

2014年度堀内賞の受賞者決まる

受賞者：町田敏暢（国立環境研究所地球環境研究センター）

研究業績：航空機を用いた温室効果気体のグローバル変動の観測とその解析

選定理由：地球規模の温室効果気体の循環を解明することは地球温暖化の予測にとって不可欠な課題であり、大気中の温室効果気体の濃度変動を詳細に観測し、その結果を解析することが循環の解明にとって有効である。しかし、世界の温室効果気体の観測網にはいまだに大きな空白域があり、特に上空の情報が極めて限られている。

町田敏暢氏は国立環境研究所で、一貫して航空機を利用した温室効果気体の観測を推進してきた。まず温室効果気体の循環の解明にとって重要であるが観測の未開拓域であったロシアを対象として、西シベリアの湿地帯であるスルグート上空で1993年に定期観測を開始した。さらに1997年には東シベリアのヤクーツクと西シベリアのノボシビルスクでも同様の観測を開始し、いずれの観測も今日まで継続されている。これらは大陸内部で系統的に行われた最初の航空機観測であり、二酸化炭素の濃度およびその季節変動が経度方向に著しく不均一であることを初めて実証するとともに、北半球中高緯度の森林による二酸化炭素吸収が従来の理解よりかなり小さい可能性があることを指摘するなど、多くの新しい知見を見いだした（業績1, 3, 4, 12）。

町田氏は、シベリアでの航空機観測に加え、日本航空、気象研究所、日航財団が1993年より実施してきた民間旅客機による日本-オーストラリア間の大気観測プロジェクトが終了するに当たり、新たな観測プロジェクト（CONTRAIL）を立ち上げた。このプロジェクトでは、まず民間航空機搭載用の二酸化炭素濃度連続測定装置と改良型自動大気サンプリング装置を開発し、米国および日本の航空局からボーイング747型機と777型機へ搭載するための型式証明を取得した。開発した装置は日本航空が国際線で運航する複数の航空機に搭載され、2005年11月より二酸化炭素濃度のデータを取得し続けている。このような民間航空機での広域にわたる系統的な連続観測は世界で初めてであり、チャーター機を使った散発的な観測に代わる新たな二酸化炭素の観測分野

を切り拓いた（5, 6）。

これまでに得られたデータは約1万フライト500万個以上の膨大な数にのぼり、しかも世界にも例を見ない規模の移動体による大気観測データであることから、航空機観測特有の問題を回避・克服しつつ観測データの品質管理・品質評価を行う手法の確立とデータセットの構築は町田氏が自ら直接主導した。町田氏はまた、整備された観測データに基づいて二酸化炭素濃度の時空間分布の特徴を詳細に解明するため、大気輸送モデルによるインバージョン解析をはじめとする様々なデータ解析に活用する上で必要な手法とアイデアを提案してきた。町田氏によるこれらの貢献によって初めて、幅広い分野へのデータ利用研究が本格的に拡大し、国内外の多くの研究者との共同研究を成功に導くことが可能となった。特に、南アジア域の二酸化炭素吸収量が従来の評価より大きいことをはじめ、全球炭素循環に関する数多くの新しい知見を得ることに結びついた（7, 10）。さらに、観測データは、対流圏一成層圏間や南北両半球間での物質輸送の解明（8）、温室効果ガス観測技術衛星GOSAT（いぶき）やAqua衛星などの観測の検証にも広く利用され、その有効性を遺憾なく発揮している。また、自動大気サンプリング装置によって採取された大気試料は、町田氏や共同研究者によって温室効果気体の濃度と同位体比について分析が行われ、広域にわたる時間空間変動とその要因を解明するための研究が進められている（9）。

町田氏はさらにBIBLE, AAMP, PEACE, アラスカ観測などの大規模キャンペーン航空機観測に参加するとともに（2）、小型二酸化炭素濃度測定装置の開発とそれを用いた無人航空機・小型航空機による大気境界層観測を行い、二酸化炭素やメタンなどの鉛直・緯度変動の実態を明らかにし、それらの発生・消滅量と輸送に関わる広範な知見を蓄積した（11）。

町田氏は、我が国における航空機観測の第一人者として世界気象機関全球大気監視（WMO/GAW）の温室効果気体部門科学助言委員会メンバー、EUの航空機観測プロジェクトIAGOSの助言委員会メンバー、EUの航空機観測データ利用プロジェクト

IGASの助言委員会メンバーに任命され、航空機観測の推進や観測データの品質向上に関わる国際的活動にも大いに貢献している。

以上の理由により、日本気象学会は町田敏暢氏に2014年度堀内賞を贈呈するものである。

主な論文リスト

1. Nakazawa, T., S. Sugawara, G. Inoue, T. Machida, S. Makshyutov and H. Mukai, 1997: Aircraft measurements of the concentrations of CO₂, CH₄, N₂O, and CO and the carbon and oxygen isotopic ratios of CO₂ in the troposphere over Russia. *J. Geophys. Res.*, **102**, 3843-3859.
2. Machida, T., K. Kita, Y. Kondo, D. Blake, S. Kawakami, G. Inoue and T. Ogawa, 2003: Vertical and meridional distributions of the atmospheric CO₂ mixing ratio between northern midlatitudes and southern subtropics. *J. Geophys. Res.*, **108**, 8401, doi: 10.1029/2001JD000910.
3. Maksyutov, S., T. Machida, H. Mukai, P. K. Patra, T. Nakazawa, G. Inoue and TRANSCOM-3 Modelers, 2003: Effect of recent observations on Asian CO₂ flux estimates by transport model inversions. *Tellus*, **55B**, 522-529.
4. Stephens, B. B., K. R. Gurney, P. P. Tans, C. Sweeney, W. Peters, L. Bruhwiler, P. Ciais, M. Ramonet, P. Bousquet, T. Nakazawa, S. Aoki, T. Machida, G. Inoue, N. Vinnichenko, J. Lloyd, A. Jordan, M. Heimann, O. Shibistova, R. L. Langenfelds, L. P. Steele, R. J. Francey and A. S. Denning, 2007: Weak northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO₂. *Science*, **316**, 1732-1735.
5. Matsueda, H., T. Machida, Y. Sawa, Y. Nakagawa, K. Hirovani, H. Ikeda, N. Kondo and K. Goto, 2008: Evaluation of atmospheric CO₂ measurements from new flask air sampling of JAL airliner observations. *Pap. Meteor. Geophys.*, **59**, 1-17.
6. Machida, T., H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Nakagawa, K. Hirovani, N. Kondo, K. Goto, T. Nakazawa, K. Ishikawa and T. Ogawa, 2008: Worldwide measurements of atmospheric CO₂ and other trace gas species using commercial airlines. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **25**, 1744-1754.
7. Miyazaki, K., T. Machida, P. K. Patra, T. Iwasaki, Y. Sawa, H. Matsueda and T. Nakazawa, 2009: Formation mechanisms of latitudinal CO₂ gradients in the upper troposphere over the subtropics and tropics. *J. Geophys. Res.*, **114**, D03306, doi:10.1029/2008JD010545.
8. Sawa, Y., T. Machida and H. Matsueda, 2012: Aircraft observation of the seasonal variation in the transport of CO₂ in the upper atmosphere. *J. Geophys. Res.*, **117**, D05305, doi:10.1029/2011JD016933.
9. Umezawa, T., T. Machida, S. Aoki and T. Nakazawa, 2012: Contributions of natural and anthropogenic sources to atmospheric methane variations over Western Siberia estimated from its carbon and hydrogen isotopes. *Global Biogeochem. Cycles*, **26**, GB4009, doi:10.1029/2011GB004232.
10. 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.*, **117**, D11303, doi: 10.1029/2012JD017474.
11. Sasakawa, M., T. Machida, N. Tsuda, M. Arshinov, D. Davydov, A. Fofonov and O. Krasnov, 2013: Aircraft and tower measurements of CO₂ concentration in the planetary boundary layer and the lower free troposphere over southern taiga in West Siberia: Long-term records from 2002 to 2011. *J. Geophys. Res.*, **118**, 9489-9498, doi:10.1002/jgrd.50755.
12. 町田敏暢, 笹川基樹, 下山 宏, M. Arshinov, D. Davydov, A. Fofonov, O. Krasnov, N. Fedoseev, S. Mitin, 須藤洋志, 勝又啓一, 津田憲次, 中澤高次, S. Maksyutov, 2010: シベリアにおける温室効果ガスの時空間分布. *低温科学*, **68**, 9-19.

受賞者: 羽角博康 (東京大学大気海洋研究所)

研究業績: 海洋の数値モデル開発とプロセス研究を通じた気候研究への貢献

受賞理由: 気候変動研究において大気海洋結合モデルは重要な研究基盤の一つとなっている。羽角博康氏は、わが国が誇る大気海洋結合モデルのMIROC (Model for Interdisciplinary Research on Climate) の開発を先導した一人であり (業績4, IPCC-AR5で引用), その後のバージョンアップにも重要な貢献を果たしてきた (10, 13)。気候モデルは、大気、海洋などのサブモデルを結合して構成されるが、羽角氏は海水モデルを含む海洋大循環モデルCOCOの主開発者であり (3, IPCC-AR5で引用), そのCOCOが物理気候モデルであるMIROC, そしてさらにその地球システムモデルへ

の拡張版にも組み込まれている。MIROC は地球温暖化、十年スケール変動予測、エルニーニョ、古気候など、わが国の様々な気候研究分野で活用されている。これらの研究分野では、いずれも海洋が重要な役割を果たしており、海洋物理モデルであるCOCOの意義は非常に大きい。さらに、MIROCシリーズの積分結果は、第3期・第5期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP3・CMIP5)を通じて研究コミュニティに提供されており、国際的にも広く利用されている。

羽角氏はMIROCを用いて、海洋・海水が大気循環あるいは海洋表面風に影響を及ぼす大気海洋結合系の研究を行ってきた。特に、海洋潮汐混合の18.6年周期変動が太平洋上の大気循環にもたらす影響(5, 11)、およびハワイ諸島がその西の広い領域の風および海洋表面水温が大気海洋相互作用を通じて与える影響(8)を、世界に先駆けて大気海洋結合モデル実験によって示したことは高く評価できる。また、熱帯太平洋の大気海洋系の十年スケール変動が、海洋の垂表層を通じて南太平洋の影響を受けていることを示した結果(12)は、熱帯大気の十年予測にも重要である。一方高緯度域では、海水の移流の有無が、海水・雲・表面風の相互作用を通じて、海水だけでなく表面風分布に大きな影響を与えることを見出し(7)、極域大気理解に海洋・海水・大気結合システムの観点が重要であることを示している。

また気象学の隣接分野である海洋学における羽角氏の貢献は非常に大きく、それらの成果も大気海洋の相互作用に新しい知見を与えている。特に羽角氏は、海洋深層循環の形成と変動メカニズム、そしてそれと密接に関係する海水変動の研究にCOCOを用いて取り組んできた。海洋の深層循環は、地球の南北熱輸送に重要であり、その変化は大気循環と大気の南北熱輸送の変動とに密接に関係する。たとえば、高緯度の風が駆動する塩分輸送が深層循環を安定化させる効果を見出したこと(6)は、塩分輸送が大気循環を含む気候の安定性に重要であることを示唆している。一方、深層循環に不可欠な深層水形成にはポリニヤ(1)や水河舌の分離(2)などが重要であることを示しており、これらの海洋・海水の小規模プロセスが地球の熱バランスの一端を担っていることを明らかにした。また温暖化に伴う黒潮の強化をMIROCによって予測したこと(9)

は、黒潮などの海流が大気にもたらす影響が近年続々と報告されていることと合わせて、この領域の大気海洋相互作用の将来の強化を示唆する成果として重要な業績である。

以上の研究業績により羽角氏は、気象学の隣接分野である海洋学における研究・開発に著しく貢献するとともに、気象学と海洋学の境界領域及び気候学の発展に大きく影響を与えてきた。

以上の理由により、日本気象学会は羽角博康氏に2014年度堀内賞を贈呈するものである。

主な論文リスト

1. Kusahara, K., H. Hasumi and T. Tamura, 2010: Modeling sea ice production and dense shelf water formation in coastal polynyas around East Antarctica. *J. Geophys. Res.*, 115, C10006, doi:10.1029/2010JC006133.
2. Kusahara, K., H. Hasumi and G. D. Williams, 2011: Impact of the Mertz Glacier Tongue calving on dense water formation and export. *Nature Commun.*, 2, 159, doi:10.1038/ncomms1156.
3. Hasumi, H., 2006: CCSR Ocean Component Model (COCO) Version 4.0. CCSR Report. Center for Climate System Research, University of Tokyo, 68pp.
4. Hasumi, H. and S. Emori, 2004: K-1 Coupled GCM (MIROC) Description. Center for Climate System Research, University of Tokyo, 34pp.
5. Hasumi, H., I. Yasuda, H. Tatebe and M. Kimoto, 2008: Pacific bidecadal climate variability regulated by tidal mixing around the Kuril Islands. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L14601, doi:10.1029/2008GL034406.
6. Oka, A., H. Hasumi and N. Sugimoto, 2001: Stabilization of thermohaline circulation by wind-driven and vertical diffusive salt transport. *Clim. Dyn.*, 18, 71-83.
7. Ogura, T., A. Abe-Ouchi and H. Hasumi, 2004: Effects of sea ice dynamics on the Antarctic sea ice distribution in a coupled ocean atmosphere model. *J. Geophys. Res.*, 109, C04025, doi:10.1029/2003JC002022.
8. Sakamoto, T. T., A. Sumi, S. Emori, T. Nishimura, H. Hasumi, T. Suzuki and M. Kimoto, 2004: Far-reaching effects of the Hawaiian Islands in the CCSR/NIES/FRCGC high-resolution climate model. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L17212, doi:10.1029/2004GL020907.
9. Sakamoto, T. T., H. Hasumi, M. Ishii, S. Emori, T. Suzuki, T. Nishimura and A. Sumi, 2005: Responses of

- the Kuroshio and the Kuroshio Extension to global warming in a high-resolution climate model. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L14617, doi: 10.1029/2005GL023384.
10. Sakamoto, T. T., Y. Komuro, T. Nishimura, M. Ishii, H. Tatebe, H. Shiogama, A. Hasegawa, T. Toyoda, M. Mori, T. Suzuki, Y. Imada, T. Nozawa, K. Takata, T. Mochizuki, K. Ogochi, S. Emori, H. Hasumi and M. Kimoto, 2012: MIROC4h—A new high-resolution atmosphere-ocean coupled general circulation model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90**, 325–359.
 11. Tanaka, Y., I. Yasuda, H. Hasumi, H. Tatebe and S. Osafune, 2012: Effects of the 18.6-yr modulation of tidal mixing on the North Pacific bidecadal climate variability in a coupled climate model. *J. Climate*, **25**, 7625–7642.
 12. Tatebe, H., Y. Imada, M. Mori, M. Kimoto and H. Hasumi, 2013: Control of decadal and bidecadal climate variability in the tropical Pacific by the off-equatorial South Pacific Ocean. *J. Climate*, **26**, 6524–6534.
 13. Watanabe, M., T. Suzuki, R. O'ishi, Y. Komuro, S. Watanabe, S. Emori, T. Takemura, M. Chikira, T. Ogura, M. Sekiguchi, K. Takata, D. Yamazaki, T. Yokohata, T. Nozawa, H. Hasumi, H. Tatebe and M. Kimoto, 2010: Improved climate simulation by MIROC5. Mean states, variability, and climate sensitivity. *J. Climate*, **23**, 6312–6335.
-