

WOCE 観測におけるCTDデータ処理

柏野 祐二^{*1} 青山 道夫^{*2}

WOCE (World Ocean Circulation Experiment) 各層観測で要求される高精度のCTDデータを得るために、CTDデータ処理システムを開発した。これは生のCTDデータから塩分スパイクなどのエラーを取り除き、オートサルで測定した塩分値や各センサーに対するプレ・ポストクルーズキャリブレーションの結果を用いて較正を行い、WOCEで定められているフォーマットのファイルを作成するものである。このシステムを用いることにより、1994年2月、1995年1月、1996年6月の3回のWOCE観測において、WOCE各層観測で要求される精度を上回る高精度のCTDデータを得ることができた。

キーワード: WOCE, WHP, CTD, キャリブレーション

CTD data processing for WOCE observation

Yuji KASHINO^{*3} Michio AOYAMA^{*4}

The data processing system for CTD data was developed to obtain high-quality CTD data satisfying the requirement defined in WOCE (World Ocean Circulation Experiment) Hydrographic Programme (WHP). Raw CTD data is corrected using the salinity value obtained by Autosol and pre/post-cruise calibration results for the sensors after error (e.g., salinity spike and shed wake) correction, and WOCE-CTD file is finally created by this system. The higher quality CTD data than that required in WHP was obtained by this system during three WOCE cruise conducted in February 1994, January 1995 and June 1996.

Key words : WOCE, WHP, CTD, Calibration

* 1 海洋観測研究部

* 2 気象研究所

* 3 Ocean Research Department

* 4 Meteorological Research Institute

1 はじめに

近年、海洋を調べることを目的とした国際プロジェクトが活発に実行されている。なかでも WOCE (World Ocean Circulation Experiment) は地球規模の海洋大循環を調べることを目的とした国際プロジェクトで、約 40 カ国の海洋研究者が参加する大規模なものである。この目的を達成するため、CTD 及び採水観測により世界中の海の温度、塩分などの物理、化学パラメータの分布を調べる WOCE 各層観測計画 (WOCE Hydrographic Programme, 以降 WHP と略す) が WOCE プロジェクトの中に組み込まれている。この WHP の観測に関しては、深層の循環の調査も対象としていることから高い観測精度が要求されている。これは深層は表層に比べ温度や塩分などの物理、化学量の水平・鉛直変化が小さいため、場所による値の違いを認識するためには表層における観測より 1 桁～2 桁高い精度で観測しなければならない。この精度については Joyce and Corry (1993)¹⁾ に定められており、例えば CTD (Conductivity-Temperature Depth profiler) 観測については表 1 に示される精度が要求されている。

当センターでは平成 2 年から受託研究「フィリピン東方海域における流量変動の観測研究」及び「インドネシア通過流の観測研究」の一環として WOCE 観測をフィリピン、インドネシア近海において行ってきた。特に平成 5 年度から WHP で定められたリピート測線 (観測測線については Gould and Webster (1994)²⁾ を参照されたい) である PR1, PR23, PR24 及びワントタイム測線である P8 において、CTD 及び採水観測を行った。その際、CTD から得た生のデータを処理して WHP で定められた精度を満たすデータセットを作成するシステムが必要となった。

CTD のデータ処理については、長崎海洋気象台海洋課 (1992)³⁾、川辺・川崎 (1993)⁴⁾、Millard and Yang (1993)⁵⁾ にその方法が示されている。しかしながら、これらの資料はすべて Neil Brown 製の CTD に関するもので、当センターの WOCE 観測で使用した Sea Bird 製の SBE 911plus から得られるデータに対する処理方法が、当センターで WOCE 観測を開始した時点で確立されていなかった。また、SBE 911plus には、Sea Bird 社で開発したデータ処理ソフトである SEA SOFT が添付されているが、このソフトウェアは WOCE 観測には対応していないので独自にソフトウェア開発を行う必要があった。

そこで、平成 5 年度の観測 (1994 年 2 月) に先立って

データ処理法を考案しそのためのシステムを開発した。本稿では、1996 年 6 月の WOCE ワントタイム観測で用いた最新のシステムを紹介する。なお、本稿で用いている図表のデータは一部を除き、同じ 1996 年 6 月の観測で得たものである。

本稿は次の構成となっている。まず第 2 章でシステムの構成やその開発について述べる。次に第 3 章でシステムにより行われるデータの校正方法について記す。第 4 章ではシステムのプログラム説明を記述する。最後に第 5 章でシステムを応用した結果及び今後の課題について述べる。

表 1 WOCE の CTD 観測において要求される観測精度
Table 1 Accuracy and precision required in CTD observation for WOCE Hydrographic Programme.

	確度 (Accuracy)	精密さ (Precision)
圧力 (dbar)	3	0.5
温度 (°C)	0.002	0.0005
塩分 (PSS-78)	0.002	0.001

2 システム構成

WOCE の CTD 観測データとして、キャストごとに CTD ファイルと呼ばれる、2 db 毎に鉛直平均化したデータ及びその品質フラグが書き込まれているファイルを、WHP 事務局 (WHP Office, 以降 WHPO と略す) に提出をする。本システムは、SBE 911plus システムから 24 Hz の周波数で取得される生の CTD データから、ノイズ除去等の処理を行い CTD ファイルを作成するものである。

本システムは、船上において実行可能なデータ処理に関する作業を、すべて船上で行うというコンセプトのもとに構築されている。

2.1 ハードウェア構成

本システムを動作させるためには、WOCE 観測で使用した SBE 911plus システムが必要である。CTD には温度及び電気伝導度センサーがそれぞれ二つ、圧力センサー及び溶存酸素センサーが各一つ、アルチメータが 100 m 及び 300 m レンジのものが各一つ取り付けられている必要がある。なお、溶存酸素センサーからのデータについては、そのデータ校正方法が確立できなかったのでシ

システムはこれを校正しない。また、温度・電気伝導度のセカンダリセンサーからのデータについては、プライマリセンサーの結果のチェックのために使用するの、それに対しては校正は行わない。

データ処理を行うコンピューターとして、1996年6月のWOCE観測では次のものを用いた。これらは観測期間中「かいよう」の総合指揮室に配置した(写真1)。

① データ取得用コンピューター(写真1右)

DECpc 466D2LP (IBM-PC互換機, DOS/V)

メモリ: 8 MB, ハードディスク: 240MB搭載

3.5インチフロッピーディスクドライブ内蔵

外付けとして、3.5インチ128MB光磁気ディスク

(MO) ドライブ, 及び5インチ(片面300MB)

MOドライブを接続

CTDデッキユニットと二つのCOMポートを通して接続

② データ解析用コンピューター(写真1左)

DECpc 466D2LP (IBM-PC互換機, DOS/V)

メモリ: 8 MB, ハードディスク: 240MB搭載

3.5インチ・5インチフロッピーディスクドライブ内蔵

外付けとして、3.5インチ128MB MOドライブ2台, 及び2GBハードディスク2台を接続

③ データ編集用コンピューター(写真1には写っていない)

NEC PC-9821Na12 (Windows95)



写真1 WOCE観測においてCTD観測で使ったコンピューターシステム。右がデータ取得用、左がデータ解析用のものである。「かいよう」の総合指揮室において撮影。

Photo 1 Computer systems used in WOCE CTD observation in the control room of R/V KAIYO. Right one is used for data acquisition, left one for data processing.

メモリ: 32MB, ハードディスク: 1.2GB

3.5インチフロッピーディスクドライブ, CD-ROMドライブ内蔵

外付けとして、3.5インチ230MB MOドライブを接続

これら複数のコンピューターを用意した理由は、測点間隔が長くとも30マイル以下であるため、コンピューターがもし1台しかなければデータを処理している間に船が次の測点についてしまうことが起こり得るためである。

それぞれのコンピューターの位置づけを次に記す。

① データ取得用コンピューター

CTDデッキユニットからのバイナリ形式の生データを保存するとともに、観測中に鉛直プロファイルなどの情報を画面上に表示し、CTD及び採水器を制御するために用いるコンピューターである。画面上には温度、溶存酸素、CTD降下速度、アルチメータの鉛直プロファイルを出力し、画面の最下行には圧力、温度、二つのアルチメータの値を表示する。これらの値を基に総合指揮室においてデッキ上の作業者に対するワイヤの繰り出し速度の変更の指示や、採水器のボトルの閉鎖を行う。

生データはMOではなく、内蔵のハードディスク上にいったんセーブする。これはMOのアクセス速度が遅いため、MOにデッキユニットからのフルサンプリングデータ(24Hz)を直接出力すると、データ欠損が生じるためである。5インチMOは生データのバックアップ用であり、3.5インチMOはコンピューター間のデータ交換に用いる。ハードディスクにいったんセーブされた生データは観測終了後これらのMOに転送する。

② データ解析用コンピューター

データ取得用コンピューターでセーブしたバイナリ形式の生データをアスキー形式に変換し、エラーデータの除去や種々のデータ校正の作業を行うために用いるコンピューターである。

データ取得用コンピューターの3.5インチMOにコピーされたデータは、このコンピューターの3.5インチMOドライブを通して外付けの2GBハードディスクに転送する。エラー除去等のデータ処理はこのハードディスク上のデータに対して行う。これはCTDデータのサイズが10MBのオーダーであり、MO上で処理すると膨大な時間を要するためである。

③ データ編集用コンピューター

SUMファイルと呼ばれる、測点に関する情報を格納したStation Summary Fileの編集や、データのチェック、プログラム開発を行うためのコンピューターである。

2.2 ソフトウェア構成及びその開発

各コンピュータ上におけるソフトウェア構成と、データフローを図1に示す（なお、コンピュータが故障した場合を考慮して、データ取得及び解析コンピュータの両方にSEA SOFT及び開発したプログラムの両方をインストールしている）。すなわち次のようにCTDデータは処理される。

- 1) 観測中にCTDのデッキユニットから得られるバイナリ形式の生データは、デッキユニットに接続されているデータ取得用コンピュータのハードディスクに蓄えられる。
- 2) 観測終了後、ハードディスク上の生データを5インチMOにバックアップすると同時に、3.5インチMOにコピーする。
- 3) 3.5インチMOの生データを、データ解析用コンピュータの外付け2GBハードディスクにコピーする。
- 4) データ解析用コンピュータにおいて、バイナリ形式からアスキー形式にフォーマット変換する。
- 5) ノイズ除去や塩分スパイク及びシェッドウェイク（詳しくは第3章を参照のこと）に対する処理を行う。
- 6) オートサルによる採水した海水の分析結果を基に電気伝導度を補正する。
- 7) 塩分値を計算した後、2 db毎の鉛直区間平均を計算し、CTDファイルを作成する。

7)が終了した時点で作成されるCTDファイルは、温度、塩分及び圧力センサーのポストクルーズキャリブレーション前のデータファイルである。これらのセンサーのポストクルーズキャリブレーション後に、その結果を反映したCTDファイルを陸上で作成する。

開発効率を上げるためにデータ処理を行うソフトウェアとして、SEASOFTを利用できる部分についてはそれをそのまま使用し、できない部分についてのみ開発した。1996年6月の観測時にはSEASOFT Ver4.207を用いた（それ以前の観測においてはVer4.031及びVer4.200を用いていたが、観測終了後CTDデータが紛失する事態が発生したため、1996年の観測ではバージョンアップした）。開発はMS-FORTRAN Ver5.1を用いてDOS/Vマシン上にて行った。

プログラム開発に当たっては、WOCEのデータを扱うことから、特別に以下のことを考慮した。

- a) 提出するデータの精度が高く、例えば塩分では0.0001PSUまでデータファイルに記述する。したがっ

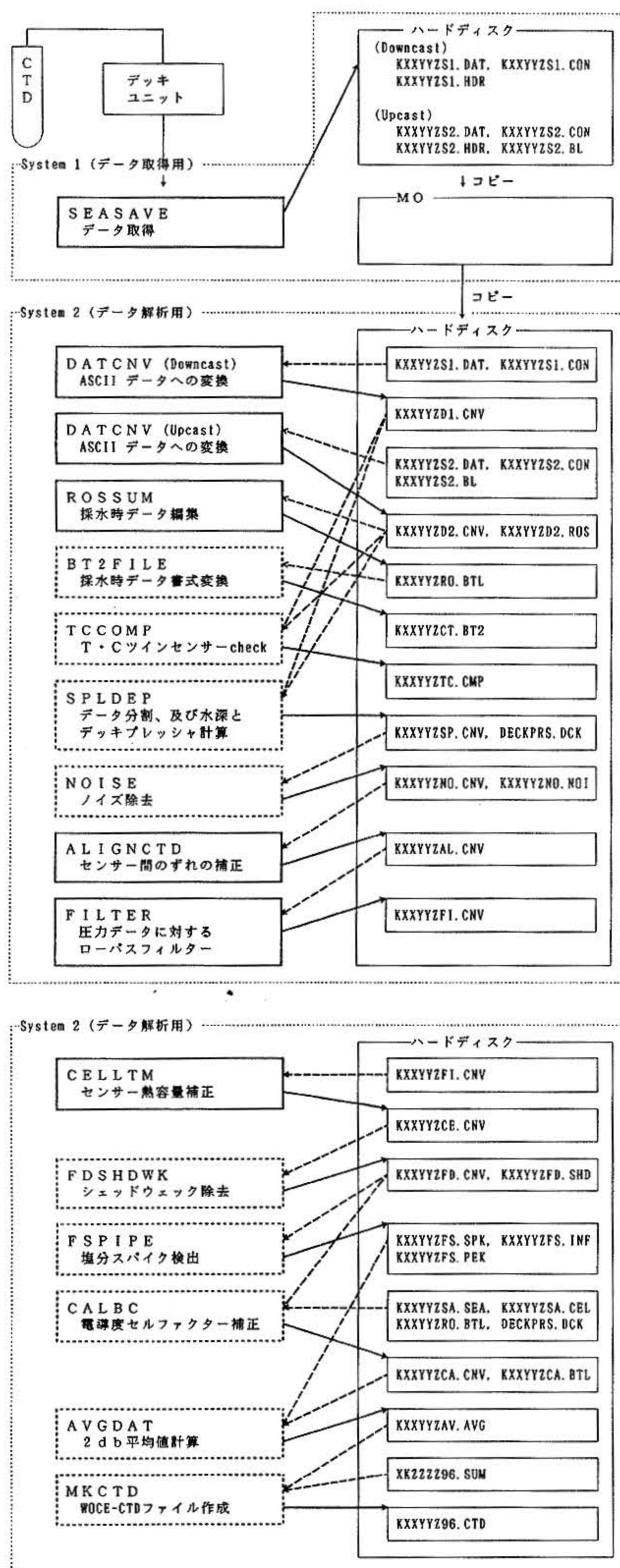


図1 本システムのプログラム構成とデータフロー

Fig.1 Programs of the system and its data flow.

てプログラム中で用いる変数が単精度変数では、データ処理中に桁落ちする恐れがあるので、すべて倍精度変数を用いた。

- b) WHPOにデータ提出後、そこからデータの内容に関する問い合わせや、修正の指示が来ることがある。それに対応できるようアスキーコードに変換した中間ファイルのヘッダ部には、各プログラムの動作環境の情報を書き込むようにした。
- c) フルサンプリングした24Hzのデータに対してデータ処理を行うため、扱うデータの量が膨大である。したがってデータの保存効率や処理効率を上げるため、プログラムはノイズ除去等の処理に直接関係ないパラメータ（例：溶存酸素）は中間ファイル中に出力せずに、温度、電気伝導度（ともにプライマリセンサーからの出力のみ）、圧力、品質フラグのみ出力するようにした。
- d) データのチェックが簡単にできるようにするため、SEASOFTで扱えるデータのフォーマットで中間ファイルを作るようにした。このため、SEASOFTに付属している画面表示用のユーティリティ（SEAPLOT）が、本システムにより出力された中間ファイルに対しても使用できる。
- e) 複数のWHPラインを一回のクルーズで行う場合や、同一測点において複数回のキャストを行う場合があるため、それに応じたファイル名をつけるようにした。すなわち、ファイル名の命名規則を次のようにした。

K○○□□△××. ◎◎◎

K：「かいよう」を表す。

○○：観測測線名（例えばPR24では24）

□□：測点番号（同一測線内通番）

△：キャスト番号（同一測点内の通番）

××：観測年またはそのデータを出力したユーティリティの頭文字2文字

◎◎◎：拡張子で、WHPOに提出するCTDファイルは"CTD"，途中の中間ファイルは"CNV"，デッキユニットからのバイナリ形式の生データは"DAT"である。

なお開発したプログラムの一部には、長崎海洋気象台海洋課（1992）³⁾のものを流用している。

3 データ較正方法

3.1 全般

この節では温度、電気伝導度、圧力の3種類のパラメータに共通したデータ較正について記述する。

1) ノイズ

CTDのデッキユニットから得られる温度・電気伝導度・圧力のデータに、Neil Brown製のCTDのデータに見られるようなスパイク型のノイズが入ることを想定して、それを検出して取り除くプログラムを開発した（除去するノイズの定義を表2に示す）。検出したノイズはその前後12ステップ（合計25ステップ）の移動平均値に置き換えられる。

結果として、圧力以外のデータにはスパイク型のノイズは検出されなかった。なお、表2に記したノイズのしきい値が大きすぎることがノイズが見つからない理由となっていることも考えられるが、これは次項に記すシェッドウェイクによるものをスパイク型ノイズと別に扱うようにするためである。

表2 本システムで除去するノイズ

Table 2 Noise definition removed by the system.

	圧力 (db)	温度 (℃)	電気伝導度 (S/m)
1. 範囲	0.5 以下 または8000以上	0 以下 または32以上	2 以下 または8 以上
2. 前ステップ における値 からの差	1.0 以上	0.5 以上	0.05 以上
3. 移動平均 からの差			
(a) 0- 400m	0.5 以上	1.0 以上	0.1 以上
(b) 400-1000m	0.5 以上	0.2 以上	0.02 以上
(c) 1000-2000m	0.5 以上	0.1 以上	0.01 以上
(d) 2000-海底	0.5 以上	0.05 以上	0.005 以上

2) シェッドウェイク

CTDを降ろしている際、CTDと採水器に接する海水も粘性のためCTDと共に降下する。ところが船の動揺によりCTDが一定速度で降下せずに海中で上下運動をした場合、CTDの周りの海水がCTDを追い越してセンサー付近の海水と混ざり合う現象が発生する。これをシェッドウェイク (Shed Wake) という。この現象が起こった結果として図2に示すようにその場所で塩分スパイクや密度逆転が生じるため、データの品質の悪化を招く。

「かいよう」のようにCTDを降ろす場所が船の重心から離れている船では、CTDが海中で上下運動をしやすく、この現象が起こりやすい。

このシェッドウェイクによるエラーは、例えば図2に現れている大きなものでは、塩分で0.02PSU、温度で0.2 Kと、WOCEで要求される精度をはるかに越える（2 dbの鉛直区間平均値を取った場合）。この数値は以降に述べる塩分スパイクのエラー以上に大きなものであり、さらにはこの現象が表層に限らずどの深さでも起こり得ることから、WOCEの精度を満たすデータを得るに当たって最も深刻な問題となっている。

本システムではシェッドウェイクを、CTD降下速度が0.25m/s以下になった時点から、降下速度が0.25 m/s以上かつ圧力及び密度逆転が解消された時点までと定義した。その間のデータはシェッドウェイク直前と直後のデータで線形補間した。結果としてCTDファイル中の2 db平均値データを作成した際に、補間されたデータが全体の半分以上を占めた場合、その2 db区間のデータのフラグを6（補間データ）とした。

1995年1月、1996年6月のWOCE観測では、このシェッドウェイクにより除去されたデータはそれぞれ全体の12.5%、9.7%であった（1995年1月のほうが数値が大きいのは、冬季のモンスーンの吹き出しにより、海況が悪くなかったためである）。また、海況が悪くない時のキャストにおいては20%を越えるデータが除去された。すなわち、通常でも1割、海況が悪いときで2割以上のデータを除去しなければならなかった。

3.2 温度値の較正

SBE 911plusの温度センサーには、値が線形的に経年変化を示すという特性がある（図3）。したがって、プレクルーズキャリブレーション時とポストクルーズキャリブレーション時の変化量から、クルーズ期間中の真値との差を線形的に見積もることができる。例えば1996年6月のWOCE観測の前後ではその変化率が-0.0002K/月であったことからクルーズ中の真値との差は-0.0005Kと見積もられた。

3.3 電気伝導度値の較正

電気伝導度センサーについても、クルーズの前後でキャリブレーションを行っているが、その結果を用いた較正は行わない（オートサルによる塩分測定結果により較正しているため）。

1) 温度センサーと電気伝導度センサーの間のタイム

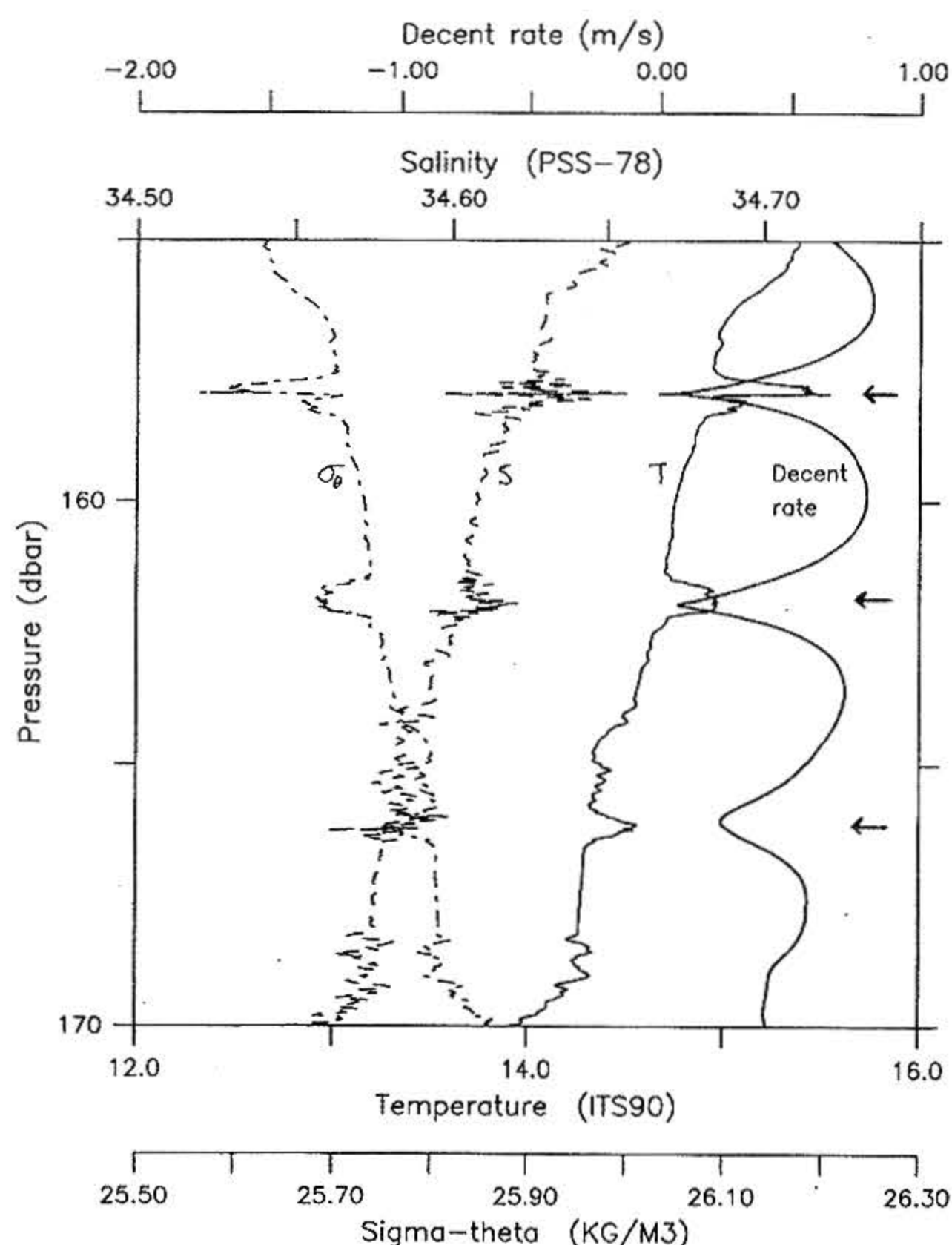


図2 シェッドウェイクを含んだ温度 (T)、塩分 (S)、 σ_θ 、CTD降下速度 (decent rate) の鉛直プロファイル。CTD降下速度が遅くなっている部分（図の←）において、塩分スパイクや密度逆転が見られる。これがシェッドウェイクである

Fig. 2 Vertical profile of temperature (T), salinity (S), sigma-theta, and CTD decent rate including shed wakes. Shed wakes are found at the level marked by “←”, where salinity spikes and reversal of density are seen with slowdown of CTD decent rate.

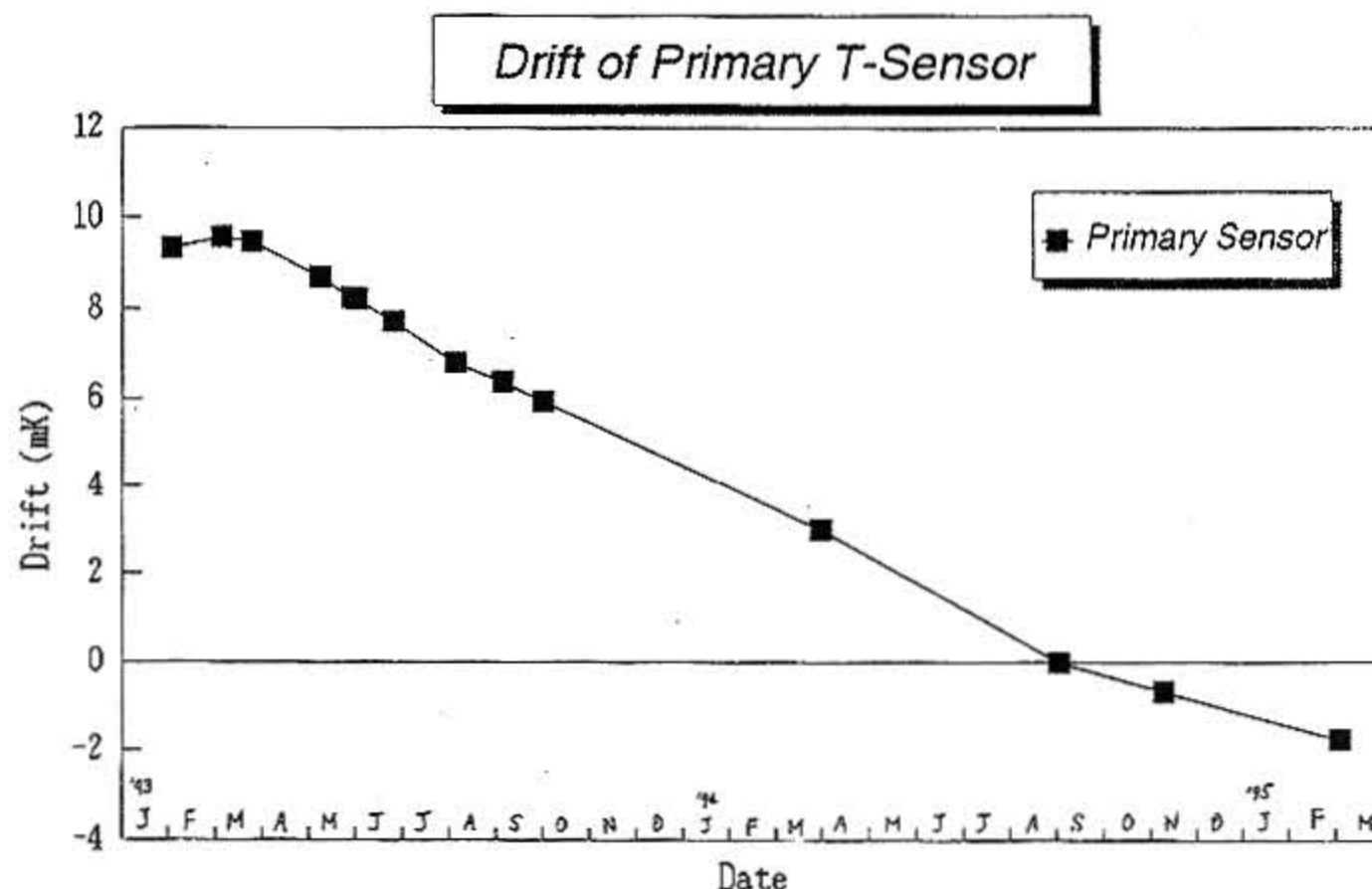


図3 WOCE観測で使用されたCTDの温度センサーの温度値のドリフト (Kawano and Aoyama⁶⁾より抜粋)

Fig. 3 Temperature drift of CTD temperature sensor used for WOCE CTD observation (extract from Kawano and Aoyama⁶⁾)

ラグ（塩分スパイク）

温度センサーと電気伝導度センサーのレスポンスの間にタイムラグがある場合、温度及び塩分が鉛直方向にステップ状に変化するような構造をCTDが通過した際に、その境界面付近に塩分スパイクを生じる（図4）。本システムでは次式で定義した塩分スパイクの面積の合計Sが最小となる際のタイムラグを求め、そのずれを修正している。

$$S = \sum_{i=1}^N (P_{Li} - P_{Ui}) H_i$$

P_{Li} , P_{Ui} , H_i はそれぞれi番目の塩分スパイクの下面、上面の圧力及びスパイクの高さ、Nは検出したスパイクの数である。本システムでは水深20m～1,000m間の高さが0.01PSS以上のものを検出する。ただし、スパイクの半値幅を5ステップとして、長崎海洋気象台海洋課(1992)³⁾で示されているものと同等な処理により検出している。

例えば1996年6月の観測時には0.4ステップ分（0.4/24=0.0167秒）温度センサーが電気伝導度センサーに比べ遅れているという結果が得られた（図5）。このずれの分だけ、温度センサーのデータに対して進ませる処理を行った。

上記の処理を行っても、温度・電気伝導度センサーの間のタイムラグが、深度により変化することから塩分スパイクを完全にとりきることはできない。塩分スパイクを除去できなかった場合、CTDファイル中のスパイクが存在するレコードの塩分のフラグを3（疑問あり）とした。

2) 電気伝導度センサーのセルの熱容量の効果

Sea-Bird Electronics Inc. (1994)⁷⁾によると電気伝導度センサーセルの熱容量の効果によるエラーが、温度の鉛直勾配の急なところで塩分値0.005PSUに達する。この効果に対する補正は、Lueck (1990)⁸⁾で示される再帰型フィルターを使用することにより行った。

3) セルフファクターによる較正

採水した海水をオートサルにより分析した結果を用いて次式により電気伝導度の値を較正した。

$$C_{New} = A \times C_{Old} + B$$

C_{Old} 及び C_{New} はそれぞれ較正前及び後の電気伝導度の値で、A及びBは採水時のCTDが示す電気伝導度と、オートサルにより求められた電気伝導度からキャスト毎に計算した一次回帰式の係数である。

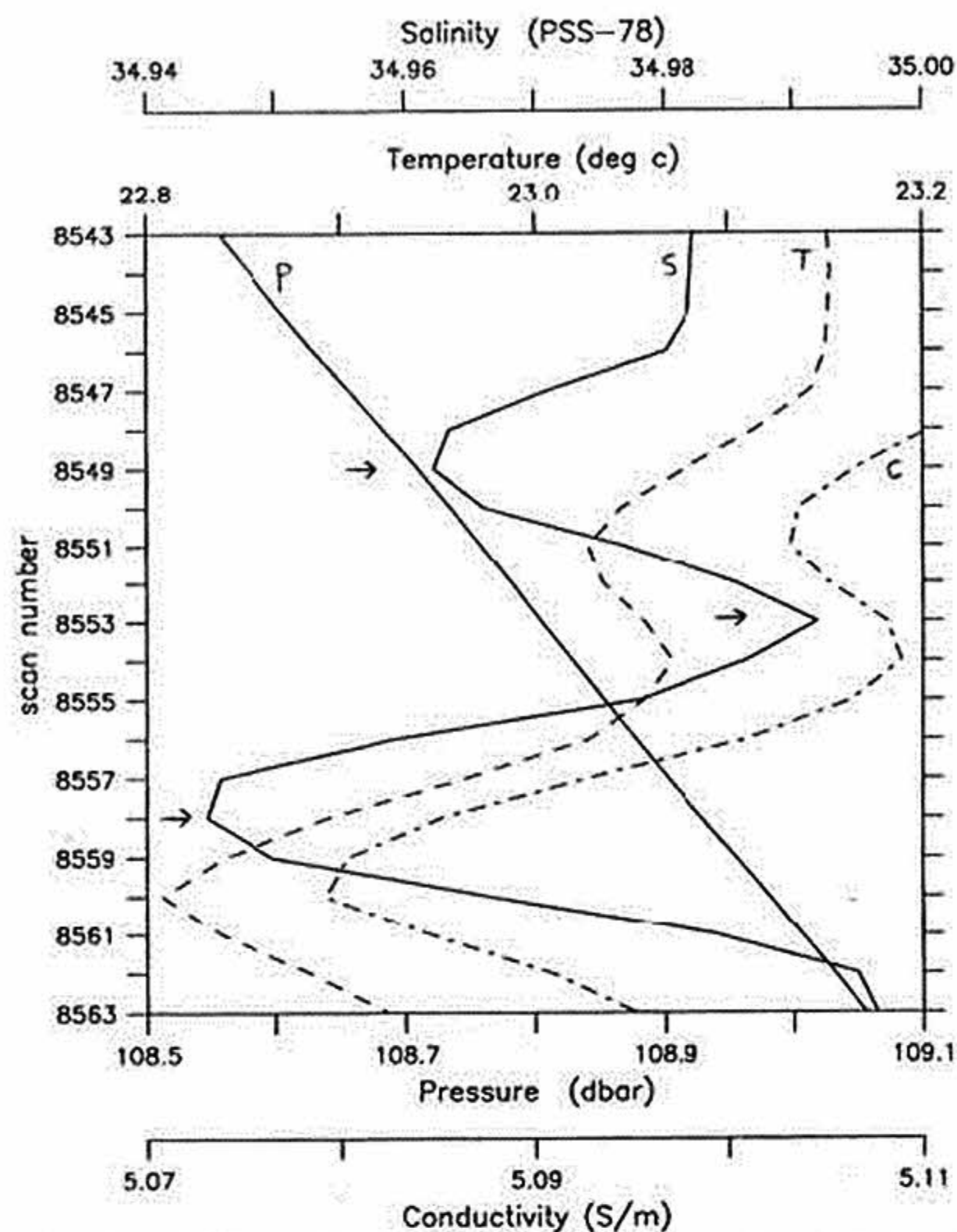


図4 縦軸にデータ取得開始からの scan number (24Hzの周波数でデータを取得するので、24で割った数が秒と一致する)を取った場合の、温度、電気伝導度、塩分値の変化の例。図には塩分値のピークが三つ見られるが（図の→）、その時刻には温度、電気伝導度ともピークになっていない。すなわち、この塩分値のピーク（塩分スパイク）は現実の海洋には存在しないものであり、温度センサーと電気伝導度センサーのレスポンスの違いから生じているものである

Fig. 4 An example of variabilities of CTD temperature, conductivity and salinity for scan number. Three salinity peaks (marked by "→") are seen, although temperature and conductivity values are not peak at each time. These salinity peaks (salinity spike) do not exist in the real ocean, and are derived from the difference of the response of CTD temperature and conductivity sensors.

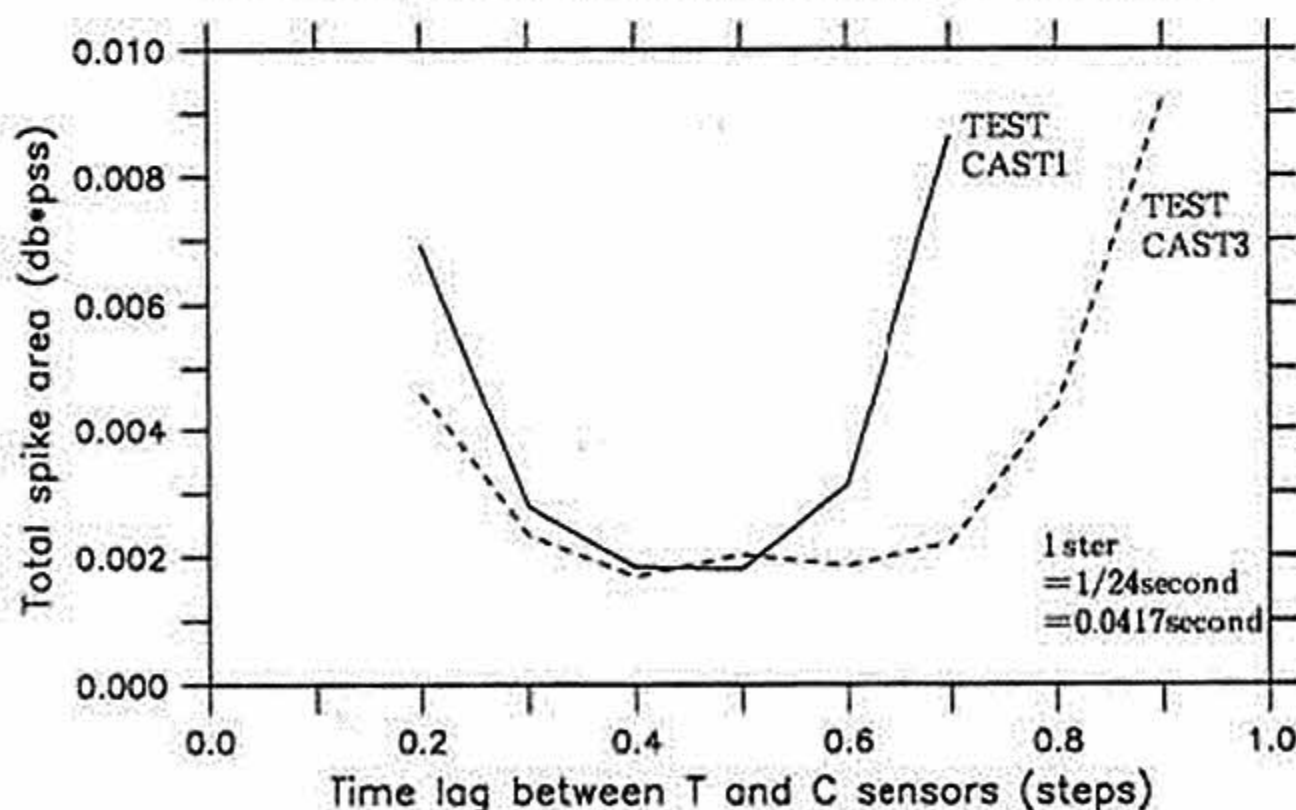


図5 温度センサーと電気伝導度センサーの間のレスポンスのずれに対する塩分スパイク面積の変化

Fig. 5 Variability of total salinity spike area for time lag between temperature and conductivity sensors.

3.4 圧力値の較正

SBE 911plusの圧力センサーからの生の信号には図6に示すような周期が0.1秒以下の細かな振動が見られる。この振動に対しては時定数0.15秒のローパスフィルターをかけて取り除いた。

デッキプレッシャー（CTDが船上にある時の圧力値）の補正については、本システムでは、upcast及びdowncastの生データからデッキプレッシャーを計算し（図7）、観測前後の値の平均値をCTD圧力値から差し引いている。

また、SBE 911plusの圧力センサーは、陸上におけるキャリブレーション（方法は河野ほか(1995)⁹⁾を参照されたい）の結果によると次の特性を持っている（図8）。

- ① センサーにかかる圧力が増大している時と減少している時の値の違い（ヒステリシス）が0.3db以下と、WHPで定められた精度に比べ1桁小さい。
- ② 真の圧力値（デッドウェイトテスターで測定した圧力値）とCTD圧力値の差は、圧力値とほぼ線形の関係があり、圧力値に対して増加する。

本システムでは圧力センサーのヒステリシスに対しては特に考慮していない。線形的に増加する真値との差については、回帰式を求め補正した。

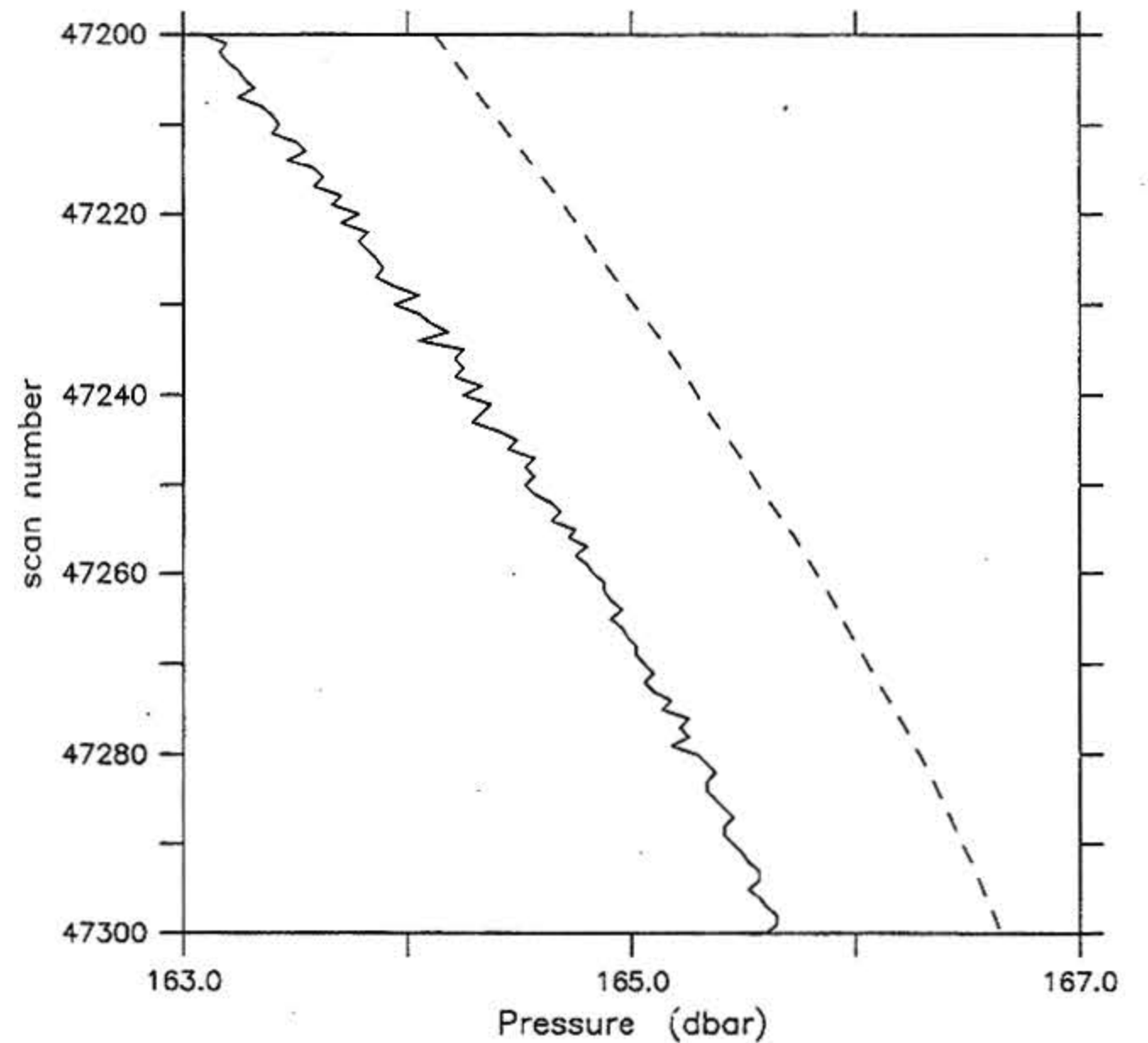


図6 圧力センサーからの生のデータ（実線）と、ローパスフィルターをかけた後のデータ（破線）。ただし、フィルターをかけた後のものは、図を見やすくするため1db加えた値で表示している

Fig. 6 Pressure variability of raw data (solid line) and low-pass filtered data (broken line). Latter is plotted using values added by 1 (db).

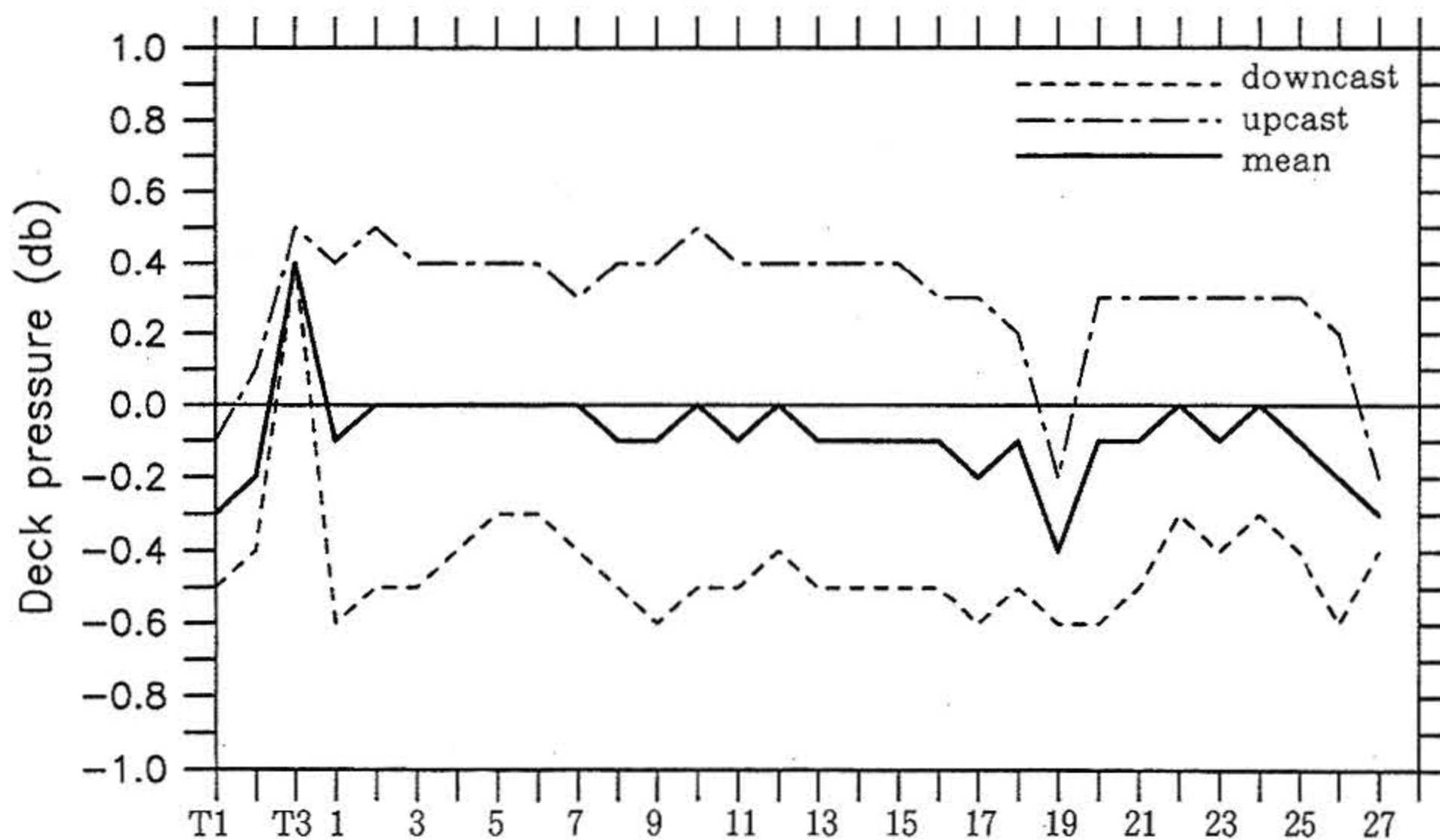


図7 各測点におけるデッキプレッシャー

Fig. 7 Deck pressure for each casts.

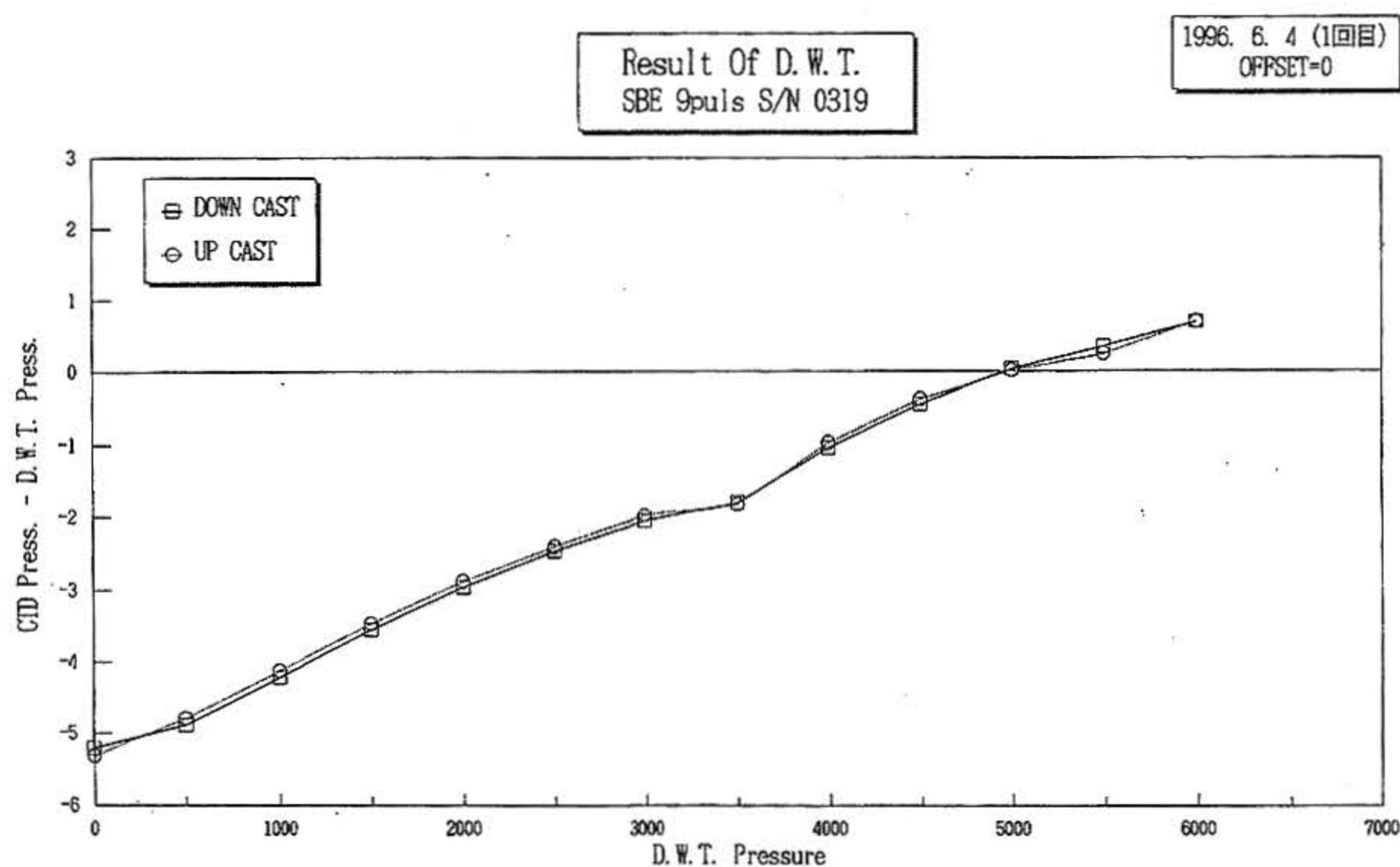


図8 1996年6月4日に行った圧力センサーのプレクルーズキャリブレーションの結果で、圧力値に対する、CTDとデッドウェイトテスターの圧力差をプロットしたもの

Fig. 8 Difference of pressure values between CTD and dead weight tester for pressure value by dead weight tester. This is the result from the pre-cruise calibration for a pressure sensor conducted at June 4, 1996.

4 プログラム説明

図1に示した各プログラムの処理内容について示す。プログラム名の後の括弧はSea Bird社で開発したプログラム (SBE) か、あるいは海洋科学技術センターで開発したもの (JAMSTEC) かを表す。

1) SEASAVE (SBE)

デッキユニットからのデータを画面上に表示すると同時にディスクにセーブするプログラムである。デッキユニットから得られるデータは、温度 (プライマリセンサーとセカンダリセンサーの両方)、電気伝導度 (プライマリセンサーとセカンダリセンサーの両方)、圧力、溶存酸素 (温度/電流)、海底からのCTDの高度 (100m及び300mレンジの二つ) である。これらデッキユニットからのデータは、周波数の値でハードディスクにバイナリ形式でセーブする。

なお実際の運用においては、データ紛失時の危険分散のため、CTD生データをupcast時とdowncast時で分割してセーブした。すなわちCTDが海底直上で降下を停止した時点で、いったんSEASAVEを終了させdowncastデータをセーブし、再度SEASAVEを立ち上げてupcastデータを取得するオペレーションを行った。

2) DATCNV (SBE)

SEASAVEでディスクにセーブされた周波数形式のデータを、プレクルーズキャリブレーションで得られた各センサーの係数を用いて温度などの値に直し、アスキー形式に変換するプログラムである。また、採水時点の温度な

どの値をROSファイルと呼ばれるファイルに出力する。

upcast及びdowncastデータの両方に対して変換する。

3) ROSSUM (SBE)

DATCNVで出力した採水時CTDデータファイル (ROSファイル) を編集するプログラムである。採水直後から10秒間の平均値を計算して、新たな採水時CTDデータファイル (BTLファイル) を作成する。

4) BT2FILE (JAMSTEC)

ROSSUMが出力したBTLファイルには不必要な情報が含まれているので、それを削除し扱いやすいフォーマットに直すプログラムである。

5) TCCOMP (JAMSTEC)

WOCE観測で使用したCTDには、センサーのチェックのため温度及び電気伝導度センサーを各2個装着している。TCCOMPはこれら二つの温度及び電気伝導度センサーの値を比較するプログラムで、二つのセンサーからの値の差をヒストグラム形式で画面に表示する。

観測期間中は、各測点において二つの温度と電気伝導度センサーからの値の差の平均値をグラフ化して、センサーに異常が起きているかをチェックした (図9)。

6) SPLDEP (JAMSTEC)

DATCNVにより出力したアスキーデータをupcast時のものとdowncast時のものに分割すると同時に、デッキプレッシャーやCTDが海底に最も近づいた時の海面から海底までの水深を計算するプログラムである。海底までの水深は、CTD圧力値を水深に換算したものにア

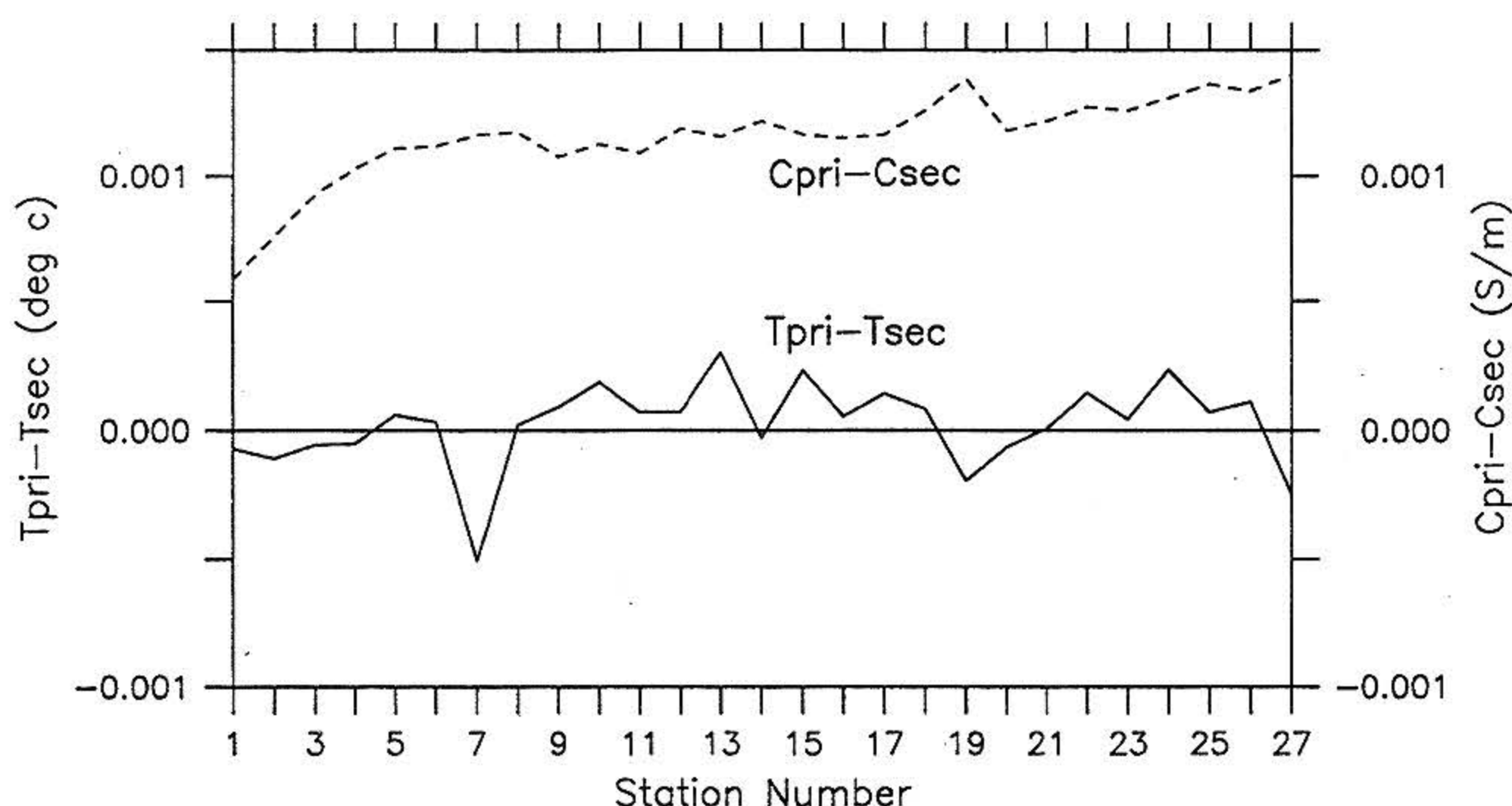


図9 各測点ごとの二つの温度、電気伝導度センサー間の差

Fig.9 Difference between twin temperature and conductivity sensors for each casts.

ルチメータの値を加えるという方法により求めている。

7) NOISE (JAMSTEC)

3.1節1)項で記したノイズを取り除くプログラムである。ノイズを取り除くとともに、以降のデータ処理効率を上げるために、不必要なデータ（温度と電気伝導度のセカンダリセンサー、溶存酸素センサー、アルチメータからのデータ、及びCTDがデッキ上にある時のデータ）を取り除く。

8) ALIGNCTD (SBE)

センサー間のレスポンスの違いを補正するプログラムである。本システムでは、塩分スパイクの原因となる温度センサーと電気伝導度センサーの間のタイムラグを補正するために使用している。

9) FILTER (SBE)

CTDデータにローパスフィルターをかけるプログラムである。本システムでは、圧力データに現れる細かな振動を取り除くために使用している。

10) CELLTm (SBE)

電気伝導度センサーのセルの熱容量の効果の除去を行うプログラムである。

11) FDSHDWK (JAMSTEC)

シェッドウェイクを探し、その上下のデータで補間するプログラムである。

12) FSPIKE (JAMSTEC)

塩分スパイクを検出し、データファイル中にマークするプログラムである。

13) CALBC (JAMSTEC)

セルファクターにより電気伝導度の校正を行うプログ

ラムである。

14) AVGDAT (JAMSTEC)

2 dbごとの温度・塩分値の鉛直平均値をMillard and Yang (1993)⁹⁾に示された方法で計算するプログラムである。また、温度センサーの経年変化によるオフセットの補正や、デッキプレッシャーの補正、温度の単位のIT PS-68からITS-90への変換の処理も同時に行う。

15) MKCTD (JAMSTEC)

2 db平均化されたデータから、Joyce and Corry (1993)¹⁾で定められたフォーマットのCTDファイルを作成する。この際、各データには塩分スパイクの存在の有無、シェッドウェイクによる補間の状態に応じてフラグを立てる。

CTDを海に降ろした直後（水深15db以浅）ではCTDのポンプが作動せず、精度が良くないことが予想されるので、その時の温度、塩分値には-9.0（値なし）を設定する。

5 結果及び今後の課題

以上に記した処理によりそれぞれのパラメーターについて得られた精度（Accuracy）を、1996年6月のWOCE観測について示す。

1) 温度

プレクルーズ及びポストクルーズキャリブレーションの結果から、センサーが示す温度値のシフトはクルーズの前後で0.001°Cであり、またプライマリ、セカンダリセンサーの比較チェック（図9）から特にセンサーに異常が認められないことから、その精度は0.001°Cより良いと考えられる。

表3 採水時のCTDの塩分値とオートサルで分析した塩分値の差の平均、平均二乗根、及び絶対値の最大値

Table 3 Average, root mean square and maximum of absolute value of the difference between CTD salinity and Autosol salinity.

水深(圧力) (db)	平均値 (PSS-78)	平均二乗根 (PSS-78)	絶対値の最大値 (PSS-78)	サンプル数
0 - 500	-0.00582	0.02771	0.1802	307
500 - 2000	-0.00020	0.00081	0.0046	247
2000 - 海底	0.00014	0.00057	0.0018	325

2) 塩分

表3に、オートサルで分析した海水の塩分値と採水時のCTDの塩分値の比較結果を示す。この表から、500db以深では、オートサルで測定した塩分値を基準とした精度が0.001PSU以下であることがわかる。したがって、塩分スパイクやシェッドウェイクが存在する場所を除けば0.001PSUより精度が良いと考えられる。

3) 圧力

考えられる誤差として、a)クルーズの前後の圧力センサーのシフト、b)真値との差の回帰式による補正に伴う誤差、c)ヒステリシス、d)デッキプレッシャーの変化に伴うものが考えられる。これらの誤差は0.1~0.4dbであることから、すべてを合わせても1db程度であり、よって精度は1.0db程度と考えられる。

すなわち、以下に述べる塩分スパイクや、シェッドウェイクが存在する部分を除けば、1996年6月に行ったWOCE観測のCTDデータについてはWHPで定められた精度を満たしたデータであると言える。1994年2月、1995年1月のWOCE観測で得たデータについてもほぼ同じ精度である。

最後に今後の課題について以下に示す。

1) 塩分スパイクの除去

本システムでは、塩分スパイクの原因となっている温度センサーと電気伝導度センサーのレスポンスの差を、すべての場所で一定としている。ところが、Millard and Yang (1993)⁹⁾によると、Neil Brown製CTDの場合この差はCTDの降下速度に依存している。したがって、CTDの降下速度に応じてSBE 911plusにおけるセンサー間のレスポンスの差がどう変わるかを調べるべきであるが、今のところ行っていない。

なお、1996年6月の観測において見つかった塩分スパイクの中で、大きなものはその高さが0.04PSUに達していた。この場合、その面積から予想される誤差は0.003~0.004PSUにもなり、WHPで定められた精度の2倍にもなる。しかしながらこのような大きな塩分スパイクはほとんどが温度や塩分の鉛直勾配が大きい混合層の直下(水深100m付近)に限られており、WOCEの目的である深層も含む海洋大循環の解明という点に関して大きな影響を与えるものではない。

2) シェッドウェイク対策

シェッドウェイクに対する対策としては、船上にてウィンチにかかる張力をモニターしながら、ワイヤの繰り出し速度を変える、トラクションウィンチを用いるなどの方法がある。しかしながら、これらの方法はCTDオペレーションを難しくする、コストがかかるなどの問題がある。

3.1で示したように、WOCEの観測域である赤道域のようにあまり荒れない海域でも、「かいよう」で観測を行った場合1割のデータが使いものにならなかった。さらに「かいよう」と同様に舷が高くCTDを後部から降ろす方式である「みらい」の場合、荒天域である中高緯度において観測を行うため、船の動揺を抑える装置が付いているとはいえ、問題になる可能性がある。

謝 辞

本CTDデータ処理システムを作成するに当たって、株式会社イー・エム・エスの桑原健作氏ならびにSea Bird社のR.Baumann氏から様々な技術情報を提供していただきました。また、本報で用いた圧力センサーのキャリブレーション結果は、日本海洋事業株式会社の林美鶴女史の作業により得られたものです。各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Joyce, T., and C. Corry (Eds): Requirements for WOCE Hydrographic Programme data reporting. WHPD Publication 90 (1) Revision 2, (1993)
- 2) Gould, J., and F. Webster (Eds): WOCE Data Handbook. WOCE International Project Office, (1994)
- 3) 長崎海洋気象台海洋課: 長崎海洋気象台におけるCTDデータのフルサンプリング及びデータ処理手順. 第3版, (1992) (未印刷)

- 4) 川辺正樹・川崎 清 : CTDデータ校正の手引き.
日本海洋データセンターマニュアルガイド NO. 4,
JP013-93-1, (1993)
- 5) Millard, R., and K. Yang : CTD calibration
and processing methods used at Woods Hole
Oceanographic Institution. WHOI Tech. Rep. 93-
44. (1993)
- 6) Kawano, T. and M. Aoyama : "CTD/Rosette
hardware" p40-47. In : Cruise Report for PR23
and PR24 by R/V KAIYO, Ocean Research
Department of Japan Marine Science and
Technology Center, p91. from 14 January 1995
to 24 January (1995)
- 7) Sea-Bird Electronics, Inc. : CTD Data
Acquisition Software SEASOFT Version 4.207
(Manual), 124pp. (1994)
- 8) Lueck, R., : Thermal Inertia of conductivity
cell : Theory, J. Atmos. Oceanic Technol., 7,
741-755. (1990)
- 9) 河野 健・安藤健太郎・青山道夫 : CTDの圧力
センサー検定について, 海洋科学技術センター試験
研究報告, 32, 1-6. (1995)

(原稿受理 : 1996年12月 9 日)