



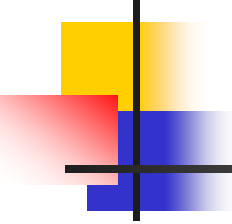
予測の科学

東大

IR3S/TIGS/CCSR

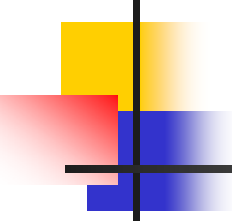
住 明正

「※:このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。」



将来を知ること？(1)

- 神の業
- 占い、あるいは、呪術
- 経験—観天望気、船乗り(航海)
- 日和見、日和山など
- 天気予報を、経験から科学へ
- 数値予報

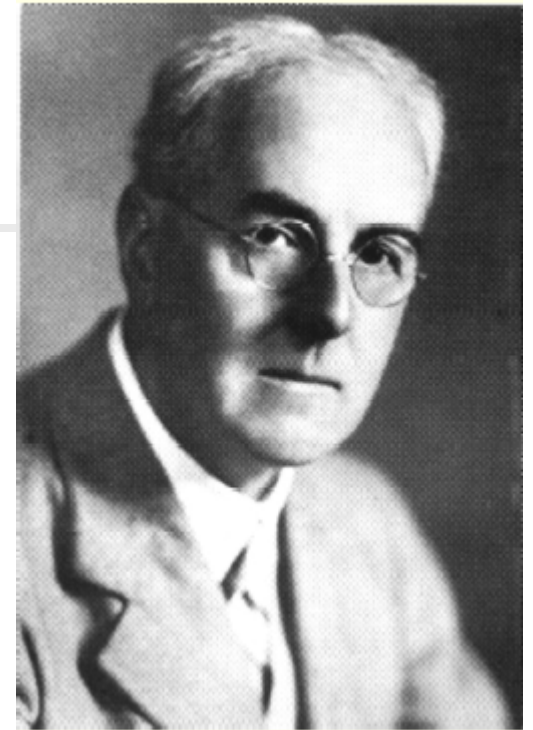


将来を知ること？(2)

- 将来のことは分かるのであろうか？
- 一寸先は闇！
- 分からないことが多くあり、不可能
- 天気は、物理現象であり、法則性があり、予測が可能！
- L.F.Richardsonの試み(1922)
- Richardsonの夢

Richardson の夢(1)

この場所にあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。



†

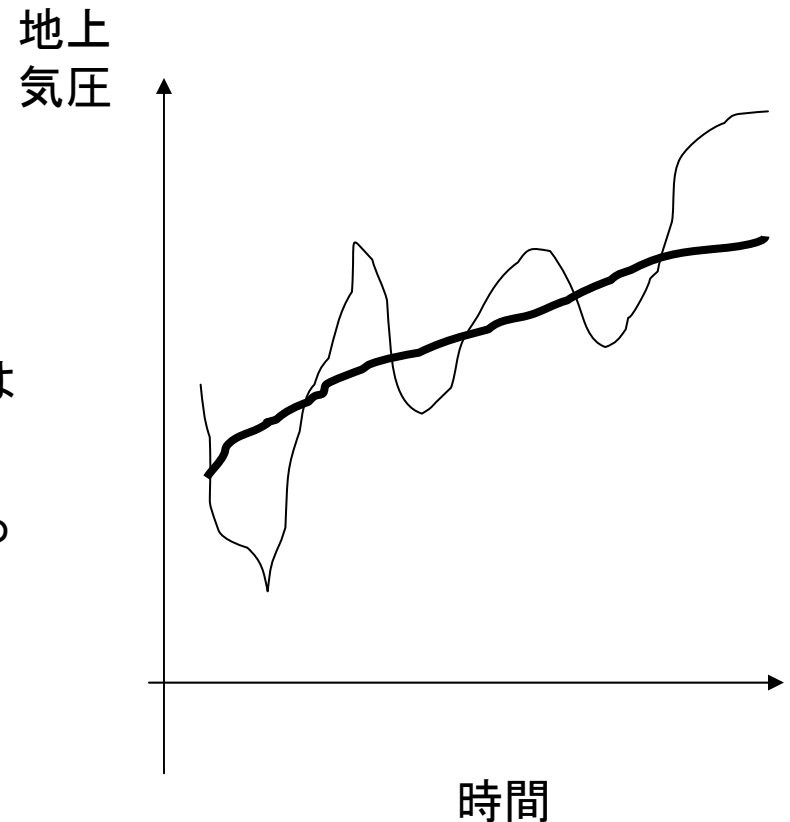
計算を行えば、明日の天気は
わかる！

Richardson の夢(2)

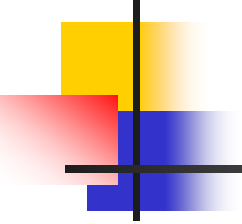
- 数年に及ぶRichardsonの努力は失敗に終わった
- 結果は、6時間で100hPaの地上気圧の低下——実際は、6時間分の計算をしたわけではない
- そこには、さまざまな自然界の仕組みがあった

早い時間スケールの運動と

ゆっくりした時間スケールの運動

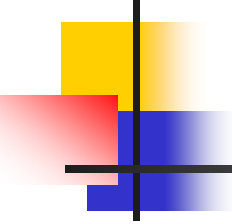


Richardson の夢(3)



この場所にあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

この場所にあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

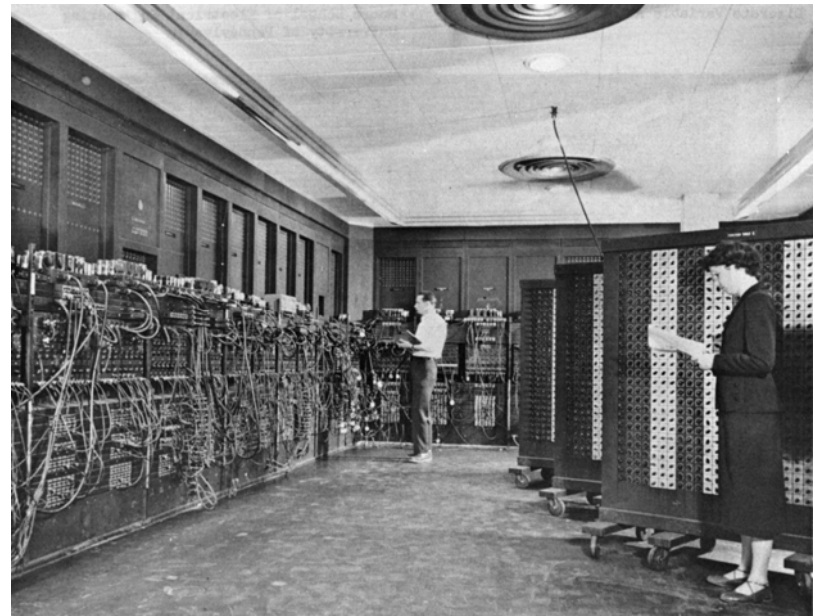


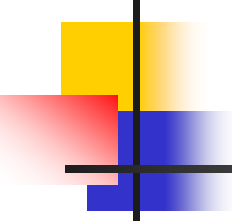
Richardsonの夢の教訓

- 理解が不十分で行うと失敗する
- アイデアを実現する道具がないと失敗する
- しかし、挑戦しなければ、失敗もない
- この失敗を踏まえて、コンピュータの開発と、数値予報、数値シミュレーションが発展してきた

その教訓として

- コンピュータの開発(ノイマン型コンピュータ)
- ENIAC
- 新しい力学フレームの確立(準地衡風力学)
- GFD(地球流体力学の確立)





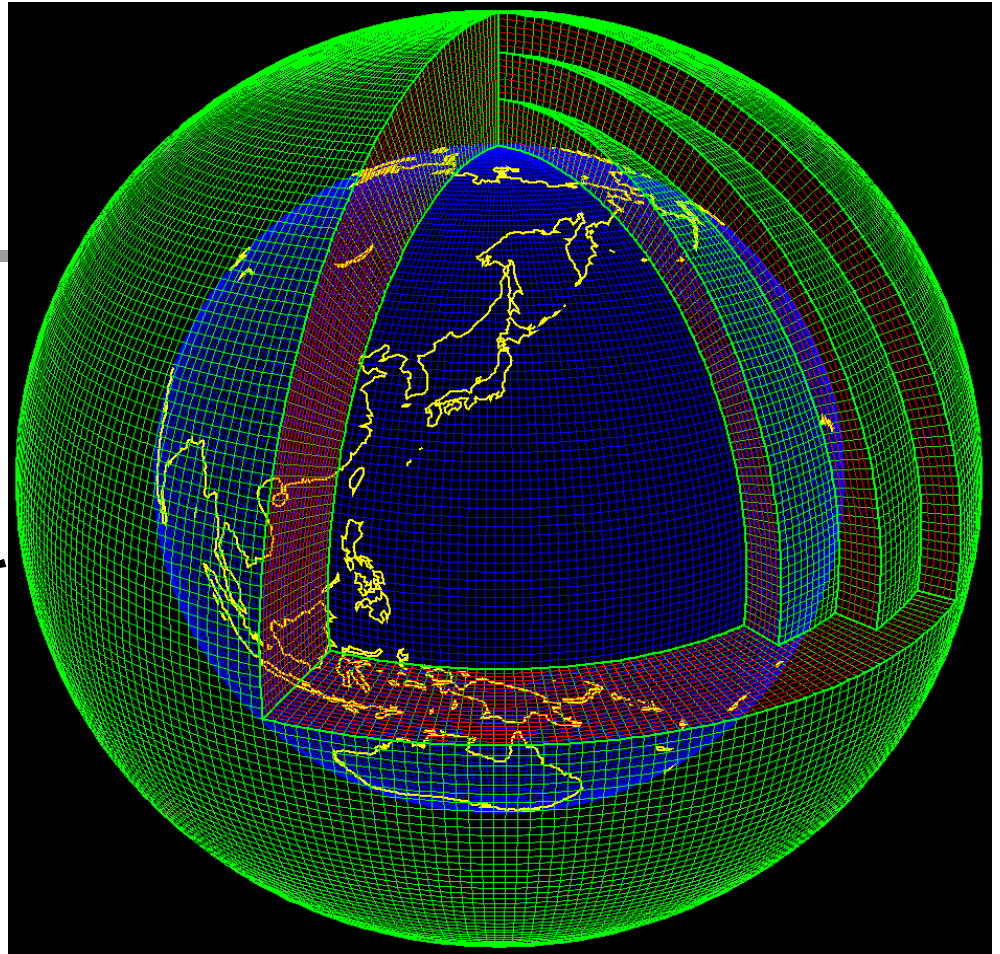
気候モデルとは？

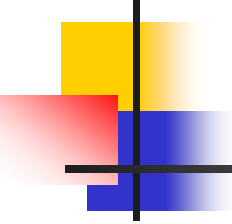
- 気候システムは、様々な、サブシステムから成り立っている
- 地球上を格子点で覆い、各格子点に物理量を表す変数を配置
- 物理量の変化を、物理的な法則や、経験則などを用いて表現
- 数値計算を用いて時間積分

気候モデルとは？



格子で地球を多い、
風や温度、雲などを
計算する

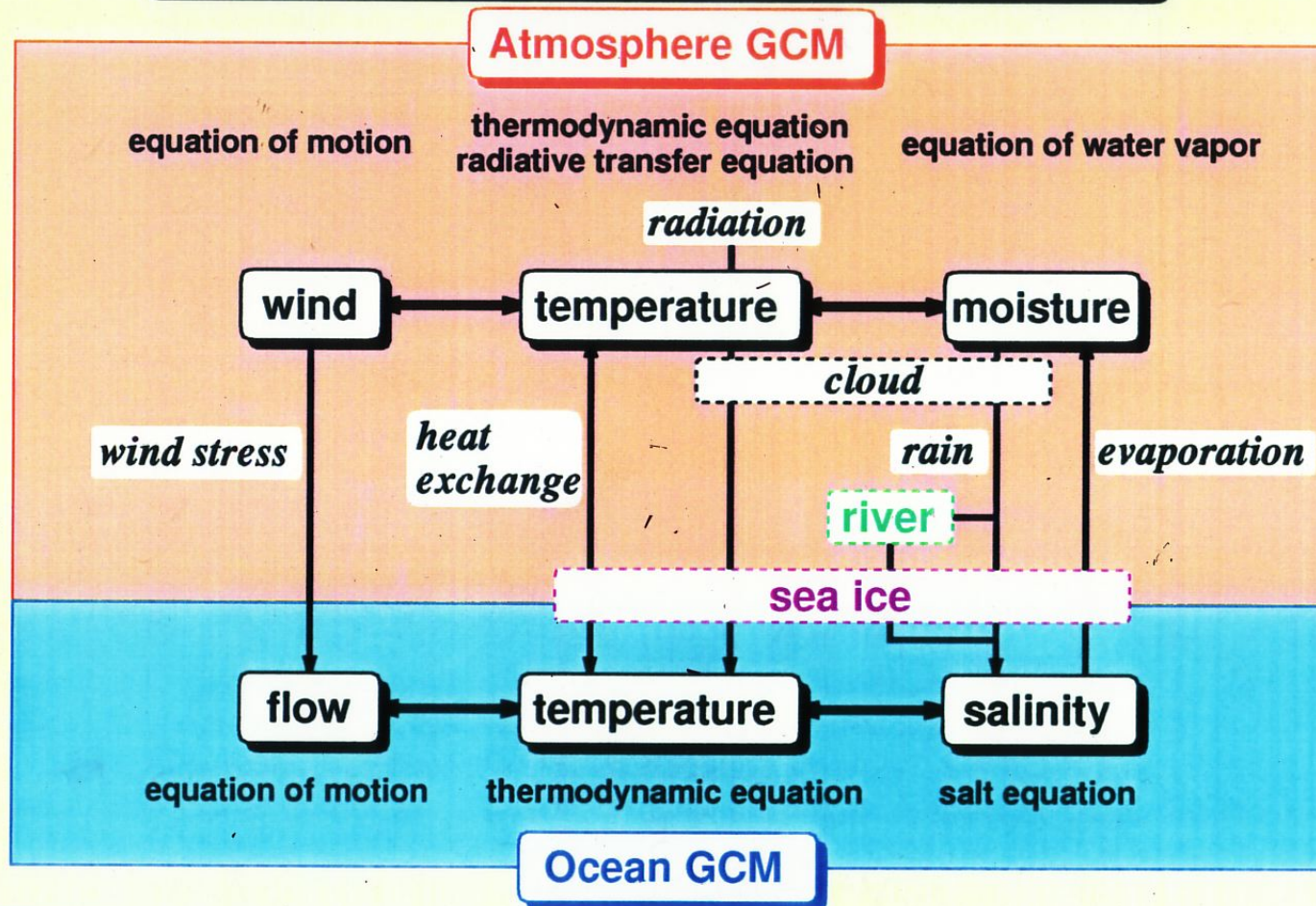


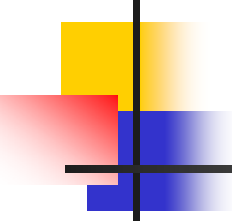


保存式

- 運動量の保存
- 質量の保存
- エネルギーの保存

$$\frac{\partial X}{\partial t} + \nabla \cdot X = \text{Source} - \text{Sink}$$

Coupled Ocean-Atmosphere GCM (COA-GCM)

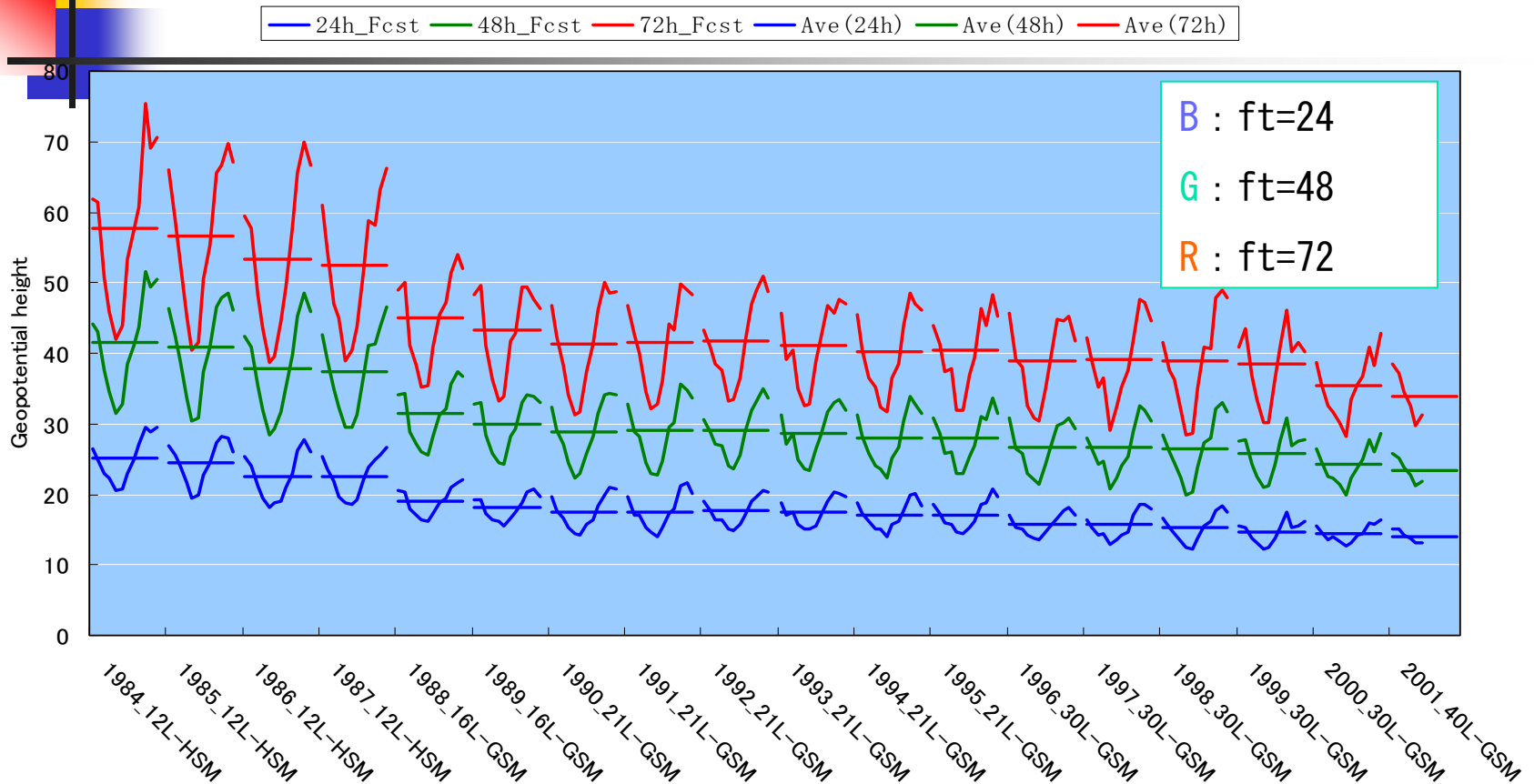


天気予報はスパコンとともに

- NWP—ENIAC(1948?)
- ECMWF—CRAY1(1979)
- The Earth Simulator
- 気象庁でも
- IBM704以降、スパコンを購入してきた
- 天気予報の精度は向上してきた

2. Cloud and convection in the global model

GSM Z500 (20N-90N) RMSE 00UTC/12UTC



88.3, 89.11 Model change

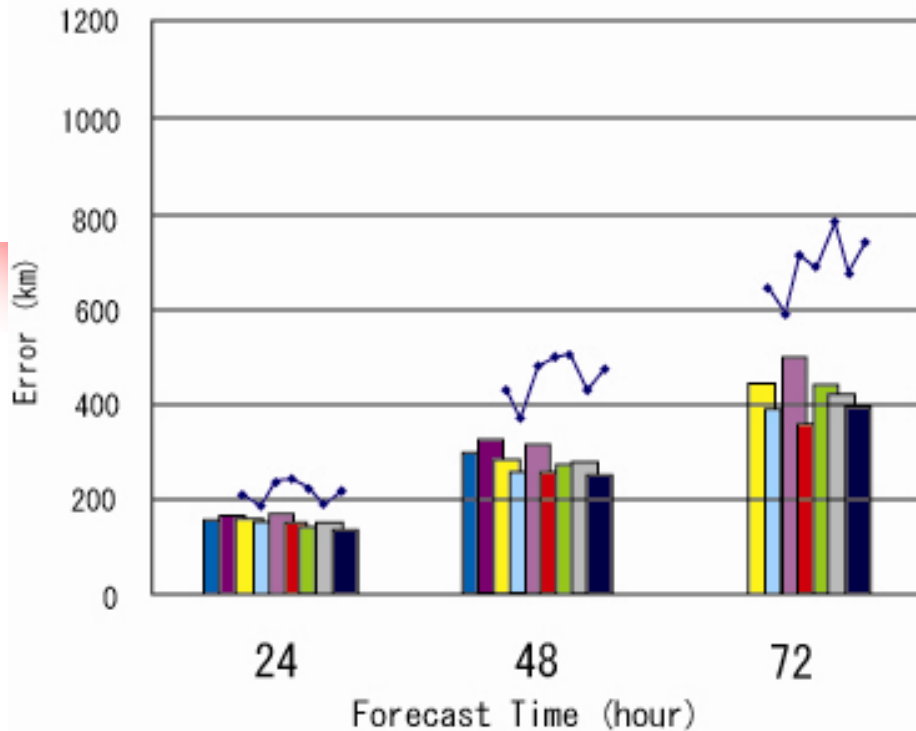
96.3 Arakawa-Schubert scheme

99.12, 01.03 Revise Arakawa-Schubert scheme

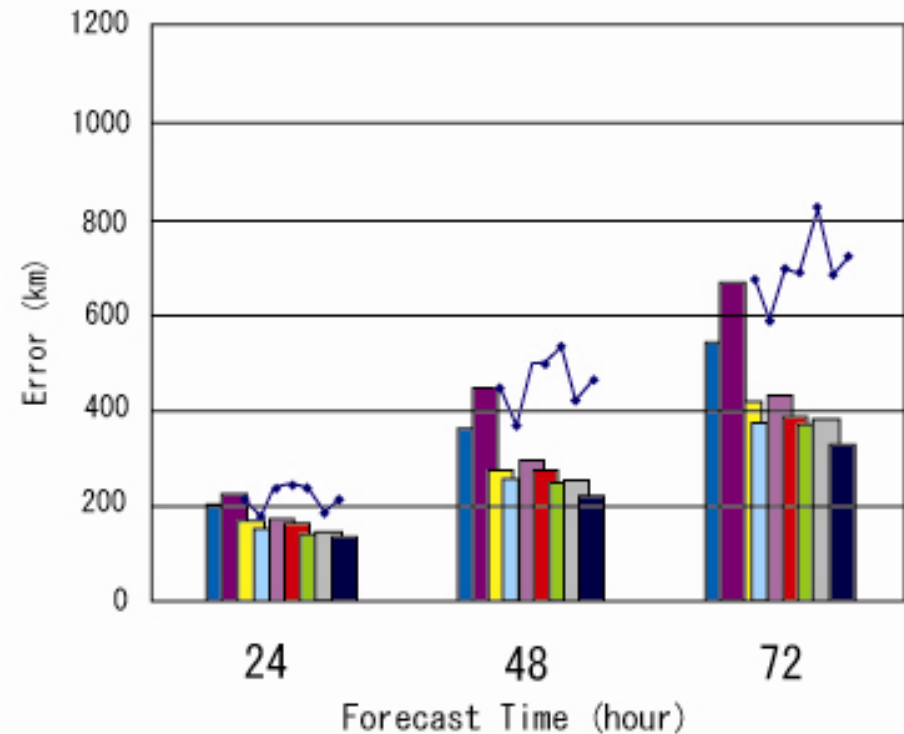
⚡ 気象庁ホームページより

Position errors of TC track forecast by TYM and GSM

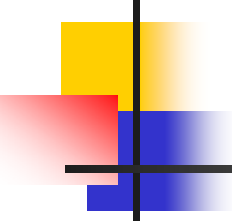
TYM Mean Position Error 1994-2002 (T0222)



GSM Mean Position Error 1994 -2002 (T0222)



■ 1994 ■ 1995 ■ 1996 ■ 1997 ■ 1998 ■ 1999 ■ 2000 ■ 2001 ■ 2002



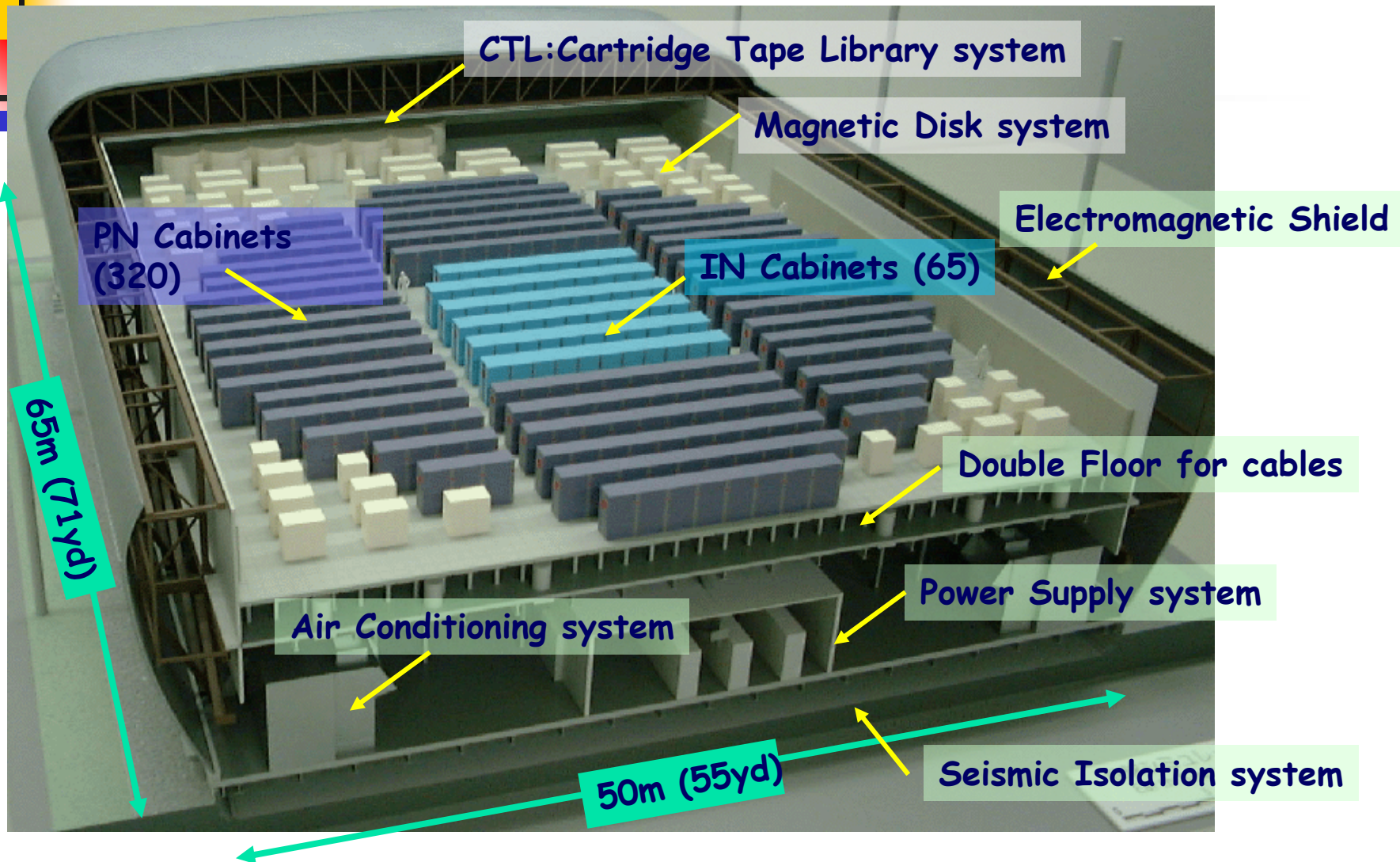
The Earth Simulator

- 97-02 にかけての5年間のプロジェクト！
- Vector-Parallel
- 「様々な批判」が、国内から。
- 海外は評価、時代を変えたインパクトがあった
- ソフトの開発も並行して行われた！

The Earth Simulator



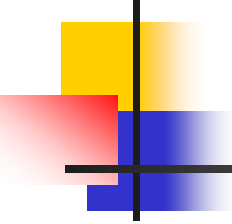
† 提供:独立行政法人海洋研究開発機構/地球シミュレータセンター



† 提供: 独立行政法人海洋研究開発機構/地球シミュレータセンター



✚ 提供:独立行政法人海洋研究開発機構/地球シミュレータセンター

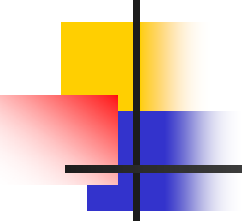


天気とは？

- 雲・雨と太陽放射との相互作用
- 雲を表現
- 数100メートルの分解能が必要
- 領域モデル→グローバル化

TL1023L40 Typhoon forecast

(09 Jul 2002 00UTC, FT=24, GMS-IR forecast images)



この場所にあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

20km-GSM TL1023L40 2002.7.9.00Z FT=24

この場所にあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

GMS-5 obs. 10 Jul 2002 00UTC

Cloud Image

15JST 14 JAN. 2001

GMS-5 :
Visible-Image

この場所にあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

1km-NHM :
Total Water Path

この場所にあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

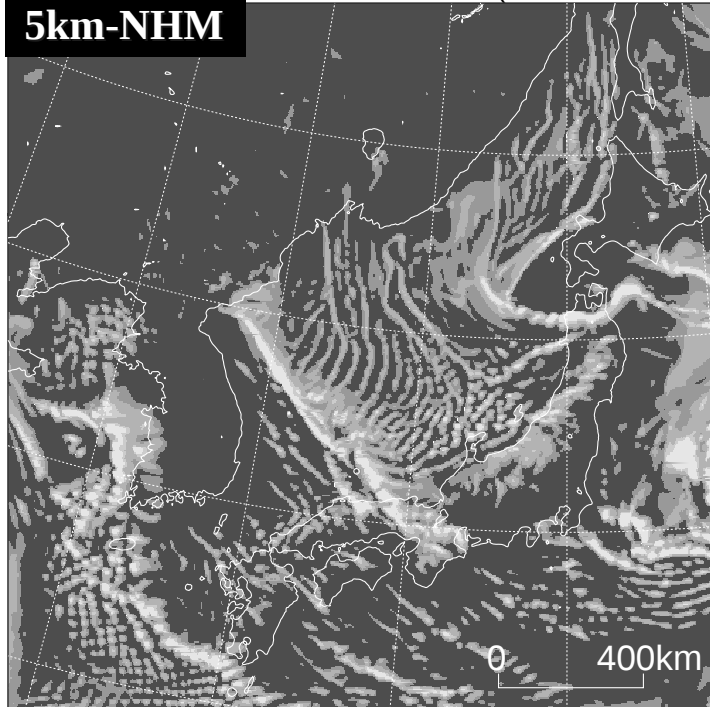
- The 1km-NHM successfully reproduced cloud bands extending southeastward from the base of the Korean Peninsula to the San-in and Hokuriku district over the Sea of Japan.
- Several cloud streets were also calculated around cloud bands.

Dependence by the Horizontal Resolution

Total Water Path : 5 hour forecast (15JST 14 JAN. 2001)

Total Water Path (kg/m/m) 5hour 0min
(Valid:14.1500JST)

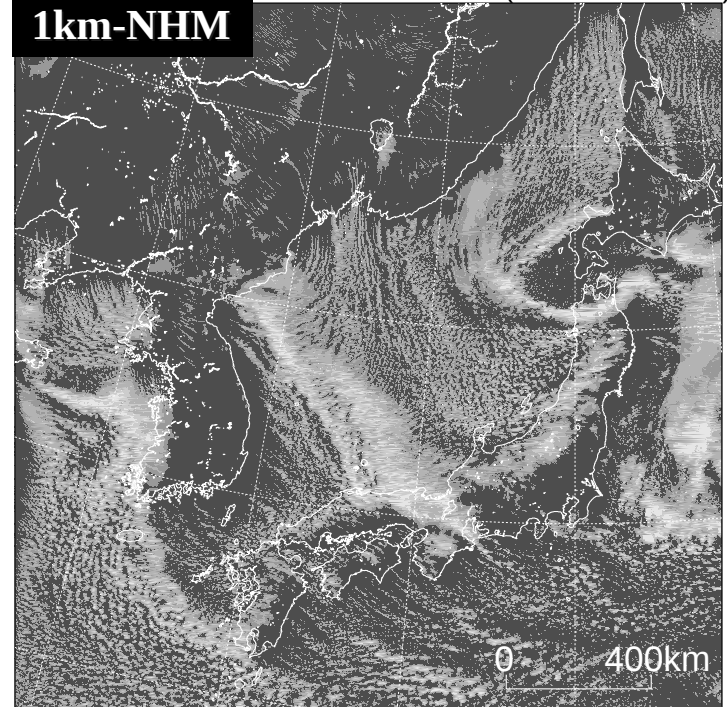
5km-NHM



0.02 0.1 0.5 1.0 1.5

Total Water Path (kg/m/m) 5hour 0min
(Valid:14.1500JST)

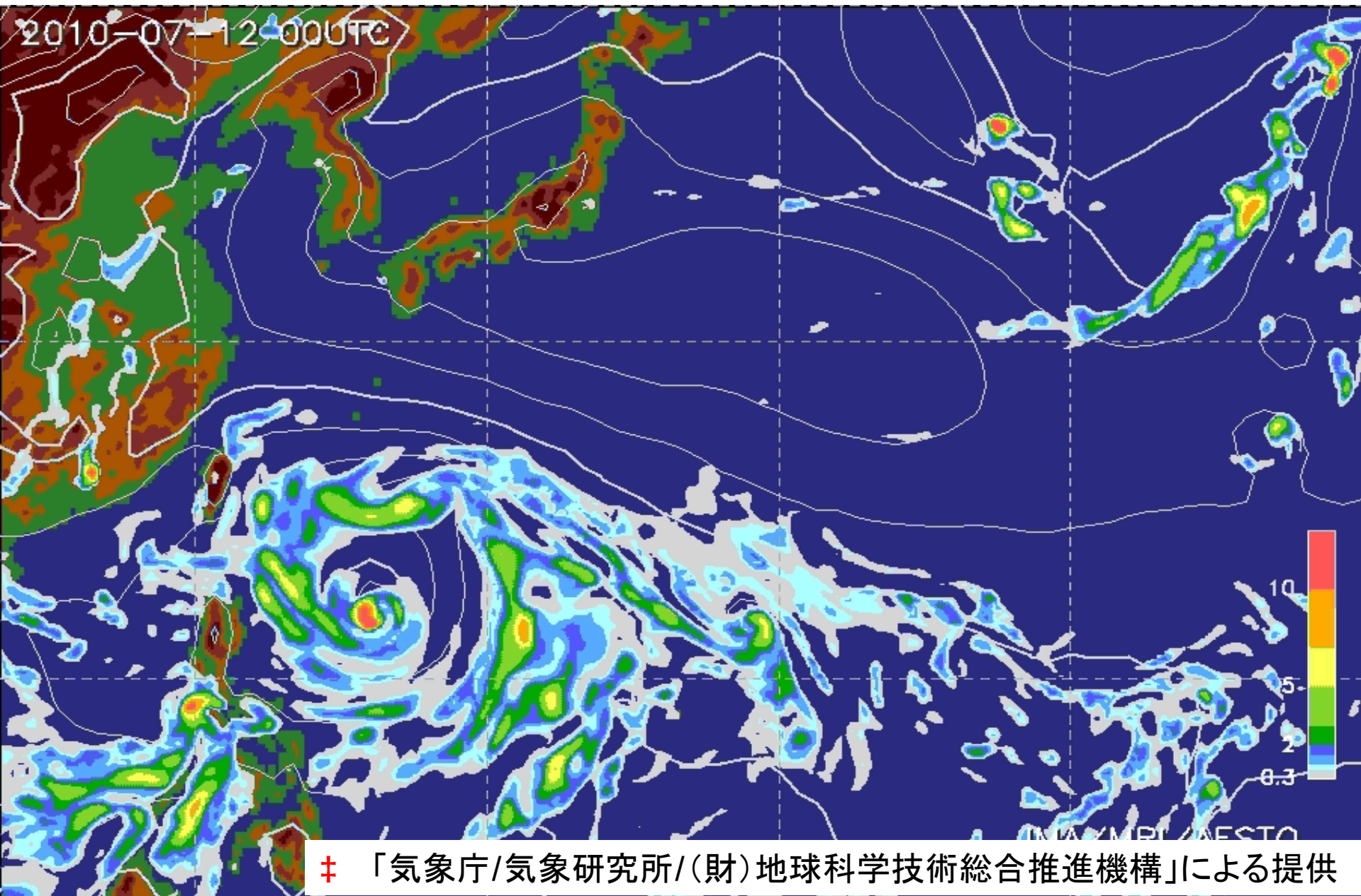
1km-NHM

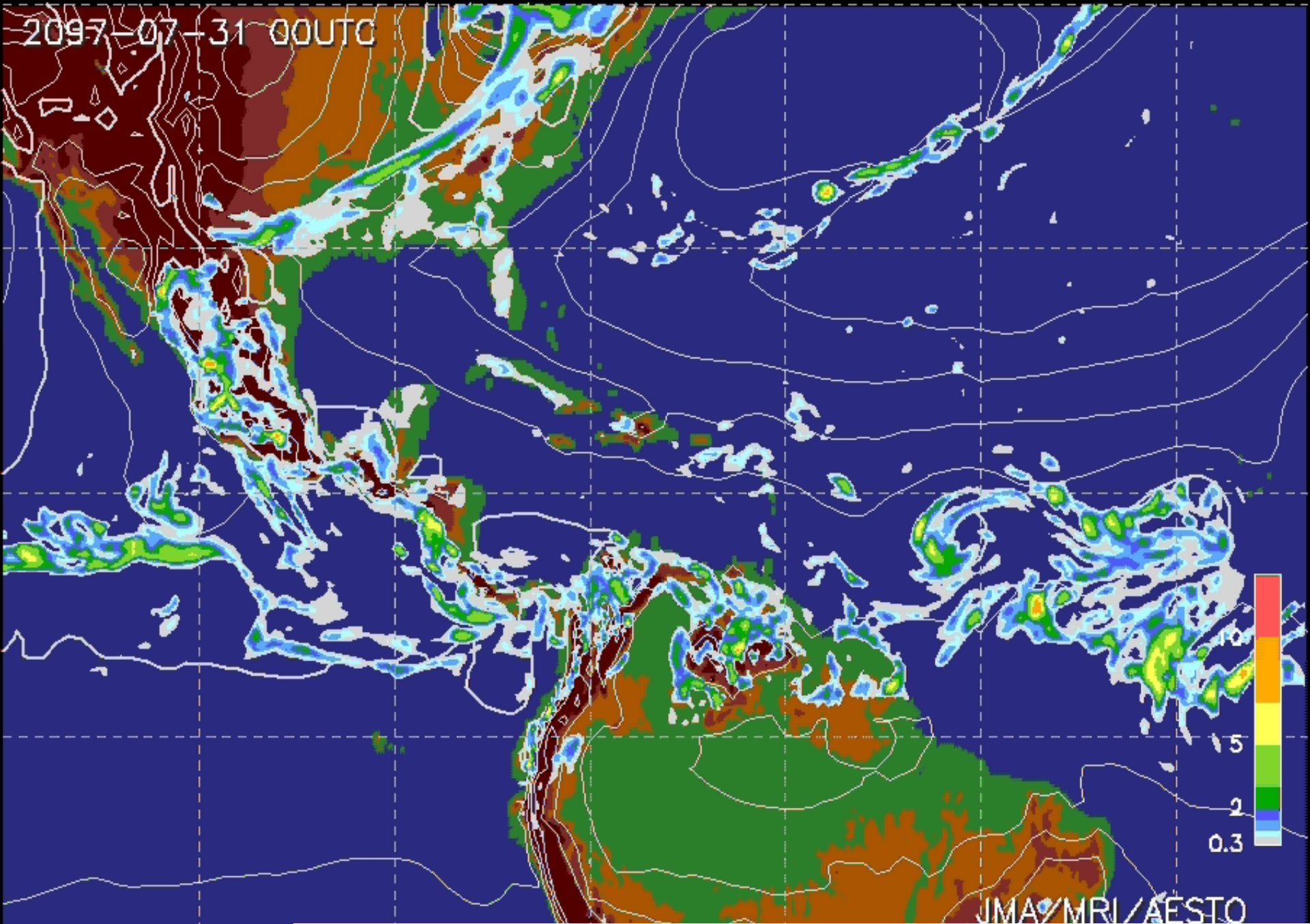


0.02 0.1 0.5 1.0 1.5

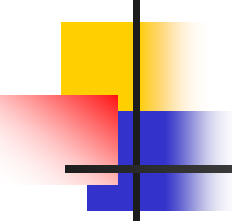
- The 5km-NHM also well reproduced the features of cloud bands and other clouds
- More detailed features have been well reproduced by 1km-NHM.

An extremely intense typhoon appears in the future expt. (AS)
with MIROC Δ SST (max sfc wind 68.8 m/s, CP 877.6 hPa)



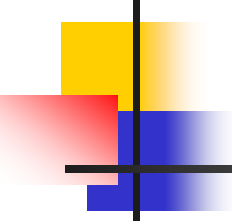


⚡ 「気象庁/気象研究所/(財)地球科学技術総合推進機構」による提供



モデルだけで将来を知ることはできない！

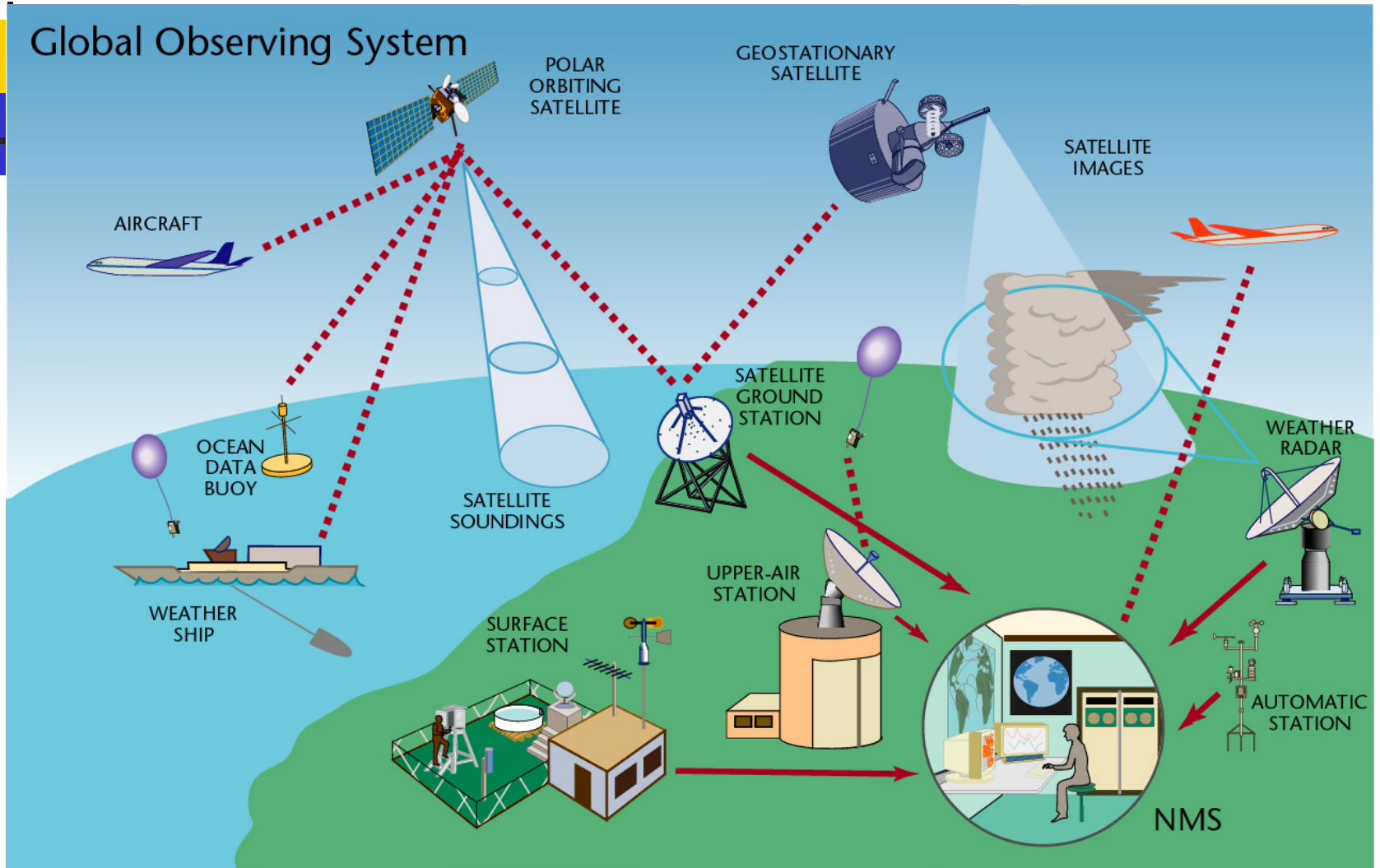
- 現在の状態を知らなければならない！
- 地球を観測する必要がある
- 国際協力が不可欠
- 特に、気象観測は、国際協力の必要な事業
- WMO(世界気象機関)とWWW計画



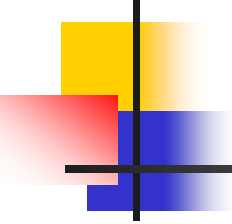
気象の観測から気候の観測へ

- GOS(Global Observing System)
- GCOS(Global Climate Observing System)
- GOOS(Global Ocean Observing System)
- GTOS(Global Terrestrial Observing System)
- GEOSS(Global Earth Observing System of Systems)

Global Observing System



‡ World Meteorological Organization



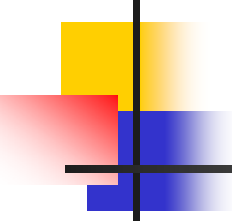
グローバルな認識が重要！

- 地球は広く、観測が困難な地域が多い
- 過去は、探検、特別観測
- しかし、科学・技術は発達する
- 過去には、地球を見ることは不可能であった
- いまや、簡単にTVで見ることが出来る！



Wikipediaより

人類は、神の座を手に入れた！



衛星観測データは

- 21世紀、Sustainability Societyを作るための基盤となる
- Mediaとのlinkー＞情報の大衆化
- 例として
- 熱帯雨林の伐採——fish-bone
- Ozone-hole



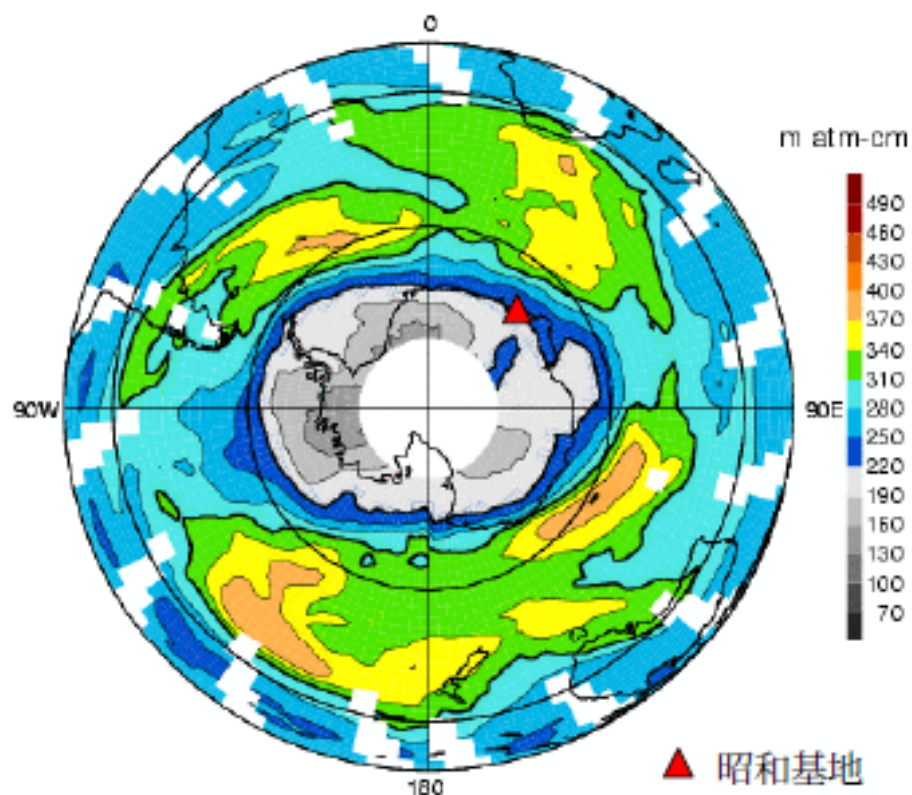
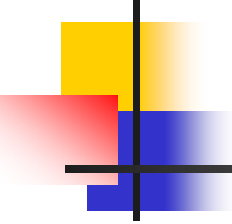


図1 南半球オゾン全量分布図 (9月8日現在)

米国のアースプロープ衛星に搭載されたオゾン全量マッピング分光計 (TOMS: Total Ozone Mapping Spectrometer) から得られたオゾンデータ (米国航空宇宙局 (NASA) 提供)

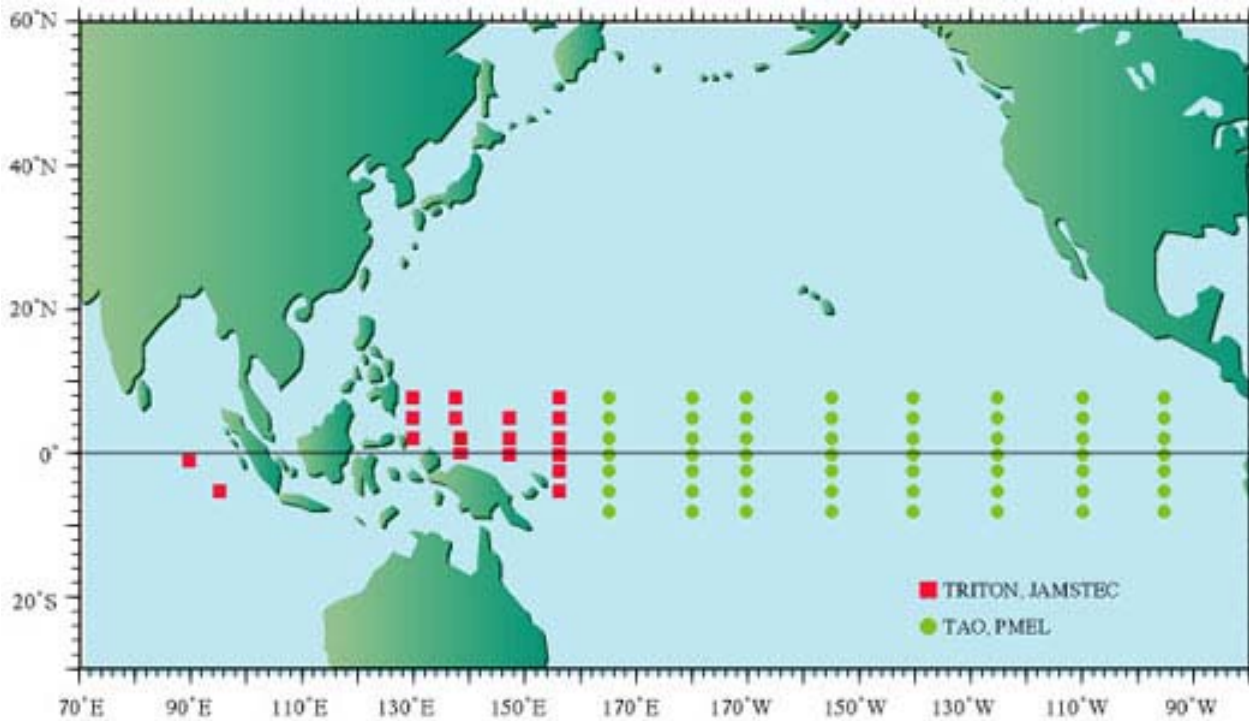
✚ 米国航空宇宙局 (NASA) 提供の映像データをもとに気象庁で作成



宇宙から観測すれば、何でも、 分かるわけではない！

- 海は、地球表面の7割を占める
- 海中には、電波は届かない
- 陸地でも、人の住んでいないところは多くある
- 地上の観測でcheckしなければ、remote sensingのデータは使えない！

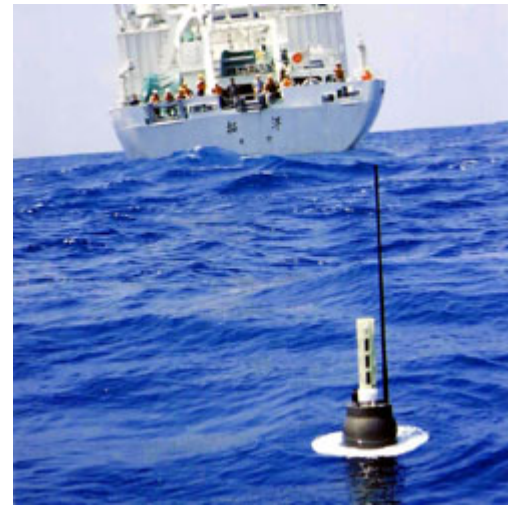
この場所にあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。

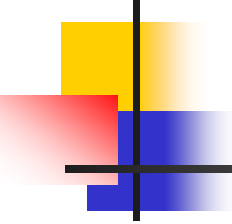


† National Oceanic Atmospheric Administration

アルゴ計画

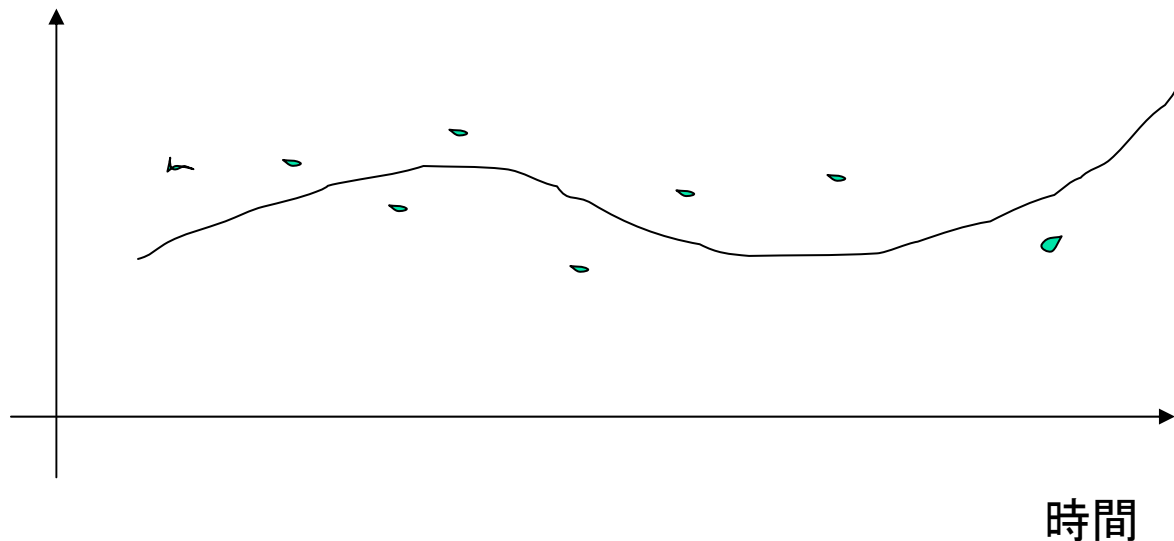
この場所にあった図版は、
著作権処理の都合上、
削除されました。
ご了承ください。





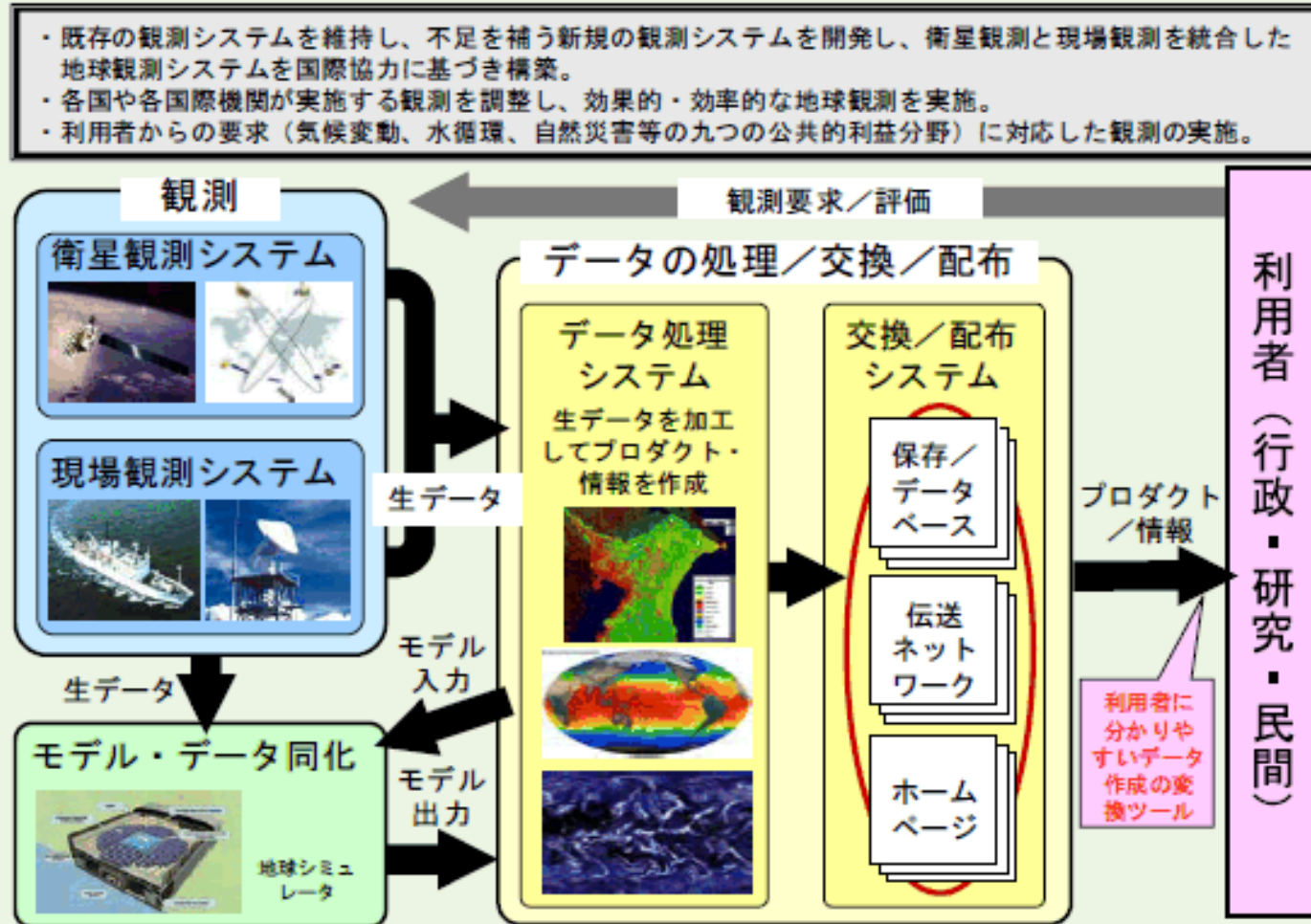
データを解析する手法

- 4次元データ同化システム(4DDA)
- 時空間に散在したデータから、物理法則と整合性のあるような解析値を与える



GEOSS=Global Earth Observing System of Systems

第1-2-17図 ▶ 全球地球観測システム (GEOSS) の構築 (10年実施計画)



OBSERVING SYSTEMS



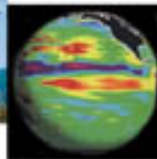
Disasters



Health



Energy



Climate



Water



Weather



Ecosystems



Agriculture



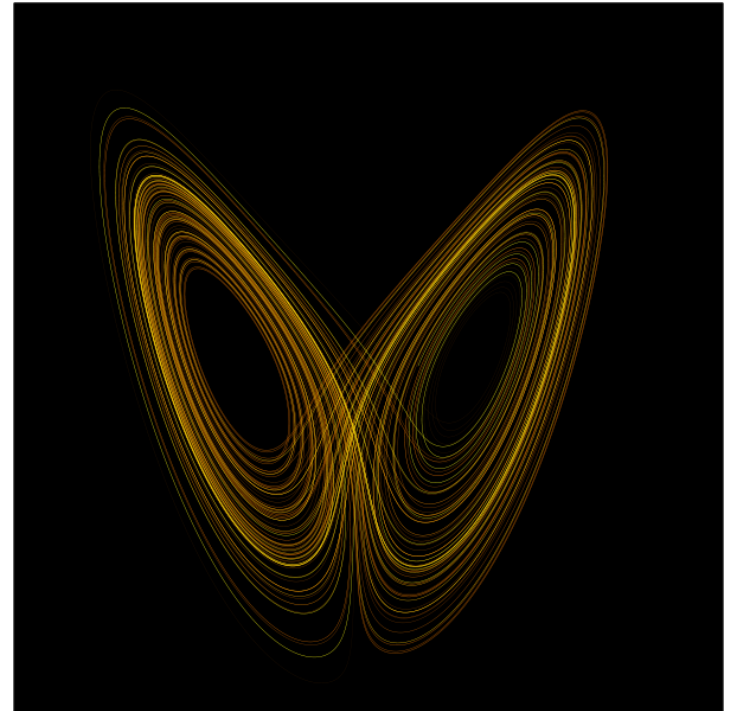
Biodiversity

NINE SOCIETAL BENEFIT AREAS

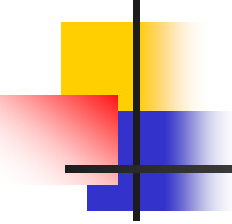
‡ GROUP ON EARTH OBSERVATIONS

未来は決まっていない！

- カオスの発見！
- メカニズムは決まっても、振る舞い、行動は決まっているわけではない



Wikipediaより



まとめ

- 21世紀の社会にとっては、予測は本質的に重要！
- 科学と技術の進展により、予測の精度は向上
- 情報化社会での新しい使用法が可能
- 地球温暖化問題などの、将来の選択に重要！