

数値気象学の始まり

有賀暢迪 (国立科学博物館) *

《概要》

20 世紀半ばにおけるコンピュータの出現は、科学研究のあり方を大きく変えてきた。中でもその最初期から劇的な影響を受けてきたのが気象学の分野である。今回の話題提供では、デジタル計算機を使った数値気象学が 1950 年前後に登場してきた経緯を、主として先行研究に依拠して概観する。その上で、特に日本での展開について、どのような点が今後の歴史研究の課題になるかを考えたい。とりわけ、正野重方 (1911-1969) に代表される理論的な気象力学研究の伝統に着目する。

《報告の流れ》

0. 前置き——報告者について
1. 計算科学の科学史に向けて
 - A. 計算科学の興隆
 - B. 20 世紀後半における数値気象学の展開
2. 現代気象学史の研究動向
3. 数値気象学の登場——アメリカを中心に
 - A. 気象学の三つの伝統
 - B. 両大戦と気象学の変化——数値気象学登場の背景
 - C. 気象学プロジェクト
4. 今後の研究課題——日本を中心に

0. 前置き——報告者について

a. 経歴と専門

- ・ 京都大学大学院文学研究科 (科学哲学科学史専修) → 国立科学博物館 (理工学研究部)
- ・ 力学を中心とした物理学・数理科学の歴史 ; 18 世紀ヨーロッパ → 近現代日本

b. 計算科学への関心

- ・ 京都大学総合人間学部 (物理科学専修)
- ・ 「洗い桶からコンピュータへ : 大気循環モデルによるシミュレーションの誕生」 (2008)

* 理工学研究部 研究員 MAIL: ariga.nobumichi@gmail.com

1. 計算科学の科学史に向けて cf. 宇川ほか (2013)

A. 計算科学の興隆

- ・ 計算科学 (computational science) :
「数学的モデルとその定量的評価法を構築し、計算機を駆使して科学技術上の問題を解決する学問分野である。具体的には、様々な問題への計算機シミュレーションやその他の計算手法の適用を指す」(Wikipedia 日本語版, 2014年1月20日)
- ・ CiNii で見る「計算科学」の確立
1995: 「計算科学小特集」(『新日鉄技報』)
1998: 『計算科学シリーズ』(朝倉書店)
2003: 『計算科学』(放送大学教材)
2010: 『計算科学講座』(共立出版)
2012-3: 『岩波講座 計算科学』(岩波書店) ……宇宙、物質、地球環境、生命、社会
- ・ 計算: 理論、実験と並ぶ第3の方法論
→ 現在進行形の科学革命! ?
- ・ コンピュータの出現と性能向上だけですべてを語ることへの不満
ex. 「リチャードソンの夢」(1922)

B. 20世紀後半における数値気象学の展開

- ・ 科学研究 (技術開発) へのコンピュータ (デジタル計算機) の利用
…最初は原子爆弾 (マンハッタン計画)、続いて気象予報
- ・ 各国における数値予報の業務化 (新田ほか 2009, 表 3.1 による)
1954: スウェーデン
1955: アメリカ
1959: 日本、ソ連
1960: イタリア [本格化は 68 年]、中国
1962: ベルギー、イスラエル、ノルウェー [本格化は 72 年]
1963: カナダ、ニュージーランド
1965: イギリス
1966: 西ドイツ、チェコスロバキア
1968: フランス、オランダ [この頃]
1969: オーストラリア

- ・ 大気大循環モデル (GCM) の発展
60 年代の主要な研究センター
 - * GFDL : J. Smagorinsky, 真鍋淑郎
 - * UCLA : Y. Mintz, 荒川昭夫
 - * NCAR : W. Washington, 笠原彰
- その後、さまざまな物理・化学的効果を取り入れ、海洋モデルと結合して現在に至る

2. 現代気象学史の研究動向

a. 欧米の科学史家による主な著作

- ・ Aspray, *John von Neumann and the Origins of Modern Computing* (1990) [邦訳 1995]
…第 6 章「数値気象学の始まり」: プリンストン高等研究所の気象学プロジェクト
- ・ Nebeker, *Calculating the Weather* (1995)
…20 世紀における気象学の「計算科学」化を論じる
- ・ Weart, *The Discovery of Global Warming* (2003) [邦訳 2005]
…温暖化の認識と気候モデルの発展について詳しい
- ・ Harper, *Weather by the Numbers* (2008)
…20 世紀のアメリカ気象学の展開を、どちらかと言えば社会史的に描く
- ・ Edwards, *A Vast Machine* (2010)
…特にデータの問題に焦点を当てて、気象学の計算科学化とグローバル化を議論
- Cf. Fleming, *Fixing the Sky* (2010). [邦訳 2012]
…気象や気候を操作・制御しようとする試みに焦点を当てる

b. 日本の気象学関係者による主な著述

- ・『日本科学技術史大系 第 14 巻: 地球宇宙科学』(1965)
- ・気象庁編『気象百年史』(1975)
…数値気象学関係の記述は窪田正八 (1919-1997, 元気象庁長官) による
- ・高橋ほか『気象学百年史』(1987)
- ・新田ほか『数値予報と現代気象学』(2009)
- ・古川『人と技術で語る天気予報史』(2012)
- Cf. 「日本地学史」シリーズ (『地学雑誌』1992-2010) ※文献表では割愛

→ グローバルな (アメリカ中心の) 展開と日本での展開とをどのように結合するか?

3. 数値気象学の登場——アメリカを中心に

※以下は前項 (a) の諸研究を整理してまとめたもの

A. 気象学の三つの伝統

- ・ 経験的伝統：気候学 理論的伝統：気象力学 実践的伝統：天気予報

…いずれも 19 世紀後半から 20 世紀初頭にかけて確立

↓

気象学が計算科学になる：三つの伝統の統一

…20 世紀中頃：コンピュータによる数値計算の発達

A-1. 経験的伝統

- ・ 気象観測の進展

* 17 世紀（温度計と気圧計の発明）以降、定量的な気象観測が始まる

* 19～20 世紀に、国際的な協力体制構築が少しずつ進む

↓

- ・ 集めたデータから法則性を導き出そうとする試み

* 表、グラフ、統計などの利用

* 19 世紀後半における気候学（Climatology）の成立；統計的＝地理学的

ex. Köppen の気候区分（1884-1931）

A-2. 理論的伝統

- ・ 気象の数学的理論

* 19 世紀半ばまで、気象の理論は概して定性的

* Ferrel (1850s)：大気の運動に対する地球の自転の効果

→ 広く知られ、19 世紀後半に多くの研究が登場

- ・ Exner, *Dynamische Meteorologie* (1917)：気象力学の確立

A-3. 実践的伝統

- ・ 19 世紀に総観法（synoptic method）が普及

* 天気図の作成；電信の普及によるところが大きい

* 科学（science）というよりは技芸（art）と見なされた

- ・ ベルゲン学派（ノルウェー）の貢献

* 1920 年前後、Bjerknes らによる「気団」や「前線」の概念

- ・ 気象局／気象台による天気予報の開始

* アメリカ：陸軍通信部隊、1870 年～ → 気象局（Weather Bureau）、1891 年～

* 日本：東京気象台（1875 年設立；87 年に中央気象台と改称）、1884 年～

B. 両大戦と気象学の変化——数値気象学登場の背景

- (1) 気象学の軍事的重要性
- (2) データと計算の増加
- (3) 気象学の制度化と専門化

B-1. 気象学の軍事的重要性

- ・ 第一次大戦：戦車、毒ガス、飛行機 → 軍に気象部門が設置される
 - * アメリカでは、陸海軍がそれぞれ気象教育プログラムを始める
 - * 戦時中には気象局のスタッフ 600 人のうち 4 分の 1 が陸軍に供される
- ・ 第二次大戦：高度な観測技術
 - * レーダー観測や航空機による高層観測も登場
 - * 気象情報は軍事機密に
- ・ 気象学者の短期養成コース
 - …第二次大戦時、気象学者が 7 千～1 万人、気象観測官・技術者が 2 万人養成された

B-2. データと計算の増加

- ・ 膨大なデータの処理と解析
 - * パンチカードによるデータ処理の開始（1920 年代～）
 - * ノモグラフ（計算図表）の利用
- ・ 観測データの 3 次元化
 - * 飛行機やラジオゾンデによる高層観測の増加
 - * 気象現象の理論化にも大きく影響

B-3. 気象学の制度化と専門化

- ・ アメリカ気象学会（AMS）
 - * 1920 年設立、当初はプロ・アマ混在の団体
 - * *Bulletin of the American Meteorological Society*：気象全般の話題を提供
- ・ 大学の気象学
 - * 第二次大戦時点での Big Five：UCLA, シカゴ, カルテク, MIT, NYU
 - …カルテクを除き、ベルゲン学派の関係者（北欧人）が在籍
 - * Rossby (1898-1957)
 - …Bjerknes の研究所などを経て、アメリカ気象局フェロー（1926 年）として渡米
 - MIT の気象学コースを開設（1928 年）
- ・ 気象学会の専門化
 - * Rosby が学会長に就任し、学会の改革を行う（1944 年）
 - * *Bulletin* に加えて、専門誌 *Journal of Meteorology* 創刊；理論志向が強まる

C. 気象学プロジェクト（1946～56年）

C-1. プロジェクト設立の経緯

- ・ Mauchly（ムーア校）や Zworykin（RCA）が気象局に電子計算機を売り込む
…気象局の Wexler（研究部門長）や Reichelderfer（局長）が強い関心を示す
- ・ 1946年1月9日、関係者による会合
…気象局と軍の気象関係者に加え、Zworykin や von Neumann も招待される
- ・ 関心を持った von Neumann が Rossby に助言を求める
…Rossby がプリンストン高等研究所での研究プロジェクトを提案

C-2. プロジェクトの経過

- ・ 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年3～4月：ENIAC を使った数値予報の試み（順圧モデル）
→ 同年、論文発表
- ・ 1952年：高等研究所の計算機による短期予報の成功（傾圧モデル）
→ 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
*1952年10月～54年1月、岸保勘三郎（1924-2011）がプロジェクトに参加
- ・ 1955年：Phillips による大気大循環の「数値実験」
- ・ 1956年：プロジェクト解散

4. 今後の研究課題——日本を中心に

a. 戦後の素早いキャッチアップ

※詳細は古川（2012）を参照

- ・ 1953年6月：正野重方（1911-1969）を中心に、「大循環グループ」発足
→ 同年末、これを母体に「数値予報委員会」（通称「NPグループ」）発足
- ・ 1955年11月：数値予報東京グループの報告書発行
*この間、電子計算機を気象庁に導入するための予算折衝・契約・準備など
- ・ 1959年3月：気象庁に納入されたIBM704が稼働
- ・ 1960年11月：第1回数値予報国際シンポジウムが東京で開催される

b. 何が問題か？

- ・ このような「追いつき」を可能にした要因は？
…戦前・戦中から続く「気象力学」の伝統がその一つとしてあるのでは？
正野重方や荒川秀俊（1907-1984）らによる研究の蓄積
ex. 正野・渡邊「気象力学進歩の概観」（1950）
- ・ 欧米のモデルが日本にそのまま移植できたか？
…低気圧発達モデルは欧米（断熱）と日本（非断熱）で異なった（60年代前半）
cf. 岸保「温帯低気圧モデルの歴史的発展」（1982）；「気象研究の思い出」（1984）

→ 気象力学に基づくモデル構築の実践、という観点から歴史的・哲学的に考察したい

cf. 「気象学の三つの伝統の統合」という見方は日本の場合にどの程度当てはまるのか？？

《主要参考文献》

- Aspray, William. 1995. 『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. [原書：*John von Neumann and the Origins of Modern Computing* (1990).]
- Edwards, Paul N. 2010. *A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*. Cambridge: MIT Press.
- Fleming, James Rodger. 2012. 『気象を操作したいと願った人間の歴史』 鬼澤忍訳. 東京：紀伊國屋書店. [原書：*Fixing the Sky: The Checkered History of Weather and Climate Control* (2010).]
- Harper, Kristine. 2008. *Weather by the Numbers: The Genesis of Modern Meteorology*. Cambridge: MIT Press.
- Nebeker, Frederik. 1995. *Calculating the Weather: Meteorology in the 20th Century*. San Diego: Academic Press.
- Weart, Spencer R. 2005. 『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. [原書：*The Discovery of Global Warming* (2003). 原書のほうは2008年に第2版が出ている.]
- 有賀暢迪, 2008年. 「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, 61-74頁.
[<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/56988>]
- 宇川彰ほか, 2013年. 「科学と計算の歴史」. 同『計算の科学』(岩波講座 計算科学), 第2章. 東京：岩波書店.
- 岸保勘三郎, 1982年. 「温帯低気圧モデルの歴史的発展」『天気』第29巻第4号, 269-298頁.
- , 1984年. 「気象研究の思い出」『天気』第31巻第11号, 659-672頁.
- 気象庁編, 1975年. 『気象百年史』(本編・資料編). 東京：日本気象学会.
- 正野重方, 渡邊次雄, 1950年 a. 「気象力学進歩の概観：昭和15年～20年(1940年～1945年)」『気象集誌』第28巻第8号, 1-39頁.
- , 1950年 b. 「気象力学進歩の概観：昭和21年～22年(1946年～1947年)」『気象集誌』第28巻第8号, 40-54頁.
- 高橋浩一郎, 内田英治, 新田尚, 1987年. 『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.
- 新田尚, 二宮洗三, 山岸米二郎. 2009年. 『数値予報と現代気象学』東京：東京堂出版.
- 日本科学史学会編, 1965年. 『日本科学技術史大系 第14巻：地球宇宙科学』東京：第一法規出版.
- 古川武彦, 2012年. 『人と技術で語る天気予報史：数値予報を開いた「金色の鍵」』東京：東京大学出版会.