

高速（スライド式）曳航体のデータ処理法および海域実験結果の解析

美澄篤信*¹ 辻 義人*¹ 野本昌夫*²
石井進一*¹ 田崎禎明*³ 鶴旨篤司*³

海洋表層の現象を迅速かつ高精度に把握するため、高速曳航体の開発が行われている。ここでは、昭和59年度に行われた曳航体を用いた海域実験結果から、観測密度および観測精度の評価について報告する。

曳航体を船速4～8 ktで曳航したとき、水平方向に約500～300mの間隔で、CTD値を得ることができる。XBTとの比較から、曳航体を用いて、XBTと同程度に水温の微細な変化を把握できることが示された。

また、船上でリアルタイムにCTD値をモニターできるので、潮目や水塊の貫入等の現象を追跡できることが示唆された。

Field Experiment with an Underwater Sliding Vehicle

Atsunobu Misumi *⁴ Yoshito Tsuji *⁴ Masao Nomoto *⁵
Shinichi Ishii *⁴ Sadaaki Tazaki *⁶ Atsushi Tsurumune *⁶

An underwater sliding vehicle for oceanographic research was developed by Japan Marine Science Technology Center. From May to September, 1984, field experiments were carried out in Sagami Bay with the vehicle, a towed undulating body, on which was mounted a conductivity-temperature depth probe. The vehicle cycled between the sea surface and a depth of about 180 m with a cycle length of 0.5-0.3km when towed at 4-8 miles /hr. It has been shown that the vehicle is able to observe the vertical temperature profile as precisely as XBT. Moreover, it is thought that the vehicle can trace oceanic fronts and intrusions by watching the parameter distributions on a CRT.

*¹ 海洋開発研究部

*² 深海開発技術部

*³ 東海大学海洋学部

*⁴ Marine Research and Technology Department

*⁵ Deep Sea Technology Department

*⁶ Tokai University Faculty of Marine Science and Technology

1. はじめに

海洋表層の現象を迅速かつ高精度に把握するため、海洋科学技術センターでは、新海洋観測システムの一環として、高速曳航体の研究開発を行っている。高速曳航体は、CTD（電気伝導度、水温、深度）等のセンサを搭載した昇降機体が、フェアリングを装着したケーブルに沿って昇降し、電磁誘導を利用してデータ伝送を行うものである。これまでの開発で、昇降機体として、CTDセンサを搭載した小型昇降機体とCTDセンサおよび蛍光・散乱センサを搭載した大型昇降機体が試作されている。

これら曳航体の運動特性や計測システムの特徴を調べるため、相模湾で海域実験を行った。ここでは、小型曳航体を用いて得られたデータの処理法、処理・解析結果から、観測密度およびXBT観測との比較から、計測精度の評価等について検討する。

2. 曳航体計測システムの概要

海域実験に用いた曳航体計測システムの概略を図1に示す。図中の太い矢印は、曳航体に搭載されたCTDセンサで得られたデータの流れを表わしている。

小型曳航体の諸元¹ は以下のとおりである。

寸 法：1 m^L × 0.6 m^W × 0.25 m^H

重 量：約8 kg（空中）

搭載センサ：電気伝導度（誘導型）、水温（サーミスタ）、深度（圧力：半導体）

最大使用深度：200 m

最大連続使用時間：10 時間

ここでは、曳航体の全体システムについて述べる。機体の詳細については、野本¹ によって報告されているので省略する。

以下、データの流れに沿って説明すると、曳航体から送られてくるCTDデータは、船上装置² を経て、船位、時刻等が加えられ、所定のフォー

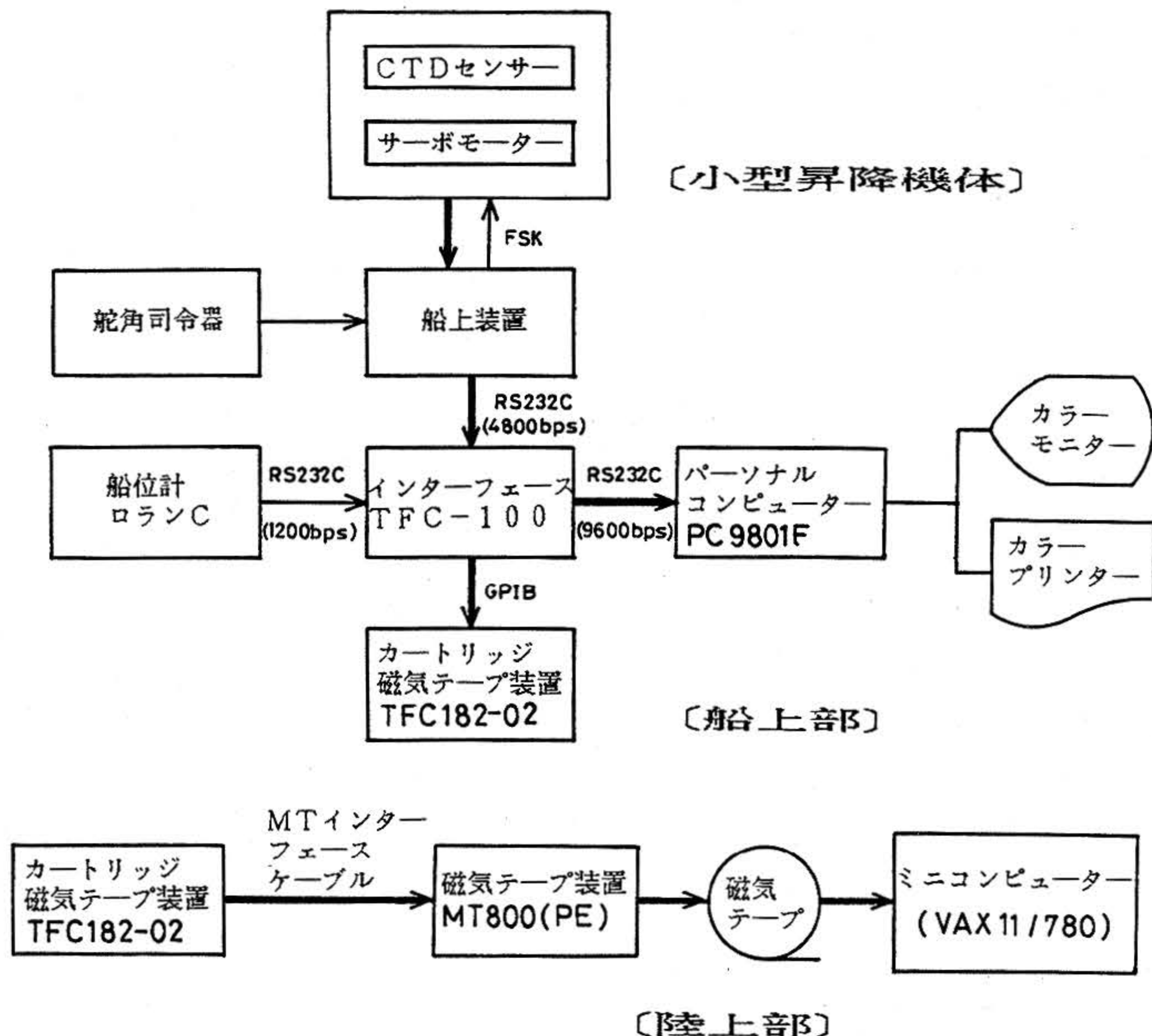


図1 高速曳航体計測システムの構成

Block diagram of the sliding vehicle observation system

マットでカートリッジ磁気テープ装置に記録される。また、曳航体の作動状況は、リアルタイムに船上のパーソナルコンピュータでモニターされる。

次に、カートリッジ磁気テープに記録されたデータを実験室に持ち帰りミニコンピュータを用いて必要な処理を行っている。

3. 海域実験の内容

海域実験を相模湾で実施し、小型曳航体の作動特性および長時間連続計測時のデータの安定性について検討した。

3.1 海域実験Ⅰ

昭和59年度第1回目の海域実験は、5月16日から18日の3日間、相模湾で図2の斜線で囲まれた海域で実施された。17日、18日に小型曳航体の連続曳航試験を行った。曳航中、船速を変化させ、信号が正常に送られてくるか、また、スムーズな昇降運動が行われるかを試験した。曳航索として、長さ120mのフェアードケーブルを使用した。

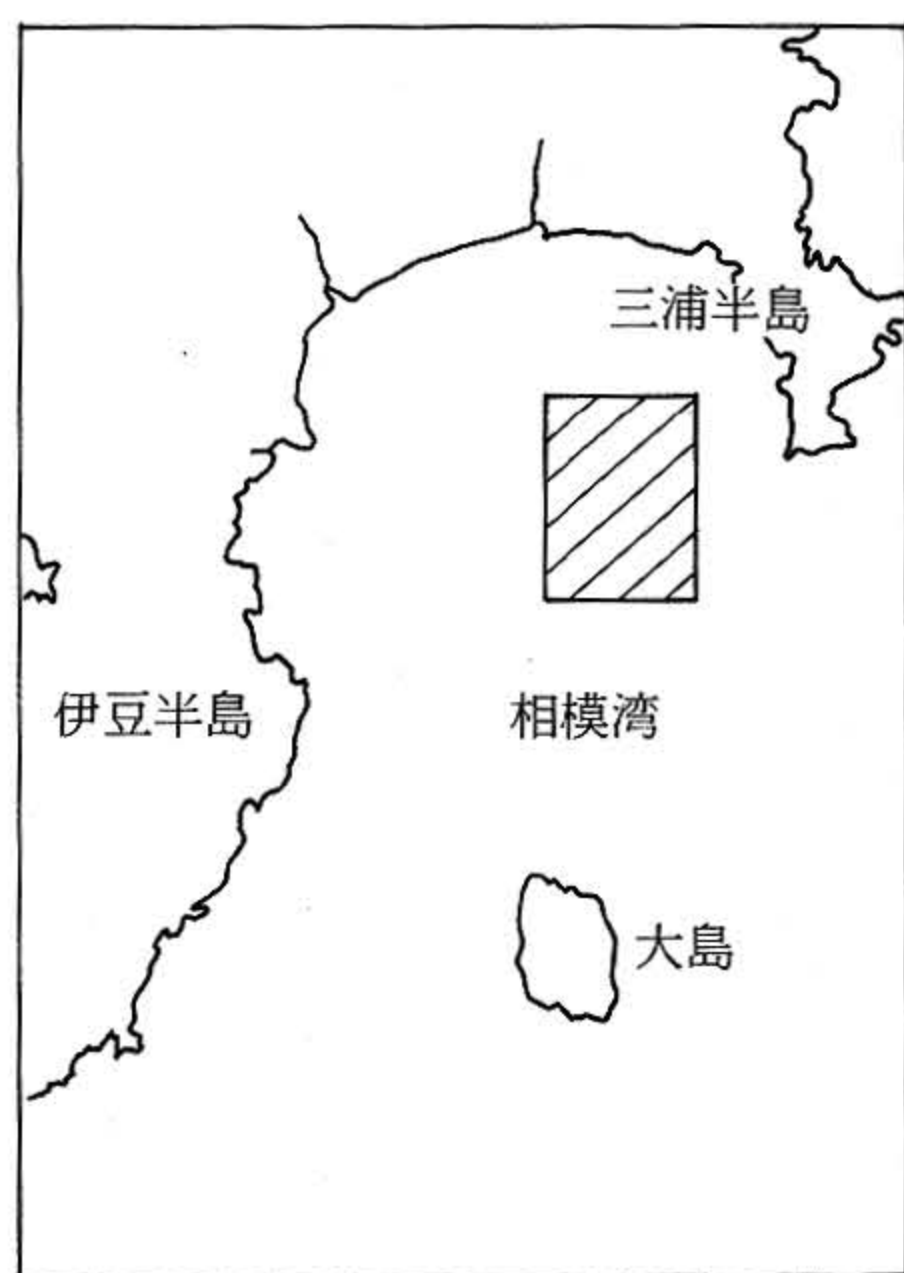


図2 実験海域

Observation area in Sagami Bay

3.2 海域実験Ⅱ

第2回目の海域実験は、昭和59年9月26日、27日に実施された。実験海域は、5月と同じである。曳航索は220mに延長し、船速4ktで約6時間の連続計測を行った。同時に行ったXBT観測は、

右舷から曳航している曳航体との接触を避けて、左舷から曳航体が海面から下降する瞬間にプローブを投下した。XBTのプローブはT-4Sを使用し、データはアナログ記録とカセットテープ記録器(MT-X)に記録した。

XBT観測は、全部で29測点行い、各測点で表面採水による水温の測定を行った。

9月27日の試験は、データ伝送時の舵角切り換えの影響を調べるため行われた。

4. データ処理の方法

海域実験で得られた曳航体によるCTDデータおよびXBTデータは、次に述べる方法で処理を行った。

4.1 曳航体データの処理

4.1.1 C.T.D.S.

曳航体データは最終的に磁気テープに記録され、電気伝導度(mU/cm)、水温(°C)、深度(m)の各値は12ビットのデジタル値で記録される。したがって、次式を用いて物理量に変換する。

電気伝導度:

$$C = \frac{1.221 \times (12 \text{ ビットデジタル値} + 4096)}{100} \quad (\text{mU/cm})$$

水温

$$T = \frac{12 \text{ ビットデジタル値} + 4096 - 100}{200} \quad (^\circ\text{C})$$

深度

$$D = \frac{12 \text{ ビットデジタル値} + 4096}{20} - 10 \quad (\text{m})$$

物理量に変換したCTDの値から塩分を計算するには、圧力補正項を加えた計算式³を用いた。

計算した塩分値の適用範囲は、水温-2~35°C、圧力0~100bar、塩分2~42‰である。

4.1.2 エラー処理

曳航体から送られてきた信号には、パリティエラーと異常値が含まれ、これらは、そのまま磁気テープ装置に記録される。したがって、C.T.D値を計算するときに、エラー等を除去する必要がある。

(1) パリティエラー

パリティエラーは、インターフェースからカートリッジ磁気テープ装置へ送信するときに、インターフェース内でエラーとして検出される。検出されたデータのデジタル値は“88888”に変換される。したがって、“88888”を検出することにより、パリティエラーを除くことができる。

(2) 異常値

本システムでは、データのサンプリング間隔が0.2秒と短く、実験海域のC.T.D各値も、0.2秒

間に急激な変化を示さない。そこで、データを前後の値と比較して突出した値を異常値とし、これを除くことにした。

4.2 XBTデータの処理

XBTの記録は、カセットテープ記録器(MT-X)にデータを集録し、実験室に持ち帰り、ミニコンピュータ(HP 1000)を用いて以下に述べる順序で処理される。

① 生データの収録

MT-Xに収録したデータをカセットリーダー

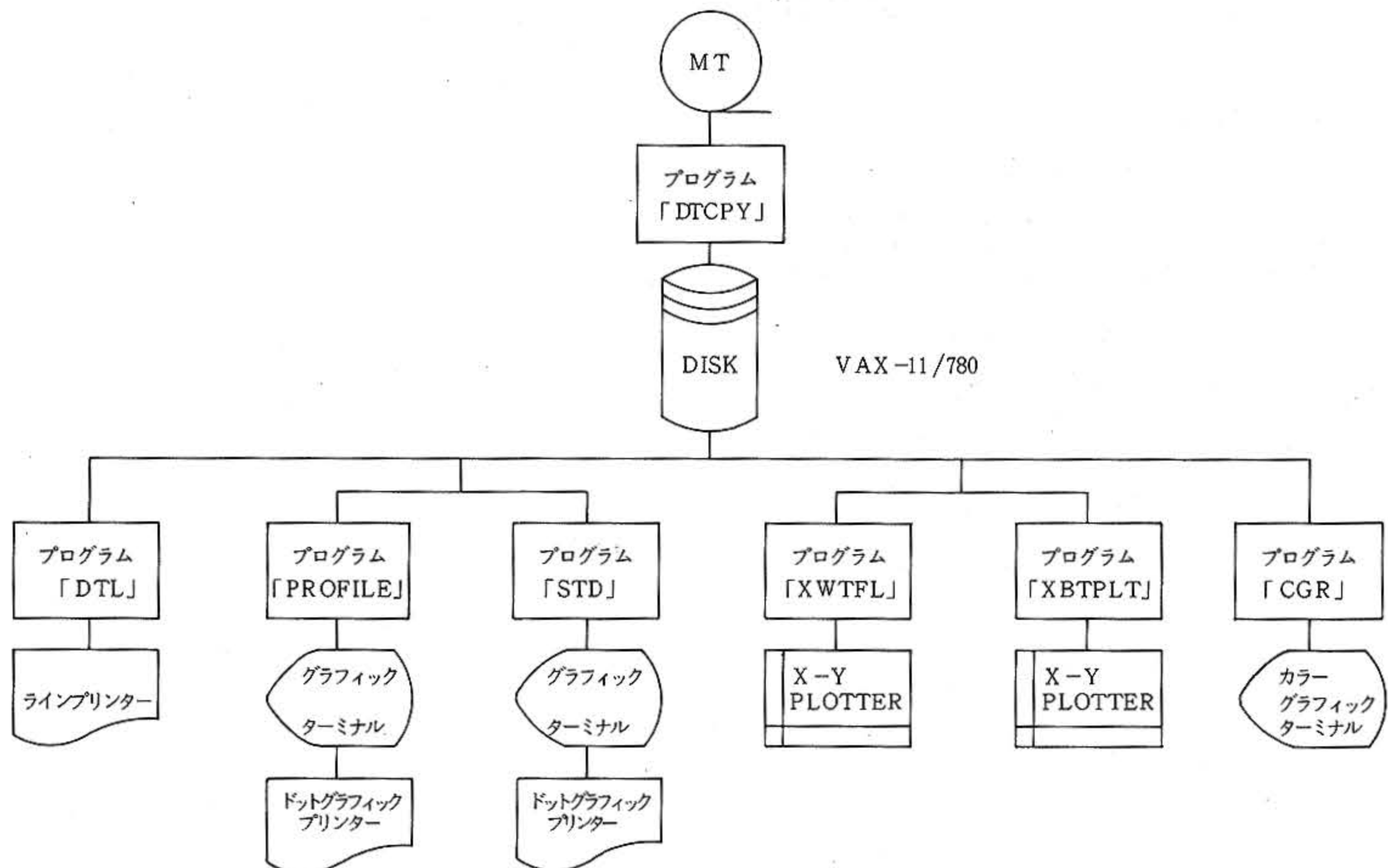


図3 曳航体データ処理のフローチャート

Flow chart of data processing

表1 データ処理プログラムの概要

List of subprograms

プログラム名	プログラムの機能
DTCOPY	MTに記録された任意の時間帯のデータをMTからDiskへコピー
STD	MT、またはDiskから任意の時間帯のデータを読み出し、塩分、水温、深度の経時変化を表示
DTL	データを1レコードずつプリンタへ出力
PLOFILE	一回の上昇または下降のデータだけを取り出し、水温、電気伝導度、塩分のプロファイルを出力
XWTFL	X-Yプロットを使って water fall displayを描く
XBTDT	MTに書きこまれたXBTデータをVAX-11/780のDiskへコピー
XBTPLT	曳航体とXBTの水温鉛直分布を並べてXYプロットで描く

(CTR-4S)からRS 232Cインターフェースを用いて、HP 1000のディスクファイルに格納する。

② 水温データの補間

HP 1000のディスクに格納した生データを補間プログラムを用いて補間し、再びディスクファイルに格納する。

③ データファイルを磁気テープにコピーする。

4.3 データ処理のフローチャート

以上述べたことをもとに、曳航体データを効率よく処理するプログラムを作成した。データ処理に関する全体のフローチャートは図3のようになる。図中のプログラムの機能は表1に示した。

5. 実験結果および考察

5.1 海域実験Iの結果

5.1.1 STDの経時変化

5月18日の連続観測結果の一部を曳航速度別に図4、5および6に示す。これらの図は、上から順に塩分、水温、曳航体の深度の経時変化を表わしている。

船速4ktで曳航したとき、水温値には曳航体の

上昇、下降時の違いはほとんどみられない。塩分については、下降時に多少ばらつきがみられ、曳航体が海面に出た時と最も下がった時に、異常値が発生している。

曳航体の上昇、下降速度を深度の経時変化から求めると、1.3 m/sとなる。下降、上昇する間に移動する距離（水平移動距離）は320 mである。

船速6kt曳航では、塩分の経時変化をみると35%を超える値が曳航体下降時に多発している。

水温、深度の値は、4kt曳航時と同様に安定した状態を示している。このときの上昇、下降速度は2.0 m/s、水平移動距離は200 mである。船速8kt曳航時では、塩分値のばらつきは大きく、水温も上昇時と下降時を比較すると、上昇時の水温は2℃～3℃低くなっている。上昇、下降速度は2.2 m/s、水平移動距離は130 mを示している。

5.1.2 パリティエラーと異常値の出現頻度

18日の連続曳航中、12:15～13:23の時間帯にパリティエラーと異常値が集中的に検出されている。図7は各上昇、下降におけるC.T.Dのパリ

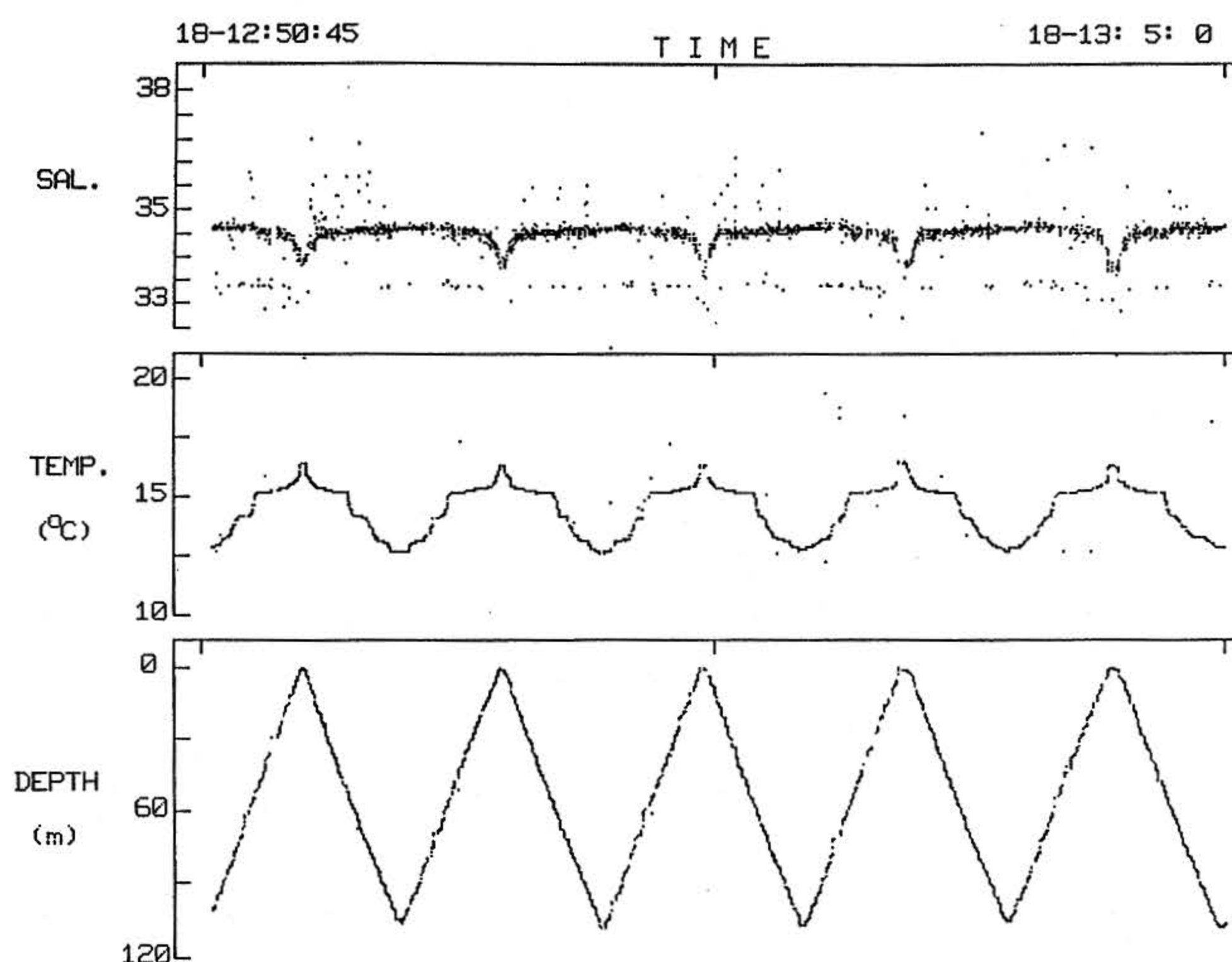


図4 曳航体による連続計測データ (4 kt曳航時)

Samples of STD record collected by the sliding vehicle (towing speed: 4 kts)

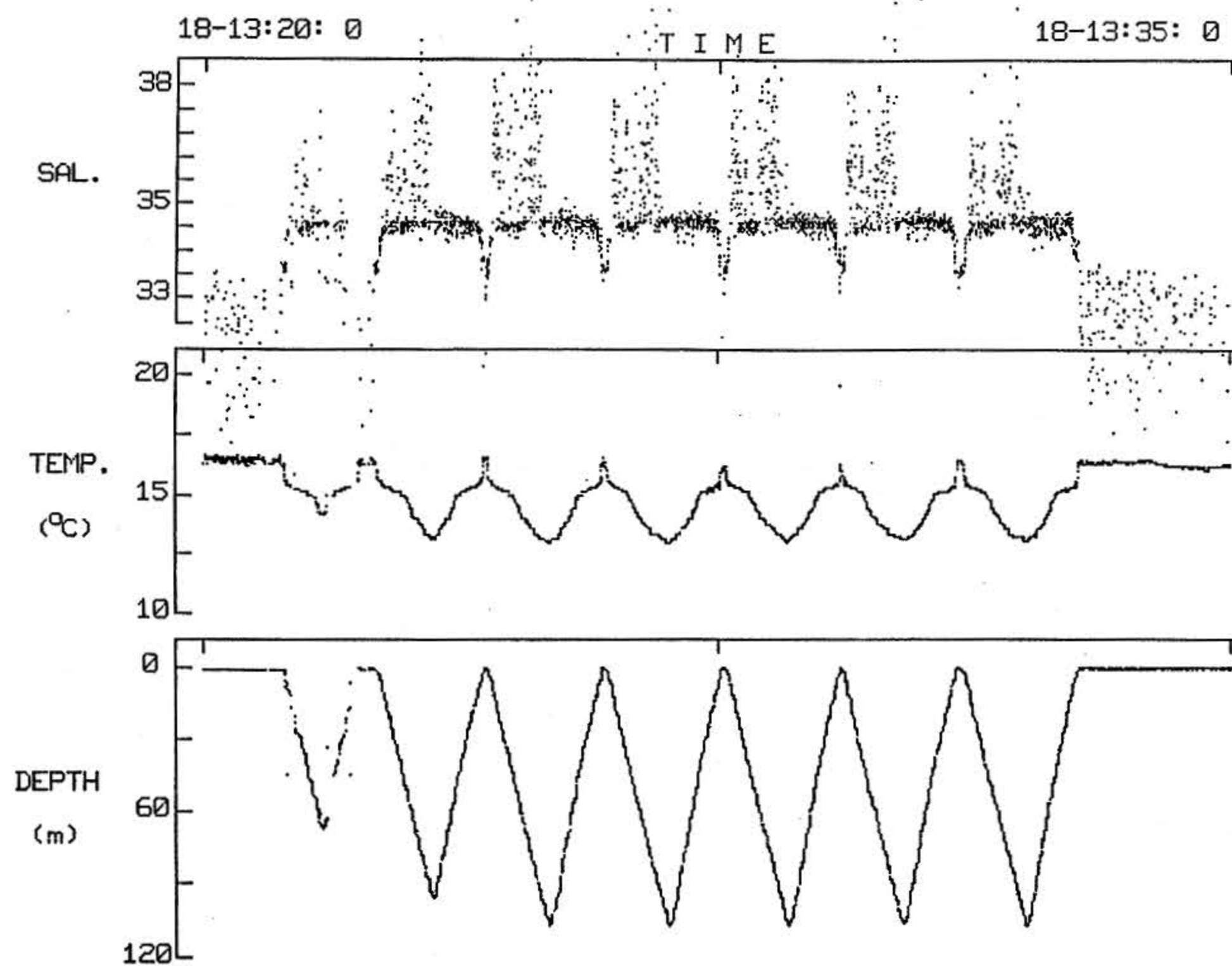


図5 曳航体による連続計測データ (6 kt曳航時)

Samples of STD record collected by the sliding vehicle (Towing speed: 6kts)

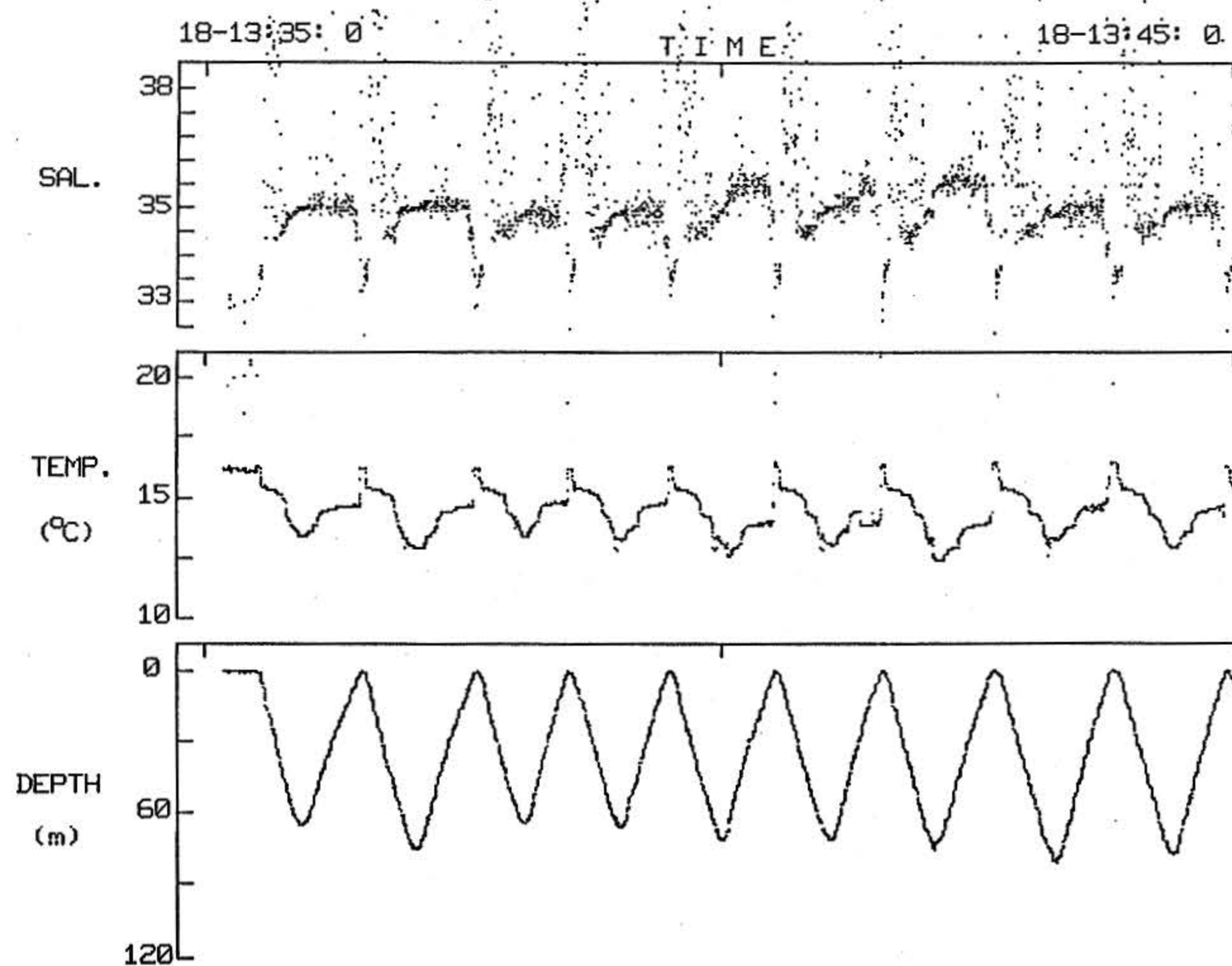


図6 曳航体による連続計測データ (8 kt曳航時)

Samples of STD record collected by the sliding vehicle (towing speed: 8 kts)

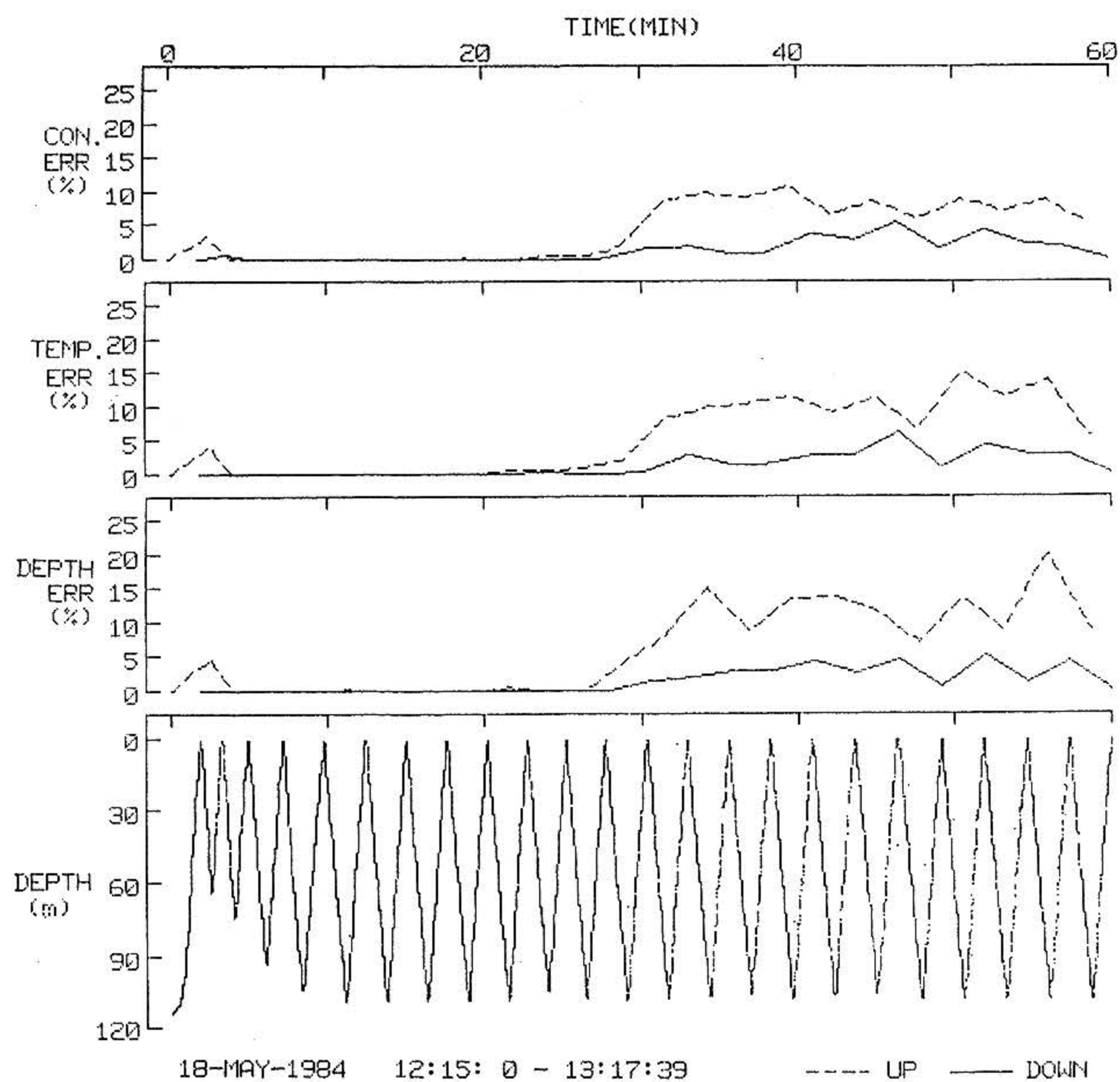


図7 各上昇、下降におけるパリテイエラーの出現率 (4 kt 曳航)
The occurrence frequency of parity errors (towing speed : 4 kts)

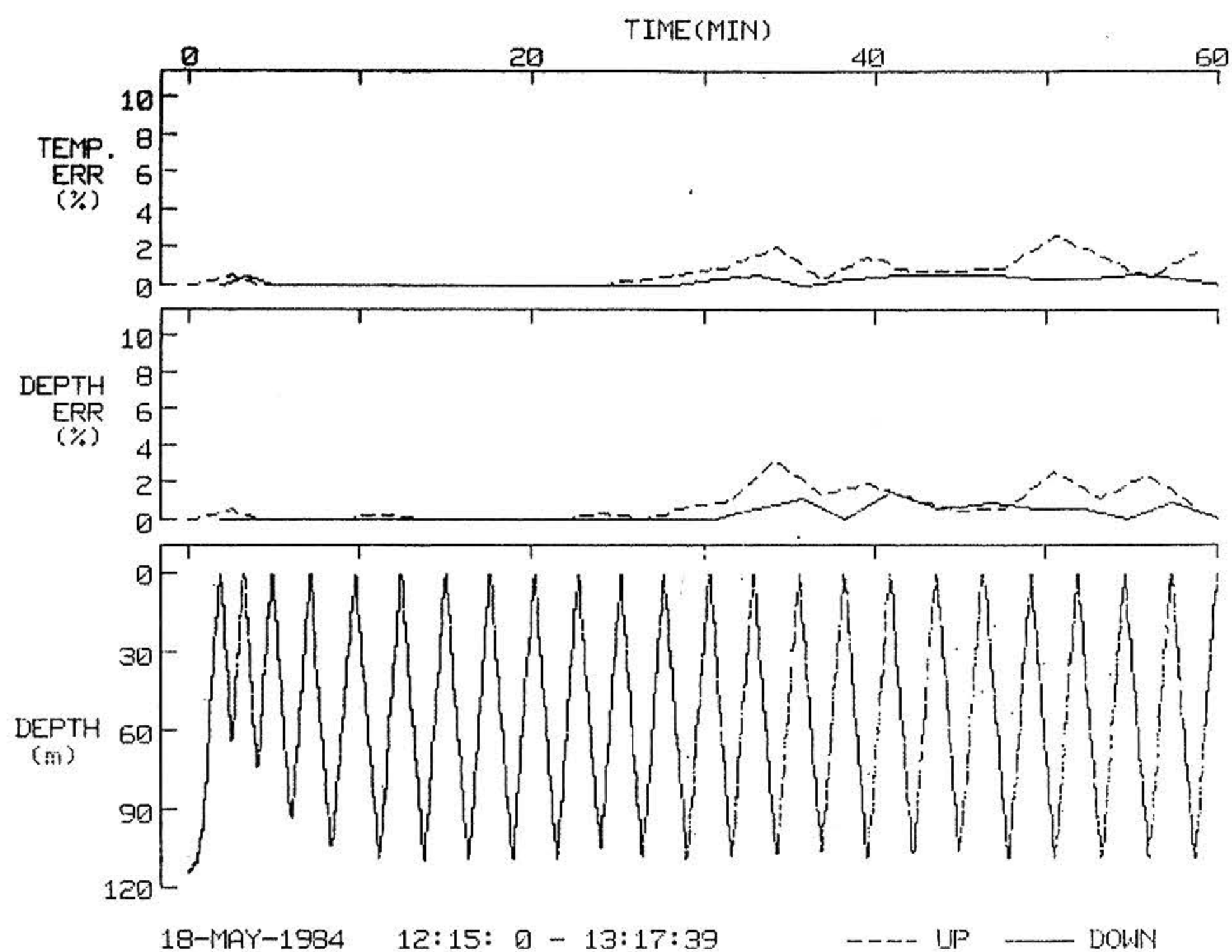


図8 各上昇、下降における異常値の出現率 (4 kt 曳航)
The occurrence frequency of abnormal values (towing speed : 4 kts)

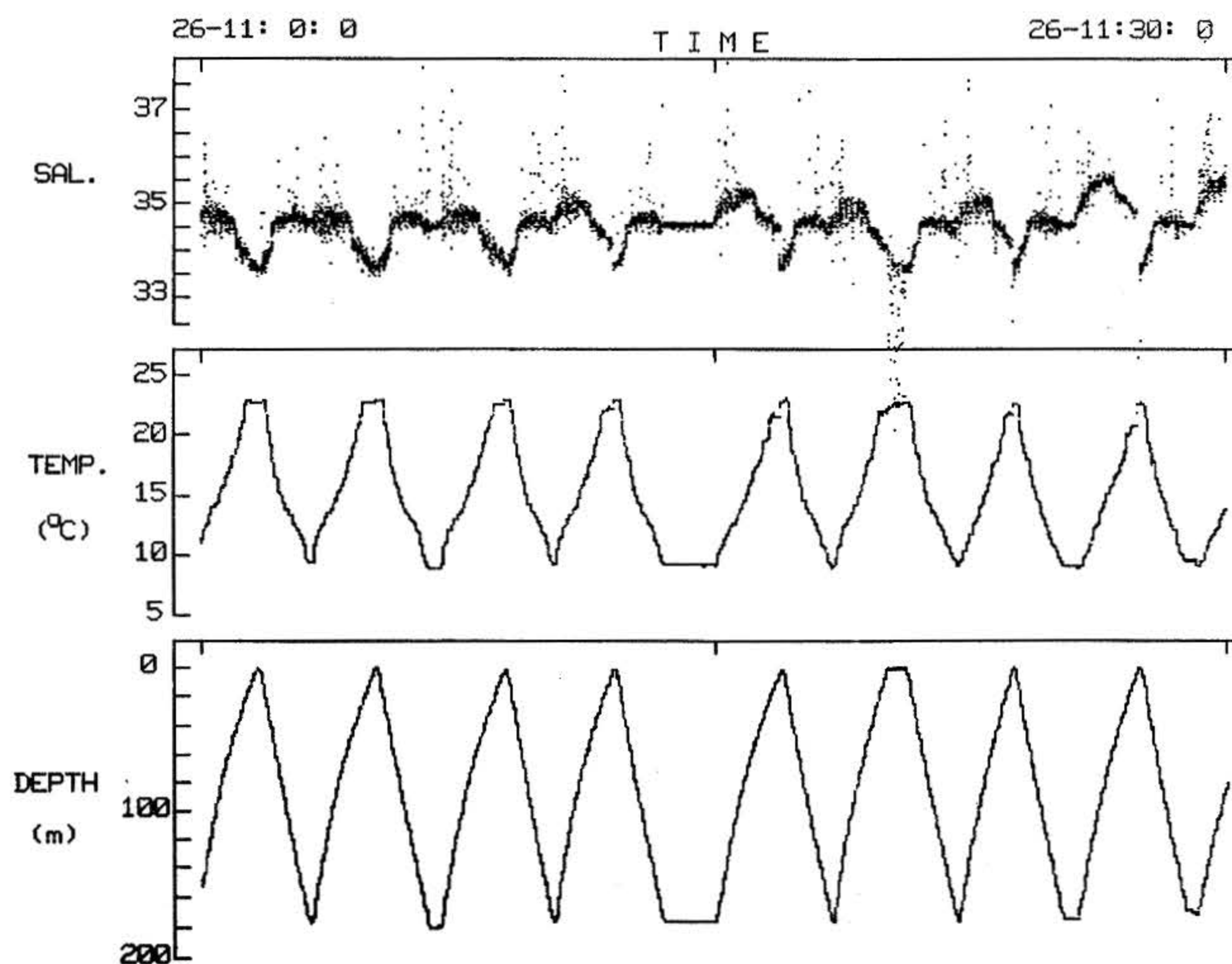


図9 実験開始直後の曳航体における連続計測データ
Samples of STD record collected by the vehicle
at the beginning of the experiment

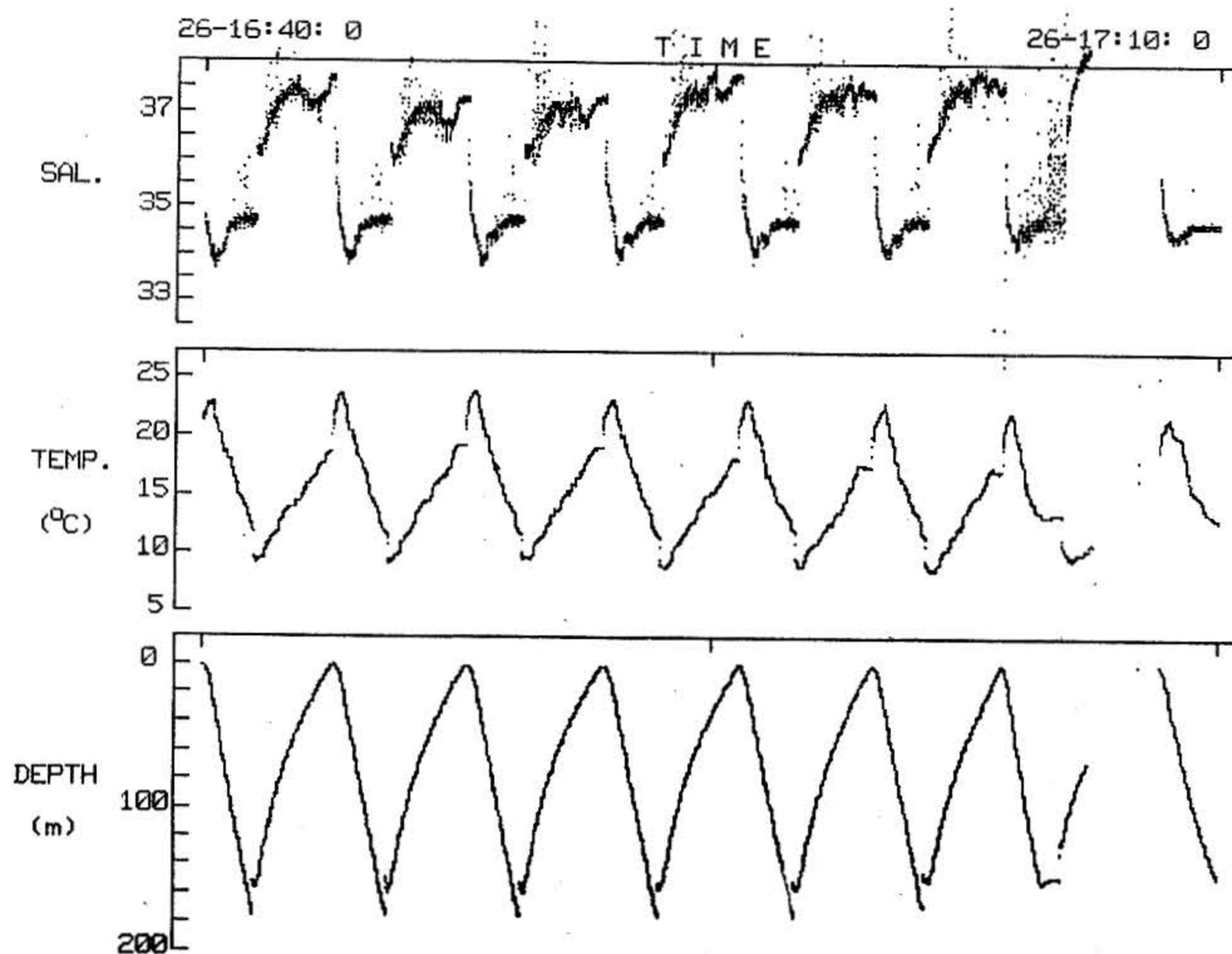


図10 実験終了間際の曳航体における連続計測データ
Samples of STD record collected by the vehicle at the end of
the experiment

ティエラーの出現率を示す。同様に、異常値の出現率を図8に示す。ただし、出現率は各上昇、下降のデータ総数に対する割合を百分率で表わしている。C.T.Dのパーティエラーおよび異常値とも同じ出現状況をもっていることから、同じ原因によって発生したと考えられる。エラーが多発した時間に、FSK信号にノイズが乗っていたことがオシロスコープで確認されている。したがって、データ伝送用の導線が船内で発生した何らかのノイズを誘導したと考えられる。以後の実験ではノイズ対策として船上部に同軸ケーブルを使用した。

5.2 海域実験Ⅱの結果

5.2.1 舵角切り替えの影響

9月26日のS.T.D.の経時変化を図9および10に示す。図9は曳航開始直後、図10は曳航終了間際の記録を表わしている。これらの図を見ると機体が上昇している時に計測した水温の値は、下降時のものと比較して極端に低い値を示している。この傾向は塩分や深度にも見られる。これは次の原因によるものと考えられる。昇降機体は船上から舵角信号が送られてくると機体に内蔵されたサーボモーターが駆動し、舵角が切り替わる。上昇の舵角信号が送られ舵角が切り替わると、尾翼には強い水の抵抗がかかりサーボモーターは機体が上昇している間、舵角を保つために多量の電力を消費する。また、昇降機体のC.T.Dセンサは計測データ出力のための電源をサーボモーターと共有している。このため、機体が上昇しサーボモーターが多量の電力を消費している間、センサ内の電圧は降下し、計測データは実際の値よりも小さい値で出力される。現在、この問題は電源に用いているアルカリ電池の数をふやし、サーボモーターとC.T.Dセンサの電源を分離することで解決されている。

5.2.2 曳航速度と水平移動距離

9月26日、27日の曳航試験結果をもとに曳航速度と曳航体の昇降速度および曳航体が水面から設定深度まで下降し、海面まで上昇する間に水平方向に移動した距離等の関係を表2に示す。5月の海域実験結果と同様に曳航速度が増すにつれて、昇降速度は増加するが、水平移動距離は減少する。曳航速度が5～6ktのとき水平移動距離は350m位であり、水平方向の変化をかなりこまかく追跡

表2 曳航速度と水平移動距離、昇降速度
Relationship between towing speed and a cycle length

曳航速度 (kt)	曳航体の平均昇降速度 (m/s)		水平移動 距離 (m)	到達深度 (m)
	上昇	下降		
4	1.2	1.6	518	170
4～5	1.4	1.8	448	176
5～6	1.6	1.9	398	176
6～7	1.8	2.3	350	176
7～7.6	1.6	2.4	352	167

できることを示している。

5.2.3 XBTデータとの比較

XBTを連続投入した海域の水温鉛直分布を調べるために、XBT観測点St.7からSt.29までのXBTのプロファイルを図11に示した。またXBTのプロファイルに対応する曳航体データの鉛直分布を図12に示した。

これらの図から、逆転層、等温層等がかなり良く一致していることがわかる。

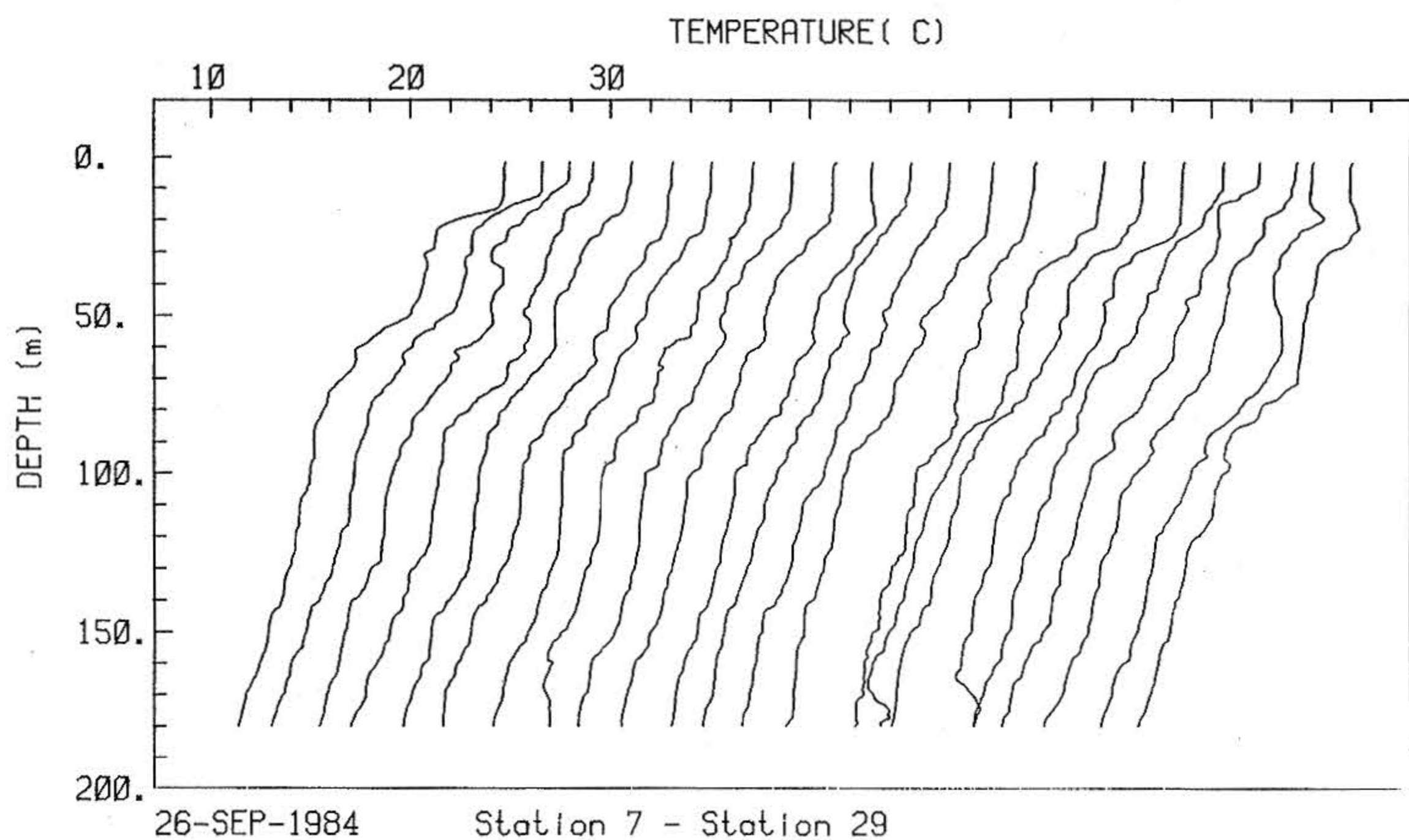
そこで、XBTと曳航体の水温値を比較するための尺度として、温度逆転層⁵と等温層⁶に着目し、その出現頻度を調べた。温度逆転層の模式図を図13に示す。温度逆転層については、0.1℃以上の逆転層を対象とし、逆転層の上端の深度 D_u と下端の深度 D_l を読み取り、厚さ $\Delta D = D_l - D_u$ を計算した。

また、等温層については0.2℃以下、2m以上の層を読み出した。XBT、曳航体のそれぞれ28の鉛直分布図から読み取った結果、XBTでは等温層91、逆転層30、曳航体では等温層95、逆転層38であった。等温層、逆転層の厚さ ΔD を3m単位の頻度区分に分類し、図14および15に示す。

等温層の出現頻度は、XBT、曳航体ともに1～4m、4～7mの区分にピークがあり、かなり近い値で一致している。16m以上の比較的大きな等温層が発見されなかったのは、読み取りにおける判別の誤りと考えられる。

逆転層は図15を見ると、どちらも1～4mの区分にピークを持っていることがわかる。

また、他の区分においても、近い一致を見せている。



(各プロファイルは順次2°Cずつ右にずらせてある)

図 11 XBT 観測の water fall display

Water fall temperature display for XBT cast made on
Sept. 26, 1984 at Sagami Bay

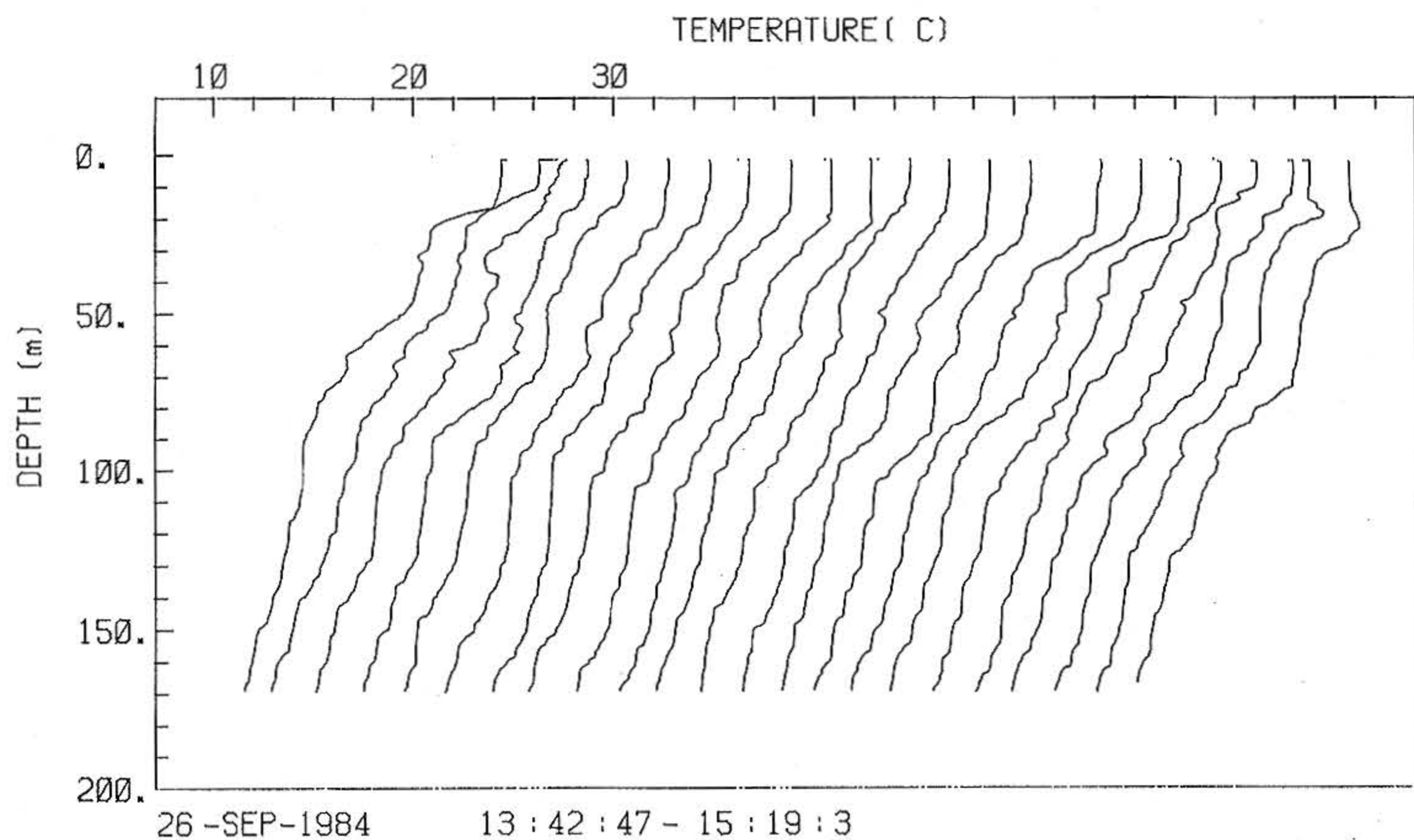


図 12 連続曳航試験データの water fall display

Water fall temperature display for the vehicle made on
Sept. 26, 1984 at Sagami Bay

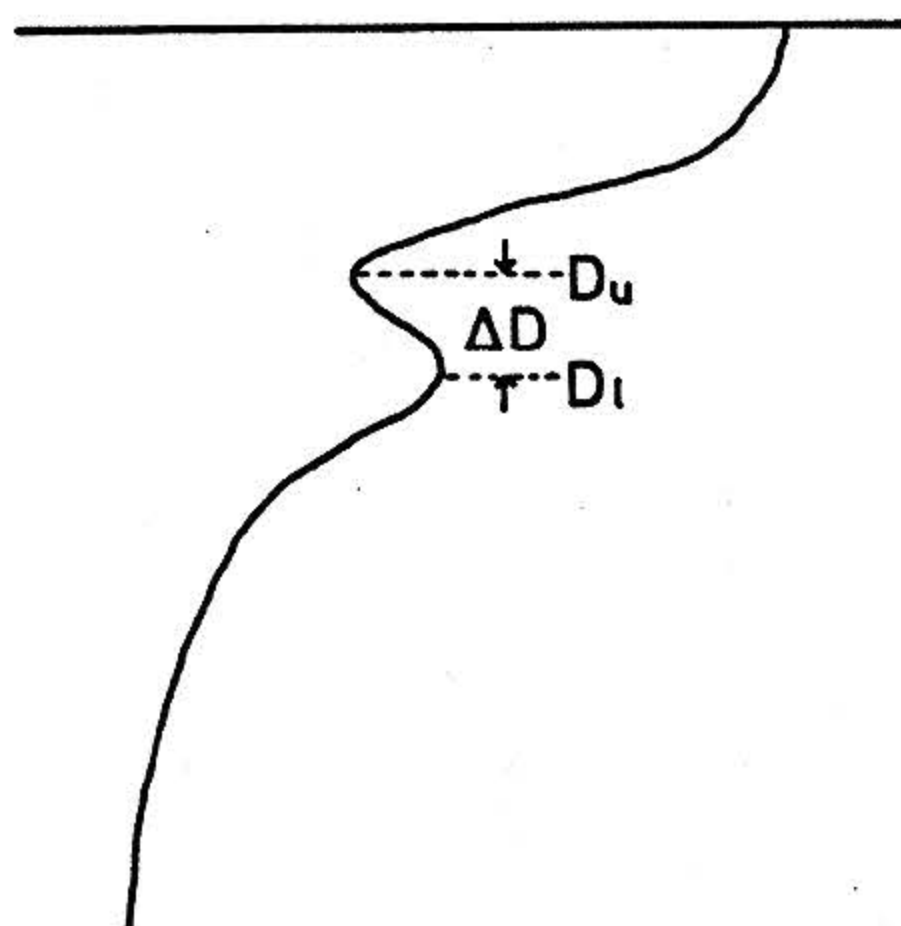


図 13 温度逆転層の概念図
Schematic view of the temperature inversion

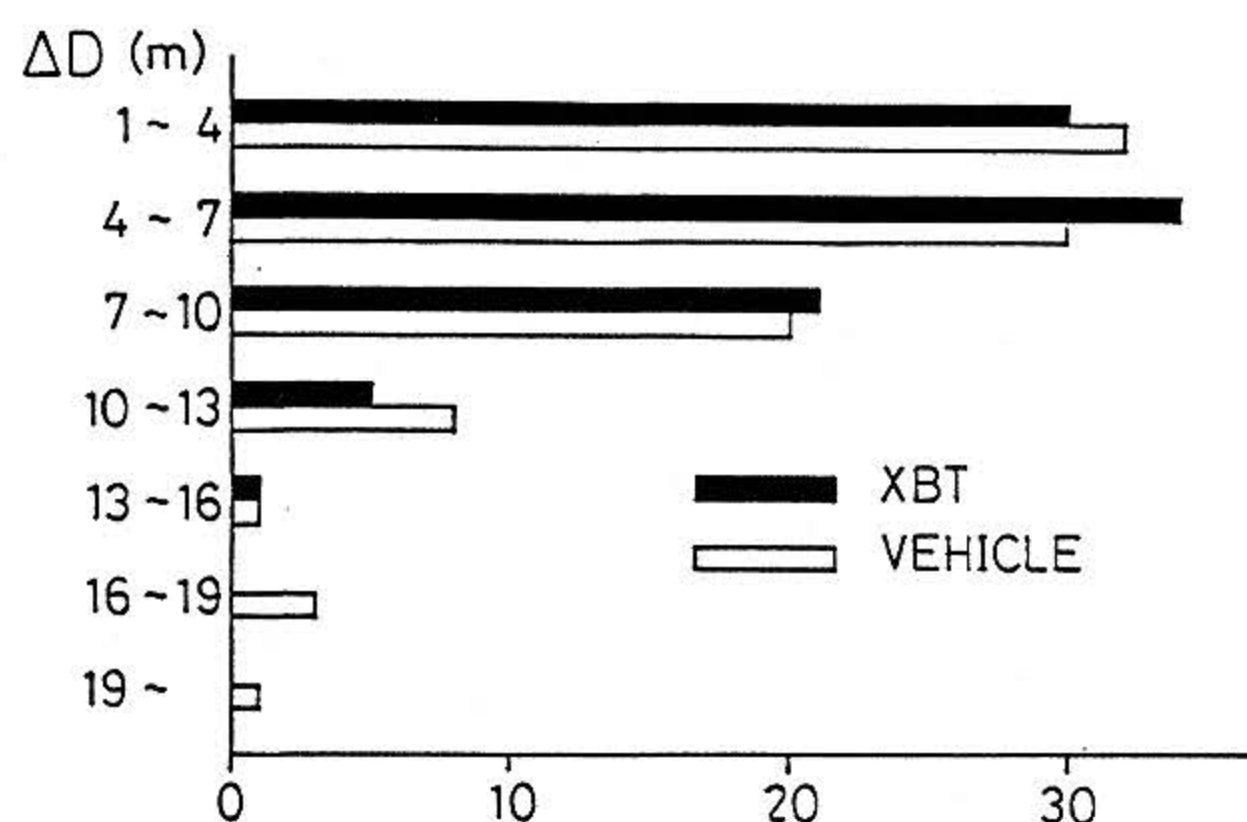


図 14 XBT、曳航体データにおける等温層の ΔD の出現頻度
The frequency distributions of the thickness of the isothermal layer ΔD

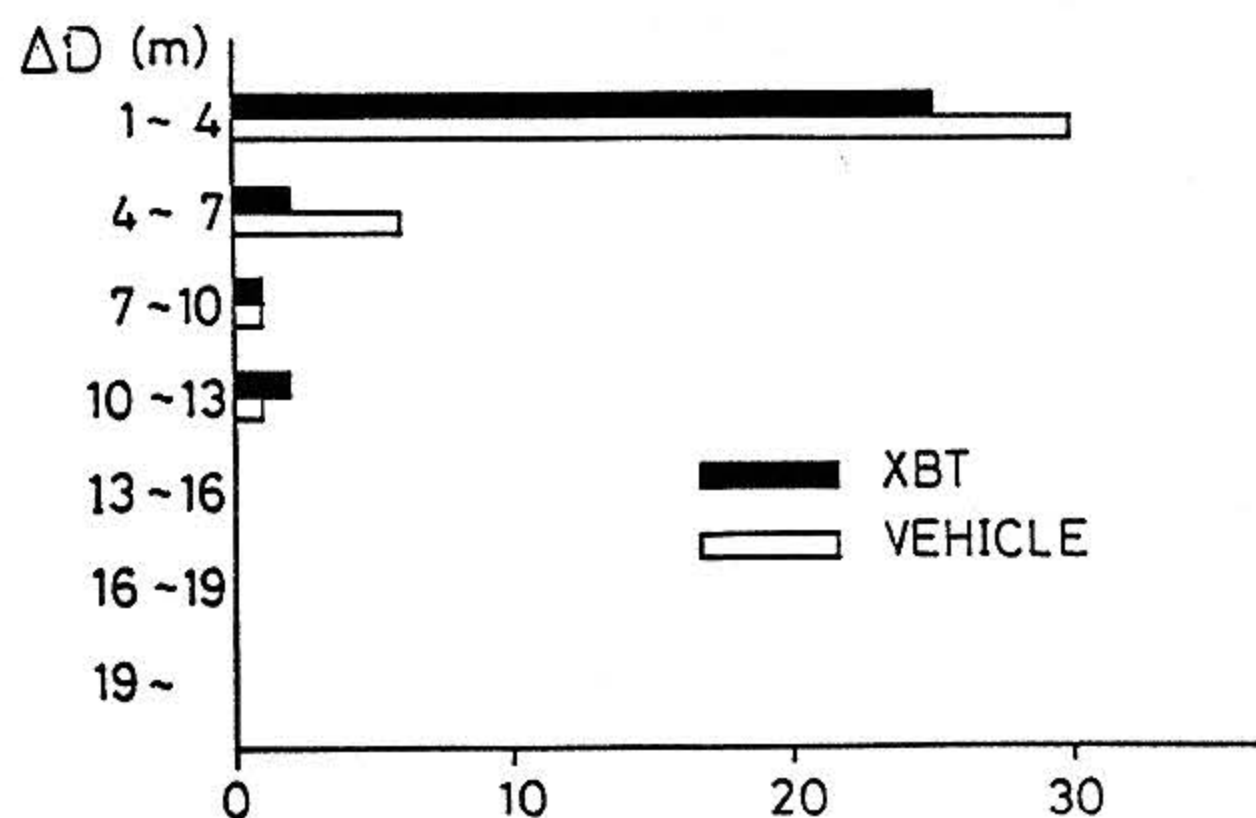


図 15 XBT、曳航体データにおける逆転層の厚さ ΔD の出現頻度

The frequency distributions of the thickness of the inversion layer ΔD

以上の比較に用いた XBT と曳航体の記録は、完全な同一地点で得られたものではない。曳航体の水温は、XBT の測点を中心として、半径約 250 m 以内の記録である。これらの点を考慮したとしても、曳航体は、XBT で示された逆転層、等温層の比較から、海洋の鉛直微細構造を調べるために使用できるといえよう。

6. おわりに

曳航体を用いた海域実験で、概略、次のことが明らかになった。

曳航体を船速 4 ~ 8 kt で曳航したとき、水平方

向に 500 ~ 300 m 位の間隔で、CTD 値を得ることができる。XBT との比較から、曳航体を用いて、XBT と同程度に水温の微細な変化を把握できることが示された。

同時に、船上で CTD 値をモニターできるので、潮目や水塊の貫入等の現象を追跡できることが示唆された。

また、海域実験で生じた問題点は、大部分解決されている。したがって、今後は複雑な海況を示す海域で、既存の観測機器と曳航体を併用し、幅広く運用していくことが望まれる。

文 献

- 1) 野本昌夫ほか, 1985, “ スライド式曳航体の研究開発 (第 1 報) ; 研究開発経過 ” , JAMSTECTR (14) 91 - 103
- 2) 近畿計測器 (株) “ 船上データ集録用データ変換装置使用説明書 ”
- 3) Lewis, E. L., 1980, “The Practical Salinity Scale 1978 and its antecedents”, IEEE J. Oceanic Engineering 5 (1) 3 - 8
- 4) 田崎禎明, 鶴旨篤旨, “ スライド式高速曳航体の開発—海域実験結果の解析—”, 東海大学海洋学部, 1985, 卒業研究
- 5) Nagata, Y., 1967, “ Shallow temperature Inversions at Ocean Station V”, J. Oceanogra. Soc. Japan 23 (4) 20 - 26
- 6) Fukasawa, M., 1983, “ On the Distribution of Isothermal Layers in the Vicinity of the Shoal Kokusho-Sone”, J. Oceanogra. Soc. Japan 39 (1) 15 - 21

(原稿受理: 1985年 4 月17日)