

気象・気候研究に不可欠な数値モデル開発の歴史

地球総合工学専攻

教授 佐藤 陽祐

I. はじめに

私は、2025年3月1日付で地球総合工学専攻に着任し、応用大気科学領域という研究領域を新たに立ち上げさせていただきました。学部では名古屋大学理学部物理学科にて生物物理の研究室に在籍して装置開発を経験し、修士課程、博士課程は東京大学大学院理学系研究科・気候システム研究センターに所属し、気象学を専門として、数値シミュレーションによる研究で博士（理学）の学位を取得しました。修士課程と博士課程の間には民間企業（鉄道会社）を経験し、博士課程終了後は、理化学研究所計算科学研究機構でポスドク研究員、名古屋大学工学部で助教、北海道大学理学部で准教授をさせていただきました。研究者としてのキャリアの大半を理学部で過ごしてきた私のような者に、工学部・工学研究科の教授として一つの研究領域を担当させていただけたことに感謝申し上げます。同時に「応用大気科学領域」を立ち上げに際してお世話になりました関係者の方々にこの場を借りて御礼申し上げます。

応用大気科学領域では気象学を基盤として、気象学に関連した基礎的な研究から応用研究に至るまで幅広く研究に取り組みます。当面は「気候変動が地域に与える影響評価」や「気候変動に対する緩和策・適応策に関する研究」を主たる研究として取り組んでいく所存です。これらの研究を実施するに当たっては、気候変動が発生する要因のみならず、気候変動が地域スケールで与える影響について深く知る必要があり、その際に気象学の知見は必須です。大阪大学では、気象学を広範に取り扱う気象学の研究室は過去にはなかったと認識しております。応用大気科学領域での活動を通して、大阪大学にも気象学の研究室があることを日本、世界に発信していく所存です（注：大阪大学にも研究対象の一つとして気象学の研究に取り組まれている教員の方がいることはもちろん存じ上げており、その教員の方々とも連携を深めていくべく、着任早々からコミュニケーションをとっております）。

気象学と言っても、その手法は観測、数値計算、理論研究、室内実験など多岐にわたります。本稿ではそれらの手法の中でも、私が最も長く携わってきた、気象・気候計算に関する数値計算コードについて紹介いたします。

2. 気象・気候学で用いられる数値計算コード（気象モデル・気候モデル）

気象学で用いられる数値計算の例として最も有名であり、読者の皆さまの生活に関連していると思われるものは、天気予報です。日々の天気予報は、気象庁が所有する大型計算機によって実施される数値シミュレーションの結果を現場の予報官が解析して発表されます。この数値シミュレーションを実施するための数値計算コードは気象モデルと呼ばれます。この気象モデルの根幹は流体力学です。大気の流れを流体力学の基礎方程式（連続の式、ナビエ・ストークスの式、熱力学第1法則など）の時間発展を解くことで計算し、将来の大気の状態を予測します。この流体力学の基礎方程式を計算する部分を力学コアと言います。大気の状態を再現するには大気の流れだけでは不十分で、さまざまな時空間スケールを持つ現象（例えば、雲・降水、エアロゾルと呼ばれる大気中の微粒子、太陽から降り注ぐ放射、地球から放出される放射、地表面や海面からの熱、地表面の摩擦、地表面や土壤での水分など）の効果を取り入れなければなりません（<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/whitep/1-3-1.html> を参照）。これらの物理過程の計算を担当する部分を物理モデルと呼びます。気象モデルの計算はこれらの力学コアとさまざまな時空間スケールを持つ現象を表現する物理モデルを統合して行う典型的なマルチスケール・マルチフィジクスシミュレ

ーションといえます。

また、気候変動予測に用いられている数値モデルは気候モデルと呼ばれます。気候モデルも物理モデルの解き方やそのモデル化の仕方が異なることを除けば、解いている問題は気象モデルのそれと基本的には同じであり、その意味では、気象学・気候学で用いられる数値計算コードは、力学コアと物理モデルの組み合わせからなるマルチスケール・マルチフィジクスシミュレーションのための計算コードと捉えることができます。これまで私は、気象モデル・気候モデルのにおける物理モデルの開発に携わってきました。

3. 日本における気象モデル・気候モデル開発と研究における取り組み

数値シミュレーションを用いた研究は、気象学に限らず多くの分野において、主要な研究手法の一つであることに加え、日本には富岳や京など世界最速の計算能力を誇る大型計算機があるため、盛んに数値計算が実施されています。近年ではさまざまなオープンソースの計算コードが公開されているため、いわゆる数値モデルのユーザーは多くいるものの、自らコードを書く、または、コードを改良して研究を実施しているいわゆるコードの開発者は多くないのではないかと思います。

もちろん全ての研究においてコードの開発が必ずしも必要というわけではありません。しかしながら、計算コードや計算手法のことを詳しく知らなければ、結果の解釈を誤ることが多々あります。また、計算結果が期待したものではなかった場合（いわゆる再現性が悪い場合）や、取り扱いたい現象が使っているコードでは考慮されていない場合などの問題に直面した時、コードに手を入れられる開発者でなければ、解決できないこともあります。そのため、私はできる限り自らコードを書いて研究を進めてきました。図1に示すのは雲内部の電荷とそれによって引き起こされる雷を直接気象モデルで計算した例です。この計算は地上で計測される雷頻度を高精度に計算できます。このような雷頻度は、多くの気象モデルでは計算することができず、研究を進めるために自ら計算コードを開発しました。また、開発したコードはSCALE(<https://scale.riken.jp/ja/>)という理化学研究所で開発されている数値モデルに実装され公開されています。研究を通して、コードを書かなければ得ることができなかった発見や現象の理解につながる経験を数多くしてきました。応用大気科学領域の活動を通して、学生さんにそのような経験をしてもらいたいと考えています。

日本は、米国と同じ1950年代から気象モデルの開発に着手した、気象モデル開発の歴史のある世界的にみても珍しい国です。現在も国内で開発している数値モデルを使って研究活動を実施している研究機関が多くあり、これは世界に誇れることだと私は思います。同時に大阪大学でもそのような数値モデル開発の文化を根付かせることができれば、それは大阪大学の基礎研究力向上に直結します。

このような数値モデルの開発は時間を要するものであり、研究成果のいわゆるコスパが悪いと敬遠されがちで、開発を諦めた機関・国もあります。私は一人の数値モデルの開発に携わってきた研究者の一人として、大阪大学での研究・教育活動を通して、日本の数値モデル開発の歴史や文化を次世代にも引き継いでいけるよう、努力してく所存です。

まだまだ未熟ではありますが、皆様のご指導ご鞭撻の程よろしくお願いします。

（名古屋大学 理学部 物理学科 2006年卒

東京大学 大学院理学系研究科 修士課程 2008年修了、同 博士課程 2012年修了）

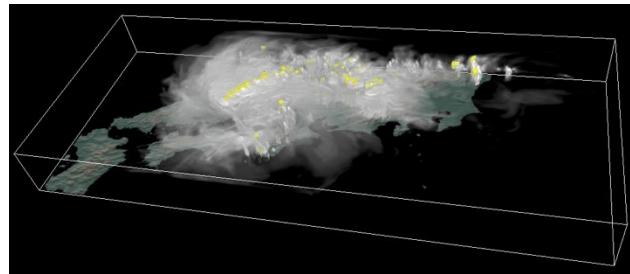


図1：雷を直接計算する気象モデルによる計算結果
(白は雲、黄色は雷が発生している位置を表す)