

機関番号：82708

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007 ～ 2010

課題番号：19340140

研究課題名（和文）

直接現場観測による黒潮続流前線－亜寒帯前線間海域の混合層形成の実態解明

研究課題名（英文） Direct measurements and diagnosis of mixed layer formation process in the inter-frontal zone between the Kuroshio Extension and the Subarctic Front.

研究代表者

伊藤 進一（SHIN-ICHI ITO）

独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所・混合域海洋環境部・室長

研究者番号：00371790

研究成果の概要（和文）：海面下 220 m に設置した水中ウインチから計測ブイを上下させることによってこれまで直接的な観測が困難であった黒潮続流前線－亜寒帯前線間海域の冬季混合層の変化を把握することができた。混合層は 4 月に最も深くなっており、220 m 以上に達していた。混合層が深くなる際には、高温、高塩になっており、黒潮続流から分岐する準定常ジェットが黒潮系水を供給することによって深い混合層が形成されていることが推測された。

研究成果の概要（英文）：Water property in mixed layer during winter, which had been difficult to be measured because of rough sea conditions, were directly observed by a profiling buoy which is unreeled and reeled from an underwater winch set at 220 m depth in the in the inter-frontal zone between the Kuroshio Extension and the Subarctic Front. The mixed layer depth showed the maximum in April and became deeper than 220 m. When the mixed layer became deeper, both temperature and salinity increased. This result suggests that supply of warm and saltier water from the Kuroshio Extension through a quasi-steady jet are essential to the formation of the deep mixed layer.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,030,000	1,680,000	6,710,000
2008年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
総計	13,730,000	4,290,000	18,020,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・海洋物理

キーワード：海洋混合層、モード水形成、大気海洋相互作用、係留系、北西太平洋

1. 研究開始当初の背景

日本沿岸域には暖流である黒潮と寒流である親潮が流れている。黒潮は銚子沖で東に向きを変え黒潮続流となり、黒潮続流前線を作る。一方親潮も日本沿岸で東に向きを変え流れることによって亜寒帯前線を形成する。この二つの前線間には、北太平洋で最も深い混合層（大気冷却等により鉛直一様に水温・塩分が混合された層）が形成され、大気との相互作用が最も盛んな領域となっており、気

候変動に密接に関係する可能性が指摘されている。また、地球温暖化が進行した際に、この海域がどのように応答するのか不確定な部分が多く残されている。

(1) 気候変動メカニズムとしての重要性

地球規模の気候に影響を及ぼす大気の特徴的な大規模変動が、主に大気の等圧面高度の変動特性を元にパターン分けされており、それらのパターンをテレコネクションパターンと呼んでいる。北太平洋において、最も大

きな振幅を持つテレコネクションパターンとして、Pacific/North American Pattern (PNA パターン)が存在する。この PNA パターンは、海表面水温の北太平洋十年スケール変動と密接に関連しており、北太平洋の長期変動にとって重要な指標である。PNA パターンは、ENSO (エルニーニョ・南方振動) の影響も大きく受けるが、それ以外に亜寒帯海域を中心とする赤道域とは独立した変動にも対応していることが指摘されており、黒潮続流とアリューシャン低気圧との大気-海洋相互作用による PDO メカニズムが、実際にも重要であることが明らかにされつつあった。特に最近の衛星フラックスデータなどを含めた研究によって、黒潮続流前線-亜寒帯前線間における海洋から大気への熱放出量の変動が重要視されつつある。

黒潮続流前線-亜寒帯前線間は、冬季に北太平洋で最も深い混合層が形成される場所であり、大気に大量の熱を放出する海域である。しかし、その海域における混合層の形成過程は不明な部分が多い。その最大の理由は、この海域が大気-海洋相互作用が最も盛んな海域であり、ストームトラック (低気圧の通り道) となるため、海象条件が厳しく、直接観測が困難なことにある。そのため、実際には当該海域での冬季混合層の深さでさえも実測値が少なく (argo フロートによる断片的な観測があるのみ)、その実態が把握できていない。これまでの解析も、各季節程度の非常に粗い時間間隔で平均を取り、かつ水平的にも数 100 km の空間平均をかけたデータに基づいており、実際の現象を正確に反映しているとはかぎらない。そのため、まず、直接現場観測によって、黒潮続流前線-亜寒帯前線間海域における海洋混合層の変動特性を把握することが重要である。特に、混合層の連続観測を行い、大気変動に対する時間発展的応答を解明し、且つ大気-海洋相互作用を通して黒潮続流前線-亜寒帯前線間海域が大気に放出する熱量を正確に把握することが必要であった。

(2)地球温暖化シナリオとしての重要性

人為起源の地球温暖化気体によって引き起こされた地球への加熱の約 84%が海洋に吸収され、また、人為起源炭素の約 50%が海洋に吸収されていると考えられている。しかし温暖化の影響で高緯度の混合層が浅くなり、植物プランクトンの生産性が落ちると 20%近く炭素吸収量が減少することが示唆されている。この海洋による熱や人為起源炭素の吸収を促進する要因の一つにサブダクションがある。サブダクションとは、冬季に深まった混合層の下部が、等密度面上の移流によって潜り込む現象である。黒潮続流前線-亜寒帯前線間域は、サブダクションによって中央モード水 (モード水:鉛直的に厚い層を持

つため、体積が大きくなり、その海域で優先する水塊)などが形成されており、大気との相互作用が最も盛んな領域の一つである。全球的な解析によると、亜熱帯前線-亜寒帯前線間域は、トレンドよりも数十年スケールの変動が卓越し、且つ水温トレンドとしては低温化が検出されている。しかし、これらの解析はかなり粗い水平スケールで平均した解析や、粗い解像度モデルによる結果である。そのため、必ずしも実際の海洋の現象を反映しているとは限らない。この意味でも、直接現場観測によって、黒潮続流前線-亜寒帯前線間域における海洋混合層の変動特性を把握し、大気変動に対する応答過程を解明することが必要であった。

2. 研究の目的

上記の理由から、この海域での大気-海洋相互作用を直接的に反映する混合層深度の変動を、直接観測によって、その実態を明らかにすることが、本研究の目的である。本研究期間内では、以下の3つのことを明らかにすることを目的とした。

(1)係留直接観測による周年海洋混合層の変動特性の把握

(2)周辺係留系アレイによる移流効果とモード水の形成過程の解明

(3)気象データを用いた大気-海洋熱・塩交換量の把握と大気変動に対する混合層応答の解明

この3つ解析によって、黒潮続流前線-亜寒帯前線間域における海洋混合層の応答過程を直接現場観測によって明らかにする。直接観測によって、混合層形成に伴う水平移流、鉛直拡散・移流の効果が定量的に評価でき、その総和と実際の混合層内の変化から、衛星データ等とは独立した、大気に放出する熱量の定量化が可能となる。このことによって、大気に放出する熱量の定量化精度の向上に寄与する。

3. 研究の方法

(1)混合層係留系解析

混合層係留系の設計及び実地試験を行ない、混合層係留系を用いた混合層形成の実態観測を可能とした。混合層係留系は、海底に設置されたシンカーからロープをガラスフロートの浮力によって立ち上げ、その途中に流速計を、頂上部分 (水深 300m 程度) に水中ウインチを設置し、水中ウインチの稼動によって、計測ブイが数日毎に自動昇降するシステムである。このシステムを用いて、実際に冬季の混合層の発達過程を直接観測することを試みた。

(2)係留流速計解析

上記の混合層係留系の周囲に4系の係留系を設置し、流速計を配置することによって、移

流による熱および塩の水平供給量を把握することを試みた。

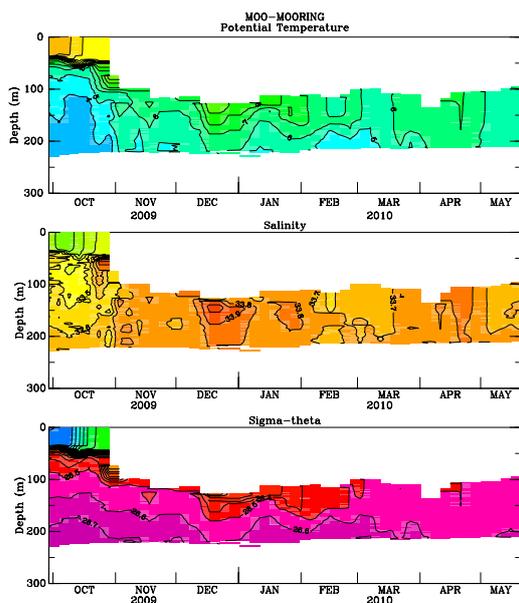
(3) 海洋観測データ解析

黒潮続流前線—亜寒帯前線間海域の高密度な海洋観測を実施し、モード水形成域の海洋構造を詳細に調べ、水平移流とモード水形成との関係を調べた。また、過去の海洋観測データからモード水の経年変動を調べた。

4. 研究成果

(1) 混合層係留系

混合層係留系の設計及び実地試験については、水中ウインチの改良などを進め、2007年9月に42°13'N、155°08'Eに混合層係留系を設置し、2008年9月に回収・再設置、2009年9月に回収・再設置、2010年10月に回収を行った。2007年9月～2008年9月の係留では、水中ウインチの動作不良のため、混合層内の計測を行うことができなかった。また、2008年9月～2009年9月の係留では、計測ブイの動作不良から計測ができなかった。しかし、2009年9月～2010年9月には、途中から機器のトラブルがあったものの、水深220 mから100 m間の水温・塩分を計測することができた。このことによって、これまで直接的な観測が困難であった冬季混合層の変化を把握することができた。3月以降、水温、塩分、密度とも100 m以深で鉛直一様になっており、混合層の厚さは220 m以上に達していたと考えられる。また、そのときの密度は26.6 σ_θ に達しており、移行領域モード水に対応していた。12月以降混合層が深くなる際には、高温、高塩になっており(図1)、黒潮系水が供給されていることが推測された。



(2) 係留流速計

混合層係留系に流速計を設置するとともに、2008年9月～2009年9月にかけては混合層係留系の周りに4系の係留系を設置し流速構造を観測した。流速計データから、2007年までは北東向き流速が卓越していたのに対し、2008年に入ると南西向き流速が卓越することがわかった。この流速の変化は、中規模渦の伝搬を意味しており、2008年に入ると渦に伴う南西方向からの暖水移流が強まり、黒潮系の高温・高塩な水が当該海域に多く運ばれ、この水が冬季に冷やされることによって深い混合層が形成され、移行領域モード水が2008年には明瞭に確認できたと推測された。

(3) 海洋観測データ解析

係留系回収・再設置時に行った海洋観測によって、深い混合層形成によって形成された移行領域モード水の分布を詳細に調べた。その結果、移行領域モード水は、亜寒帯前線と亜寒帯境界が分離し、移行領域が広がった海域に存在していることがわかった。この領域では、黒潮続流から分岐した暖流(準定常ジェット)が移行領域モード水の北側に流れ込んでおり、高温・高塩な黒潮系水を供給していることがわかった。等密度面混合を仮定して、親潮および黒潮成分流量を求めたところ、移行領域モード水の存在する26.5–26.7 σ_θ 層において、黒潮成分流量が準定常ジェット流域で極大となっており、この層を中心に高温・高塩な黒潮系水が供給され、冬季に深い混合層が形成され易くなっていることが示された。

また、水産庁調査船照洋丸にて過去に実施した155°E観測線上のデータ解析から、密度26.5–26.7 σ_θ 層を中心に、移行領域モード水が層厚150 m以上に達していることが示された。この密度層において渦位極小となる水塊が最大密度になることも示された。そして、移行領域モード水の層圧は、高温・高塩なほど厚くなる傾向があることもわかった。さらに、北海道大学北星丸の同観測線上のデータを用いて、移行領域モード水の経年変化を調べた結果、水温、塩分が密度を相殺するように変化し、移行領域モード水の密度が26.5–26.7 σ_θ に集約されていることがわかった。

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12件)

- ① 伊藤進一・清水勇吾・寛茂穂・和川拓・佐藤政俊、水中グライダーを用いた海洋観測、東北海区海洋調査技術連絡会報、60、31-41、2011、査読無

- ②伊藤進一・清水勇吾・笈茂穂・和川拓・佐藤政俊、水中グライダー観測の実施状況、月刊海洋、42、658-667、2011、査読無
- ③Ito S., N. Yoshie, T. Okunishi, T. Ono, Y. Okazaki, A. Kuwata, T., Hashioka, K. A. Rose, B. A. Megrey, M. J. Kishi, M. Nakamachi, Y. Shimizu, S. Kakehi, H. Saito, K. Takahashi, K. Tadokoro, A. Kusaka, H. Kasai, Application of an automatic approach to calibrate the NEMURO nutrient-phytoplankton-zooplankton food web model in the Oyashio region, Progress in Oceanography, 87, 186-200, 2010, 査読有
- ④Chiba S., T. Hirawake, S. Ishizaki, S. Ito, H. Kmiya, M. Kaeriyama, A. Kuwata, T. Midorikawa, S. Minobe, S. Okamoto, Y. Okazaki, T. Ono, H. Saito, S. Saitoh, D. Sasano, K. Tadokoro, K. Takahashi, Y. Takatani, Y. Watanabe, Y. W. Watanabe, Y. Watanuki, O. Yamanura, N. Yamashita and A. Yatsu, Status and trends of the Oyashio region 2003-2008, PICES Special Publication, 4, 300-329, 2010, 査読有
- ⑤伊藤進一、北太平洋のモード水と水産資源、海洋と生物、188、232-236、2010、査読無
- ⑥Schwing F. B., R. Mendelssohn, S. J. Bograd, J. E. Overland and S. Ito, Climate change, teleconnection patterns, and regional processes forcing marine populations in the Pacific, Journal of Marine Systems, 79, 245-257, 2010, 査読有
- ⑦植原量行・森康輔・増島雅親・亀田卓彦・笈茂穂・伊藤進一、黒潮続流直南の亜熱帯モード水の観測、月刊海洋、41、689-696、2009、査読無
- ⑧伊藤進一・清水勇吾・笈茂穂・植原量行・中野俊也・蒲地政文・志藤文武・奥西武、自動昇降装置を用いたモード水形成過程の直接観測の試み、東北海区海洋調査技術連絡会会報、58、35-38、2009、査読無
- ⑨蒲地政文・藤井陽介・碓氷典久・松本聡・増田周平・淡路敏之、海洋現象への最適化法の応用としてのデータ同化：変動の再現と原因究明、オペレーションズリサーチ学会 RAMP シンポジウム論文集、20、173-182、2008、査読無
- ⑩植原量行・森康輔・亀田卓彦・笈茂穂、黒潮続流南側再循環域における夏季と冬季の海洋表層構造の変化、月刊海洋号外、49、118-125、2008、査読無
- ⑪Mori K., K. Uehara, T. Kameda and S. Kakehi, Direct measurements of the turbulent energy dissipation rate of the North Pacific subtropical mode water,

- Geophysical Research Letter, 35, L05601, doi:10.1029/2007GL032867, 2008, 査読有
- ⑫伊藤進一・清水勇吾・笈茂穂、水中グライダー観測の実施について、東北海区海洋調査技術連絡会報、57、45-53、2008、査読無

[学会発表] (計 1 件)

- ①伊藤進一・清水勇吾・笈茂穂・和川拓・植原量行・中野俊也・蒲地政文、準定常ジェットと移行領域モード水の広域観測、2010年度水産海洋学会研究発表大会、2010年11月19日、東京海洋大学
- ②高梨匡那・植原量行・伊藤進一・笈茂穂・増島雅親・岡英太郎、北太平洋中央モード水の経年変動について、2010年度日本海洋学会秋季大会、2010年9月8日、東京農業大学
- ③伊藤進一・笈茂穂・和川拓・清水勇吾・植原量行・中野俊也・蒲地政文、移行域モード水と準定常ジェット流の広域観測、2010年度日本海洋学会春季大会、2010年3月28日、東京海洋大学
- ④植原量行・高梨匡那・伊藤進一・笈茂穂・増島雅親、黒潮親潮続流域の表層水塊(1)-TRMWの特性とその変動、2010年度日本海洋学会春季大会、2010年3月28日、東京海洋大学
- ⑤伊藤進一・清水勇吾・笈茂穂・和川拓・志藤文武・植原量行・中野俊也・蒲地政文、移行域モード水形成過程の直接観測の試み、2009年度水産海洋学会研究発表大会、2009年11月18日、長崎大学

他 25 件

[図書] (計 1 件)

- ①Ito S., K. A. Rose, A. J. Miller, K. Drinkwater, K. M. Brander, J. E. Overland, S. Sundby, E. Curchitser, J. W. Hurrell and Y. Yamanaka, Oxford University Press, Global Change and Marine Ecosystems, 287-322, 2010

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 進一 (ITO SHIN-ICHI)

独立行政法人水産総合研究センター・東北区水産研究所・混合域海洋環境部・室長
研究者番号：00371790

(2) 研究分担者

植原 量行 (UEHARA KAZUYUKI)

東海大学・海洋学部海洋学科・准教授
研究者番号：90371939

蒲地 政文 (KAMACHI MASAFUMI)

気象庁気象研究所・海洋研究部・部長
研究者番号：00354548

中野 俊也 (NAKANO TOSHIYA)
気象庁気象研究所・海洋研究部・主任研究官
研究者番号：40354550
(H19→H20：連携研究者)