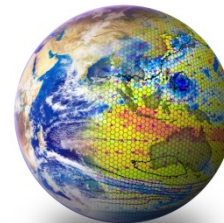
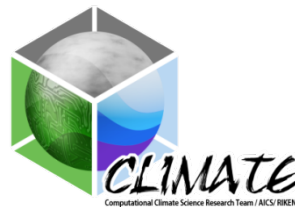


# 京で雲を解く

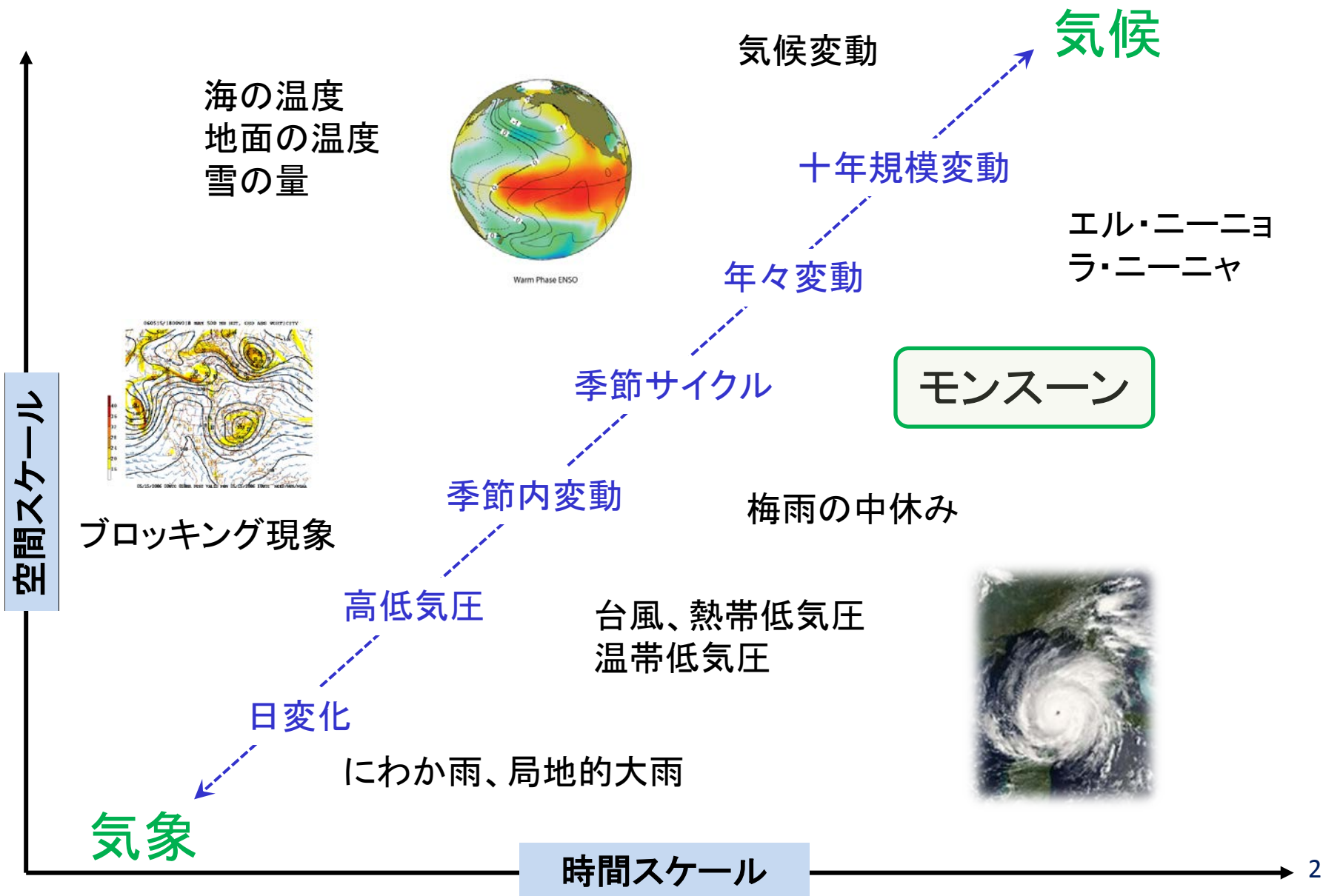
—次世代の気候研究—

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

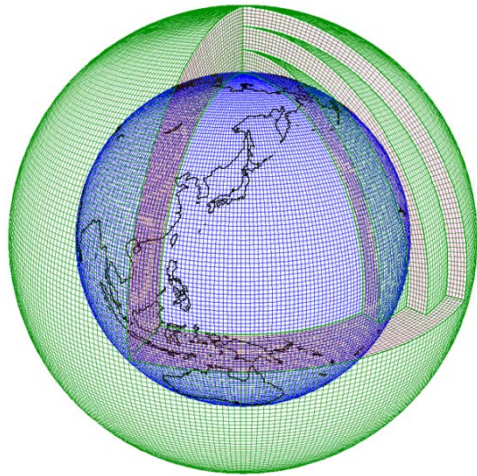


# 「気候研究」の気候とは？

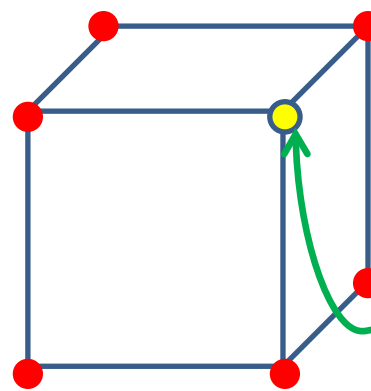


# 気候研究の実験室 = 数値シミュレーション

(1) 全球を格子で覆う



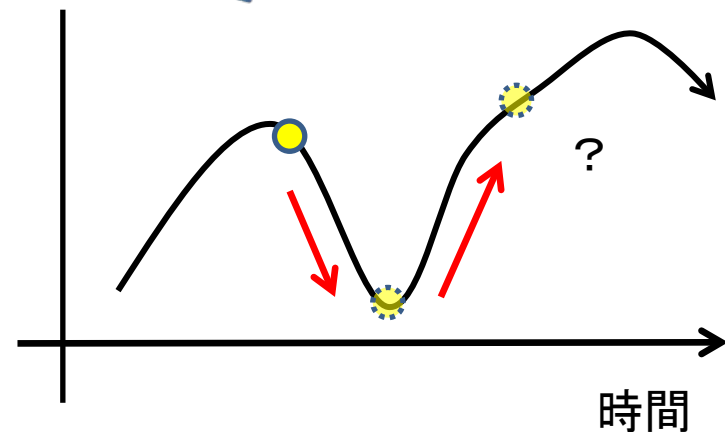
(2) 格子には気象データ



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

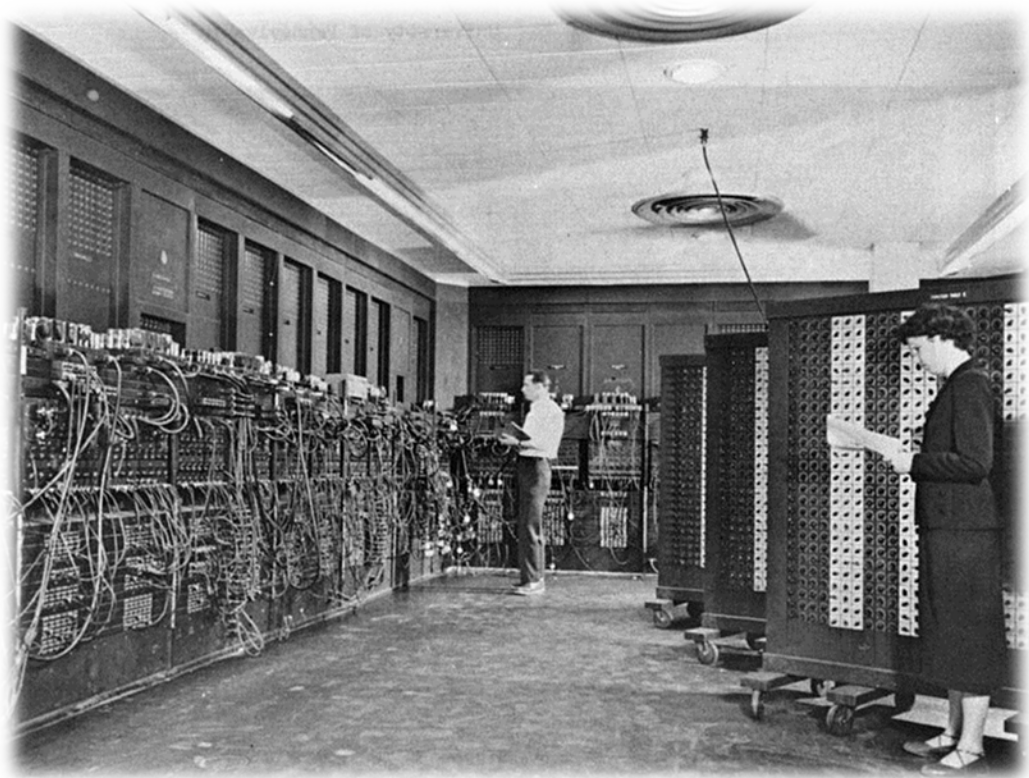


[1922年] 64,000人の計算者を巨大なホールに  
集めて指揮者の元で整然と計算を行えば実際の  
天候の変化と同程度の速度で予報が行える!

# 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

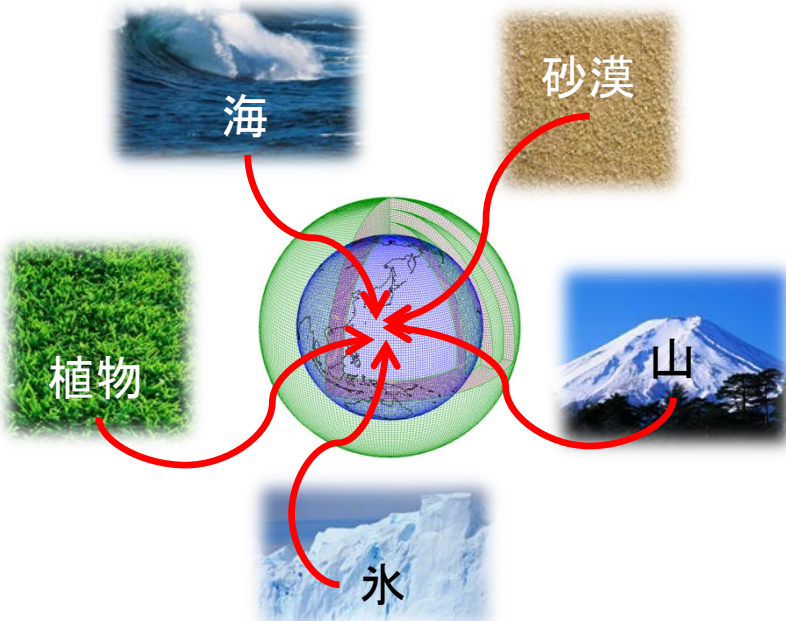
数値(モデル)実験  
の幕開け



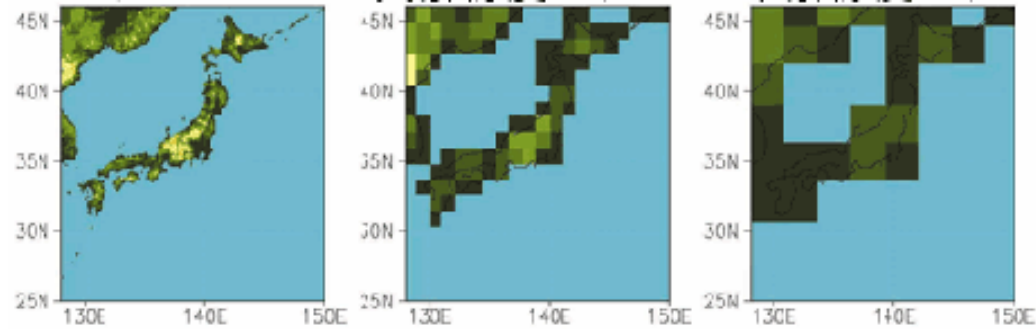
# コンピュータが発達すると...

気候モデルに  
3つの「増える」

(1) モデルの**部品**が増える

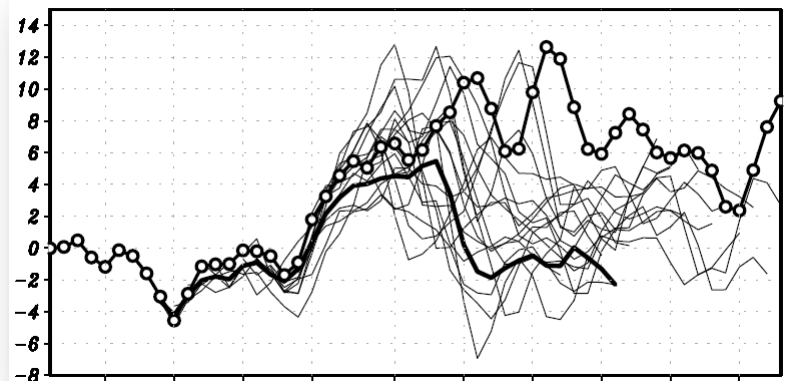


(2) モデルの**解像度**が増える



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

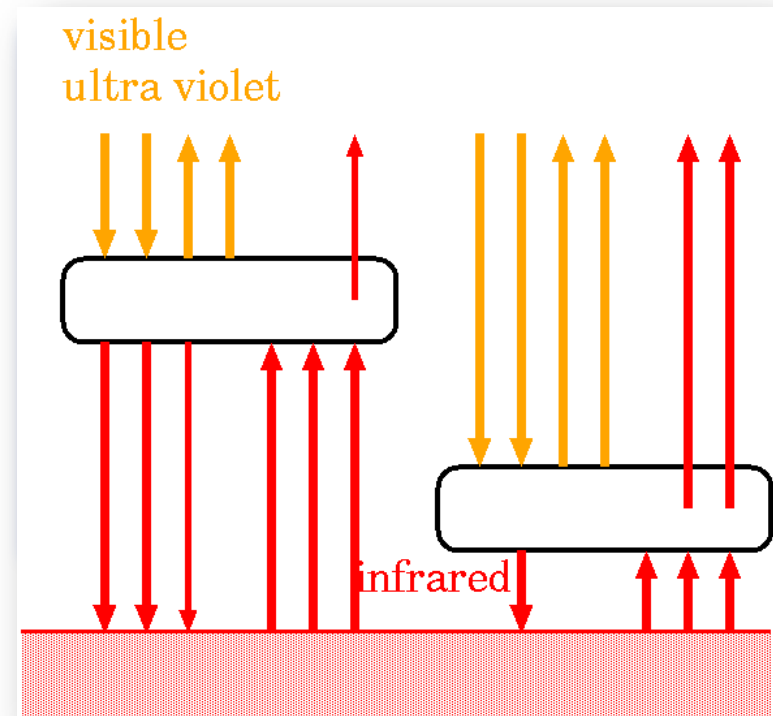
(3) モデルで**計算できる回数**が増える



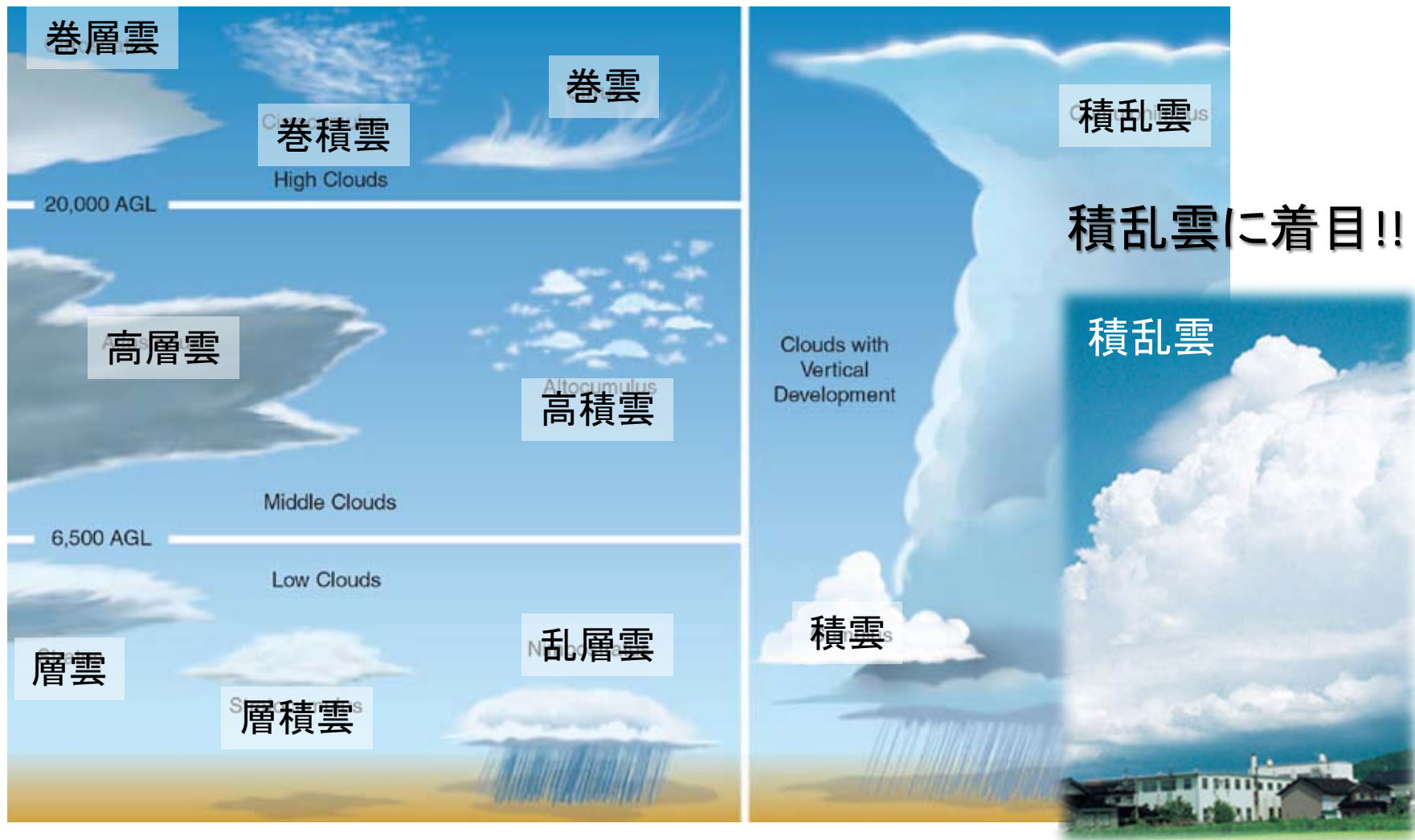
# 雲って大事ななの？



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

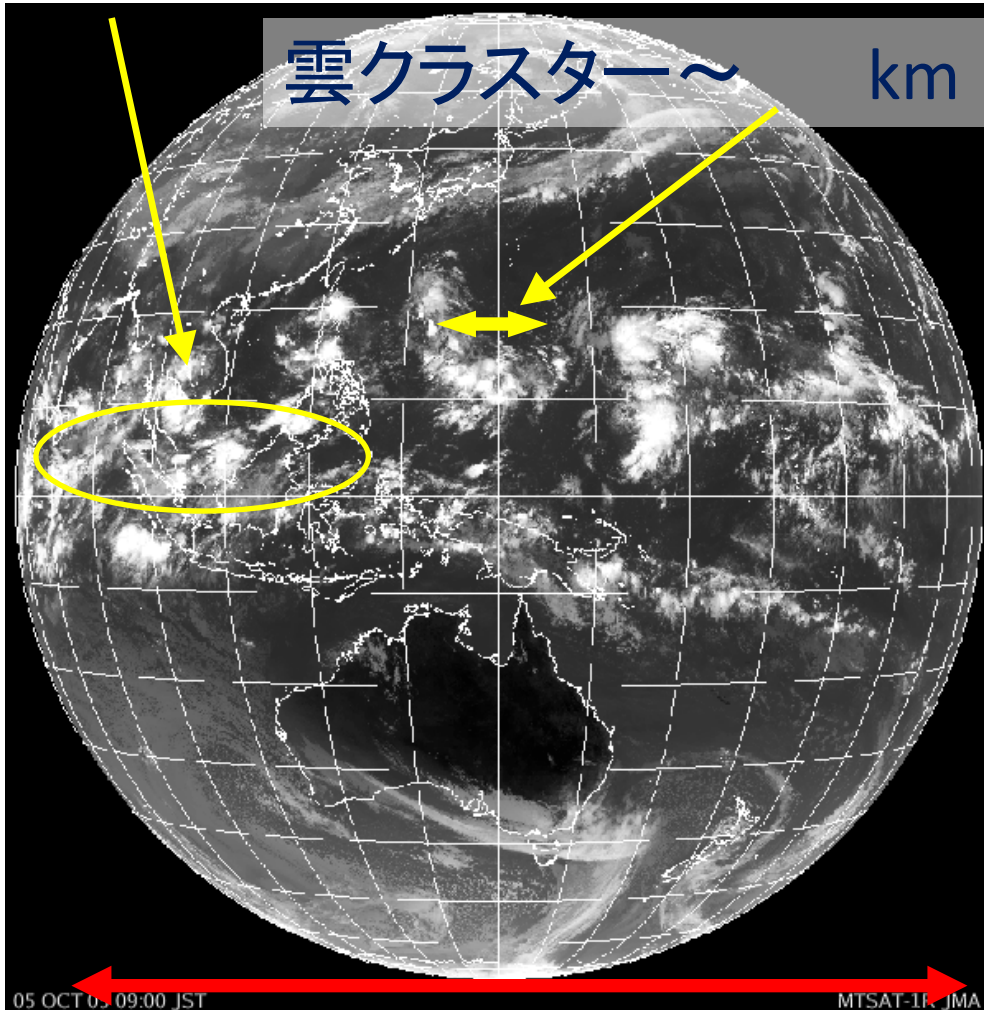


<http://www.cfijapan.com/study/html/to099/>



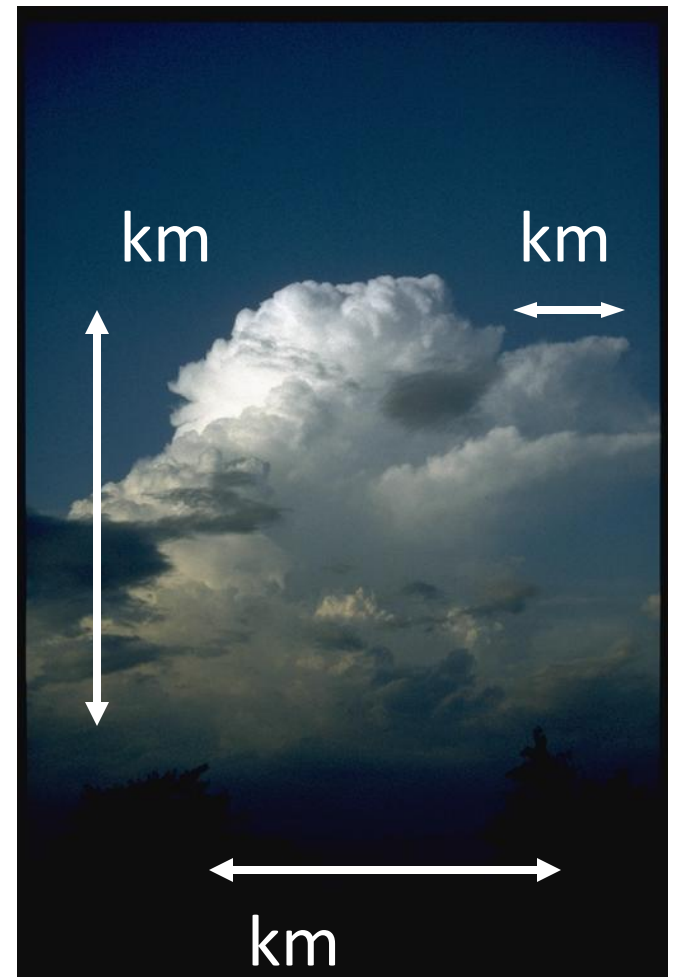
# 雲の大きさは？

スーパー雲クラスター～ km



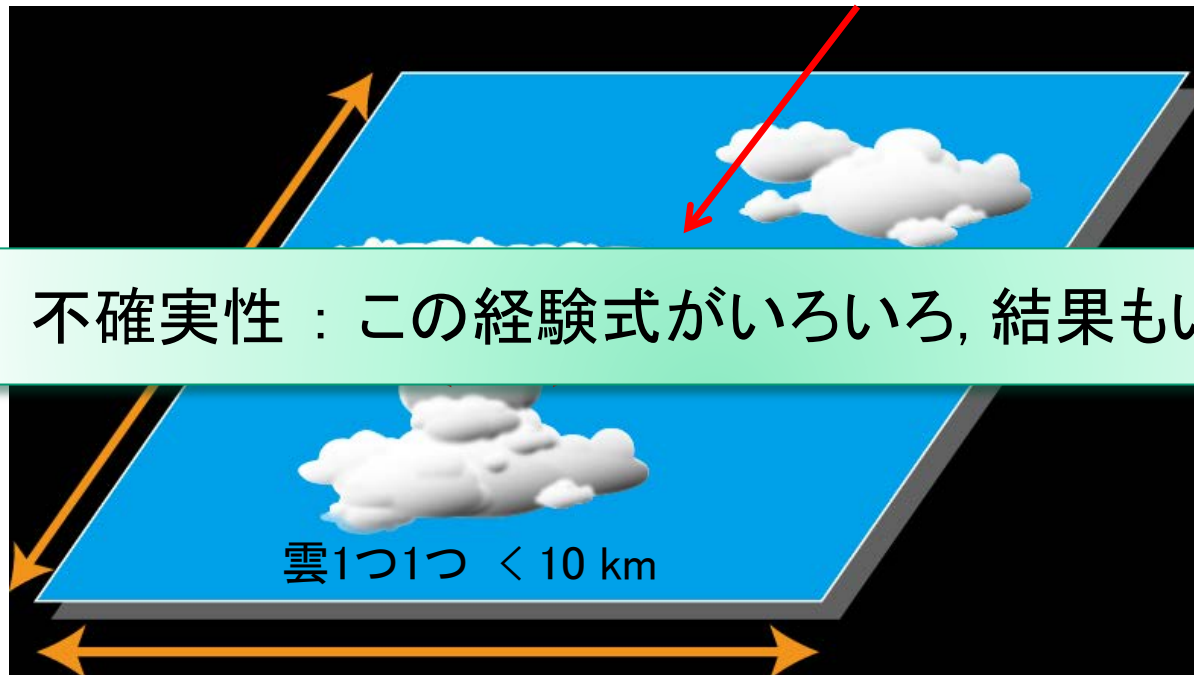
地球の半径は: km

対流(積乱雲)



# まだモデルの解像度が粗い頃...

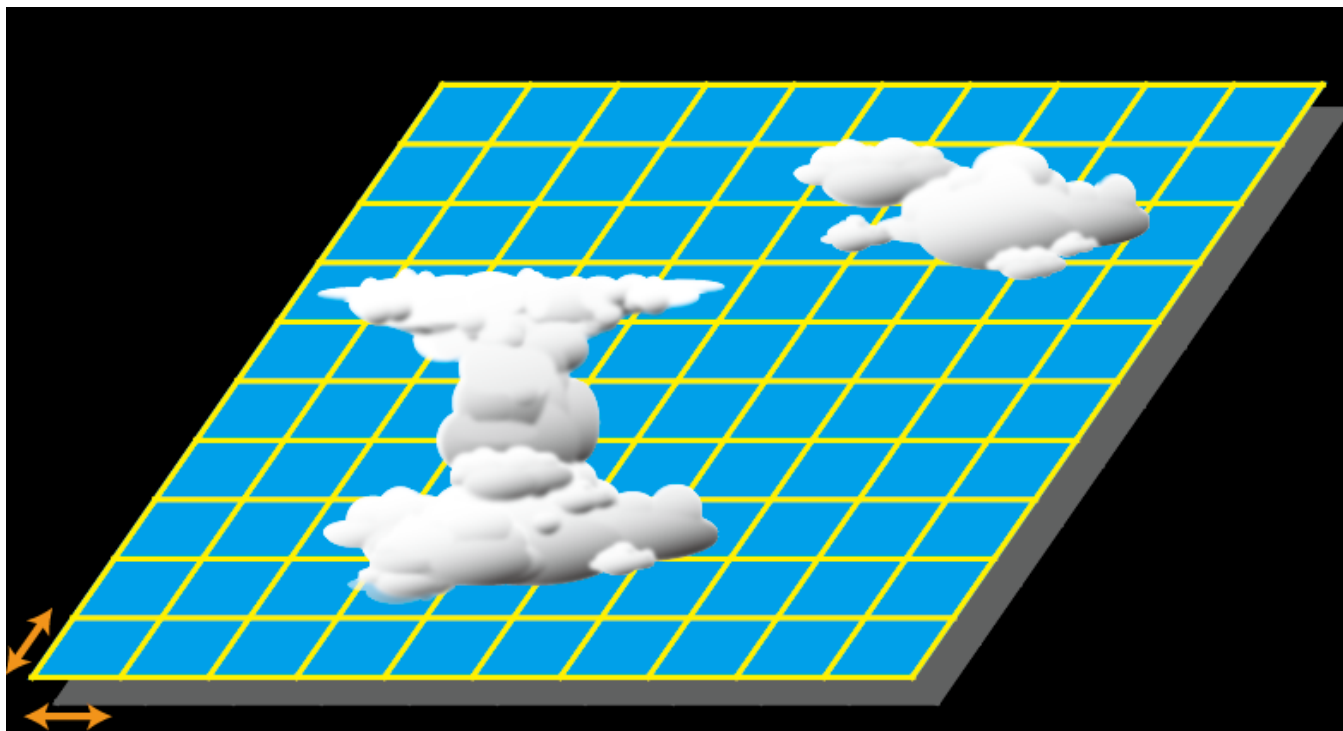
- 積乱雲:
  - モデルの解像度が粗いため、積雲対流1つ1つは、モデルの中で直接表現はできない。
  - 積乱対流の効果は、**便宜的に数量化した経験式に**



格子点間隔: 100 km

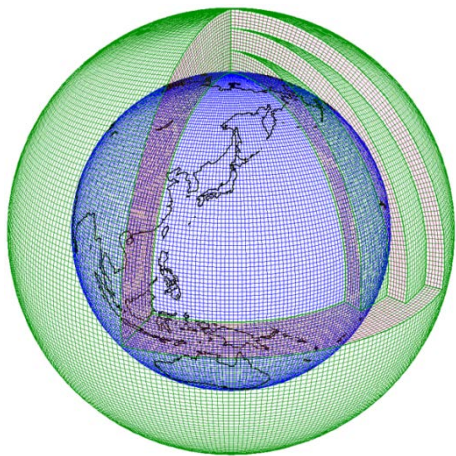
# 近年のアプローチ

- 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

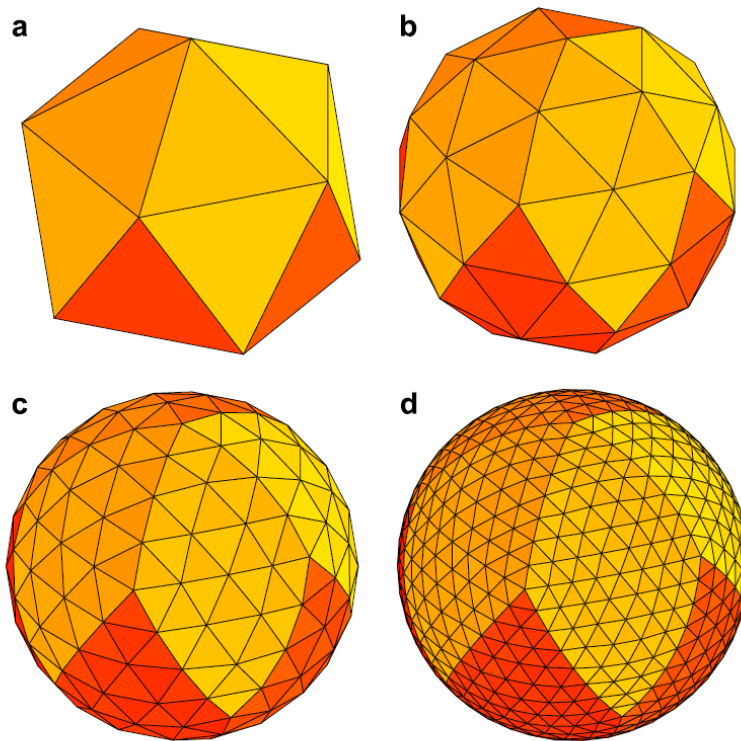


格子点間隔: 数 km

# 新しいモデル (NICAM)の登場

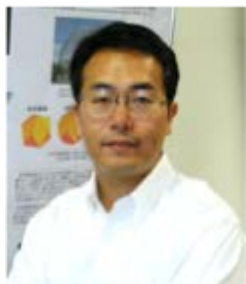


一様性に優れた  
正二十面体格子モデル



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.)

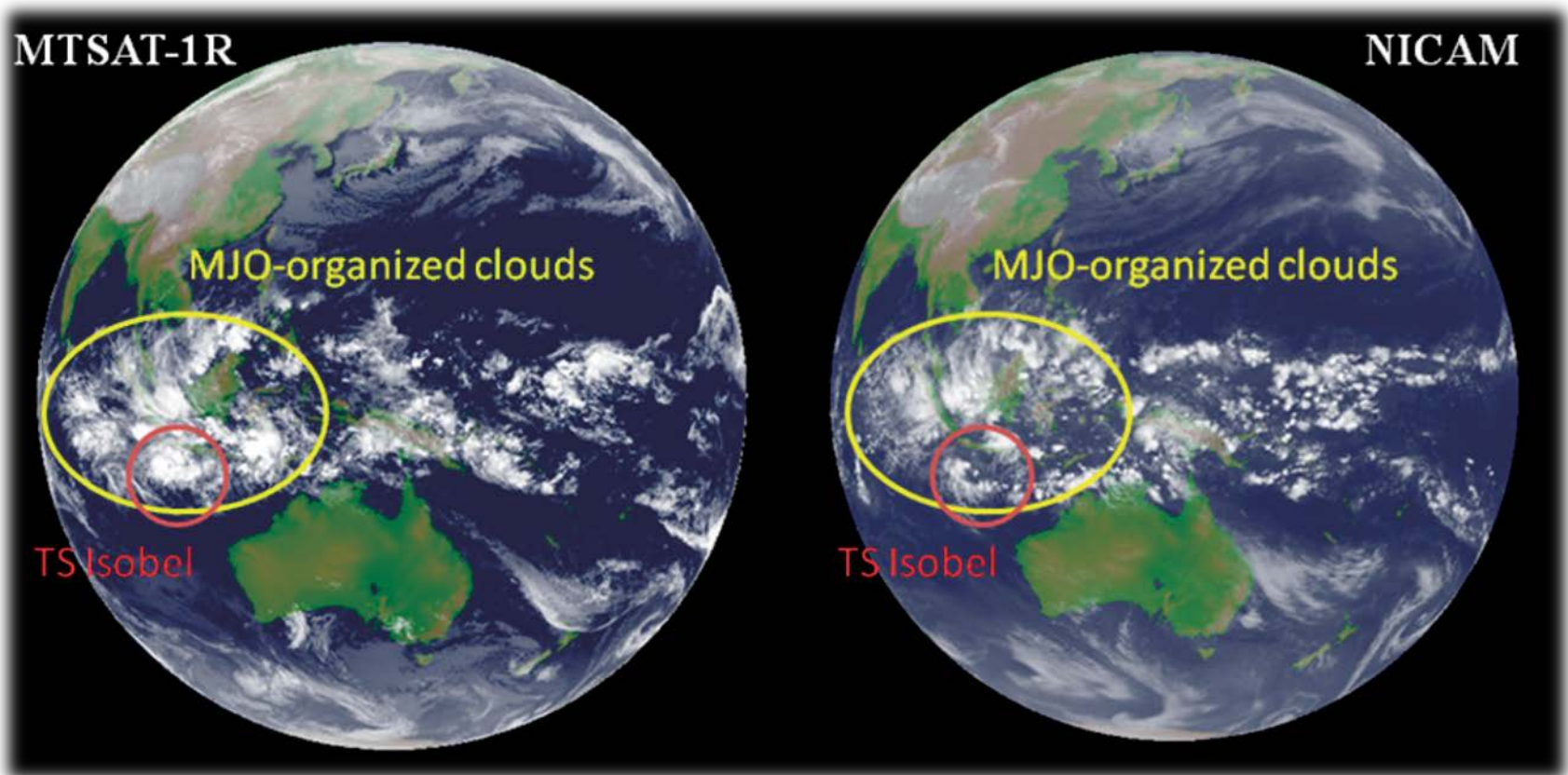


Dr. Tomita (RIKEN AICS)



# 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

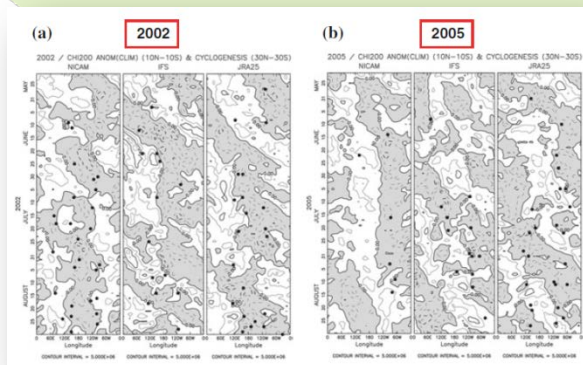


**京** 使うことで、これまで行ってきたシミュレーションを数10回行うことが可能となり、事例研究から統計的にも有意な科学的発見が期待できます。

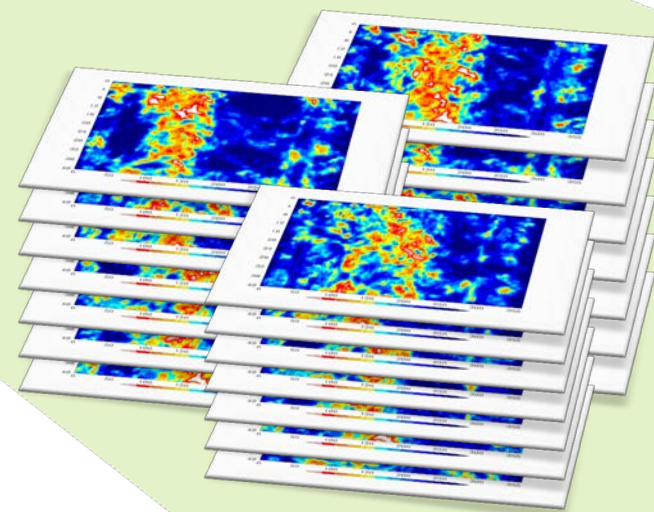
2006-12-31 00:00



事例研究  
(Miura et al 2007)



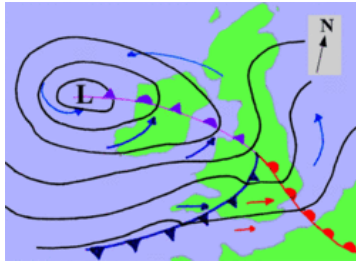
数週間から1ヶ月  
Athena Project: (Sato et al 2012)



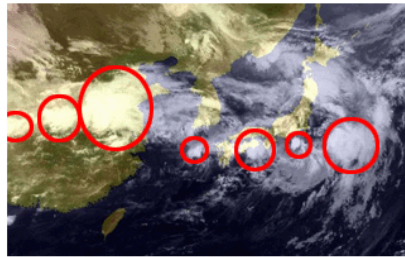
(3) モデルで**計算できる回数**が増える

# 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

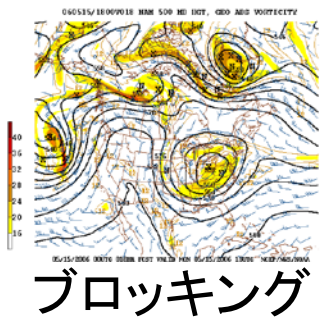
100km

10km

1km

100m

10m

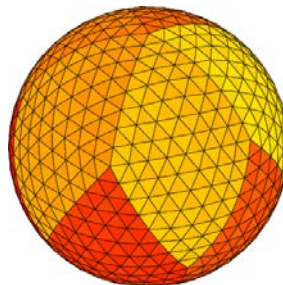


熱帯低気圧



積雲

(2) モデルの**解像度**が増える



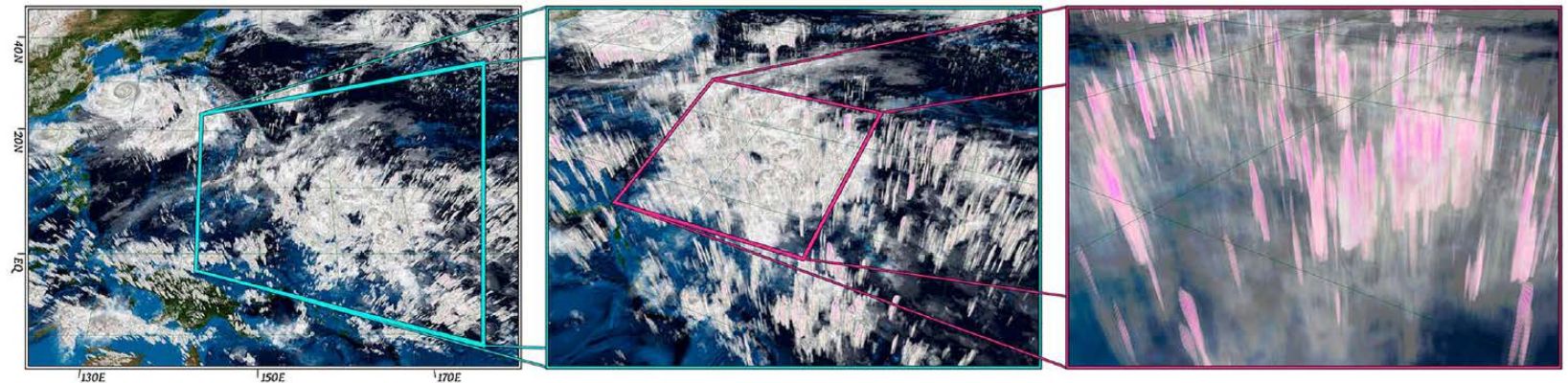
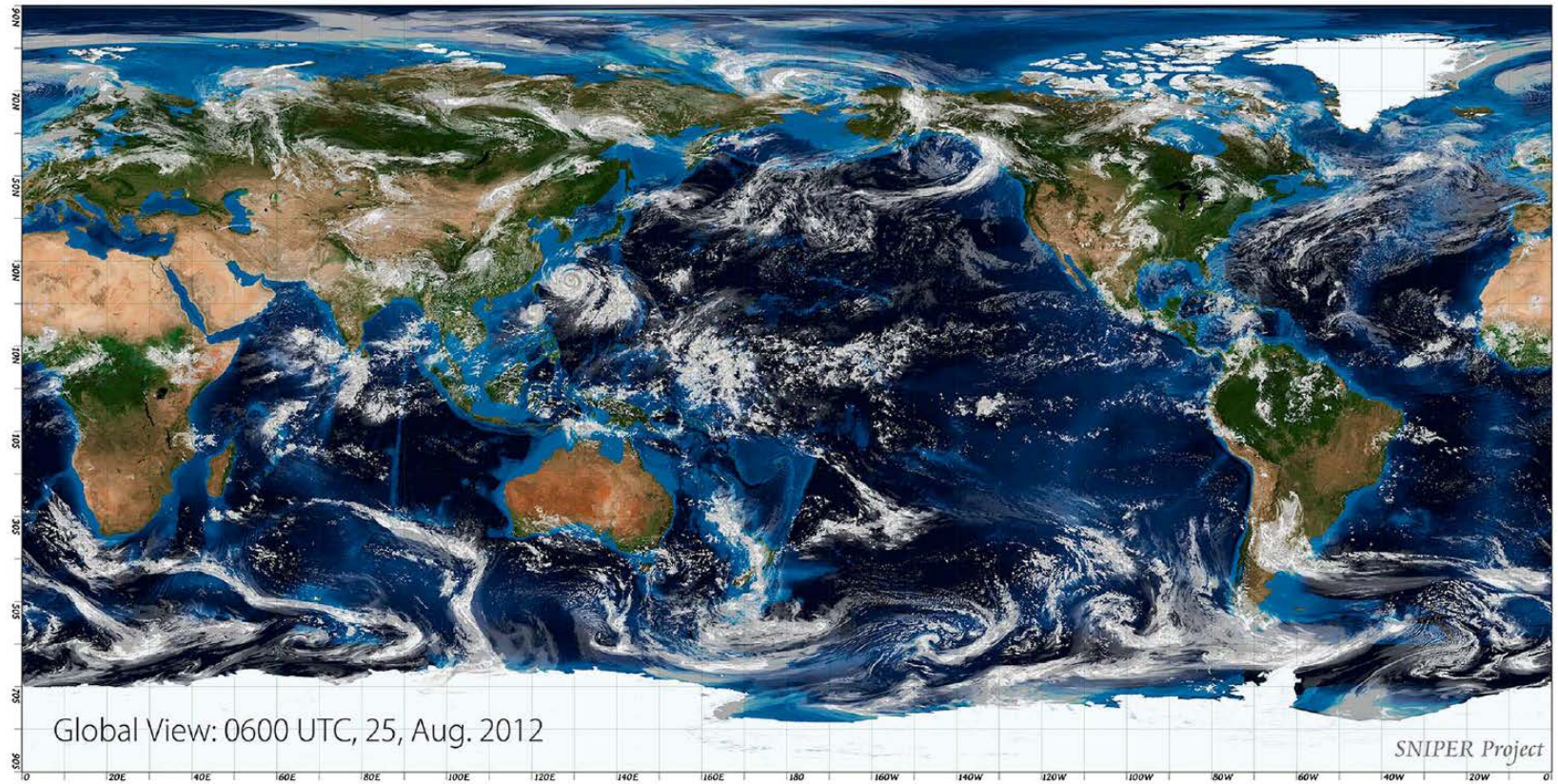
GL08 (30km)    GL11 (3.5km)

GL09 (14km)    GL12 (1.7km)

GL10 (7km)    **GL13 (870m)**



# 解像度を最大限 GL13(870m) に高めた結果

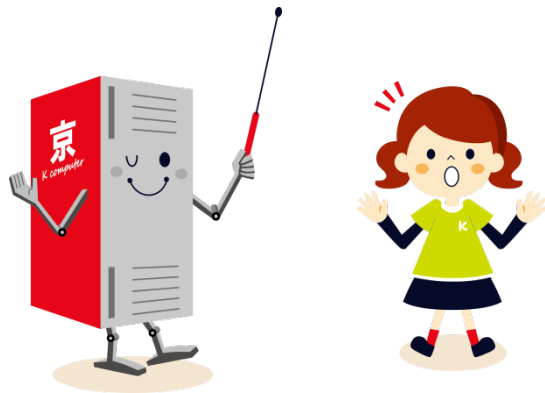




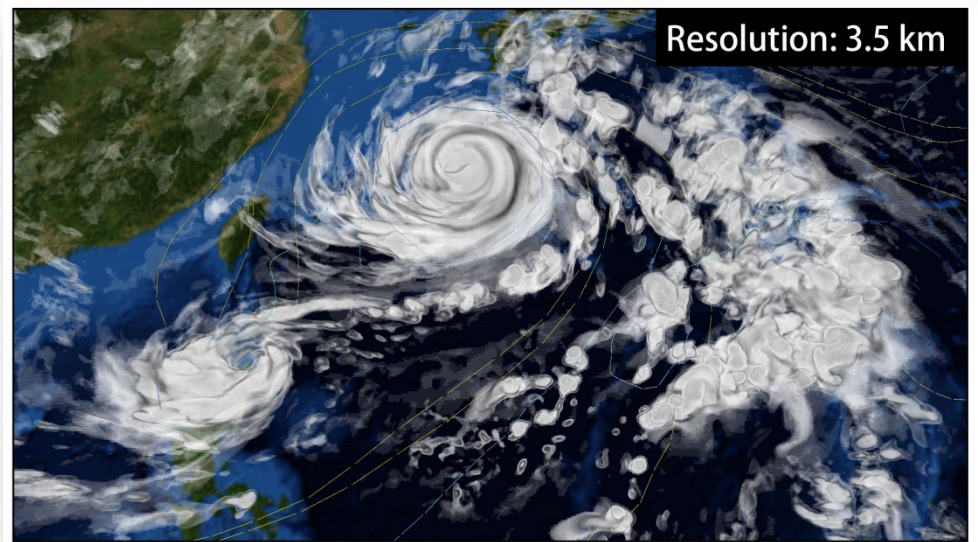
# 従来の解像度と比較 (台風の構造)

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)



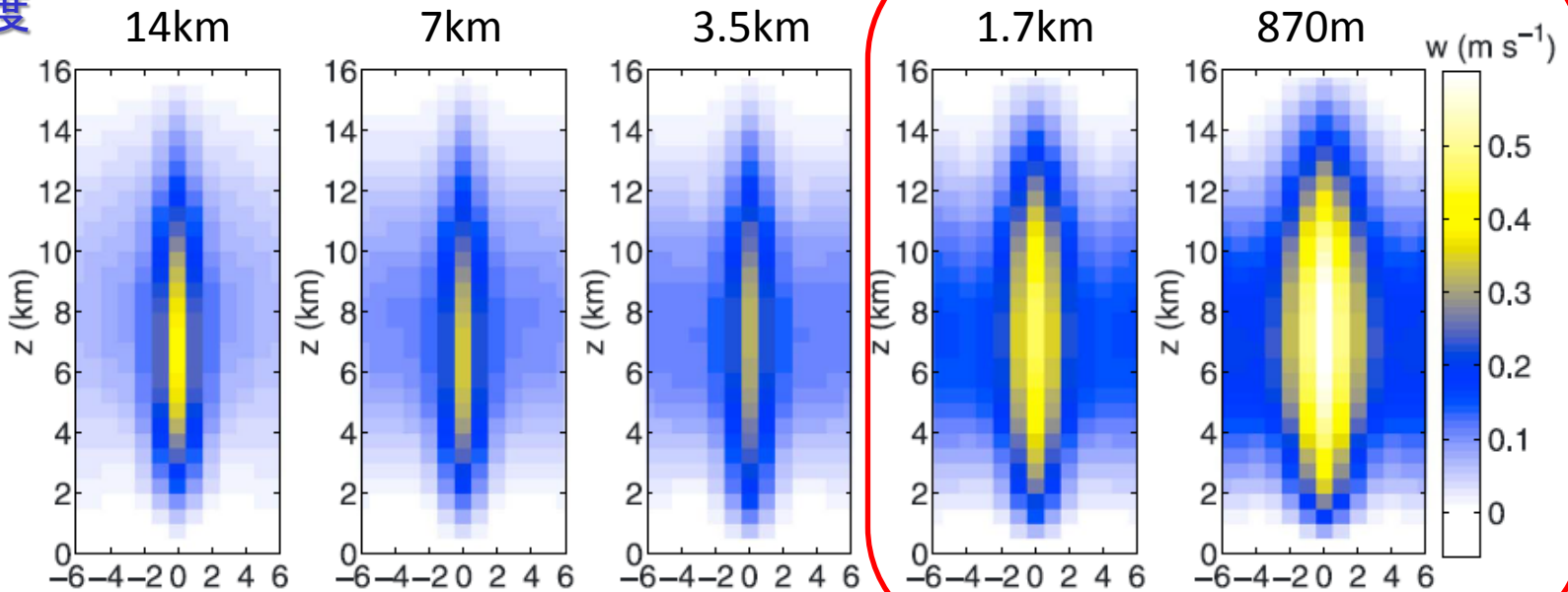


# 「京」を使った実験でわかった積乱雲の特徴

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...