

「計算科学が拓く世界」第7回

地球・惑星・宇宙と計算科学 3  
スーパーコンピュータを  
用いた気象の予測

防災研究所 榎本 剛

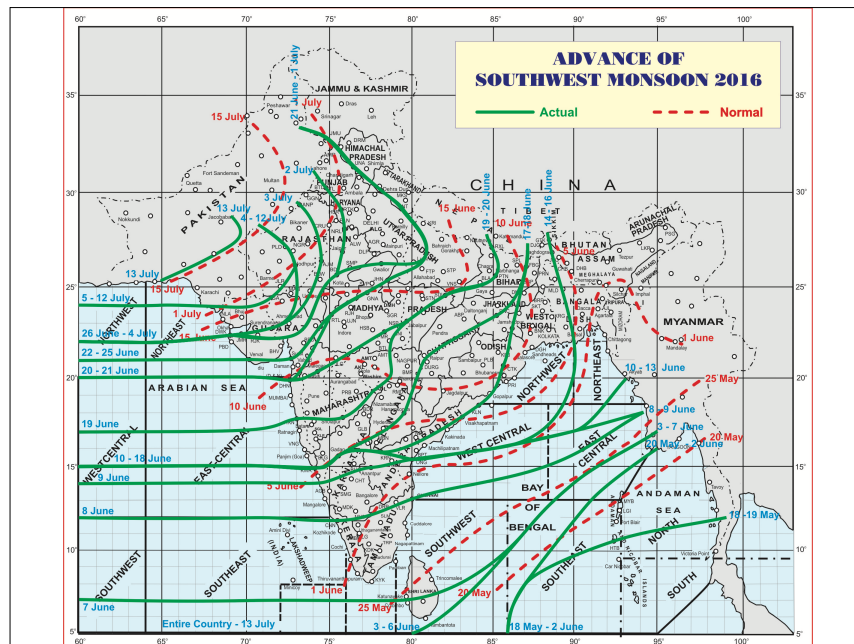
enomoto.takeshi.3n@kyoto-u.ac.jp

2016年11月16日5時限



災害気候研究とは

- ・ 気象学を基礎として、大気組成の変化や、異常気象・異常天候の発現過程や予測可能性、気候変動とその機構を解明
- ・ 大気モデルを用いた数値実験や、長期間の気象海洋観測データ、現業アンサンブル数値天気予報データの解析
- ・ 理学研究科地球惑星科学専攻の協力講座、大気科学分科に所属

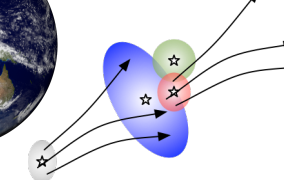


研究の道具

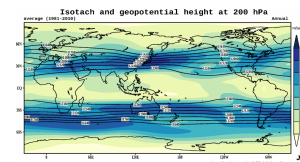
大気大循環モデル



データ同化

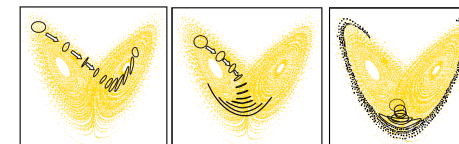


長期再解析



JRA-55 atlas

メカニスティックモデル



## 今日のお話

---

- 数値天気予報の歴史
- 大気大循環モデルによる予測
- 台風進路予測実験
- 課題

## 数値予報の歴史

## 数値天気予報の父たち

---

- V. Bjerknes (1904)  
原理的に数値天気予報は可能
- L. F. Richardson (1922)  
手計算でやってみたが...  
→145 hPa/6hの非現実的な気圧変化
- J. Charney, R. Fjørtoft and J. von Neuman (1950)  
ENIACを使った1日予報

## 数値気象予測のための必要十分条件

---

1. 現在の大気の状態の精度のよい推定値
2. 大気の状態の時間発展を記述する精度の良い方程式系

*BJERKNES, V., 1904: Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik (The problem of weather prediction, considered from the viewpoints of mechanics and physics). – Meteorol. Z. 21, 1–7. (translated and edited by VOLKEN E. and S. BRONNIMANN. – Meteorol. Z. 18 (2009), 663–667).*

Bjerknes 1904

## Richardsonの実験

- 鉛直に積分した浅水モデルでの理想実験
- 傾圧モデルでの気圧変化傾向の試算
- 145 hPa/6hの非現実的な気圧変化
- 将来高速な計算が可能になれば実現しうる夢

## ENIAC: Electronic Numerical Integrator and Computer

- 世界最初の汎用電子計算機（1946年）
- John Mauchly と Presper Eckert が設計
- Mauchly は計算で天気予報をしたいと考え、コンピュータに興味を持った
- cf. Colossus: 英国で Max Herman Alexander Newman が考案し、Thomas Harold Flowers が製作。ドイツの暗号解読に利用

## ENIACによる世界初の数値天気予報

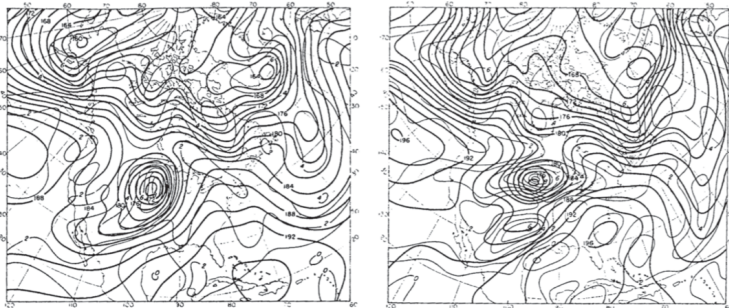


Figure 1. The ENIAC forecast starting at 0300 UTC, 5 January, 1949. Left panel: Analysis of 500 hPa geopotential (thick lines) and absolute vorticity (thin lines). Right panel: Forecast height and vorticity (from Charney, et al., 1950). Height units are hundreds of feet, contour interval is 200 ft. Vorticity units and contour interval are  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . One line is omitted from the southern edge and two lines from the remaining edges.

Lynch and Lynch 2008

## MATLABによる再現

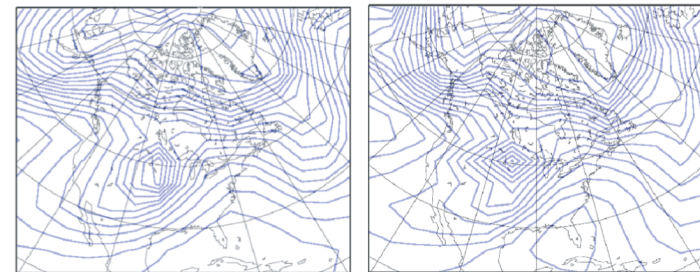


Figure 2. Reconstruction of the ENIAC 24-hour forecast starting at 0300 UTC, 5 January, 1949. Left panel: Analysis of 500 hPa geopotential. Right panel: 24-hour forecast geopotential made with the program eniac.m. No contour smoothing has been applied and boundary rows have been clipped, as in CFvN. The contour interval is 50 m.

Lynch and Lynch 2008

# PHONIAc

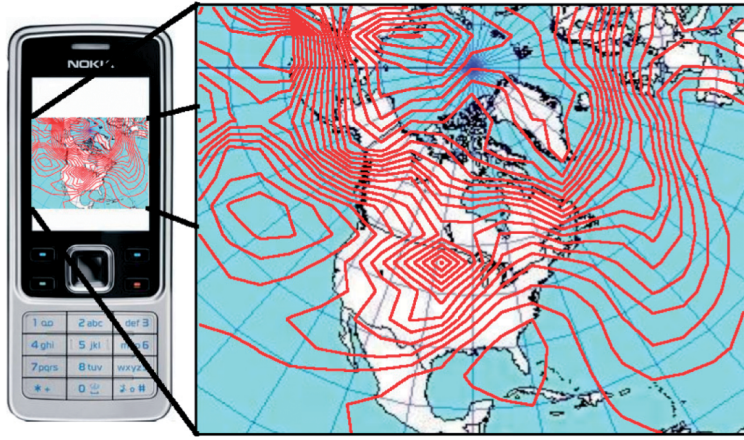


Figure 3. The Nokia 6300, dubbed PHONIAc (left) and the forecast for 0300 UTC, 6 January, 1949 (right) made with the program `phoniac.jar`. The contour interval is 50 m, as in Figure 2. The complete forecast area, including boundary points, is shown.

Lynch and Lynch 2008

# 数値予報精度の向上

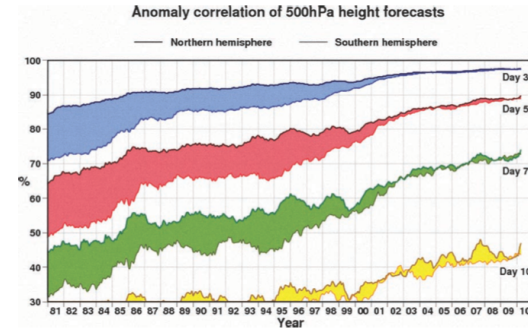
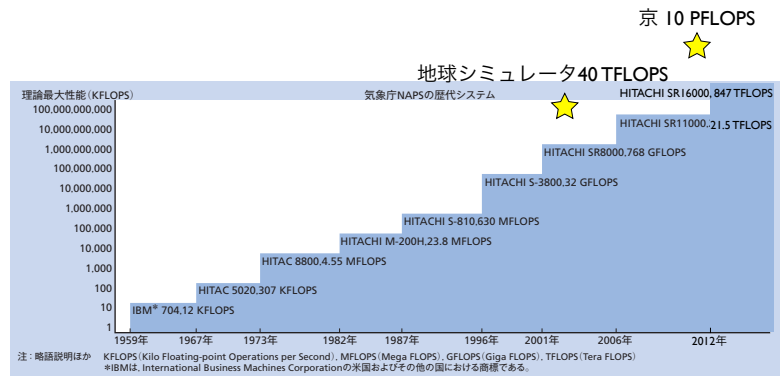


Fig. 1. Evolution of forecast skill for the extratropical Northern and Southern Hemispheres, January 1980–March 2010. Anomaly correlation coefficients of 3-, 5-, 7-, and 10-day ECMWF 500-mb height forecasts plotted as 12-month running means. Shading shows differences in scores between hemispheres at the forecast ranges indicated (adapted and extended from Simmons and Hollingsworth 2002).

Shapiro et al. 2010

# 気象庁NAPS歴代システム



日立評論 2010/5,に室井 (2011)のデータを加筆

# Top 500

NAME	Rmax PFL0P/s
1 Sunway TaihuLight	93.0
2 Tianhe-2 (Milkyway-2)	33.9
3 Titan	17.6
4 Sequoia	17.2
5 Cori	14.0

<https://top500.org>

作者：林小春 来源：新华社 发布时间：2016/6/20 15:25:49 选择字号： 大 中 小

### 全球超级计算机500强发榜 “神威太湖之光”取代天河二号成全球最快超算

新华社华盛顿6月20日电（记者林小春）新一期全球超级计算机500强榜单20日公布，使用中国自主芯片制造的“神威太湖之光”取代“天河二号”登上榜首，中国超算上榜总数量也有史以来首次超过美国名列第一。

据国际TOP500组织当天发布的榜单，“神威太湖之光”的浮点运算速度为每秒9.3亿亿次，不仅速度比第二名“天河二号”快出近两倍，其效率也提高3倍。更重要的是，与“天河二号”使用英特尔芯片不一样，“神威太湖之光”使用的是中国自主知识产权的芯片。

该组织在一份声明中写道：“中国在国际TOP500组织第47期榜单上保持第一名的位置，凭借的是一个完全基于中国设计、制造处理器而打造的新系统。”

“神威太湖之光”由国家并行计算机工程技术研究中心研制，安装在国家超级计算无锡中心。此前，由中国国防科技大学研制的“天河二号”超级计算机已在TOP500榜单上连续六度称雄。

榜单前十名除了“神威太湖之光”与“天河二号”外，其他分别是美国的“泰坦”与“红杉”、日本的“京”、美国的“米拉”和“三一”、瑞士的“代思特峰”、德国的“花尾榛鸡”和沙特阿拉伯的“沙撒U”。

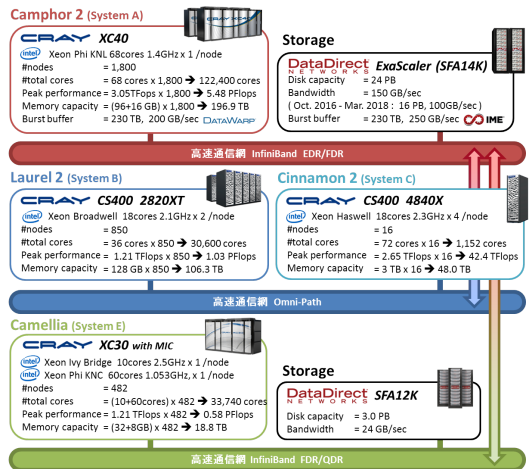
TOP500榜单是对全球已安装的超级计算机“排座次”的权威排行榜。从1993年起，由TOP500国际组织以实测计算速度为基准每半年发布一次。

此次榜单还有一个重大变动是，美国入围的超级计算机总数量首次跌下第一位置。上述声明说，由于过去一些年中国工业和研究部门注册提交的系统数量剧增，中国现在入围的超级计算机数量达到167台，超过美国的165台。此外，由于中国占据TOP榜单头两名，中国在计算性能类别上也居于领先地位。

## November 2016

- 2016/11/14発表。第48回目
- > 1 Pflopsは103システム
- 米国と中国が台数（171），総実効性能（217, 213 Pflops）で拮抗
- 日本は台数（27）ではドイツ（31）に次いで4位だが，総実効性能（52, 35 Pflops）は3位
- 日本一は京から東大・筑波大のOakforest-PACS (25, 13.6Pflops) に
- 京大のCamphor 2 (2.9 Pflops) は33位（日本で4位）

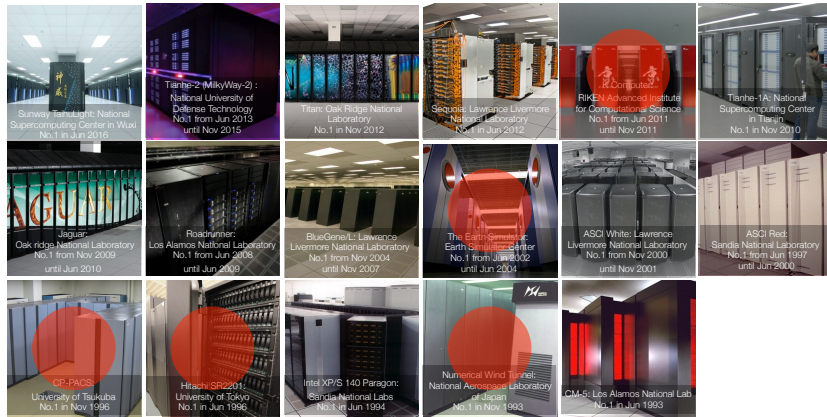
## 本学のシステム



## 現業機関のシステム

- 欧 ECMWF: (3.8 Pflops) 23, 24位
- 英 MetOffice: 11位 (6.5 Pflops), 38, 39位 (2.7 Pflops)
- 韓 Nuri, Miri (2.7 Pflops) 46, 47位
- 仏 Prolix2, Beaufix (2.1 Pflops) 50, 51位
- 米 NOAA: Luna, Surge (1.6 Pflops) 62, 63位
- cf. 気象庁気象研究所: 富士通 (0.94 Pflops) 120位

## 歴代1位のマシン



top500.org  
地球シミュレータの写真を差替

## 大気大循環モデル

## 数値モデル

- ・ 大気の従う法則
- ・ 運動方程式
- ・ 熱力学第一法則
- ・ 連続の式
- ・ 歪格子現象のパラメタ化
- ・ 時空間離散化

```

Terminal — vim — 96x40
(C)Copyright 2002 National Space Development Agency of Japan
! (C)Copyright 2002 Japan Marine Science & Technology Center
!
PROGRAM AFES
! [Basic Parameter Module]
USE MAPARAM , ONLY : APREAD, APASET
! [Physics Grid-point Fields Parameter Module]
USE MP1SDIM , ONLY : P1SDIM
! [MPI Module]
USE MAMPI

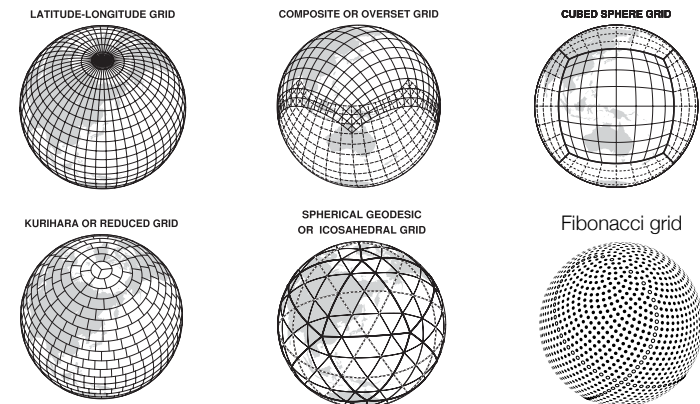
#ifdef CFES
USE cfes_mpi, only : ounit_log, & iivar
cfes_mpi_init, & isub
cfes_mpi_final isub
!
USE cfes_table_interp, &
only : id_ogcm, id_ogcm, & iivar
id_sice, id_land, & iivar
cfes_table_set2 isub
#endif

IMPLICIT NONE

#ifdef CFES
INTEGER(148) :: mygrp, yourgrp
#endif

6000 FORMAT(1X/
3X, '*****'
3X, '***** AFES *****'
3X, '*** Atmospheric General Circulation ***'
3X, '*** Simulation Code ***'
afes.f90
"afes.f90" 122L, 3672C
    
```

## 格子系

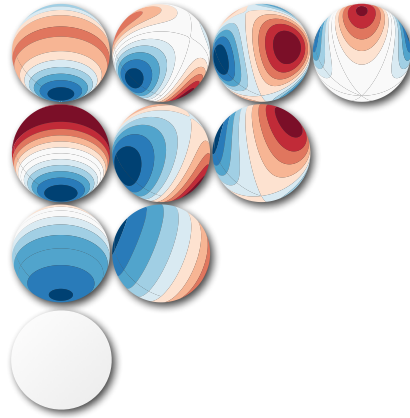


Williamson 2007

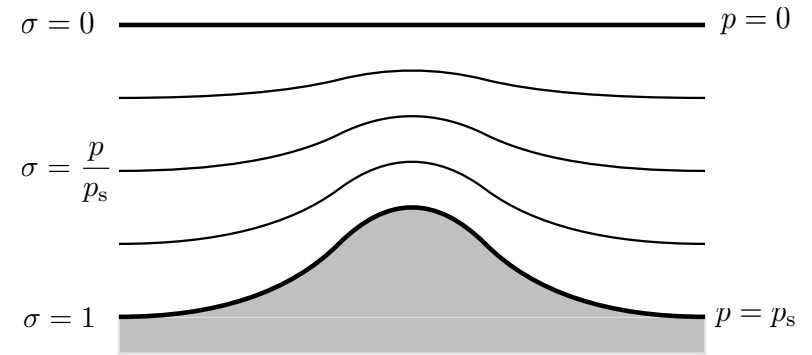
Swinbank and Purser 2006

## 球面調和函数

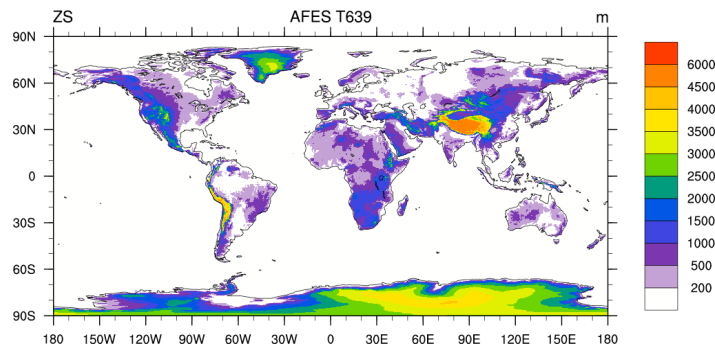
- ・ ラプラス方程式の角度方向の解
- ・ 三角切断で均一な解像度
- ・ スペクトル変換法: 変数を毎回変換
- ・ 例えばT574のTは三角切断, 574は切断波数



## 鉛直離散化

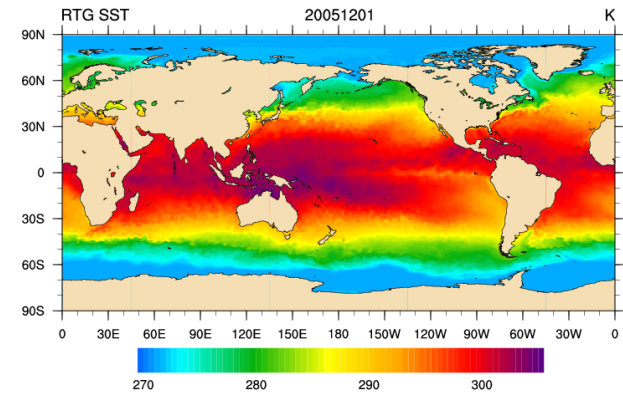


## AFESに用いている地形



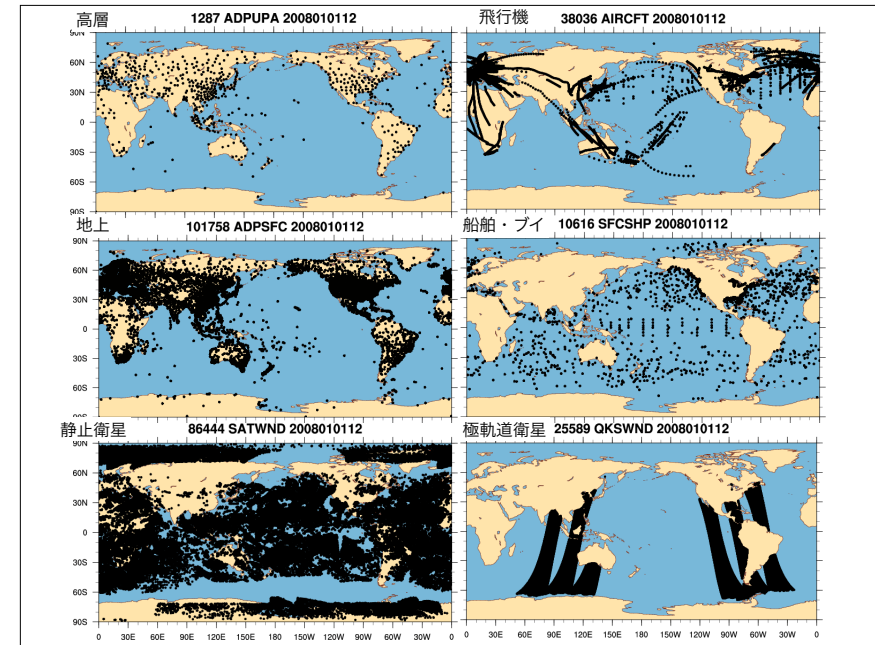
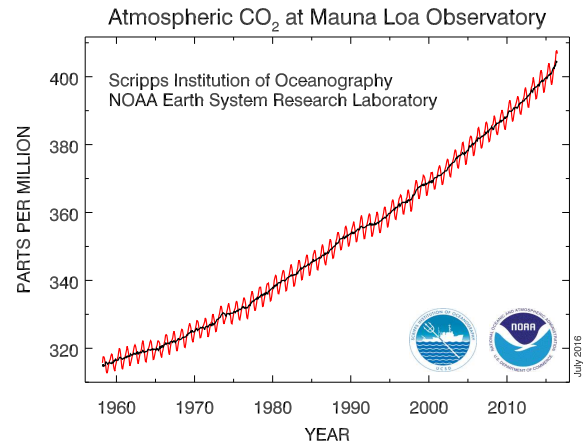
水平解像度 20 km

## 海面水温の例



米国海洋大気庁 RTG 海面水温

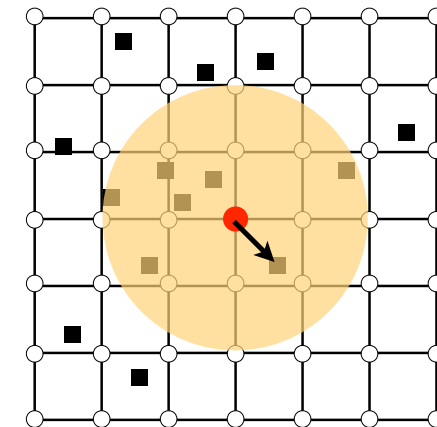
## 二酸化炭素



## 品質管理

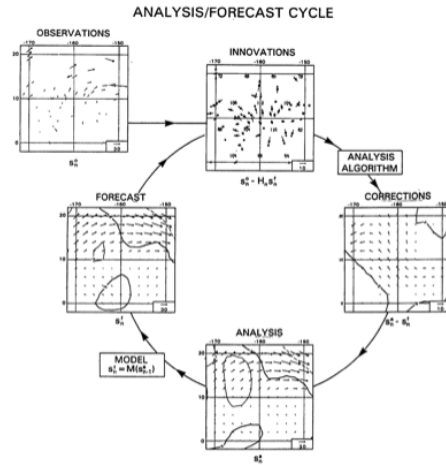
- ・ データが信頼できるか確認。
- ・ 可能なものは修正。
- ・ 気候値や予報値から大きく外れていないか。
- ・ 航路から外れていないか。

## データ同化



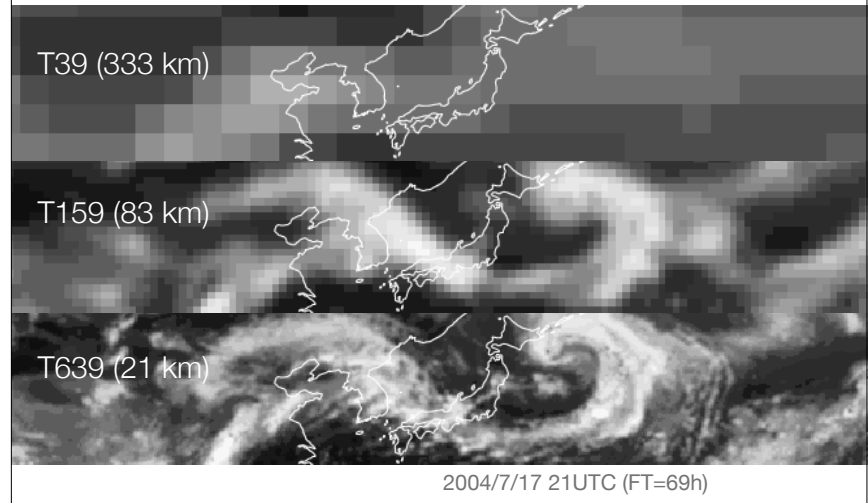


## 予報・解析サイクル



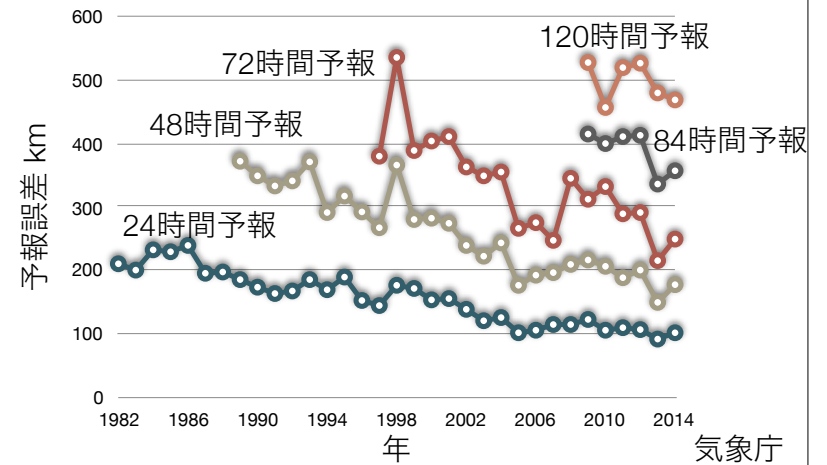
Daley 1997

## 水平解像度依存性

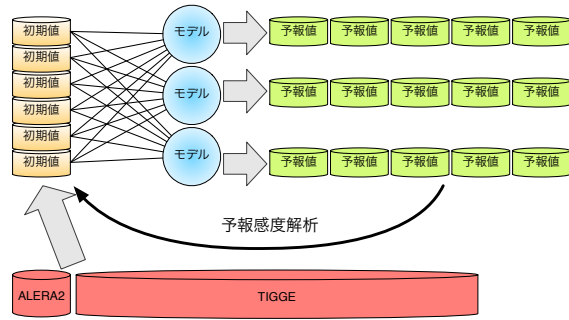


## 台風進路予測実験

## 台風進路予測誤差

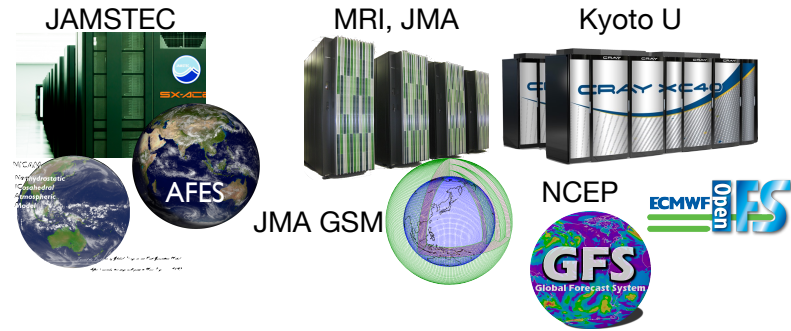


## たすき掛け実験

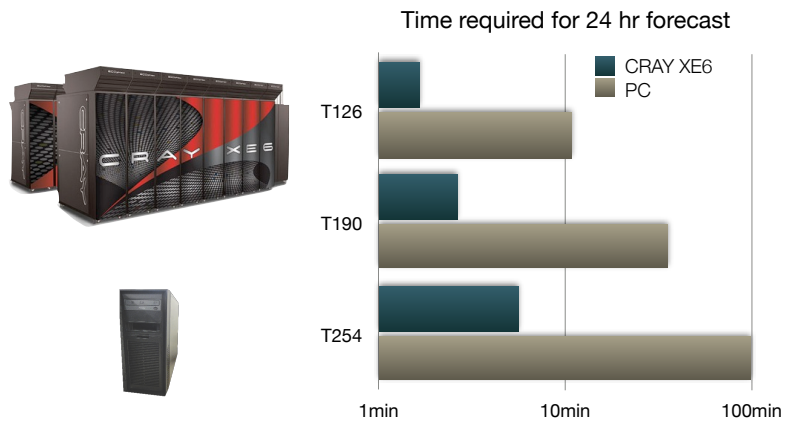


JSPS科研費基盤B 26282111 台風進路予測の変動メカニズムの解明 (2014~2019)

## マルチモデル

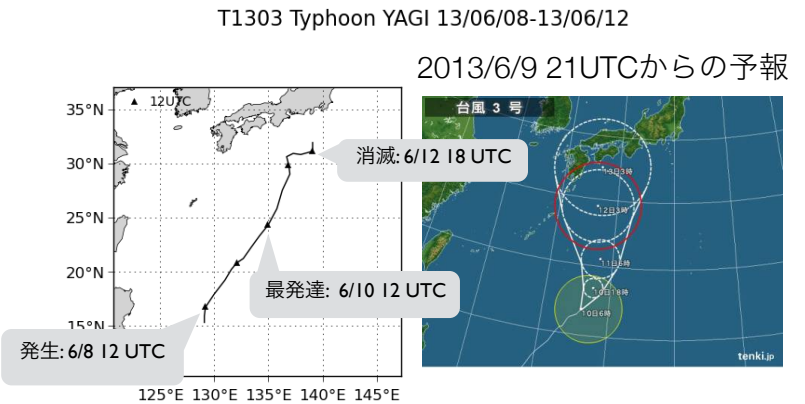


## パソコンとスパコンの比較

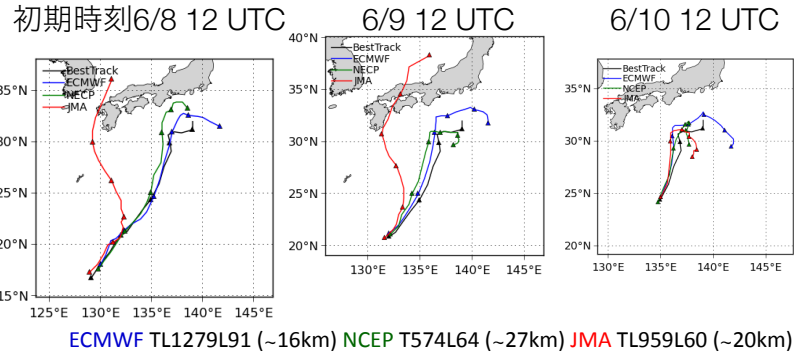


宮地 2014

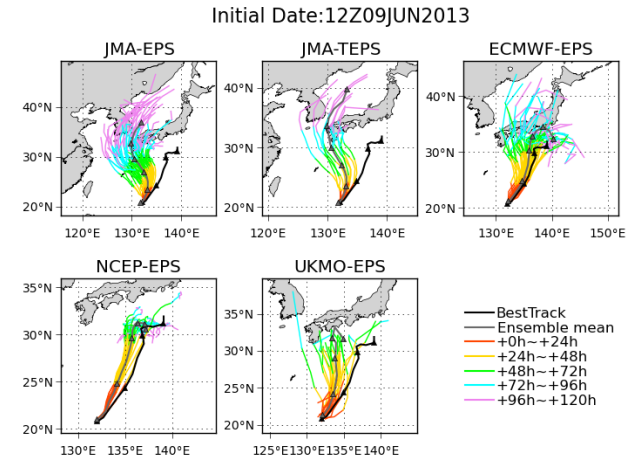
## 2013年台風第3号YAGI



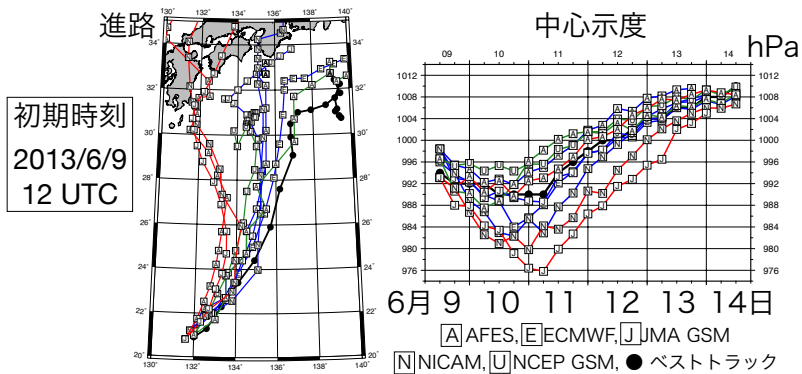
## 決定論的予報



## アンサンブル予報



## マルチモデル実験



## 複数の初期値・モデル実験

- ・ 現業では気象庁が西に大きく外れ、ECMWFがベストトラックに近い。
- ・ 初期値をECMWFに変えるとどのモデルでも進路が東寄りに改善。
- ・ 強度はモデル依存（NICAM, JMA GSMは深すぎ）。
- ・ AFESで切断波数を倍にすると、進路・強度とも改善。

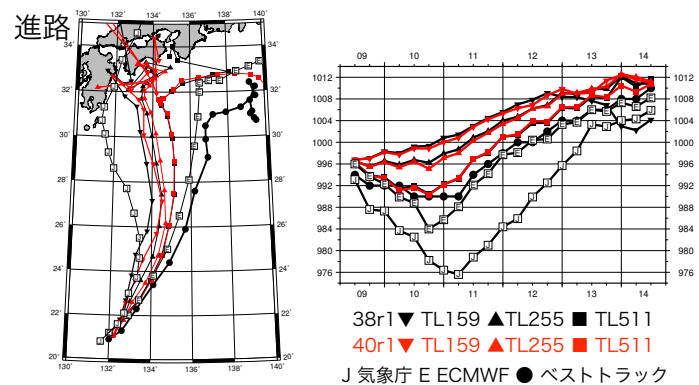
## 現業数値予報モデル

	気象庁	研究目的 再配布禁止 改変を気象庁に提供
	NCEP	不明
	ECMWF	教育研究目的 即時情報提供不可 再配布禁止

## 実験設定

- OpenIFS Cy38r1/**Cy40r1**, TL159, 255, 511L60
- 初期値: ECMWF現業解析
- 初期時刻: 2013060812, 0900, 0912, 1000, 1012
- 時間刻み幅: 3600 s (TL159L60), 2700 s (TL255L60), 1200 s (TL511L60)
- Mac Pro 2013/Mac mini 2012 cluster

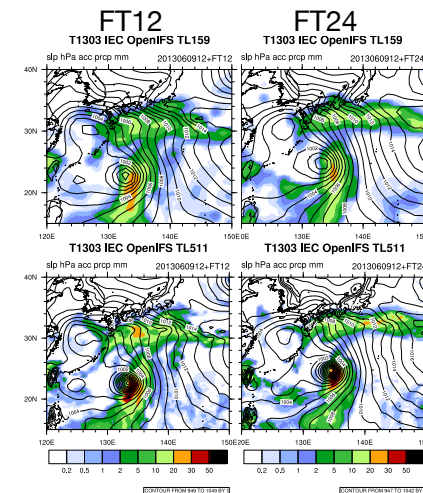
## OpenIFSによる進路予測



前6時間  
積算降水量

TL159

TL511



初期時刻  
2013/6/9  
12 UTC