

京で雲を解く

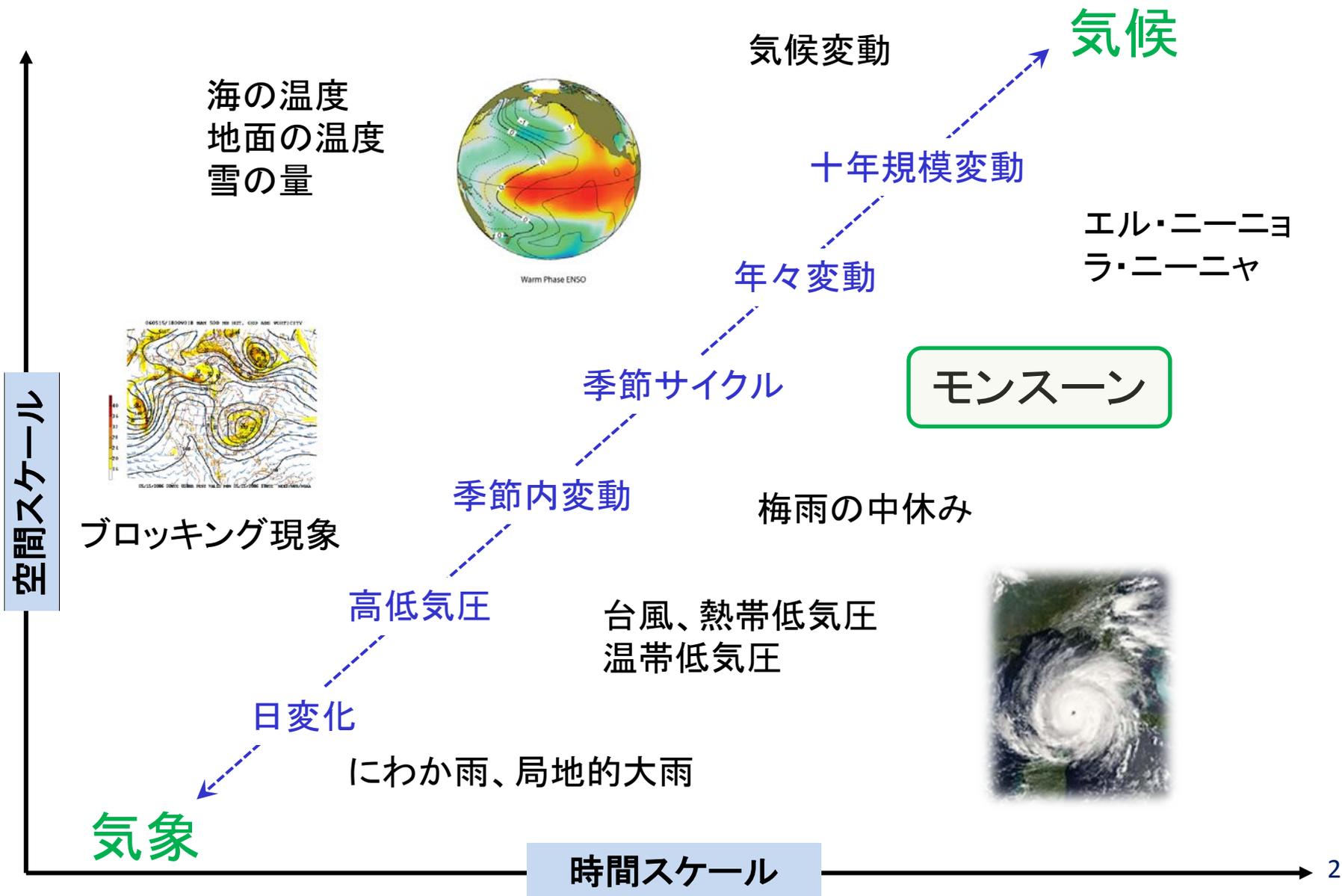
—次世代の気候研究—

梶川 義幸

理化学研究所 計算科学研究機構
複合系気候科学研究チーム

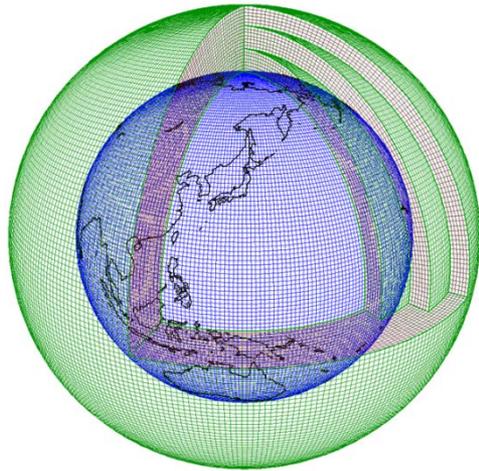


「気候研究」の気候とは？

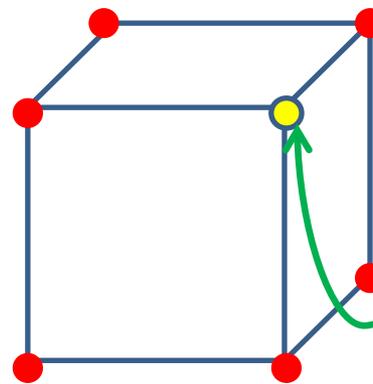


気候研究の実験室 = 数値シミュレーション

(1) 全球を格子で覆う



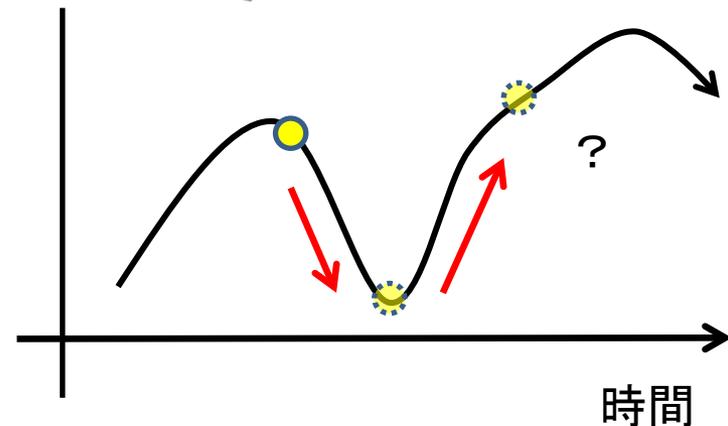
(2) 格子には気象データ



気温
水平風
鉛直風
気圧
湿度 etc ...

規則正しく並んだ格子で大気を細かく覆い、そのひとつひとつの格子点の気圧、気温、風などの値の推移をコンピュータで計算します。

(3) 各格子で気象データの推移を計算



計算(予報)する: リチャードソンの夢



Lewis Fry Richardson
1881-1953



[1920年] 6時間予報に
手計算で1ヶ月

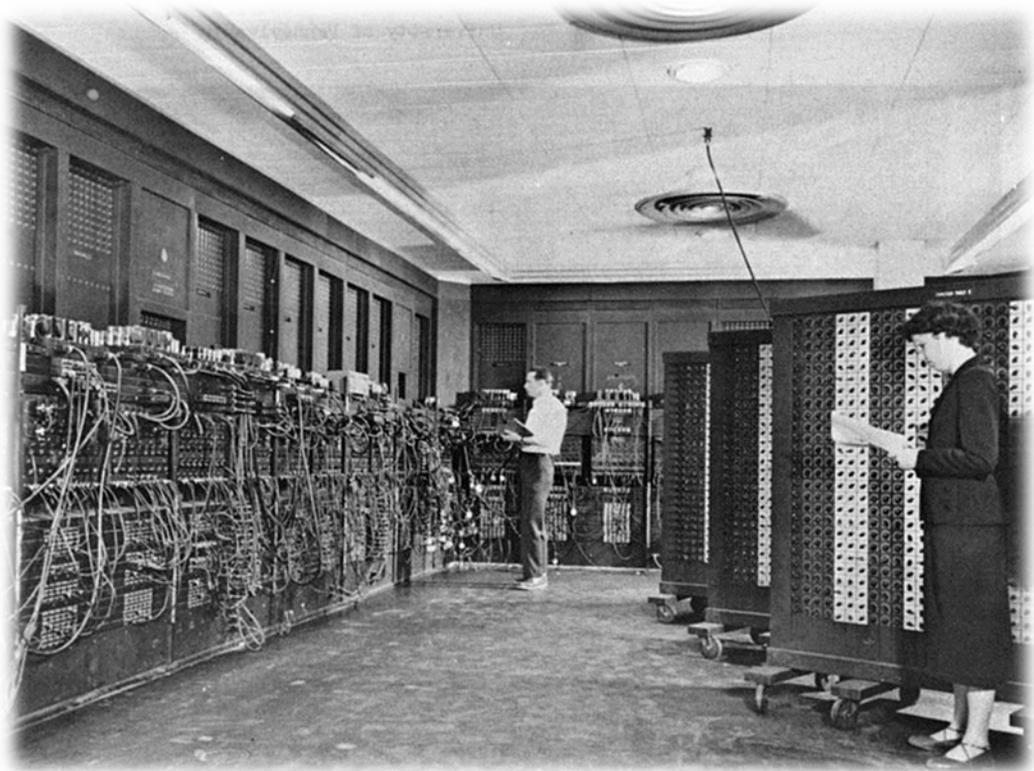


[1922年] 64,000人の計算者を巨大なホールに
集めて指揮者の元で整然と計算を行えば実際の
天候の変化と同程度の速度で予報が行える!

計算(予報)する: コンピュータの登場

ENIAC:
世界最初期の
コンピュータ

1947-1955
@Maryland



<http://en.wikipedia.org/wiki/ENIAC>

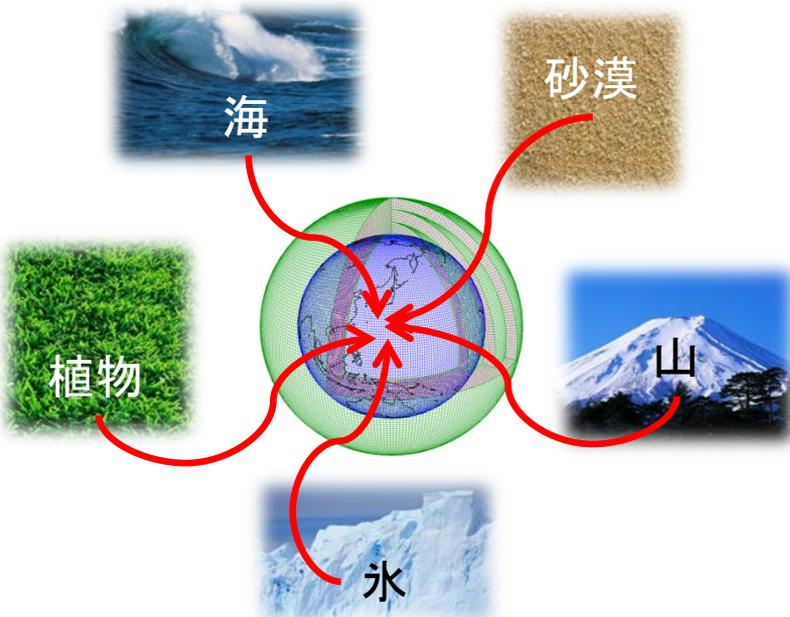
1950年: ENIAC を使って天気予報
1956年: 大気大循環の再現に成功

数値(モデル)実験
の幕開け

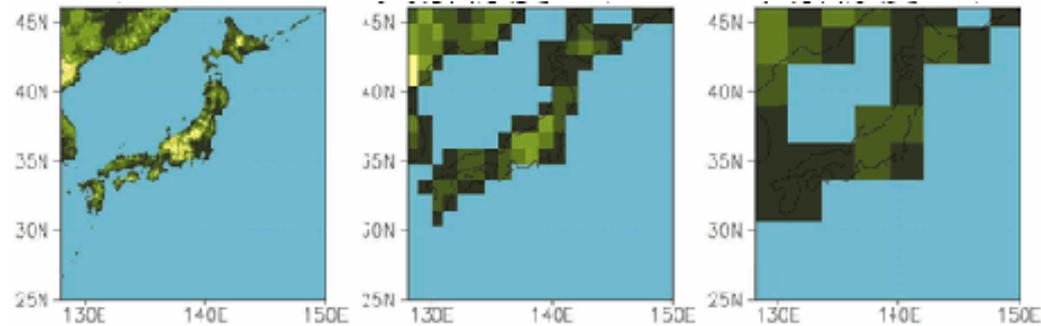
コンピュータが発達すると...

気候モデルに
3つの「増える」

(1) モデルの**部品**が増える

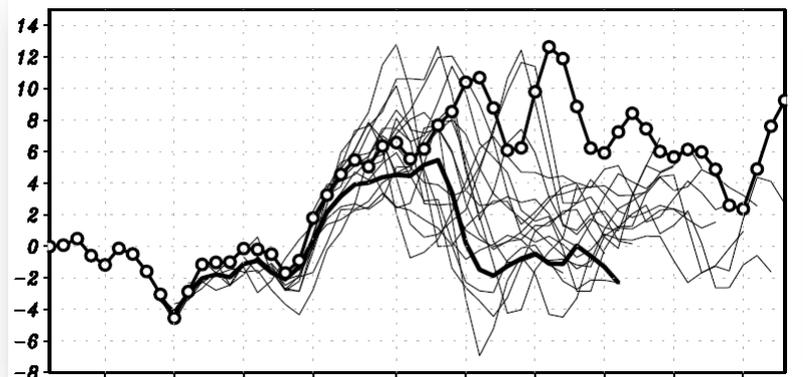


(2) モデルの**解像度**が増える



<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/19/04-09.html>

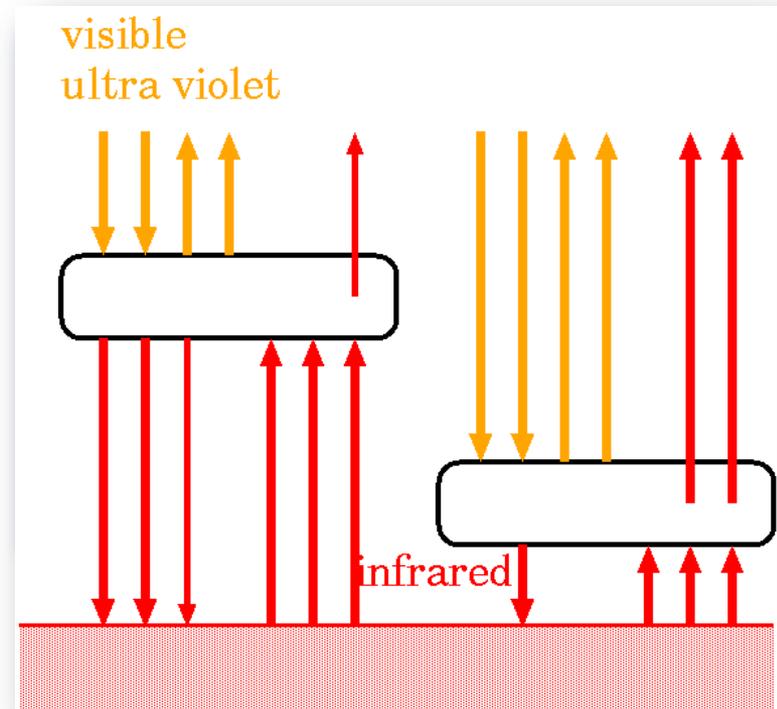
(3) モデルで**計算できる回数**が増える



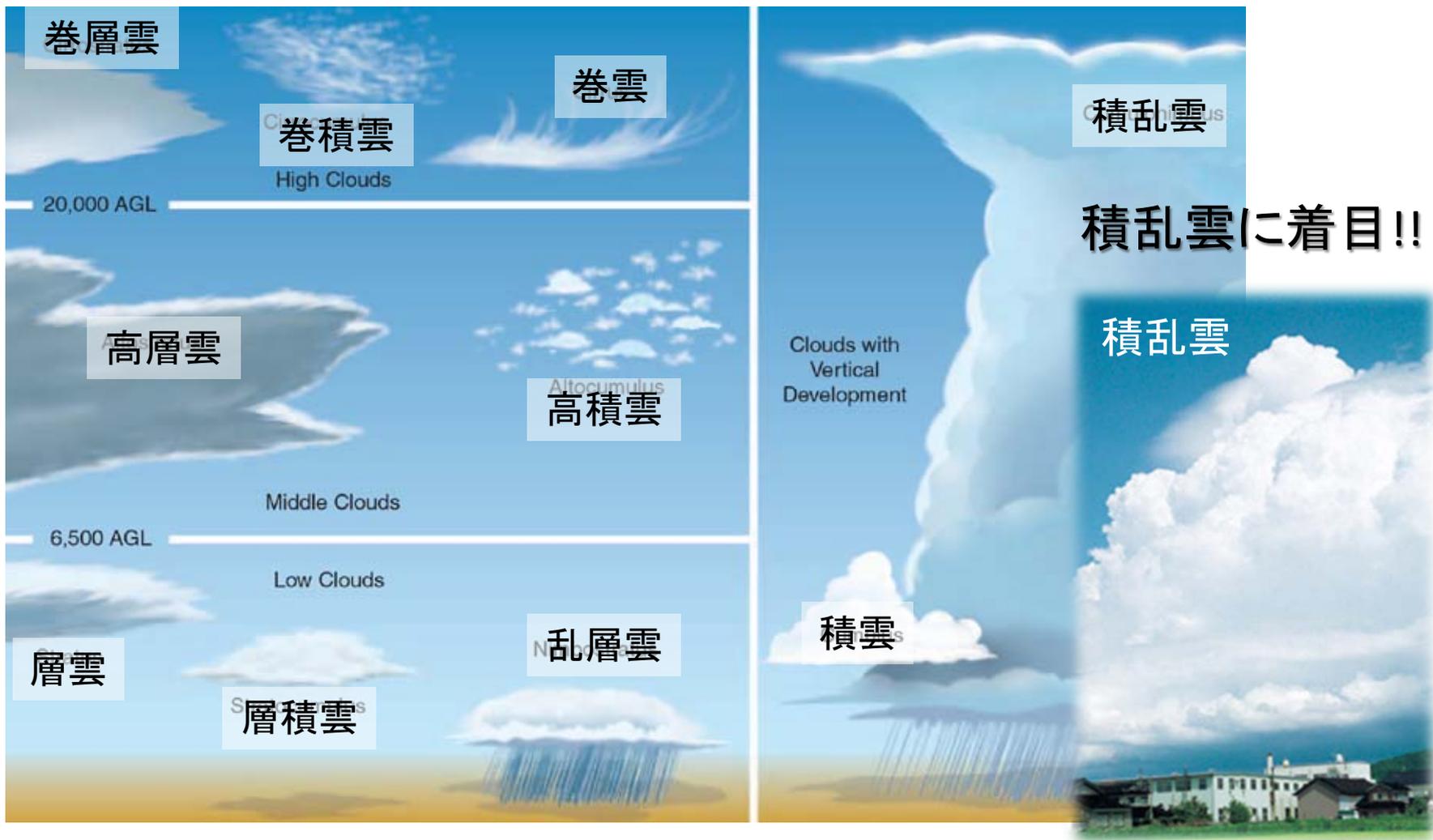
雲って大事ななの？



1. 雲は大気大循環の駆動源
特に積乱雲は大気の熱輸送に重要
2. 雲は熱帯低気圧、台風、前線...
などの最小構成要素
3. 気候のエネルギーバランスに
大きな役割
日傘効果: 太陽の光を反射させ
地球の平均気温を下げる
温室効果: 地球からの赤外線を
吸収して地球を温める



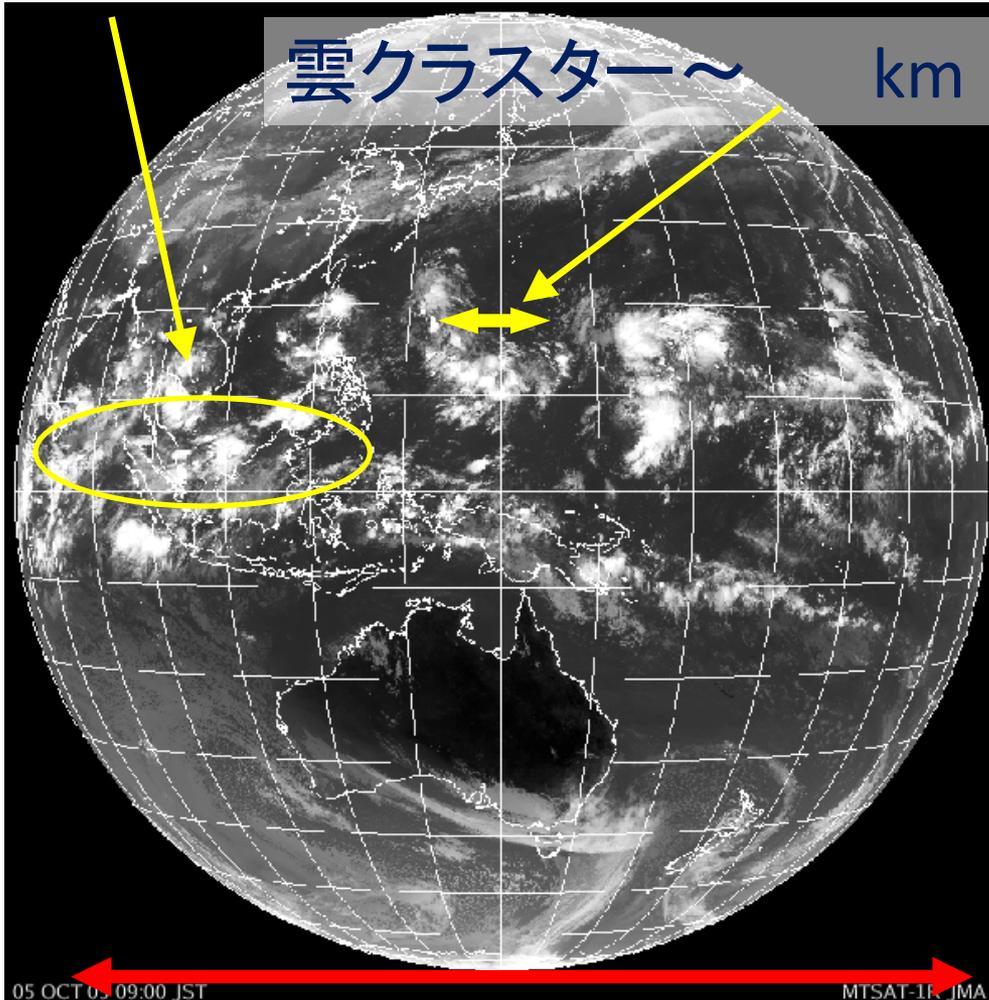
雲を解く: いろいろな雲



<http://www.cfijapan.com/study/html/to099/>

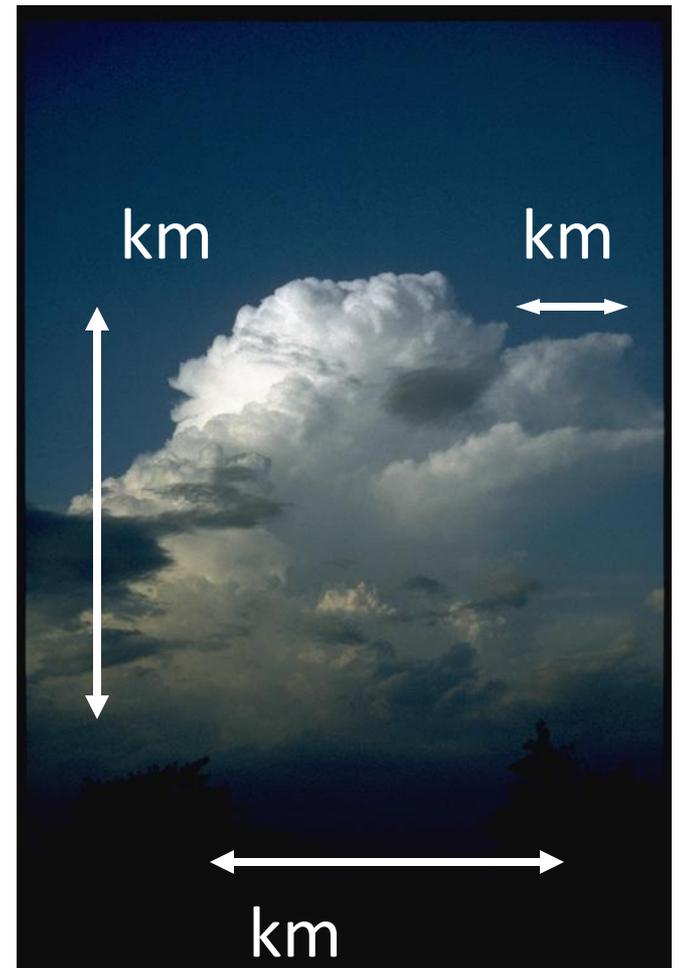
雲の大きさは？

スーパー雲クラスター～ km



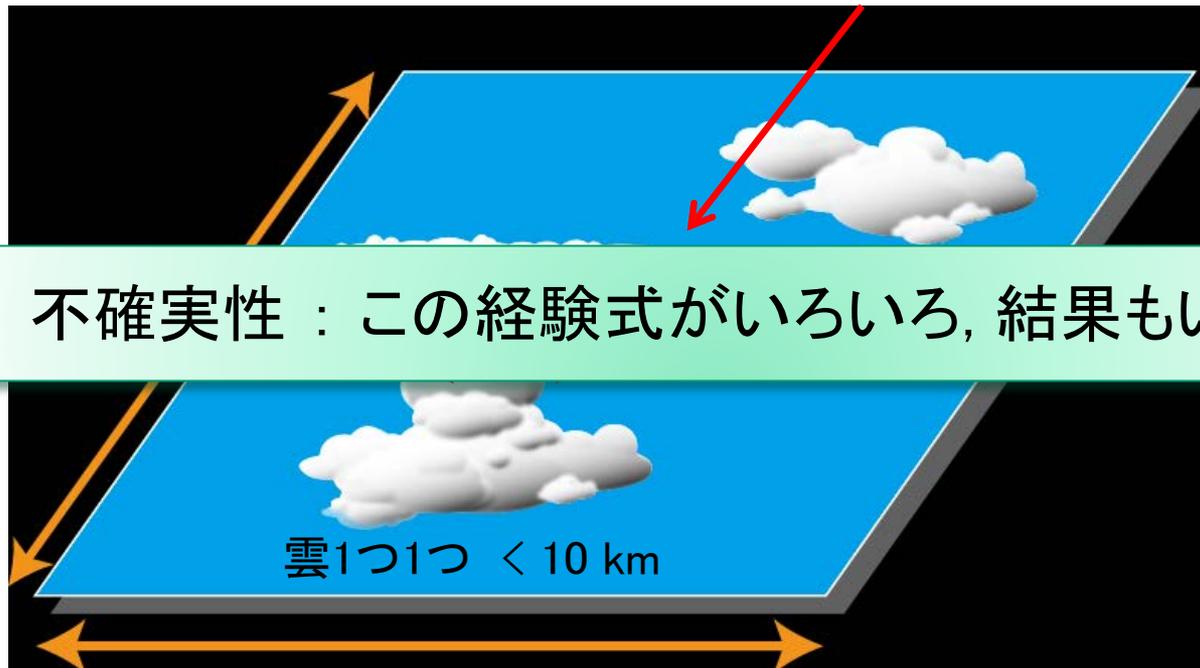
地球の半径は: km

対流(積乱雲)



まだモデルの解像度が粗い頃...

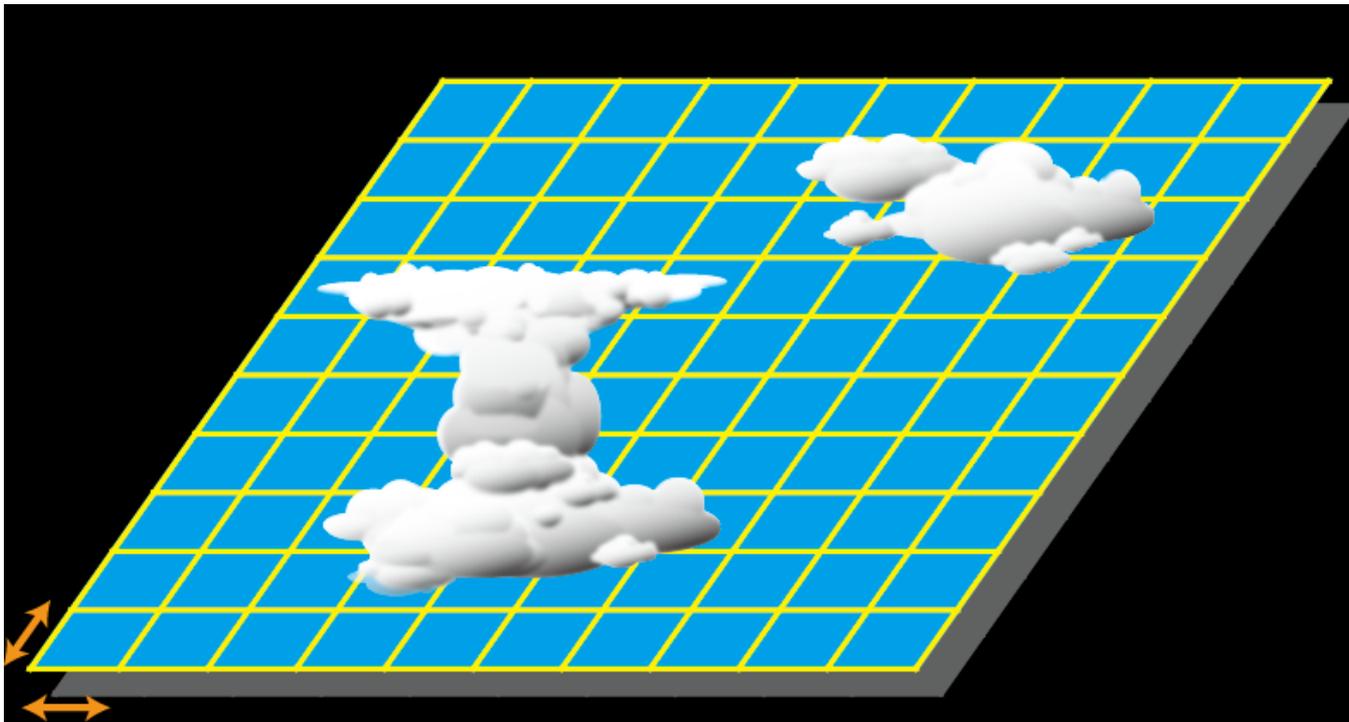
- 積乱雲:
 - モデルの解像度が粗いため、積雲対流1つ1つは、モデルの中で直接表現はできない。
 - 積乱対流の効果は、**便宜的に数量化した経験式に**



格子点間隔: 100 km

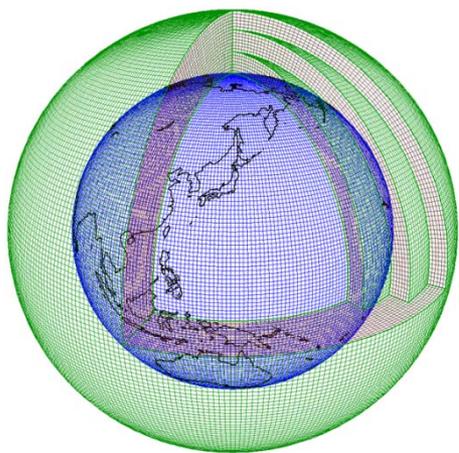
近年のアプローチ

- 積雲対流（雲システム）を解像できる!!
 - 経験式(パラメタリゼーション)からの脱却
 - 信頼性の増加 / 雲を力学に基づいて表現可能に

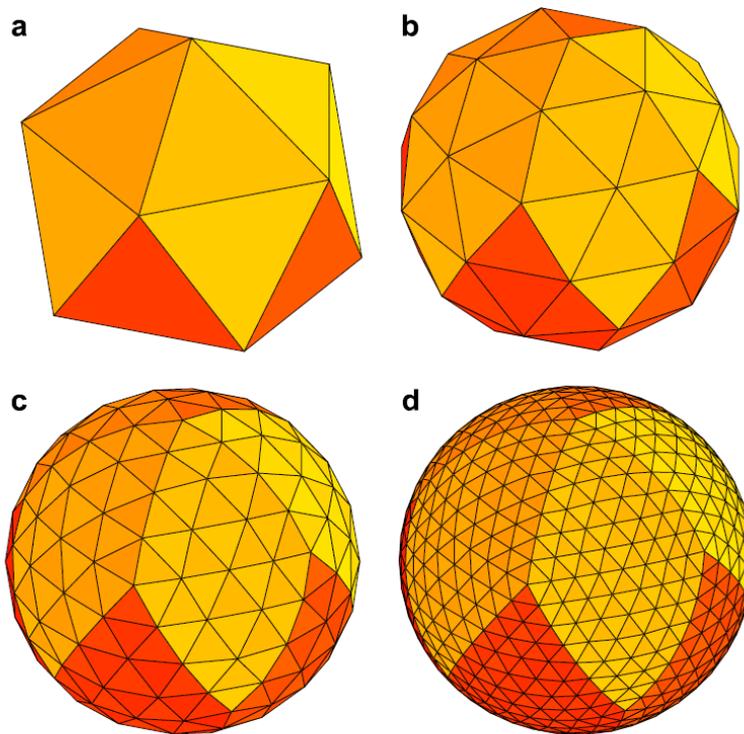


格子点間隔: 数 km

新しいモデル (NICAM)の登場



一様性に優れた
正二十面体格子モデル



三角形の辺の中点を結ぶと
新たに三角形4つ生成され
細かい格子系が得られる

a -> b -> c -> d ...



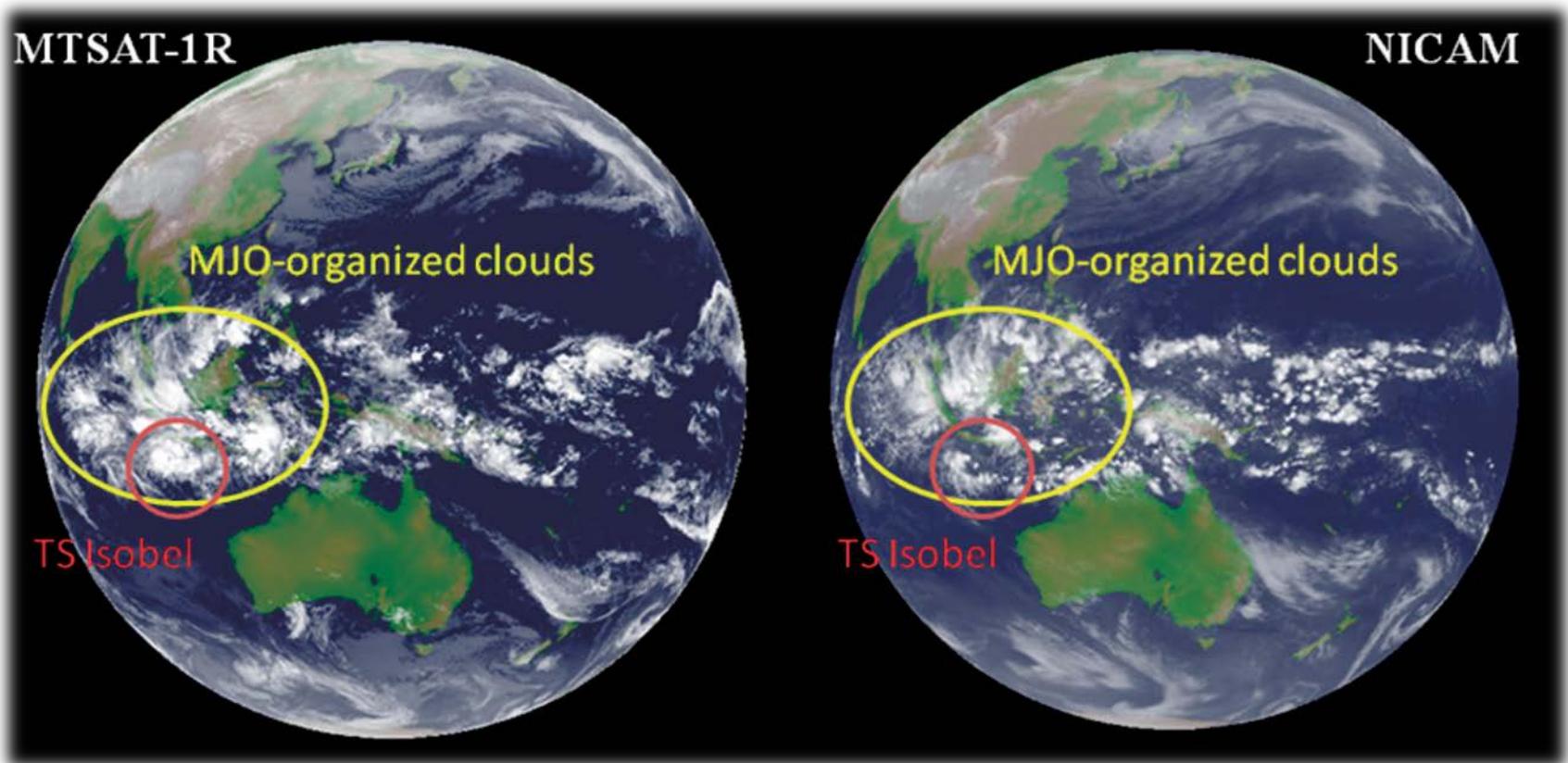
Prof. Satoh (AORI, Tokyo univ.)



Dr. Tomita (RIKEN AICS)

全球雲システム解像モデル (NICAM)

Non-hydrostatic ICosahedral grid-based Atmospheric Model



熱帯の降水分布や変動、日変化や季節内変動、
熱帯低気圧をよく再現。(佐藤, 2010)



京の登場で part 1

地球シミュレーター



Athena Cray XT-4

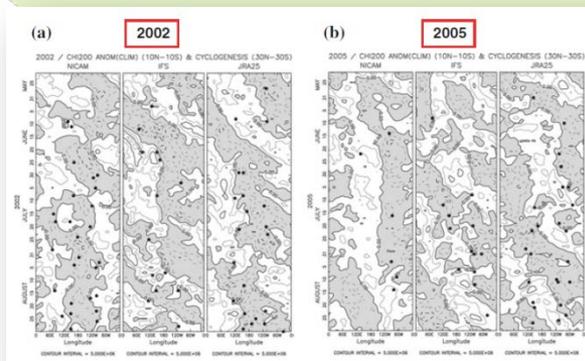


京 使うことで、これまで行ってきたシミュレーションを数10回行うことが可能となり、事例研究から統計的にも有意な科学的発見が期待できます。

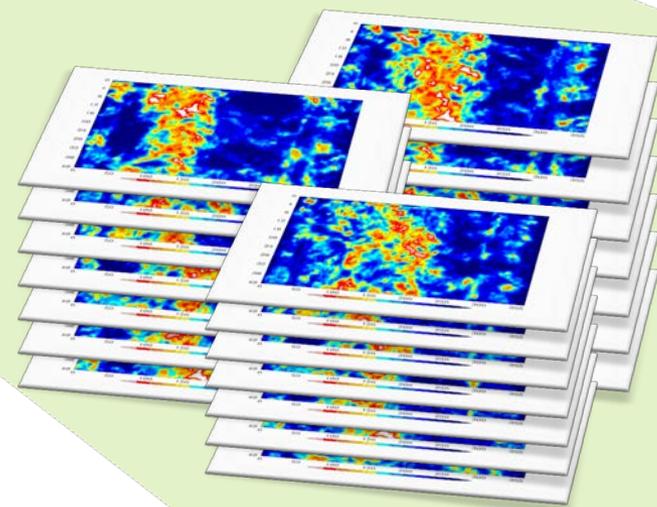
2006-12-31 00:00



事例研究
(Miura et al 2007)



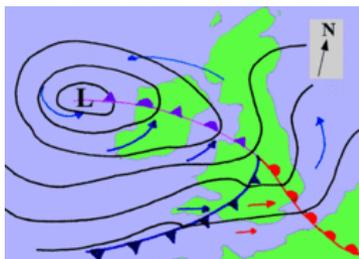
数週間から1ヶ月
Athena Project: (Sato et al 2012)



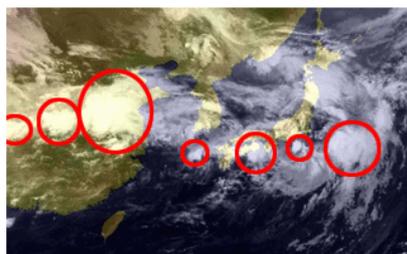
(3) モデルで**計算できる回数**が増える

京の登場で part 2

温帯低気圧



クラウドクラスター



層雲



10000km

1000km

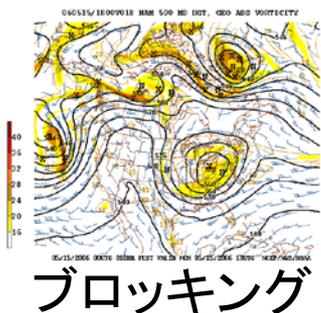
100km

10km

1km

100m

10m

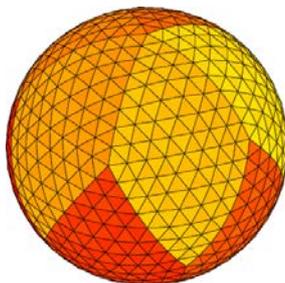


熱帯低気圧



積雲

(2) モデルの**解像度**が増える

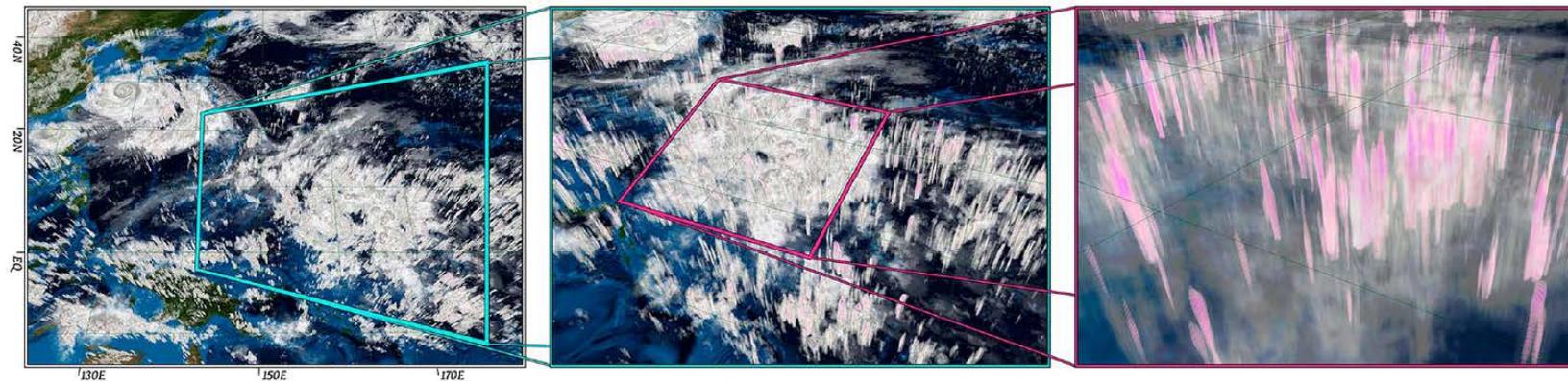
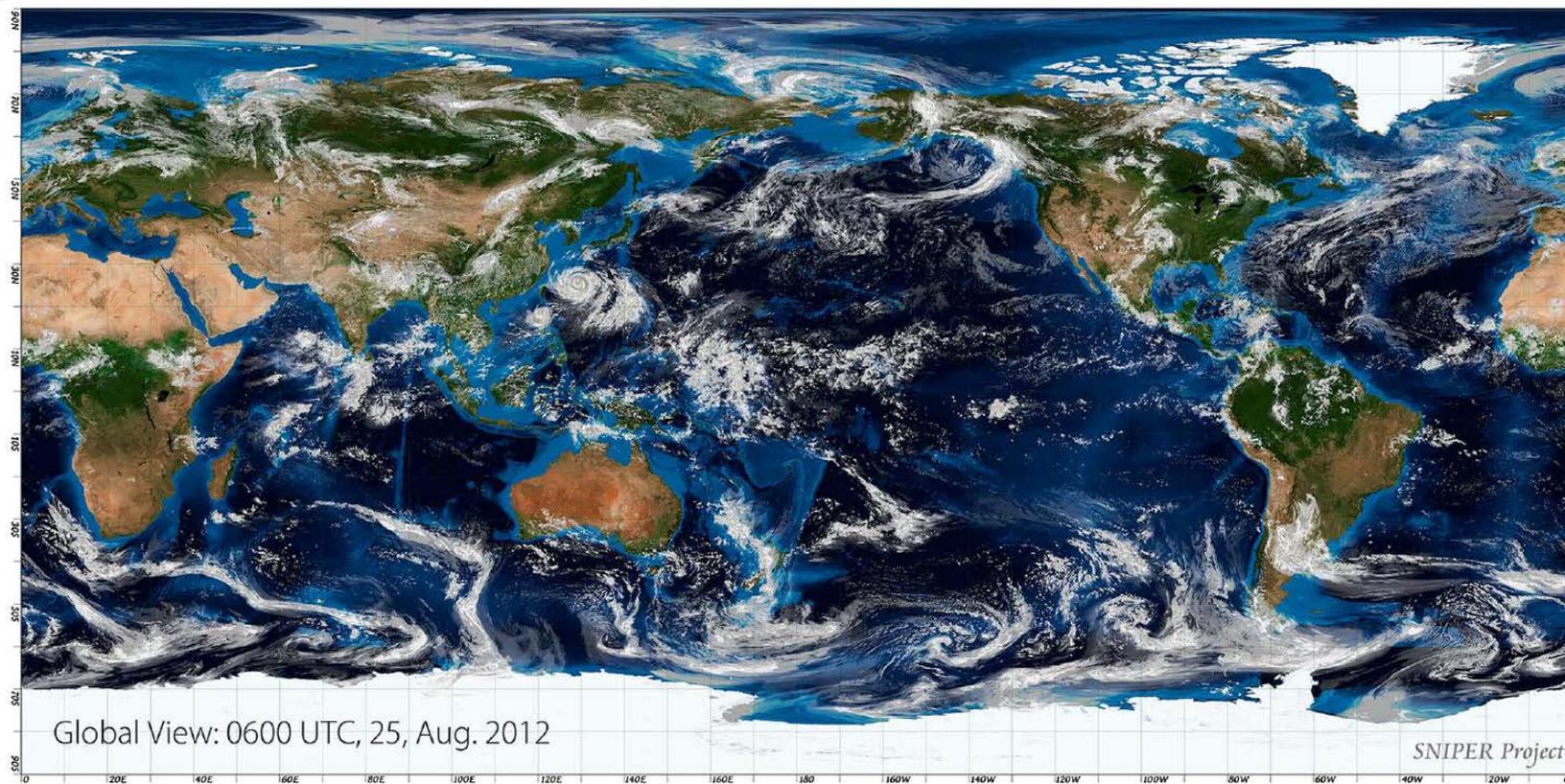


GL08 (30km) GL11 (3.5km)

GL09 (14km) GL12 (1.7km)

GL10 (7km) **GL13 (870m)**

解像度を最大限 GL13(870m) に高めた結果



従来の解像度と比較 (台風の構造)

今回行った1km未満の格子間隔

一つ一つの積乱雲の表現が格段に精細に



従来の最高解像度 (水平格子3.5km)

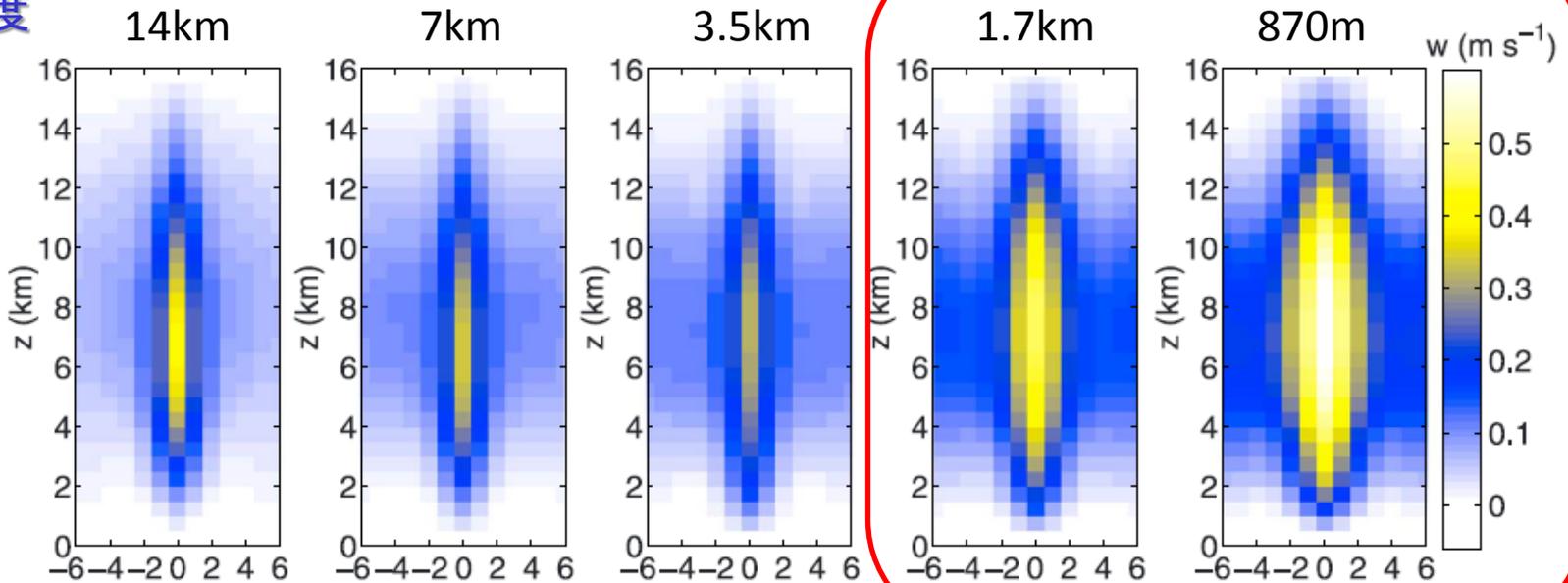


「京」を使った実験でわかった積乱雲の特徴

水平解像度

雲の中の
上昇流

格子数



モデルの解像度が 2.0km よりも細かくなると ...

1. 積乱雲の中心が複数個の格子点で表現
2. 全球の積乱雲の表現がより正確に
3. 1つ1つ積乱雲と組織化された積乱雲群、全球大気大循環との相互作用の研究に大きな期待



終わりに

1. 数値シミュレーションとコンピュータの発達
 1. プロセス, 2. 解像度, 3. アンサンブル
2. 雲の多様性と重要性
3. 全球雲システム解像モデル (NICAM)
4. 京の登場で可能になったこと (解像度)



格子間隔 2km 未満の解像度で、個々の対流(<1km)から台風(>100km) に及ぶ台風の詳細まで、積乱「**雲**」のプロセス「**を解**」像できるようになった。

積乱雲、積乱雲群(台風・集中豪雨)、全球大循環との相互作用の研究へと続く、気象気候学の未来を切り開く...