

2022 年度日本気象学会正野賞受賞者

受賞者：丹羽 洋介（国立環境研究所）

研究業績：観測とモデルの融合による全球温室効果ガス収支に関する研究

選定理由：

地球表層の炭素循環は地球温暖化に重要な影響を与える要素であり、温暖化予測の精度向上ならびに温暖化緩和策の策定に対して炭素循環メカニズムの解明は必要不可欠である。特に二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの排出・吸収を定量的に把握・監視することの重要性は近年さらに高まっている。丹羽洋介氏は、大気観測データから物質輸送モデルを用いて温室効果ガスの排出・吸収量推定を行う逆解析の手法について、関連する研究開発を一貫して実施しており、国際的に見ても先駆的な逆解析システムを構築した。さらに、開発したモデル・システムを用いて航空機観測を中心とした解析研究を進め、温室効果ガスの排出・吸収量推定における航空機観測の有用性を実証してきた。

まず、丹羽氏は、温室効果ガスなどの長寿命気体の計算に重要な質量保存を完全に満たすことのできるモデルとして、我が国で開発された全球大気モデル NICAM に一早く着目し、NICAM をもとにした物質輸送モデル NICAM-TM を東京大学大学院の修士課程在学時に独自に開発した [業績 1]。さらに、本モデルを用いて国内外の二酸化炭素の大気輸送や逆解析に関するモデル比較実験に参加し、開発したモデルが世界と比肩するものであることを実証した [業績 2, 10]。特に業績 2 については丹羽氏自身が日本の物質輸送モデルの研究者を束ねて比較実験を主導したものであり、また、逆解析のモデル比較実験の成果 [業績 10] は IPCC 第 5 次評価報告書にも用いられ国際的な貢献を果たした。一方、広域の航空機観測データを用いた二酸化炭素収支に関する逆解析も実施し、地上観測が不足している熱帯の排出・吸収量推定などに対して新たな拘束条件を与えられることを世界で初めて示すとともに、南アジアにおける強い二酸化炭素吸収の存在など、アジア域での炭素循環に対して新たな知見をもたらした [業績 3, 9]。

さらに丹羽氏は NICAM-TM をベースとして 4 次元変分法を用いた新たな逆解析システム NISMON (NICAM-based Inverse Simulation for Monitoring) の開発にも独自に取り組み、国際的に見ても最先端のシステムの開発に成功した。まず、NICAM の質量保存性や効率的な並列計算機能を維持しつつも大気輸送以外の計算を簡略化することで大幅な高速化を達成し、4 次元変分法に必要とされる多大な計算に耐えうる順モデルを開発した [業績 5]。さらに海洋データ同化分野で開発された最適化アルゴリズムを応用し、その導入によって逆解析の精度が向上することを実証した [業績 6]。一方で、通常の 4 次元変分法では導出困難な解析後の誤差情報について、一般的な最適化手法である準ニュートン法を発展させた新たな推定アルゴリズムを考案し、精度よく効率的に誤差情報を導出することを可能とした [業績 7]。この逆解析システムは、NICAM の応用からシステム全体の構築に至るまで丹羽氏のアイデアに基づいて構築された独創的なものであり、海外の研究機関では分業で

行うところ、一連の開発を一人で成し遂げたことは特筆すべき点である。

このシステムを活かして丹羽氏は東南アジアにおける航空機や船舶などの移動体による観測に適した逆解析を行い、大規模な森林火災からの二酸化炭素の放出量を推定することに成功した [業績 8]。さらに国際的な炭素収支プロジェクト (Global Carbon Project: GCP) の二酸化炭素やメタンの統合解析に参加し、最新のグローバルな炭素収支推定に継続的に貢献した [業績 12, 13]。これらの解析結果は IPCC 第 6 次評価報告書においても最も信頼性の高い温室効果ガス収支として重要な役割を果たした。

一方で、丹羽氏は世界的な温室効果ガス航空観測プロジェクト CONTRAIL に長年参画して、その観測データを活かした解析研究を進めると同時に、データ管理やデータ公開などに尽力し、2016 年以降は実施責任者の 1 人としてプロジェクトの推進を担ってきた [業績 2, 3, 4, 9, 11]。さらに、環境省・(独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費の研究プロジェクトにおいて 6 年間にわたりサブ課題代表を務め、プロジェクトの推進・発展に貢献し、その成果が高く評価されたとともに、2021 年度開始の環境研究総合推進費ではテーマ 1 の課題代表としての重責を担っている。

これらの実績が示すとおり、丹羽氏は我が国を代表する研究者として今後の炭素循環研究を牽引し、気象学の発展と社会貢献に寄与していくことが期待できる。以上の理由により、日本気象学会は丹羽洋介氏に 2022 年度正野賞を贈呈するものである。

主な論文リスト：

1. Niwa, Y., H. Tomita, M. Satoh, R. Imasu (2011) A three-dimensional icosahedral grid advection scheme preserving monotonicity and consistency with continuity for atmospheric tracer transport, *J. Meteor. Soc. Japan*, 89, 3, 255–268, doi: 10.2151/jmsj.2011-306.
2. Niwa, Y., P. K. Patra, Y. Sawa, T. Machida, H. Matsueda, D. Belikov, T. Maki, M. Ikegami R. Imasu, S. Maksyutov, T. Oda, M. Satoh, M. Takigawa (2011) Three-dimensional variations of atmospheric CO₂: aircraft measurements and multi-transport model simulations, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 13359–13375, doi: 10.5194/acp-11-13359-2011.
3. Niwa, Y., T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, T. J. Schuck, C. A. M. Brenninkmeijer, R. Imasu, M. Satoh (2012) Imposing strong constraints on tropical terrestrial CO₂ fluxes using passenger aircraft based measurements, *J. Geophys. Res.*, 117(D11303), doi:10.1029/2012JD017474.
4. Niwa, Y., K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Sawa, T. Machida, M. Nakamura, T. Kawasato, K. Saito, S. Takatsuji, K. Tsuji, H. Nishi, K. Dehara, Y. Baba, D. Kuboike, S. Iwatsubo, H. Ohmori, Y. Hanamiya (2014) Seasonal Variations of CO₂, CH₄, N₂O and CO in the Mid-troposphere over the Western North Pacific Observed using a C-130H Cargo Aircraft, *J. Meteor. Soc. Japan*, 92(1), 50-70, doi:10.2151/jmsj.2014-104.

5. Niwa, Y., H. Tomita, M. Satoh, R. Imasu, Y. Sawa, K. Tsuboi, H. Matsueda, T. Machida, M. Sasakawa, B. Belan, N. Saigusa (2017) A 4D-Var inversion system based on the icosahedral grid model (NICAM-TM 4D-Var v1.0) – Part 1: Offline forward and adjoint transport models, *Geosci. Model Dev.*, 10, 1157–1174, doi:10.5194/gmd-10-1157-2017.
6. Niwa, Y., Y. Fujii, Y. Sawa, Y. Iida, A. Ito, M. Satoh, R. Imasu, K. Tsuboi, H. Matsueda, N. Saigusa (2017) A 4D-Var inversion system based on the icosahedral grid model (NICAM-TM 4D-Var v1.0) – Part 2: Optimization scheme and identical twin experiment of atmospheric CO₂ inversion, *Geosci. Model Dev.*, 10, 2201-2219, doi:10.5194/gmd-10-2201-2017.
7. Niwa Y., and Y. Fujii (2020) A conjugate BFGS method for accurate estimation of a posterior error covariance matrix in a linear inverse problem, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 146, 3118– 3143, doi:10.1002/qj.3838.
8. Niwa, Y., Y. Sawa, H. Nara, T. Machida, H. Matsueda, T. Umezawa, A. Ito, S.-I. Nakaoka, H. Tanimoto, Y. Tohjima (2021) Estimation of fire-induced carbon emissions from Equatorial Asia in 2015 using in situ aircraft and ship observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 9455–9473, doi:10.5194/acp-21-9455-2021.
9. Patra, P. K., Y. Niwa, T. J. Schuck, C. A. M. Brenninkmeijer, T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa (2011) Carbon balance of South Asia constrained by passenger aircraft CO₂ measurements. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 4163-4175, doi:10.5194/acp-11-4163-2011.
10. Peylin, P., R. M. Law, K. R. Gurney, F. Chevallier, A. R. Jacobson, T. Maki, Y. Niwa, P. K. Patra, W. Peters, P. J. Rayner, C. Rödenbeck, I. T. van der Laan-Luijkx, X. Zhang (2013) Global atmospheric carbon budget: results from an ensemble of atmospheric CO₂ inversions, *Biogeosciences*, 10, 6699-6720, doi:10.5194/bg-10-6699-2013.
11. Umezawa, T., Y. Niwa, Y. Sawa, T. Machida, H. Matsueda (2016) Winter crop CO₂ uptake inferred from CONTRAIL measurements over Delhi, India, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070939.
12. Saunois, M., A. R. Stavert, B. Poulter, .., Y. Niwa, .. et al. (2020) The Global Methane Budget 2000–2017, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 1561-1623, doi:10.5194/essd-12-1561-2020.
13. Friedlingstein, P., M. O’Sullivan, M. W. Jones, .., Y. Niwa, .., et al. (2020) Global Carbon Budget 2020, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 3269–3340, doi:10.5194/essd-12-3269-2020.