2020 年度日本気象学会賞の受賞者決まる

受賞者：吉森正和（東京大学大気海洋研究所）

業績：古気候シミュレーションを活用した気候感度および気候フィードバックのメカニズムに関する研究

選定理由：

大気中の温室効果ガス濃度の上昇に伴う将来の気候変化（いわゆる地球温暖化）のメカニズムを明らかにし、その確かな推定を行うことは、気象学の重要な課題の一つである。研究の蓄積により、気候変化のいくつかの側面は明らかになってきたが、最も基本的な指標とされる平衡気候感度（二酸化炭素濃度倍増時の全球平均地表気温の上昇量）には未だに大きな不確実性があり、主要因として気候フィードバック（外部強制に対する地表気温の応答が引き起こす放射変化）の理解が不足していることが指摘されている。

将来の気候変化の推定には、全球気候モデル（以下気候モデルと呼ぶ）を用いた数値シミュレーションが不可欠である。しかし、計算の際に気候モデルに与える温室効果ガス濃度は、20世紀以降に観測されてきたレベルを大きく超えており、気候感度や気候フィードバックの確かな理解には異なるアプローチを組み合わせた研究が必要である。吉森正和氏は、カナダの Victoria 大学で学位取得後、この問題に古気候シミュレーションを応用することで、多くの研究成果を上げてきた。具体的には、気候フィードバックは温暖化気候以外でも働くことに着目し、最終氷期最盛期（以下 LGM と呼ぶ）や完新世中期の気候シミュレーションと温暖化シミュレーションを比較しつつ、そのメカニズムを検証するという手法である。こうした研究は世界的に見ても独自性の高いもので、これは吉森氏が古気候モデリングから温暖化研究に研究対象を広げてきたという経歴によるところが大きい。吉森氏による古気候研究は、氷期・間氷期の遷移、氷期の急激な気候変動、植生・気候相互作用、海洋子午面循環系の平衡解構造の過去と現在の違いなど幅広いが、それらをベースに以下に述べる温暖化研究が展開された。

吉森氏の業績のうちで重要なものに、気候フィードバックや気候感度が放射強制の種類および気候平均状態にどう依存するかを明らかにした一連の研究が挙げられる(Yoshimori and Broccoli 2008, Yoshimori et al. 2009, 2011)。具体的には、まず気候モデル MIROC を用いて、LGM および二酸化炭素濃度倍増時のシミュレーションを行い、フィードバック過程ごとに比較解析した。その結果、温暖化と寒冷化で気候感度に違いがあり、その主な原因が、中高緯度の混相雲フィードバックの気候平均状態および放射強制の符号に対する非線形な依存性を示した。現在、気候フィードバックが気候状態に依存することは専門家の間でコンセンサスが得られているが、吉森氏による上記の研究は、これに早く

から貢献したもので、国際的にも高く評価されている。さらに、MIROCの物理パラメータアンサンブル実験および結合モデル相互比較計画(CMIP)マルチモデルの解析から、古気候データやシミュレーションで温暖化時の気候感度を制約できることを示している。

吉森氏のもう一つの重要な業績は、気候フィードバックの詳細な解析によって北極温暖化増幅のメカニズムを解明した点である。温暖化シミュレーションにおいて、北極域での地表気温上昇が低緯度より大きいことを指して「北極温暖化増幅」と呼ぶが、このような極域の気候変化は近年注目を浴びており、従来考えられていた「氷-アルベドフィードバックにより北極域で温暖化が大きくなる」という単純な説明が妥当ではないことが示されつつある。吉森氏による最近の一連の研究(Yoshimori and Abe-Ouchi 2012, Yoshimori et al. 2014a, 2014b, 2017, Yoshimori and Suzuki 2019)は、北極温暖化増幅に寄与する複数のフィードバック過程(氷-アルベド、温度減率、雲)に加えて、大気による南北熱輸送の変化が重要であることを指摘している。北極温暖化増幅が顕著なのは北半球冬季だが、氷-アルベドフィードバックが働くのは夏季である。吉森氏は、気候フィードバックの季節性を丁寧に調べた結果、アルベドフィードバックに伴い夏季に海洋に吸収された熱が、秋から冬にかけて冷たい大気中に放出され、放射の非線形性、強い大気成層、雲の温室効果によって温暖化が促進されることを示した。このとき、北極域への大気潜熱輸送の増加は水蒸気と雲の温室効果を強めるように働く。この結果は、それまで未解決の問題であった温暖化時の大気熱輸送の増加と北極温暖化増幅の関係を解明するための重要な示唆を与えるものである。

上記の業績に加え、吉森氏は、解説記事やレビュー論文の執筆を通じて、気候感度および気候フィードバックに関する啓発にも積極的にかかわってきた。国内の研究者15人をリードして気象学会誌「天気」に発表した気候感度の総説3部作は、日本語で書かれた優れた解説書であり(吉森ほか 2012a-c)、また、放射強制に対する気候応答のレビュー論文を発表している(Yoshimori et al. 2016)。さらに、IPCC第5次評価報告書の協力執筆者(Contributing Author)を務めるなど、国際コミュニティにおける気候感度研究にも寄与している。このように、吉森氏が行ってきた、過去から将来の気候変化を統合的に理解するための一連の研究は、気象学に重要な貢献をするものと認められ、今後さらなる発展も期待される。

以上の理由により、吉森正和氏に2020年度日本気象学会賞を贈呈するものである。

主な関連論文

Yoshimori, M. and M. Suzuki, 2019: The relevance of mid-Holocene Arctic warming to the future. *Clim. Past*, **15**, 1375-1394.

Yoshimori, M., A. Abe-Ouchi, and A. Laine, 2017: The role of atmospheric heat transport and regional feedbacks in the Arctic warming at equilibrium.

- Clim. Dyn., **49**, 3457-3472.
- Yoshimori, M., M. Watanabe, H. Shiogama, A. Oka, A. Abe-Ouchi, R. Ohgaito, and Y. Kamae, 2016: A review of progress towards understanding the transient global mean surface temperature response to radiative perturbation. Prog. Earth and Planet. Sci., **3**, 1-14.
- Yoshimori, M., A. Abe-Ouchi, M. Watanabe, A. Oka, and T. Ogura, 2014a: Robust seasonality of Arctic warming processes in two different versions of the MIROC GCM. J. Climate, **27**, 6358-6375.
- Yoshimori, M., M. Watanabe, A. Abe-Ouchi, H. Shiogama, and T. Ogura, 2014b: Relative contribution of feedback processes to Arctic amplification of temperature change in MIROC GCM. Clim. Dyn., **42**, 1613-1630.
- Yoshimori, M. and A. Abe-Ouchi, 2012: Sources of spread in multimodel projections of the Greenland Ice Sheet surface mass balance. J. Climate, **25**, 1157-1175.
- Yoshimori, M., J. C. Hargreaves, J. D. Annan, T. Yokohata, and A. Abe-Ouchi, 2011: Dependency of feedbacks on forcing and climate state in physics parameter ensembles. J. Climate, **24**, 6440-6455.
- Yoshimori, M., T. Yokohata, and A. Abe-Ouchi, 2009: A comparison of climate feedback strength between CO₂ doubling and LGM experiments. J. Climate, **22**, 3374-3395.
- Yoshimori, M. and A. J. Broccoli, 2008: Equilibrium response of an atmosphere-mixed layer ocean model to different radiative forcing agents: global and zonal mean response. J. Climate, **21**, 4399-4423.
- 吉森 正和, 横畠 徳太, 小倉 知夫, 大石 龍太, 河宮 未知生, 塩竈 秀夫, 對馬 洋子, 小玉 知央, 野田 暁, 千喜良 稔, 竹村 俊彦, 佐藤 正樹, 阿部 彩子, 渡部 雅浩, 木本 昌秀, 2012a: 気候感度 Part 1: 気候フィードバックの概念と理解の現状. 天気, **59**, 5-22.
- 吉森 正和, 横畠 徳太, 小倉 知夫, 大石 龍太, 河宮 未知生, 塩竈 秀夫, 對馬 洋子, 小玉 知央, 野田 暁, 千喜良 稔, 竹村 俊彦, 佐藤 正樹, 阿部 彩子, 渡部 雅浩, 木本 昌秀, 2012b: 気候感度 Part 2: 不確実性の低減への努力. 天気, **59**, 91-109.
- 吉森 正和, 横畠 徳太, 小倉 知夫, 大石 龍太, 河宮 未知生, 塩竈 秀夫, 對馬 洋子, 小玉 知央, 野田 暁, 千喜良 稔, 竹村 俊彦, 佐藤 正樹, 阿部 彩子, 渡部 雅浩, 木本 昌秀, 2012c: 気候感度 Part3: 古環境からの検証. 天気, **59**, 143-150.