

2022 年度日本気象学会堀内賞受賞者

受賞者氏名：羽島 知洋（海洋研究開発機構）

研究業績：地球システムモデルの開発と陸域生態系を含む気候－炭素循環相互作用の研究

選定理由：

気候変動のメカニズムの理解や将来予測を行う全球気候モデルは気候を形成する物理過程を主対象としてモデル化したものであり、温室効果ガスの濃度は所与のものとしてシミュレーションが行われてきた。しかしながら、大気中の温室効果ガス、特に CO₂ の大気中濃度変動は、人為排出量だけでなく、海洋・陸域の生態系・物質循環が支配する CO₂ 吸収・放出に強く制御され、気候変化の影響を受ける。したがって包括的な気候変動メカニズムの理解と予測のためには、このような生物地球化学過程も組み込んだ気候と炭素循環の相互作用を陽に扱うことのできるモデル、すなわち地球システムモデル（以下 ESM）が必要となる。

羽島知洋氏は、全球～地域規模にまたがる陸域生態系モデリングおよび気候－炭素循環相互作用に関する卓抜した視点と優れたマネジメントセンスならびにモデリングスキルをもって、国内における ESM 開発に多大な貢献をしてきた。また羽島氏は、気候モデル・地球システムモデルのマルチモデル相互比較国際プロジェクト（Coupled Model Intercomparison Project, CMIP）にかかる主要な国内研究プログラムをリードし、多数の予測情報を創出した。CMIP に提供したデータは、世界の気候変動予測研究や気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の評価報告書などを通じ気象学の発展に大きく貢献してきた。さらに、以下に述べるように、自らも ESM を駆使して数値実験研究を展開し、陸域炭素循環を中心とした気候－炭素循環相互作用研究を通じ、IPCC 評価報告書等に引用されるような優れた研究成果をあげてきている。

羽島氏は、より様々な人間活動の影響や地球システム内の相互作用を気候変動予測に反映できるよう、炭素・窒素循環をはじめとする様々な物質循環を組み込んだ CMIP6 版 ESM（“MIROC-ES2L”）の国内開発を主導的に行ってきた[2, 10]。世界でもまだ数の少ない炭素循環への窒素制限を取り入れた陸域生態系モデルを導入するなど、生態学・生物地球化学など学際的素養を持つ気候モデル研究者として、ESM 高度化に重要な役割を果たしている。そして ESM を用いた気候－炭素循環フィードバックに関する研究[3, 8]や、気候－土地利用変化に関する研究[6, 7]を手がけ、隣接分野である炭素循環や陸域生態系の観点から気候変動予測に関する重要な研究成果をあげている。炭素循環フィードバックに関する国際モデル相互比較実験（CMIP6-C4MIP）では、MIROC-ES2L を用いた実験からデータ提供、解釈まで日本のモデル研究グループの代表として貢献した。CO₂ 増加による陸域、海洋による炭素吸収の変化に関する研究[3]では全体を統括し、不確実性が大きいとされる陸域生態系の炭素循環について、大気 CO₂ 濃度上昇に対する生産力や炭素貯留量の応答感度を、ESM シミュレーションと独自の解析法により要因分離することに成功した。また、長期的な気候変動対策に不可欠な累積人為 CO₂ 排出量と全球平均気温との関係についても研究を深めてきた。ESM の特性を活かしてフィードバック効果を考慮した長期計算を実施することで、ゼロ排出時の過渡的応答や累積排出量と気温上昇の間の非線形関係を示すなど、社会科学と自然科学をつなぐ重要な成果をあげている[1, 5, 9]。

また羽島氏は、モデル開発にあたって、物理気候モデル MIROC をシームレスに ESM に導入

するための開発環境を整備し、気候科学から地球システム科学までを統一的に研究できるような研究開発体制を実現した。その結果、例えば気候モデル向けに開発された初期値化システムをESMへ容易に移植できるようになり、炭素循環も含めた精緻な近未来予測を行う「地球システム予測」を国内で初めて可能にした[4]。羽島氏のモデル開発とそれを活用した研究活動は、その対象に様々な研究領域が含まれることから、多様な研究領域間を橋渡しする”ハブ”として機能し始めており[2, 10]、特に観測を主体とした炭素循環研究コミュニティとの連携は、これまで困難であったESMの全球炭素循環の詳細検証に飛躍をもたらす成果につながっている[11]。

このように、羽島氏が行ってきた地球システムモデルの研究開発は、気候研究を中心とした様々な学際研究に代表される新たな研究の派生・萌芽を育むプラットフォームを形成し発展させることによって、気象学ならびにその隣接分野の発展に大きく貢献してきたといえる。

以上の理由により、日本気象学会は羽島知洋氏に2022年度堀内賞を贈呈するものである。

主な論文リスト（年代順）：

1. Hajima, T., T. Ise, K. Tachiiri, E. Kato, S. Watanabe, and M. Kawamiya, 2012: Climate change, allowable emission, and earth system response to representative concentration pathway scenarios. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **90**, 417–434, doi:10.2151/jmsj.2012-305.
2. Hajima, T., M. Kawamiya, M. Watanabe, E. Kato, K. Tachiiri, M. Sugiyama, S. Watanabe, H. Okajima, and A. Ito, 2014a: Modeling in Earth system science up to and beyond IPCC AR5. *Prog. Earth Planet. Sci.*, **1**, 1–25, doi:10.1186/s40645-014-0029-y.
3. Hajima, T., K. Tachiiri, A. Ito, and M. Kawamiya, 2014b: Uncertainty of concentration-terrestrial carbon feedback in earth system models. *J. Climate*, **27**, 3425–3445, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00177.1>.
4. Watanabe, M., H. Tatebe, H. Koyama, T. Hajima, M. Watanabe, and M. Kawamiya, 2020: Importance of El Niño reproducibility for reconstructing historical CO₂ flux variations in the equatorial Pacific. *Ocean Science*, **16**, 1431–1442, <https://doi.org/10.5194/os-16-1431-2020>.
5. MacDougall A.H., T. L. Frölicher, C. D. Jones, J. Rogelj, H. D. Matthews, K. Zickfeld, V. K. Arora, N. J. Barrett, V. Brovkin, F. A. Burger, M. Eby, A. V. Eliseev, T. Hajima, P. B. Holden, A. Jeltsch-Thömmes, C. Koven, N. Mengis, L. Menviel, M. Michou, I. I. Mokhov, A. Oka, J. Schwinger, R. Séférian, G. Shaffer, A. Sokolov, K. Tachiiri, J. Tjiputra, A. Wiltshire, and T. Ziehn, 2020: Is there warming in the pipeline? A multi-model analysis of the Zero Emissions Commitment from CO₂. *Biogeosciences*, **17**, 2987–3016, <https://doi.org/10.5194/bg-17-2987-2020>.
6. Ito, A., and T. Hajima, 2020: Biogeophysical and biogeochemical impacts of land-use change simulated by MIROC-ES2L. *Prog. Earth Planet. Sci.*, **7**, doi:10.1186/s40645-020-00372-w.
7. Boysen, L., V. Brovkin, J. Pongratz, D. M. Lawrence, P. Lawrence, N. Vuichard, P. Peylin, S. Liddicoat, T. Hajima, Y. Zhang, M. Rocher, C. Delire, R. Séférian, V. K. Arora, L. Nieradzic, P.

- Anthoni, W. Thiery, M. M. Laguë, D. Lawrence, and M.-H. Lo, 2020: Global climate response to idealized deforestation in CMIP6 models, *Biogeosciences*, **17**, 5615–5638, <https://doi.org/10.5194/bg-17-5615-2020>.
8. Arora, V.K., A. Katavouta, R. G. Williams, C. D. Jones, V. Brovkin, P. Friedlingstein, J. Schwinger, L. Bopp, O. Boucher, P. Cadule, M. A. Chamberlain, J. R. Christian, C. Delire, R. A. Fisher, T. Hajima, T. Ilyina, E. Joetzjer, M. Kawamiya, C. D. Koven, J. P. Krasting, R. M. Law, D. M. Lawrence, A. Lenton, K. Lindsay, J. Pongratz, T. Raddatz, R. Séférian, K. Tachiiri, J. F. Tjiputra, A. Wiltshire, T. Wu, and T. Ziehn, 2020: Carbon–concentration and carbon–climate feedbacks in CMIP6 models and their comparison to CMIP5 models. *Biogeosciences*, **17**, 4173-4222, <https://doi.org/10.5194/bg-17-4173-2020>.
 9. Hajima, T., A. Yamamoto, M. Kawamiya, X. Su, M. Watanabe, R. Ohgaito, and H. Tatebe, 2020a: Millennium time-scale experiments on climate-carbon cycle with doubled CO₂ concentration. *Prog. Earth Planet. Sci.*, **7**, doi:10.1186/s40645-020-00350-2.
 10. Hajima, T., M. Watanabe, A. Yamamoto, H. Tatebe, M. A. Noguchi, M. Abe, R. Ohgaito, A. Ito, D. Yamazaki, H. Okajima, A. Ito, K. Takata, K. Ogochi, S. Watanabe, and M. Kawamiya, 2020b: Development of the MIROC-ES2L Earth system model and the evaluation of biogeochemical processes and feedbacks. *Geosci. Model Dev.*, **13**, 2197–2244, doi:10.5194/gmd-13-2197-2020.
 11. Patra, P. K., T. Hajima, R. Saito, N. Chandra, Y. Yoshida, K. Ichii, M. Kawamiya, M. Kondo, A. Ito, and D. Crisp, 2021: Evaluation of earth system model and atmospheric inversion using total column CO₂ observations from GOSAT and OCO-2. *Progress in Earth and Planetary Science*, **8**(1), 1-18, <https://doi.org/10.1186/s40645-021-00420-z>.