

アルゴフロートデータを用いた最適内挿法による 日本南東海域の海況について

小林 大洋*¹ 細田 滋毅*² 須賀 利雄*¹
水野 恵介*² 四竈 信行*¹ 竹内 謙介*¹

アルゴフロートは約2000mまでの水温・塩分プロファイルを10日毎に定期的に測定するため、今まで困難であった海洋亜表層から中層にかけての比較的短期間の水温・塩分変動を捉えることができる。そのため、それまでは数値モデルを用いるほか無かった、表層から中層にかけての海洋変動について、観測データのみから客観的に調べる事が可能となる。これは海洋表・中層の変動の理解を深める上で非常に意義深い。このアルゴフロートによる観測データを用いて海況の客観解析を行うために、最適内挿法を用いた手法を開発した。対象海域はJAMSTEC/FORSGCが共同して展開・運用しているアルゴフロートが多数展開されている日本の南東域とし、2001年における水温・塩分分布を月毎に推定した。

アルゴフロートによる観測データとGTSに流通しているプロファイルデータを用いて、最適内挿法によって推定された10m深における水温アノマリは、衛星観測による同時期の海面水温アノマリとよく似た結果を示していた。従って本研究で用いた最適内挿法の結果は現実の海況をほぼ再現していると考えられる。

推定された海況データを用いて、2001年夏季の北太平洋亜熱帯モード水(NPSTMW)の状況を調べた。気候学的にNPSTMWのコアに相当する $25.3\sigma_\theta$ の等密度面の深度が、NPSTMWの分布領域でのみ気候値に比べて大幅に深くなっていた。個々の観測データを気候値と比較した結果、2001年夏季のNPSTMWは、気候学的にみて極めて高温で、比較的低塩であった。その結果、NPSTMWのコアの密度が低下して、 $25.3\sigma_\theta$ の等密度面がNPSTMWのコアからその底へと移動し、NPSTMW分布域での大きな深度変化が現れたと考えられる。

キーワード：アルゴ計画、最適内挿法、亜熱帯モード水、気候変動

Ocean conditions around southeast off Japan estimated by the Argo data with optimum interpolation method

Taiyo KOBAYASHI*³ Shigeki HOSODA*⁴ Toshio SUGA*³
Keisuke MIZUNO*⁴ Nobuyuki SHIKAMA*³ Kensuke TAKEUCHI*³

Argo floats measure temperature and salinity profiles above about 2000m depth every ten days. They have become able to observe short-term variations of temperature and salinity in the upper and middle ocean, which have been estimated only with numerical models in the past. This is very important for understanding of mechanisms of variations in the upper/middle layers in the ocean. For mapping of ocean situations based on measurements with the Argo floats, we developed a objective analysis method using optimum interpolation (OI). The region of the analyses is southeast off Japan in the pacific, where a lot of Argo floats are deployed and operated by JAMSTEC/FORSGC, and monthly mean distributions of temperature and salinity are estimated in 2001.

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

*4 Ocean Observation and Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

The hydrographic data used for the objective analyses are profiles measured by the Argo floats and ones with both temperature and salinity from a database of the Global Telecommunication System (GTS). The analyses are good through the result of comparison of the estimated temperature anomalies at 10m with sea surface temperature (SST) anomalies by Reynolds SST including satellite data. This result indicates that it is enough to analyze phenomena in the ocean.

We examined the features of the North Pacific Subtropical Mode Water (NPSTMW) in 2001 summer from the estimated ocean situations. Depth of the 25.3sigma_theta isopycnal surface, which corresponds to climatological core of the NPSTMW, becomes much deeper than that of the climatology around the region of the NPSTMW only. And the NPSTMW in the 2001 summer is fairly warmer and relatively fresher than that of the climatology; this means that the density of the core is decreased. Therefore, the large shift of the isopycnal surface depth (25.3sigma_theta) from the core of the NPSTMW to the bottom of it is caused.

Keywords : Argo project, Optimum Interpolation, North Pacific Subtropical Mode Water, Climate Change

1. はじめに

2000年4月に開始された日本アルゴ計画は、2001年度前半でフロートの試験展開フェーズを終了し、2001年度後半から本格展開フェーズに移行した。フロートの展開はおおむね順調に進み、2002年3月末現在JAMSTEC/FORSGCは共同して約55機のアルゴフロートを運用している。取得されたデータの品質であるが、PROVOR型フロートに0.02psu程度の塩分オフセットが発見された(四竈他, 2002))が、それ以外はおおむねアルゴ計画で要求されている水準を満足していると考えている。

図1は、2000年4月から2002年3月末までの2年間に行われたアルゴフロートによる観測の位置の分布を示したものである。比較のため、1970年1年間(年間の観測数は1965-1972年頃に最大となる)に日本の観測船によって行わ

れた塩分観測を伴う観測点の位置の分布を示している。JAMSTEC/FORSGCが運用するフロートによる総観測点数は800点余で、船舶観測(約7200)に比べて少ない。(ある研究機関の一部署が行った観測点数としては極めて多いことは言うまでもない)。これは大半のフロートが2002年1月以降に投入され稼働期間が短いためであり、現在運用中のフロートが1年間稼働した場合には、約2000点のデータが得られることになる。

データの分布状況を見ると、観測船による海洋観測が日本周辺に集中し、沖合での観測は気象庁や海上保安庁の定線に限られている。これに対し、フロートによる観測では、日本南東沖で多数のデータが取得されているほか、かなり遠方の海域でも数多くの観測が行われていることが注目される。つまり、アルゴ計画により、従来の観測船では困難な遠

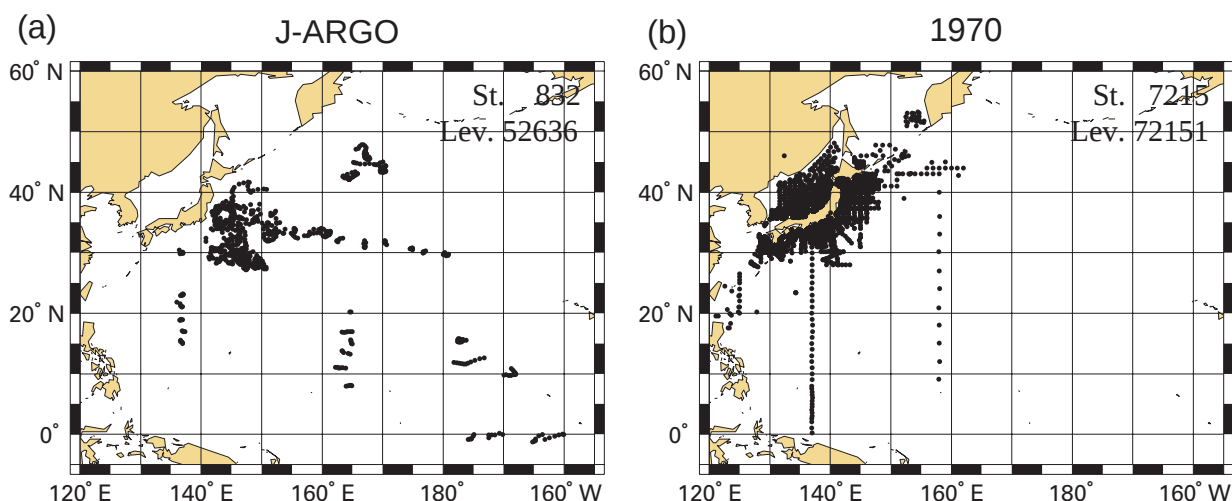


図1 水温・塩分の同時観測が行われた観測点の分布。(a) 2000年4月から2002年3月末までに行われたJAMSTEC/FORSGCのアルゴフロートによる観測。(b) 1970年に日本船によって行われた観測 (HydroBaseに収録されている生データより)

Fig. 1 The horizontal distributions of the stations that have temperature and salinity data. (a) Observations by the Argo floats of JAMSTEC/FORSGC during 2000 April to March 2002. (b) Observations by the Japan ships in 1970 (selected from the raw data of HydroBase).

方海域での継続的な観測が実現できていることがよく分かる。また、観測層数についても同様の集計を行ったが、アルゴフロートによる観測の鉛直密度は、従来の標準層のみの観測等と比べて、非常に高いことが分かる。

日本南東沖は、日本アルゴ計画の開始時の2000年3月からフロートの展開が始まり、2001年3月末までに計17機フロートを投入された。2002年3月末現在では、マシントラブル等により消息不明となった4機と通常オペレーション中に回収された1機(岡他, 2002)を除く、12機が順調に観測を続けている。これらのフロートにより得られたデータを用いて、2001年3月から12月にかけての月毎の日本周辺海域の海況について、最適内挿法による推定を行った。

また、この海域には北太平洋亜熱帯モード水 (North Pacific Subtropical Mode Water, NPSTMW) が広く分布している。NPSTMWは、黒潮統流南方域に広く分布する、水温約16-19℃、塩分は約34.8psuの鉛直的に極めて様な特性を持つ水塊である。この水塊は黒潮反流域において冬季の冷却によって形成されたと考えられている。

最適内挿法によって推定された日本近海の海況データを用いて、2001年夏季の日本近海の海況、とくにNPSTMWの状況について解析した。

2. データ

最適内挿法による解析に用いたアルゴフロートは、JAMSTEC/FORSGCで運用されているものであり、そのデータはJAMSTECのデータベースから取得したものである。また、アルゴフロートの有無によって描かれる海況図がどの程度異なるかを調べるために、GTS(Global Telecommunications System)で流通しているデータを利用し、このデータのみを用いた場合の海況図も作成し比較を行った。このGTSのデータの中にはCTD, XBT, TRITON/TAOブイ等で観測されたデータの他に、アルゴフロートのデータも含まれている。そこで、GTSのデータからアルゴデータを除いたもの(ここではこれをGTSによるデータとする)と、GTSとアルゴデータを含んだものとの2種類のデータセットを準備した。なお、GTSデータは、塩分も測定されていて表層から400m以深までデータが存在するプロファイルのみ用いた。また、GTSのデータは限られた海域に非常に密に存在する傾向があったため、内挿処理に不具合を生じさせないために、1°毎の代表値を決め、各々の格子内で1つのみデータが存在するようにした。

今回の計算領域は、緯度19.5°Nから40.5°N、経度134.5°Eから175.5°E、深さ400mにかけての、日本が投入したアルゴフロートが多く存在する日本の東海上である。解析期間は2001年3月から12月であるが、1ヶ月間に得られたデータから、月ごとに1度格子の海況分布の再現を試み、今回はその一部の期間についての解析結果を示す。

3. 最適内挿法

3.1. 手法

本研究では、海況をより客観的な手法を用い、なおかつ

現実的に再現するために、最適内挿法 (Optimum Interpolation method)を用いた。この手法は、データに比較的簡単な統計処理によって客観的な海況分布図が描画できる方法として、広く用いられているものである。特に、アルゴフロートのような、多数のデータが殆ど無秩序に離散している状況では、この手法は非常に役立つものと考えられる。

最適内挿法について記述した文献は今までにいくつか書かれているが(例えば水野, 1995)、最適内挿法の基本的な概念は、「総観的な海況の統計的性質と、格子点周辺での観測値から、統計的に最も妥当な値を推定する」というものであり、観測データの気候値からの偏差に対して、変動の場の相関関数を既知のものとし、格子点周辺の観測データの一次線形結合によって、格子点での最も誤差の小さい推定値を求めようとする方法である。ここで、最適内挿法の流れについて簡単に述べる(詳細是水野, 1995)。ある観測点*i*で得られる観測値の気候値からの偏差を $\hat{T}_i$ とする。この観測された偏差には、真の偏差(シグナル) T_i と、誤差(ノイズ) ε_i とに分割することが出来る。従って、

$$\hat{T}_i = T_i + \varepsilon_i \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

と表すことが出来る。ただし、 ε_i はホワイトノイズとする。

ある格子点0における推定値(偏差) T_0 を、その周辺の観測値の重み付き平均で推定すると、

$$T_0 = \sum_{i=1}^n \hat{T}_i P_i + I_0 \quad \cdots \cdots \cdots (2)$$

ここで、 P_i は各観測点*i*の重み、 I_0 は内挿誤差である。これを変形すると、

$$I_0 = T_0 - \sum_{i=1}^n (T_i + \varepsilon_i) P_i \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

さらに、

$$I_0^2 = T_0^2 - 2 \sum_{i=1}^n (T_0 T_i + T_0 \varepsilon_i) P_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (T_i + \varepsilon_i) (T_j + \varepsilon_j) P_i P_j \quad \cdots \cdots \cdots (4)$$

という、各格子点における内挿誤差を求める式が求められる。格子点、観測点共に数多くあることを考えて、この式にアンサンブル平均を施すと、

$$\begin{aligned} \langle T_0 \varepsilon_i \rangle &= 0 \\ \langle T_i \varepsilon_i \rangle &= 0 \end{aligned} \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

が成立するが、これは、真値とノイズは無相関であるという仮定に基づくものである。なお、 $\langle \rangle$ はアンサンブル平均を意味する。また、ノイズ同士は互いに無相関であること、ノイズの2乗平均は空間的に一様で σ_ε とすると

$$\begin{aligned} \langle \varepsilon_i \varepsilon_j \rangle &= 0 \quad (i \neq j) \\ \langle \varepsilon_i \varepsilon_j \rangle &= \sigma_\varepsilon \quad (i = j) \end{aligned} \quad \cdots \cdots \cdots (6)$$

となる。すると、内挿誤差の2乗に対するアンサンブル平均

E^2 は、格子点上のシグナルの分散を空間的に一様に σ_0^2 であったとすると、

$$E^2 = \sigma_0^2 - 2 \sum_{i=1}^n P_i \langle T_i T_0 \rangle + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \langle T_i T_j \rangle P_i P_j + \sum_{i=1}^n P_i^2 \sigma_e^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

とかける。これは内挿誤差の分散を表しているもので、これが最小になるような重みを決定してやればよいということになる。 E^2 が最小になるための必要条件は、

$$\frac{\partial E^2}{\partial P_i} = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

である。そこでこの条件を当てはめて整理すると、

$$\sum_{j=1}^n \langle T_i T_j \rangle P_j + P_i \sigma_e^2 = \langle T_0 T_i \rangle \quad \dots\dots\dots (9)$$

のような一次線形結合関係が得られる。さらに展開して、

$$\begin{bmatrix} \langle T_1^2 \rangle + \sigma_e^2 & \langle T_1 T_2 \rangle & \dots & \langle T_1 T_n \rangle \\ \langle T_2 T_1 \rangle & \langle T_2^2 \rangle + \sigma_e^2 & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ \langle T_n T_1 \rangle & \dots & \dots & \langle T_n^2 \rangle + \sigma_e^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle T_0 T_1 \rangle \\ \langle T_0 T_2 \rangle \\ \vdots \\ \langle T_0 T_n \rangle \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (10)$$

となり、これはちょうど行列式 $Ax = b$ という形になっている。ここで、 A は対称行列であり、逆行列を A^{-1} としてやると、内挿誤差を最小とする重みは $x = A^{-1} b$ で求めることが出来る。なお、求められた内挿誤差を評価するための式が

$$E^2 = \sigma_0^2 - \sum_{i=1}^n P_i \langle T_i T_0 \rangle \quad \dots\dots\dots (11)$$

となる。

さて、以上の様な方法で最適内挿法を用いて推定値 T_0 に対する各観測点の観測値の重み P_i を実際に計算するためには、

- ・ 気候値からの偏差 (T_i)
- ・ シグナルの分散 (σ_0^2)
- ・ シグナル同士の相関係数 ($\langle T_i T_j \rangle, \langle T_i T_0 \rangle$)
- ・ 誤差分散 (σ_e^2)

を求めておく必要がある。

気候値は、ここでは月ごとの気候値にWOA98 (World Ocean Atlas 98)の月平均水温、塩分データを採用し、この値から偏差 T_i の計算を行っている。なお、WOA98の気候値もこの解析同様1度格子のデータとなっているが、観測点が格子点上に無い場合、最も近い格子点での値をその観測点での気候値として用いている。

シグナルの分散 σ_0^2 は、本来であれば各格子、各観測点での時系列がわかれば、各々のデータに対する分散値を求めることが出来るが、それほど時空間的に密でない現状の観

測データを用いる場合には困難な作業となる。そこで、最適内挿法を用いる際には、ある程度広範囲に区切った海域でのシグナルの分散を求めるという方法が一般的である。ここでは、解析海域が比較的狭いため、簡単のために解析海域でのシグナルの分散は空間的に一様と仮定し、その月に得られた観測データ全ての偏差について2乗し、その平均を解析海域のシグナルの分散とした。例えば、7月の解析では観測点79点 (ARGO, GTSを含む)に対して、10mの深さにおいて水温の分散が1.663、塩分が0.289となった。なお、この値は月によって若干変動していた。

観測点間、あるいは観測点と推定点間同士のシグナルの相関は、距離が離れるにつれて小さくなる傾向にある。最適内挿法では、過去の観測データなどから時間的なずれに対する自己相関を求め、そこからある自己回帰モデル (関数) を仮定してシグナル同士の相関係数を求めている。このモデルには、一般的には指数関数的に減衰する (一次自己回帰モデル) という型が用いられるが、ガウス分布や、二次自己回帰モデルを用いた研究もある。これについては、用いる海域や見たい現象スケールによって異なるが、ここでは相関が距離に対して指数関数的に小さくなるモデルを用いている。どの程度距離に応じて減衰するか (影響半径) を決めるために、e-folding scaleを各深さ、海域によって規定しておく必要があるが、本報告では、White (1995) による影響半径の値を参考にして用いている。これは、XBT等のデータから、世界の3大大洋 (太平洋、大西洋、インド洋) における緯度、経度方向それぞれの影響半径について、0m, 200m, 400mの深さについて求めている。ここではその分布からさらに緯度10° 毎に各大洋で東西平均したものを用いているが、今回解析している北太平洋中緯度域ではおおそ緯度方向で4° から8°、経度方向で8° から15° 程度である (彼らは時間方向に対しても値を求めているが、今回は用いていない)。

誤差分散に関しても、彼らは影響半径と同様に各海域でのS/N比も求めており、ここではその値を用いている。北太平洋中緯度域ではおおそS/N=1.0であった。なお、今回の解析では、各緯度でこれらの数値にギャップが生じないように、平均化操作を施している。

3.2. 海面水温からみるパフォーマンス

実際に最適内挿法で計算された海況が現実 に即したものであるかどうかを調べるために、観測値との比較を行った。ただし、海洋内部の水温分布について月ごとの現実の値を知ることは非常に困難であるので、ここでは一例としてNCEPの月ごとのRSST (Reynolds Sea Surface Temperature)を用いて、最適内挿法で求められた7月における表層10mでの水温との比較によってその検証を行った。RSSTは、衛星データ等の空間的に密な水温データを用いているため、比較的現実的な海面水温を捉えていると考えられる。

まず、ARGOおよびGTSのデータが日本近海でどの程度分布しているかを知るために、7月における (a) ARGOとGTSによって得られたデータマップ、 (b) GTSのみのデータマップを図2に示した。これによると、 (b) と比較して、 (a) ではアル

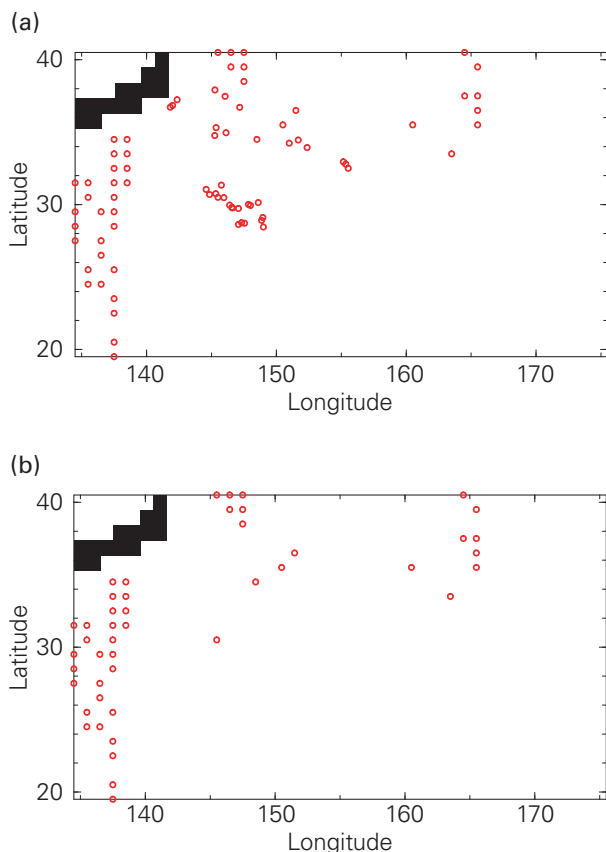


図2 7月におけるARGOとGTSデータ (a) 及びGTSデータの分布。
Fig. 2 Maps of observed data distributions from (a) ARGO and GTS and (b) GTS only.

ゴフロートによって日本の東海上から南東海上のデータ点数が多くなっており、この付近でのアルゴフロートの存在による効果が期待できる。

図3は、7月における最適内挿法による10mの水温 (a, c) とその偏差 (b, d), NCEPの月平均RSST (e, f) を比較したものである。図2a, bおよびc, dはそれぞれアルゴフロートデータとGTSデータによる分布、GTSデータのみによる分布である。まず、RSSTと全ての最適内挿法を用いた結果とを比較すると、日本の東方から南方にかけての高温偏差、155°E付近の低温偏差、165°E付近の高温偏差など、全体的なパターンとしてRSST (a) と最適内挿法による水温 (b) では良くあっている。周辺部分などでは一部あっていないところもあるが、これはデータ点数の不足、SSTと10m水温を比較していることによるものと考えられる。また、アルゴフロートデータを含んだ水温分布の方が明らかにGTSデータのみによる水温分布よりもRSSTによるSST分布と傾向が良くあっている。特に、日本の東海上の高温偏差や、日本の南東海上の高温偏差についてはアルゴフロートのデータを用いた方が海況が良く再現されている。もちろん、これは当然の解析結果ではあるものの、今後CTD等が行われていなかったような海域にもアルゴフロートが投入され、データを随時送信し続ける状況になれば、より海況の再現性の向上が期待できることを示してい

る。なお、他の月の解析結果についてもほぼ同様の傾向であった。このことから、現状でも定性的に海況を議論できる程度のデータセットが作成可能であると考えられる。

アルゴフロートは温度および塩分データを取得できるので、原理的には温度と塩分に関する海況図を描くことが可能である。しかし、塩分に関する影響半径と誤差分散の2つのパラメータについてはまだ十分わかっていない。そこで、紹介程度にとどまるものの塩分に関しても同様に温度のパラメータを用いて海況図を描くことを試みた。図4は、水温と同じ影響半径とS/N比を与えて最適内挿法を施した10mにおける塩分分布 (a) とその偏差 (b) を求めたものである。これについて、その精度などを議論することは現状では困難であるが、今後データの蓄積が進み、塩分データが十分な数になれば、現実との比較も可能となり、塩分に関する海況分布図が十分な精度を持って描くことが出来ると期待される。

4. NPSTMWについての解析

気候学的にみて、NPSTMWのコアの密度は $25.2\text{--}25.4\sigma_\theta$ 程度である。そこで、図5には $25.3\sigma_\theta$ 等密度面の分布深度および等密度面上の水温および塩分分布を示した。また、NPSTMWの指標として、16–19℃の水柱の厚さの分布を併せて示している。

NPSTMWは日本南岸の30°N145°E付近を中心に、ほぼ逆C字型に分布している。NPSTMWの分布域は、水温約17–17.2℃、塩分34.7–34.8psuのほぼ様な領域が広がっている。この領域は、気候値に比べてわずかながら低温(–0.1℃)・低塩(–0.04psu)である。最も特徴的なのは、等密度面の分布深度がNPSTMWの分布海域のみで50m程度以上と大きく深くなっていることである。そこで、この深度アノマリの最大となっている28–30°N, 146–149°E周辺海域を重点的に調べる。

図6に、この海域で行われた2001年8月のアルゴフロートによる観測結果と、同海域の歴史データを示した。2001年8月におけるNPSTMWに相当する水温一様部分は、気候値に比べて極めて高温であることが分かる。塩分は低めの値を示しているが、海洋変動の範囲内にあるといつて良い。この高温・低塩化の結果、NPSTMWの密度は軽くなり、気候学的にみてそのコアに存在していた $25.3\sigma_\theta$ 等密度面は、その底部に移動した。そのため、NPSTMWの分布域でのみ、密度面の深度が深くなったと考えられる。

花輪ら(2000)やHanawa and Kamada (2001)は、歴史的データを用いて、NPSTMWのコア水温の時間変化について解析している。彼らによれば、近年のNPSTMWのコア水温は、ここ数十年の間で最も高温な状態にあるとされる。アルゴフロートによる観測結果も、彼らの結論を支持しているといえる。

5. まとめと今後の予定

比較的多数のアルゴフロートが展開されている日本南東域の海況を、最適内挿法を用いて推定した。使用したデータは、JAMSTEC/FORSGCが共同して運用しているアルゴフロートによる観測データおよびGTSに流通している塩分観測

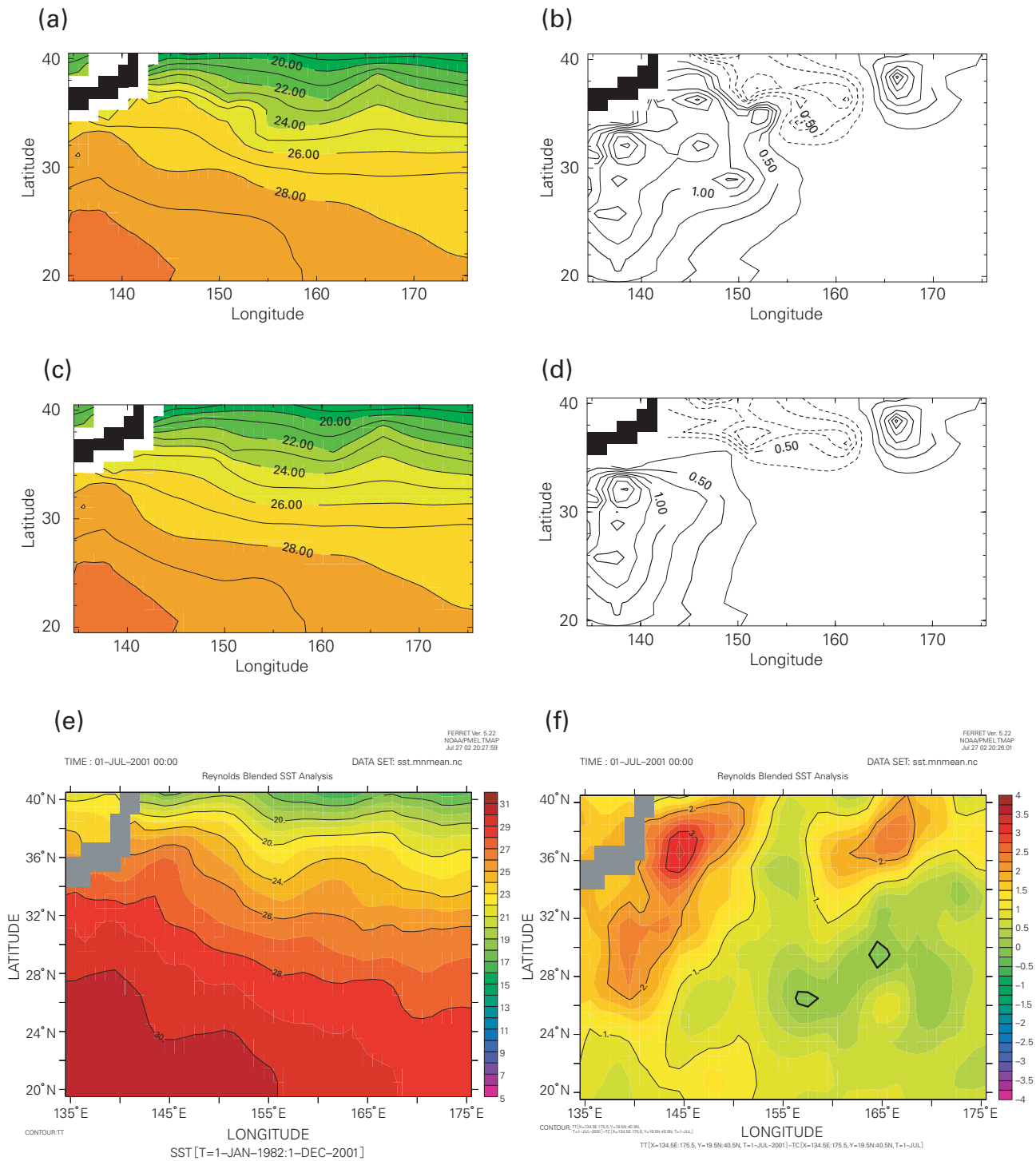


図3 7月における最適内挿法による10mにおける水温分布。(a)アルゴフロートおよびGTSのデータを用いた水温分布、(b) 月平均気候値からの偏差、(c) GTSデータのみを用いた水温分布、(d) 気候値からの偏差。(e) NCEPのRSSTによる水温分布、(f) 気候値からの偏差。

Fig. 3 Temperature field in July 2001 at 10m with Optimal Interpolation method. Temperature field (a) and its anomaly (b) using ARGO and GTS data, temperature field (c) and its anomaly (d) using GTS data only. Mean SST field (e) in July 2001 by the NCEP RSST and its anomaly (f).

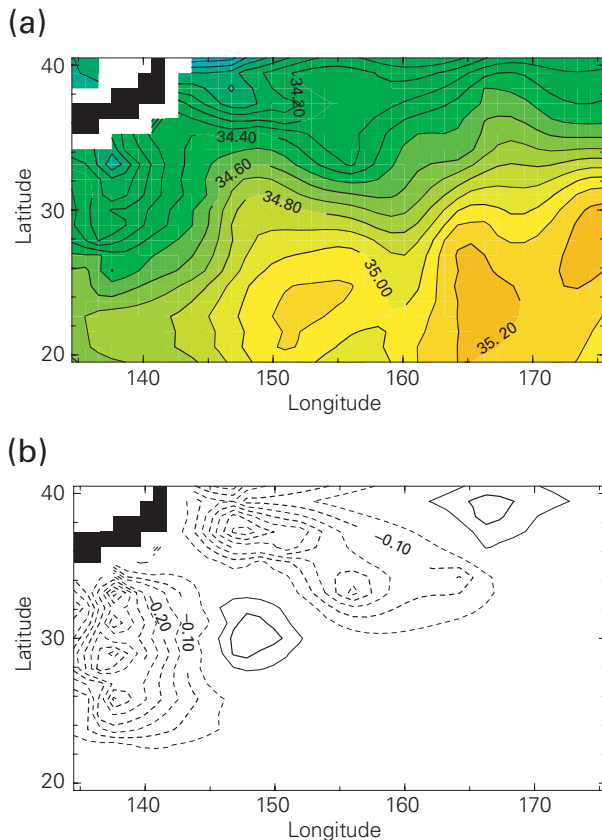


図4 同月の10mでのアルゴフロートとGTSデータを用いた最適内挿法による表面塩分分布(a)と気候値(WOA98)からの偏差(b)。単位はpsu。
Fig. 4 Salinity filed in July 2001 at 10m with Optimal Interpolation method (a) and its anomaly (b). Unit is psu.

を伴うプロファイルデータである。推定された10m深における水温アノマリは、衛星観測による同時期の海面水温アノマリとよく似た結果を示しており、最適内挿法の結果は現実の海況をほぼ再現していると考えられる。

推定された海況データを用いて、2001年夏季のNPSTMWの状況を調べた。気候学的にNPSTMWのコアに相当する $25.3\sigma_\theta$ の等密度面の深度が、NPSTMWの分布領域でのみ気候値に比べて大幅に深くなっていた。個々の観測データを気候値と比較した結果、2001年夏季のNPSTMWは、気候学的にみて極めて高温で、比較的低塩であった。その結果、NPSTMWのコアの密度が低下して、 $25.3\sigma_\theta$ の等密度面がNPSTMWのコアからその底へと移動し、NPSTMW分布域での大きな深度変化が現れたと考えられる。

最適内挿法による海況の推定は、フロートが比較的密に展開されている日本南東域のみで行った。将来的にフロートの展開が進んで、観測データが空間的に密に取得されるようになれば、解析対象海域を広げることも可能となる(現在で

も対象海域の拡大は原理的には可能だが、実行する意味はあまりない)。また、本報告で示した水温・塩分の推定分布から2000dbar以浅の地衡流場を推定することが可能である。ARGOS衛星によって測定されるフロートの移動状況からは、滞在深度(およそ2000dbar)における流速を推定することができる(市川他, 2001)。この両者を組み合わせることにより、2000dbar以浅における「絶対地衡流場」を推定することが可能となる。解決すべき課題は多いが、将来的にはこのようなプロダクトを恒常的に提供することを計画中である。

謝辞

GTS流通データの取得は、高槻靖氏(日本海洋科学技術センター海洋観測研究部、現気象庁)により作成されたシステムを利用し、その利用については市川泰子さん(地球観測フロンティア研究システム)の指導を受けた。また、本報告の校正については宮崎基氏(地球観測フロンティア研究システム)の協力を得た。心より感謝する。

引用文献

- 1) Hanawa, K., and J. Kamada, "Variability of core layer temperature (CLT) of the North Pacific Subtropical Mode Water", *Geophys. Res. Lett.*, 28 (11), 2229-2232 (2001).
- 2) 市川泰子, 高槻靖, 水野恵介, 四竈信行, 竹内謙介, "アルゴフロートの滞在深度における流速とその誤差の見積もり", 海洋科学技術センター試験研究報告, 44, 81-89 (2001).
- 3) 花輪公雄, 木津昭一, 上原裕樹, 菊池史, 安中さやか, 吉川泰司, "北太平洋亜熱帯モード水の近年の昇温について", 2000年度日本海洋学会秋季大会要旨集, 講演番号101 (2000).
- 4) 水野恵介, "大洋規模の海峡解析と最適内挿法", 海の研究, 4 (3), 187-208 (1995).
- 5) 岡英太郎, 伊澤堅志, 井上亜沙子, 安藤健太郎, 四竈信行, 水野恵介, 末広孝吉, 竹内謙介, "Argoフロートの回収は可能か?", 海洋科学技術センター試験研究報告, 46, 147-155 (2002).
- 6) 四竈信行, 岡英太郎, 小林大洋, 竹内謙介, 岩坂直人, 須賀利雄, 宮崎基, 楊 燦守, 加藤尚子, 中島宏幸, 大平剛, 水野恵介, 安藤健太郎, 湊信也, 伊澤堅志, 細田滋毅, 井上亜沙子, "ARGOフロートの展開およびPROVORフロートの性能評価", 2002年度日本海洋学会秋季大会要旨集, 講演番号119 (2002).
- 7) White, W. B., "Design of a global observing system for gyre-scale upper ocean temperature variability", *Prog. Oceanogr.*, 36, 169-217 (1995).

(原稿受理: 2002年8月5日)

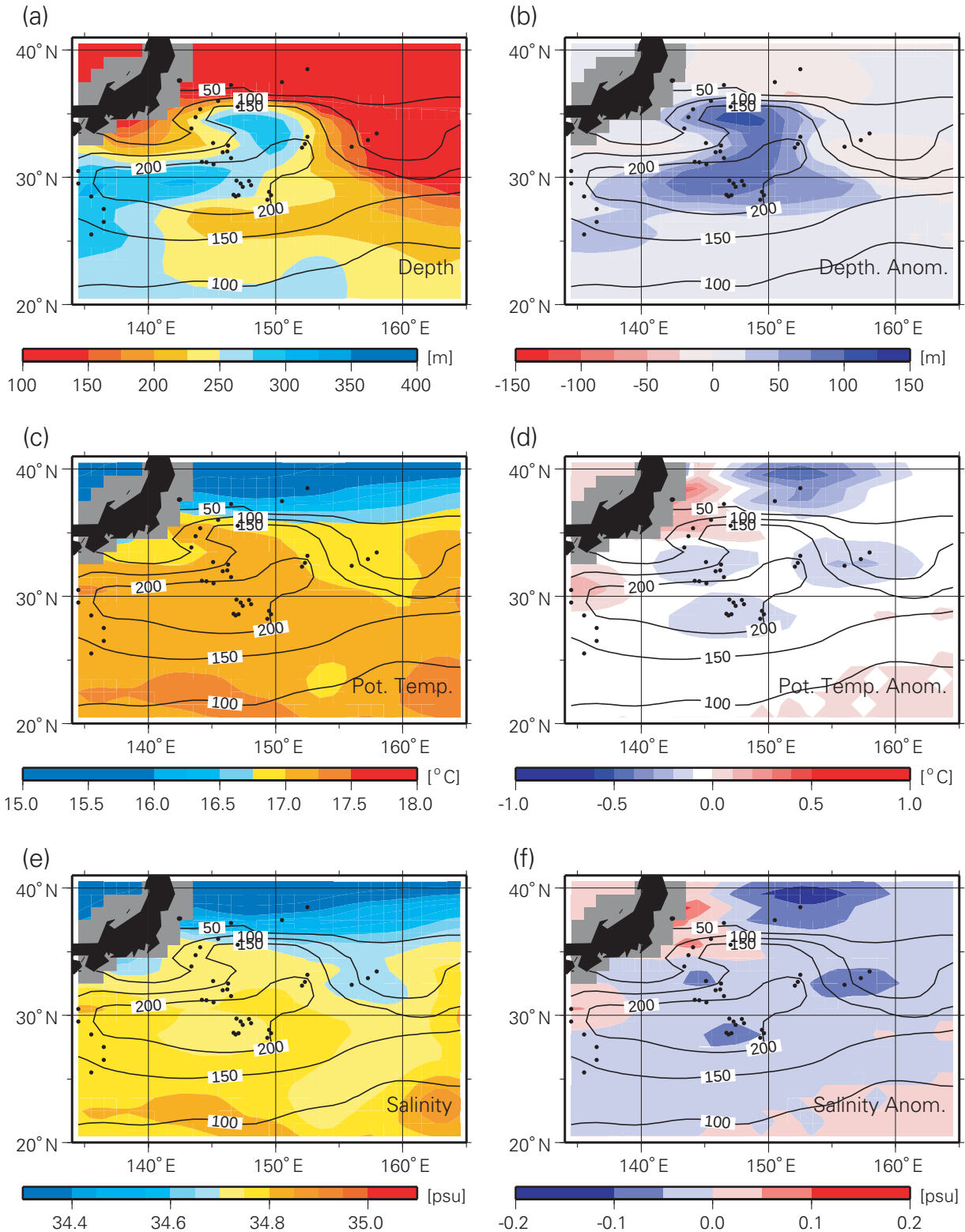


図5 最適内挿法により推定された日本南東海域の2001年8月における $25.3 \sigma_\theta$ 等密度面上の水塊特性の分布。(a)等密度面の深度分布および(b)その気候値(WOA98)からの偏差,(c)ポテンシャル水温および(d)その気候値からの偏差,(e)塩分および(f)その気候値からの偏差。また、等値線は16-19℃の水柱の厚さ(単位:m)の分布を示す。

Fig. 5 The horizontal distributions of the water properties estimated by the optimum interpolation on $25.3 \sigma_\theta$ isopycnal surface in 2001 August southeast off Japan. (a) Depth of the isopycnal surface, and (b) its anomaly from the local climatology (WOA98), (c) potential temperature and (d) its anomaly, and (e) salinity and (f) its anomaly, respectively. The contours indicate the distribution of the layer thickness of 16-19°C water (unit is m).

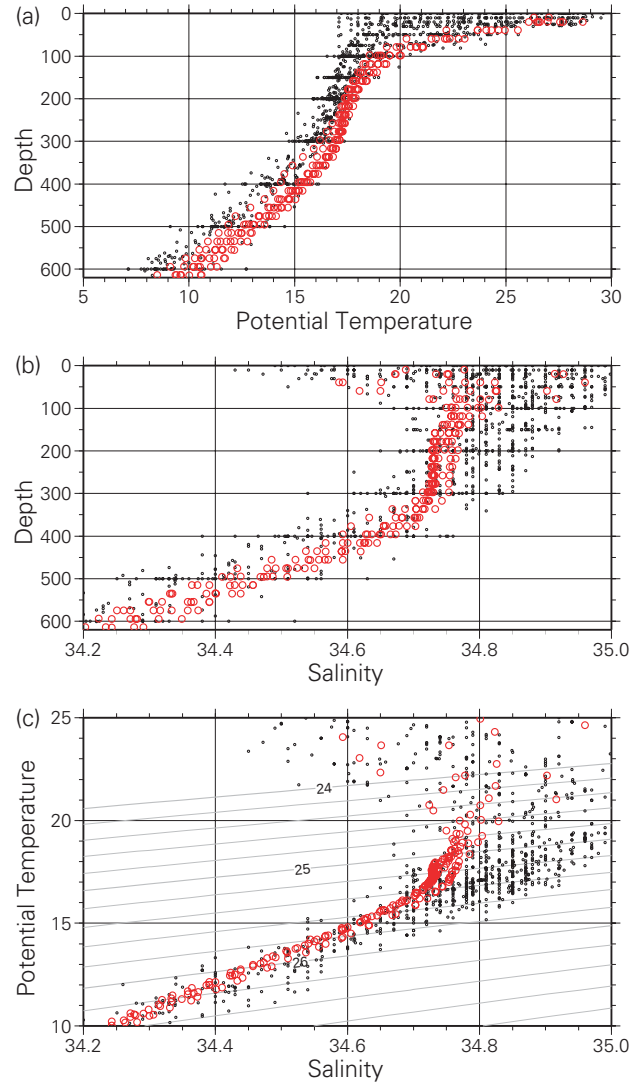


図6 28-30°N146-149°Eにおける(a)ポテンシャル水温, (b)塩分の鉛直分布および(c)T-Sダイアグラム。赤は2001年8月のアルゴフロートによる観測結果を, 黒はHydroBaseに格納されている歴史的データを示す。

Fig. 6 Vertical structures of (a) potential temperature and (b) salinity, and (c) T-S diagram in the region of 28-30°N and 146-149°E. The red circles indicate the observations by Argo floats in 2001 August, and the black dots indicate the historical data in HydroBase.