

## 2021年度堀内賞の受賞者決まる

**受賞者：**飯泉仁之直（農業・食品産業技術総合研究機構）

**研究業績：**季節予報を用いたグローバルな穀物収量変動の予測・情報提供システムの開発

**選定理由：**

気候変化が顕在化する中、農業分野においては、季節予報を含む、気象データのより高度な利用が気候変動適応における実務上の課題となっている。飯泉氏は気象学と農業環境工学にまたがる学際的分野を牽引し、農業分野における気候変動リスク評価および気候変動適応の研究において顕著な成果を挙げてきた。

飯泉氏の研究内容は農業気象学に該当し、人為的な温室効果ガス排出に由来する気候変化（業績13, 15, 16, 22, 23, 25）や、エルニーニョ・南方振動などの大気海洋系変動（8, 21, 26）、干ばつ（17）などの極端気象が世界の穀物生産に及ぼす影響の評価と対応技術の開発を行ってきた。これらの成果のうち、対応技術の開発において、気候変動適応と極端気象対応の両方に資する技術として季節予報に基づく穀物のグローバルな収量変動予測技術の開発を進めた点（7, 12, 14, 18, 19, 26, 27）、および、世界の食料機関などを対象に2019年6月より予測サービスの1年9ヵ月（2021年3月時点）の試験運用を達成した点は特筆に値する（24, 27）。そのみならず、気候変動リスク評価については、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第2作業部会の第5次評価報告書では6編（1, 2, 3, 4, 5, 6）、1.5°C特別報告書では2編（5, 13）、陸域特別報告書では6編の論文（4, 7, 10, 11, 13, 15）がそれぞれ引用されている。

季節予報を用いた収量予測はこれまでもあったが、予測対象が特定の国・地域に限られていた。我が国を含め、経済のグローバル化により多くの国が食料を輸入するようになっており、気候変化に伴う極端気象による国際的な食料調達リスクはこれまでに高まっている。飯泉氏が先導したグローバルスケールでの季節予報の農業応用は時宜に適用ものであり、季節予報データの新たな応用分野を切り開いた。

例えば、飯泉氏は季節予報を用いて、世界の収穫

面積の約2割の地域で収穫3ヵ月前に主要穀物の収量変動が予測可能なことを明らかにした（7）。その後、韓国のAPEC気候センター（APCC）のマルチ・モデル・アンサンブル季節予報を利用することにより、収穫3ヵ月前に収量変動を予測できる地域が世界の収穫面積の約3割に拡大できることを示した（14）。こうした収量変動予測情報の社会実装は年々、着実に進んでいる。2014年にエルニーニョの発生が懸念された際には、農林水産省大臣官房政策課食料安全保障室が公表する「海外食料需給レポート（Monthly Reports）」に予測情報を提供した（9）。2019年6月からは、試験運用中のサービスを用いて、予測情報を食料安全保障室など世界の食料機関関係者に毎月、提供を開始した（24）。2019年10月には、リオデジャネイロで開催されたAMIS（農業市場情報システム）世界食料市場情報グループ第16回会合において、20を超える国と国際機関の代表に試験運用中の全球収量変動予測サービスについて紹介した（20）。

飯泉氏はさらに、APCCおよび欧州委員会共同研究センター（EC/JRC）と共同で、2019年北半球における収量変動予測の予測精度の評価結果をWeather and Forecastingに公表した（27）。また気温と降水量の季節予報に加えて、様々な気候変動指数を収量変動予測に考慮する試み（26）を気象庁気象研究所と進めるなど、季節予報に基づく収量変動予測を軸とする気候変動適応技術についての研究と社会実装を精力的、国際的に牽引している。

以上の理由により、日本気象学会は飯泉仁之直氏に2021年度堀内賞を贈呈するものである。

### 主な論文リスト

1. Iizumi, T., M. Yokozawa, Y. Hayashi and F. Kimura, 2008: Climate change impact on rice insurance payouts in Japan. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **47**, 2265-2278.
2. Iizumi, T., M. Yokozawa and M. Nishimori, 2009: Parameter estimation and uncertainty analysis of a large-scale crop model for paddy rice: application of a Bayesian approach. *Agric. Forest Meteorol.*, **149**, 333-348.
3. Okada, M., T. Iizumi, Y. Hayashi and M. Yokozawa, 2009: A climatological analysis on the recent declining

- trend of rice quality in Japan. *J. Agric. Meteor.*, **65**, 327–337.
4. Iizumi, T., M. Yokozawa and M. Nishimori, 2011: Probabilistic evaluation of climate change impacts on paddy rice productivity in Japan. *Clim. Change*, **107**, 391–415.
  5. Okada, M., T. Iizumi, Y. Hayashi and M. Yokozawa, 2011: Modeling the multiple effects of temperature and radiation on rice quality. *Env. Res. Lett.*, **6**, 034031, doi:10.1088/1748-9326/6/3/034031.
  6. Sakurai, G., T. Iizumi and M. Yokozawa, 2012: Varying temporal and spatial effects of climate on maize and soybean affect yield prediction. *Clim. Res.*, **49**, 143–154, doi:10.3354/cr01027.
  7. Iizumi, T., H. Sakuma, M. Yokozawa, J.-J. Luo, A. J. Challinor, M. E. Brown, G. Sakurai and T. Yamagata, 2013: Prediction of seasonal climate-induced variations in global food production. *Nature Clim. Change*, **3**, 904–908, doi:10.1038/nclimate1945.
  8. Iizumi, T., J.-J. Luo, A. J. Challinor, G. Sakurai, M. Yokozawa, H. Sakuma, M. E. Brown and T. Yamagata, 2014: Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature Commun.*, **5**, 3712, doi:10.1038/ncomms4712.
  9. 飯泉仁之直, 2014: 2014年のエルニーニョ発生による世界の穀物収量への影響の見通し. 海外食料需給レポート (Monthly Report), 2014年7月.
  10. Iizumi, T. and N. Ramankutty, 2015: How do weather and climate influence cropping area and intensity? *Glob. Food Sec.*, **4**, 46–50, doi:10.1016/j.gfs.2014.11.003.
  11. Iizumi, T. and N. Ramankutty, 2016: Changes in yield variability of major crops for 1981–2010 explained by climate change. *Env. Res. Lett.*, **11**, 34003, doi:10.1088/1748-3693/11/3/034003.
  12. Iizumi, T., H. Sakuma, M. Yokozawa, J.-J. Luo, A. J. Challinor, G. Sakurai and T. Yamagata, 2016: Characterizing the reliability of global crop prediction based on seasonal climate forecasts. *The Indo-Pacific Climate Variability and Predictability* (Yamagata, T. and S. Behera, eds.), World Scientific Publisher, 281–304.
  13. Iizumi, T., J. Furuya, Z. Shen, W. Kim, M. Okada, S. Fujimori, T. Hasegawa and M. Nishimori, 2017: Responses of crop yield growth to global temperature and socioeconomic changes. *Sci. Rep.*, **7**, 7800, doi:10.1038/s41598-017-08214-4.
  14. Iizumi, T., Y. Shin, W. Kim, M. Kim and J. Choi, 2018: Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi-model ensemble. *Clim. Serv.*, **11**, 13–23, doi:10.1016/j.cliserv.2018.06.003.
  15. Iizumi, T., H. Shiogama, Y. Imada, N. Hanasaki, H. Takikawa and M. Nishimori, 2018: Crop production losses associated with anthropogenic climate change for 1981–2010 compared with preindustrial levels. *Int. J. Climat.*, **38**, 5405–5417, doi:10.1002/joc.5818.
  16. Sultan, B., D. Defrance and T. Iizumi, 2019: Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models. *Sci. Rep.*, **9**, 12834, doi:10.1038/s41598-019-49167-0.
  17. Kim, W., T. Iizumi and M. Nishimori, 2019: Global patterns of crop production losses associated with droughts from 1983 to 2009. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **58**, 1233–1244, doi:10.1175/JAMC-D-18-0174.1.
  18. Iizumi, T. and W. Kim, 2019: Recent improvements to global seasonal crop forecasting and related research. *Adaptation to Climate Change in Agriculture—Research and Practices* (Iizumi, T., R. Hirata and R. Matsuda, eds.), Springer Nature, 97–110, doi:10.1007/978-981-13-9235-1\_7.
  19. Iizumi, T., 2019: Emerging adaptation to climate change in agriculture. *Adaptation to Climate Change in Agriculture—Research and Practices* (Iizumi, T., R. Hirata, and R. Matsuda, eds.), Springer Nature, 3–16, doi:10.1007/978-981-13-9235-1\_1.
  20. Iizumi, T., 2019: NARO-APCC Joint Crop Forecasting Service: background and test operation. Sixteenth Session of the AMIS Global Food Market Information Group, October 7–9, 2019, Getulio Vargas Foundation (Rio de Janeiro, Brazil). <http://www.amis-outlook.org/events/detail/en/c/1152133>.
  21. Heino, M., J. H. A. Guillaume, C. Müller, T. Iizumi and M. Kummu, 2020: A multi-model analysis of teleconnected crop yield variability in a range of cropping systems. *Earth Syst. Dyn.*, **11**, 113–128, doi:10.5194/esd-11-113-2020.
  22. Doi, T., G. Sakurai and T. Iizumi, 2020: Seasonal predictability of four major crop yields worldwide by a hybrid system of dynamical climate prediction and eco-physiological crop-growth simulation. *Front. Sustain. Food Syst.*, **4**, 84, doi:10.3389/fsufs.2020.00084.
  23. Iizumi, T., Z. Shen, J. Furuya, T. Koizumi, G. Furuhashi, W. Kim and M. Nishimori, 2020: Climate change adaptation cost and residual damage to global crop production. *Clim. Res.*, **80**, 203–218, doi:10.3354/cr01605.
  24. 飯泉仁之直, 2020: 世界の食料機関に向けた穀物収量予測サービス. 農研機構技報, **4**, 6–9. [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/naro\\_technical\\_report\\_no4\\_3.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/naro_technical_report_no4_3.pdf).

25. Iizumi, T., I.-E. A. Ali-Babiker, M. Tsubo, I. S. A. Tahir, Y. Kurosaki, W. Kim, Y. S. A. Gorafi, A. A. M. Idris and H. Tsujimoto, 2021: Rising temperatures and increasing demand challenge wheat supply in Sudan. *Nature Food*, 2, 19–27, doi:10.1038/s43016-020-00214-4.
26. Iizumi, T., Y. Takaya, W. Kim, T. Nakaegawa and S. Maeda, 2021: Global within-season yield anomaly prediction for major crops derived using seasonal forecasts of large-scale climate indices and regional temperature and precipitation. *Wea. Forecast.*, 36, 285–299, doi:10.1175/WAF-D-20-0097.1.
27. Iizumi, T., Y. Shin, J. Choi, M. van der Velde, L. Nisini, W. Kim and K.-H. Kim, 2021: Evaluating the 2019 NARO-APCC Joint Crop Forecasting Service yield forecasts for Northern Hemisphere countries. *Wea. Forecast.*, 36, 879–891, doi:10.1175/WAF-D-20-0149.1.

**受賞者：**田村岳史（国立極地研究所）

**研究業績：**海水生産量のグローバルマッピングによる地球気候の研究

**選定理由：**

海水の存在は、海洋から大気への顕熱・潜熱、放射、物質放出フラックスなどを大きく変化させる。また海水は、その生成・融解の過程で熱・塩・物質を海洋や大気と交換するとともに、移流によりこれらを輸送する。さらに海洋の大循環は長期的な気候変動に本質的な役割を果たしているが、その出発点の一つとなるのが南極大陸沿岸での海水生成に伴う冷たく塩分の高い水（南極底層水）の形成である。このように気候変動研究において、海水の動態と生産量の理解が重要であるにもかかわらず、衛星観測からは一般に海水面積しか得ることができないため、海水の厚さに関する情報を得ることは困難であった。このため、これまでは海水生成・融解とその時間変化はもとより、平均的な量・分布もよくわかっていなかった。

極域などの海水が広がる海域は現場観測が非常に難しく、海水生産量を見積もるためには時間的・空間的に連続するデータを得ることが可能な衛星観測が、現時点で唯一の効果的な手段である。かつてNASAは衛星マイクロ波データを用いて海水厚を見積もる世界標準のアルゴリズムの開発に取り組んでいたが、その開発を断念していた。田村氏は、海水生産は主に大気から莫大に熱を奪われる薄氷域（特に沿岸ポリニヤと呼ばれる海域）で行われること

に着目して、まず衛星マイクロ波観測データから薄氷域を検知し、そこでの氷厚を推定するアルゴリズムを開発した（業績2）。田村氏は冬季の海水生成域を唯一観測し得る豪州主催の国際海水観測航海に参加し（1）、現場検証データから本アルゴリズムの有効性を実証するなどしており、NASAからも評価されて世界標準のアルゴリズムとなっている。

このアルゴリズムから薄氷（海水生産）域における海水厚がわかると、熱収支計算から熱損失を計算することができ、さらに熱損失は主に海水生成に使われるとの仮定の下で、原理的に海水生産量を見積もることができる。このようにして、田村氏は世界で初めて海水生産量のマッピングを南大洋（3）と北極海（4）において行った。これらの薄氷厚や海水生産量は、自ら企画したヘリコプター観測（8）やバイオロギングによる現場観測（9）により、その精度の確認も行っている。田村氏による沿岸ポリニヤや海水生産量のマッピングは、IPCCの評価報告書にも引用され（4, 9）、海洋物理学の著名な教科書 *Descriptive Physical Oceanography* (Talley *et al.* 2011) にもそのマップが紹介される（3）など、沿岸ポリニヤの決定版的研究になっている。

田村氏による南大洋の海水生産量のマッピング（3）からは、海水生産量が2番目に多い海域が昭和基地東方1200kmにあることが示され、そこが4番目となる未知の南極底層水生成域であることが示唆された。この指摘をもとに、日本の南極観測隊のターゲット海域として集中観測が行われ、南極底層水生成域を新たに発見するに至った（7）。また、氷床の変動が海水生産の変動を介して南極底層水の変動をもたらすという、氷床-海水-海洋相互作用の先駆的な研究も行っている（6, 10）。さらに、海水生産量を基に、海水の生成・融解を考慮した海水域での海面熱塩フラックスのデータセットを世界で初めて作成し（5）、海水生産量のデータと合わせてWeb上で公開している。海水生産量データは数値モデルの検証データとして多くのモデル研究に利用されている。また、熱塩フラックスデータは境界条件として利用でき、不確実性が大きい海水モデルを使わなくても海水域で気候モデルを駆動させることを可能とする。今までにはなかったこれらのデータセットは、以上のような海洋循環の理解や気候モデルの精度向上に貢献するに留まらず、大気・古気候・海洋生物（11）など様々な研究分野、日豪欧米の様々な

研究者に基礎パラメータとして広く使われている。

最近、氷床の融解加速とそれに伴う海水準上昇が大きな問題となっているが、外洋と氷床の間にある沿岸ポリニヤの変動も氷床融解加速に関わっている可能性がある。そのことも含めて、田村氏は現在、日本の南極地域観測の第IX期(2016-2022年)の重点研究観測サブテーマ「氷床・海水縁辺域の総合観測から迫る大気-氷床-海洋の相互作用」の所内対応者として、南極沿岸域における海洋や大気、海水、氷河の分野横断観測研究を中心的に推進している(12, 13, 14)。特に、昭和基地の背後にあるしらせ氷河、さらに東南極最大の氷床融解加速域のトッテン氷河域での大気-氷床-海洋の相互作用の観測を現場リーダー(第58次, 61次南極観測隊参加)として推し進めている。これらに加えて現在、第X期(2022-2028年)重点研究観測サブテーマ「氷床-海水-海洋結合システムの統合研究観測から探る東南極氷床融解メカニズムと物質循環変動」の世話人を務めている。

田村氏の「大気-雪氷-海洋相互作用」に関わる研究は、気象学の境界領域研究を発展させるものであり、気候変動における海水の役割を明確かつ定量的に解明するものとして高く評価できる。また、これら一連の研究は、氷床融解加速という新たな気候課題研究に挑戦するものでもあり、地球温暖化の解明に大きく貢献することが期待される。

以上の理由により、日本気象学会は田村岳史氏に2021年度堀内賞を贈呈するものである。

#### 主な論文リスト

1. Tamura, T., K. I. Ohshima, H. Enomoto, K. Tateyama, A. Muto, S. Ushio and R. A. Massom, 2006: Estimation of thin sea-ice thickness from NOAA AVHRR data in a polynya off the Wilkes Land coast, East Antarctica. *Ann. Glaciol.*, **44**, 269-274, doi:10.3189/172756406781811745.
2. Tamura, T., K. I. Ohshima, T. Markus, D. J. Cavalieri, S. Nishashi and N. Hirasawa, 2007: Estimation of thin ice thickness and detection of fast ice from SSM/I data in the Antarctic Ocean. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **24**, 1757-1772, doi:10.1175/JTECH2113.11.1.
3. Tamura, T., K. I. Ohshima and S. Nishashi, 2008: Mapping of sea ice production for Antarctic coastal polynyas. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L07606, doi:10.1029/2007GL032903.
4. Tamura, T. and K. I. Ohshima, 2011: Mapping of sea ice production in the Arctic coastal polynyas. *J. Geophys. Res. Oceans*, **116**, C07030, doi:10.1029/2010JC006586.
5. Tamura, T., K. I. Ohshima, S. Nishashi and H. Hasumi, 2011: Estimation of surface heat/salt fluxes associated with sea ice growth/melt in the Southern Ocean. *SOLA*, **7**, 17-20, doi:10.2151/sola.2011-005.
6. Tamura, T., G. D. Williams, A. D. Fraser and K. I. Ohshima, 2012: Potential regime shift in decreased sea ice production after the Mertz Glacier calving. *Nature Commun.*, **3**, 826, doi:10.1038/ncomms1820.
7. Ohshima, K. I., Y. Fukamachi, G. D. Williams, S. Nishashi, F. Roquet, Y. Kitade, T. Tamura, D. Hirano, L. Herraiz-Borreguero, I. Field, M. Hindell, S. Aoki and M. Wakatsuchi, 2013: Antarctic Bottom Water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley Polynya. *Nature Geosci.*, **6**, 235-240, doi:10.1038/ngeo1738.
8. Tamura, T., K. I. Ohshima, J. L. Lieser, T. Toyota, K. Tateyama, D. Nomura, K. Nakata, A. D. Fraser, P. W. Jansen, K. B. Newbery, R. A. Massom and S. Ushio, 2015: Helicopter-borne observations with portable microwave radiometer in the Southern Ocean and the Sea of Okhotsk. *Ann. Glaciol.*, **56**, 436-444, doi:10.3189/2015AoG69A621.
9. Tamura, T., K. I. Ohshima, A. D. Fraser and G. D. Williams, 2016: Sea ice production variability in Antarctic coastal polynyas. *J. Geophys. Res. Oceans*, **121**, 2967-2979, doi:10.1002/2015JC011537.
10. Williams, G. D., L. Herraiz-Borreguero, F. Roquet, T. Tamura, K. I. Ohshima, Y. Fukamachi, *et al.*, 2016: The Suppression of Antarctic Bottom Water production by melting ice shelves in Prydz Bay, East Antarctica. *Nature Commun.*, **7**, 12577, doi:10.1038/NCOMMS12577.
11. Labrousse, S., G. Williams, T. Tamura, *et al.*, 2018: Coastal polynyas: Winter oases for subadult southern elephant seals in East Antarctica. *Sci. Rep.*, **8**, 3183, doi:10.1038/s41598-018-21388-9.
12. Silvano, A., S. R. Rintoul, B. Pena-Molino, W. R. Hobbs, E. van Wijk, S. Aoki, T. Tamura and G. D. Williams, 2018: Freshening by glacial meltwater enhances melting of ice shelves and reduces formation of Antarctic Bottom Water. *Science Adv.*, **4**, eaap9467, doi:10.1126/sciadv.aap9467.
13. Silvano, A., A. Foppert, S. Rintoul, P. Holland, T. Tamura, N. Kimura, P. Castagno, P. Falco, G. Budillon, F. A. Haumann, A. N. Garabato and A. Macdonald, 2020: Recent recovery of Antarctic Bottom Water formation in the Ross Sea driven by climate anomalies.

- Nature Geosci., 13, 780–786, doi:10.1038/s41561-020-00655-3.
14. Hirano, D., T. Tamura, K. Kushara, K. I. Ohshima, K. W. Nicholls, S. Ushio, D. Simizu, K. Ono, M. Fujii, Y. Nogi and S. Aoki, 2020: Strong ice–ocean interaction beneath Shirase Glacier Tongue, East Antarctica. Nature Commun., 11, 4221, doi:10.1038/s41467-020-17527-4.
-