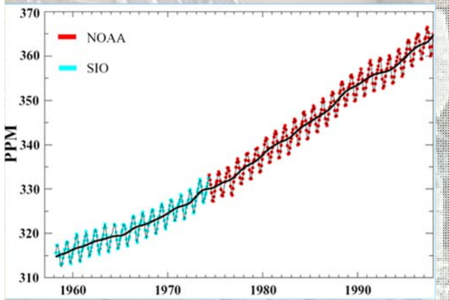
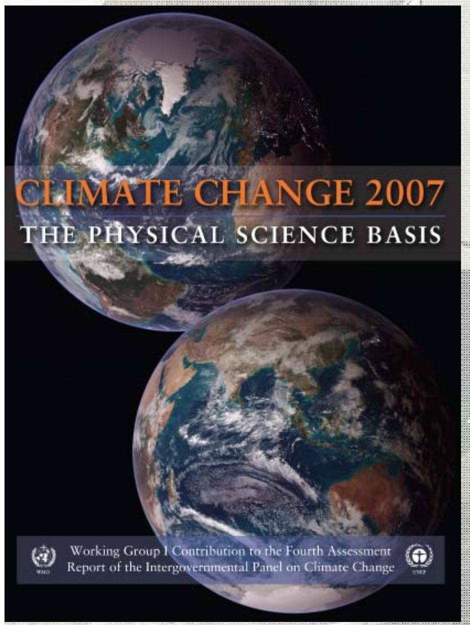
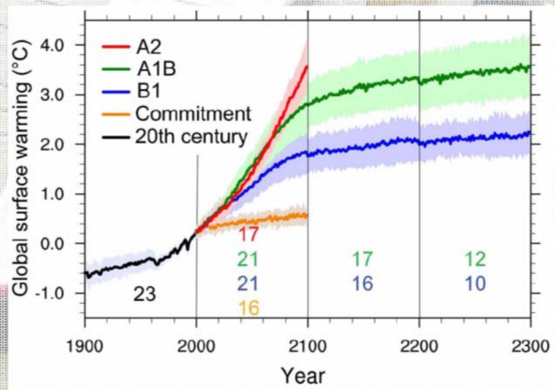
# 気候シミュレーションのチャレンジ

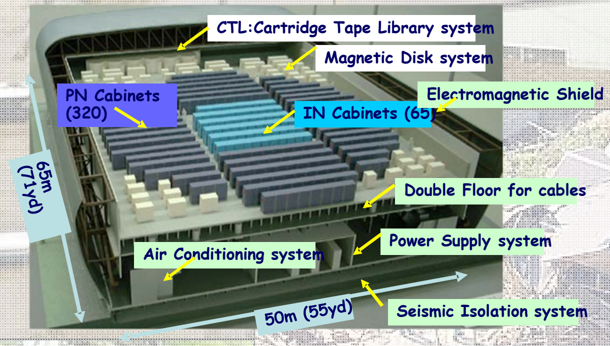

木本　昌秀

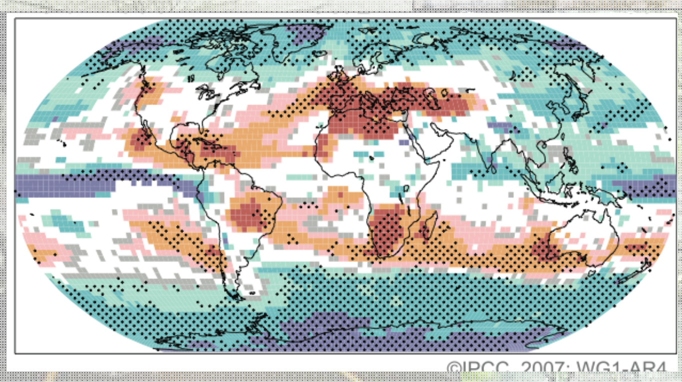
東京大学大気海洋研究所

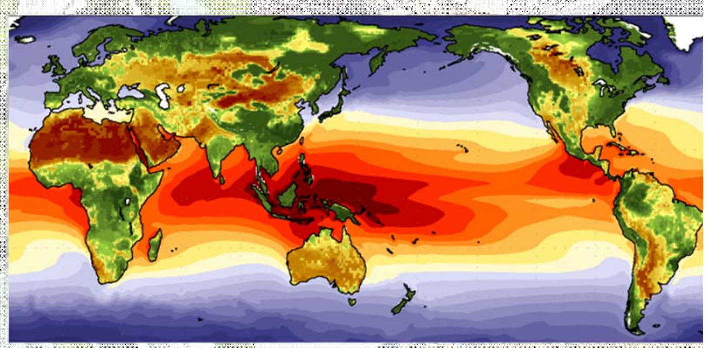



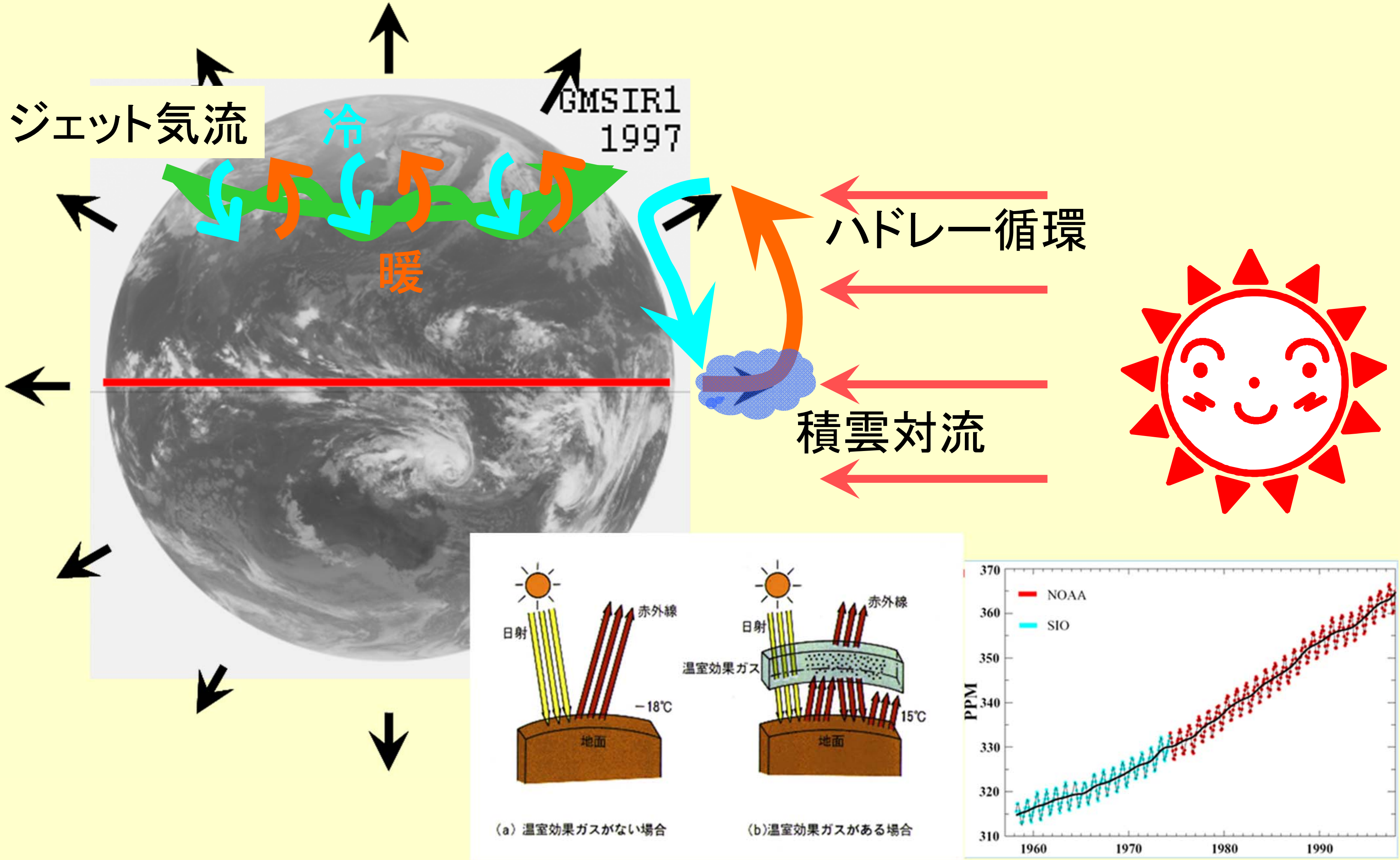



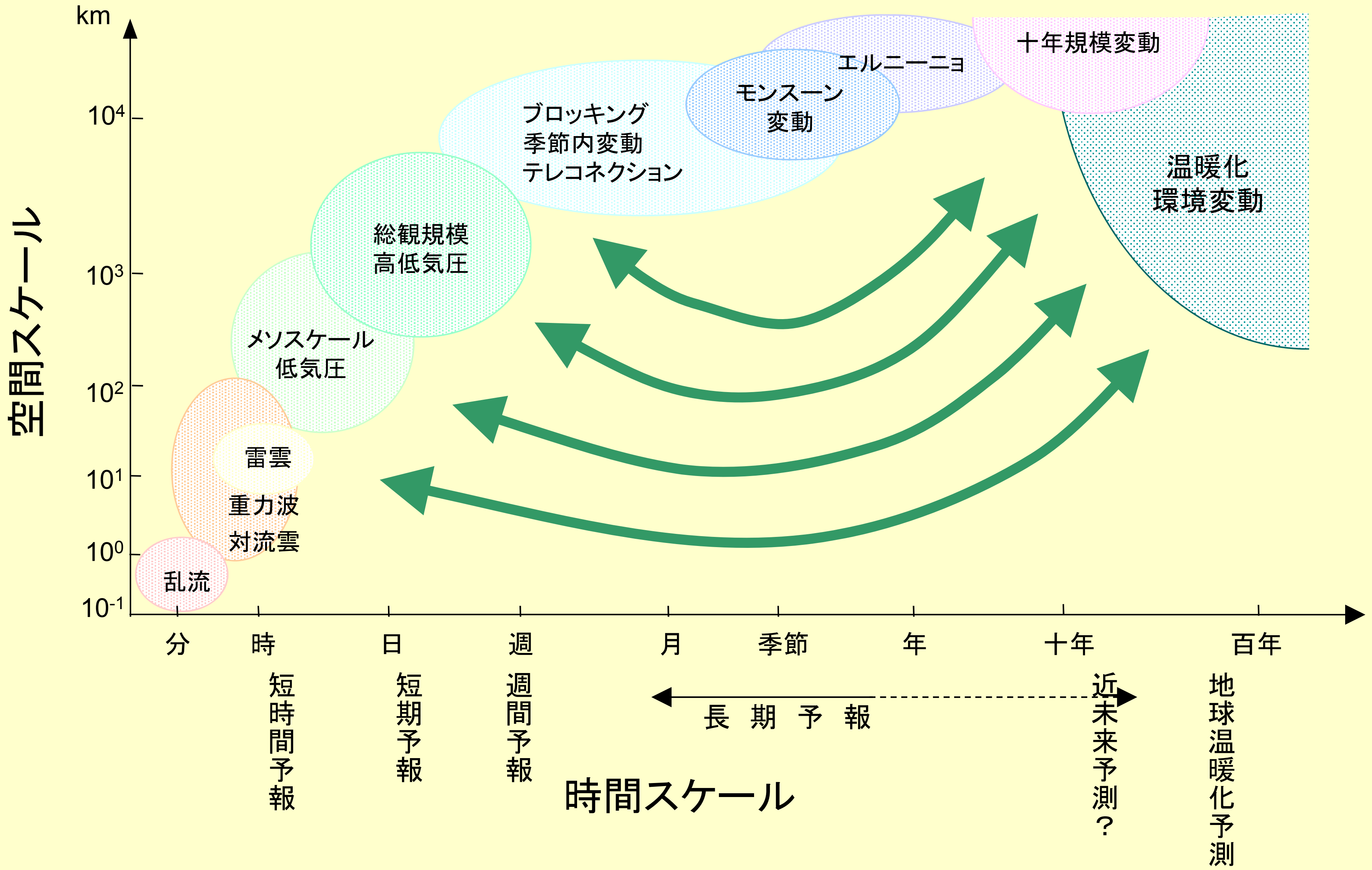



# 気候のしくみ

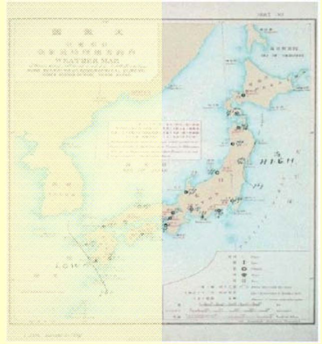



GMS Image from http://dennou.gaia.h.kyoto-u.ac.jp/library/gfd_exp/

# 気象現象の時間・空間スケール



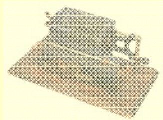
# 数値天気予報、気候シミュレーション略史



1827年：Fourier大気の温室効果を指摘

1875年：東京気象台

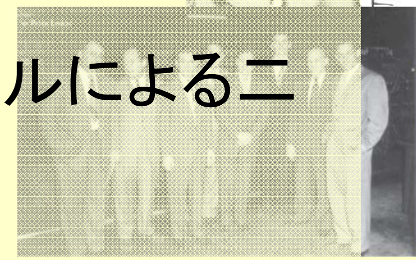
1913年：科学的手法による天気予報についてのV. Bjerknes論文



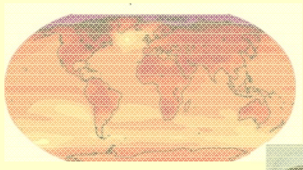
1922年：Richardsonによる手計算天気予報

1950年：ENIACによる最初の数値予報

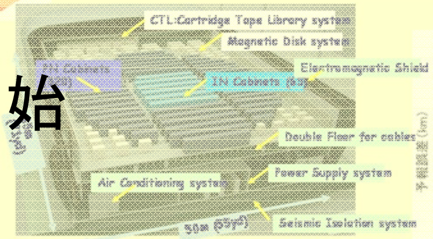
1956年：最初の大気大循環数値実験



1967年：真鍋,Wetherald放射対流平衡モデルによる二酸化炭素倍増実験



1988年：IPCC発足



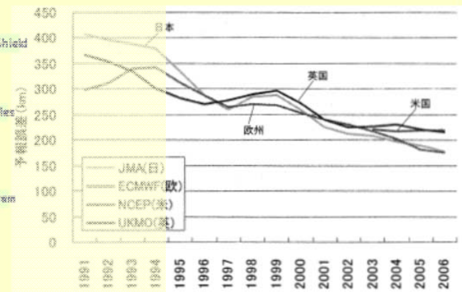
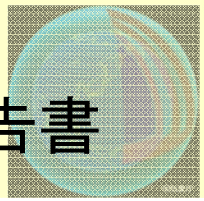




図7.9 台風進路予報誤差（2日予報）（気象庁提供）

1996年：気象庁力学的1か月予報開始

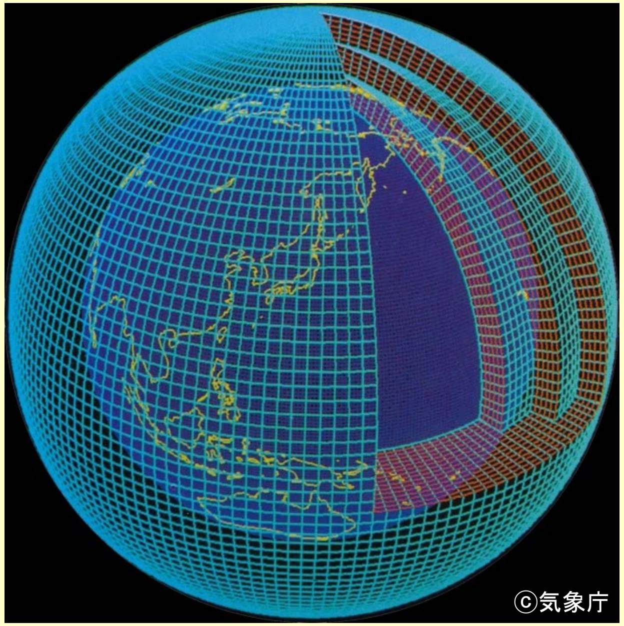
2002年：地球シミュレータ



2007年：IPCC第4次評価報告書

# 気候モデル—コンピュータの中の地球

CCSR UNIV. TOKYO

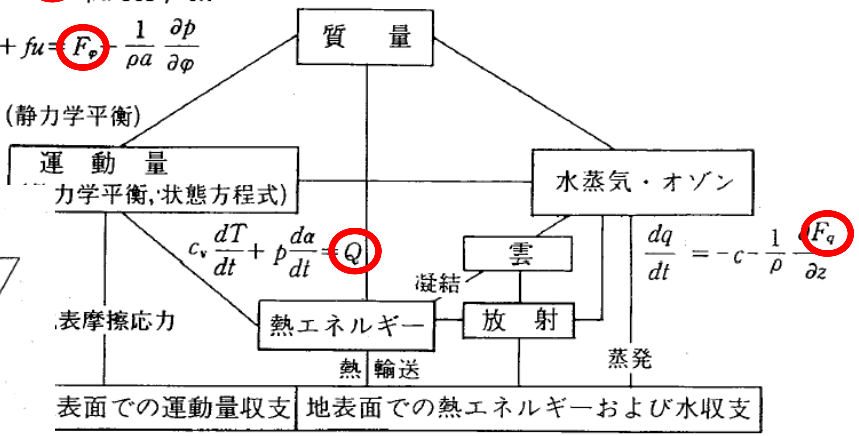

$$\frac{d\rho}{dt}+\rho\left(\frac{1}{a\cos\varphi}\frac{\partial u}{\partial\lambda}+\frac{1}{a\cos\varphi}\frac{\partial v\cos\varphi}{\partial\varphi}+\frac{\partial w}{\partial z}\right)=0$$

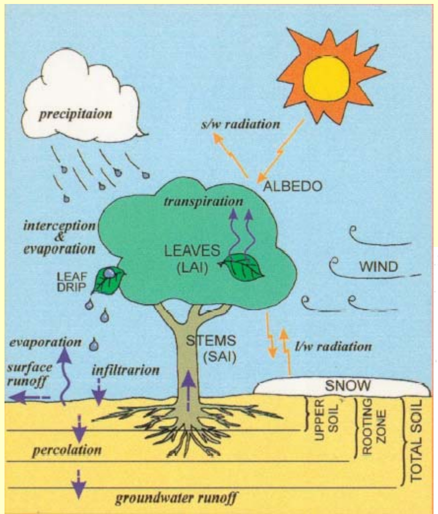
$$\frac{du}{dt}-\frac{\tan\varphi}{a}uv-fv=F_\lambda-\frac{1}{\rho a\cos\varphi}\frac{\partial p}{\partial\lambda}$$

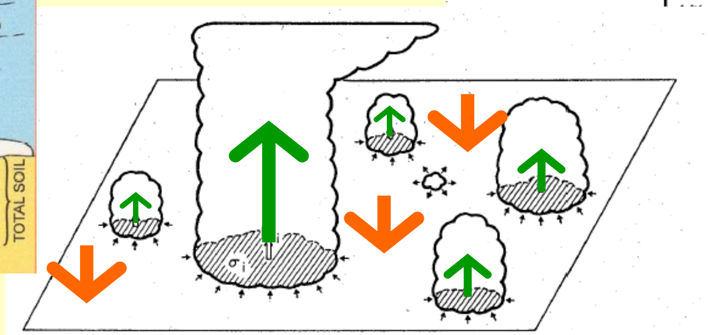
$$\frac{dv}{dt}+\frac{\tan\varphi}{a}u^2+fu=F_\varphi-\frac{1}{\rho a}\frac{\partial p}{\partial\varphi}$$

$$0=-g-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}\quad\text{(静力学平衡)}$$

$$p=\rho RT$$

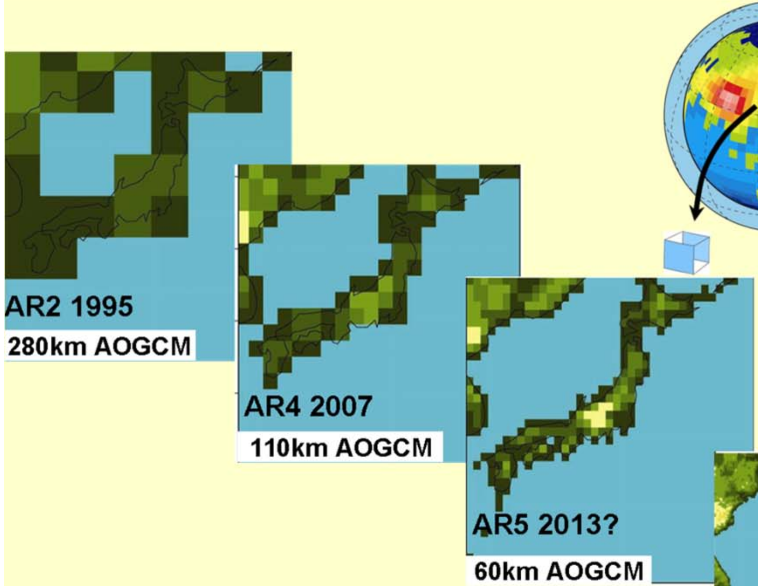


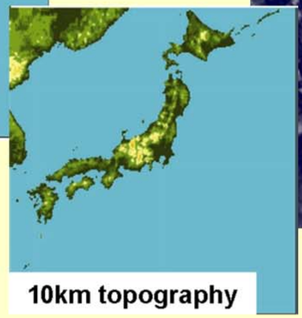



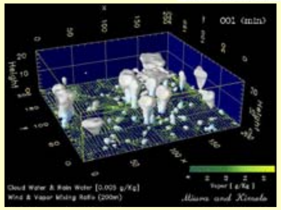



# 気象・気候モデルの課題

## 課題1：解像度



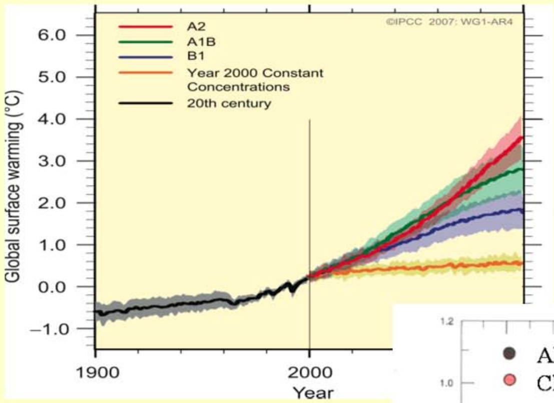
計算資源の制約により、計算格子以下の現象（とくに雲）をパラメータ化して表現

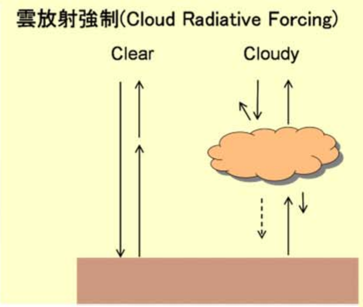
→台風や雲の放射影響に問題

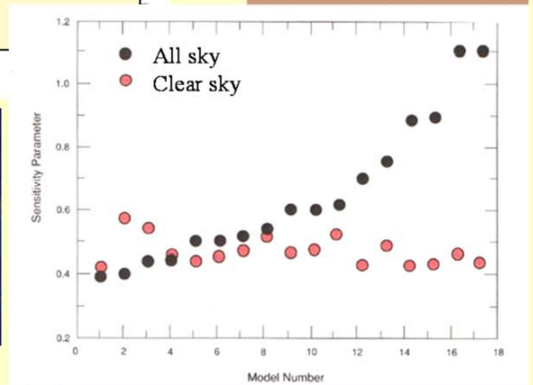
→予測の不確実性

ブレークスルー（雲解像気候シミュレーション）への期待

## 課題2：非解像過程の不確実性



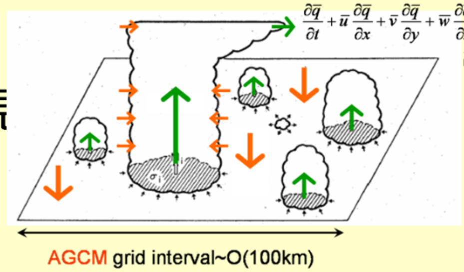



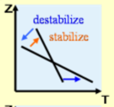



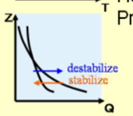

$$\frac{\partial \overline{T}}{\partial t}+\overline{u}\frac{\partial \overline{T}}{\partial x}+\overline{v}\frac{\partial \overline{T}}{\partial y}+\overline{w}\frac{\partial \overline{T}}{\partial z}=-\frac{\partial \overline{w'T'}}{\partial z}\Leftarrow F(\overline{T},\overline{q},\overline{u},\overline{v},\overline{w})$$

$$\frac{\partial \overline{q}}{\partial t}+\overline{u}\frac{\partial \overline{q}}{\partial x}+\overline{v}\frac{\partial \overline{q}}{\partial y}+\overline{w}\frac{\partial \overline{q}}{\partial z}=-\frac{\partial \overline{w'q'}}{\partial z}\Leftarrow G(\overline{T},\overline{q},\overline{u},\overline{v},\overline{w})$$

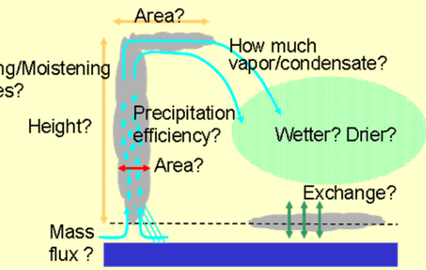
$\overline{(\ )}$: grid average, $(\ )'$: deviation



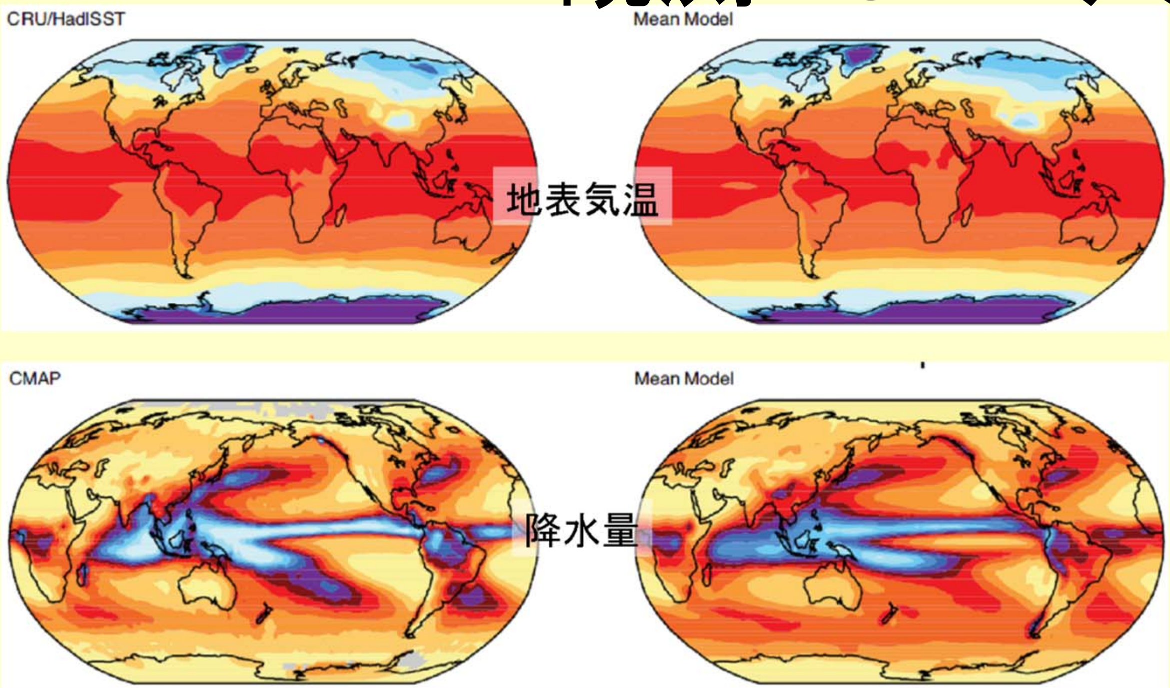



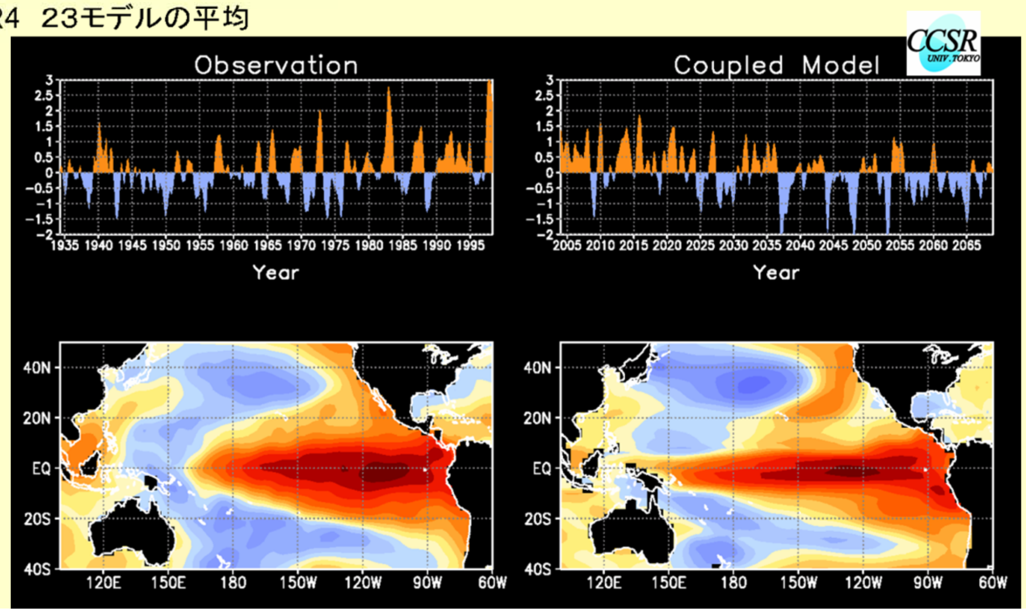

Heating/Moistening Profiles?



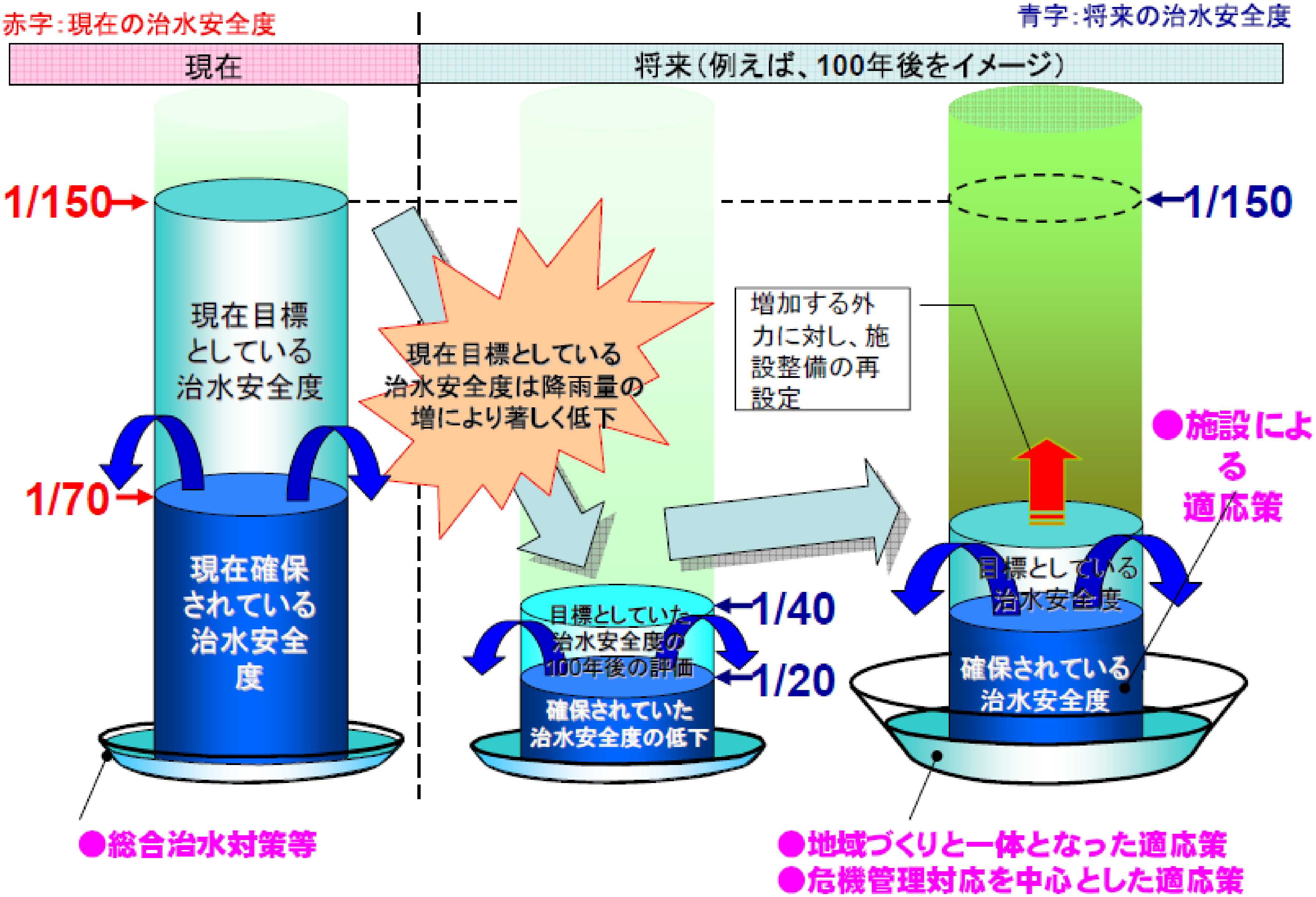
# 観測 vs. モデル




観測値　　　　IPCC-AR4　23モデルの平均



# 洪水に対する治水政策の重層化



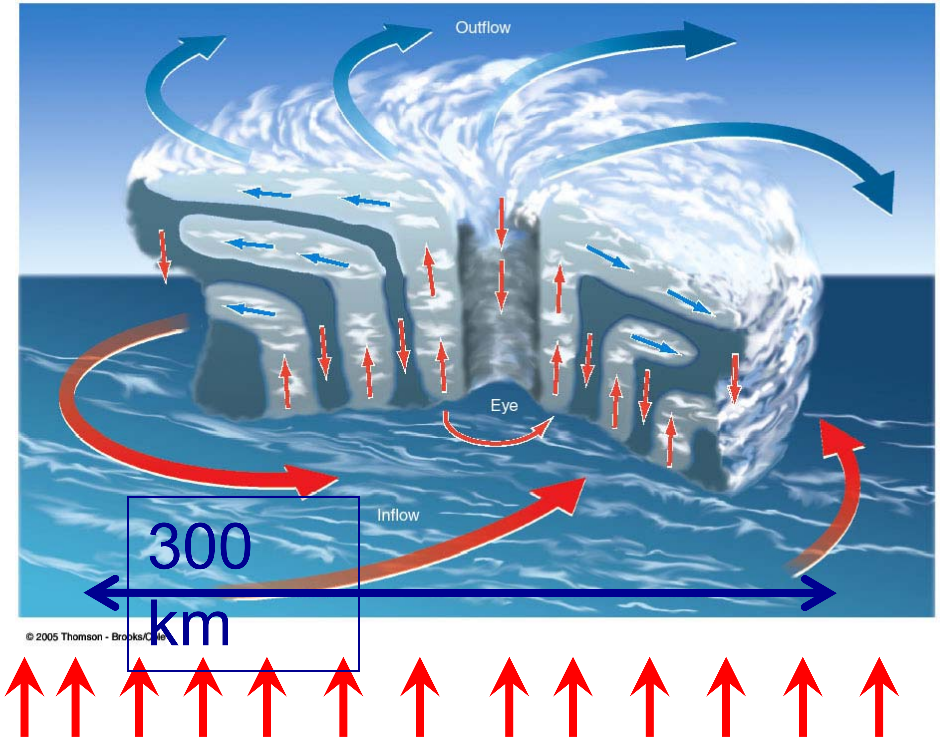


国土交通省http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000050.html

*Tropical Cyclones are big heat engines, displaying complex, organisedconvection*

# Agents of poleward heat transport in the Tropics

*Hurricane Isabel, Sep 17 2003*

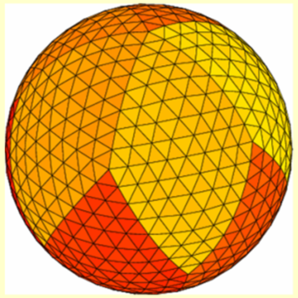


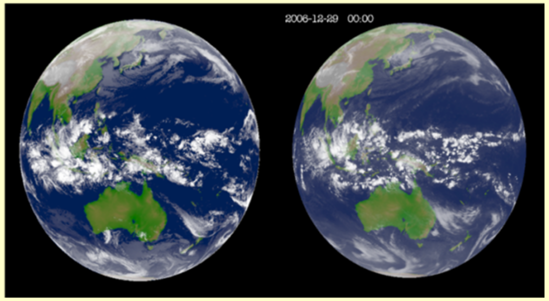

**ENERGY SOURCE:**
**Strong Latent Heat flux from ocean**
***high winds, warm water***

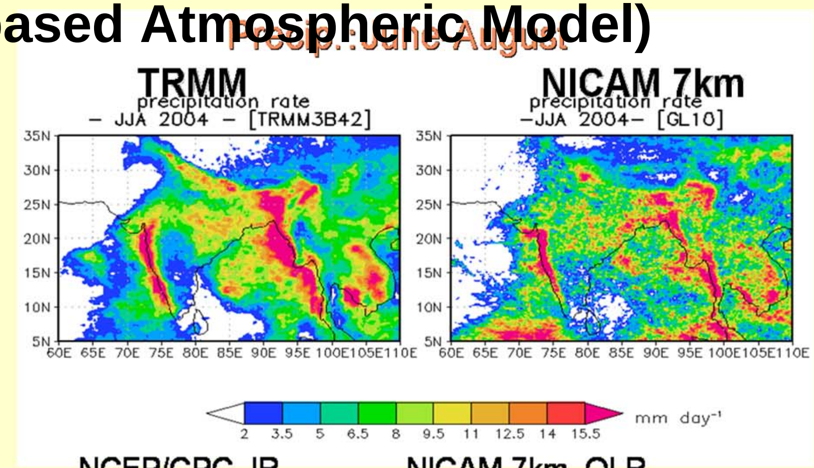
http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/natural_hazards_v2.php3?img_id=11720

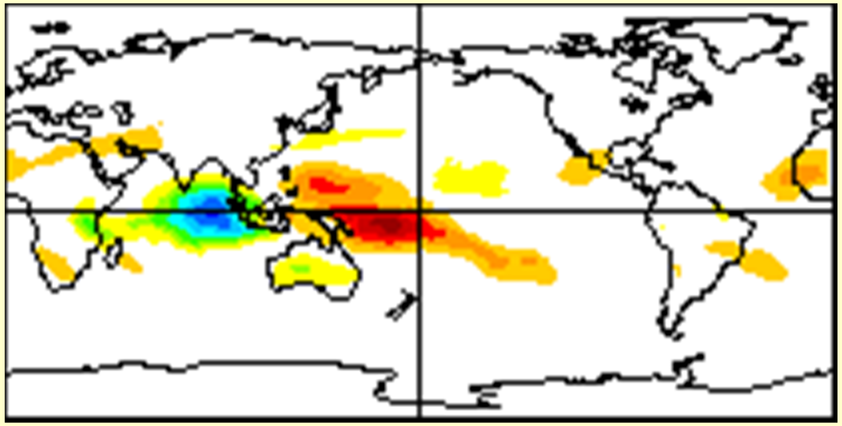
# 全球雲システム解像モデルNICAM

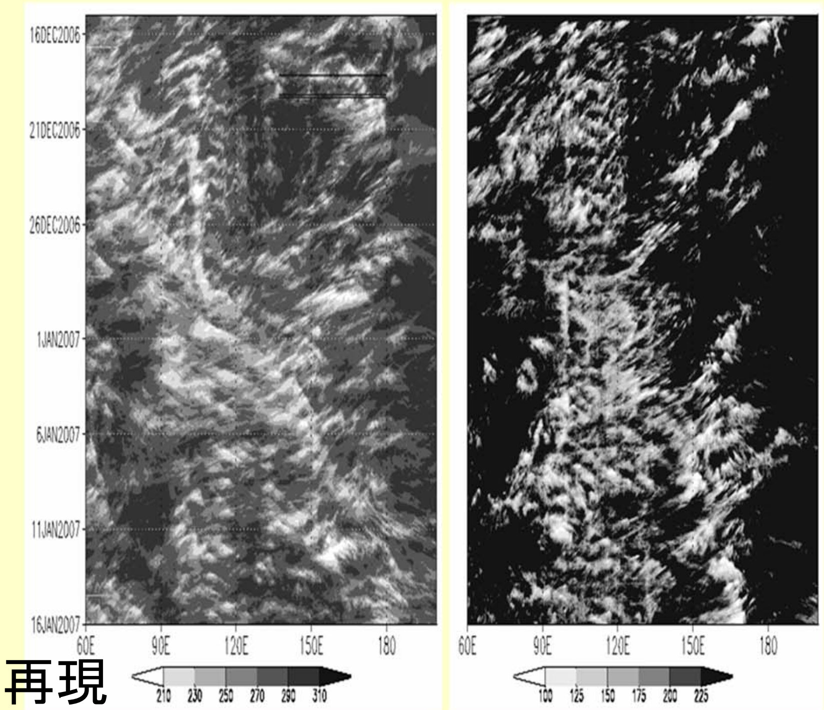
**(Non-hydrostatic ICosahederal grid-based Atmospheric Model)**





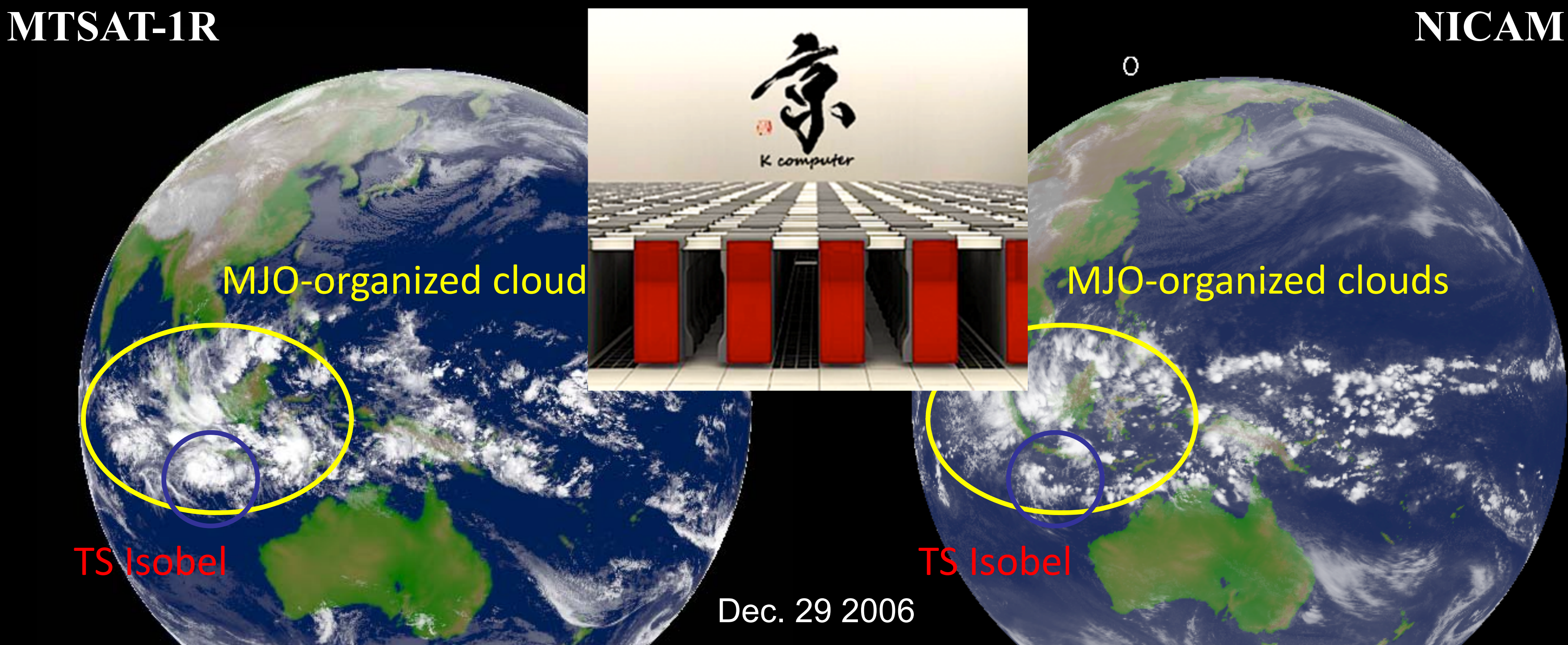






MJO（熱帯季節内振動）の再現

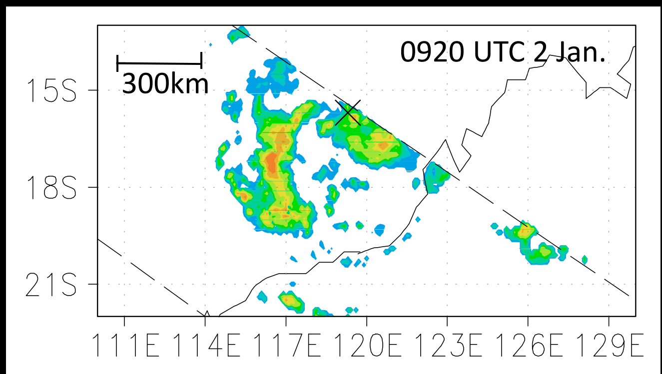
Miura et al. (2007,Science), Nasuno et al. (2009,JMSJ), Fudeyasu et al. (2009, GRL), Liu et al. (2009, MWR)

# 2週間先の台風発生を予測？

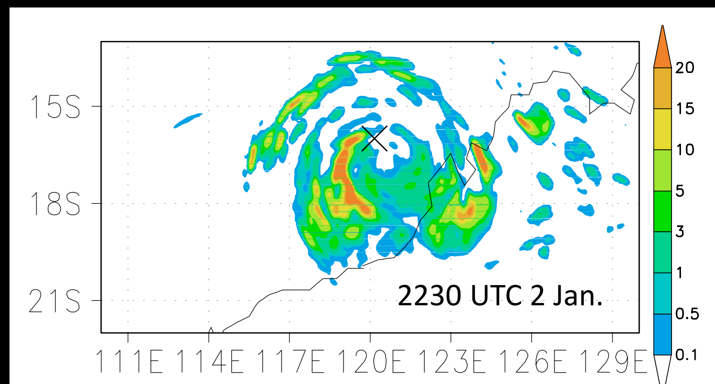



**全球雲解像モデルNICAMにより初期値から2週間先の台風の発生予測の可能性が示された。ビギナーズラック？それともブレークスルー？**

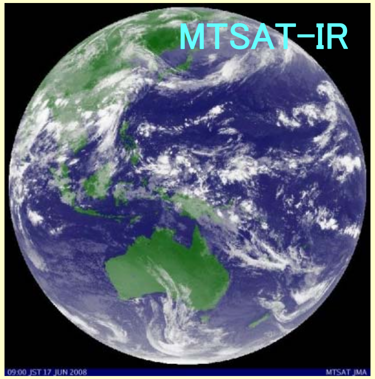
Surface rain rate (mm hour$^{-1}$) by TRMM-TMI

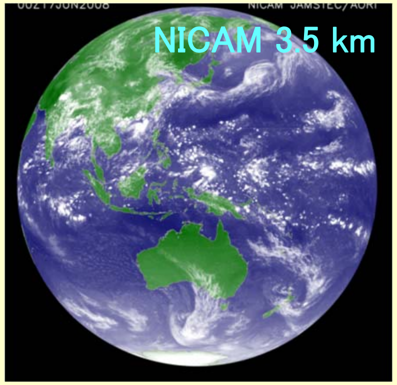



Surface rain rate (mm hour$^{-1}$) by NICAM

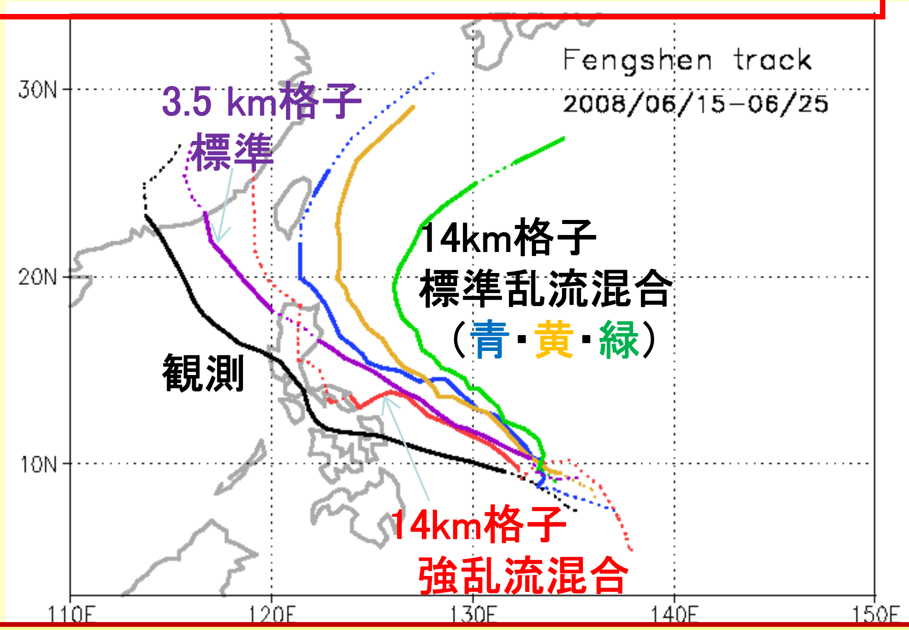


# 台風Fengshen (2008年6月) のNICAM 3.5km 全球実験

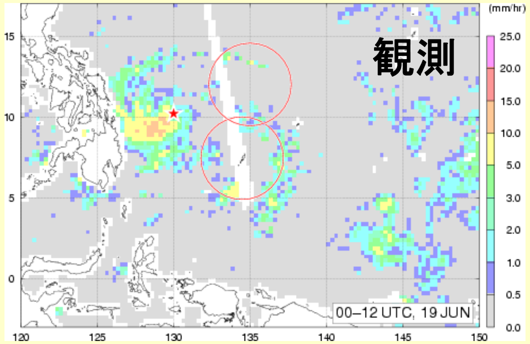



台風発生２日前（2008/06/17 00UTC） 雲分布

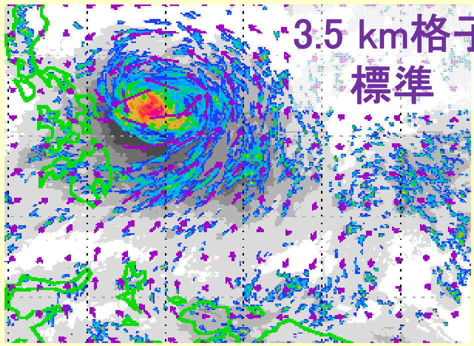


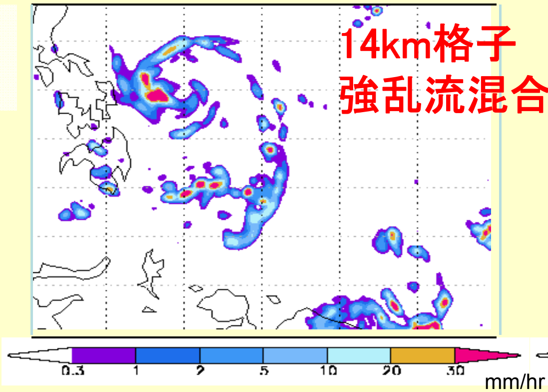

台風直後（2008/06/19）１日積算降水量

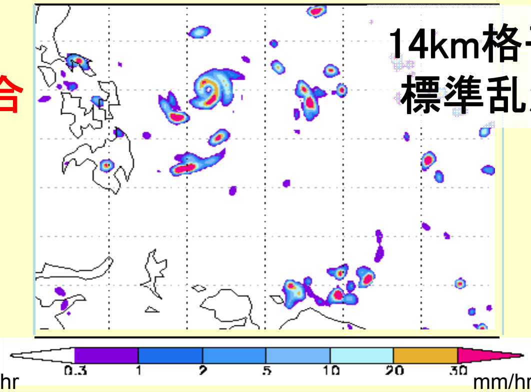



- 台風の発生メカニズム：赤道波動、積雲クラスター、メソ擾乱と台風発生との関係
- 現地集中観測 (PALAU2008) との比較検証が可能
- 進路予報向上に対する雲分布の再現性の重要性を示唆

すでに3.5km実験を実施 ⇒ さらに高解像度(1.8km, 900m) での積乱雲の再現性

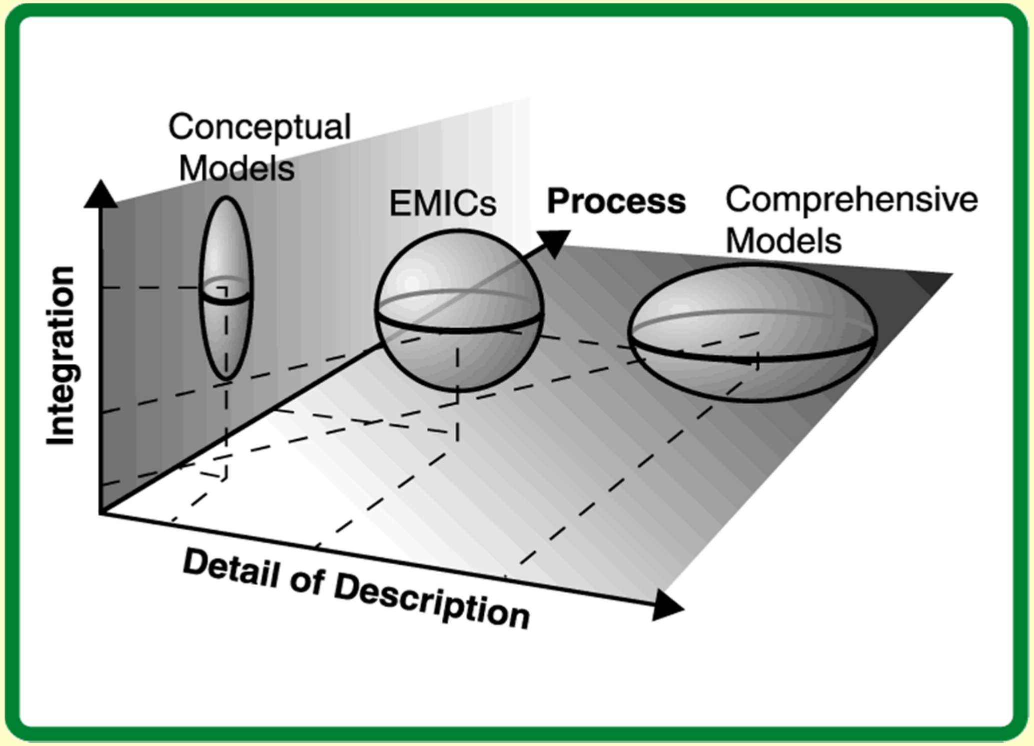


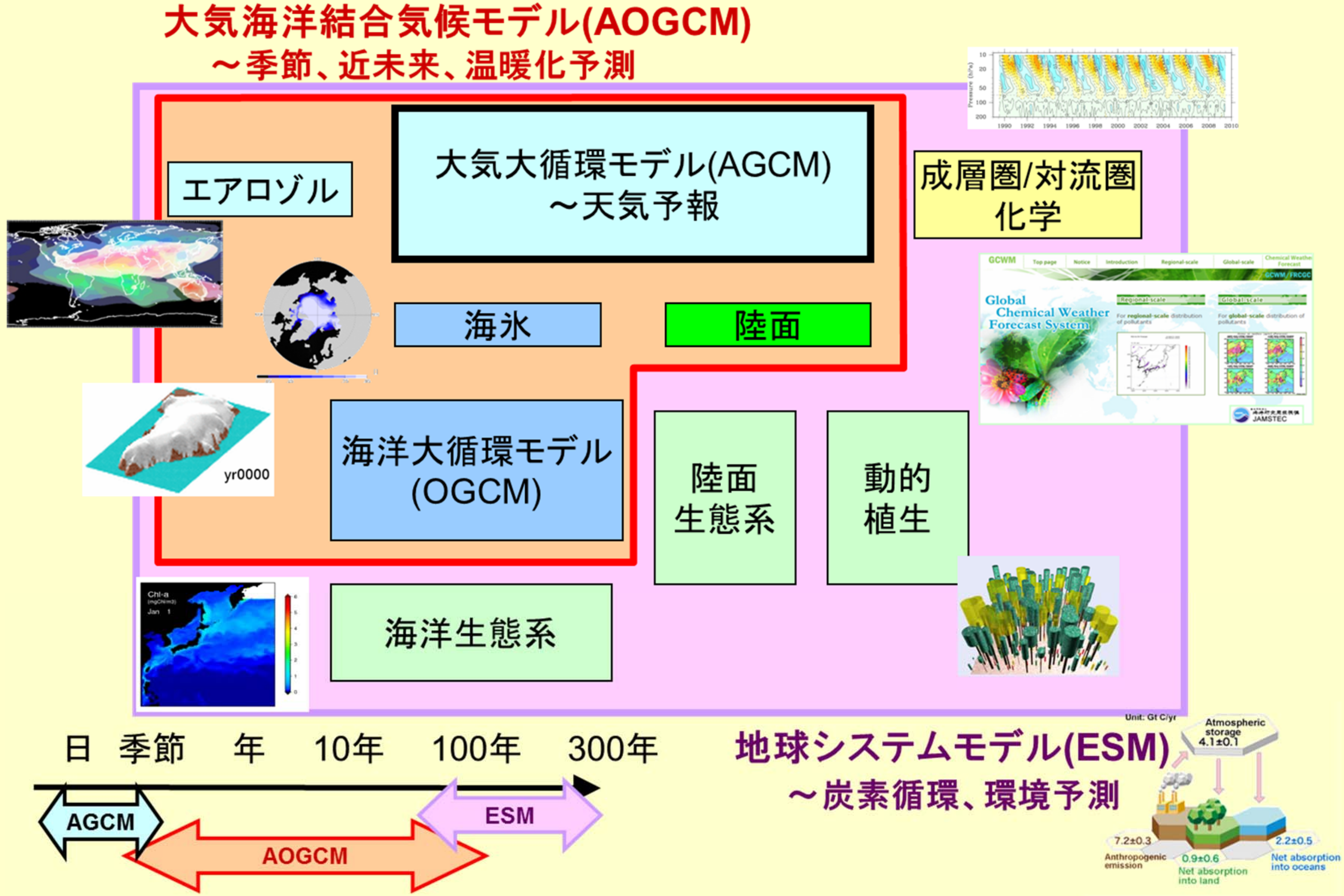
# Peta flops computing?






Resolution, Complexity, and Uncertainty…

# 気候モデルの課題3:より広範なプロセスの導入
# ～天気予報から地球環境予測へ



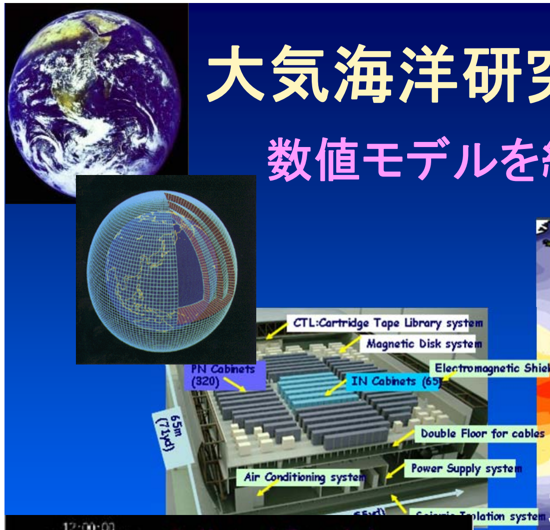

**目的毎のモデル構築から、統一モデル～シームレス予測へ**

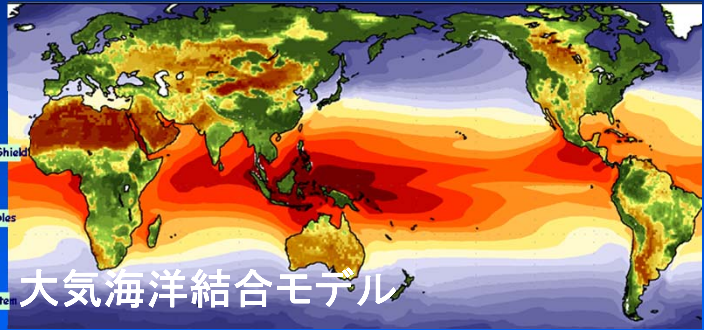
－サブシステム研究を全体に反映させるプラットフォームの必要性

－例えば、大気化学や渦解像海洋の導入により計算量数十倍～次世代スパコンの必要性

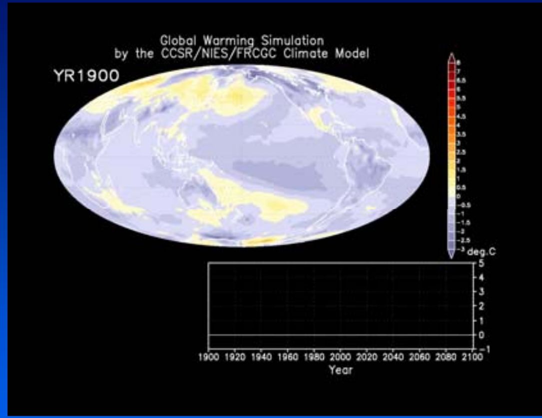
# 大気海洋研究所　気候システム研究系

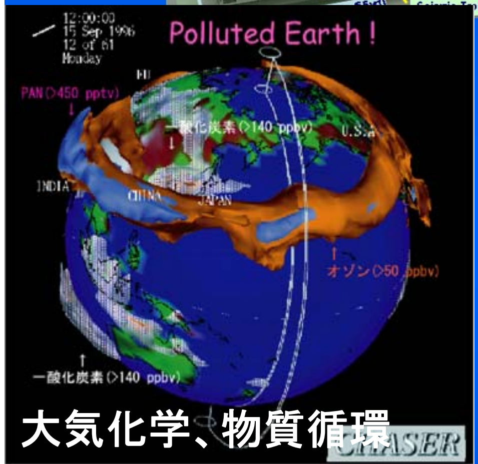
## 数値モデルを縦横に用いた気候システム研究



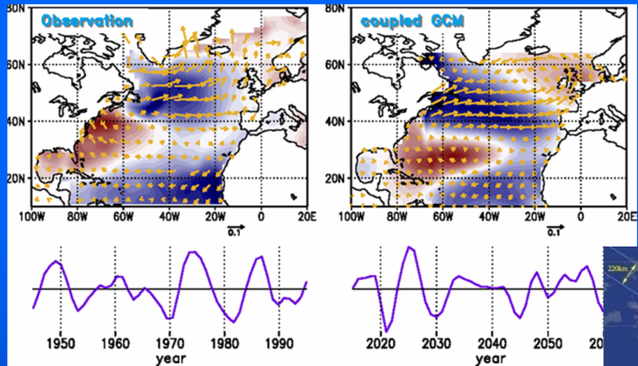




地球温暖化予測～IPCC貢献

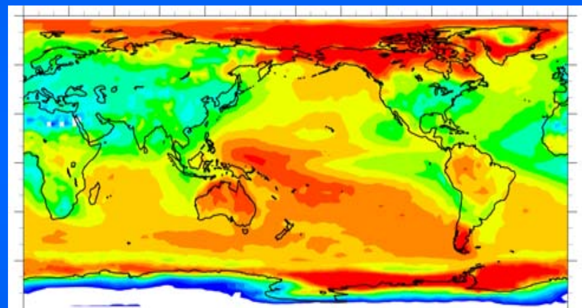


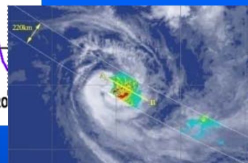




気候変動メカニズム

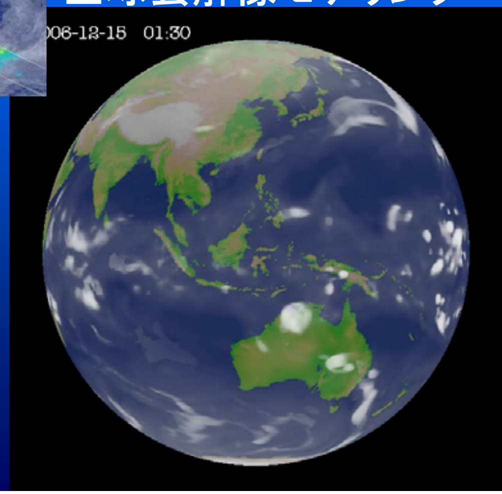


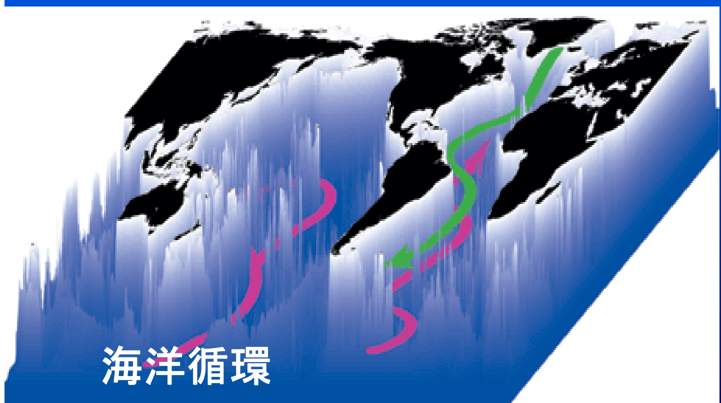

雲ーエアロゾル相互作用

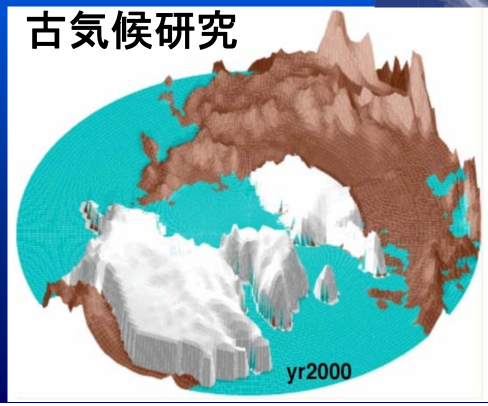




全球雲解像モデリング

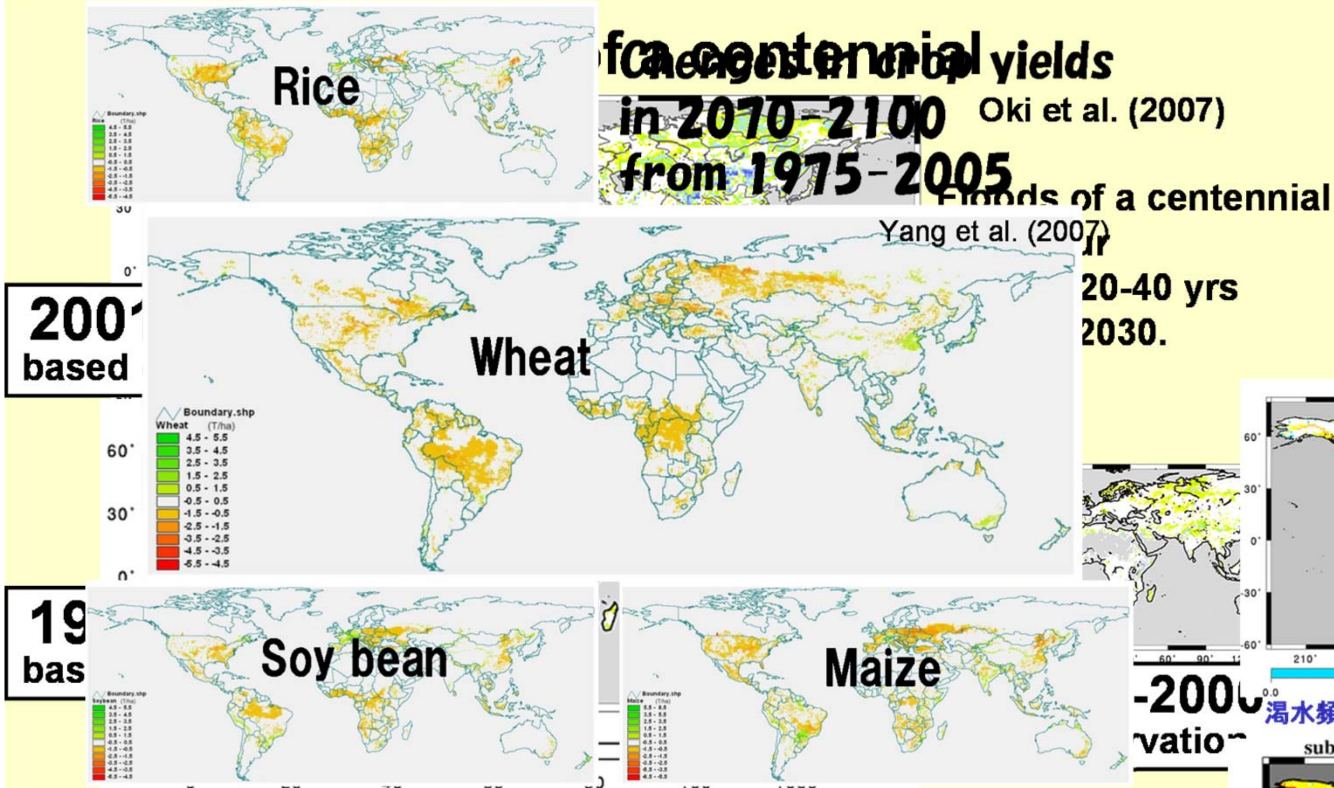


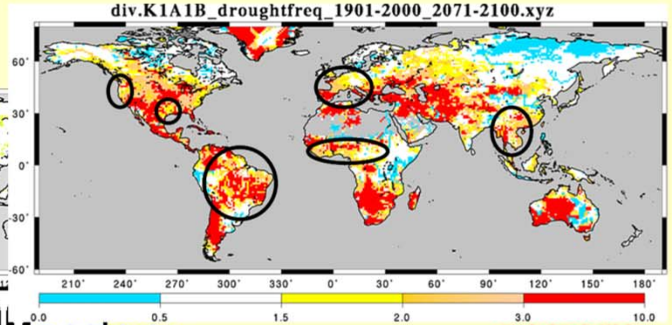



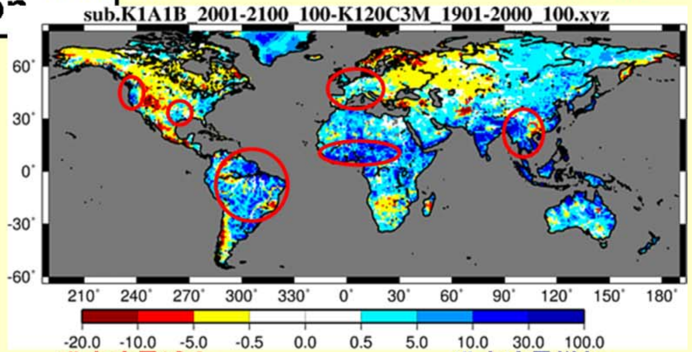



# Impact assessment

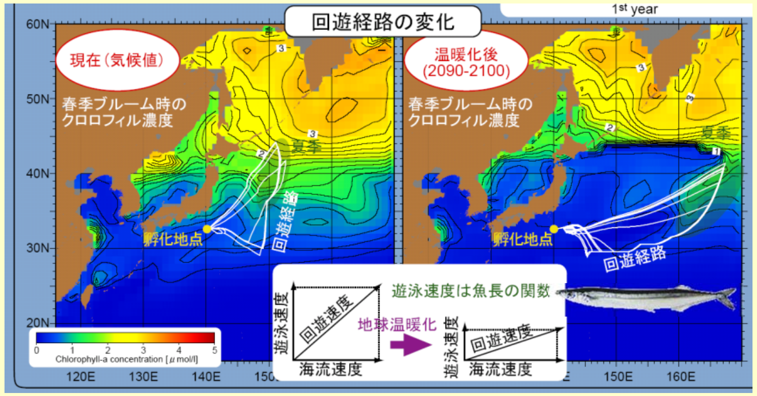
**Adaptation: 適応**



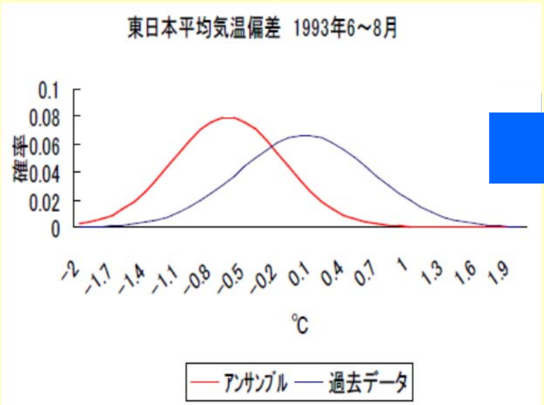



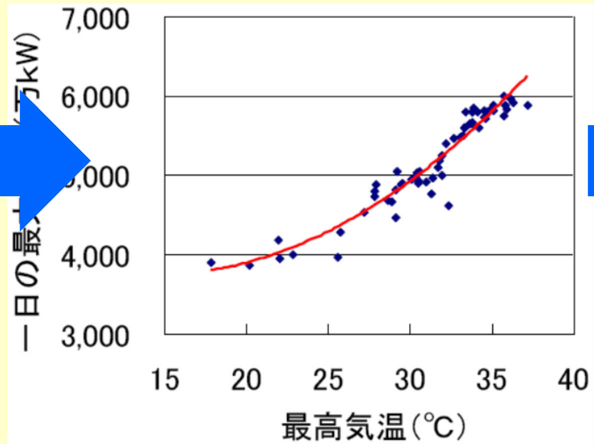

Hirabayashi et al. (2006)

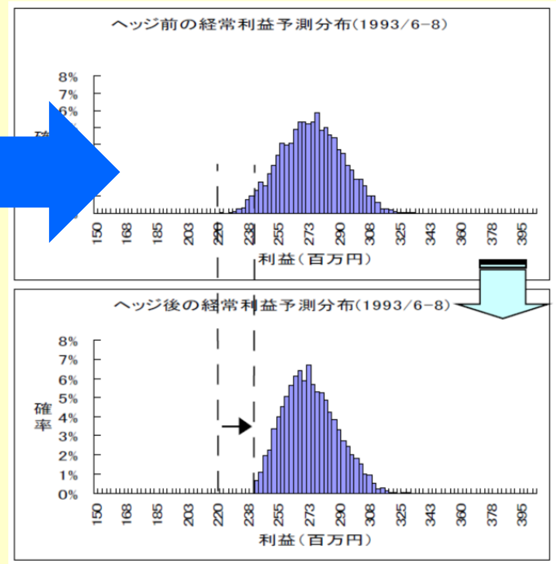


# 気候(天候)リスク管理

気象変数　　ビジネス変数　　リスク評価・対策



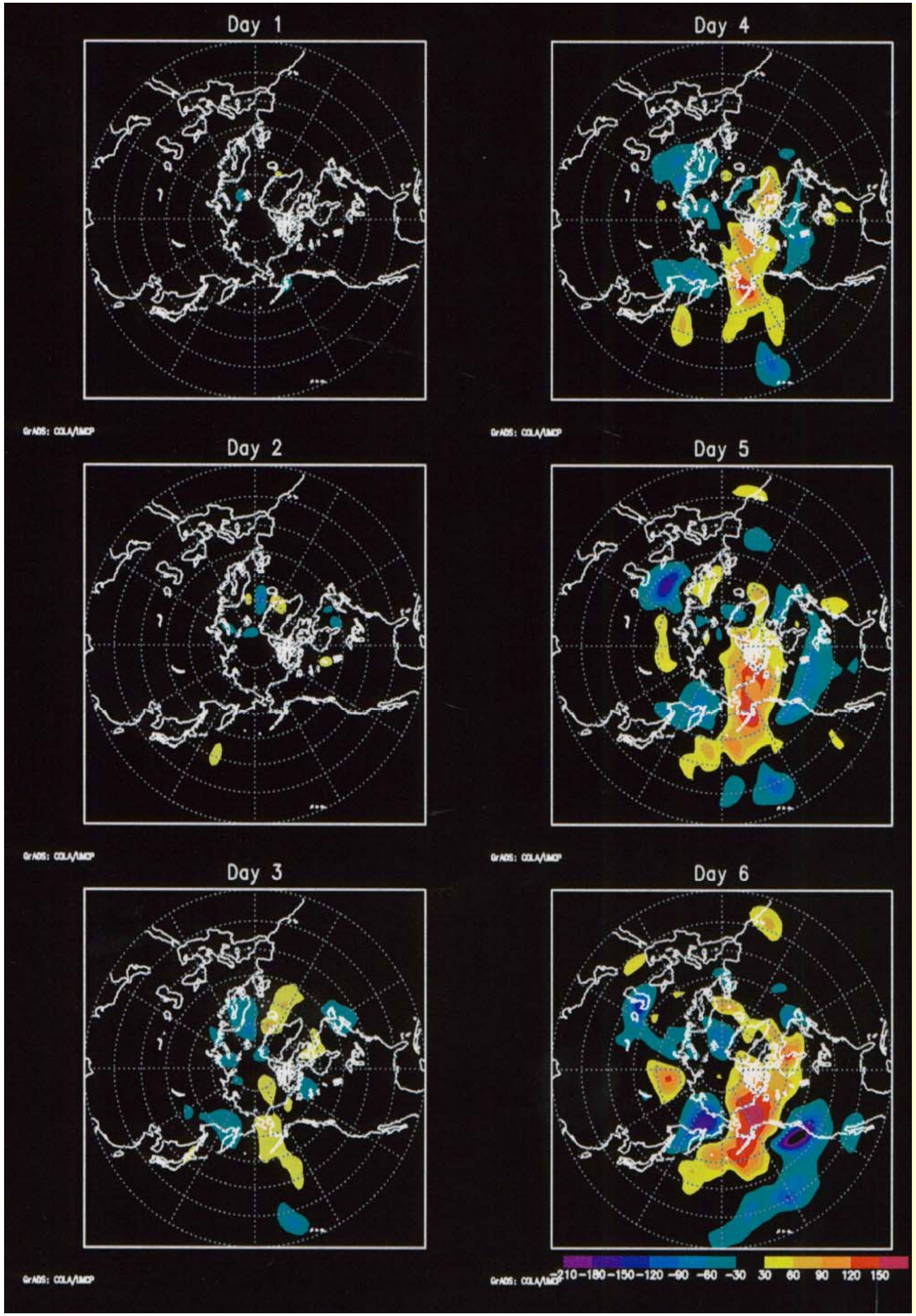



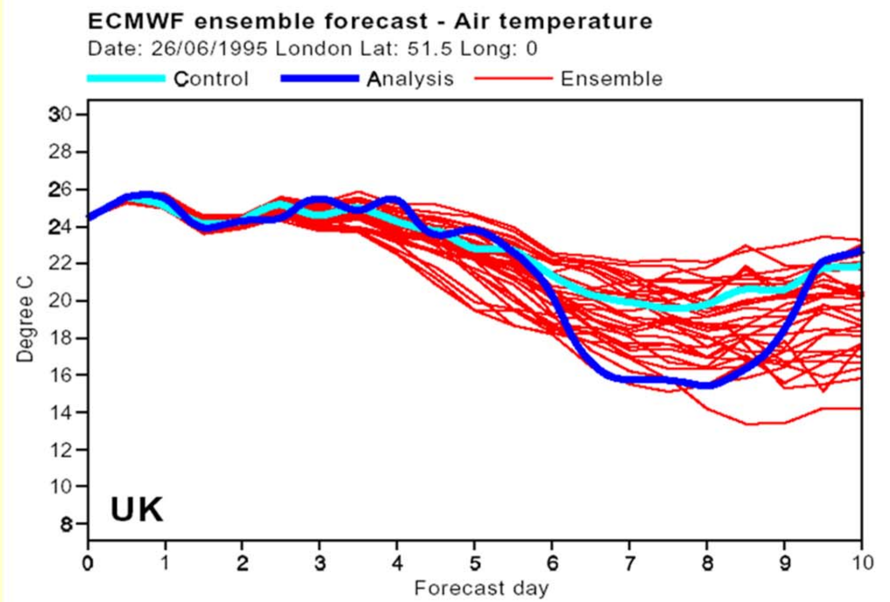



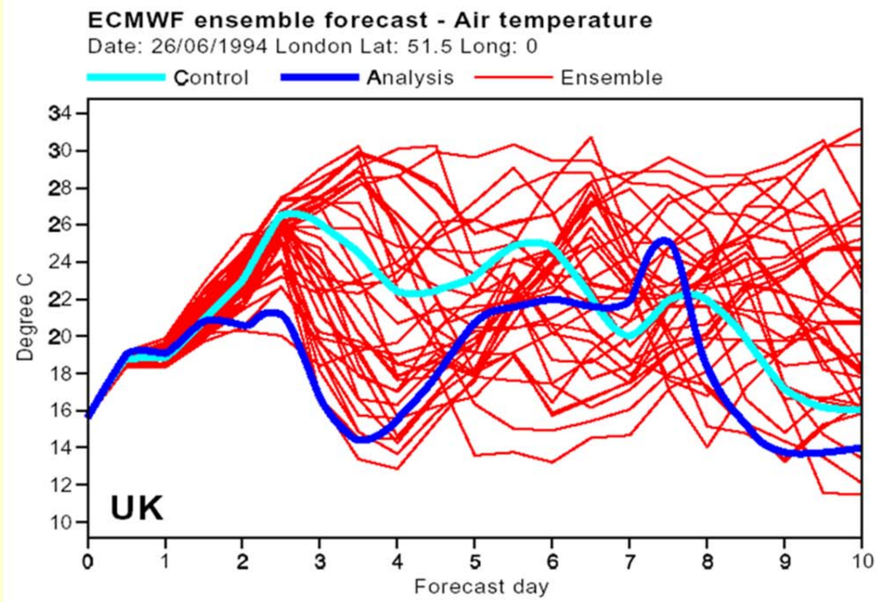

気候影響の評価

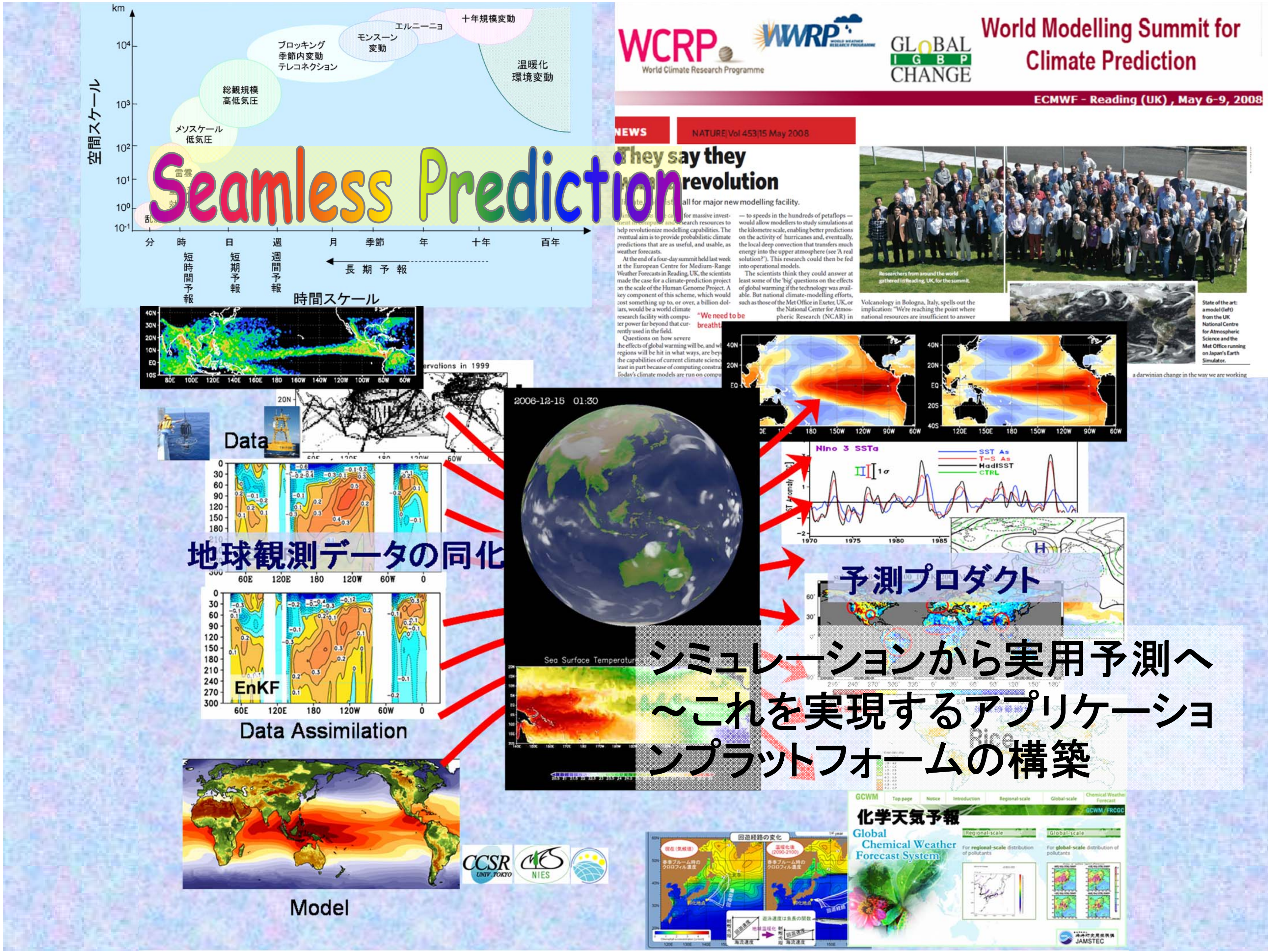
＊概念図

# カオスを越えて


Day 1
Day 4
Day 2
Day 5
Day 3
Day 6
-210 -180 -150 -120 -90 -60 -30 30 60 90 120 150

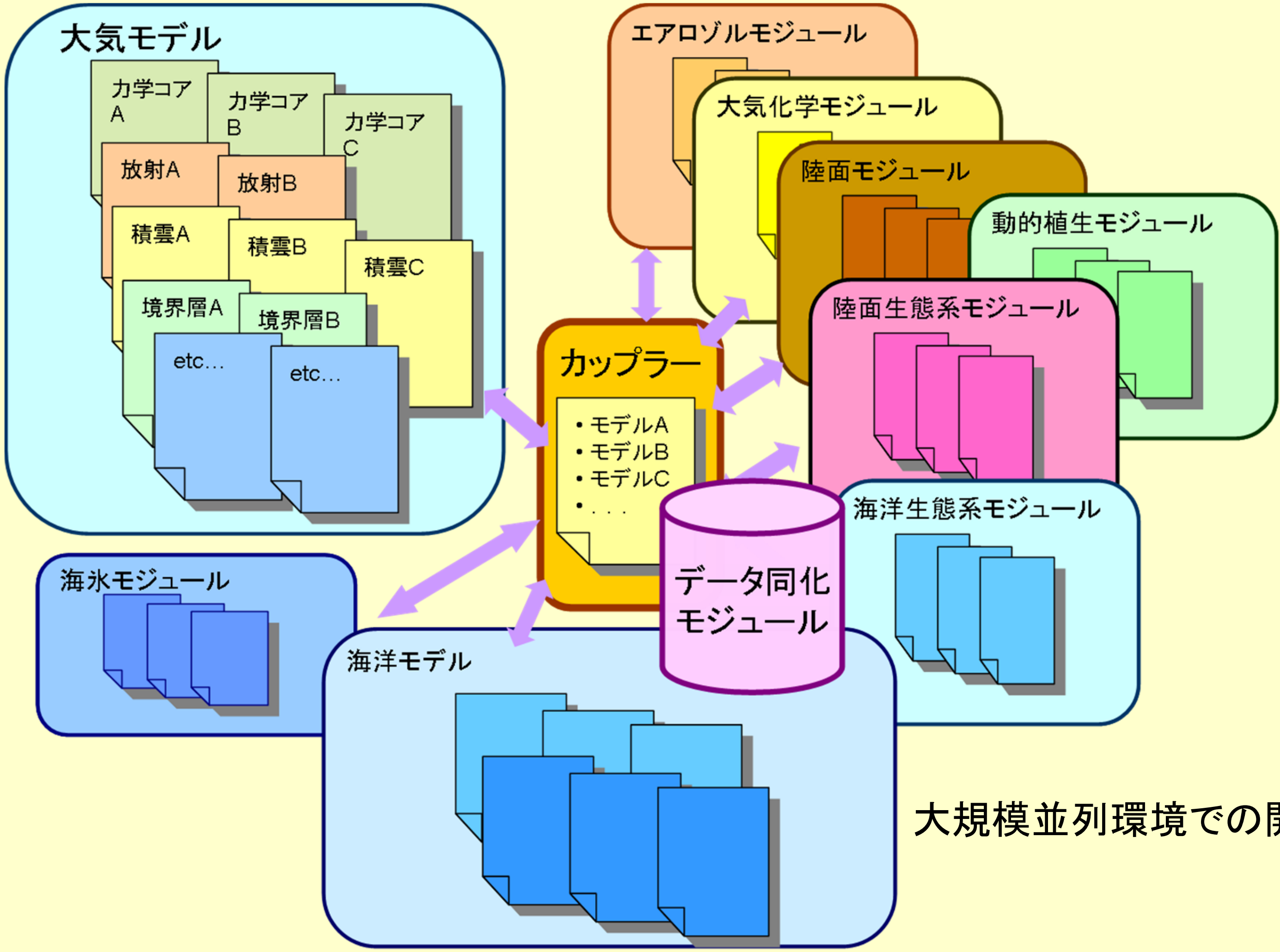

ECMWF ensemble forecast - Air temperature
Date: 26/06/1995 London Lat: 51.5 Long: 0
Control
Analysis
Ensemble
Degree C
UK
Forecast day


ECMWF ensemble forecast - Air temperature
Date: 26/06/1994 London Lat: 51.5 Long: 0
Control
Analysis
Ensemble
Degree C
UK
Forecast day



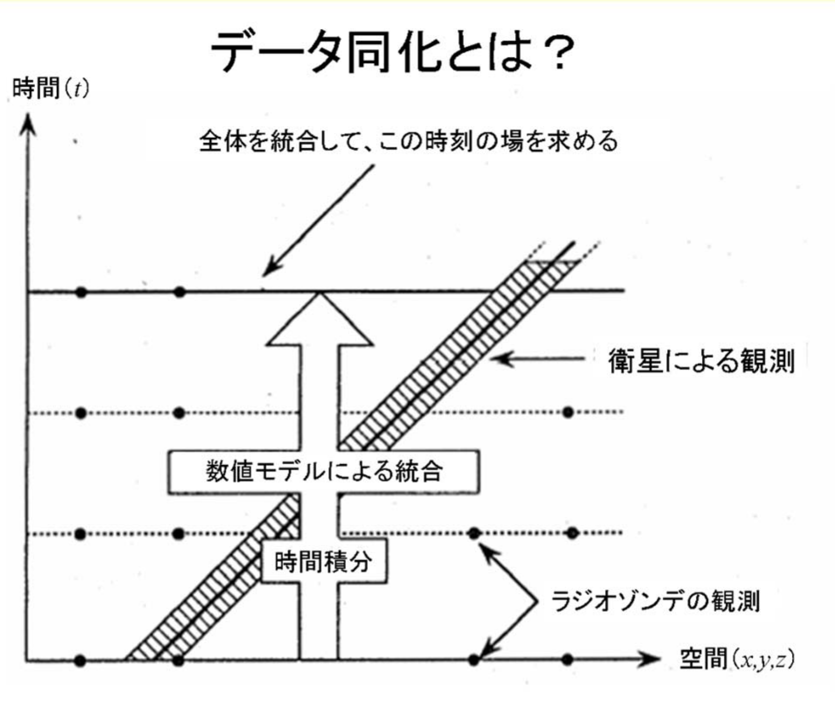
Seamless Prediction
km
空間スケール
時間スケール
分
時
日
週
月
季節
年
十年
百年
短時間予報
短期予報
週間予報
長期予報
乱
雷雲
メソスケール
低気圧
総観規模
高低気圧
ブロッキング
季節内変動
テレコネクション
モンスーン
変動
エルニーニョ
十年規模変動
温暖化
環境変動
WCRP
World Climate Research Programme
WWRP
GLOBAL IGBP CHANGE
World Modelling Summit for
Climate Prediction
ECMWF - Reading (UK), May 6-9, 2008
NEWS
NATURE|Vol 453|15 May 2008
They say they
revolution
Data
地球観測データの同化
EnKF
Data Assimilation
Model
CCSR
UNIV. TOKYO
NIES
2006-12-15 01:30
Sea Surface Temperature
Nino 3 SSTa
SST
HadISST
CTRL
予測プロダクト
シミュレーションから実用予測へ
～これを実現するアプリケーションプラットフォームの構築
GCWM
化学天気予報
Global
Chemical Weather
Forecast System
回遊経路の変化
JAMSTEC

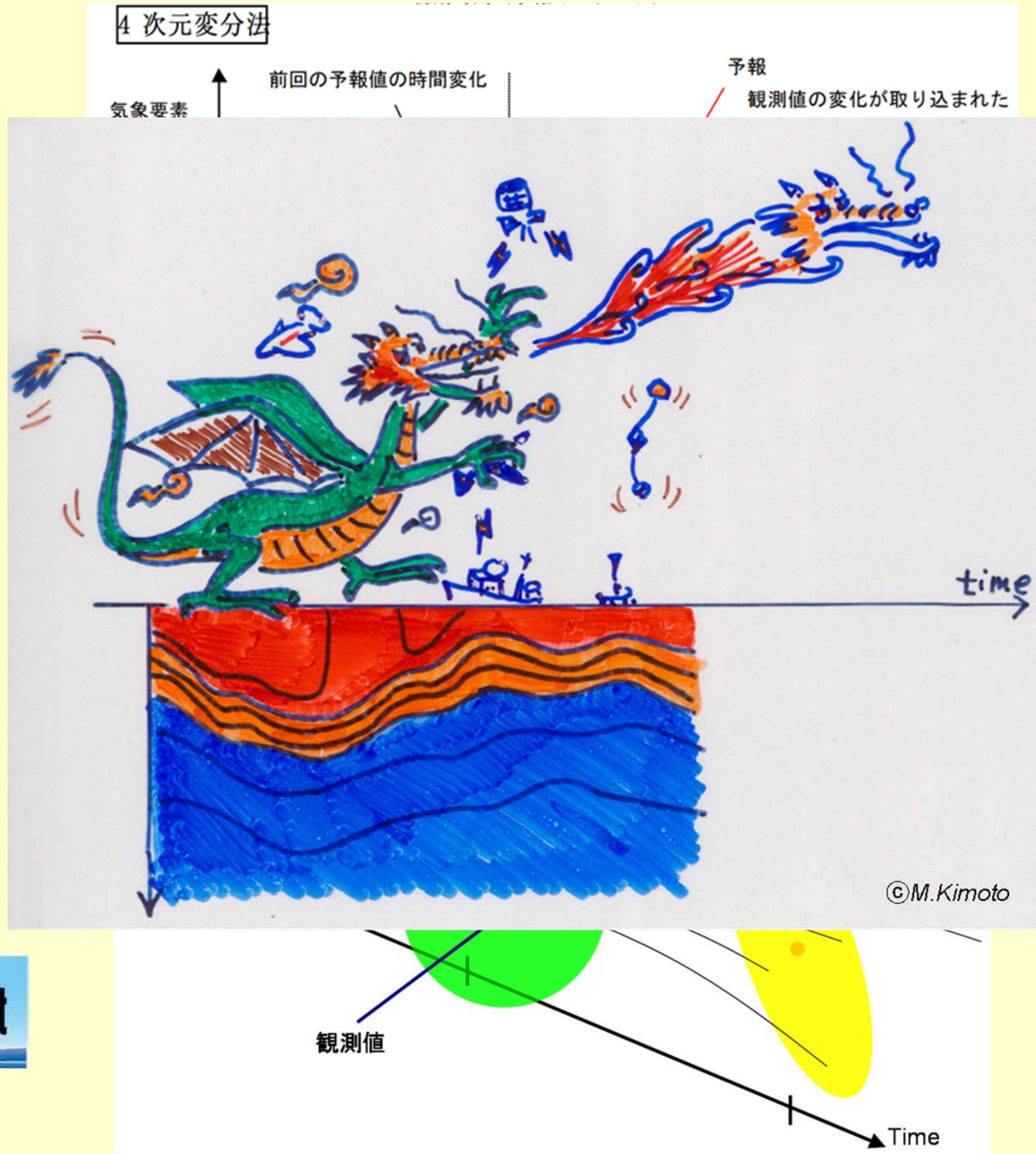
# 「統一日本モデル」～次々世代用統合地球環境監視予測 アプリケーションプラットフォーム




大規模並列環境での開発が必要

# データ同化

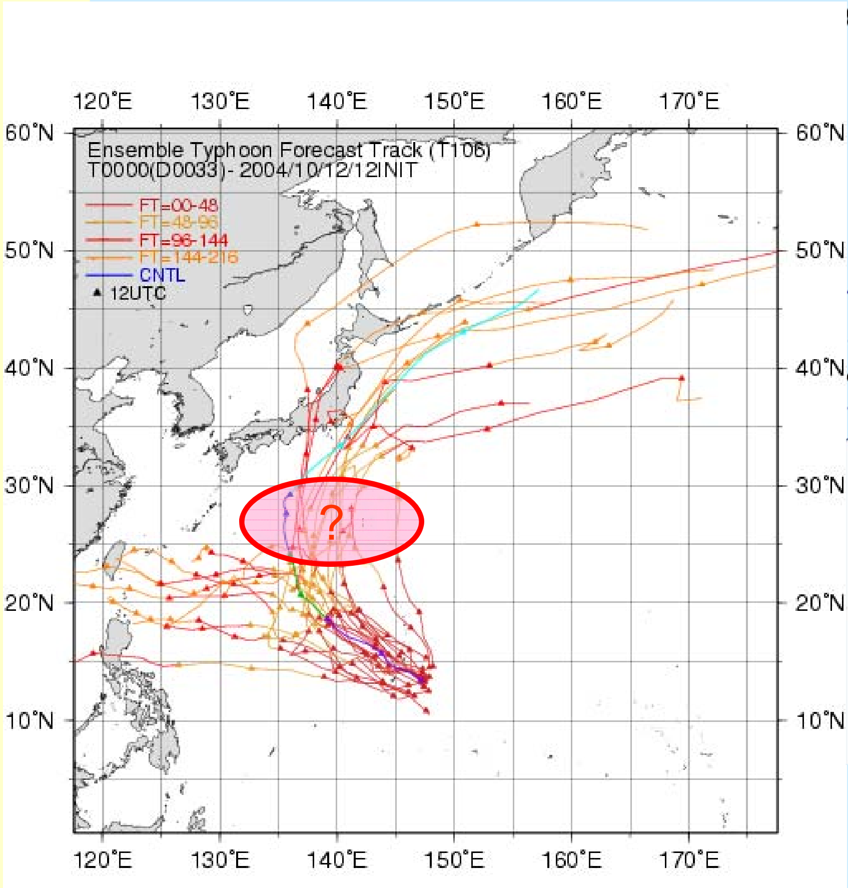


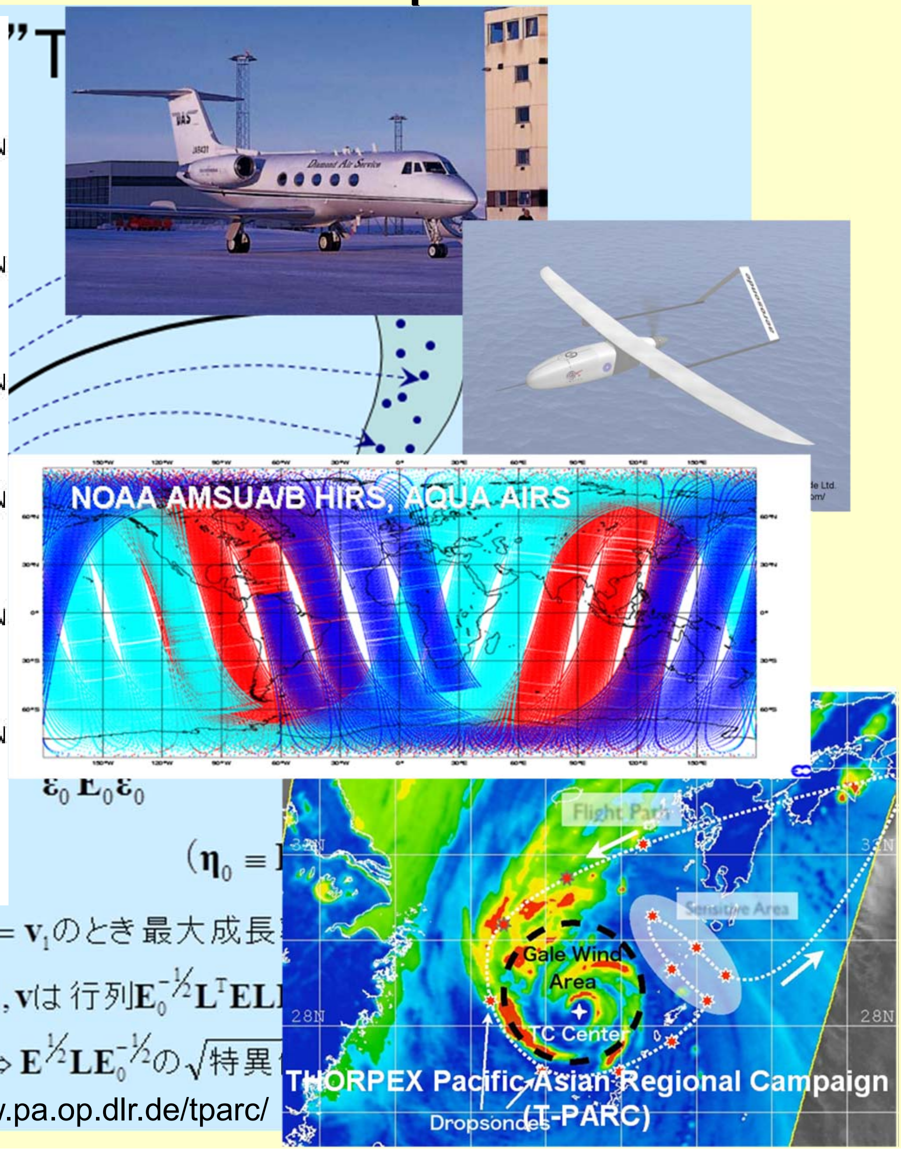




JRA-25 Japanese 25-year Reanalysis Project

# 機動的観測、観測システムシミュレーション

## Targeted (adaptive) observation, Observing System Simulation Experiment



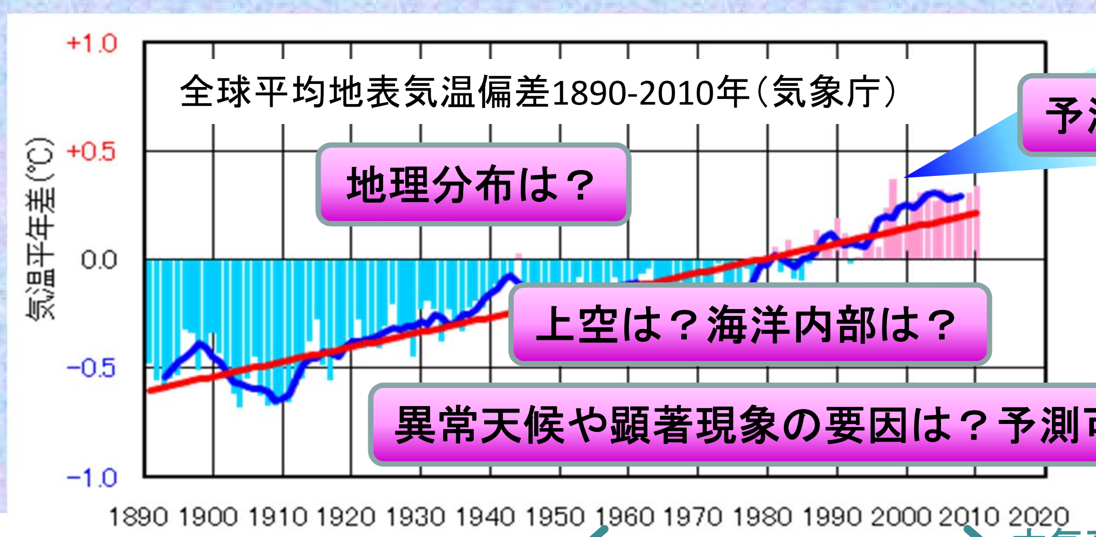



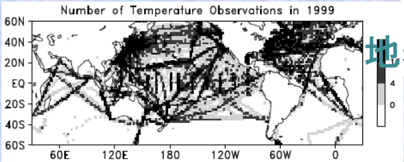

http://www.pa.op.dlr.de/tparc/

# 気候再解析・再予報実験システムの構築

System for Prediction and Assimilation by MIROC







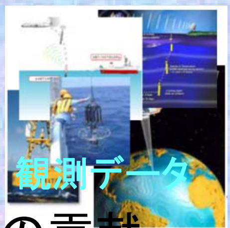
地表観測

大気高層観測（～現存大気再解析）

海洋内部観測（～現存海洋再解析）

本課題で目指す
大気海洋再解析

- 歴史気候データの最新大気海洋気候モデルによる再解析・再予報
  - ☺ 50年以上遡った大気海洋3次元構造の再構築
  - ☺ 数十年規模自然気候変動のメカニズム解明
  - ☺ 異常天候・顕著現象の要因分析、予測可能性評価
  - ☺ 気候予測の信頼度向上、気候変動の影響評価研究への貢献
  - ☺ システムは研究コミュニティの共通プラットフォームに




＋