

インド洋高品質気候学データセット (Indian HydroBase)

小林 大洋^{*1} 中島 宏幸^{*2} 須賀 利雄^{*1}
水野 恵介^{*3} 四竈 信行^{*1} 竹内 謙介^{*1}

既存の生データセットにMacdonald et al. (2001)に準じた品質管理を施して、インド洋海域の高品質気候学データセット(Indian HydroBase)を作成した。作成されたデータセットは、従来の気候学データセットに比べて、観測される水塊構造を良く再現しており、十分に高品質であると言える。このデータセットは、アルゴフロートにより得られたデータの品質管理に利用されるとともに、一般に公開される予定である。

キーワード：インド洋, 気候学データセット, 品質管理, HydroBase

High quality climatological dataset for the Indian Ocean (Indian HydroBase)

Taiyo KOBAYASHI^{*4} Hiroyuki NAKAJIMA^{*5} Toshio SUGA^{*4}
Keisuke MIZUNO^{*6} Nobuyuki SHIKAMA^{*4} Kensuke TAKEUCHI^{*4}

A high-quality climatological dataset for the Indian Ocean (Indian HydroBase) is developed from the raw hydrographic datasets of World Ocean Database 1998, MIRC Ocean Dataset 2001, and Far Seas Collection with the similar procedures of Macdonald et al. (2001). The Indian HydroBase is one of the highest quality climatological datasets, because it reproduces the water-mass structures observed in the ocean more realistically than the other historical datasets. This dataset is used for quality control of the data obtained by Argo floats in JAMSTEC/FORSGC, and it will be also provided to the public.

Keywords : Indian Ocean, Climatological Dataset, Quality Control, HydroBase

*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 (株)マリン・ワーク・ジャパン

*3 海洋科学技術センター 海洋観測研究部

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

*5 Marine Work Japan Ltd.

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

1. はじめに

1980年代以降、海洋観測データから気候学データセットを作成する努力が続けられている。Levitus博士らにより編集された1°格子の全球海洋地図である一連のWorld Ocean Atlas (WOA)は、様々な用途に広く用いられている。特に海洋モデリングの分野では、モデルの計算結果と現実海洋とを比較する際によく用いられる。最近では、World Hydrographic ProgramのSpecial Analysis Centre (SAC)のGouretski and Janke (1998, 1999)による全球海洋地図(1°格子)も公開されている。

これらとは別に、Lozier et al. (1995)が北大西洋の、Macdonald et al. (2001)が北太平洋の気候学データセット (HydroBase)を編集している。HydroBaseには、他のデータセットにはない次のような特徴がある。

- 1) 全データに対し最低1度は目視による品質管理が施されている。
- 2) 平均操作が密度面に沿う方向に行われることで、観測される水塊構造を歪めないような配慮がなされている。
- 3) 生/品質管理済みプロファイルデータを含んでおり、任意の格子のグリッド化データセットを再計算可能である。

1)により、自動化された手法では困難な、高い精度での品質管理が可能となる。2)により、前線域などの密度面が大きく傾いている領域では、密度の異なる水同士の平均による非現実的な「平均」水塊の生成を防ぐことができる (Lozier et al., 1995; Macdonald et al., 2001)。さらに3)により1°格子より細かいグリッド化データを再計算することが可能であると同時に、品質管理済みプロファイルデータを利用することも可能となる。なお、SACはグリッド化の際に中立面上における平均操作を行っているので、2)は必ずしもHydroBase独自の特徴というわけではない。

HydroBaseは大西洋と北太平洋の海盆規模データセットのため、全球規模であるWOAやSACには空間的な広がり の点で大きく劣る。しかし、HydroBaseは非常に丁寧な品質管理が行われているため、その品質は上記2つのデータセットと比較しても高く (Macdonald, 私信)、同様の品質管理を施した全球データセットが編集されれば、それは海洋学の発展に大きく寄与するだろう。そこで、インド洋における、HydroBase的な高精度気候学データセット (Indian HydroBase)を作成した。

インド洋は、海洋学においてはデータの空白域であるとされ、近年までほとんど研究が行われていなかった。しかし、近年ではダイポール・モードの発見など、大規模な大気・海洋現象が存在することが明らかになってきている。Indian HydroBaseは歴史的海洋観測データに品質管理を施したものであるから、現在また将来のインド洋研究に対しても大きく寄与するものと期待される。

なお、このIndian HydroBase編集作業は、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/FORSGC) が共同で行っているアルゴデータの高精度品質管理 (小林ら, 2001; 高槻ら, 2001) の一環

として行われ、編集された気候学データセットはアルゴデータ品質管理の基準データとして利用される予定である。

2. 元データセット

2.1. 種別および特徴

一般に、データセットに含まれるデータの品質が同程度であるならば、データ数の多い方がデータセットとしての質は高い。そこで、Indian HydroBaseの作成に際し、可能な限り多くの生プロファイルデータを収集した。元データとして使用するの は次の3つである。また、データセット作成領域は20-150°Eにおけるインド洋領域 (紅海、ペルシャ湾、および赤道以南のインドネシア多島海領域を含む: 図1) とする。

- (1) World Ocean Database 1998 version 2 (WOD98v2)
- (2) MIRC Ocean Dataset 2001 (MODS2001: MIRC, 2001)
- (3) 遠洋資料集 (Far Seas Collection, FSC)

(1)はアメリカ海洋大気局の海洋データセンター (National Oceanographic Data Center, NODC)により編集された海洋観測データセットの最新版 (2001年12月末現在) であり、2000年1月に公開された。このデータセットには、それまでにNODCに通報された全ての海洋観測データを含み、NODCによる品質管理が施されている。

WOD98v2には採水データおよび低解像度CTDデータと、高解像度CTDデータとが別々に収納されている。しかしCTDデータの品質管理方法は、まだ十分には確立できていないので、後者の品質管理は行わない。

(2)は、日本海洋データセンター (Japan Oceanographic Data Center, JODC)に日本国内外から通報された海洋観測データを、海洋情報研究センター (Marine Information Research Center, MIRC)が品質管理し、編集したものである。日本国内の企業や公官庁、学校などにより行われた海洋観測データは、原則としてJODCに通報される。一部データはNODCに未通報のため、日本国内の機関による観測データは、WOD98v2よりも多数のものが格納されていると考えられている。

(3)は独立行政法人水産総合研究センター遠洋水産研究所により編集されたデータセットである。観測データの大半は、主に各県の水産試験場の観測船や水産高校の実習船が行ったものである。JODCに未通報のものが多数含まれており、一部のデータには独自の品質管理 (水野, 1995) が施されている。

3. 品質管理手順

データの品質管理は、Lozier et al. (1995), Macdonald et al. (2001)にならい、次の手順で進める。3.2節までのプロセスを経た観測プロファイル全体を生データとする (表1はデータセット毎の観測プロファイル数および観測層数)。この生データに3.3節以降のHydroBase的な品質管理を施して、品質管理済みデータセットを作成する。これに目視による品質管理を施したWOCE-CTDデータを加えたものが、インド洋高品質気候学データセット、Indian HydroBaseである。なお、この処理の流れをまとめたものを図2に示す。

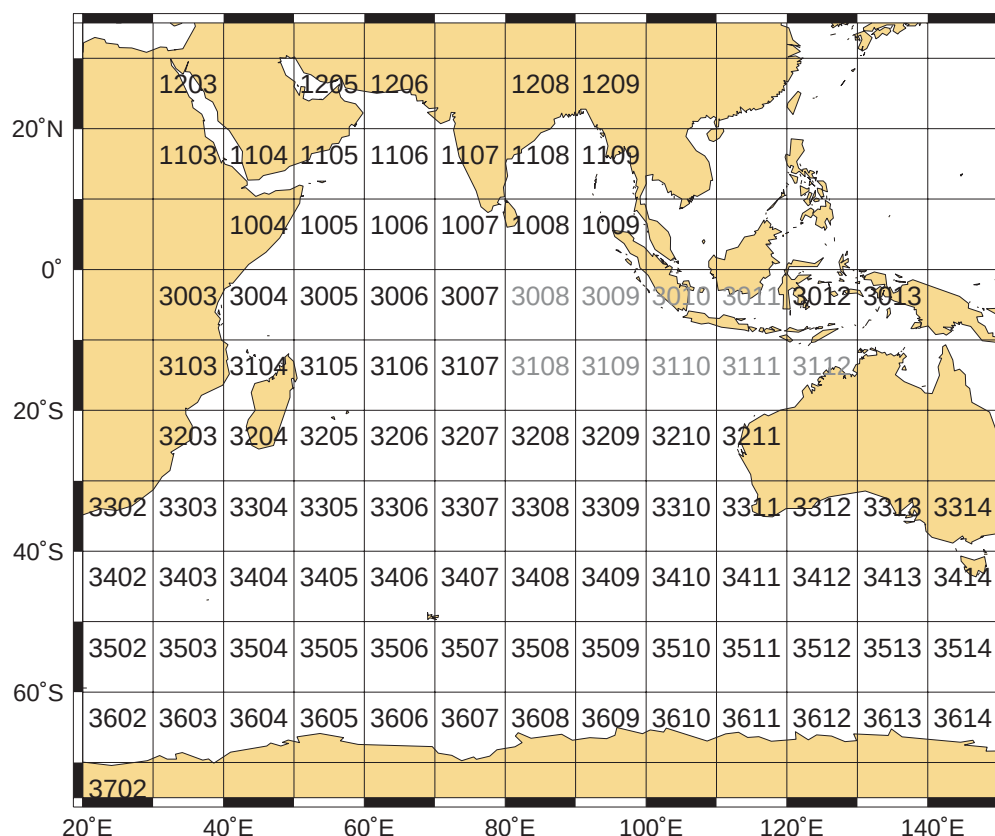


図1 インド洋におけるMarsden square番号。灰色の文字で示された海域では、FSCおよびMODS2001に含まれる異常海面データを除去した(3.3.2節を参照)。

Fig. 1 Marsden square designations for the Indian Ocean. The gray values indicate those squares affected by the poor sea surface data in MODS2001 and FSC (see the section 3.3.2.).

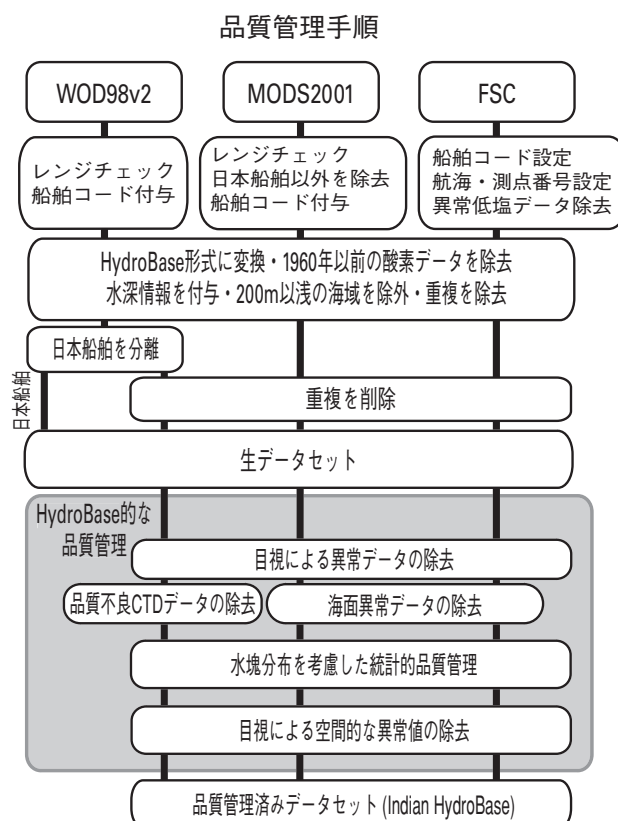
表1 元データセットのプロファイル数および観測層数。

Table 1 Numbers of the profiles and the observations in the original raw datasets.

	Stations	T/S obs.
WOD98v2	47396	759948
MODS2001	4994	28588
FSC	18542	24785

図2 品質管理の手順。灰色の網掛けの部分、HydroBase的な品質管理を行っている部分である。

Fig. 2 Flowchart of the quality control for the Indian HydroBase. The gray shaded part of the procedures is the quality control similar to the HydroBase.



3.1. 前処理

いずれのデータセットも、次のような前処理を行う。また、それぞれの元データセット固有の問題に対応して、後で述べるような処理を加えている。

- ・データの書式をHydroBase形式に変換する。品質管理に密度の値が必要なため、水温と塩分がそろっていない層はあらかじめ削除する。
- ・各データセットの品質管理フラグに基づいて、明らかな異常データを削除する(レンジチェックを参照)。
- ・観測深度もしくは圧力的一方が欠損の場合、UNESCO (1983)に従って欠損値を補う。
- ・1950年代半ばに溶存酸素計測法が現行の方式に移行したことを考慮して、1960年以前の溶存酸素の観測データを削除する。
- ・ETOPO5データを用いて、観測地点の水深情報を与える。水深が負値のものは、観測位置情報に誤りが含まれるとして削除する。水深200m以浅のデータは沿岸域データと判断し、海況が複雑で品質管理が困難なため、その後の品質管理処理は行わない。

3.1.1. WOD98v2

レンジチェックとして、品質管理フラグに年・季節・月の3つの統計チェックから外れた旨が記載されているデータは削除した。

NODCの船舶コード表に記載のない船名不明の船舶コード群(271隻分)には、新しく仮船舶コードを付与した。また、プロファイルデータに記載された国コードと船舶コード表の国コードが一致しない場合、プロファイルデータの国コードを優先し、新たに仮船舶コードを与えた(21隻分)。ただし、アメリカ合衆国には3つの国コード(31/32/33)が与えられているので、これらの間の違いに限り、船舶コードに記載の国コードに変更した。仮船舶コードには、通常用いられることのない文字(#, \$, %, *等)を用いた。

国コードを参照して日本/日本以外のデータに分離し、日本船舶データに対しては品質管理を行わなかった。

3.1.2. MODS2001

MIRCにより丁寧な船舶同定が行われているため、WOD98v2と同じコード(2桁)を割り当てることは困難と判断された。そこで、国コードを参照して日本以外のデータを削除した後、国コード領域と併せた4桁の船舶コードを付与した。

また、品質管理フラグに基づいてレンジチェックを行い、統計チェックから外れたもの、および複数のプロファイル異常が同時に生じているデータを削除した。

3.1.3. FSC

塩分値として極めて低い値(塩素量と考えられる)が記載されている古いデータを除去した。複数のプロファイル情報を含むデータは、ヘッダー情報の欠落と判断して観測点全体を削除した。

元データには船舶コードとして3桁の数字が与えられている。FSCには日本の観測データのみで構成されているので、

この3桁の数字を用いて、国コード領域と併せて4桁(F???)の船舶コードを与えた。

FSCの航海番号および観測点番号は、複雑な形で与えられている上、例外が多く、統一的な形式を与えることが困難であった。そのため、元データへの追跡が可能なように、FSCのデータ管理番号を分割し、航海番号および観測点番号とした。

3.2. 重複チェック

各元データセット毎に、重複と考えられるデータを取り除いた。その際、情報量の少ない方を削除した。ただし、重複の基準を次のように設定した。

- ・観測地点の緯度・経度が0.02°以内。(緯度・経度ともに1'以内)
- ・観測年月日が1日以内。(現地時刻と世界標準時刻との混同を考慮)
- ・次のようなデータを大量に含む、酷似したプロファイルを持つ。
 1. 水温および塩分が0.01以内で一致。
 2. 溶存酸素および栄養塩が0.05以内で一致。

その後、データセット相互の重複を取り除いた。FSCとMODS2001には、相当数の重複が存在するが、情報量が同一の場合はMODS2001データを優先した。

3.3. 目視による異常データの削除

統計的な品質管理を行うに当たり、統計値に大きな影響を及ぼす可能性のある、明白な異常水温・塩分・溶存酸素データを、目視によりあらかじめ削除する。

3.3.1. 品質の不十分なCTDデータの削除

3.4節の統計チェックは、水温・塩分の観測ペア毎に均一の重みをかける。つまり、CTDデータのような高鉛直分解能データは、結果的に重視される。CTDデータの品質が不十分な場合、統計チェックの基準となる平均的な水塊構造は歪み、(品質不十分なCTDデータに引きずられた)品質管理済みデータセットが出来上がることになる。

そのため、WOD98v2の高解像度CTDデータの品質管理は当面の間保留とした(前述)。また、低解像度CTDデータでも、他のデータと比較してわずかでも疑わしいと判断されたものはプロファイル全体を削除して、後日の品質管理とした。

3.3.2. 劣悪な海面データの削除

FSCおよびMODS2001には、海表面のみの観測データが多数含まれている。WOD98v2に比べて、これらのデータは塩分・水温ともに非常にばらつきが大きく、観測精度が極めて悪いことを示唆する(これらの海面データの多くは、バケツ採水観測により得られたと考えられる)。

統計チェック(3.4節)の際、この劣悪な海面データ、特に高塩分データは、海面下(おおそ密度躍層部分)のデータと同一の密度ビンに組み入れられることになり、結果的に躍層部分の統計値を大きく歪めることになる。そこで、海表面のみ

のデータの多い海域(図1参照)では、 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ の海域毎に、標準偏差の2.5倍を越えた海面水温・塩分データを削除した。

3.4. 統計チェック

海水特性の空間変動スケールに合わせて、ただし十分な測点数が確保されるように、海域を区分し(図3)、その海域毎の平均的な水温・塩分曲線から各データのずれを等密

度面に沿って評価し、原則として標準偏差の2.3倍を越える水温・塩分データを削除した。残ったデータに再度同様の統計チェックを施した(図4)。溶存酸素についてもほぼ同様のチェックを行い、標準偏差の3倍を越える酸素データを削除した。この手法により、密な観測の行われる(前線域などの)海域では、空間分解能の高い品質管理が可能となる。

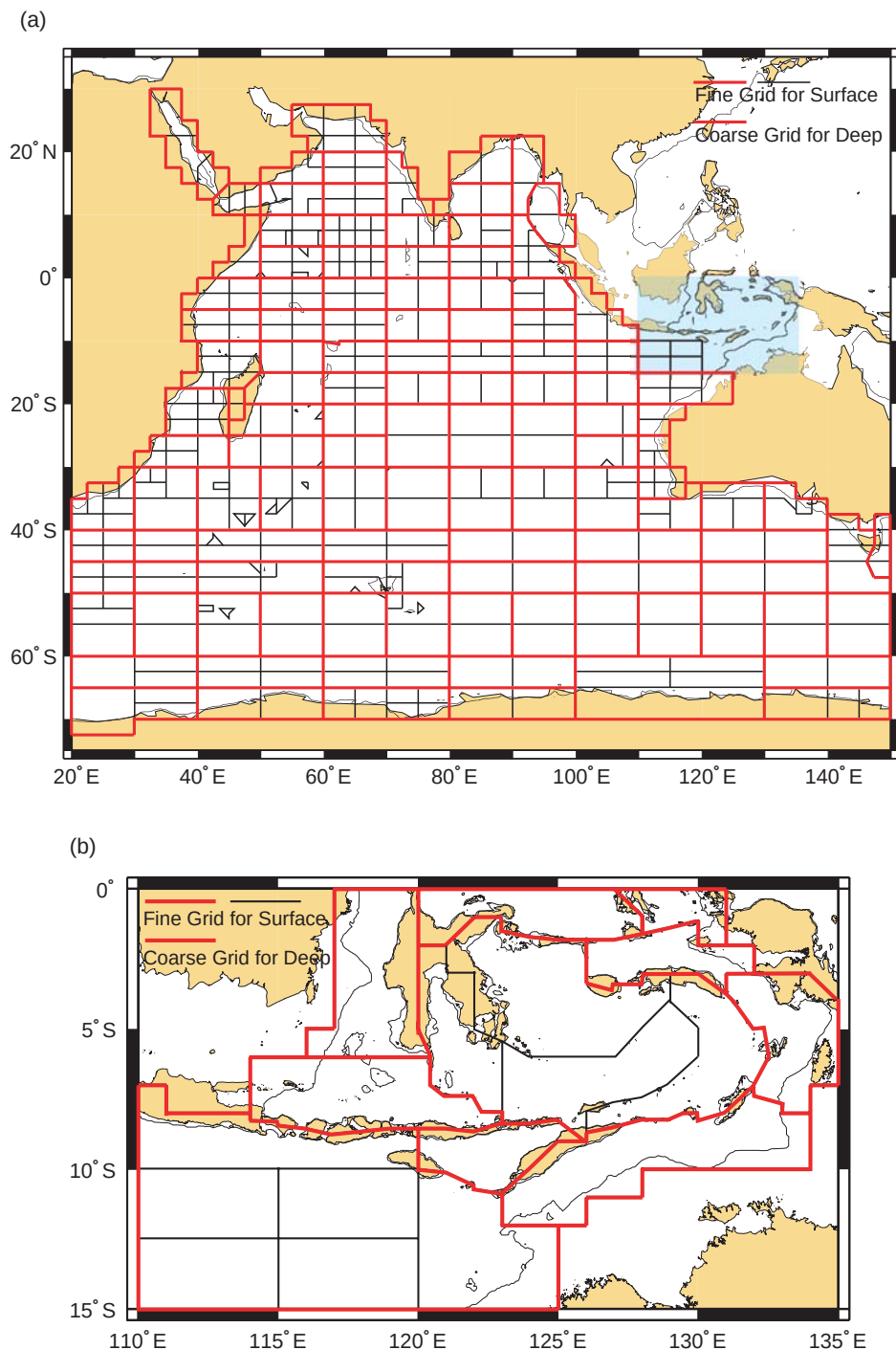


図3 (a) インド洋全域および(b) インドネシア多島海における海域区分。薄青の部分が図3bの領域に当たる。
Fig. 3 Horizontal geographical binning for quality control statistical check in (a) the whole Indian Ocean and (b) the Indonesian Seas. The light-blue-hatched area represents the area shown in Figure 3b.

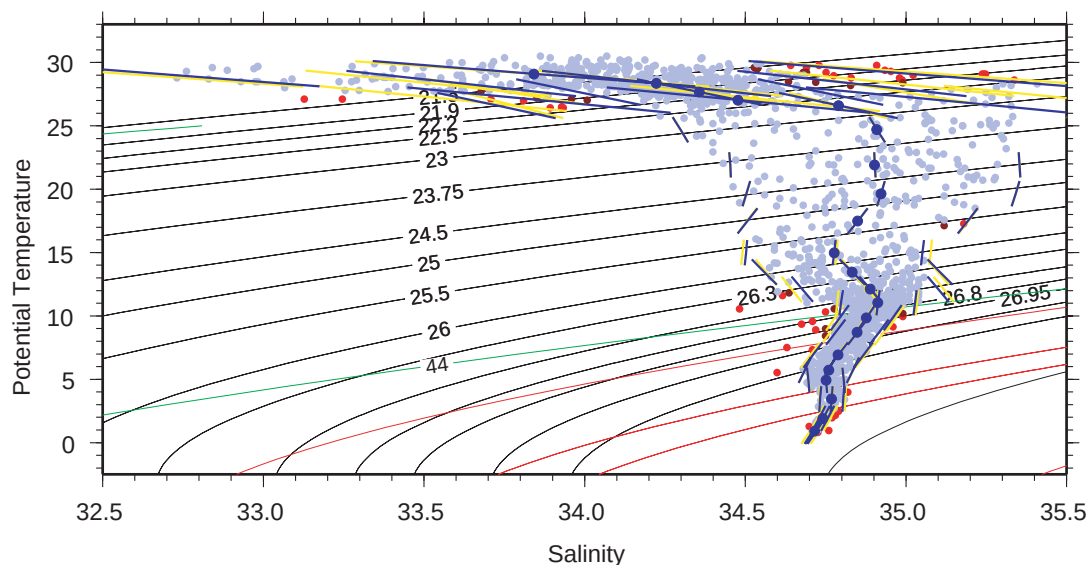


図4 統計チェックの例。各密度ピンの黄色丸と青丸は1回目と2回目の統計チェックの平均値を、同色の線分は平均プロファイルと平均から $\pm 2\sigma$ 離れた位置を示す。赤のデータは1回目の、茶色のデータは2回目の統計チェックで取り除かれたことを示す。

Fig. 4 An example showing the segmented linear fit to the θ -S curve for the observations in a geographical bin. Within each isopycnal bin, the yellow and the blue dots represent the mean values for the first and second statistical check, while the line segments with the same color indicate the slope of the curve at the location of the mean and of $\pm 2\sigma$ from the means, respectively. The red and brown data are eliminated through the first and second statistical check, respectively.

3.5. Visualチェック

統計チェックを通過したプロファイルデータを用いて、暫定的な平均場および標準偏差分布($1^\circ \times 1^\circ$ 格子)を作成する。これらを観察することにより、疑わしいデータを抽出し、吟味した上で削除した。この操作によりデータを取り除いた場合、3.4節の統計チェックをはじめからやり直した。

3.6. 栄養塩データのチェック

一部の栄養塩データに、同一海域の他のデータとは全く異なる構造を示すものが存在した。これらは、その航海を通じて異常な値を示し続ける場合が多く、測定項目の誤りと考えられる。この異常データは、ソ連の観測船による硝酸塩データに多く見られたが、他の栄養塩にも、またソ連以外の国のデータにも認められた。そのため、全栄養塩データに対し目視による品質管理を行い、その鉛直構造が異なるなど、明らかに異常と考えられる栄養塩データはクルーズ単位で削除した。

4. 品質管理済みデータセット

4.1. 観測点の分布

図5は、品質管理済みデータの観測点の水平分布である。WOD98v2データはソビエト連邦(NODC国コード90)および国籍不明船(同99)による観測については区別して示している。他の大洋と同じく、観測は沿岸域で多く、沖合では少なくなる。インド洋データの特徴として、ソ連の観測船による観測が極めて多いということが挙げられ、WOD98v2データ全体の約

38%にのぼる。また国籍が不明のデータも多く、約21%に達している。参考としてWOD98v2の南太平洋領域におけるソ連および国籍不明データの割合を表2に示すが、特に国籍不明データの割合は突出している。一般的にアメリカ合衆国は最大の観測データ提供国であるが、インド洋に限れば全体の約8%を占めるにすぎず、ソ連による観測の約1/5である。

海洋観測は、一般に海況に左右されやすく、荒天となりやすい冬季などは観測数が激減する(たとえばMacdonald et al. (2001)の図14)。図6はWOD98v2において観測数が最大(2月、約4900)および最小(12月、約2500)となる月のデータの分布状況を示したものである。データ数には約2倍の開きがあるが、観測領域の広がりと同程度であるといえる。55°S以南の南極縁辺海域を別とすれば、季節にかかわらずインド洋のほぼ全域で観測が行われている。つまり、インド洋における観測データ数の季節毎の偏りは、南極域を除いて悪天候などの観測の困難さに起因するものではないと考えられる。ただし、現在までのインド洋の観測が先進諸国の(外洋を航行可能な大型)観測船によってなされたものがほとんどであり、インド洋周辺諸国を中心になされたものではないことに注意しなければならない。

図7に栄養塩の観測点分布を示した。これらの分布の傾向も水温・塩分データの分布とほぼ同じであるが、硝酸塩は35°S以南の海域で急速にまばらとなり、オーストラリアの南を除き南極周極流海域にはほとんど存在しない。南極周極流海域での観測はソ連船によるものが大半であるが、ソ連の硝酸塩データの品質は極めて悪く、そのほとんどが取り除かれたためである。

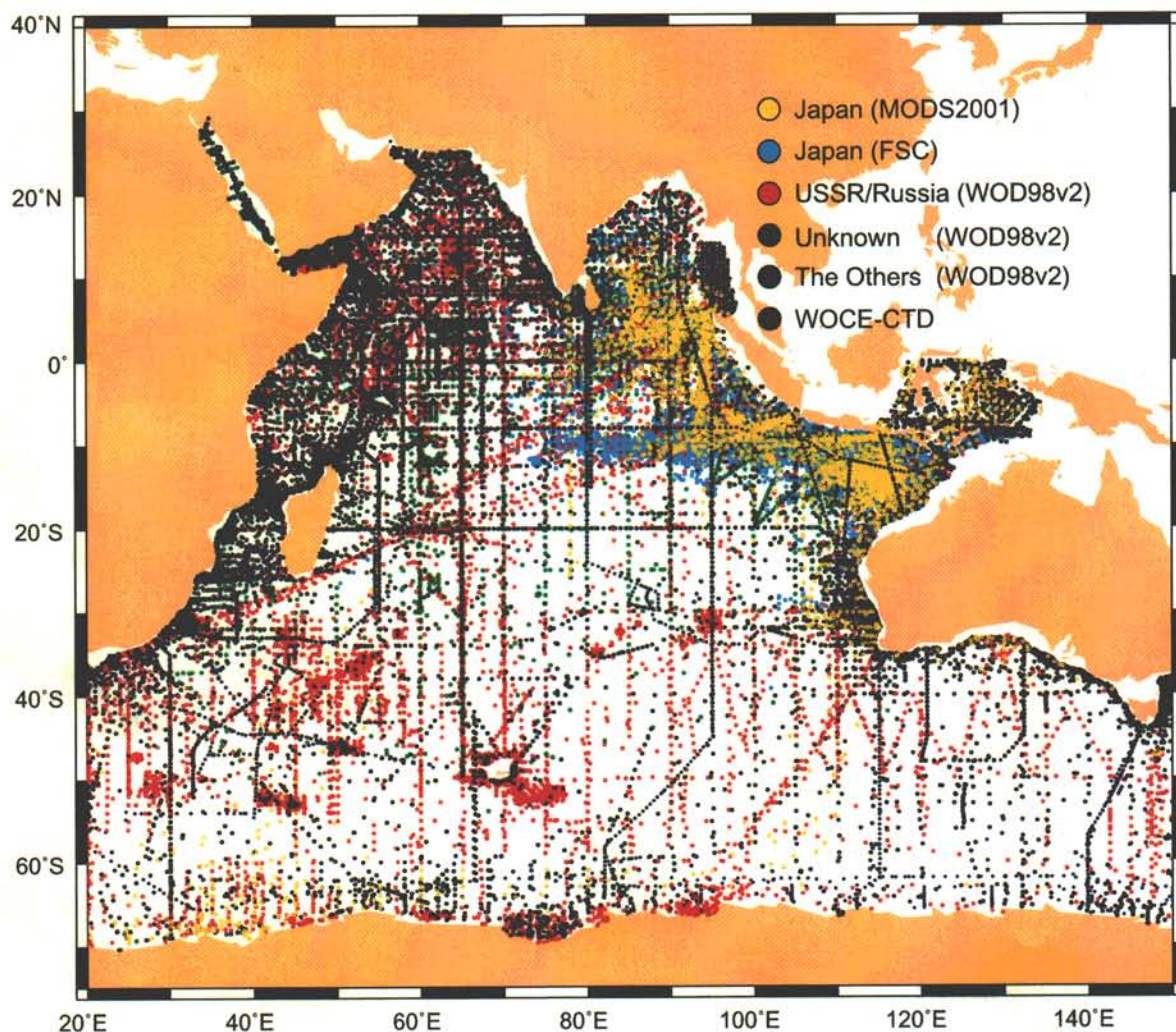


図5 品質管理済みデータの観測点分布。濃青はWOCEによるCTD観測データ。黄色と青の点は日本による観測データ (MODS2001もしくはFSCに格納)。赤および緑はソ連および国籍不明のデータ。黒はそれ以外の国による観測データ。

Fig. 5 Horizontal distribution of the quality-controlled data and the included WOCE-CTD data (in dark blue). The yellow and blue represent the Japanese observations in MODS2001 and FSC, respectively. The red and green represent the observations conducted by USSR and unknown country, respectively. The black is the observations by other countries in WOD98v2.

表2 インド洋と南太平洋における国別データ数。

Table 2 Numbers of the profile data by country in the Indian Ocean (Indian HydroBase) and the South Pacific (WOD98v2).

	Indian Ocean HydroBase (Originated from WOD98v2)		South Pacific WOD98v2 (Raw)	
	Stations	Ratio	Stations	Ratio
USA	3602	8.0%	6796	11.3%
USSR	17234	38.4%	4591	7.6%
Unknown	9674	21.6%	106	0.2%
Others	14357	32.0%	47203	78.6%
(Japan)			1322	2.2%
Total	44867		60018	

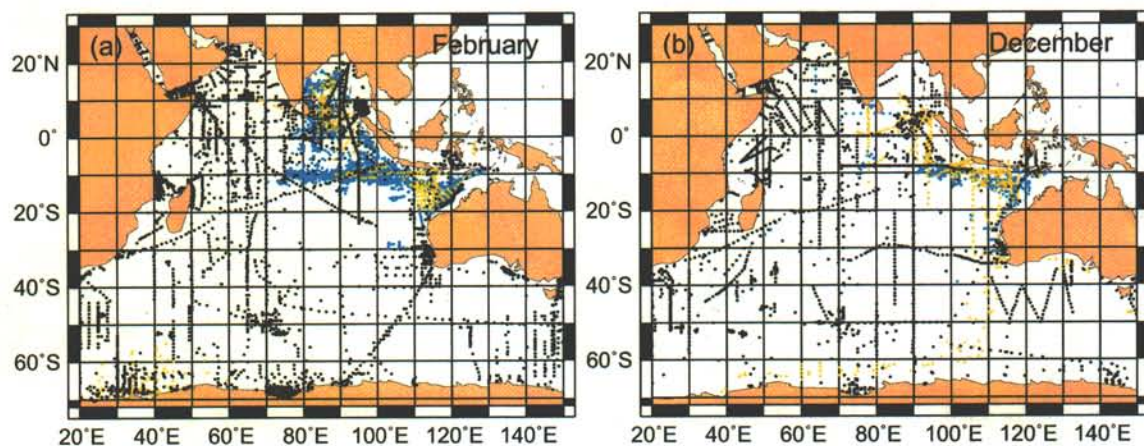


図6 (a)2月および(b)12月の品質管理済みデータの観測点分布。観測データ数は2月に最多となり、12月に最小となる。黒、黄色、青はそれぞれ、WOD98v2, MODS2001, FSCのデータであることを示す。

Fig. 6 Horizontal distribution of the quality-controlled stations taken in (a) February and (b) December. The former contains the maximum number of profiles in WOD98v2 dataset, while the later contains the least number of profiles. The black, yellow, and blue represent the data originated from WOD98v2, MODS2001, and FSC, respectively.

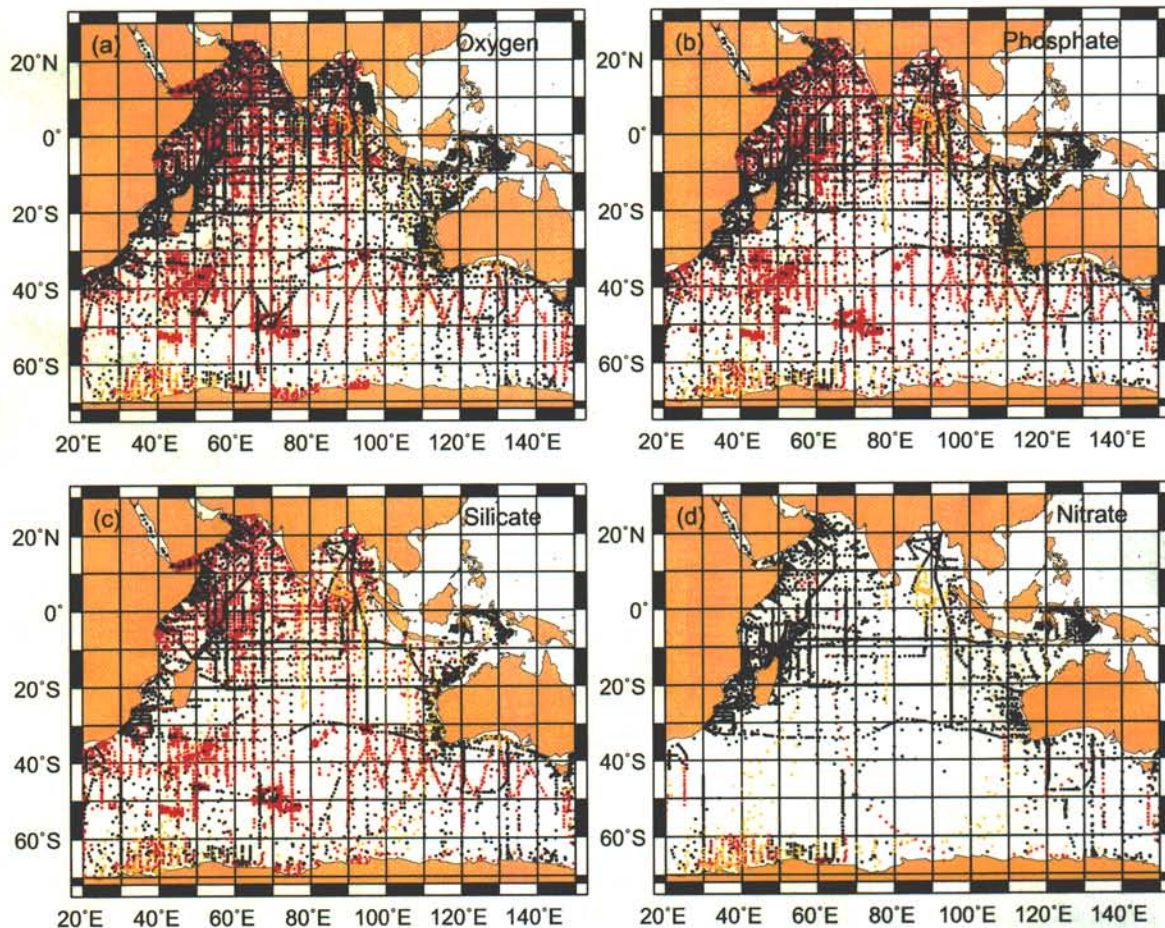


図7 (a)溶存酸素, (b)リン酸塩, (c)ケイ酸塩, (d)硝酸塩の観測を含むプロファイルデータの分布。データの色は図5と同じ。

溶存酸素データは水温/塩分に準じた統計的品質管理が施されており、他の栄養塩データは目視による品質管理が施されている。

Fig. 7 Horizontal distribution of the quality-controlled stations containing (a) oxygen, (b) phosphate, (c) silicate, and (d) nitrate, respectively. The colors of plots are the same used in Figure 5. Oxygen has been through the statistically quality control processes with the same processes for temperature and salinity, and the others are checked by eyes.

4.2. 観測層分布

図8に観測深度別のプロファイル数を、データセット別に示した。右に示した数値は、それぞれのデータセットの品質管理済みプロファイル数である。WOD98v2は、表層100m以浅では約35000プロファイル程度を示し、500mで一度大きく減少した後、深層に向かって緩やかに減少する。1000mよりも深層まで観測を行う割合は、観測点のうち約20%（ただし観測データが海面に限られているものを除く）であるが、これは北太平洋の結果（約40%；Macdonald et. al, 2001）に比べてかなり低い。

これに対し、MODS2001およびFSCは表層0mに極めて大量のデータが存在するが、それ以深では非常に少ない。ただし、海洋内部を観測しているデータに限れば、WOD98v2とほぼ同じ分布傾向を示している。

4.3. 観測年

図9はデータセット別に、生データおよび品質管理済みデータの観測プロファイル数および観測層数を年代別に示したものである。1950年代以前に行われた観測は極めて少ない。1950年代後半から観測数は増加し始めるが、1962年から1965年にかけて行われた国際観測計画が、「国際インド洋遠征 (International Indian Ocean Expedition)」と名付けられた理由も納得できる。

WOD98v2に注目すると、1965年以降は約1000–2000点程度の観測が行われ続けている。MODS2001およびFSCのデータは1960年代末から急速に増加し、両者の合計で年間500–1500点程度の観測が行われている。しかし、塩分観測が海面のみのデータが大半を占めるため、観測層数での寄与はWOD98v2に比べると小さくなる。

4.4. 等密度面毎の特徴

以下では、インド洋における代表的な水塊について、等密度面上の水塊特性の分布を記述する。なお、以下で示す Indian HydroBaseの図は、作図の際に必要な平滑化処理だけを施している。そのため、ノイズ状の構造が現れているが、特に問題になるものではない。

4.4.1. 亜表層 (25.7 σ_θ : 図10)

この密度面では、10°S付近を西に流れる低温・低塩なインドネシア通過流水と、東部インド洋の30°S付近を中心に分布する高温・高塩なインド洋中央水の水塊特性の差が最大になる。この両者は15°S付近で接しており、明瞭な温度・塩分前線を形成する。水温・塩分の標準偏差も大きいことから、時間変動も激しいものと推測される。この両者のコントラストは酸素分布にも認められ、前者は低酸素、後者は高酸素となっている。

北インド洋の水温・塩分分布にも明瞭なコントラストが認められ、アラビア海は高温・高塩、ベンガル湾は低温・低塩の水で占められている。後者はインド半島南端からくさび状に西に延び、赤道付近にはその南北よりも比較的高塩分の水が分布する。これはインド洋北部の複雑な海況を示唆する。

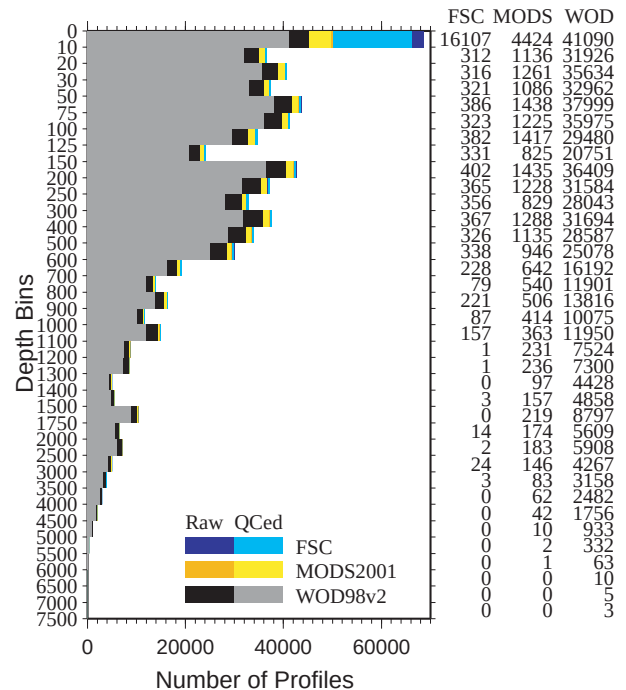


図8 観測深度別の観測プロファイル数。左目盛りで区切られた深度ビンでの観測が存在する場合にカウントされる。右の数値はデータセット別の品質管理済みデータの観測プロファイル数である。

Fig. 8 The numbers of raw/quality-controlled profiles as a function of depth bins in the left hand. The numbers of three columns in the right hand are those of the quality-controlled profiles of the three source datasets, respectively.

この等密度面は30–40°S付近で、深度前線を形成しつつ海面に露出する。西部インド洋に比べて東部ではやや北側で海面に露出する。密度面の最深部は20°Sに帯状に位置し、おおよそ250dbarである。インド洋西部の5–10°S付近に比較的浅い領域が存在しており、それより北側では150dbar程度のほぼ一様な分布になっている。

4.4.2. 南極中層水 (Antarctic Intermediate Water, AAIW, 27.3 σ_θ : 図11)

南インド洋に亜熱帯循環を示すボウル状の構造が認められる。その中心は2つに分かれており、それぞれ35°S 35°Eと40°S 55°E付近に存在する。オーストラリアの南にも、弱い高気圧性の循環が存在している。また20–50°Eにかけては、40°Sと50°S付近の2箇所深度変化の大きな部分が存在している。この周辺では、極前線とアグルハス続流が比較的離れているので、両者の前線を示すものと考えられる。極前線は、クロゼ海台とケルゲレン海台の北側で、大きな変動を伴い急速に収束する。

極前線から延びる低温・低塩なAAIWは、等深線に沿うように移動して南インド洋を満たす。アラビア海からは高温・高塩分水が南に張り出し、この両者は10–25°S付近で混合する。この様子は酸素分布に良く現れており、この付近

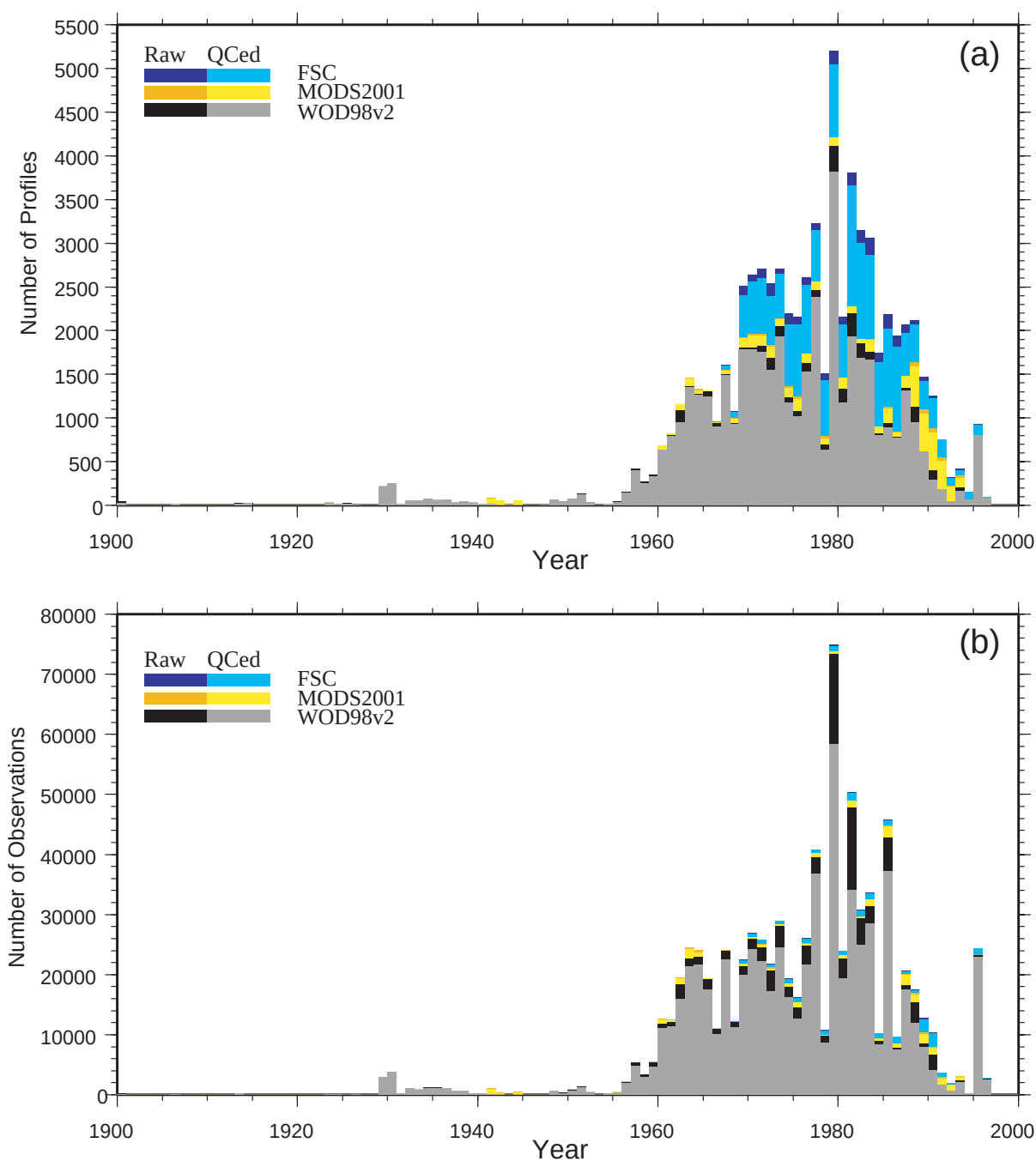


図9 データセット別の(a) 観測プロフィール数および(b) 観測層数の時間変化。ただし、1900年以前の観測も1900年に含める。

Fig. 9 Time series of the number of (a) profiles and (b) observations as a function of year. The observations before 1900 are included into the bin of 1900.

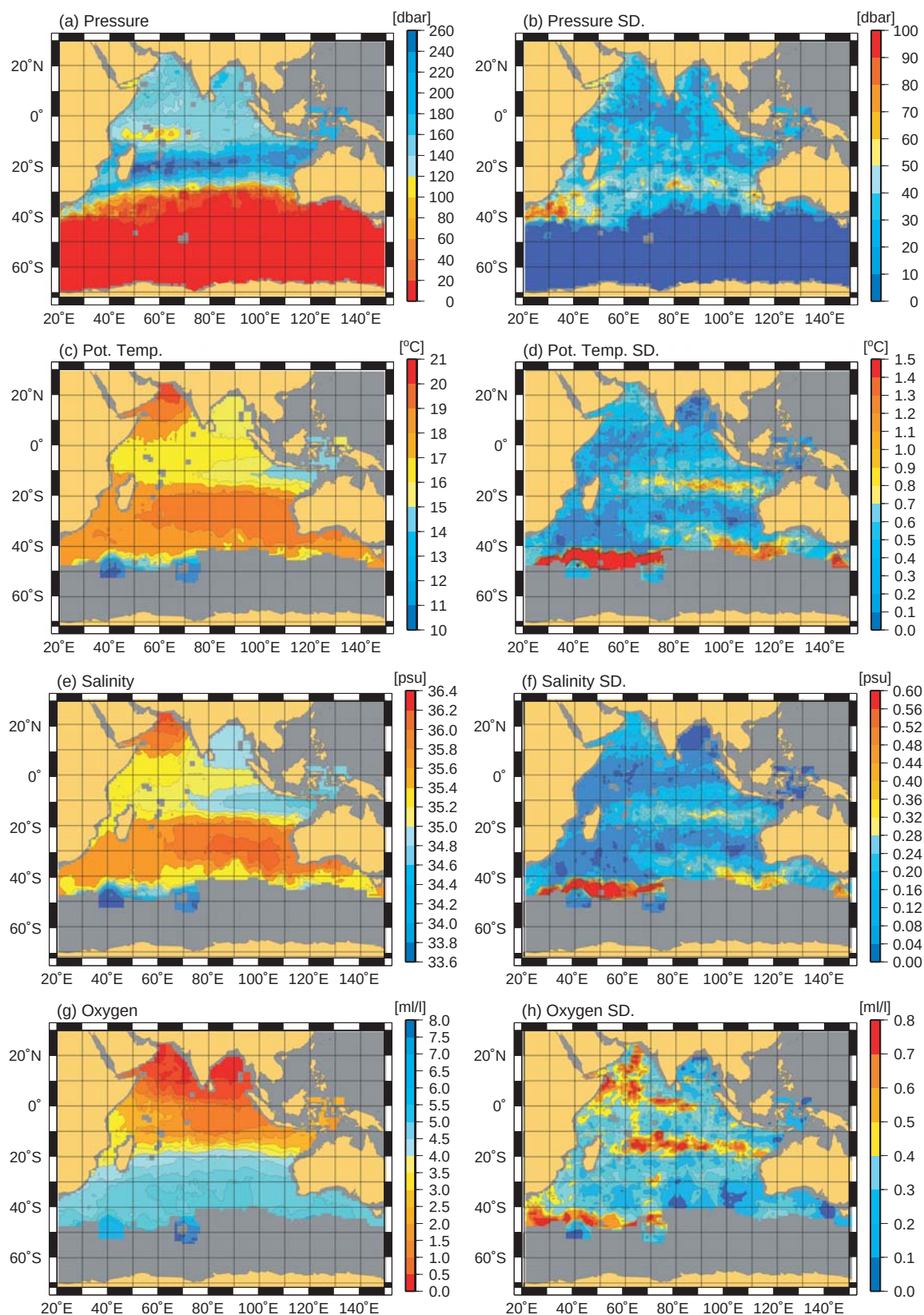


図10 品質管理済みデータを用いて作成された、 $25.7\sigma_\theta$ 面上の(a) (b) 圧力, (c) (d) ポテンシャル水温, (e) (f) 塩分, (g) (h) 溶存酸素の平均値および標準偏差の分布。ただし、作図の都合により、水質の大きく異なる紅海を除く。

Fig.10 Horizontal distributions of the average and standard deviation for (a), (b) pressure, (c), (d) potential temperature, (e), (f) salinity, and (g), (h) oxygen on the $25.7\sigma_\theta$ isopycnal surface based on the quality-controlled historical data. The map is drawn without the data in the Red Sea due to large difference of its water-mass character there.

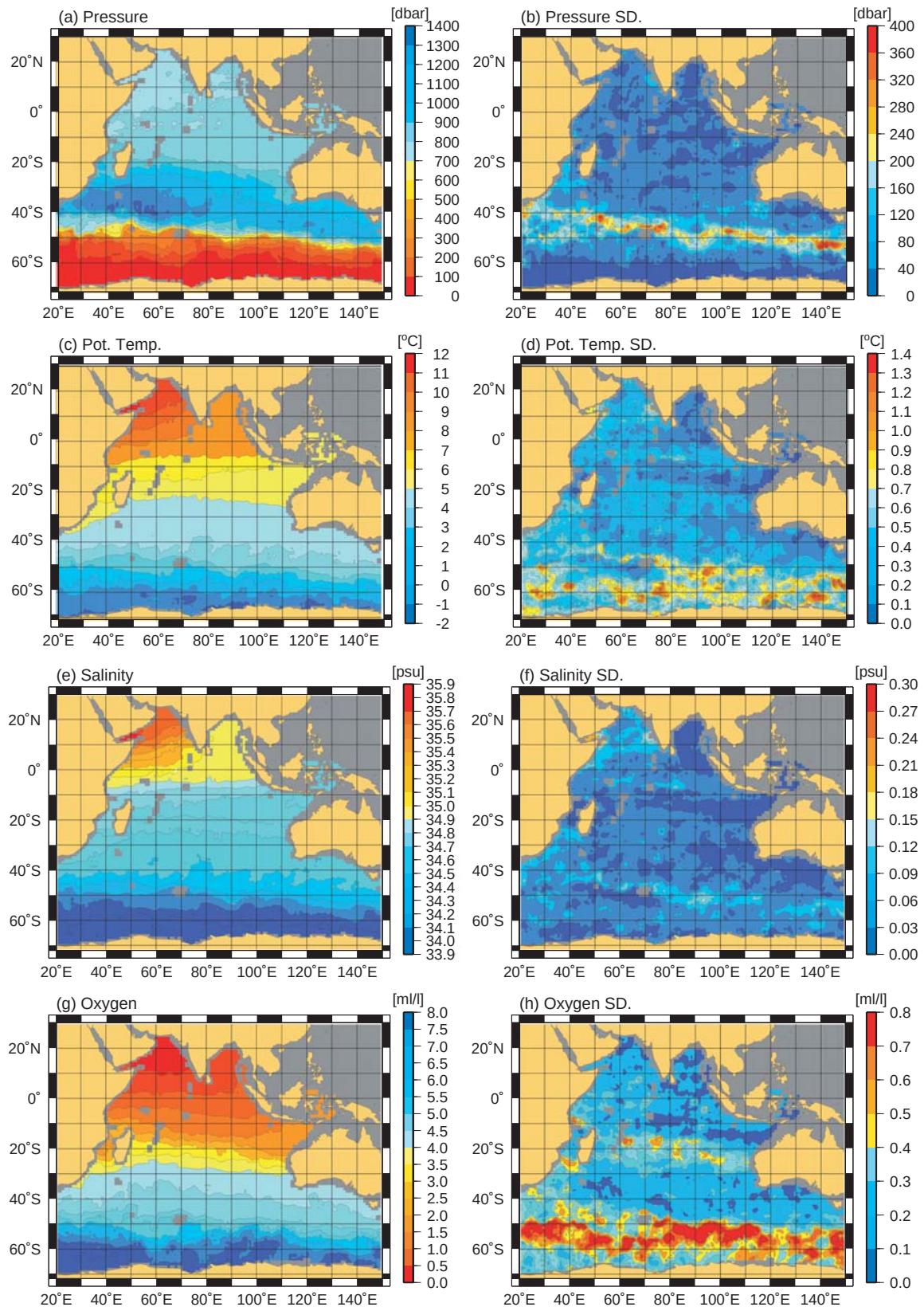


図11 品質管理済みデータを用いて作成された、 $27.3\sigma_0$ 面上の(a) (b) 圧力, (c) (d) ポテンシャル水温, (e) (f) 塩分, (g) (h) 溶存酸素の平均値および標準偏差の分布。

Fig.11 Same as Figs. 10 except for $27.3\sigma_0$ isopycnal surface.

に比較的明瞭な前線が認められる。アラビア海の高塩水の一部はモザンビーク海峡を通じて南下して、アフリカ大陸南端まで達する。

極前線よりも南は、南ほど低温・低塩・高酸素の水塊が分布している。季節的に密度面が海面に露出するためか、非常にばらつきが大きい。

4.4.3. 酸素極小層 (32.1 σ_t : 図12)

南極中層水の密度層と同じく、20–50°Eにかけてアグルハス続流 (40°S) と極前線 (50°S) の2つの深度前線が認められる。この両者はクロゼ海台の北側で収束して極前線となり、やや南下しつつ東に延びていく。それよりも北側では、南インド洋では約1500dbar、北インド洋では約1200dbarの比較的起伏の少ない分布となっている。アラビア海に高塩・低酸素の水が認められるほかは、水温・塩分ともにほぼ東西に一樣の分布をしている。北部の高塩・低酸素水は、モザンビーク海峡を通過した後アフリカ大陸に沿って南下している様子がうかがえる。

極前線の南に水温・塩分・酸素ともに変動の激しい海域が存在するが、この密度面が季節的に海面に露出するためであると考えられる。アラビア海周辺にも塩分の変動が激しい領域が存在するが、その原因は不明である (品質管理が不十分の可能性もある)。ただし、インドの周辺には品質の悪いデータが大量に存在していたことを付け加えておく。

4.4.4. 北大西洋深層水 (North Atlantic Deep Water, NADW, 37.0 σ_2 : 図13)

海底地形の影響を大きく受けてはばけているが、極前線が50–60°S付近に認められ、600–2200dbar程度の非常に大きな落差がある。その北部は、約2500dbarの比較的起伏の小さい面が広がっている。

アグルハス海盆には、大西洋からNADWが直接流入するため、非常に高塩・高酸素の水が分布する。この高塩分水はクロゼ海盆南部やEnderby海盆北部を満たしつつ東に広がり、その特徴を薄めつつ南東インド海嶺の北側をオーストラリアの南まで達している。この高塩・高酸素水の一部が、中央インド洋海嶺の北側に沿って、中央インド洋海盆に流入している様子が見て取れる。

インド洋の北部にも、高塩分水が分布している。この高塩分水はMantyla and Reid (1995)にも認められ、この上層の高塩分水との混合によるものと考えられる。この高塩分水に対応して大きな変動が見られるが、その原因は不明である。

4.5. WOA98との比較

4.5.1. 等密度面

本節では、Indian HydroBaseとWOA98から計算された、同一密度面上の水塊分布の差異を議論する。ただし紙面の都合のため、27.3 σ_0 等密度面 (図14) のみを扱う。

両者の違いが最も大きく現れているのは、南極周極流海域である。WOA98は非常に強い平滑化処理が施されているために、40–55°Sには緩やかな深度前線が現れるにすぎ

ない。また、20–50°E付近の2重前線構造は鈍らされてしまい、(わずかに痕跡を残しつつ) 緩やかな前線として表現されるにすぎない。

また水塊分布のパターンにも、両者には違いが認められる。HydroBaseには認められないが、WOA98では、90°E付近から低温・低塩の水が極前線の北側に広がり、40°S付近を東西に延びるような分布を示す。また、アグルハス続流から続いていると見られる高温・高塩のパッチが極前線の北側に分布する (後述)。WOA98の分布がこの海域の気候学的代表値であるとは考えにくい。そのため、HydroBaseでは品質管理やデータ処理がより現実を反映するように行われた結果ではないかと考えている。

南極周極流海域は、衛星による海面高度観測などによって時空間変動が大きいことが明らかになっているのに対し、実際の海洋観測データは極めて少ない。そのため、南極周極流海域の気候値を作成するのは非常に困難であり、処理方法によって結果が変わる可能性があることを付け加えておく。

4.5.2. グリッドデータ

図15は、南極周極流を一部に含む断面のWOA98とHydroBaseのグリッド化データを比較したものである。併せて、同一海域の品質管理済みデータを示した。極前線を横切るために、表層の観測データは高温・高塩の亜熱帯水と低温・低塩の亜寒帯水とに明瞭に分かれ、中間的な水はほとんど見られない。しかしWOA98には (平滑化操作のためか) 中間的な水が大量に存在している。また、水温・塩分をそれぞれ独立して処理するためか、塩分極小付近は観測データよりも高めの塩分が計算されている。これに対し、HydroBaseのデータは、塩分極小構造も含め、実際に観測される海洋構造の平均的な姿をほぼ忠実に再現していると考えられる。

前節でWOA98にはアグルハス続流から延びる高塩のパッチが存在すると指摘したが、これは大きく変動が認められる観測データに対して不用意な平均操作を行ったために現れたものと考えられる。

5. まとめと今後の予定

既存の3つの生データセット (WOD98v2, MODS2001, FSC) にLozier et al. (1995) およびMacdonald et al. (2001) に準じた品質管理を施して、インド洋高品質気候学データセット (Indian HydroBase) を作成した。完成した気候学データセットは、既存の気候値データに比べて、観測される水塊構造をより現実的に再現しており、高品質データセットの名に恥じないものとなった。

この気候学データセットは、アルゴデータの品質管理用基礎データとして利用されるとともに、将来的にはインターネット上に一般に公開することを予定している。

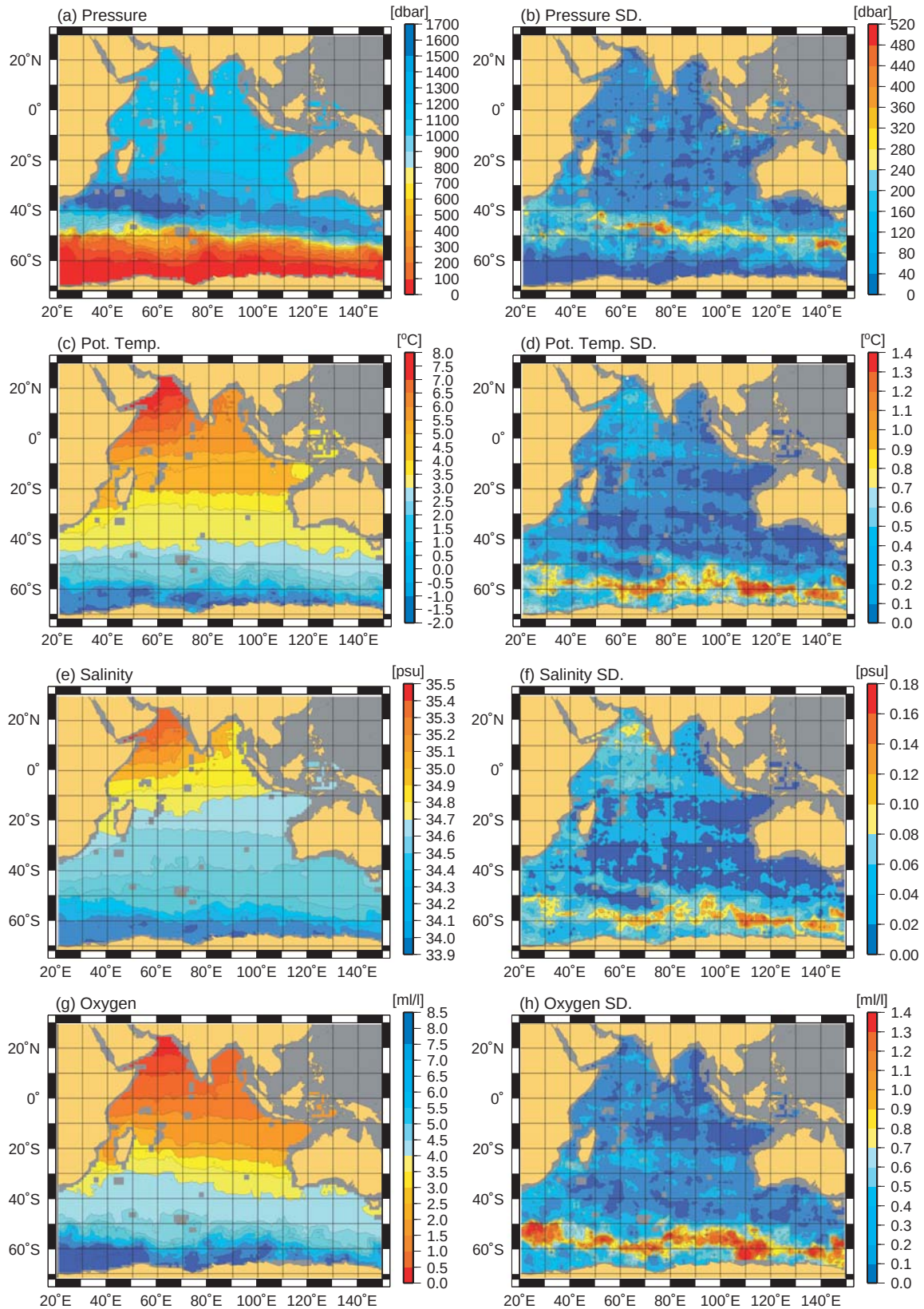


図12 品質管理済みデータを用いて作成された、32.1 σ_1 面上の(a) (b)圧力, (c) (d)ポテンシャル水温, (e) (f)塩分, (g) (h)溶存酸素の平均値および標準偏差の分布。

Fig.12 Same as Figs. 10 except for 32.1 σ_1 isopycnal surface.

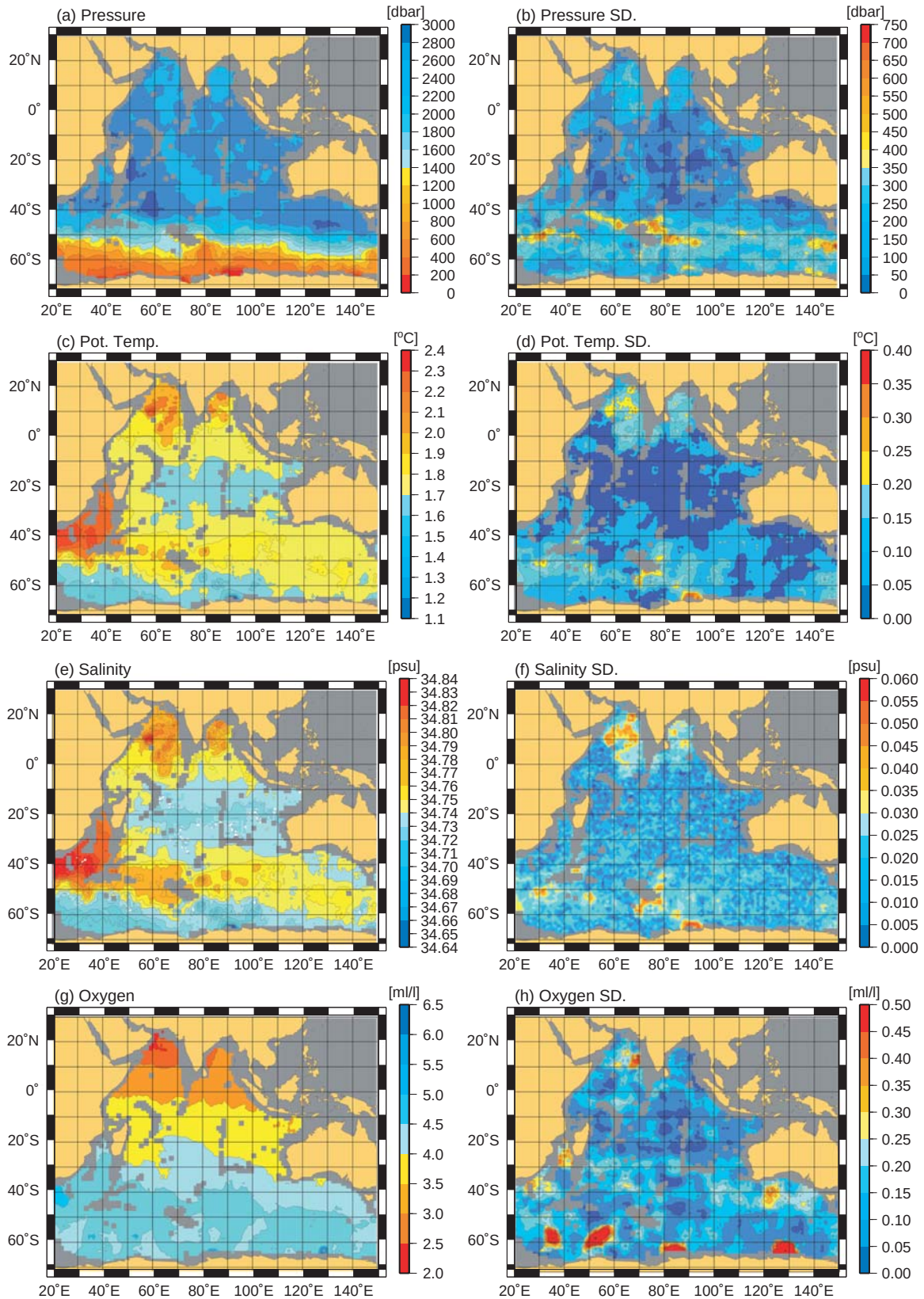


図13 品質管理済みデータを用いて作成された、37.0 σ_2 面上の(a) (b)圧力, (c) (d)ポテンシャル水温, (e) (f)塩分, (g) (h)溶存酸素の平均値および標準偏差の分布。

Fig.13 Same as Figs. 10 except for 37.0 σ_2 isopycnal surface.

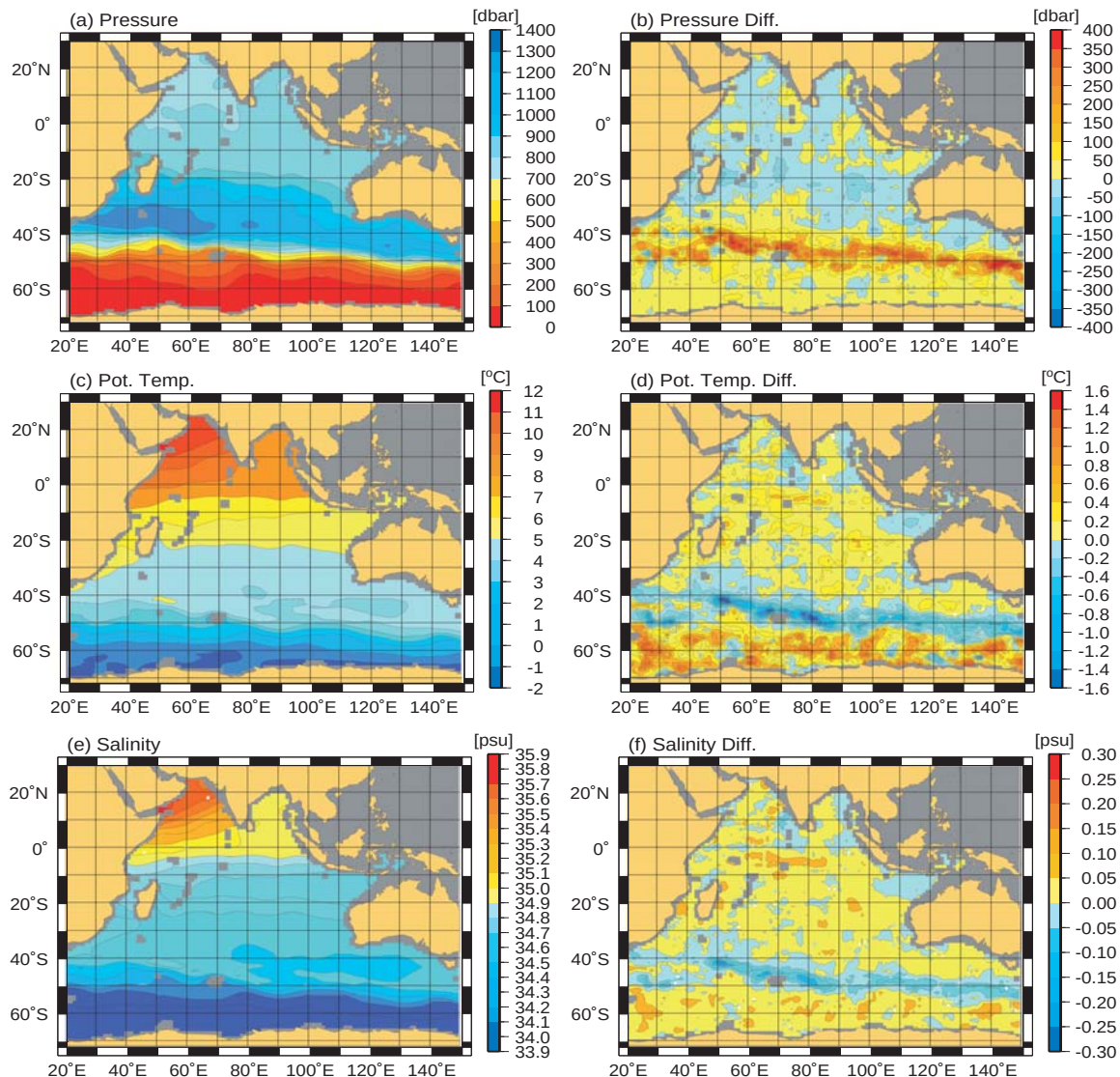


図14 WOA98の27.3 σ_θ 面上の(a)圧力, (c)ポテンシャル水温, (e)塩分の分布と, WOA98とIndian HydroBaseとの差(b, d, f: HydroBase – WOA98)。ただし, 作図の都合により, 水質の大きく異なる紅海を除く。

Fig.14 Horizontal distributions of (a) pressure, (c) potential temperature, and (e) salinity on the 27.3 σ_θ isopycnal surface in WOA98, and the differences between WOA98 and HydroBase (HydroBase – WOA98) for the same properties (b, d, and f). The map is drawn without the data in the Red Sea due to large difference of its water-wass character there.

謝辞

WHPのRepeat Section CTDデータのうち, IR06セクションの2つの断面データ(35MF62JADE_1と35MF71JADE_1)は, "the Franco-Indonesian cooperation (PIs Fieux and Ilahude)" により行われ, WHPOのOfficial Siteにて公開されたものを使用しております。WOCE-CTDデータのHydroBase形式への変換および品質のチェックは, 東北大学 理学部 地球環境物理学講座との共同により行いました。地球観測フロンティア研究システムの市川泰子さんと(株)マリン・ワーク・ジャパンの杉山悦子さんには, プログラミングの一部を協力して頂きました。海洋総合研究所(株)の蓮沼啓一博士には, 暖かい励ましと有意義な議論をして頂きました。心より感謝いたします。

引用文献

- 1) Gouretski, V. V., and K. Janke, "A new world ocean climatology: optimal interpolation of historical and WOCE hydrographic data on neutral surfaces", WOCE rep. 162/98, 40pp (1998).
- 2) Gouretski, V. V., and K. Janke, "A description and quality assessment of the historical hydrographic data for South Pacific Ocean", J. Atmosph. and Oceanic Tech., 16, 1791-1815 (1999).
- 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, 四電信行, 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).

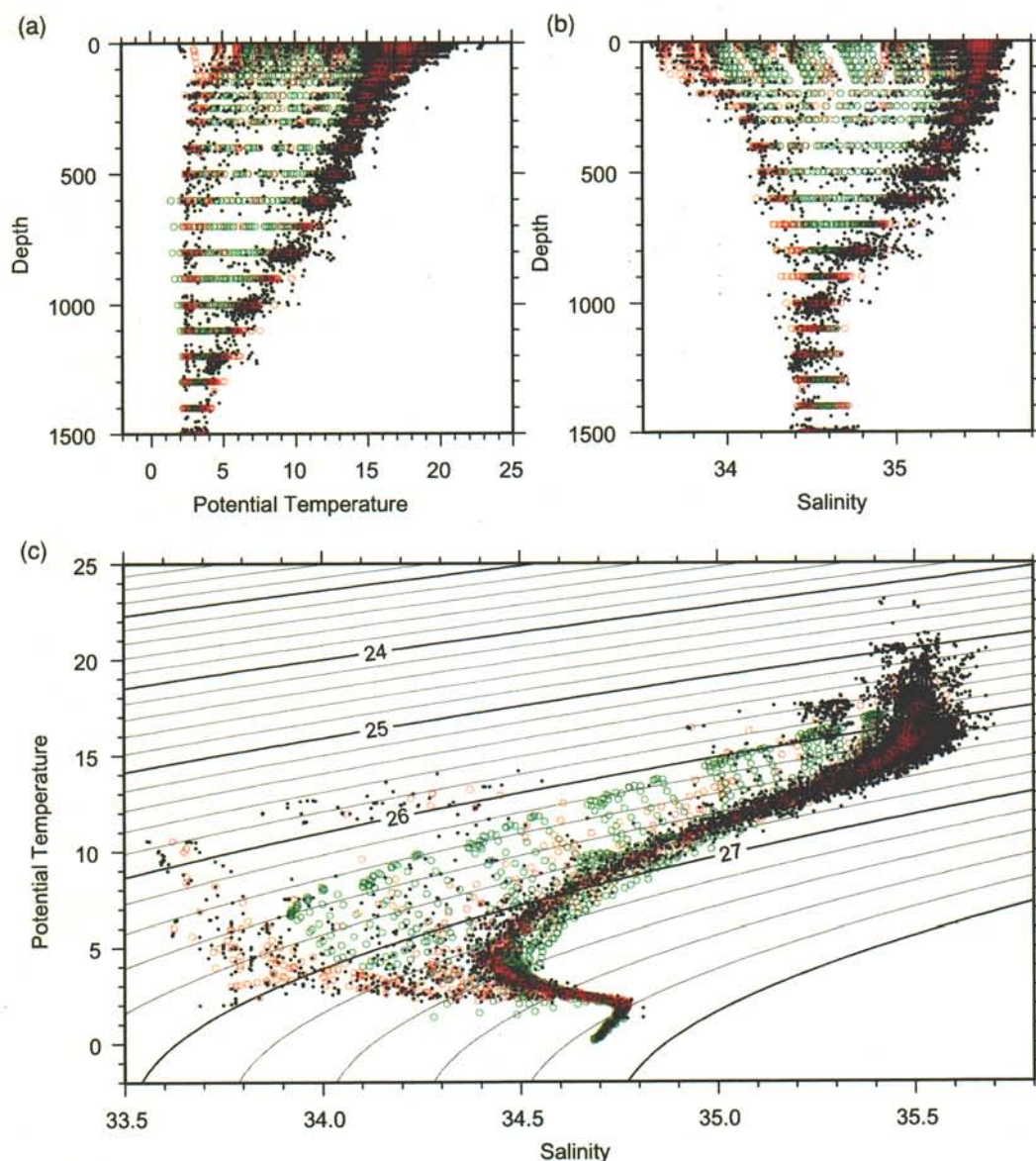


図15 WOA98(緑)とHydroBase(赤)の格子化データの比較。(a) 深さ-水温, (b) 深さ-塩分, (c) 水温-塩分構造。品質管理済み観測データを黒丸で示す。対象海域は35-45° S, 50-55° E。

Fig.15 Comparison of WOA98 data (green) and HydroBase gridded data (red) to the observed data (black) in the region of 35-45° S, 50-55° E. (a) Depth-potential temperature, (b) depth-salinity, and (c) potential temperature-salinity structures.

- 4) Lozier, S. M., W. B. Owens, and R. G. Curry, "The climatology of the North Atlantic", Prog. Oceanog., 36, 1-44 (1995).
- 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) Mantyla, A. W., and J. L. Reid, "On the origin of deep and bottom waters of the Indian Ocean", J. Geophys. Res., 100(C2), 2417-2439 (1995).
- 7) Marine Information Research Center, "MIRC Ocean Dataset 2001 Documentation", MIRC Tech. Rep., 1,

169pp (2001).

- 8) 水野恵介, "大規模な海洋変動の研究に必要な水深/水温データの品質管理について", 遠洋水産研究所研究報告, 32, 147-171 (1995).
- 9) 高槻靖, 市川泰子, 小林大洋, 水野恵介, 竹内謙介, "フロートデータ自動処理・品質管理システムの構築", 海洋科学技術センター試験研究報告, 44, 17-27 (2001).
- 10) UNESCO, "Algorithms for computation of fundamental properties of sea water", Unesco technical papers in marine science, 44, 53pp (1983).

(原稿受理: 2002年8月5日)