

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24684036

研究課題名(和文) 黒潮前線が励起する近慣性内部波の発生・散逸と乱流混合メカニズムの解明

研究課題名(英文) Spontaneous generation and dissipation of near-inertial internal waves from the Kuroshio Front

研究代表者

長井 健容 (Nagai, Takeyoshi)

東京海洋大学・その他部局等・助教

研究者番号：90452044

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、2013年7月に乱流・微細構造自律型プロファイリングフロートと、海洋の絶対水平流速場測定フロートを複数、黒潮続流に投入する現場観測を実施した。流況観測結果は、近慣性内部波に伴う帯状構造を示し、続流下150m以深の水温と塩分が著しい熱塩フィラメント構造を呈した。同時に観測した、乱流・微細構造から、この熱塩舌状構造内で、活発な二重拡散対流が発生している事が判り、黒潮の蛇行や近慣性内部波は、乱流だけでなく二重拡散対流を促進することを示唆する。非静水圧モデルによる数値実験結果は、黒潮の蛇行から、振幅の大きい近慣性内部波が、海面強制力無しで発生することを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, a microstructure profiling float and EM-APEX floats were deployed along the Kuroshio Extension Front in July 2013. The observed velocity data by EM-APEX floats exhibits banded phase structures of near-inertial internal waves with pronounced thermohaline interleaving structures below 150 m depth along the Kuroshio Extension over 900 km. The measured microstructure data show that the turbulence within the thermohaline interleaving structures was relatively weaker but microscale thermal variance dissipation rates were very large. These results suggest that subinertial and near-inertial shear catalyze the formations of double-diffusion favorable conditions and promote vertical mixing of tracer under the Kuroshio Extension Front. The results from the numerical simulations suggest that these near-inertial waves with large amplitudes can be generated spontaneously from the Kuroshio with no external forcing.

研究分野：海洋物理学

キーワード：黒潮 近慣性内部波 乱流 微細構造 フロント 二重拡散対流 黒潮続流 自律型プロファイリングフロート

1. 研究開始当初の背景

海洋風成循環において、風から与えられた約 1TW(10¹²W)の仕事率は、主な海流(例えば黒潮)を駆動する。黒潮がもつエネルギーは、黒潮が生成する蛇行や中規模の渦へ渡されるが、これら中規模のエネルギーが如何に散逸しているかは、不明な点が多い。即ち、海洋大循環のエネルギー収支は未だ閉じられていない。これは、海洋のエネルギー分配が、Gyre スケール(数 1000km)から乱流散逸スケール(数 mm)まで、相互に関係して行われている為である。この全スケールを同時に解像する数値実験は、現在の計算機能力でも非現実的である。一方、全スケールを網羅した海洋の現場観測も現実的でない。この為、中規模のエネルギーが如何に散逸するかについては、現在、活発な研究が展開されている(Fig. 1)。

大気力学においては、傾圧不安定を呈し、蛇行が著しい大気フロントから、活発な近慣性波が発生する事が報告されている(例えば Plougonven & Snyder 2005)。海流も大気の流れと同様に 蛇行を伴うため、慣性重力波の励起が期待できる。Nagai et al. (2009)は、黒潮直下で強い乱流散逸を観測したと同時に、帯状の非地衡流シアを観測している。この様な帯状シアは、Quasigeostrophic(QG)等のようなバランスした機構では説明できず、むしろ、それらでは扱うことのできない、慣性内部重力波の影響である可能性が高い。Nagai et al.(2009)と同様に、Rainville & Pinkel(2004)は、黒潮と陸棚との間で、活発な高モード内部波に伴うシアを観測した。仮に、黒潮フロントから、近慣性内部波が発生している場合、波はフロント周辺の低渦度域へ捕捉された後、鉛直シア等の影響を受けて、暖水塊の底部等で著しい乱流散逸を引き起こす事が予想される(Kunze 1985, Kunze et al. 1995)。また、研究代表者が行った、非静水圧モデルを用いた黒潮の数値実験では、フロントの蛇行が発達する過程で、局所的に著しい内部波のエネルギーフラックス(>10kWm⁻¹)が発生していることが示された。算出した平均内部波エネルギーの消失率は、50mWm⁻²に相当し、Nikurashin & Ferrari (2011)と比較した場合、黒潮フロント域は、近慣性波発生と散逸を介して、表層で中規模エネルギーを散逸する重要な海域である可能性が高い(Nagai, Tandon, Kunze & Mahadevan 2015)。

2. 研究の目的

このように、近年、フロント自身が内部波を生成し、エネルギーを散逸する可能性が指摘されている。しかしながら、海洋フロント自体が近慣性波を生成する可能性自体についての現場観測も、殆ど無いのが現状である。また、フロントにおける混合層、および躍層内での乱流混合の直接観測も十分ではない。このため、「黒潮自体が、どの程度の内部波エネルギーを何処で生成し、生成された波は

何処へ伝播し何処で散逸するのか」、「黒潮フロントでは乱流エネルギー散逸が周辺と比べてどの程度大きいのか」、「フロントの何処で、如何なるメカニズムが卓越して乱流エネルギー散逸が起こるのか。Frontogenesis による直接的 3次元乱流か。励起した近慣性波による乱流か。風による SI か」といった科学的設問に関して現場観測と数値モデルを組み合わせた研究を実施し、黒潮におけるエネルギー散逸メカニズムを明かにする事が急務である。そこで、本申請課題では、

- ・ 黒潮フロントが海洋エネルギー収支に重要なレベルの近慣性波を励起し得るかを明らかにする事
 - ・ 生成された内部波の発生、伝播、散逸の詳細なメカニズムを解明する事
 - ・ 黒潮フロント域でのエネルギー散逸が周辺よりどの程度大きいのか、より多くの直接観測を実施し明らかにする事
 - ・ 黒潮フロントで卓越する乱流エネルギー散逸のメカニズムを解明する事
- を研究の主目的として設定し、観測と数値実験を融合させた調査・研究を実施する。

3. 研究の方法

本申請課題では、黒潮流域における現場観測と数値実験を融合させた研究を実施する。現場観測では、黒潮を横断する観測と、準ラグランジュ流手法を用いて、内部波のつくる流れ場を平均流によるドップラー効果を除きながら観測する手法を用いる。この準ラグランジュ流プラットフォームを船舶で追跡しつつ、水温、塩分、乱流場の観測を行い、現場における内部波の真の周波数特性、伝播状況やフロントの何処で散逸が卓越するかについて情報を取得する。準ラグランジュ流観測は、平成 25 年 7 月 16-29 日に JAMSTEC 「かいよう」を用いて黒潮続流フロ

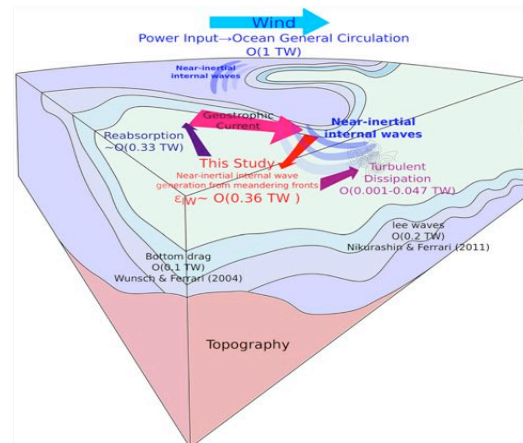


Fig. 1 Schematic of this study. Wind power input to the ocean general circulation is estimated to be O(1) TW (Wunsch 1998). This power input is balanced by energy dissipation processes such as bottom drag O(0.1) TW (Wunsch and Ferrari 2004) and lee-wave generation O(0.2) TW (Nikurashin and Ferrari 2011) near the bottom boundary. The study described here suggests that an unforced front can lose power from balanced circulations to near-inertial waves of O(0.36) TW. However, most of this is reabsorbed into the balanced flows with relatively little lost to explicit model dissipation O(0.001-0.047) TW.

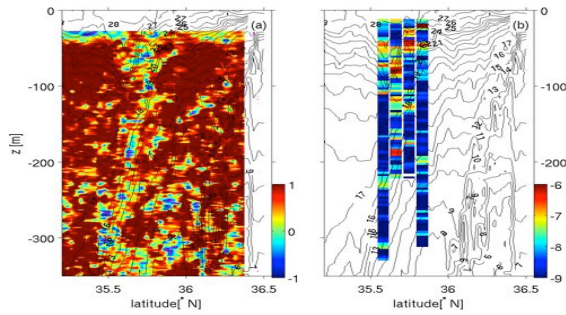


Fig.2. (a) Gradient Richardson Number (b)TKE dissipation rates in log scale.

ントおよび房総沖の黒潮フロントで実施した。観測では、絶対流速を測定できる自律型フロート (EM-APEX Float) と、水温、塩分を観測できる Navis-Float に微細構造観測センサー (MicroRider: シアープローブ 2 本, Fp07 2 本) を搭載した乱流計フロートをを用いた。加えて 5 台の混合層ドリフターを用いて、これを追跡しながら、3 種類の微細構造観測装置 (TurboMAP-L および VMP500, XMP) を用いて、黒潮を横断しながら乱流と微細構造を測定した。「かいよう」には 38kHz の ADCP が装備されており、これを用いて船舶観測時における流速場のデータを取得した。

理想化した条件下で行う数値実験は、主に観測した内部波のつくる流れ、生成された内部波エネルギー等と比較する目的で実施するとともに、数値実験中で疑似観測を実施し、観測計画の立案に用いる。現実的な水平境界条件を用いた数値実験では、長期間の実験を実施し、黒潮フロント自体から生成される、内部波のエネルギーとその散逸についての定量的な見積もりを行う。

4. 研究成果

現場観測

黒潮横断観測は、東京海洋大学海鷹丸を用いて 2012 年 8 月上旬に黒潮フロントを横断する海域で実施した。観測では、黒潮流軸に集中した 5 測点における CTD を用いた観測、海洋乱流微細構造観測装置 (TurboMAP-L) を用いた乱流の観測と、Teledyn RD ADCP 38kHz を用いた流向、流速の観測を併せて実施した。観測は、黒潮をほぼ垂直に横断する、東経 143 度線に沿って実施した。観測線では、随時 Underway-CTD センサを船舶を航行させながら 500 m 深まで投入して水温・塩分の観測を実施するとともに、XBT を 2.8km 毎に投下し、水深 750m までの水温を水平的に高解像度に観測した。観測した乱流運動エネルギー散逸率 (以後 ϵ) は、黒潮流軸直下の躍層内で 10^{-8} - 10^{-7} Wkg^{-1} と非常に高い値を示した。この散逸率は、典型的な外洋域躍層のその 10-100 倍に相当する運動エネルギーの散逸が黒潮直下で発生していることを示す。また、2008、2011 年に実施した同様の観測でも 10^{-7} Wkg^{-1} の強い散逸率を観測した (Fig. 2) ことから、黒潮流軸直下の躍層は、ほぼ恒常的に強

い乱流状態であることが示唆される。

観測した強い乱流は、躍層内の観測域で海面に露出しない層で発生しているため、海面からのフラックスが原因であるとは考えにくい。むしろ推定した非地衡流シアが带状構造を示したことから、黒潮直下に存在する、内部重力波がその成因であると考えられる (Fig. 3)。

带状のシア構造は、等密度面に沿う傾向を持つことから、内部波が近慣性波であることが示唆される。近慣性波は、風などを要因として発生することが知られるが、観測海域では、風は然程強くなかったことから、黒潮自体が近慣性内部波を発生させている可能性が高い。これまで 2008、2009、2011、2012 年に観測した (Nagai et al. 2009, 2012, 2015) 全ての乱流運動エネルギー散逸率を黒潮フロントからの距離と水深の関数として平均した場合、黒潮流軸直下の躍層内は、平均的に、 10^{-8} Wkg^{-1} 程度の運動エネルギーの散逸が発生している事が明らかとなった (Fig. 9)。

強い乱流混合を示すこれらの観測結果をさらに現場観測で詳細に、特に黒潮流軸に着目して明らかとするために、平成 25 年 7 月 16-29 日に JAMSTEC 「かいよう」を用いて黒潮続流フロントおよび房総沖の黒潮フロントで集中観測を実施した。観測では、絶対流速を観測することができる自律型プロファイリングフロートと、水温、塩分を観測できる Navis-Float に微細構造観測センサーを搭載した乱流計フロートをを用いた (Fig. 4)。

絶対流速を計測する事が可能な EM-APEX フロートのデータは、近慣性内部波に伴う流速変動を捉えていた (Fig. 5)。流速場は、他のフロートデータに比べて下向き上向きの位相伝播が折り重なる複雑な带状構造を示した。この内、上向き位相伝播を示す構造を示したのは、第 5-6 日の間であった。また、比較的明瞭な下向き位相伝播を示したのは、第 7-9 日であった。これらと Fig. 4 のフロートの軌跡とを比較した場合、上向位相伝播が卓越したのはフロートが蛇行の谷を通過する

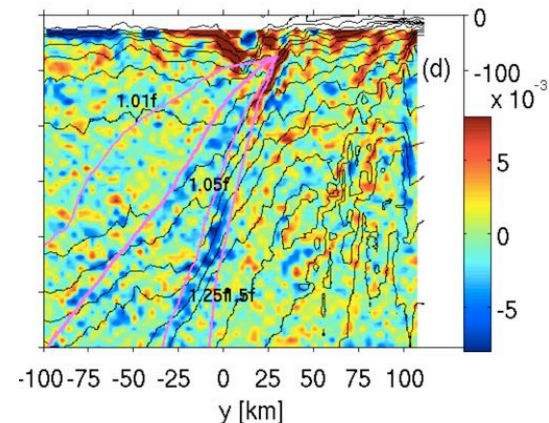


Fig. 3. Ageostrophic zonal shear across the Kuroshio Front

ときであった。一方、下向位相伝播が卓越したのは蛇行の峰である。この蛇行の峰と蛇行

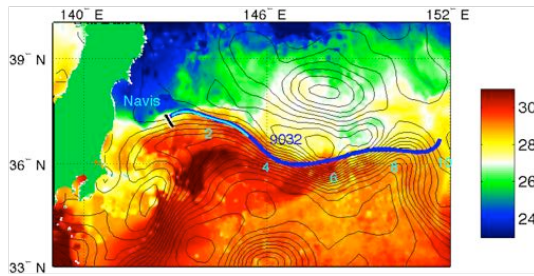


Fig. 4. Satellite sea surface temperature on 18 July 2013 with trajectories of (blue) the EM9032 and (cyan) Navis-MR. Digits along the EM9032 trajectory indicate days after the deployment.

の谷の構造はフロートで観測される密度構造の凹凸によっても確認できる。蛇行の峰から谷にかけては、等密度面は時間とともに下向きに傾斜し、谷から峰にかけては上向きに傾斜する傾向がある。観測された近慣性内部波の鉛直位相伝播方向の変遷は、この密度面の傾斜とも同調している。また、風とエネルギー伝播方向を比較して検討すると、風の強弱が直接的に伝播方向と関連性がある様にはみえず、むしろ伝播方向が黒潮の蛇行の状態と関連性がある可能性が示唆される。

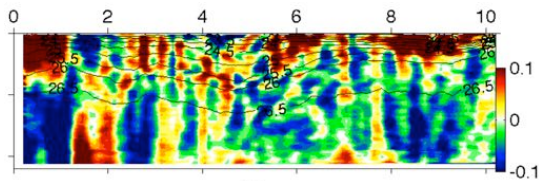


Fig. 5 Across-frontal flow obtained along the Kuroshio Extension Front by EM-Apex Float over 900 km.

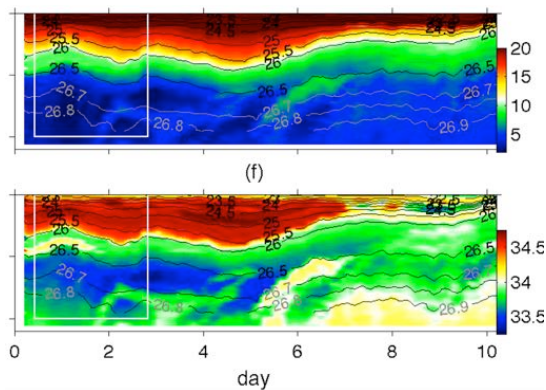


Fig. 6. Thermohaline structure obtained by EM-APEX float for (top) temperature and (bottom) salinity.

現場観測では、EM-APEX フロートで同時に塩分や水温の観測も実施した。観測した塩分は、黒潮続流流軸直下の水深 150–400 m にかけて鉛直スケール数 10 m から数 100 m の逆転構造をとっている事、また、それらが蛇行の時間スケール (数日) から、慣性周期程度で変動しているらしい事が判った (Fig. 6)。この事は、等密度面上で計算した塩分の周波数スペクトルで確認できる。慣性周期程度の塩分の変動は、密度の小さい比較的水深の浅い部分と観測した密度のうち比較的重い海水で顕著であり、その中間ではあまり顕著ではなかった。このような慣性周期程度の塩分の変動は、流速場に見られた近慣性内部波に

ともなう流れによって塩分がほぼ等密度面上を輸送されて生じたと考えられる事が出来る。

この時同時に観測した微細構造観測装置搭載の Navis-MR フロートの fp07 センサデータは、著しい微細水温分散の散逸率を、塩分の逆転構造が見られた水深帯で計測した (Fig. 7)。この水深帯では、乱流運動エネルギー散逸率は然程大きくなかった。また、観測したターナーアングルから、著しい水温の散逸率を計測した部分が、二重拡散対流に好適な水温・塩分分布を取っていた事が判った。このことから、観測した著しい水温の散逸率は、二重拡散対流によるものであると推察する。以上の現場観測の結果から、黒潮続流フロント域では、近慣性内部波にともなう流動が存在し、それに伴った塩分の変動が確認できることが判った。

また、低塩分の性質は亜表層で高栄養塩水

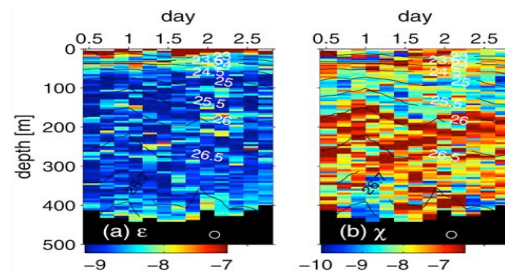


Fig. 7. Microstructure data by the microstructure float for (left) TKE dissipation rates, and (right) microscale thermal variance dissipation rates.

を伴う傾向があるため、観測したような塩分の内部波や蛇行に伴う移流は栄養塩についても発生すると考える。したがって、蛇行や、近慣性内部波が、二重拡散対流発生に好適な水温・塩分の構造を形成し、栄養塩などのトレーサーの拡散を促進するという仮説をたてることが出来る。

数値実験

これらの流速シアの帯状構造は、黒潮自体が生成する近慣性内部波による可能性もある。そこで本研究では、非静水圧モデル PSOM を用い、海面強制力を何ら与えず黒潮を擬似したフロントの蛇行を再現し、そこから自動的に発生する内部波を詳細に調査した。実験の結果、現場観測から見積もられたと同様な、非地衡流シアが、数値実験結果にも帯状に黒潮流軸直下に強く現れることがわかった (Fig. 8)。詳細な解析の結果、黒潮から発生した内部波の周期は 1 慣性周期から 2 慣性周期程度で発生していることが明らかとなった。また、その後の解析から、近慣性内部波は黒潮が蛇行した際に卓越して発生していることが判った。さらに、その内部波のエネルギー生成率は、平均して数 10 kWm^{-2} に達し、これは、南極海域において地衡流から lee wave へのエネルギー転嫁率と同程度である。しかしながら、この数値実験に用いた計算領域は、深さ方向に 750 m と実際の海域のそれ、4000 m よりもかなり浅いため、実験領域を

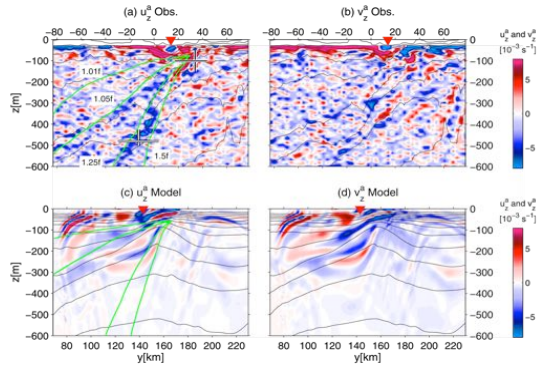


Fig. 8. Meridional sections of (a) back-rotated observed zonal residual vertical shear, (b) meridional residual vertical shear and model (c) residual zonal and (d) meridional shear.

深さ方向に 2000 m まで拡張して実験を行った。実験の結果、水深 750 m のケースよりも若干小さめの内部波生成率となったものの、ほぼ同じオーダーの生成率が再現された。

生成した内部波成分を平均流から分離するためには、黒潮の強い流れに伴うドップラーシフトを除去しなければならない、そこで、数値実験内に 800 万個程度のラグランジュ粒子を放出し、その粒子の軌跡に沿った流速や圧力場を記録して解析に用いた。解析では、ラグランジュ流のこれらの物理場を、再びオイラー流計算格子に平均して、空間勾配などの計算に用いる必要があった。この解析の結果、分離された内部波成分は、全く地衡流平衡していないこと、また、黒潮から自発的に発生する内部波のフラックスは、 10kWm^{-1} 程度と振幅が大きいことが明らかとなった。さらに、内部波エネルギーがどのように平均流と関係しているかを調べたところ、内部波エネルギーは、平均流からエネルギーを得て、その大半が再び平均流にエネルギーが吸収されていることがわかった。モデル中の内部波エネルギーがどの程度フロント近傍で散逸しているかを調べるために、モデル中の内部波エネルギー散逸率をフロントからの距離の関数として平均したところ、フロント近傍数 10 km の範囲では散逸率が $0(10^{-9}\text{Wkg}^{-1})$ と周辺より 1 オーダー大きくなることがわかった。この結果は、これまで行った現場観測結果を同様に平均した時に、フロント近傍の数 10 km で $0(10^{-8}\text{Wkg}^{-1})$ と周辺より 1 オーダー大きくなる傾向と同様であるが、観測結果と比較して、1 オーダー小さい。また、モデル中の内部波エネルギー散逸率は、平均流への吸収項の 10% 程度でしかないことが明らかとなった。しかしながら、前述の通り、数値モデル内のエネルギー散逸は、モデル中の一定の渦粘性係数、渦拡散係数を基に算出している。したがって、モデル中の内部波エネルギーの散逸は、現実を過小評価している可能性もある。一方で、現場観測で得た散逸率は、風に伴う近慣性内部波の散逸による部分もあるため、数値モデルとは厳密に比較できない。しかしながら、両者とも周辺よりも 1 オーダー大きい、エネルギー散逸率がフロント近傍で発生していることを示した。

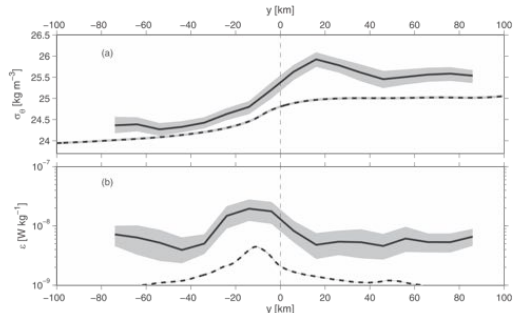


Fig. 9. (a) Upper-300-m-depth-averaged su as a function of meridional distance y relative to the Kuroshio Front from 2008, 2009, 2011, and 2012 density measurements (solid) and model density (dashed), and (b) 80–250-m-depth-averaged dissipation rates as a function of meridional distance y relative to the Kuroshio Front from 2008, 2009, 2011, and 2012 fine- and microstructure measurements (solid) and model inferences of total kinetic energy dissipation rates, EKE (dashed). Shadings for the solid curves are 95% confidence intervals estimated with 300 bootstrap resamplings and for the dashed curves 95% confidence intervals based on normal distribution fits.

結論

本研究では、黒潮が自発的に発生する近慣性内部波について、現場観測と数値モデルを用いて研究を実施した。

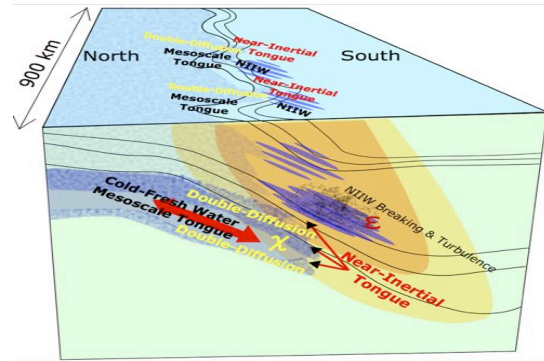


Fig. 10. Schematic summary of this study. Mesoscale subduction and near-inertial oscillations of cold-fresh water along the sloping isopycnal of the front provides continuously double-diffusion favorable condition, enhancing microscale thermal dissipation and vertical or diapycnal tracer fluxes.

数値実験の結果、黒潮のような強いフロントが蛇行する際には、著しい近慣性内部波が生成されることが示された。しかし、数値モデル中の近慣性内部波エネルギーの大半が、再び平均流に吸収されるという、研究代表者が当初想定しなかった結果を得るに至った。一方で、集中現場観測結果は、黒潮直下では乱流以外の鉛直拡散プロセス、二重拡散対流もトレーサーの混合に重要であることを示しており、さらに、近慣性内部波が、黒潮の蛇行とともにその発生を促進しているらしいことも明らかとなった (Fig. 10)。これらの興味深い結果は、黒潮近傍で生成され伝播する近慣性内部波が、どのように散逸しているのか、鉛直混合を引き起こしているのかに関して、さらなる科学的な設問を提示するものであると考える。これらの結果は、さらなる黒潮の混合の物理メカニズムに関する現場観測と、数値実験について、疑問の余地のない必要性を示すものであると考える。

<引用文献>

- Nikurashin, M., and R. Ferrari, 2011: Global energy conversion rate from geostrophic flows into internal lee waves in the deep ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L08 610.
- Nagai, T., A. Tandon, H. Yamazaki, and M. J. Doubell, 2009: Evidence of enhanced turbulent dissipation in the frontogenetic Kuroshio Front thermocline. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L12,609, doi:10.1029/2009GL038832.
- Thomas, L., and J. R. Taylor, 2010: Reduction of the usable wind-work on the general circulation by forced symmetric instability. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L18,606.
- D'Asaro, E., C. Lee, L. Rainville, L. Harcourt, and L. Thomas, 2011: Enhanced turbulence and energy dissipation at ocean fronts. *Science*.
- Nagai, T., A. Tandon, H. Yamazaki, M. J. Doubell, and S. Gallagher, 2012: Direct observations of microscale turbulence and thermohaline structure in the Kuroshio Front. *J. Geophys. Res.*, 117, C08013, doi:10.1029/2011JC00722.
- Plougonven, R., and C. Snyder, 2005: Gravity waves excited by jets: Propagation versus generation. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L18802, doi:10.1029/2005GL023730.
- Kunze, E. (1985), Near-inertial wave propagation in geostrophic shear. *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 544-565.
- , R. W. Schmitt, and J. M. Toole, 1995: The energy balance in a warm-core ring's near-inertial critical layer. *J. Phys. Oceanogr.*, 25, 942-957, doi:10.1175/1520-0485(1995)025<0942:TEBIAW.2.0.CO;2.
- Rainville, L., and R. Pinkel, 2004: Observations of energetic high-wavenumber internal waves in the Kuroshio. *J. Phys. Oceanogr.*, 34, 1495-1505, doi:10.1175/1520-0485(2004)034<1495:OOEHIW.2.0.CO;2.
- Nagai, T., A. Tandon, E. Kunze, and A. Mahadevan (2015), Spontaneous generation of near-inertial waves by the Kuroshio Front. *J. Phys. Oceanogr.*, 45, 2381-2406.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 9 件)

- Nagai, T., A. Tandon, E. Kunze, and A. Mahadevan (2015), Spontaneous generation of near-inertial waves by the Kuroshio Front. *J. Phys. Oceanogr.*, 45, 2381-2406.
- Nagai, T., R. Inoue, A. Tandon, and H. Yamazaki (2015), Evidence of enhanced double-diffusive convection below the main stream of the Kuroshio Extension. *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 8402-8421, doi:10.1002/2015JC011288.
- Nagai, T., N. Gruber, H. Frenzel, Z. Lachkar, J. C. McWilliams, and G.-K. Plattner (2015), Dominant role of eddies and filaments in the offshore transport of carbon and nutrients in the California Current System. *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 5318-5341, doi:10.1002/2015JC010889.
- 長井・相場・Clayton (2015), 黒潮のマルチスケール栄養塩供給メカニズム. *海洋と生物*, 220, 469-477.
- 長井 (2015), 黒潮フロント域の栄養塩供給. *沿岸海洋研究*, 53, 11-14.
- Clayton, S., T. Nagai, M.J. Follows (2014), Fine scale phytoplankton community structure across the Kuroshio Front. *J. Plankton Res.*, 36, 1017-1030.
- Kokubu, Y., H. Yamazaki, T. Nagai, E. Gross (2013), Mixing observations at a constricted channel of a semi-closed estuary: Tokyo Bay. *Continental Shelf Research*, 69, 1-16.
- Auger, G., H. Yamazaki, T. Nagai, M. Kumagai C. Jiao, Hypolimnetic turbulence generation associated with superposition of large-scale internal waves in a strongly stratified lake: Lake Biwa (2013). *Limnology*, 13, 229-238.
- Nagai, T., A. Tandon, H. Yamazaki, M. J. Doubell, and S. Gallagher (2012), Direct observations of microscale turbulence and thermohaline structure in the Kuroshio Front. *J. Geophys. Res.*, 117, C08013,

doi:10.1029/2011JC007228.

〔学会発表〕 (計 11 件)

- Nagai, T., R. Inoue, A. Tandon, and H. Yamazaki (2016), 黒潮続流直下で強化される二重拡散対流. 日本海洋学会 春季大会 東京大学本郷
- Nagai, T., R. Inoue, A. Tandon, and H. Yamazaki (2016), Evidence of enhanced double-diffusive convection below the main stream of the Kuroshio Extension. *Ocean Sciences Meeting 2016 New Orleans*
- Nagai, T., R. Inoue, A. Tandon, and H. Yamazaki (2016), Evidence of enhanced double-diffusive convection below the main stream of the Kuroshio Extension. *CLIVAR Meeting JAMSTEC 横浜*
- 長井. (2015) 黒潮流軸に沿ったフロートによる乱流計測. *海洋学会春季 シンポジウム, 海洋乱流測定技術の変遷*, 品川
- 長井. 黒潮フロント域の栄養塩供給機構. (2015) *海洋学会春季 シンポジウム 豊かな魚類生産を支える黒潮* 品川
- 長井. (2014) フロントにおける乱流混合. *海洋学会 シンポジウム渦と蛇行の解析手法の動向* 品川
- 長井・井上・Tandon・Kunze・Mahadevan・長谷川・山崎 (2014) 黒潮流軸直下の乱流混合と、近慣性シアの準ラグランジュ流観測. *海洋学会春季* 品川
- Nagai, T.; Inoue, R.; Tandon, A.; Kunze, E.; Mahadevan, A.; (2014) Semi-Lagrangian observations of near-inertial shear and turbulence along the Kuroshio Front. *Ocean Sciences Meeting Honolulu Hawaii 2014.*
- Nagai T., A. Tandon, A Mahadevan, E. Kunze, H. Yamazaki (2013), Near-inertial pathways from balanced flow to turbulent dissipation in the Kuroshio Front. 招待講演 WCRP/CLIVAR Second International Symposium on Boundary Current Dynamics Lijiang Qidian, China
- 長井, A. Tandon, A Mahadevan, E. Kunze, 山崎, (2013), 黒潮躍層内の強い乱流混合と近慣性内部波. 2013 年度日本海洋学会春季大 (東京)
- Nagai, T., A. Tandon, A.; Kunze, E.; Mahadevan, A.; Yamazaki, H.; Doubell, M. J.; Gallagher, S. (2012), Near-Inertial Pathways from Balanced Flow to Turbulent Dissipation in the Kuroshio Front. *AGU Fall Meeting San Francisco*

〔図書〕 (計 1 件)

- H. Yamazaki, T. Nagai, (2012), 乱流と混合. In: 温暖化の湖沼学, 永田、熊谷、吉山 (Eds.), 300pp

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

www.takeyoshi.net/Research/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長井健容 (Takeyoshi NAGAI)

東京海洋大学 学術研究院 助教

研究者番号 : 90452044