

第57回夏季大学「新しい気象学2023」実施報告

教育と普及委員会

日本気象学会では、最新の気象学の知識の普及を目的として、学生・大学院生、小・中・高等学校の教諭、気象予報士及び気象に興味を持っている一般の方々を対象に、毎年夏休みの時期にやや専門性の高い講座である「夏季大学」を開講している。今回の夏季大学は、2023年8月5日（土）と6日（日）の2日間にわたり、オンラインで開講した（主催：（公社）日本気象学会；後援：気象庁、日本地学教育学会、（一財）気象業務支援センター、（一社）日本気象予報士会）。

2023年のテーマは「新しい気象学2023」である。夏季大学開講のお知らせ（「天気」70巻7号）にも記載した通り、近年、人工知能（Artificial Intelligence；AI）技術の利用や、最先端のスーパーコンピュータを用いた超高解像度シミュレーション、シミュレーションと観測を融合するデータ同化技術が気象学において急速に発展している。気象学に限らず、他分野でもこれまでにない革新的な研究が進められて相互発展し、異分野連携も盛んになっている。また、台風や豪雨を制御する技術開発も行われ、気象学は大きな転機を迎えている。そこで、現代の天気予報のさらなる精度向上や気候変動の課題解決において、このような技術が果たす役割や応用可能性について、8名の専門家による講義を企画した。

今年度も一昨年度、昨年度に引き続きオンラインによる開催とした。受講料は2000円で、Zoom 聴講者は初日が175名（最大）、2日目が153名であった（スタッフ・講師含む）。有料にも関わらず、多くの参加があったことから関心の高さが伺える。例年のように講師の方々に講義についての要旨を作成いただき、当委員会の夏季大学のホームページから公開している（https://www.metsoc.jp/about/educational_activities/summer_school）。講師の方々にわかりやすくまとめたので、是非多くの皆様にご覧いただきたい。

夏季大学の講義は Zoom のウェビナー形式で行い、講師1名につき50分前後の講義枠、5分から10分ほどの質疑応答の時間を設けた。Q&A 機能を使って受講者から質問を受け付け、講義の最後に口頭（ライブ回答）やチャット回答で応答を行ってもらった。今回はこの Q&A がかなり活発で、20個以上の質問に対応し

た講師もいた。ほとんどの講師が質疑の時間だけではおさまらず、講演後にチャット回答で対応していただいた。夏季大学終了後、受講者限定の web ページで講師の方々から提供いただいた発表資料を一時的に公開し、復習やその後の自学に役立てるサービスを提供した。

以下に、今回の夏季大学の講義の内容を簡単に紹介する。

1. 大気科学における AI の利用方法

気象研究所 関山 剛氏

トップバッターの関山氏には、今年の夏季大学のメイントピックの一つである AI について、その歴史から用語の整理、気象庁での利用例が紹介された。昨今、AI や機械学習、深層学習（ディープラーニング）などの用語を耳にするが、それらがどのような関係になっているのか図を示して分かりやすく解説していただいた。気象庁では1996年には予報ガイダンスに AI を取り入れ、30年に渡って改良しながら使われ続けている。予報ガイダンス以外にも、深層学習によるパターン認識等が活用され、「ドップラーレーダーの観測画像から AI が自動で渦（擾乱）を検出し、突風を探知」「水蒸気ライダーの観測画像からノイズを除去」「衛星画像から台風の中心気圧や最大風速を推定し、台風がこれから急発達するかどうか予測」等の研究が進められ、一部は既に実用化されているようである。現在、注目を集めているものに AI のみによる天気予報がある。ECMWF ではロードマップに AI の天気予報への活用が含まれており、今後さらにその重要性が高まっていくとみられる。関山氏の講演では最新の Google や HUAWEI による AI 予報が ECMWF の予報精度を（特定の対象について）越えたとの論文が紹介された。今後の動向が注目される。

2. 最先端のスーパーコンピュータを用いた天気予報研究

理化学研究所 大塚成徳氏

大塚氏は、数値天気予報の黎明期から、理化学研究所がスーパーコンピュータ「富岳」を用いて行っている最新の研究まで紹介した。「富岳」は、運用開始時、

世界のスーパーコンピュータに関するランキング「TOP500」「HPCG (High Performance Conjugate Gradient)」「HPL-AI」「Graph500」のすべてにおいて第1位を獲得した。2023年5月の段階でも「HPCG」と「Graph500」では1位の座を守っている。数値予報は天気予報の根幹を担う重要なシステムでもあるが、予報をする上で最も重要なものの一つに、いかに現在の大気の状態を把握するかがある。優れたモデルとスーパーコンピュータを持っていたとしても、初期の状態が間違っていると予報はうまくいかない。大塚氏は、観測とモデルをつなぐデータ同化の仕組みを分かりやすく説明した上で、フェーズドアレイレーダーと理科学研究所のデータ同化システム(SCALE-LETKF)を用いた最新の予報システムを紹介した。このシステムは、ほぼリアルタイムでレーダーの情報を取り入れ、30秒間隔で30分予報を行うという革新的な天気予報となっている。これは現在の気象庁の毎時更新システムと比べると120倍速い。大塚氏は最後に、観測を大気モデルによるシミュレーションで代用し、それを擬似的に大気モデルに同化することで、適切な観測かどうかを判断する観測システムシミュレーション実験(Observing System Simulation Experiment; OSSE, 石橋 2013)の紹介をして、講義を締めくくった。

3. 都市の建物と樹冠を解像した微気象シミュレーション技術の開発と社会実装

海洋研究開発機構 松田景吾氏

松田氏からは、微気象シミュレーションによる都市暑熱環境の研究が紹介された。微気象は、およそ1 km以下、1日以内の時空間的に最小のスケールの大気現象であり、大気の中では接地境界層が対象となる。微気象は人間活動の多くと密に結びついている。松田氏はこの微気象シミュレーションの専門家であり、海洋研究開発機構で開発したMSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment)を用いて、超高解像度シミュレーションを行っている。モデルの格子間隔が10m以下になってくると、都市の建物だけでなく、樹木まで解像しないといけなくなる。松田氏は自身が開発した樹木モデルの概要を紹介し、微気象の社会への活用例を紹介した。例えば、丸の内パークビル周辺の気温の評価、新国立競技場周辺の熱環境解析、東京湾臨海部の海風シミュレーション、熊谷スポーツ文化公園の小規模な森のオアシス等の設置事前評価などである。最後に、このような超高解像度計算は計算機資源

をかなり多く消費するために、AIによる高速化が必要と述べて、次の安田氏の講義につなげた。

4. 深層学習を利用したリアルタイム微気象予測への挑戦

東京工業大学 安田勇輝氏

安田氏は深層学習の一つである畳込ニューラルネットワークの仕組みの紹介から始まり微気象予測への深層学習の実装に話を展開させていった。微気象予測においては、「超解像」シミュレーション技術を用いて行っている。超解像とは画像の解像度を向上させる技術であり、深層学習の応用の一つである。低解像度と高解像度のモデルから学習させ、運用時は低解像度の情報のみで高解像度の世界(モデルグリッド)を再現する。ただ、実際に都市に適用する場合、低解像だと解像できていない街路をどのように扱うかの問題があり、高解像度化と欠損領域の復元という複合問題となる。安田氏は、MSSGによる20m及び5m都市微気象計算を用いて、2次元及び3次元で超解像の学習をさせ、3次元超解像に成功した例を紹介した。今後はデータ同化と超解像の融合を視野に入れて研究を進めていくとのことである。

5. Today's Earthによる全球から市町村規模までの洪水予測

東京大学 芳村 圭氏

芳村氏からはToday's Earthシステムによる洪水予報の紹介があった。Today's Earthは、芳村氏が研究員の頃に作成したプログラム及び将来構想が基になっており、国策や大型プロジェクトとの関係を軸に、その開発の経緯が詳しく紹介された。Today's Earthの開発が大きく進むきっかけとなったのが、平成27年9月関東・東北豪雨による鬼怒川の氾濫である。後日、芳村氏がToday's Earthを確認すると、鬼怒川で大きな確率流量指数(Discharge Probability Index; DPI)が出ていたことが分かった。この情報の精度が向上し、かつ情報を事前に出すことができれば、被害状況が変わったのではないかと考え、JAXAや研究員のメンバーと共に抜本的な改革を行っていった。現在、Today's Earthは、25kmメッシュの全球システムと日本を対象とした1kmメッシュの領域システムがあり、常時河川流量の予測を行っている。日本では法規制の障害があり、洪水予報を出すことができないため、特定自治体との実証実験を行ってきた。近年法改

正が行われたことで、近いうちに洪水予報の発表が可能になると期待される。また、日本での30m 解像度実験や「富岳」を用いた全球1 分解像度実験、データ同化によるシミュレーションと衛星観測の融合などに取り組んでおり、システム自体も高度化を進めているとのことである。

6. 海から季節の不順を予測する～季節予測の最前線～

海洋研究開発機構 土井威志氏

土井氏からは、海洋研究開発機構で行っている最新の季節予報システム「SINTEX-F 季節予測システム」の紹介をしていただいた。講義ではまず、天気予報と季節予報の違いが解説され、熱帯の海の変調が日本にまで影響するテレコネクションの仕組みの紹介、季節予報は海洋観測と気候モデルのリレーで実施することが説明された。続いて、季節予報においては、海洋観測の気候モデル（海洋部分）へのデータ同化が重要となることに言及された。さらに、高精度の季節予報が可能になることで、気温や降水量だけではなく、小麦やコメなどの穀物収量の予測や、南アフリカでのマラリアの流行警戒システムの開発といった実社会への応用可能性につながる事が紹介された。また、海洋研究開発機構からプレスリリースされた土井氏の最新の研究成果「東アフリカの極端な干ばつを数ヶ月前から予測可能に！一負のインド洋ダイポールモード現象の予測が鍵一」の概要が紹介された。最後に、今年の季節予測についてのSINTEX-Fの予測結果が紹介され、昨年末の段階でエルニーニョ現象の発生が予測されていたこと、夏から秋にかけてエルニーニョが続く見込みであることを示した。

7. より速く、より多く、より長く、より複雑に一気象・気候予測を支えるコンピュータとの共同作業

国立環境研究所 八代 尚氏

八代氏には、ここまでの講義でも繰り返し登場したスーパーコンピュータについての歴史や計算機性能の話、プログラム言語の話など、天気予報や季節予報の基盤となるシステムについて包括的にお話しいただいた。数値予報の歴史は「リチャードソンの夢」に始まり、1950年に世界最初のコンピュータ ENIAC による数値気象シミュレーションが行われて、現在へとつながっている。ノーベル物理学賞を受賞した真鍋淑郎氏は、地球物理学分野初の受賞という印象が強いが、シ

ミュレーションを用いた計算科学での受賞という意味でも大きな意義を持っていたとのことである。計算機の発展と並行して、プログラム言語も第1世代から第5世代まで進んできている。気象学で代々使われてきたFortran や C 言語、Python 等は第3世代言語である。さらに、計算機が“速い”とはどういうことか、気象・気候モデルが“速い”とはどういうことか、などの問いと共に、高速化のための技術が語られた。例えばものすごく速い計算機があったとしても、データ通信部分に時間がかかってしまうと、結果的に全体の計算には時間がかかってしまう。八代氏は、全てを満足させるスーパーコンピュータは存在しないため、使う側（気象・気候モデル開発者）と作る側（スーパーコンピュータ設計者）が協力しながらスーパーコンピュータを作ることで、より良いものができることを説明した。理化学研究所の「京」や「富岳」はそのような協力体制（コデザイン）のもとで作られたスーパーコンピュータである。最後に、このような気象・気候研究コミュニティとスーパーコンピュータなどの計算機を設計開発するコミュニティとをつなぐための気象学会の研究連絡会「計算科学研究連絡会」の紹介をして話を閉じた。

8. 台風制御に向けて：ムーンショットでの取り組み

京都大学 森 信人氏

森氏からは、ムーンショット目標8 気象制御の「台風制御」課題の概要が紹介された。ムーンショット型研究開発事業は、長期的に達成すべき9つの目標を定め、2050年の目標達成を目指して研究を進めていく大型プロジェクトである。この中で台風制御に関する取り組みが採用され、横浜国立大学の筆保弘徳教授がプロジェクトマネージャーとなり、研究が進められている。その背景には、近年特に台風による風水害が多く発生していることが挙げられる。台風制御の歴史は古く、アメリカでは1947年にProject Cirrus、1962年から1983年にProject Stormy が実施された。これらのプロジェクトの中では、航空機からドライアイスやヨウ化銀を散布し、降水システムを制御する試みが行われたが、いずれも効果は不明瞭で、訴訟に発展したケースについて紹介された。過去の制御実験から多くの点を学び、現代的な台風制御の試みがこのプロジェクトでは進められている。森氏から、台風制御に際して、まずは台風の内部構造を正しく把握するために、航空機観測や高解像度モデルによるシミュレーションが行

われていることが紹介された。モデルの中に氷晶を散布する感度実験や特定海域の海面水温を低下させた感度実験が実施されている。実際に台風を制御する場合には、大気科学の分野には収まらず、工学的実現性、費用対効果等様々な問題を生むことになる。そのため、倫理的課題 (Ethical Issues)、法的課題 (Legal Issues)、社会的課題 (Social Issues) の接頭語を取った ELSI に対応する研究体制が並行して進められているとのことであった。

9. 学習到達度試験

教育と普及委員 南 利幸氏

通常の講義終了後、今回も「学習到達度確認試験」を行った。各講師に2題ずつ講師各自の講義についての出題を依頼し、計16題の問題となった。気象キャスター・気象学会教育と普及委員会の南氏の司会で、試験の出題と Zoom のオンライン機能を活用して答え合わせを行った。今回は、初日の問題は初日終了後、2日目午前の講義に関する問題は昼休みに共有することで事前に答えを考えてもらい、短時間で Zoom に回答できる方式とした。問題は簡単なものから超難問まで様々であったが、全体としては比較的難問が多く、受講者は苦戦したようであった。答え合わせの際には、8人中6人の講師にオンラインで再登場して解説して

いただいた。難問ではあったが、講師本人からの解説もあり、受講者にとって講義内容を振り返る良い機会だったのではないだろうか。

10. おわりに

夏季大学は気象学会員以外への気象学の普及・啓発を目的の一つとして実施している。アンケートでは非学会員の受講者が約65%を占めており、今年度もその目的を果たせたと考えている。当委員会では事後アンケートを実施しており、翌年以降の運営の参考にしている。受講料の2000円に関しては8割の方がちょうど良いとの回答であった。開催方法に関して約6割はオンライン開催が良いとの回答であったが、約4割がオンラインと現地とのハイブリッド開催を希望しており、来年度はハイブリッド開催の可能性も模索したい。

最後に、ご多忙にも関わらず、夏季大学の講義を快くお引き受けいただき、貴重な講演を行っていただいた講師の皆様にご心より感謝申し上げます。

(教育と普及委員会 川瀬宏明)

参 考 文 献

石橋俊之, 2013: 観測システムシミュレーション実験 (OSSE). 天気, 60, 51-53.