

2022年度正野賞の受賞者決まる

受賞者：伊藤耕介（琉球大学）

研究業績：台風予測精度向上に資する大気海洋相互作用及びデータ同化の研究

選定理由：

台風などの熱帯低気圧の強度や進路の研究において大気と海洋の相互作用は本質的に重要であるが、その理解や現業予測システムへの導入はいまだに不十分である。また、台風予測精度の更なる向上には、大気海洋結合モデルとデータ同化に関する研究が不可欠である。伊藤氏はこの分野で先駆的な研究を行ってきており、新たな大気海洋結合モデルやデータ同化システムを開発し、それを用いて台風の再現や強度・進路予測の高精度化に取り組んできた。これらの研究は、台風などの熱帯低気圧に関する大気海洋相互作用の理解を深めるとともに、台風の予測精度向上に大きく貢献するものである。

大気海洋相互作用の研究では、京コンピュータの

計算機資源を活用して高解像度大気海洋結合モデルによる多事例の数値実験を実施し、その台風強度予測性能が全球大気モデルや高解像度領域大気モデルの性能を大幅に上回ることを実証した〔業績3〕。さらに、台風の急発達にとって海洋内部の水温が重要であることを統計的に示した〔業績9〕ほか、海面水温が西風ジェットに接近する台風の移動にも大きな役割を果たすことを示した〔業績11〕。

データ同化の研究に関しては、海面摩擦係数や海面水蒸気交換係数といった、台風強度に重要でありながら不確実性の大きなパラメータを観測データと整合するように推定するデータ同化手法を開発した。そして、これにより、台風の強度・構造の再現性や進路・強度の予測性能が高められることを、理想化されたデータ同化システム及び気象庁の非静力学メソ4次元変分法システムで示した〔業績1, 2〕。また、非静力学メソ4次元変分法にアンサンブ

ルカルマンフィルタから推定される初期誤差の情報を取り込むメソハイブリッドデータ同化システムを構築し、台風の進路・強度予測及び集中豪雨の予測精度を高めた [業績 4]。このほか、大気海洋結合モデルを基礎とする結合データ同化システムの開発にも携わった [業績 6]。

伊藤氏は、気象庁が発表する台風予報の実態調査にも注力している。2016年には台風の発表予報誤差のデータベースを構築し、台風の強度予報誤差が2000年代中盤以降に増加していたこと、その背景として台風の急発達の発生頻度がほぼ倍増していることを明らかにした [業績 5]。同論文において、誤差の一部は大気・海洋の環境場の系統的なバイアスとして説明でき、バイアスの補正によって強度予報精度を最大15%程度改善できることも示した。

これらの研究結果は台風の強度を直接測定する必要性を明確に示し、台風の航空機観測の計画立案という大きな発展をもたらした。そして日本ではじめて国内の航空機を用いた台風の観測計画、T-PARCII (Tropical cyclones-Pacific Asian Research Campaign for Improvement of Intensity estimations/forecasts) プロジェクトが実施されることとなった。伊藤氏は観測プロジェクトの航空機に搭乗し、非常に強い台風 Lan (2017) に対してドロップゾンデによる直接観測に参加し、取得したデータを用いた強度解析及びデータ同化実験を行った。その結果、直接観測に基づく中心気圧の観測値と気象衛星に基づく推定値に10-15hPa程度の差があったこと、ドロップゾンデの同化により進路や強雨の予測精度が高められることが明らかとなったほか、台風内部構造の理解の進展にも貢献した [業績 7 (SOLA 論文賞受賞), 12]。この研究は T-PARCII の枠組みで実施された日本人研究者初となる台風の航空機観測の解析・予測結果であり、直接観測の重要性を示している。

伊藤氏は国際的にも活躍しており、世界気象機関が主催する「第9回熱帯低気圧に関する国際ワークショップ」において、台風進路に関する議題のレポートを務め、気象集誌に近年の台風進路に関する基礎研究のレビュー論文を発表した [業績 10] ほか、ソロモン諸島気象局と共同して当該国における台風の特徴を明らかにし [業績 8]、現地で発生する極端現象の予報に特化した数値天気予報システムの開発及び現業運用開始に貢献した。

以上のように伊藤氏は台風などの熱帯低気圧について、特に大気海洋相互作用の理解とデータ同化システムの開発に基づく予測精度向上に関する研究を精力的に行ってきたおり、台風予測の高精度化に対する貢献が顕著である。さらにこれらの研究成果は国内外の研究者から高く評価されている。以上の理由により、日本気象学会は伊藤耕介氏に2022年度正野賞を贈呈するものである。

主な論文リスト：

1. Ito, K., Y. Ishikawa and T. Awaji, 2010: Specifying air-sea exchange coefficients in the high-wind regime of a mature tropical cyclone by an adjoint data assimilation method. SOLA, 6, 13-16, doi:10.2151/sola.2010-004.
2. Ito, K., T. Kawabata, T. Kato, Y. Honda, Y. Ishikawa and T. Awaji, 2013: Simultaneous optimization of air-sea exchange coefficients and initial condition near a tropical cyclone with JNoVA. J. Meteorol. Soc. Japan, 91, 337-353, doi:10.2151/jmsj.2013-307.
3. Ito, K., T. Kuroda, K. Saito and A. Wada, 2015: Forecasting a large number of tropical cyclone intensities around Japan using a high-resolution atmosphere-ocean coupled model. Wea. Forecast., 30, 793-808, doi:10.1175/WAF-D-14-00034.1.
4. Ito, K., M. Kunii, T. Kawabata, K. Saito, K. Aonashi and L. Duc, 2016: Mesoscale hybrid data assimilation system based on JMA nonhydrostatic model. Mon. Wea. Rev., 144, 3417-3439, doi:10.1175/MWR-D-16-0014.1.
5. Ito, K., 2016: Errors in tropical cyclone intensity forecast by RSMC Tokyo and statistical correction using environmental parameters. SOLA, 12, 247-252, doi:10.2151/sola.2016-049.
6. Kunii, M., K. Ito and A. Wada, 2017: Preliminary test of data assimilation system with a regional high-resolution atmosphere-ocean coupled model based on an ensemble Kalman filter. Mon. Wea. Rev., 145, 565-581, doi:10.1175/MWR-D-16-0068.1.
7. Ito, K., H. Yamada, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda and K. Tsuboki, 2018: Analysis and forecast using dropsonde data from the inner-core region of Tropical Cyclone Lan (2017) obtained during the first aircraft missions of T-PARCII. SOLA, 14, 105-110, doi:10.2151/sola.2018-018.
8. Maru, E., T. Shibata and K. Ito, 2018: Statistical Analysis of Tropical Cyclones in the Solomon Islands. Atmosphere, 9 (6), 277, doi:10.3390/atmos9060227.

9. Fudeyasu, H., K. Ito and Y. Miyamoto, 2018: Characteristics of tropical cyclone rapid intensification over the Western North Pacific. *J. Climate*, **31**, 8917–8930, doi:10.1175/JCLI-D-17-0653.1.
10. Ito, K., C.-C. Wu, K. T. F. Chan, R. Toumi and C. Davis, 2020: Recent progress in the fundamental understanding of tropical cyclone motion. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **98**, 5–17, doi:10.2151/jmsj.2020-001.
11. Ito, K. and H. Ichikawa, 2021: Warm ocean accelerating tropical cyclone Hagibis (2019) through interaction with a mid-latitude westerly jet. *SOLA*, **17A**, 1–6, doi:10.2151/sola.17A-001.
12. Tsujino, S., K. Tsuboki, H. Yamada, T. Ohigashi, K. Ito and N. Nagahama, 2021: Intensification and maintenance of a double warm-core structure in Typhoon Lan (2017) simulated by a cloud-resolving model. *J. Atmos. Sci.*, **78**, 595–617, doi:10.1175/JAS-D-20-0049.1.

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 にいち早く着目し、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 NIS-MON (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 次元変分法に必要なとされる多大な計算に耐え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 and 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**, 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 and 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 and M. Satoh, 2012: Imposing strong constraints on tropical terrestrial CO₂ fluxes using passenger aircraft based measurements. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **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 and 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**, 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 and 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 and 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. *Quart. 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 and 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 and 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 and 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 and H. Matsueda, 2016: Winter crop CO₂ uptake inferred from CONTRAIL measurements over Delhi, India. *Geophys. Res. Lett.*, **43**, doi:10.1002/2016GL070939.
12. Saunio, M., *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., *et al.*, 2020: Global Carbon Budget 2020, *Earth Syst. Sci. Data*, **12**, 3269–3340, doi:10.5194/essd-12-3269-2020.