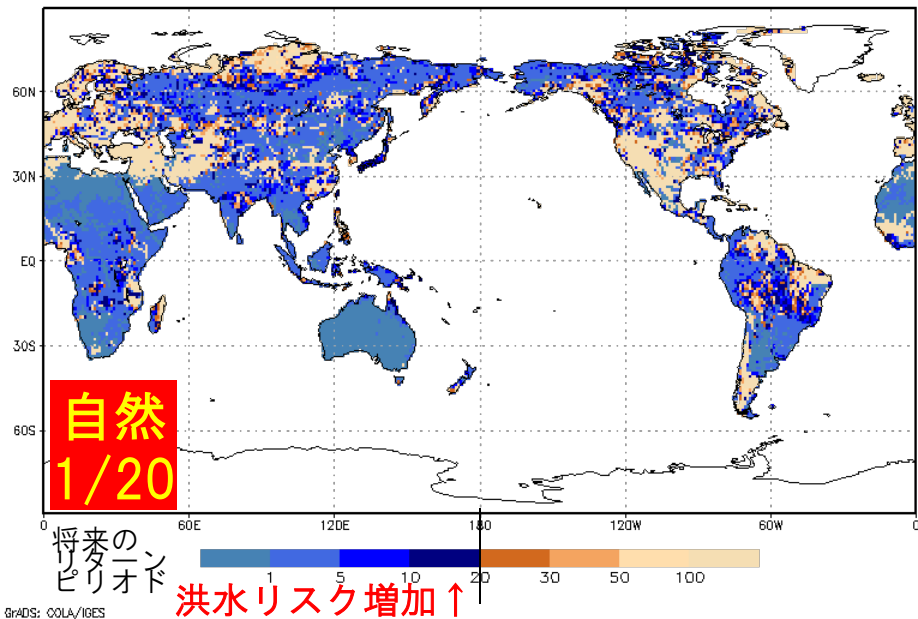
[10⁶km²]



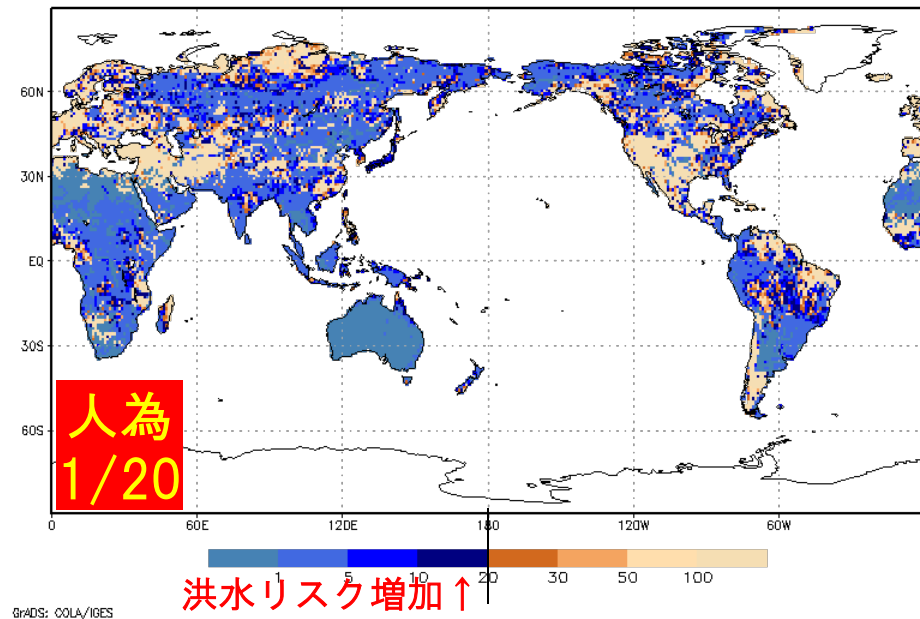
洪水リスク評価

現在のリターン期間は
将来のどのリターン期間に相当するのか？

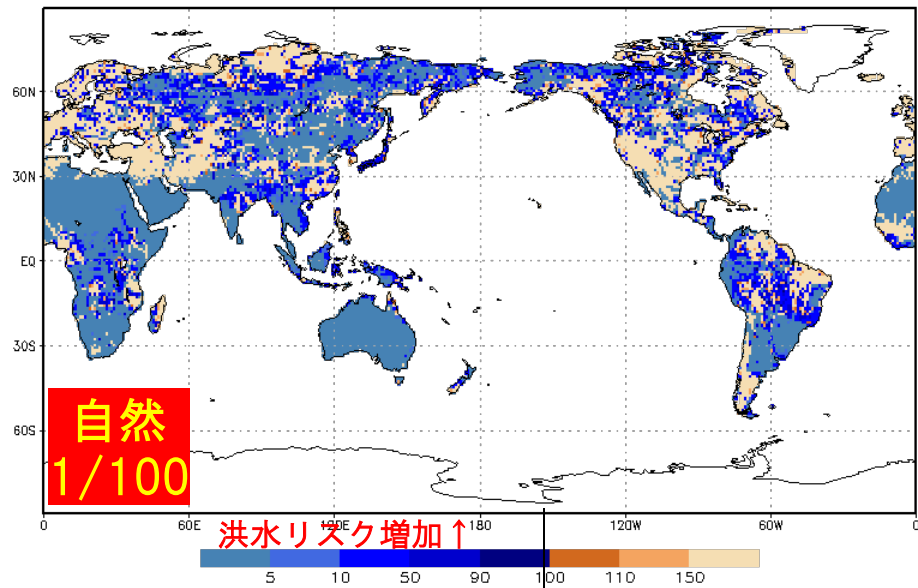
Projected return period of the 20c 20yr flood



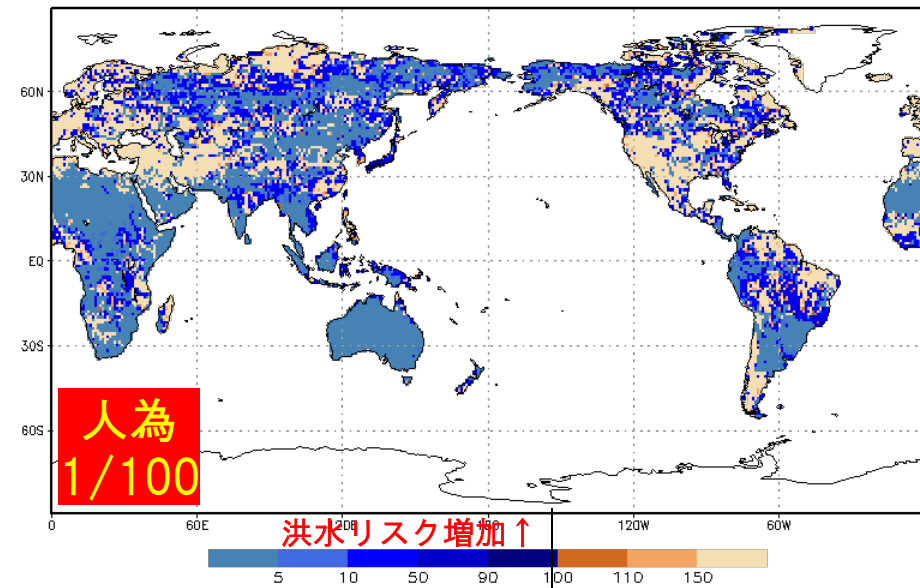
Projected return period of the 20c 20yr flood



Projected return period of the 20c 100yr flood



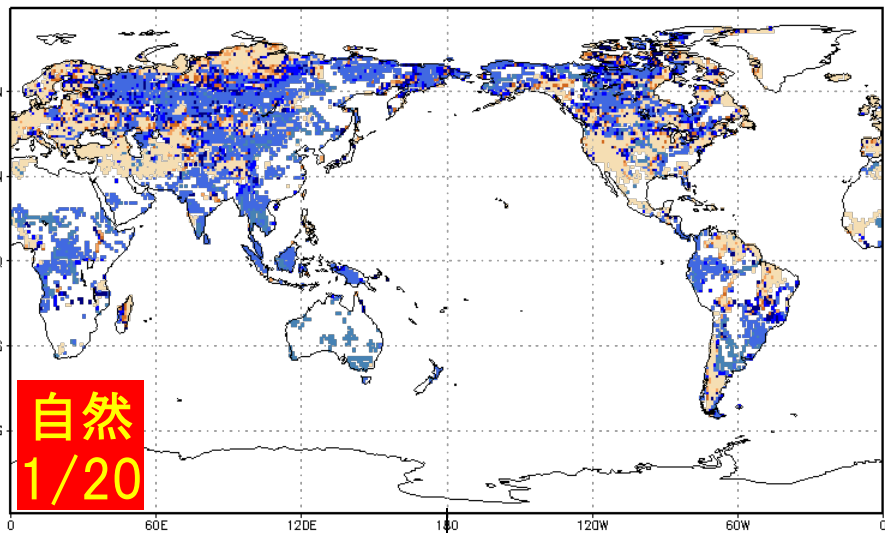
Projected return period of the 20c 100yr flood



洪水リスク評価

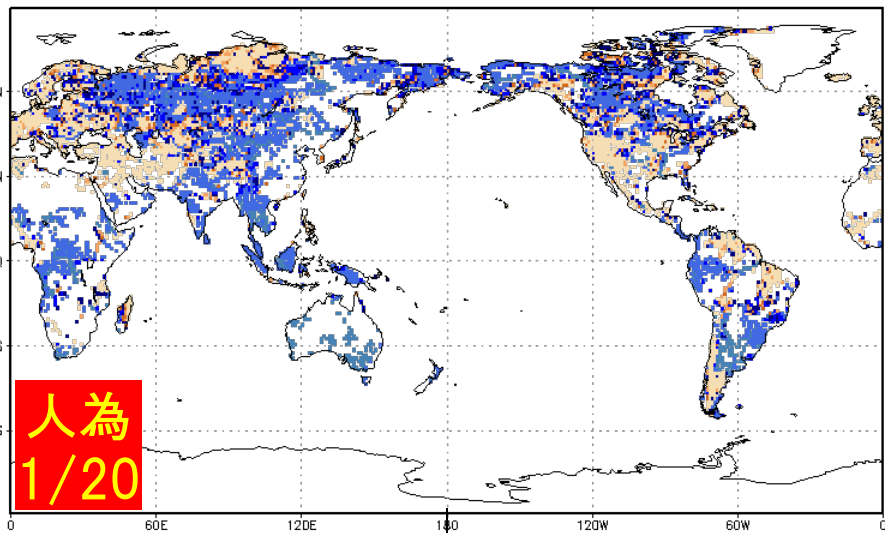
年最大日流量について有意な変化を示すところのみ残しマスクアウト

Projected return period of the 20c 20yr flood



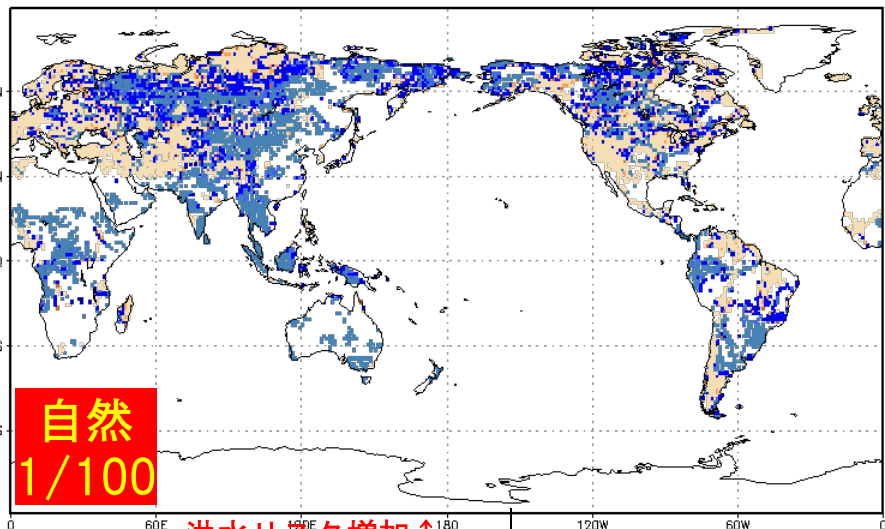
洪水リスク増加↑

Projected return period of the 20c 20yr flood



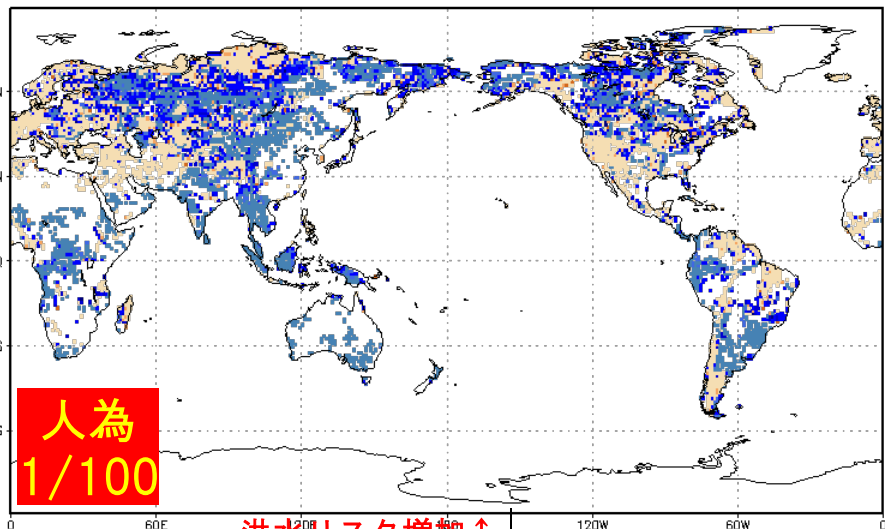
洪水リスク増加↑

Projected return period of the 20c 100yr flood



洪水リスク増加↑

Projected return period of the 20c 100yr flood

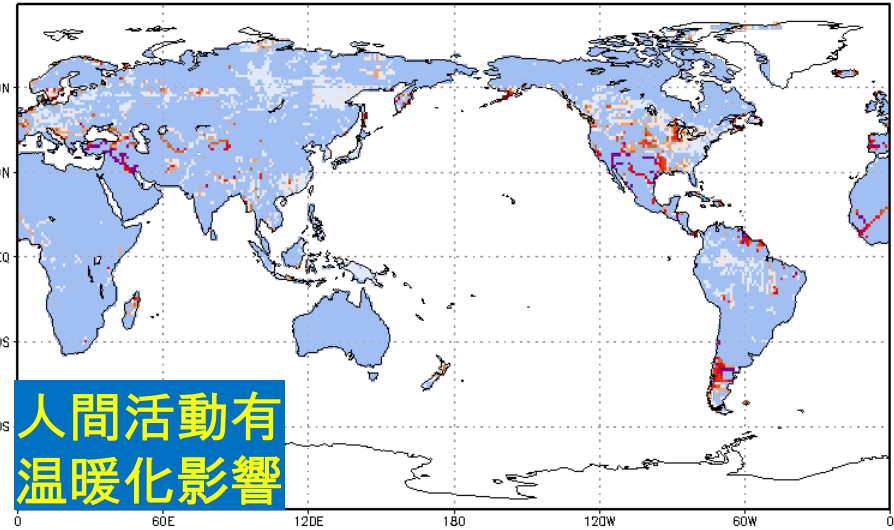
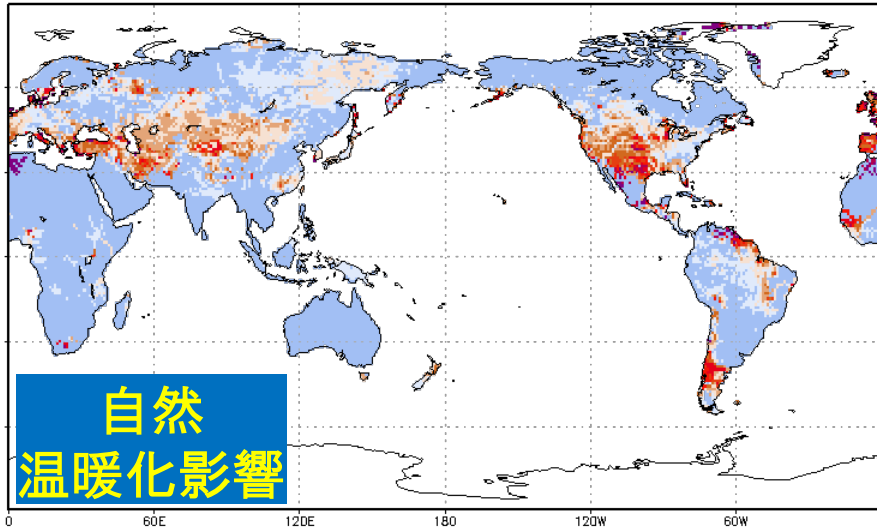


洪水リスク増加↑

気候変動が渇水に与える影響

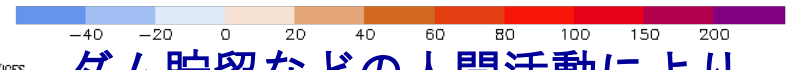
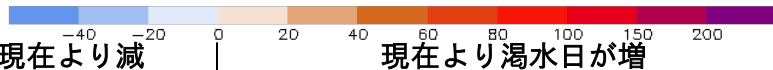
the number of day of under Q90 [dy/yr] (NAT)

the number of day of under Q90 [dy/yr] (HI)



自然
温暖化影響

人間活動有
温暖化影響



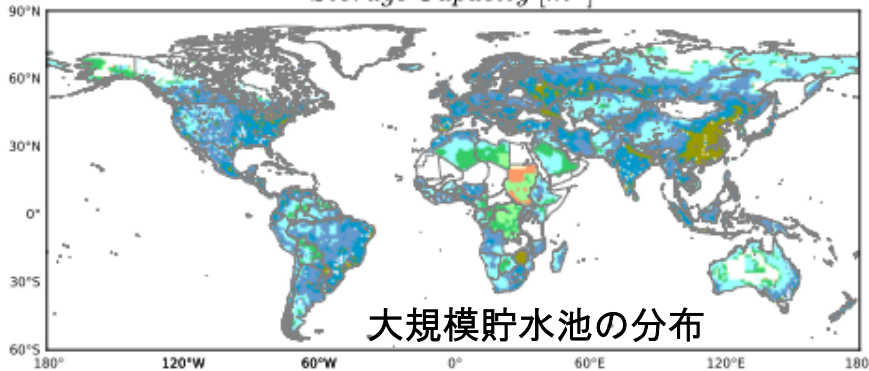
現在より減

現在より渇水日が増

Q90(RCP8.5)とQ90(20世紀)の変化量

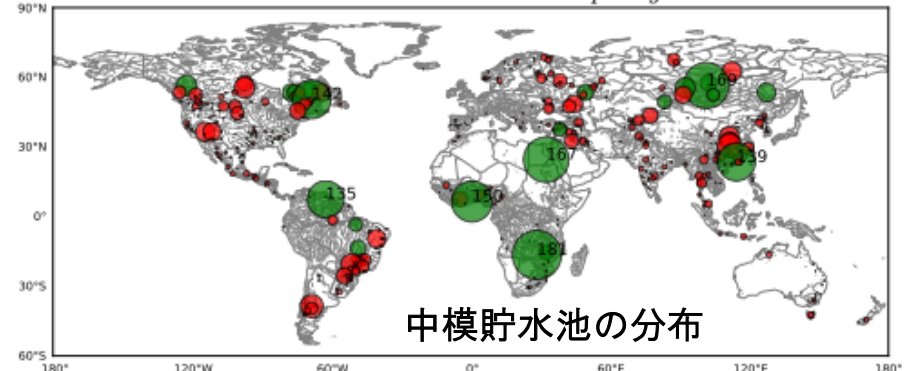
ダム貯留などの人間活動により、
渇水日の日数増加が抑えられる。

Storage Capacity [m^3]

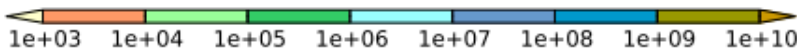


大規模貯水池の分布

Reservoir Location and Capacity



中模貯水池の分布



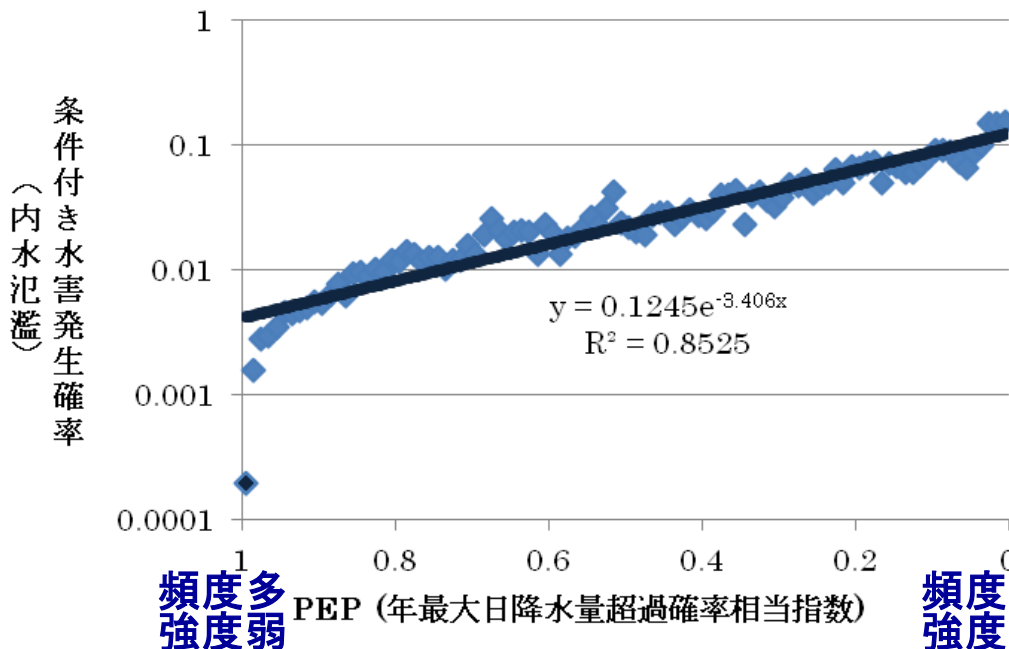
水害被害額はどう変化するのか?!



When the area was hit by the flood, people in the Honjo area used rafts made of oil drums fastened with

1947(昭和22)年9月、カスリン台風水害、東京

水害発生確率(震災 2010)



あるPPY(年最大日降水量確率年相当指数)の水害発生確率

=

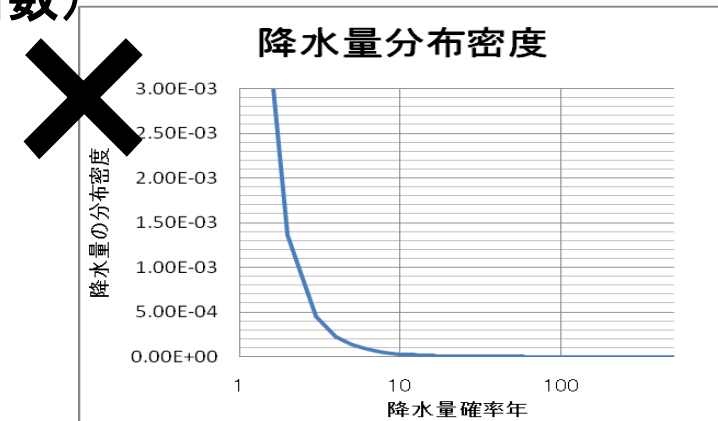
水害発生回数

そのPPYの豪雨発生回数

PEP=1/PPY(年最大日降水量確率年相当指数)

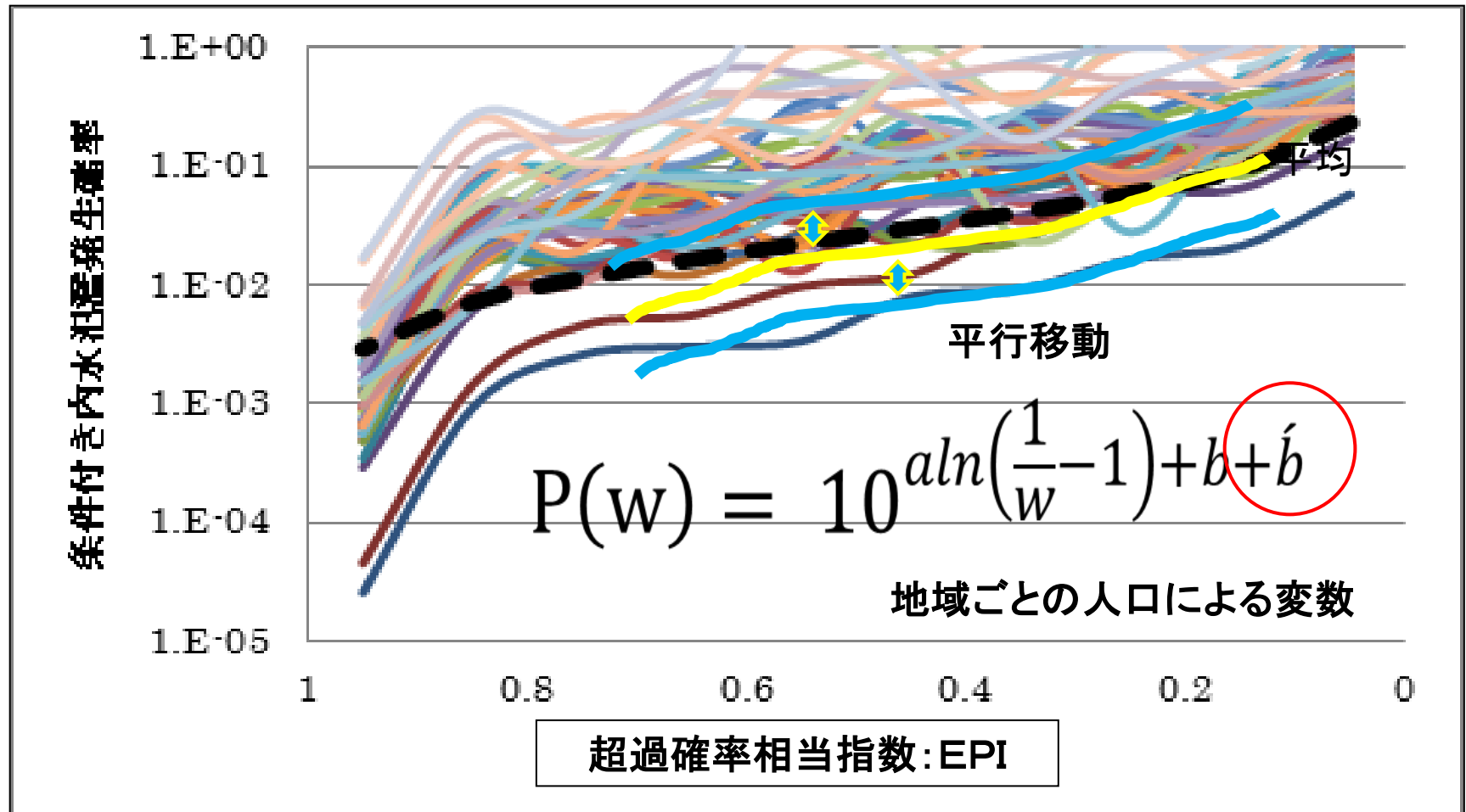
ある珍しさの豪雨発生時の条件付水害発生確率。頻度が低く強い豪雨ほど、内水害に結び付きやすい

水害に対する脆弱性は、日本全国一律と仮定

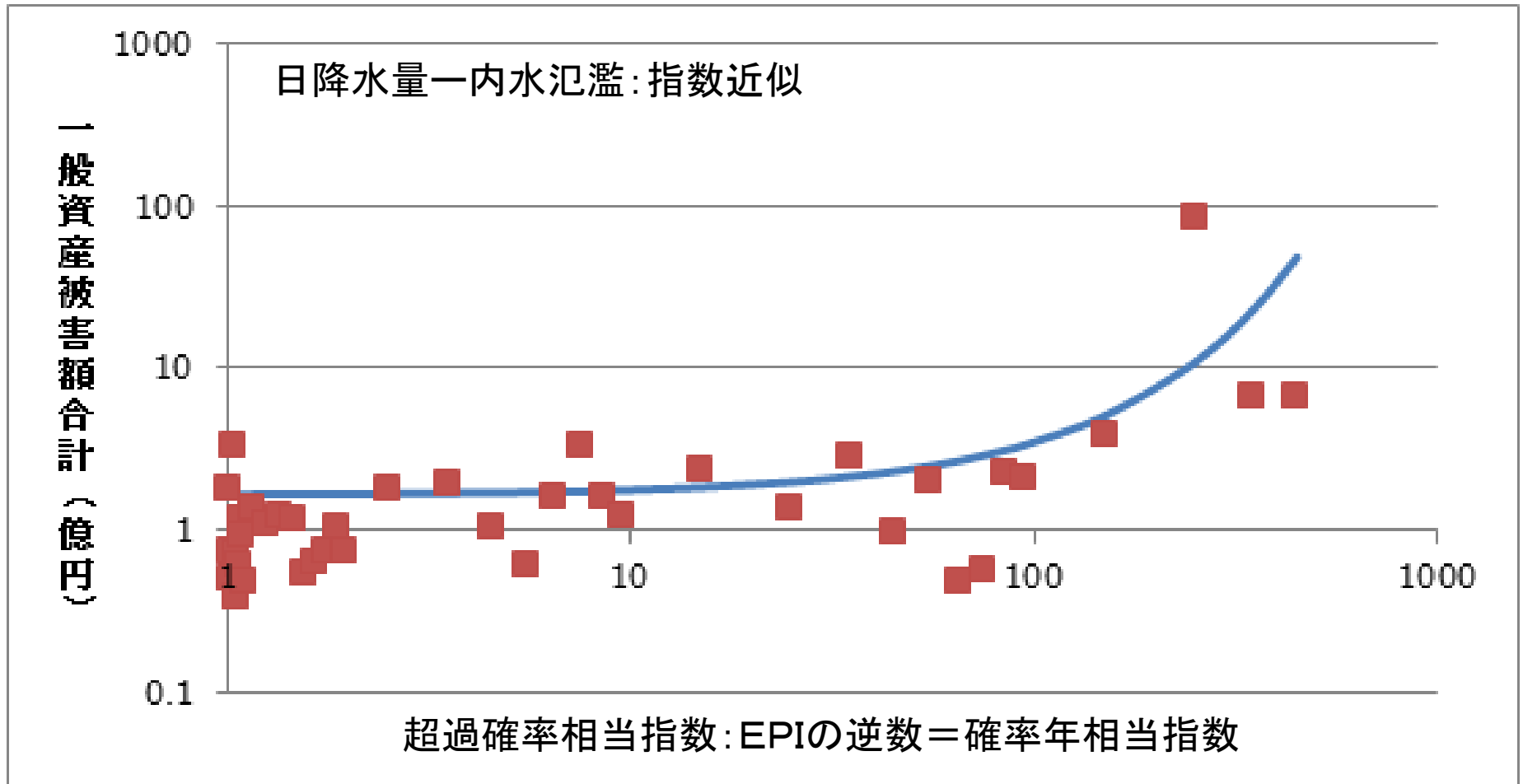


実は地域によって異なる内水氾濫の発生確率

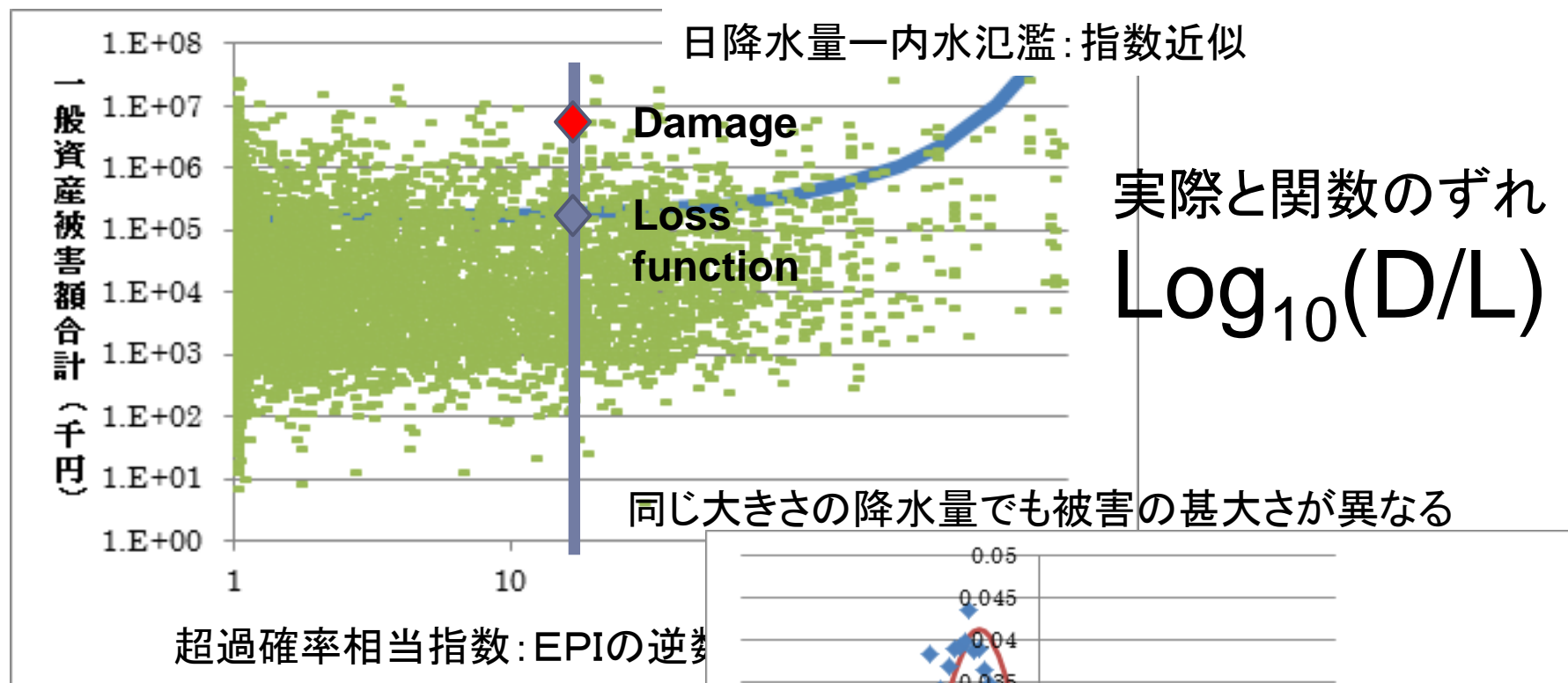
- ▶ 人口(密度)によって脆弱性の違いを表現可能



外力の大きさによって異なる 平均的な被害の大きさ (損失関数)



水害被害額の分布の実態：対数正規分布



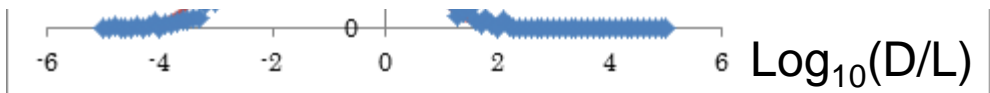
3

1つ1つの水害を目的変数、自然的・社会的要因を説明変数とした重回帰分析が可能に
より詳細な水害の分析が可能に

cf. 既往研究

重回帰分析の目的変数：世界の主要河川の流域の年平均被害者数(原ら,2009)

水害単位での分析：カイ二乗検定で「関連がないとは言えない」ことを示す(岡澤,2011)



社会的脆弱性による水害被害額の補正

		人口		
		少ない	中程度	多い
森林面積	少ない			
	中程度			
	多い			

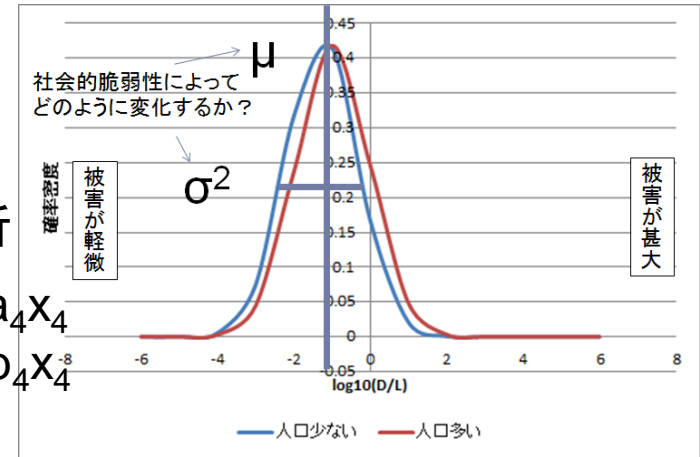
各グループの μ と σ^2 を集計

重回帰分析

$$\mu = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4$$

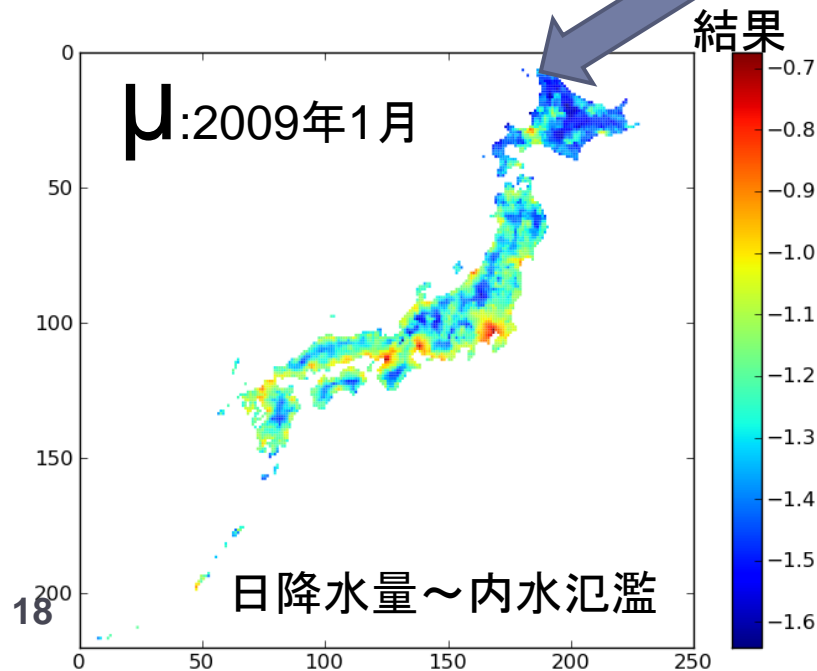
$$\sigma^2 = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$$

a, b: 係数 x: 指標



説明変数: 社会要因

目的変数: μ , σ



ID	Group	Data_Name_J
1	population	人口(人/grid)
2	population	人口増加率(%)
3	population	高齢化
4	river	1級直轄区間河川の線密度
5	river	1級指定区間河川の線密度
6	river	2級河川区間河川の線密度
7	river	指定区間外河川の線密度
8	river	不明河川の線密度
10	river	近代(明治~終戦)までに竣工したダム数
12	river	年ごと稼働ダム数
14	river	近代(明治~終戦)までに竣工したダムの総貯水量合計
16	river	年ごと稼働ダムの総貯水量合計
18	landcover	平均標高(m)
19	landcover	水田面積(m2)
20	landcover	水田を除く耕作地(m2)
21	landcover	森林面積(m2)
22	landcover	荒地(m2)

地域ごとに異なる水害リスクの推定

- ▶ 超過確率相当指数: Exceedance Probability Index
 - ▶ 地域にとって、どの程度珍しい外力か
 - ▶ cf. 超過確率 ← 年最大日降水量 × [mm/day]
 - ある年に X mm 以上の雨が降る確率
 - ▶ 年最大日降水量だとした場合の超過確率をもとめて、各日の豪雨の強度を 0~1 の実数で表される頻度で指標化

▶ **R** = 水害リスク = (水害発生確率 × 被害の甚大さ)

豪雨の程度 **各グリッド** を分解

$$\int (1 - \frac{1}{w})^n \times 10^{-0.3 \ln(1 - \frac{1}{w}) - 1.5} \times 1.6 e^{0.07/w}$$

あるEPIを持つ外力の発生確率 × あるEPIを持つ外力が発生した時、水害が発生する確率 × あるEPIをもつ外力で水害が発生した時に生じる平均的な被害額

× 自然条件の違い × 社会的脆弱性 × 社会的脆弱性

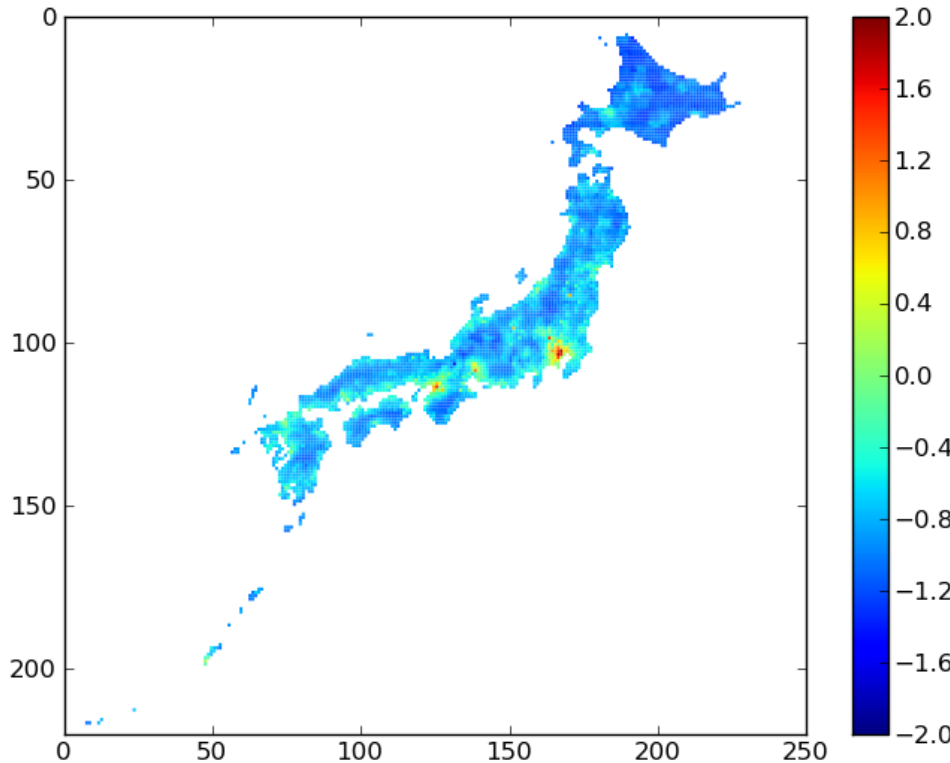
$10^{-0.0459 + 5.095 \times 10^{-7} p + 2.112 q}$ $\mu_{D/L}$

地域性

地域によって異なる水害リスク (被害額期待値)

▶ 日降水-内水氾濫

▶ 水害リスク



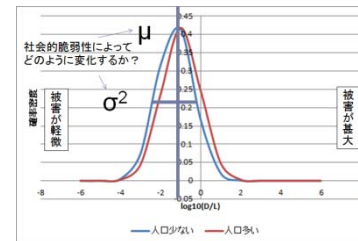
= 日降水の発生確率

導入が必要

× 条件付水害発生確率

精度の向上

× 平均的被害額



社会的要因の
影響を抽出

日本全体合計: 1171億円/年
cf. 実績17年平均: 1080億円/年
(1993~2009)

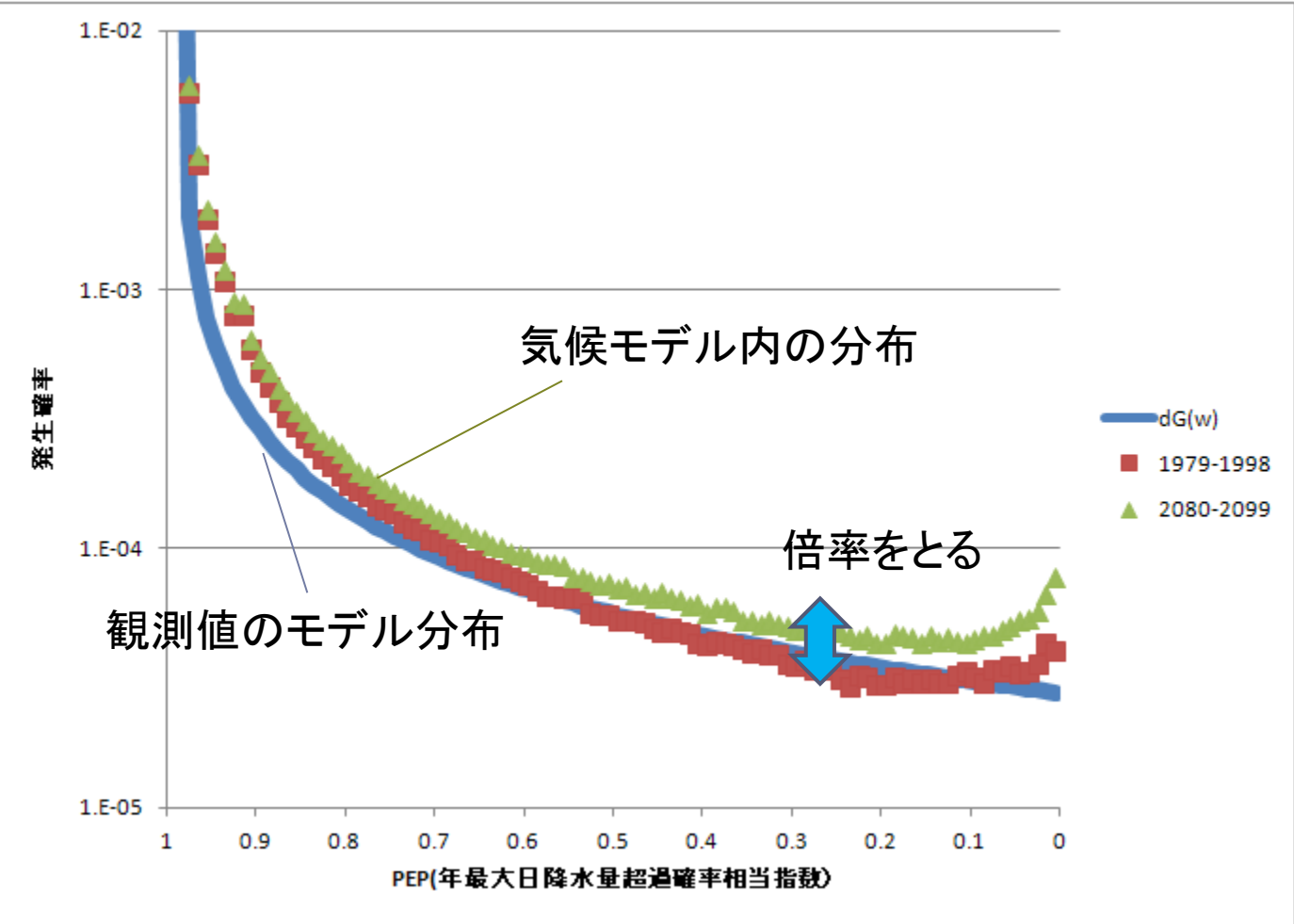
包括性(日本全体)と地域性(約10km)の
両立。定量的に被害額(円)として算出

水害リスク = 日降水量の発生確率 × 条件付き水害発生確率 × 被害の甚大さ (福林, 2012)

変化 水害リスクの将来推計

気候モデル

- ▶ GCM
- ▶ 現
- ▶ 将
- ▶ 角
- ▶ MIR
- ▶ 角
- ▶ 手法
- ▶ 解
- ▶ 現
- ▶ を推定



GCM20
1979-1998
2080-2099
= 365.25

$$G(w) = (1 - w)^{1/n}$$

将来気候のEPIを算出

EPI: 超過確率相当指数

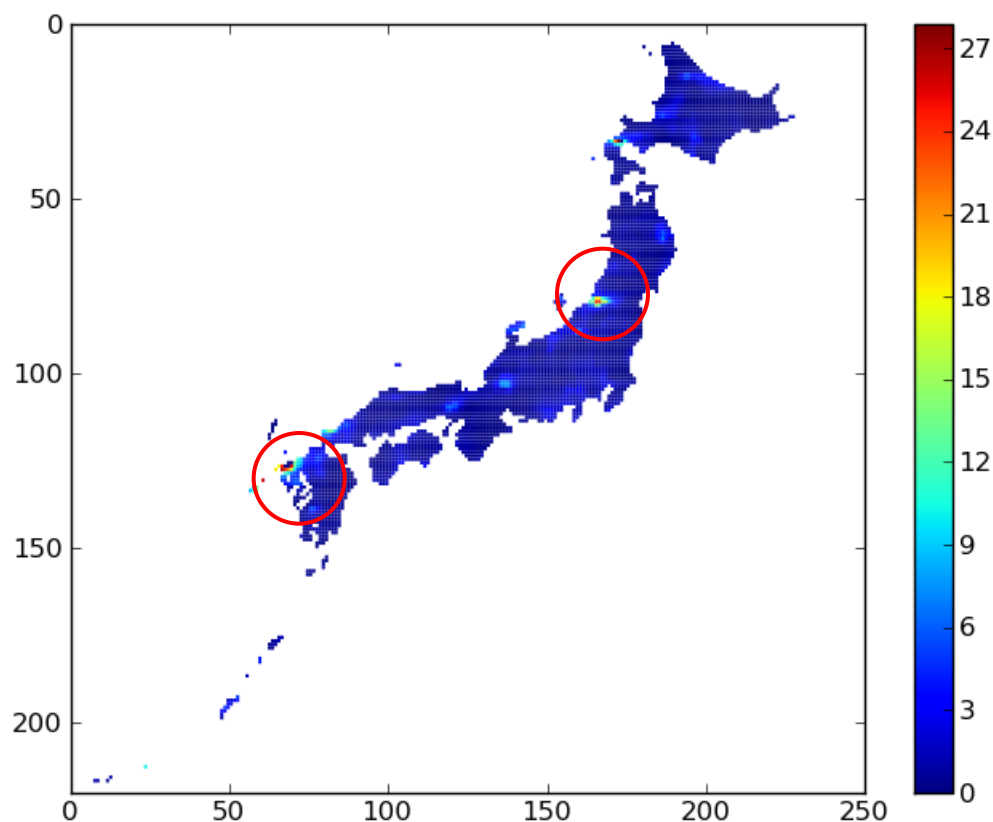
将来水害リスク = 日降水量の発生確率 × 条件付き水害発生確率 × 被害の甚大さ

豪雨頻度の変化 (GCM20)

100年に1度の規模以上の豪雨を経験する頻度の増加率(倍)

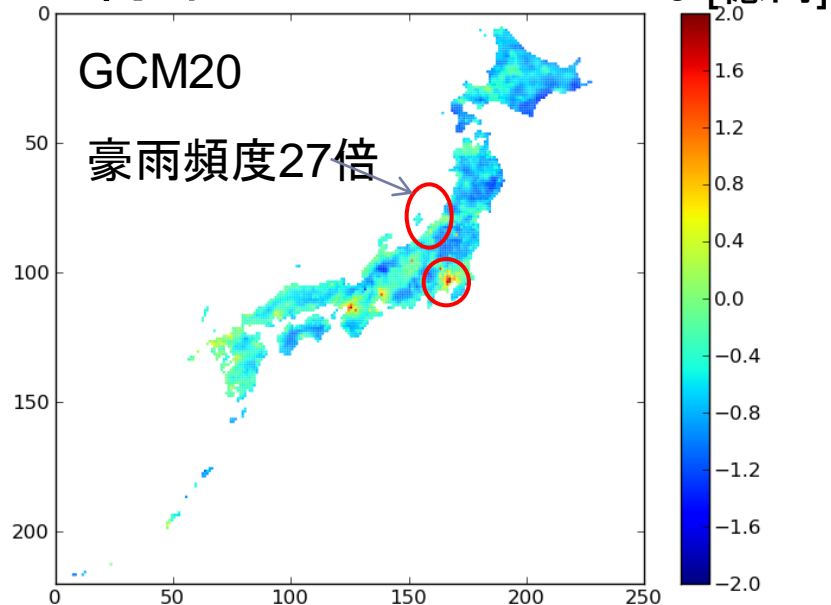
現在: 1979-1998

将来: 2080-2099

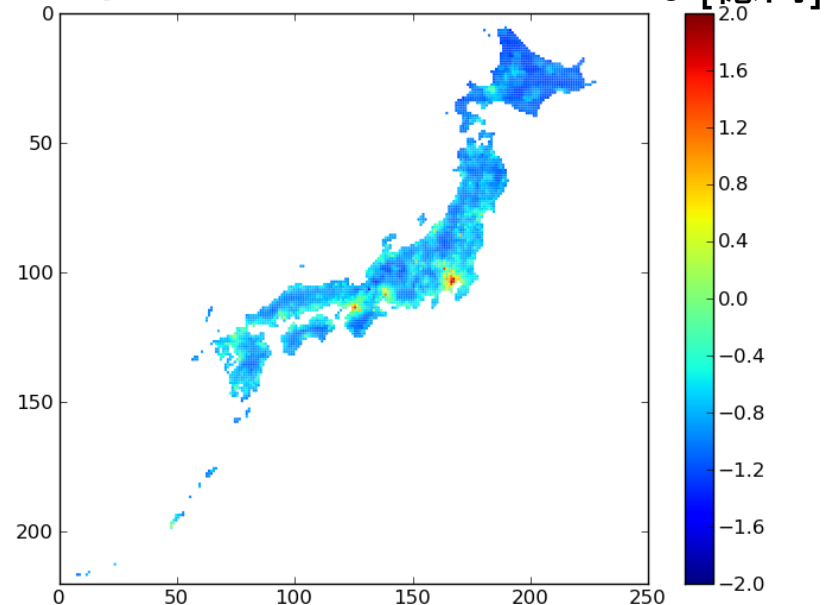


将来の水害リスク評価（日降水-内水氾濫）

▶ 将来:2080-2099



▶ 現在:1979-1998



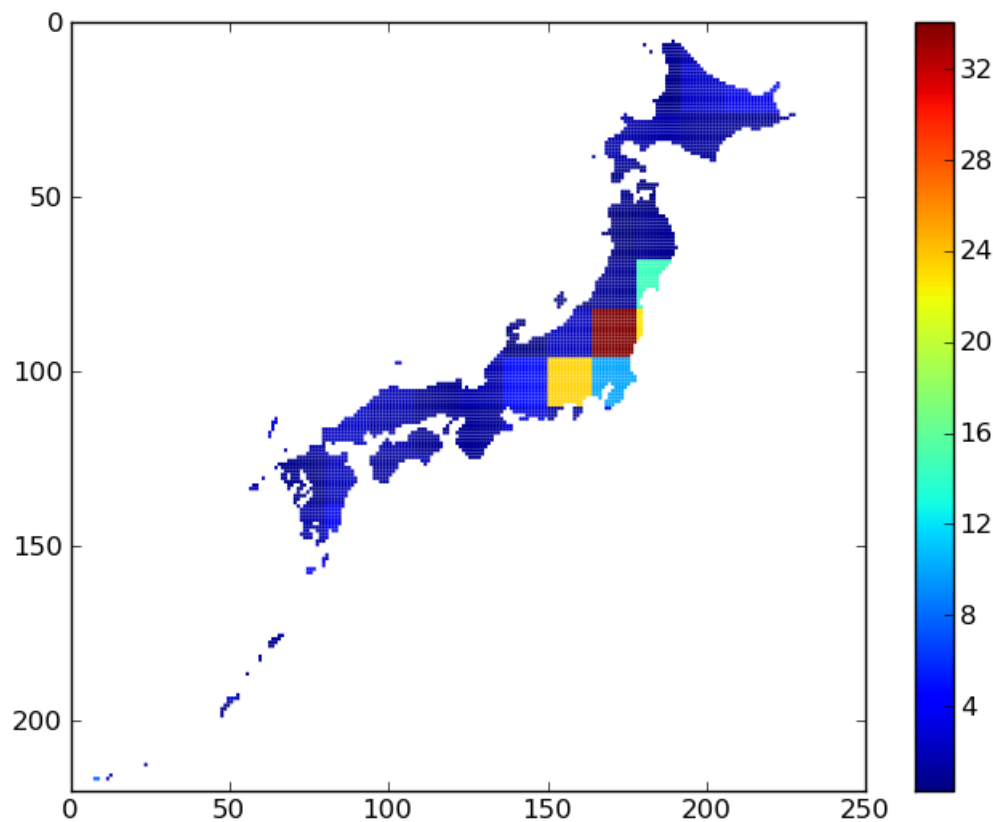
▶ 1932億円/年 ← 倍増 → 1171億円/年

▶ 水害発生回数 1208件/年 ← 倍増 → 水害発生回数 562件/年

- ▶ 豪雨の増える場所の特定が重要
- ▶ 水害の被害額は、社会的脆弱性に強く影響される

豪雨頻度の変化 (MIROC5 RCP4.5-1)

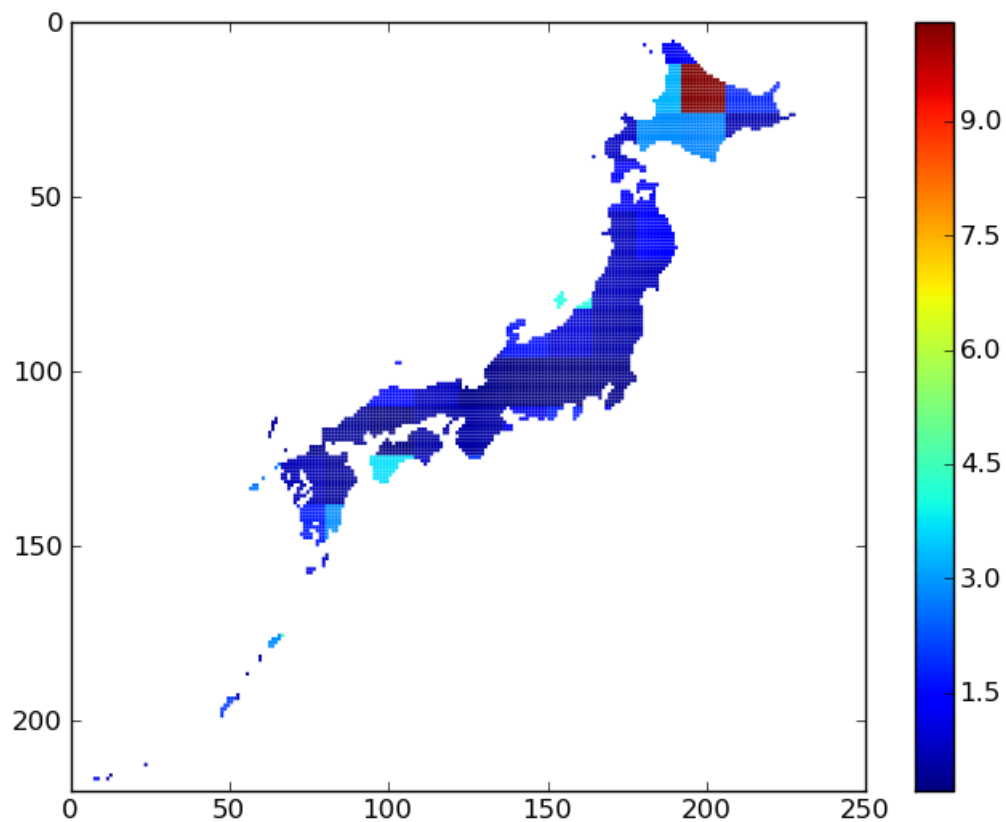
100年に1度の規模以上の豪雨を経験する頻度の増加率(倍) 現在: 1979-1998
将来: 2080-2099



将来水害リスク = 日降水量の発生確率 × 条件付き水害発生確率 × 被害の甚大さ

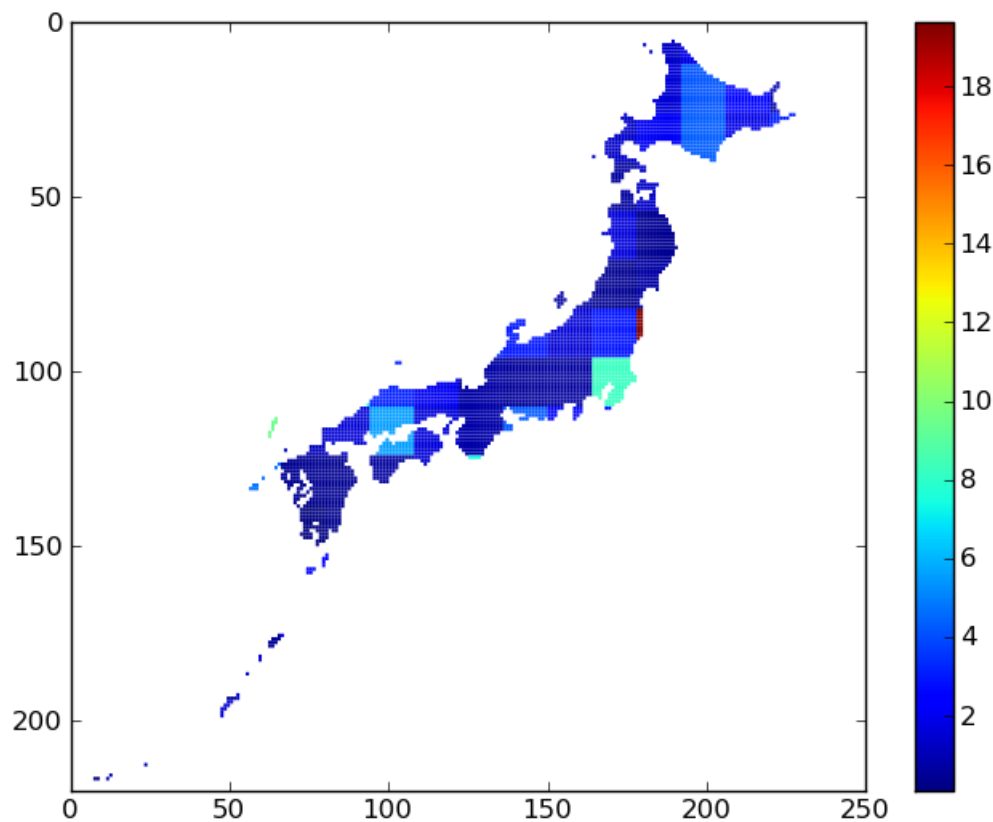
豪雨頻度の変化 (MIROC5 RCP4.5-2)

100年に1度の規模以上の豪雨を経験する頻度の増加率(倍) 現在: 1979-1998
将来: 2080-2099



豪雨頻度の変化 (MIROC5 RCP4.5-3)

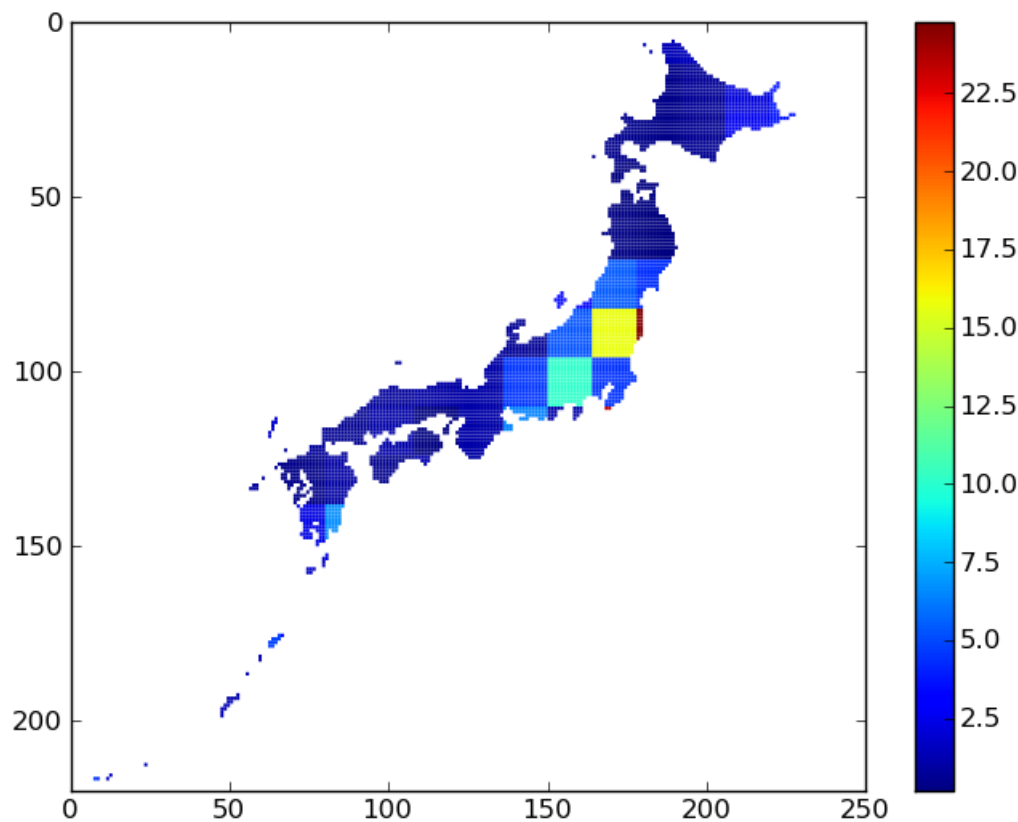
100年に1度の規模以上の豪雨を経験する頻度の増加率(倍) 現在: 1979-1998
将来: 2080-2099



将来水害リスク = 日降水量の発生確率 × 条件付き水害発生確率 × 被害の甚大さ

豪雨頻度の変化 (MIROC5 RCP8.5-1)

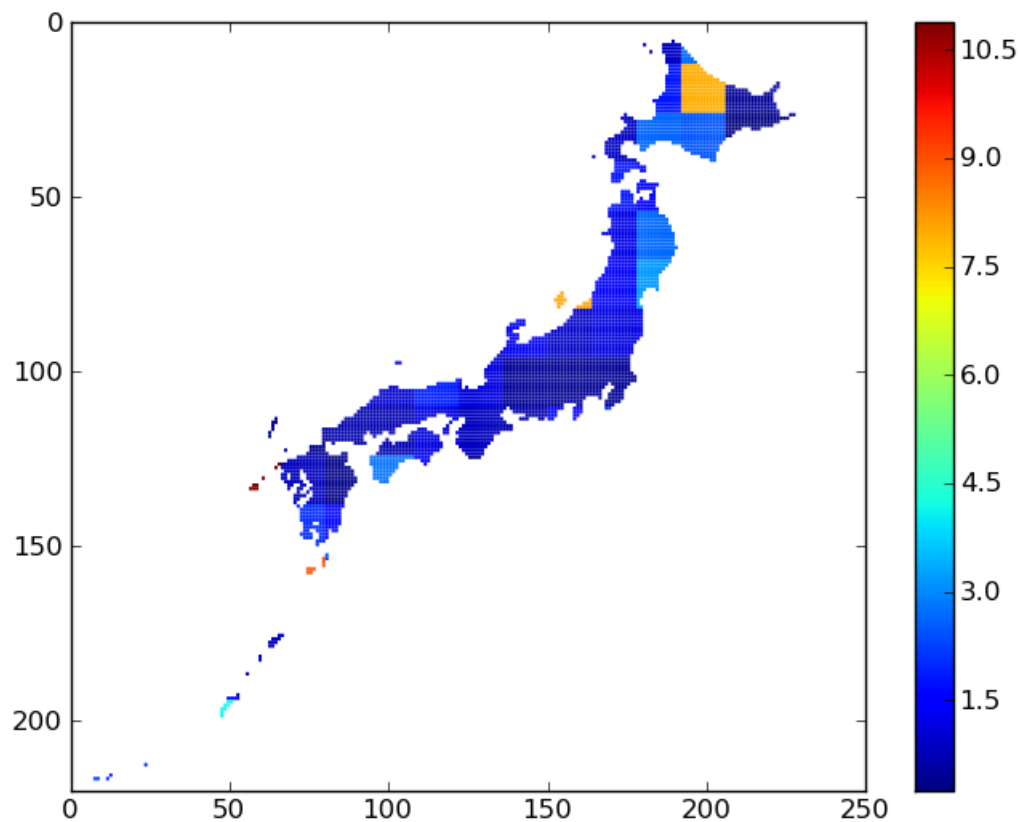
100年に1度の規模以上の豪雨を経験する頻度の増加率(倍) 現在: 1979-1998
将来: 2080-2099



将来水害リスク = 日降水量の発生確率 × 条件付き水害発生確率 × 被害の甚大さ

豪雨頻度の変化 (MIROC5 RCP8.5-2)

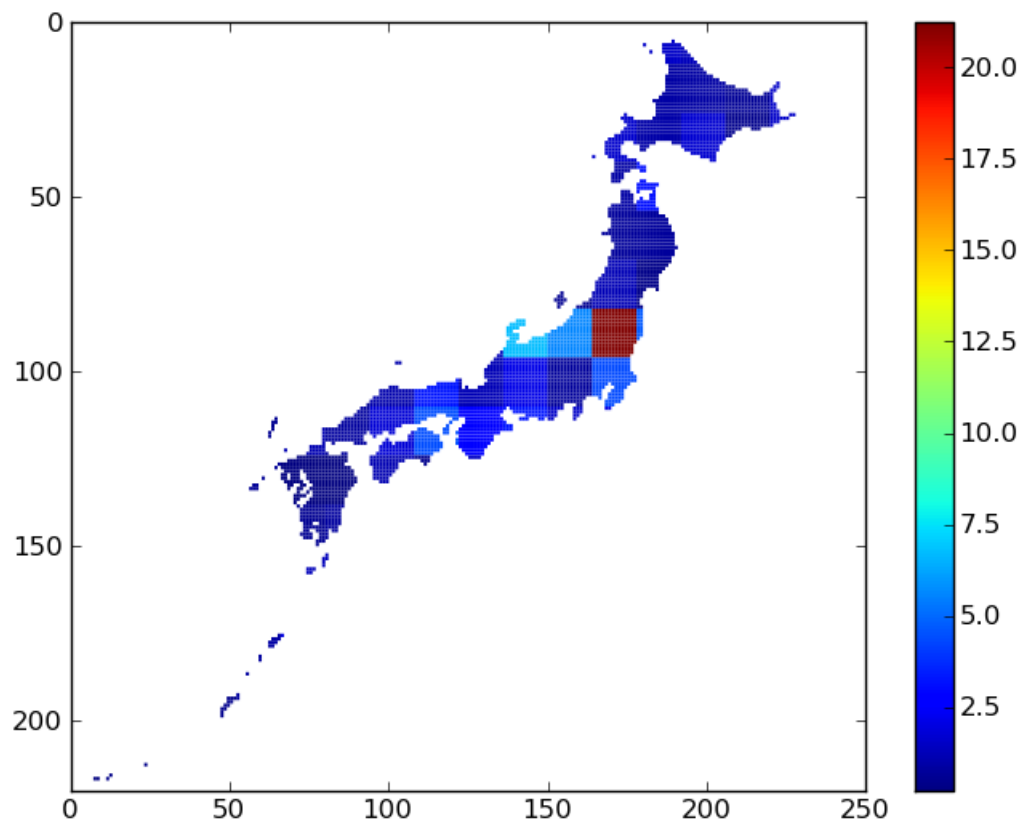
100年に1度の規模以上の豪雨を経験する頻度の増加率(倍) 現在: 1979-1998
将来: 2080-2099



将来水害リスク = 日降水量の発生確率 × 条件付き水害発生確率 × 被害の甚大さ

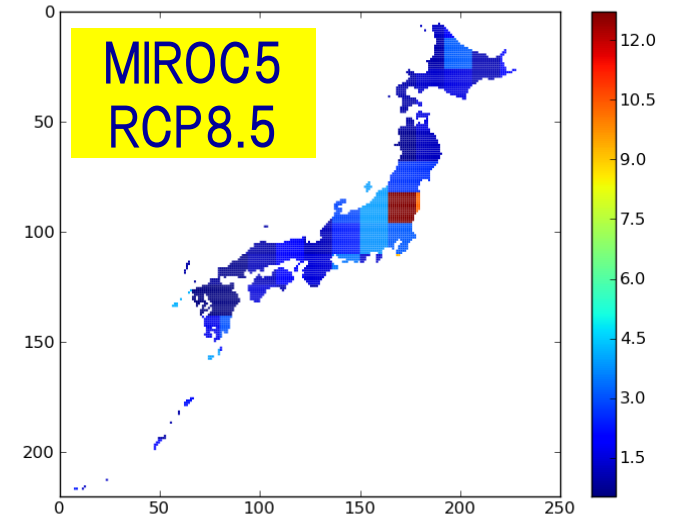
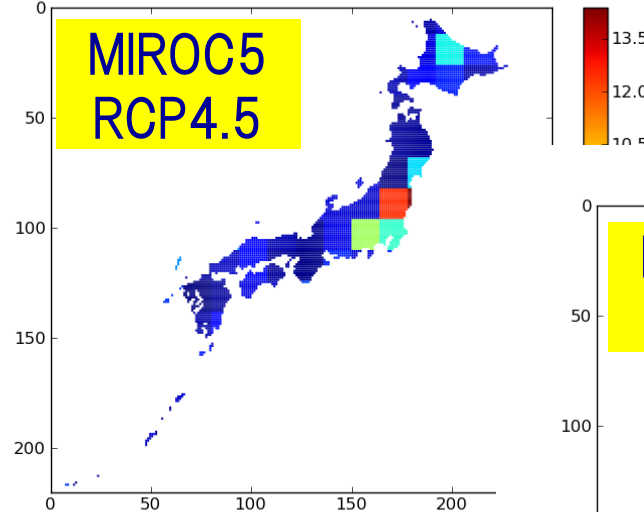
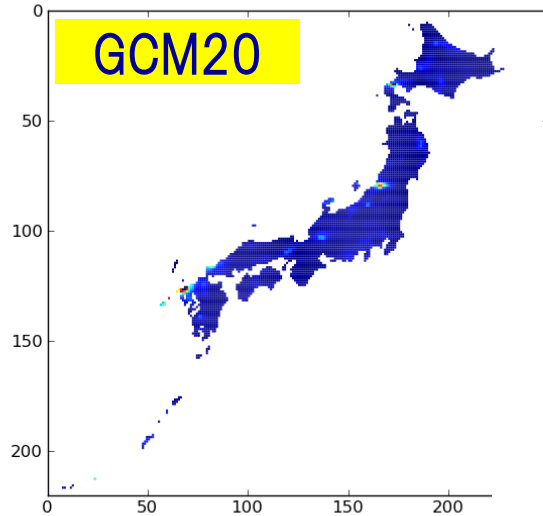
豪雨頻度の変化 (MIROC5 RCP8.5-3)

100年に1度の規模以上の豪雨を経験する頻度の増加率(倍) 現在: 1979-1998
将来: 2080-2099

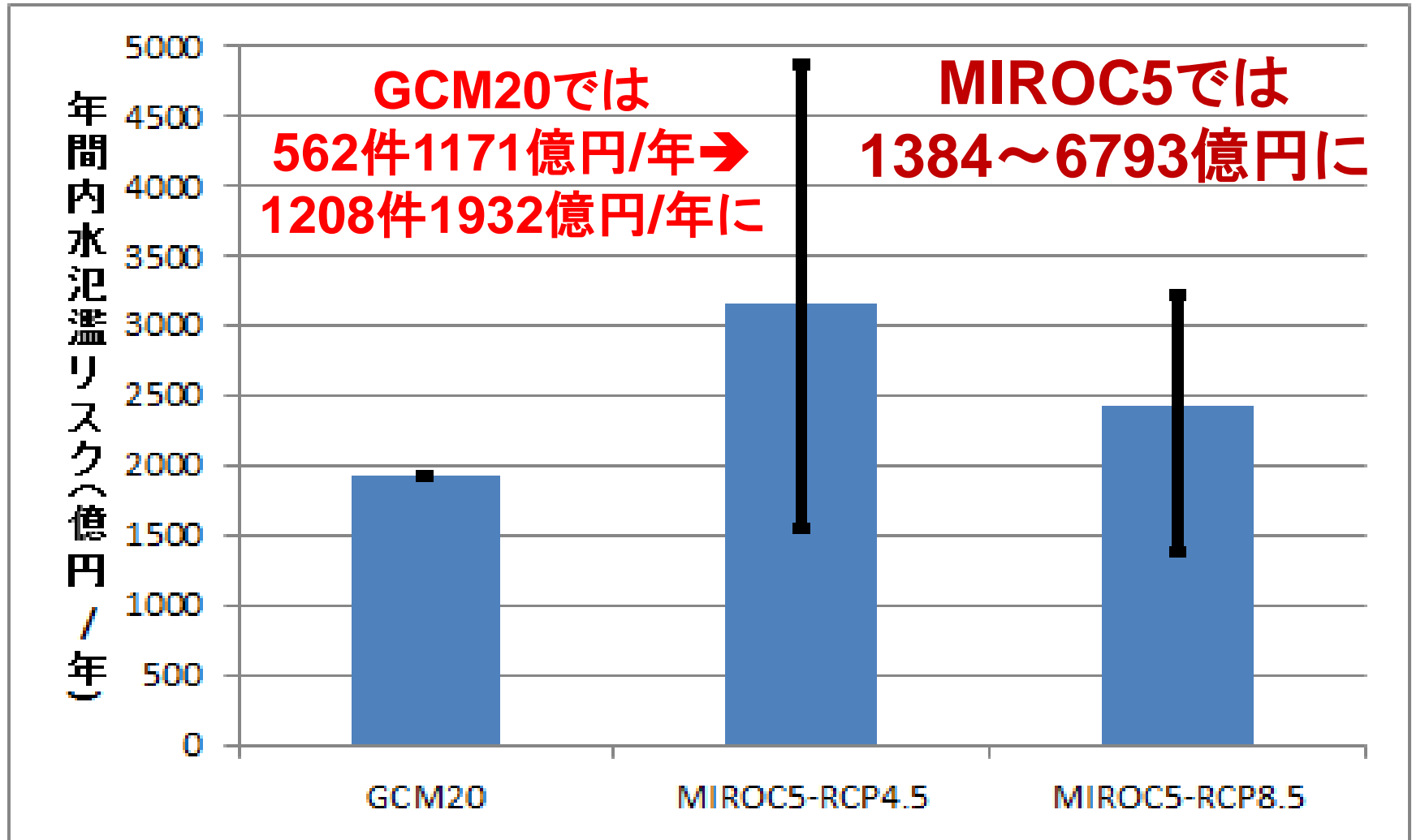


豪雨頻度の平均的な変化 (GCM20, MIROC5 RCP4.5, RCP8.5)

100年に1度の規模以上の豪雨を経験する頻度の増加率(倍) 現在:1979-1998
将来:2080-2099



将来の水害リスク評価（日降水-内水氾濫）



不確実性を考慮に入れた近未来予測に基づく 水災害リスク変化の推定

- 💧 水災害「リスク(=ハザード×脆弱性/頑健性)」の推計
- 💧 アンサンブル計算を利用した不確実性の提示
 - ❄️ 日流量極値(ハザード)の変化は地域に依存
 - 100年に1度の洪水の頻度がアフリカ(10倍)、アジア(7倍)、南米(5倍)で、不確実性を考慮しても有意に増加(RCP8.5、21世紀末/20世紀末)
 - ❄️ バイアス補正 + HiGW-MAT オフラインシミュレーション
 - 空間解像度の高いきめ細やかな洪水ハザード頻度変化推計
 - 流量増加で渇水日数(20世紀の Q_{90} 未満)は全球的には減少。
 - 流量が減少し、渇水日数が増加する乾燥地域でも現在のダム貯水池がそのまま残っていれば、渇水日数の増加は大幅に緩和される。
 - ❄️ 社会の脆弱性をも考慮した影響評価(変化は考慮せず)
 - 日本の内水氾濫被害額(水害全体の約半分)は1200億円→約2000~3000億円に。どこで豪雨が増えるかで影響は大きく異なる。

今後の課題

- 大陸河川の洪水を1～数か月の時間規模で評価
- マルチGCMによる不確実性評価
 - ❄ RCP4.5などについてもオフラインシミュレーション
 - ❄ より合理的で精度のよいバイアス補正手法の適用
- 土地利用、農地・灌漑面積分布、ダム貯水池分布の変化を考慮した将来の水循環推計
- 外水、土砂崩れへの被害モデルの適用
- 水災害モデルの世界への拡大・適用
- SSPsに沿った社会の脆弱性変化の考慮
 - ❄ 人口、資産密度、経済規模(GDP)、...

5年間ありがとうございました。

