

GCM研究の最前線(II)

鬼頭 昭雄

気象庁 気象研究所 気候研究部

内容

気候モデルとは？

気候モデルの発展と高解像度化

気候モデルによる極端現象の再現

ダウンスケーリング

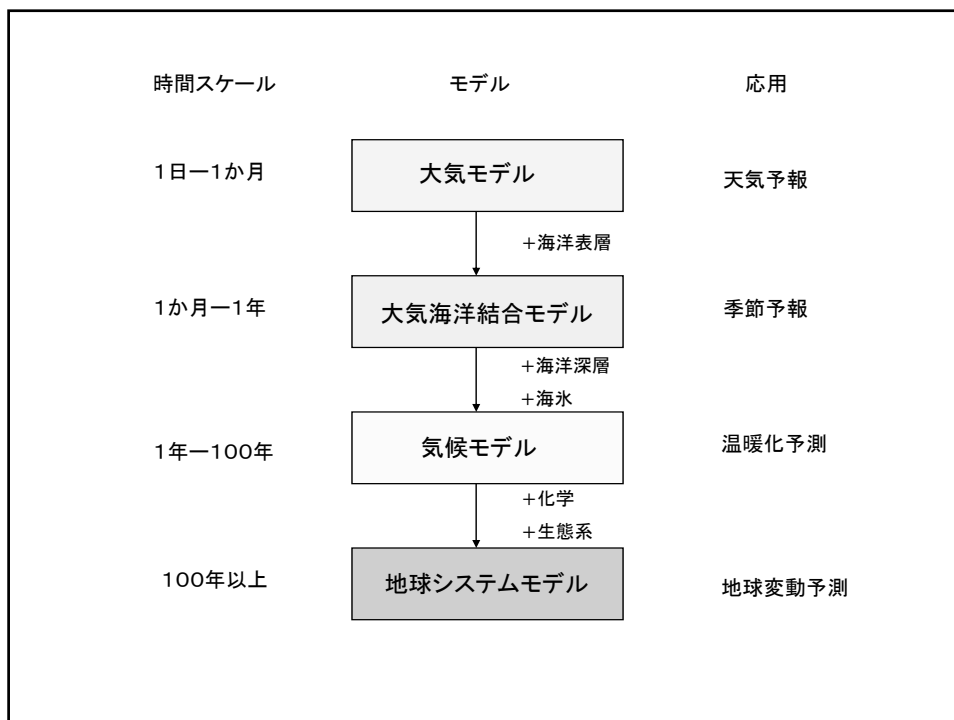
観測データとモデルの整合性

バイアス補正

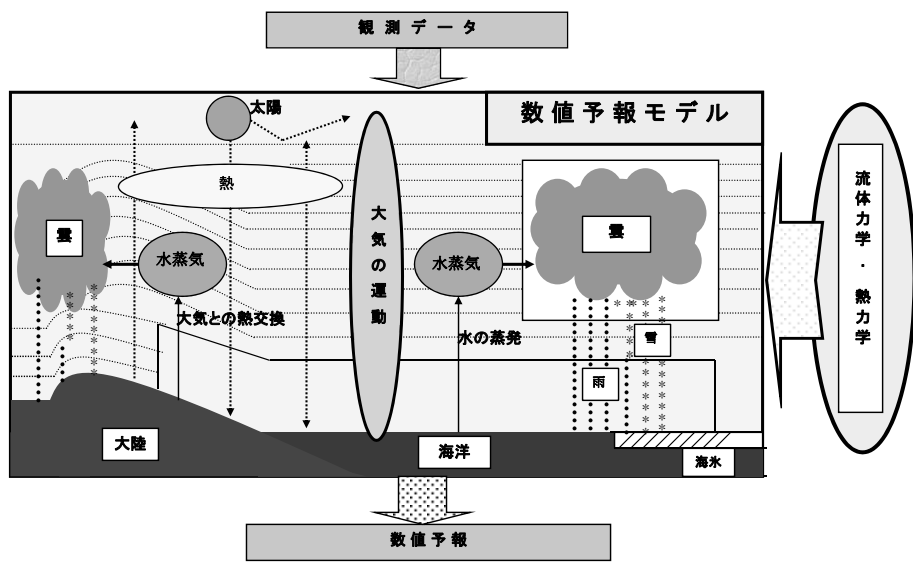
アンサンブル平均と不確実性評価

気候モデルとは？

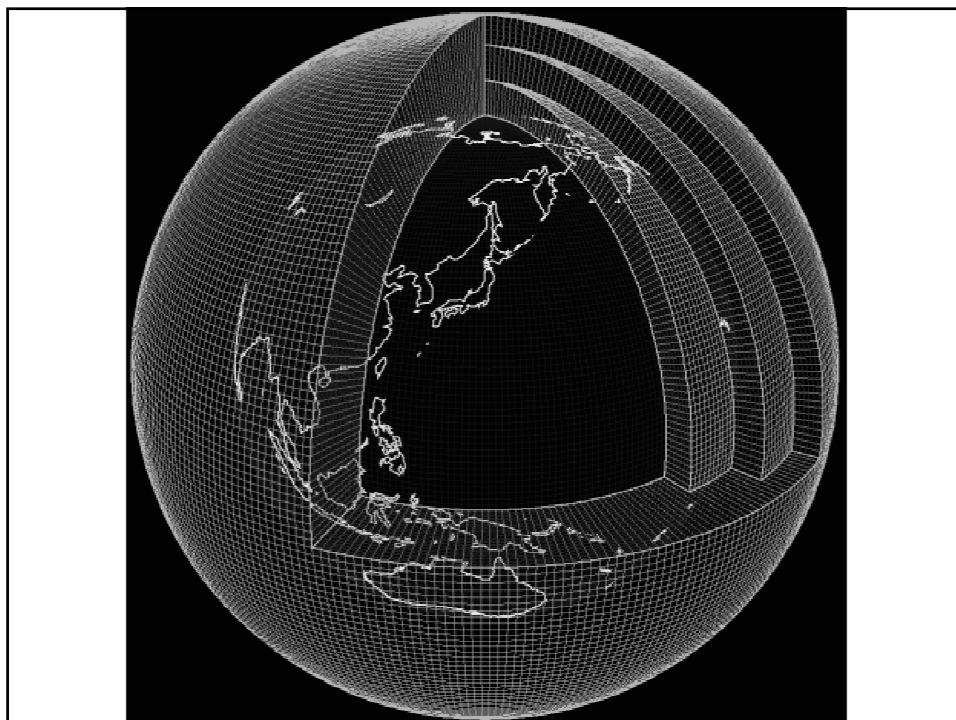
- 地球の大気・海洋・陸面などからなる気候システムを表現するモデル
 - ゼロ次元エネルギーバランスモデルから複雑な3次元大循環結合モデルまで
- 気候モデルは境界値問題を扱う
 - 初期値問題を扱う数値予報モデルと対象が異なる
 - モデルが表現する'物理'は数値予報モデルと同じ
 - 対象
 - システムの内部変動
 - 季節変化、年々変動、数十年変動、氷期・間氷期
 - 外部からの強制に対する応答・フィードバック
 - 地球温暖化

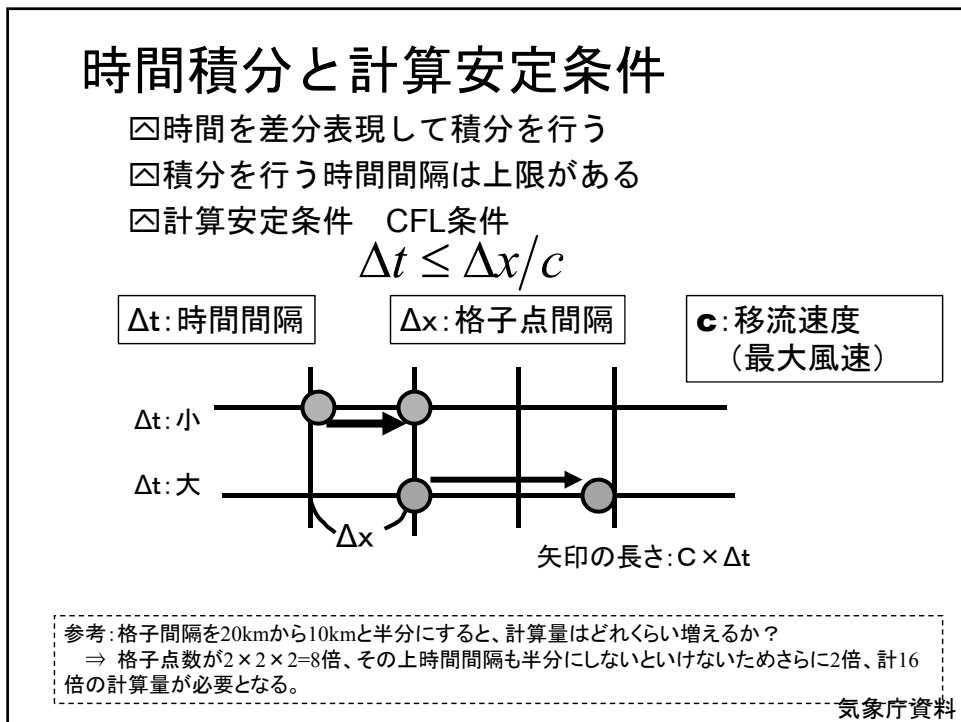
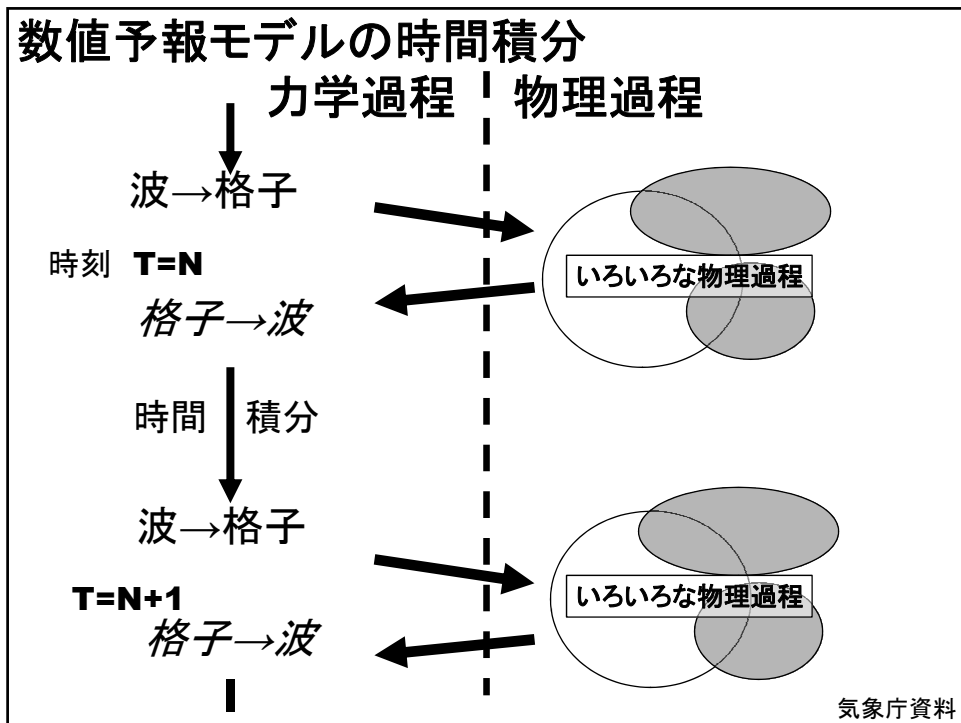


数値予報モデル

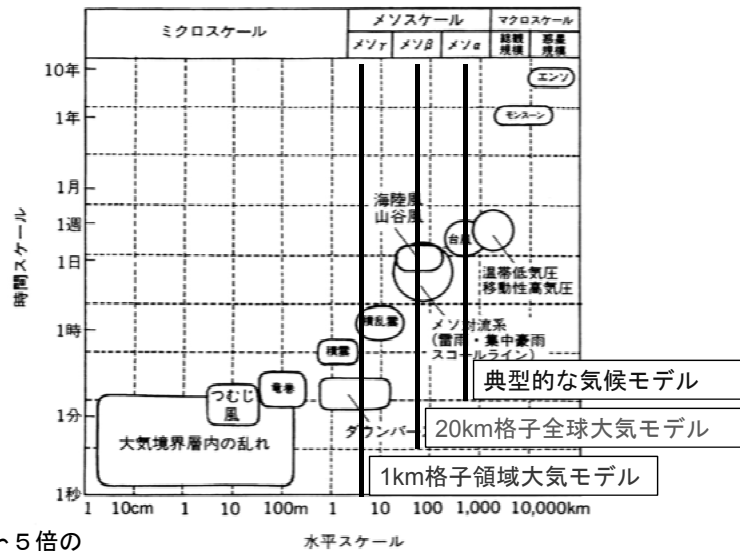


気象庁資料





GCMの時空間分解能と表現できる大気現象



格子間隔の3～5倍の
現象を表現できる

小倉 (2001)

気候モデルの発展と高解像度化

気候モデルの発展

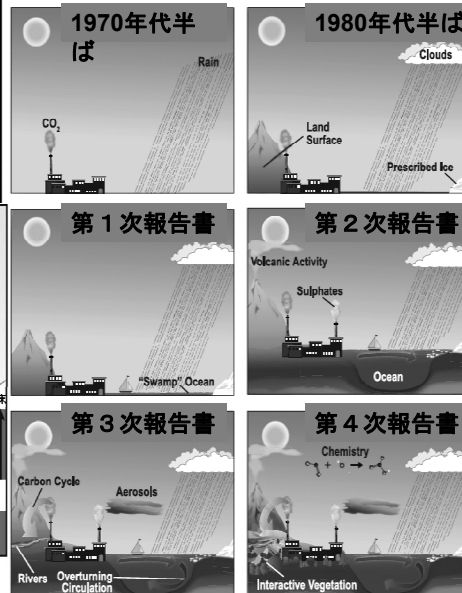


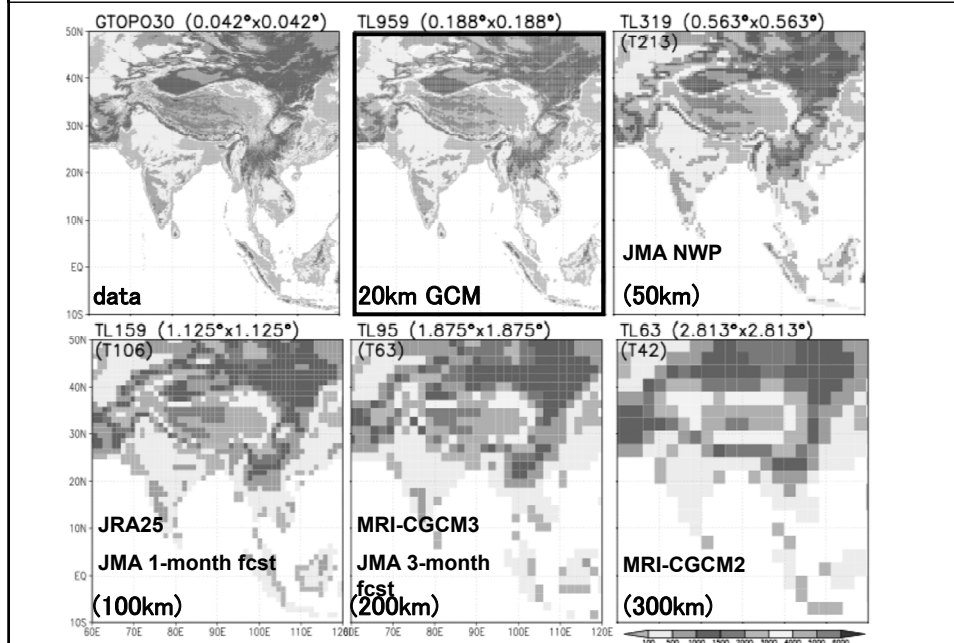
Figure 1.2. The complexity of climate models has increased over the last few decades. The additional physics included in successive models is shown graphically by the different features of the modelled world

Figure 1 is a scatter plot with error bars showing the Normalized RMS Error for three variables: Precipitation, Mean Sea-Level Pressure, and Surface Air Temperature. The y-axis represents the Normalized RMS Error, ranging from 0.0 to 1.0. The x-axis represents the Variable and Model Category. The plot compares models from two time periods: ca. 2000 (circles) and ca. 2005 (triangles). For each variable, models are further categorized as flux-adjusted or non-flux-adjusted. Horizontal bars indicate the mean of the group, and diamonds represent the change from ca. 2000 to ca. 2005. The plot shows that for all three variables, the normalized RMS error generally decreased from ca. 2000 to ca. 2005, particularly for flux-adjusted models. The change in error is most pronounced for Precipitation and Mean Sea-Level Pressure, while it is less significant for Surface Air Temperature.

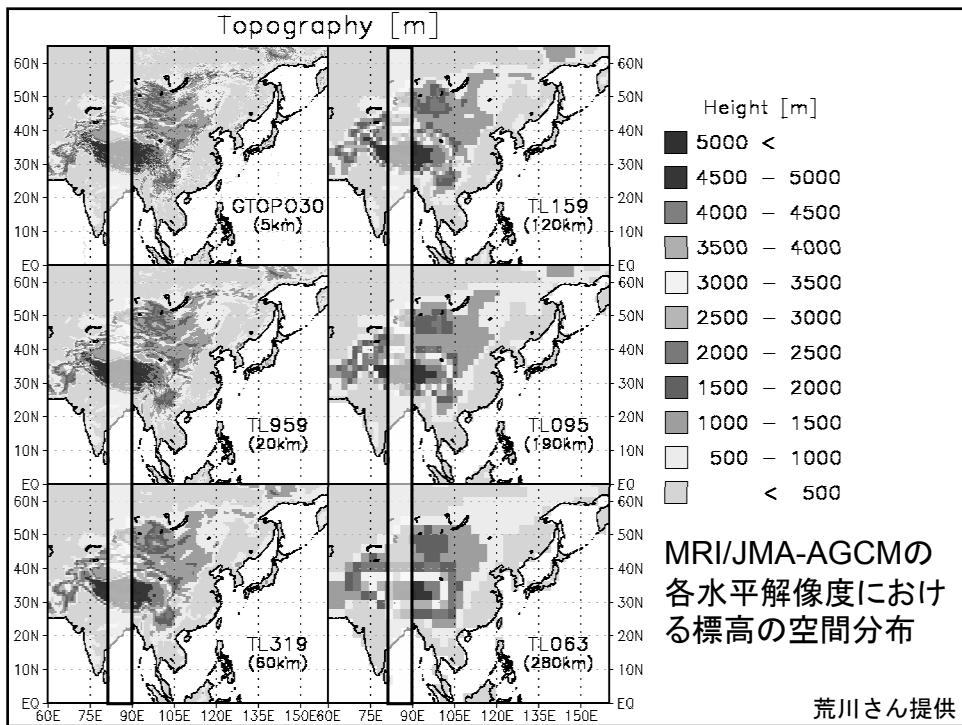
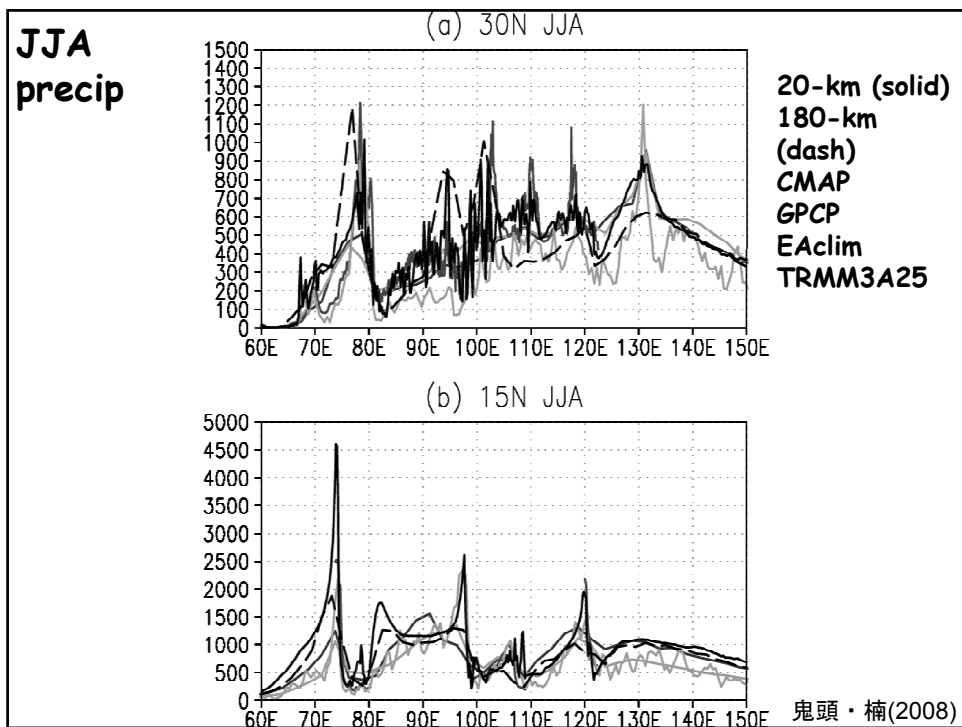
Variable	Model Category	ca. 2000 (Mean)	ca. 2005 (Mean)	Change (Mean)
Precipitation	flux-adjusted	~0.75	~0.58	~-0.17
	non-flux-adjusted	~0.82	~0.75	~-0.07
	all	~0.78	~0.72	~-0.06
Mean Sea-Level Pressure	flux-adjusted	~0.35	~0.32	~-0.03
	non-flux-adjusted	~0.50	~0.48	~-0.02
	all	~0.52	~0.49	~-0.03
Surface Air Temperature	flux-adjusted	~0.22	~0.18	~-0.04
	non-flux-adjusted	~0.25	~0.22	~-0.03
	all	~0.24	~0.21	~-0.03

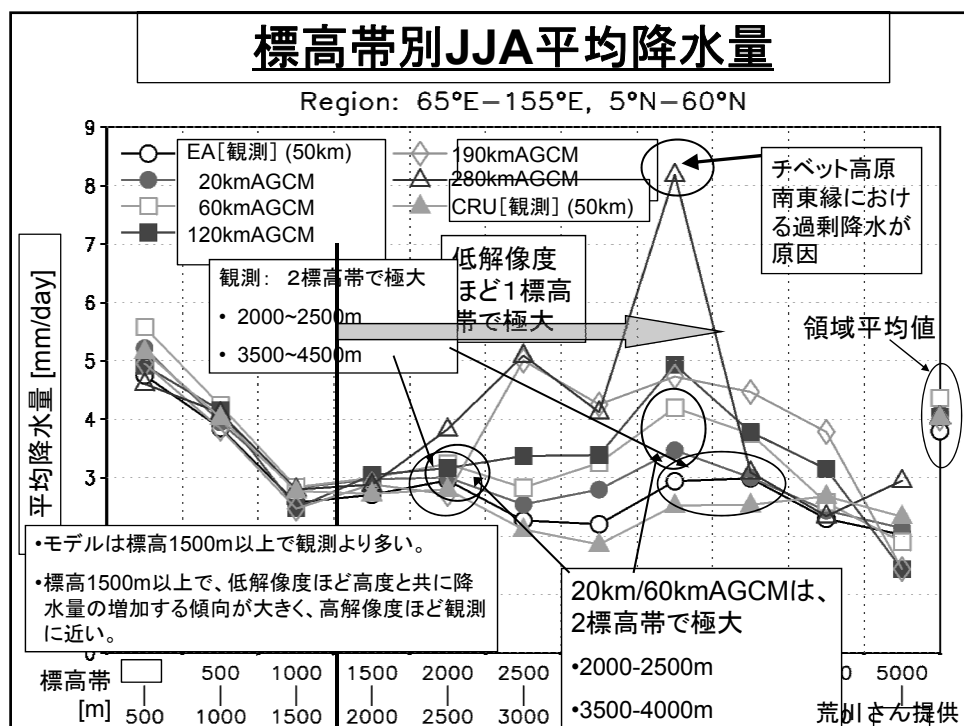
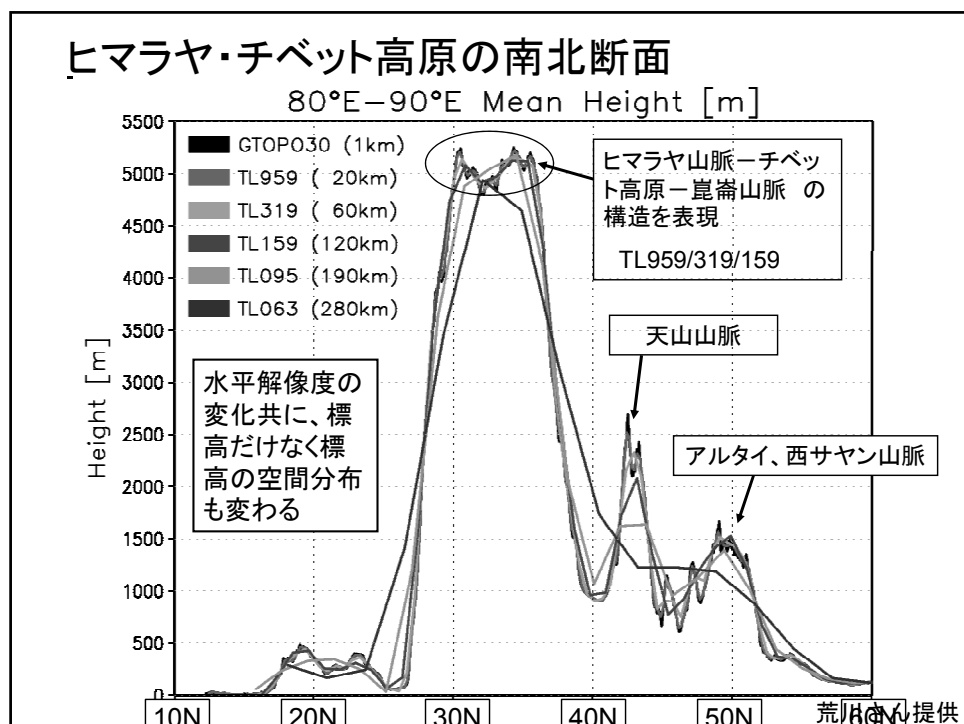
IPCC WGI AR4 (2007)

解像度と地形



気候モデル高解像度化のメリット





JJA積算降水量の高度分布

各標高帯の積算降水量の全降水量に対する比(%)

Region: 65°E–155°E, 5°N–60°N

•水平解像度が高くなるにつれて、モデルの高度分布は観測に近づく。

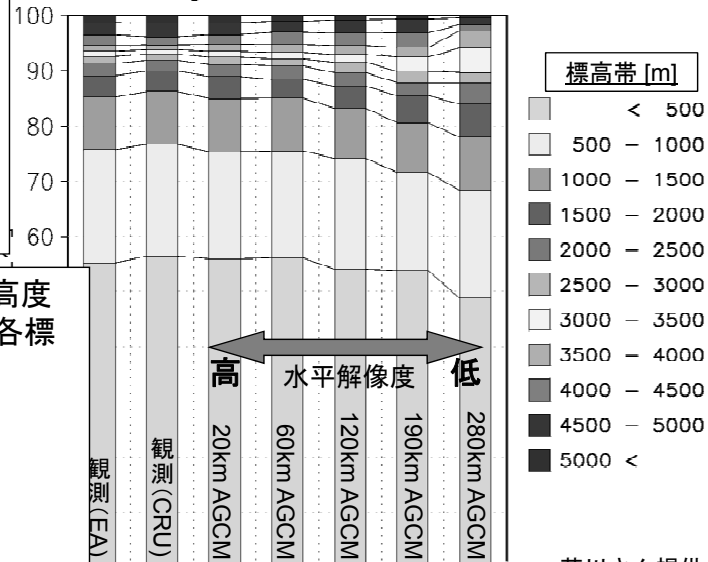
•低解像度ほど、標高の高い場所での降水の割合が増える。

モデルにおける高度分布の変化は、各標高帯における

•平均値の違い

•面積比の違い

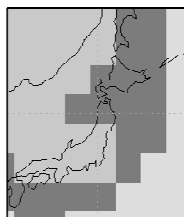
を反映。



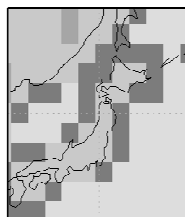
荒川さん提供

空間解像度と地形

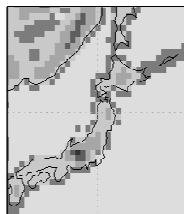
280km



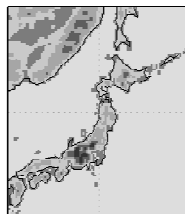
190km



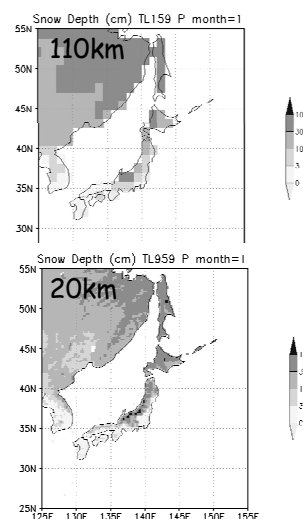
110km



20km

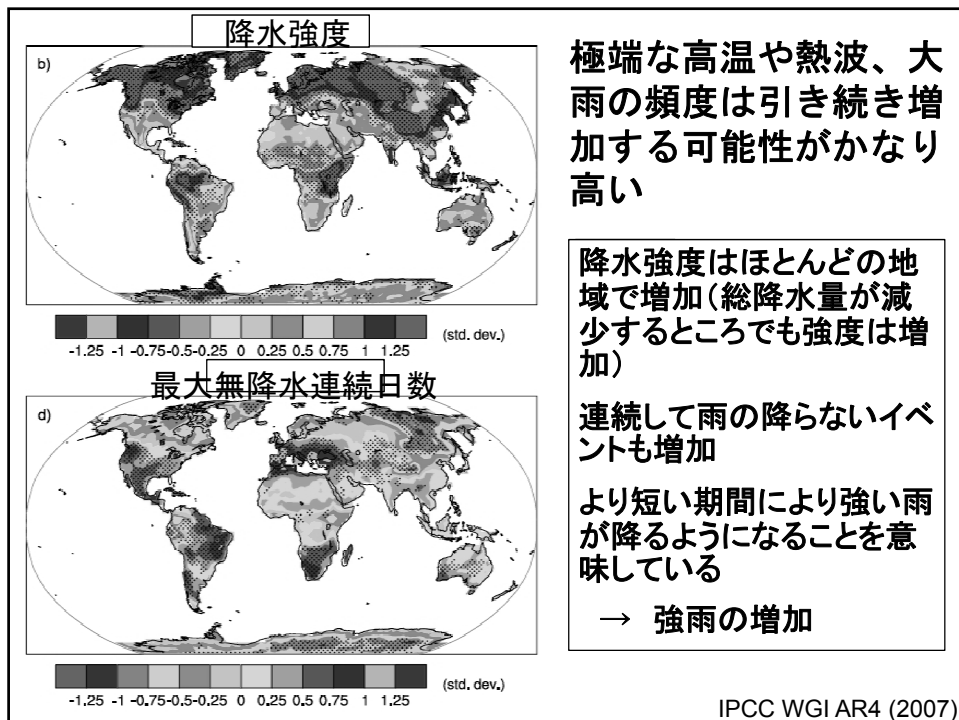


例えば1月の積雪深の再現では



保坂さん提供

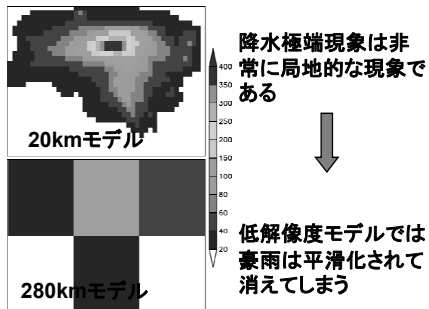
極端現象の再現



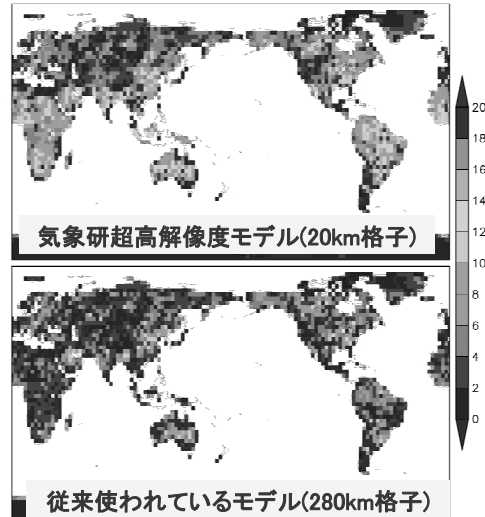
極端現象の解像度依存性

年最大日降水量(mm/day)の将来変化
将来 - 現在

モデル解像度による
日降水量(mm/day)の表現の違い



降水極端現象の将来変化を正確に
予測するためには、高解像度モデル
は不可欠



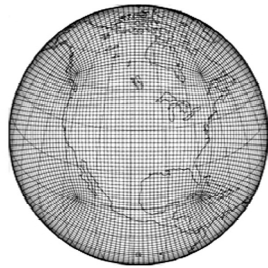
上口さん提供

ダウンスケーリング

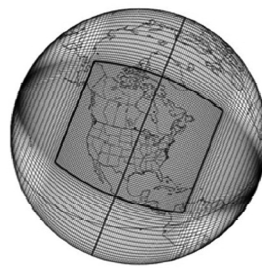
- 1 高解像度大気モデル
 - 1.1 全球大気モデル
 - 1.2 可変格子全球大気モデル
- 2 領域大気モデル／領域大気海洋結合モデル
- 3 統計的ダウンスケーリング

可変格子全球大気モデルの例

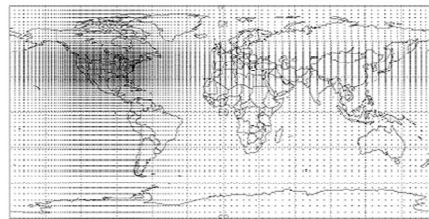
Variable resolution general circulation models



(c)

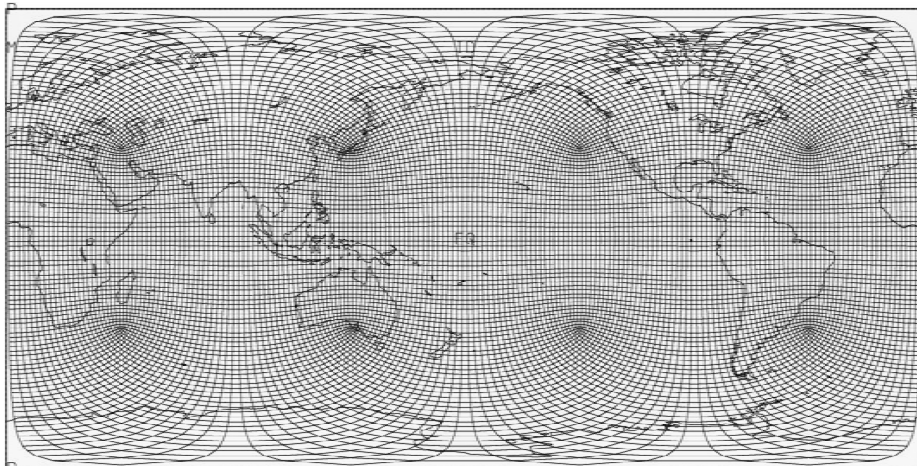


(d)



Fox-Rabinovitz (206)

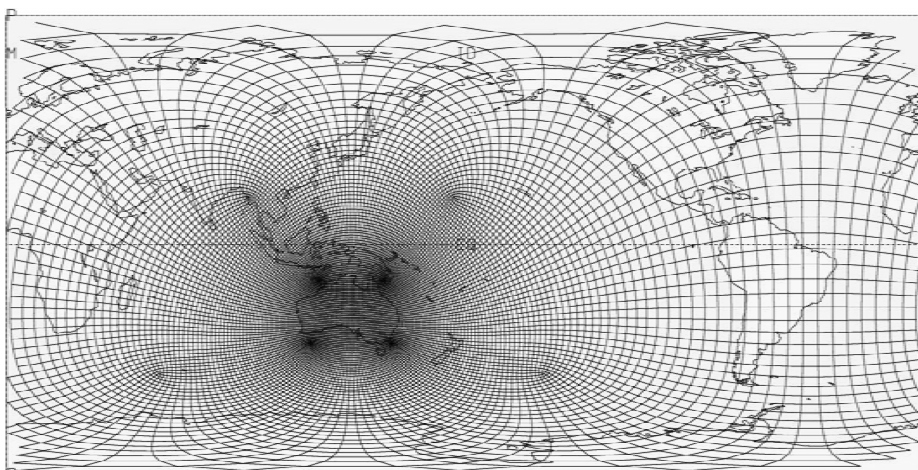
CSIRO Conformal-cubic C48 grid



Resolution is about 220 km

McGregor (CSIRO)

Conformal-cubic C48 grid used for Australian simulations, Schmidt = 0.3

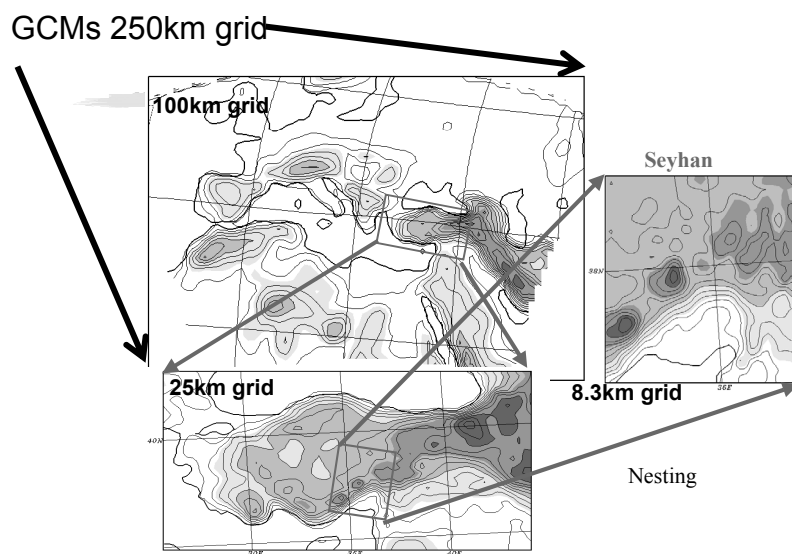


Resolution over Australia is about 60 km

McGregor (CSIRO)

領域気候モデルの例

領域気候モデル：トルコ



木村富士男(2007) at 地球研プロジェクト

領域気候モデル：関東地域

目標：日本付近の詳細な気候変化を予測(局所的変化・極値の変化等)

○温暖化予測地球システムモデルの開発

- ・炭素循環モデル、オゾン化学輸送モデル等の結合
- ・積雲対流パラメタリゼーションなど各種物理過程の改良などにより、

全球モデルの不確か性の低減を図る

各種物質輸送モデルの結合

炭素循環モデル
オゾン化学輸送モデル
エーロゾル化学輸送モデル
など

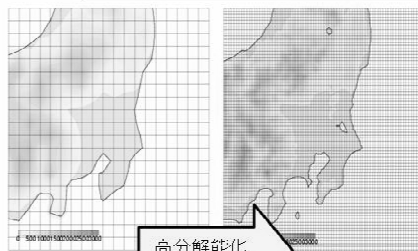
各種物理過程の改良

積雲対流パラメタリゼーションの改良
放射過程の高度化
陸面過程の高度化
など

境界値を与える

○精緻な地域気候モデルの開発

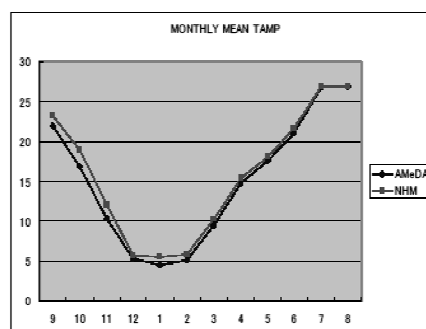
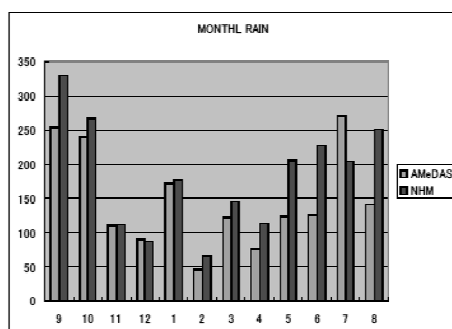
- ・水平分解能4kmのモデルを開発し、
- 詳細な地域的気候変化を予測する



1 格子の面積：20km × 20km (東京23区程度)
から4km × 4km (千代田区程度)に

気象研究所

4km格子領域気候モデル開発の課題



2001 年 9 月から 2002 年 8 月までの月降水量 (左) と月平均気温 (右) のモデルによる再現と観測値との比較

出典：「雲解像地域気候モデルによる日本の詳細な地球温暖化予測」
(2006. 11. 30 第 8 回非静力学モデルに関するワークショッププログラム)

4km格子領域気候モデル開発の課題

✂ 格子サイズを細かくしただけでは克服できない課題

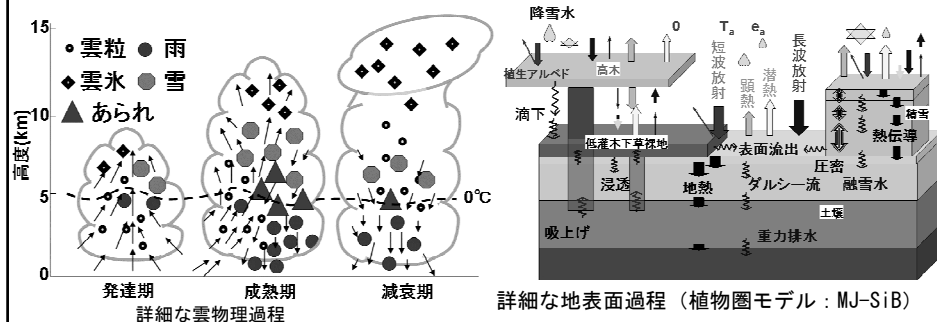
☒ 最先端の天気予報でも改善課題の一つである雲の表現

☒ 強い降水の予測に欠かせない

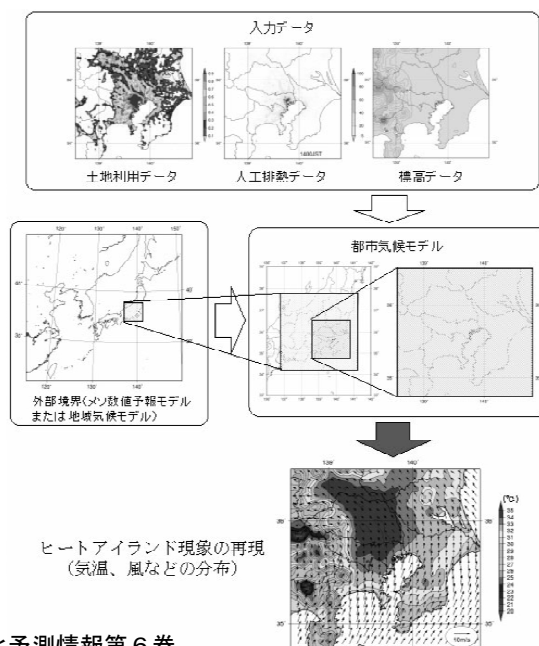
☒ 地表面の詳細な状態の再現

☒ 局地的な熱の出入りや積雪などの予測に欠かせない

☒ そもそも外部境界条件におおきく依存



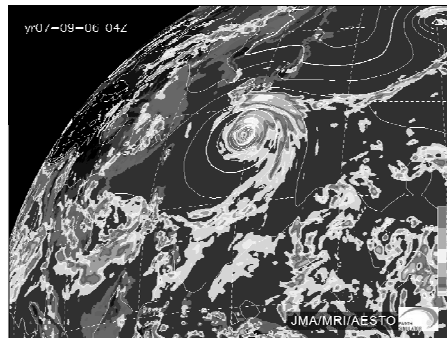
都市気候モデル



地球シミュレータの登場により、 「共生プロジェクト」「革新プログラム」で、気候モデルが一気に 高解像度化



地球シミュレータ



文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」(H14-ト

近未来予測へむけた取り組み

2013年までに地球温暖化予測モデルの精度を向上させるための取り組みが、文部科学省と環境省によって進められている。この取り組みは、地球温暖化5カ年研究として知られている。

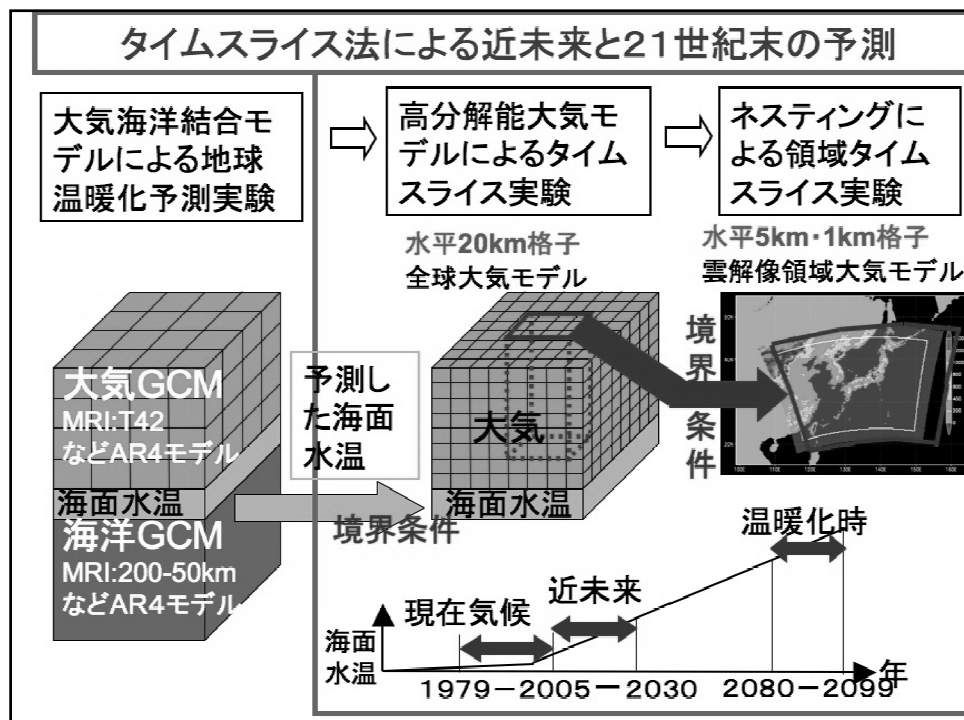
スパコンで高精度予想



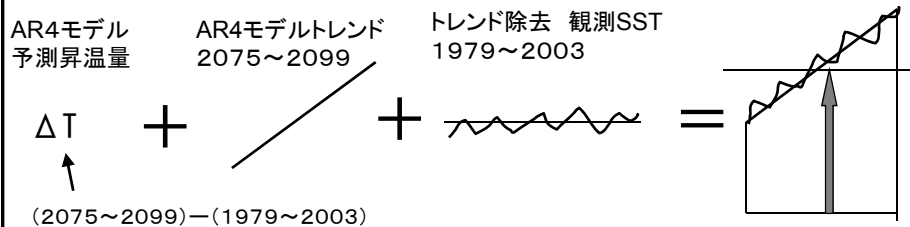
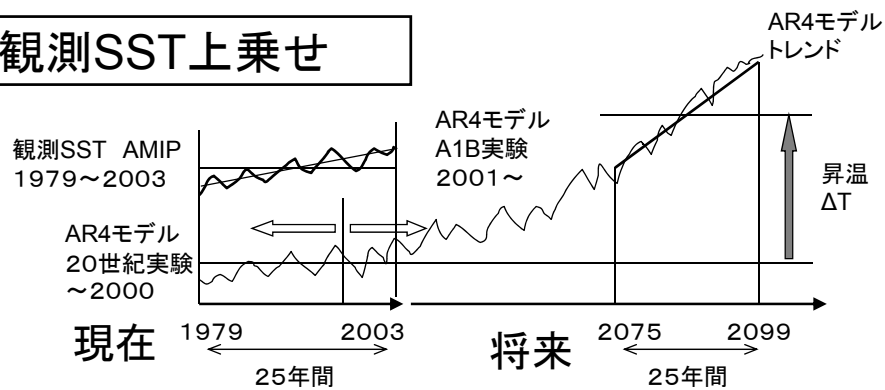
2007年7月23日毎日新聞

IPCC 第5次報告書に向け
「地球温暖化5カ年研究」は、地球温暖化予測モデルの精度を向上させるための取り組みとして知られている。この取り組みは、地球温暖化5カ年研究として知られている。

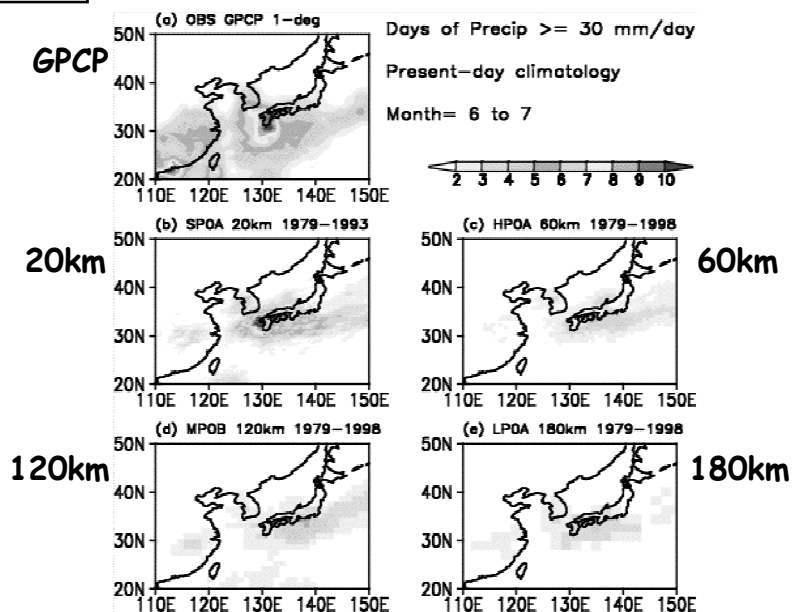
超高解像度大気モデル



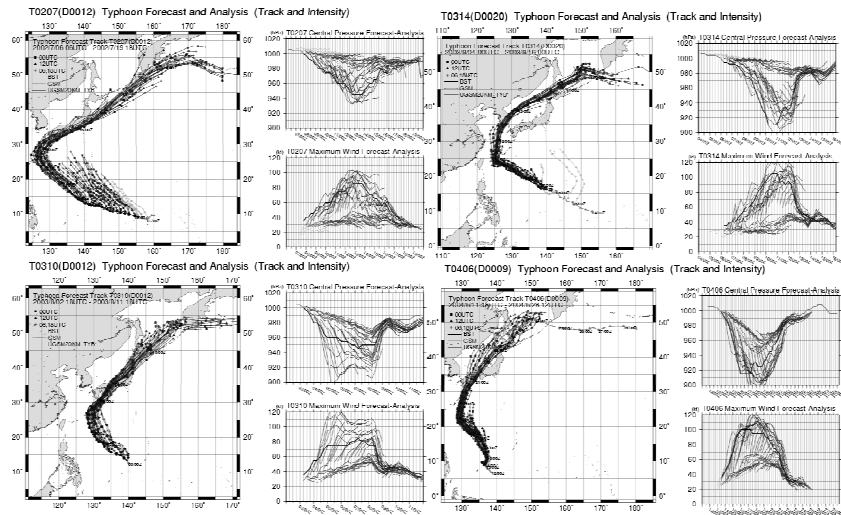
観測SST上乗せ



強雨頻度



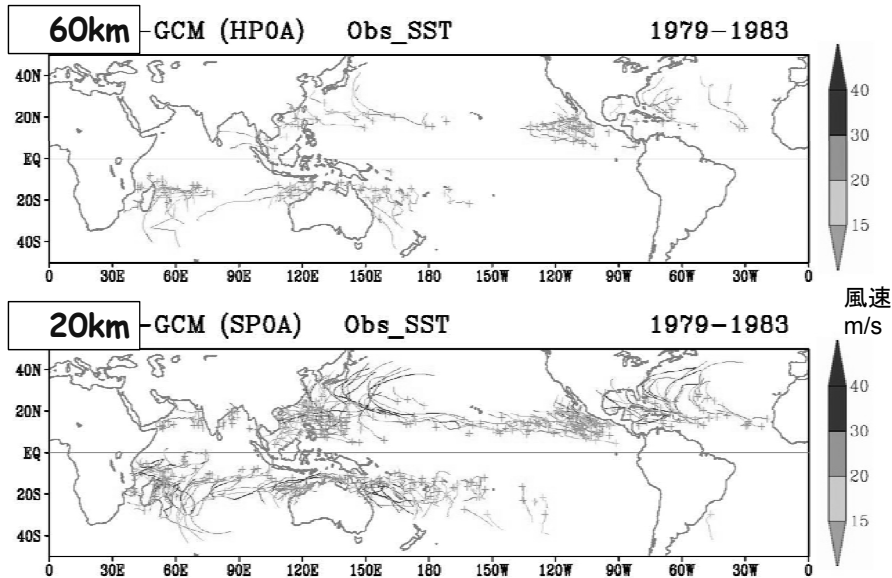
60km解像度と20km解像度の台風予報の比較



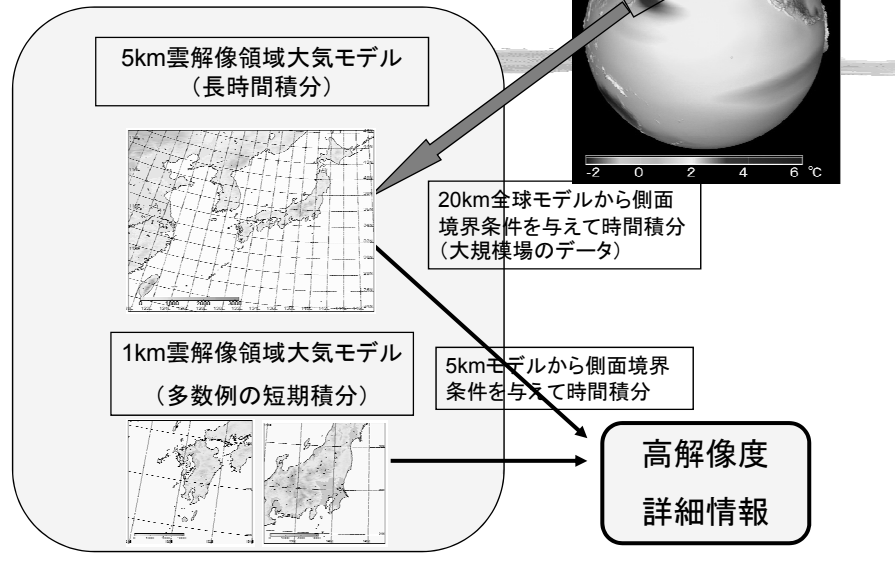
解像度が60kmでは分解能が粗いために、実況より、台風の中心気圧を浅く、最大風速を弱く予測している。20kmでは実況に近い発達を表現している。

60km 格子モデル ———
20km 格子モデル - - - -

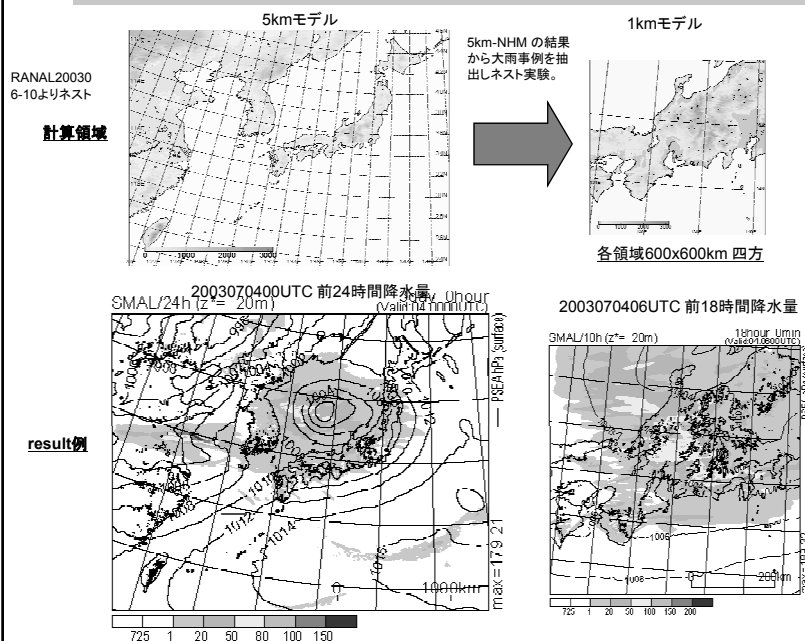
熱帯低気圧経路：現在気候



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

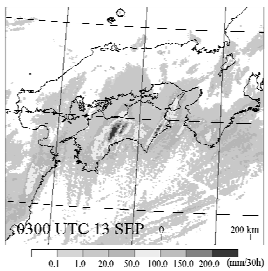
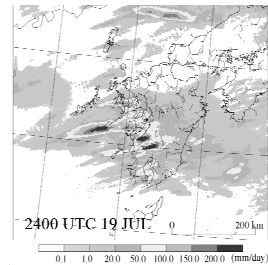


1kmモデル・5kmモデルの計算の具体例

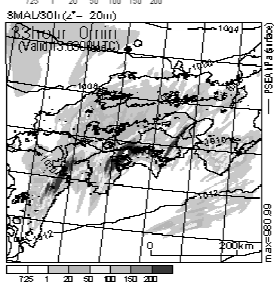
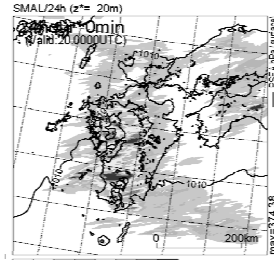


結果の解析： 大雨事例の再現性能

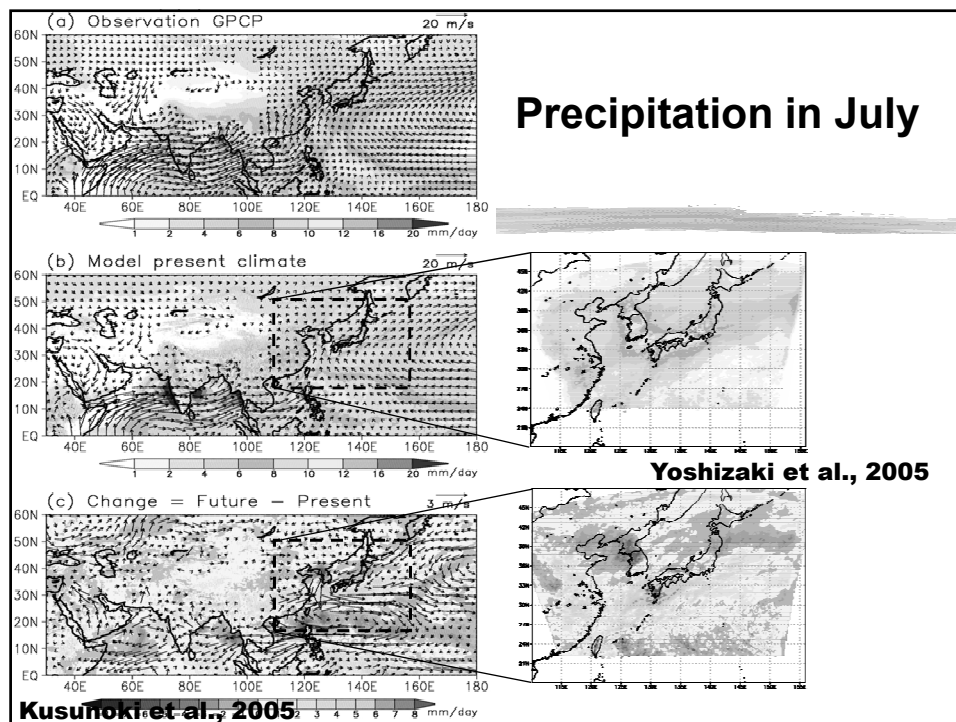
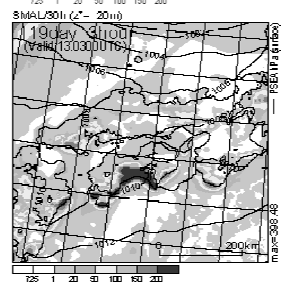
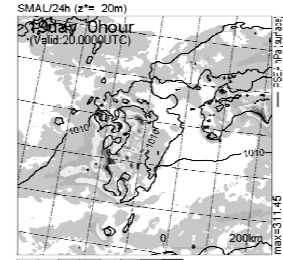
レーダーアメダス解析雨量



1kmモデル

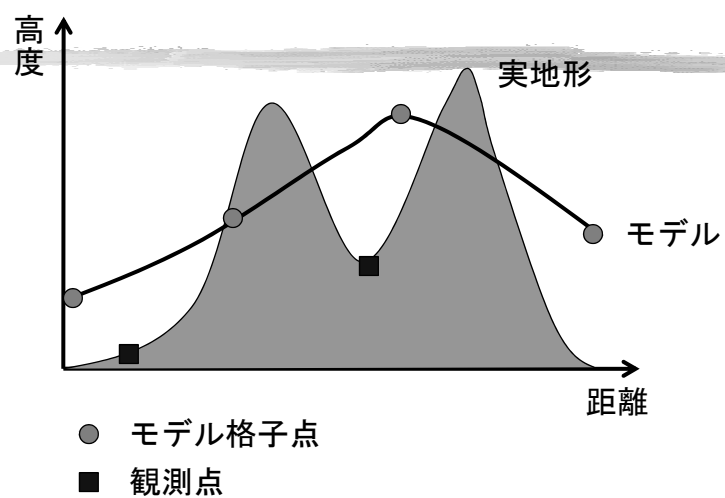


5kmモデル



観測データとモデルの整合性

モデル格子点と観測点は一致しない

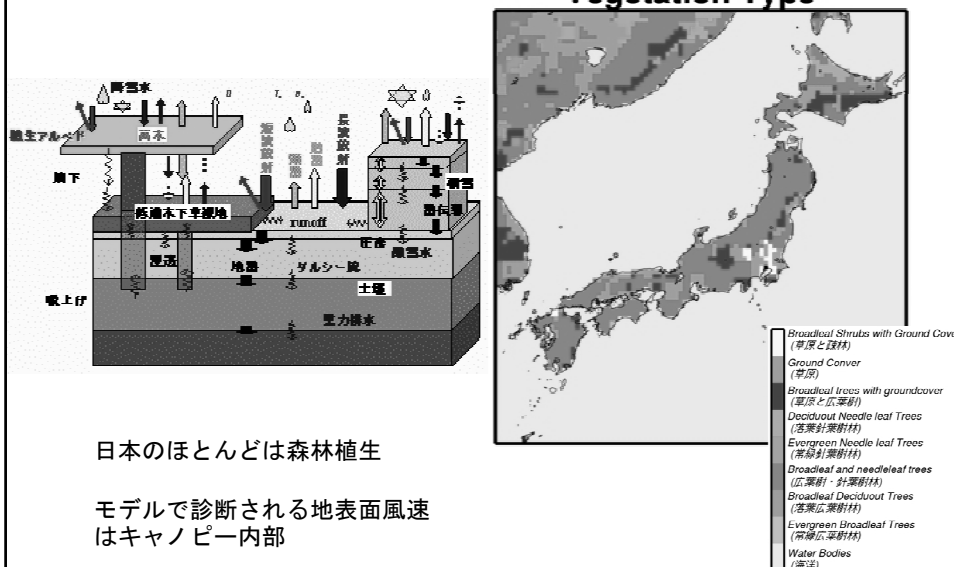


観測露場は開けたところにある



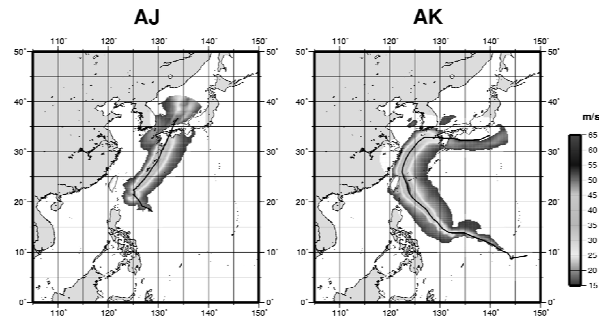
20km格子気候モデルの植生タイプ

Vegetation Type

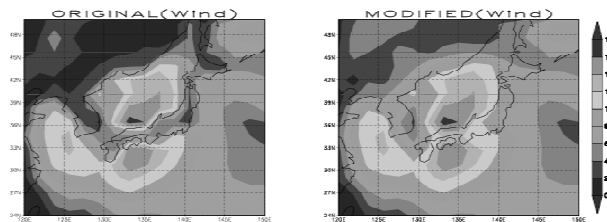


開けた場所の地上風速を診断し出力データとして追加する

共生実験における台風来襲時の地上風速分布
(二例)



台風上陸時の地上風速。
変更前(左)、
変更後(右)

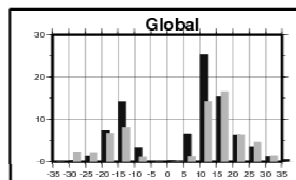


TC Genesis for Each Latitude Belt (BEST & JRA)

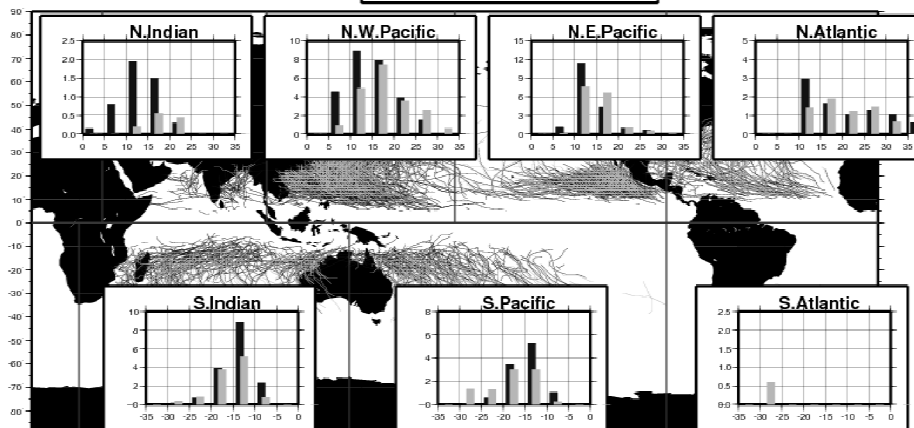
Annual Number of Tropical Storm
Genesis for Each Latitude Belt

Best Track(over 34kt)
JRA25(by Oouchi et al.(2007))

abscissa: latitude
ordinate: annual averaged number



Best Track(1979-1998)
JRA25(1979-1998)



定量的な精度とバイアス補正

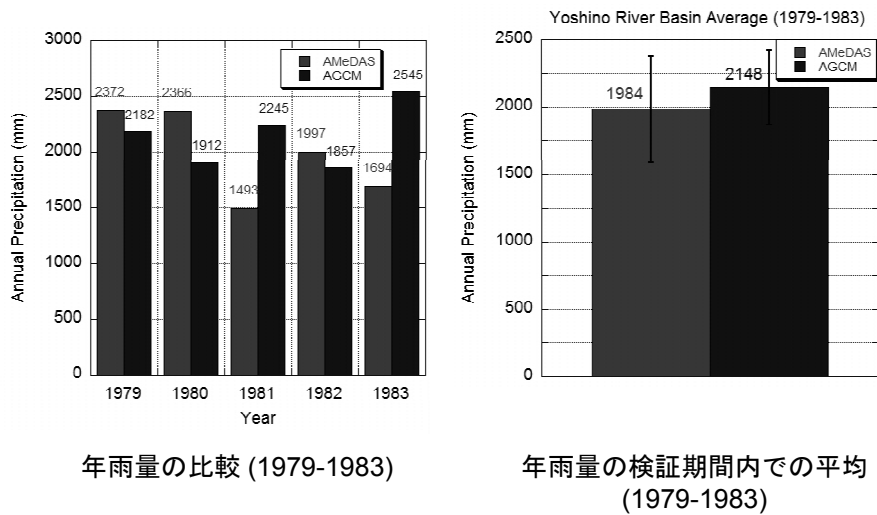
情報を利用するにあたって

気候モデルの特性上、気候モデルの歴史実験および将来予測実験の気温、降水量などの値には系統誤差が含まれている。

そこで、気候モデルを利用して温室効果ガス等の変化による地球温暖化への影響を評価する場合には、系統誤差を含んだ歴史実験の結果と観測値とを十分に比較検証するとともに、将来予測実験から再現実験の結果を差し引くなどの方法で気候モデル特有の系統誤差の影響を取り除いて利用していただきたい。

気象庁：温暖化予測情報第6巻から

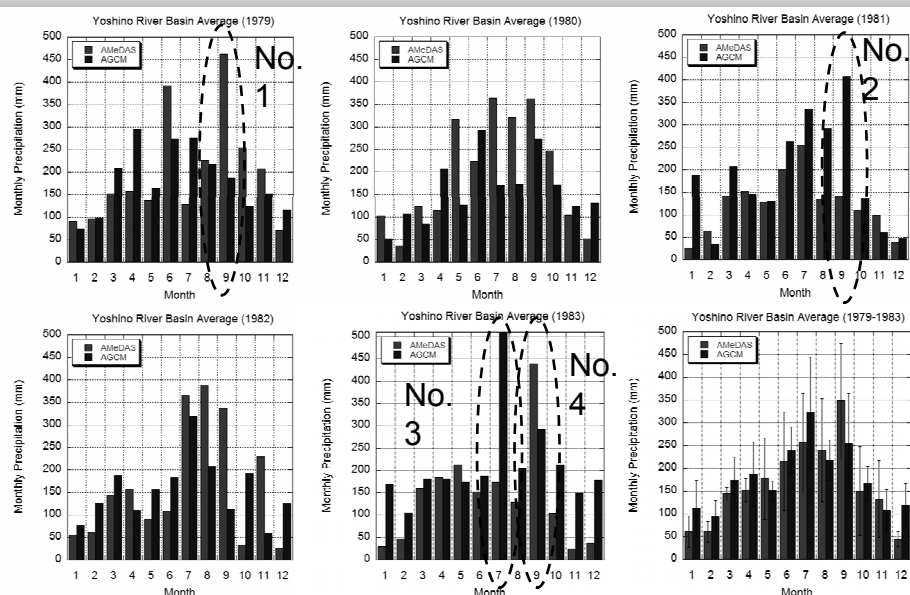
吉野川流域 年雨量の比較



年によって誤差の大きさが異なる。長期間平均すると有意な差はなし。

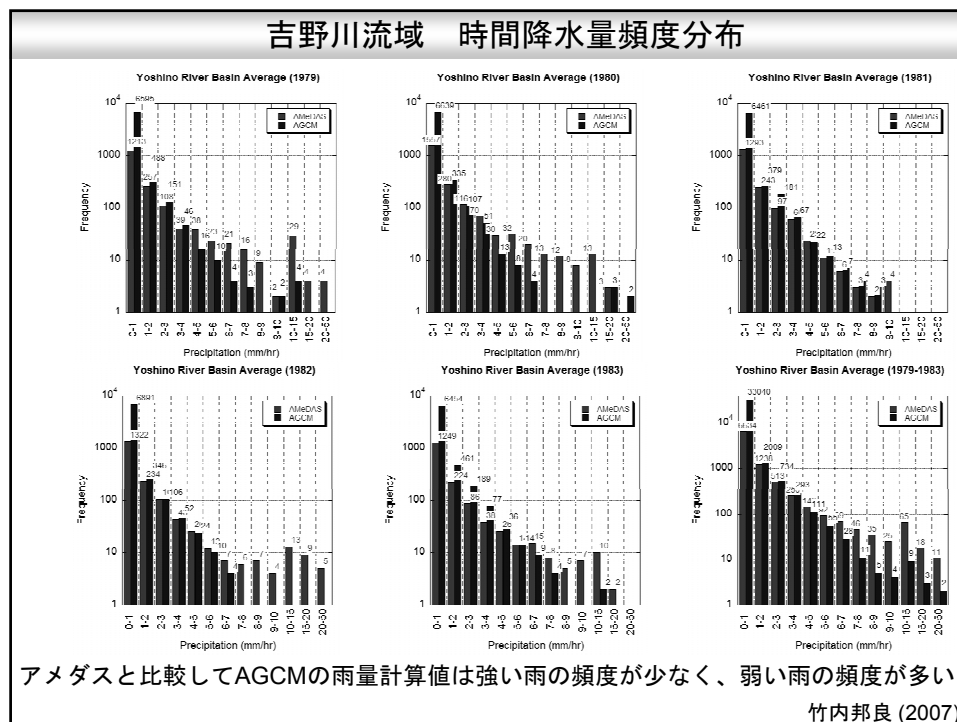
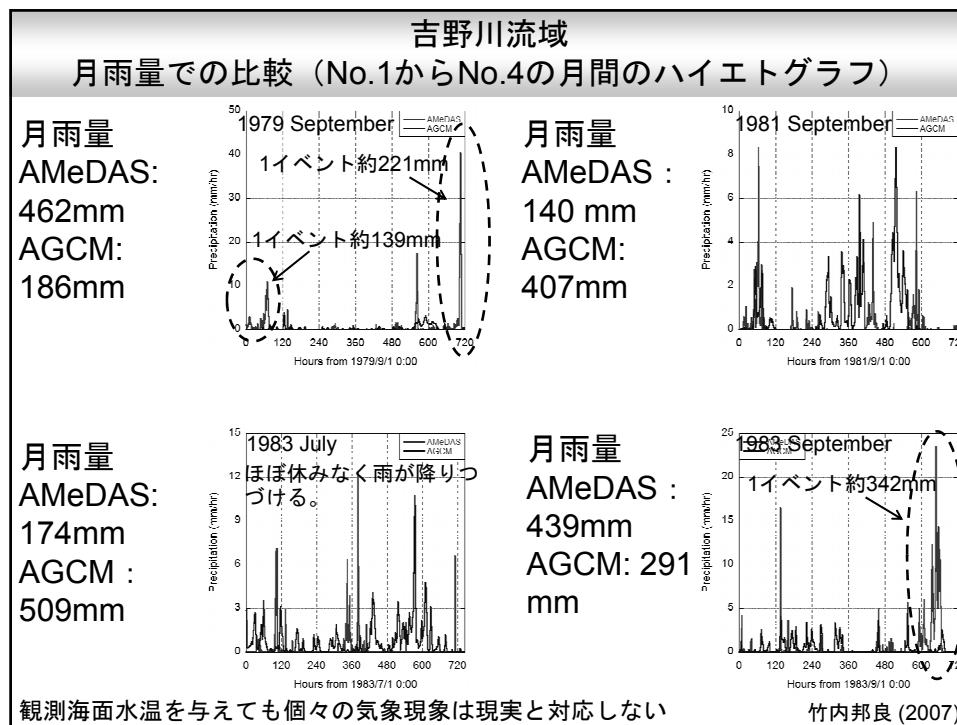
竹内邦良 (2007)

吉野川流域 月雨量での比較

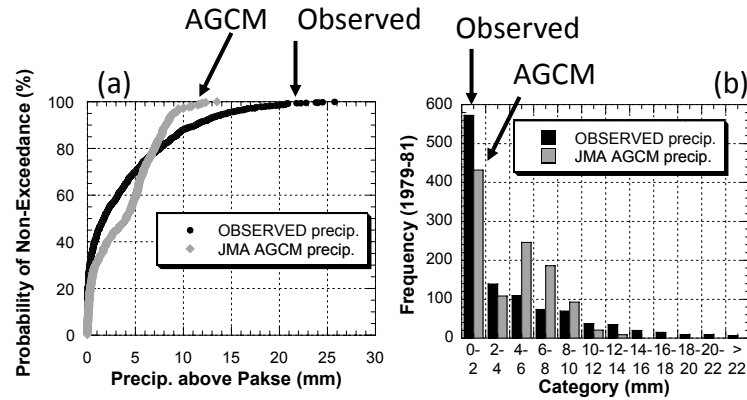


観測海面水温を与えても個々の気象現象は現実と対応しない。
 長期間平均（右下、ここでは5年平均）の統計量に意味あり。

竹内邦良 (2007)



メコン川におけるGCM予測降雨と現実降雨の対応関係



AGCMは弱雨・強雨共に少なく、中程度の雨を多く発生させる → 統計・頻度分析
 GCMにおける面積降水量と、豪雨における地上降雨量との関係把握も必要
 Comparison between observed and JMA AGCM precipitation (1979-1981) over
 the area upstream from Pakse using (a) non-exceedance probability and (b)
 frequency histogram. (A. Kiem et al. 2005)

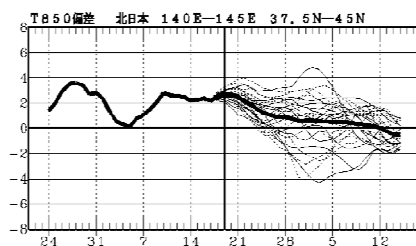
竹内邦良 (2007)

アンサンブル平均と不確実性評価

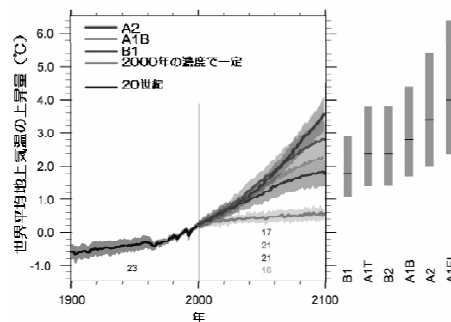
気候予測の不確実性の原因
 自然変動の存在
 初期値の誤差（初期値問題）
 シナリオの幅（強制応答問題）
 気候モデルの不確かさ

↓
 初期値アンサンブル
 異なるシナリオ実験
 マルチモデルorマルチフィジックス

気候予測の不確実性



季節予報： 初期値問題



温暖化予測： 強制応答問題

確率的な表現は出来る

たとえば
multi-model
や
perturbed physics

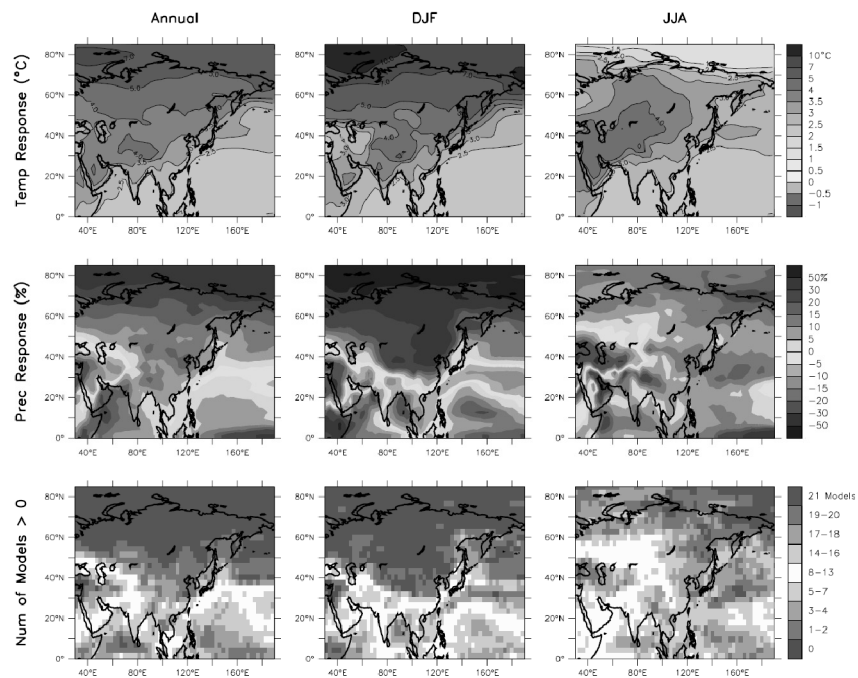
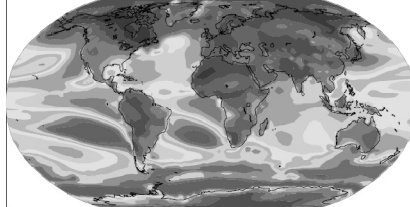
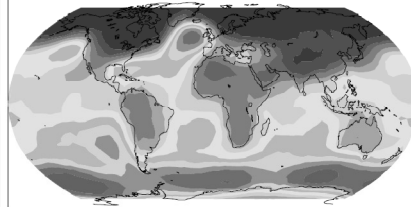


Figure 11.9.

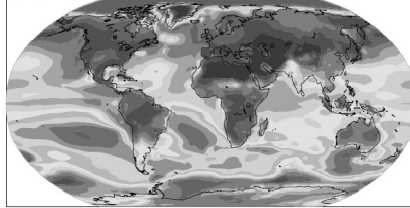
a) $P[\Delta T(\text{DJF}) > 2^\circ\text{C}]$, perturbed physics



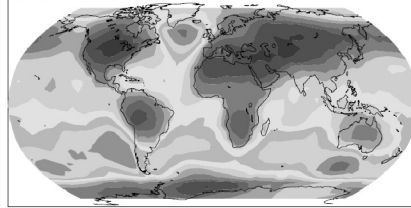
b) $P[\Delta T(\text{DJF}) > 2^\circ\text{C}]$, multi-model



c) $P[\Delta T(\text{JJA}) > 2^\circ\text{C}]$, perturbed physics



d) $P[\Delta T(\text{JJA}) > 2^\circ\text{C}]$, multi-model



0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 0.95 0.99 Probability

Figure 10.30.

おわり