

2025 年度堀内賞の受賞者決まる

氏名:岡 顕 (東京大学大気海洋研究所)

研究業績:海洋深層大循環および海洋炭素循環と気候に関する研究の推進

選定理由:

海洋深層大循環および海洋炭素循環は、地球気候システムの熱輸送、炭素循環、物質循環を通じて長期的な気候変動や大気中二酸化炭素濃度を決める重要な要素である。将来の気候予測のためにもその理解が不可欠であり、気象学、海洋学、地球化学などとの境界領域の研究として重要である。

岡顕氏は、簡易大気モデルを海洋大循環モデル COCO に結合させた気候モデル MIROC-lite を開発し、これを使って海洋深層循環の安定性を調べたのち（業績 1）、海洋深層循環の形成における北極海への河川流出量および海洋塩分輸送過程の役割を COCO モデル実験により調べた（業績 2、3）。また、IPCC 第 4 次報告書へ向けた気候モデル MIROC の開発・改良に関わり、温暖化時の大西洋深層循環の応答を調べるための数値シミュレーションを実施することにより結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP) に貢献し（業績 4、5）、CMIP モデルにおける 21 世紀末での大西洋深層循環の弱化は、高緯度域での淡水増加ではなく、海洋表層の昇温が主要因となることを明らかにした（業績 5）。さらに、氷期における海洋深層循環に関する研究を推進し、氷期の大西洋深層循環のモード遷移に関する熱的閾値の概念を新しく提唱（業績 6）、CMIP のうち 古気候モデル比較プロジェクト (PMIP) において、多くの気候モデルが氷期の大西洋深層循環をうまく再現できない要因が大西洋深層循環モード遷移に係ることであることを指摘した。そのうえで、大西洋深層循環のモード遷移は、淡水供給などをきっかけとする塩分フィードバックを伴うことが必要であるという従来の考えとは異なり、海面での熱的な冷却に伴い、海水分布と深層水形成場所が急激に遷移することで生じることを新たに提示した（業績 6）。南大洋の昇温がきっかけとなり熱的閾値を超えることで大西洋深層循環のモード遷移が生じうること（業績 7）、熱的閾値に起因して氷期の大西洋深層循環の多重解構造が現在とは異なること（業績 8）などを示し、ダンスガード・オシュガーイベントと呼ばれる氷期における急激な気候変動現象の理解に大きく貢献した。

加えて、岡氏は、氷期における海洋炭素循環と海洋生物生産変化に関する研究（業績 9）、北大西洋での淡水供給時における氷期炭素循環の応答に関する研究（業績 10）など、氷期気候における海洋炭素循環に関するシミュレーション研究を進めた。古海洋データとモデル結果との直接比較のための微量元素に関するモデリング研究も推進した（業績 11、12）。海洋堆積モデルを海洋大循環モデル COCO に組み込み炭

酸塩補償過程を定量的に評価することで、長らくの謎であった氷期における大気中二酸化炭素濃度(CO₂)低下の多くを説明した(業績13)。その他にも、CMIP5モデルにおいて将来の海洋生物生産の変化の仕組みを詳しく調べた研究(業績14)、海洋炭素ポンプ分解についての定式化とそのCMIP5モデル比較への応用(業績15)など、海洋炭素循環に関わる成果をあげた。海洋混合に関する新しいパラメタ化により海洋炭素循環・物質循環にとって重要な太平洋における水塊年齢の現実的な再現にも成功し(業績16)、高速海洋トレーサーモデルを新たに開発することで鉛直拡散係数の全球分布を独自の方法により推定した(業績17)。

このように、岡氏の行ってきた海洋深層大循環および海洋炭素・物質循環に関する研究は、気候システムに関する知見を深め、長期の気候変動への理解にもつながるものであり、隣接する海洋物理学や海洋化学から気象学に大いに貢献したものと評価できる。

以上の理由により、日本気象学会は岡顕氏に2025年度堀内賞を贈呈するものである。

業績一覧

1. Oka, A., H. Hasumi and N. Sugimoto (2001): Stabilization of thermohaline circulation by wind-driven and vertical diffusive salt transport, *Climate Dynamics*, 18(1), 71-83.
2. Oka, A., and H. Hasumi (2006): Effects of model resolution on salinity transport through northern high-latitude narrow passages and the Atlantic meridional overturning circulation, *Ocean modelling*, 13(2), 126-147.
3. Oka, A., and H. Hasumi (2004): Effects of freshwater forcing on the Atlantic deep circulation: a study with an OGCM forced by two different surface freshwater flux datasets, *Journal of Climate*, 17(11), 2180-2194.
4. Stouffer, R. J., J. Yin, J. M. Gregory, K. W. Dixon, M. J. Spelman, W. Hurlin, A. J. Weaver, M. Eby, G. M. Flato, H. Hasumi, A. Hu, J. Jungclauss, I. V. Kamenkovich, A. Levermann, M. Montoya, S. Murakami, S. Nawrath, A. Oka, W. R. Peltier, D. Y. Robitaille, A. Sokolov, G. Vettoretti, N. Weber (2005): Investigating the causes of the response of the thermohaline circulation to past and future climate changes, *Journal of Climate*, 19(8), 1365-1387.
5. Gregory, J. M., K. W. Dixon, R. J. Stouffer, A. J. Weaver, E. Driesschaert, M. Eby, T. Fichefet, H. Hasumi, A. Hu, J. H. Jungclauss, I. V. Kamenkovich, A. Levermann, M. Montoya, S. Murakami, S. Nawrath, A. Oka, A. P. Sokolov, R. B. Thorpe (2005): A model intercomparison of changes in the Atlantic thermohaline circulation in response to increasing atmospheric

- CO₂ concentration, *Geophysical Research Letters*, 32(12), Art.No.L12703.
6. Oka, A., H. Hasumi, and A. Abe-Ouchi (2012): The thermal threshold of the Atlantic meridional overturning circulation and its control by wind stress forcing during glacial climate, *Geophysical Research Letters*, 39, doi:10.1029/2012GL051421.
 7. Oka, A., A. Abe-Ouchi, S. Sherriff-Tadano, Y. Yokoyama, K. Kawamura and H. Hasumi (2021): Glacial mode shift of the Atlantic meridional overturning circulation by warming over the Southern Ocean. *Commun Earth Environ* 2, 169 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00226-3>.
 8. Ando, T. and Oka, A. (2021): Hysteresis of the glacial Atlantic Meridional Overturning Circulation controlled by thermal feedbacks. *Geophysical Research Letters*, 48(24), e2021GL095809.
 9. Oka, A., A. Abe-Ouchi., M. Chikamoto, and T. Ide (2011): Mechanisms controlling export production at the LGM: effects of changes in oceanic physical fields and atmospheric dust deposition, *Global Biogeochemical Cycles*, 25, GB2009, doi:10.1029/2009GB003628.
 10. Chikamoto, O. M., L. Menviel, A. Abe-Ouchi, R. Ohgaito, A. Timmermann, Y. Okazaki, N. Harada, A. Oka (2012): Variability in North Pacific intermediate and deep water ventilation during Heinrich events in two coupled climate models, *Deep Sea Research II*, 61-64, 114-126.
 11. Sasaki, Y., H. Kobayashi, and A. Oka (2022): An investigation into the processes controlling the global distribution of dissolved ²³¹Pa and ²³⁰Th in the ocean and the sedimentary ²³¹Pa/²³⁰Th ratios by using an ocean general circulation model COCO ver4.0. *Geoscientific Model Development*, 15(5), 2013-2033.
 12. Oka, A., H. Hasumi, H. Obata, T. Gamo, and Y. Yamanaka (2009): Study on vertical profiles of rare earth elements by using an ocean general circulation model, *Global Biogeochemical Cycles*, 23, GB4025, doi:10.1029/2008GB003353.
 13. Kobayashi, H., A. Oka, A. Yamamoto, and A. Abe-Ouchi (2021): Glacial carbon cycle changes by Southern Ocean processes with sedimentary amplification, *Science Advances*, 7(35), eabg7723.
 14. Nakamura, Y. and A. Oka (2019): CMIP5 model analysis of future changes in ocean net primary production focusing on differences among individual oceans and models, *Journal of Oceanography*, *Journal of Oceanography* 75 (5), 441-462.

15. Oka, A. (2020): Ocean carbon pump decomposition and its application to CMIP5 earth system model simulations, Progress in Earth and Planetary Science 7 (1), 1-17.
16. Oka, A. and Y. Niwa (2013): Pacific deep circulation and ventilation controlled by tidal mixing away from the sea bottom, Nature Communications, 4:2419, doi:10.1038/ncomms3419.
17. Oka, A (2025). Deep ocean mixing mismatch between model and observational estimates. Commun Earth Environ, 6(108), <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02027-4>.