

第56回夏季大学「気候変動とその影響」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、2022年8月6日（土）と7日（日）の2日間にかけて、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）。

2022年のテーマは「気候変動とその影響」である。夏季大学開講のお知らせ（天気2022年7月号）にも記載した通り、国内外で気候変動に関連した報告書が公表され、それがメディアで報道されるなど、気候変動への関心はますます高まっている。真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞も、気候変動に関するモデル開発が評価されたものであり、大きな話題となった。そこで、私たちのこれからの生活にも大に関わる気候変動問題に焦点を当て、予測に使われる気候モデルの発展の歴史と最近の気候予測、気候変動に伴う様々な影響について、8名の専門家の皆さまに講義をお願いした。

今年度は昨年度に引き続きオンラインによる開催とした。受講費用は2000円で、受講者は約150名、海外からも含め幅広い年齢層の受講生にご参加いただいた。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）。なお、要旨は受講者でなくても閲覧可能である。講師の方々にわかりやすくまとめていただいたので、是非多くの皆様にご覧いただきたい。

講演はZoomのウェビナー形式で行い、講師1名につき50分または60分の講義を依頼し、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。また、受講者限定のwebページでは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、講義の内容を簡単に紹介する。

1. 日本の気候変動2020とIPCC第6次評価報告書 気象庁 笹野大輔氏

トップバッターの笹野氏には、近年の気候変動研究に関する国内外の動向を幅広くご紹介していただいた。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の設立の経緯から報告書完成までのプロセスをご説明いただくとともに、最新の第6次評価報告書にまとめられた観測、予測、影響、政策等に関する政策決定者向け要約を簡潔に解説いただいた。日本の気候変動2020では、高密度の観測データから得られる気温や降水の観測にとどまらず、海面水位や海洋酸性化の話題にも触れられており、受講者からも質問が寄せられた。

近年頻発している大雨などの極端現象の発生頻度は、長期的な気候変動によって増加すると予想されており、これらに対する短期的な防災に関する情報を出すことは、気候変動に対する適応策として位置づけられる。気候変動の課題に対する政府の役割分担の中で、気象庁に求められる役割も変わりつつあると話される笹野氏からは、気象庁の担う役割に対する責任感が感じられた。

2. 気候モデルの発展の歴史

東京大学大気海洋研究所 佐藤正樹氏

佐藤氏はNICAMの開発者としても広く知られており、数値モデルの開発の歴史を俯瞰し、気候モデルの発展について解説していただいた。気候モデルの発展の歴史を紐解くと、ノーベル物理学賞を受賞した真鍋博士の研究の歴史に重なる。鉛直1次元のモデル開発から数年で3次元の大気海洋結合モデルに発展させていき、そのモデルが二酸化炭素漸増実験の空間分布を精度よく表現していたことは非常に驚きであった。現在の気候モデリング研究が、真鍋氏ら偉大な先人の情熱と努力の上に成り立っていることを強く感じた。佐藤氏が進めている次世代の全球モデルによる雲の様子は、静止気象衛星の画像と見間違えるほどの細かさであり、対流をパラメタライズせずに計算するという意味で、真鍋博士の対流調節に通じるアプローチである

という話も大変興味深かった。

3. 地球の温度上昇予測に大きなばらつきがあるのはなぜか？ —答えは、雲—

気象研究所 川合秀明氏

二酸化炭素の濃度が工業化前の2倍になったときの温度上昇（気候感度）については、モデル間のばらつきが依然として大きい。川合氏からは、この温暖化予測を難しくしている大きな要因である下層雲のお話をいただいた。下層雲は地球を冷やす効果を持ち、その将来の増減が地球の将来の温度に大きく影響する。しかし、下層雲は複雑な物理プロセスの微妙なバランスで生成・維持・消滅するのに対し、モデルの解像度が低いために再現することが難しいということであった。佐藤氏からご紹介のあった次世代モデルでは再現性があるのだろうかと期待したが、空間解像度を10m程度にしないと結果が収束しない話を聞き、気候モデルには困難な課題がたくさんあることを改めて思い知らされた。このような困難な課題にも関わらず、佐藤氏や川合氏らモデリング研究者らの努力によって気候モデルはどんどん改良されており、下層雲は将来減少し、温暖化を促進する方向でモデル間のコンセンサスが得られつつあることがわかった。

4. 気象・気候のデジタルツイン？：NICAMによる高解像度シミュレーション

海洋研究開発機構 中野満寿男氏

佐藤氏が開発に携わったNICAMは全球非静力学モデルである。中野氏からはNICAMを使った高解像度シミュレーションをご紹介いただいた。通常の全球モデルと異なり、基本の正20面体格子を分割した格子系を使うことで極問題を解決できるという。現在は主に富岳を使った研究開発が進められており、計算資源を活用した高解像度化と多量の計算によって、台風の発生予測や大きさの将来変化について様々な成果をあげていることを説明していただいた。また、サイバー空間にリアル空間を再現するデジタルツインという言葉に耳にするようになったが、EUではDestination Earthというプロジェクトのもと、気象・気候情報を様々なユーザーが利用できるシステムの構築が進められているようである。このような欧米の動向にも注視しつつ、良いモデルで良いサイエンスをしていきたいというお話であった。

5. 北極圏の温暖化による遠隔気候影響

九州大学応用力学研究所 森 正人氏

森氏からはまずピンボールを使って、自然の揺らぎと温暖化の寄与や外部変動の影響との違いについてお話いただき、異常気象が気候システムの自然のふるまいの中で起こっているということの解説があった。テレコネクションパターンは異常気象をもたらす要因の一つであり、日本の冬の気候にも影響を及ぼしているのが北極海の海水減少である。北極海の海水分布の過去40年間ほどの動画では、近年海水が減少している様子が明らかであった。これにより、WACEパターンと呼ばれる地上気温のEOF解析の第2モードが出現しやすくなっていると考えられ、大気モデルによる検証もされているとのことである。モデル内の海水の影響の評価や、大気と海洋の相互作用の有無等によって、海水減少の影響の大きさについてはまだコンセンサスが得られていないということであったが、温暖化が進行する過程で見られる過渡現象として非常に興味深い現象であると感じた。

6. 洪水災害に対する気候変動の影響と適応

京都大学防災研究所 佐山敬洋氏

佐山氏からは過去の洪水災害を振り返りつつ、近年進められている流域治水の考え方や気候モデルを活用した研究についてご説明いただいた。流域治水とは、国土交通省によれば「気候変動の影響を踏まえ、あらゆる関係者が協働して流域全体で行う総合的かつ多層的な水災害対策」だそうである。災害リスクはハザード（外力）だけでなく、曝露や脆弱性にも左右されており、リスクを軽減するためにこれらをコントロールすること、特に被害対象を減少させるための対策（曝露）に注力されるようになってきているそうである。将来変化については様々なレポートでも言及されているが、流域治水という観点からも地域ごとの解析が必要とされる。そこで役立つのが大規模アンサンブル実験（d4PDF）であり、地域区分ごとの降雨量の変化倍率などもこのデータを基に提言され、治水計画に反映されるようになってきているということであった。

7. ヒートアイランドと温暖化：ヒートアイランド対策と暑さ対策は違うのか？

筑波大学計算科学研究センター 日下博幸氏

都市が存在することで都市の気温が郊外の気温よりも高くなる現象であるヒートアイランドは、19世紀に

は発見されていたということである。日下氏からは、ヒートアイランドに関するよくある誤解についてご説明いただいた。例えば、埼玉県は暑いことで知られているが、その理由として東京の熱が海風で運ばれるためという解釈がある。これは、海風の到達する時間が最高気温の観測される時間よりも遅いことから、誤解であると言える。また、過去100年間の東京の気温上昇が地球温暖化だけの影響とは言い切れず、都市化の影響も温暖化と同等であるとのことであった。このように影響を分離することにも、気候モデルの実験が有効と言えそうである。また、壁面緑化や街路樹、風の通り道を作るなど様々なヒートアイランド対策があるが、遮熱性舗装は歩行者の熱ストレスを上げることになり、暑さ対策という意味では逆効果になるという話も興味深かった。

8. 世界の穀物生産における気候変動影響と適応 農研機構 飯泉仁之直氏

飯泉氏には農業分野における気候変動の影響・適応評価についての知見をご紹介いただいた。これまでの気候変動で穀物の収量は1.8~4.5%失われていたことが飯泉氏のプロセスモデルなどで示されており、これは年間424億ドルの被害に換算できるそうである。肥料や遺伝子改良組み換えなど、技術発展によって収量は増加しているが、それだけでは今後見込まれる食料の需要を満たすことはできないという。播種日の移動や、別品種への切り替え、生産資材の追加投入など比較的容易な適応策を導入することで、全球気温2度上昇で見込まれる生産被害の約76%は回避できるとの結果は希望の持てるものだが、適応でまかなえる範囲は昇温とともに低下する。気候変動の緩和を継続していくことと、より大きな変革を伴う適応策の導入が必要である。年々の異常天候に対応できるよう飯泉氏はすでに作物の収量予測を開発・公開している。飯泉氏が指摘するように、持続可能な社会を皆が目指す必要があると感じた。

9. 学習到達度試験

教育と普及委員 南 利幸氏

最後の一コマは、「学習到達度確認試験」を行った。各講師に2題ずつご自身の講義についての出題を依頼したため、全部で16題となった。気象キャスターの南利幸氏の司会で、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。オンライン上での回答方法に多少わかりにくい部分があった点については、改善を検討したい。講師ご自身で作成いただいた試験問題には難解なものも含まれていたが、答え合わせの際に出題された講師の解説をささむことで、受講生の理解が深まったのではないだろうか。

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半数以上を占めており、引き続きその目的を果たせたと考えている。一方で宣伝が十分でなかったとの意見もあったため、今後さらに改善していきたい。オンラインと現地開催とでは一長一短があり、引き続き議論が必要であろう。

気候変動は、誰一人として関係のない人はいない課題である。気温が上昇することで雪下ろしの頻度を減らすことができたり、寒さと関連した死亡率の低下といったメリットもあるかもしれないが、それと同時に多くのリスクやデメリットがあることが、今回の夏季大学でもご理解いただけたことと思う。持続可能な社会に向けて、気候変動を自分事と捉え、行動していくことが必要である。また、気候モデルの発展の歴史や応用事例を通して、将来の展望に気候モデルが必要不可欠であることも改めて示された。真鍋淑郎博士をはじめとした、モデル開発に携わる研究者の皆さまに敬意を表したい。今後も夏季大学などの場を通して、科学的な知見や気象学の魅力を中高生や大学生、一般の多くの方々に発信して参りたい。

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、素晴らしい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。