

ARGO データを用いた太平洋域における海洋音響環境の季節変動解析*

後藤 慎平^{*1,*2} 土屋 利雄^{*1,*2} 日吉 善久^{*1}

キーワード ARGO フロート, 音速プロファイル, サウンドチャンネル軸, 季節変動

ARGO float, Sound speed profile, Sound channel axis, Seasonal changes

1. はじめに

近年, 大規模な気候変動が海洋環境に与える影響に注目が集まっている。特に海水温の変化は海洋気象だけでなく海洋生態系にも大きく作用するため, 地球規模での詳細な観測が求められている。そこで, 2000 年に始まった ARGO 計画では, 全世界の海洋で常に稼働する約 3,600 台 (2014 年 2 月現在) の海洋観測フロート (通称: アルゴフロート) から, 人工衛星経由でほぼリアルタイムに水深 2,000 m までの水温と塩分データを捉えることを可能とした [1, 2]。これにより, 従来のような船舶やブイによる大掛かりな観測システムを使用することなく, 地球的規模の海洋構造を即時かつ容易に把握できるようになった [3, 4]。

しかし, このアルゴフロートのデータ数は年間 100,000 件を超え, その処理は従来手作業で行っていた。そこで本研究では, このビッグデータの収集及び後述の品質管理指標に基づく品質管理, UNESCO の音速式による音速変換を行うシステムを構築した。これにより, 太平洋全域における音速場の季節変動 (平均音速, チャンネル軸など) を検出することを試みた。

2. 解析手法及び調査海域

アルゴデータの収集・品質管理・海中音速構造への変換を以下の手順で行うプログラムを作成した。

- (1) インターネット [5] で公開されている, 太平洋における日ごとのアルゴフロートのデータファイルをダウンロードする。
- (2) このデータファイルから delayed-mode データを抽出する。delayed-mode データは, JAMSTEC

* Development of system for analyzing changes in ocean acoustic environment using ARGO data, by Shinpei Gotoh, Toshio Tsuchiya and Yoshihisa Hiyoshi.

^{*1} 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

^{*2} 東京海洋大学

(問合せ: 後藤慎平 〒237-0061 横須賀市夏島町 2-15 海洋研究開発機構)

(2014 年 3 月 14 日受付, 2014 年 4 月 17 日採録決定)

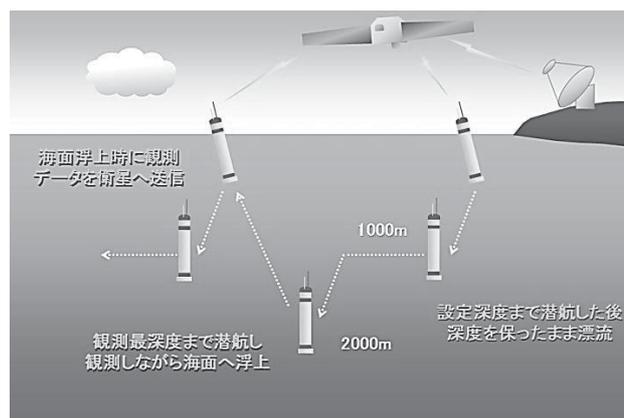


Fig. 1 Observation by the ARGO.

の観測船により得られた高品質な CTD データ (塩分濃度, 水温, 圧力) 及び気候データとの比較による高度な品質管理を行っている。

- (3) delayed-mode データから更に, 品質管理指標が優良かつ欠損がない等の条件を満たすデータを選択。
- (4) これらによって得られた水温, 塩分, 圧力プロファイルから UNESCO [6, 7] の音速式を用いて音速構造を推定。

今回は, 観測層における値をそのまま使ったケースだけでなく, 2,000 m に満たないケースは, Levitus [8] 標準層 (2,000 m まで 26 層) で直線補間した。また, 海面上 0 m 層も観測 1 層目として外挿している。

3. 音速分布

Fig. 2 に, 2012 年 1 月におけるアルゴデータの水深 2,000 m までの水温, 塩分濃度, 音速の鉛直プロファイルを示す。この図では太平洋域における約 500 台のアルゴフロートデータがプロットされており, これら鉛直プロファイル (水温・塩分濃度・音速) から, 前章で述べた手順により作成した音速分布の季節変化を Fig. 3 に示す。図中の黒点はフロートの浮上位置を示しており, ほぼ太平洋全域をカバーしていることが分かる。

今回は太平洋全域での音速構造の季節変動を調査す

るため、北半球における季節（冬：1/1~1/10，春：4/1~4/10，夏：7/1~7/10，秋：10/1~10/10）データを平均し、フロートの位置データを基にプロットして作成した。これらのコンタマップの範囲を気象庁のHP上で公開されているアルゴフロートの分布図上 [9]

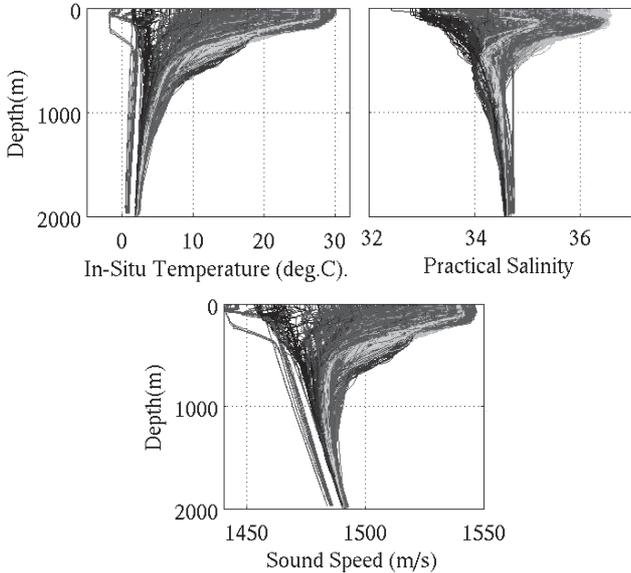


Fig. 2 Vertical profiles of the Pacific Ocean by ARGO data (Jan. 2012).

に示すと概ね Fig. 4 の黒線のエリアとなる。

この結果を見ると、暖かい黒潮の影響と思われる東側海域で音速が速くなっていることから、水温の影響が大きいことが分かる。しかし、北半球の夏においては 1,515 m/s の層が小さくなっている。これは、南半球の冬において高塩分海域が小さくなっていく影響が考えられる。また、北半球の冬においては逆の現象が見られるため、面積の大きい南半球の季節影響を受けていると考えられる。

4. 音速極小層の分布

Fig. 5 に鉛直の音速プロファイルから最小音速を求めた音速極小層（サウンドチャンネル軸）の深度分布を示す。この図から、音速極小層の分布は複雑なパターンになっており、チャンネル軸を伝搬する音波が複雑な経路をとることが想像される。従来、低・中緯度におけるサウンドチャンネル軸は水深約 1,000 m 付近に存在するとされてきたが、Fig. 5 で北半球の中緯度海域（20°N~40°N）をみると、黒潮やその接続流域では水深 1,000 m よりも浅い海域が多く、その深度も季節によって大きく変動することが読み取れる。更にこの現象は西側海域で顕著に見られることから、黒潮や

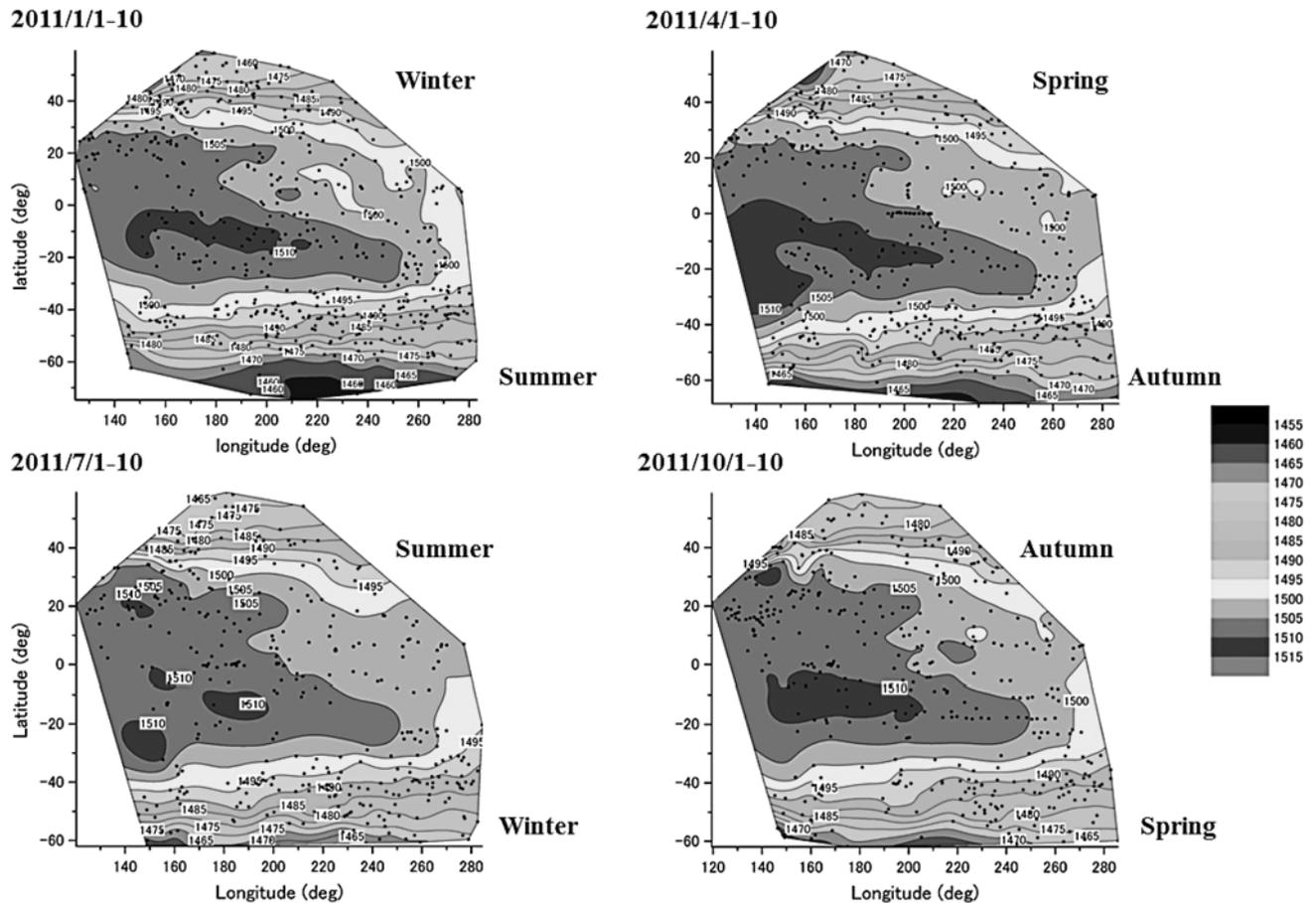


Fig. 3 Contour maps of the sound speed distribution in the Pacific Ocean.

貿易風などの影響により、海水面が暖められたことに起因する高塩分海水が原因と考えられる [9]。また、音速は水温による変動が大きいため高緯度海域ではチャンネル軸が海面付近に存在することは当然であるが、水温変動が小さく音速もあまり変動しないと考えられていた低・中緯度海域においても、多くのデータを取得して詳細に検証することにより、太平洋全域ではっきりとした季節変動を捉えることができた。

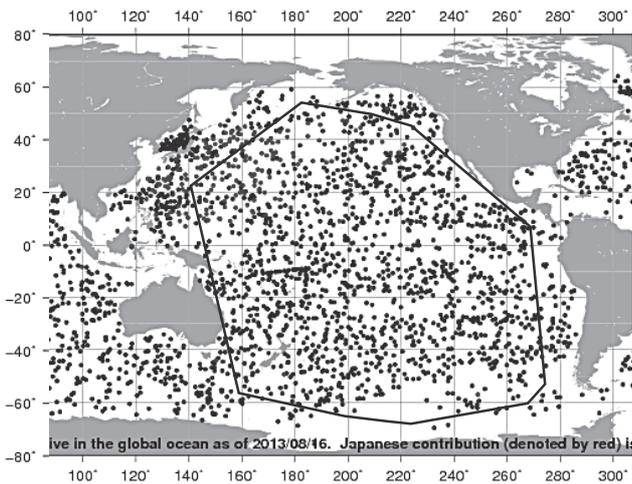


Fig. 4 Distribution of ARGO Float.

5. ま と め

年間 100,000 件を超えるアルゴフロートのデータ（水温、塩分）をダウンロードし、音速計算等を行うことができるプログラムを作成した。これにより従来困難であった地球規模の音速構造を解析できるようになった。

今回は例として太平洋全域で約 500 点の音速データを用い、低・中緯度海域におけるサウンドチャンネル軸の深度や音速に季節変動が存在することが分かった。その結果、従来は水深 1,000 m 程度に存在すると考えられていたチャンネル軸が、北半球の西側海域においては水深 1,000 m よりも浅い海域に存在することが分かった。これは、平均音速の季節変動は水温変化に大きく依存する一方、チャンネル軸深度や音速の季節変動には、密度の高い高塩分低温海水の沈み込み（熱塩エンジン）の影響が大きい可能性が考えられる。

このように、多くのアルゴデータを用いることで、広範囲の音速の季節変動を捉えることが可能となった。今後は、近年運用が開始された深海用フロート「Deep NINJA [10]」のデータも利用し、深層域における音波伝搬の様子などを 3D で視覚的に捉えられるシステムの開発を行う予定である。

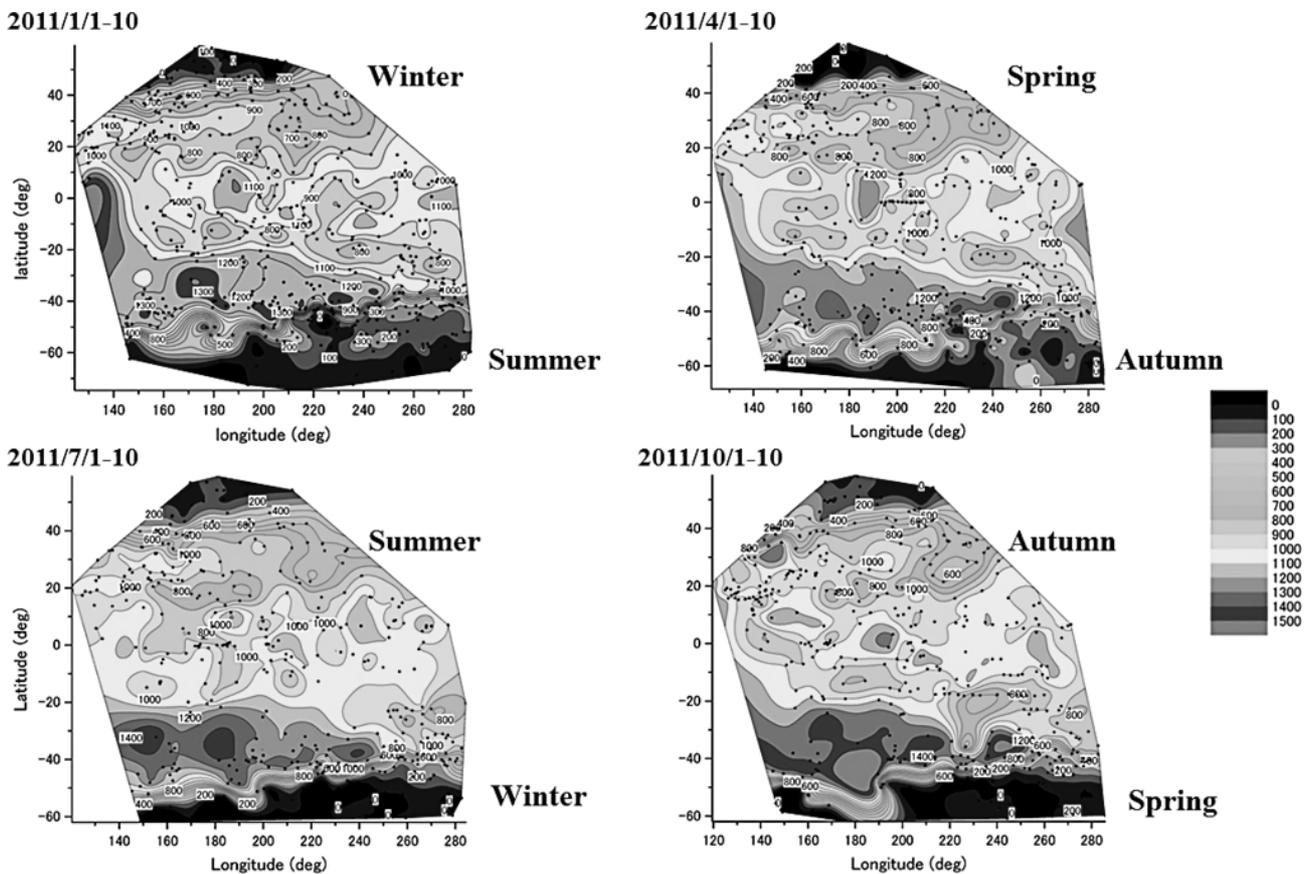


Fig. 5 Contour maps of the sound channel-axis Depth distribution seasonal variation of the Pacific region.

文 献

- [1] <http://www-argo.ucsd.edu/> (参照 2013-07-31).
- [2] <http://www.jamstec.go.jp/ARGO/> (参照 2013-07-31).
- [3] 後藤慎平, 土屋利雄, 日吉義久, “ARGO データによる太平洋全域の音響環境の季節変化,” 音講論集, pp. 1225–1226 (2013.9).
- [4] 土屋利雄, 日吉義久, 布田浩二, “ARGO データによる北西太平洋の音速場解析,” 海洋音響学会 2011 年度研究発表会講論集, pp. 9–12 (2011).
- [5] ftp://ftp.jamstec.go.jp/pub/argo/ifremer/geo/pacific_ocean/2011 (参照 2013-07-31).
- [6] N.P. Fofonoff and R.C. Millard Jr., *UNESCO Technical Papers in Marine Science*, No. 44, Division of Marine Sciences, UNESCO, Place de Fontenoy, 75700 Paris (1983).
- [7] 土屋利雄, “海洋音響計算 WEB サイト <http://www.tsuchiya2.org> の作成・公開,” 海洋音響学会誌, 38, 79–87 (2011).
- [8] <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/LEVITUS> (参照 2013-07-31).
- [9] 蒲地政文, 碓氷典久, “海洋モデルとデータ同化を用いた海況予報,” オペレーションズ・リサーチ, 52, 211–215 (2007).
- [10] 小林大洋, 渡辺和博, 伊野哲郎, 雨池健一, 浅川賢一, 須賀利雄, 河野健, 百留忠洋, “Deep NINJA の開発 2,” Blue Earth2013 要旨集, pp. 100–101 (2013).
-