

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25247076

研究課題名(和文) 遠距離海洋レーダを用いた対馬暖流の流路観測と流路分岐メカニズムの解明

研究課題名(英文) Elucidations of Tsushima Warm Current path and its branch mechanism by using Long Range Ocean Radar

研究代表者

森本 昭彦 (Morimoto, Akihiko)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授

研究者番号：80301323

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、対馬海峡西水道を通過した後に200m等深線に沿って北上するとされる対馬暖流第二分枝流の存在とその季節変化を観測により明らかにするため、海洋レーダによる海面流速の連続観測を実施した。また、電波の有効利用を目的とした新たな海洋レーダシステムの開発を行った。海洋レーダ観測結果から、山陰沖日本海の100m等深線に沿って流れる対馬暖流第一分枝流と第二分枝流と思われる200m等深線付近の東向きの流れを観測することに成功した。従来の海洋レーダとは異なり、1局から送信し2局で受信するパステック海洋レーダの開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：We have carried out continuously sea surface current observation by using Ocean Radars which are installed Tsushima in Nagasaki Prefecture and Aishima in Yamaguchi Prefecture in order to reveal existence of 2nd branch of the Tsushima Warm Current which flows along 200-m isobath after passing through the Tsushima Strait and its seasonal variation. We have tried to develop new type of Ocean Radar System. It was succeeded from Ocean Radar observation that 1st branch of the Tsushima Warm Current along 100-m isobath and 2nd branch along 200-m isobath were captured. We have developed new type of Ocean Radar, which radio wave emits from one Radar site and reflected radio wave from ocean surface are received at two Radar site. We have carried out continuously observation by using the new Ocean Radar, and we can measure sea surface current at 170 km far from Radar site.

研究分野：海洋物理学

キーワード：海洋レーダ 対馬暖流

1. 研究開始当初の背景

対馬海峡から流入し津軽海峡、宗谷海峡から流出する対馬暖流は、日本海におけるエネルギーや物質輸送に大きな役割を果たしている。対馬暖流は対馬海峡の東水道と西水道からそれぞれ日本海へ流入し、日本列島に沿って北上する第一分枝、朝鮮半島に沿って北上する東韓暖流、200m 等深線に沿って北上する第二分枝、の3つの分枝流からなるとされている。この中で第二分枝については、その存在がはっきりしておらず、ある季節にしか存在しないなど未だ流路そのものだけでなく、その変動についても議論が続いている。西水道から流入した流れが第二分枝となる海域は日本と韓国の経済的排他水域境界付近の位置し、この海域を網羅する海洋観測を実施することが難しい。そのため、観測データに基づいて対馬暖流第二分枝の流路とその変動をとらえた研究はない。そこで、本研究では、電波により海面の流速を測定できる海洋レーダを使い、対馬暖流第二分枝の観測を実施することと、これまでとは異なった新たな海洋レーダシステムを開発することを目的に研究を実施する。

2. 研究の目的

対馬海峡から日本海へと流入した対馬暖流は、日本列島に沿って北上する第一分枝流、200m 等深線に沿って北上する第二分枝流、朝鮮半島に沿って北上し北緯 40 度付近で東へ流れる東韓暖流の3つの分枝流からなるとされている。これらの分枝流の流路や力学については長年研究がされており、第一分枝流と東韓暖流については流路も力学もある程度解明されている。一方、第二分枝流については、スナップショットの観測では示されているものの、その季節性については様々な結果が報告されている。また、数値モデル結果をみると第二分枝流が存在するものとしえないものがある。対馬暖流は日本海内での物質およびエネルギーの水平輸送を担っており、その流れの変動および変動要因を解明することは極めて重要である。

本研究では対馬暖流流路を観測するため、短波帯の電波により海面流速を測定する海洋レーダを使用する。海洋レーダによる海面流速ベクトルの観測には2局の無線局が必要である。電波は様々な分野で使用されており2局分の無線免許を取得することは容易ではない。そこで、本研究ではそれぞれの局から送信・受信を行うこれまでのシステムとは異なり、1局から送信、2局で受信する新たな海洋レーダシステムの開発も目的とした。

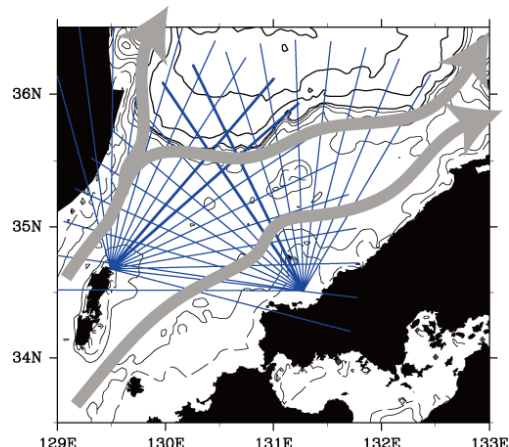
3. 研究の方法

対馬暖流第二分枝流が分岐し 200m 等深線に沿って東へ流れるとされる海域の海面流速場を観測するため、長崎県対馬の北端と山口県萩市沖の相島にレーダ局を設置した。本研究で使用した海洋レーダは、情報通信研究

機構により開発されたレーダであり、送信周波数 9.2MHz、レーダ局から約 200km の範囲の海面流速を観測できる。ただし、各局のレーダはビーム方向に沿った流速しか観測できないため、対象海域の流速ベクトルを得るためには両局のそれぞれの観測値を合成する必要がある。対象海域全体を観測するのに約 25 分を要し、30 分毎の平均的な流速データを得た。

海洋レーダは広域の海面流速を連続的に観測できるものの、リモートセンシング技術によるものであり、その測定された流速の検証は不可欠である。海洋レーダデータの検証を目的に、観測領域内に海底設置型の超音波流速計の設置、人工衛星により位置を追跡できる漂流ブイ観測を行った。また、海洋レーダのビームが想定通りに作られているかを検証するため、観測海域で船上に設置した無線機から電波を送信しながら移動し、レーダ局での電波の受信を行った。

1 局送信、2 局受信の新型の海洋レーダシステム構築のため、新たな受信機の作製、送信電波の検出および疑似信号発生システムの作成、外来電波の影響を除去するためのシステムを新たに作成した。これらをレーダ局に持ち込み受信実験を行い、連続観測可能なレーダシステムを構築した。



長崎県対馬局と山口県相島局からのビーム配置と想定されていた対馬暖流の流路。

4. 研究成果

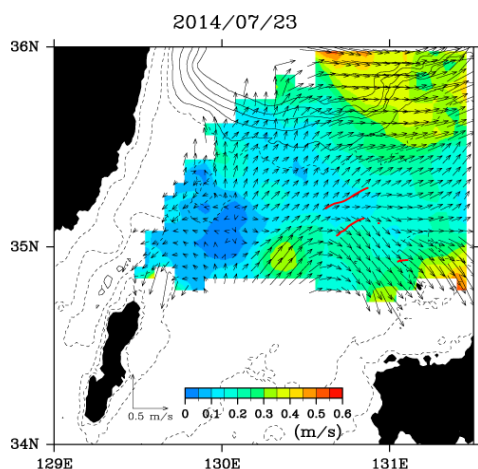
(1) 長崎県対馬局と山口県相島局からそれぞれ電波を送受信する通常の海洋レーダシステムにより山陰沖日本海の表層流観測を実施した。観測は2014年6月～9月に実施した。相島局の無線機の不調もありレーダサイトから200kmの範囲の観測はできなかったが対馬暖流第二分枝流が流れるとされる200m等深線付近までの表層流データを得ることができた。まず、海洋レーダにより観測された流速データの精度検証を行うため、2014年7月に実施した超音波流速計のデータとの比較を行った。超音波流速計の測定深度が海面下10m、海洋レーダの測定深度が海面下60cmと違いあるため両者の差は小さくはなかったが、相関係数0.59、差のRMSは16.7cm/s

であった。

海洋レーダのデータ解析から、相島局沖の100m等深線付近で地形を迂回する比較的強い流れが測定されていた。これは対馬海峡東水道から流入した対馬暖流第一分枝をとらえたものと判断した。この地形に沿った強い流れは係留した超音波流速計データでもみられた。一方、200m等深線付近では東向きの比較的強い流れは見られたものの、過去の研究で示されたような明確な分枝流をみることは出来なかった。



対馬局の受信アンテナ列と海洋レーダシステム。

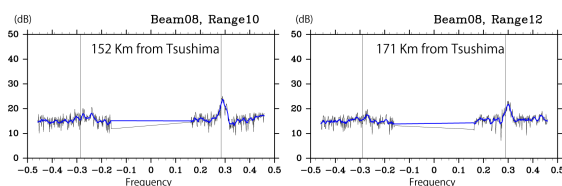


各局で送受信する海洋レーダにより観測された海面流速。

(2)一般的に海洋レーダ観測には2局のレーダ局が必要であり、それぞれの局で送受信を行う必要がある。海洋レーダ観測の実施においては、レーダ局の設置面積が大きいため場所の確保が難しいが、もう1つの大きな問題として電波の送信をするための無線免許の取得が困難であることである。そこで、本研究では電波の有効利用と免許取得のハードルを下げることを目的に、1局のみで送信を行い、送信局では通常の海洋レーダと同様に受信を行い、もう1局では側方散乱した電波を受信し流速を測定するパイスタティック海洋レーダの開発を行った。このレーダの開発において重要となるのは、側方散乱波を受信する局では送信電波の送信タイミングが分からないという問題を解決することで

あった。この問題を解決するため、側方散乱波を受信する局で当初送信アンテナとして使われていたアンテナを受信アンテナとして使い、送信局からの直達電波を受信し、その電波と全く同じタイミングで送信波の疑似信号を生成するシステムを完成させた。また、観測海域では朝鮮半島からの電波の影響でノイズレベルが異常に高かったことから、この影響を除去するため、ビートをとって周波数を変化させるシステムを構築した。

これら2つのシステムの導入により側方散乱によるシグナルの受信に成功するとともに、受信局から170km程度までの流速を観測することに成功した。



パイスタティック海洋レーダにより測定された受信波のドップラスペクトル。レーダ局から171kmの地点においてもスペクトルのピークが確認できる。

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 6件)

Kodama, T., Morimoto, A., Takikawa, T., Ito, M., Igeta, Y., Abe, S., Fukudome, K., Honda, N., Katoh, O., Presence of high nitrate to phosphate ration subsurface water in the Tsushima Strait during summer, Journal of Oceanography (in press), 2017. 査読有

Ichikawa, K., Yoshikawa, Y., Morimoto, A., Fukudome, K., Yoon, J-H., Complementary remote sensing observations of the Tsushima Warm Current patterns, Remote Sensing of the Asian Seas (in press), 2017. 査読有

Inoue, M., Shirohani, Y., Furusawa, Y., Fujimoto, K., Kofuji, H., Yoshida, K., Nagao, S., Yamamoto, M., Hamajima, Y., Honda, N., Morimoto, A., Takikawa, T., Shiomoto, A., Isoda, Y., Minakawa, M., Migration area of the Tsushima Warm Current Branches within the Sea of Japan: Implications from transport of 228Ra, Continental Shelf Research, 10.1016/j.csr.2016.08.010, 2016. 査読有

Takikawa, T., Watanabe, T., Senjyu, T., Morimoto, A., Wind-driven intensification of the Tsushima Warm Current along the Japanese coast detected by sea level

difference in the summer monsoon of 2013, Continental Shelf Research, 10.1016/j.csr.2016.06.004, 2016. 査読有

Takikawa, T., Onitsuka, G., Morimoto, A., Subsurface nutrient maximum and submesoscale structures in the southwestern Japan Sea. Journal of Oceanography, 72 (4), 529-540, 2016. 査読有

〔学会発表〕(計 26 件)

Takikawa, T., Morimoto, A., Kyushima, M., Ichikawa, K., Ito, M., Yufu, K., Fortnightly variation of the Tsushima Warm Current after passing through the Tsushima Straits associated with internal tide, 19th Pacific-Asian Marginal Seas Meeting, Cheju (Korea), 2017 年 4 月 11 日.

Takikawa, T., Morimoto, A., Sugitani, S., Kyushima, M., Ichikawa, K., Ito, M., Fujii, S., Iwai, H., Amagai, J., The Tsushima Warm Current in the southwestern Japan Sea measured by Long Range Ocean Radar and bottom mounted acoustic Doppler current profilers, AOGS 12th Annual Meeting, Singapore (Singapore), 2015 年 8 月 4 日.

Morimoto, A., Sugitani, S., Takikawa, T., Kyushima, M., Ichikawa, K., Fujii, S., Iwai, H., Amagai, J., Observation of the Tsushima Warm Current paths using Long Range Ocean Radar, The 18th Pacific-Asian Marginal Seas Meeting, 那覇市ぶんか天部又館 (沖縄県・那覇市), 2015 年 4 月 22 日.

Morimoto, A., Sugitani, S., Takikawa, T., Kyushima, M., Fujii, S., Ichikawa, K., Introduction of the Tsushima Warm Current observation using the Long Range Ocean Radar, The 2nd Ocean Radar Conference for Asia-Pacific, Kaohsiung (Taiwan), 2014 年 4 月 3 日.

森本昭彦、杉谷茂夫、滝川哲太郎、久島萌人、藤井智史、市川香、遠距離海洋レーダによる対馬暖流分枝流の観測、2014 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 (東京都)、2014 年 3 月 27 日。

〔図書〕(計 0 件)

〔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
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森本 昭彦 (MORIMOTO AKIHIKO)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・
教授
研究者番号 : 80301323

(2) 研究分担者

滝川 哲太郎 (TAKIKAWA TETSUTARO)
長崎大学・水産学部・准教授
研究者番号 : 10371741

(3) 研究分担者

藤井 智史 (FUJII SATOSHI)
琉球大学・工学部・教授
研究者番号 : 30359004

(4) 研究分担者

市川 香 (ICHIKAWA KAORU)
九州大学・応用力学研究所・准教授
研究者番号 : 40263959

(5) 研究分担者

杉谷 茂夫 (SUGITANI SHIGEO)
情報通信研究機構・電磁波研究所・研究技
術員
研究者番号 : 70643170