

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20740279

研究課題名（和文）黒潮続流中規模擾乱による水塊交換過程の研究

研究課題名（英文）Meso-scale eddies along the Kuroshio Extension and their roles for mixing

研究代表者

額額 慎也 (KOUKETSU SHINYA)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研究員

研究者番号：30421887

研究成果の概要（和文）：

比較的簡便ながら水平高解像度の海洋の数値モデルを用い、観測の成層に近付けることで再現されてきたオホーツク海での成層によって、日本での渦や輸送がどの程度変わるかを検討し、日本東沖で渦による輸送が与える成層の具合によって大きく違う様子を示した。一方で、漂流型フロートの観測データから、強い渦が存在する場合、表層でより深い混合層が発達することを示した。この結果は、数値モデルによって再現された渦生成の違いが表層での混合層生成へと影響を与える可能性を示唆している。

研究成果の概要（英文）：

The impact of stratification structure in the Okhotsk sea on meso-scale eddy activity around the Kuroshio extension is investigated with 3-layer model. The eddy scales and activities were large when the second layer was thick in the Okhotsk sea. As we showed the strong relationships that deep mixed layers were frequently observed in the core of anti-cyclonic eddies, the eddy activity changes revealed in the numerical experiment might be influent on the circulation in the upper layer as well as in the mid depths.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

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：海洋亜表層, 中規模擾乱

1. 研究開始当初の背景

日本南岸を流れる黒潮は、房総半島沖で岸から離れる。この流れを黒潮続流という。この黒潮続流は、南の高温高塩な海水と、親潮が運ぶ低温低塩な海水を隔てている。北側の海

水は、豊富な栄養分を含んでいることが知られており、その輸送過程は、黒潮続流付近や、黒潮続流以南の生物生産にとって重要な要素である可能性が指摘されている。Yasuda et al. (1996)では、親潮で運ばれる水塊が、

日本の東北沿岸を流れ黒潮統流まで至る様子が、低渦位(層厚が厚い)な海水の分布によって捉えられることを示した。

Kouketsu et al. (2009)は、黒潮統流まで至った低渦位水が、亜表層で波長約 200km という短いスケールで蛇行し、黒潮統流の流軸下に潜り込むように何度も観測される姿を示した。これは、低渦位水が黒潮統流北に運ばれることで、より小さなスケールの傾圧不安定波動を生成しているものと考察される。

しかしながら、観測データのみでの解析では、これらの現象が、他の様々な変動要因が存在する中であり得るものであるかという確証はなく、また、この渦による南北輸送への寄与についても定かとは言えない。

2. 研究の目的

上記の問題点を踏まえ、黒潮統流の流軸付近での中規模擾乱を、非線形性の強い比較的高解像度のモデルで再現できるかを検証し、その流軸を横切る輸送への寄与について見積りを行う。また、統流北側の成層状態の再現性の違いによって、統流の渦活動自体に違いがあるかどうかを検証し、観測データから得た知見と組み合わせ、渦活動がどのような影響を及ぼすかについて考察する。

3. 研究の方法

鉛直3層という簡便ながら、水平には1/10度の比較的高解像度のモデルを使用し、オホーツクの層厚緩和を行う場合と行わない場合を比較した。また、このモデルで考慮できない表層混合層の効果を確認するために観測データから混合層と渦の関係を確認し、その影響について推測することにした。

数値モデルを利用した研究では、現実的な海底地形を設定し、南緯15度以北、北緯65度以南の北太平洋を対象とし、気候値の風応力場を用いた。3層の設定は、等密度面で 26.5σ 以浅、 $26.5\text{--}27.2\sigma$ 、 27.2σ 以深で分け、初期の成層場は、観測データより作成されているWorld Ocean Atlas 05を用いている。

モデル内の時間で10年間積分した後、World Ocean Atlas 05でのオホーツク海における、中層層厚と比較して、一切緩和をしない場合、緩和する場合、より厚く(+50m)緩和する場合について解析を行なった。

観測データは主に漂流型観測機器(Argoフロート)のデータを用い、海面高度データから検出された渦に対し冬季に形成される深い鉛直密度一様層(混合層)がどのように分布するかを調べ、その海水の性質についても調べた。

4. 研究成果

オホーツク海において実際の観測に合うように中層の層厚を緩和(厚く)した実験では、過去に観測で示されたような波長150–250kmの擾乱が黒潮統流流軸に沿って現われた(図1)。この中層層厚の擾乱は、特に $140\text{--}145^\circ\text{E}$ において、表層層厚の擾乱と位相がずれており(図2)、観測で推定されていた表層との傾圧不安定による発達する渦の性質(Kouketsu et al. 2005など)をモデル上でも再現可能なものであることを示したものである。観測が比較的まばらで、同時性にも不安のあるものであることを考慮すれば、このようなモデルで再現されたことは、メカニズムの検証という意味で意味のあるものであると考えられる。また、図1のような波動状に偏差は並ぶ状態は、定常的に存在するものではなく、オホーツク海から低渦位水塊が間欠的に黒潮統流北側に運ばれた時、一時的に現われていた。理論的な渦の発達度の推定(Kouketsu and Yasuda, 2008)では、非常に素早く発達する(約5日で倍の振幅)ことが分かっており、定常的な成層構造の維持が必須ではないと考えられ、過去の研究と矛盾はないものの、このような非

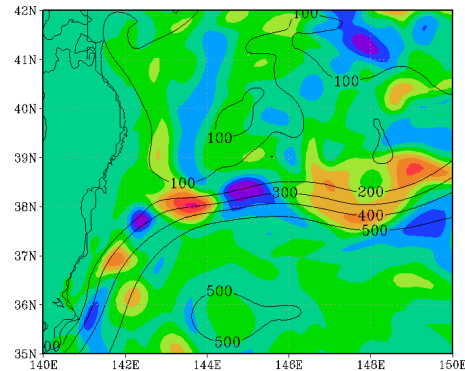


図1. 中層層厚の60日平均からの偏差。黒い等値線は、一層目の層厚(60日平均)

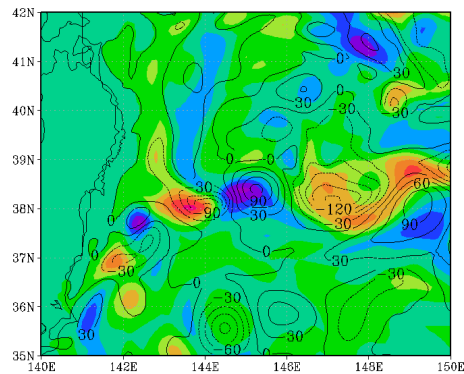


図2. 中層(色)と表層(等値線)の60日平均からの層厚偏差

定常性を考慮するような観測例はなく、今

後、観測での検証する必要があることが示唆される。

次にオホーツク海を緩和した場合と緩和しなかった場合においてこのような擾乱が違ってくるかどうかについて調べた。緩和を行わない場合は、渦の活動度が低く、4°程度のスケールの波の発生も非常に小さい(図3)。一方で、緩和を行った場合は、表・中層双方に200km程度の波長にピークができた(図3)。

過去の研究では、この200km程度の波長の波動は、オホーツク海の中層層厚を厚くすればする程、発達しやすくなることを推測していたが、少なくとも層厚の厚さを通常の厚さに設定したものと、通常より50m厚く設定したものの比較では有意に南北輸送が変わることは無かった。ただし、表層にお

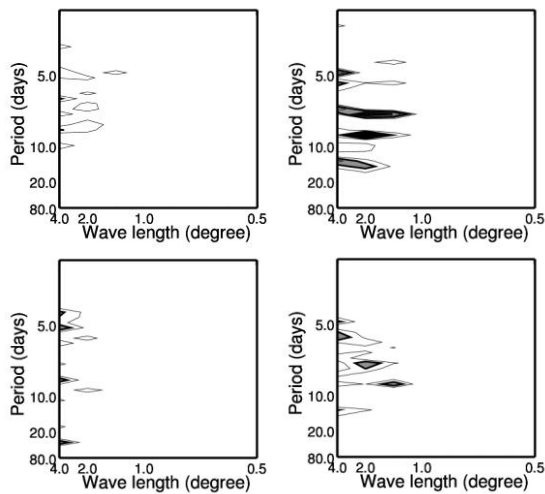


図 3. 層厚偏差のスペクトル. オホーツク海の緩和をしない場合(左)と緩和した場合(右). 上段は表層. 下段は中層

る南北輸送の大きさは、オホーツク層厚を厚くした場合大きな値となっており、表層の渦生成場により顕著に現われる可能性があることが推測される(図4)。

ただし、緩和する層厚の差による違いの定量的な評価については、平均期間などで状態が変わる可能性があるため、さらに多くの実験や、観測との比較などで、検証していく必要があると考えられる。

このモデルで示された結果から、黒潮続流そのものの流量変化のみならず、黒潮続流北側の成層構造が、黒潮続流流軸付近で形成される中規模渦の活動に関わる可能性が示唆された。高(低)気圧性の渦は、表層に弱(強)い成層構造を作ること、その中心には高温高塩(低温低塩)の海水が観測される傾向にあることが知られている。このような構造は、冬季には、大気からの強い冷却を受け、鉛直様に水が混ざった混合層を形成する上で強い影響を及ぼす可能性がある。この冬季混合層の発達過程は、渦など

にとりこまれて、一旦、黒潮続流付近で水平的に輸送された水塊が鉛直的に混合し別

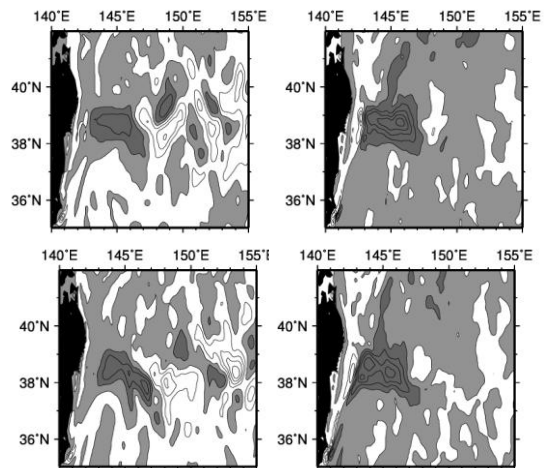


図 4. 渦による南北層厚輸送(m²/s) 表層(左, 等値線間隔 1)と中層(右, 等値線間隔 0.5). 上段はオホーツク海での層厚を観測値にした場合, 右は, 観測値より 50m 厚くした場合.

の水質となる過程であると考えることができ、より巨視的に見た場合、黒潮続流を横切る水塊混合過程の一部と考えることができる。

この渦と混合層の関係については、漂流型測器(Argo)のデータを用いて調べた。

海面高度計データから検出されるような中規模高気圧性渦の中心では、低気圧性渦より深い混合層が発達することを示した。その関係は、黒潮続流流軸より北の35°N-40°Nで強く、南の30-35°Nでは比較的小さかった。続流より北の海域では、Itoh and Yasuda, 2010 などの研究により高気圧性渦が多く検出されることが知られていることから、普段より渦が多く検出されるような状況では、より深い混合層が発達する可能性が推察され、今後、時間変動を考える上で重要な過程について明らかに出来たと考えられる。

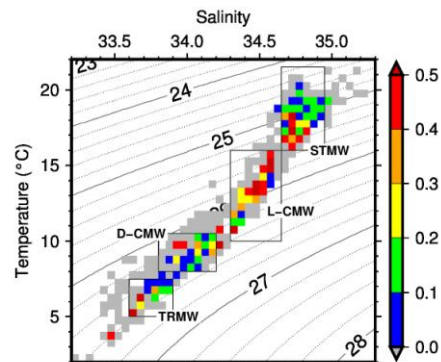


図 5. 海水の性質(水温・塩分)でカテゴリ分けした厚い混合層(150m 以上)の観測頻度(高気圧性渦内での観測数/全観測数)

一方、この高気圧性渦の中心で鉛直混合によって出来る水塊の性質は、中央モード水と呼ばれる北太平洋中央部亜表層に頻繁に検出される鉛直的に厚い水塊のうち軽いもの(L-CMW)と一致していた。より詳細に見ると、L-CMWのうちでもより高温高塩な性質を持つものが、特に高気圧性渦内の混合層で形成されていることが分かる。このような高温高塩の水は、続流や、それより南の水を起源とすると考えられるため、黒潮続流付近で形成される中規模渦が、冬季混合層を経て、亜表層に広く分布する水塊の形成

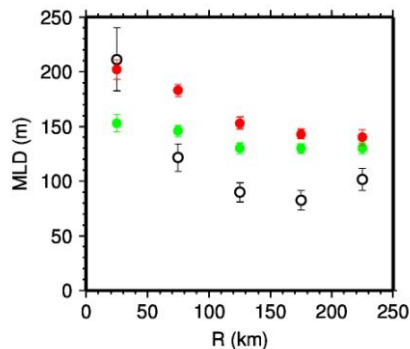


図 6. 高気圧性渦の動径方向の混合層の深さ(黒)と鉛直一次元混合層モデルを用いた動径方向の大気強制力を考慮する場合(赤)と考慮しない場合(緑)の推定値

にも寄与している可能性を示唆している。さらには、この混合層の発達には、成層構造のみならず、海洋の中規模構造に相当する空間スケールの大気からの強制力が重要であることも示した(図 6)。このことは、海洋における中規模擾乱、亜表層水塊の形成についてより詳細に記述するためには、より高解像の大気と海洋双方の状態を把握することが必要であることを示唆している。本研究の一連の成果により、黒潮続流流軸付近に200kmという比較的短い空間スケールの擾乱が発達すること、その発達には、黒潮続流流軸北に低渦位(層厚が厚い)の水塊が分布していることが必須であることがより明確となったと考えられる。また、北側の成層構造に応じて、表層の渦形成にも影響が及ぶことも示唆されている。その上、その表層の渦形成は、大気海洋との熱のやりとりや、黒潮続流下流に分布する水塊(L-CMW)の形成に影響する可能性も示唆されている。一方で、黒潮続流流軸におけるより現実的な渦による南北輸送量、混合層で形成されたL-CMWと同じ性質を持つ海水がどのように下流の亜表層に運ばれるかという過程、及び、ここで示唆された北側の成層構造が黒潮続流における渦活動度の時間変動に対してどの程度、寄与するかなどについては十分に明らかではない。本研究では、鉛直3層の簡便なモデルを使用していること

や、渦を60日移動平均からの偏差で定義し、3年間という限られた時間で解析していることにも注意が必要であり、今後、さらに現実的で高度なモデルを用いることや、モデルの解像度と比べられるような観測を設定する研究が必要であると考えられる。

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1件)

S. Kouketsu, H. Tomita, E. Oka, S. Hosoda, T. Kobayashi, and K. Sato (in press), The role of meso-scale eddies in mixed layer deepening and mode water formation in the western North Pacific, *Journal of Oceanography* (doi:10.1007/s10872-011-0049-9).

[学会発表] (計2件)

瀬瀬慎也, 続流付近中規模渦と冬季混合層, 北太平洋とその周辺海域における循環と水塊過程, 2010, 8/2, 国際沿岸海洋研究センター研究集会「北太平洋とその周辺海域における循環と水塊過程」, 国際沿岸海洋研究センター(大植町)

瀬瀬慎也, 海面高度から抽出された渦と海洋混合層の関係, 2010年度日本海洋学会春季大会, 2010, 3/24, 東京海洋大学(品川)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀬瀬 慎也 (KOUKETSU SHINYA)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研究員

研究者番号: 30421887