

58 2 気候変動・地球温暖化

それには地上の水循環のモデル化が必要とされる。ここで真鍋氏はいわゆるバケツモデルを開発した¹¹⁾。森林や砂漠の存在のために複雑となりがちな地表の水収支をバケツに溜まった水の深さの違いに置き換える近似である。数値モデル内の陸にある各格子に植生を反映したバケツが置かれ、それらの各々における水収支や温度から土壌の水分量やその流出量などが算出される。バケツモデルは簡易に見えるものの物理的な原理が明快であり、実装も簡単のため、21世紀の現在でもいまだに用いられている^{12等)}。

GFDLにおいて真鍋氏が気候モデルを使った数値計算を精力的に行っていた1960～1970年代には地球の平均気温が低く、世界的に寒冷と言える時代だった。そんな中の1967年、真鍋氏は輻射対流平衡モデルを使って大気中の二酸化炭素濃度を変える仮想的な数値シミュレーションを行った。そして、大気中の二酸化炭素濃度の上昇が大気温の上昇に直結することの定量的な予測を得た。この結果をまとめた論文¹³⁾に掲載された図はノーベル物理学賞の業績解説でも引用され、地球温暖化の定量予測の嚆矢として人口に膾炙している。ノーベル財団が発表した真鍋氏の授賞理由にも以下のようにある。「地球の気候を物理的にモデル化し、その変動を定量化して、地球温暖化の予測を確かなものにした」。こう書くと真鍋氏は地球が温暖化することを当初から予見し、人類の未来を懸念して気候モデル計算を進めたかのように思われる。だが、そうではないようだ。本人の言葉によればこの研究はひとつの寄り道に過ぎず¹⁴⁾、言い換えれば彼の好奇心の賜物であった。現実世界の温暖化現象は政治や経済と深く結びつくものだが、真鍋氏自身はその方面とは意識的に距離を置くようである。

対流調節やバケツモデルのように、真鍋氏の研究では複雑な気候現象が往々にしてばっさり簡略化される。近頃の言い回しを使えば「ざっくりとした」モデルを使いつつ、彼は現象の本質を見事に言い当てて来た。だが無論のこと、真鍋氏が考案した単純なモデル達が世界のすべてを説明できるわけではない。観測データの高精度化に伴い、それを説明するための数値シミュレーションも精密化を余儀なくされる。デジタル技術の発達は大規模な数値シミュレーションを可能にし、その結果、これまでは単純なモデルを用いて近似せざるを得なかった物理過程（たとえばバケツモデルで記述される地表での水収支）を原理的な方程式に則して再現できるようになった。地球温暖化の現実的な予測などはこうした大型数値シミュレーションの威力が最も強く発揮される場と言える^{15など)}。けれども数値シミュレーションの複雑化は研究のブラックボックス化、すなわち結果は得られるものの何を計算しているのかわからなくなる状態とも紙一重である。真鍋氏はその危殆を避け、現象のざっくりとした理解を重視した。その根底には常に、自然に対する彼の純粋な好奇心がある¹⁶⁾。真鍋氏のこうした精神性が本人の口から語られることは稀だが、文献⁵⁾はそれを鋭く看破しており、一読の価値がある。

真鍋氏が拓いた道の意義を理解できれば、将来その研究の地平を広げ、方法論を適用すべき対象が、時間的にも空間的にも現在の地球から離れた世界になることは自明だろう。時間的な側面而言えば、地球史を遡ってその形成初期からの環境変化を数値的な

2.2 地球温暖化 59

モデルを使って解明する作業が挙げられる。46億年にわたる地球史のすべてを説明できるモデルはまだ無いが、現代を含む新生代からさかのぼり、さらに古い時代の気候の解明に取り組む研究は次々と発表されている^{17,18,19,20,21}など。そして空間的な側面では地球の気候の数値モデルを一般化し、地球以外の天体に適用することで、汎宇宙的な気候現象の解明を目指す試みがある。火星や金星といった私達の近傍惑星のみならず、冥王星のような最果ての天体、そして数千個が確認されている太陽系外惑星に関する気候モデル計算も続々と発表されている^{22,23,24,25,26}など。米国 NASA が2021年に打ち上げたジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (James Webb Space Telescope [JWST]) らによる惑星大気の観測はそうしたモデル計算の裏付けまたは反証をもたらし、眞鍋氏が切り拓いた数値モデルによる気候研究を拡張する際の道標となるだろう。最近のインタビュー¹⁴)によれば眞鍋氏自身の関心も地球の気候を超えて宇宙へと広がりつつあるようである。今後ともまた、彼の好奇心が科学の潮流を先導するのかもしれない。 【伊藤孝士】

【参考文献】

- 1) 阿部彩子 (2022) 眞鍋淑郎先生による気候の過去と将来の研究, 学術の動向, 2022年2月号, 14-18
- 2) 特集 気候シミュレーションの展開, 科学, 岩波書店, 2022年5月号
- 3) 眞鍋淑郎・アンソニー J. プロッコリー (2022) 地球温暖化はなぜ起こるのか, 増田耕一・阿部彩子 監訳, ブルーバックス, 講談社
- 4) 眞鍋淑郎 (2022) ノーベル賞は「論争」から, 文藝春秋, 2022年3月号, 138-147
- 5) 林祥介 (2021) 眞鍋淑郎の科学と彼を育んだ人々, 論座, 朝日新聞, 2021年12月17日 (続編あり, 同年12月18日), <https://webronza.asahi.com/science/articles/2021121000003.html>
- 6) Phillips, N. A. (1956) Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 82, 123-164, 10.1002/qj.49708235202
- 7) Manabe, S. and Strickler, R. F. (1964) Journal of the Atmospheric Sciences, 21, 361-385, 10.1175/1520-0469(1964)021<0361:TEOTAW>2.0.CO;2
- 8) Ishiwatari, M. et al. (2021) Journal of Geophysical Research (Atmospheres), 126, e2019JD031761, 10.1029/2019JD031761
- 9) Ding, F. and Pierrehumbert, R. T. (2016) The Astrophysical Journal, 822, 24, 10.3847/0004-637X/822/1/24
- 10) Jeevanjee, N. et al. (2022) Bulletin of the American Meteorological Society, 103, E2559-E2569, 10.1175/BAMS-D-21-0351.1
- 11) Manabe, S. (1969) Monthly Weather Review, 97, 739-774, 10.1175/1520-0493(1969)097<0739:CATOC>2.3.CO;2
- 12) Nakagawa, Y. et al. (2020) The Astrophysical Journal, 898, 95, 10.3847/1538-4357/ab9eb8

60 2 気候変動・地球温暖化

- 13) Manabe, S. and Wetherald, R. T. (1967) Journal of the Atmospheric Sciences, 24, 241-259, 10.1175/1520-0469 (1967) 024<0241:TEOTAW>2.0.CO;2
- 14) インタビュー 真鍋淑郎プリンストン大学上級気象研究者, 日本学士院 PJA ニュースレター, No. 15, 1-7, 2023年3月, <https://www.japan-acad.go.jp/japanese/publishing/pjanewsletter/015-interview.html>
- 15) IPCC 第6次評価報告書, 気象庁, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/>
- 16) 大内彩子 (1987) 世界のアイドル 真鍋淑郎, 天気, 第34巻, 10号, 647-650
- 17) Abe-Ouchi A. et al. (2013) Nature, 500, 190-193, 10.1038/nature12374
- 18) Benn, D. et al. (2015) Nature Geoscience, 8, 704-707, 10.1038/ngeo2502
- 19) Higuchi, T. et al. (2021) Geophysical Research Letters, 48, e2021GL094341, 10.1029/2021GL094341
- 20) Valdes, P. J. et al. (2021) Climate of the Past, 17, 1483-1506, 10.5194/cp-17-1483-2021
- 21) Watanabe, Y. et al. (2023) Communications Earth & Environment, 4, 113, 10.1038/s43247-023-00765-x, 10.1038/s43247-023-00765-x
- 22) Kashimura, H. et al. (2019) Nature Communications, 10, 23, 10.1038/s41467-018-07919-y
- 23) Yamamoto, M. et al. (2023) Icarus, 392, 115392, 10.1016/j.icarus.2022.115392
- 24) Forget, F. et al. (2017) Icarus, 287, 54-71, 10.1016/j.icarus.2016.11.038
- 25) Ding, F. and Wordsworth, R. D. (2019) The Astrophysical Journal, 878, 117, 10.3847/1538-4357/ab204f
- 26) Wolf, E. T. et al. (2022) The Planetary Science Journal, 3, 7, 10.3847/PSJ/ac3f3d