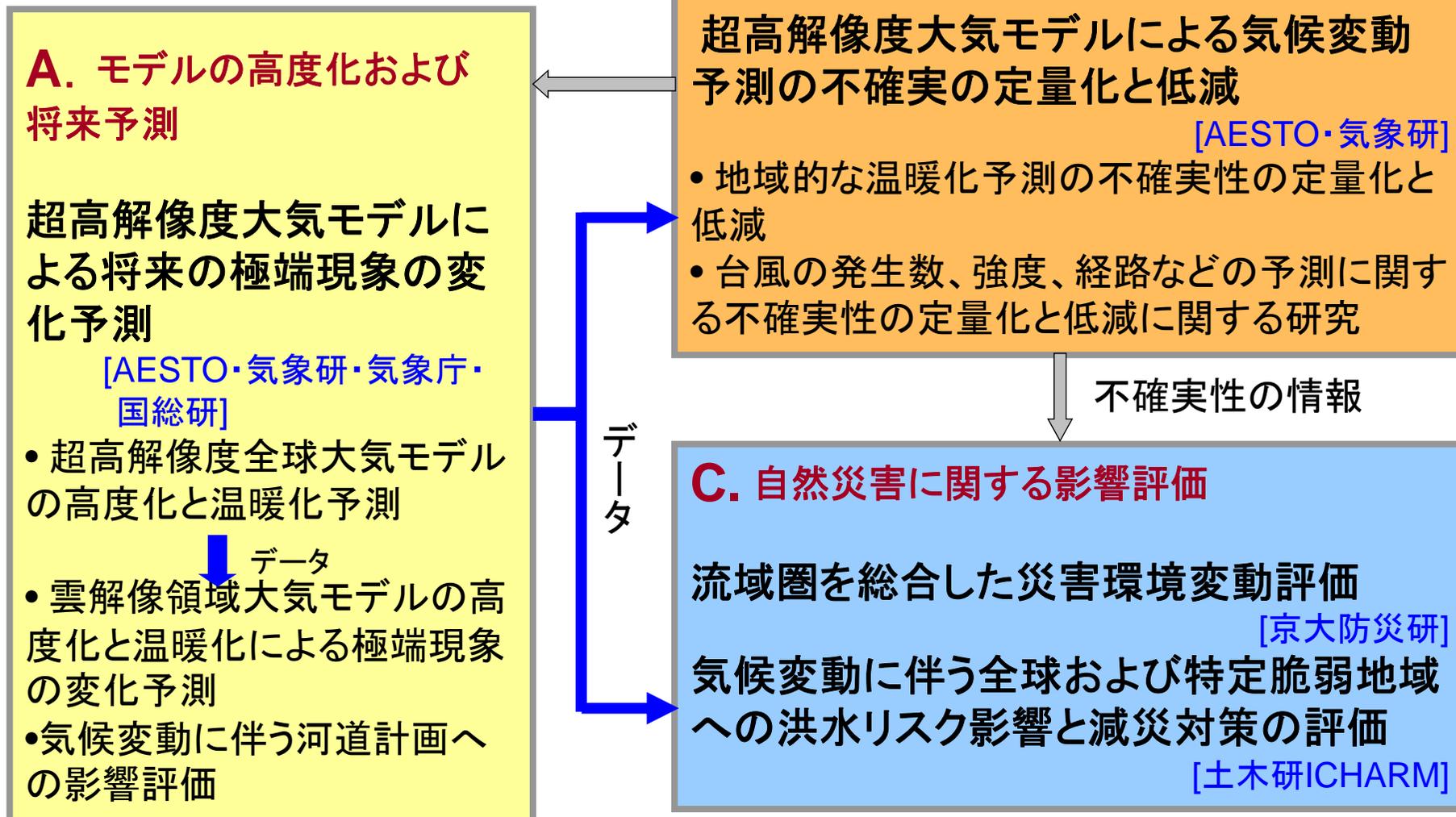


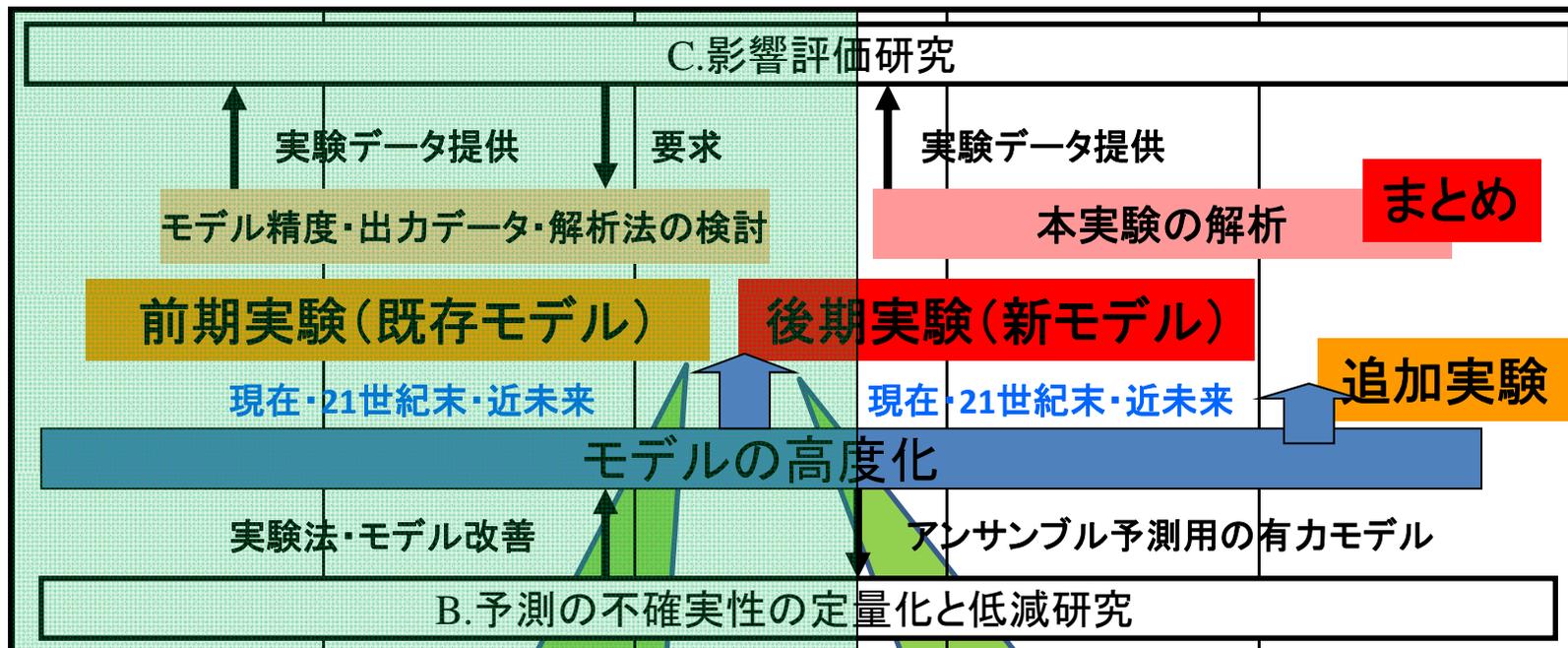
# 超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の 変化予測および影響評価に関する研究

## 革新チーム3: 極端現象予測



# A 研究実施計画 (2010年1月版)

19                      20                      21                      22                      23年度



平成21年度(2009年度)の計画

IPCC AR5

I.  
近未来実験を含めた  
前期実験の解析

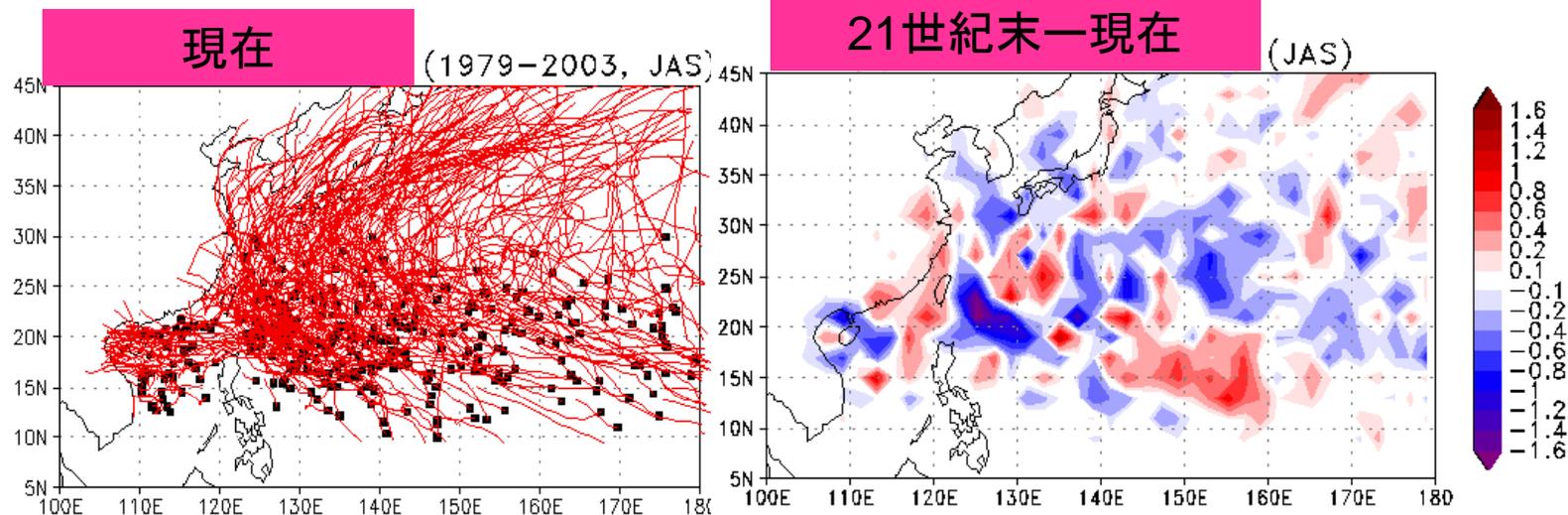
II.  
新全球モデル・領域モデル  
による後期実験の開始

I.

# 前期全球20kmモデル実験の解析

# 北西太平洋岸への 熱帯低気圧接近数の再現性と将来変化

熱帯  
低気圧  
存在頻度



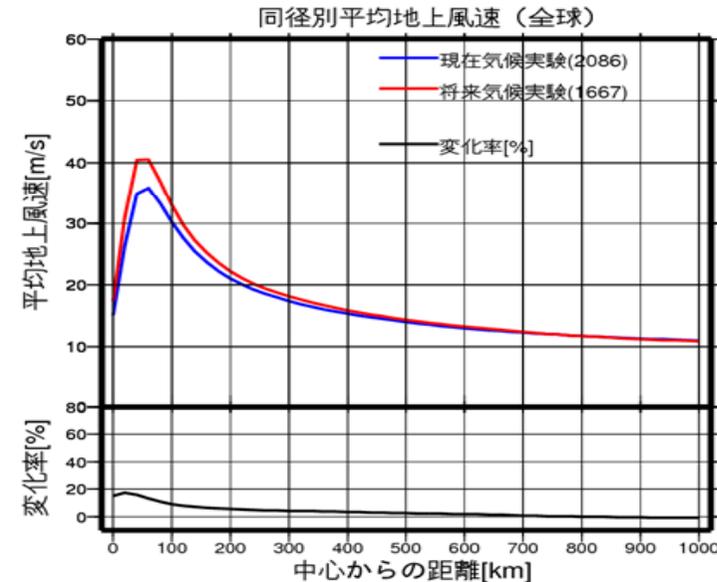
沿岸接近  
積算日数

Region	観測 (1979-2003)	現在気候実験 (1979-2003)	将来気候実験 (2075-2099)	将来-現在	差の統計的 有意性
East Japan	44.00	65.00	53.75	-11.25 (-17.3%)	
West Japan	124.00	119.00	95.50	-23.50 (-19.7%)	#90%
Korea	31.25	34.25	25.75	-8.50 (-24.8%)	
North China	15.00	18.50	24.75	+6.25 (+33.8%)	
Middle China	53.00	32.50	51.25	+18.75 (+57.7%)	
South China	194.00	147.25	134.00	-13.25 (-9.0%)	
Taiwan	70.00	55.50	59.50	+4.00 (+7.2%)	
Southeast Asia	40.50	94.75	53.50	-41.25 (-43.5%)	#99%
Philippine	145.00	66.75	51.25	-15.50 (-23.2%)	

# 北西太平洋沿岸接近時の 熱帯低気圧の最大風速再現性と将来変化

同径別  
全球平均地上風速

現在気候実験と将来気候実験  
の比較



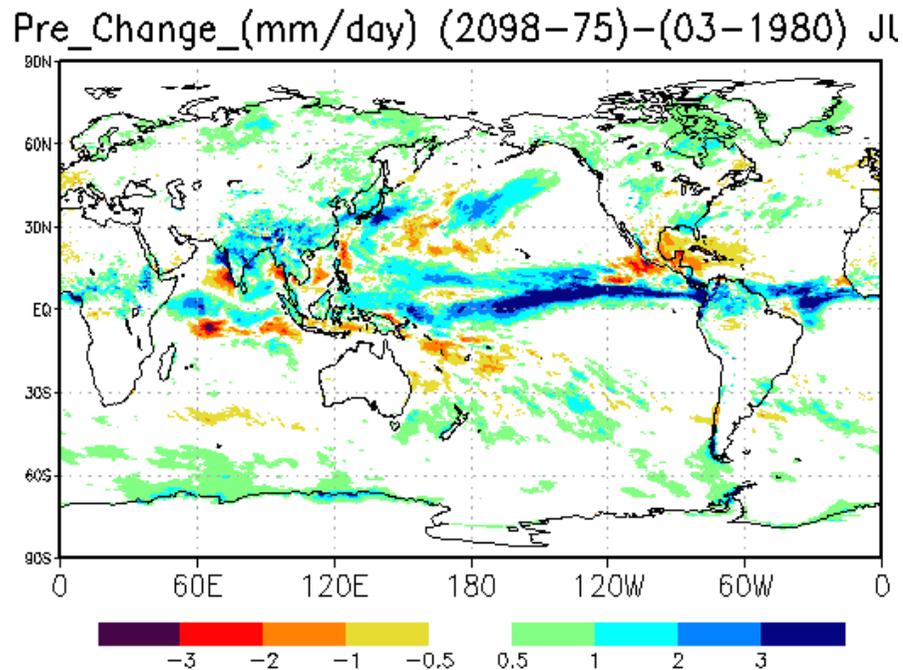
沿岸接近時の平均最大風速(m/s)

Region	観測 (1979-2003)	現在気候実験 (1979-2003)	将来気候実験 (2075-2099)	将来-現在	差の統計的 有意性
East Japan	27.91	20.85	22.39	1.54 (+7.4%)	#95%
West Japan	35.92	23.38	25.06	1.68 (+7.2%)	#95%
Korea	27.96	20.03	20.40	0.37 (+1.8%)	
North China	24.82	15.16	15.83	0.67 (+4.4%)	
Middle China	29.03	17.44	17.64	0.20 (+1.1%)	
South China	28.79	16.52	17.75	1.23 (+7.4%)	#99%
Taiwan	35.60	20.08	20.29	0.21 (+1.0%)	
Southeast Asia	27.47	16.56	17.52	0.96 (+5.8%)	#90%
Philippine	34.48	17.66	19.19	1.53 (+8.7%)	#95%

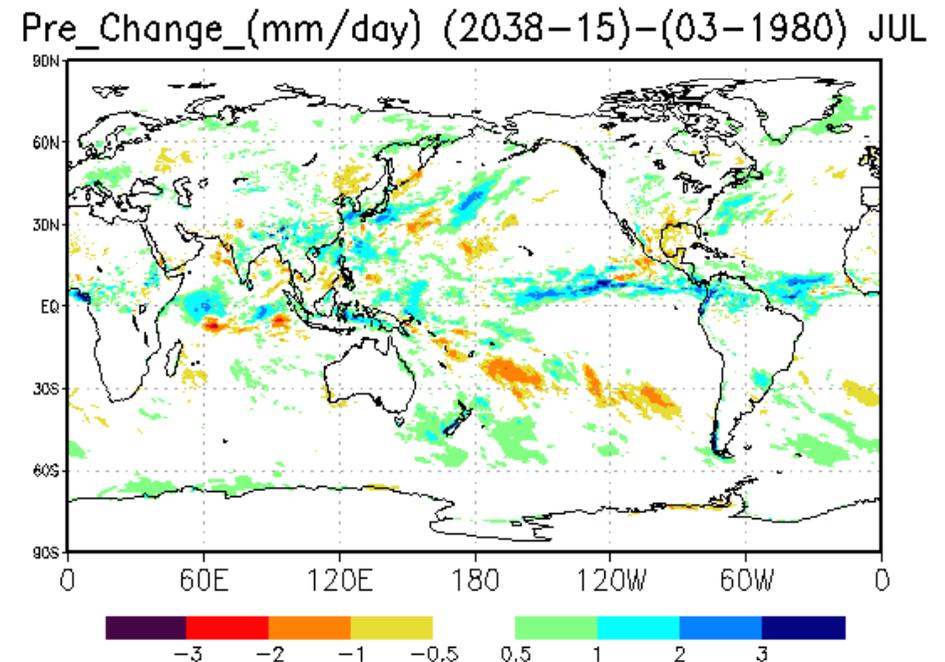
# 降水量分布の将来変化

21世紀末の変化と類似の変化が近未来にも見られる例

**21世紀末**における  
7月降水量の変化



**近未来**における  
7月降水量の変化



# 熱帯低気圧発生数の将来変化

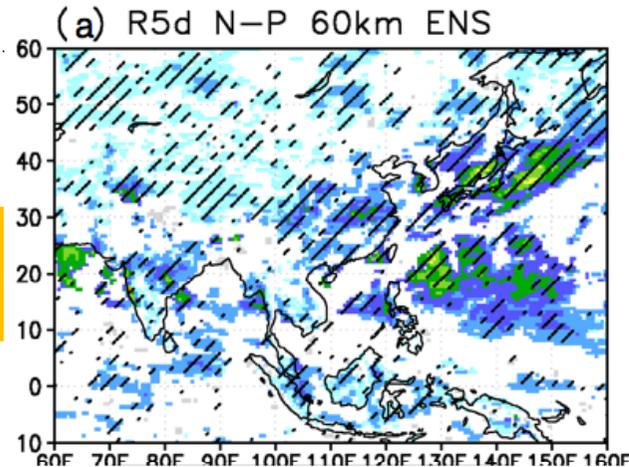
21世紀末の変化が近未来の変化として確認できない例

は95%有意

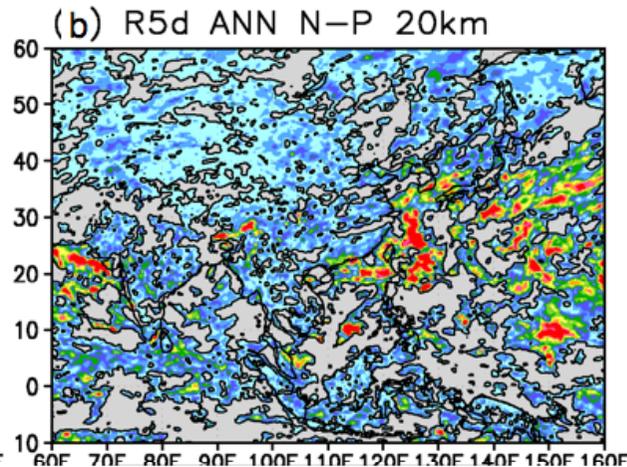
領域	現在気候	21世紀末(と変化)		近未来(と変化)	
全球	83.4	66.6	(-16.8)	87.0	( 3.6)
北半球	49.6	39.4	(-10.3)	52.2	( 2.5)
南半球	33.8	27.2	( -6.5)	34.8	( 1.0)
北インド洋	4.6	3.9	( -0.7)	4.1	( -0.5)
北西太平洋	17.6	13.0	( -4.6)	17.0	( -0.6)
東太平洋	21.2	15.9	( -5.3)	23.1	( 1.9)
北大西洋	6.3	6.6	( 0.3)	8.0	( 1.7)
南インド洋	21.0	19.8	( -1.2)	22.6	( 1.6)
南太平洋	12.6	7.3	( -5.3)	11.9	( -0.6)
南大西洋	0.2	0.1	( -0.1)	0.3	( 0.1)

# 最大5日間降水量の将来変化

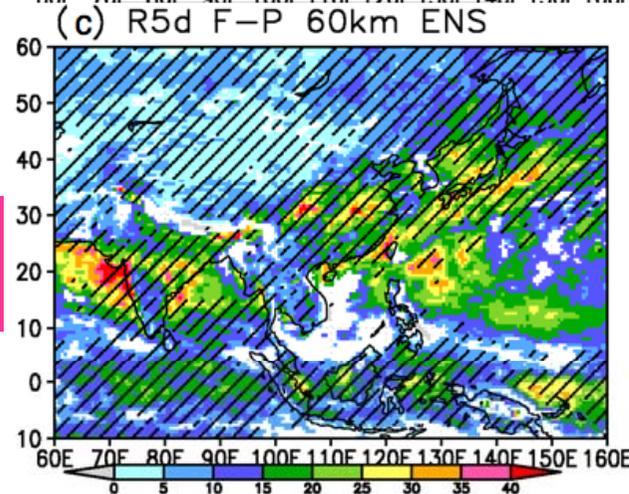
60kmモデル  
近未来



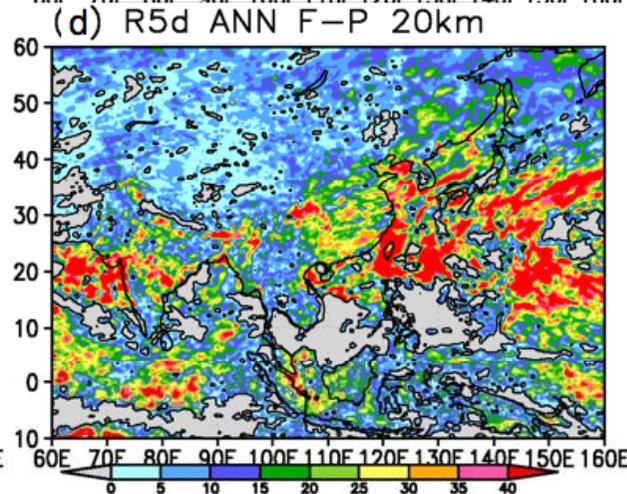
20kmモデル  
近未来



60kmモデル  
21世紀末



20kmモデル  
21世紀末

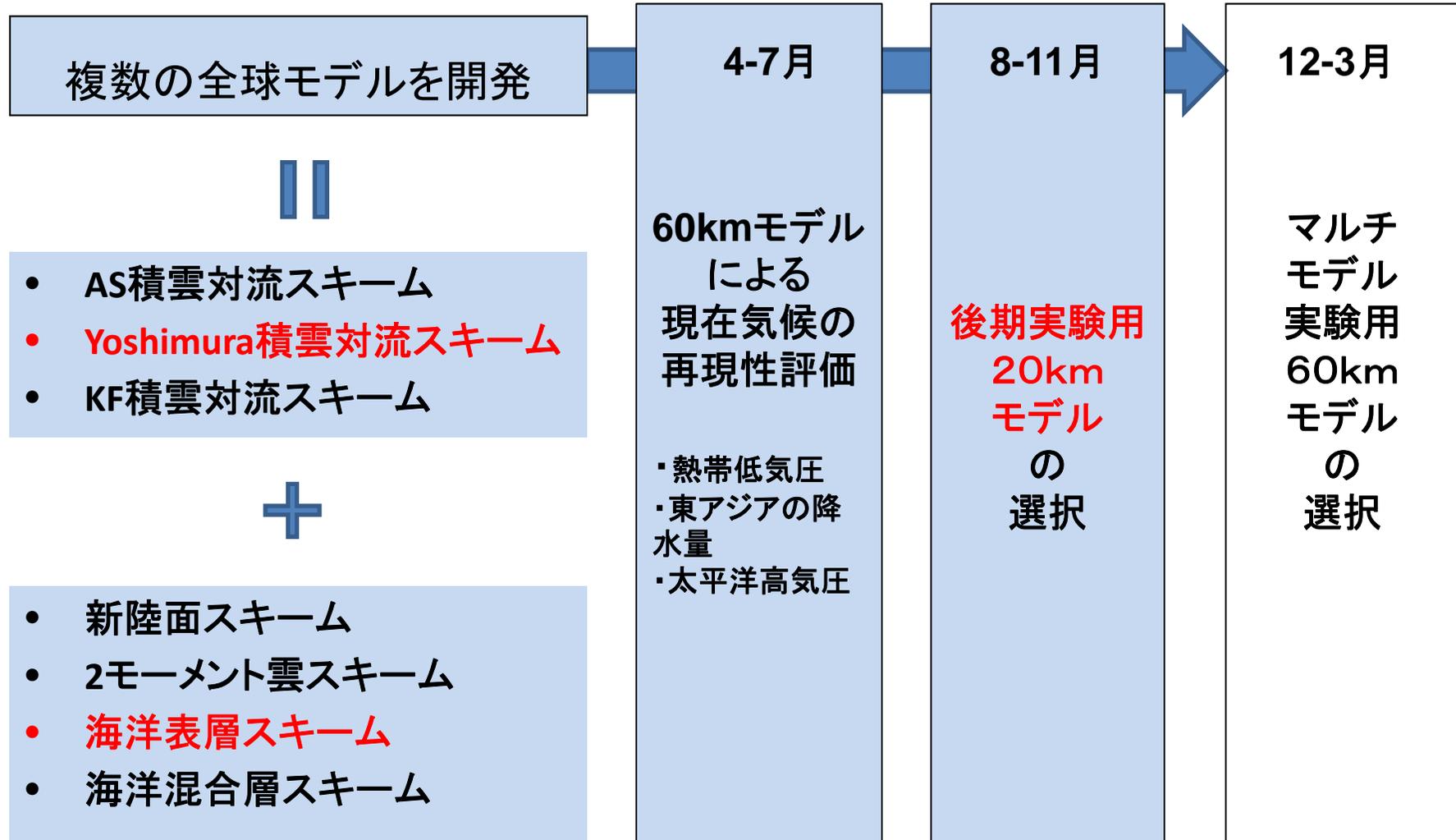


最大5日間降水量の変化(mm/day)。(a)近未来60kmモデル実験、(b)近未来20kmモデル実験、(c)21世紀末60kmモデル実験、(d)21世紀末20kmモデル実験。(a)(c)の彩色部は95%有意を、斜線は4つのアンサンブルSST実験(詳細は省略)全てで同符号の変化をした場所を示す。

II.

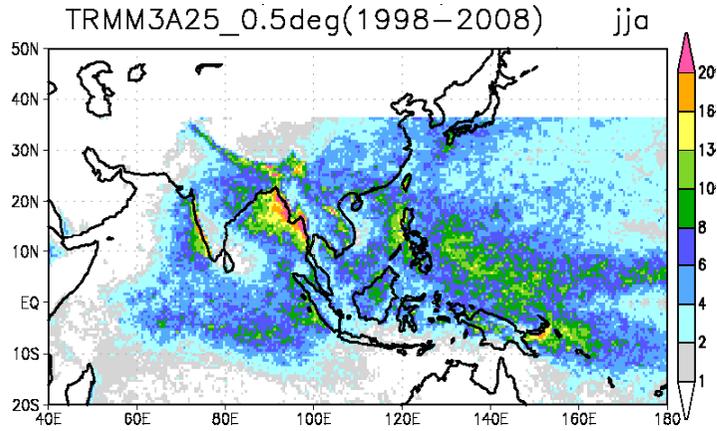
後期実験のための新全球モデルの  
開発と評価

# 平成21年度の後期実験用全球モデル開発



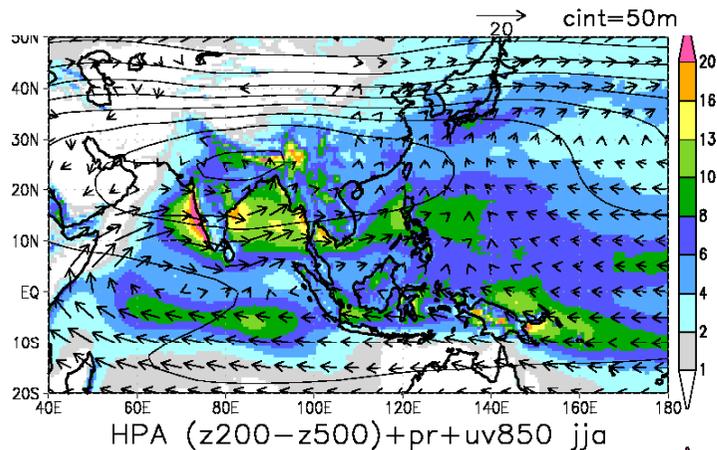
# 夏のアジアモンスーン(6~8月平均) 60kmモデルによる25年現在気候評価

TRMM

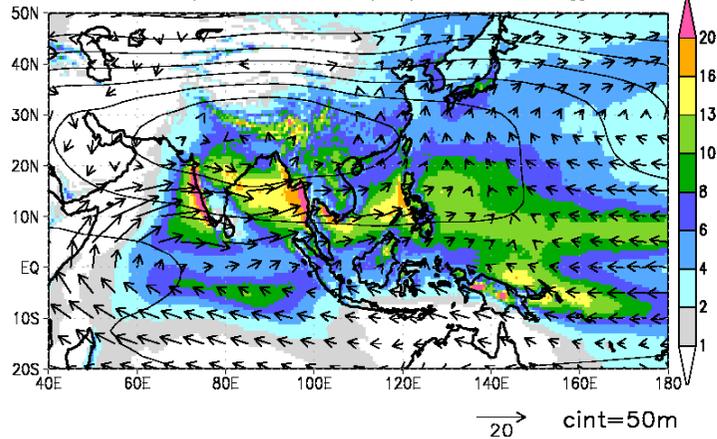


線: 層厚(200hPa-500hPa)  
 陰影: 降水量  
 矢印: 850hPa風

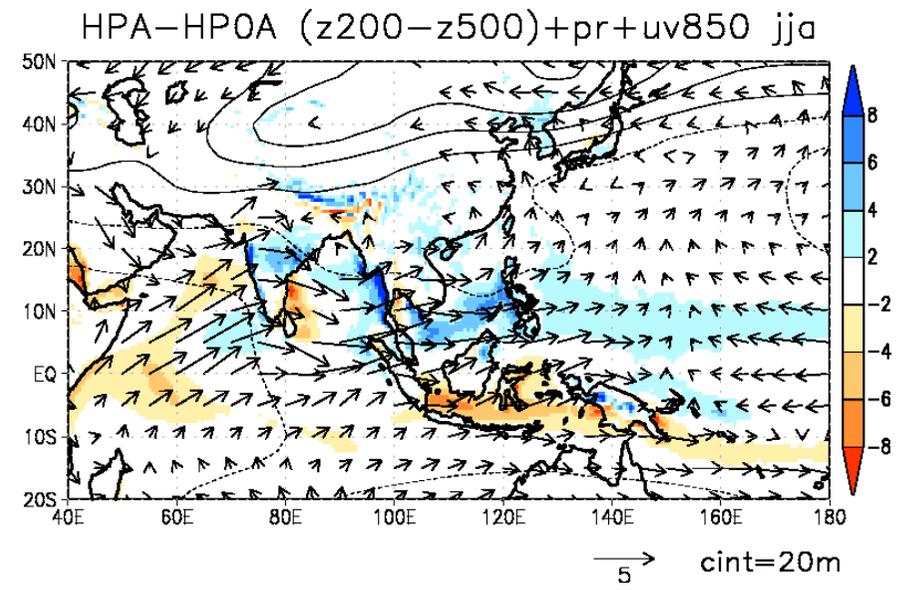
前期  
モデル



後期  
モデル



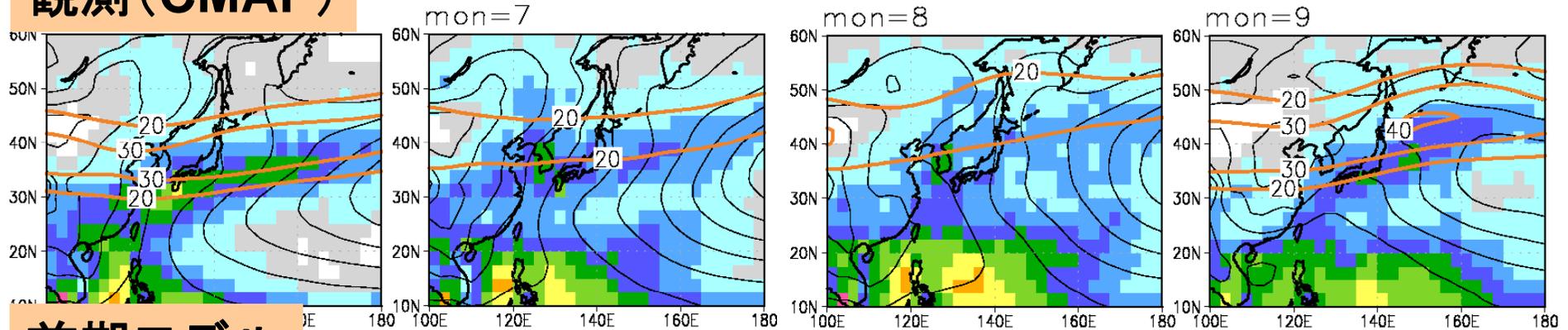
後期-前期



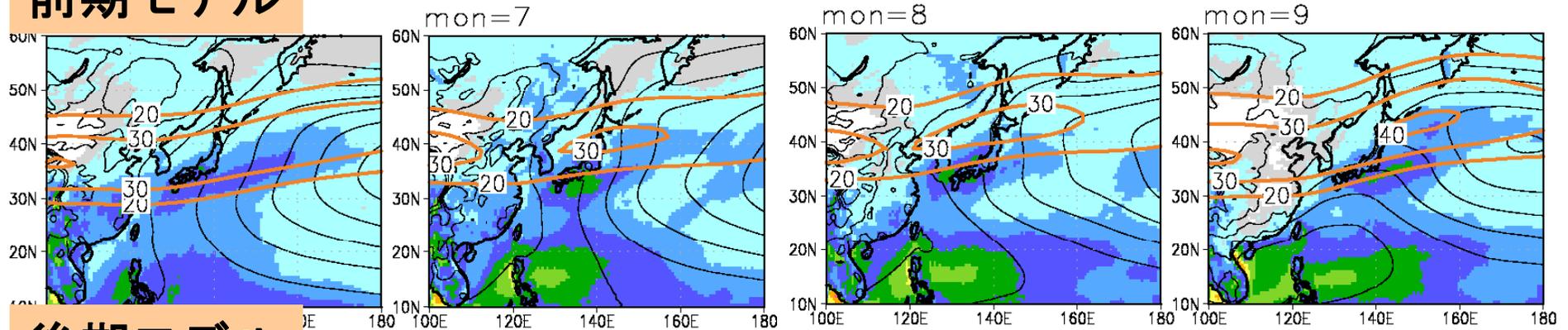
# 東アジア6-9月気候値(降水量、海面気圧、200hPa東西風)の比較

60kmモデルによる25年現在気候評価

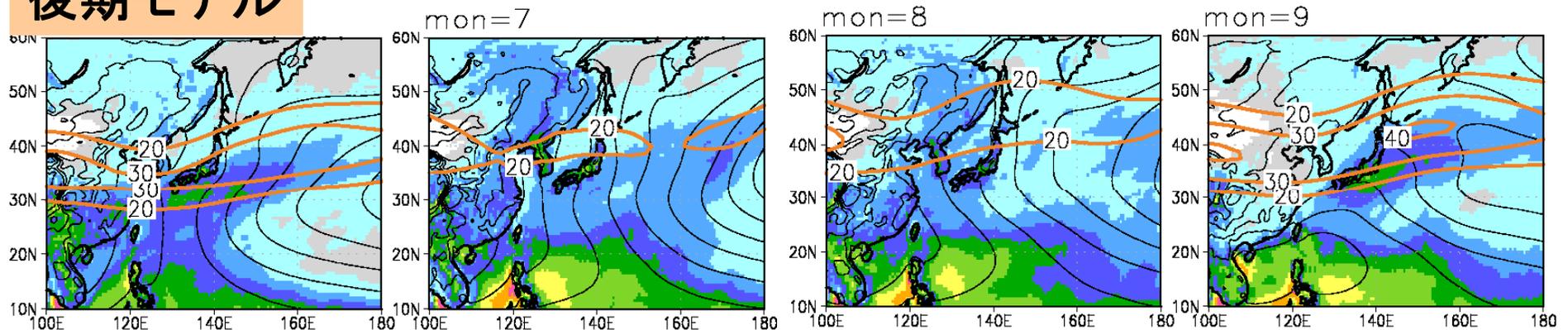
## 観測(CMAP)



## 前期モデル



## 後期モデル



# 前期・後期60kmモデルによる25年気候値を数値評価 - 降水量を中心に改善 -

は、より高い数値評価を示す。

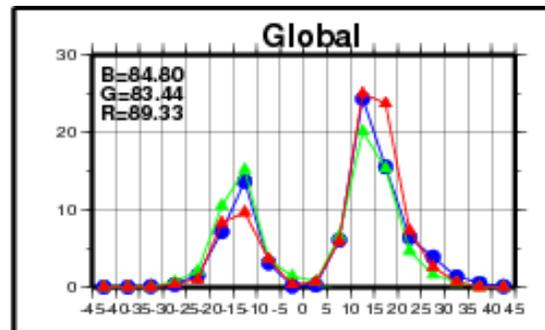
RMSEによる量的評価

地域	降水量 (CMAP)					
	北西太平洋		西日本		東日本	
	夏	秋	夏	秋	夏	秋
前期モデル25年	3.32	2.23	2.30	1.16	0.60	0.85
後期モデル25年	2.25	1.64	2.07	0.33	0.92	0.79

Taylorインデックスによる分布評価

地域	降水量						海面気圧		850 hPa 気温	
	全球	アジア	東アジア							
	年	夏	夏	秋	夏	秋	夏	秋		
前期モデル25年	.73	.41	.26	.54	.80	.91	.94	.99		
後期モデル25年	.80	.56	.43	.64	.90	.94	.79	.99		

# 20km全球モデルの 熱帯低気圧発生 分布の改善

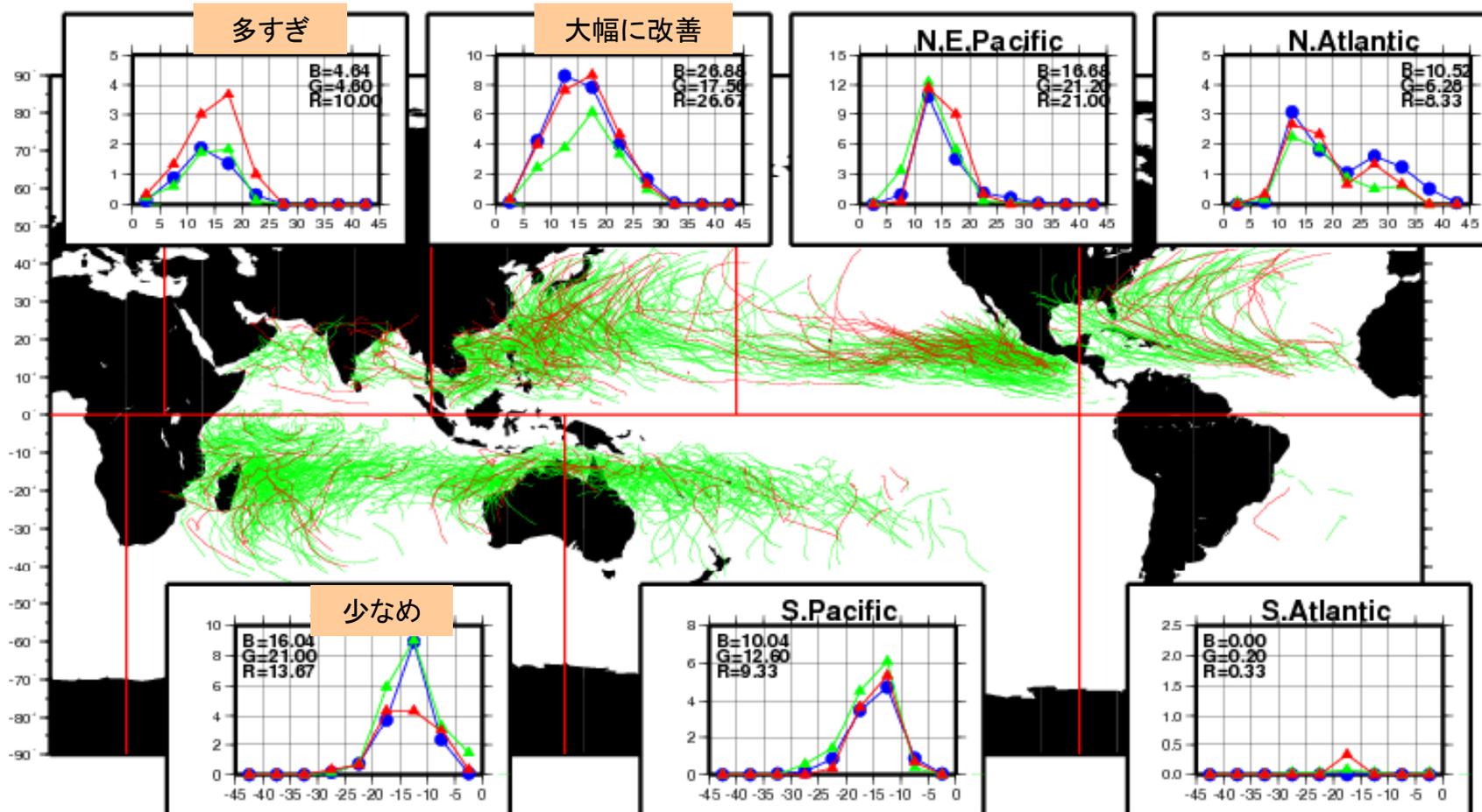


● Best Track

青: 観測25年

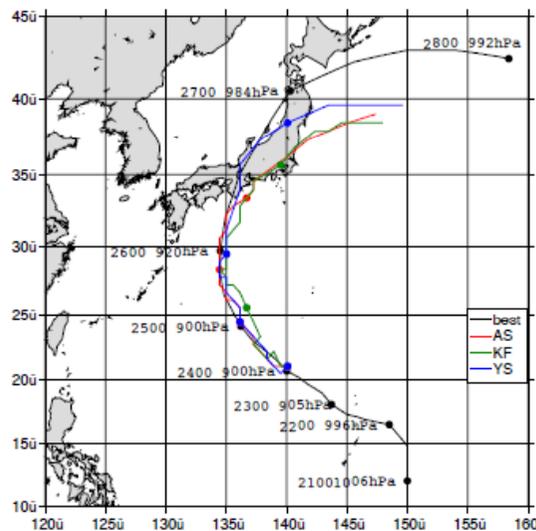
緑: 前期モデル25年

赤: 後期モデル3年

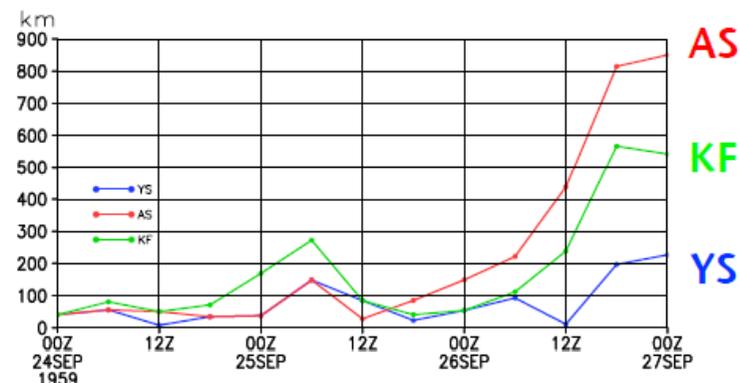


# 60kmマルチモデル実験で使用する積雲対流スキーム —伊勢湾台風予測実験の例—

- 積雲対流スキームは、モデルの中で不確実性の最も大きいコンポーネントである
- 現業で使用している **Arakawa-Schubert(AS)**  
既に実装されている **Kain-Fritsch(KF)**  
最近、気象研で開発した新スキームである **Yoshimura(YS)**  
以上3つのスキームを用いてコントロールの予報予備実験を行った



24日00UTCからの進路予報



中心位置の予報誤差



Yoshimura スキームを使用しアンサンプル予報実験を実行

# 平成21年度研究計画は 達成

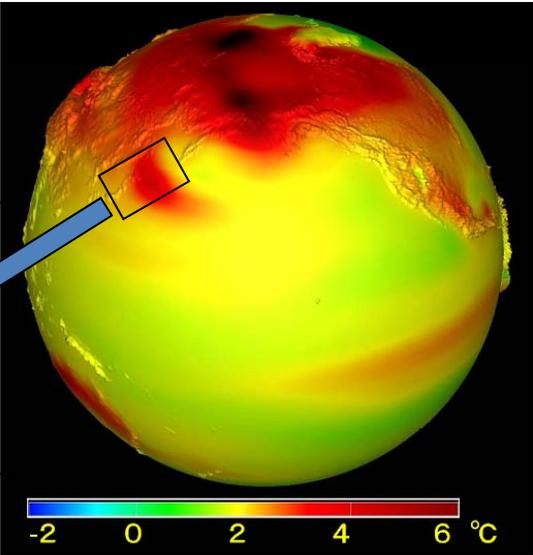
(平成21年度年次計画)

- 新全球20km モデルを用いて現在気候実験を実施。

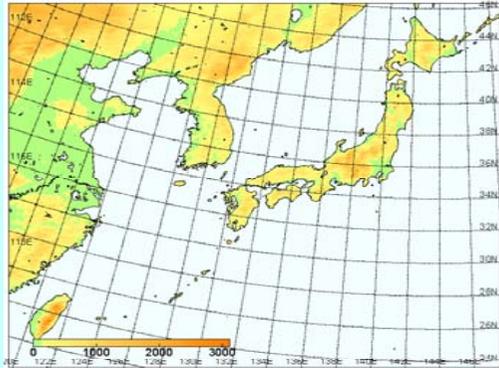
(平成21年度研究計画)

- 近未来実験を含めて前期実験の解析を行い、成果をまとめる。後期実験の実験手法・解析手法・モデル仕様を決める。
- 後期実験のために新全球20km モデルを構築し、マルチモデル実験のための全球60kmモデルを用意する。ここで、全球モデルとして海洋混合層または海洋表層と結合した全球大気モデルを検討する。
- 新全球20km モデルを用いて現在気候実験を実施し、21世紀末温暖化予測実験を開始する。

# 力学的ダウンスケーリングによる極端現象の高精度予測



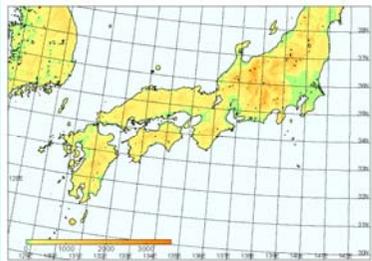
5km雲解像領域大気モデル  
(長時間積分)



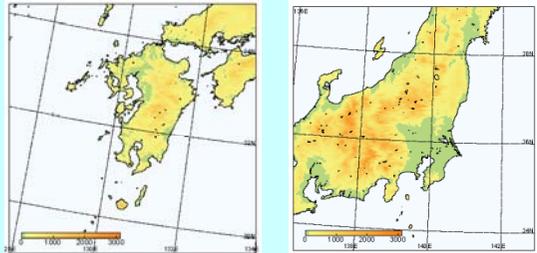
20km全球モデル  
側面境界条件

前期予備実験 各年6-10月  
現在気候 10年間 1990-1999  
近未来 10年間 2026-2035  
21世紀末 10年間 2086-2095

2km雲解像領域大気モデル  
(長時間積分)



1km雲解像領域大気モデル  
(顕著事例の短期積分)

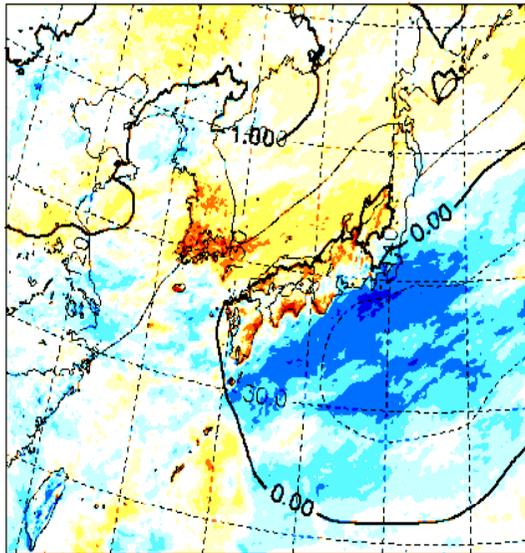


日本の  
高解像度  
詳細情報

# 7月の月降水量の変化(近未来ー現在)

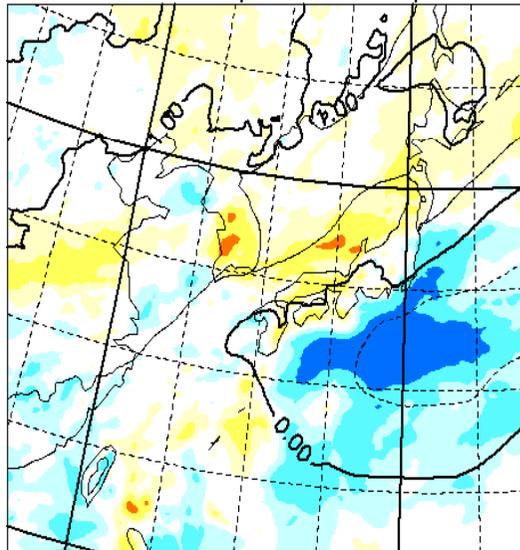
(a)5kmモデル  
(2026ー2035年)と現在の差

SLP&prec Nfuture-present 7



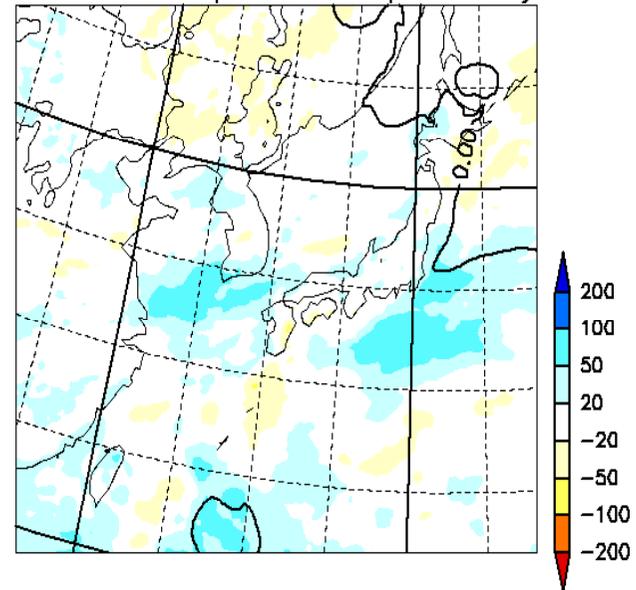
(b)20km全球モデル  
5kmモデルと同期間の差

GSM20 SLP&prec Nfuture-present 7



(c)20km全球モデル  
(2015ー2039年)と現在の差

GSM20 SLP&prec Nfuture-present 25yr 7



- ・西日本の雨量の減少傾向と関東から日本の南海上にかけて雨量の増加が見られる
- ・20km全球モデルの結果と比較すると5kmモデルではより細かい降水の変化パターンが見られる
- ・増加傾向、減少傾向ともにコントラストがよりはっきりとしていて、地域的なめりはりのある予測ができてい  
る

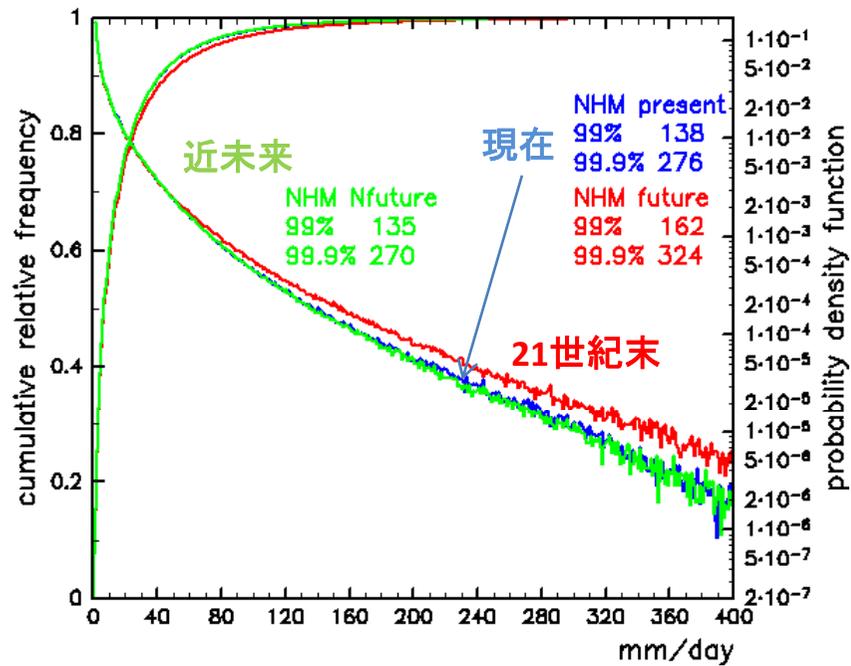
(c)全球モデル(25年積分)と(b)10年積分を比較すると、降水の増加域の分布はほぼ対応しているが西日本の少雨傾向が見られない



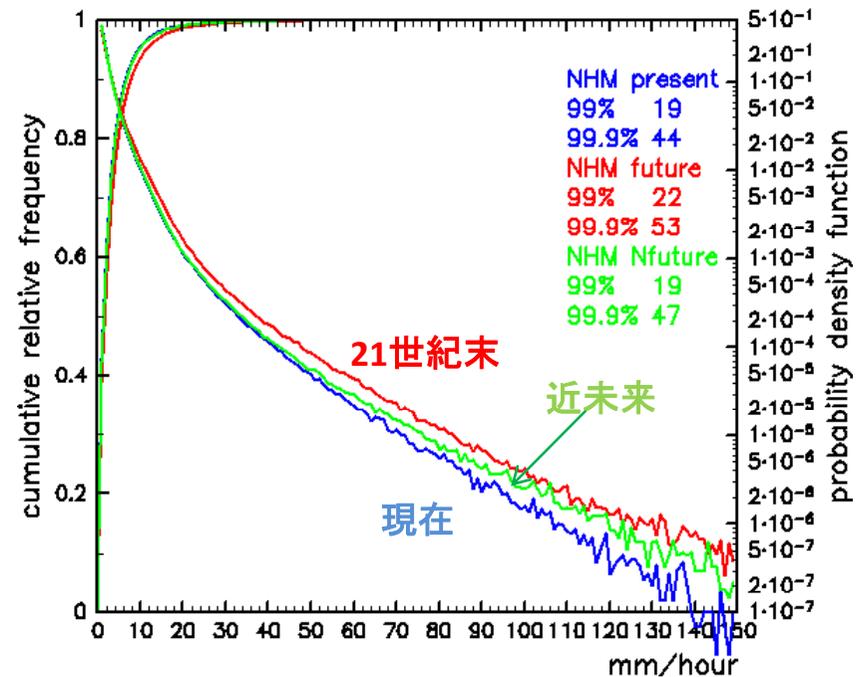
5kmモデル:25年積分(本番実験)の結果が期待される

# 領域5kmモデルによる降水強度頻度分布

日降水量



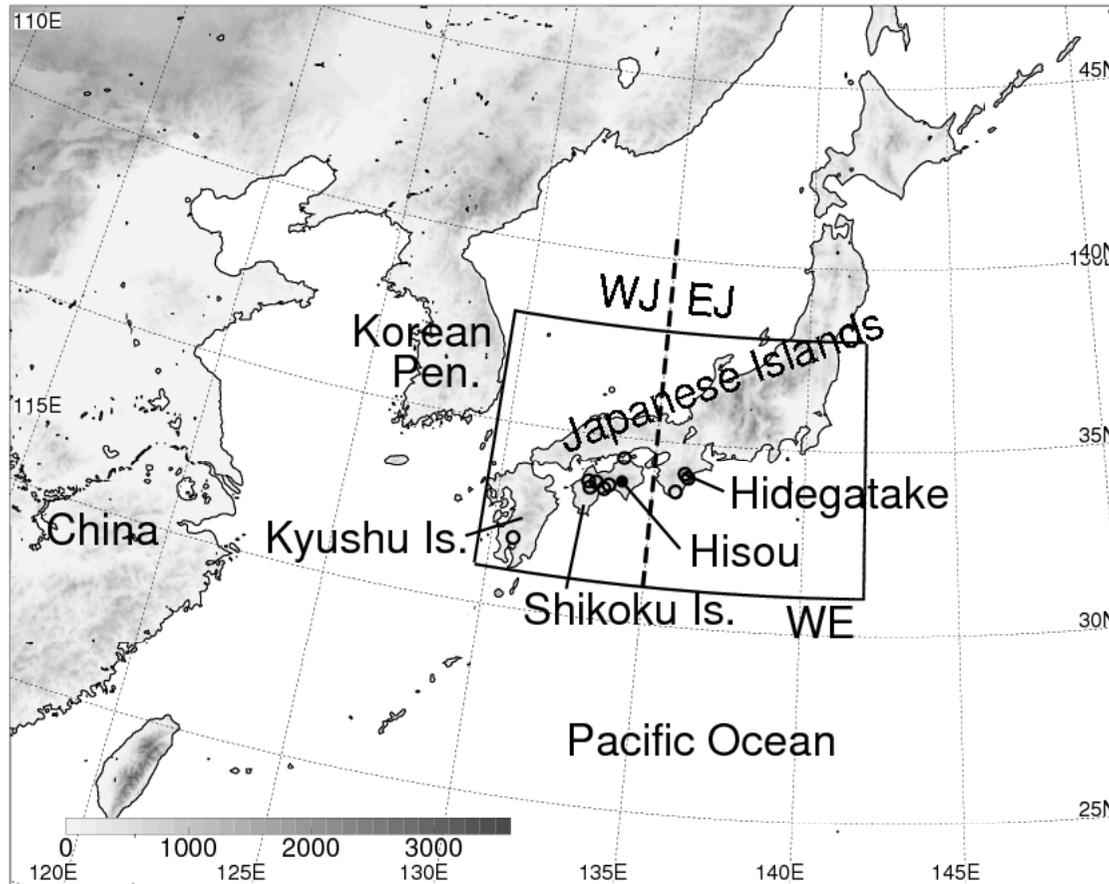
1時間降水量



**近未来:** 日降水量に変化はほとんどない  
 1時間降水量では強い降水の頻度が増加  
 →短時間強雨の頻度増加を示唆

**21世紀末:** 日、1時間降水量ともに強い降水の頻度が増加

# 領域5kmモデルによる大雨事例抽出(観測)



領域最大日雨量  
Regional Maximum Daily  
Precipitation: R-MDP  
(Kanada et al. 2008)

= 左図枠内陸上の最大日雨量

○1976-2005年の最大日雨量上位10位の発生地点

●日早(1976年1114mm/day)

# 領域最大日雨量の水平分布：5kmモデル

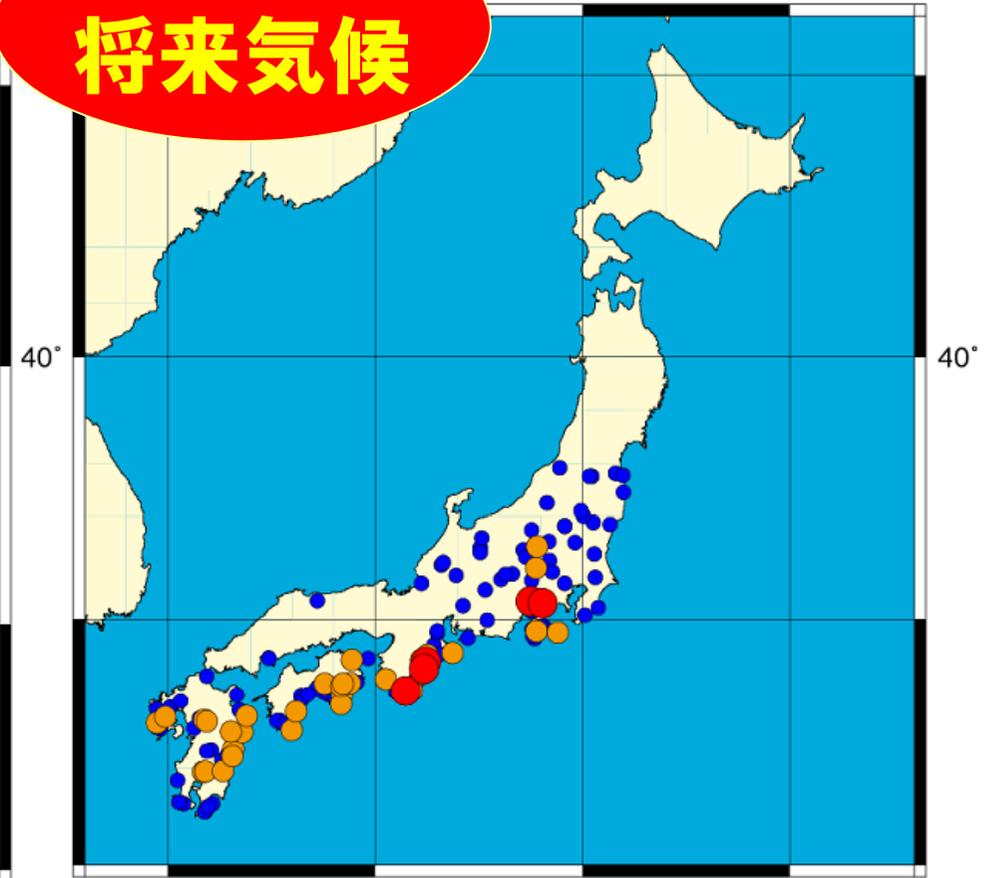
Rmax>300,500,1000mm/day(1990-1999)  
1520 points

5kmモデルによる  
**現在気候**



Rmax>300,500,1000mm/day(2086-2095)  
1520 points

5kmモデルによる  
**将来気候**

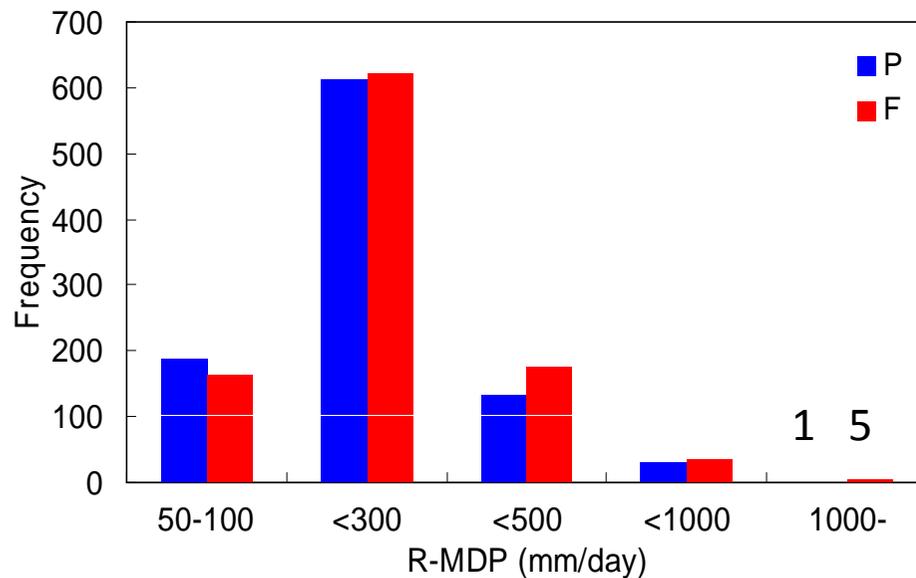


● 1000mm/day以上 ● 500mm/day以上 ● 300mm/day以上

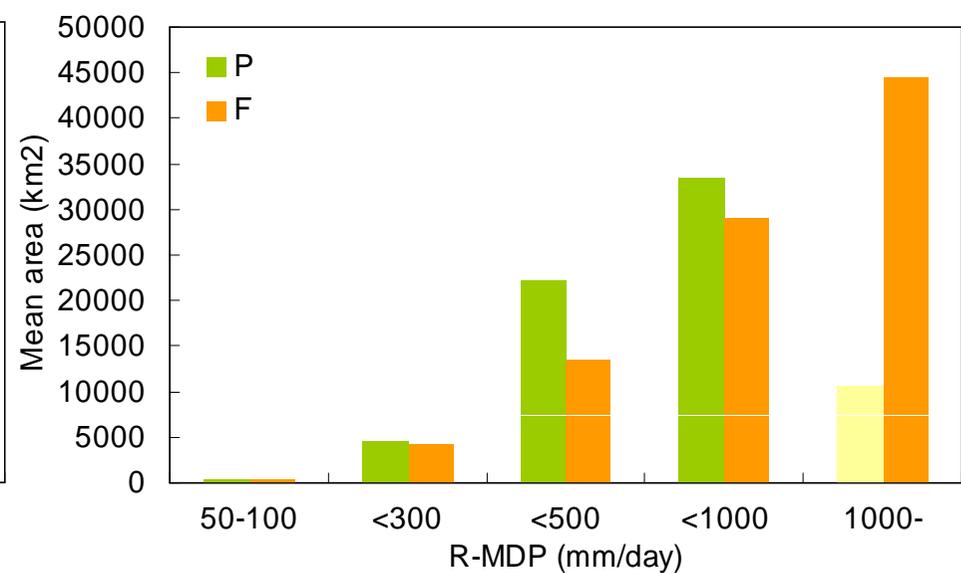
# 大雨事例の変質

大雨事例に伴う強雨域：前述のR-MDPと連続した50mm/day以上の格子を大雨事例に伴う降水域と定義し陸上のみ積算

領域最大日降水量(R-MDP)ごとの頻度



領域最大日降水量(R-MDP)ごとの面積

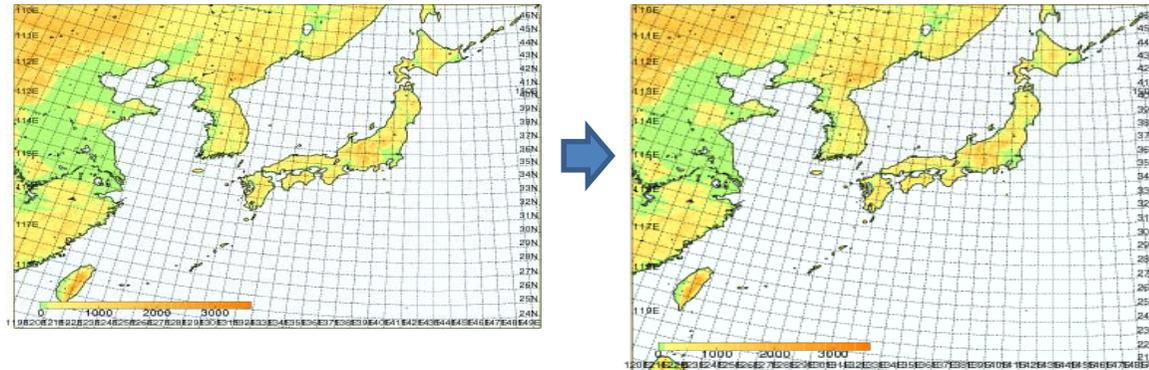


- ・将来気候では300mm/day以上の強いR-MDPの頻度が増加傾向がみられる
- ・一方、同じR-MDPの区分で平均した50mm/day以上の大雨領域の平均面積はより小さくなる傾向にある

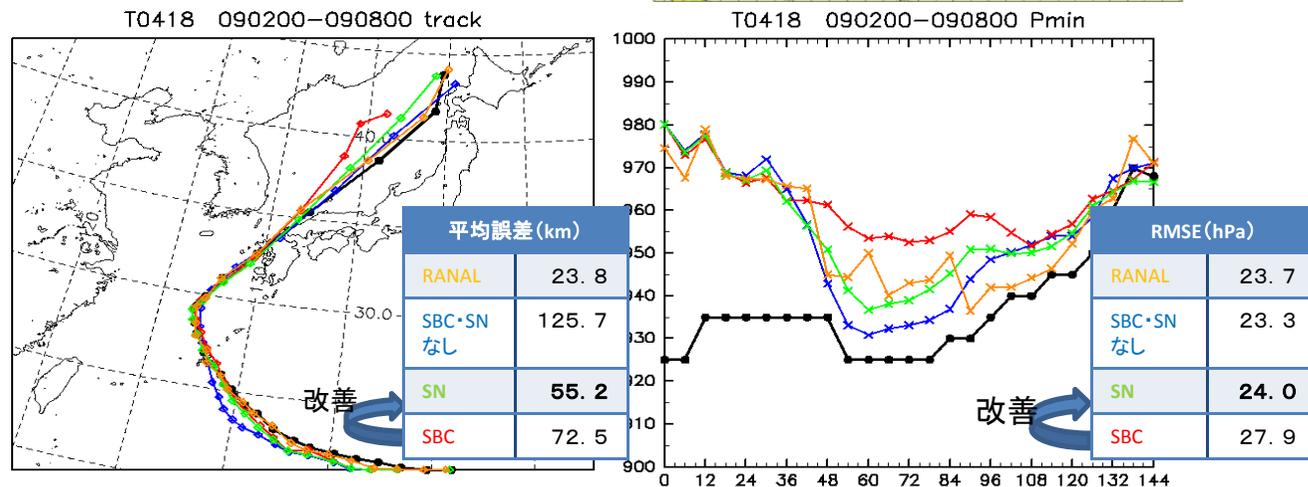
# 後期5kmモデルの高度化

- ・ 計算速度の高速化
- ・ KF対流パラメタリゼーションスキームによる不自然な降水の改善
- ・ 境界条件をSBC法からSN (スペクトルナッジング)法に変更
- ・ 雲物理過程の改良(雲氷の2モーメント化)
- ・ 放射過程でのエアロゾルの観測気候値の利用等
- ・ SiB (簡易植生モデル)の導入

領域の拡大



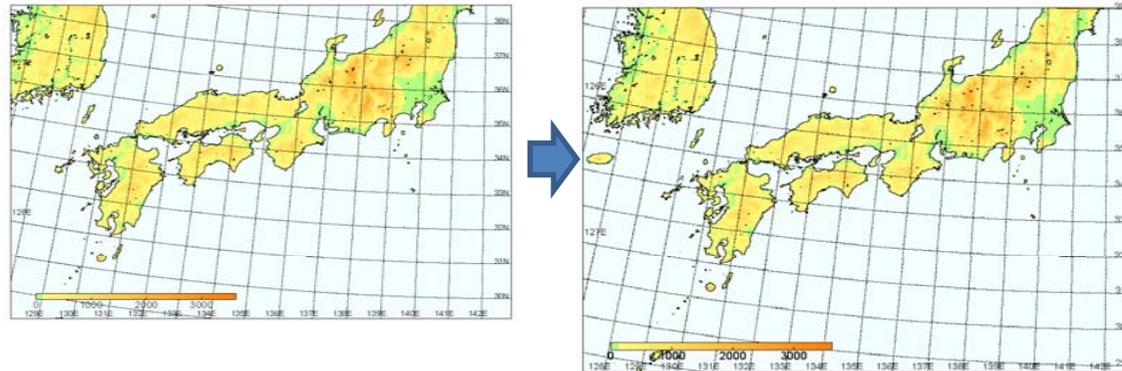
台風の改善



# 後期2kmモデルの高度化

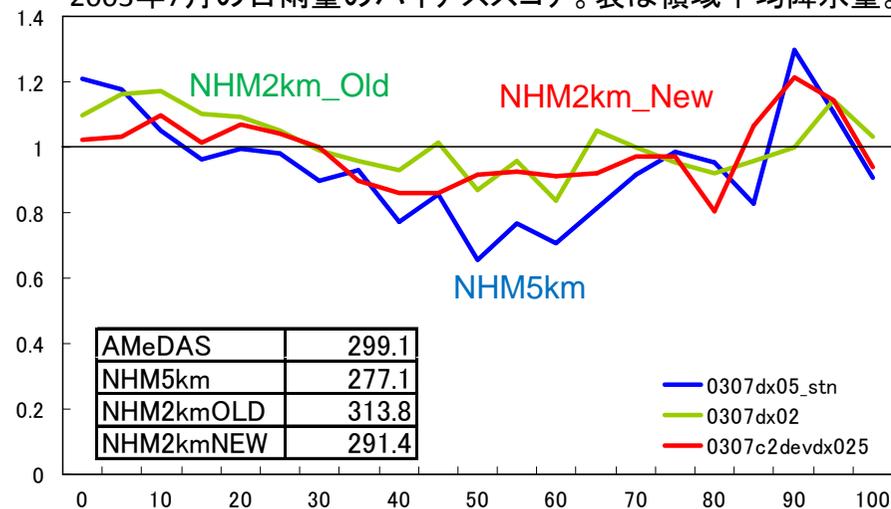
- ・ 計算速度の高速化
- ・ 雲物理過程における蒸発抑制のとりやめ  
従来版→効果を50%に抑制
- ・ 放射過程でのエアロゾル月別観測気候値の利用等

領域の拡大



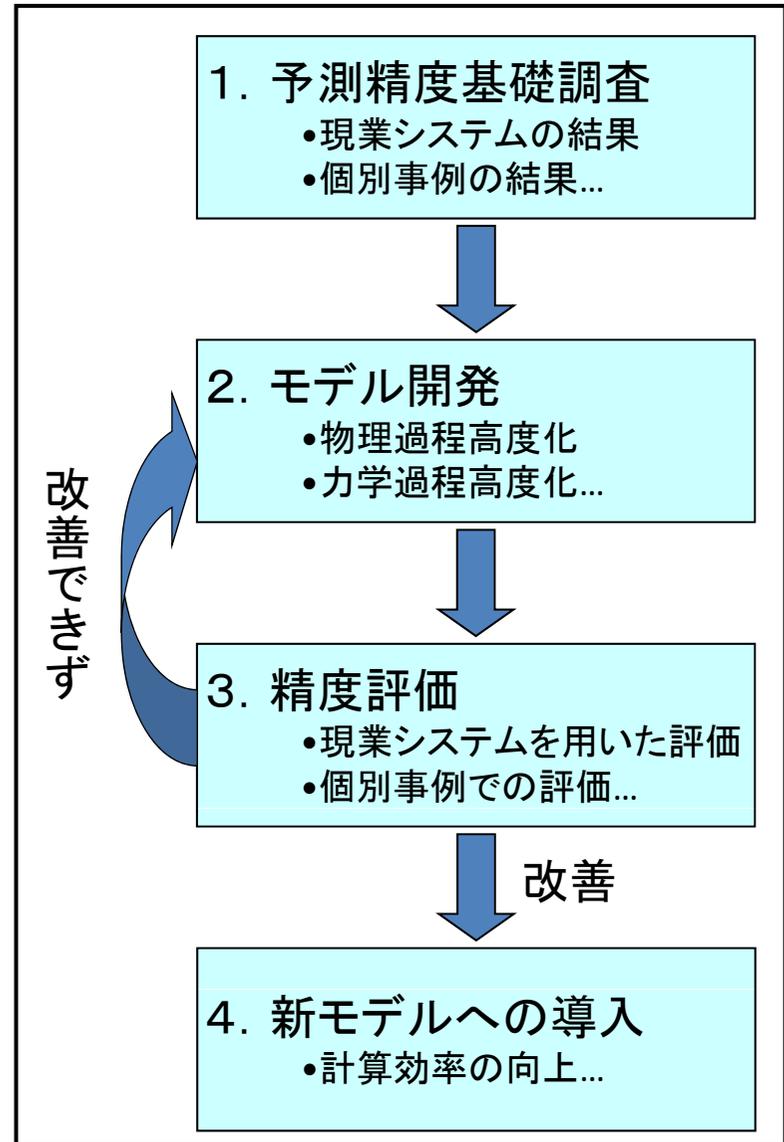
降水特性（弱雨の過大評価傾向）の改善

2003年7月の日雨量のバイアスコア。表は領域平均降水量。



# 特に極端な現象に対する高分解能モデルの改良

- 今後の課題と展望
  - － 台風等の特に極端な現象に対してモデルを改良
- 計算不安定への対策
  - － 極端に強い格子スケールの対流が生じた場合に計算不安定が生じうるため
- 海面粗度スキームの改良
  - － 現行の計算式が強風時に必ずしも適切でないため
- 現業数値予報システムを用いて精度評価をしていく



# 後期本実験

高度化された雲解像領域モデル(5km、2km、1kmモデル)



高度化された全球モデルを境界条件とした計算  
後期平成21-23年度で各期間25年間の積分を実施(各年6-10月)

現在気候	<u>* 1979-2003</u>
近未来(約30年後)	<u>* 2015-2039</u>
21世紀末(約100年後)	<u>* 2075-2099</u>

# まとめと今後の予定

- 前期実験の解析を行った。
- 後期本実験のために降水過程、陸面過程、放射過程などの高度化を実施した新しい領域5km、2km、1kmモデルを決定した。
- 新全球20kmモデルを境界条件とした領域5km、2km、1kmモデルによる後期本実験を平成21年12月よりの2年強で実施する。対象期間は強い降水の観測される6-10月とし、現在、近未来、21世紀末の各25年間の計算を行い、前期予備実験の経験を元に顕著事例に着目しながら解析を行う。計算結果は影響評価グループに提供する。
- 特に極端な現象について補うために、強い台風用の高解像度(2km/1km)実験レイアウトを構築し、全球20kmモデルでみられた領域実験内の強い台風について幾例か予備実験を開始している。
- 疑似温暖化実験の手法を開発し、テスト計算を行った。今後、台風を主とした顕著な事例について実施し、手法の妥当性をさらに検討する。多数例の疑似温暖化予測により温暖化による台風等の変質を明らかにする予定である。計算結果は影響評価グループに提供する。

# 気候変動に伴う河道計画への影響評価

発表者

国土交通省 国土技術政策総合研究所  
河川研究部 流域管理研究官 藤田光一

# 1. 年最大 $D_r$ 時間降雨量の生起確率分布の気候変化に伴う変化の分析

[現在:1979-2003 / 将来:2075-2099]

[対象:日本] [ $D_r$ :1~72時間] [地域分割:16]

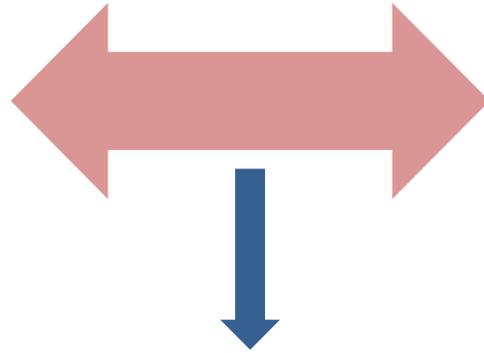
→気候変化による洪水流量変化を全国主要河川について簡便に計算するための準備

2. 全国一級水系について、気候変化に伴う洪水流量変化を計算し、洪水(外水)氾濫頻度の変化を算出。

3. 気候変化に伴う氾濫頻度増を吸収するための河道整備労力の増分を簡易な共通指標により算出。

4. 気候変化が洪水氾濫頻度に与える影響に対する**適応困難度の全国特性**を把握。

気候変動による  
降雨量変化  
予測

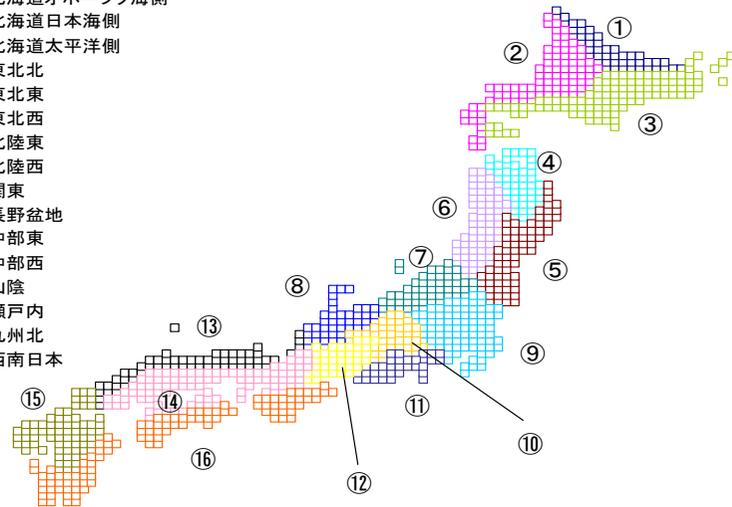


河道計画  
への影響

両者の関係性を把握し、予測結果  
が適応策に及ぼす影響をわかりや  
すく議論できるようにする。

- ・全国的に共通かつ単純な尺度を導入。
- ・河川毎の違いを議論できるようにする
- ・全国を網羅。
- ・実務(河川整備)の議論につながるようにする。

- ① 北海道オホーツク海側
- ② 北海道日本海側
- ③ 北海道太平洋側
- ④ 東北北
- ⑤ 東北東
- ⑥ 東北西
- ⑦ 北陸東
- ⑧ 北陸西
- ⑨ 関東
- ⑩ 長野盆地
- ⑪ 中部東
- ⑫ 中部西
- ⑬ 山陰
- ⑭ 瀬戸内
- ⑮ 九州北
- ⑯ 西南日本



## ■地域区分の設定

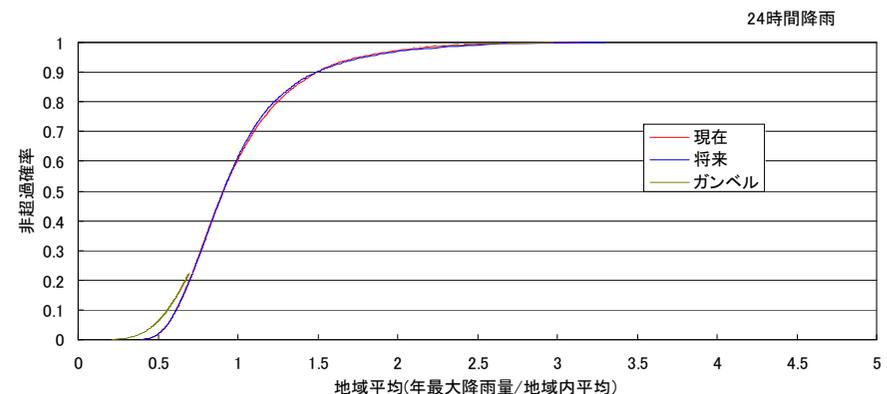
- ・ダムの設計に用いられる比流量図の地域別区分からスタート
  - ・地域内の各格子点での確率分布の同一性を確保しつつ、できるだけ広い（格子点の多い）地域に分割
- 河川計画で対象となる**低頻度豪雨**の統計分析の信頼性を高める。

## ■地域内データの独立性評価

- ・地域内格子点数(33~107) × 計算年数(25年)で確率分布を算出することの前提
- 「互いに独立」との仮説が棄却されない格子点組み合わせの割合は0.3~0.7
- 今後の検討課題

## ■確率分布形を評価

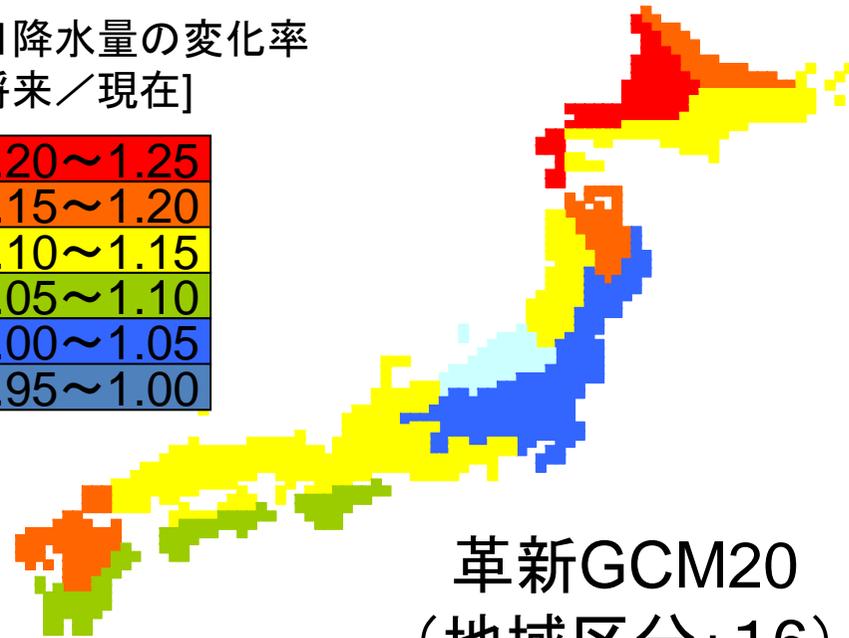
- ・現在、将来の確率分布を地域内平均値で無次元化表示すると、対象降雨時間によらず概ね同一とみなせる。
- 年最大降雨量の平均値の現在・将来比で、確率分布の変化を表現できる。 →簡便な取り扱いが可能に



$$\frac{R_f}{R_p} = f_i(D_r)$$

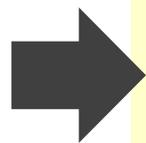
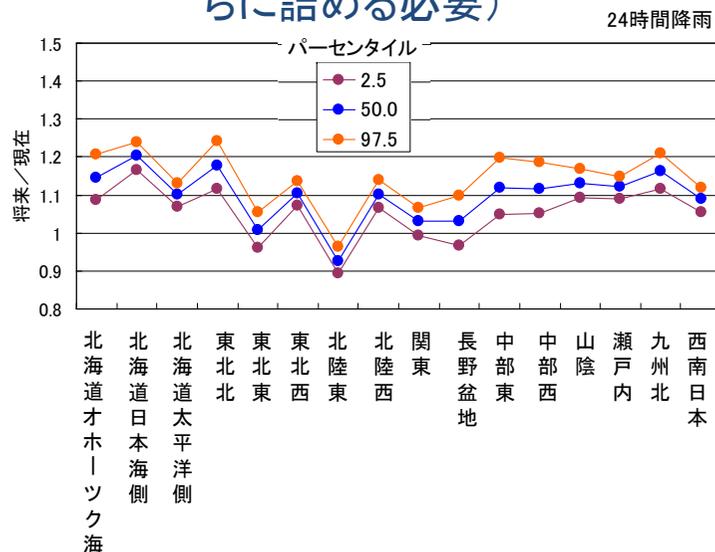
$R_f$ : 将来の降雨量  
 $R_p$ : 現在の降雨量  
 添え字  $i$ : 地域ブロック  
 $D_r$ : 降雨継続時間

年最大日降水量の変化率  
[将来/現在]



革新GCM20  
(地域区分: 16)

モンテカルロシミュレーションにより信頼性の評価も試行  
(不確実性の評価は幅広い視点からさらに詰める必要)



- これらをもとに河道計画への影響を一旦(“最短距離で”)評価してみる
- 地域モデル(より小さなメッシュ)、後期実験の結果も逐次取り込む
- 近未来の結果も分析中
- 独立性の課題も含め、計算されている現象自体に着目した検討も必要(降雨の空間分布パターン)

# 全国109の一級水系について、 気候変化に伴う洪水流量変化を計算

$$R_{pp} = g_i(D_r, T_r, A)$$

既往計画(降雨分布を含む)or アメダスデータに基づく全国降雨強度式を援用

$R_{pp}$ : 河川整備の目標に用いる降雨量(気候変動考慮せず)

$D_r$ : 降雨継続時間

$T_r$ : 年最大降雨に関する生起確率(再帰年)

$A$ : 流域面積



規定

$$Q_{pp} = G(R_{pp}, D_r, A, \text{流域特性に関わるパラメータ}, T_r)$$

$$Q_{pf} = G(R_{pp}, \frac{R_f}{R_p}, D_r, A, \text{流域特性に関わるパラメータ}, T_r)$$

最も単純な形で  
気候変化を考慮

$Q$ : 洪水流量

添え字  $pp$ 、 $pf$ : それぞれ現行、気候変動考慮後の整備目標となる流量

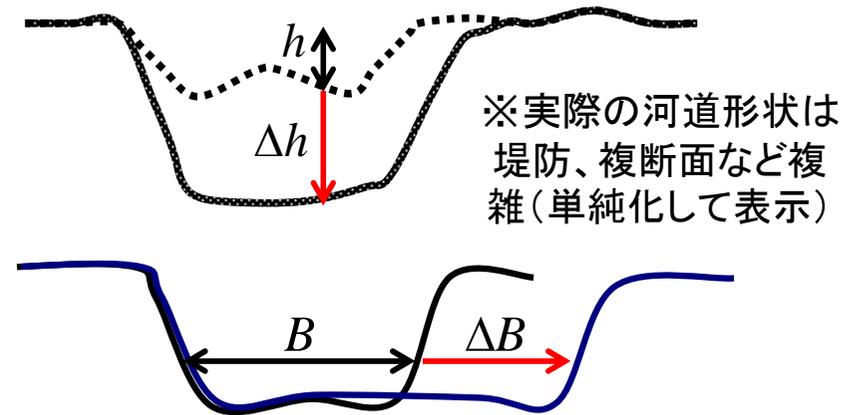
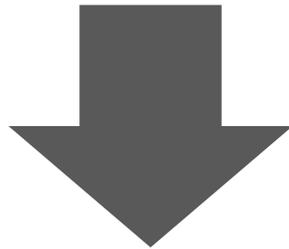
※関数  $G$  には、既往河川計画で用いられているものを利用 (ただし、規模の小さい流域には合理式を適用)

# ある流量を氾濫させずに流下させるために必要な河道諸元

$$hB^{\frac{3}{5}} = \left( \frac{n^2 Q^2}{I_b} \right)^{\left( \frac{3}{10} \right)}$$

$Q$ : 洪水流量  
 $h$ : 必要水深、 $B$ : 必要川幅  
 $n$ : 粗度係数、 $I_b$ : 河床勾配

※実際はもう少し精度の高い計算方法を適用  
※ $n$ などの河道パラメータは既往検討で検証済みのものを用いる



- ・ 氾濫が起こる確率(再帰年)
- ・ 氾濫確率を一定以下に抑える  
ために必要な河道諸元拡大量 ( $\Delta h, \Delta B$ )

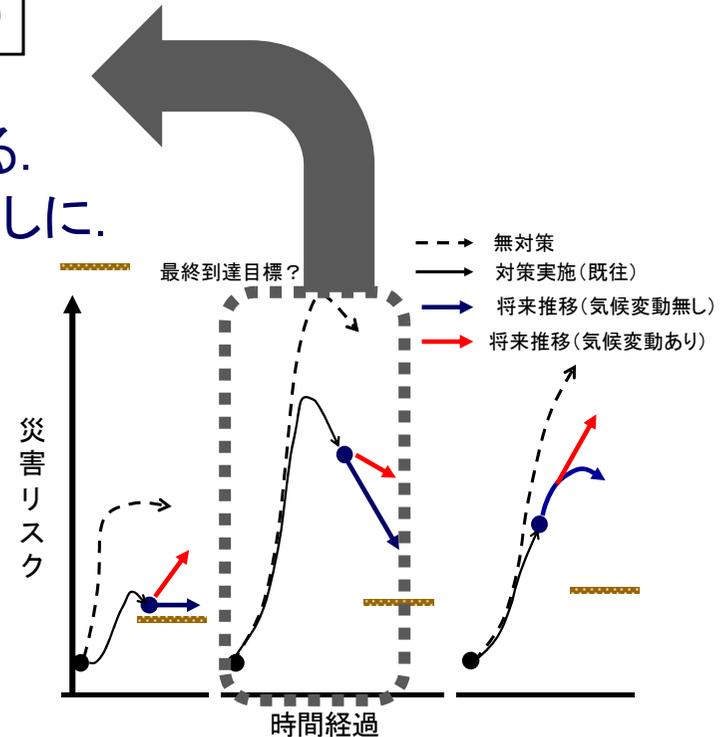
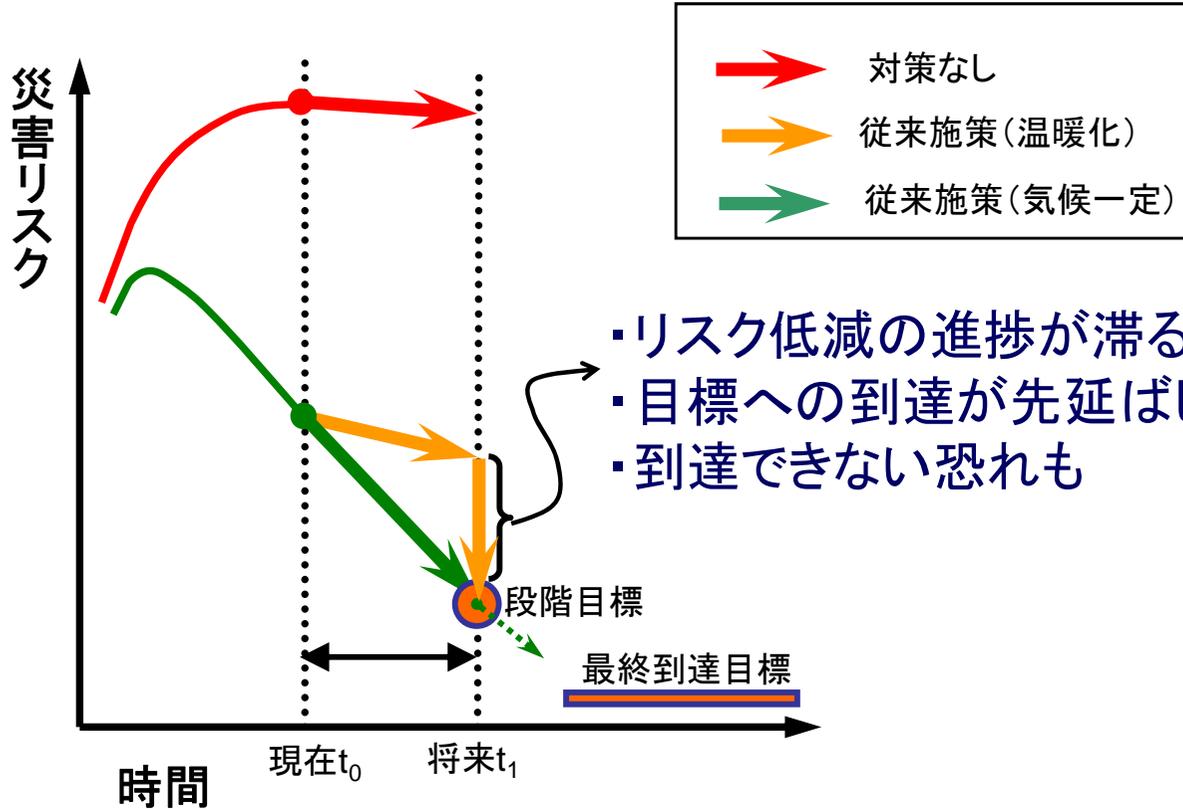
※治水整備は様々な手法から成るが、全国的な傾向を簡便に掴むため、必要河道諸元拡大量を“**適応労力**”の共通尺度としてみる。

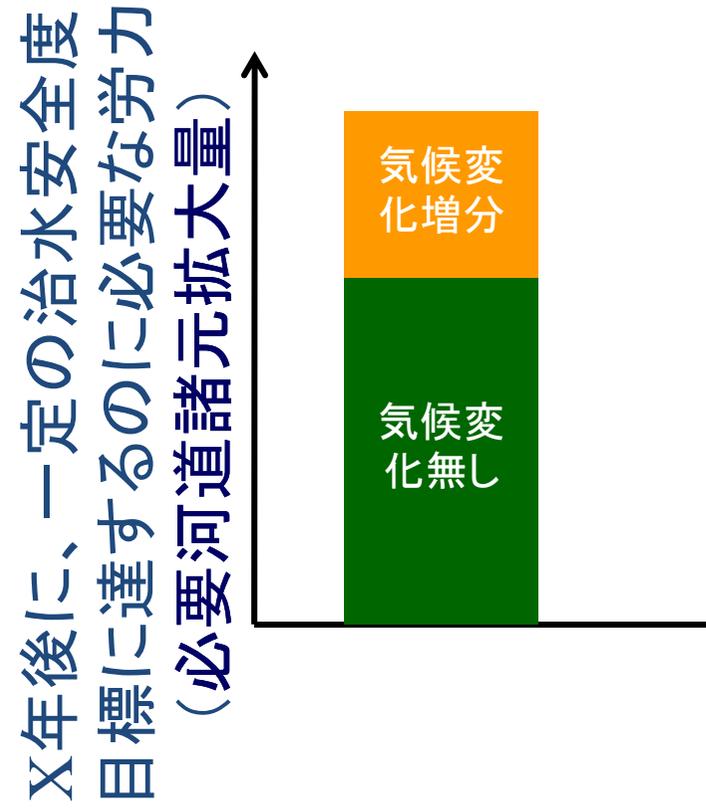
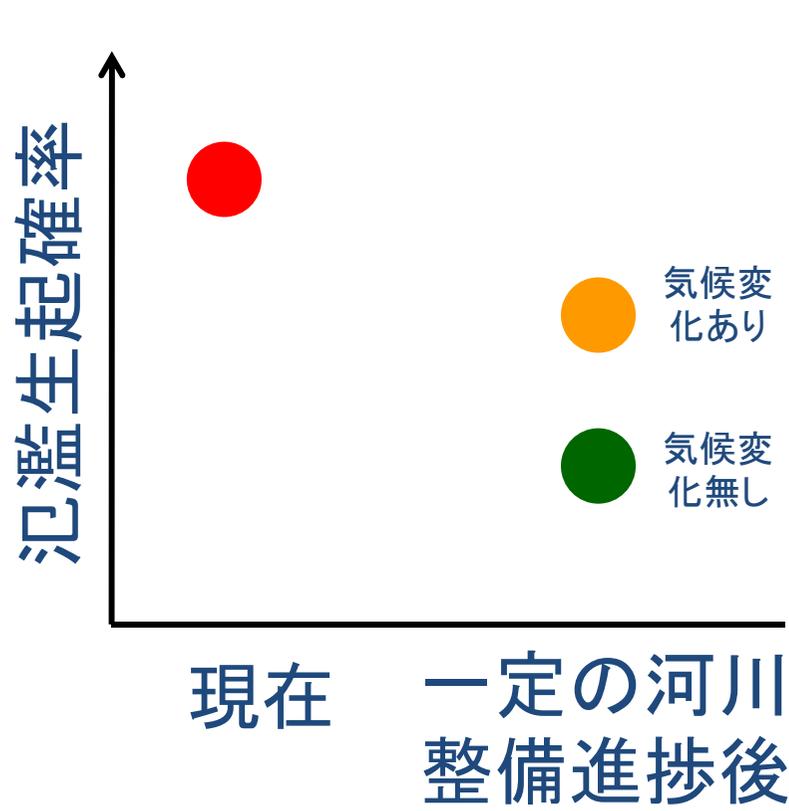
# 日本の河川整備は“途上”

→ 災害リスクそのものの値だけでなく、“**リスク低減速度**”の観点も取り込む

→ を実行するための労力に対して、→ を実行するための労力がどれだけ増すか？

→ にある種の実態が集約されているとの認識





- ・これらが河川特性、地域ブロック、氾濫原特性などによってどのように異なるか？
- ・予測結果、予測の幅によって、どの程度変わるか？
- ・将来、近未来の違い。時系列変化と適応策との関係
- ・コスト(当初、維持管理)、環境影響等を踏まえ実現難易度へ変換する手立ての検討→リスク管理戦略の議論へ