

素顔 '87

(8)



### 世界のアイドル 真鍋淑郎

3月5日、米国東部のプリンストンにある GFDL にて、日課の水泳やスタッフとの打ち合わせなどを終えられた真鍋淑郎先生に、ご自身の研究の履歴から日米の研究・教育比較に至るお話を伺うことができました。

問：気象学を選んだ動機は何ですか？

—私は、東大に入った当時、医者になろうと思っていたんですよ。親戚が皆医者だったので、ところがカエルの解剖では神経をちょんぎるわ、化学の実験では  $H_2S$  を入れて爆発させちゃうわで、医者になるのはあきらめました。自然の現象がおもしろいからそれを説明したいと、自ずと地球物理に……そして気象学に……

問：新制大学院の1期生だと伺っていますが、大学院のあと、すぐアメリカに来られたのですか？

—そうです。修士課程の頃、記憶に残っているのは、都田さんがまとめ役となって、相原さん、駒林さん、加藤さん、そして僕とでパロクリニックモデルの「雨の予報」をやった時のこと。まだ計算機がなかったのでお昼から夜中まで人海戦術でした。博士課程のとき、この論文が印刷になった事で、同じような研究をしていたアメリカの Smagorinsky が都田さんと僕とに招待状をくれたのです。当時の正野教授は、都田君には残ってほしい、真鍋君行きたまえ、というわけでアメリカに来ることになりました。当時の日本の気象庁は陸軍と海軍の気象部の人を採用したので、人員が

増えていて新人を採用するかどうかわからないということもありました。アメリカに1958年に来てみると、計算機 (IBM 7030) は自由自在に使い、給料は日本の25倍、そして何よりもとにかく研究に没頭できたので、1年のばしにずるずると居るうち……29年間、今日まで、少し遅れて (1959年) 日本の気象庁にも大型計算機 (IBM 704) が入りました。僕にとって計算機が自由に使えることがアメリカに来た最大の理由でしたが、今の日本はもうそのハンディキャップはなくなりましたね。

アメリカの1958年といえば、スプートニクショックで科学研究に力を入れた頃。Smagorinsky も GCM (大循環モデル) の夢に燃えていて、Weather Bureau に世界一の計算機を入れ、General Circulation Research Section をつくったのです。この「Smagorinsky グループ」には、出来て2年めに呼ばれた僕と“Convection”のリーダーの Douglas Lilly (のち NCAR) の二人の Ph. D., その他プログラマー等全部で12~13人、さらに1~2年毎に Bryan, 都田さん、栗原さんが加わりました。一方、人工衛星打上げも当時は失敗ばかりでしたが、皆はそれがかかりせずに気象学にどう利用するか論じてました。僕のいた部屋には、計算機と GCM, そして人工衛星の話題で何と夢があったことか、それが長く居る理由かな。

問：博士論文では「日本海の熱収支」をなさったそうですが、その頃から大気・海洋相互作用モデルのアイデアをお持ちだったのですか。

—先の「雨の予報」であつという間に時間が経ち、とにかく何かやろうと、海陸両方の熱収支をやりました。こっちに来たら、気候は海も考えに入れねばと、自分では海洋の大循環もやるつもりだったのですが、大気の方だけでさえ火の車なので、Smagorinsky と相談して海洋の専門家を呼ぶことになり、Bryan が海のモデリングのリーダーになりました。最初、吉田さん (前東大教授) に白羽の矢をたてたのですが、彼は迷った末、Scripps 海洋研究所の方に行かれました。それで、Bryan と共に大気-海洋結合モデルを世界最初にやったのが、1960年代後半 (論文1969年) です。

問：ところで、有名な放射対流平衡モデルを作られた経緯を伺いたいのですが。

—それまでの Smagorinsky のモデルはプリミティブ方程式を使った2層モデルでしたが、IBM 7030 を導

入して9層で成層圏も入れる構想を彼が持っていました。僕は彼の手が回らなかった物理過程のパラメタリゼーションを受け持つことにしました。

まず輻射のモデルは、成層圏を入れる以上欠かせません。そこで、山本義一先生の有名な輻射ダイアグラムを数値計算し、輻射対流平衡で大気温度分布が説明できるのではないかと思ったのです。

次の湿潤対流モデルは、悪戦苦闘でした。1グリッド毎のものすごい上昇流が発生し、計算が吹き飛んでしまいました。その第1種対流不安定の困難を解消するため、対流調節を考えたのが1959年です〔インタビュー註：この対流調節のアイデアは、その後の大循環モデルの開発の鍵になったと言える〕。

もう一つは“Land Surface Process”について。地面の乾・湿が気候にとって重要なのに何もできていないため、土壌水分のいわゆるバケツモデルをやはり1958年に作りました。水理、土壌、農業学者らの複雑なモデルをワシントンの Library of Congress まで行って調べたけれど、パラメータの決めようがなく one box にしたわけです。

以上の物理過程を考えたところでいよいよ鉛直1次元で大気の構造を求めてみたのが、輻射平衡モデル(論文1961年)、輻射対流平衡モデル(同1964年)です。

問：そのときのパラメタリゼーションを Smagorinsky の GCM に組みこんだのですね。

—ええ、そうです。ところが、しばらくするとその GCM は1日に8千ドルも食ったあげく“爆発”するので、僕はダイナミックスのスキームも調べるはめになったのです。Smagorinsky のアイデアに基づき、両半球をステレオ投影にしたのですが、赤道を挟んで南北の気圧傾度を計算すると縮尺の違いが効いて、たとえ気圧が対称でも両半球から質量が逃げてしまい、絶対角運動量も抜け、しまいには地球全体で東風になっていました。やけっぱちになった僕は“万里の長城”(freeslip の壁のこと)を赤道に築いた。こうして成層圏・対流圏相互作用と地球の水循環の大循環への影響に研究の重点をおいて、当面海陸分布と山はあきらめた結果が、半球9層モデルの論文(1965)となったのです。

一方、UCLA では荒川昭夫さんが全球2層、水循環なし、現実的海陸分布と山を入れたモデルの積分に成功し、こちらと相補的研究になりました。又、我々

の方も全球モデルは「栗原グリッド」によって実現できました。また、1963年には都田さんが来て、半球モデルで天気予報を始め、延長予報を一生の仕事とすることになります。

問：今はどんな問題に特に興味をお持ちですか？

—グローバルな我々の環境が過去・現在・未来どのようになってしまうのか、これはもう、Interdisciplinary な問題ですね。海洋学、地質学、地球化学、生物学と協力し刺激しあって“Virgin territory”を切り開くのですから。

なぜ古気候かと言うと、人類学と同じで、過去を知った上で現在そして将来を考えてゆくのがいいからです。データ面では元素の同位体比の解析が多くなされ、深海底掘削の技術も進歩し世界的な水温のマッピングができるようになり、1万8千年前の水温再現(CLIMAP)や第四紀の時系列の研究(SPECMAP)の結果が出てきました。又、第三紀のデータも増えておもしろくなるでしょう。一方、モデルの検証(validation)という動機もあります。現在の気候の再現に成功しただけでは偶然うまくいっただけという心配があります。それで現在と違った過去の境界条件を入れて再現した気候が古気候データとよく合っていれば、モデル自体の有効性に自信が持てます。

また、古気候をやっていると他の専門の人から刺激を受けることになり、研究が exciting になります。炭素循環などは興味を持っている人が多いですから。実は、きのうも第三紀の  $\delta^{18}\text{O}$  や  $\delta^{13}\text{C}$  の研究をしている人のセミナーに出てきました。海洋循環や氷床の変動と炭素循環の相互作用の問題です。日本ではそういう交流はどうでしょうか。

もっとおもしろいのは、以前に、現在の  $\text{CO}_2$  量のままの大気モデルで北半球に氷河期の氷床を仮定しても南半球は冷えないという結果を出したところ、一方で、グルノーブルの雪氷研究所の Lorius とベルンの  $\text{Oschger}$  がそれぞれ南極の氷の気泡の  $\text{CO}_2$  が1万8千年前は200 ppm しかなかったというデータを出してきたことです。最近では南極の Vostok のコアで15万年の変動が出され、気温と  $\text{CO}_2$  とは位相が見事に合うことがわかりました。つまり、思いがけなく、 $\text{CO}_2$  が気候変化の鍵を握っているらしいことをデータの側からヒントとしてもらい、ますます過去の気候に興味が出てきました。氷期・間氷期の理解もできずに将来の気候がどうこういするのはおこがましいとも思

うのです。

問：CLIMAP 計画にはどんな形で関わっておられたのですか？

—(主催者で地質学者の) Imbrie さんは最初から modeller と interact する積りだったらしく、僕は Corresponding Member になりました。それで、最初は、CLIMAP で得た水温を境界条件として与えて GCM を走らせ、その結果を花粉分析等から得た陸上の気候と比較しました。この種の研究は、CLIMAP の始まる前に、女性気候学者のジル＝ウィリアムスが NCAR の GCM を使ってやったのが最初です。オレゴン大の Gates 氏の他、我々も CLIMAP のデータを使って同種の研究をやりました。残念ながら、花粉分析等から出した陸上気温の精度に問題があって、モデルの検証にはそれ程役に立ちませんでした。もっと有効に検証を行う方法としては、水温を与える代わりに氷床の分布や炭酸ガスの量を与えて、大気-海洋結合モデルで再現した表面水温を CLIMAP のそれと比較するのがよいと思います。今、僕らのグループは「銅板」(熱容量だけ)の海洋混合層をつけた大気モデルで氷床・CO<sub>2</sub>・アルベド(植生)のそれぞれの効果はどうか、全部入れたらどうなるか、という実験を終えたところです。

いよいよ次は海洋 GCM をかませようとしています。うまくいけばさらに微量成分もいろいろ入れてみて、地球化学者や生物学者らのプランクトンやベントスなどを年代測定して得た分布のデータと比較したいですね。最良のデータである深海底コアのデータを利用するのだから、海洋 GCM を入れれば、モデルのより有効な検証になるのです。

問：GCM はさらにどのような面で生かせるのでしょうか？

—面白いと思うのは惑星大気の大循環です。木星の jet stream、火星の dust bowl、横倒しの天王星など。GFDL では Williams の実験で、地球回転を速めたら、または半径を大きくしても、jet の数が2~3本増えていくのが出ましたが、さらに realistic な惑星モデルをつくることは興味ある仕事です。火星には衛星を打ち上げて表面温度の分布を出せそうだから、惑星についても GCM をどんどん使ってデータと比べ、数値モデルそのものに対する自信が高まればよいと思います。

その他は、geochemistry cycle ですね。GFDL では

海洋 GCM を使って GEOSECS による化学物質観測データを再現しようとしています。現在の chemistry と大循環の相互作用を理解して過去の CO<sub>2</sub> の変動を説明し、さらに未来を予測することにつながってくるでしょう。

問：研究の方法として、観測やデータ解析型の研究と、理論型、モデリング型の研究との関係はどうあるべきだと思いますか。個人あるいはグループにもよりますが、

—理論ばかりでは自然科学にならないし、観測をやってもモデリングをやらねばメカニズムの理解はできない。この三つが一体になって研究しなければ、グローバルな環境の研究は進みません。

研究所にしても、この三つの分野がよく協力できる構成にしないと研究は宙に浮く。各個人としては三つのうち二つずつ股がってゆけばうまくいくのではないのでしょうか。モデルを一から自分で作ることをせずに済むなら、観測データを解析した結果をモデルによる数値実験を使って解釈すれば効果的だろうし、単純化した理論をモデルでテストするのもよい。

またモデルは一つの研究所内でも様々な複雑さのもの(1次元、2次元……いろいろな分解能をもつ3次元等)を flexible に使うとよいでしょう。簡単なモデルは、現象の本質を理解する研究やマシンの節約にもいいですから。

問：さて、日本の感想を伺いたと思います。特に若い人に対して、何を期待しますか？

—現在の日本は世界一、二の経済大国になり、技術もアメリカに引けを取らないのだから、まず super computer を大いに使って伸々と面白い研究をして欲しいし、さらに人工衛星のデータも idea を出して大いに使い、もっと打ち上げて大気、海洋の観測をやって、これからの世界をリードして行ってほしい。

問：日本の研究組織についても一言。

—一案として「地球物理数値実験センター」が作れたらよいと思います。super computer を数台入れ、世界中から一流の学者を好待遇で呼んできて日本の若い人と大いに interact してもらおうのです。

さらに具体的には、NCAR がやっている様に大気や海洋のモデルは共同で使える community climate model (あるいは forecast model) として整備するとよいと思います。実験センターが創設できればそこでやるとよいのですが、これは今すぐというわけにはい

かない。とすると日本の大学は現実に人手不足ですから、気象庁と協力することが必要だと思います。現に気象庁の全球モデルを東大で走らせるという試みはうまくいったそうじゃないですか。ほかの大学でもこのようにして研究が活発になれば素晴らしいですね。各大学から基礎研究の成果が返ってくれば、天気予報の改善など気象庁にとってもしっかりとプラスになるでしょう。

問：教育について伺います。先生のご経験から、大学教育についてどう思いますか？ まず学部について。

—東大は秀才教育といえますか、授業のスピードが速すぎると思いました。必修の物理学の科目など、理解していない僕がとったノートでは埒があかず、同級生の駒林や栗原に教えてもらったものです。東大など、本当にできる人には手とり足とりする必要はないのだから、普通の学生が「半わかり」で過ぎてしまわないよう、丁寧な授業をしてほしいな。この頃はどうか。

問：カリキュラムは変わりましたが、今も東大は確かによくできる学生向けのペースだなと思います。私には学部はきつかったです。米国はいかがですか？

—アメリカでは平均の学生に合わせて授業しています。宿題はたくさん出ます。演習問題を解きながら、物理概念をじっくり考えるのが勉強になっていいと思います。

問：大学院はどうでしょうか？

—アメリカの大学院には様々な分野と国を越えて人が入って来ます。また大学院生にはお金が支払われま

す。例えば、GFDL/プリンストン大学では、最初の一年半は講義主体で基礎からしっかりやってもらったあと、“General Exam.”でPh. D. コースへの適性をはかります。この試験では、エッセーで表現力を、筆記で基礎知識を、研究発表で研究能力を見ますが、学課の成績だけでなく、オリジナルな発想とロマンのある人がほしいですね。

問：最後に、日本の大学に期待することは何でしょうか？

—一つは外国人の受け入れ体制を充実することです。こちらには「面白そうな日本国」へ行って研究したい人は少なからずいますよ。日本の客員教授の待遇は（僕の経験から）随分よい方です。外国から孤立しないために、こういう「人」に対する投資も計算機や人工衛星データの充実と並んで必要でしょうね。

国内の人も、他の大学や機関に滞在して講義したり聴いたり、共同研究に参加するといいですね。又、大学間の人事異動ももう少し活発な方がいいのではないですか。特に、新しい人が大学に入ったり就職したりするとき、新しい環境にチャレンジするのを奨励する雰囲気はほしいですね。又、ハイテク日本のこと、光ファイバーで地方と中央を結んで距離感をなくし、地方でのびのび研究できるようになると、いいですね。

夕日に輝く真鍋先生の暖かいまなざしに、そこはかとないロマンと研究への情熱を感じました。

(大内彩子)



## 米国で“Earth Quest” 発刊

気象学、海洋学、地震学という古典的な分化の時代から、新しい、地球科学（地球物理学）の時代へと移り始めている。このような傾向は、観念的になされているわけではなく、具体的な課題、例えば、WCRP や IGBP を通して実現されようとしている。

これに対応して、NASA は、“Earth System Science” 計画を、NSF は、“Global Geoscience” 計画を打ち出している。NOAA や他の機関でも同様の動きが始まって

いる。これらの計画を見通してゆくために、UCAR（大学連合）が、“Earth Quest” なる情報誌を創刊することになった。

希望者は、Office for the Interdisciplinary Earth Study (OIES), UCAR, P.O. Box 3000, Boulder, CO 80307

に手紙を書いて下さい。

(AMS News letter より)