

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 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：11301  
 研究種目：研究活動スタート支援  
 研究期間：2009～2010  
 課題番号：21840010  
 研究課題名（和文）北太平洋中層水の空間規模変動特性の実態と大気大循環場との関係解明  
 研究課題名（英文）Spatial-Temporal variations of the North Pacific Intermediate Water and its relationship with the large-scale atmospheric field  
 研究代表者  
 杉本 周作（SUGIMOTO SHUSAKU）  
 東北大学・国際高等研究教育機構・助教  
 研究者番号：50547320

研究成果の概要（和文）：北太平洋の亜表層（水深約 200 m から 1000 m）に、鉛直塩分極小層で特徴づけられる中層水が存在する。本研究では、気象庁により観測された東経 137 度定線資料（1972 年から 2008 年）を用い、中層水の断面積変動を調べた。その結果、10 年周期で変動していることがわかった。そこで、風応力駆動の海洋 1.5 層モデルを作成した結果、この 10 年周期変動は、2 種類のアリュージョン低気圧変動（強弱変動と南北位置変動）に対する海洋の傾圧応答の結果であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：The North Pacific Intermediate Water (NPIW), which is characterized as a vertical salinity minimum layer, is distributed at a depth of 200-1000 m. In this study, we investigated temporal features of NPIW area by using the repeat hydrographic section along 137E meridian conducted by the Japan Meteorological Agency from 1972 to 2008. Variations of NPIW area showed a clear quasi-decadal (about 10 years) modulation. By using a wind-driven hindcast model, it was found that the NPIW area modulation was caused by the first-mode baroclinic ocean response to the Aleutian Low activities located in the central North Pacific.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,070,000	321,000	1,391,000
2010 年度	790,000	237,000	1,027,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,860,000	558,000	2,418,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：気象・海洋・陸水学

キーワード：北太平洋中層水，アリュージョン低気圧，海洋長波ロスビー波，10 年規模変動

1. 研究開始当初の背景

北太平洋の亜表層（水深約 200 m から 1000 m）に、鉛直塩分極小層で特徴づけられる水塊が、広範囲にわたり分布している。これが、「北太平洋中層水（以下、中層水）」である。この中層水は、その形成時に、地球温暖化の主因である二酸化炭素を大量に吸収するこ

とで知られている。それゆえに、本研究課題が目指す「中層水空間規模変動特性の解明」は、地球物理学分野の話題に留まらず、私たち人間社会の営みにも非常に重要な研究課題であるといえる。

中層水変動の理解に迫るためには、3 次元構造下で研究活動を行う必要がある。しかし

ながら、海洋観測の不十分性から、近年に至るまで研究が進展してこなかった。そのような状況の中、国際プロジェクトのもとに展開・維持されている自動水温・塩分観測装置（Argo フロート）を活用することこそが、現状を打破できる唯一の手段であると期待する。

現在までに、中層水変動メカニズムとして、多くの仮説が提案されているものの定説は未だ存在しない。そのような状況の中、「海洋ロスビー波」こそが、メカニズム解明に迫る突破口であると期待する。海洋ロスビー波は、海洋亜表層の密度躍層深度を変えながら西進する特性をもつ。すなわち、この密度面変動により、海流系の強さや幅が変わることで、中層水の分布域が変動すると想定している。

冬季に、北太平洋中央部ではアリューシャン低気圧が発達する。このアリューシャン低気圧の空間スケールは数千キロメートルにもおよび、その巨大さゆえに、大気場のみならず、直下の海洋場にも多大な影響を及ぼすことが知られている。このアリューシャン低気圧強度は約 20 年周期で変動しており、この強度変動が中層水に影響を及ぼすと報告されている。しかしながら、その指摘は不十分であり、検証されるべき点をもっている。最近、我々は、約 10 年周期をもつアリューシャン低気圧の南北位置変動の存在を報告した (Sugimoto and Hanawa 2009, JMSJ)。それゆえに、このアリューシャン低気圧の南北位置変動の役割解明こそが、中層水変動機構解明の突破口になりうるものと考えている。アリューシャン低気圧の南北位置変動に着目するのは本研究が初めてであり、世界に先駆けた新たな知見が得られるものと期待している。

## 2. 研究の目的

本研究では、近年整備されてきた観測資料（Argo フロート・船舶観測資料・大気再解析資料）と風応力駆動の数値モデルを組み合わせることで、研究活動を行うことで、中層水変動機構の実態を解明することを目的とする。そして、得られた知見を総合的に解釈することで、「アリューシャン低気圧の南北位置変動」「海洋ロスビー波伝播」「亜表層海流系変動」の3つのキーワードをもとに、中層水変動機構の新シナリオを構築する。

## 3. 研究の方法

中層水時間変動特性を調べるために、気象庁により観測・整備された東経 137 度定線資料を使用する。この定線では、1972 年以降、冬と夏の年 2 回の観測が行われており、海面から中層水分布深度以深までの水温・塩分が測定されている。本研究では、秋間法を用い

ることで、鉛直 1 m 間隔に補間した水温・塩分値を使用する。また、年平均値を解析対象とする。

本研究では、中層水を「塩分が 34.2 psu 以下となる塩分鉛直極小層」として定義する。また、既存の研究により、東経 137 度を横切る中層水断面積は、顕著な増加傾向を示すことが知られている。本研究の目的は、経年的な断面積変動機構を解明することであるので、上述した増加傾向はノイズに他ならない。そこで、本研究で使用する観測資料は、予め線形トレンド成分を除去することとする。こうすることで、中層水時間変動特性の実態に迫れるものと期待する。

中層水変動に果たす大気強制場の影響を評価するために、米国国立環境予報センター/国立大気科学研究センター作成の大気再解析資料を使用する。これは、緯度・経度方向に約 200km 間隔で格子化された資料である。研究に使用した変量は、海面気圧や海面風応力である。

これら複数種の資料に対し、経験的直交関数 (EOF) 解析や相関・回帰解析、wavelet 解析等の統計手法を駆使することで、中層水変動特性、およびその要因に迫る。

また、中層水変動機構を物理的・定量的に解釈するために、風応力駆動の海洋 1.5 層モデルを本研究独自に作成し、使用する。そして、様々な強制場を想定し、モデル実験を行うことで、中層水変動をもたらす大気強制場の特定を目指す。

## 4. 研究成果

図 1 は、気象庁による東経 137 度定線観測資料から得られた中層水断面積変動を表す。

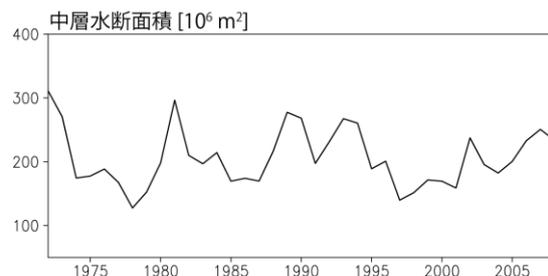


図 1. 東経 137 度定線から得られた中層水断面積変動 (10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>).

約 10 年規模の長周期変動が観察される：1980 年頃・1990 年頃に増加、1970 年代半ば・1980 年代半ば・1990 年代後半に減少している。そこで、変動周期特性を特定するために、wavelet 解析を行った。その結果、10 年周期帯に、有意な変動周期が存在することが確認された。

この変動要因に迫るために、各緯度帯での中層水層厚変動特性を調べた。その結果、北

緯 26 度以北で、10 年周期変動が卓越することがわかった。そこで、この 10 年周期変動に対し、2 つの要因を想定した。1 つ目の変動要因候補は黒潮流路変動であり、2 つ目は海洋構造の変化である。そこで、それぞれについて検証を行った。

(1) 黒潮流路変動の影響評価：黒潮は日本南岸を流れている。既存の研究により、黒潮流路は、主に 3 種類に大別される：黒潮大蛇行流路、非大蛇行接岸流路、そして、非大蛇行離岸流路である。このような種の黒潮流路変動が、中層水分布域の決定に影響を及ぼすと推測される。そこで、黒潮流路と中層水変動の関係を調べた。

黒潮流路の同定に際しては、東経 137 度定線観資料を用いた。具体的には、水深 1000 dbar 面を無流面と仮定し、力学海面高度を算出することで、その分布から黒潮の位置を同定した (図 2)。

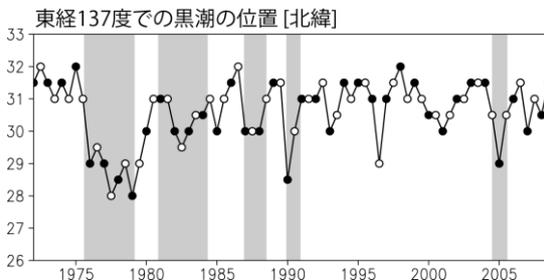


図 2. 水深 1000 dbar 面を無流面とした力学海面高度から同定した黒潮の位置：黒丸が冬季、白丸が夏季の結果である。灰色の陰影は、気象庁により定義された黒潮大蛇行流路期間である。

図 2 より、黒潮は、1970 年代・80 年代に、頻繁に大蛇行していることがわかる。ここで得られた黒潮位置と中層水断面積変動 (図 1) の関係を相関解析を用いて調べた。その結果、有意な相関係数が得られた。しかしながら、個々の事例を比較すると、中層水変動が、黒潮流路変動に数年ほど先行していることがわかった。例えば、1970 年代前半に、中層水断面積は減少傾向にあるが、黒潮はその位置を北方に保ったまま (直進流路) である。それゆえに、中層水断面積変動は、黒潮流路変動によらないと結論づけた。

(2) 海洋内部構造変化：つづいて、中層水変動要因として、海水密度の鉛直構造に焦点を当てた。まず初めに、図 1 の中層水断面積変動をもとに増大期・縮小期を定義した。そして、それぞれの時期の断面図を比較した。図 3 は、各時期のポテンシャル密度偏差の断面図を表す。この結果より、北緯 31 度近辺での密度分布に顕著な違いがあることがわ

かる。すなわち、増大期では、北緯 31 度近辺の等密度面が深化しており、結果として、中層水が北方にまで分布しているように観察される。

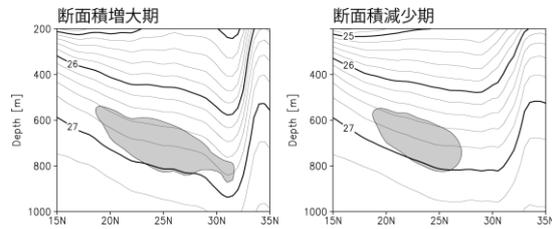


図 3. 中層水断面積増大期 (左)・減少期 (右)における東経 137 度でのポテンシャル密度偏差断面図 ( $\text{kg m}^{-3}$ )。灰色の陰影は、34.2 psu 以下の塩分値で定義される中層水分布を表す。

そこで、この北緯 31 度線における海洋構造を詳細に調べた。図 4 は、北緯 31 度で観察される等密度面の分布深度偏差を表す。

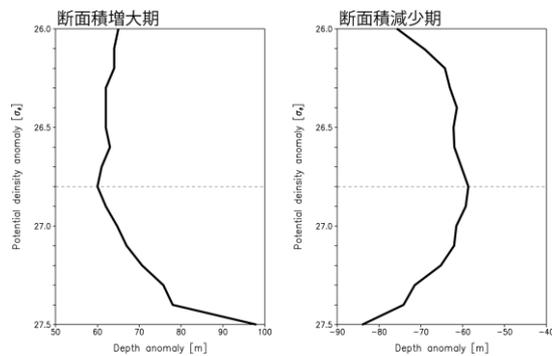


図 4. 北緯 31 度での等密度面の深度偏差を表す：断面積増大期 (左)・減少期 (右)。正偏差は等密度面の深化、負偏差は浅化を表す。

図 4 の合成図解析結果より、中層水断面積増大期には、中層水下部ほど、その密度面が深化する傾向にあることがわかる。すなわち、増大期ほど、該当深度の鉛直密度勾配が小さくなり、低渦位化していることを意味する。この環境場が、中層水分布域の北限を北上させるのに適していたと指摘される。

この鉛直方向の密度深度変動の物理機構に迫るために、密度の鉛直プロファイルにノーマルモード展開解析を行った。その結果、中層水下部の密度面鉛直変動は、海洋第 1 次傾圧応答の結果としてもたらされることがわかった。

上述した密度面鉛直変動に伴い、海洋内部の海流系強度が変わると期待される。東経 137 度で観察される中層水は、東方から供給されるものであり、その供給量変動は、海流系を反映すると推測される。そこで、中層水下部 (ポテンシャル密度偏差： $27.0 \text{ kg m}^{-3}$ )

の密度面深度と年平均地衡流速との関係を調べた (図 5)。

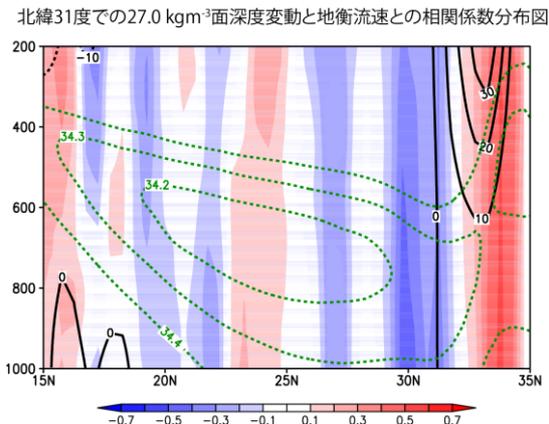


図 5. 北緯 31 度での  $27.0 \text{ kg m}^{-3}$  (ポテンシャル密度偏差) 面深度変動と年平均地衡流速場の相関係数分布図. 黒実線は, 地衡流速の長期平均場を表す ( $\text{cm s}^{-1}$ ). 緑点線は, 塩分の長期平均値である (psu).

中層水北限にあたる北緯 30 度付近には, 黒潮反流が存在する. そして, この緯度帯で, 負の大きな相関係数が得られた (図 5). これらの一連の結果は, 中層水下部の密度面下降 (上昇) が黒潮反流の強化 (弱化) をもたらし, 結果, 東方からの中層水供給量の増加 (減少) を引き起こすことで, 中層水断面積が増加 (減少) することを意味する.

次に, この密度面鉛直変動をもたらす要因を調べる. 本研究では, この密度面変動に果たす大規模大気場の役割を定量的に評価するために, 風応力駆動の海洋 1.5 層モデルを作成し, 実験を行った.

海洋 1.5 層モデルによる主密度躍層深度変動出力値

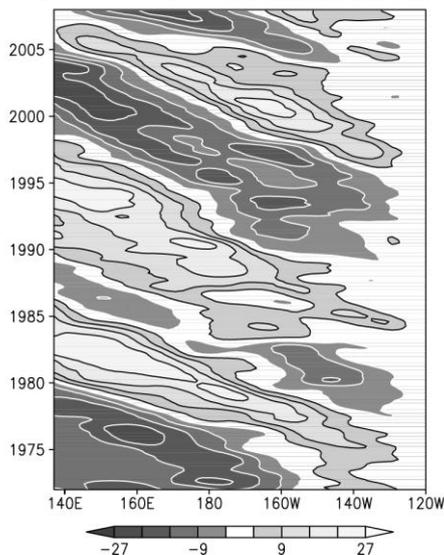


図 6. 北緯 31 度近辺の風応力駆動の海洋 1.5

層モデルから得られた主密度躍層深度変動出力値の経度・時間図 (m).

図 6 は, 北緯 31 度近辺の風応力駆動の海洋 1.5 層モデルから得られた主密度躍層深度の経度・時間図を表す. まず, モデルの再現性を確かめるために, 東経 137 度での密度面深度変動観測値と比較した. その結果, 振幅・位相の再現性ともに有意であり, 再現性に優れていると結論づけるにいたった. そして, 図 6 を観察すると, 東経 137 度での密度面深度変動は, 東方からの信号伝播の結果であることがわかる. すなわち, 北太平洋中央部からの西方伝播信号が海洋ロスビー波である. つまり, 中層水断面積変動をもたらす等密度面深度変動は, 北太平洋中央部の大気強制に伴い励起された海洋ロスビー波によることがわかった.

次に, 海洋ロスビー波励起源の特定を目指した. ここでは, 北太平洋中央部に位置するアリューシャン低気圧こそが主因であると想定した. 我々の先行研究により, このアリューシャン低気圧は, 2 種類の卓越変動周期をもつことがわかっている: 20 年周期を伴う強弱変動と 10 年周期を伴う南北位置変動. そこで, それぞれの変動の影響を比較・検討することで, 海洋ロスビー波励起源の特定を目指した. 具体的には, 2 種類のアリューシャン低気圧変動に関連する風応力成分を, 回帰解析を用いて抽出した. そして, その風応力成分をもとに海洋 1.5 層モデルを駆動し, 実験を行った. その結果, 中層水断面積変動をもたらす等密度面深度変動は, アリューシャン低気圧の南北位置変動に対する海洋の傾圧応答の結果であることがわかった.

観測資料解析と数値実験を組み合わせ, 本研究活動を遂行した結果, 中層水断面積変動機構について, 以下の新説を構築するに至る. まず, 「アリューシャン低気圧の南北位置変動」に対する海洋の傾圧応答の結果として等密度面深度の下降 (上昇) が起こる. そして, この密度面深度変動が, 「黒潮反流」の強化 (弱化) をもたらし, 東方からの中層水供給量の増加 (減少) を引き起こすことで, 「中層水断面積」が増加 (減少) する.

本研究活動により得られた成果は, 中層水の時間変動特性の解釈に役立つのみに留まらず, 周囲の気候場決定に果たす中層水の役割解明に資するものであると期待している.

## 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 4 件)

1. Sugimoto, Shusaku, and Kimio Hanawa, 2011: Quasi-decadal modulations of

NPIW area in the cross section along the 137° E meridian: Impact of the Aleutian Low activity. Journal of Oceanography 誌, 67 卷, 519-531. 査読有

- 2 . Sugimoto, Shusaku, Kimio Hanawa, Kumiko Narikiyo, Megumi Fujimori, and Toshio Suga, 2010: Temporal variations of the net Kuroshio transport and its relation to atmospheric variations. Journal of Oceanography 誌, 66 卷, 611-619. 査読有

[学会発表] (計 18 件)

1. Sugimoto, Shusaku, and Kimio Hanawa: Temporal variations of NPIW inventory in the cross section along the 137° E meridian: Impact of the Aleutian Low activity. CLIVAR WGOMD-GSOP Workshop, Center Green Campus of NCAR, Boulder, USA, September 20, 2010.
2. 杉本周作, 花輪公雄: 日本南方域における北太平洋中層水北限位置の南北変動. 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 6 日.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.pol.gp.tohoku.ac.jp/~sugimoto/main/kaken/start/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉本 周作 (SUGIMOTO SHUSAKU)  
東北大学・国際高等研究教育機構・助教

研究者番号: 50547320

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: