

地域的な気候変化をどう表すのか？

高藪 出

気象研究所

(2016/11/01 統計数理研究所 公開講演会 @ISM)

大気現象のヒエラルキー

分類名称	1月	1日	1時間	1分	1秒
地球スケール マクロα スケール 10 ⁴ km	エルニーニョ現象 定常波・超長波・潮汐波 プラネタリー波・ブロッキング 赤道波	\bar{X}			
日本スケール マクロβ 2x10 ³ km	長波(傾圧波) 低気圧・高気圧				
メソα 2x10 ² km		前線 台風・熱帯低気圧			
都府県スケール メソβ 2x10 ¹ km			海陸風・山岳波 スコールライン 内部波・集中豪雨・雪 クラウドクラスター	X'	
町内スケール メソγ 2km			雷雨・内部重力波 晴天乱流		
マイクロα 200m			竜巻・積乱雲 短い重力波		
校庭スケール マイクロβ 20m			つむじ風 サーマル		
風鈴スケール マイクロγ スケール				プリューム 乱流	



(Orlanski, 1975)

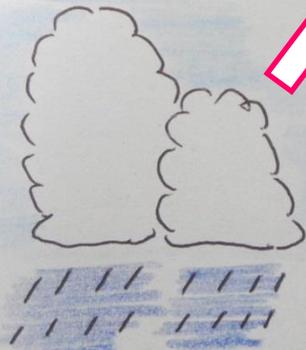
数値モデルの構造

カ学系モデル

$$\partial_t \mathbf{V} + \mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{V} + f \mathbf{k} \times \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p$$

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = \alpha$$

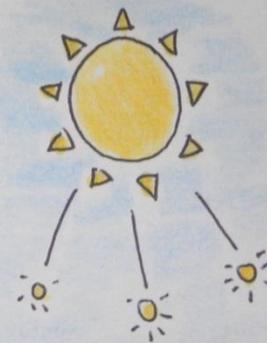
$$\partial_t T + \mathbf{V} \cdot \nabla T = \kappa \nabla^2 T$$



雲・降水スキーム



境界層スキーム



放射スキーム

モデル解像度による部分

本日の話題

- ① 数値モデルによる予測可能性について
- ② 力学的ダウンスケーリングとは一体何か？
- ③ 平均気象の適用研究
- ④ 極端気象の適用研究

- **数値モデルによる予測可能性について**

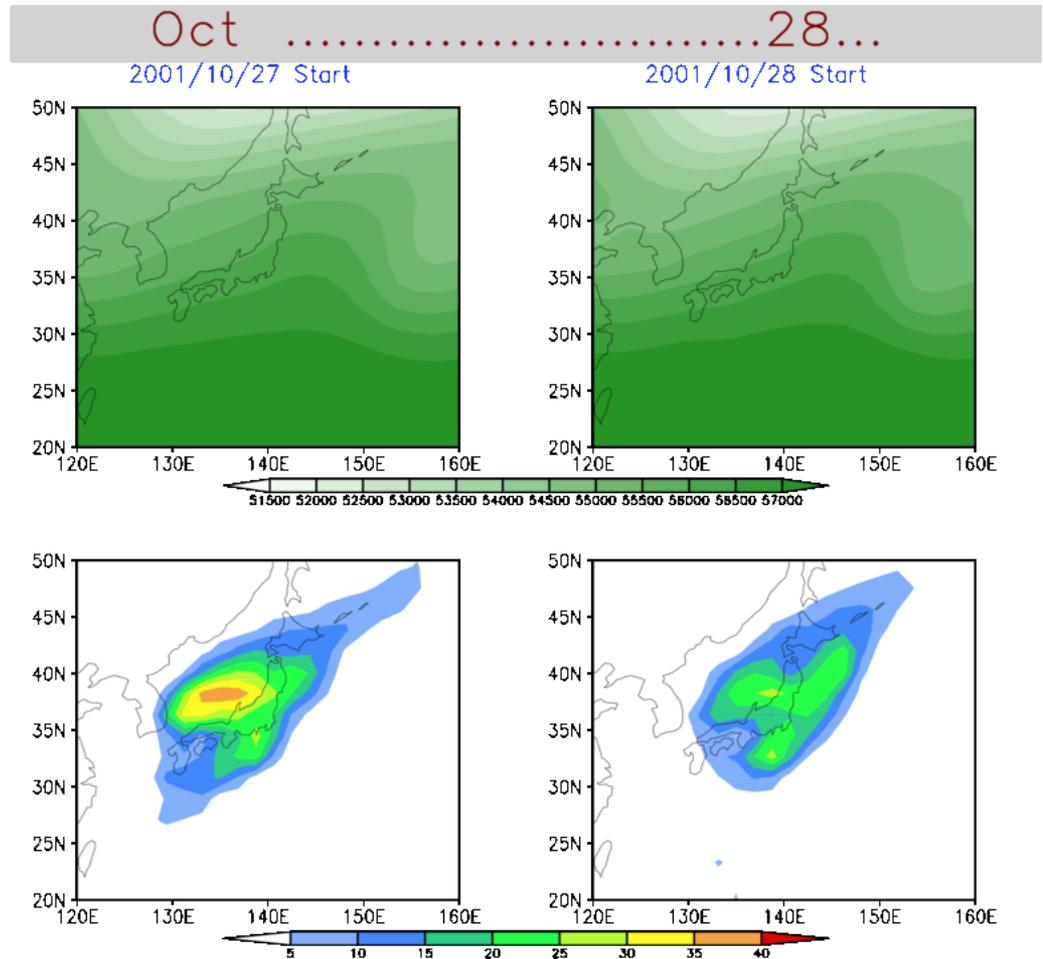
① 数値モデルによる予測可能性

単一モデルによる初期値アンサンブル実験

- (i) 個々のイベントの予報可能性
- (ii) 月平均値の予測可能性
- (iii) 気候値の予測可能性

初期値アンサンブル実験結果の比較

1日違いの初期値から始めた全球実験の結果を並べた。500hPA高度場(上)と日降水量(下)を比べてもらいたい...



#1

#2

#3

#4

#5

Precipitation of Day 2001/10/27 to 2001/10/30 [00Z]

2001/10/27 Start

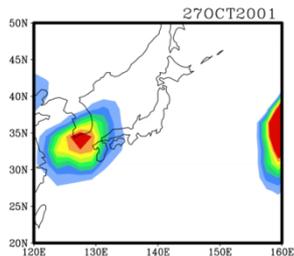
2001/10/28 Start

2001/10/29 Start

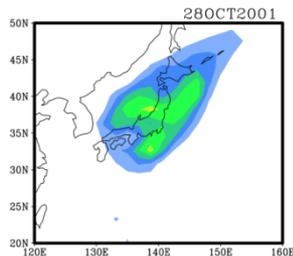
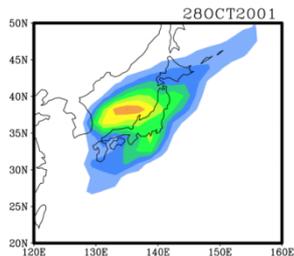
2001/10/30 Start

2001/10/31 Start

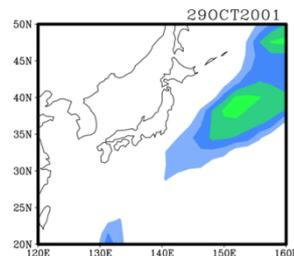
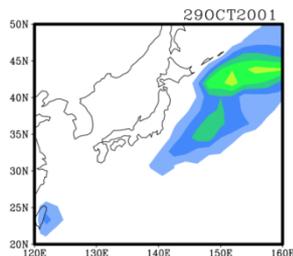
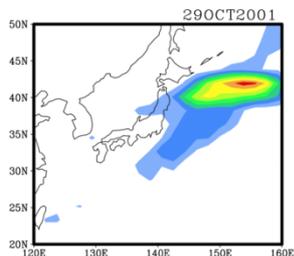
Day -3



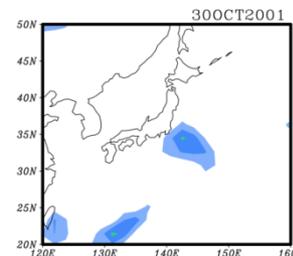
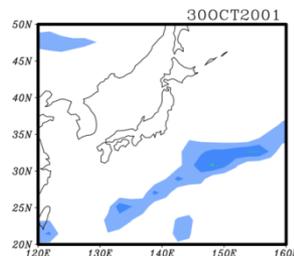
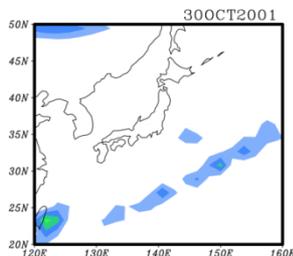
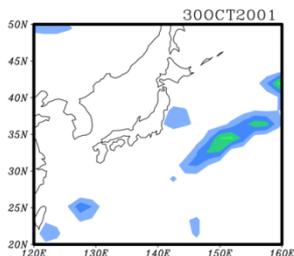
Day -2



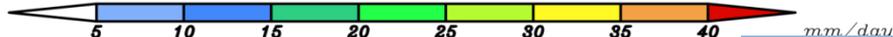
Day -1



Day 0



日総降水量 (mm/day) でアンサンブル実験の結果を見ているもの。



(仲江川@MRI 提供)

#1

#2

#3

#4

#5

Precipitation of Day 2001/10/27 to 2001/11/07 [00Z]

2001/10/27 Start

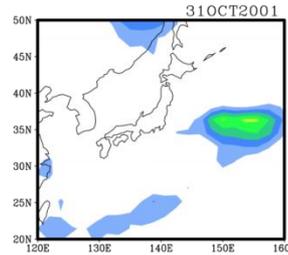
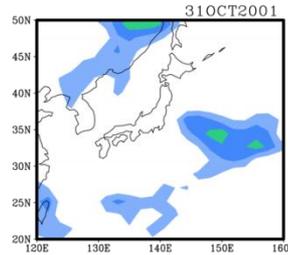
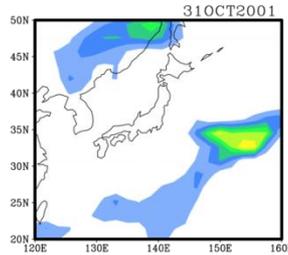
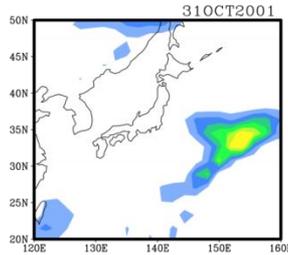
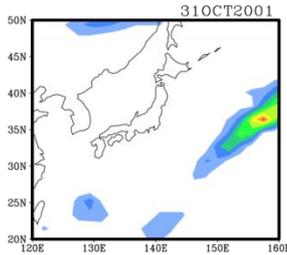
2001/10/28 Start

2001/10/29 Start

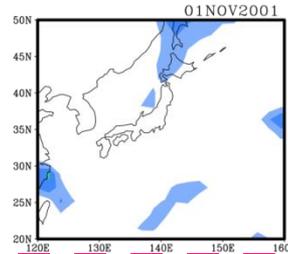
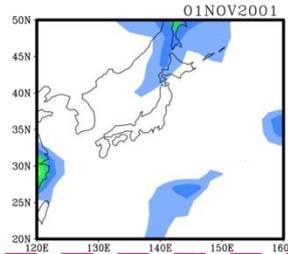
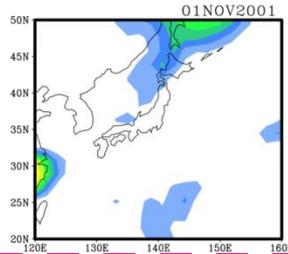
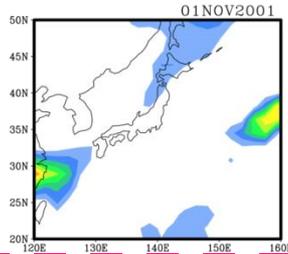
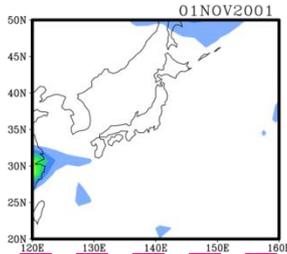
2001/10/30 Start

2001/10/31 Start

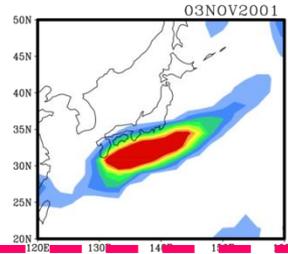
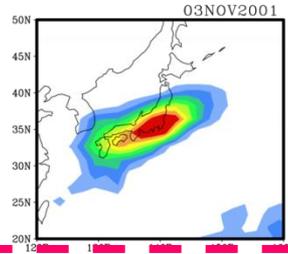
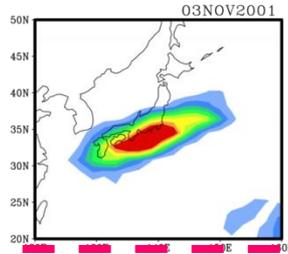
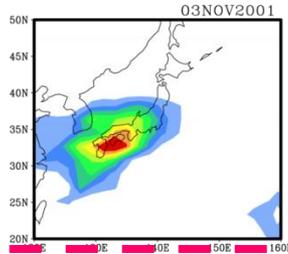
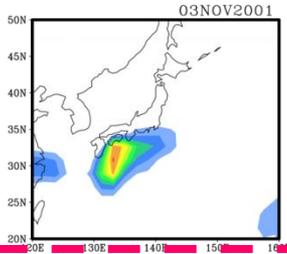
Day 1



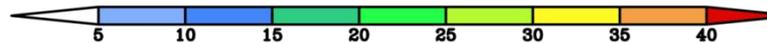
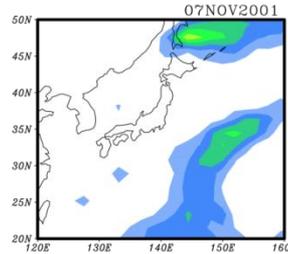
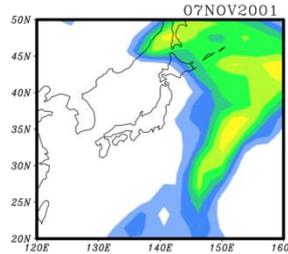
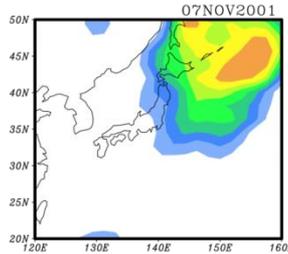
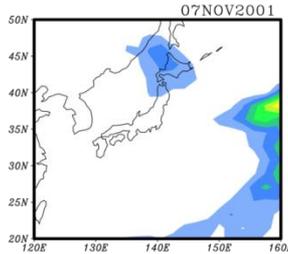
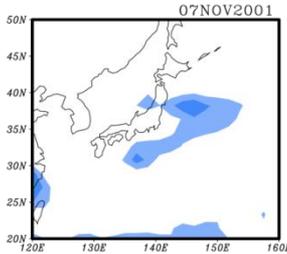
Day 2



Day 4



Day 8



(仲江川@MRI 提供)

#1

#2

#3

#4

#5

Precipitation of Day 2001/11/15 to 2002/03/07 [00Z]

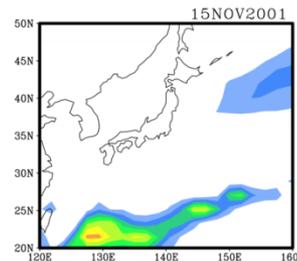
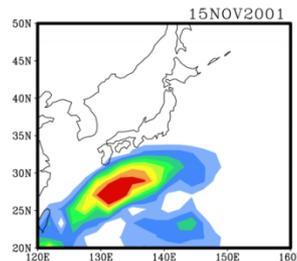
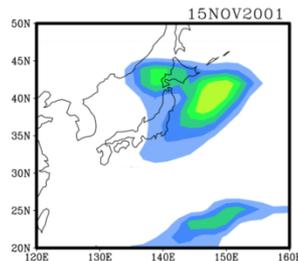
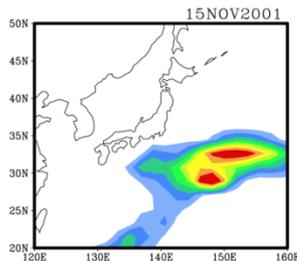
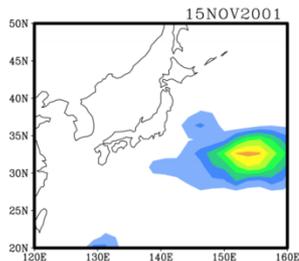
2001/10/27 Start

2001/10/28 Start

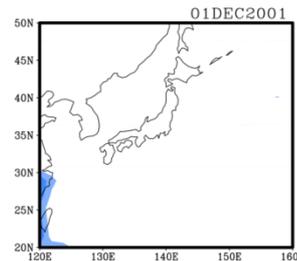
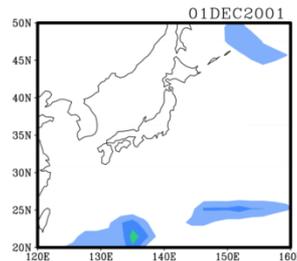
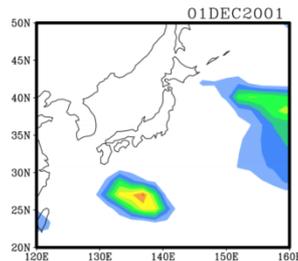
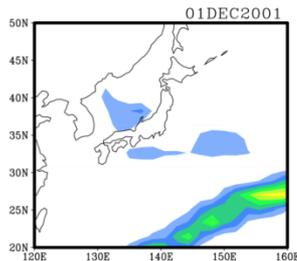
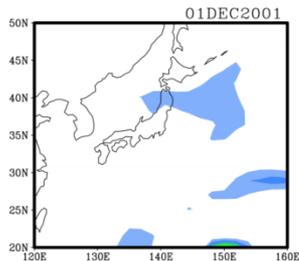
2001/10/29 Start

2001/10/30 Start

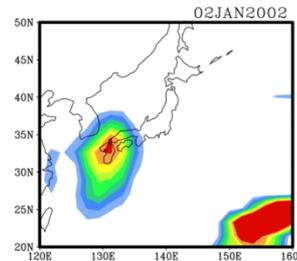
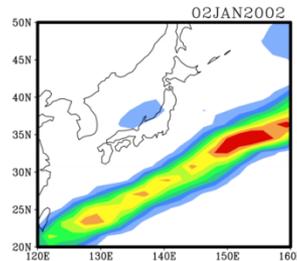
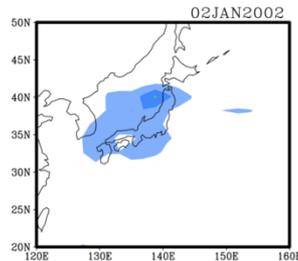
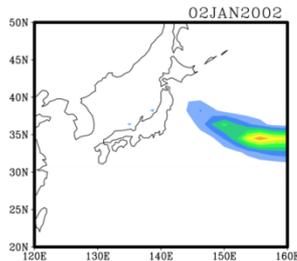
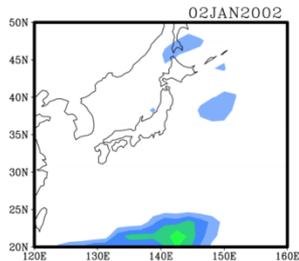
2001/10/31 Start



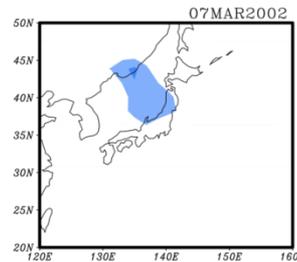
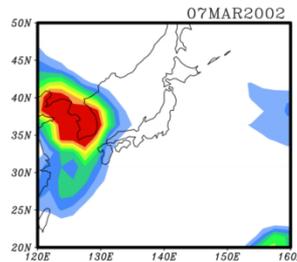
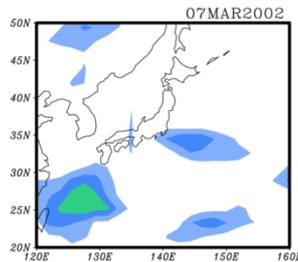
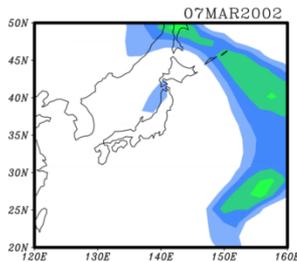
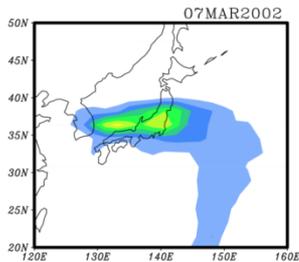
Day 16



Day 32



Day 64



Day128



(仲江川@MRI 提供)

#1

#2

#3

#4

#5

Precipitation Monthly Total 1979-2009 30yr Average [00z]

10/27 Start

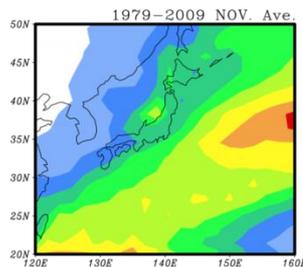
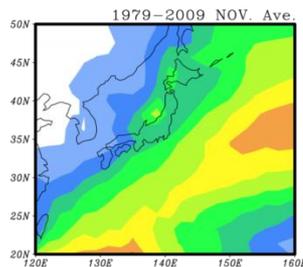
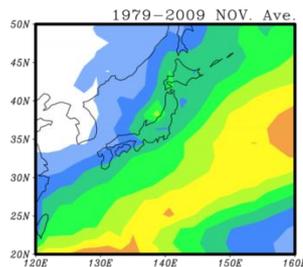
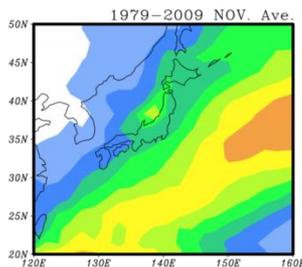
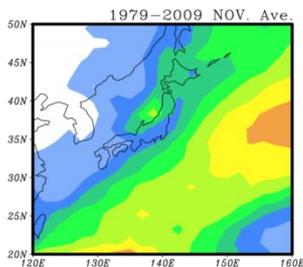
10/28 Start

10/29 Start

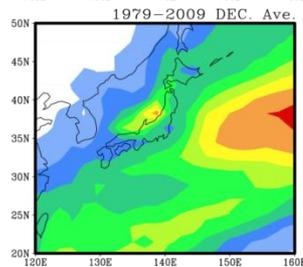
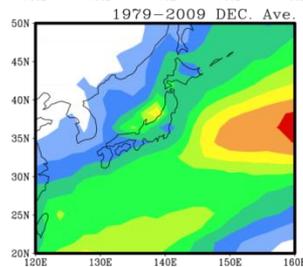
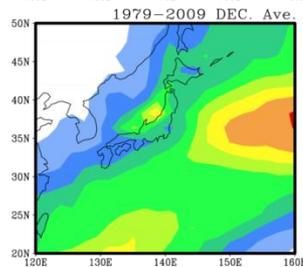
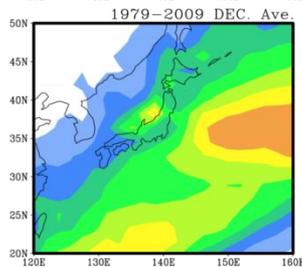
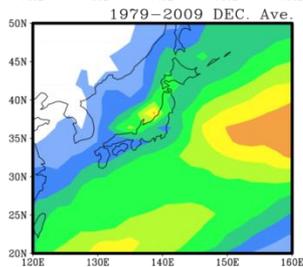
10/30 Start

10/31 Start

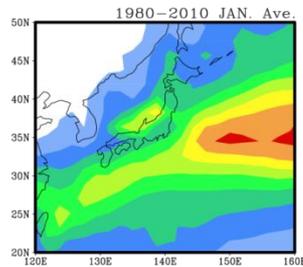
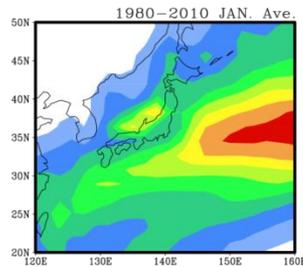
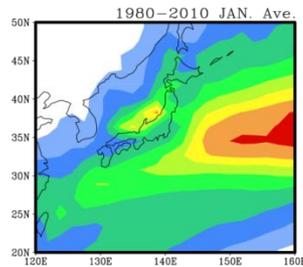
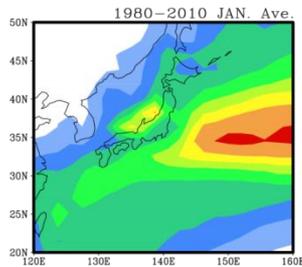
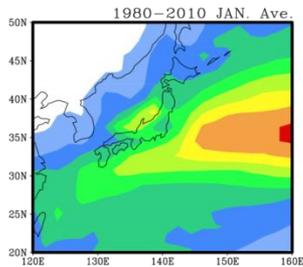
Nov.



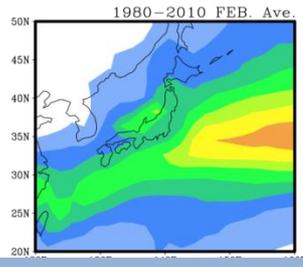
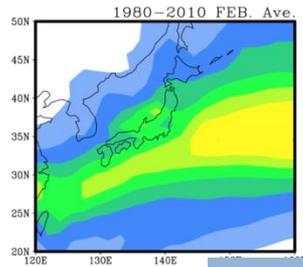
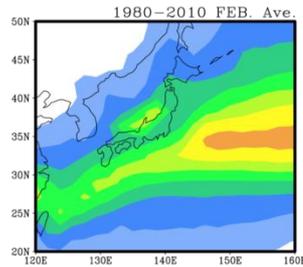
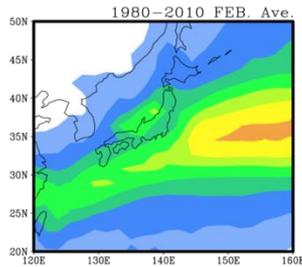
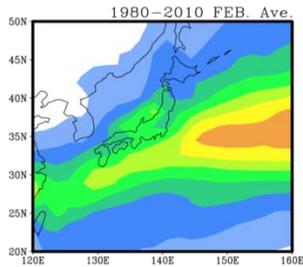
Dec.



Jan.



Feb.

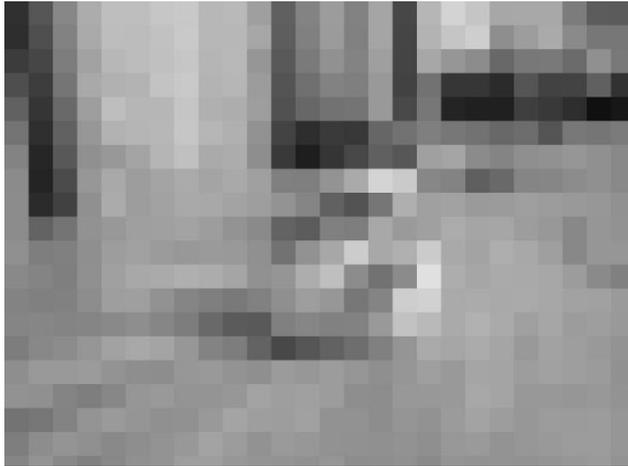


まとめ

- 単一モデルによる初期値アンサンブル実験から
 - (i) 個々のイベントの予報可能性
 - (ii) 月平均値の予測可能性
 - (iii) 気候値の予測可能性
- 個々のイベント予報には時間の壁があるが、平均的な気候値の予測のポテンシャルがある。**

■ 力学的ダウンスケーリングとは？

ダウンスケーリングって一体何？



全球モデル出力
からわかる情報

アセスメントに必要な
情報

気候予測研究と影響評価研究の橋
渡しを行うのがダウンスケーリング

両者の間には大きな
ギャップがある

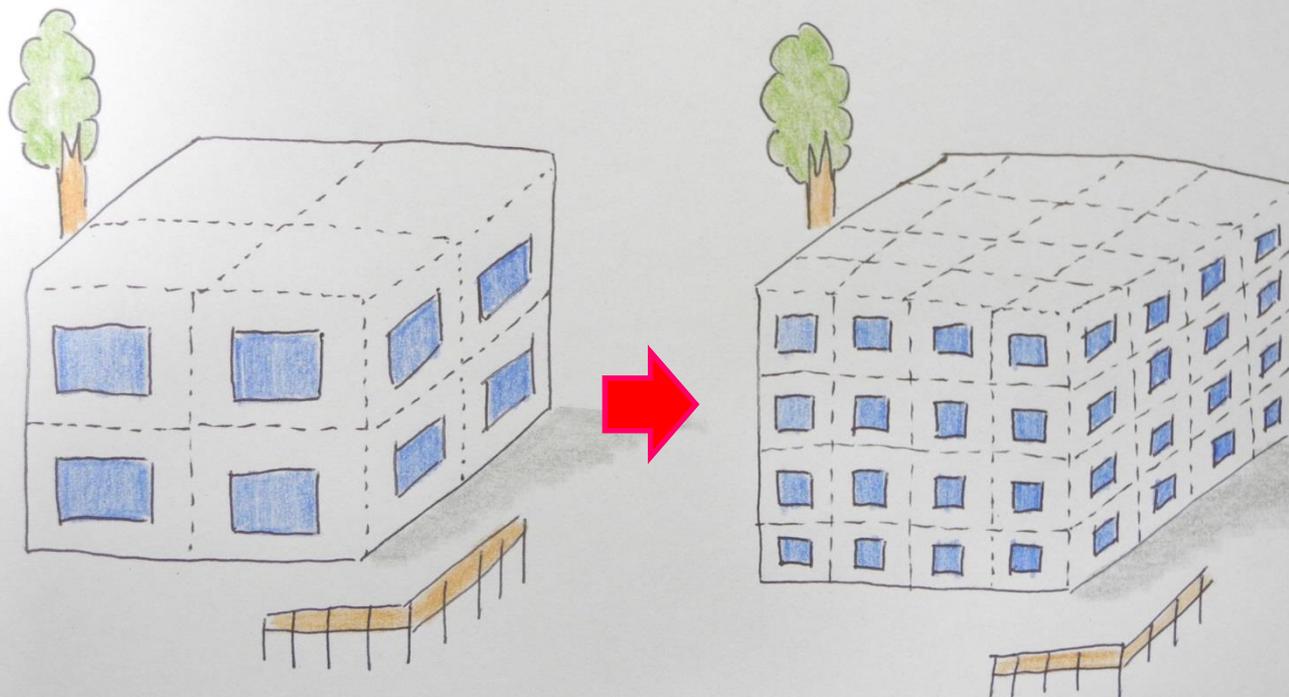


力学的ダウンスケーリングの特性

- 全球モデルは、全世界を長期にわたり計算する必要があり、要する計算資源は非常に大きなものとなる。モデルの水平解像度を倍にしようとする、大雑把に言って $2^4 = 16$ 倍の計算資源が必要になる。
- ➔そこで、関心の対象となるせまい地域の詳細な情報を入手するためには、領域モデルを全球モデルにネストして計算する力学的ダウンスケーリング手法が採用される。

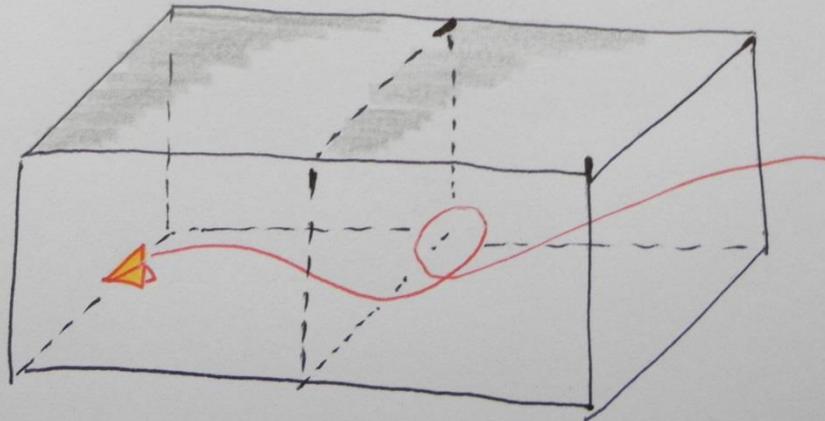
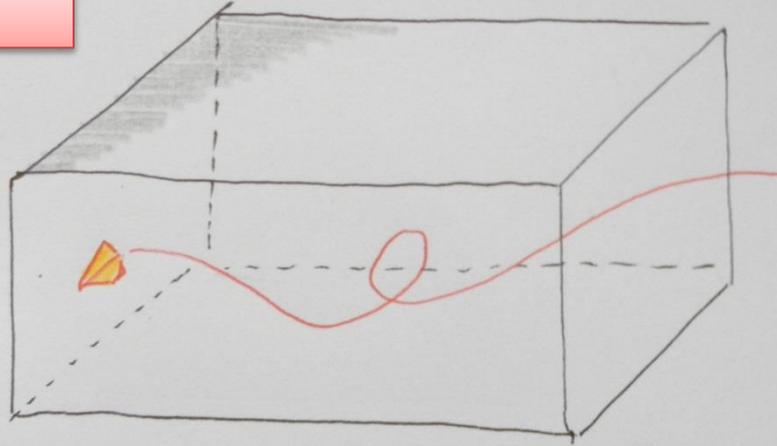
$$2 \times 2 \times 2 = 8$$

必要な計算機資源...

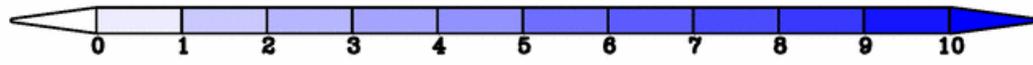
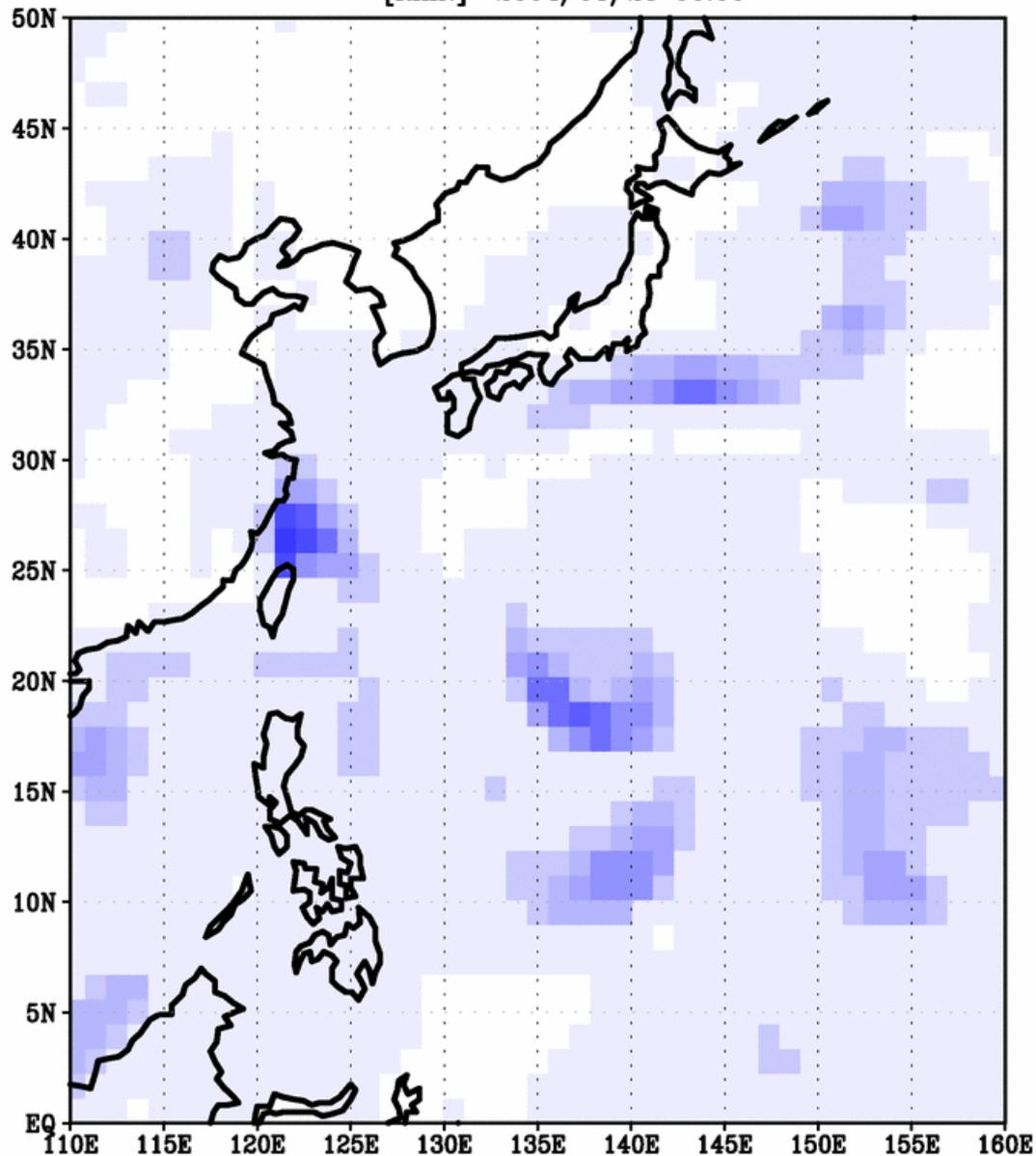


計算時間間隔 $2^3 \times 2 = 16$

必要な計算機資源...



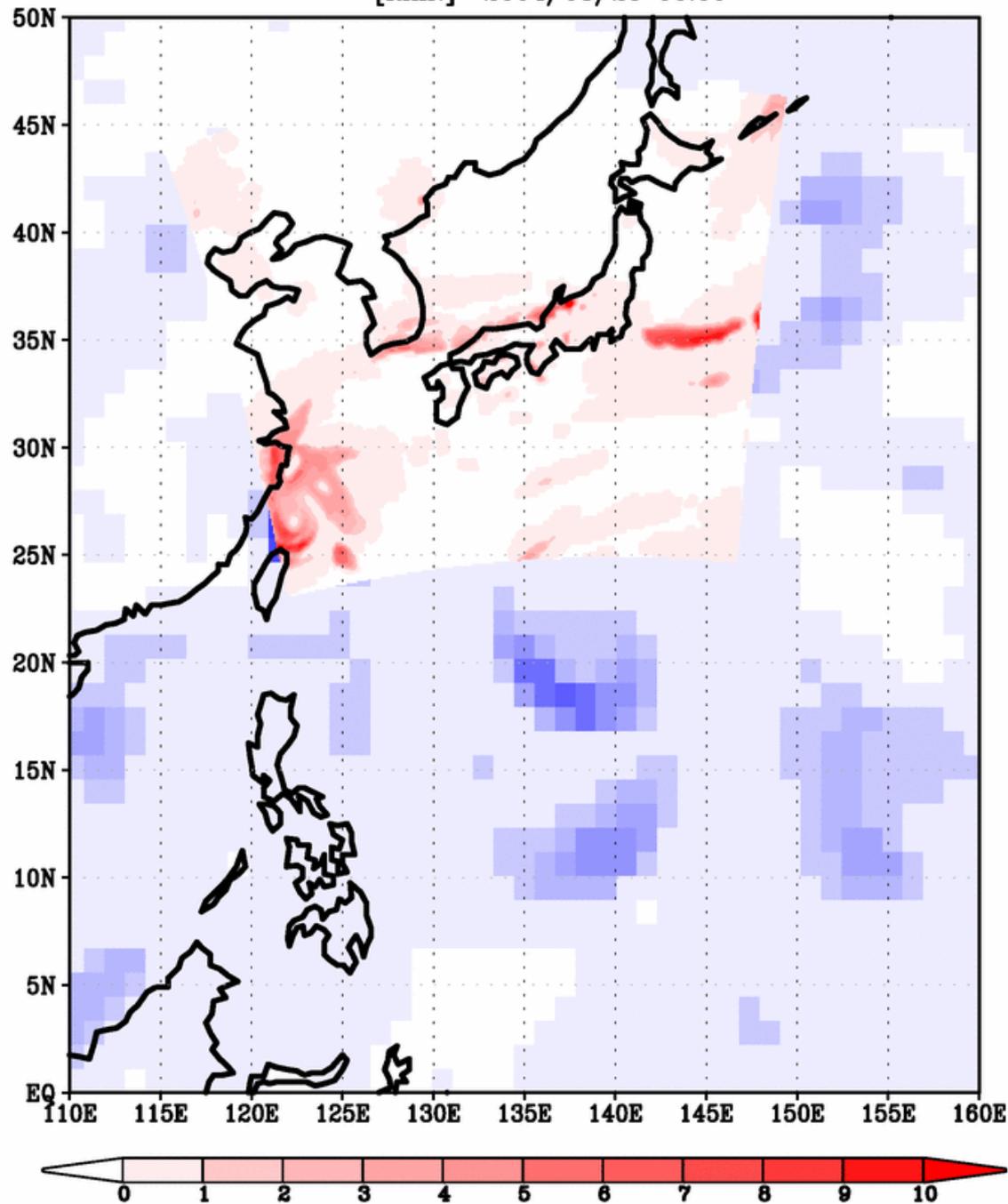
[RAIN] 2004/08/25 00:00



* 全球モデル
(再解析データ)
* 時間雨量
* 台風が日本に
接近！

[RAIN] 2004/08/25 00:00

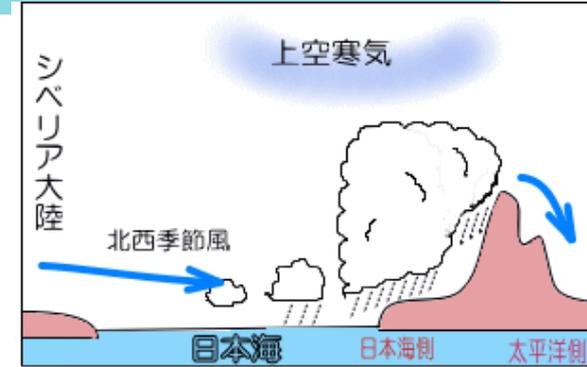
- * 赤い所はダウン
スケーリング
- * 時間雨量
- * 台風が日本に
接近！



日本海側の冬季の積雪

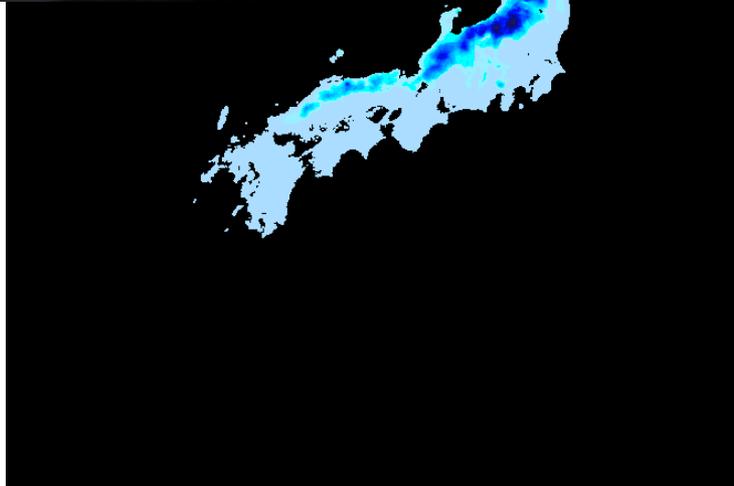


2月の積雪



(lizuka, 2008)

(@NIED)

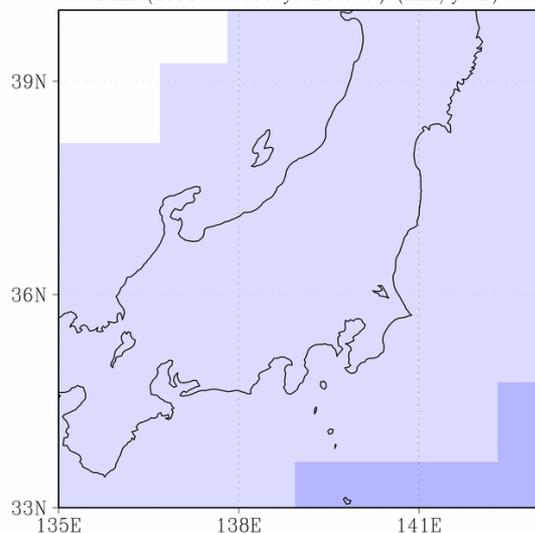


モデルの水平解像度の効果

年降水量の気候値

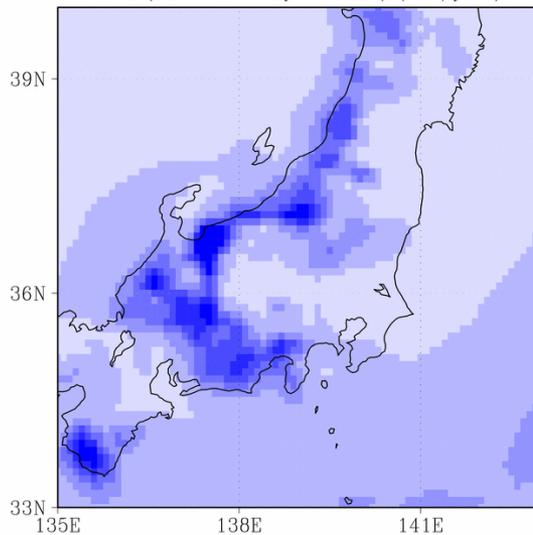
Global re-analysis
data (JRA-25)

rain (1981 - 2000 years ave.) (mm/year)



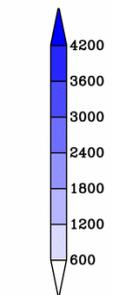
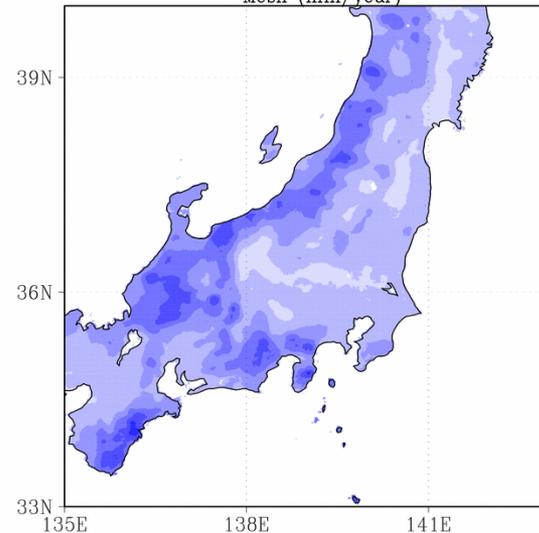
DDS by using
20km RCM

rain (1981 - 2000 years ave.) (mm/year)



Observation

Mesh (mm/year)

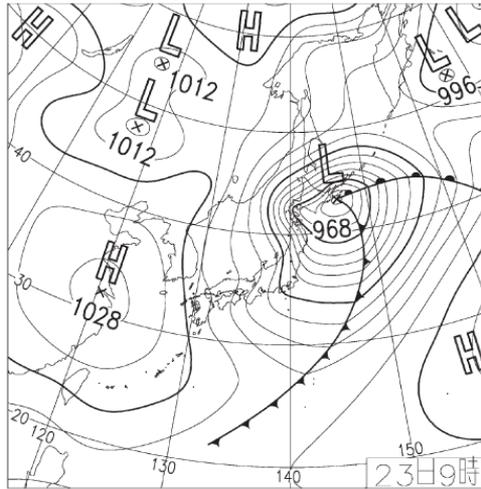


mm/年

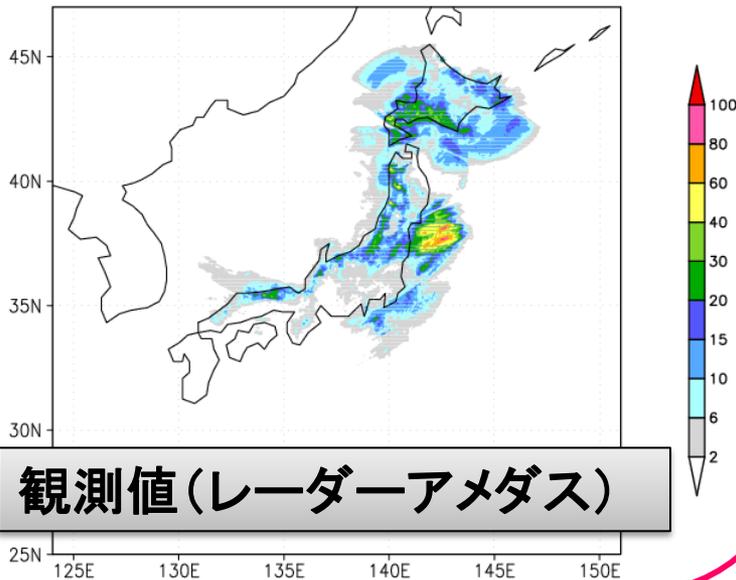
※ 日本列島上の降水分布を出すためには、最低20km格子モデルが必要である。

温帯低気圧による降水

(20040223)



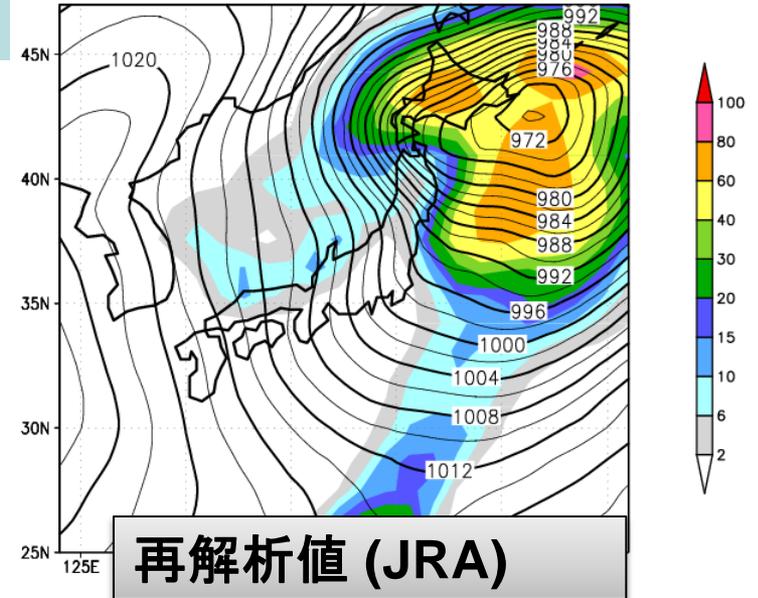
Rader AMeDAS 2004 2/23 00Z



観測値(レーダーアメダス)

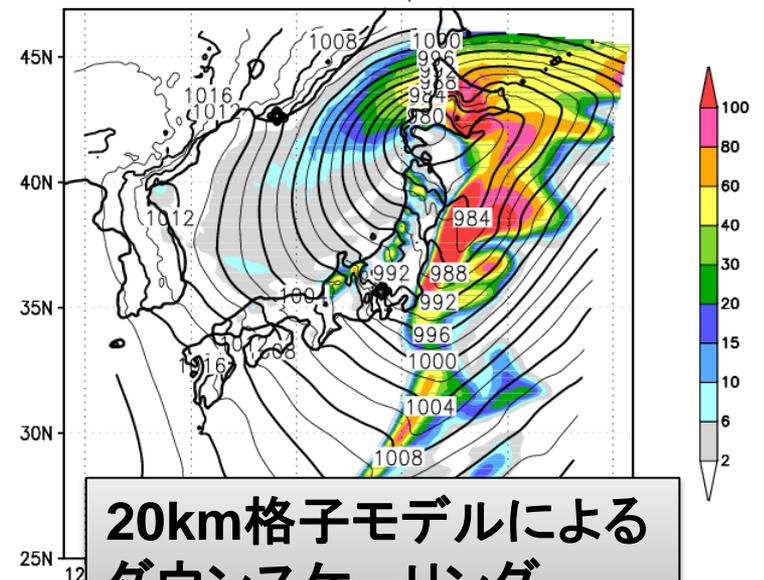
メソスケール擾乱の再現性

JRA Rain 2004 2/23 00Z



再解析値 (JRA)

NHM Rain 2004 2/23 00Z

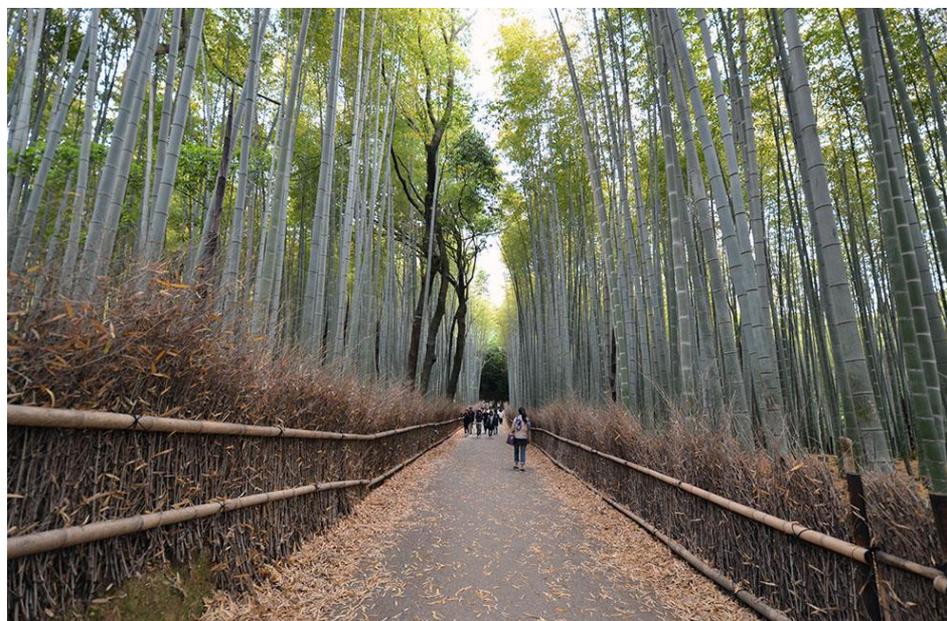


20km格子モデルによる
ダウンスケーリング

■ 平均気象の適用研究

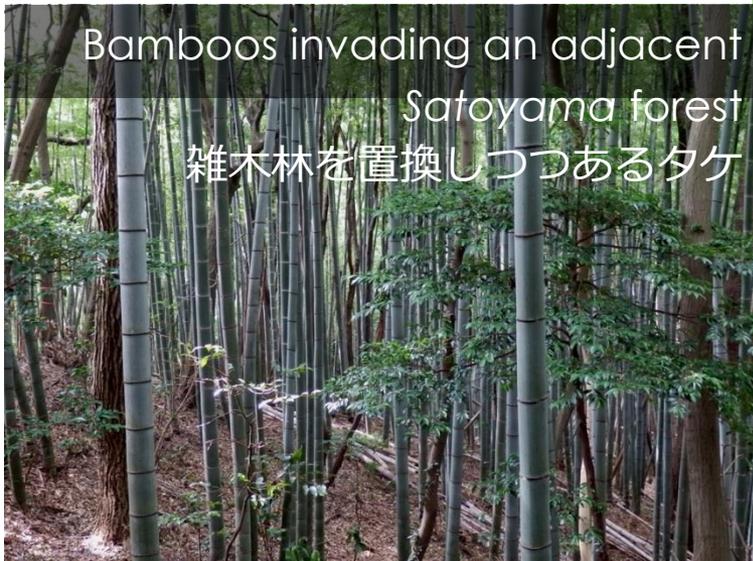
竹林の生育可能エリアの変化

- 竹は最も成長が早い植物の1つで、2-4か月の間に5-25mに達する。
- ここでは、マダケ・モウソウチクに注目する。日本では人為移入種。
- 管理放棄された竹林は近隣の生態系を脅かす。



高野@東北大 提供

竹林の分布エリアの変化



Bamboos invading an adjacent
Satoyama forest
雑木林を置換しつつあるタケ

中静@東北大 提供

○ 竹林の分布は、現在は主として日本の南の方に限られているが、将来は広がる可能性がある。

○ ダウンスケーリング結果からこれを予測してみた・・・

竹林が里地里山を飲みこむ

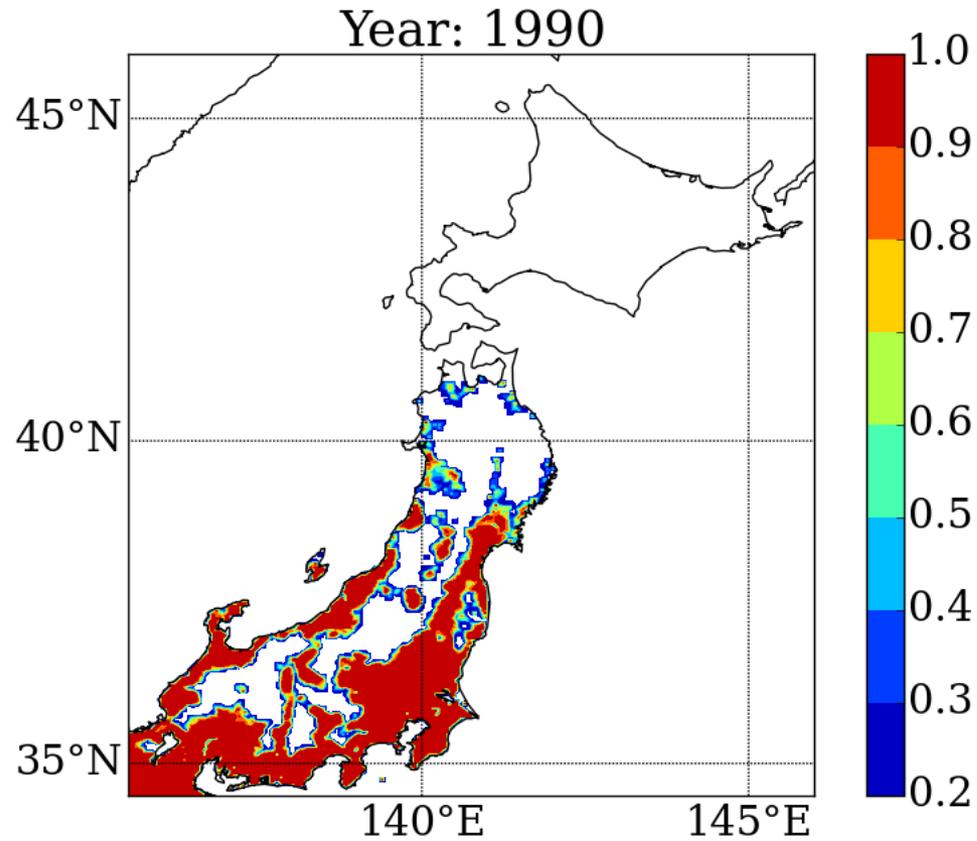
タケはタケノコが美味しいためあちこちに植えられ、大切に管理されてきました。ところが最近では、タケノコの自給率が下がり、手入れされていない竹林が増えています。

タケのなかでも成長の早いモウソウチクはタケノコから約1ヶ月で20メートルもの高さに達し、まわりの植物を日陰にして枯らしてしまいます。タケノコを採るなどの管理を行わなければ、竹林が1年に最大3~4メートルの割合でまわりの植生を飲みこんでいきます。増え続ける竹林は、これからの里地里山管理の上で最大の問題点かもしれません。



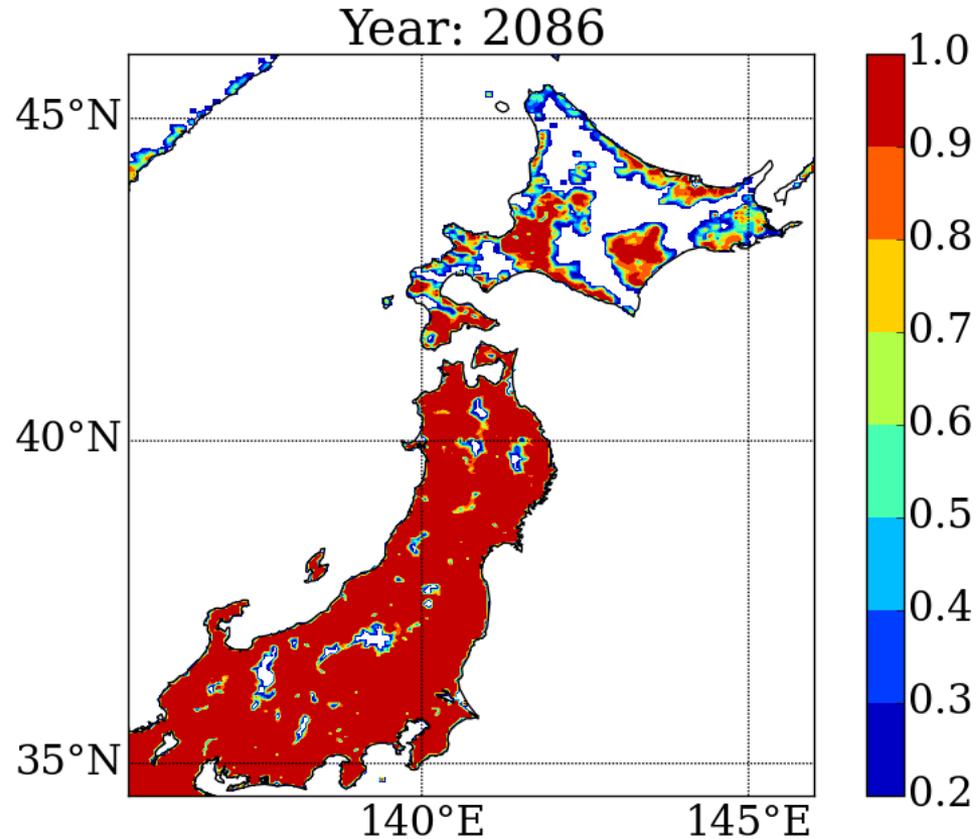
環境省 里地里山パンフレットより

竹林の分布エリアの変化



気候要素(地上気温、日射 etc.)から竹林の生存確率を評価したもの。

竹林の分布エリアの変化



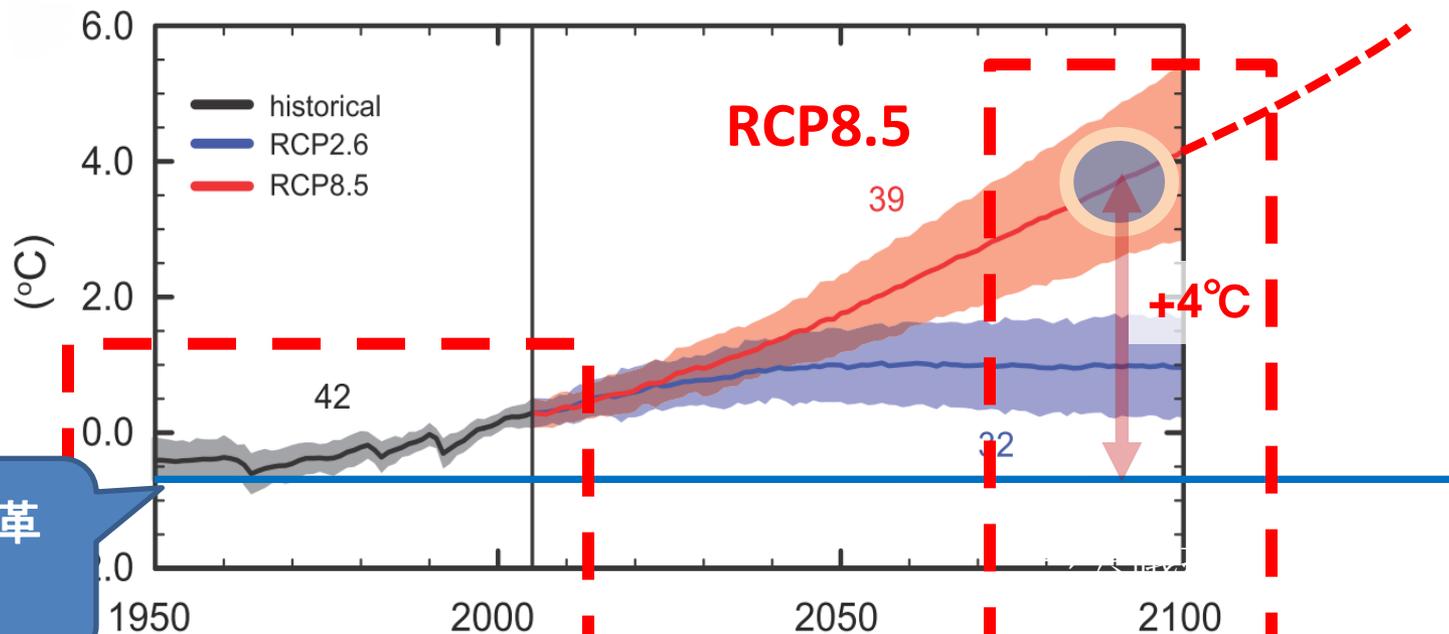
気候要素(地上気温、日射 etc.)から竹林の生存確率を評価したもの。



■ 極端気象の予測（アンサンブル実験）

実験デザイン

全球平均地上気温偏差



1850年産業革命前の気温

60km AGCM

100 メンバー

NHRCM 20km
(日本周辺のみ)

50 メンバー

1951 過去実験 2010

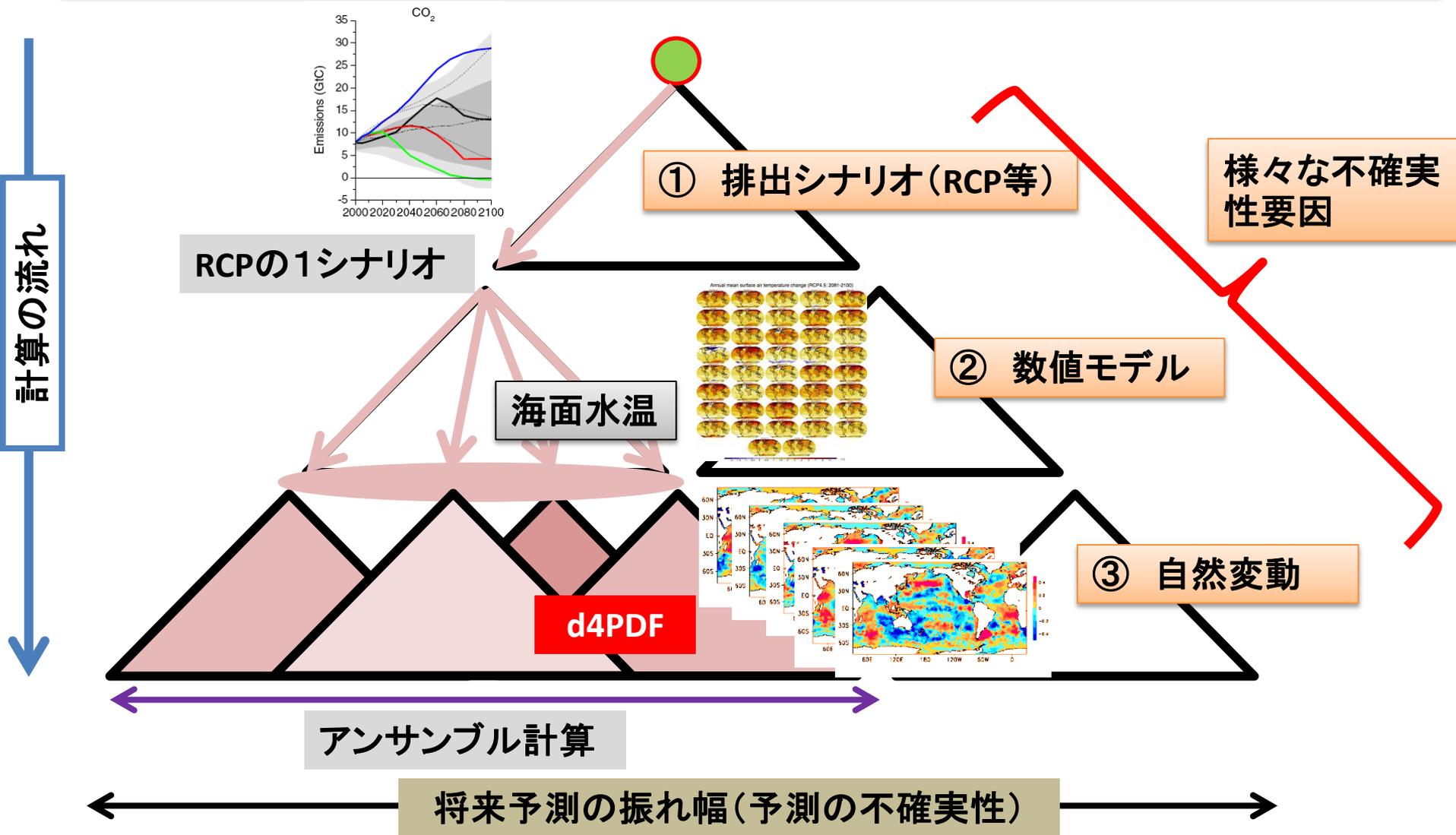
90 メンバー
(6ΔT × 15δT)

90 メンバー

60年間

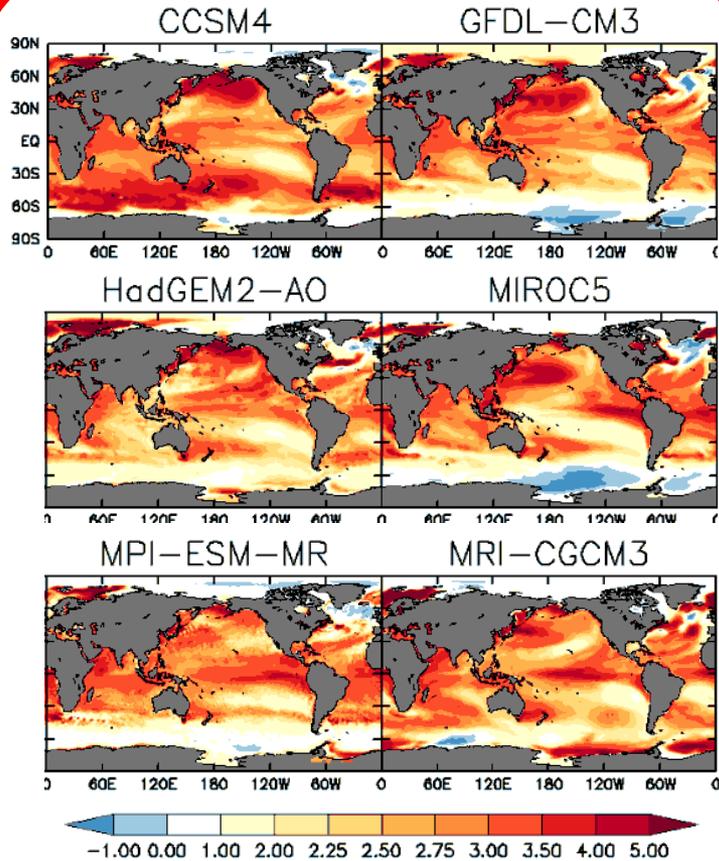
+4°C 上昇

気候モデルを用いた地球温暖化予測における様々な不確実性要因

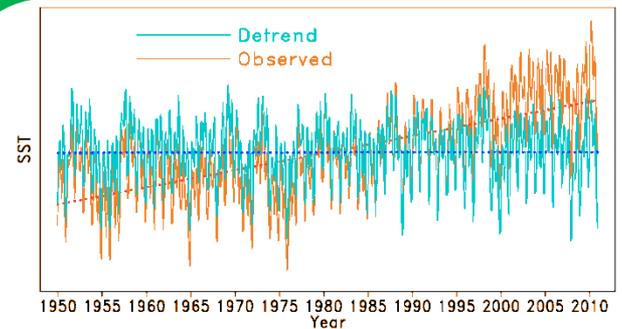
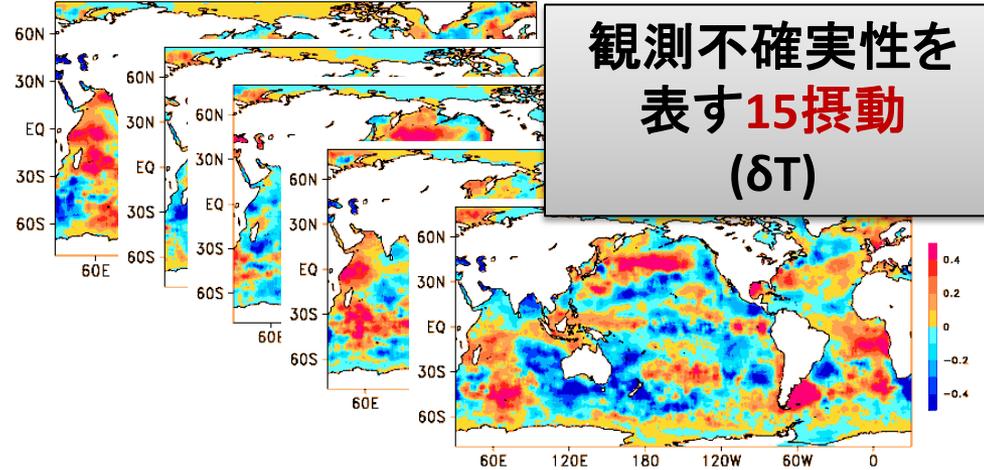


※ 自然変動を考慮しないと→発生頻度の低い異常天候や極端気象の変化の不確実性を十分に評価できていない。

将来実験: 産業革命前から4°C昇温した状態を延べ5400年間



6種の温暖化パターン(CMIP5) (ΔT)

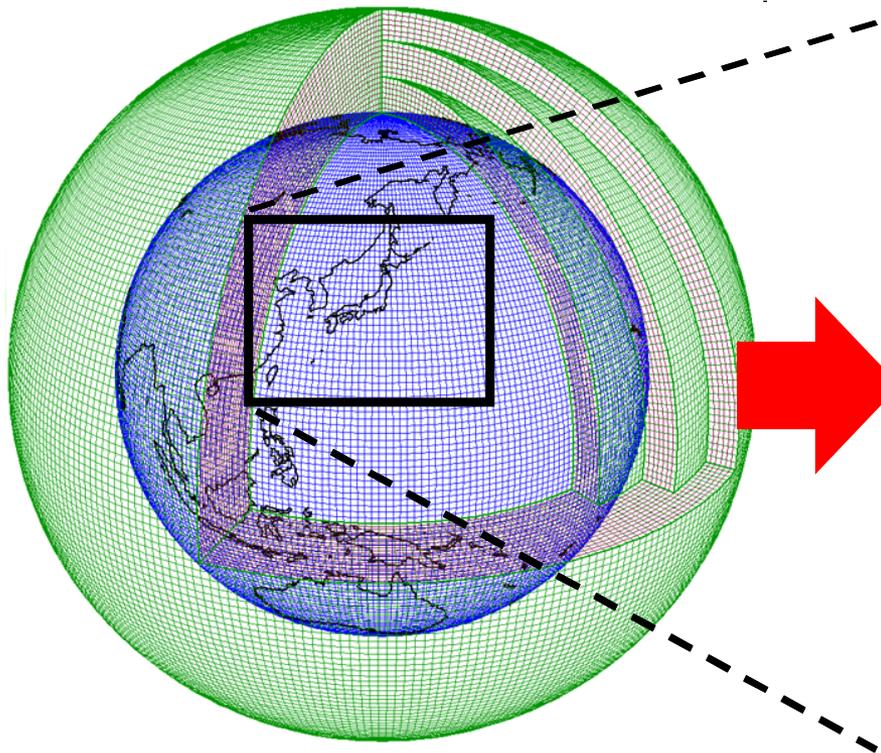


温暖化トレンドを除いた過去60年の時間変動 (青線; COBE-SST2)

日本を対象としたダウンスケーリング

AGCM

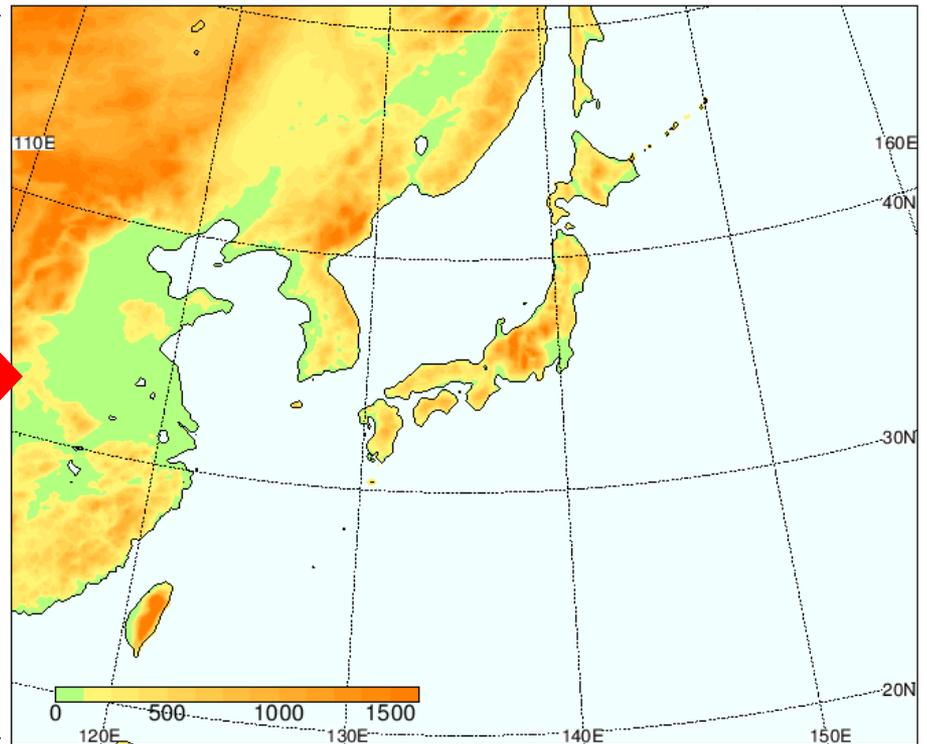
(水平解像度約60km)



(画像: 気象庁提供)

NHRCM

(水平格子間隔20km)



■ パフォーマンス

アンサンブル実験の御利益

多アンサンブル実験

平均状態をより正確に推定する

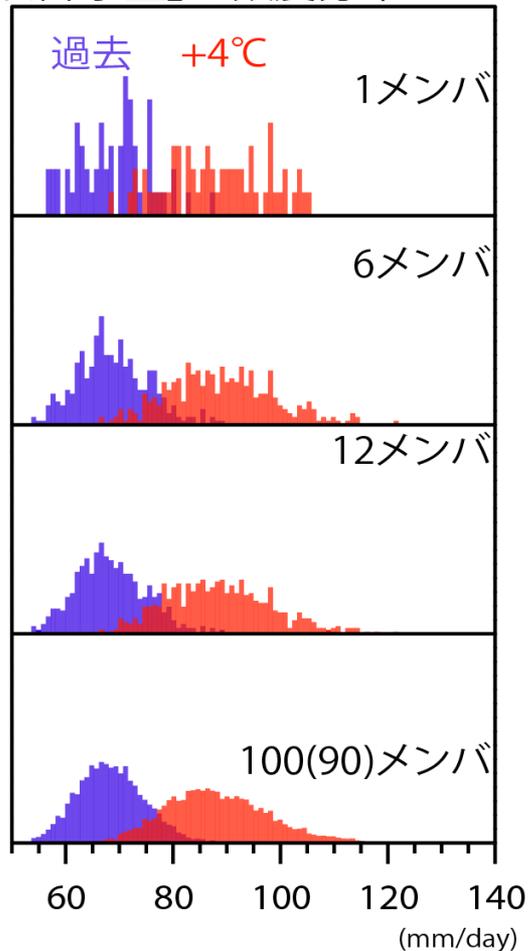
平均からはみ出した事例のサンプル
が十分に採取できる

極端な事例の統計
がとれる

ここに注目

中国南部で平均した年最大降水量の頻度分布

中国南部で平均した「年最大日降水量」の頻度分布



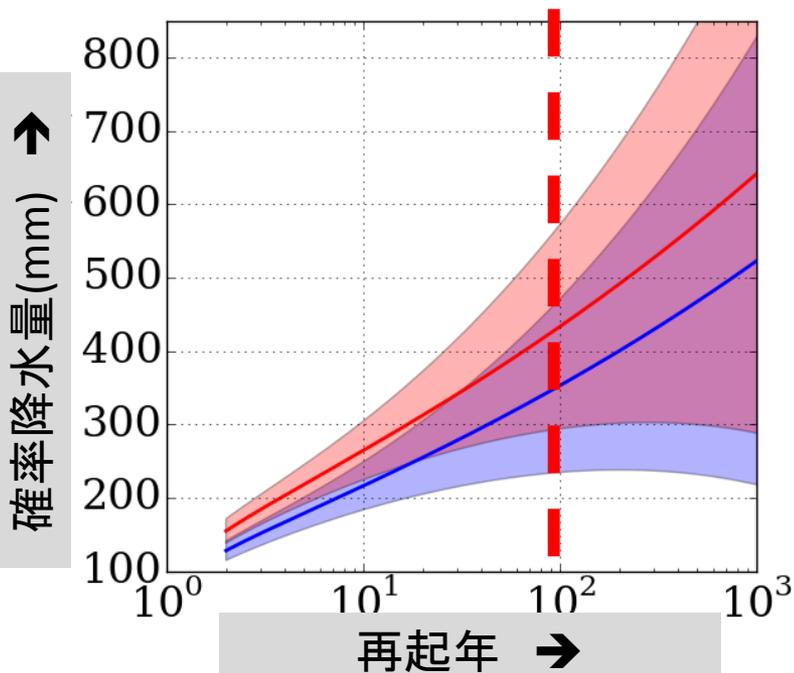
実験メンバー数が増すに従い、
頻度分布の凸凹が減っていく

変化の確からしさが増していく

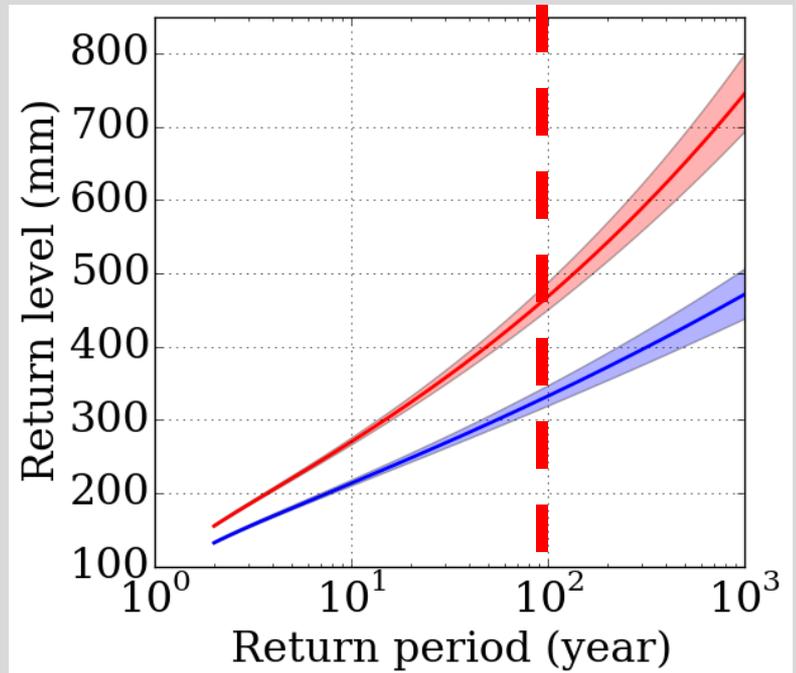
東京での、再起確率降水量の将来変動

青： 現在の結果

赤： 4°C上昇の将来の結果

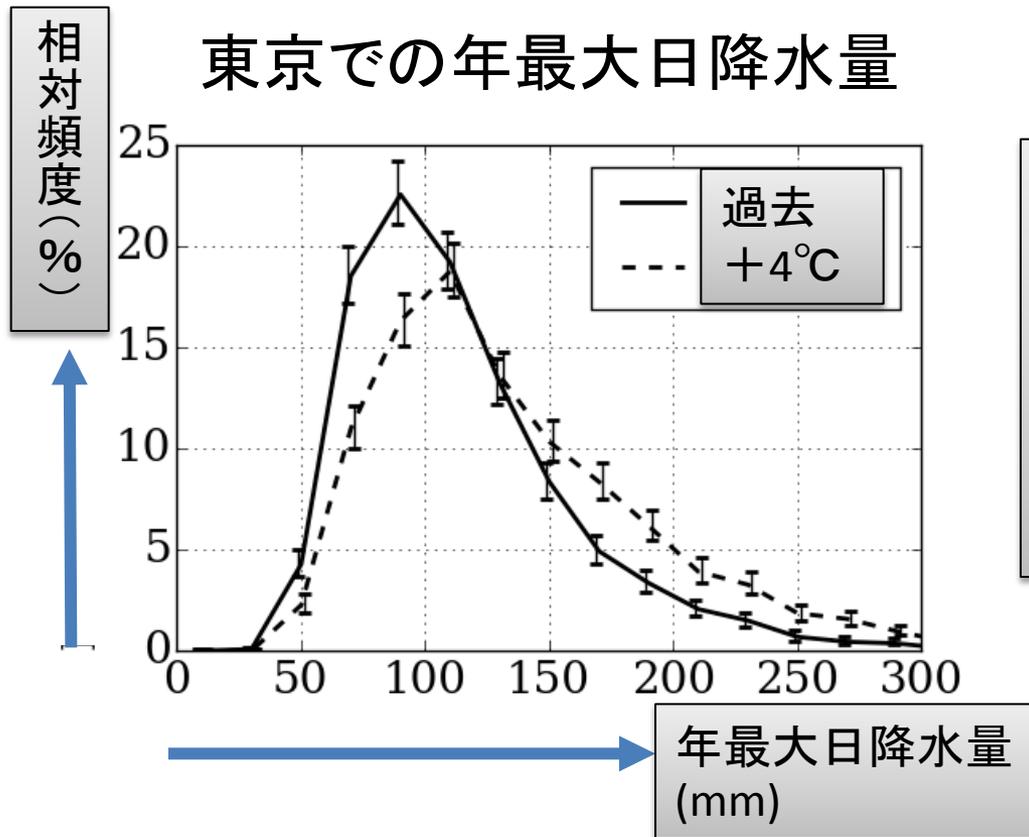


1メンバー実験の結果



100メンバー実験の結果

東京の極端な降水の変化



- 多数メンバーによって年最大日降水量の確率分布が得られる



■ 極端気象の適用研究

稀に起こる短期間の大雪については、既存の気候シミュレーションでは精度の良い予測は困難。

1日で降る大雪の例

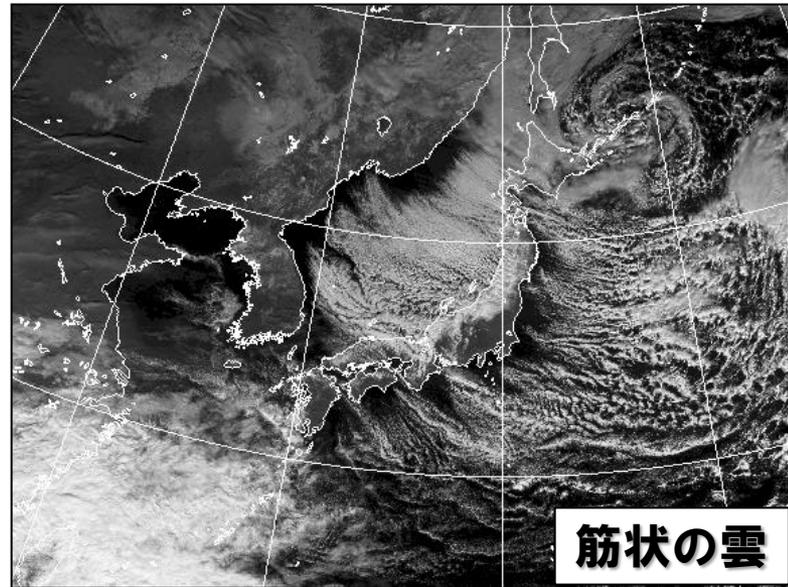
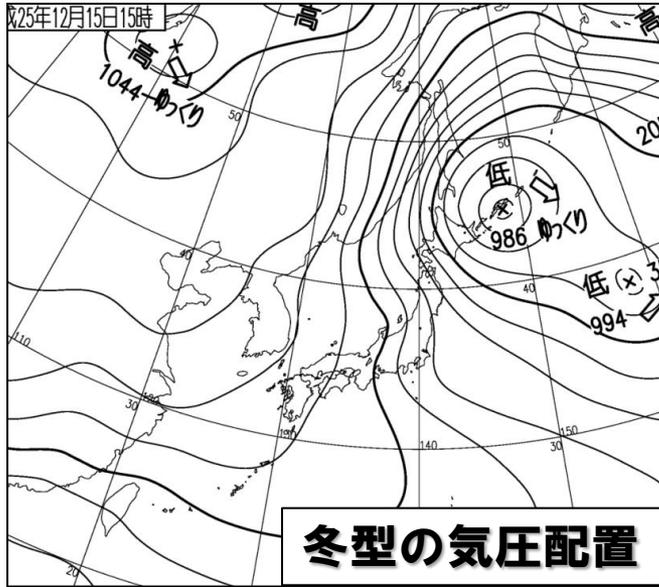
富山市で54cmの降雪(2012年2月17日)



(2012年2月19日富山市内 撮影:川瀬宏明)

- ・ 気温上昇により減少するのか？
- ・ 大気中の水蒸気量の増加とともに増加するのか？

日本海側で雪が多い理由



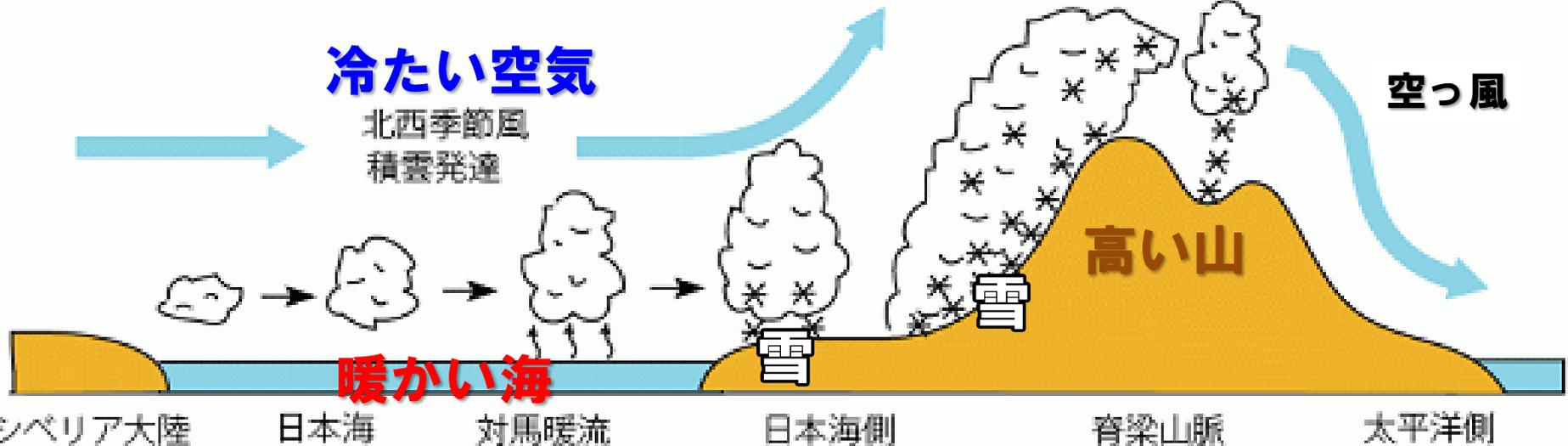
気団変質

冷たい空気

北西季節風
積雲発達

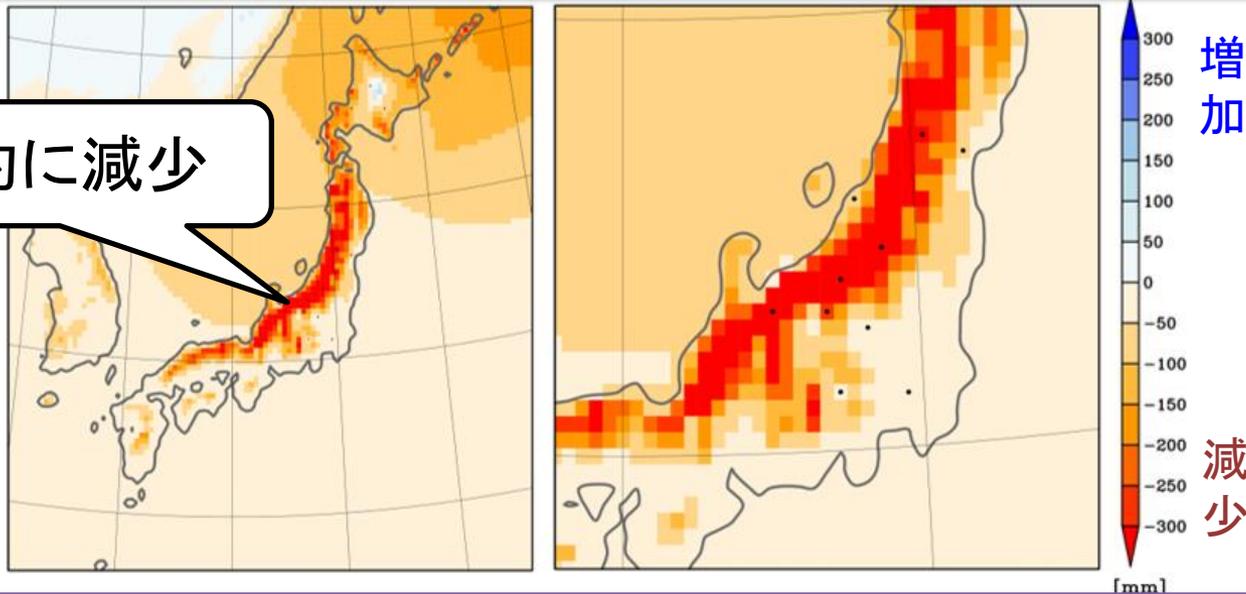
雪雲発達

空っ風

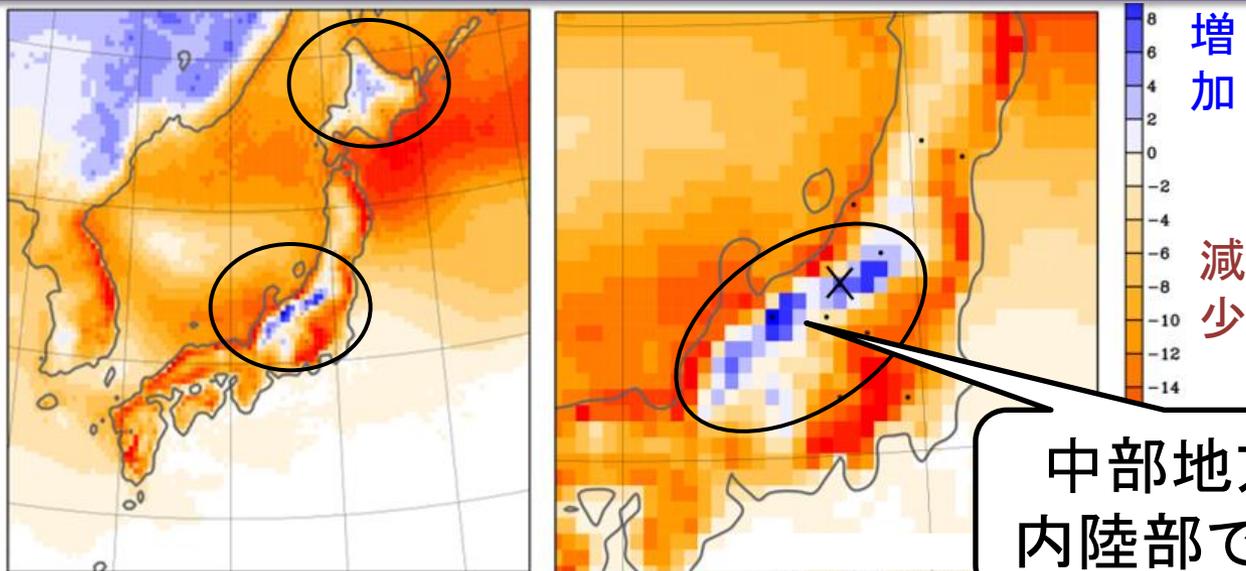


総降雪量 (11月～3月) の将来変化

全国的に減少



10年に一度の大雪 (24時間降雪)



中部地方の内陸部で増加

まとめ

- ① 数値モデルによる予測可能性
 - イベント予報には時間の壁がある (Lorenz, 1963)
 - 季節進行等、平均的なものは予測可能である
- ② 数値モデルによる力学的ダウンスケーリング
→ アセスメントの用途に応じてふさわしい手法がある

	気象現象	時間スケール	手法	適用分野
季節進行	エルニーニョ	年	平均的気象の力学的 ダウンスケーリング	農業 生態系
	ブロッキング	月		
天気予報	温帯低気圧	週	極端気象の確率情報	水利 水害 雪害
	前線・台風	日		
	積乱雲	時		