



プリンストン大学上席研究員

眞鍋淑郎 氏
MANABE, Syukuro

提供：海洋研究開発機構

Interviewer

安成哲三

『学術の動向』編集委員会委員

④ 基礎研究とは

安成 ▶ 『学術の動向』7月号のためのインタビューを眞鍋先生にお引き受けいただき、ありがとうございます。

『学術の動向』は、4月号から季刊化するとともに内容を見直し、学術研究者のコミュニティと社会の様々な人たちとのコミュニケーションの場になるような雑誌にしたいと考えています。

今日は、眞鍋先生にご自分の研究の経験を踏まえて、いろいろなお話を伺いたいと思います。

眞鍋先生は、アメリカに60年間おられてずっと研究をされ、地球温暖化問題に関して素晴らしい成果を出されました。今、地球温暖化問題は若い人たちも非常に関心が高くなっています。

今年（2023年）6月までの1年間は「国際基礎科学年」でした。問題解決型の研究ではなく基礎的な研究があってこそ問題の解決につながるというように、改めて基礎科学の重要性についての認識が高まったところですが、眞鍋先生のご研究は、元々、地球温暖化を解明するというのではなく、地球の気候

の仕組みがどうなっているか、あるいはその変動の仕組みがどうなっているのか、という好奇心、関心から出発されたと同っています。

その流れの中で、大気中の CO₂ の増加が温暖化につながることを明らかにされ、今の IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change : 国連気候変動に関する政府間パネル) の報告と基本的に同じ内容の論文を、既に 1975 年に発表しておられます。そういう意味で、眞鍋先生のご研究は基礎科学が重要であることをまさに地でいっているものである感じがいたします。

一方、現在日本では、好奇心にもとづく研究を一人で長期的に続けることが難しくなっています。特に大学の場合は、2004 年に国立大学が法人化されて大学に効率化が求められるようになりました。予算も削られ、研究は外部資金がないとできない状況になっています。研究の評価にも、どのように「社会に役に立つ」のかが、問われることが多くなっています。

眞鍋先生は、アメリカではずっと自由な研究ができたと聞いていますが、日本の今の状況についてどう思われますか。

眞鍋▶ 昨日 Wikipedia を見ていたら、日本人は戦後 29 人のノーベル賞受賞者が出ていて、世界のトップテンになっています。これはすごいことです。ところが最近、統計をとってみると、悪い傾向が出ています。我々の分野で日本人の論文の数はたくさん出ていますが、引用回数が少なくなっています。論文は書いていても、人が注目するようなものが少なく、研究の質が落ちているのではないかということです。

どのくらい論文が書かれていて、どのくらい引用されているか、傾向としてどうなっているかを毎年調べて、その調査の結果を分析することが非常に大事だと思います。

日本と世界のノーベル賞受賞者数トップテンの国で統計をとって、一つ一つの論文がどのくらい引用されてるか、どのくらいインパクトがあるのか、という調査をする必要があると思います。そして研究白書を作成し、それに基づいて文部科学省の政策を改善していったらいいというのが私の提案です。

📍 アメリカでなぜ自由に研究ができたのか

安成▶ 最近では日本でも論文の引用回数は重要視されていて、JST (科学技術振興機構) などでも引用回数やどれくらい長期にわたって引用されているかが重要な指標になっていますが、おっしゃるように研究白書は作らなければならないと思います。

昔は外部資金に頼らなくても、必要な研究費は少なくとも国立大学ではありました。それが2004年の法人化で3年なり5年なりという期限付きの外部資金になり、眞鍋先生のような純粹に curiosity-driven (好奇心にそそられて) の研究ではなく、その時点での学界や社会でのポピュラーな研究が主流となっているのではないかと思います。そのあたりも含めて調べる必要があると思います。

眞鍋先生が日本で学位をとってすぐに行かれたアメリカのGFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory: 地球流体力学研究所) では、落ち着いて自由に自分の好きなことが研究できたということですが、そのあたりのお話をお聞きしたいと思います。

眞鍋▶ GFDLでは、自由に自分の好きな研究をすることができました。それは、GFDLが所属していた当時のウェザービューロー (アメリカ海洋大気庁、現在はNOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)) のディレクターオブリサーチのHarry Wexlerが政府にGFDLに予算が入るよう説得力を持って働きかけ、組織のトップのRobert Whiteが研究を理解して、研究費を使うことをサポートしてくれたことが一つの大きなファクターだと思います。

もう一つのバックグラウンドは、当時の1950年代の終わりごろは、ソ連の人工衛星スプートニクが犬を乗せて地球を回っている状況があり、ソ連に追いつき追い越せという雰囲気アメリカの政府にあったと思います。

それが研究者に予算を出すアメリカ国立科学財団とかそういうところに影響を及ぼして、研究費が豊富に出たのです。それが大きなファクターだったと思いますね。

そういう意味では、特殊な状況もなかったわけではないのですが、やはりWexlerの説得力とディレクターのRobert Whiteの理解が大きかったと思います。

そしてその頃の大統領がJohn F. Kennedyでした。ケネディ大統領は、そのうちに我々は人工衛星を月に送って、人間も上陸させてみせると言いました。

安成▶ アポロ計画ですね。

眞鍋▶ それがなんと、1960年代の終わりには、アメリカの宇宙船が月面に着陸し、宇宙飛行士が月面上陸を果たしました。

そういういろいろなファクターが重なり合って、我々はGFDLで楽しく研究していたのですが、それが大きな貢献をしたということになりました。

安成▶ 眞鍋先生が日本で学位をとってアメリカに行かれた頃は、まだ私は大学にも入っていませんでしたが、日本の気象学界では数値天気予報 (Numerical Weather Prediction: NWP) を進める方向があり、アメリカでもNWPは重要視されていて、ファ

ンディングの視点でも大事だったと聞いています。

GFDLでもそういう流れで研究していたグループはもちろんあったと思いますが、眞鍋先生はむしろ毎日の天気ではなく、より長期的な気候 (Climate) そのもののダイナミックさであるとか、あるいは気候変動の長期傾向とか、そちらの研究をされようとしたと理解しております。

1980年代に入ってから温暖化が大変だということで、日本でも地球温暖化絡みの研究予算が文部省や環境庁、気象庁などの関係省庁でも付くようになりましたが、眞鍋先生が研究を始められたのはその前ですね。ですから、地球温暖化の話でも、それ自体が例えばいわゆる政策担当者の関心を引くことはなかったのではないかと思います。

眞鍋 ▶ 私が大学を卒業したのが1953年で、1958年にアメリカに来ました。その頃は天気予報は当たりませんでした。そこで計算機の父と言われた John von Neumann が、計算機を使って一番ご利益があるのは天気予報だと政府に働きかけたのです。

彼は原爆の製造のチームに加わっていて政治的な影響力があり、1954年に数値天気予報ユニット (Joint NWP Unit) という組織を立ち上げました。そして Abraham Flexner が「役に立たない知識を探求する場」として設けたプリンストン高等研究所 (Institute for Advanced Study) で、気象学者 Jule Gregory Charney と電子計算機を使った天気予報の研究を始めたのです。

それから天気予報も大事であるが、気候予報にも天気予報を使えばいいと Harry Wexler を説得しました。

その頃、GFDL 所長の Joseph Smagorinsky は、最年少のメンバーとして von Neumann のグループに入っていました。

ここから自然の流れ (ナチュラル・エクステンション) として気象予報から気候予報の研究が進められてきたのです。

von Neumann の説得力は大きくて、Harry Wexler も当時の米国気象局長の Francis Reichelderfer もその後の局長だった Robert White (初代米国大気海洋庁長官) もサポートし、そのおかげで GFDL はお金をどんどん使えたのだと思います。

Edward Lorenz のカオスの理論など



がありましたが、気候は天気よりもゆっくりと変わるから、天気予報のモデルを拡張したら気候のモデルもできるのではないかという考えを von Neumann は持っていたのだと思います。

安成▶ 天気予報から気候予報へいく時には、大気だけでなく海も大事になりますし、いろいろダイナミクスも変わりますね。気候の変動を考えると大気海洋の相互作用とか天気予報にはない、いろいろな要素が入ってきます。そこが眞鍋先生の持たれた関心だと思います。

眞鍋先生が日本海の熱収支、水収支を研究されていて、それが日本海側の大雪のメカニズムと関係するようところが、Joseph Smagorinsky の関心を引き、気候のモデルとして大事だということからアメリカに呼ばれたと聞いていますが、それはどうですか。

眞鍋▶ そのとおりです。当時、Ed Lorenz の「バタフライが羽ばたけば影響が世界中に広がる」という理論が広く気象学者に認識され、天気のモデルを積分していけば、気候になると考えられていました。

私が考えたのは、そこで一番大事なのは海だということです。日々変化する天気のインテグレイター（積分）に海はなあって、それが気候になることを私は理解していました。対流調節とか水と大気の大気熱交換、水交換（水循環）が全部関係するわけです。ここは自分が大きな寄与をしたと誇りに思っています。

天気に海の影響を入れて気候モデルにしたのは、私の貢献だと思っています。

📍 好奇心で進める研究の大切さ

安成▶ まさにそこなのです。眞鍋先生に名古屋大学に何度もおいでいただき、学生に話してもらったときも「curiosity（好奇心）こそ大事だ」、「curiosity-driven の研究をしないとだめだ」とよく言われました。

天気予報を気候にするには、今言われたように海洋が大事だ、水が大事だ、ということがあって、そこをやらなければいけないというのは、まさに好奇心です。そこが非常に重要だと思います。

今はいろいろな研究がなされ、たくさんの論文が出されていますが、当時においては、天気予報のモデルを気候のモデルにしようと思ったら、海を考えたり水を考えたりしないといけないということは新しい発想だったわけですね。今では皆当たり前と思っていますが、そういう発想はどこから出てきたのでしょうか。

私が京都大学に入ったのは1966年ですが、所属は理学部の地質学分野でした。プレートテクトニクスに関心があったのです。でも大学院では、大陸移動に伴って長期の大きな気候変動が起きることから、気象学からやらなければいけないと思い、気象学の研究室に入りました。しかし、そこでは数値天気予報のための積雲のパラメタリゼーションというような細かい研究をしている学生がいることにカルチャーショックを受けたのです。好奇心といったときに元々の自然や気候を見る視点が大事だと思いました。



そのときにやはり持っていた発想には自由度があったと思いますが、眞鍋先生の場合はどうでしょうか。

眞鍋 ▶ あの頃は、みな天気予報に興味のある人ばかりだったのですが、安成さんは気候に関心がありましたね。

気候の研究は大変面白く、我々はモンスーンの研究をやりました。気候のモデルはそういう研究にうってつけだったのです。例えばチベット高原を取り除くと、気候はどう変わるかというような実際にはできないことが気候モデルを使ってできるのですね。チベット高原をとってしまったら、ゴビ砂漠、中央アジアの砂漠が全部なくなって、あそこが緑になるのです。

安成 ▶ モンスーンもなくなるし、砂漠もなくなるのですね。

眞鍋 ▶ そうです。砂漠にもものすごい影響があったのです。そして中緯度はもう緑になって、チベットの南にあるインドの北の端はモンスーンで降っている雨がなくなって、赤道寄りになるのですよ。モンスーンの雨は、南のスリランカの辺のところに降るのです。

このように気候モデルというのはとても良いツールで、これを使えば数値実験というもの、伸び伸びとできるわけです。

安成 ▶ 眞鍋先生がGFDLに行かれて60年間好きな研究をされて、そのような気候モデルを使うわけですから、結構コンピューターを使い、予算も要りますよね。それなのに一度も研究申請書なるものを書いたことがないというお話を聞いて驚きました。そういうことができる世界があるというのは、素晴らしいですね。

眞鍋 ▶ von Neumann、Harry Wexler、Robert White という（数値天気予報や気象局の）人たちが幸いにして天気と気候をあまり区別しないで漠然と考えてくれたおかげで、私

は非常に幸運だったと思うのです。

安成 ▶ Ed Lorenz のバタフライ効果のモデルの話がされましたが、ローレンツモデルでは熱帯はどうかかモンスーンはどうかかということに答えを出せないですよ。

眞鍋 ▶ 彼はそういうことには興味がなかったのです。

安成 ▶ 具体的に地球の具体的な海陸分布があり、赤道からモンスーン、極域まであって、そこで CO₂ が変われば地球の気候が変わるかとか、そういう意味で気候モデルは本当にパワフルだと思います。

ただ、気候モデルも複雑にすればするほど不確かなことも増えてきます。そこをまともな結果を出すことで、その気候モデルの開発を進めてこられて、パラメタリゼーション（物理過程の簡略化）などで、いろいろ物議を醸したようなお話も結構あると思います。

私は気候モデルをいかに使うか、何に使うかというポリシーといますか、フィロソフィーが、眞鍋先生の論文をたどっていくと、あると感じています。

そうすると、その好奇心といったときに、眞鍋先生ご自身のこの地球の気候だとか自然だとかそういうことに対する一つの大きな意味での関心というか、イメージ、そういうものがあって新しい次のステップに進まれたと思います。

最近の研究で、たくさん論文があってもこれといった結果が出るものは少ないというのは、そのあたりも関係するのかと思っていますが、どうですか。

眞鍋 ▶ 今の若い人が大学院に入って、モデルを使って気候の研究をやれと言われても、JAMSTEC（海洋研究開発機構）のモデルでも今の GFDL のモデルにしても英国気象庁の Hadley Centre のモデルでも、昔の百倍も千倍も複雑です。このモデルを使って気候の研究をやれと言われても、モデルがあまりにも複雑すぎて、どうしようもありません。

安成 ▶ 確かにそうですね。

④ IPCC と気候モデルの問題

眞鍋 ▶ 今の気候モデルは、パラメタリゼーションもみな競争してパラメータをどんどん増やしています。そして、IPCC の報告は7年おきに出ますが、7年経ってその複雑なモデルを検証することができないので、次の IPCC だからまた新しいパラメタリゼーションを作れということになっています。それを複雑化と言わず、よりソフィステイケート（洗練された、精緻化・高度化された）と言っているのです。そんな複雑で高度化さ

れた気候モデルを用いた博士論文を誰が読むかということになります。

安成 ▶ そうなのです。私は IPCC 第 1 次報告にも加わったのですが、あの時の厚さと今の第 6 次報告の厚さは 10 倍ぐらい違います。昔の報告全体の量が今の 1 章にもなるかならないかですね。

確かにたくさんのソフィスティケートされたモデルによる IPCC の成果はあると思いますが、そろそろこの気候モデルによる IPCC の枠組みを考え直す時期ではないかと実は私は思っています。

眞鍋 ▶ 今までのとおり繰り返していたら、モデルは複雑になる一方で、モデルの検証は誰もやっていない状況です。そのようなモデルを使って何百ページもの博士論文を書いても何をやっているかよくわからないし、読まされるアドバイザー（論文審査者）も大変です。

IPCC のオペレーション・プロシージャ（手順、進め方）を、今、再検討する必要があると思います。

安成 ▶ 全くそのとおりです。第 6 次報告が出ましたが、これに対してコミットした人たちに批判的なコメントも含めてどうすべきかという意見を今集めています。

眞鍋 ▶ 安成さんをお願いしたいのは、その IPCC のプロシージャ（手順）をリ・イヴァリュエイト（再検討）することです。今どんどん複雑になって、この結果がなぜ出たのか誰にも分からないような気候モデルが世界で何十もあります。この状態を再評価する時期が来ていると思います。

地球気候の気温が 2 度とか 1.5 度を超えたらどうするか、と言っていますが、この次の IPCC の報告のときは、もうその 1 度は来ています。あと 7 年経てば、CO₂ もどんどん増えてますから。

安成 ▶ あれだけの複雑なモデルを使って IPCC のレポートに間に合わせるために、たくさんの予算でたくさんのポストドクを雇用して、ポストドクの人たちはそれで論文を書いています。

ただ、私が大学院を終わる頃の就職があるかないかという昔の状況は、逆にある種のハングリーさが良かったのではないかと思います。食えなくても面白いことをやるんだということですね。

眞鍋 ▶ こういう研究をやってみたいというロマンがあったということですね。

今は IPCC からこういう数値実験をやれと命令が来ます。あの命令で来た実験を全部やったらもう計算機に余裕はありません。

大学院の学生だったら IPCC に言われた数値実験をやるのではなくて自分が好奇心に基づいて考えたテーマの実験をやるのが大切だと思います。そうしないと面白くありません。全部 IPCC がこうしろ、ああしろと言ひ、それで使うモデルは複雑で誰にもわからないというそういう話はないのではないかと思います。

④ 地球温暖化と気候変動の問題

安成 ▶ 眞鍋先生の CO₂ を増やしたら温室効果が強まって地球上の気温が高くなり、成層圏は低くなるという 1964 年や 67 年の次元モデルによる研究結果は、今もずっと生きているわけですね。極域がより温かくなるとか水循環が活発になるという結果もすでに眞鍋先生の 1975 年の論文で出されているわけですが、これらを踏まえて、地域ごとの予測に繋げるには精緻なモデルがいるというのが IPCC の今の根拠だとは思いますが。

今の若い人たちは温暖化について、自分たちの住んでる世界が変わってしまうのではないかと非常に深刻に考えています。それでは何をやるべきなのか。地球温暖化にしても様々な側面があって、分からないことも結構あるわけです。

眞鍋 ▶ 分からないことだらけです。

安成 ▶ ところがちょっと心配なのは、CO₂ を増やせば温暖化するのだから減らせばいいということで、世界中で脱炭素化という動きになっています。それ自体は決して悪くないし大事なことだと思いますが、若い人たちまで気候の研究、気候変動の問題はそれだけしかないように思っている人も結構いるような気がして困った問題だと思います。

眞鍋 ▶ 私は気候研究白書を作って、今の大学院の学生にいろいろアンケートを取って彼らの意見を白書の一部にするといいと思います。

安成 ▶ なるほどそうですね。貴重なご意見だと思います。

今の気候を何とかしないといけないということで、ジオ・エンジニアリング(地球工学、気候工学)というような話がまことしやかに出てきていますがどう思われますか。

眞鍋 ▶ 例えば一つは成層圏に飛行機で、エアロゾルであるサルフェイト(硫酸塩)を散布するという提案があります。散布されたサルフェイトやサルフェイトの凍結核(凝結核)が太陽の光を反射し、温暖化が防げるという考え方で筋はおっています。この考えを最初に出した人は、気候物理学者で私もよく知っています。でも、そういうことをすれば確かに太陽の光は反射して温暖化を防ぐことができるかもしれませんが、世界

が合意して実行するには、分からないことが多すぎます。過去には CO₂ が増えていても気候は下がったこともありましたが。そういうことをするには我々は気候について知らなさすぎるのでやめなさいというのが私の意見です。

安成 ▶ やはり気候変動も含めて我々はまだまだ知らなさすぎる。だからこそ curiosity-driven で研究するプロセスがいるという理解でお聞きしました。

④ 若い人たちへのメッセージ

眞鍋 ▶ 最後に若い人たちへのメッセージをお話ししたいと思います。

私の好きな言葉に「好きこそものの上手なれ」という言葉があります。得意なこと、好きなことで勝負をしろ、自分の得意なことや好きなことをしなければ、競争には勝てないということです。

私から見ると、日本の人は見た目をとても気にして、人生の進路や研究分野などであっても、格好のいいものを選びがちです。私が言いたいことは、格好で選ぶなということです。

格好がいいとか悪いとかではなくて、自分で本当に好きなこと、得意なことを選ばないといけません。得意な分野を選ぶと面白くなってどんどんのめり込む。ところが、他人から格好がいいと思われても好きでも得意でもない分野に行けば、それに夢中にならないし、競争にも絶対に勝てません。

皆さんも、どうか自分の好きな分野で、自分で新しい道を切り開いていってください。

安成 ▶ 素晴らしいメッセージをありがとうございました。

眞鍋淑郎 (まなべ しゅくろう)

- ▶ プリンストン大学上席研究員
- ▶ 国立研究開発法人海洋研究開発機構フェロー
- ▶ 「地球気候の物理的モデリング、気候変動の定量化、地球温暖化の確実な予測」により、2021年のノーベル物理学賞を受賞

専門 地球科学

安成哲三 (やすなり てつぞう)

- ▶ 人間文化研究機構総合地球環境学研究所顧問・名誉教授
- ▶ 『学術の動向』編集委員会委員

専門 気候学、気象学、地球環境学