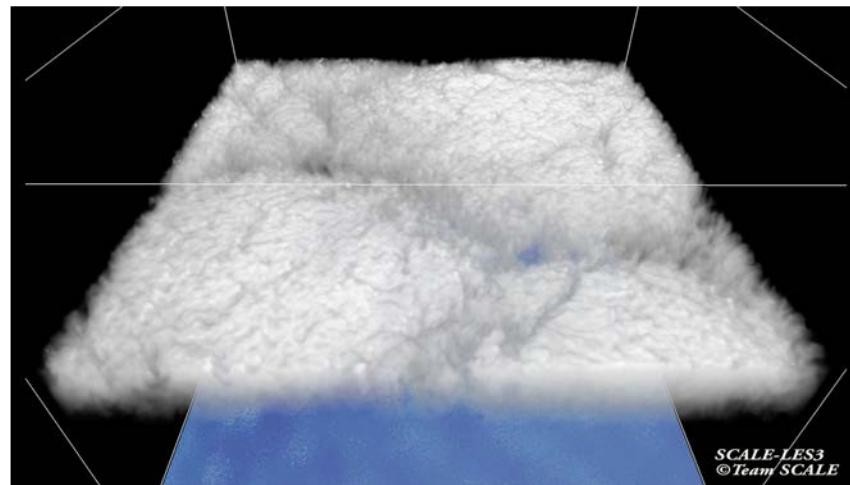


# スーパーコンピュータと 気象・気候シミュレーション

～京がもたらしたものポスト京が目指すもの～

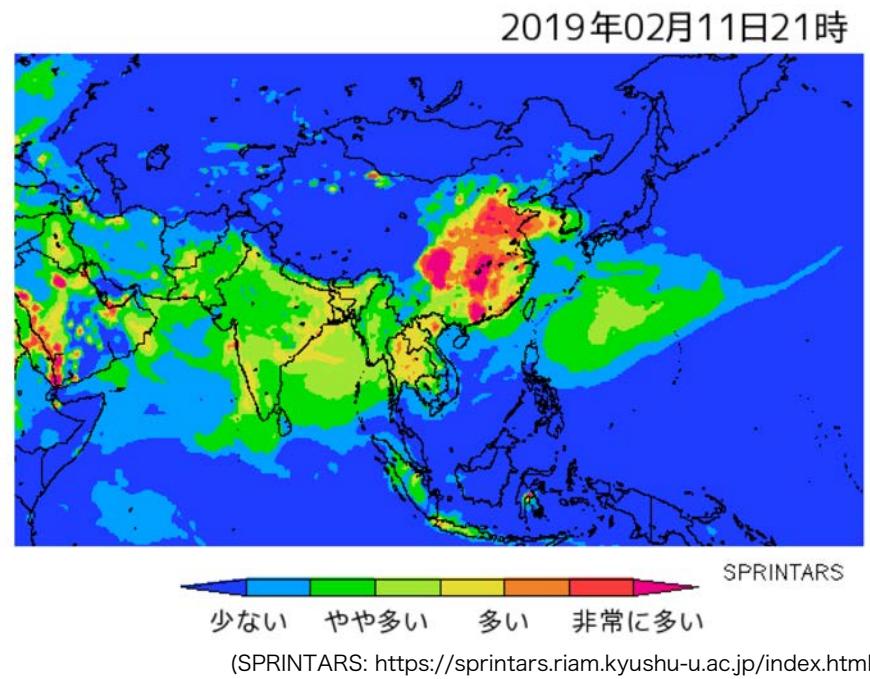
京で計算した層積雲



# スーパコンピュータを使った身近な例



## PM2.5などの予測



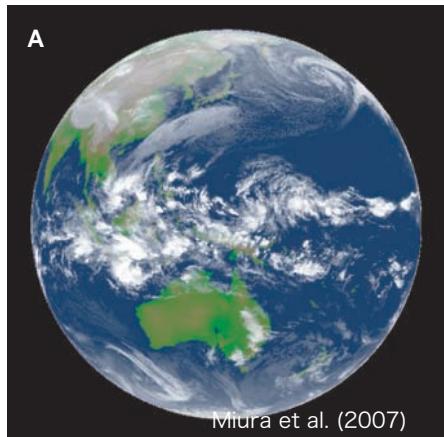
スーパコンピュータとシミュレーションコードは  
日々の生活になくてはならない重要なインフラ！！

# 京やポスト京(スーパコンピュタ)を使う利点

1. 細かい計算ができる
2. これまで（取り入れたいけど）取り入れていなかった技術を取り入れられる

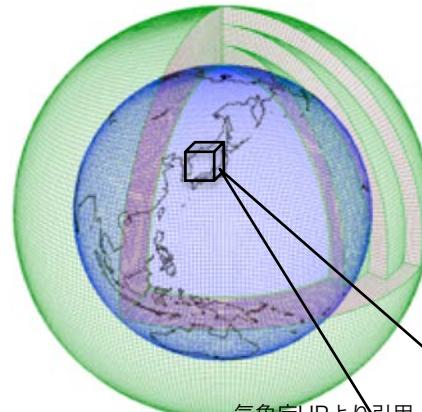
# 気象・気候シミュレーションのやり方

現実の地球



→  
格子で分割して  
地球を表現

数値気候モデルの模式図



気象庁HPより引用

各格子の水滴、氷粒の  
質量などで表現

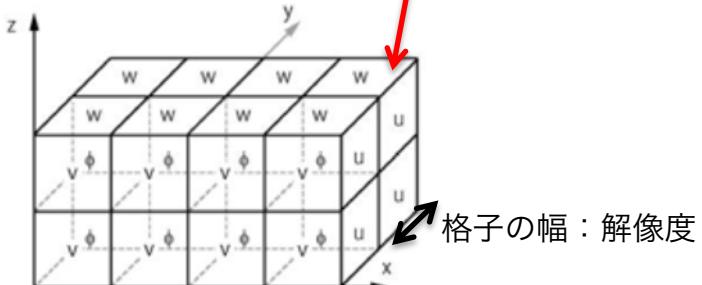
各格子ごとに様々な物理法則を  
解いて大気現象を再現

人力？数値予報のイメージ図（リチャードソンの夢）



気象庁HPより引用

数値気候モデルで用いられる格子系の例



各格子の物理量を定義

1：細かい計算ができる

# 格子で区切って表現 (イメージ:Boxで覆う)

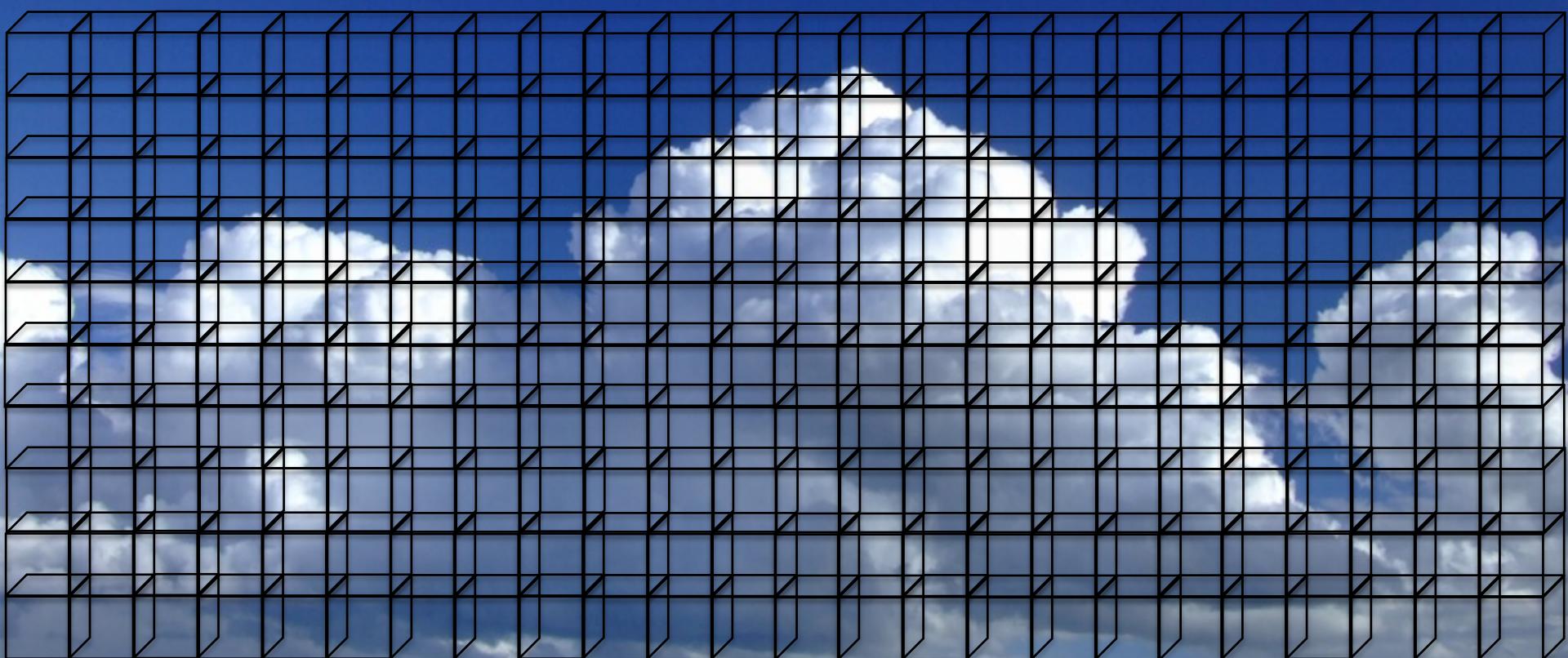
例：地球全体を約50kmの格子で覆った場合



必要な格子数：10万格子



パソコンやスーパーコンピュータが必要



1: 細かい計算ができる

# 各格子での計算式の例

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) + \frac{\partial \rho q_l w_l}{\partial z} + \frac{\partial \rho q_s w_s}{\partial z} = 0, \quad \text{質量保存の法則}$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \otimes \mathbf{u}) + \left( \frac{\partial \rho q_l w_l}{\partial z} + \frac{\partial \rho q_s w_s}{\partial z} \right) \mathbf{e}_z = -\nabla p - \rho g \mathbf{e}_z + \text{DIFF} [\mathbf{u}] \quad \text{運動量の保存則}$$

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho e \mathbf{u}) + \frac{\partial \rho q_l e_l w_l}{\partial z} + \frac{\partial \rho q_s e_s w_s}{\partial z} + p \nabla \cdot \mathbf{u} = Q + \text{DIFF} [T^*] \quad \text{熱力学の第1法則}$$

$$p = \rho (q_d R_d + q_v R_v) T. \quad \text{気体の状態方程式}$$

$\rho$ : 空気の密度,  $\mathbf{u}$ : 速度ベクトル,  $q_l$ : 液体の混合比,  $q_s$ : 固体の混合比  
 $w_l$ : 液体の落下速度,  $w_s$ : 固体の落下速度,  $p$ : 気圧,  $\mathbf{e}_z$ : 鉛直方向のベクトル  
 $e$ : 内部エネルギー,  $T$ : 気温 (温度),  $g$ : 重力加速度,  $z$ : 高度

全て高校で習う物理・化学・数学の発展系  
(中学・高校で物理や数学を疎かにすると気象シミュレーションはできない)

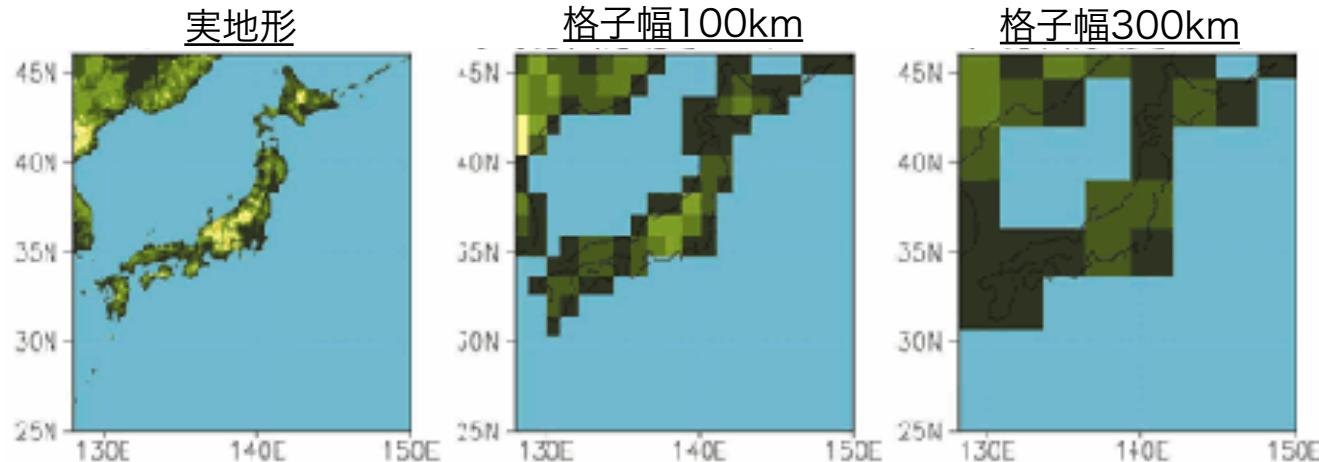
# 格子の細かさ（解像度問題）

## 格子の幅を細かくする

細かいスケールの現象を扱える

例：地球全体を覆うシミュレーションの格子幅

- 100km (2000年)
- 20km (2005年 地球シミュレータ第1世代)
- 3.5 km (by 地球シミュレータ 第2世代)
- 870 mm (by 京)



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

1：細かい計算ができる

# もう少し身近な場所で・・・

## 長良川国際会議場



格子間隔3.5kmの数値シミュレーションの中では岐阜駅も国際会議場も同じ場所  
格子間隔1kmより短くなると岐阜駅と国際会議場が識別できるようになる

1：細かい計算ができる

## 地球全てを870mの間隔の格子で覆った計算結果

NICAM 870 m - 96 levels  
Real Case Simulation: 25 - 26, Aug., 2012

SPIRE field-3: Study of extended-range predictability using GCSRAM  
RIKEN / AICS: Computational Climate Science Research Team

Miyamoto et al. (2013)

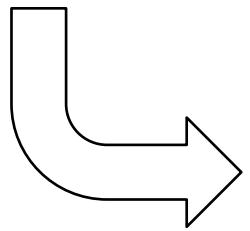
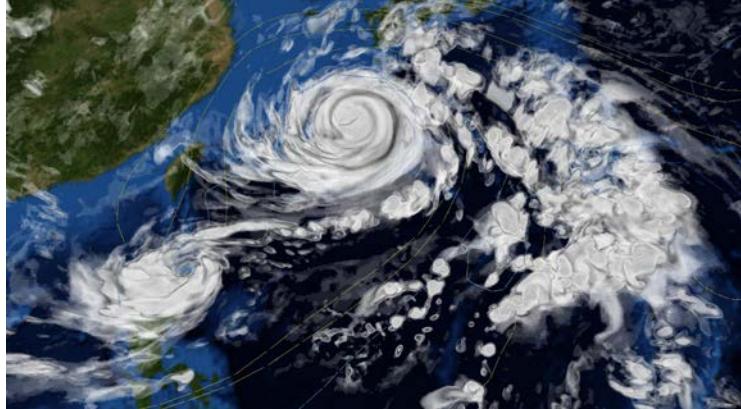


地球全てを870mで覆う→おおよそ630億個の格子  
→ 京を使って初めてできた計算！

1：細かい計算ができる

# 格子幅が小さいことの利点 ～日本付近の台風を例に～

格子間隔 3.5km(地球シミュレータ)



格子幅を1/4に

細かい幅の計算だと・・・例えば

- 目の内部で起こるプロセス
- 雲一つ一つのプロセス

が詳細にわかる

格子幅を小さくすると

- 台風の目の構造がはっきり見える
- 台風周辺の雲一つ一つが詳細に表現
- 左下の台風の卵も詳細に表現

格子間隔870 m (京)



1：細かい計算ができる

# 大気中の化学物質（大気汚染物質も含む）の計算

## 大気中の雲以外の粒子物質の例

海塩（海の水しぶきで発生）



ダスト（砂漠の砂、黄砂）



黒色炭素（森林火災などで発生）

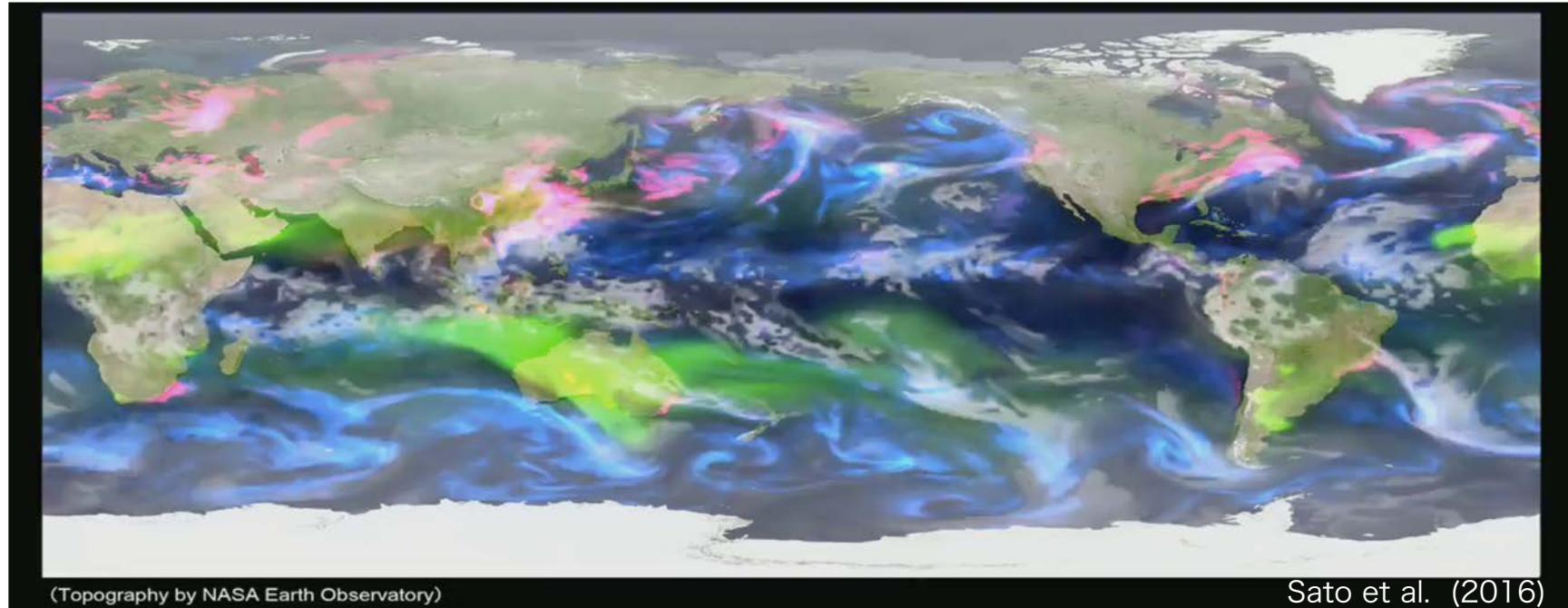


硫酸塩・硝酸塩など



2：これまで考えられていなかった技術が取り入れられる

## 地球全てを3.5 kmの間隔の格子で覆った大気汚染物質と雲の計算結果



白色：雲

桃色：硫酸塩（工場排出や海の上の光化学反応で発生）

青色：海塩（海の水しぶきで発生）

緑色：ダスト（砂漠などから砂が巻き上げられて発生）

橙色：炭素性（森林火災や化石燃料の燃焼で発生）

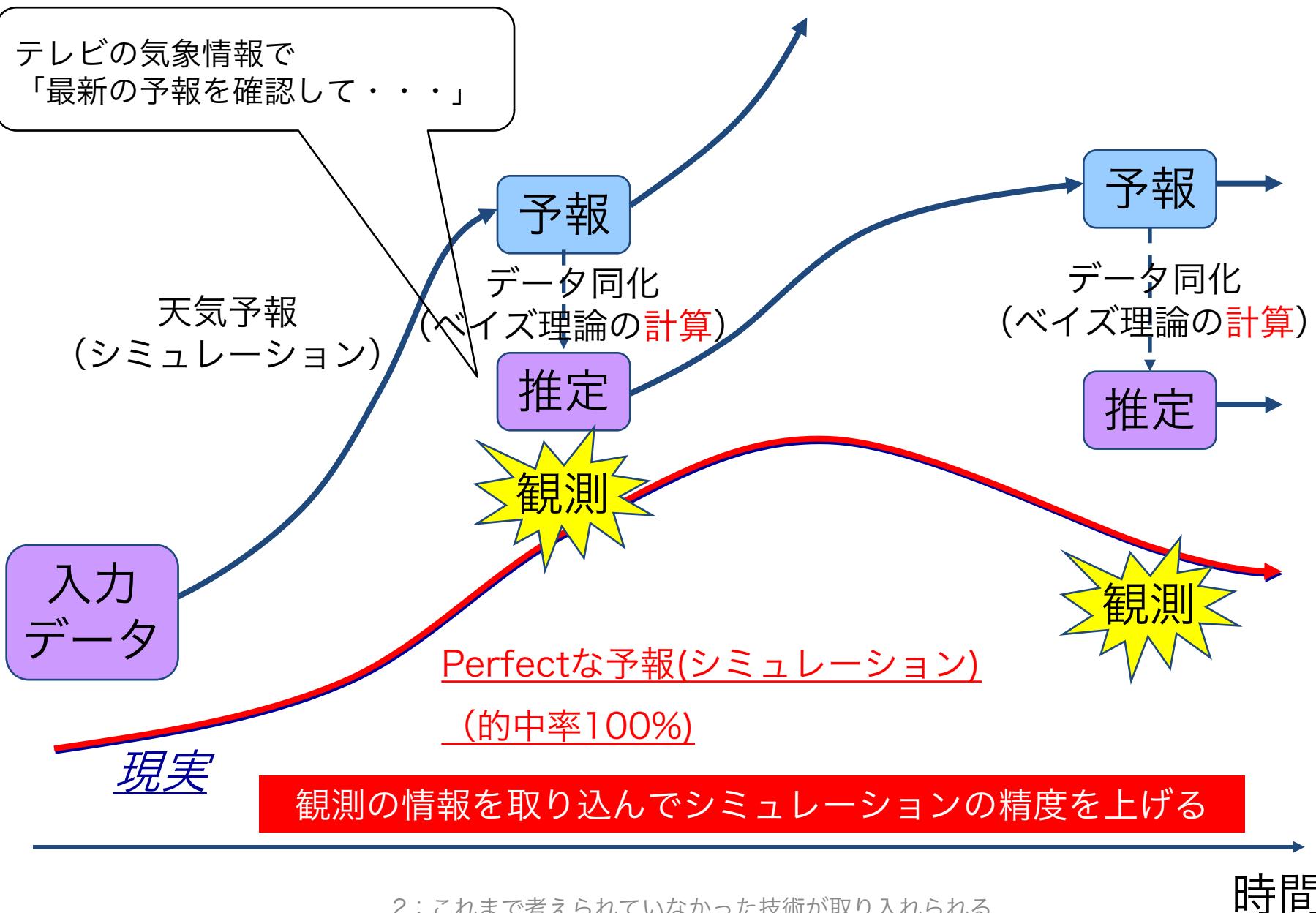
地球全てを3.5km（40億個の格子）で覆って化学物質を取り扱った計算  
→ 京を使って世界で初めてできた計算！



大気汚染物質や化学物質が地球の気候に与える影響を調べられる

2：これまで考えられていなかった技術が取り入れられる

# 天気予報のしくみとデータ同化



# 天気予報で使われる観測データ

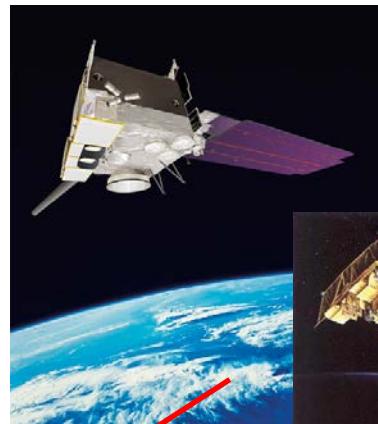
レーダー



航空機



人工衛星



気球観測



シミュレーションコード

船舶



地上観測



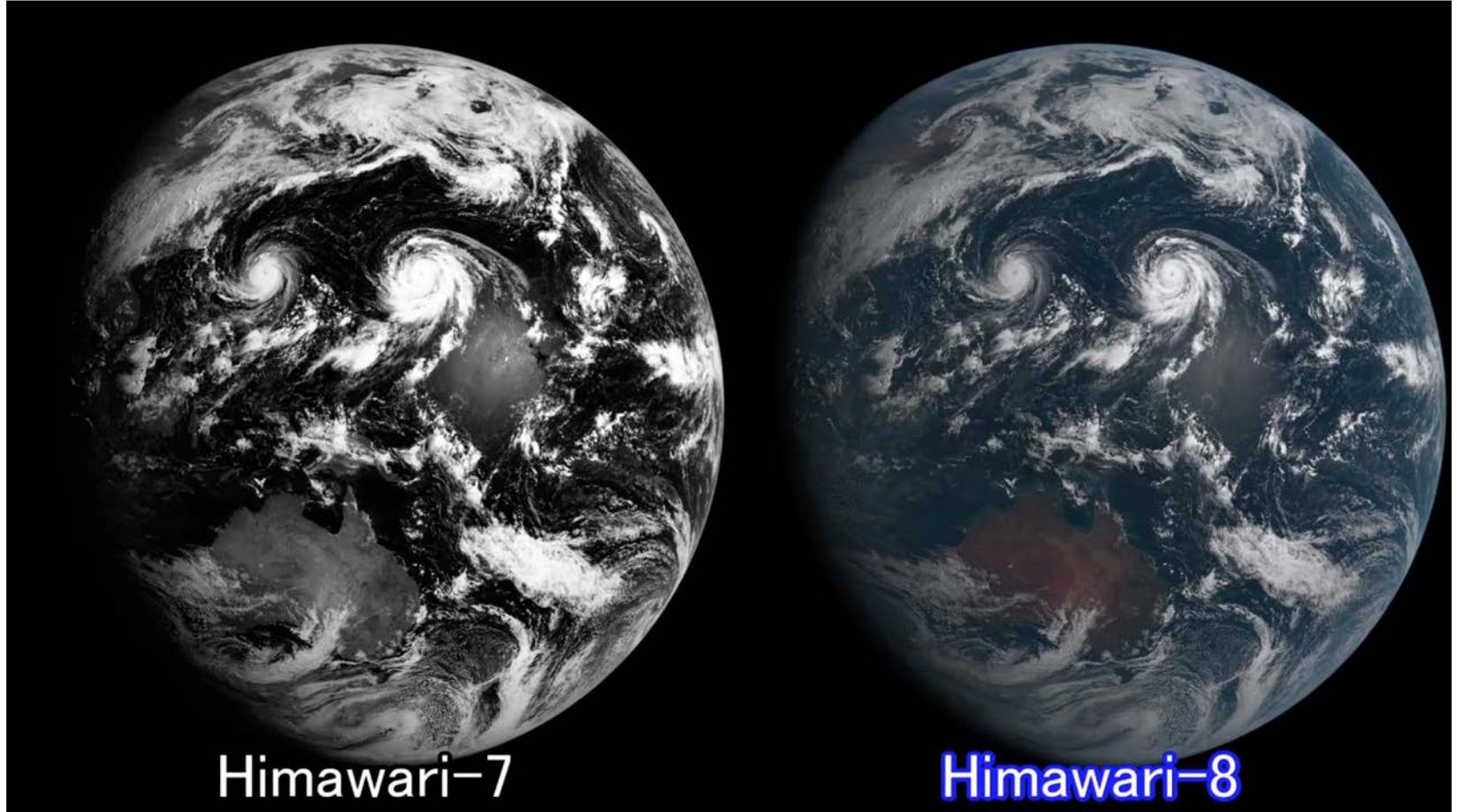
あらゆる観測データを  
使って予報精度を上げる

ブイ



2：これまで考えられていなかった技術が取り入れられる

# ひまわり8号



Himawari-7

Himawari-8

ひまわり7号：4km, 30分間隔のデータ

提供：千葉大CEReS (豊嶋氏)

ひまわり8号：2km, 2.5分間隔でデータ

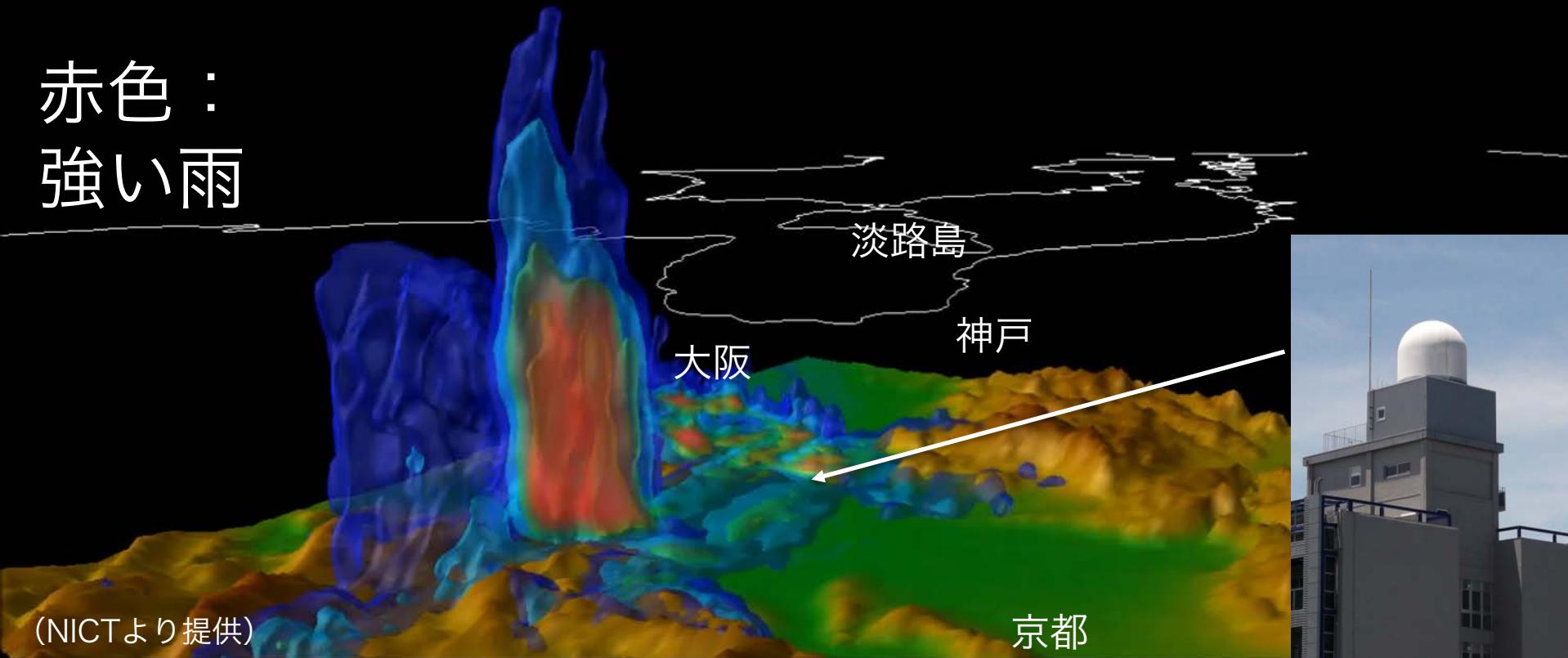
2分毎に地球半分をカバーするデータが出てくる  
→スーパーコンピュータがなければ処理が追いつかない

2：これまで考えられていなかった技術が取り入れられる

# フェーズドアレイレーダー<sup>（30秒毎でデータが得られる最新鋭のレーダー）</sup>

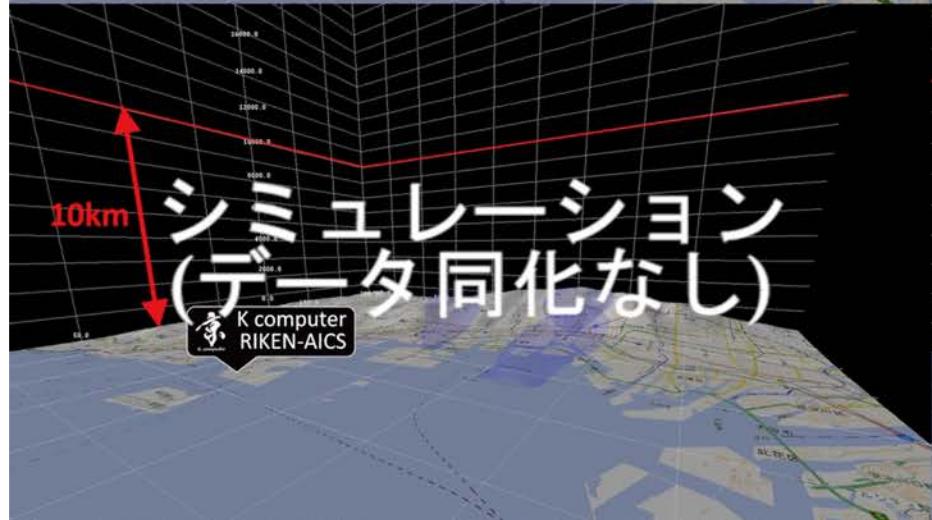
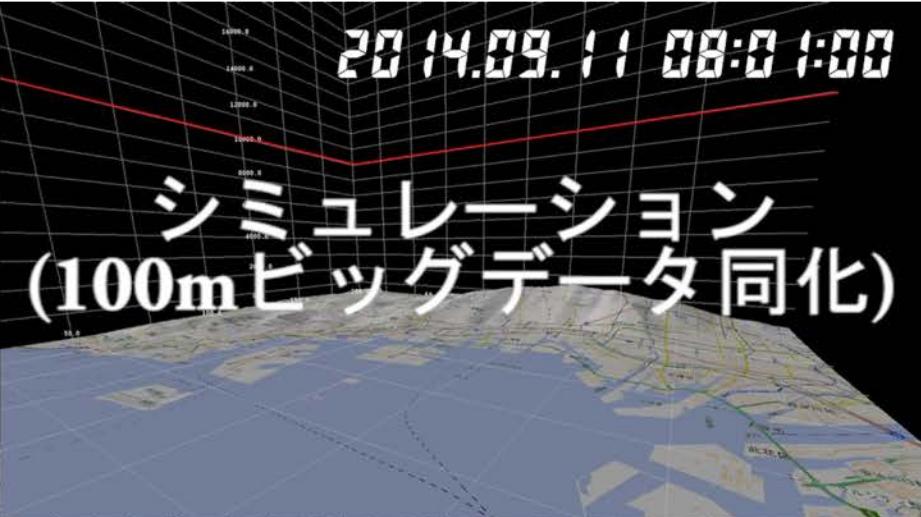
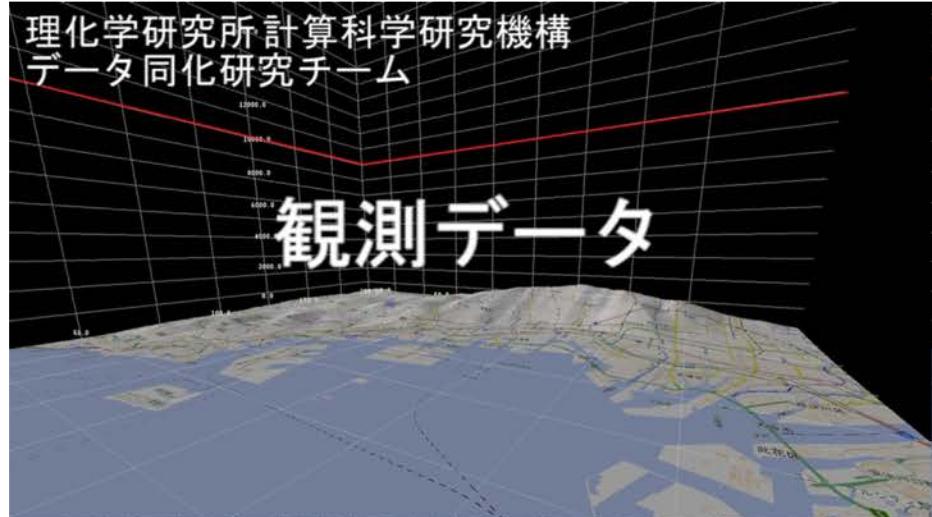
上空の雨雲の中の様子が30秒間隔でわかる！

赤色：  
強い雨



30秒毎にものすごい量のデータが出てくる  
→スーパーコンピュータがなければ処理が追いつかない

# フェーズドアレイ気象レーダを使ってシミュレーション (2014年9月11日 神戸ゲリラ豪雨の例)

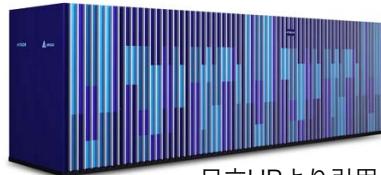


30秒ごとの気象データを取り込んだ計算  
→ 京を使って世界で初めてできた計算！

2：これまで考えられていなかった技術が取り入れられる

# 気象庁のスパコンと京

Hitachi SR11000: 2006年3月～

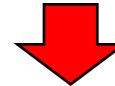


日立HPより引用

ピーク性能(論理):  
62TFLOPS

京 : 2011年

京の運用開始後7~8年で、京の性能を超える  
スパコンが気象予測に使われるようになる



京で得られた知見が10年ほどすると、  
気象庁や民間で利用可能になる！



ピーク性能：  
10500TFLOPS

Cray XC50: 2018年6月～

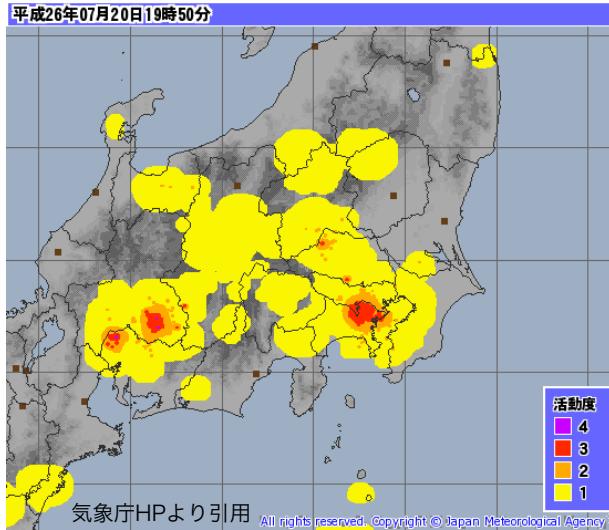


ピーク性能(論理):  
18000 TFLOPS

最先端のスパコンでやっている計算・研究の意味

- わからない現象を明らかにする
- 約10年後に実現できる技術の開発
- 約15年後に民間企業でも利用できる技術開発

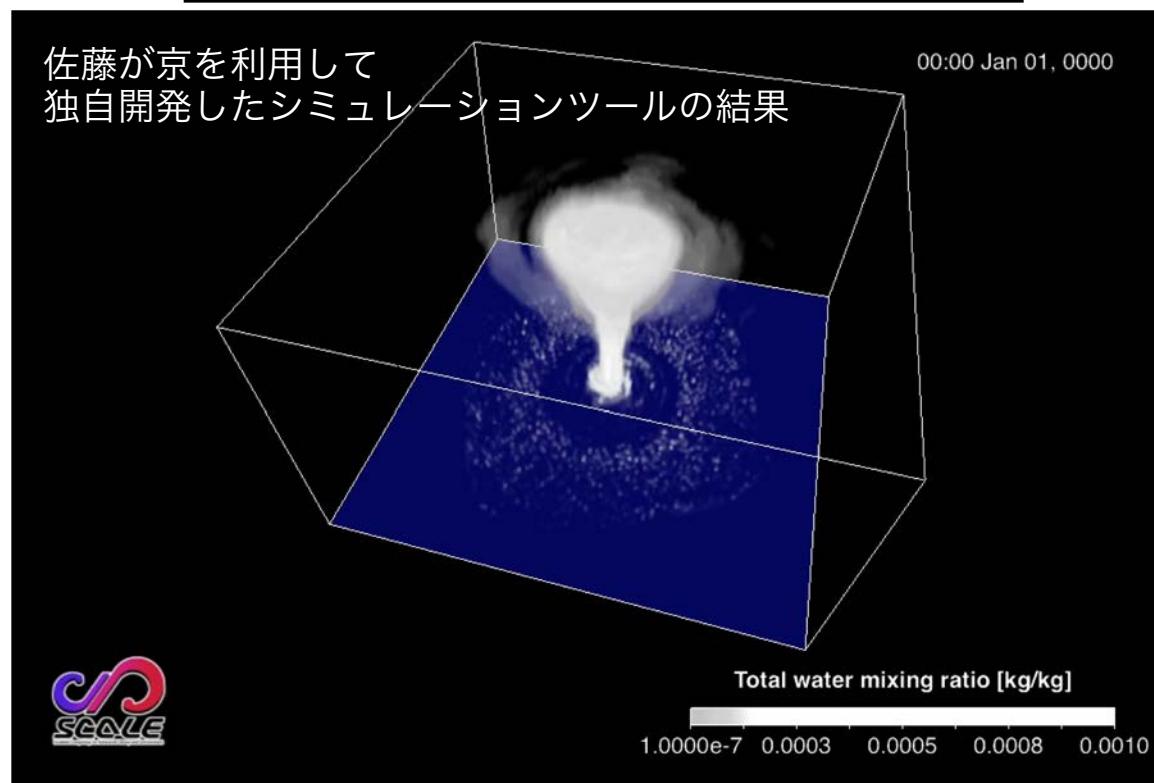
# 雷を予測（予報）する



雷活動度分布→観測から予想  
シミュレーションではない  
(明日の雷は予報できない)

毎日の天気予報は雷の場所を予報しない  
→雷を扱っていないから

気象シミュレーションによる台風内部の雷



気象シミュレーションで雷を予報できるようにする→15年後くらいに実用化したい

# 気象シミュレーションを志す方へ (特に中高生)

- ・ 気象シミュレーションをやるために必要な知識
  - 物理学（気象学）
  - 数学（シミュレーションの基礎は微積分）
  - 英語（最新の知見は全て英語で書かれている）

計算機は教えたことしかできない  
(現象を表す物理がわからなければ計算はできない)

- 計算機(PCやスパコン)の知識

計算機の知識は後から身につけられる  
数学や物理は後から身につけるのは大変  
→ぜひ中高・大学のうちに数学の勉強に励んでください！