

平成 22 年 6 月 7 日現在

研究種目： 基盤研究 (B)
 研究期間： 2007～2008
 課題番号： 19340133
 研究課題名 (和文) 超深海乱流計を用いた境界混合の定量化とその深層海洋大循環モデルへの組み込み
 研究課題名 (英文) Identification of mixing hotspots on the abyssal rough bottom using a microstructure profiler and their incorporation into global thermohaline circulation models
 研究代表者： 日比谷 紀之 (HIBIYA TOSHIYUKI)
 東京大学・大学院理学系研究科・教授
 研究者番号： 80192714

研究成果の概要 (和文)：

超深海乱流計を伊豆-小笠原海嶺上や天皇海山列上で自由落下させることで、深度約5000mの深海底の凹凸上に存在する強い乱流混合の定量化に我が国で初めて成功した。また、この乱流混合の強度を最も正確に定量化できる Gregg-Henyey-Polzin のパラメタリゼーションの式に基づいて深海底上の乱流ホットスポットのグローバルな分布を求め、その情報を海洋大循環モデルに組み込むことで、現時点で最も高精度な深層海洋大循環のパターンを提示した。

研究成果の概要 (英文)：

By deploying a microstructure profiler over the Izu-Ogasawara Ridge and the Emperor Seamounts, we have succeeded, for the first time in Japan, in identifying mixing hotspots on the abyssal rough bottom. We have also found that these mixing hotspots can be best quantified in terms of Gregg-Henyey-Polzin (GHP) parameterization. Finally, abyssal mixing hotspots in the world's oceans quantified using GHP parameterization have been embedded into the ocean general circulation model to obtain the most accurate pattern of global thermohaline circulation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2008 年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：①海底境界混合 ②乱流ホットスポット ③パラメタリゼーション ④流速鉛直シア ⑤ストレイン ⑥超深海乱流計 ⑦天皇海山列 ⑧深層海洋大循環

1. 研究開始当初の背景

深層海洋大循環の維持に必要な中・深層における鉛直乱流拡散の値は大洋平均で $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ とされている。しかしながら、筆者の研究グループが深海用乱流計 TurboMAP-D (アレック電子社製) を用いて

行ってきた深度 1600m までの乱流観測によれば、限られた海域で強い鉛直乱流拡散 (乱流ホットスポット) が存在するものの、それらを合計しても大洋平均で $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ の値には及ばない。これを補償するものとして、深海底から鉛直上方に広がる乱流ホットスポット

トの存在の可能性が指摘されていたが、深海乱流観測の技術的な困難もあり、その実態は長く未解明のまま残されてきた。深層海洋大循環モデルの高精度化の観点からも、深海底における乱流拡散の定量化は不可欠な状況であった。

2. 研究の目的

上述した研究開始当初の背景を考慮して、本研究では、深海底上に乱流ホットスポットが存在するのか、存在しているとすれば、その強度が、海底地形の凹凸、海底地形の高さ、潮流の強さ、成層の強さなど諸物理量とどのように関連しているのかを明らかにし定式化する。こうして得られた深海乱流強度を予報する経験式に、世界大洋の海域ごとの潮流の強さ、海底地形の凹凸、海底地形の高さなどの各種パラメータ情報を組み込むことにより、深度 2000m～海底直上までの乱流拡散強度のグローバルマッピングを行う。さらに、この結果を、すでに筆者により明らかにされている深度 2000m までの乱流拡散強度の分布とあわせることで、乱流拡散のグローバルな 3 次元的マッピングを完成させる。最後に、この乱流拡散強度の 3 次元的空间分布の情報を海洋大循環モデルに組み込むことにより、現時点で最も高精度な深層海洋大循環像を確立する。

3. 研究の方法

北海道大学水産学部附属練習船「おしよる丸」に乗船し、伊豆-小笠原海嶺上や天皇海山列上で、超深海用乱流計 VMP-5500 (カナダ、ロックランド社製) を海面から海底直上まで降下させ、乱流散逸率の観測を行う。また、この海面から海底直上までの乱流消散率の観測と同時に、電気伝導度・水温・深度計によるファインスケールのストレインの観測、投棄式流速計によるファインスケールの流速鉛直シアの観測を行い、その結果に基づいて、既存の乱流パラメタリゼーションの有効性のチェックとその改良を行う。最後に改良された乱流パラメタリゼーションの式により推定した乱流ホットスポットの情報を海洋大循環モデル COCO に組み込んで深層海洋大循環のパターンを再現し、従来の数値実験結果と比較することで、そのパフォーマンスを確認する。

4. 研究成果

(1) 平成 19 年度

2008 年 11 月の北海道大学水産学部附属の練習船「おしよる丸」の小笠原航海に参加し、北太平洋における最強の乱流ホットスポットである伊豆-小笠原海域の 6 地点

で VMP-5500 を海底直上まで降下させた。得られたマイクロスケールのシアプロファイルを 10m ごとの小区間に分け、それぞれの区間でスペクトルを計算した。各スペクトルをコルモゴロフ波数まで積分して乱流消散率 ε を求め、 $K\rho=0.2\varepsilon/N^2$ (N : 浮力周波数) により鉛直拡散係数 $K\rho$ に換算した。その結果、特に、伊豆-小笠原海台の斜面上では、深度 5000m に及ぶ海底直上でも $10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ に達する強い鉛直乱流拡散が存在していることが明らかになり「深度約 5000m の超深海に存在する乱流ホットスポット」の観測に我が国で初めて成功した。また、この強い鉛直乱流拡散の存在する場所が、当該海域で卓越する半日周期の内部潮汐によってストレインが周期的に強められる場所と一致していることから、超深海乱流の励起にも parametric subharmonic instability の機構が主要な役割を果たしていることが示唆された。

(2) 平成 20 年度

深海底の凹凸から上方に広がる乱流ホットスポットを正確に定量化するパラメタリゼーションの式を得るため、2009年6月に北海道大学水産学部附属練習船「おしよる丸」の北洋航海に参加し、天皇海山列上において、超深海乱流計 VMP-5500 による海面から海底直上までの乱流消散率の観測と同時に、電気伝導度・水温・深度計によるファインスケールのストレインの観測、投棄式流速計によるファインスケールの流速鉛直シアの観測を行った。その結果、天皇海山列の海底上では、潮流と海底地形の凹凸との強い相互作用を通じて高鉛直波数・高周波数のリー波が励起されることで、内部波場がギャレットムンクの平衡場から著しく歪んでいることがわかった。このため、ともにギャレットムンクの平衡内部波場の存在を仮定して、ファインスケールのストレインの情報のみから乱流強度を予測する Wijesekera et al. (1993) のパラメタリゼーションの式、ファインスケールの鉛直シアの情報のみから乱流強度を予測する Gregg (1989) のパラメタリゼーションの式は、それぞれ、真の値よりも著しく過大評価および過小評価してしまうこと、また、この一方で、鉛直シアとストレインの両方の情報を用いることで、ギャレットムンクの平衡内部波場からの歪みを考慮できる Gregg-Henyey-Polzin のパラメタリゼーションの式 (Gregg et al., 2003) が、現時点において、深海底上の乱流ホットスポットを最も正確に定量化できることを確認した。

最後に、この Gregg-Henyey-Polzin のパラメタリゼーションの式から推定した乱流ホットスポットの情報を海洋大循環モデル COCO に組み込むことで、現時点で最も高精度な深層海洋大循環のパターンを再現した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

1. Tanaka, Y., T. Hibiya, Y. Niwa, and N. Iwamae: Numerical study of K_1 internal tides in the Kuril Straits, *Journal of Geophysical Research*, in press, 2010.
2. Zhai, X., R. J. Greatbatch, C. Eden, and T. Hibiya: On the loss of wind-induced near-inertial energy to turbulent mixing in the upper ocean, *Journal of Physical Oceanography*, **39**, doi:10.1175/2009JP04259.1, 2009.
3. Iwamae, N., T. Hibiya, and M. Watanabe: Numerical study of the bottom-intensified tidal mixing using an "eikonal approach", *Journal of Geophysical Research*, **114**, C05022, doi:10.1029/2008JC005130, 2009.
4. Sugiyama, Y., Y. Niwa, and T. Hibiya: Numerically reproduced internal wave spectra in the deep ocean, *Geophysical Research Letters*, **36**, L07601, doi:10.1029/2008GL036825, 2009.
5. 日比谷 紀之: 海洋の中・深層における鉛直拡散強度の全球分布に関する理論的・観測的研究 -2008年度日本海洋学会賞記念論文-, *海の研究*, **18**, 115-134, 2009.
6. Furuichi, N., T. Hibiya, and Y. Niwa: Model-predicted distribution of wind-induced internal wave energy in the world's oceans, *Journal of Geophysical Research*, **113**, C09034, doi:10.1029/2008JC004768, 2008.
7. Watanabe, M., and T. Hibiya: Energetics of wind-induced turbulent mixing in the ocean, *Journal of Oceanography*, **64**, 131-140, 2008.
8. Hibiya, T., M. Nagasawa, and Y. Niwa: Latitudinal dependence of diapycnal diffusivity in the thermocline observed using a microstructure profiler, *Geophysical Research Letters*, **34**, L24602, doi:10.1029/2007GL032323, 2007.
9. Nagasawa, M., T. Hibiya, K. Yokota, Y. Tanaka, and S. Takagi: Microstructure measurements in the mid-depth waters of the North Pacific, *Geophysical Research Letters*, **34**, L05608, doi:10.1029/2006GL028695, 2007 (AGU Journal Highlight).
10. Tanaka, Y., T. Hibiya, and Y. Niwa: Estimates of tidal energy dissipation and diapycnal diffusivity in the Kuril Straits using TOPEX/POSEIDON altimeter data, *Journal of Geophysical Research*, **112**, C10021, doi:10.1029/2007JC004172, 2007.
11. Endoh, T., and T. Hibiya: Meridional overturning circulation of the deep Pacific estimated assuming the vertical advective-diffusive balance, *Geophysical Research Letters*, **34**, L11602, doi:10.1029/2007GL030027, 2007.

[学会発表] (計 47 件)

1. 永井 平, 日比谷 紀之: 潮汐混合にコントロールされた閉鎖性海域と外洋間との海水交換過程, 2010年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学, 品川, 東京, 2010年 3月28日.
2. 横田 華奈子, 勝又 勝郎, 山下 幹也, 日比谷 紀之, 深尾 良夫, 小平 秀一, 三浦 誠一: 海洋の中・深層における反射法地震データを用いた fine-scale のストレインの見積もり, 2010 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学, 品川, 東京, 2010年 3月 28日.
3. 長澤 真樹, 日比谷 紀之, 古市 尚基, 毛利 研, 高木 省吾: 伊豆小笠原海嶺付近の表層における乱流強度の時系列観測, 2010 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学, 品川, 東京, 2010年 3月 27日.
4. Mohri, K., T. Hibiya, and N. Iwamae: Revisiting internal wave generation by tide-topography interaction, Oregon Convention Center, Portland, U. S. A., Feb. 25, 2010.
5. Tanaka, Y., T. Hibiya, Y. Niwa, and N. Iwamae: Numerical study of K_1 internal tides in the Kuril Straits, 2010 Ocean Sciences Meeting, Oregon Convention Center, Portland, U. S. A., Feb. 25, 2010.
6. Yokota, K., K. Katsumata, T. Hibiya, M. Yamashita, Y. Fukao, S. Kodaira, and S.

- Miura: Finescale strain distribution estimated by Multi-Channel Seismic data, 2010 Ocean Sciences Meeting, Oregon Convention Center, Portland, U. S. A., Feb. 24, 2010.
7. Furuichi, N., T. Hibiya, and Y. Niwa: Model-predicted distribution of wind-induced near-inertial wave energy in the world's oceans, 2010 Ocean Sciences Meeting, Oregon Convention Center, Portland, U. S. A., Feb. 22, 2010.
 8. 日比谷 紀之: LES による海洋微物理過程の高精度パラメタリゼーション, 21 世紀気候変動予測革新プログラム平成 21 年度成果発表会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2010 年 1 月 13 日.
 9. 日比谷 紀之: 地球の気候をコントロールする深海のミクロな現象 - 深層水を駆動する深海乱流の解明へ向けて, 特定非営利活動法人 地球環境カレッジ第95回定例講演会, GEカレッジホール, 東京2009年 10月5日.
 10. 田中 祐希, 日比谷 紀之, 丹羽 淑博, 岩前 伸幸: 北太平洋中層水形成におけるクリル海峡域の潮汐混合の役割に関する再評価, 2009年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 2009年 9月28日.
 11. 長澤 真樹, 日比谷 紀之, 金山 祐介, 高木 省吾: 超深海用乱流計VMP-5500による海洋表層から着底に至るまでの乱流観測, 2009年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 2009年 9月27日.
 12. 古市 尚基, 丹羽 淑博, 日比谷 紀之: 海洋混合層内における風起源の近慣性振動流の *Large Eddy Simulation*, 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 京都大学 吉田キャンパス, 2009年 9月26日.
 13. Hibiya, T., M. Nagasawa, and Y. Niwa: Theoretical and observational studies of the global distribution of diapycnal diffusivity in the deep ocean, The 15th Pacific Asian Marginal Seas (PAMS) Meeting, Busan, Korea, Apr. 24, 2009.
 14. 毛利 研, 岩前 伸幸, 日比谷 紀之: 潮流と海底地形との相互作用による 内部波の発生機構に関する再考察, 2009 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学 本郷キャンパス, 2009年 4月8日.
 15. 日比谷 紀之, 長澤 真樹, 金山 裕介, 高木 省吾: 伊豆小笠原海嶺付近の超深海において観測された鉛直拡散係数, 2009 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学本郷キャンパス, 2009年 4月8日.
 16. 長澤 真樹, 日比谷 紀之, 高木 省吾: 伊豆小笠原海嶺付近における乱流 強度の時系列観測, 2009年度日本海洋学会春季大会, 東京大学本郷キャンパス, 東京, 2009年 4月8日.
 17. 日比谷 紀之, 古市 尚基, 丹羽 淑博, 尹 宗煥: *Large Eddy Simulation* に基づく海洋表層での風起源混合過程に関する研究, 文部科学省「21世紀気候変動予測革新プログラム」平成 20年度研究成果報告会, 女性と仕事の未来館, 東京, 2009年 1月16日.
 18. Hibiya, T., Y. Sugiyama, and Y. Niwa: Numerically reproduced quasi-stationary internal wave spectra in the deep ocean, The Workshop sponsored by Pacific Institute for the Mathematical Sciences, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, U. S. A., Oct. 3, 2008.
 19. 遠藤 貴洋, 日比谷 紀之: 鉛直一次元移流・拡散バランスから見積もった太平洋深層の子午面循環, 2008年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学呉キャンパス, 2008年 9月27日.
 20. 丹羽 淑博, 日比谷 紀之: 内部潮汐波のグローバル分布に関する数値シミュレーション, 2008年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学呉キャンパス, 2008年 9月26日.
 21. 横田 華奈子, 渡辺 路生, 日比谷 紀之: アイコナル・アプローチによるエネルギー消散率のパラメタリゼーションの有効性の検証, 2008年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学呉キャンパス, 2008年 9月26日.
 22. 田中 祐希, 日比谷 紀之, 丹羽 淑博, 岩前 伸幸: クリル海峡における潮汐混合に関する数値的研究, 2008年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学呉キャンパス,

- 2008年 9月25日.
23. 日比谷 紀之: 地球の気候をコントロールする深海のミクロな現象 -深海乱流の解明に向けて-, 九州大学応用力学研究所講演会, 九州大学応用力学研究所, 2008年 7月29日.
 24. Iwamae, N., and T. Hibiya: Effect of fine-scale topography on tide-induced mixing, The 5th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), Busan Exhibition and Convention Center, Korea, June 20, 2008.
 25. Furuichi, N., T. Hibiya, and Y. Niwa: Model predicted distribution of wind-induced internal wave energy in the world's oceans, The 5th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), Busan Exhibition and Convention Center, Korea, June 20, 2008.
 26. 日比谷 紀之: 深層海洋大循環と乱流混合 -理論から観測へ-, シンポジウム「大気・海洋大循環と極域の役割 -今後の観測研究の展望-」, 北海道大学低温科学研究所, 2008年 6月6日.
 27. 日比谷 紀之: 海洋の中・深層における潮汐鉛直混合研究の現状と展望, 東京大学海洋研究所共同利用研究集会「潮汐混合とオホーツク海・ベーリング海の物理・化学・生物過程」, 東京大学海洋研究所, 2008年 5月22日.
 28. 古市 尚基, 丹羽 淑博, 日比谷 紀之: 風応力擾乱によって励起された内部重力波に関する全球的エネルギー論, 2008年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2008年 3月29日.
 29. 岩前 伸幸, 日比谷 紀之, 渡辺 路生: Eikonal Approachを用いた海底境界混合のパラメータ依存性の解明, 2008年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2008年 3月29日.
 30. 日比谷 紀之: 海洋の中・深層における鉛直拡散強度の全球分布に関する理論的・観測的研究-2008年度日本海洋学会・学会賞受賞記念講演-, 2008年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2008年 3月28日.
 31. Iwamae, N., T. Hibiya, and M. Watanabe: Numerical study of the bottom-confined intense mixing using an "eikonal approach", 2008 Ocean Sciences Meeting, Orange County Convention Center, Orlando, U.S.A., March 6, 2008.
 32. Furuichi, N., Y. Niwa, and T. Hibiya: Global mapping of wind-induced internal wave energy in the deep ocean, 2008 Ocean Sciences Meeting, Orange County Convention Center, Orlando, U.S.A., March 6, 2008.
 33. 日比谷 紀之, 丹羽 淑博, 尹 宗煥: LESによる海洋微物理過程の高精度パラメタリゼーション, 文部科学省「21世紀気候変動予測革新プログラム」平成19年度研究成果報告会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2008年 1月18日.
 34. Endoh, T., and T. Hibiya: Meridional overturning circulation of the deep Pacific estimated assuming the vertical advective-diffusive balance, American Geophysical Union (AGU) 2007 Fall meeting, Moscone West, San Francisco, U.S.A., Dec.12, 2007.
 35. Hibiya, T., M. Nagasawa, and Y. Niwa: Latitudinal dependence of diapycnal diffusivity in the thermocline observed using a microstructure profiler, Japan-Korea joint seminar on physical processes in the ocean and its parameterization, Sanjo Kaikan Hall, University of Tokyo, Tokyo, Japan, Dec.11, 2007.
 36. Tanaka, Y., T. Hibiya, and Y. Niwa: Estimates of tidal energy dissipation and diapycnal diffusivity in the Kuril Straits using TOPEX/POSEIDON altimeter data, Japan-Korea joint seminar on physical processes in the ocean and its parameterization, Sanjo Kaikan Hall, University of Tokyo, Tokyo, Japan, Dec.11, 2007.
 37. Yokota, K., T. Hibiya, M. Nagasawa, and S. Takagi: Assessment of fine-scale parameterizations for deep ocean mixing using microstructure profilers, Japan-Korea joint seminar on physical processes in the ocean and its parameterization, Sanjo Kaikan Hall, University of Tokyo, Tokyo, Japan,

Dec. 11, 2007.

38. Iwamae, N., T. Hibiya, and M. Watanabe: Numerical study of the tidally induced bottom-confined mixing, Korea joint seminar on physical processes in the ocean and its parameterization, Sanjo Kaikan Hall, University of Tokyo, Tokyo, Japan, Dec. 11, 2007.
39. Noh, Y., T. Hibiya, and J-H Yoon: LES of the ocean mixed layer under stabilizing surface heating and its parameterization, Japan-Korea joint seminar on physical processes in the ocean and its parameterization, Sanjo Kaikan Hall, University of Tokyo, Tokyo, Japan, Dec. 11, 2007.
40. Furuichi, N., Y. Niwa, and T. Hibiya: Model predicted distribution of wind-induced internal wave energy in the world's oceans, Japan-Korea joint seminar on physical processes in the ocean and its parameterization, Sanjo Kaikan Hall, University of Tokyo, Tokyo, Japan, Dec. 11, 2007.
41. 横田 華奈子、長澤 真樹、日比谷 紀之、田中 響子: 超深海乱流計 VMP-5500 を用いた鉛直乱流拡散係数の見積もり, 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学工学部, 沖縄, 2007 年 9 月 28 日.
42. 岩前 伸幸, 日比谷 紀之: 粗い海底地形上の鉛直乱流混合に関する数値実験、2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学工学部, 沖縄, 2007 年 9 月 28 日.
43. 日比谷 紀之, 長澤 真樹, 横田 華奈子, 田中 響子, 高木 省吾: 超深海乱流計 VMP-5500 を用いた海底境界混合の定量化とそのパラメタリゼーション - 全体計画について -, 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学工学部, 沖縄, 2007 年 9 月 28 日.
44. 長澤 真樹, 日比谷 紀之, 横田 華奈子, 田中 響子, 高木 省吾: 超深海用マイクロスケールプロファイラー VMP5500 について, 2007 年度日本海洋学会秋季大会, 琉球大学工学部, 沖縄, 2007 年 9 月 27 日.
45. Hibiya, T., M. Nagasawa, and Y. Niwa: Mapping of mixing hotspots in the

world deep oceans, The XXIV General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), The University of Perugia, Perugia, Italy, July 4, 2007.

46. Watanabe, M., and T. Hibiya: Energetics of wind-induced turbulent mixing in the ocean, The XXIV General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), The University of Perugia, Perugia, Italy, July 4, 2007.
47. Tanaka, Y., T. Hibiya, and Y. Niwa: Estimates of tidal energy dissipation and diapycnal diffusivity in the Kuril Straits using TOPEX/Poseidon altimeter data, The XXIV General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), The University of Perugia, Perugia, Italy, July 3, 2007.

[図書] (計 1 件)

1. 日比谷 紀之、海洋大循環: 「東大式現代科学用語ナビ」、株式会社化学同人、244、2009

[その他]

ホームページ等

http://ns.eps.s.u-tokyo.ac.jp/jp/member/index.php?_urid=1387&_lang=ja

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日比谷 紀之 (HIBIYA TOSHIYUKI)

東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号: 80192714

(2) 研究分担者

磯田 豊 (ISODA YUTAKA)

北海道大学・大学院水産科学研究科・
准教授
研究者番号: 10193393

北出 裕二郎 (KITADE YUJIRO)

東京海洋大学・海洋科学部・准教授
研究者番号: 50281001

羽角 博康 (HASUMI HIROYASU)

東京大学・気候システム研究センター・
准教授
研究者番号: 40311641