



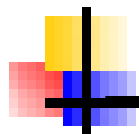
21世紀気候変動予測革新プログラム
平成21年度公開シンポジウム, '09/8/27
於:学術総合センター 一橋記念講堂

温暖化で増える水害

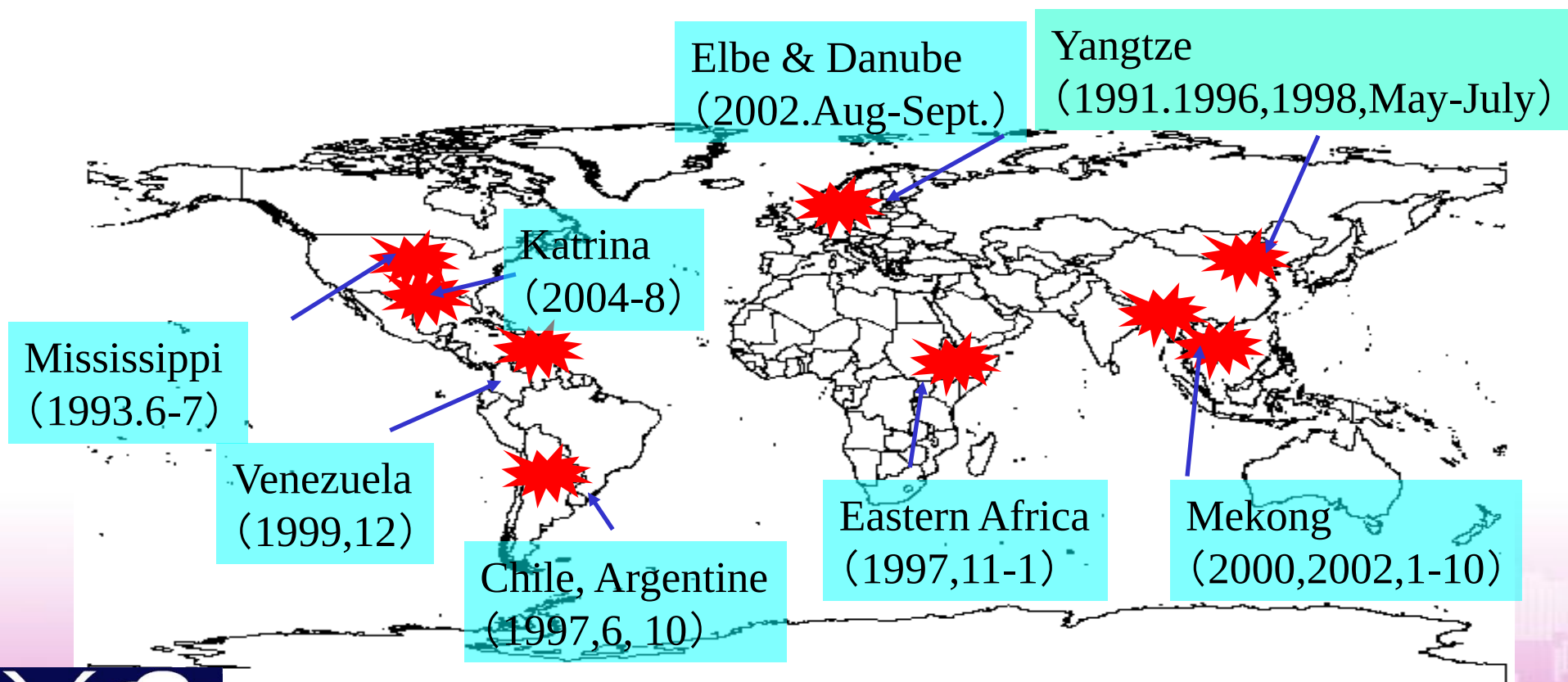
京都大学防災研究所 中北英一



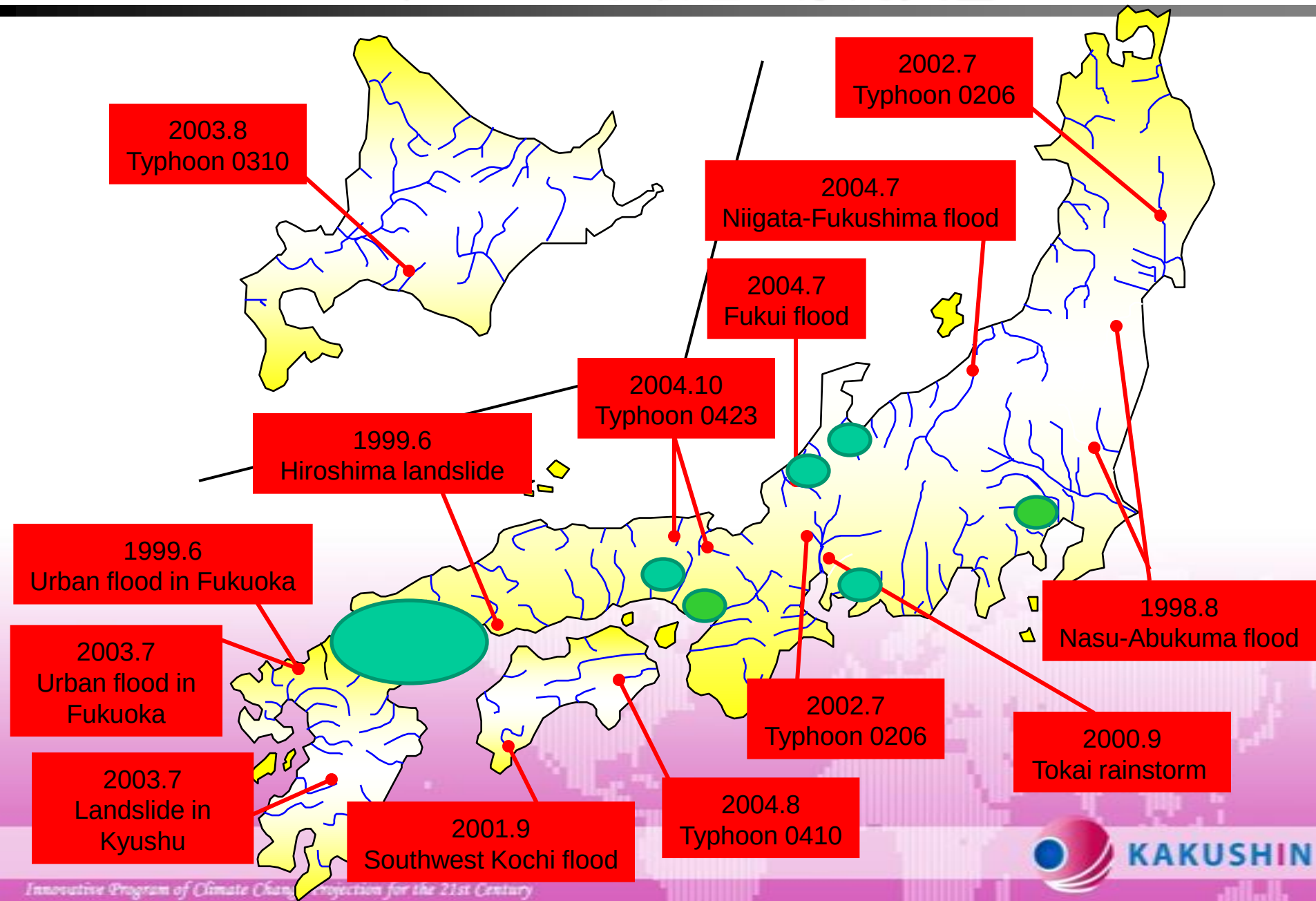
KAKUSHIN



90年代から豪雨災害が目立っている



日本における最近の豪雨災害



1. 全球気候モデル、領域気候モデルと災害評価
2. 主要河川流域への温暖化の影響評価
3. 全国の河川流域への温暖化の影響
4. 短時間豪雨災害・土砂災害
5. 高潮・高波災害

1. 全球気候モデル、領域気候モデルと災害評価



KAKUSHIN

極端現象に伴う災害発生変動評価

斜面系 山岳系 河道 都市・低平地 沿岸域

気象研
GCM・
RCM出力

降雨・気温・水蒸気・風速・放射・気圧系列（現在気候、近未来、世紀末 各25年）
（アンサンブル実験結果を含む）

領域気候モデル（気象研5, 2, 1km-RCM, 独自ラン with CReSS等）（物理的ダウンスケール）

陸面過程モデル

台風モデル

温暖化出
力翻訳

主要物理量の確率時空間モデル・極値確率分布モデル（確率的ダウンスケール）

降水

土砂生産モデル

ダム操作ルールモデル

Hazard
モデル
（長期計算も
含む）

土砂流出モデル

河道の土砂体積・輸送モデル

雨水流出モデル

河道の水流モデル

地下街浸水モデル
洪水氾濫浸水モデル

強風による建物被害モデル

高潮・高波モデル

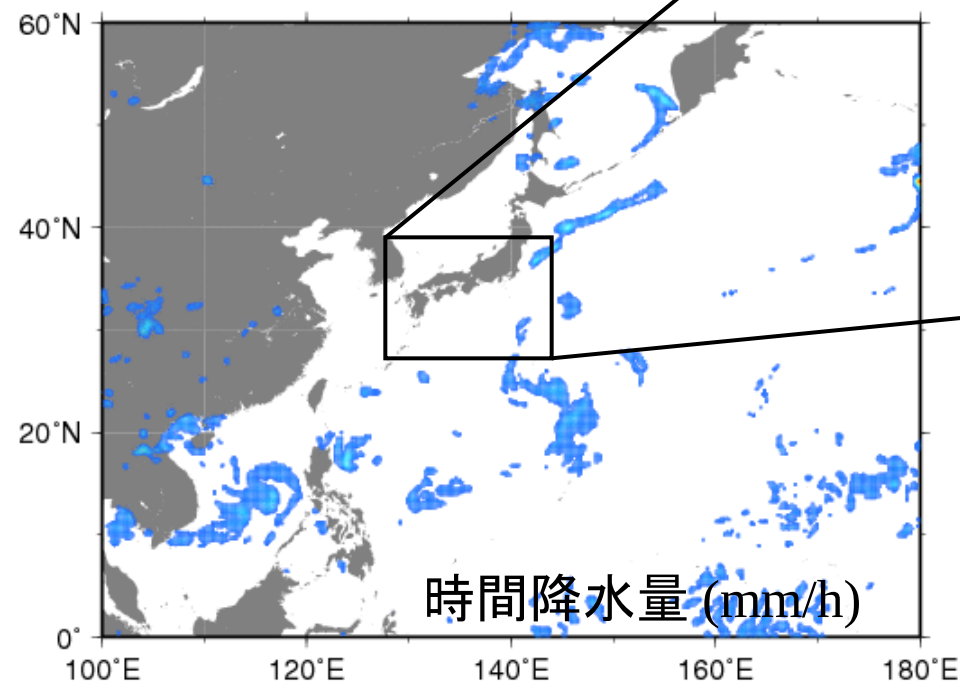
災害発生
変動評価

斜面崩壊、土石流、洪水流出、洪水氾濫（都市域氾濫・地下街浸水など）、高潮・高波氾濫、強風・突風により、発生頻度に応じた各ハザードの巨大化や災害としての治水施設（ダムオペレーションも）、堤防、防波堤護岸の安全率の低下や建物被害率の増大 ⇒ 新たな気候変動評価指標の創出

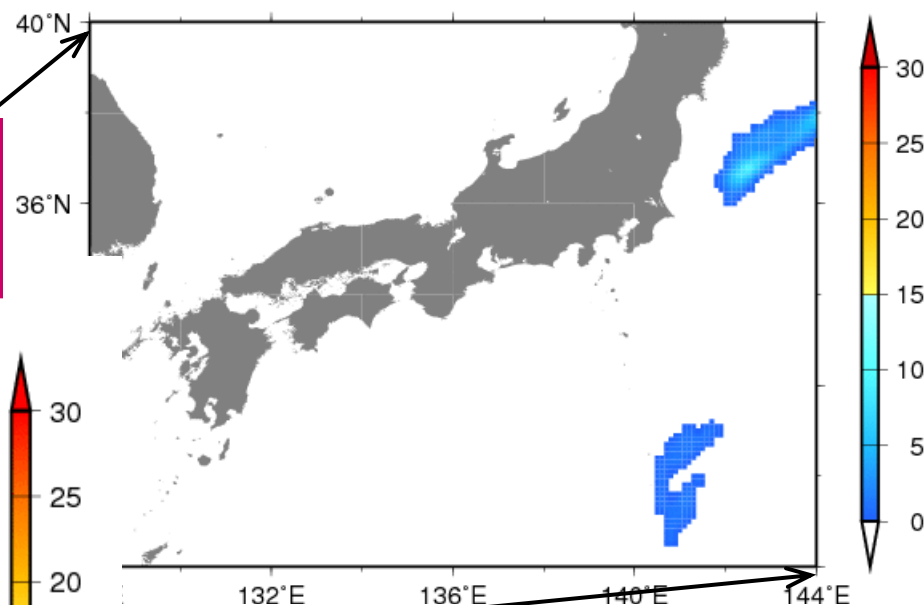
東アジア

革新・気象研GCM20の出力
20-km メッシュ, 時間雨量

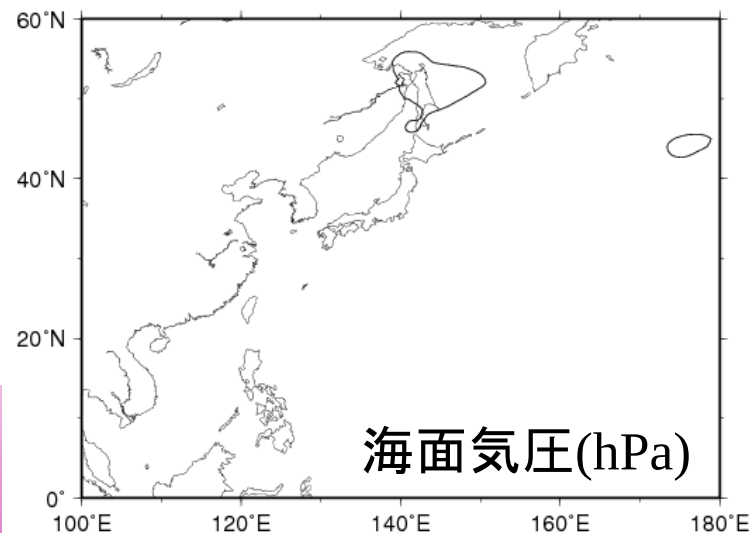
00:00 01 SEP 1980



00:00 01 SEP 1980



00:00 01 SEP 1980



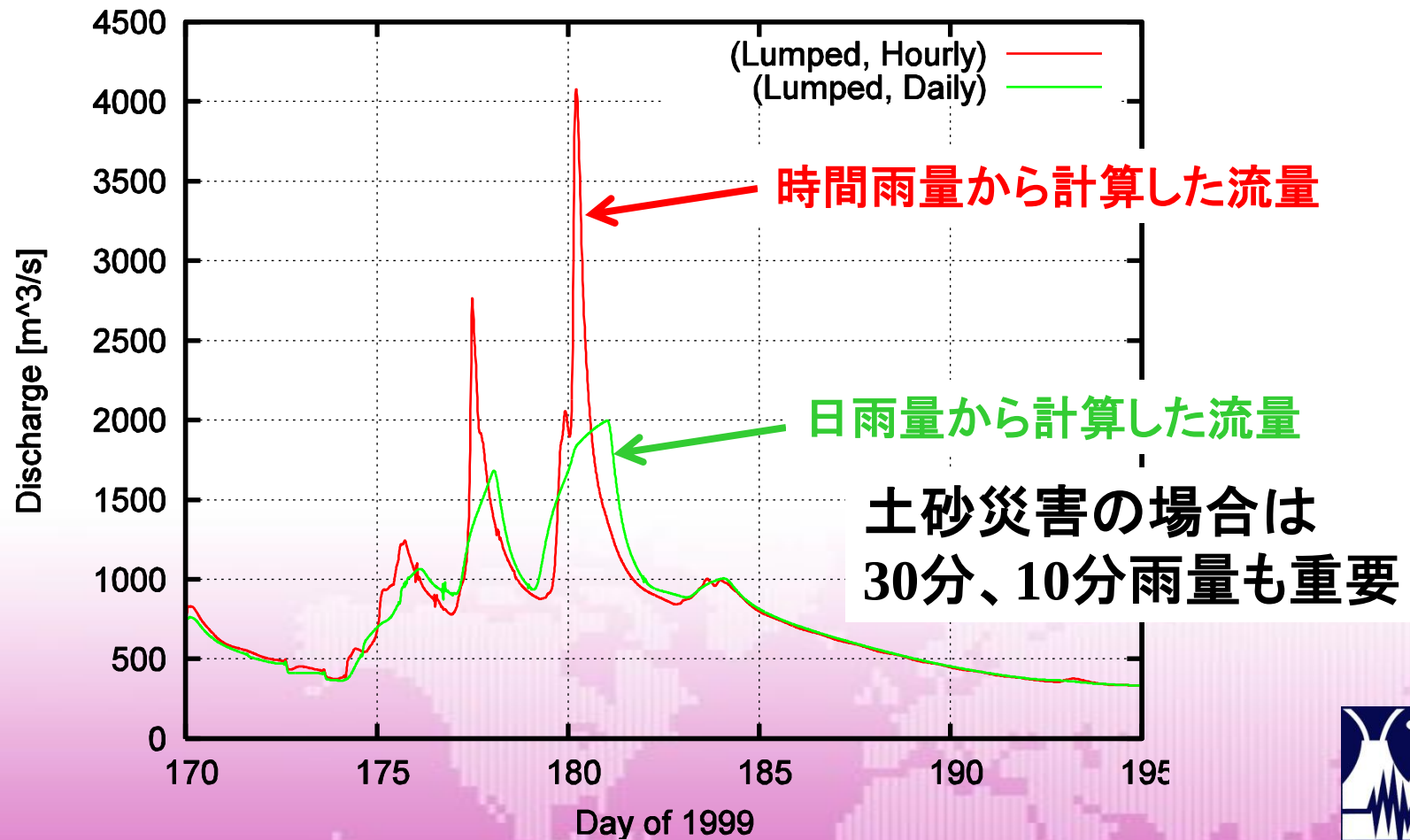
海面気圧(hPa)

台風を表現できるモデルで、
時間雨量が出力できるようになっ
て、我が国の、極端現象とし
ての災害評価が可能となった

我国の災害評価における時間雨量の重要性

日雨量データの利用だけではピーク流量を半分に算定してしまう。

淀川・枚方地点の流量



1999年の元旦からの日数

By Masuda et al. (2006)



KAKUSHIN

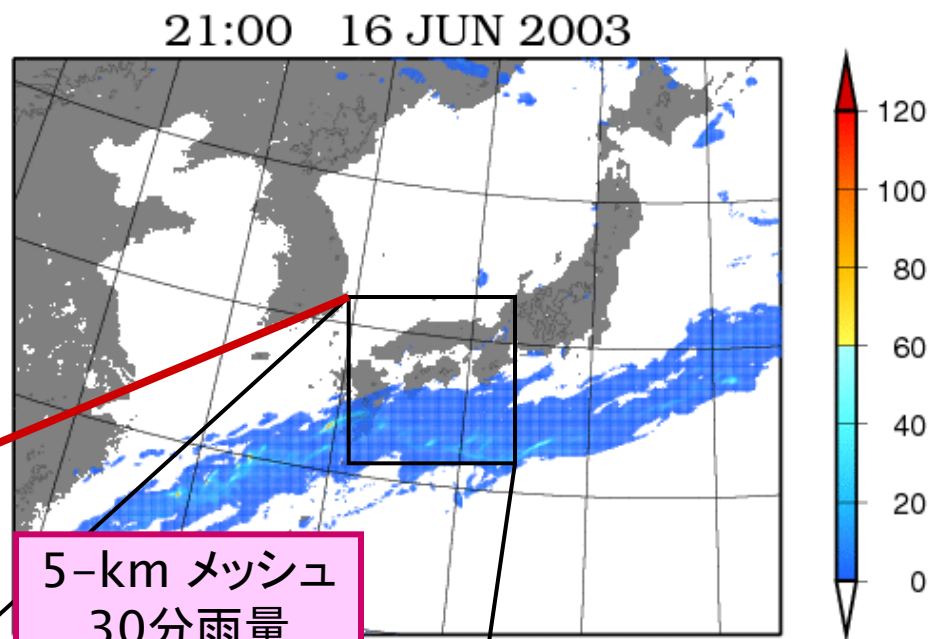
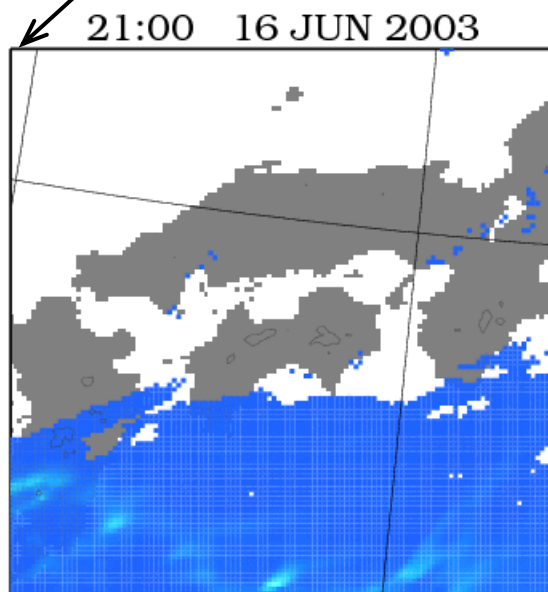
西日本

気象研-領域気候モデル (RCM)

NESTING

1-km メッシュ
10分雨量

5-km メッシュ
30分雨量



降水量(mm/h)

評価方法

GCMおよびRCM出力(物理的ダウンスケール)

■河川流況分析、高波

GCMあるいはRCM出力値を直接、外力としてハザードモデルに**連続的に用いる**。

ハザードモデル

- 河川流量シミュレーションモデル
- 高波シミュレーションモデル

ハザードの変化を分析する

災害の発生頻度・強度の変化を分析する

■高潮災害、土砂災害、氾濫災害、建物被害
極値の統計情報をもとに**外力を設定する**。
確率台風モデル、計画台風、計画降雨

ハザードモデル

- 高潮モデル
- 土砂流出モデル、洪水氾濫モデル

ハザードの変化を分析する

災害の発生頻度・強度の変化を分析する

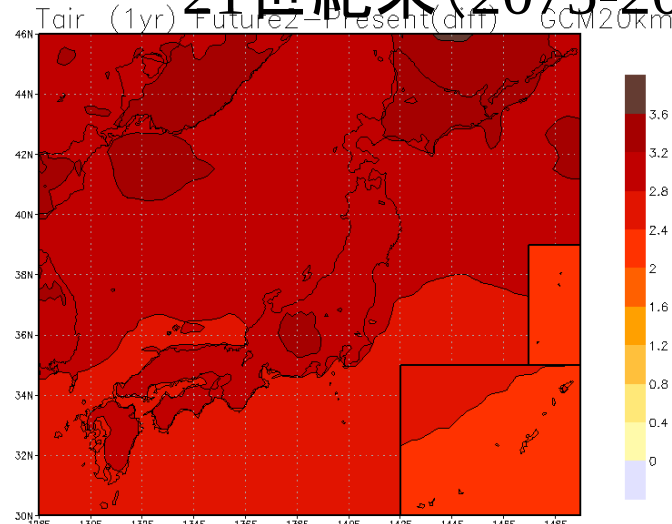
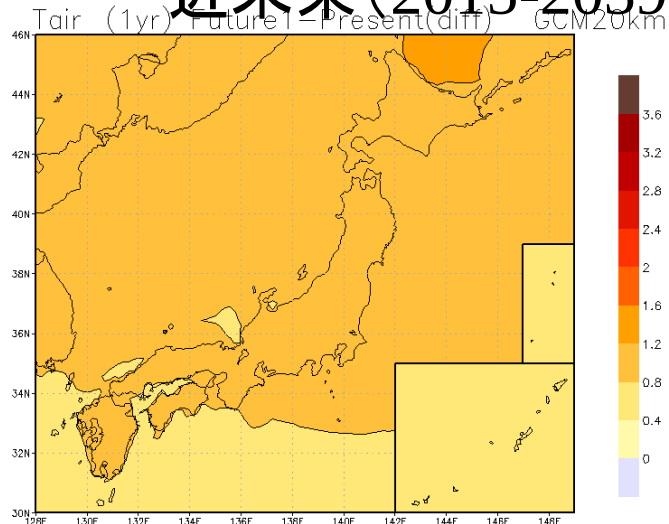
適応策の検討

AGCM20による将来気候予測

近未来(2015-2039)

21世紀末(2075-2099)

気温
(°C)

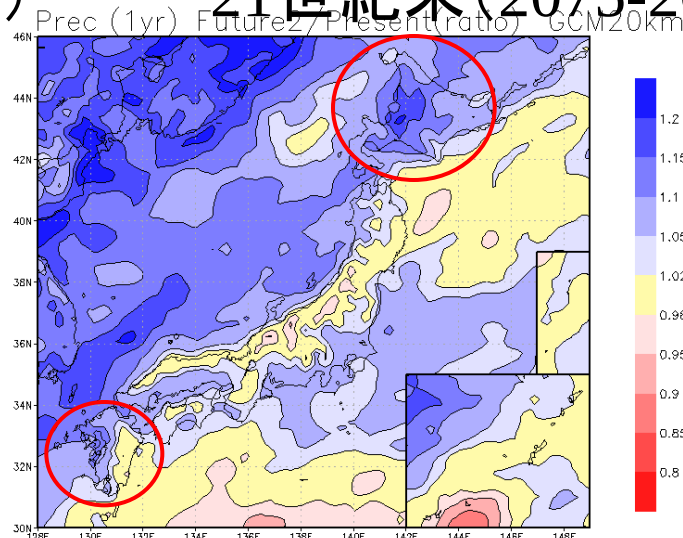
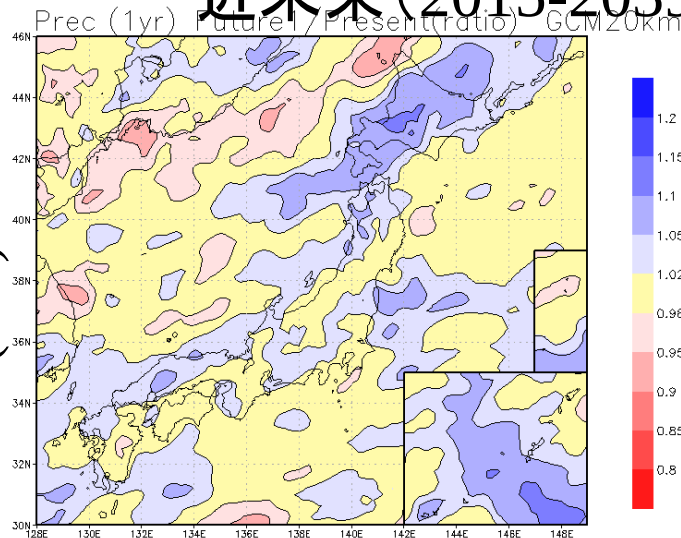


差 =
将来値 - 現在値

近未来(2015-2039)

21世紀末(2075-2099)

年降水量
(mm)

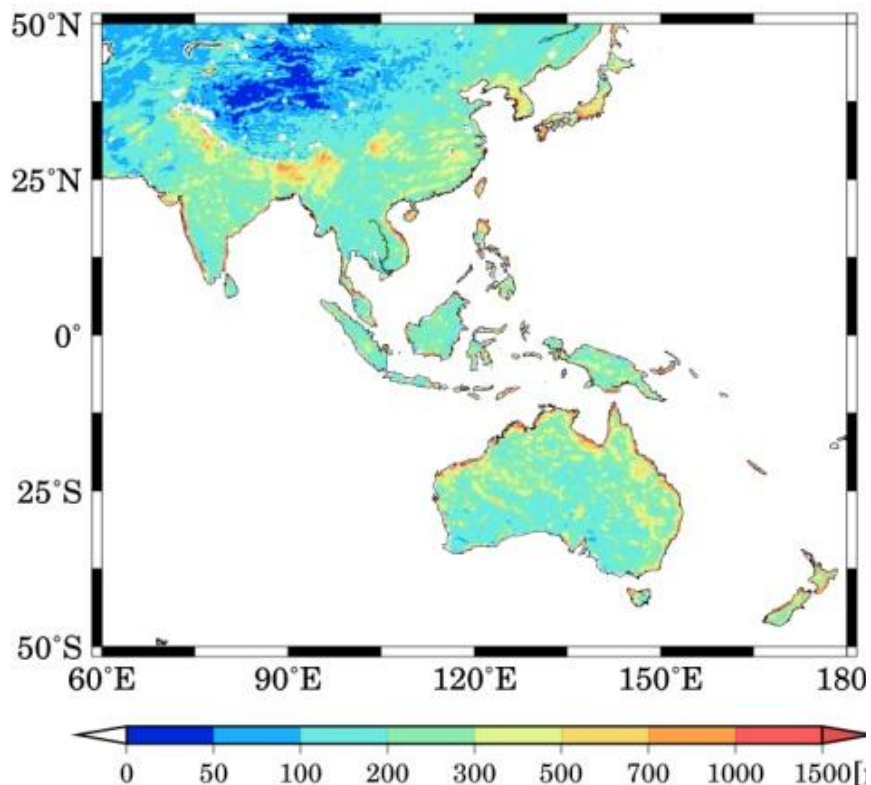


比率 =
将来値 ÷ 現在値

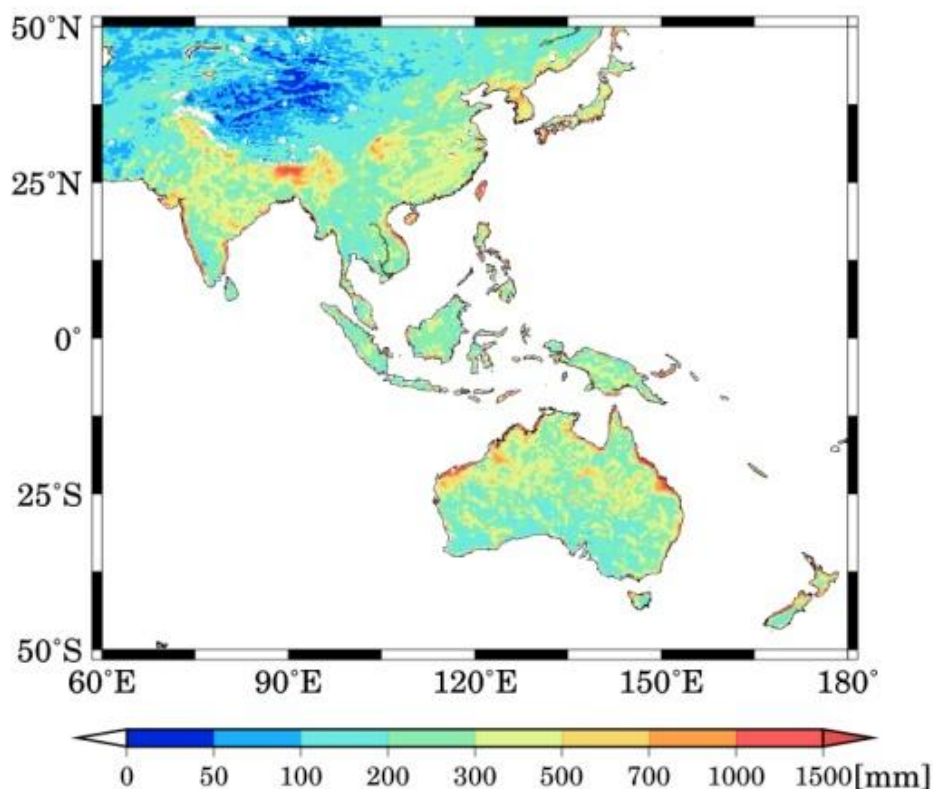
再現期間が100年に対応する降雨量(例)

年最大7日雨量の将来変化

GCM現在気候



GCM将来(100年後)気候



GCM, RCM出力と対象ハザード との関連

20km-GCM

- 極端降水量を含む全球降水量時空間分布評価に用いる。
- 我が国の主要河川の流量評価に連続的に用いる。
- 全球に波浪推算に用いる。

5km-RCM, 2km-RCM

- 主要都市域の氾濫災害評価のための外力設定に用いる。
- 斜面崩壊、土石流評価のための外力設定に用いる。
- 主要河川流域の流量評価に連続的に用いる。

2km-RCM, 1km-RCM

- 主要都市域の氾濫災害評価のための外力設定に用いる。
- 斜面崩壊、土石流評価のための外力設定に用いる。
- 建物被害評価のための外力設定に用いる。

大切な点

- GCM20, RCM5, 2, 1では、20km, 5km, 2km 1kmの空間分解能、1時間、30分、10分の時間分解能で降水量が出力され、河川のピーク流量や土砂災害の発生がより現実の沿った形で表現されるが、
- 気候変化が20km, 5km, 2km 1kmの空間分解能で表現されるわけではない。

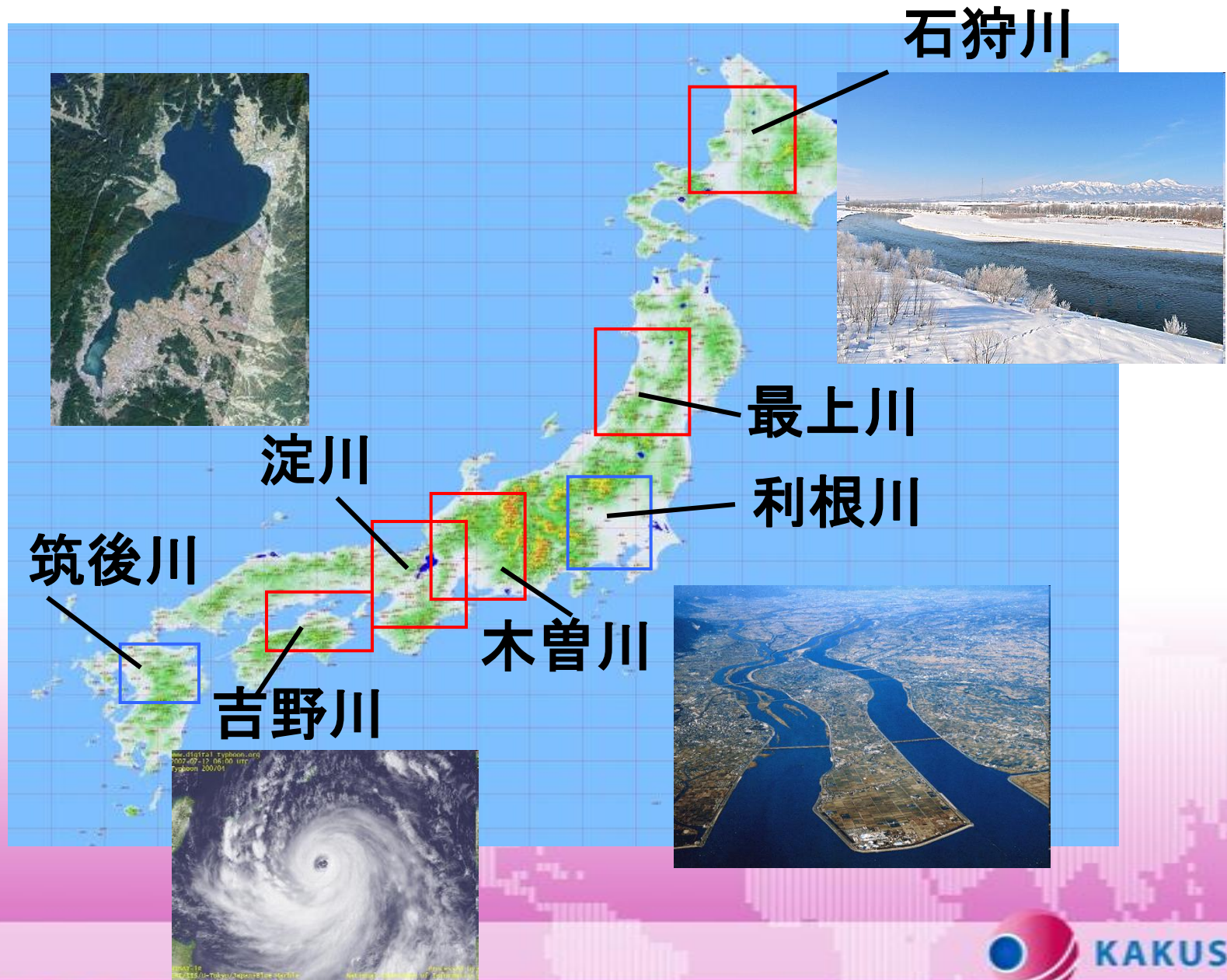
以下の発表

- RCM出力による災害評価は現在進行中なので
- GCM20出力を用いた評価結果を示す。

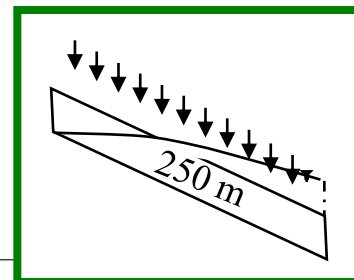
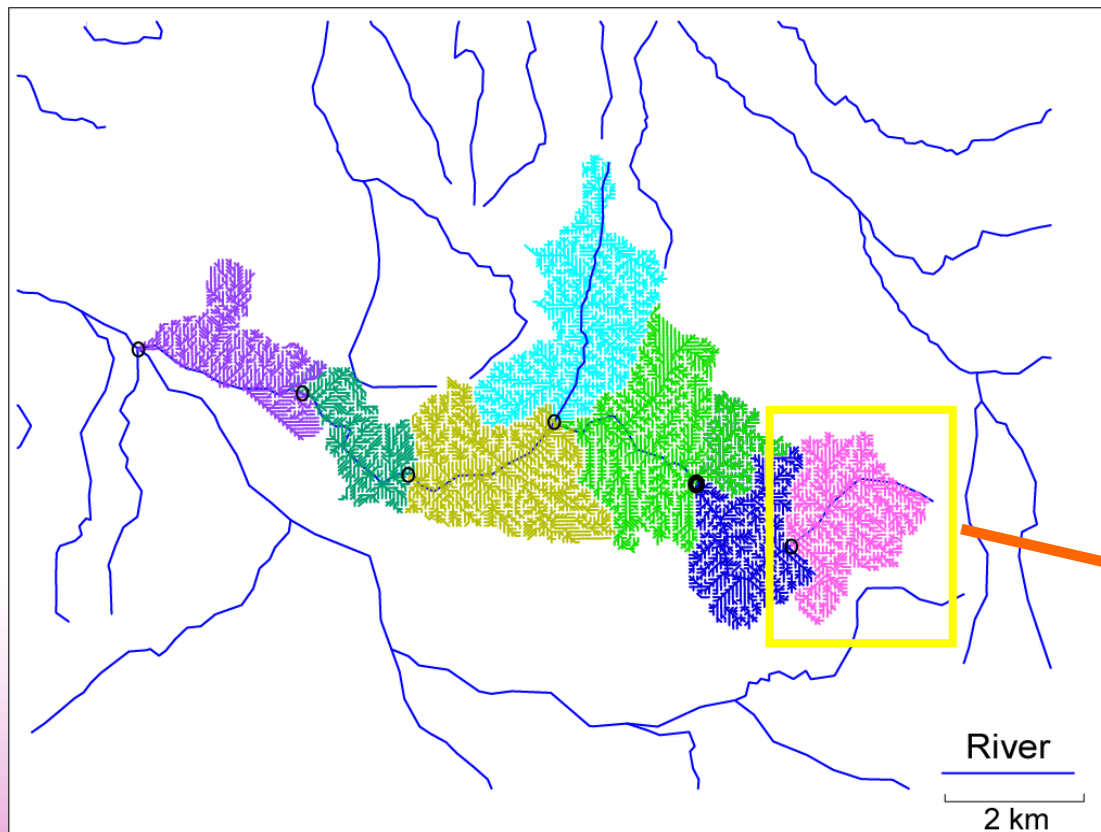
1. 全球気候モデル、領域気候モデルと災害評価
2. 主要河川流域への温暖化の影響評価
3. 全国の河川流域への温暖化の影響
4. 短時間豪雨災害・土砂災害
5. 高潮・高波災害

2. **主要**河川流域への温暖化の影響評価

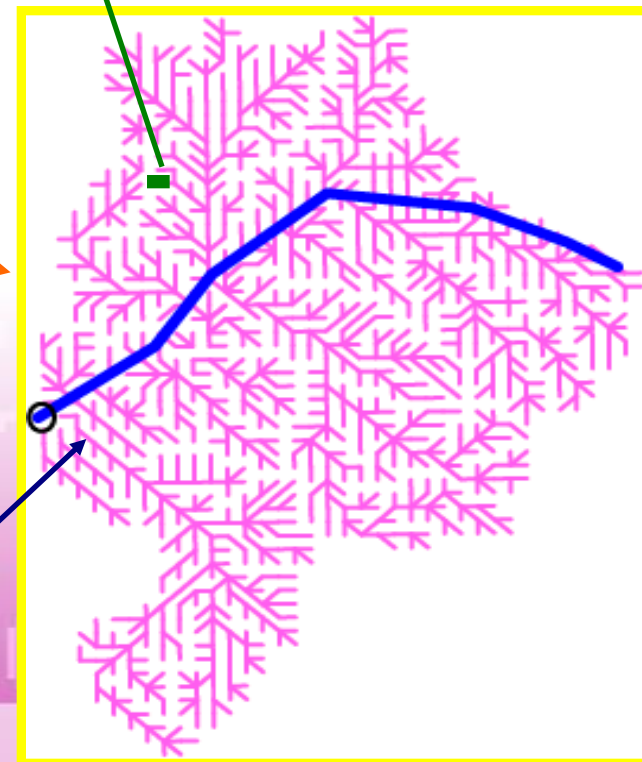
主要河川流域への温暖化の影響評価



広域分布型流出予測 モデル



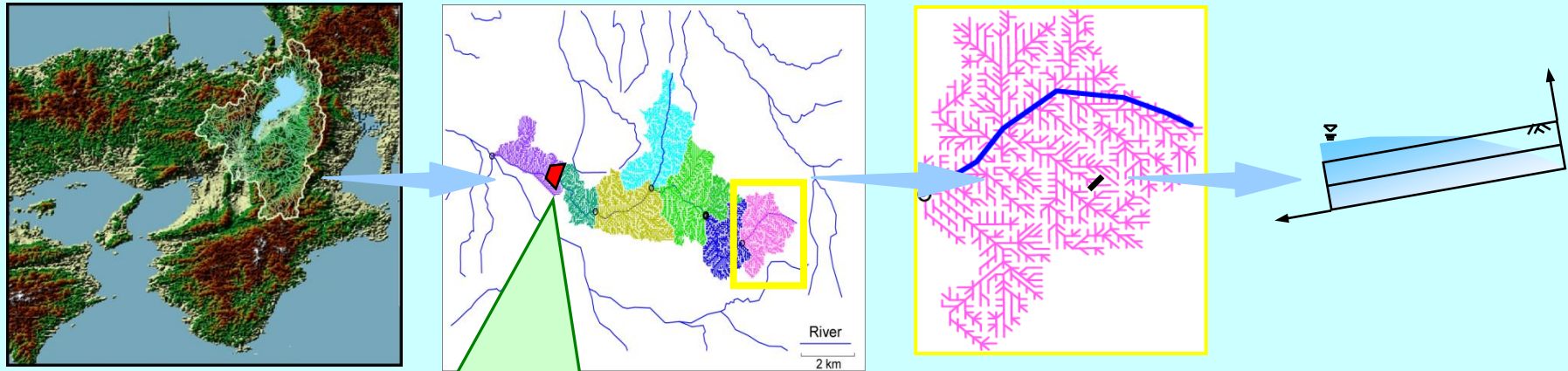
斜面からの
降水流出



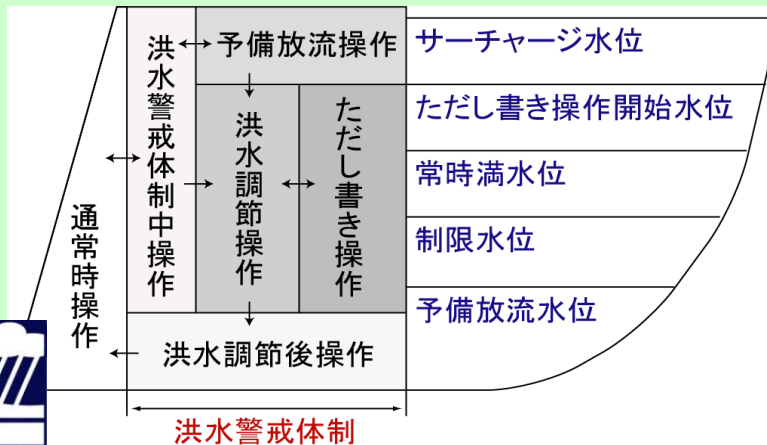
河道の洪水流追跡

分布型流出モデルによる河川流量計算と ダムコントロールへの影響評価

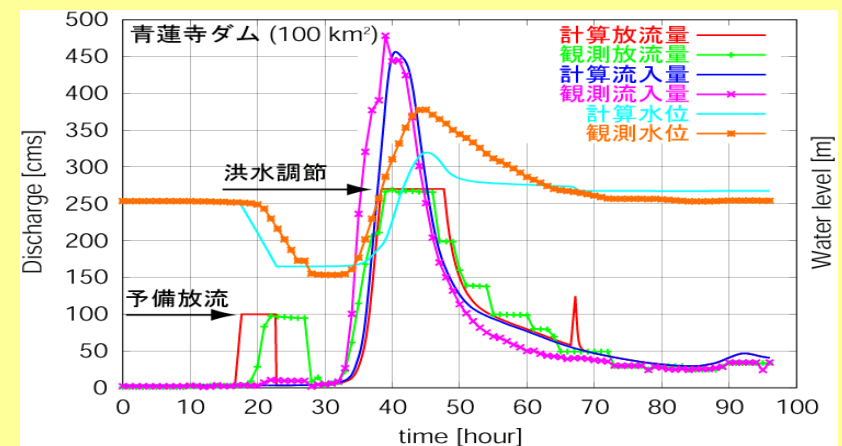
淀川流域を対象とした広域分布型流出予測モデルの構成



ダム操作モデル



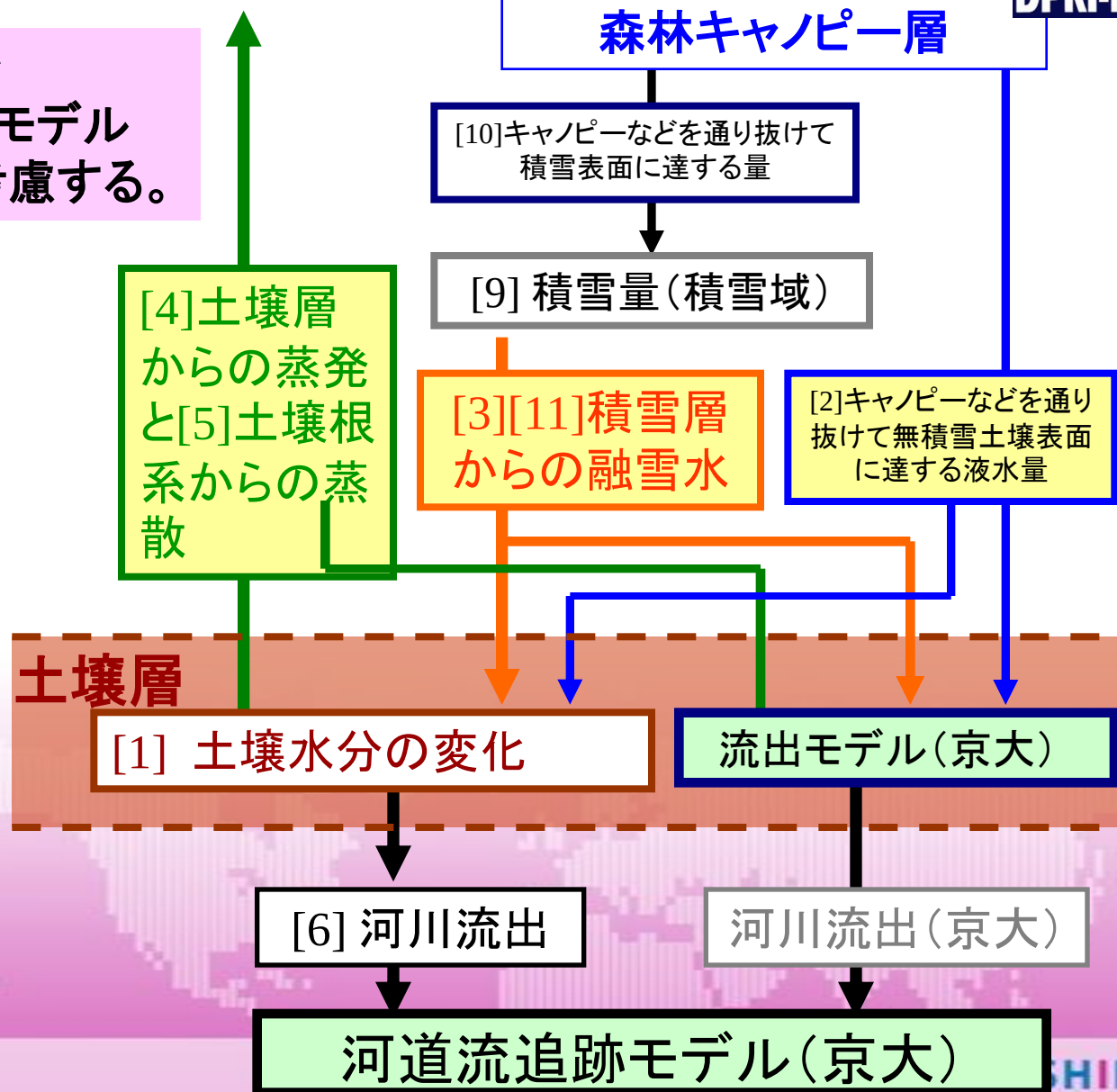
洪水流量の予測結果の一例



利用する20km-GCM出力



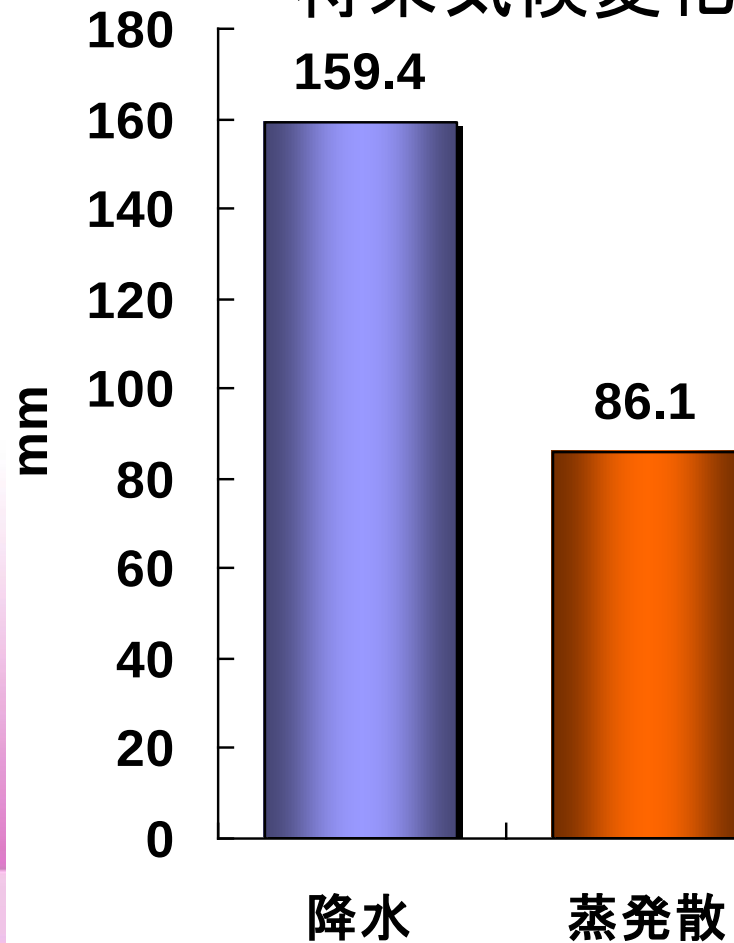
- GCMの陸面過程モデルと
- 雨水流出モデルの土壌層モデル間の入出力の整合性を考慮する。



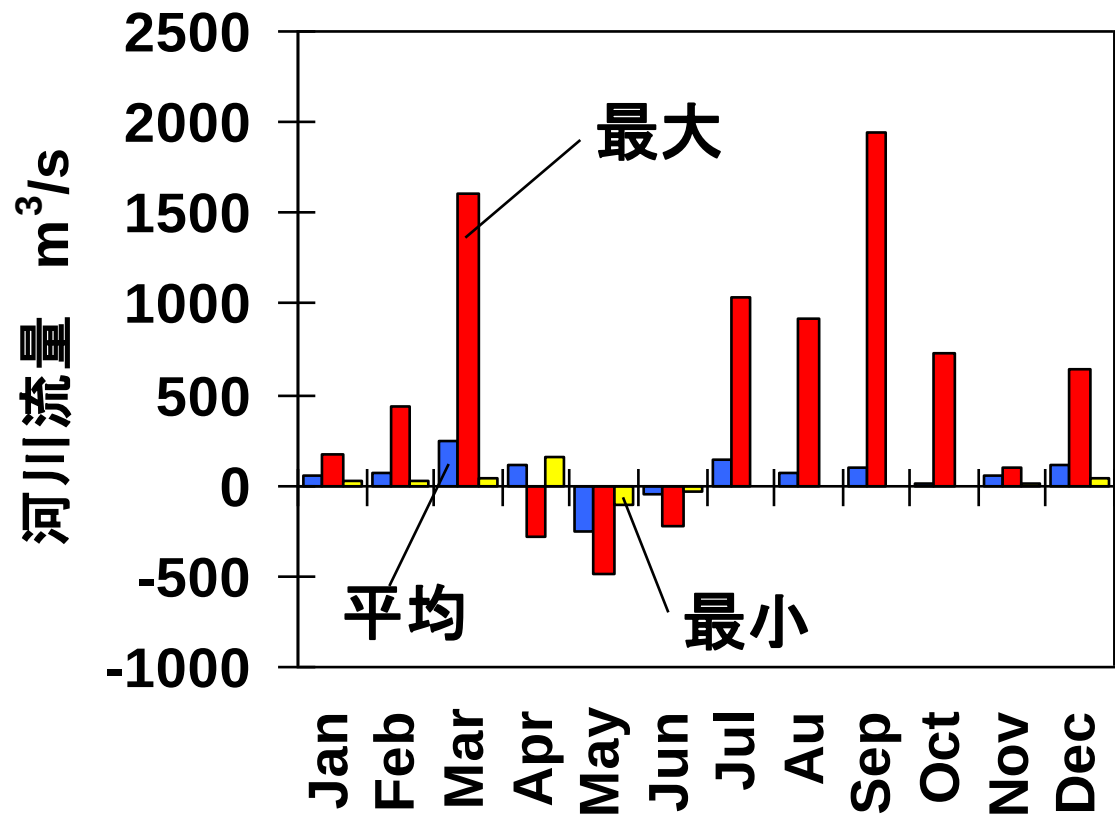
流域気候・河川流量変化予測(石狩川流域)

流域平均気温: 3.2°C 上昇

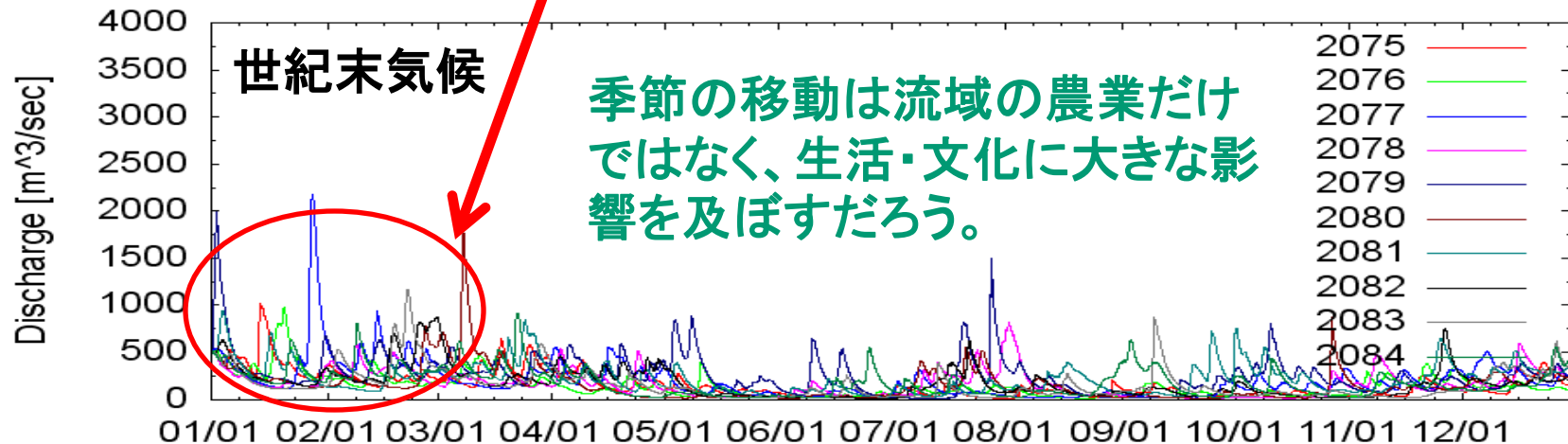
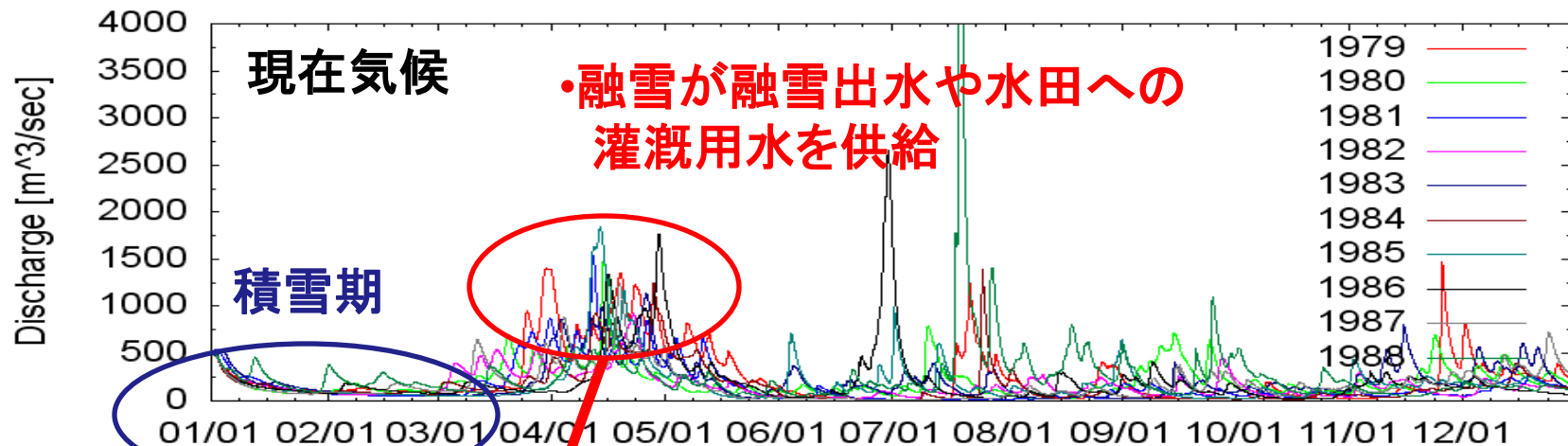
将来気候変化



河川流量変化(石狩大橋付近)



降雪・融雪への影響(最上川)



KAKUSHIN

By 立川ら, 2008

流域気候・河川流量変化予測(木曽川流域)

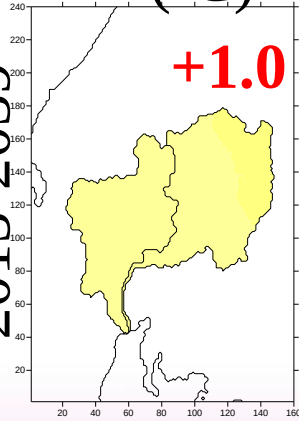
流域平均気温: 3.2°C 上昇

近未来

2015-2039

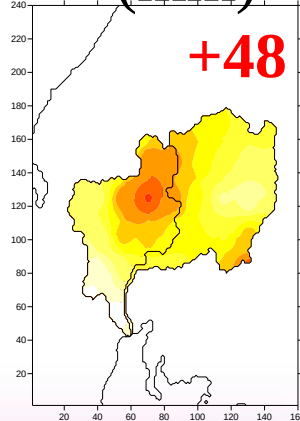
気温
($^{\circ}\text{C}$)

+1.0



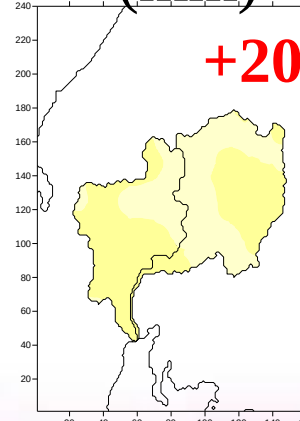
降水量
(mm)

+48



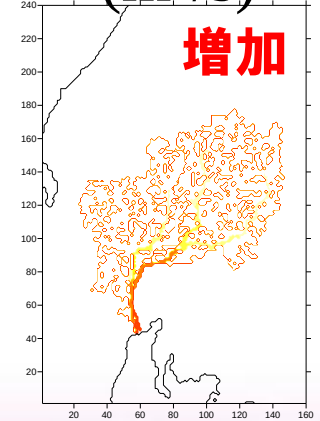
蒸発散量
(mm)

+20



河川流量
(m^3/s)

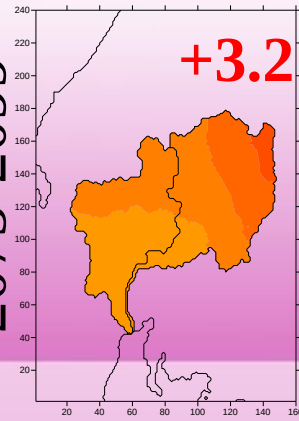
増加



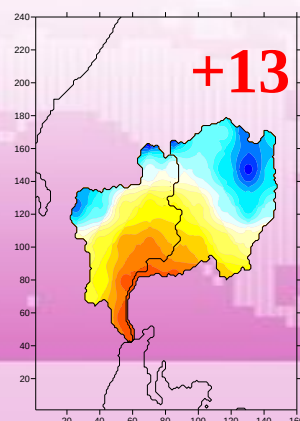
21世紀末

2075-2099

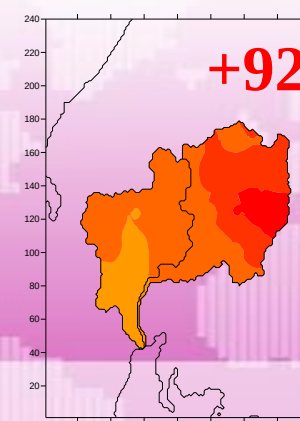
+3.2



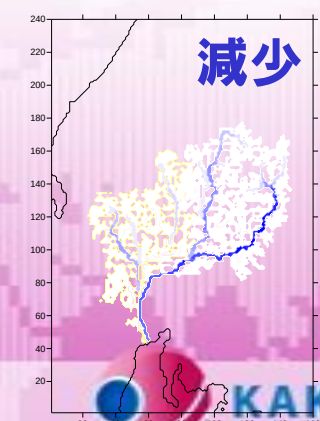
+13



+92



減少

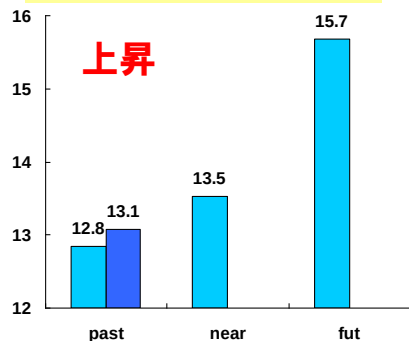


流域気候・河川流量変化予測(淀川流域)

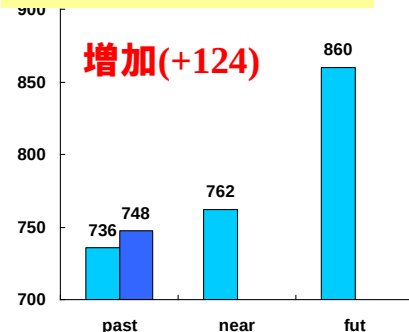
流域平均気温: 3.0°C 上昇

将来気候変化

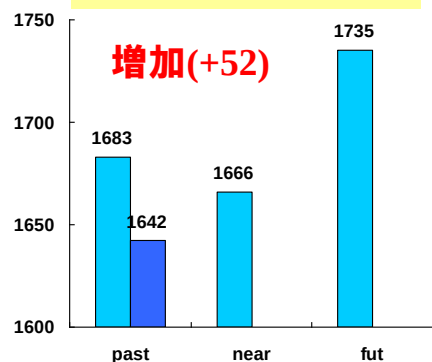
気温($^{\circ}\text{C}$)



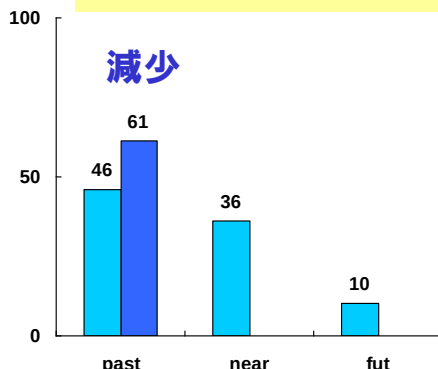
蒸発散量(mm)



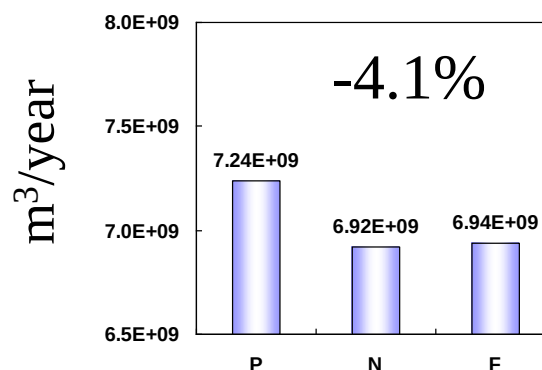
降水量(mm)



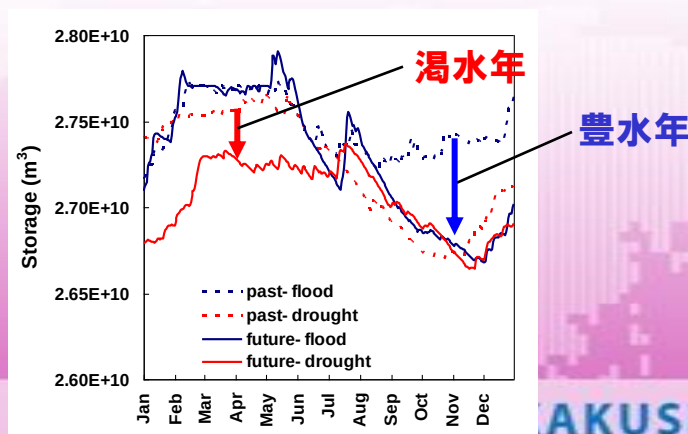
融雪量(mm)



河川流量変化(枚方付近)

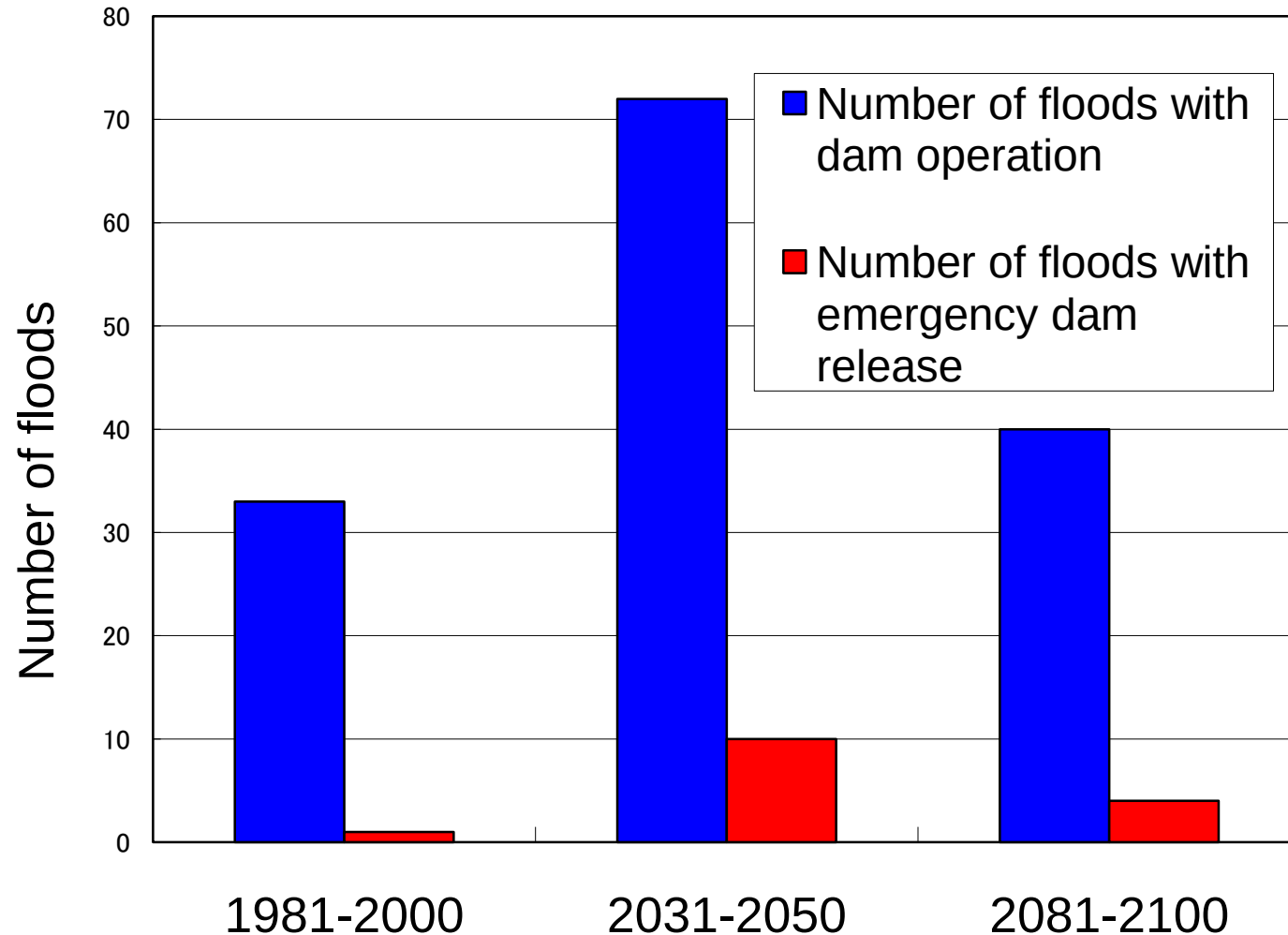


貯水量変化(琵琶湖)



ダム操作回数の算定結果(淀川流域)

気象庁気候統一シナリオ第2版, RCM20を入力とした予備的検討
(各気候30年間の長期計算結果)



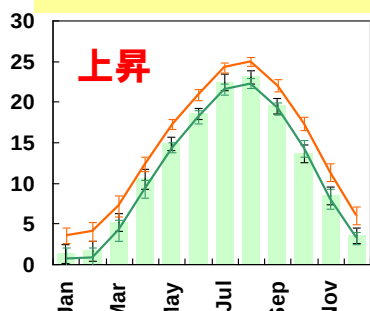
RCM20は日雨量系列を与えるので、確率モデルにより時間雨量系列を発生させた確率評価

流域気候・河川流量変化予測(吉野川流域)

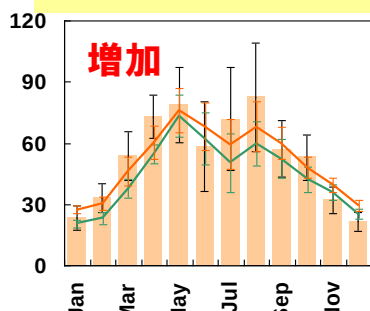
流域平均気温: 2.9°C上昇

将来気候変化

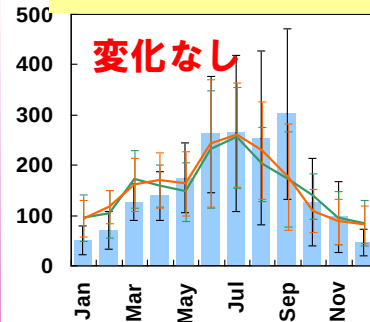
気温(°C)



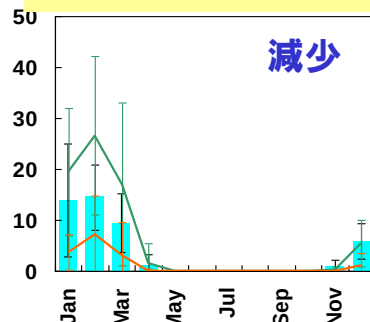
蒸発散量(mm)



降水量(mm)

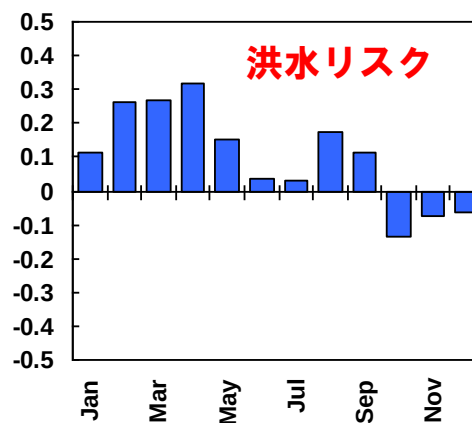


融雪量(mm)

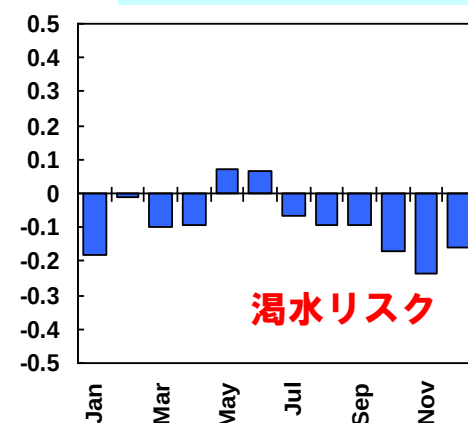


河川流量変化(岩津付近)

月最大流量



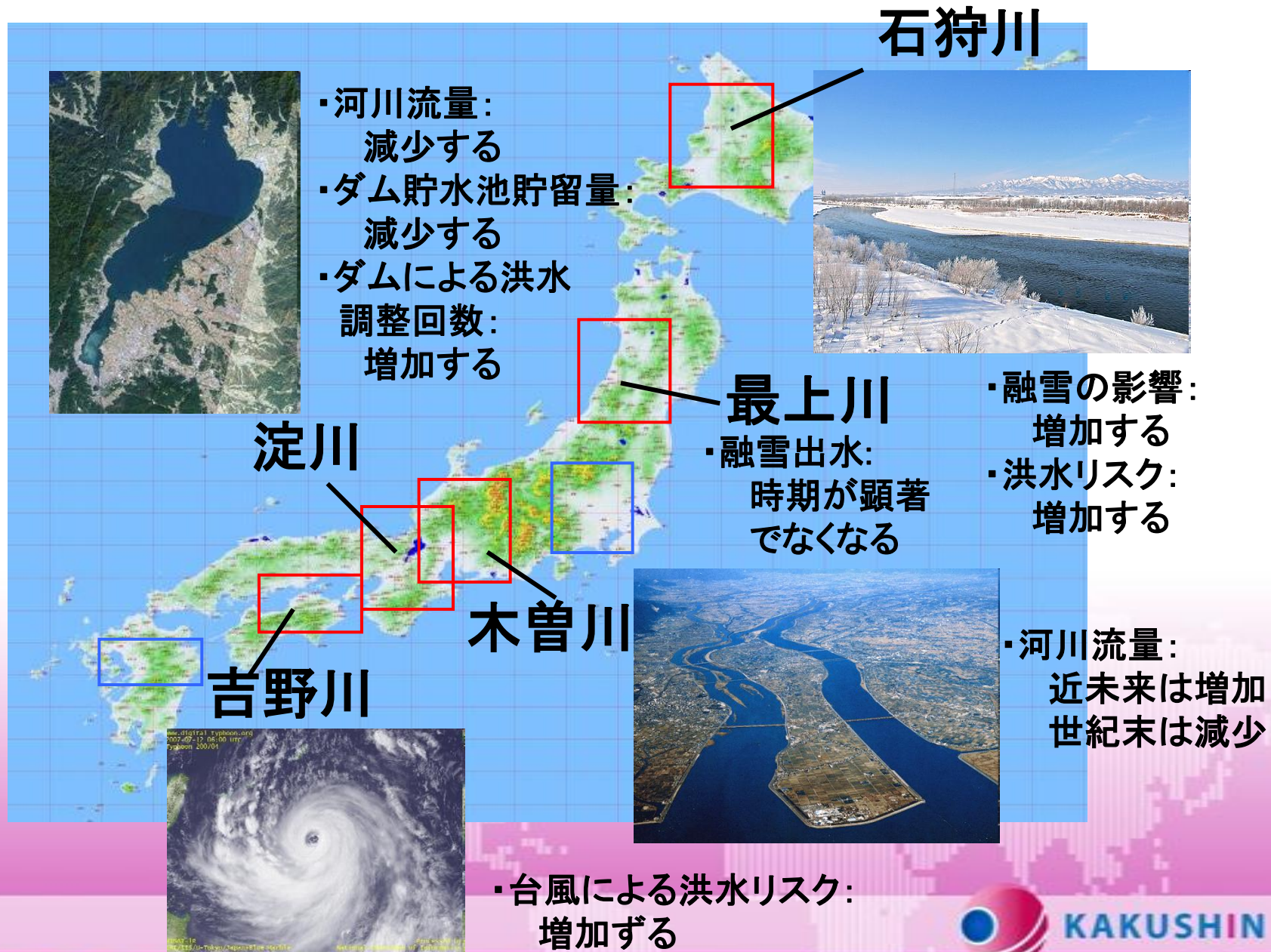
月最小流量



Bar: Observed(1981-2000)

Line: GCM(1981-2000)/GCM(2080-2099)

主要河川流域への温暖化の影響(まとめ)



1. 全球気候モデル、領域気候モデルと災害評価
2. 主要河川流域への温暖化の影響評価
3. 全国の河川流域への温暖化の影響
4. 短時間豪雨災害・土砂災害
5. 高潮・高波災害

3. 全国の河川流域への温暖化の影響



KAKUSHIN

全国の河川流域への温暖化の影響

流出発生量(GCM20のROFB+ROFS)



流出モデル
kinematic wave モデル

斜面グリッド

(集水面積 $< A_0$)

粗度係数 $n=n_{sl}$

河道グリッド

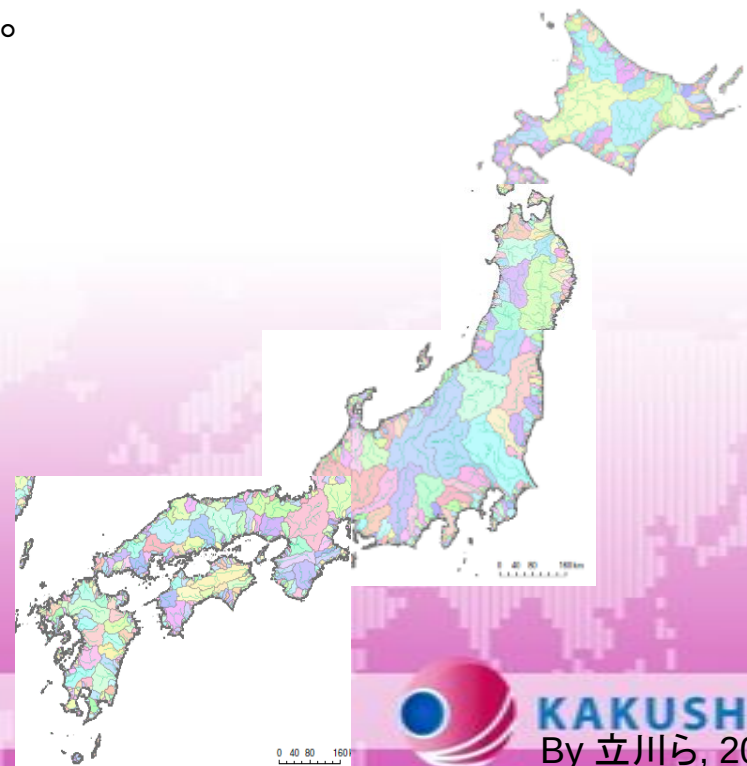
(集水面積 $\geq A_0$)

粗度係数 $n=n_{ch}$



河川流量

- 空間間隔: 30" ($\approx 1\text{km} \times 1\text{km}$)
- 擬河道網の作成には、全球数値標高モデルGTOPO30の標高データを用いる。
- 流下方向は、最急勾配法により8方位のうちから1方向に決定する。



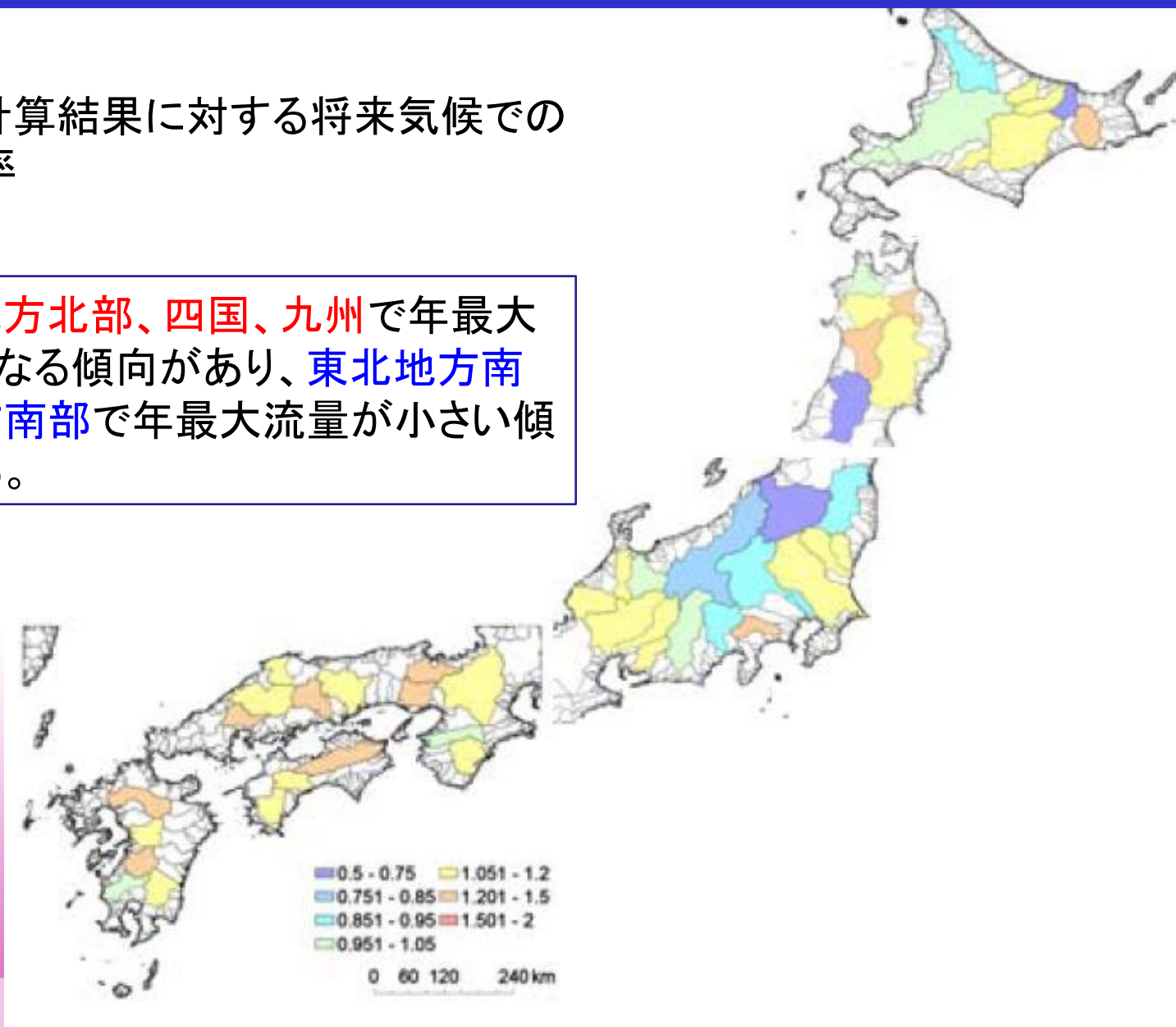
KAKUSHIN

By 立川ら, 2009

年最大流量の平均値の比較

現在気候での計算結果に対する将来気候での
計算結果の比率

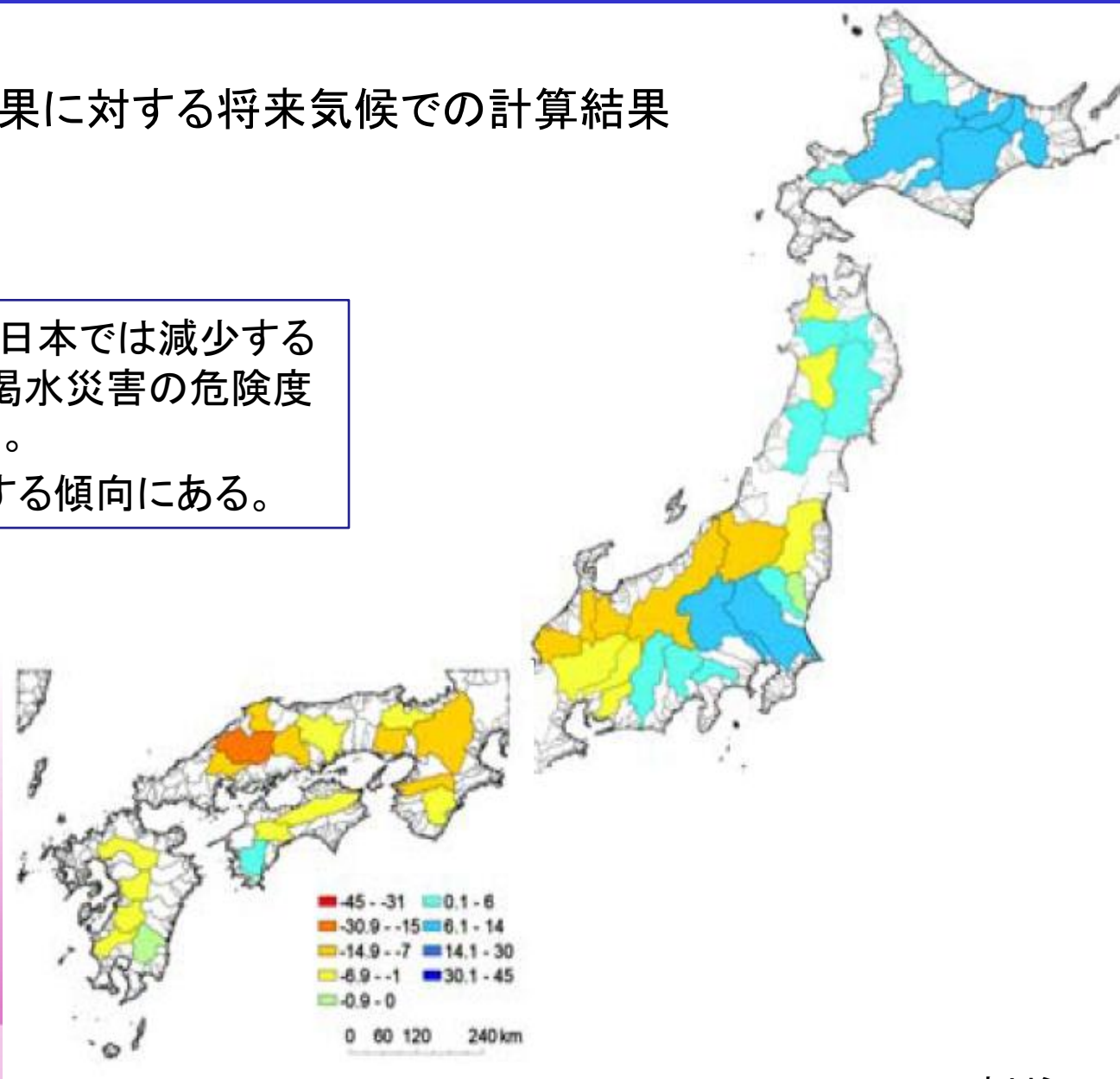
北海道、東北地方北部、四国、九州で年最大
流量が大きくなる傾向があり、東北地方南
部、近畿地方南部で年最大流量が小さい傾
向が見られる。



渇水流量を満たす日数の比較

(現在気候での計算結果に対する将来気候での計算結果の差)

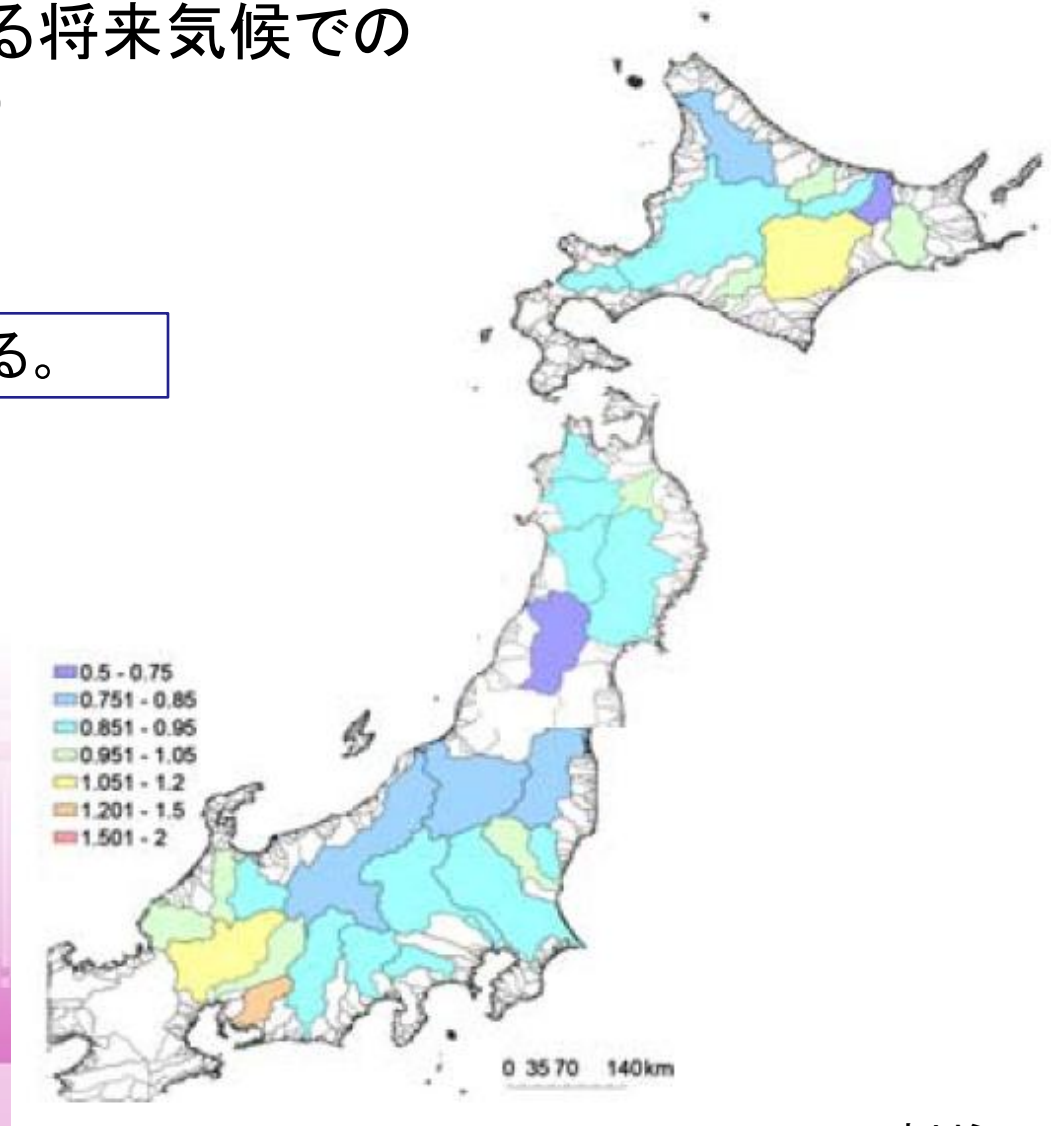
- 北陸、中部地方、西日本では減少する傾向にある。つまり渇水災害の危険度が高まる傾向にある。
- 関東以北では増加する傾向にある。



融雪期における最大流量の平均値の変化

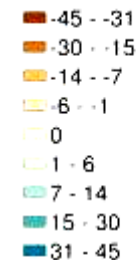
(現在気候での結果に対する将来気候での
結果の比率)

- 全体的に減少する傾向にある。



融雪期において最大流量が出現する日の比較

- どの流域も1か月程度、早まる傾向にある。



北海道



0 50 100 200km

東北



0 25 50 100km

中部



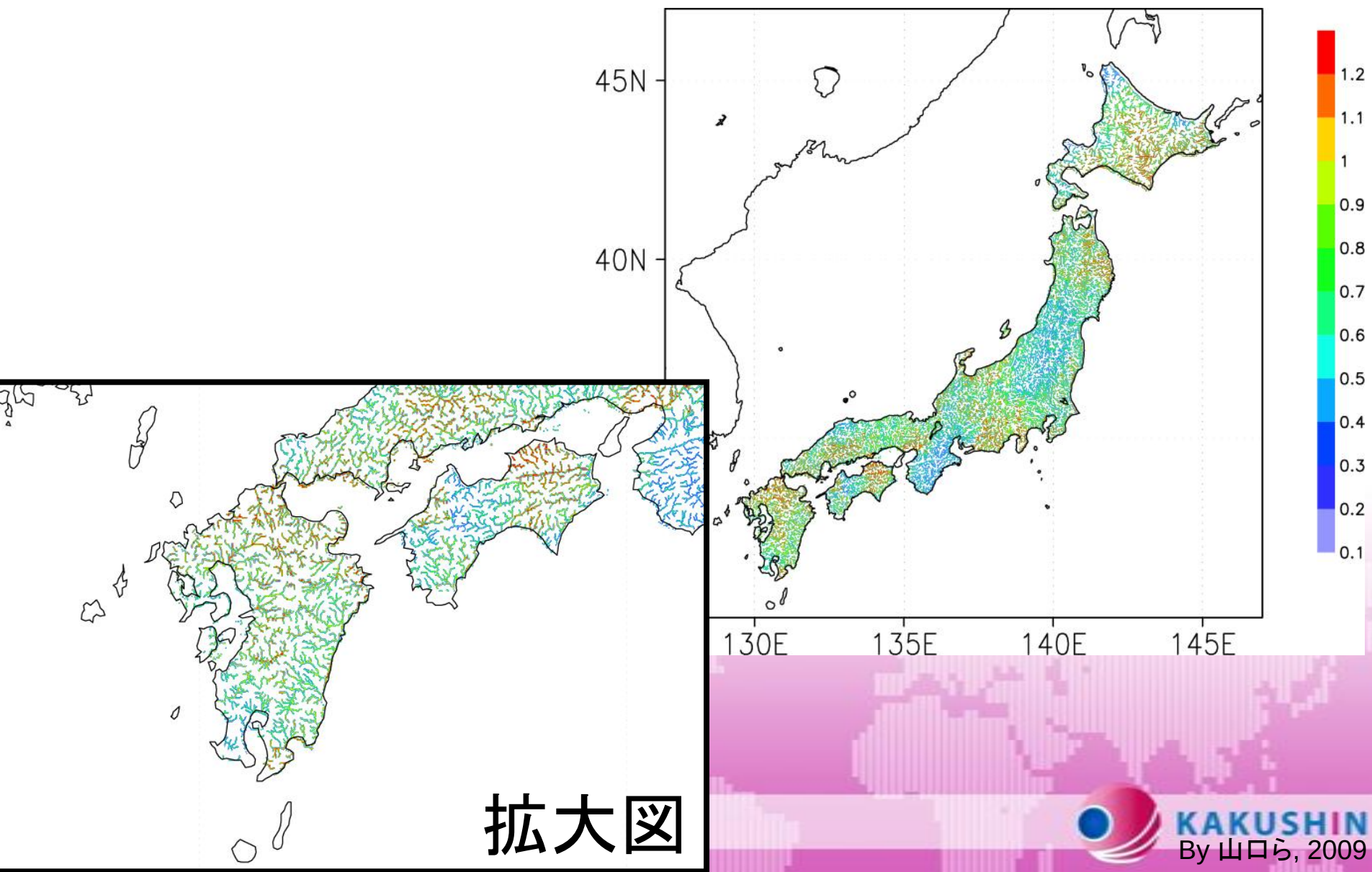
0 35 70 140km



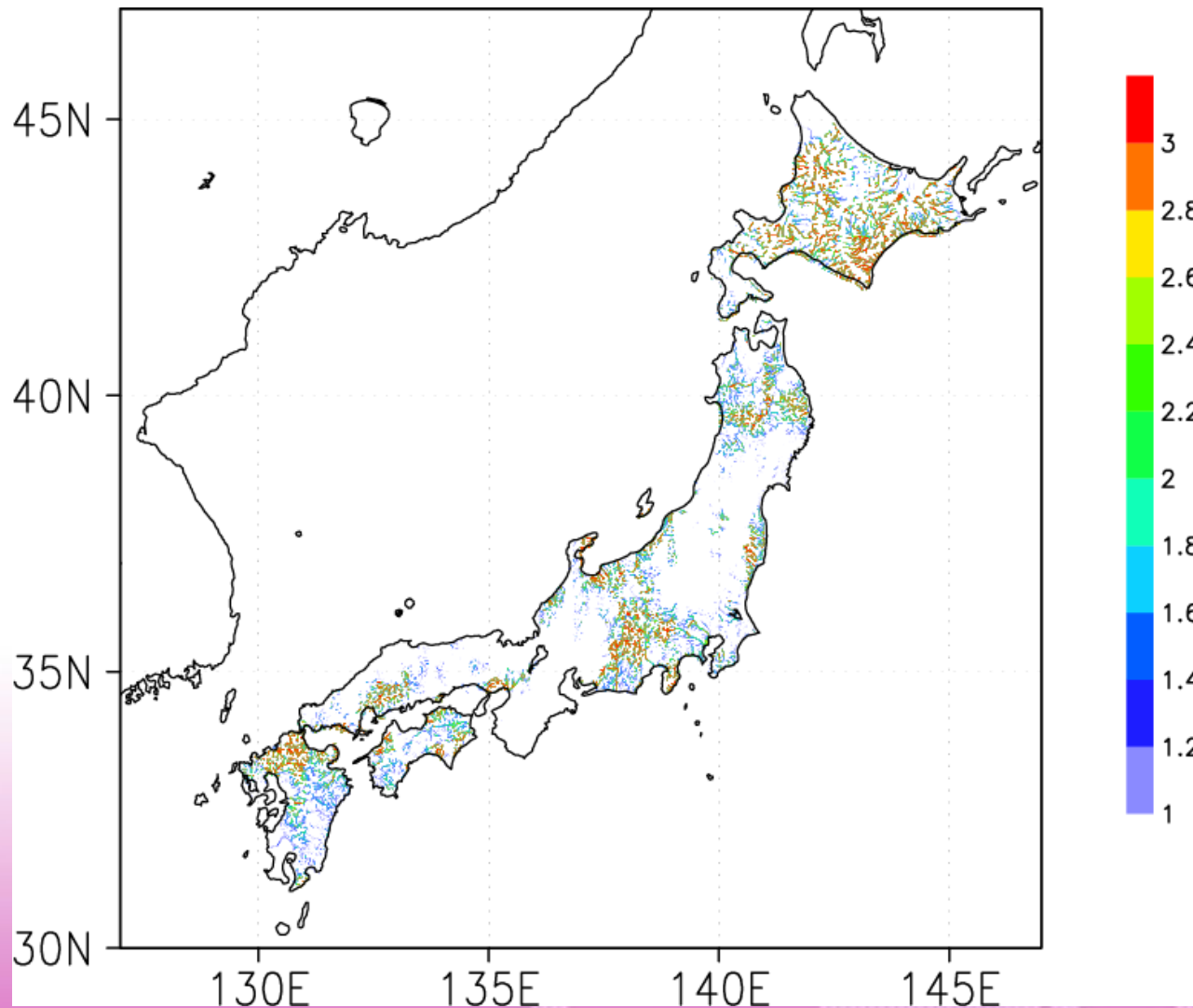
KAKUSHIN

By 立川ら, 2009

流域内の年最大流量の増加割合



流域内の年最大流量の標準偏差の増加割合



KAKUSHIN

By 山口ら, 2009

全国の河川流域への温暖化の影響(まとめ)

年平均流量

- 顕著な変化は見られない。

年最大流量

- 北海道、東北地方北部、四国、九州で年最大流量が大きくなる傾向があり、東北地方南部、近畿地方南部で年最大流量が小さい傾向が見られる。
- 北海道、東北地方北部、中部地方東部、四国、九州で年最大流量の分散の増大が認められた(有意水準:5%)が、年最大流量の平均値の増加は認められなかった(有意水準:5%)。

渇水期の流況

- 北陸、中部地方、西日本では現在気候における渇水流量を満たす日数が減少する傾向にある。つまり渇水災害の危険度が高まる傾向にある。

融雪期の流況

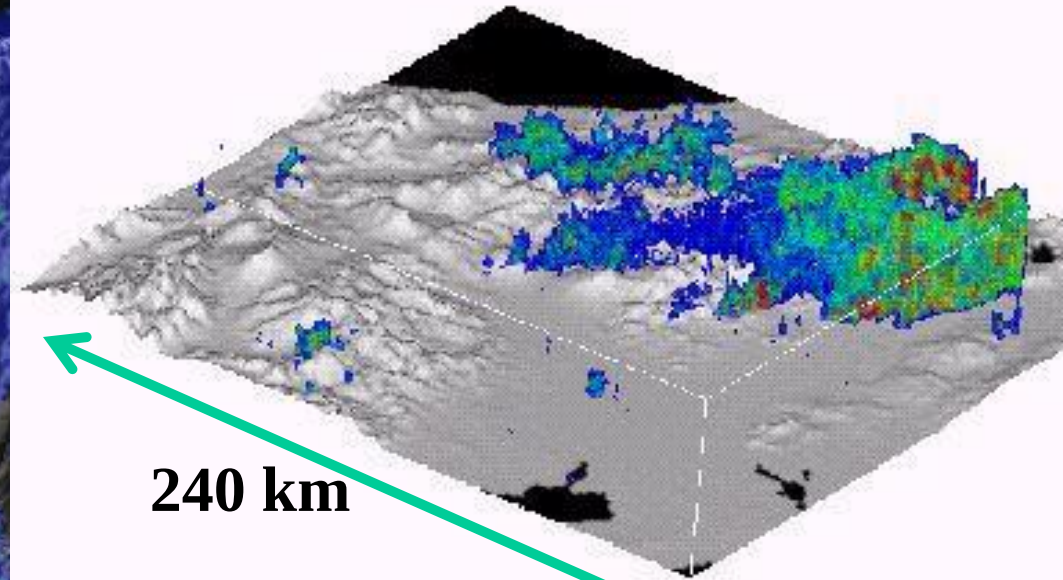
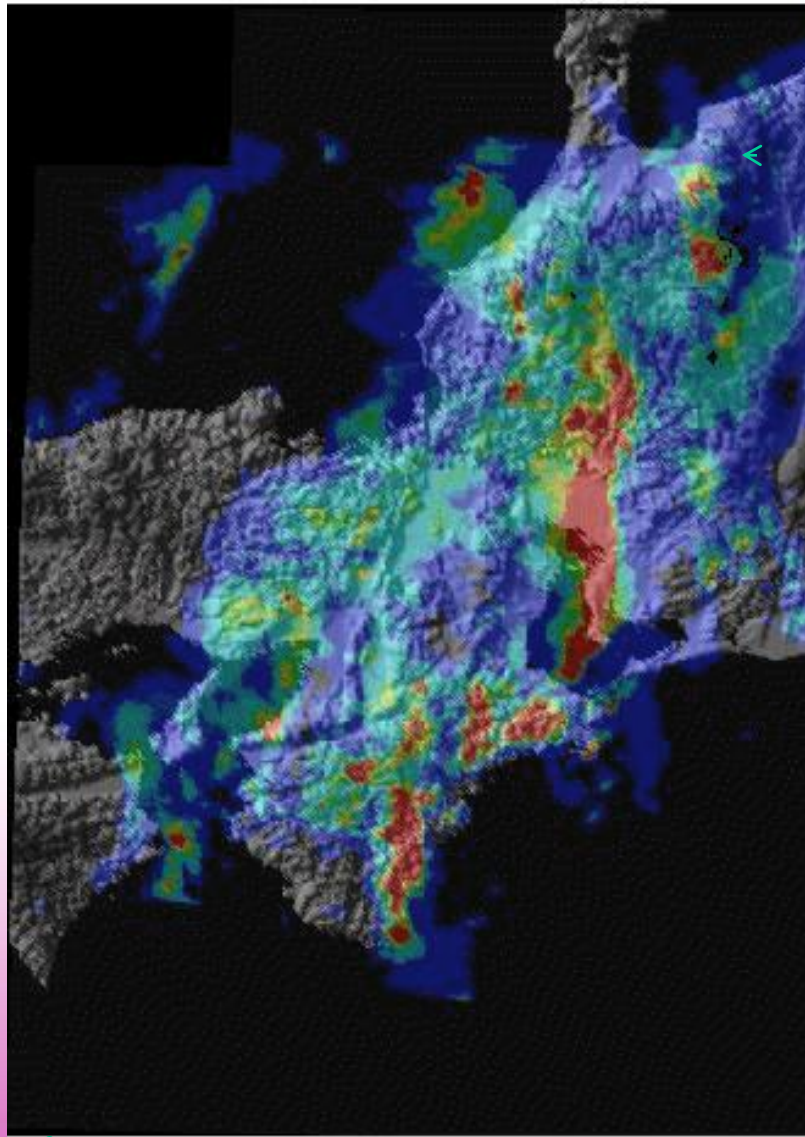
- 全国的に、融雪量は減少し、一ヶ月程度、融雪量のピーク発生時期が早まる傾向にある。

1. 全球気候モデル、領域気候モデルと災害評価
2. 主要河川流域への温暖化の影響評価
3. 全国の河川流域への温暖化の影響
4. 短時間豪雨災害・土砂災害
5. 高潮・高波災害

4. **短時間**豪雨災害・土砂災害



通常の集中豪雨



240 km



563 km



KAKUSHIN

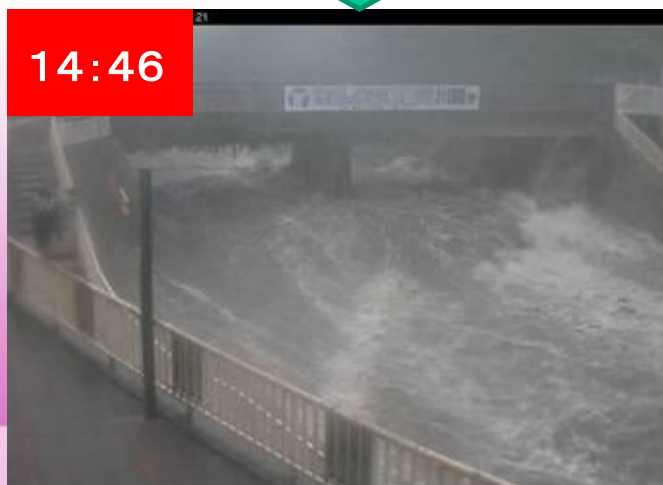
ゲリラ豪雨災害(2008)

7月28日 (都賀側, 神戸)

8月5日 (雑司ヶ谷, 東京)

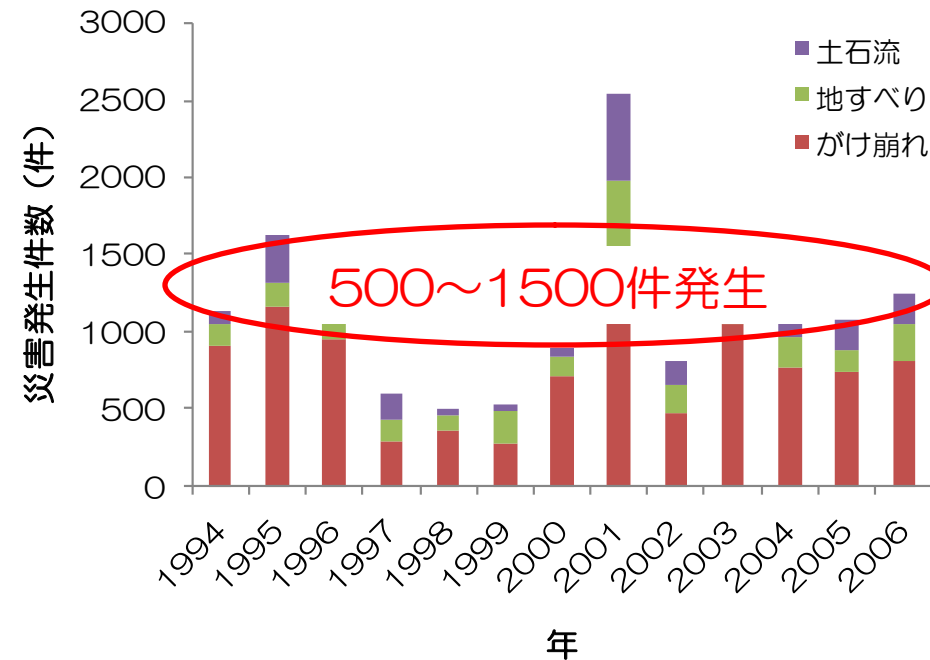


10 分後



土砂災害

● 土砂災害の発生件数



地形・地質要因

⇒国土の70%が山地地形

外力要因（降雨、地震、融雪など）

⇒年降水量1700mm（世界の2倍）、

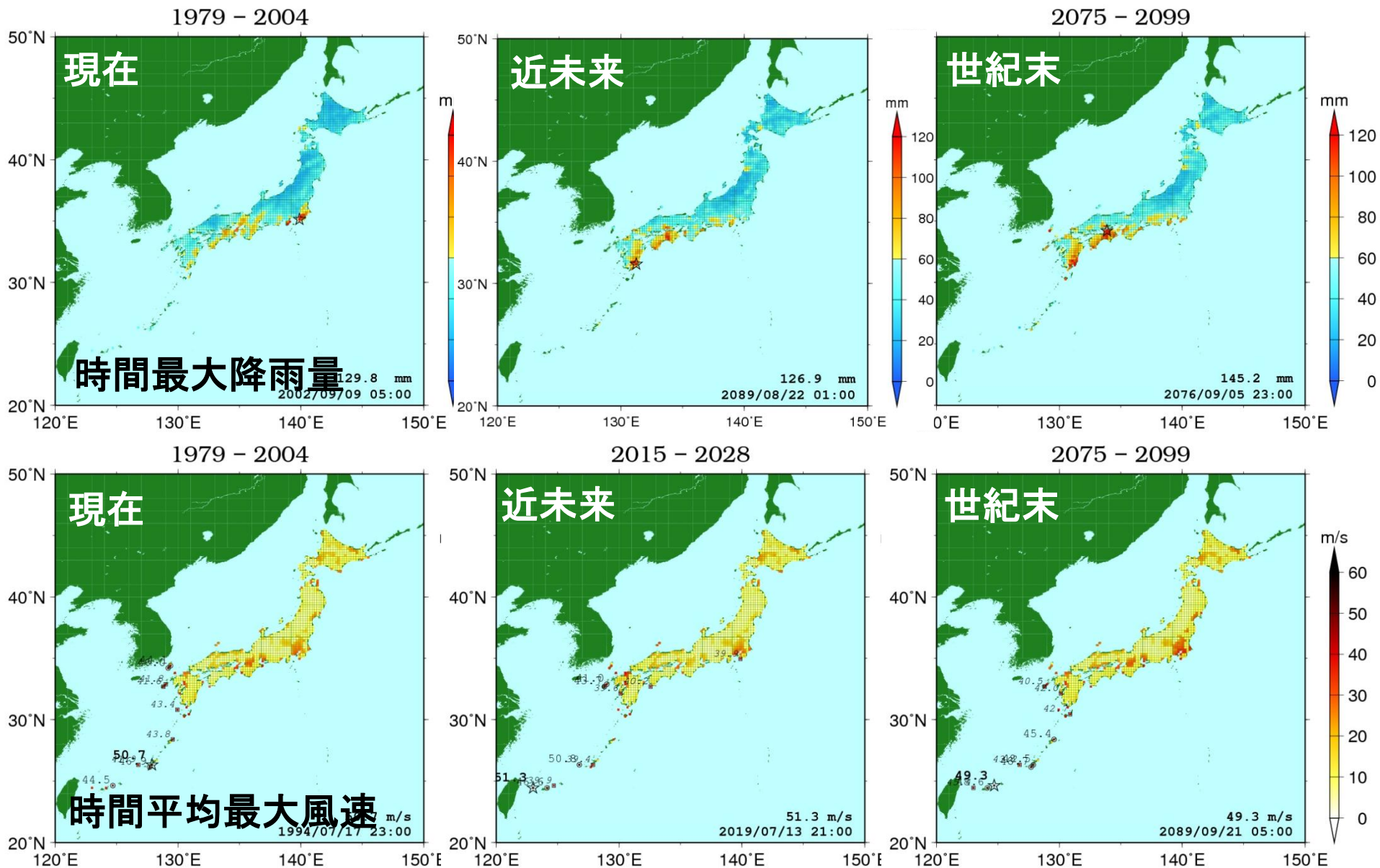
⇒梅雨・台風期に集中。

今後、気候変動により雨の規模・降り方がどのように変化していくのか？



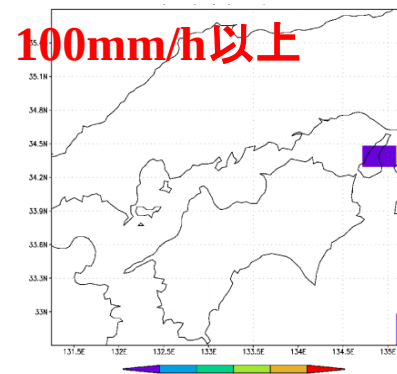
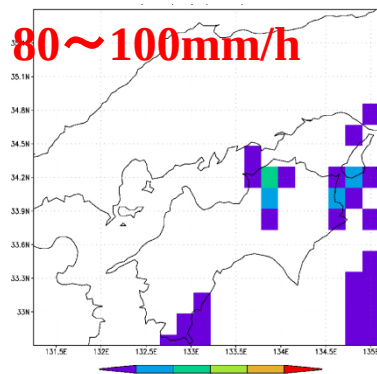
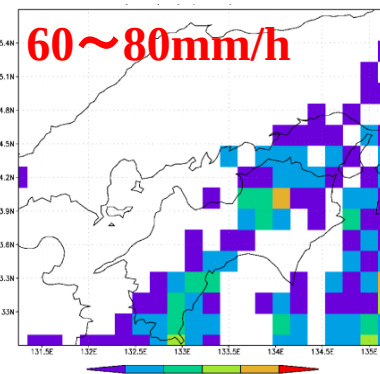
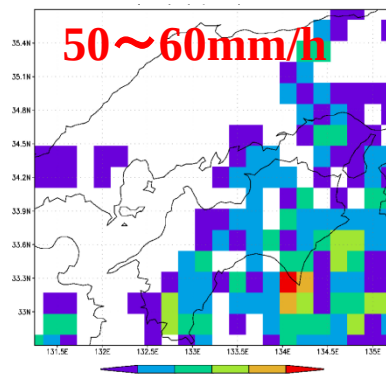
斜面崩壊の形態がどのように変化するか？

20kmGCM Maximum Value (Japan)

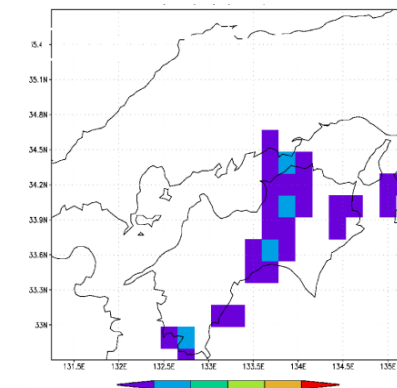
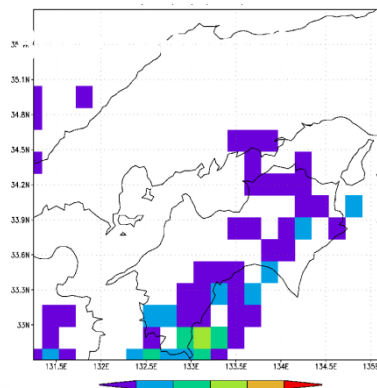
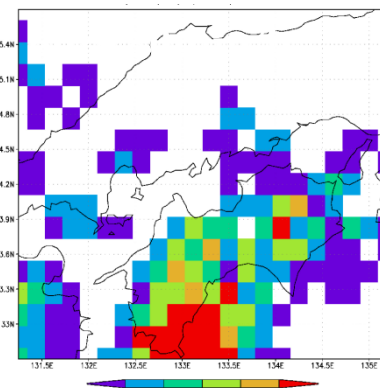
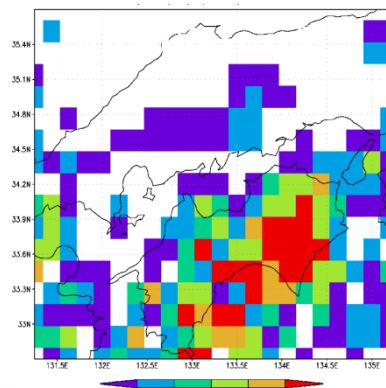


中国・四国地方の1時間豪雨の発生頻度の変化

現在気候

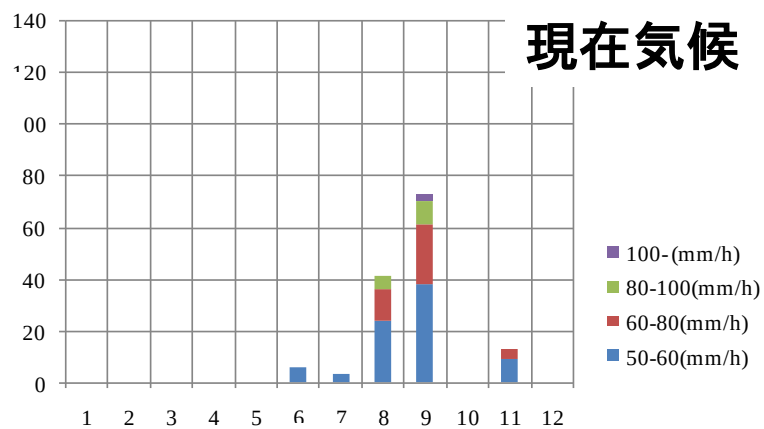


世紀末気候



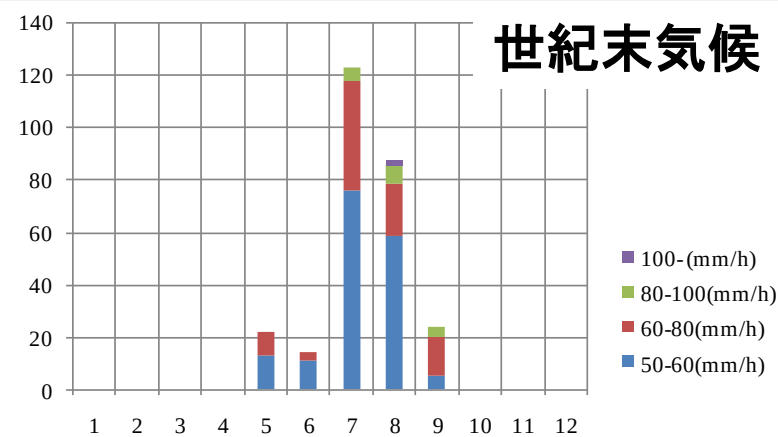
発生頻度

現在気候



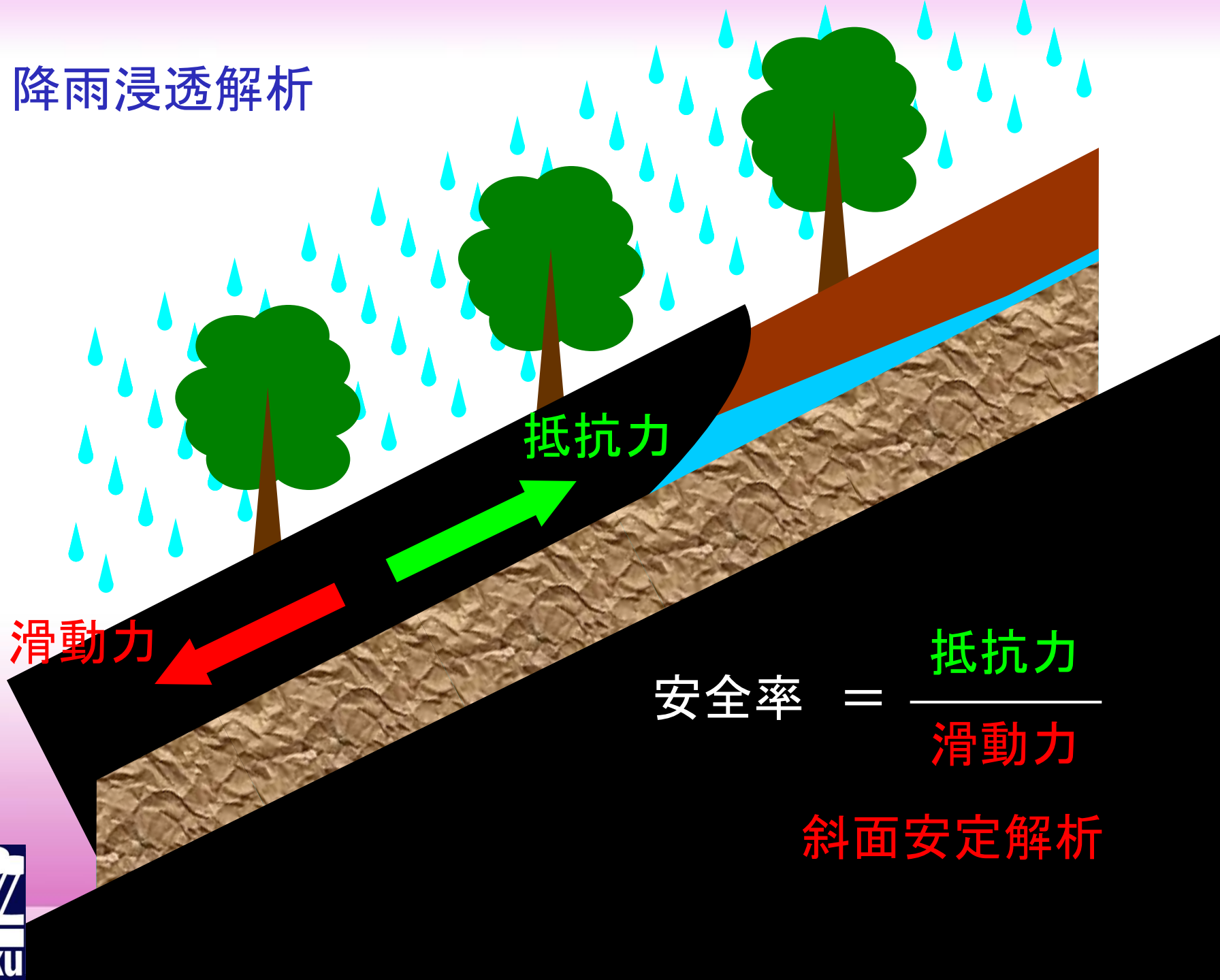
月

世紀末気候



月

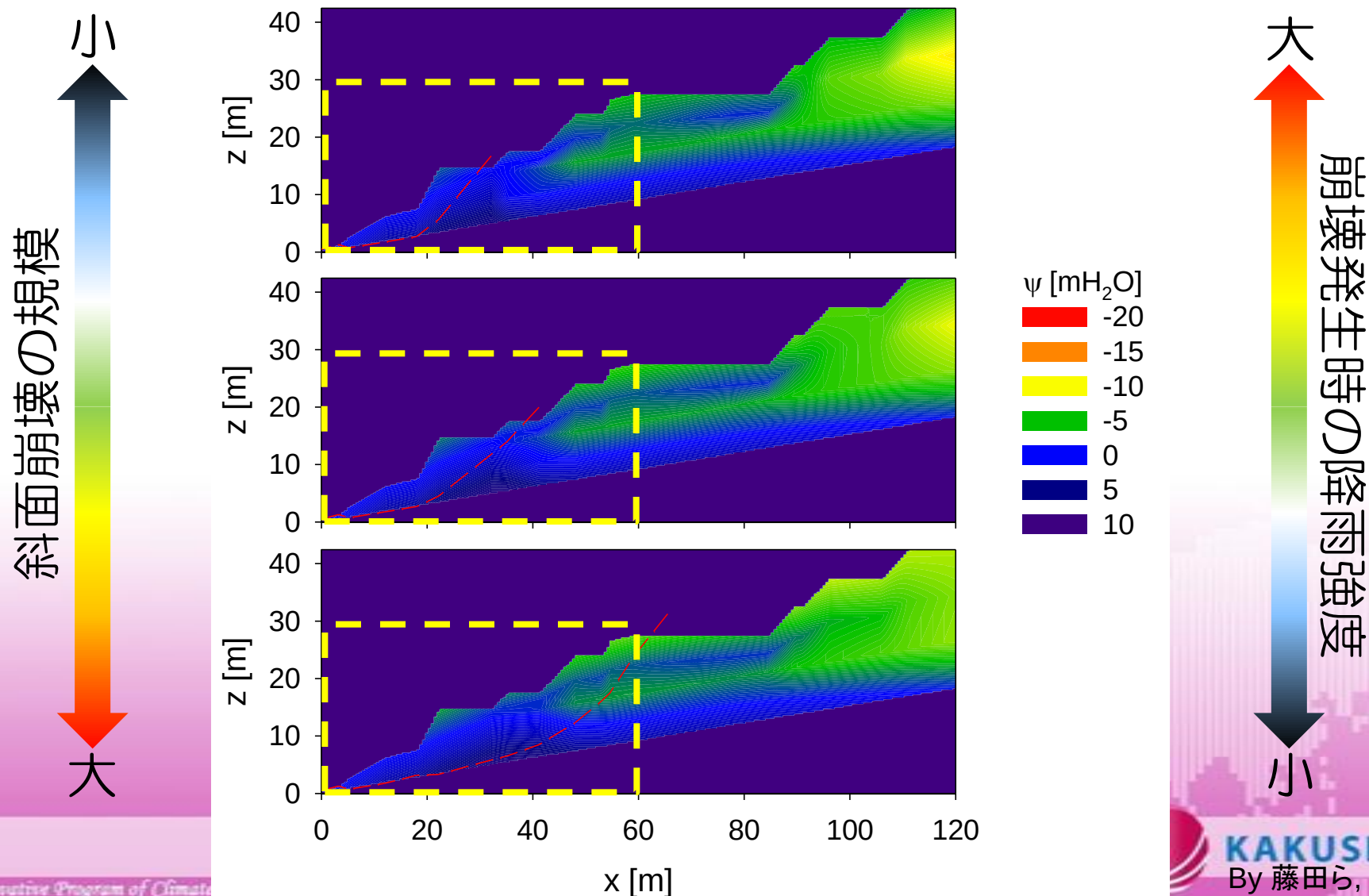
降雨浸透解析



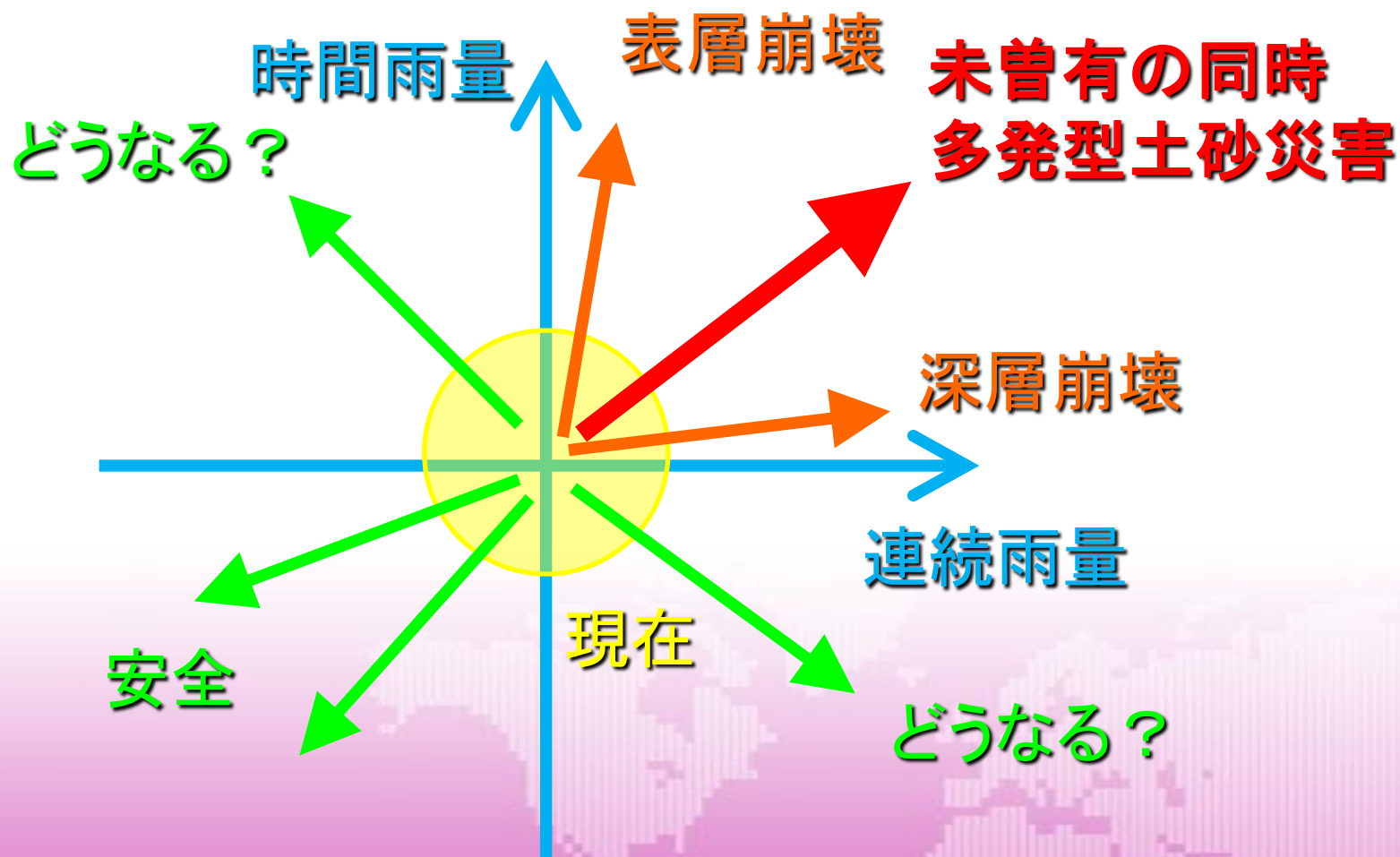
シナリオ②に対する検討

● 斜面崩壊の規模は、短期降雨に支配されているのか？

→土層内の水分状態はどうなっているのか？



降雨条件の変化の方向性



一雨総降水量と一雨最大時間降水量との関係

- 横軸は一雨の総降水量，縦軸は一雨の最大時間降水量
- 色は頻度（白が頻度0，水色から紫になるほど高頻度）
- 図中の赤色矢印は降水量に関してオーバーレンジしたもの
- 地点は下の地図における+の地点
- 期間は現在（1979-2003年）・将来（2075-2099年）気候ともに25年
- 「一雨」は時間降水量0.1mm以上が継続している時間で定義

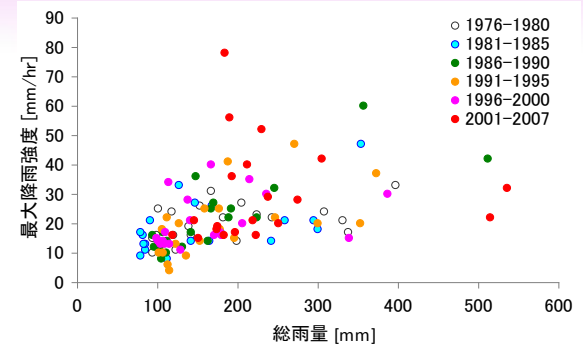
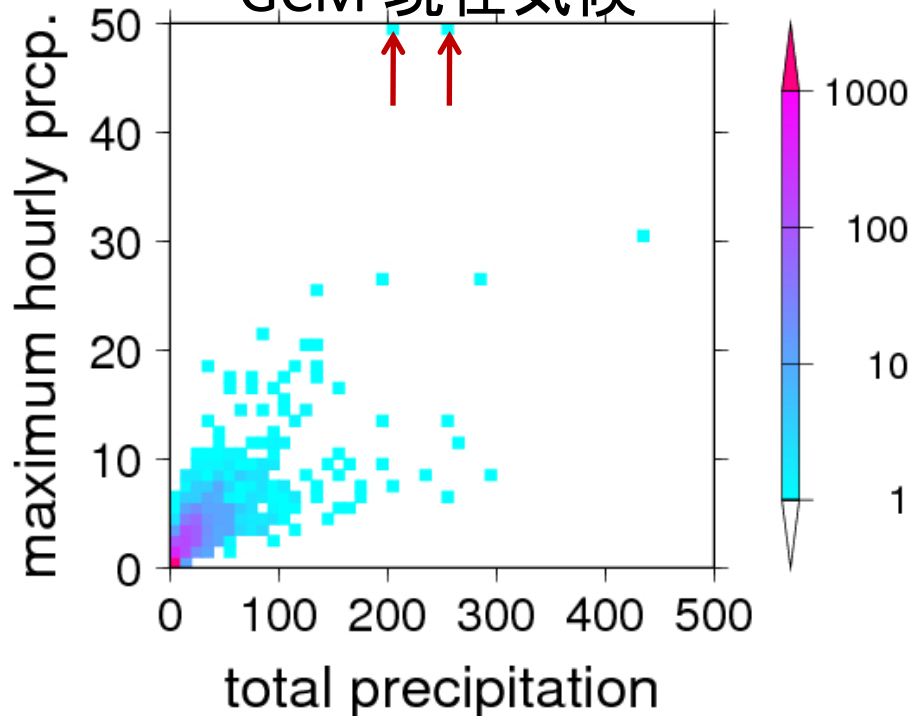


図4 最大降雨強度と一雨総雨量の関係

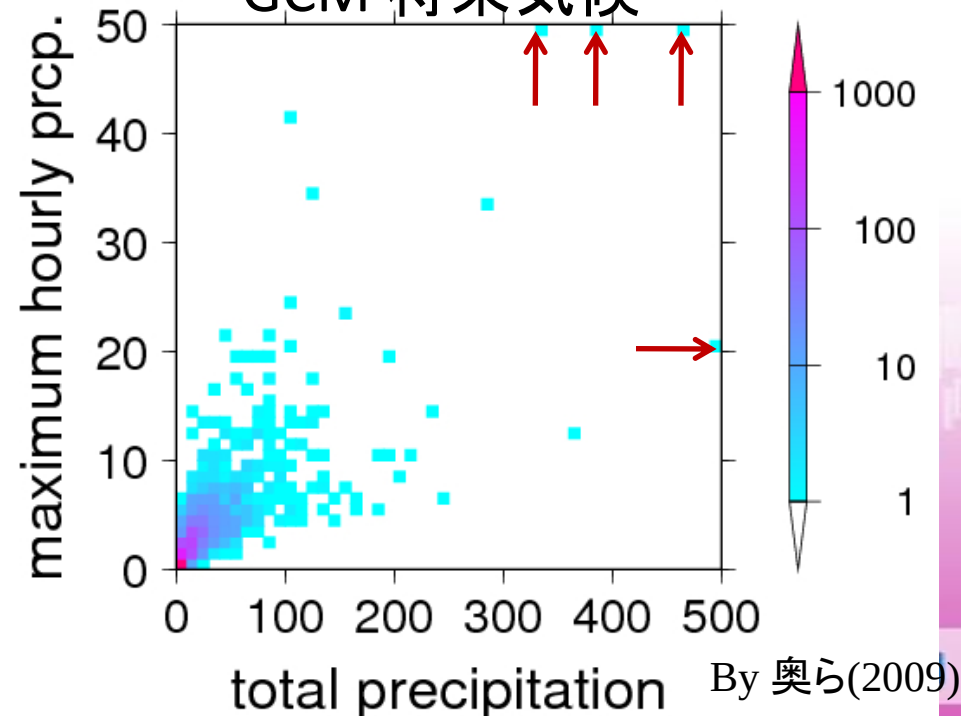
観測

革新プロ報告書 藤田先生担当部分から引用

GCM 現在気候



GCM 将来気候

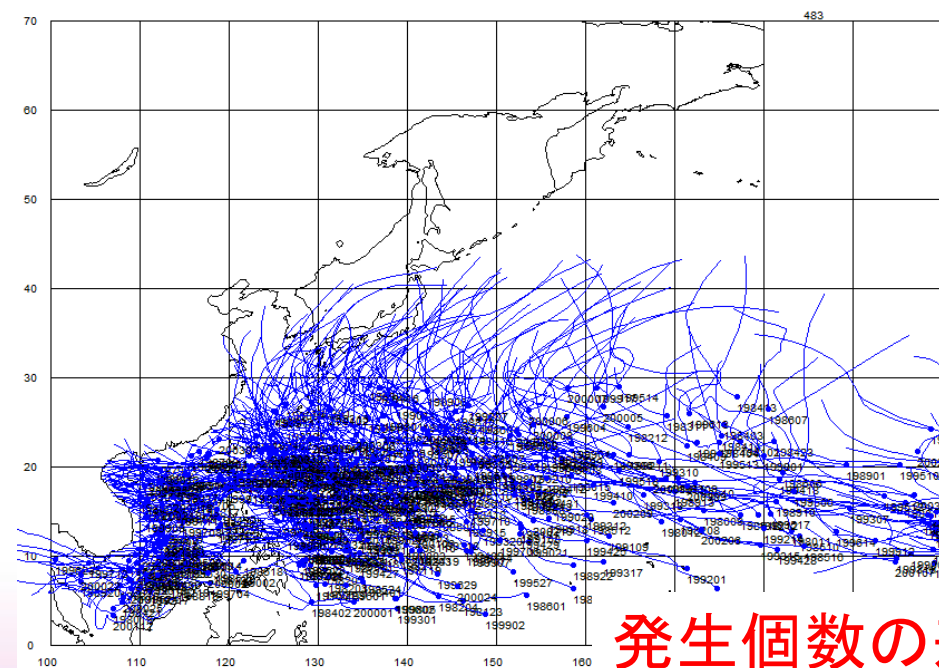


By 奥ら(2009)

1. 全球気候モデル、領域気候モデルと災害評価
2. 主要河川流域への温暖化の影響評価
3. 全国の河川流域への温暖化の影響
4. 短時間豪雨災害・土砂災害
5. 高潮・高波災害

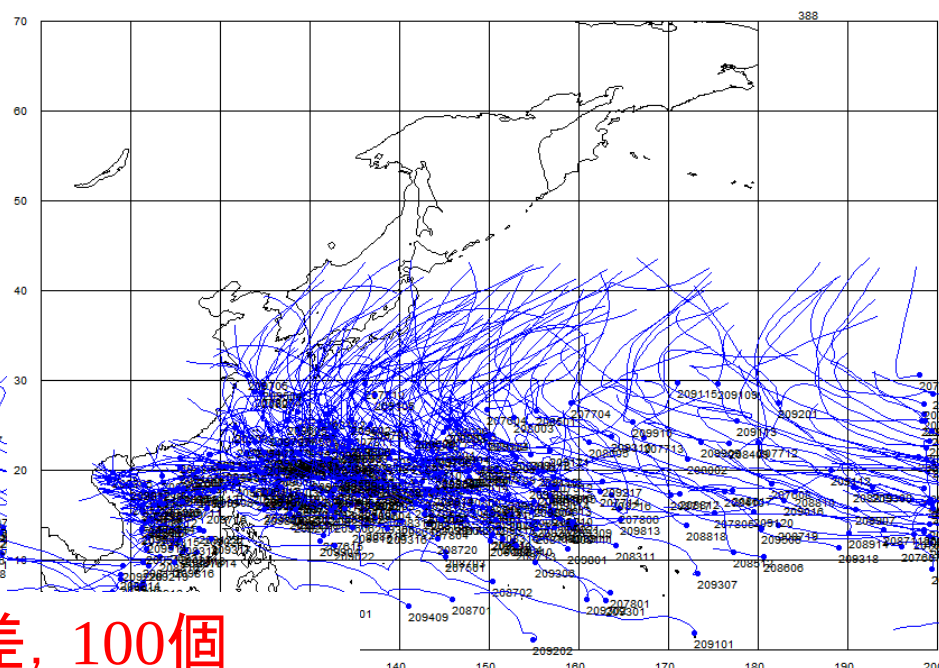
5. 高潮・高波災害

台風経路の比較(GCM現在と将来, 25年間)



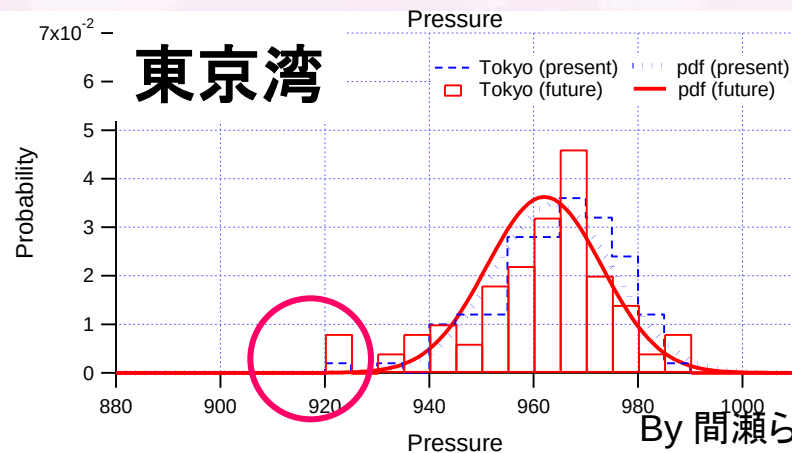
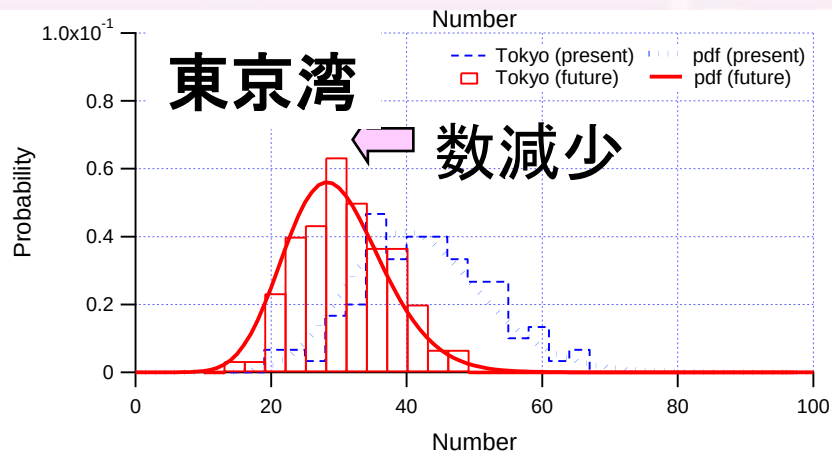
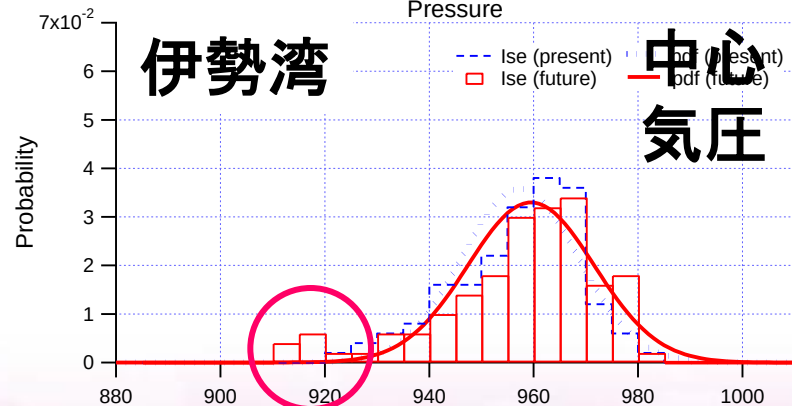
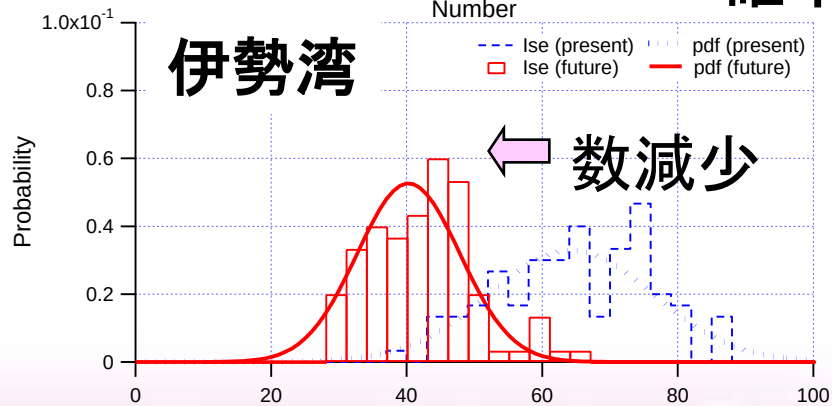
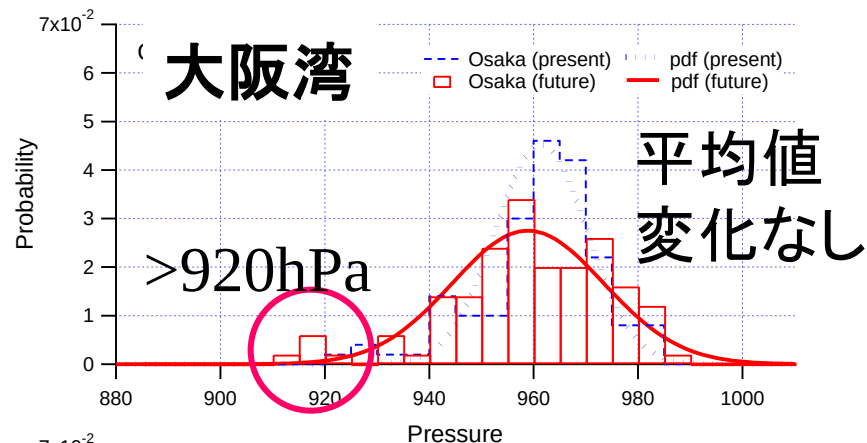
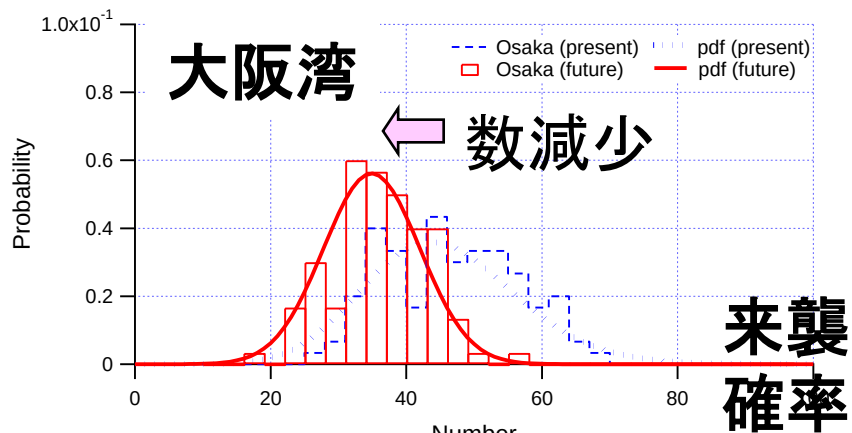
発生個数の差, 100個
年平均, 約4個減少

1979~2003: GCM現在気候
発生個数: 483個
平均: 19.32個/年

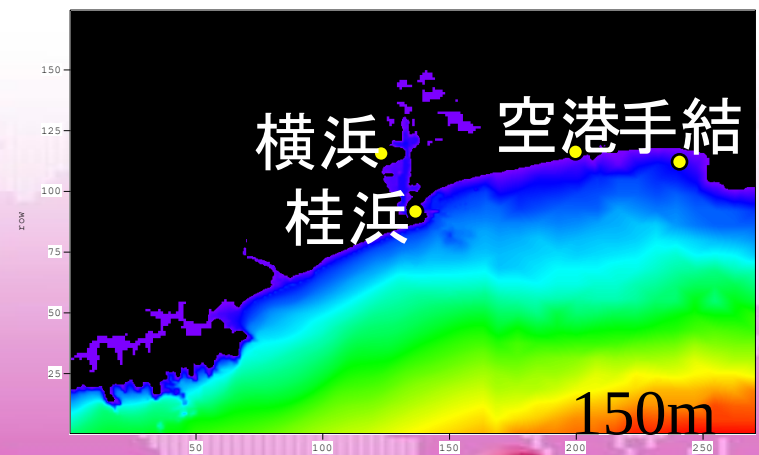
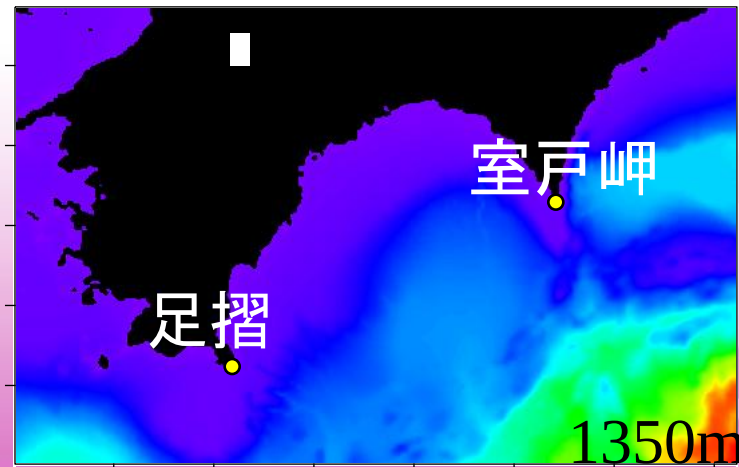
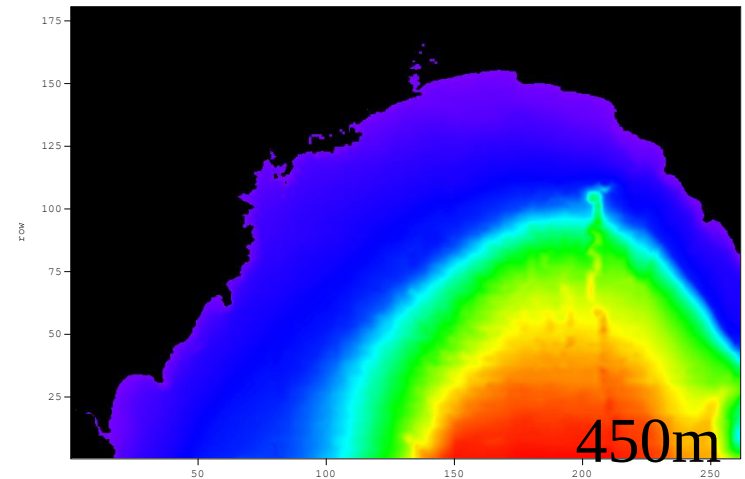
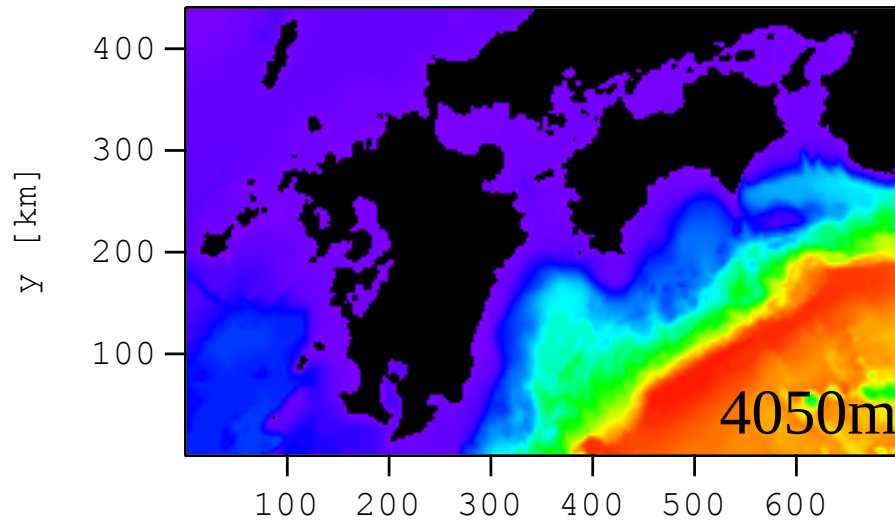


2075~2099: GCM将来気候
発生個数: 388個
平均: 15.52個/年

三大湾への台風来襲確率と中心気圧の変化



台風0710号による高潮再現計算への適用例



まとめ

- 気候モデルと災害評価の関係を示した。
- 20kmGCM出力を用いた、主に河川流量への影響評価を示した。
- 今後は、RCM(領域気候モデル)を用いた影響評価をまとめる予定であるが、災害への適応策を考えて行く上では、以下の視点が大事である。
 - サンプル数が限られた中という前提で確率評価を解釈すべきである。
 - 近未来は定量的、世紀末は定性的評価であると考えた方が良い。
 - 確率評価結果だけではなく、過去の大規模現象が将来起きたらどうなるかという疑似温暖化実験結果によるシナリオベースの適応策考案も重要である。

ご静聴ありがとうございました