

# スパコンで探る未来の天気： 気象・気候のシミュレーションの世界

国立研究開発法人 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

FLAGSHIP2020プロジェクト アプリケーション開発チーム

八代 尚



# 身近にある気象現象 (1)



高知・四万十市で41.0度

www.nikkei.com/article/DGXNASDG1202A\_S3A810C1000000/

日経電子版 | 電子書籍 | Bizアカデミー | BizGate | 住宅 | レストラン | 転職 | 日経BP

日本経済新聞 8月24日 土曜日 English 中文

Web刊 速報 ビジネスリーダー マーケット マネー テクノロジー ライフ スポーツ

トップ | 特集 | コラム | 読者アンケート | 紙面運動 | 社説・春秋 | 映像 | アジアBiz | ウーマン

## 高知・四万十市で41.0度 国内観測史上最高を記録

2013/8/12 14:09

小 中 大 保存 印刷 リプリント

気象庁によると、高知県四万十市で12日午後1時42分に41.0度を観測した。2007年8月16日に埼玉県熊谷市と岐阜県多治見市で観測した40.9度を抜き、国内の観測史上最高を更新した。

小 中 大 保存 印刷 リプリント

- ◎ 猛暑、さらに2週間 2階建て高気圧が原因か
- ◎ 7月のビール類出荷3.3%増 好天など追い風
- ◎ 東京都心の最低気温30.4度 11日、138年間で最高に
- ◎ 最近の天気は何だかおかしい (伊藤みゆき)
- ◎ ビールの最もおいしい季節 ファン作りに知恵
- ◎ 福島の81歳男性、熱中症で死亡か

© 2013 Nikkei Inc.

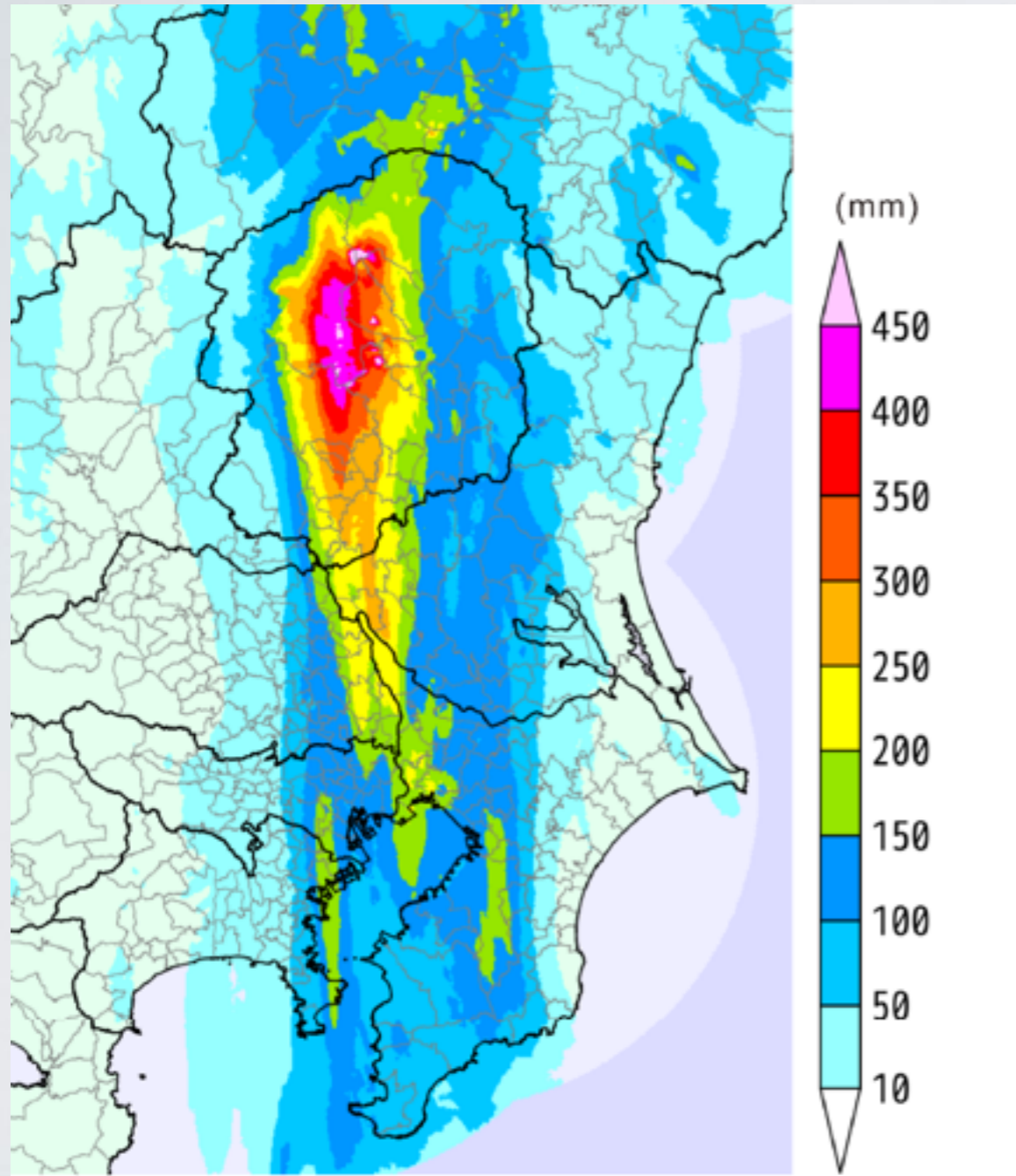


© 2013 The Sankei Shimbun & Sankei Digital



# 身近にある気象現象 (2)

## 平成27年9月関東・東北豪雨



(研) 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究ユニット webページより

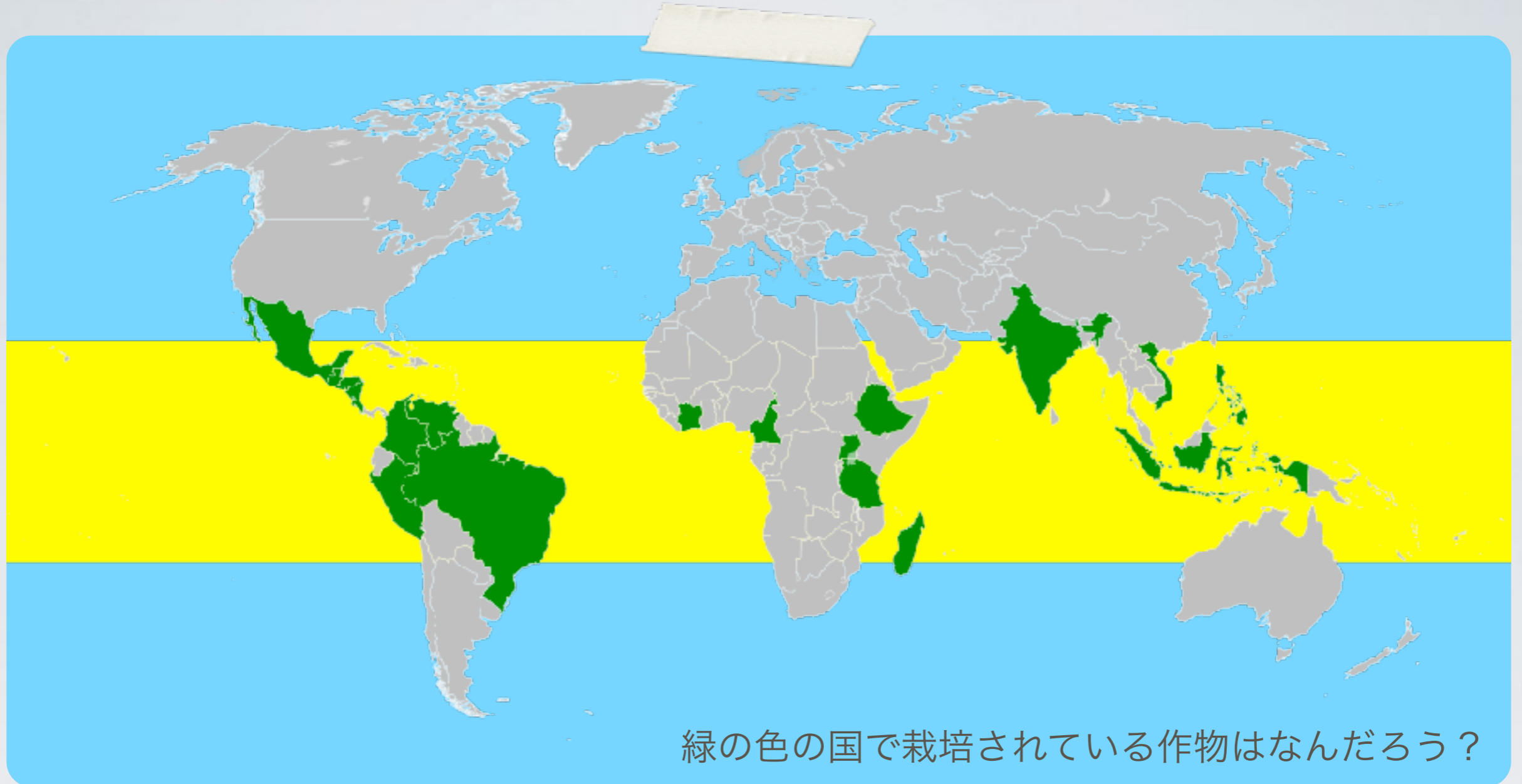


© Météo-France



国土交通省 webページより

# 気候と人間のかかわり




緑の色の国で栽培されている作物はなんだろう？

気候の変動は何を変えるか？

＊ 生態系分布、生物多様性、人間活動（農林水産業、文化、経済）、etc..

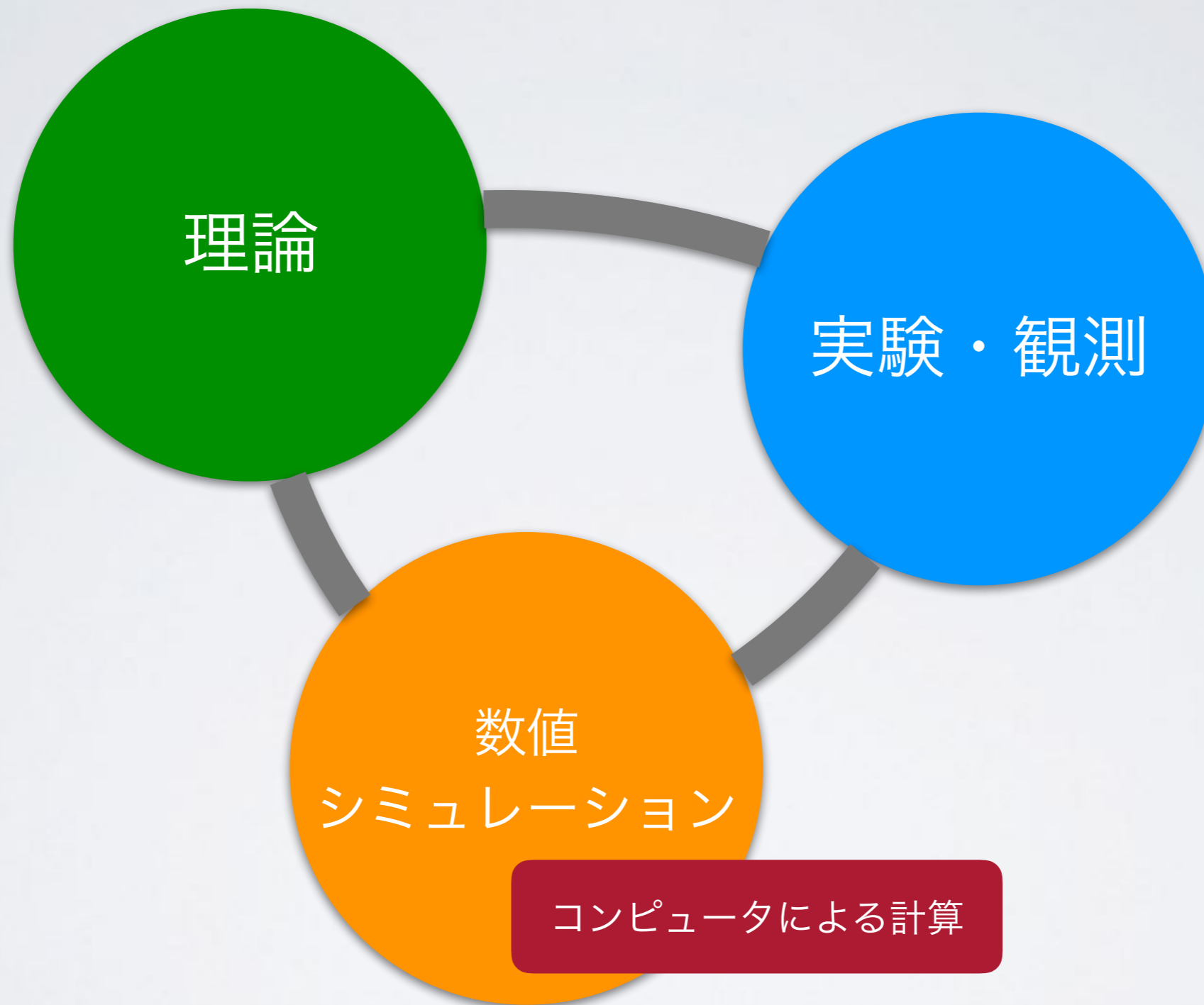




明日の天気は？  
未来の子供が暮らす世界の気候は？

同じ地球は2つ無い  
→計算機でもうひとつの地球をつくり出す

# 第3の科学的手法 = シミュレーション

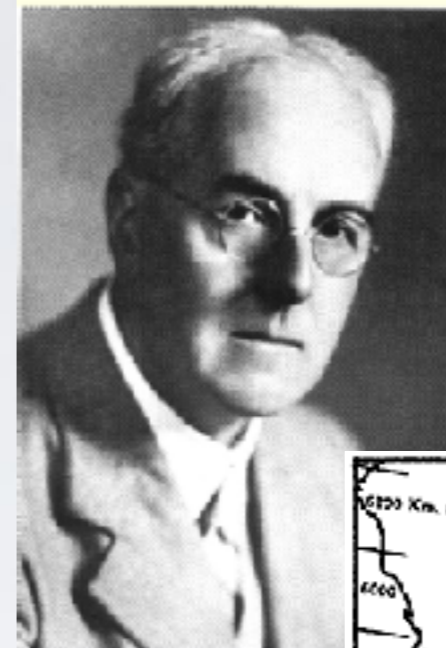




# 世界初の数値気象予報

L.F.リチャードソン (イギリスの科学者)

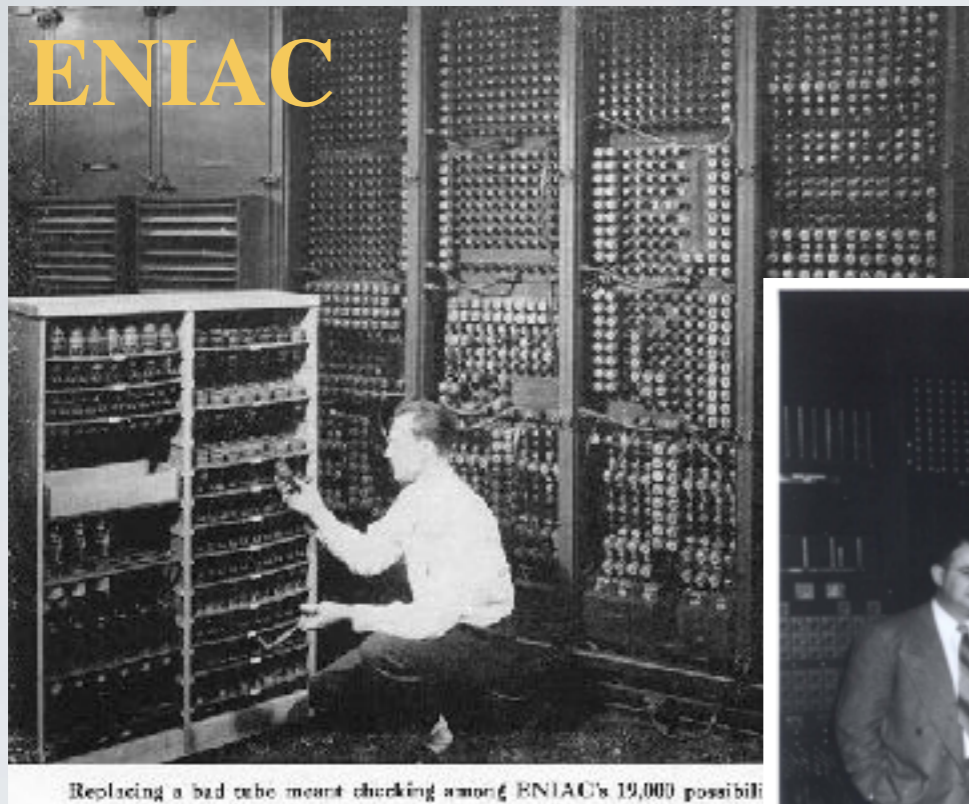
- 計算で6時間後の地上気圧を予測  
: 手計算で6週間かけて行った



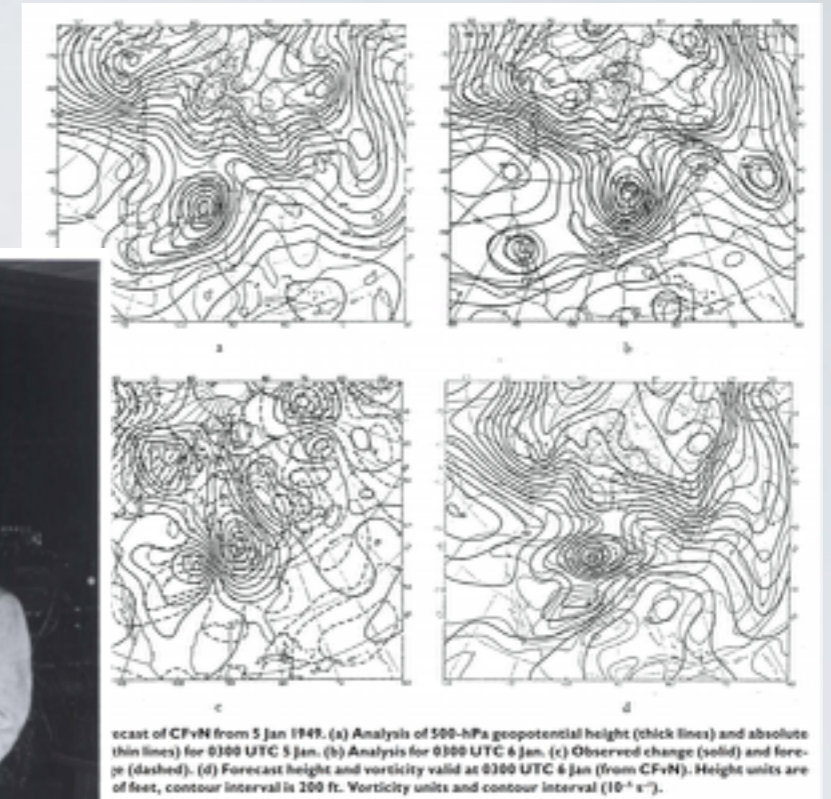
- リチャードソンは後に出版した本で、  
「円形劇場に64000人を集めて計算すれば、  
全球の気象予報もできるはず」と言った  
→リチャードソンの夢



# コンピュータの登場



フォン・ノイマン

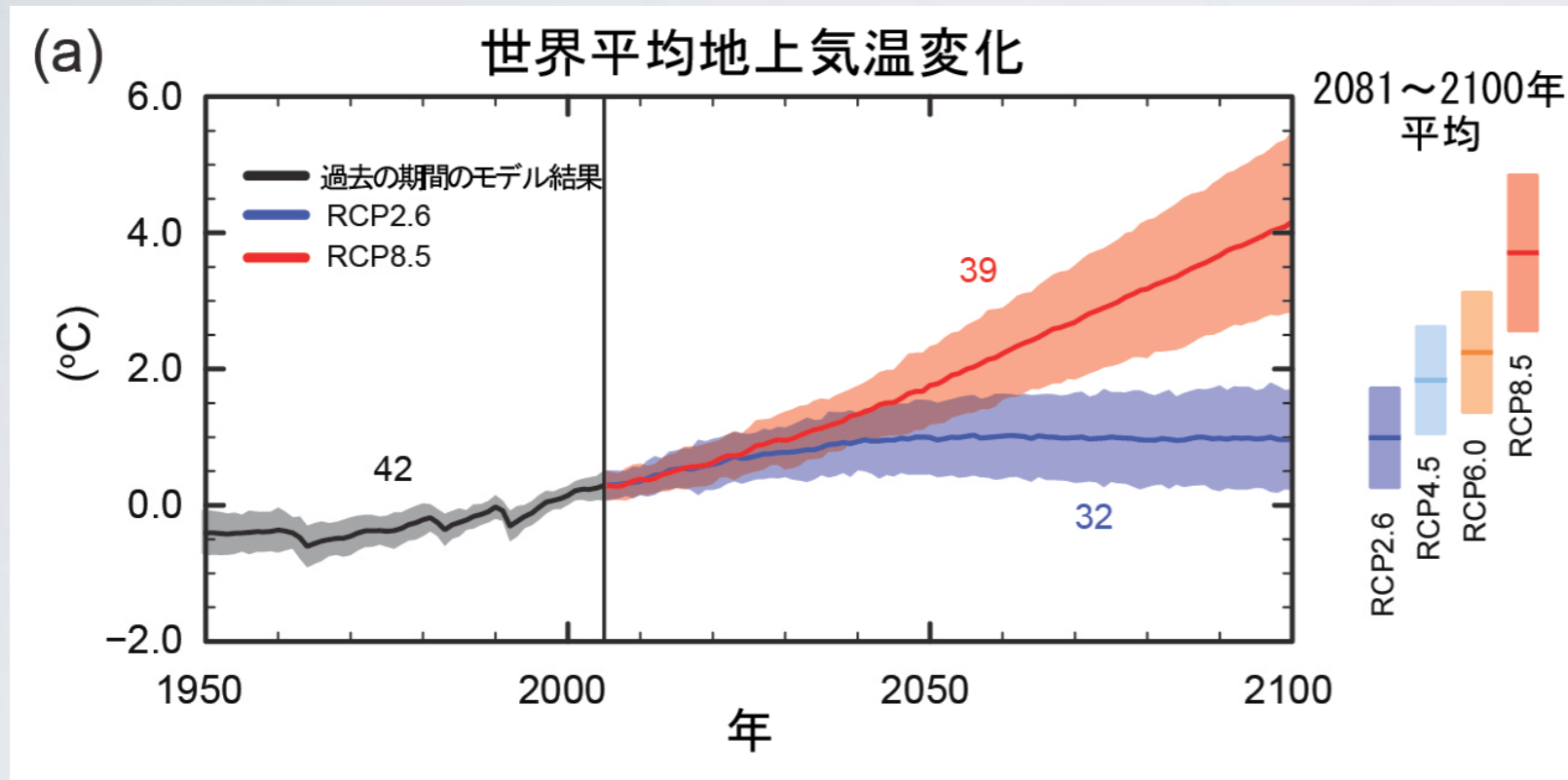


Forecast of CFvN from 5 Jan 1949. (a) Analysis of 500-hPa geopotential height (thick lines) and absolute vorticity (thin lines) for 0300 UTC 5 Jan. (b) Analysis for 0300 UTC 6 Jan. (c) Observed change (solid) and forecast (dashed). (d) Forecast height and vorticity valid at 0300 UTC 6 Jan (from CFvN). Height units are of feet, contour interval is 200 ft. Vorticity units and contour interval ( $10^{-6} \text{ s}^{-2}$ ).

- 気象学者は、最も古いコンピュータユーザー
  - 最初のコンピュータENIACによるシミュレーション
- スパコンを使ったシミュレーションが、毎日世界中で行われている
  - ： 気象予報の今の主流



# 気候変動の予測



IPCC第五次報告書 政策決定者向け要約より



Climate Change 2013: The Physical Science Basisより

- 世界中の人が対策を話し合う場で、シミュレーションの結果が役立てられている

# 未来を知ることの難しさ

- 気象予報も、気候予測も、**未来**を知るためのもの
  - 持ちうるすべての知識・理論を結集し、スパコンを用いて、シミュレーションを行っている

今の状態を正確に知る



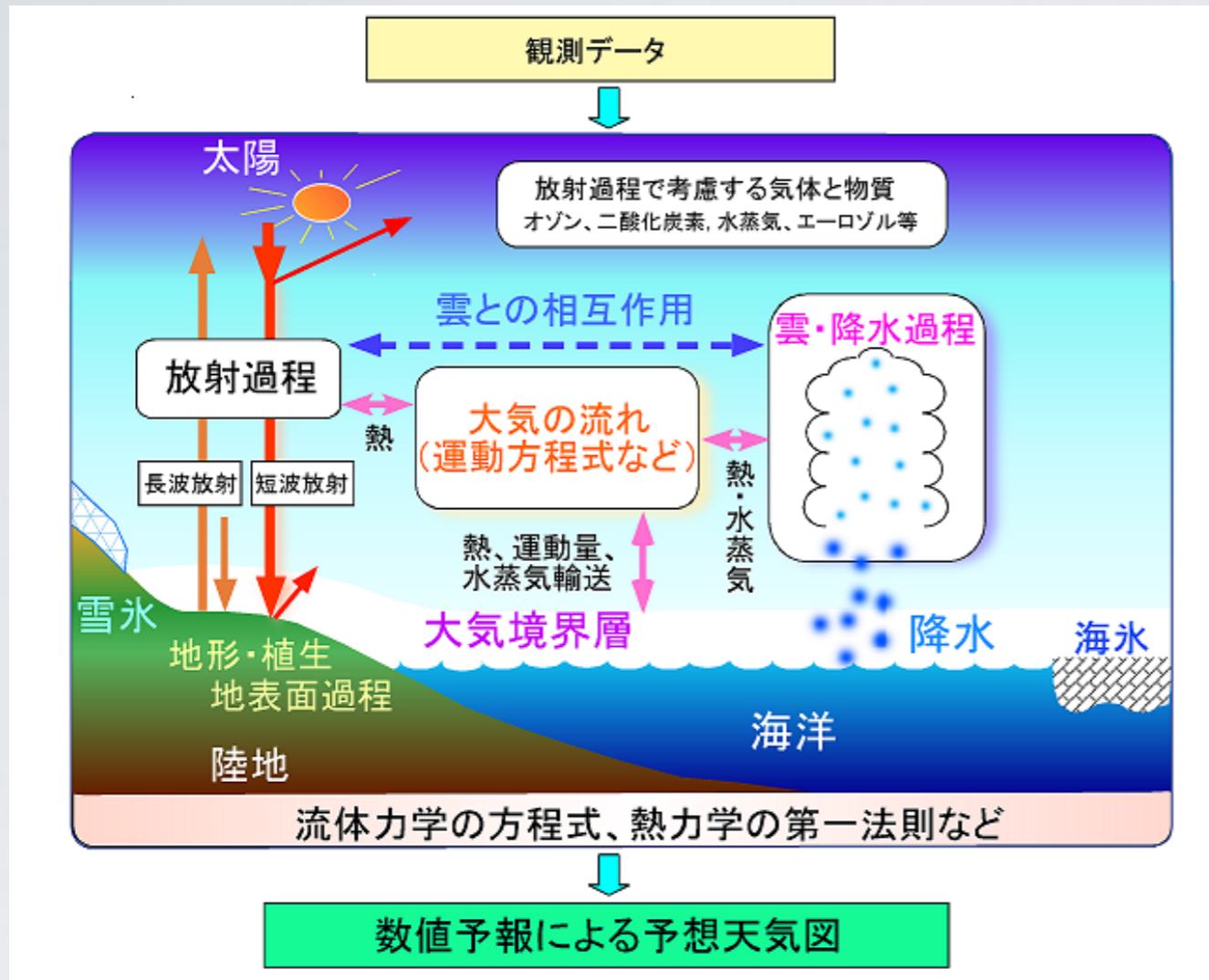
未来の状態を予測する

シミュレーション

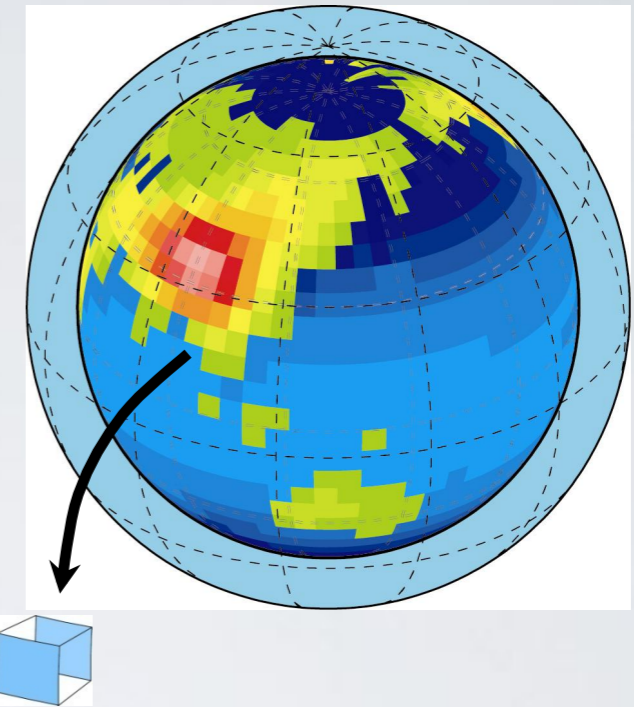
- 予測が外れてしまう原因
  - 計算時間の短縮のために、簡略化していることがある
    - ：計算量が膨大すぎて、スパコンのパワーが足りない
  - まだ詳しくわかっていない物理的現象がある（かも）
    - ：シミュレーションモデルの中でうまく表現できていない
- 今の状態を正確に知るのも難しい：すべてを観測できない



# 気象モデルのしくみ



気象庁webページより



地球上の空間をある大きさ(解像度)で分割して計算する

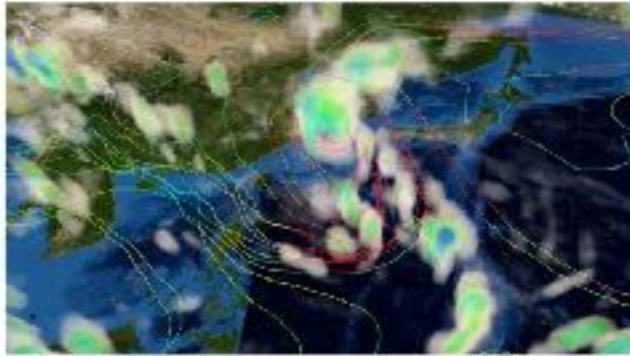
- ・地球の大気全体を計算
- ・一部分をとりだして細かく計算

- 大気の運動エネルギーや熱エネルギーの時間・空間的な変化を順々に計算する
- 細かい現象をすべて表現出来ていない  
：簡略化や抽象化によって現象を表現する (パラメタリゼーション)

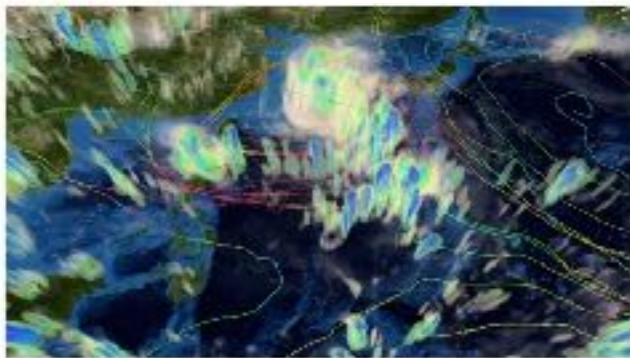
# 格子点数 = 空間解像度の問題

Typhoon Bolaven 2012

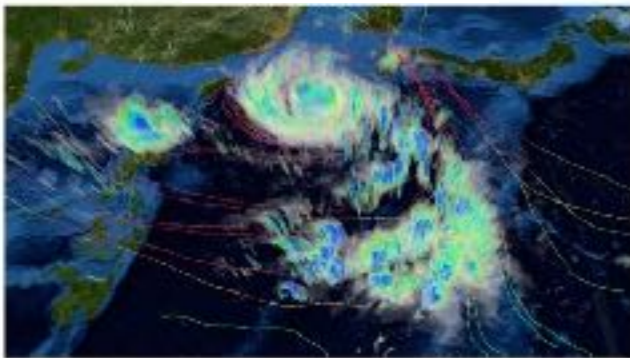
28kmメッシュ



7kmメッシュ



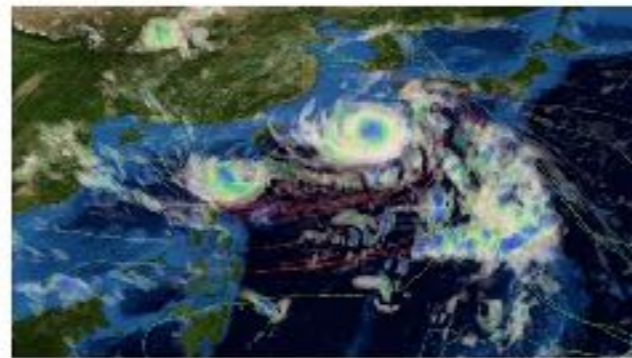
1.7kmメッシュ



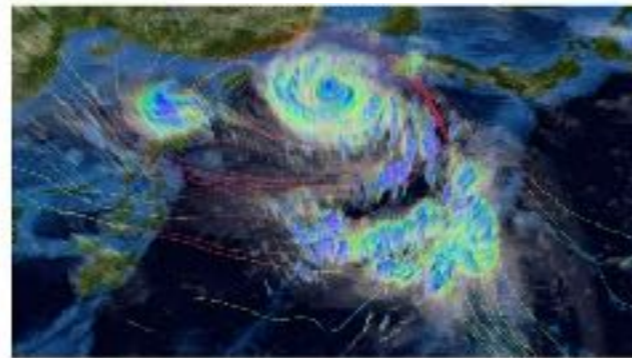
14kmメッシュ



3.5kmメッシュ



870mメッシュ



Visualized by 吉田龍二 (RIKEN AICS)

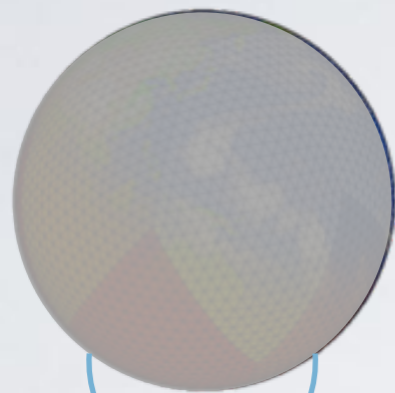
- 格子点数とシミュレーションの再現性について
  - ・ 格子の数が多（解像度が高い）ほど、より細かいスケールの現象を捉えることができる
  - ・ 簡略化していた過程をちゃんと表現できるようになる！
  - ・ ただし、計算量は爆発的に増える：水平解像度を倍にすると計算量は8倍



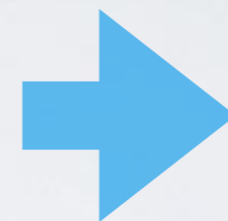
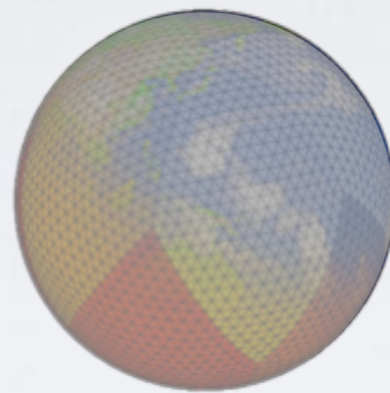
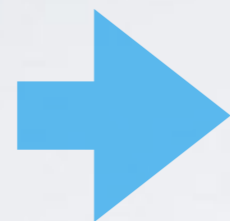
# データ同化 (1)

ターゲットにする特定の日時からの  
シミュレーションを実行したい

適当に作った初期値

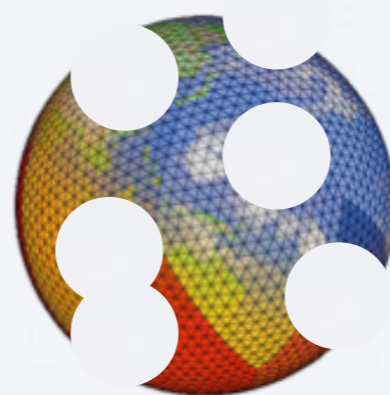
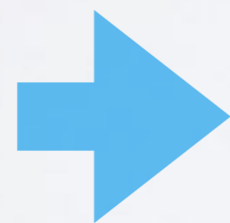


結果が落ち着く  
まで繰り返す



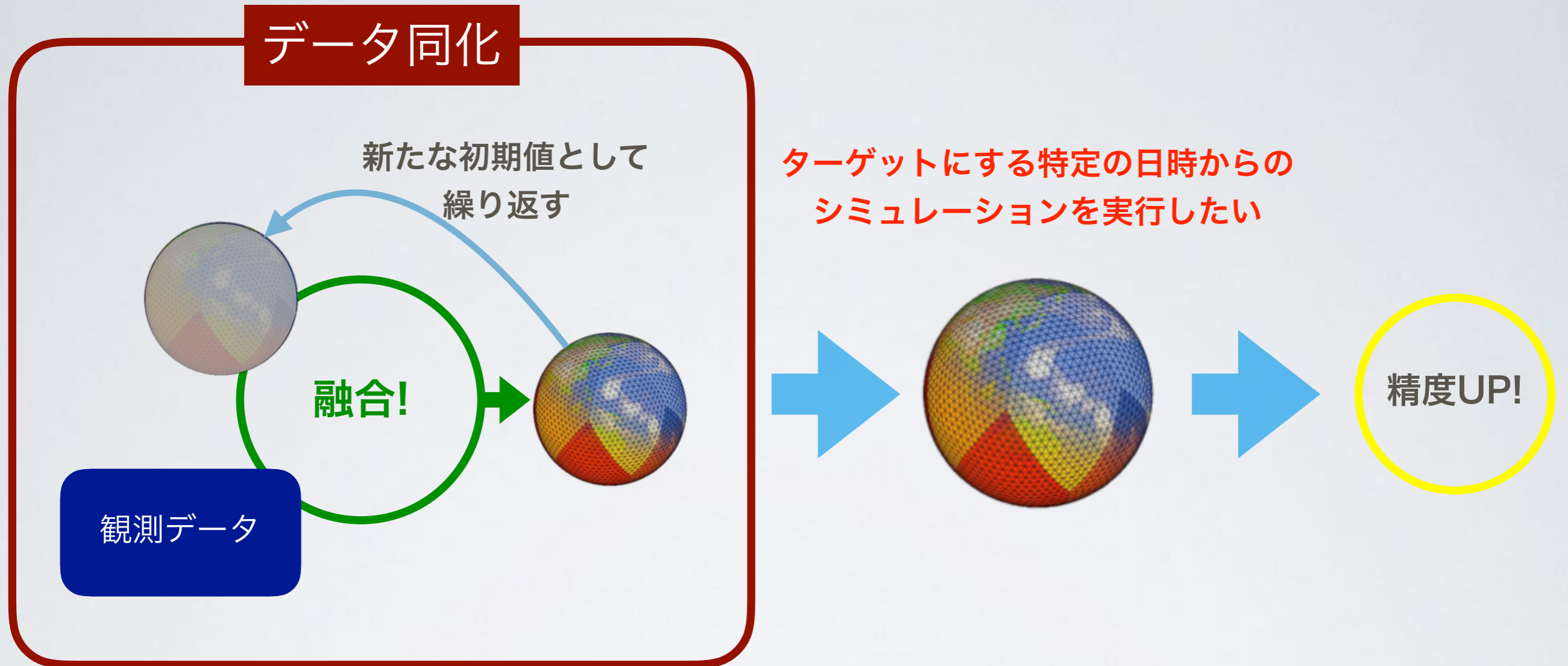
実際の大気の  
特定の日時からの計算に  
なっていない!

世界中で観測された大気の数値  
(風速・気温・気圧・湿度など)



観測データが足りない  
ところの初期値が  
決まらない!

# データ同化 (2)

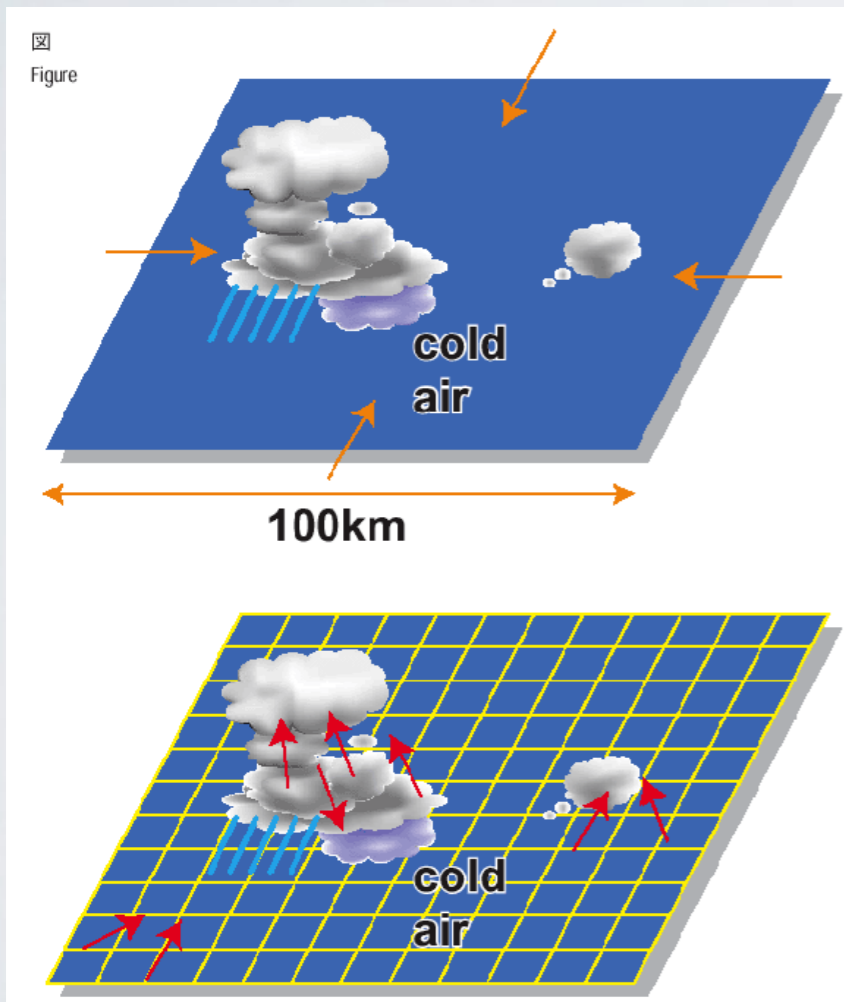
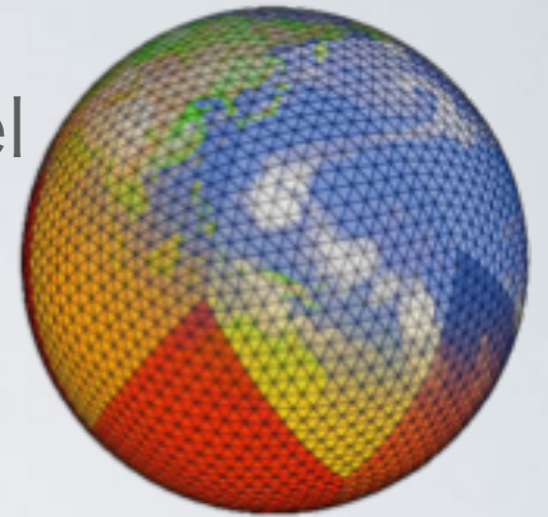


- 数学的な手法を用いて、シミュレーション結果を観測データで修正する
- 通常のシミュレーションよりももっと計算量が必要  
→スパコンの性能アップで可能に



# 全球高解像度モデルNICAM

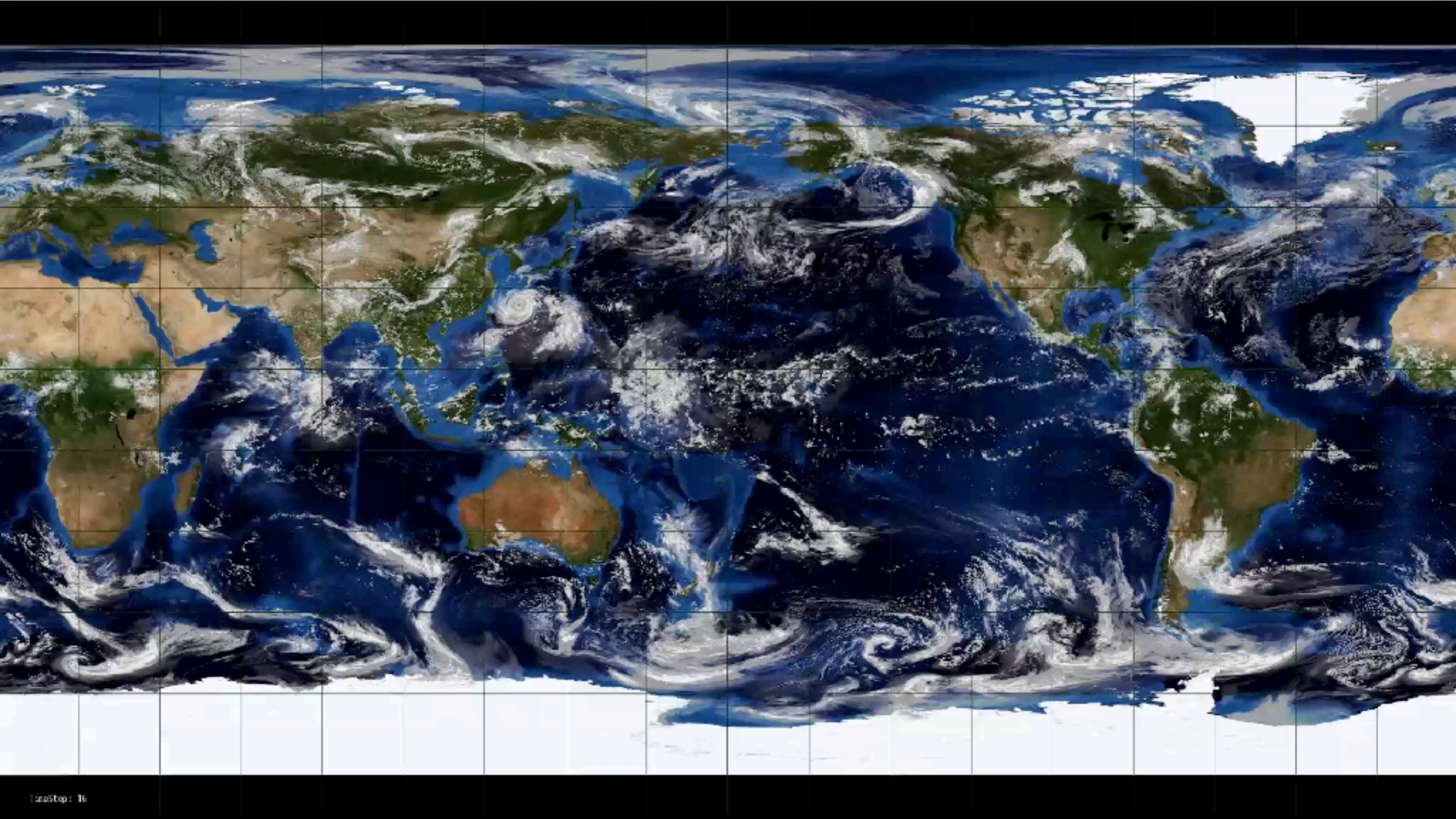
**N**on-hydrostatic **I**cosahedral **A**tmospheric **M**odel  
(NICAM) : 非静力正20面体大気モデル



- それまでの全球大気モデルの水平解像度は100km程度だった
  - 熱帯の雲はパラメータ化して表現
- NICAMが可能にしたもの
  - 数km~十数kmでの超高解像度シミュレーション  
：熱帯の雲群がちゃんと個別に表現される
  - 新しい時代のスパコンの能力を使い切る  
：並列性を意識した設計



# 世界最高解像度の実験 (1)

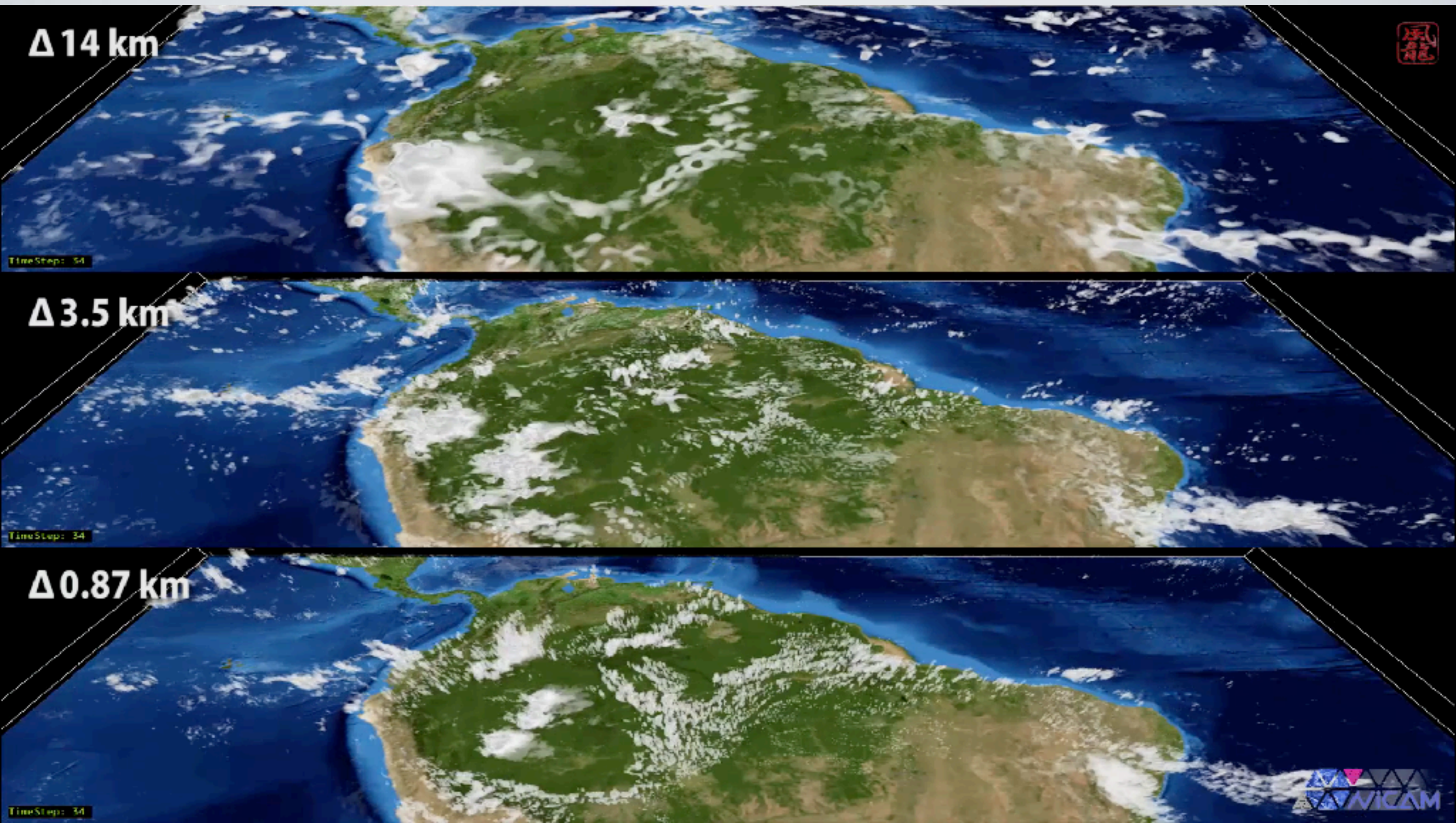


Visualized by 吉田龍二 (RIKEN AICS)

全球870mメッシュシミュレーション (京の20480ノード、163840計算コアを使用)



# 世界最高解像度の実験 (2)



Visualized by 吉田龍二 (RIKEN AICS)

アマゾン上空でつくられる雲の一日での変化



# 近未来の気象シミュレーションのキーワード

## ● リードタイム（猶予時間）

- 大雨や暴風が起こりそうな時に、警報や注意報を発表してから実際に起こるまでの時間＝住民が避難行動をとるための時間
- 広義には「気象災害が起こる可能性を、何時間前からシミュレーションで精度よく予測できるか？」といったときの時間

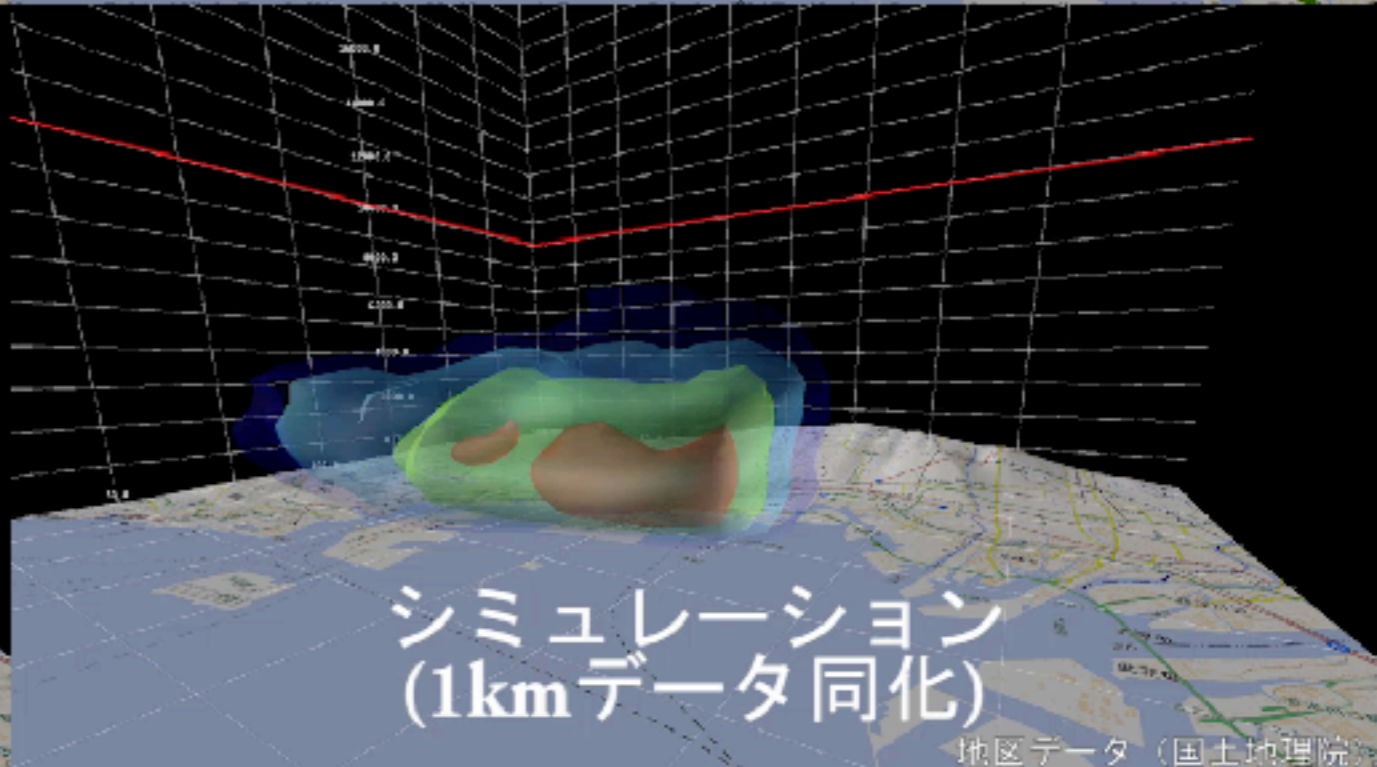
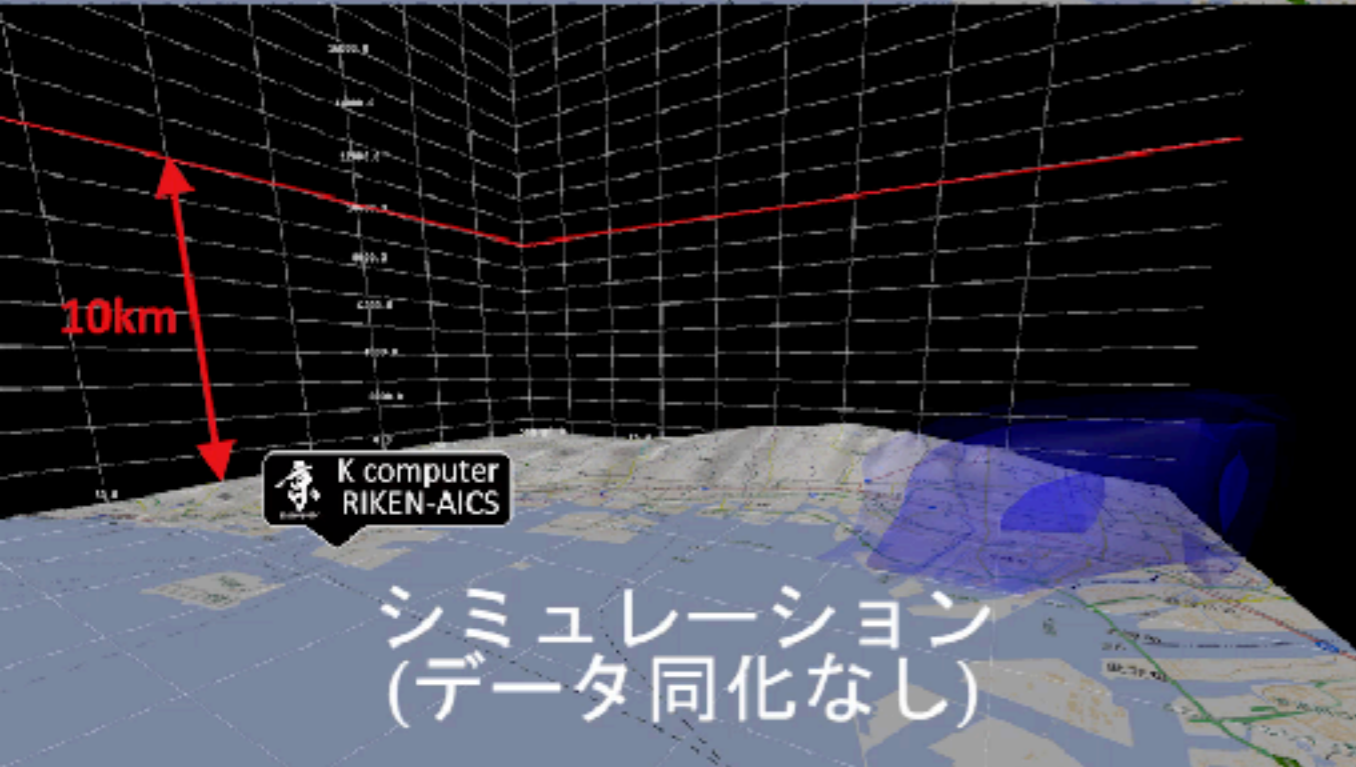
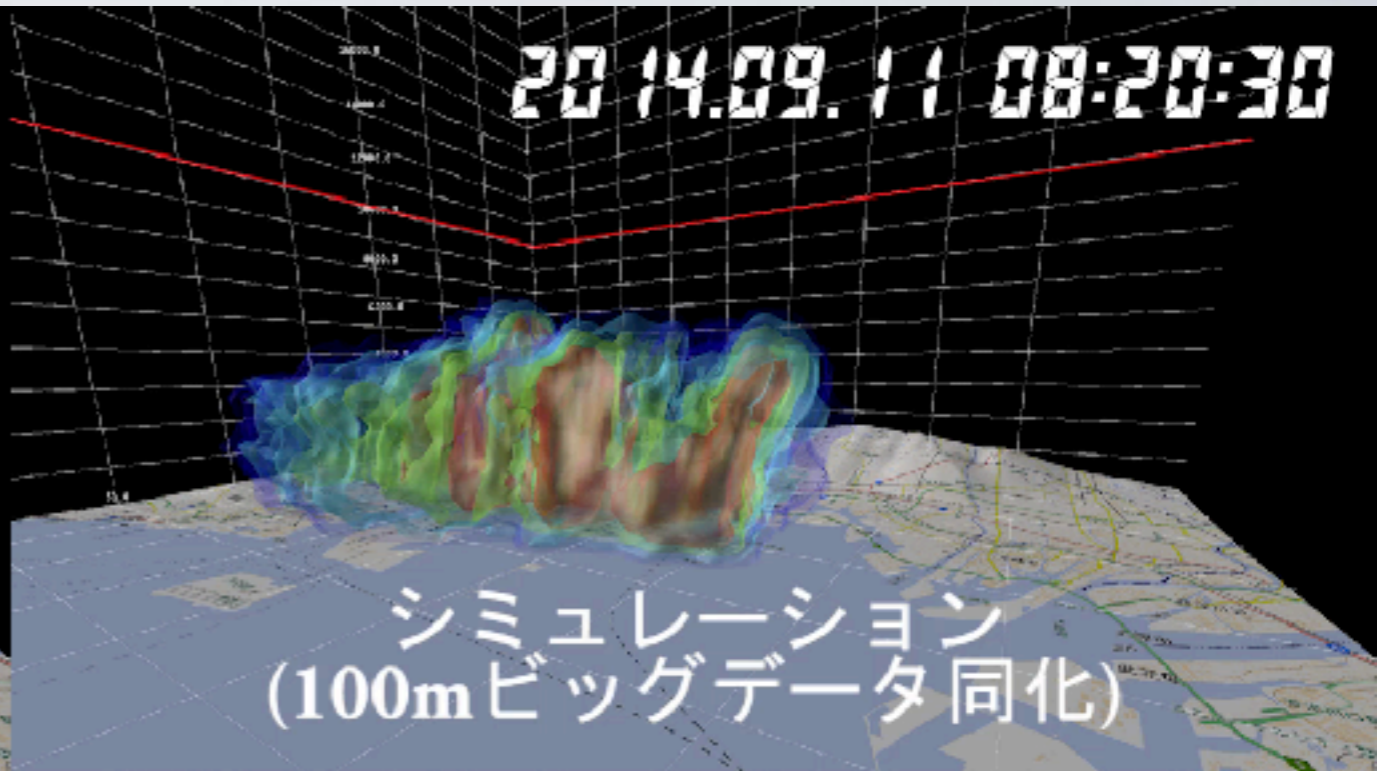
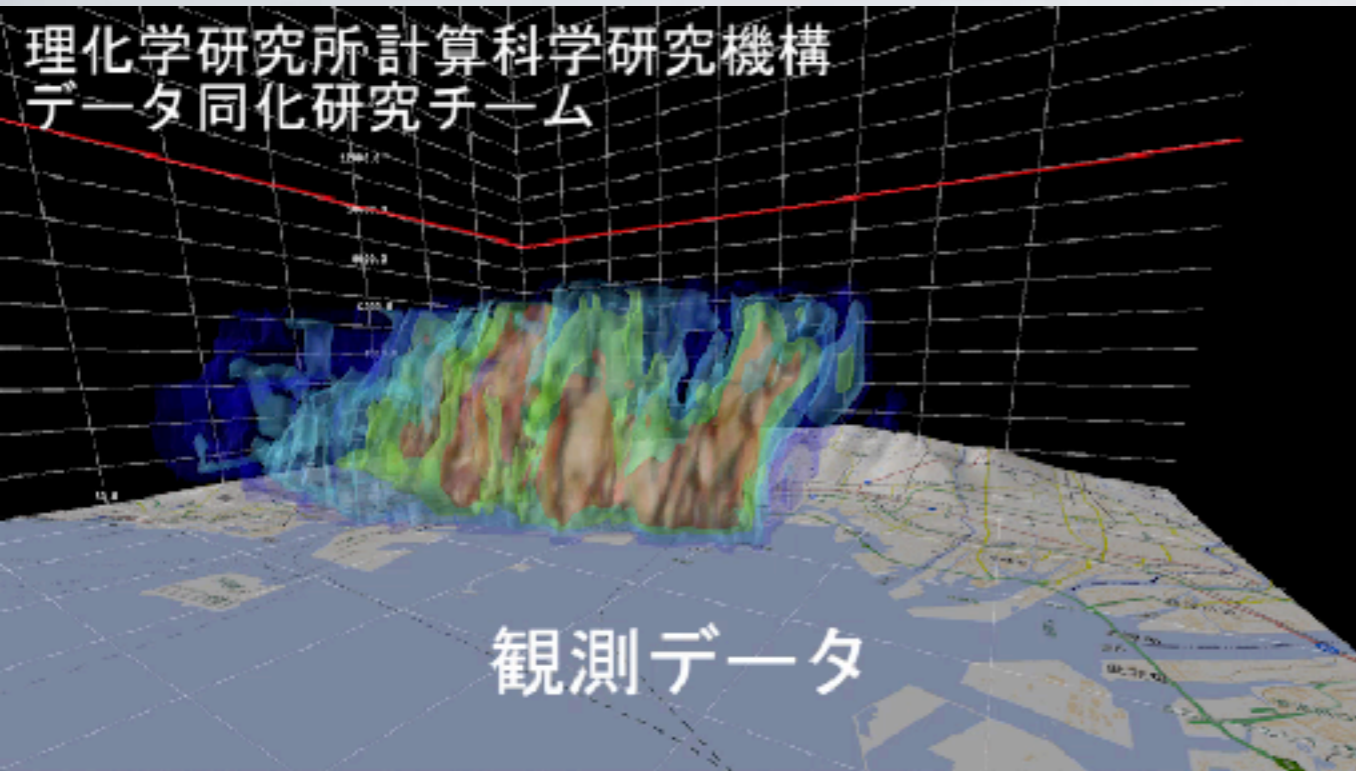
## ● ビッグデータ

- 多種多様なデータ以前に、データのサイズが超巨大
- 観測データも、シミュレーション結果のデータも



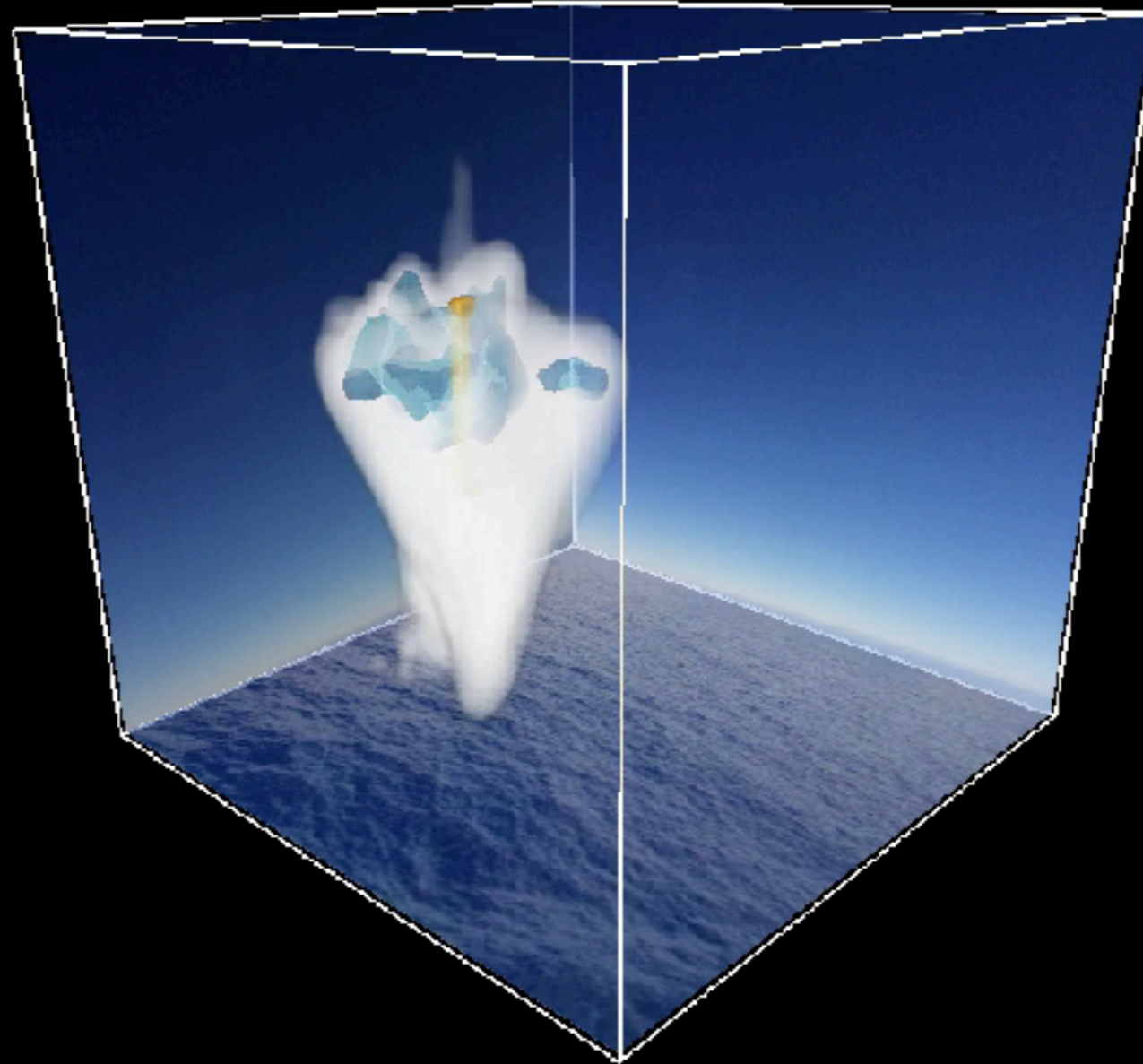
# 超高解像度シミュレーション+ビッグデータ同化

理化学研究所 計算科学研究機構  
データ同化研究チーム



Youtube理研チャンネル「「京」と最新鋭気象レーダを生かしたゲリラ豪雨予測」より

# 雷のシミュレーション



Simulated & Visualized by 佐藤陽祐 (RIKEN AICS)

- 雲や雨の変化だけでなく、電場や放電を同時にシミュレーション
- 雪やあられがぶつかってこすれる時に、電荷が偏る→雲内や雲・地面間で放電



# まとめ

- 天気予報・気候予測は私たちの生活と結びついている
  - シミュレーションによって、大気中で起こる様々な現象をコンピュータの中で表現しようとしている
  - スパコンのパワーが、シミュレーションのために日々活用されている
- 未来を予測することは大きな挑戦である
  - より良い予測のために、それぞれの現象の再現性を上げなければいけないし、それらの相互作用についてまだわかっていないことが多い
  - 観測技術の発達によって得られた新しい観測データをどんどん活用する
  - 問題を速く多く解くために、より性能の高いスパコンが求められている