

次世代スパコンが切り拓く可能性 ～新しい全球気候モデルから期待されること～



独立行政法人
海洋研究開発機構/地球環境変動領域
主任研究員 富田 浩文



JAMSTEC

<http://www.jamstec.go.jp/>

Next Generation Climate Model



お話の内容

- ▶ **なぜ、気候研究に高速なコンピュータが必要なのですか？**
 - ▶ 観測の重要性と限界
 - ▶ 気候変動予測・天気予報の方法
- ▶ **気候研究者が最も頭を悩ませるプロセス**
 - ▶ IPCC第4次報告書から
- ▶ **現在の最先端研究一部の紹介**
 - ▶ 全球雲解像モデルによる雲の直接計算
- ▶ **現状のコンピュータで満足な結果が得られますか？**
 - ▶ 解像度は？ 積分時間は？
- ▶ **次世代スパコンを使ってどんなことが期待できますか？**
 - ▶ 全球雲解像モデルをフル活用するプロジェクト
 - ▶ 何が新しい知見となるか？
 - ▶ 社会貢献は？



気象観測：地上洋上気象観測

地上：

アメダス、ドップラーレーダー、ラジオゾンデ

■ 管区・沖縄気象台	6ヶ所
● 海洋気象台	4ヶ所
▲ 本庁及び施設等機関	3ヶ所
■ 地方気象台	47ヶ所
○ 測候所	18ヶ所
▲ 特別地域気象観測所	78ヶ所

平成20年10月1日現在



(http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/f2.htm)

洋上：

係留ブイ、船からのレーダー観測



気圧、気温、湿度、風向、風速、降水量、
積雪の深さ、降雪の深さ、日照時間、日
射量、雲等の観測

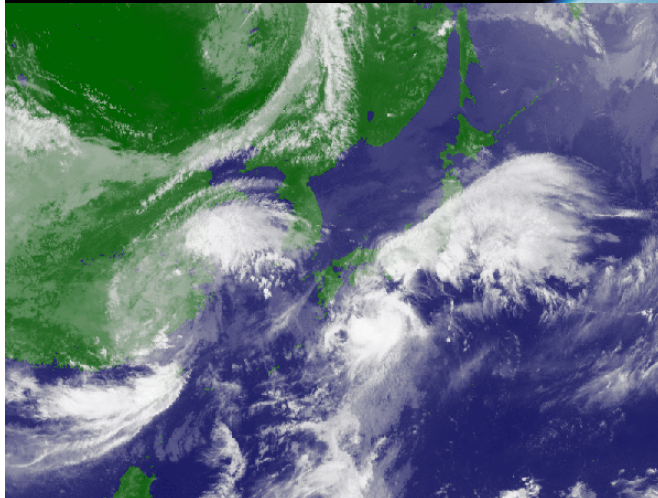
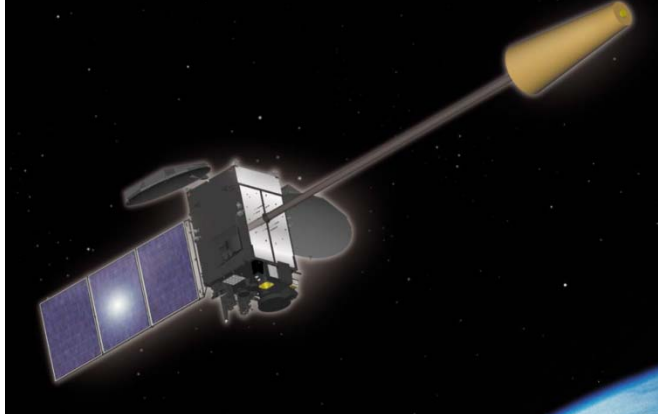
洋上は熱帯地域等一部に限られている



気象観測：静止衛星観測

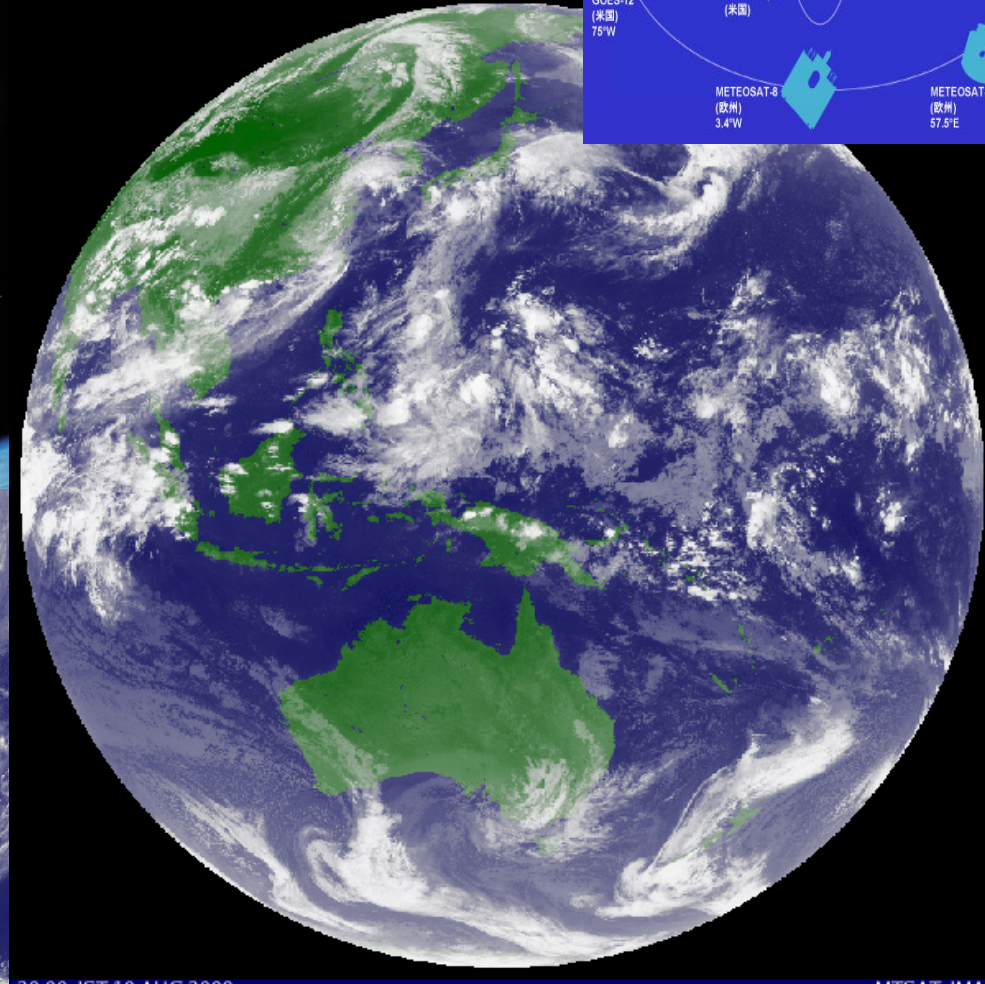
ひまわり7号

(<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/satellite/satellite.html>)



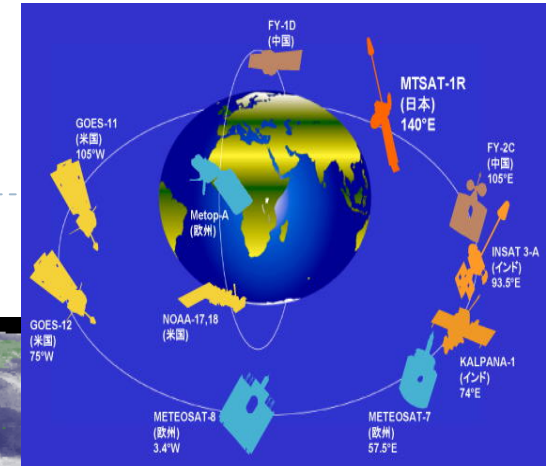
14:30 JST 10 AUG 2009

MTSAT JMA



20:00 JST 10 AUG 2009

MTSAT JMA

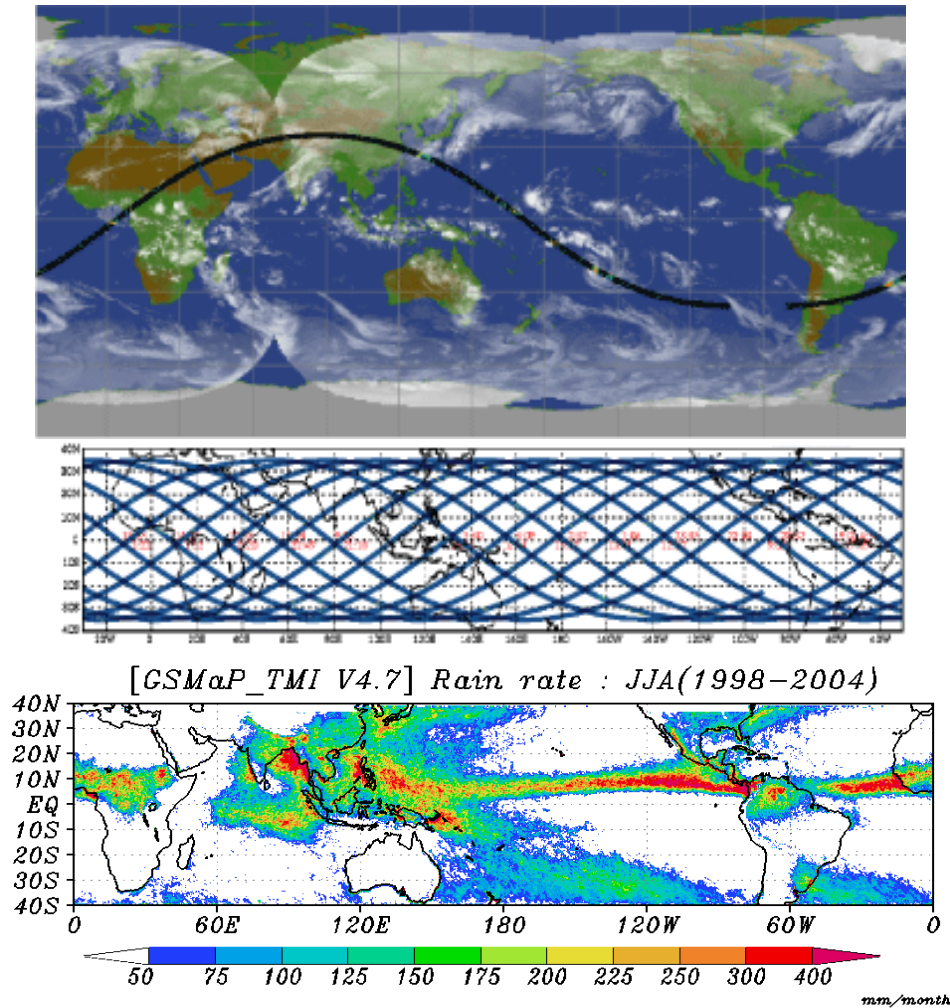


http://www.jma.go.jp/jp/gms/imgs_c/0/infrared/1/

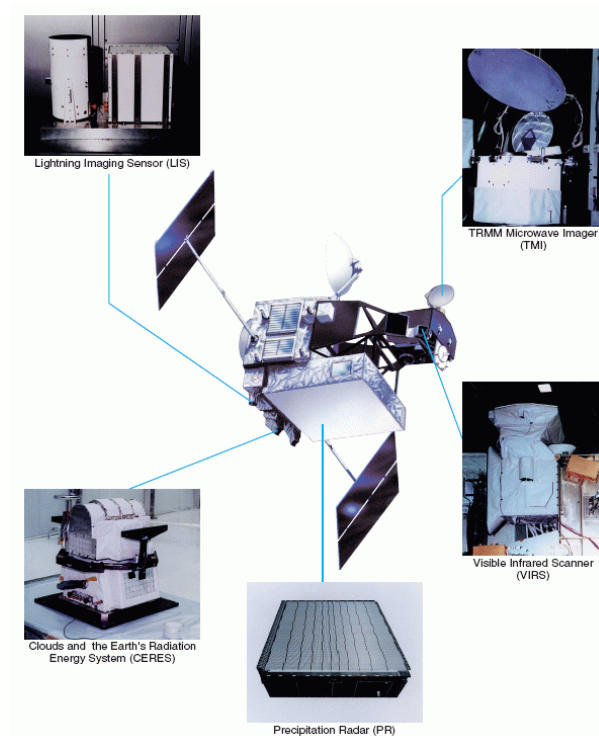
Next Generation Climate Model



気象観測：地球周回衛星観測



GSMaP プロジェクト (<http://www.rader.aero.osakafu-u.ac.jp/~gsmap/>)



大気放射、雲分布、
降水分布、雲の3次元構造

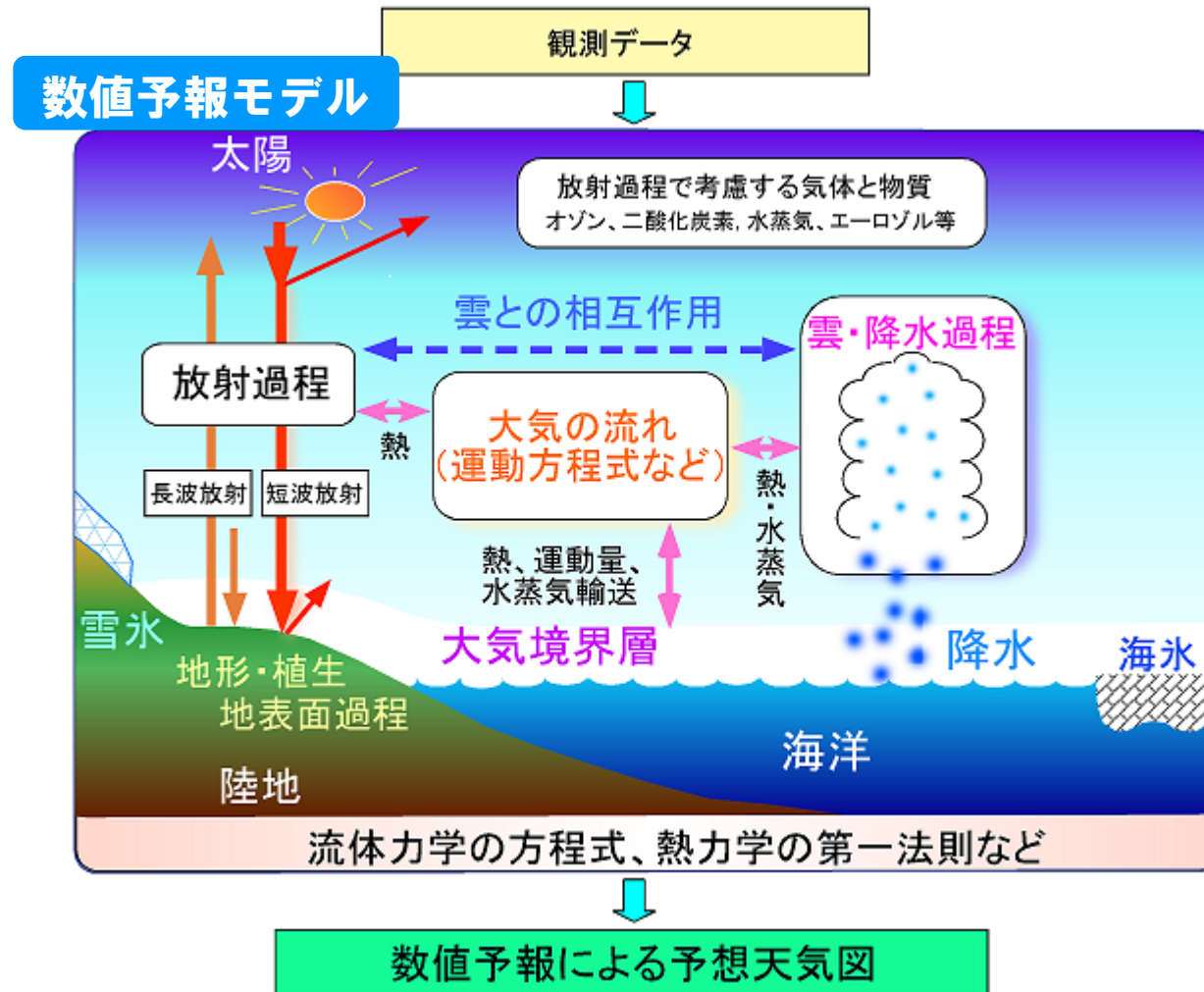


観測の限界

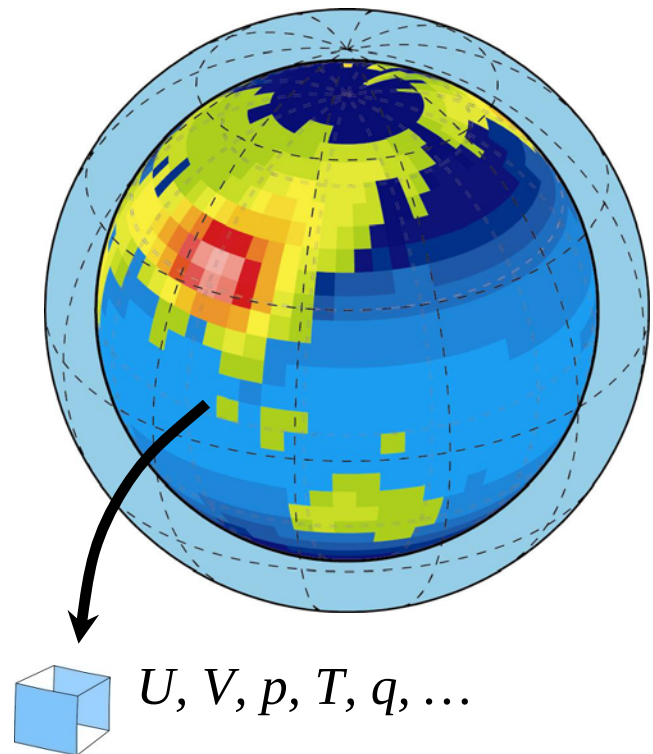
- ▶ **観測の重要性**
 - ▶ 現象のメカニズムの解明
 - ▶ 現状の把握
- ▶ 観測は、過去（観測開始）から現在までを網羅
- ▶ 観測だけでは天気予報、気候予測が出来ない。
 - ▶ **予報・予測は、コンピュータでしか出来ない。**
- ▶ コンピュータで出来ること
 - ▶ 日々の天気予報
 - ▶ 将来の気候変動予測
 - ▶ **もう一つの仮想地球**を用意することが出来る。
 - ▶ 様々な状況を想定した「実験」が可能
 - 新しい現象の予言
 - 観測開始前の過去の気候の再現



天気予報・温暖化予測の方法



大気・海洋・陸面を3次元の格子に切る（離散化）



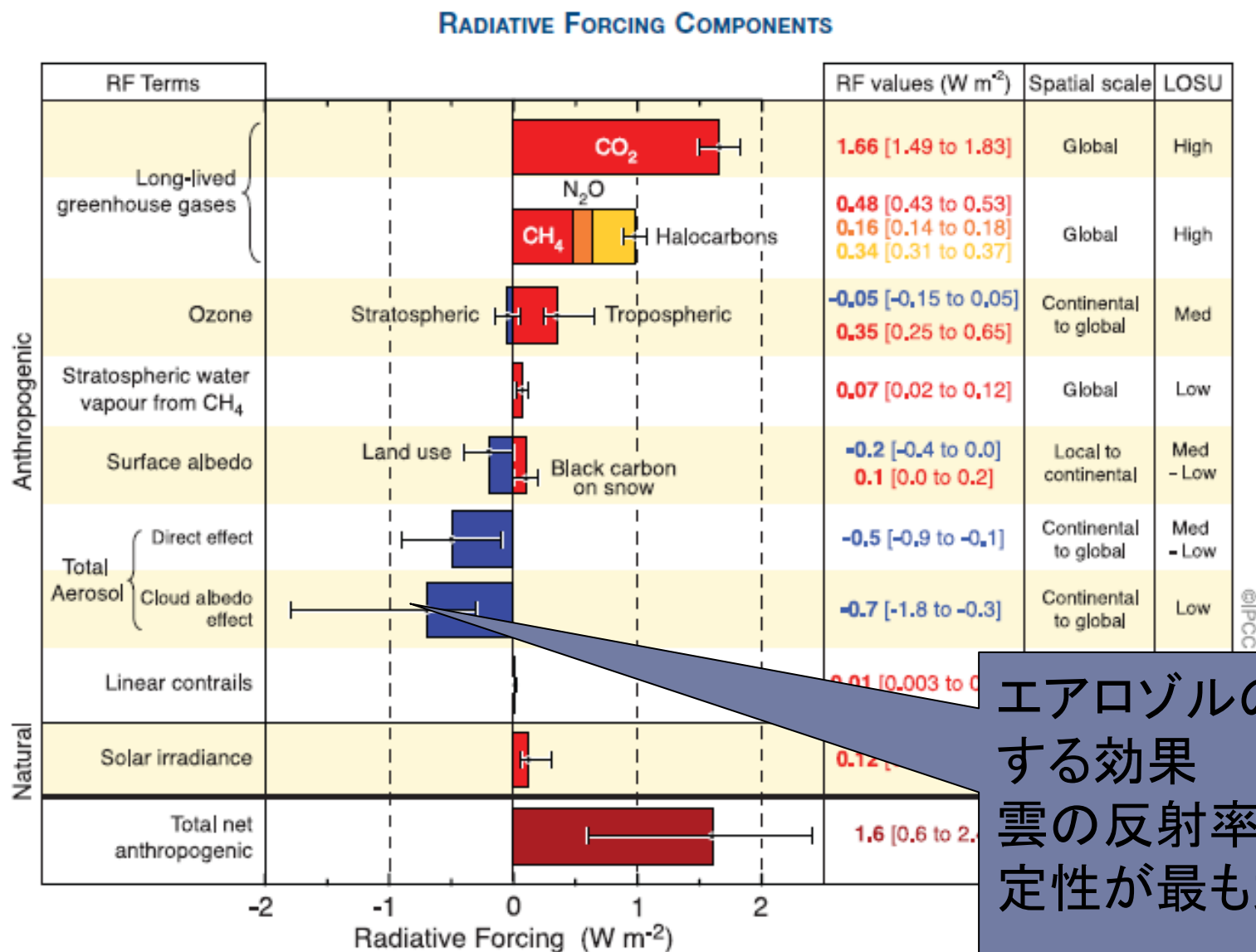
各格子で物理量を定義
連立方程式を解く

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>

Next Generation Climate Model



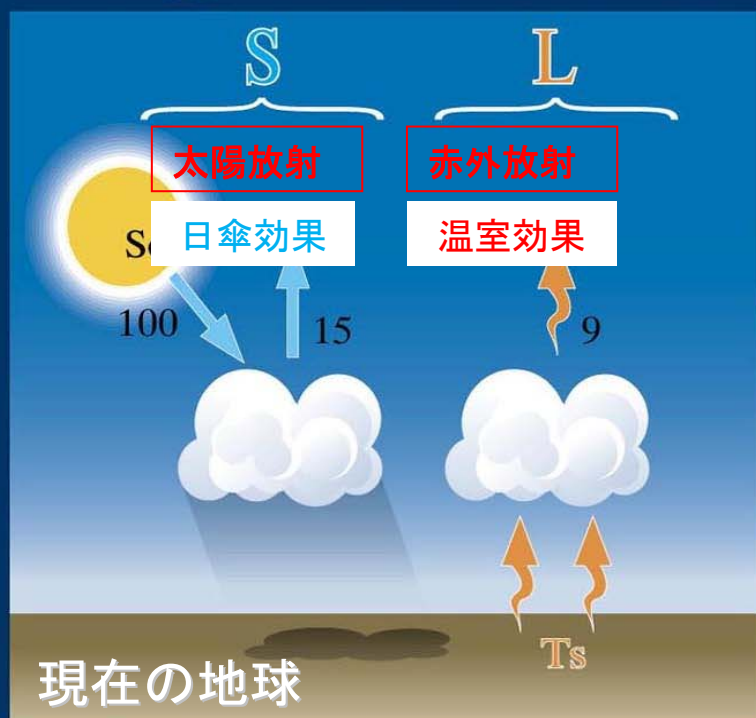
気候予測問題で最も不確定な要素の一つは雲！



エアロゾルの雲に対する効果
雲の反射率の不確定性が最も大きい

放射収支に対する雲の気候的役割

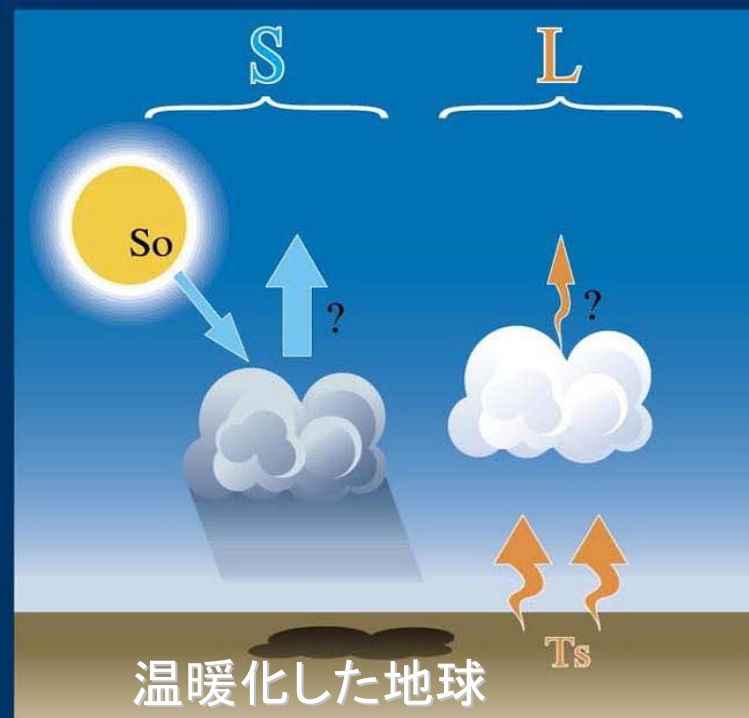
Energy Balance of the Earth



$$R = S - L$$

S_o : Solar Insolation
 S : Solar Radiation

T_s : Global mean Surface Temperature
 L : Terrestrial Radiation(Longwave)



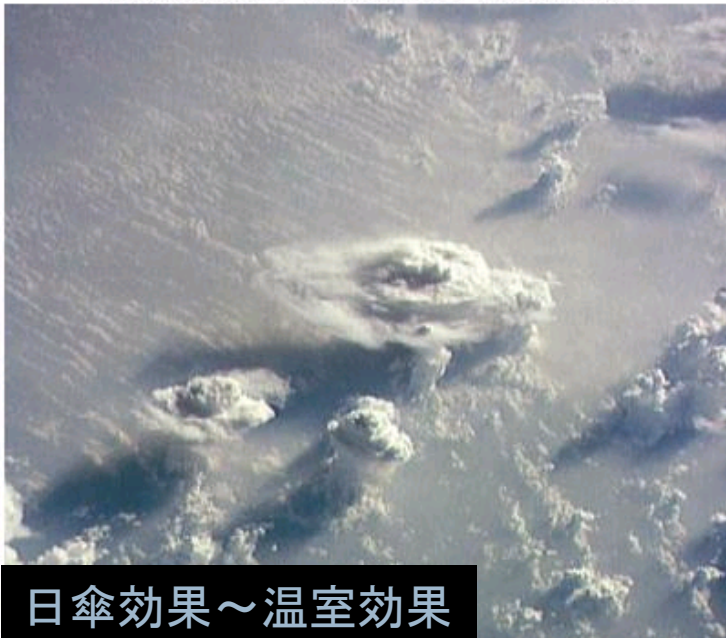
2つの効果のどちら
が勝つ？



背の高い雲(積乱雲とかなとこ雲)



Thunderstorms seen from the Space Shuttle



日傘効果～温室効果

<http://flickr.com/photos/95118988@N00/197143641>
Copyright© 2004 VideoWeather & WeatherStreet
http://www.weatherquestions.com/What_causes_thunderstorms.htm

背の低い雲 (層積雲)



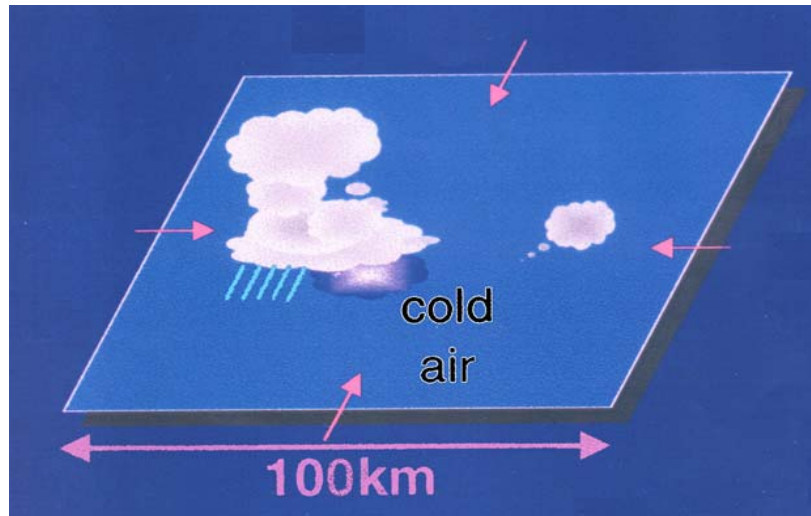
日傘効果が卓越

<http://mmem.spschools.org/grade5science/weather/stratocumulus.html>
http://www.aoml.noaa.gov/hrd/Storm_pages/odette2003/photo.html



なぜ、雲がこれほど不確定要素なのか？

▶ 解像度不足による雲の表現の曖昧性



従来モデル

雲集団の全体を100kmから
20km程度の領域の平均値で代表
(**積雲パラメタリゼーション**)
⇒雲の生成消滅を直接計算でき
なかった

▶ そもそも、、、雲の階層的構造を表現できない！

▶ 階層構造：

- 一つ一つの雲(～数km)
- 小規模雲集団(～数100km)
- 大規模雲集団(～数1000km)
- マッデンジュリアン振動(～5000km程度)

一つ一つの積乱雲を
直接解像したい！



雲の組織化と階層構造

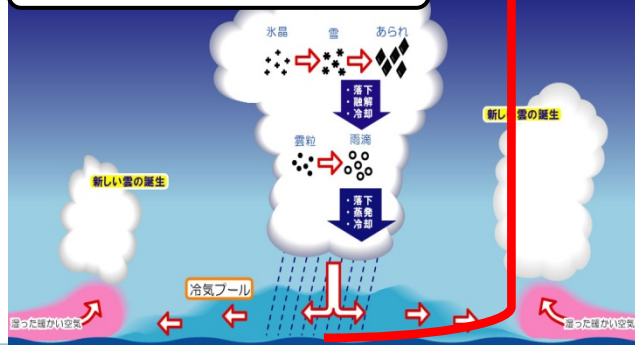
一つ一つの
積乱雲

JAMSTEC MISMO観測



<http://www.skyseeker.net/>より

コールドプールダイナミクス



www.digital-typhoon.org
2009-07-01 00:00 UTC

クラウドクラスター

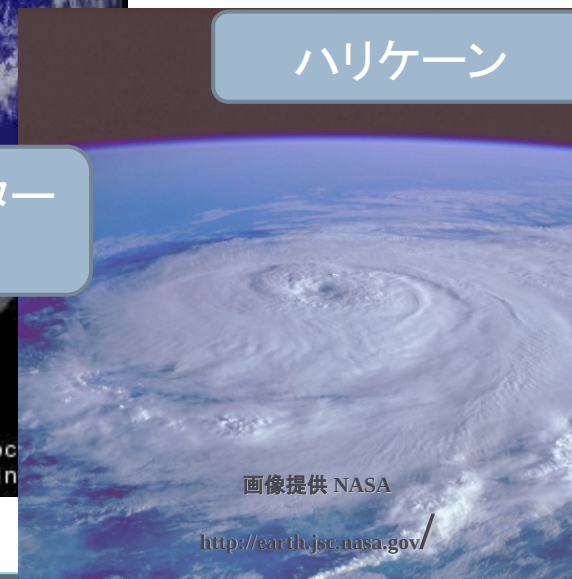
スーパークラウドクラスター
及びMJO

スコールライン



JAMSTEC MISMO観測

ハリケーン



画像提供 NASA

<http://earth.jsc.nasa.gov/>

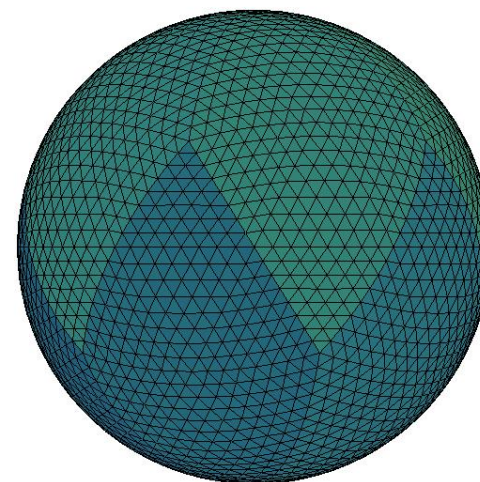
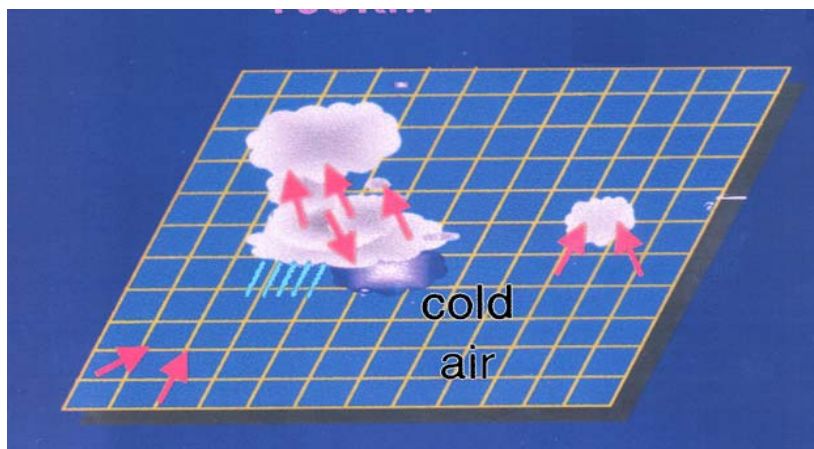
Proc
National Institute of In

Next Generation Climate Model

全球で直接雲を解像するモデルの試み

NICAM: **N**onhydrostatic **I**cosahedral **A**tmospheric **M**odel

- ▶ 海洋研究開発機構と東京大学気候システムセンターとの共同開発
 - ▶ 計算方法において新しい方法を導入
 - 全球準一様格子の採用
 - 全球への非静力学方程式の適用
 - ▶ 水平解像度は数km格子



雲・降水に関するプロセスを直接計算

- ・ 降水を伴う強い下降流（コールドプール）を再現できる。
- ・ 階層構造がしっかり再現される

熱帯の大規模雲擾乱(MJO)の再現に成功！

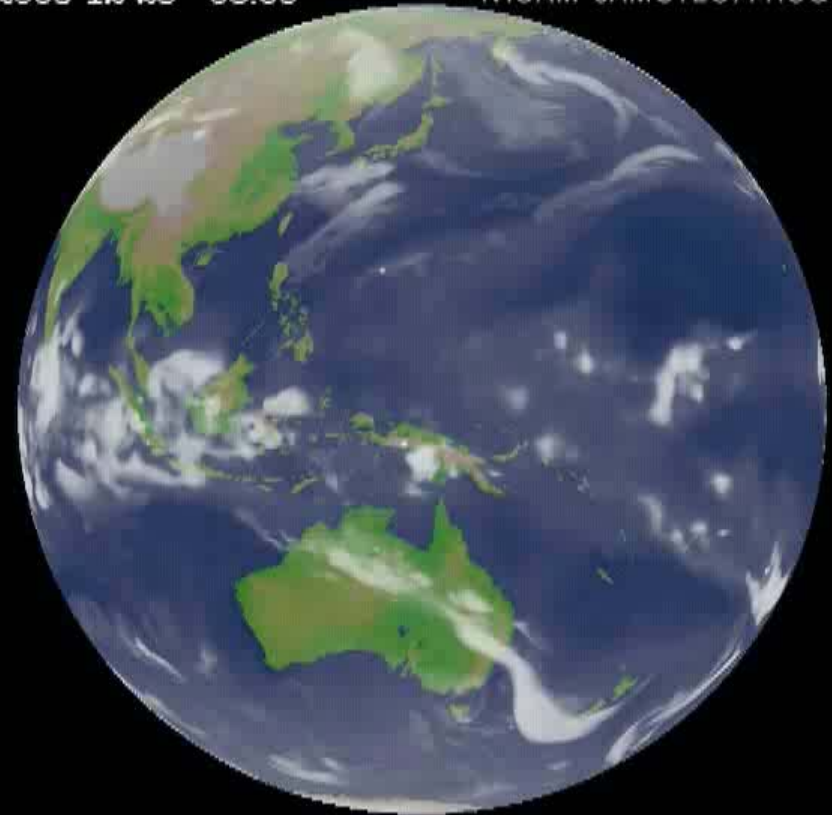
- ▶ NICAM3.5km シミュレーション (Miura et al. 2007, Science)
 - ▶ 一つ一つの積乱雲から、MJOまでの階層構造

MTSAT-1R IRI 06122503JST Kochi Univ.



2006-12-25 03:00

NICAM JAMSTEC/FRCGC



現状のコンピュータで十分ですか？

- ▶ 現状（地球シミュレータ上）
 - ▶ 最高解像度3.5km： 積雲のコアは1km程度
 - ▶ 小規模雲集団以上の階層構造はしっかり表せる。
 - ▶ 一つ一つの雲をあらわに扱うアプローチとしては、まだ解像度不足
 - もっと、解像度が欲しい！

More memory!



- ▶ 積分時間 一週間程度： 気候計算は数10年程度
 - ▶ 全球雲解像モデルの有効性は実証できた。
 - ▶ 気候問題を議論するには積分時間が短すぎる
 - もっと、早いコンピュータが欲しい！

More computer power!



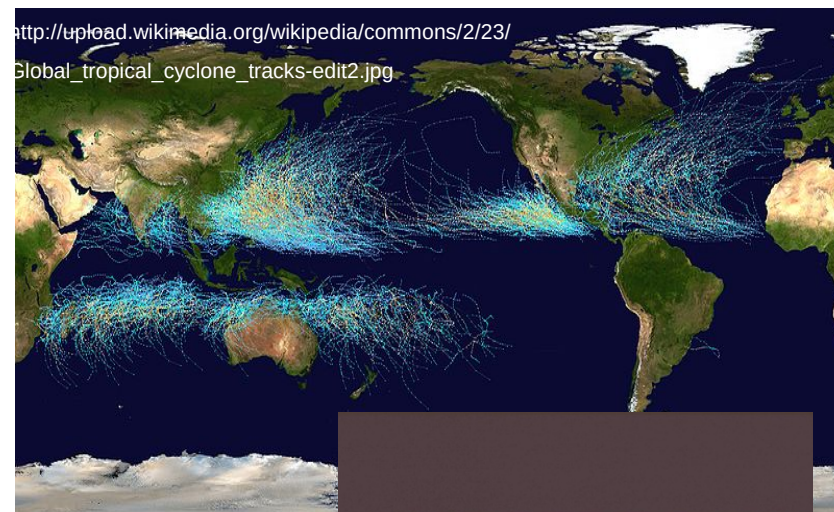
次世代スパコンに期待すること（１）

▶ 次世代スパコン戦略プログラム 分野3：防災・減災に資する気象・気候・環境予測研究

▶ 全球3.5km積乱雲解像モデル による温暖化時の台風の挙動

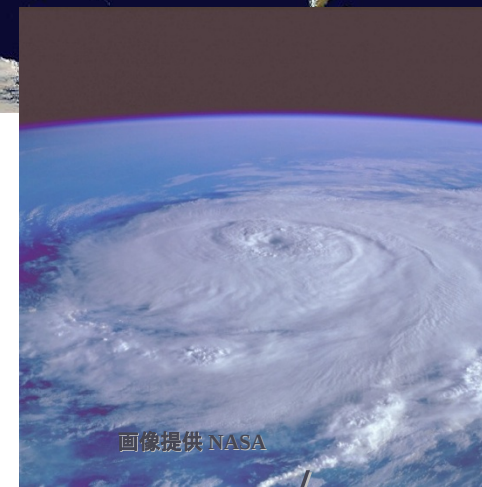
- 規模は大？小？
- 個数は多い？少ない？
- 地域的には？

▶ 温暖化時の 世界的な台風ハザードマップ作成



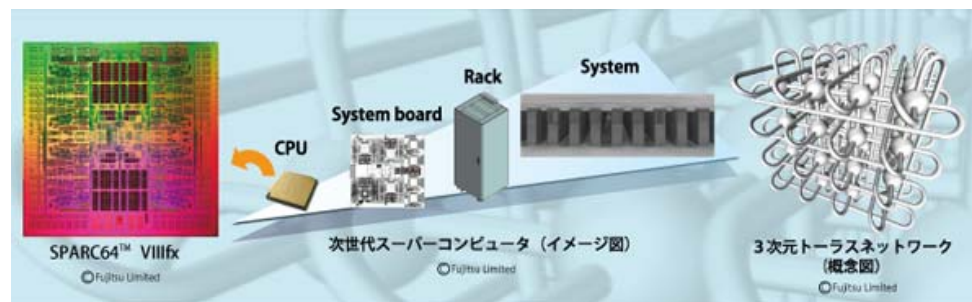
▶ 全球3.5km、1.7km積乱雲解像モデルによる 熱帯気象予報研究

- ▶ モンスーンの挙動予測や
数週間後の台風の発生予測は可能か？
- ▶ もし、出来れば、国際的社会貢献につながる。



次世代スパコンに期待すること（２）

- ▶ グランドチャレンジ(次々世代への架け橋)
 - ▶ 理化学研究所、海洋研究開発機構との共同プロジェクト
 - ▶ 全球400m格子 → 真の意味で「全球雲解像」
 - ▶ フル計算リソース
 - 1PBメモリー、
 - ピーク性能10PFLOPS
 - ▶ 積分期間：一週間程度
 - ▶ 目的：
 - ▶ 400m全球モデルで、
一体何が見えてくるか？
 - 境界層雲の表現向上
 - 積乱雲の精緻な解像による雲力学
 - ▶ フルリソースを使ったときに
計算がうまくいくか？
 - 次々世代スパコンへの提言



野田暁氏提供

ご清聴ありがとうございました。



NASA (<http://dayton.hq.nasa.gov/IMAGES/LARGE/GPN-2000-001097.jpg>)

Next Generation Climate Model

