

「計算科学が拓く世界」第14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

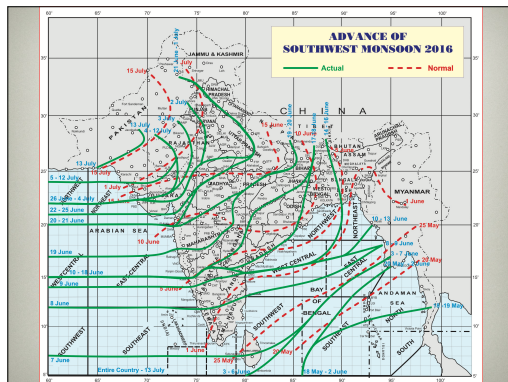
防災研究所 榎本 剛  
enomoto.takeshi.3n@kyoto-u.ac.jp

2016年7月20日5時限



## 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

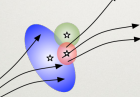


## 研究の道具

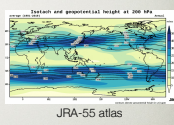
大気大循環モデル



データ同化



長期再解析



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

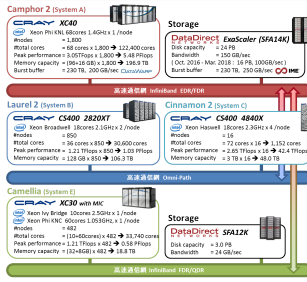
### Richardsonの実験

- ・ 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

## 本学の次期システム



## 大気大循環モデル

## 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

```

C:\Program Files\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 MP15DIM , ONLY : P15DIM
[DEF Module]
USE MAMP1
!$DEF CFES
USE cfes_mpi, only : runit_log, & ivar
cfes_mpi_limit, & lsub
cfes_mpi_final, lsub
USE cfes_table_interp, &
only : id_agon, id_ogon, & ivar
id_sice, id_land, & ivar
cfes_table_set2, lsub
!$endif
IMPLICIT NONE
!$DEF CFES
INTEGER(4) :: mygrp, youngrp
!$endif
*****
***** AFES *****
***** Atmospheric General Circulation *****
***** Simulation Code *****
!$cs, F90
cfes.F90 122L, 3672C
  
```

## 数値モデル

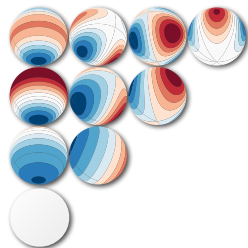
- 大気の従う法則
  - 運動方程式
  - 熱力学第一法則
  - 連続の式
  - 亜格子現象のパラメタ化
  - 時空間離散化

```

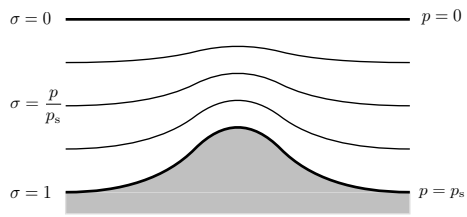
Terminal - vim - 96x49
(c)Copyright 2002 National Space Development Agency of Japan
(c)Copyright 2002 Japan Marine Science & Technology Center
PROGRAM AFES
[Basic Parameter Module]
USE MAPARAM , ONLY : APREAD, APASET
[Physics Grid-point Fields Parameter Module]
USE MP15DIM , ONLY : P15DIM
[DEF Module]
USE MAMP1
!$DEF CFES
USE cfes_mpi, only : runit_log, & ivar
cfes_mpi_limit, & lsub
cfes_mpi_final, lsub
USE cfes_table_interp, &
only : id_agon, id_ogon, & ivar
id_sice, id_land, & ivar
cfes_table_set2, lsub
!$endif
IMPLICIT NONE
!$DEF CFES
INTEGER(4) :: mygrp, youngrp
!$endif
*****
***** AFES *****
***** Atmospheric General Circulation *****
***** Simulation Code *****
!$cs, F90
cfes.F90 122L, 3672C
  
```

## 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




---

---

---

---

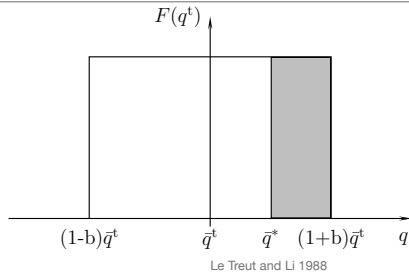
---

---

---

---

### 部分凝結




---

---

---

---

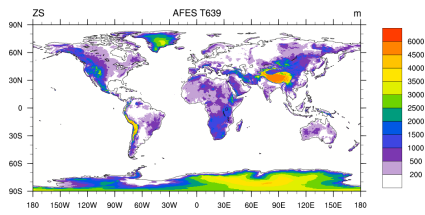
---

---

---

---

### AFESに用いている地形



水平解像度 20 km

---

---

---

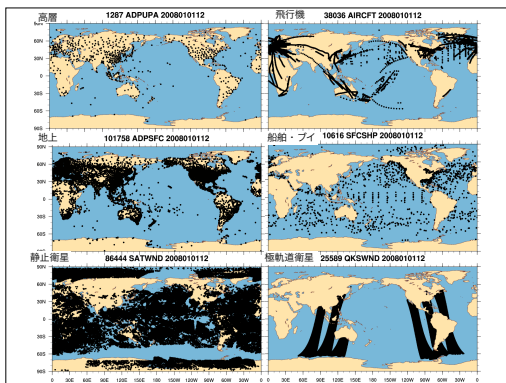
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### 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。

---

---

---

---

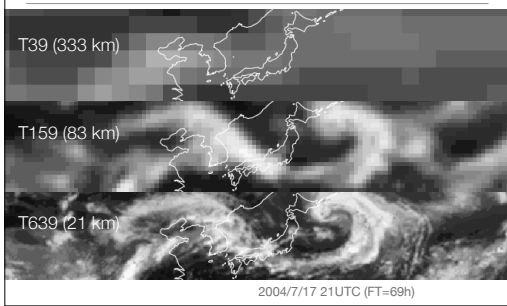
---

---

---

---

### 水平解像度依存性



---

---

---

---

---

---

---

---

### 台風進路予測実験



---

---

---

---

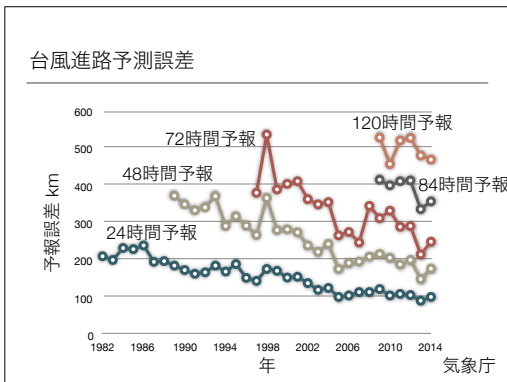
---

---

---

---

### 台風進路予測誤差



---

---

---

---

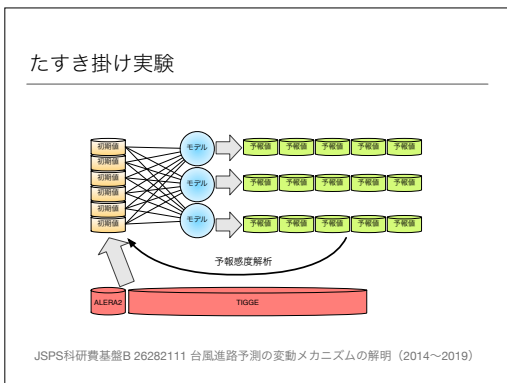
---

---

---

---

### たすき掛け実験



---

---

---

---

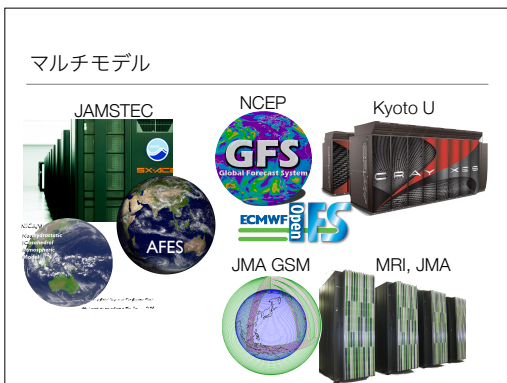
---

---

---

---

### マルチモデル



---

---

---

---

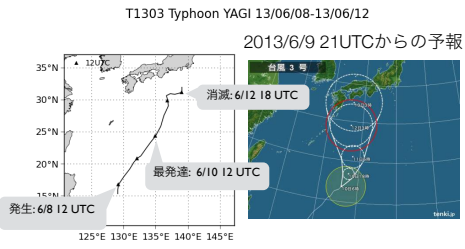
---

---

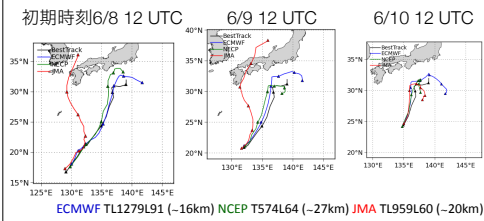
---

---

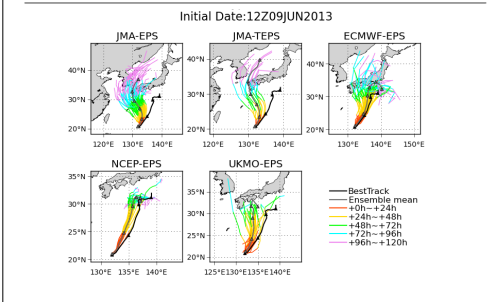
## 2013年台風第3号YAGI



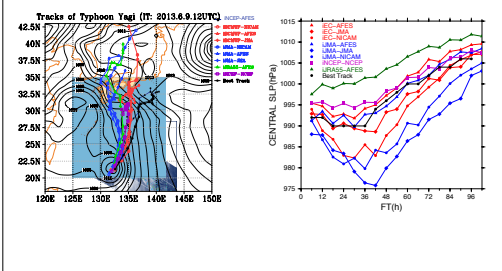
## 決定論的予報



## アンサンブル予報



## マルチモデル実験



## OpenIFSによる進路予測

