

HydroBaseを用いたアルゴデータの修正法 I — ポテンシャル電気伝導度の導入 —

小林 大洋^{*1} 市川 泰子^{*1} 高槻 靖^{*2} 須賀 利雄^{*1} 岩坂 直人^{*1}
安藤健太郎^{*2} 水野 恵介^{*2} 四竈 信行^{*1} 竹内 謙介^{*1}

アルゴデータの品質を高めるためには、センサーに経時変化が生じた場合など、必要に応じてデータに修正を施さなければならない。その際、実際に計測された電気伝導度に加えることにより、データを修正する手法を開発した。その基準として、異なる水温・圧力下で観測された多数の気候学的プロファイルデータ(HydroBase)を用いるため、電気伝導度の圧力および水温依存性を取り除く必要があることが明らかとなった。そこで、ポテンシャル電気伝導度を導入することにより、この問題を解決し、データ修正が可能となることを示した。修正されたアルゴデータを時空間的に近傍で行われた観測船「みらい」によるCTD観測結果と比較した結果、十分に満足できる精度で修正が施されていることが明らかとなった。また、用いた修正手法は、気候学データの多寡や品質にあまり影響されないことが示唆された。

キーワード：アルゴ計画, 品質管理, HydroBase, 電気伝導度データ修正

Correcting method of Argo data based on HydroBase I — Introduction of Potential Conductivity —

Taiyo KOBAYASHI^{*3} Yasuko ICHIKAWA^{*3} Yasushi TAKATSUKI^{*4} Toshio SUGA^{*3}
Naoto IWASAKA^{*3} Kentaro ANDO^{*4} Keisuke MIZUNO^{*4} Nobuyuki SHIKAMA^{*3}
and Kensuke TAKEUCHI^{*3}

New method to correct conductivity data measured by Argo float is developed. In this method, many climatological profile data of HydroBase can be used as the reference to correct Argo data by introducing a new variable named "potential conductivity". The corrected Argo data by this method become much better in comparison with the CTD data independently observed by R/V Mirai at almost the same time and location. Also the corrected data suggest that this method does not strictly depend on the quality and quantity of the climatological data.

Keywords : Argo project, Quality Control, HydroBase, Conductivity sensor correction

*1 地球観測フロンティア研究システム 気候変動観測研究領域

*2 海洋科学技術センター 海洋観測研究部

*3 Frontier Observational Research System for Global Change, Climate Variations Observational Research Program

*4 Japan Marine Science and Technology Center, Ocean Research Development

1. はじめに

アルゴ計画により海洋の表・中層をリアルタイムかつ高密度に観測することが可能となる(たとえば水野, 2000)。観測には水温および電気伝導度センサーを搭載したアルゴフロートが用いられ、このフロートが約10日ごとに滞在深度(約2000m)から浮上する際、水温および塩分の鉛直分布を観測する。これにより、大量(計画では年間約10万件以上)の水温・塩分データを得ることができる。しかし、それを海洋学的な研究にとって意味のあるものにするためには、その品質を可能な限り高い精度で維持しなければならない。

船舶による一般の海洋観測では、高い観測精度を保つために測器のメンテナンスを船上で継続的に行っている。しかしながら、海洋に投入された後にはフロート搭載センサーのメンテナンスを行うことは事実上不可能であり、またセンサーの状況を直接把握することも困難である。そのため、長期にわたる漂流の結果としてセンサーが経時変化を起こしても、その原因を突き止めることは難しい。また仮にセンサーの経時変化が明らかになったとしても、採水による塩分検定結果を用いるといった船舶観測で行われている従来の修正方法を用いることは不可能である。従って、アルゴフロートによって得られたデータ(アルゴデータ)の品質を維持するためには、センサーを中心としたハードウェア面、データ修正法を中心としたソフトウェア面の両面からの研究・開発が必要である。

ハードウェア面においては、現在、経時変化を生じにくいセンサーの開発が進められており、これはある程度の成功を収めている。Riser and Swift (2001)は、ワシントン大で運用中の

フロートに搭載されたセンサー(SeaBird社製SBE-41[電極式])の経時変化について調べている。いくつかのフロートでは、投入直後の数回の観測で塩分値が低く現れ、徐々に正常な値に戻っていく現象(なお、現在はすでに改良が施されている)が認められるものの、ほとんどのフロートは投入後3年程度経過しても非常に安定で、高い精度を保っていることが示されている。そのため、プロファイリングフロートを用いた観測では、センサー感度に経時変化はほとんど生じない、と結論している。また、センサーが高い観測精度を保つことができる理由として、フロートがほとんどの期間を水温・塩分等の非常に安定な深層で過ごしていること、表層漂流中に付着した生物が深層漂流中に死滅することの2点を挙げている。また、トライトンPI(黒田と網谷, 2000)に使用されている電気伝導度センサー(SeaBird社製SBE-37[電極式])の経時変化の解析(松本ら, 2001)においても、250 m以深に設置されたものは、1年間の係留の後にもほとんどドリフトは確認されず、深層を漂流するフロートのセンサーの安定性は高いと考えられている。

しかし、同じSeaBird社製の電極式電気伝導度センサーを搭載したフロートであっても、明らかに経時変化を起こしているものも存在する。現在、海洋科学技術センター海洋観測研究部と地球観測フロンティア研究システム(JAMSTEC/FORS-GC)では、共同で20機程度のアルゴフロートを運用している(図1を参照)。このうちの1機(WMO 29033: 深層滞在時間13日程度)は、投入直後の値に比べて「夏休み(注)」後(12回目以降)は0.02 psu程度高めの塩分値が観測されるようになって

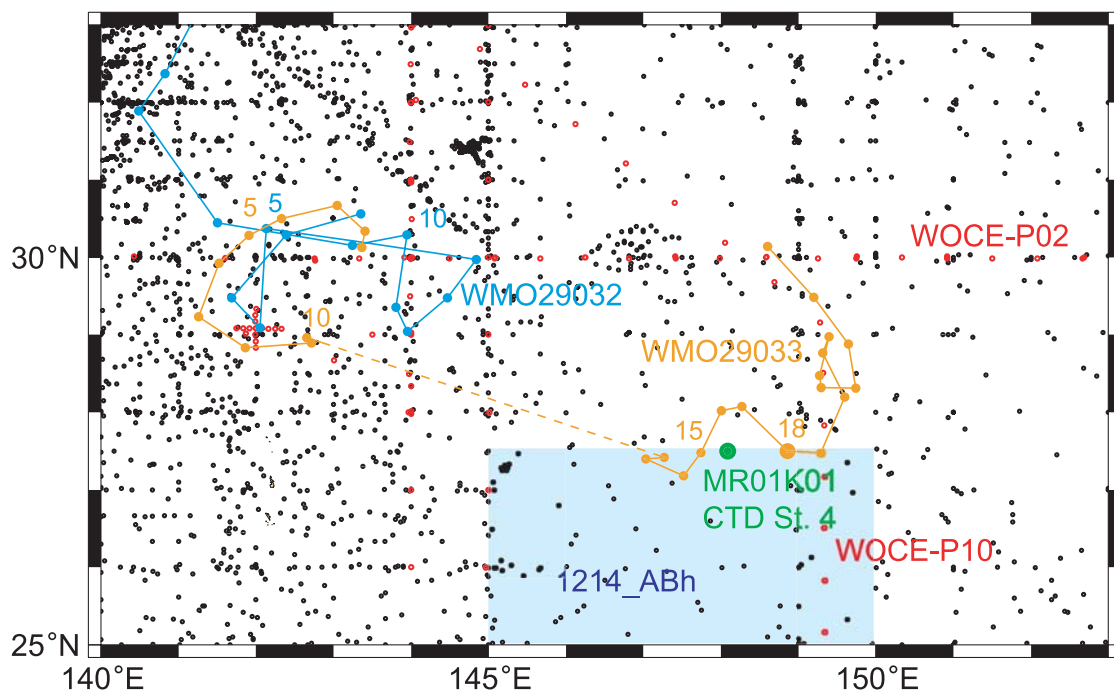


図1 アルゴフロート(WMO 29032と29033)による観測点と気候学データの空間分布。赤丸はWOCE-CTDデータ。なお、WMO29033による11回目の観測点はデータ欠損により不明。

Fig. 1 Horizontal distribution of the observations by the Argo floats (WMO 29032 and 29033) with climatological data. Red circles represent stations of WOCE-CTD data. Note that the location of the profile number 11 of WMO29033 was not measured.

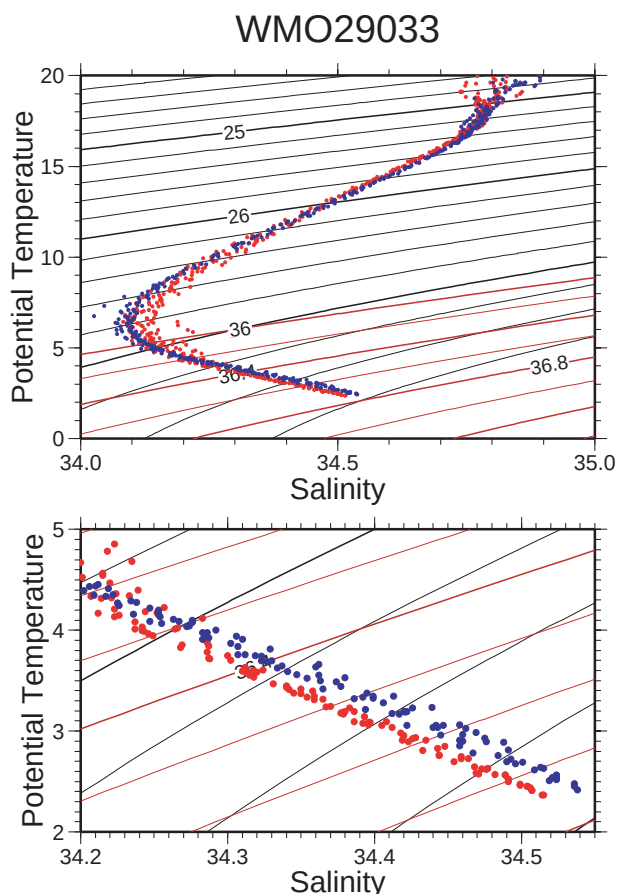


図2 WMO29033による観測結果。赤および青は1-10回目(「夏休み」前)および12-19回目(「夏休み」後)の観測データを示す。
Fig. 2 T-S diagram of the observed data by Argo float, WMO 29033. The red and blue circles represent the profiles #1-10 (before "summer vacation") and #12-19 (after "summer vacation"), respectively.

いる(図2)。「夏休み」前後のデータ取得海域は比較的離れているが、気候学的データから見る限り、中・深層の水塊構造は非常によく似ている。そのため、この塩分のずれはセンサーの経時変化によるものと考えられている。また、別のフロート(WMO 29032: 深層滞在時間27日程度)はWMO 29033と同じように夏季には浮上不能状態に陥った。しかし、WMO 29033と異なり、「夏休み」直後(6回目)の観測結果には塩分ドリフトは認められなかった。しかし、その後から徐々に塩分が高くなる傾向が見られ、現在(11回目以降)では投入直後に比べて0.03 psu程度高い塩分値が観測されている(図3)。なお、これらのフロートのセンサー感度の経時変化については、小林ら(2001)で詳細に述べられている。

(注)夏季に海洋表層の水温上昇(密度低下)により、フロートの浮上能力が不足して海面まで浮上できなくなる(伊澤ら, 2001)現象のJAMSTEC/FORSCGにおける通称。この期間中、WMO29032 および29033フロートは海面近くを漂流し続けていたと考えられている。

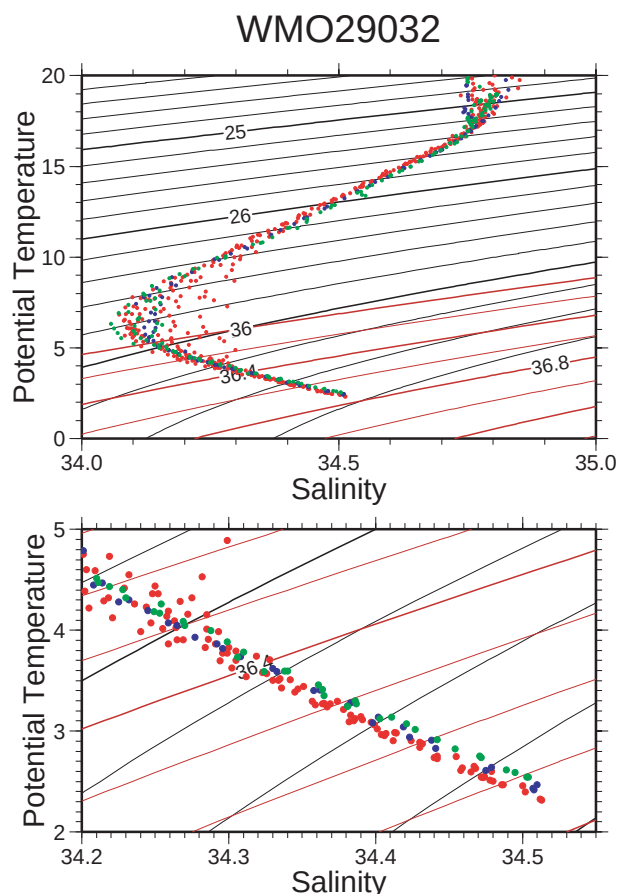


図3 WMO29032による観測結果。赤、青、緑は1-8回目、9-10回目、11-13回目の観測データを示す。
Fig. 3 T-S diagram of the observed data by Argo float, WMO 29032. The red, blue, and green circles represent the profiles #1-8, #9-10, and #11-13, respectively.

我々のグループで生じた例は、「夏休み」というフロートにとって特殊な条件が関係していると考えられるので、Riser and Swift (2001)の結果とは矛盾しない。しかし、彼らの示した理由に従えば最も経時変化の生じにくいはずのWMO29032フロートにおいても、センサー感度に経時変化が生じている。これをふまえると、今後アルゴ計画が進展して多数のフロートが長期間海中を漂流するようになれば、何らかの理由によって搭載センサーに経時変化が生じて、塩分ドリフトを起こすものが発生する可能性は少なからず存在する。事実、深層に係留されているトライトンブイのセンサーでも経時変化を生じるものもある。

アルゴ計画では塩分の観測精度を0.01 psu以下に抑えることを目標としている。この数字は、海洋学研究の上からも必要な値である。また、我々が経験した例から考えても、センサー感度に経時変化が生じた場合にはデータの修正が不可欠であるといえる。そのため、アルゴデータに対して必要に応じて修正を施さなければならず、そのための手法の開発およびその精度評価などの研究が必要である。

アルゴデータを修正する際、時空間的に近傍で行われた船舶観測データを基準として用いるのが最良であることは言うまでもない。しかし、すべてのデータに対してこの操作を行うことは不可能であり、これに代わる何らかの修正方法を確立しなければならない。一般に海洋深層では、水温・塩分ともに比較的安定であると考えられている。そこでアルゴデータの深層部分を気候学データと比較することによって、修正を施すのが最も現実的であり、国外他機関の多くもこの方針を採用している。たとえばワシントン大学では、World Ocean Database 1998の採水およびCTDデータを使って塩分データの修正を行う手法の研究が進められている(Wong et al., 2001)。また、オーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO)では、観測点近傍で行われた1995年のWOCE-CTDデータを用いて塩分値の修正を行っている(CSIRO, 2001)。

JAMSTEC/FORSGCでは、気候学データセットとして高精度で知られるHydroBase (Macdonald et al., 2001)を用いて、独自に気候学データベースを作成し、アルゴデータの品質管理に用いている(小林ら, 2001)。このHydroBaseを用いて、アルゴデータを修正する方法についても研究を進めており、本稿では現在までに得られた結果について報告する。

2. アルゴデータ修正手法の開発

2.1. データ修正の基本方針

現在行われている船舶によるCTD観測では、塩分データ修正を行う際に塩分ではなく測器によって実際に計測している電気伝導度の値を修正することが多い。また、電気伝導度センサーに比べて、水温や圧力センサーは経時変化が小さいこと知られている(Milland and Yang, 1993; 松本ら, 2001)。これらをふまえ、次のような基本方針に沿ってアルゴデータの修正を行うことにした。

- ・電気伝導度の値を修正することにより、塩分値を修正する。
- ・水温および圧力センサーの経時変化は微少であり、無視できる。

塩分の値は電気伝導度だけではなく、水温や圧力にも依存している。そのため、後者の仮定をはずしてしまうと、現時点ではデータ修正を行うことができない。

本研究では電気伝導度そのものではなく、電気伝導度比を用いる。塩分、現場水温、現場圧力をそれぞれS, T, Pとすると、電気伝導度Cはそれらの関数として次のように書ける。

$$C = C(S, T, P)$$

このとき、電気伝導度比Rは次のようになり、両者は定数倍だけ異なる。

$$R = C(S, T, P) / C(35, 15, 0) = \text{sal78}(S, T, P) \cdots (1)$$

なお、塩分から電気伝導度比への変換はUNESCO (1983)に従った。

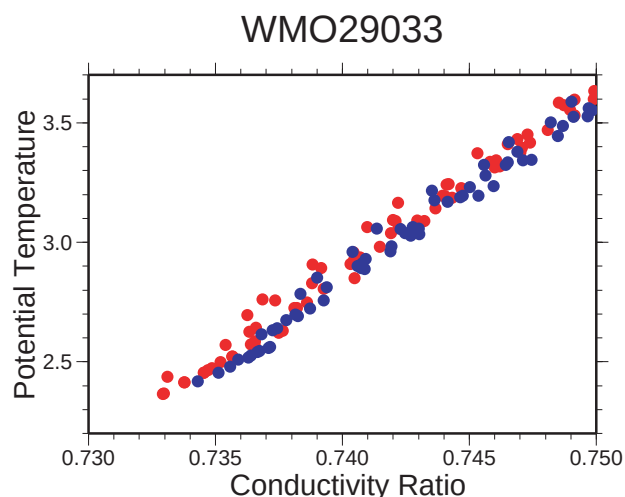


図4 WMO29033フロートデータのポテンシャル水温-電気伝導度比関係。赤および青は「夏休み」前および後のデータを示す。

Fig. 4 Potential temperature and conductivity ratio relation for the data observed by WMO29033. Red and blue circles represent the data before and after "summer vacation", respectively.

2.2 データ修正量の抽出

2.2.1. 電気伝導度比ドリフト

電気伝導度比に基づいてアルゴデータの修正を行うに当たり、修正の必要なデータ(群)から、修正量を定量的に求められることが必要である。そこで、「夏休み」前後で明瞭な塩分ドリフトが認められたWMO29033のデータを使い、電気伝導度比にも明瞭なドリフトが認められるか否かを確認した。

WMO29033から通報された塩分値から、実際に計測された電気伝導度比を(1)式に基づいて逆算した。図4は、「夏休み」前後でのポテンシャル水温-電気伝導度比の関係の変化を示したものである。「夏休み」後、同一のポテンシャル水温に対してやや高い電気伝導度比を示す傾向が認められる。しかし、ポテンシャル水温-塩分関係では「夏休み」前後で明らかに異なる集団として識別できる(図2参照)のに対し、ポテンシャル水温-電気伝導度比関係では「夏休み」前後で重なる点も多く、逆転現象も存在している。つまり、図2の塩分ドリフトに相当するような、電気伝導度比ドリフトと呼べるものは認められない。従って、このままではデータ修正を行うことはできない。

2.2.2. 電気伝導度比の圧力依存性

(1)式から分かるように、電気伝導度比は水温・塩分だけでなく、圧力によっても変化する。そこで、同一圧力下(許容差 ± 2 dbar)におけるポテンシャル水温-塩分関係とポテンシャル水温-電気伝導度比関係が、「夏休み」前後でどのように変化しているのかを示したものが図5である。図2と同じく、ポテンシャル水温-塩分関係に明瞭な塩分ドリフトが認められる(図5a)。ポテンシャル水温-電気伝導度比関係(図5b)は、同一圧力下においては「夏休み」の前後のデータ群がそれぞれ別の直線上に載っており、明瞭な電気伝導度ドリフトが認め

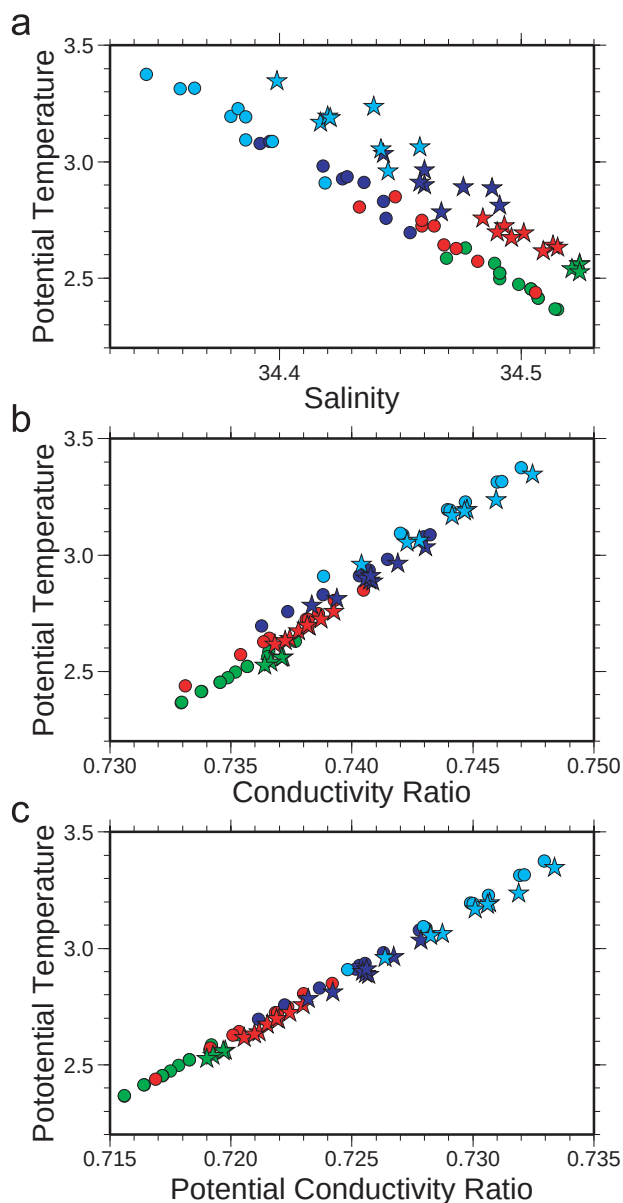


図5 等圧面上で観測されたWMO29033フロートデータの(a)ポテンシャル水温-塩分関係、(b)ポテンシャル水温-電気伝導度比関係、(c)ポテンシャル水温-ポテンシャル電気伝導度比関係の時間変化。丸および星は「夏休み」前と後を示す。青、濃青、赤、緑は1200 dbar, 1300 dbar, 1400 dbar, 1500 dbarにおける観測を示す。

Fig. 5 Relations of (a) potential temperature and salinity, (b) potential temperature and conductivity ratio, and (c) potential temperature and potential conductivity ratio for WMO29033 data at the isobar surfaces. Circles and stars represent data before and after "summer vacation", respectively. Blue, dark-blue, red, and green represent data observed at 1200 dbar, 1300 dbar, 1400 dbar, and 1500 dbar, respectively.

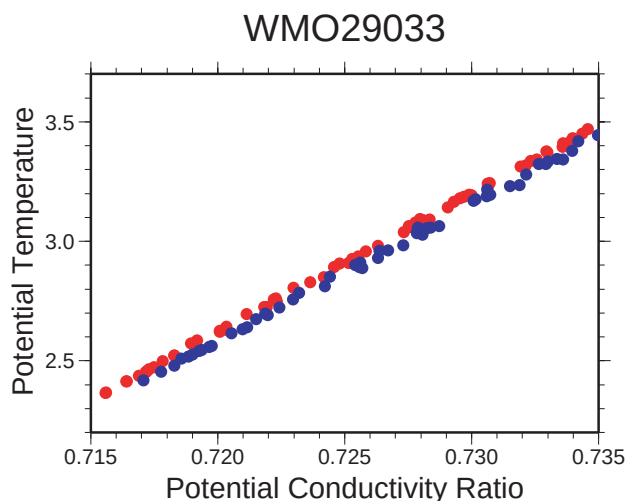


図6 WMO29033フロートデータのポテンシャル水温-ポテンシャル電気伝導度比関係。図4に同じ。

Fig. 6 Same as Fig. 4 but for potential conductivity ratio.

られる。しかし、各圧力下におけるポテンシャル水温-電気伝導度比関係の直線群は、同一直線に載っていないので、全体としては電気伝導度比ドリフトを識別することができない。つまり、電気伝導度比ドリフトを定量的に把握するためには、その圧力依存性を何らかの形で取り除かなければならないことが分かる。

2.2.3. ポテンシャル電気伝導度比の導入

電気伝導度比の圧力依存性を取り除くために、現場水温とポテンシャル水温の関係にならい、次のような量を導入する。ただし、ポテンシャル水温を θ で示す。

$$\theta = \text{theta}(S, T, P, \text{Pref}) \cdots \cdots (2)$$

$$R_\theta = \text{sal78}(S, \theta, \text{Pref}) \cdots \cdots (3)$$

R_θ は、水粒子を観測位置(圧力:P)から基準圧力(Pref)まで断熱的に移動させた場合の電気伝導度比の値であり、「ポテンシャル電気伝導度比」と呼ぶことにする。基準圧力 Pref は任意に取れるが、以下ではポテンシャル水温と同じように0 dbarに設定する。

「夏休み」前後における、 $\theta - R_\theta$ 関係の変化を示したものが図5cである。圧力の違いによらず、「夏休み」前後のデータ群は、それぞれ別の直線上に載っていることが分かる。その結果、「夏休み」後の電気伝導度比ドリフトを、定量的に把握することが可能となる。つまり、ポテンシャル電気伝導度比を導入することにより、原理的にはデータ修正を行うことが可能となる。なお、ポテンシャル電気伝導度比を用いて図4を描き直すと図6のようになる。

2.3. CTD観測のデータ修正法との違い

船舶によるCTD観測でデータの修正を行う場合、CTD観測と採水を同時に行うことによって、同一の圧力や水温値を用いることができる。そのため、CTDによる電気伝導度(比)の計測結果を、採水による塩分検定結果から逆算した電気伝導度(比)と比較する際に、圧力依存性や水温依存性を考慮する必要がなく、電気伝導度(比)の修正を行うだけでよい。

これに対し、アルゴデータの場合は、異なるプロファイルと比較することになり、同一圧力・水温という仮定が外れる。そのため、電気伝導度に対する圧力・水温の影響を補正しなければならない。ここで導入したポテンシャル電気伝導度(比)を用いた補正方法は、アルゴデータの修正に有効な手法の1つといえる。

3. 気候値データに基づいたアルゴデータの修正

WMO29033フロートは、2001年2月11日に27.498° N, 148.859° Eで通算18回目の観測を行い、データを送信してきた。このフロートに搭載されているセンサーの経時変化を明らかにする目的で、2001年2月17日にMR01-K01航海中の海洋地球観測船「みらい」によって、27.502° N, 148.086° E地点(WMO29033による観測から時間的に6日、空間的に約75キロ離れている)でCTD観測が行われた(図1参照)。そこで、1214_ABh海域(145-150° E, 25-27.5° N)における気候学データを用いて、WMO29033の18回目のアルゴデータの修正を行い、修正データを「みらい」CTD観測結果と比較する。これにより、データ修正手法のパフォーマンスを検討する。ただし、「みらい」CTD観測データにはあらかじめhalf-widthを10 dbarとしたGaussian filterをかけて、スパイク状の構造を取り除いている。

1214_ABh海域の気候学データにはWOCEのP10断面のCTDデータが含まれている(図1参照)。しかし、多くの海域にはWOCEデータのような大量の高精度データは存在しない。そこで、気候学データの品質が不十分(それでいて広大)な海域でも、満足のいく「修正」結果が得られるのか検討するために、WOCE-CTDデータを用いた場合と用いない場合の2通りについてデータ修正を行い、これら2つの修正結果を比較する。なお、同海域のHydroBase気候学データには、新しい時期のデータが比較的少なく、データの分解能から推測する限り、その品質はあまり高いとはいえない。

3.1. 修正作業手順

アルゴデータの修正は次のような手順に従って進める。

1. 1214_ABh海域における中・深層(800-2000 dbar)の気候学データをもとに、 $\theta - R_\theta$ 関係の気候学的な一次関係式を、最小2乗法を用いて計算する。800 dbarという変動の大きな層まで基準として利用するのは、ポテンシャル電気伝導度比のレンジを広げることによって、外挿される表層部分の修正精度を上げるためである。
2. 800 dbarより深層のアルゴデータのポテンシャル水温から、手順1で得られた気候学的一次関係式に基づいてポテンシャル電気伝導度比の「真値」(R_{θ_true})を推定する。
3. ポテンシャル電気伝導度比の観測値(R_{θ_obs})と「真値」

との一次関係式(つまり修正式)を、最小2乗法を用いて推定する。

$$R_{\theta_true} = a \times R_{\theta_obs} + b \dots\dots\dots (4)$$

現在のところ、修正式の傾き((4)式のa)の値を 1 ± 0.001 の範囲に制限することで、表層で非現実的な「修正」結果が得られることを防いでいる。将来的には、何らかの形でこの制約をはずすことを考えている。

4. 得られた修正式を使い、観測プロファイル全てのポテンシャル電気伝導度比データを修正する。その後、塩分に変換して修正値とする。

手順2および3において1回毎のプロファイルデータを用いると、一時的な変動により(4)の修正式が大きくばらつくことが考えられ、必ずしも良い修正結果が得られるとは限らない。そのため、ここでは15-19回のプロファイルデータを用いて(4)の修正式を求め、この結果に基づいて18回目のプロファイルデータを修正した。なお、この手順に沿ってWMO29033のデータに修正を加えていく様子を示したものが図7であり、図7aは手順1および2に、図7cは手順3に相当する。また図7bは、気候学データおよびアルゴデータのポテンシャル電気伝導度比が、手順1で得られた気候学的平均値からどの程度ずれているかを示している。

3.2. 修正結果および「みらい」CTD観測結果との比較

気候学データ(WOCE-CTDデータを含む)に基づいて、アルゴデータを修正した結果を図8に示す。プロファイル全体が低塩分側にシフトし、修正前に比べて気候学的平均値に近づいていることが分かる。また、「みらい」CTD観測結果と比べても、実際に修正をかける深層のみならず、外挿される密度躍層部分においても良く一致しており、十分に満足できる結果が得られたといえる。また、WOCE-CTDデータを使用せずに修正を行った場合(図9)でも、修正結果はCTD観測結果にほぼ一致している。

アルゴ観測の生データおよび修正データ(2ケース)の「みらい」CTD観測結果からの塩分偏差を図10に示した。CTD観測結果に比べて、生データが高塩分側に0.02-0.04 psu程度(平均0.029 psu, 標準偏差0.011 psu)ずれているのに対し、気候学データに基づいた修正を施した結果、表層の変動の激しい部分を除いて、0.01 psu程度の偏差にとどまることが分かる。また、「みらい」CTD観測結果からの塩分偏差の平均は、WOCE-CTDデータを含んだ気候値を用いた場合は 0.007 ± 0.010 psu, 含まない場合は 0.014 ± 0.016 psuとなった。

WMO29033による18回目の観測と「みらい」によるCTD観測は、時空間的に非常に近いとはいえ、同一の水塊構造を観測したわけではない。このことを考慮すれば、ここで用いている修正手法は十分に満足がいくものといえる。また、データの修正結果に対してWOCE-CTDデータの有無はあまり大きな影響を与えないことが示唆される。

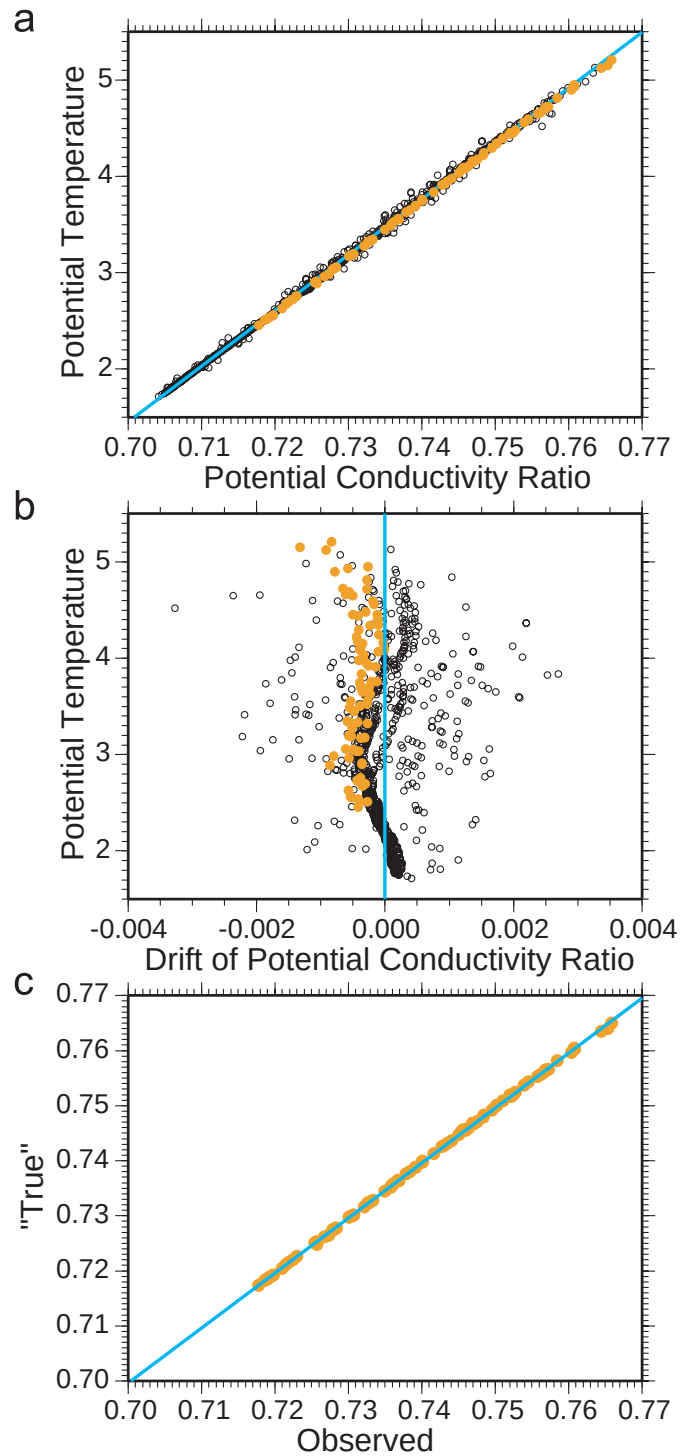


図7 気候学データ(黒)に基づいたアルゴデータ(黄)の修正法の例。(a) 気候学的なポテンシャル水温-ポテンシャル電気伝導度比関係の推定(青線)。(b) 推定された気候学関係からのポテンシャル電気伝導度比のずれ。(c) アルゴデータのポテンシャル電気伝導度比の修正式の推定(青線)。

Fig. 7 An example for correcting Argo data (yellow) based on the climatology (black). (a) Estimation of the local climatological relation of potential conductivity ratio and potential temperature (the blue line), (b) drift of potential conductivity ratio from the climatological relation, and (c) estimation of correcting-equation of potential conductivity ratio of Argo data (the blue line).

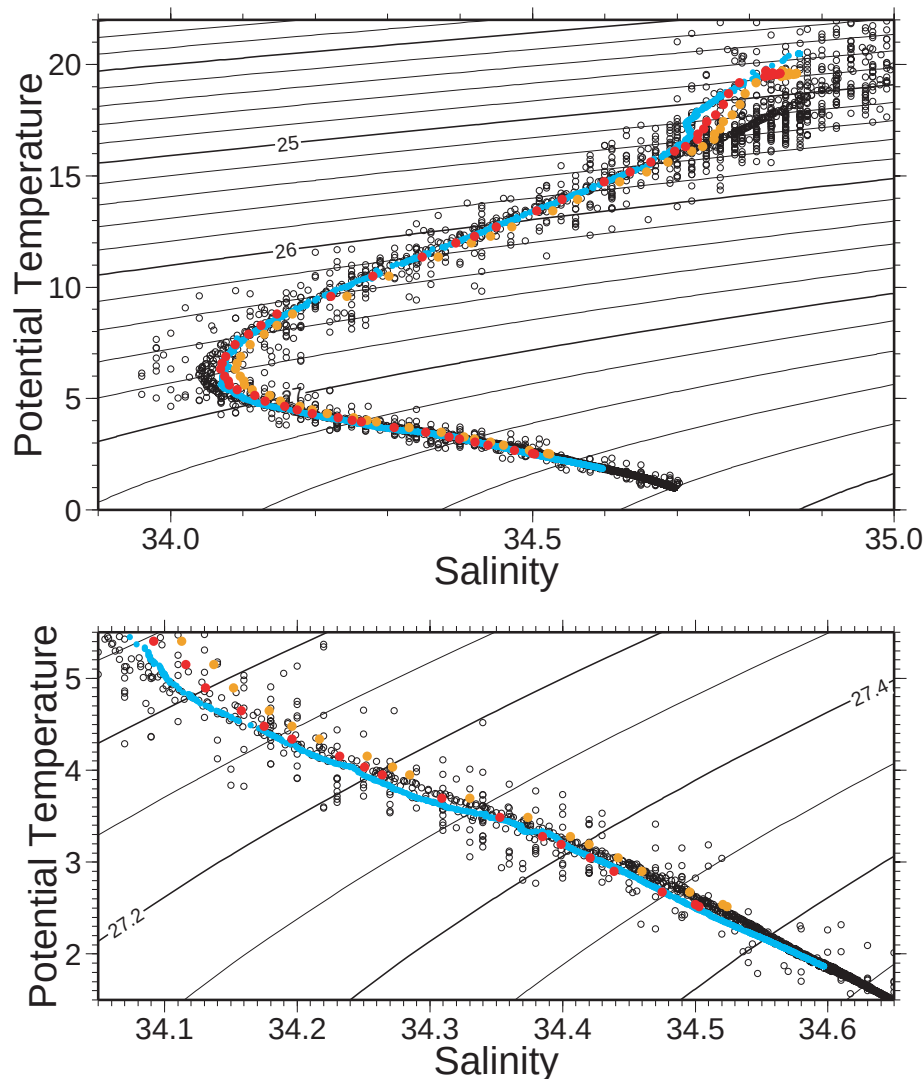


図8 気候学データ(黒:WOCE-CTDデータを含む)によって修正されたアルゴデータ(赤)。橙はアルゴ生データ、青は「みらい」によるCTD観測結果。

Fig. 8 Corrected Argo data (red) based on the climatology with WOCE-CTD data (black). Orange and blue circles represent the raw Argo data and CTD data observed by R/V Mirai, respectively.

4. まとめおよび今後の予定

気候学データに基づいて、アルゴデータに修正を施す方法を開発した。アルゴフロートによって実際に計測された電気伝導度に修正を加えることにより、アルゴデータを修正する。その際、異なる水温・圧力下で観測されたプロファイルデータを基準として用いるため、電気伝導度の圧力および水温依存性を取り除く必要があることが明らかとなった。そこで、ポテンシャル電気伝導度という保存量を導入することとし、これによりデータ修正が可能となることを示した。

修正したアルゴデータを、時空間的に近傍で行われた船舶によるCTD観測結果と比較した結果、十分に満足できる精度で修正が施されていることが明らかとなった。また、得られる修正結果は、気候学データの多寡や品質にあまり影

響されないことが示唆された。

アルゴ計画では、塩分精度を0.01 psu以下にすることを目標としているが、本稿で示したデータ修正方法を用いることにより、(少なくとも現状では)ほぼ満足できる修正結果を得ることができた。従って、今後もデータ修正法の改良を続けていくことにより、アルゴ計画における塩分精度に関する目標は到達可能であると予想される。

現在のところ、日本南方の亜熱帯域のデータのみを扱っているため、この修正手法が熱帯域や亜寒帯域、インド洋などの他海域でも通用するかどうかは確認されていない。しかし、北太平洋深層では、海域間の水質の差異は比較的小さいので、この手法は十分に適応可能であると考えられ、満足のいく修正結果を得られるものと期待される。

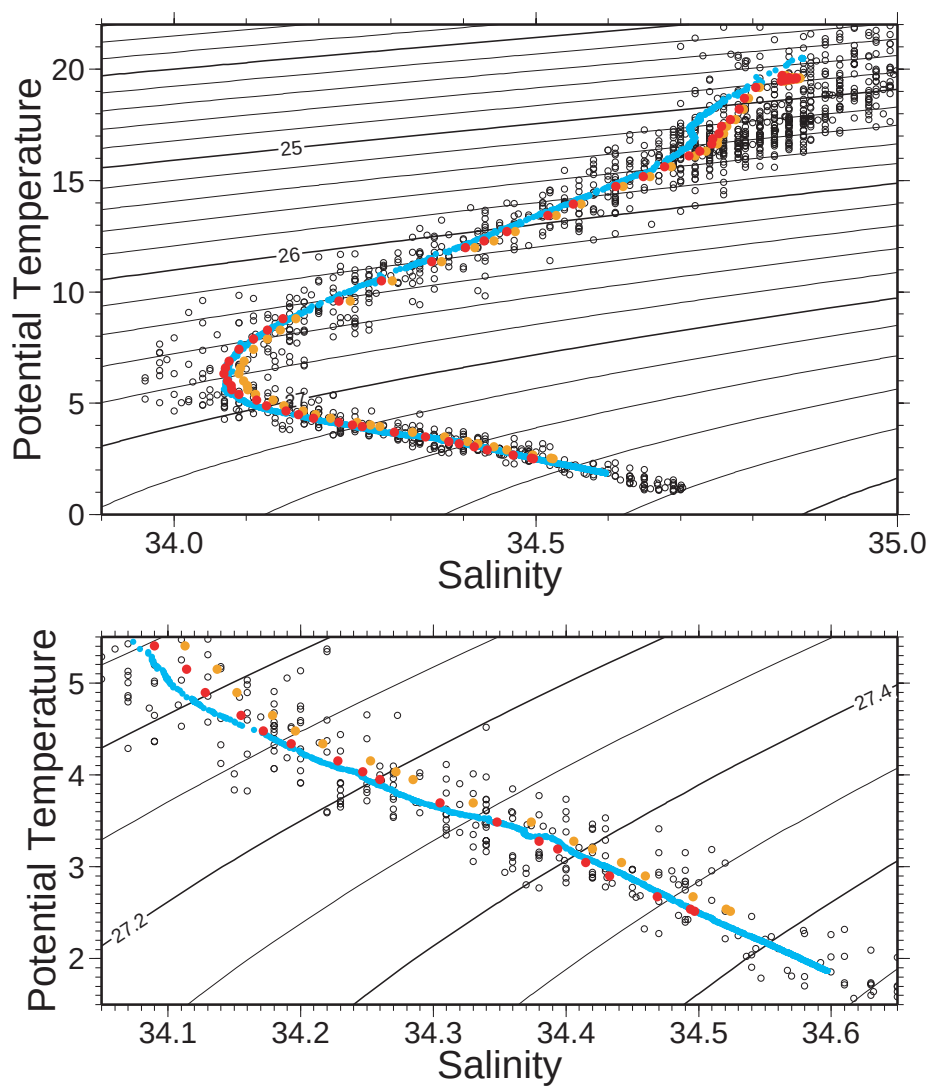


図9 気候学データ(黒:WOCE-CTDデータを含まず)によって修正されたアルゴデータ(赤)。図8に同じ。
Fig. 9 Same as Fig. 8 but for climatology without WOCE-CTD data.

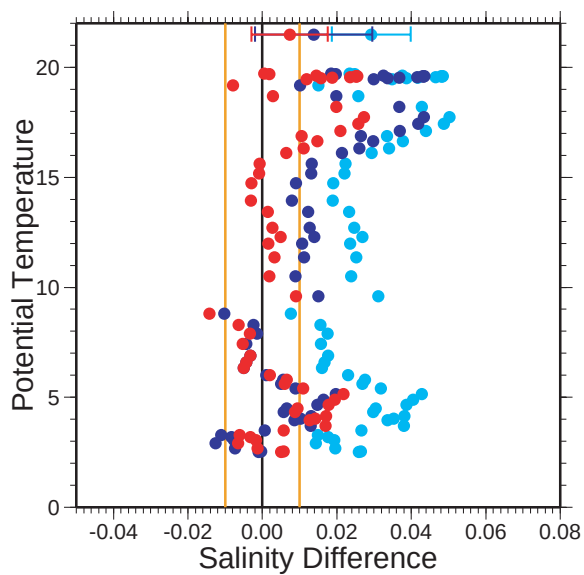


図10 「みらい」CTD観測結果からの塩分偏差。赤/濃青は気候学データ(WOCE-CTDデータを含む/含まず)に基づいた修正アルゴデータ。青は生データ。

Fig.10 Salinity difference from the CTD data observed by R/V Mirai. Red and dark-blue circles represent the corrected Argo data based on climatology with and without WOCE-CTD data, respectively. Blue circles represent raw Argo data.

謝辞

フロートの投入およびCTD観測を行っていただいた海洋地球観測船「みらい」の船長を始め、船員および乗船された研究員、マリンワークジャパンの観測技術員の方々に心から感謝いたします。また、G.C. Johnson博士との議論は有効でありました。

参考文献

- 1) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), "Salinity Calibration", <http://www.marine.csiro.au/~fen051/float/calibrate/salinity-calibration.html> (2001).
- 2) 伊澤堅志, 水野恵介, 宮崎基, 井上亜沙子, 安藤健太郎, 高槻靖, 小林大洋, 竹内謙介, "プロファイリングフロートの重量調整について", 海洋科学技術センター試験研究報告, 44, 181-196 (2001).
- 3) 小林大洋, 市川泰子, 高槻靖, 須賀利雄, 岩坂直人, 安藤健太郎, 水野恵介, 四竈信行, 竹内謙介, "高品質気候学データセット(HydroBase)を用いたアルゴデータの品質管理 I", 海洋科学技術センター試験研究報告, 44, 101-114 (2001).
- 4) 黒田芳史, 網谷泰孝, "トライトン: ENSO現象解明を目指す新しい海洋-気象観測ブイネットワーク", 海の研究, 10 (2), 157-172, (2001)
- 5) Macdonald, A. M., T. Suga, and R. G. Curry, "An isopycnally averaged North Pacific Climatology", J. Atmosph. and Oceanic Tech., 18 (3), 394-420 (2001).
- 6) 松本健寛, 長濱徹哉, 安藤健太郎, 植木巖, 黒田芳史, 高槻靖, "トライトンブイの水温・塩分(電気伝導度)センサーの経時変化と補正", 海洋科学技術センター試験研究報告, 44, 139-151 (2001)
- 7) Milland, R. C., and K. Yang, "CTD calibration and processing methods used at Woods Hole Oceanographic Institution", Tech. Rep., WHOI 93-44, 104pp (1993).
- 8) 水野恵介, "高度海洋監視システム(ARGO計画)構想について", 日本造船学会誌, 854, 485-490 (2000).
- 9) Riser, S. C., and D. D. Swift, "Long-term measurements of salinity from profiling floats", J. Atmosph. and Oceanic Tech., (2001, submitted).
- 10) UNESCO, "Algorithms for computation of fundamental properties of seawater", Tech. Pap. in Mar. Sci., 44, 53pp, (1983).
- 11) Wong, A. P. S., G. C. Johnson, and W. B. Owens, "Delayed-mode calibration of profiling float salinity data by historical hydrographic data", Integrated observing system V, Albuquerque, New Mexico (2001).

(原稿受理: 2001年7月31日)