

# 気象学における コンピュータ・シミュレーションの起源 予備的考察

日本科学史学会西日本研究大会  
桃山学院大学, 2008年12月6日

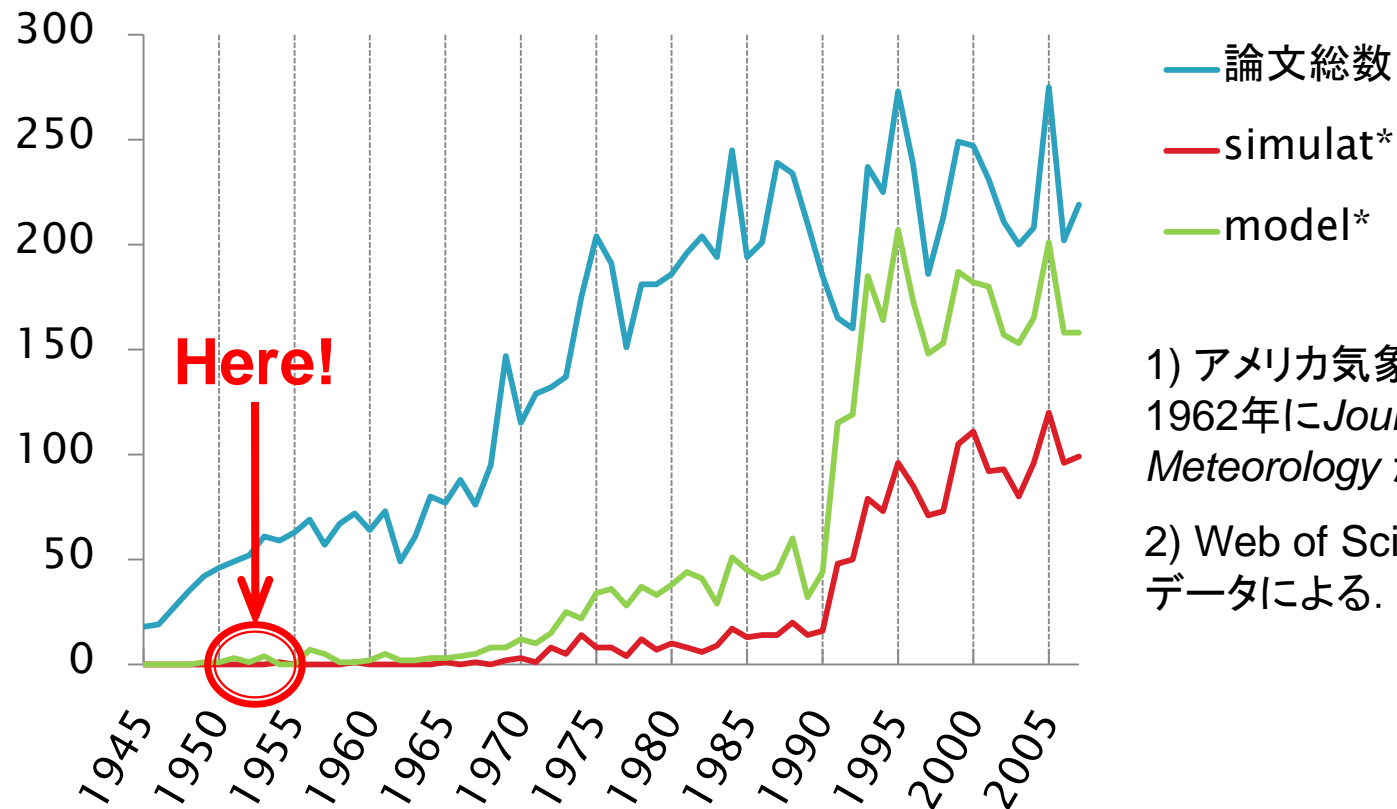
有賀暢迪

京都大学大学院文学研究科 博士後期課程

# はじめに

## ▶ 気象学におけるコンピュータ・シミュレーションの普及

*Journal of the Atmospheric Sciences*<sup>1</sup>における  
論文数の変化<sup>2</sup>



1) アメリカ気象学会発行.  
1962年に*Journal of  
Meteorology* から改称.

2) Web of Science® の  
データによる.

# 気象学プロジェクト (1)

- ▶ プリンストン高等研究所でのプロジェクト(1946-56)
  - 電子計算機の気象学研究への応用
  - リーダーは数学者 von Neumann
  - 気象学者 Rossby の影響
    - Aspray 『ノイマンとコンピュータの起源』(原書1990)
    - Nebeker, *Calculating the Weather* (1995)
    - Harper, *Weather by the Numbers* (2008)

# 気象学プロジェクト (2)

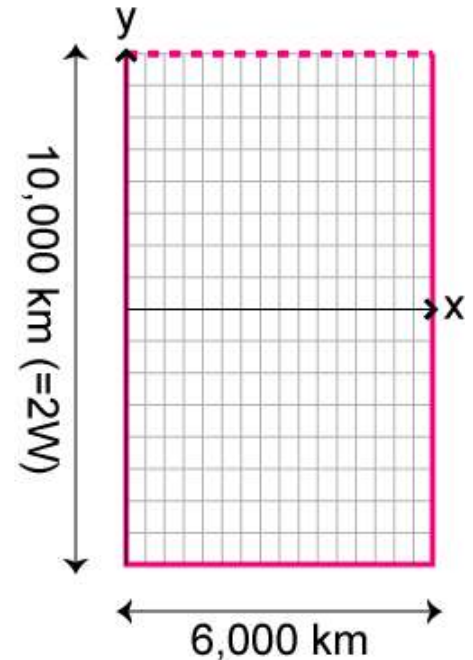
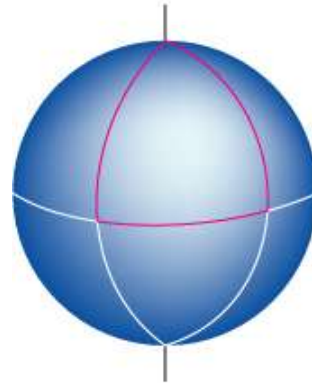
## ▶ プロジェクトの進展

- 1946年7月: プロジェクト開始
  - 最初の二年間は人材不足, ほとんど成果は得られず
- 1948年8月: Charneyの加入
  - 計算機で扱えるような気象力学理論の構築
- 1950-52年: 電子計算機による短期予報研究の成功
  - 数値予報の実用化に向けた動きが本格化
  - 研究の関心は大気大循環(長期予報)の問題へ
- 1955年: Phillipsの「数値実験」(numerical experiment)
  - 大気大循環研究の画期; コンピュータ・シミュレーションの先駆け
- 1956年: プロジェクト解散

# Phillipsの「数値実験」(1)

## ▶ 数値モデル

- 流体力学+熱力学
- 水平・鉛直方向に離散化
  - 上層と下層の二層モデル
  - 各層は $16 \times 17$ の格子
- $Q(t)$  から  $Q(t+1)$  を計算
  - 差分方程式



- モデルとしては「粗雑」(crude)
  - Phillips, “The General Circulation of the Atmosphere”

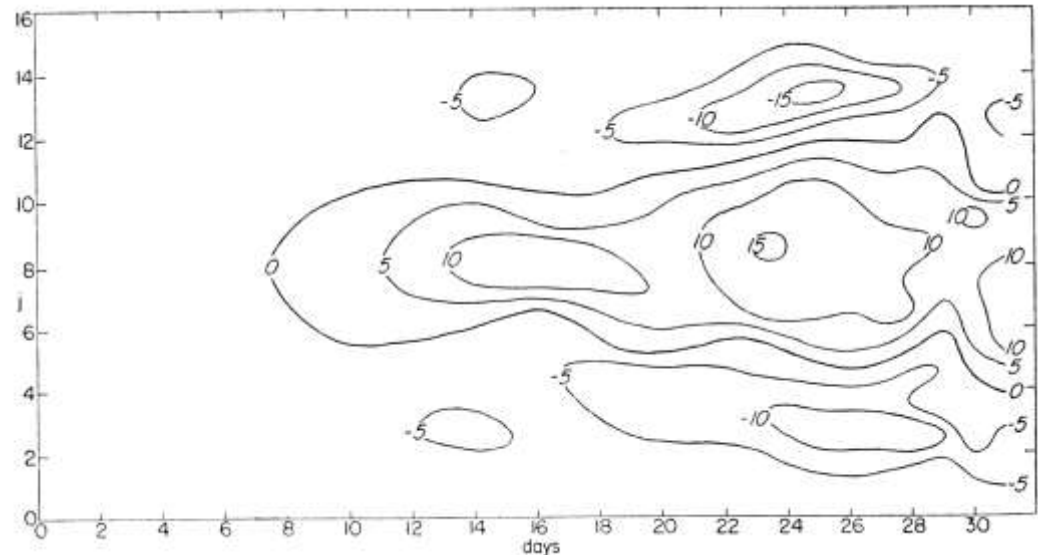
# Phillipsの「数値実験」(2)

## ▶ 実験手順

1. 静止状態から始め、「1日」刻みで「130日間」放置
2. 各格子点における大気の状態にランダムな擾乱(揺らぎ)を加え、「2時間」刻みで「約30日間」放置

## ▶ 結果

- 大気大循環の特徴が再現される(1955年)



# 「数値実験」とは何か？ (1)

- ▶ 「数値実験」はどのように捉えられたか
  - 「Phillipsは...摩擦と非断熱的な加熱を許すような大気の変化の数値計算における**実験**を説明している」
    - Nature (1956年7月) での, Phillipsの論文の紹介
  - 「大循環の総体的特徴に対する**数値解**がPhillipsによって得られた...」
    - 理論地球物理学会議(1956年2月)での, Starrの報告
    - 大気大循環研究を観測・実験・理論に分類し, **理論研究の延長**として述べている

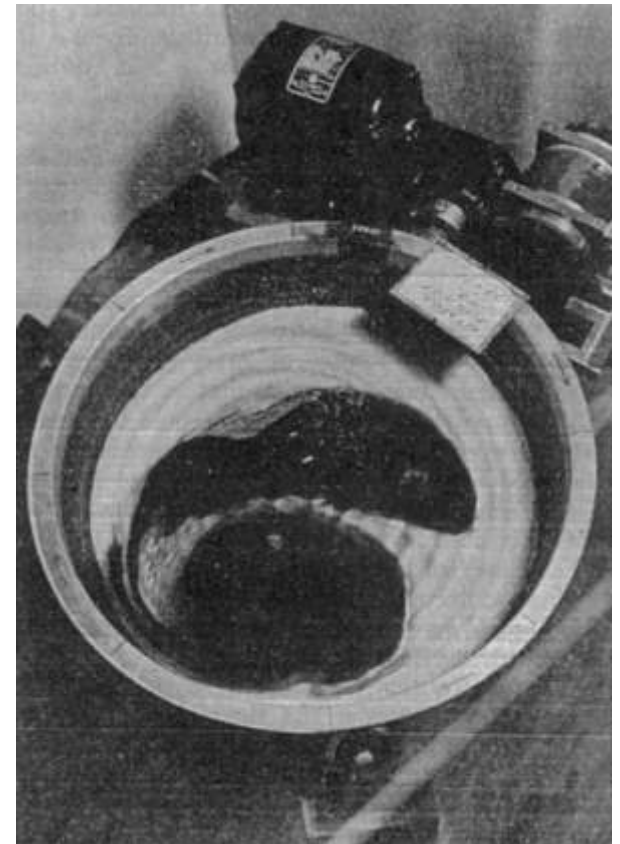
# 「数値実験」とは何か？ (2)

- 「Phillips博士が行われたような数値積分は、私たちに、大域的な気象学を**実験科学**として研究するまたとない機会を与えてくださっているのです」
  - ロンドン王立気象学会例会 (1956年6月) での, Eadyの発言
- 「数値実験は基礎方程式より出発して、適当な仮定の上に電子計算機を使って計算により目的とする現象が現れるかどうかを調べる方法である。この方法は**本質的には演繹的な理論計算**ではあるが、**計算規模や様式は従来の理論計算よりはむしろ実験に近い**ので、数値実験の名がある」
  - 気象力学の教科書(正野, 1960年)の「緒論」



# 大気大循環の室内実験 (1)

- ▶ 回転する流体を部分的に加熱して行われる実験
  - ▶ Fultz (米, シカゴ) の場合
    - 1946年から実験的研究に着手
    - 球殻状の容器
    - 金属製の「洗い桶」(dishpan)
      - Fultz, “Experimental Analogies...”
- 興味深いパターン
- 回転流体の実験一般が  
「洗い桶実験」と呼ばれるようになる



# 大気大循環の室内実験 (2)

- ▶ Hide (英, ケンブリッジ) の場合
  - 専門は地球物理学, 地磁気の起源の探究
  - 円筒形の容器
    - 大気大循環によく似た流れが再現される (1953年)
  - Hide, “Some Experiments...”



※図は後年の別の論文より

# 暫定的な結論 (1)

- ▶ 数値予報の理論的研究 (Charneyほか)
    - 「数値実験」は数値予報研究の「自然な拡張」(Phillips)
  - ▶ 大気大循環の実験的研究 (Fultz, Hideほか)
    - Phillipsも、これらの成果に言及している
      - ただし影響関係は不透明
- Phillipsの「数値実験」(1955)
- 「室内実験」の発展として捉える、という見方
    - 有賀「洗い桶からコンピュータへ」

# 暫定的な結論 (2)

- ▶ 気象学におけるコンピュータ・シミュレーションの起源
    - 理論的側面だけでなく、**実験的性格**にも注目すべき
      - cf. 科学哲学分野での議論 (ex. Lenhard 2007)
    - 「室内実験」と「数値実験」の間には連続性がある
      - 「物理[気象]現象をシミュレートする方法は、大別して二つある。ひとつは回転水槽(ディシュパン)実験であり、他は数値実験・数値シミュレーション(...)である。前者は室内実験手段を用いる物理実験であり、後者はコンピューター(電子計算機)を用いる実験手段である。」(新田『大気大循環論』1980年)
- 二種類の「実験」の発展を跡付ける必要がある

# 参考文献(1)

## 一次史料

[Anon.] "A Numerical Calculation of the General Circulation of the Atmosphere," *Nature*, vol. 178, no. 4525 (July 21, 1956), p. 129.

[Phillipsの「数値実験」論文の紹介]

Dave Fultz, "Experimental Analogies to Atmospheric Motions," in *Compendium of Meteorology*, edited by T. F. Malone, Boston: American Meteorological Society, 1951, pp. 1235–1248.

Raymond Hide, "Some Experiments on Thermal Convection in a Rotating Liquid," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 79 (1953), p. 161.

新田尚『大気大循環論』東京：東京堂出版，1980年。

Norman A. Phillips, "The General Circulation of the Atmosphere: A Numerical Experiment," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 82 (1956), pp. 123–164.

# 参考文献(2)

## 一次史料(続き)

*Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 81 (1956), pp. 535–539, 541. [王立気象学会の例会(1956年6月20日)の記録]

Victor P. Starr, “Modern Developments in the Study of the General Circulation of the Atmosphere,” *Journal of Geophysical Research*, vol. 61 (1956), pp. 334–340. [ワシントンで行われた理論地球物理学会議(1956年2月1～3日)での報告]

正野重方『気象力学』東京:岩波書店, 1960年.

# 参考文献(3)

## 二次文献

有賀暢迪「洗い桶からコンピュータへ: 大気大循環モデルによるシミュレーションの誕生」『科学哲学科学史研究』第2号(2008年), 61-74頁.

William Aspray 『ノイマンとコンピュータの起源』杉山滋郎・吉田晴代訳, 東京: 産業図書, 1995 年.

Kristine Harper, *Weather by the Numbers: The Genesis of Modern Meteorology*, Cambridge: MIT Press, 2008. [アメリカ気象学の社会史的研究]

Johannes Lenhard, “Computer Simulation: The Cooperation between Experimenting and Modeling,” *Philosophy of Science*, vol. 74 (2007), pp. 176-194. [気象学を題材とした科学哲学的分析]

John M. Lewis, “Clarifying the Dynamics of the General Circulation: Phillips’s 1956 Experiment,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79 (1998), pp. 39-60. [フィリップスの「数値実験」の内容とその背景についての詳しい解説]

# 参考文献(4)

## 二次文献(続き)

Frederik Nebeker, *Calculating the Weather: Meteorology in the 20th Century*, San Diego: Academic Press, 1995. [気象学のコンピュータ・サイエンス化を論じている]

高橋浩一郎・内田英治・新田尚『気象学百年史: 気象学の近代史を探求する』東京: 東京堂出版, 1987年. [気象学者による気象学の歴史]

Spencer R. Weart 『温暖化の「発見」とは何か』増田耕一・熊井ひろ美訳, 東京: みすず書房, 2005年. [気候モデルの発展についても記述がある]