

2016年度堀内賞の受賞者決まる

受賞者：米山邦夫（海洋研究開発機構）

研究業績：船舶観測によるマッデン・ジュリアン振動研究と国際プロジェクトの推進

選定理由：大気の瞬間的な状態を表す「天気」と平均的な状態を表す「気候」は、それぞれ数日以下のスケールと季節から数年単位のスケールで特徴的に区別されるが、近年その間の時間スケールを持った「季節内変動」がさまざまな現象の理解あるいは数値モデルの再現性や予報精度向上の観点から鍵を握る存在として認識されている。特にその代表的な現象が、主にインド洋から太平洋の熱帯海洋上で巨大雲群を伴い現れるマッデン・ジュリアン振動(MJO)である。

MJO研究は一般に、大規模な現象を扱うのに適している数値モデルや衛星観測データなどを用いて行われるが、米山邦夫氏は同現象の階層性や1-2ヶ月という周期性に注目して現場観測の観点から理解を試みてきた。特に同氏は1990年代に旧原子力船「むつ」が海洋地球研究船「みらい」として新たな使命を迎えたとき、大気-海洋相互作用研究の重要な現場観測装置としてCバンドドップラーレーダーの搭載に尽力した。このレーダーは船上常設装置としては世界で初めてのものであり、ラジオゾンデや海上気象観測装置も含めて洋上における大気観測のプラットフォームを整備することにより観測研究を推進した。

1990年代後半から2000年代初頭にかけては、主に西部熱帯太平洋において観測航海を行い、海上の水蒸気分布や卓越する対流の特徴を明らかにした〔業績 1-3〕。「みらい」運用の初期段階においては、多くの気象研究者に船上での観測機会を提供することで新たな観測機材の洋上展開を可能とし、また多くの学生の修士・博士論文につながる成果創出にも貢献した。2000年代に入ると、MJO研究において最大の謎である発生過程の解明を目指して国際プロジェクト MISMO (Mirai Indian Ocean cruise for the Study of the MJO-convection Onset) を立案し、2006年10月から12月にかけて中部熱帯インド洋において「みらい」やモルディブ諸島に展開した観測サイトで集中観測を実施した〔4〕。その結果、現場観測として初めてMJO対流発生瞬間を捉えるこ

とに成功し、対流圏下層から中層、上層へと段階的に湿潤化していく様子や東進する降水システムが湿潤化に寄与する様子を示すなど、MJO対流発生時の特徴を明らかにした〔7, 8〕。取得したデータは品質管理を行った上で〔5, 6〕積極的に公開し、現在もMJO研究などに活用されている。さらにMISMOで得られた知見と問題点を踏まえ、より長期的かつ広範囲な観測網を構築して、MJO対流発生謎に迫る新たな国際プロジェクトCINDY2011 (Cooperative Indian Ocean experiment on intraseasonal variability in the Year 2011) を立案し、マイアミ大学のZhang教授とともに16の国と地域から約70の研究機関が参加した国際プロジェクトを率いて集中観測を実現させた〔9〕。同集中観測では約半年の観測期間中に4つのMJO対流が発生し、特に2011年10月から12月にかけて続けざまに発生した現象についてはかつてない頻度、精度、領域で観測することに成功した。得られたデータに基づいて解析研究や数値モデル研究が現在も精力的に行われており〔10-12〕、その成果は観測終了から3年半で100編以上の論文として取りまとめられている。最近では、気象集誌にCINDY2011の特別号を企画し、特別号編集委員長としてこれを取りまとめ、2015年12月に発行した。

MJO研究はかつてない現場観測データを得たことで、特にインド洋における対流発生メカニズムに関する知見が急速に進展している。米山氏は現在、MJOのもう1つの大きな謎であるインドネシアを含む海洋大陸上空でその振る舞いが不明瞭になる現象についても、その現象解明を目指した新たな国際プロジェクト YMC (Years of the Maritime Continent) を実現すべく、国際機関や各国の政府機関、大学に働きかけて精力的に活動を続けている。

このように、米山氏は船舶を観測手段の中心に据えた立場から多くの気象研究者に現場観測研究の機会を提供するとともに、国際観測プロジェクトを中心となって立案・推進し実現することにより、特にMJOの対流発生過程を中心とした科学的理解の向上に特段の貢献をしてきた。

以上の理由により、日本気象学会は米山邦夫氏に2016年度堀内賞を贈呈するものである。

主な論文リスト

1. Yoneyama, K., 2003: Moisture variability over the tropical western Pacific Ocean. *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 317-337.
2. Takayabu, Y. N., J. Yokomori and K. Yoneyama, 2006: A diagnostic study on interactions between atmospheric thermodynamic structure and cumulus convection over the tropical western Pacific Ocean and over the Indochina Peninsula. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84A**, 151-169.
3. Yasunaga, K., K. Yoneyama, H. Kubota, H. Okamoto, A. Shimizu, H. Kumagai, M. Katsumata, N. Sugimoto and I. Matsui, 2006: Melting layer cloud observed during R/V Mirai cruise MR01-K05. *J. Atmos. Sci.*, **63**, 3020-3032.
4. Yoneyama, K. *et al.*, 2008: MISMO field experiment in the equatorial Indian Ocean. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **89**, 1889-1903.
5. Yoneyama, K., M. Fujita, N. Sato, M. Fujiwara, Y. Inai and F. Hasebe, 2008: Correction for radiation dry bias found in RS92 radiosonde data during the MISMO field experiment. *SOLA*, **4**, 13-16.
6. Fujita, M., F. Kimura, K. Yoneyama and M. Yoshizaki, 2008: Verification of precipitable water vapor estimated from shipborne GPS measurements. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L13803, doi:10.1029/2008GL033764.
7. Yamada, H., K. Yoneyama, M. Katsumata and R. Shirooka, 2010: Observations of a super cloud cluster accompanied by synoptic-scale eastward-propagating precipitating systems over the Indian Ocean. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 1456-1473.
8. Kurita, N., D. Noone, C. Risi, G. A. Schmidt, H. Yamada and K. Yoneyama, 2011: Intraseasonal isotopic variation associated with the Madden-Julian Oscillation. *J. Geophys. Res.*, **116**, D24101, doi:10.1029/2010JD015209.
9. Yoneyama, K., C. Zhang and C. N. Long, 2013: Tracking pulses of the Madden-Julian Oscillation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **94**, 1871-1891.
10. Ciesielski, P. E., H. Yu, R. H. Johnson, K. Yoneyama, M. Katsumata, C. N. Long, J. Wang, S. M. Loehrer, K. Young, S. F. Williams, W. Brown, J. Braun and T. Van Hove, 2014: Quality-controlled upper-air sounding dataset for DYNAMO/CINDY/AMIE: Development and corrections. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **31**, 741-764.
11. Miyakawa, T., M. Satoh, H. Miura, H. Tomita, H. Yashiro, A. T. Noda, Y. Yamada, C. Kodama, M. Kimoto and K. Yoneyama, 2014: Madden-Julian Oscillation prediction skill of a new-generation global model demonstrated using a supercomputer. *Nat. Commun.*, **5**, 3769, doi:10.1038/ncomms4769.
12. Bellenger, H., K. Yoneyama, M. Katsumata, T. Nishizawa, K. Yasunaga and R. Shirooka, 2015: Observation of moisture tendencies related to shallow convection. *J. Atmos. Sci.*, **72**, 641-659.

受賞者：Prabir K. Patra (海洋研究開発機構)

研究業績：モデル解析を基にした温室効果気体の全球規模循環に関する研究

選定理由：人間活動に伴う温暖化に対処するためには、まず原因となっている温室効果気体の全球規模循環を理解し、それに基づいて将来の気候変動を高い確度で予測するとともに、温室効果気体の排出抑制を有効にする必要がある。

Prabir K. Patra 氏は、モデルを用いた解析を基にして、CO₂やCH₄、N₂O、SF₆といった代表的な温室効果気体の濃度変動を解釈するとともに、それらのフラックスの時空間変動を推定することにより新たな知見を数多く見出し、温室効果気体の全球規模循環の理解向上に大きく貢献した。Patra 氏は、まず高分解能の3次元大気輸送モデルと全球64分割という世界で最も高解像度の逆解法を用いて、領域毎のCO₂フラックスの時間変動を評価した [業績 1, 2]。得られたCO₂フラックスは、その後の国際大気輸送モデル相互比較計画 (TransCom) における解析の基準として広く活用され、炭素循環モデル研究の進展に重要な貢献を果たした。

Patra 氏は、逆解法の結果の詳細解析および陸域生態系モデルと海洋生態系モデルを用いた解析から、大気-陸域CO₂フラックスの年々変動は主にエルニーニョ現象やインド洋ダイポールモード現象と強い相関があり、赤道域における旱魃や森林火災の発生が深く関与していることを見出した。一方、赤道域の大気-海洋CO₂フラックスもエルニーニョ現象の影響を強く受けており、亜寒帯のフラックスには冬季の亜表層混合と春季のプランクトン大増殖が重要であることを明らかにした。また、大気-海洋CO₂フラックスの年々変動には、高栄養塩低クロロフィル海域へのミネラルダストの供給も重要であることを指摘した [3]。逆解法の結果は、

さらにハワイ・マウナロアで観測されたCO₂増加を解釈するためにも利用され、化石燃料消費から期待される濃度増加率と同程度あるいはそれを上回る値は、短期的な気候変動によって生じていることを明らかにした [4].

Patra氏は、温室効果気体および関連気体の循環を広範に解析するために、大気大循環モデルをベースにした大気化学輸送モデル (ACTM) を新たに開発した [5, 6]. このモデルを用い TransCom グループを主導してCO₂の中規模擾乱による変動や日変動のシミュレーションを実施し [7], 世界で用いられている大気輸送モデルにおける短時間CO₂変動の再現能力の現状をまとめ、その向上に必要とされる条件を提示した. ACTMは観測との整合性が高いことが評価され、CO₂フラックスの逆解法に加え、CH₄やN₂O, SF₆, オゾン破壊物質などの解析にも広く使われており優れた成果を生みだしている [8, 9]. 特にCH₄についてはTransComを主導し、1) 2000年代に観測されたCH₄増加の停滞は1990年代末から排出が一定となった人為起源CH₄に起因すること、2) 観測されたCH₄濃度の年々変動の60%はバイオマス燃焼や湿地からのCH₄放出と気象要素の変化によって説明できること、3) 大気中CH₄の寿命は9.99±0.08年であることなどを新たに明らかにした [8]. さらに、大気の酸化剤として重要であり、CH₄をはじめとする多くの微量気体の消滅に深く関わっているOHラジカルについてもACTMによる解析を行い、従来の研究において値が不確かであった北半球/南半球比を新たに決定するという特筆すべき成果を上げた [10]. また、このOH比を基に全球陸域53分割の逆解法を行って近年のCH₄放出量を再評価し、国際的に広く利用されているデータベースEDGARの放出量は過大であることを指摘した [11]. 東アジア (主に工業活動) と赤道域および南半球 (主に農業活動) におけるCH₄放出の増加率がほぼ等しいことを見出し、また中国を中心とした東アジアにおける近年のCH₄放出量を高い確度で推定したことも評価される.

このように、Patra氏は温室効果気体の全球規模循環の定量解明において最先端の研究を遂行し、その成果は国際的に高い評価を得ている. また、Patra氏はTransComプロジェクトや領域炭素循環評価計画 (RECCAP) [12], 南アジア・東南ア

ジアにおける温室効果気体収支に関するアジア太平洋ネットワークプロジェクト (APN/South and Southeast Asian Greenhouse Gases Budget) などの国際プロジェクトを先導するとともに、IPCC-AR5第6章の執筆協力者も務めた.

以上の理由により、日本気象学会はPrabir K. Patra氏に2016年度堀内賞を贈呈するものである.

主な論文リスト

1. Patra, P. K., M. Ishizawa, S. Maksyutov, T. Nakazawa and G. Inoue, 2005: Role of biomass burning and climate anomalies for land-atmosphere carbon fluxes based on inverse modeling of atmospheric CO₂. *Glob. Biogeochem. Cycles*, **19**, GB3005, doi:10.1029/2004GB002258.
2. Patra, P. K., S. Maksyutov, M. Ishizawa, T. Nakazawa, T. Takahashi and J. Ukita, 2005: Interannual and decadal changes in the sea-air CO₂ flux from atmospheric CO₂ inverse modeling. *Glob. Biogeochem. Cycles*, **19**, GB4013, doi:10.1029/2004GB002257.
3. Patra, P. K., M. D. Kumar, N. Mahowald and V. V. S. S. Sarma, 2007: Atmospheric deposition and surface stratification as controls of contrasting chlorophyll abundance in the North Indian Ocean. *J. Geophys. Res.*, **112**, C05029, doi:10.1029/2006JC003885.
4. Patra, P. K., S. Maksyutov and T. Nakazawa, 2005: Analysis of atmospheric CO₂ growth rates at Mauna Loa using CO₂ fluxes derived from an inverse model. *Tellus*, **57B**, 357-365.
5. Patra, P. K., M. Takigawa, G. S. Dutton, K. Uhse, K. Ishijima, B. R. Lintner, K. Miyazaki and J. W. Elkins, 2009: Transport mechanisms for synoptic, seasonal and interannual SF₆ variations and "age" of air in troposphere. *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 1209-1225.
6. Patra, P. K., M. Takigawa, K. Ishijima, B.-C. Choi, D. Cunnold, E. J. Dlugokencky, P. Fraser, A. J. Gomez-Pelaez, T.-Y. Goo, J.-S. Kim, P. Krummel, R. Langenfelds, F. Meinhardt, H. Mukai, S. O'Doherty, R. G. Prinn, P. Simmonds, P. Steele, Y. Tohjima, K. Tsuboi, K. Uhse, R. Weiss, D. Worthy and T. Nakazawa, 2009: Growth rate, seasonal, synoptic, diurnal variations and budget of methane in the lower atmosphere. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 635-663.
7. Patra, P. K., R. M. Law, W. Peters, C. Rödenbeck, M. Takigawa, C. Aulagnier, I. Baker, D. J. Bergmann, P. Bousquet, J. Brandt, L. Bruhwiler, P. J. Cameron-Smith, J. H. Christensen, F. Delage, A. S. Denning, S. Fan, C. Geels, S. Houweling, R. Imasu, U. Karstens, S.

- R. Kawa, J. Kleist, M. C. Krol, S.-J. Lin, R. Lokupitiya, T. Maki, S. Maksyutov, Y. Niwa, R. Onishi, N. Parazoo, G. Pieterse, L. Rivier, M. Satoh, S. Ser-rar, S. Taguchi, R. Vautard, A. T. Vermeulen and Z. Zhu, 2008: TransCom model simulations of hourly atmospheric CO₂: Analysis of synoptic-scale variations for the period 2002–2003. *Glob. Biogeochem. Cycles*, **22**, GB4013, doi:10.1029/2007GB003081.
8. Patra, P. K., S. Houweling, M. Krol, P. Bousquet, D. Belikov, D. Bergmann, H. Bian, P. Cameron-Smith, M. P. Chipperfield, K. D. Corbin, A. Fortems-Cheiney, A. Fraser, E. Gloor, P. Hess, A. Ito, S. R. Kawa, R. M. Law, Z. Loh, S. Maksyutov, L. Meng, P. I. Palmer, R. G. Prinn, M. Rigby, R. Saito and C. Wilson, 2011: TransCom model simulations of CH₄ and related species: Linking transport, surface flux and chemical loss with CH₄ variability in the troposphere and lower stratosphere. *Atmos. Chem. Phys.*, **11**, 12813–12837.
9. Patra, P. K., Y. Niwa, T. J. Schuck, C. A. M. Brennink-meijer, 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.
10. Patra, P. K., M. C. Krol, S. A. Montzka, T. Arnold, E. L. Atlas, B. R. Lintner, B. B. Stephens, B. Xiang, J. W. Elkins, P. J. Fraser, A. Ghosh, E. J. Hintsa, D. F. Hurst, K. Ishijima, P. B. Krummel, B. R. Miller, K. Miyazaki, F. L. Moore, J. Mühle, S. O'Doherty, R. G. Prinn, L. P. Steele, M. Takigawa, H. J. Wang, R. F. Weiss, S. C. Wofsy and D. Young, 2014: Observational evidence for interhemispheric hydroxyl radical parity. *Nature*, **513**, 219–223.
11. Patra, P. K., T. Saeki, E. J. Dlugokencky, K. Ishijima, T. Umezawa, A. Ito, S. Aoki, S. Morimoto, E. A. Kort, A. Crotwell, K. Ravi Kumar and T. Nakazawa, 2016: Regional methane emission estimation based on observed atmospheric concentrations (2002–2012). *J. Meteor. Soc. Japan*, **94**, 91–113.
12. Patra, P. K., J. G. Canadell, R. A. Houghton, S. L. Piao, N.-H. Oh, P. Ciais, K. R. Manjunath, A. Chhabra, T. Wang, T. Bhattacharya, P. Bousquet, J. Hartman, A. Ito, E. Mayorga, Y. Niwa, P. A. Raymond, V. V. S. S. Sarma and R. Lasco, 2013: The carbon budget of South Asia. *Biogeosciences*, **10**, 513–527.
-