

「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

2015年11月18日5時限



今日のお話

- ・ 数値天気予報の歴史
- ・ データ同化
- ・ 大気大循環モデル
- ・ 台風進路予測
- ・ 課題

災害気候研究とは

大気組成の変化や、大気や海洋の循環変動による異常気象・異常天候の発現過程や予測可能性、気候変動とその機構に関する研究

大循環変動を理解し、予測精度の向上を通じて気象災害の減災に資する

数値予報精度の向上

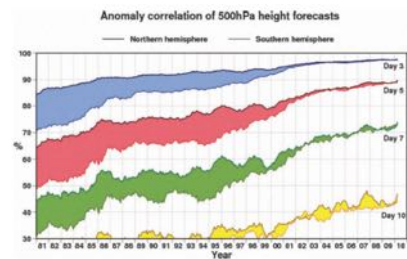


Fig. 1. Evolution of forecast skill for the extratropical Northern and Southern Hemispheres, January 1980–March 2010. Anomaly correlation coefficients of 3-, 5-, 7-, and 10-day ECMWF 500-mb height forecasts plotted as 12-month running means. Shading shows differences in scores between hemispheres at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

Shapiro et al. 2010

研究の道具

大気大循環モデル

データ同化

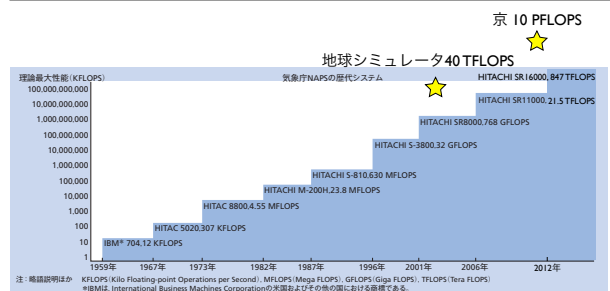
長期再解析

Onogi et al. 2007

メカニスティックモデル



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



新闻

“天河二号”获全球超算六连冠



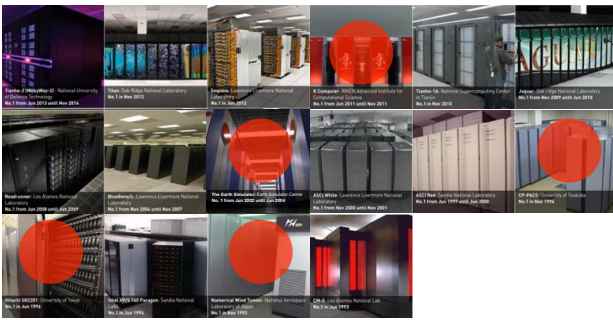
新华网华盛顿11月16日电(记者林小春)新一期全球超级计算机500强榜单16日在美国公布,中国“天河二号”超级计算机连续第六度称冠。一个引人注目的变化是,中国入围这一榜单的超算数量比上期激增了近2倍,而美国上榜数量却降至历史最低水平。

据国际TOP500组织当天发布的榜单,第一名“天河二号”的浮点运算速度为每秒33.86千万亿次,第二名美国“泰坦”的浮点运算速度为每秒17.59千万亿次,第三名至第五名依次为美国“红杉”、日本“京”和美国“米拉”超级计算机。实际上,这5台超级计算机的排名自2013年6月以来就没有变化。

数值天気予報の父たち

- V. Bjerknes (1904)
原理的に数值天気予報は可能
- 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

歴代1位のマシン



top500.org
地球シミュレータの写真を差替

数值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. BRO) NNIMANN. – Meteorol. Z. 18 (2009), 663–667.

Bjerknes 1904

数值予報の歴史

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

物理法則

- ・ 運動方程式
- ・ 熱力学の式
- ・ 連続の式

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial N_u}{\partial \lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial N_u}{\partial \mu} - D(C), \quad (1)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = \frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial N_u}{\partial \lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial N_u}{\partial \mu} - \nabla^2 (E + \Phi + RT_0 \ln p_0) - D(\delta), \quad (2)$$

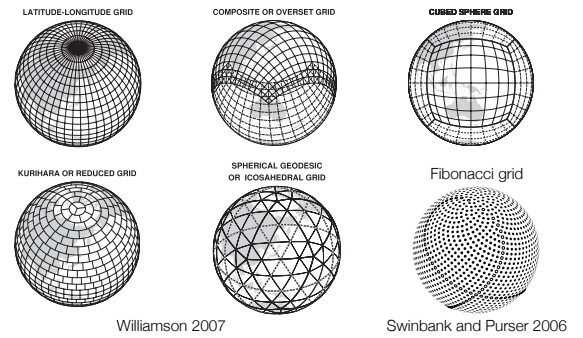
$$\frac{\partial T^*}{\partial t} = -\frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial (UT^*)}{\partial \lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial (VT^*)}{\partial \mu} + T^* \delta - \sigma \frac{\partial T^*}{\partial \sigma} + \frac{RT_0 \omega}{c_p \sigma p_0} + \frac{Q_{\text{net}}}{c_p} - D(T^*), \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial (Uq)}{\partial \lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial (Vq)}{\partial \mu} + q \delta - \sigma \frac{\partial q}{\partial \sigma} - D(q), \quad (4)$$

$$\frac{\partial \ln p_0}{\partial t} = -\int_0^1 \left(-\frac{U}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial \ln p_0}{\partial \lambda} + \frac{V}{a} \frac{\partial \ln p_0}{\partial \mu} + \delta \right) d\sigma, \quad (5)$$

大気大循環モデル

格子系



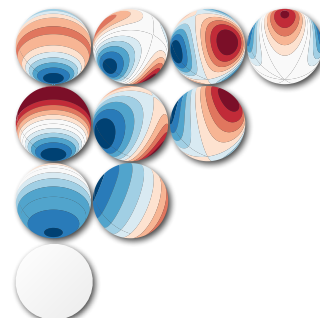
数値モデルとは

- ・ 物理法則をプログラムで表現
- ・ 離散化
- ・ パラメタ化

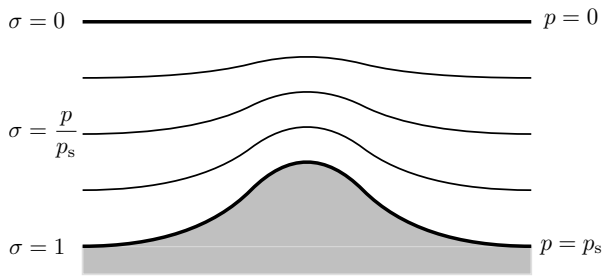
```

#NAME: WRF
#TITLE: WRF Model
#AUTHOR: WRF Team
#INSTRUMENTS: WRF
#SYSTEM: WRF
#VERSION: 3.8.1
#MODELS: WRF
#COMPILED: 2010-01-01
#DESCRIPTION: WRF Model
#REFERENCES: WRF Team, WRF Model, WRF Model, WRF Model
#CONTACT: WRF Team
#URL: http://www.wrf-model.org
#KEYWORDS: WRF, WRF Model, WRF Model, WRF Model
    
```

球面調和函数

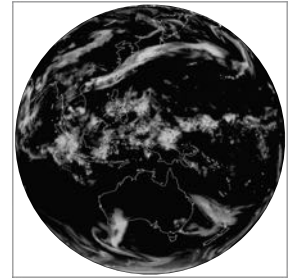


鉛直離散化



AFES

- ・ 地球シミュレータ用
大気大循環モデル
- ・ スペクトル変換法
- ・ 格子間隔～約10 km

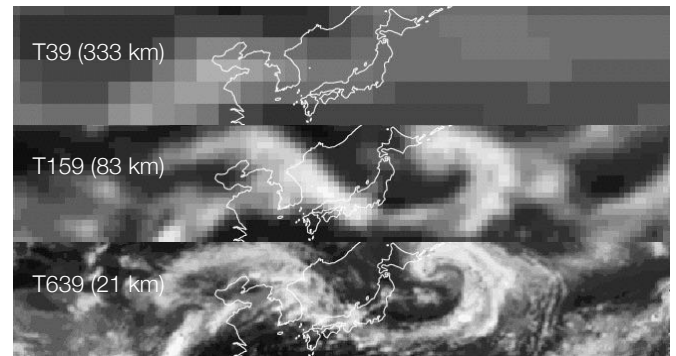


Numaguti et al. 1997; Ohfuchi et al. 2004;
Enomoto et al. 2008; Kuwano-Yoshida et al. 2011

パラメタ化

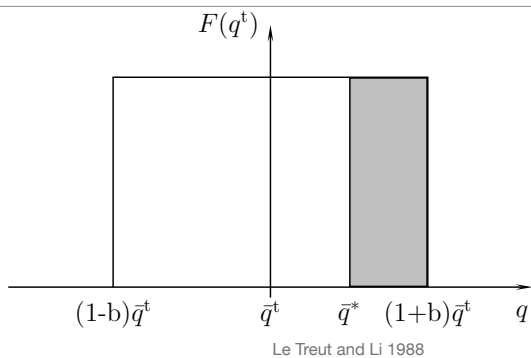
- ・ 格子間隔より小さな現象
- ・ 格子の量で表現
- ・ 物理的考察, 観測事実に基づく経験則
- ・ 乱流, 積雲対流, 雲物理

水平解像度依存性



2004/7/17 21UTC (FT=69h)

部分凝結



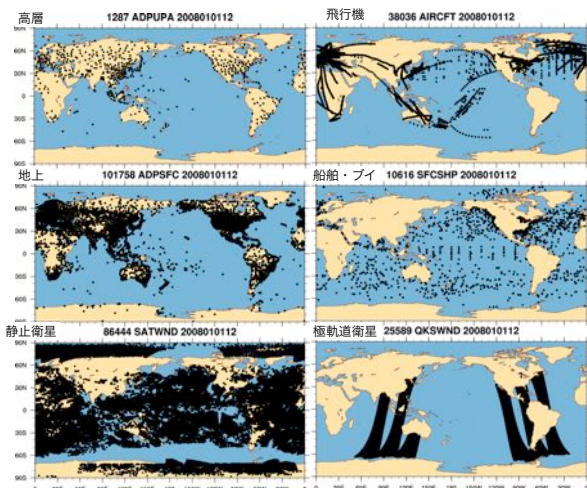
気象の予測

- ・ 偏微分方程式をコンピュータで解く
- ・ 観測データを同化した初期値
- ・ 地形, 海面水温・海氷等の境界条件
- ・ 物理法則をプログラムしたモデル

データ同化

データ同化とは

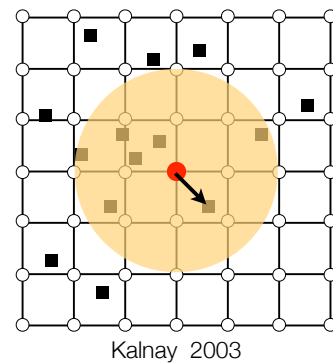
- ・ 数値天気予報に必要な初期値を作る。
- ・ 予測と観測との重み付き平均。



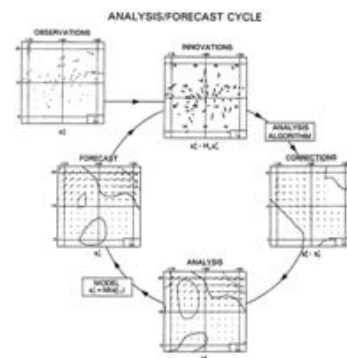
品質管理

- ・ 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

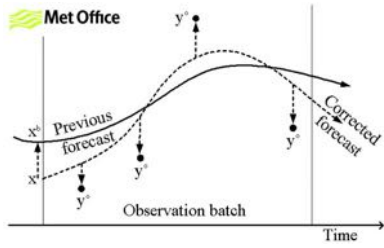


予報・解析サイクル

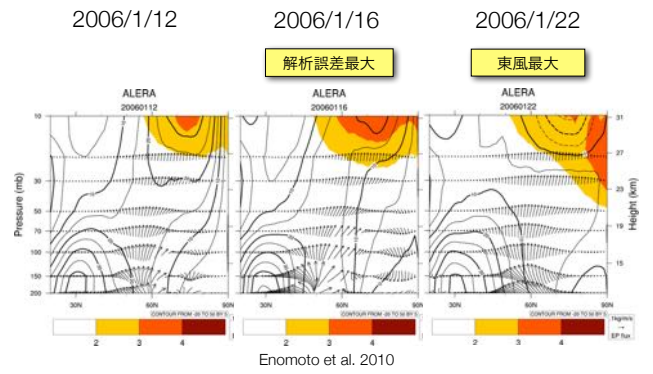


Daley 1997

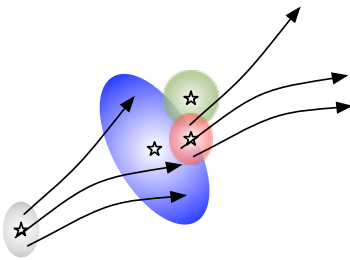
4次元変分法



解析アンサンブルスプレッドと成層圏突然昇温

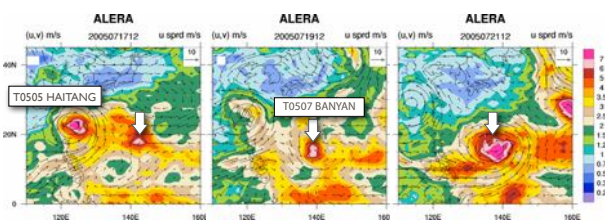


アンサンブル・カルマンフィルタ

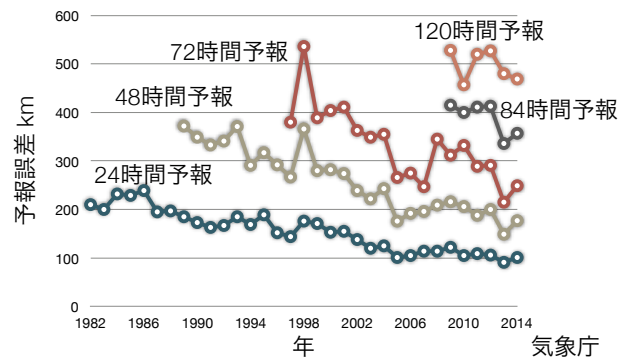


台風進路予測

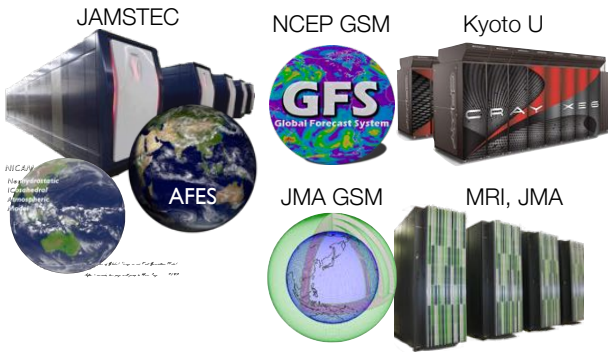
解析アンサンブルスプレッドと台風発生



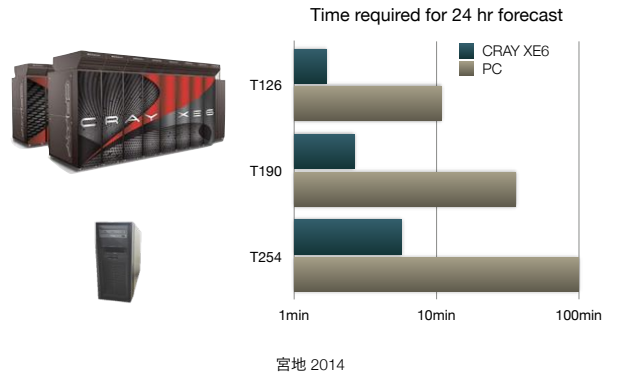
台風進路予測誤差



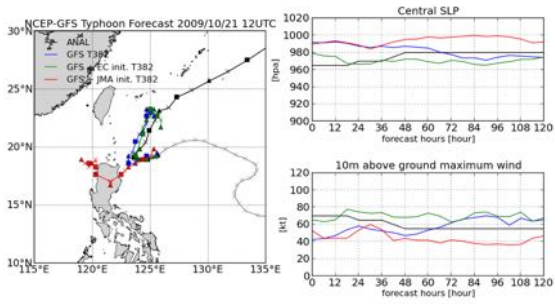
マルチモデル



パソコンとスパコンの比較

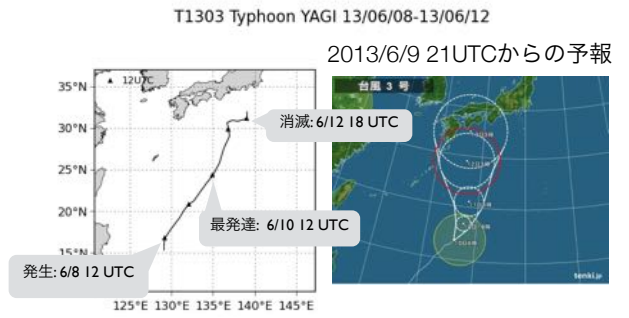


T0920: NCEP GFS T382L64

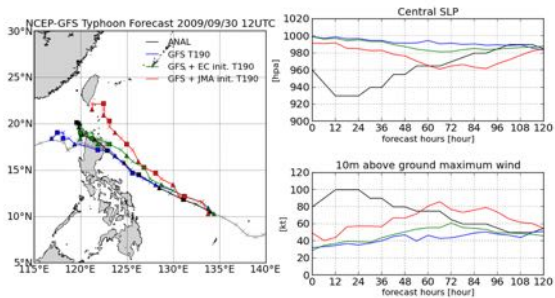


宮地 2014

2013年台風第3号YAGI

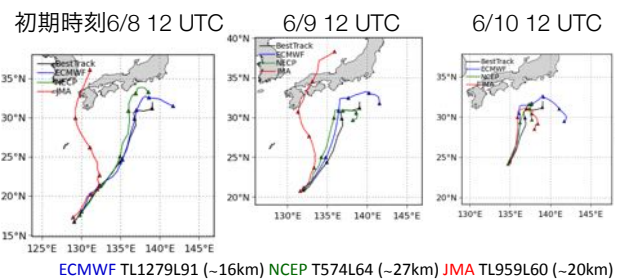


T0917 (Parma): NCEP GFS T190L64

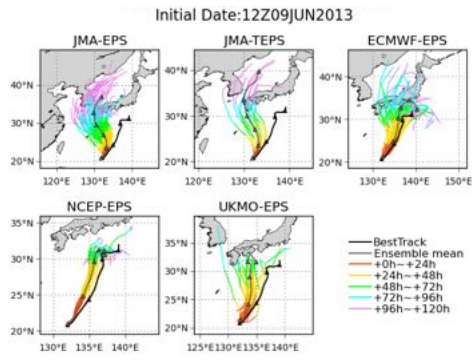


宮地 2014

決定論的予報



アンサンブル予報



マルチモデル実験

