

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340135

研究課題名（和文）

投棄式乱流計を用いた超深海乱流強度の全球マッピングとその深層循環モデルへの組み込み

研究課題名（英文）

Quantification of boundary mixing using expendable microstructure profilers for the deep ocean and its incorporation into the global thermohaline circulation model

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）：

海洋の中・深層における乱流拡散強度のマッピングは、深層海洋循環の解明に不可欠であるが、深度 2000m 以下の乱流拡散強度の実態は観測の困難さもあって未解明のまま残されてきた。本研究では、マルチスケールプロファイラー VMP-5500 を使用して、深海底直上までの乱流強度、流速鉛直シア、密度ストレインを同時観測するとともに、その結果を海底地形の凹凸から上方へ発していく内部波エネルギーの伝播/減衰のシミュレーション結果と比較することで、超深海乱流の定量化とそのパラメタリゼーションを行った。

研究成果の概要（英文）：

The global mapping of diapycnal diffusivities in the deep ocean is essential for accurate modeling of global thermohaline circulation. Nevertheless the global distribution of diapycnal diffusivities below a depth of ~ 2000 m remains unknown. In order to clarify this, we have deployed a free-fall multi-scale profiler VMP-5500 that can measure microscale turbulence as well as the background fine-scale shear and strain from the sea surface down to a depth of ~ 6000 m. Using a combination of the fine-scale and microscale data thus obtained simultaneously together with the aid of the concurrent numerical simulation of internal waves which are generated by tidal interaction with abyssal rough bottom and propagate through the background shear and strain fields, we have succeeded in developing an empirical formula for diapycnal diffusivities near abyssal rough sea beds expressed in terms of fine-scale parameters.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
2010 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
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：乱流散逸、潮汐流、海底地形、内部重力波、超深海、パラメタリゼーション、非線形相互干渉、深層海洋大循環

1. 研究開始当初の背景

海洋の中・深層における乱流拡散は、海表面からの熱の伝達を通して深層水に浮力を与え、表層に引き上げることで、深層海洋循環を強くコントロールしている。このため、そのグローバルな強度分布の情報は深層海洋大循環像の把握に不可欠であるが、深度2000m以下、深海底直上までの乱流拡散の実態は、観測の困難さもあり、未解明のまま残されている状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、使用を予定していた投棄式乱流計の開発が困難となってしまったことで当初計画を変更し、まず、(1) 電磁流速計を取り付けた超深海乱流計 VMP-5500 を使用して、未だ観測空白域として残されている深度2000m～海底までの乱流強度を測定するとともに、(2) 海底地形の凹凸から上方へ発していく内部潮汐波エネルギーの伝播/減衰のシミュレーション結果と比較することで、超深海乱流の定量化とパラメタリゼーションを行う。さらに、(3) その結果を深度2000mまでの乱流拡散の既存情報とあわせて数値モデルに組み込むことで、高精度な深層海洋循環像の確立に寄与することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 筆者の研究室が保有するマルチスケールプロファイラーVMP-5500を用いて「海面から海底直上までの乱流散逸率、流速鉛直シア、密度ストレインの鉛直分布」を同時観測する。さらに、この観測結果を説明するために、「海底地形の凹凸から鉛直上方へ伝播する内部潮汐波」と「深海の背景場に存在する内部波」との非線形相互作用に関する高精度数値実験を行い、深海における鉛直乱流拡散強度が、海底地形の凹凸の卓越水平波数、海底地形の高さ、海底地形上での潮流の強さ、成層の強さなどの諸物理量とどのように関連しているかを示すパラメタリゼーションの式を求める。

(2) 世界大洋の海域ごとに、海底地形の凹凸の卓越水平波数、海底地形の高さ、海底地形上での潮流の強さ、成層の強さなど、(1)で求めたパラメタリゼーションの式に含まれる諸物理量を把握することにより、深海における鉛直乱流拡散強度のグローバルなマッピングを行う。こうして得られた「2000m以深での鉛直乱流拡散強度の分布」を、すでに申請者により明らかにされている「深度2000m以浅の鉛直乱流拡散強度の分布」とあわせることで「鉛直乱流拡散強度のグローバルなマッピング」を完成させる。

(3) (2)で得た情報を東京大学・大気海洋研究所の海洋大循環モデルCOCOに組み込んで数値シミュレーションを行う。さらに、この計算結果を、従来型のパラメタリゼーションから求めた鉛直乱流拡散強度を組み込んだ計算結果と比較することによって、本研究の成果を確認するとともに、現段階で最も高精度な深層海洋大循環像を確立していく。この数値シミュレーションは、東京大学・情報基盤センターのスーパーコンピュータSR-11000を用いて実施する。

4. 研究成果

平成23年12月の北海道大学水産学部附属練習船「おしよろ丸」および平成24年10月の東京海洋大学海洋科学部附属練習船「神鷹丸」による伊豆小笠原航海において、マルチスケールプロファイラーVMP-5500を用いて得た、海面から海底直上までの乱流散逸率、流速鉛直シア、密度ストレインの鉛直分布を説明するため、鉛直2次元、非静水圧の仮定のもとに、数値シミュレーションを行った。グリッドサイズは水平50m および鉛直5mとし、背景場の成層としてWorld Ocean Atlas 2001の温度・塩分データから計算した伊豆小笠原海嶺付近の平均的な成層を用いた。初期状態としてGarrett-Munkスペクトルに基づいて振幅を決定した位相ランダムな線形内部重力波場を仮定し、水平境界で振幅2cm/s、 M_2 潮汐周期の順圧潮流を外力として与えた。この設定のもとに、マルチビーム観測によって得られた水平2km以下の成分を含む海底地形データ(マルチビーム実験)、水平2km以下の成分を取り除いた海底地形データ(コントロール実験)の2種類を組み込んで数値実験を行った。

その結果、海底地形の違いを反映して、マルチビーム実験では水平2km以下、特に水平500m以下のスケールの運動エネルギースペクトルがコントロール実験と比べて10-100倍強化されるため、励起される内部潮汐波エネルギー全体としては約1.5倍になることがわかった。また、マルチビーム実験ではコントロール実験と比べて乱流散逸率の値は1オーダー大きくなるが、その一方で、乱流散逸域の鉛直スケールは半分以下となるため、深海での局所散逸係数は2倍以上大きくなることが示された。この結果に基づき、既存のパラメタリゼーションでは定数として扱われてきた乱流散逸率の鉛直スケールや局所散逸係数を海底地形の水平波数分布に依存させることで新たなパラメタリゼーションを開発した。

最後に、この改良されたパラメタリゼーションを海洋大循環モデルに組み込むことで、

現時点において最も高精度な深層海洋大循環像を提示することができた。

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 6 件)

- ① Watanabe, M., and T. Hibiya: Assessment of mixed layer models embedded in an ocean general circulation model, *Journal of Oceanography*, 査読有, **69**, in press, DOI: 10.1007/s10872-013-0176-6, 2013
- ② Hibiya, T., N. Furuichi and R. Robertson: Assessment of fine-scale parameterizations of turbulent dissipation rates near mixing hotspots in the deep ocean, *Geophysical Research Letters*, 査読有, **39**, L24601, DOI:10.1029/2012GL054068, 2012
- ③ Nagai, T., and T. Hibiya: Numerical simulation of tidally induced eddies in the Bungo Channel: A possible role for sporadic Kuroshio-water intrusion (kyucho), *Journal of Oceanography*, 査読有, **68**(5), 797-806, DOI 10.1007/s10872-012-0141-9, 2012
- ④ Furuichi, N., T. Hibiya, and Y. Niwa: Assessment of turbulence closure models for resonant inertial response in the oceanic mixed layer using a large eddy simulation model, *Journal of Oceanography*, 査読有, **68**(2), 285-294, DOI.10.1007/s10872-011-0095-3, 2012
- ⑤ Iwamae N. and T. Hibiya: Numerical study of tide-induced mixing over rough bathymetry in the abyssal ocean, *Journal of Oceanography*, 査読有, **68** 巻, 2011, 195-203, DOI 10.1007/s10872-001-0088-2
- ⑥ Niwa Y., and T. Hibiya: Estimation of baroclinic tide energy available for deep ocean mixing based on three-dimensional global numerical simulations, *Journal of Oceanography*, 査読有, **67** 巻, 2011, 493-502, DOI:1.1007/s10872-011-0052-1

[学会発表] (計 14 件)

- ① 大貫 陽平, 日比谷 紀之: 内部潮汐流から近慣性流へエネルギーを輸送するPSIの増幅機構に関する理論的研究, 2013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, 東京, 平成25年3月24日

- ② 丹羽 淑博, 日比谷 紀之: 全球数値シミュレーションから求められた内部潮汐波エネルギー転嫁率のグローバル分布の水平格子間隔依存性について, 2013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, 東京, 平成25年3月24日
- ③ 伊地知 敬, 日比谷 紀之: 内部波スペクトルの周波数方向の歪みを考慮した乱流パラメタリゼーションの有効性の検証, 2013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, 東京, 平成25年3月24日
- ④ 高木 智章, 日比谷 紀之: 海洋内部波場内での潮汐流と海底地形との相互作用による内部波励起とそれに伴うエネルギー散逸の数値実験, 2013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, 東京, 平成25年3月24日
- ⑤ 伊地知 敬, 日比谷 紀之: 我が国初のマルチスケールプロファイラーを利用した乱流パラメタリゼーションの有効性の検証, 2012年度日本海洋学会秋季大会, 東海大学清水校舎, 静岡, 平成24年9月16日
- ⑥ Wang, B., T-K. Kim, J-H. Yoon, N. Furuichi, and T. Hibiya: Application of the improved vertical mixing scheme to the modeling of the Japan Sea under traveling typhoons, 2012年度日本海洋学会秋季大会, 東海大学清水校舎, 静岡, 平成24年9月15日
- ⑦ 永井 平, 日比谷 紀之: 豊後水道における急潮現象に関する数値的研究, 2012年度日本海洋学会秋季大会, 東海大学清水校舎, 静岡, 平成24年9月14日
- ⑧ Niwa, Y., and T. Hibiya: Estimation of baroclinic tide energy available for deep ocean mixing based on three-dimensional global numerical simulations, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) - American Geophysical Union (AGU) (Western Pacific Geophysics Meeting (WPGM)) Joint Assembly 2012, SUNTEC, Singapore, August 16, 2012
- ⑨ Hibiya, T., and N. Iwamae: Numerical study of tide-induced mixing over rough bathymetry, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) - American Geophysical Union (AGU) (Western Pacific Geophysics Meeting (WPGM)) Joint Assembly 2012, SUNTEC, Singapore, August 16, 2012
- ⑩ Watanabe, M., and T. Hibiya: Assessment of mixed layer models embedded in an ocean general circulation model, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) - American

Geophysical Union (AGU) (Western Pacific Geophysics Meeting (WPGM))
Joint Assembly 2012, SUNTEC, Singapore,
August 16, 2012

- ⑪ 星野 陽介, 日比谷 紀之: 海峡を通じた二層交換過程に及ぼす潮汐流の役割に関する数値的考察, 2012年度日本海洋学会春季大会, 2012年3月27日, 筑波大学, つくば・茨城
- ⑫ 丹羽淑博, 日比谷紀之: 全球数値シミュレーションに基づく内部潮汐波エネルギー転嫁率の見積とその水平格子間隔依存性について, 2011年度日本海洋学会秋季大会, 2011年9月27日, 九州大学筑紫キャンパス・博多, ・福岡
- ⑬ 西村誠次, 松野健, 千手智晴, 堤英輔, 日比谷紀之, 長澤真樹, 佐々木俊次: 日本海底層における一様層の形成・維持過程, 2011年度日本海洋学会秋季大会, 2011年9月27日, 九州大学筑紫キャンパス・博多, ・福岡
- ⑭ 星野 陽介, 日比谷 紀之: 日本海底層における一様層の形成・維持過程, 2011年度日本海洋学会秋季大会, 2011年9月27日, 九州大学筑紫キャンパス・博多, ・福岡

[その他]

ホームページ等

- ① http://ns.eps.s.u-tokyo.ac.jp/jp/member/index.php?_urid=1387&_lang=ja
- ② http://ns.eps.s.u-tokyo.ac.jp/en/member/index.php?_urid=1387&_lang=en

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 なし

(3) 連携研究者

磯田 豊 (ISODA YUTAKA)
北海道大学・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: 5281001

羽角 博康 (HASUMI HIROYASU)
東京大学・大気海洋研究所・教授
研究者番号: 40311641