

ARGO データによる北西太平洋の音速場解析*

○土屋利雄 (JAMSTEC/東京海洋大), 日吉善久 (JAMSTEC), 布田浩二 (三菱プレジジョン)

1. はじめに

地球規模の海洋変動をリアルタイムに捉えることを可能とした ARGO システム¹⁾²⁾の水温と塩分データを利用し、海洋の音響特性の基本となる音速プロファイルを計算した。これにより、ほぼリアルタイムで広域(北西太平洋全域)の音速構造や音速極小層(サウンドチャンネル軸)などを求めることができたので、その手法と解析結果について報告する。

2. ARGO システムの概要

海洋における広域の音響的な環境データを計算するためには、海洋観測データを入手してからそれらを基に、音速などに変換するのが一般的な方法である。通常海洋観測データは、多数の観測船などが計測したデータ(水温、塩分、深度)を公的機関が収集し、ある程度まとめた後から、品質管理を行った後に公開されるため、地球規模の観測データをリアルタイムで入手することは、ほぼ不可能であった。

一部において Levitus データセット³⁾等で音速データなども公開されているが、これらもあくまで過去のデータをまとめた平均値である。勿論、海洋音響トモグラフィ観測などにより、直接音響特性を観測することも可能ではあるが観測そのものが大掛かりであり、費用や時間

がかかるため、その使用は限定されていた。

しかし、近年、本格的な運用モードに入った ARGO システムでは、全世界の海洋で常に稼働している 3000 台の観測機(アルゴフロート)から衛星経由でほぼリアルタイムに Fig.1 のような観測パターンにより水深 2000m までの水温と塩分データが送られてくるようになった。これらのデータは、インターネット上でただちに公開されるため、地球規模の海洋構造(平均約 300km 間隔・緯度・経度にして約 3°)が簡単に把握できるようになった。Fig.2 に全海洋における ARGO フロートの展開状況を示す。図中の円内が日本のフロートが多い海域である。

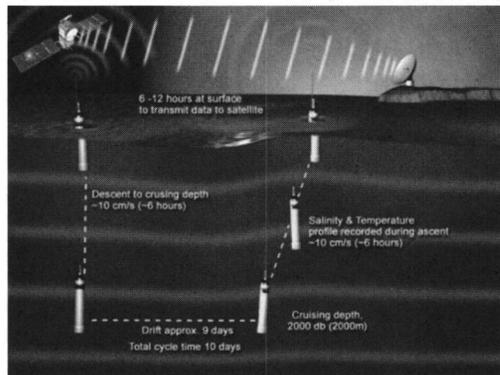


Fig.1 Observation by the ARGO float¹⁾

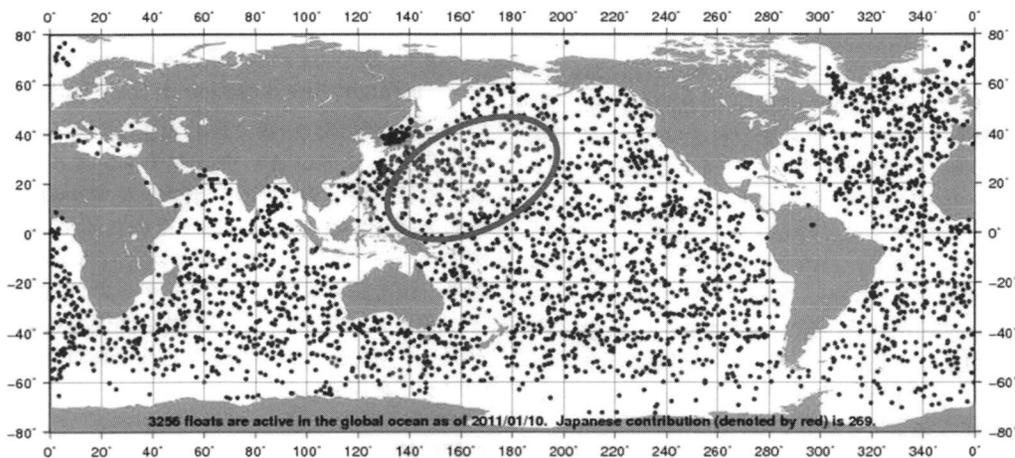


Fig.2 About 3000 ARGO float units have been deployed all over the world ocean.

* Sound speed field analysis at North East Pacific Ocean by the ARGO data, Toshio Tsuchiya (JAMSTEC / Tokyo University of Marine Science and Technology), Yoshihisa Hiyoshi (JAMSTEC), Koji Futa (Mitsubishi Precision Co.)

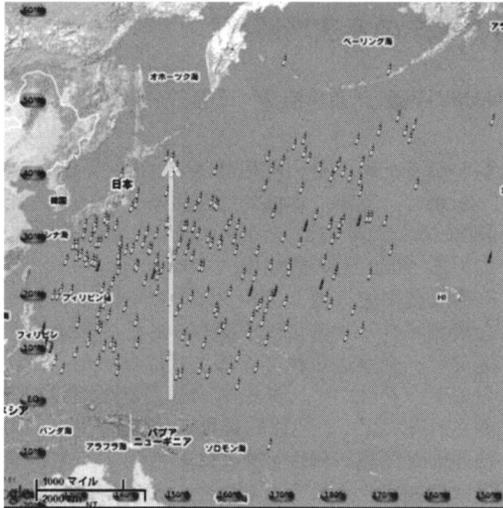


Fig.3 Distribution of ARGO floats used for analysis

3. 解析手法及び調査海域

今回の解析に用いた ARGO フロートの分布図を Fig.3 に示す。この図では、2010 年 8 月 29 日～同 9 月 4 日の間で得られた 109 台のアルゴフロートからの水温・塩分・深度データを公開サイト⁴⁾から緯度・経度とともに netCDF 形式でダウンロードし、変換ツール⁵⁾により ASCII 形式の CSV ファイル (水深・水温・塩分) に変換した。次に、このファイルを用い、海洋音響計算サイト⁶⁾を使って音速プロファイルを計算したが、計算には、UNESCO⁷⁾の音速式を用いた。

Fig. 4 には、Fig. 3 図中の↑付近にある 15 個のプロファイル (①水温, ②塩分, ③音速) を示した。これらの図のようにそれぞれの複雑なパターンを示したが、水深 1500m 以深において観測値は、ほぼ収束していることがわかる。また、Fig. 4 の③から音速最小層は、概ね水深 600～1100m 付近に存在することが見て取れる。しかし、Fig. 4 ①と②図中において↓で示したように他のプロファイルと大きく異なる 2 つのデータが見られる。このようなパターンの要因は、はっきりとしないが、冬季においてオホーツクに流入する河川水 (低温・低塩分) の影響も考えられる。これにより Fig. 4 の③図中↓のプロファイルの音速最小層も他のデータに比べ浅い水深にあることがわかる。

ここで、Fig. 4 のようなプロファイルをすべての観測点のデータについて並べしまうと全体を把握することは不可能となるため、本研究

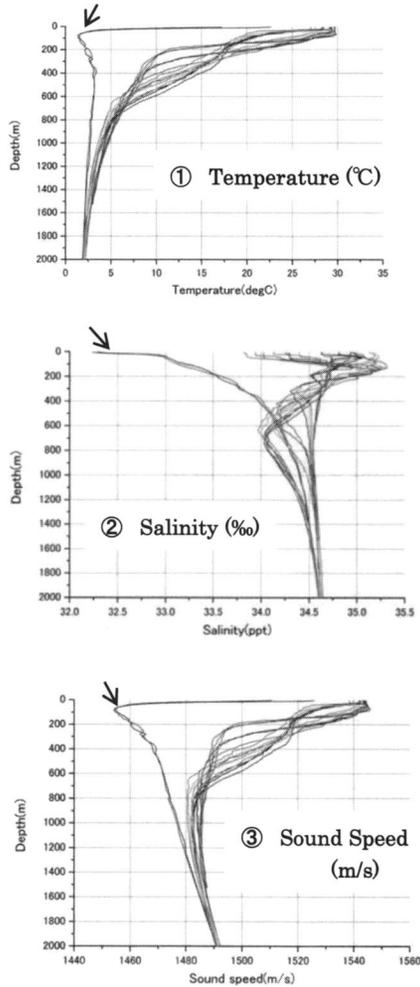


Fig.4 Depth profile of observations on a straight line direction in the Fig.3

では、長距離音波伝播に最も大きな影響を及ぼすと考えられているサウンドチャンネルを形成する音速極小層 (サウンドチャンネル軸) の分布を調査することとした。そのために、109 個のデータすべての音速プロファイルから音速最小値を読み取り、コンターマップ (分布図) を作成した。併せて、音速計算の関係から平均水温、平均塩分、平均音速のそれぞれのコンターマップを作成した。

4. 解析結果

Fig. 5 に観測値の水深 2000m までの平値 (①水温, ②塩分, ③音速) の分布図を示す。

なお、これらのコンターマップにおける経度 180° ~ 230° とは西経 0° ~ 50° のことである。

Fig. 5 ①では、緯度が高くなるにしたがい、平均水温は漸次低くなる傾向が見られる。日本の近海では、黒潮の影響から比較的高緯度でも 12°C ~ 13°C の等温線が北上している傾向があるが、逆に親潮のような寒流の影響があると考えられ、4°C の等温線は南下しているのが見て取れる。

Fig. 5 ②は、塩分の平均値コンターマップである。この図から、寒冷域ほど塩分は小さくなる傾向が見られるが、北緯 20° を中心に東経 16° 以西の海域に塩分の極大海域が生じていることがわかる。

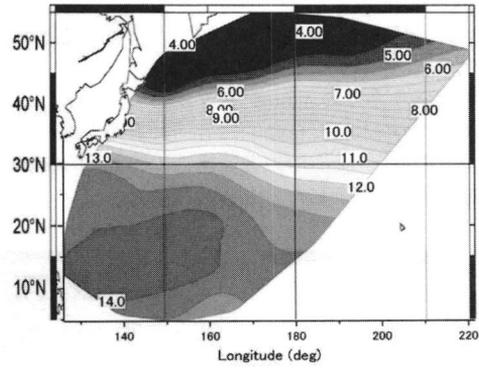
Fig. 5 ③は、①と②のプロファイルから算出された平均音速のコンターマップである。この図では、概ね寒冷域ほど音速は小さくなる傾向がみられるが、北緯 15° ~ 25°、東経 130° ~ 160° にかけて、音速の極大点が存在している。これは、Fig. 5 ①の平均水温と同様の傾向を示しているが、音速の極大点(北緯 20°、東経 145° を中心)は、Fig. 2 の水温の極大値とはズレており、塩分の影響(Fig. 5 ②)も見て取れる。また、同緯度における音速は、西方海域の方がわずかに速い傾向があるが、これは水温分布の反映であると考えられる。

5. 音速極小層の分布

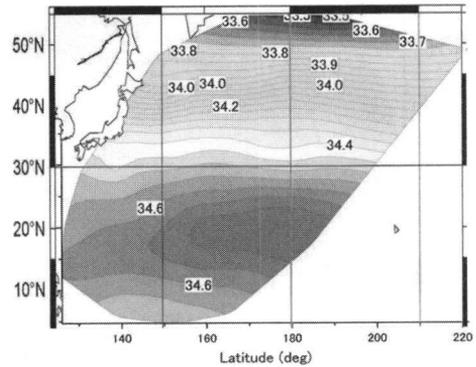
Fig. 6 には、音速プロファイルから求めた音速極小層の深度分布を示す。この図から、極小層の深度分布は、概ね熱帯域の 1100m から寒冷域の 50m まで漸次浅くなっていくことがわかる。また、日本近海域の北緯 20° から 30° において 1000m を超える軸深度の海域が広がっている。これは、黒潮によって高水温の海水が大深度まで運ばれる結果であると考えられる。また、それに続く黒潮続流域では、800m と浅い音速極小層深度が低緯度で見られるなど、日本近海ではかなり複雑なパターンを示していることがわかる。Fig. 7 は、その深度における音速分布(音速最小値)を示す。この図から音速最小値は、全体的には比較的単調に寒冷域に向かって小さくなっているように見えるが、1481~1482m/s の等音速線にみられる東西方向のゆらぎは、やはり黒潮やその続流域などの影響であると考えられる。また、北海道東方海域における低い音速値は、長距離音波伝搬の影響があることを示唆させるものである。

6. まとめ

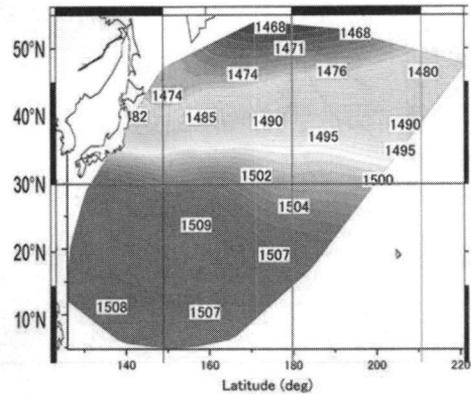
最近運用が本格化した ARGO データ(水温、塩分)を用いることにより、ほぼリアルタイムで、地球規模の音速構造を解析できることを示した。



① Average of Temperature (°C)



② Average of Salinity (‰)



③ Average of Sound Speed (m/s)
(Calculated by the equation of UNESCO)

Fig.5 Contour map of the average observed data (2000m depth)

例として、北西太平洋での解析を行い、日本近海における音速構造は、海流の影響を示唆する複雑なパターンを示すことが確認された。

今後、より多くの ARGO データから容易にデータをダウンロードし、自動的に音速計算ができるツールを開発し、全海洋の音速構造の時間的な変動などを詳細に解析したいと考えている。

参考文献

- 1) <http://www-argo.ucsd.edu/>
- 2) http://www.jamstec.go.jp/ARGO/argo_web/argo/index.html
- 3) <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/LEVITUS/>
- 4) http://www.jamstec.go.jp/ARGO/argo_web/argo/ActiveGmap.html
- 5) http://www.jamstec.go.jp/ARGO/argo_web/tools/tool_s.html
- 6) <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>
- 7) 土屋, “海洋音響計算サイト <http://www.tsuchiya2.org>の作成・運用”, 海洋音響学会誌 Vol. 38 No. 1 2011年4月
- 8) N. P. Fofonoff and R. C. Millard Jr.. "Algorithms for computation of fundamental properties of seawater," UNESCO technical papers in marine science. No. 44, Division of Marine Sciences. UNESCO, Place de Fontenoy, 75700 Paris, (1983).

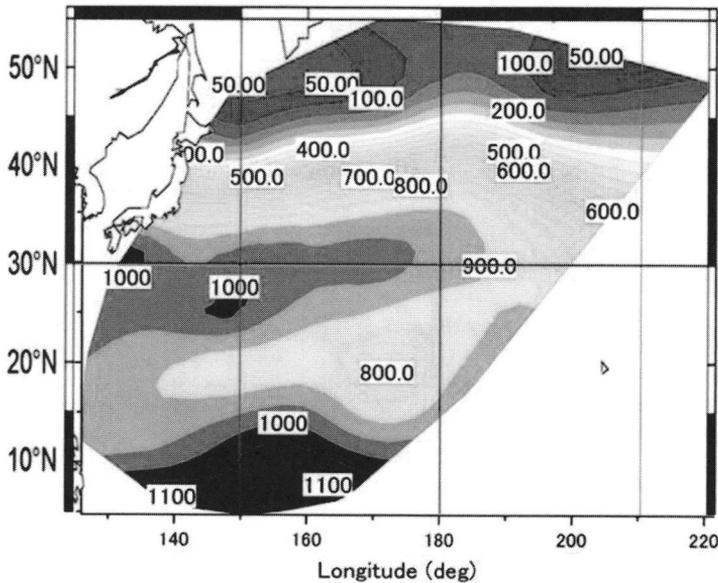


Fig.6 Contour map of depth of minimum sound speed layer(m)

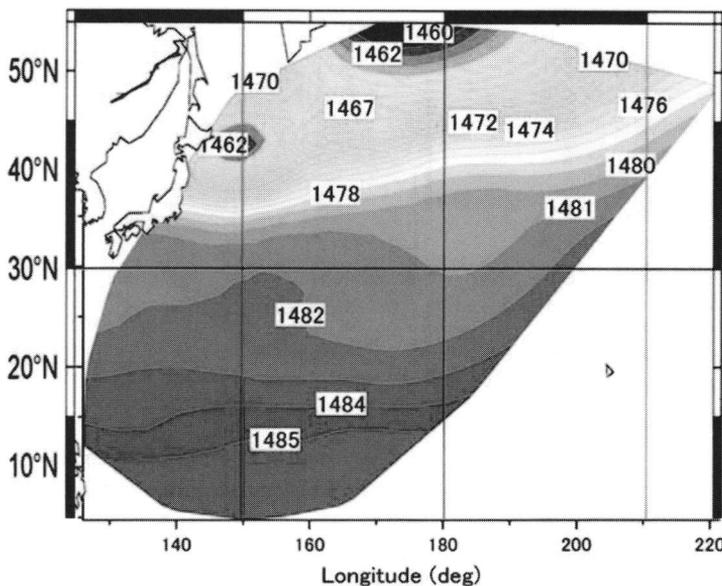


Fig.7 Contour map of sound speed (m/s) in depth of minimum sound speed layer