

日本気象学会堀内賞受賞者決まる

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. Serrar, 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. 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.
 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.