



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	コード・スキャン型曳航式水温観測チェーン・システムについて
Author(s)	金成, 誠一; KANARI, Sei-ichi; 嘉屋, 吉郎 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 59, 107-118
Issue Date	1996-03-25
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.59.107">https://doi.org/10.14943/gbhu.59.107</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14234">https://hdl.handle.net/2115/14234</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	59_p107-118.pdf



## コード・スキャン型曳航式水温観測チェーン・システムについて

金成 誠一・嘉屋 吉郎・日比谷紀之<sup>\*)</sup>

北海道大学理学部地球物理学教室

杜葉 弘昭

アレック電子株式会社

(1995年11月30日受理)

### **A Towed Temperature Structure Profiling System with Code-Scanning Method**

Sei-ichi KANARI, Yosiro KAYA, and Tosi-yuki HIBIYA\*

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

Hiroaki YUZURIHA

Allec Electric Co.

(Received November 30, 1995)

A towed temperature structure profiler with 54 temperature sensors has been developed for measurement of fine-scale temperature structure in the surface mixed layer down to 200 m depth. Eighteen temperature sensors are mounted along the 9 m-long, 15 mm diameter towed cable with 13p electric leads as an unit chain. The unit chain is capable to be connected with other chains in series as one chain through the underwater connectors. Whole chain length constructed is 27 m with 54 sensors plus one pressure sensor. Logic switching circuits, which are connected with the eight electric lines within the cable in parallel, are contained in each sensor harness and be scanned with 8bit code signals. Smallness of the cable diameter results an easy treatment of the system. It is shown that the towed system is quite useful to observe finestructure like an internal wave rolls.

### I. は じ め に

海洋内部の水温構造の新しい計測方法として、“Towed Sea-Temperature Structure Profiler” (曳航式水温構造プロファイラー) が、1963年にLaFond(1963)によって提案された。これが、最初の外洋型曳航式サーミスタ・チェーンと呼ばれるものである。これは、ドラム、ホイスト、リンクの3つのアセンブリーからなる、巨大なシステムで、当時、米国海軍の専用船が観測にあたった。このシステムは、深度240 mまでの水温を34個のセンサーで曳航計測するもので、34層の計測サイクル時間は12秒であった。システム総重量は82.5トンで、チェーン下端に約5トンの魚雷型の錘をつけて曳航する。このチェーン・システムには、測流計がいくつか附加されており、水温センサー1個につき2本の導線が必要で、総計100本の導線がチェーン本体を形成している。このために、チェーン総

\*) 現在 東京大学海洋研究所

\*) Present affiliation : Ocean Research Institute, The University of Tokyo.

重量がかなりのものにならざるを得なかった。

LaFond(1963)のシステムでは、測温用のブリッジ回路が船上にあり、各センサー・ラインが順次ブリッジに接続されて計測が行われるのに対して、Mesecar and Evans(1977)は、センサー部ハーネス内にブリッジ回路及び増幅回路を装着した、センサー間隔1メートル、25層のチェーンを用いている。この方式では、個々のブリッジ回路への共通電源供給線と出力用共通アース線及びセンサーの数だけの出力線で済むので、LaFond型チェーンに比較して約半分の線数で済むという利点がある。しかしながら、この方式でも、センサーの数を増せば、それに応じてチェーン内の結線数も増すことにはかわりはない。確かに、LaFond型に比較して、チェーンが軽量化されてはいるが、それでも、支持索以外に、3本の多芯コンダクター・ケーブルが使われており、ケーブルの重量は決して小さくない。

著者らは、Global Ocean Observing System(GOOS)国際共同研究計画の中で、新方式による曳航式測温システムを開発した。この新しい方式では、センサー・ハーネス内に8bitのコード・スイッチング回路が納められており、センサー固有の8bit・コードに対してのみ回路がオンになる。個々のセンサーおよびスイッチ回路は、8本の導線に並列に接続されており、原理的には、僅か8本のコード・スキャン線以外に、5本の信号並びに電源線で、256個までのセンサーのチェーンが可能である。この方式のもう一つの利点は、独立のチェーン・ユニットをセンサー許容個数の範囲内で、任意に直列接続が可能である点である。GOOS計画では、1ユニット長9m、18センサーのチェーンを3本作成した。以下に、本システムの概要について述べる。

## II. システムの仕様

内部砕波による乱流過程の解明は、GOOS計画の分担課題における主要なテーマのひとつであるが、特に、内部砕波の実態の観測例は極めて少なく、本研究遂行上大変重要な課題である。このような内部波の砕波を捉えるには、少なくともセンサー間隔50cm、水平空間分解距離1m程度は必要である。現在、国産海洋測器に仕様されているA/D変換器の変換速度のレベルからあまりかけ離れない程度のものであるという観点から、当初、180層を0.3秒でスキャン可能なものを目指した。曳航速度は数ノット程度を目安とすると、空間分解能は約60cmとなり、センサー間隔を50cmにとれば所定の性能を達成できる。ユニット長9mは、ハード製作上の制約によるもので、経費の制約から、平成5年から平成7年までの3年間で各1ユニットを製作、現在までに、全長27m、54層のチェーンを製作した。チェーンには、曳航時のドラッグによるチェーンの傾きを抑えるために錘を兼ねたデプレッサーを最下端に取り付けて曳航する。このために、チェーンにはかなりの下向き張力がかかってくる。この最大許容抗張力を2トンとしてチェーンを製作した。

水温センサーの時定数は、スキャン・タイムに見合ったものが要求される。これには、現在著者らがマイクロ・スケール計測に使用している測温センサー（白金抵抗線）に保護管をつけたものを用い、時定数0.14秒、分解能0.01度Cものが可能となった。

A/Dコンバータの1チャンネルあたりの処理時間は100マイクロ秒で、この内A/Dコンバータの動作時間に17マイクロ秒、アクセスに13マイクロ秒、メモリー・アクセスに70マイクロ秒が使われる。データには、1キャラクターあたり10bitを1層あたり2キャラクター分あてる。19200bpsのRS232Cをデータ転送に使用すると、180層分のデータ転送が0.188秒で終了し、スキャン・タイム0.3秒以内に十分収まる。

以上の考察から、このシステムでは、0.3秒毎に約3.6Kbitのデータが転送されてくるので、データ収録システムには、比較的高速のコンピュータと大容量の記憶装置が必要になる。

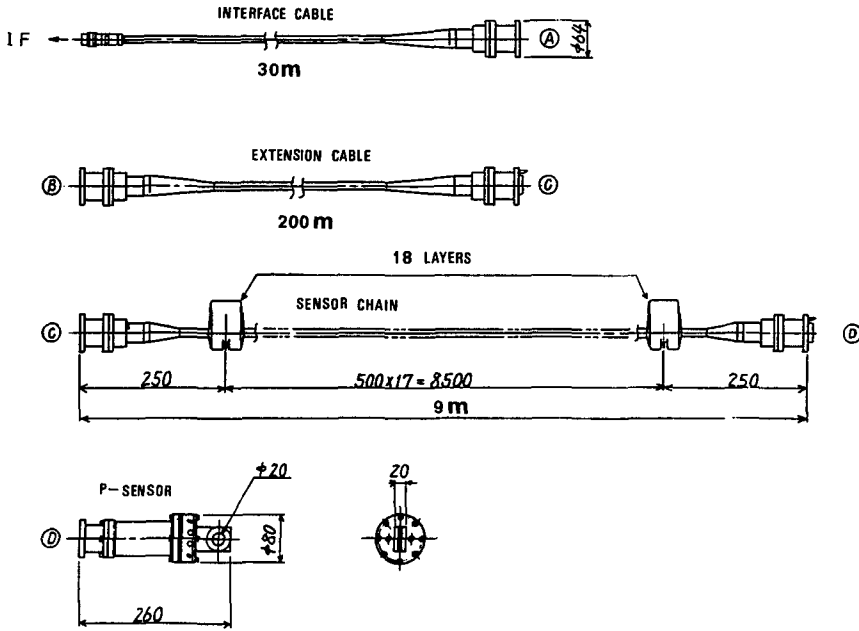


Fig. 1. Configuration of sensor and cables.

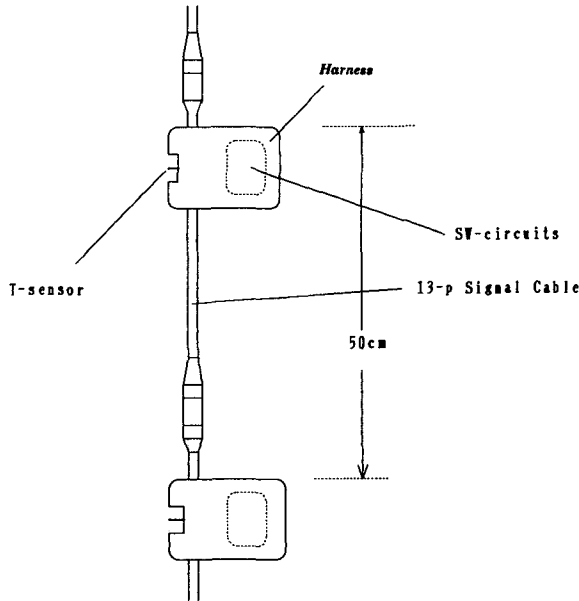


Fig. 2. Schematics of the sensor harness.

### III. システム概要

#### (1). 測温チェーン

チェーン・ケーブルは外径約 15 mm, 13 芯の被覆線と抗張力 2 トンのワイヤー入りケーブルを用いた。船上用の 30 m 信号ケーブル, 200 m 中継ケーブル, および 9 m 水温センサー・ケーブルを Fig. 1

に示す。個々のケーブルは、水蜜コネクタによって相互に接続され、最上部の信号ケーブルの一端は、船上のインターフェイスに接続される。また、Fig. 1. には 1 本しか示してないが、同様なセンサー・ケーブルを適宜追加接続し、センサー部を延長することができる。

センサー・ケーブルには、50 cm 間隔で 8 cm×5 cm、厚さ 2.4 cm の矩形板状のハーネスが取り付けられてあり、このハーネスの一部に测温センサーが装着されている (Fig. 2)。ハーネス内部には、Fig. 3 に示すような 8 bit のスイッチング回路が封入されており、Fig. 4 に模式的に示したように、それぞれのセンサーおよびスイッチング回路は、13 芯ケーブルに並列接続されている。13 芯の内、8 芯が 8 bit・コード (A0, A1, ..., A7) の信号線で、残り 5 本がデータ信号電送線 (out, A.G) および電源供給線 (+5 V, 0, -5 V) になる。現在までに製作された 3 ユニットのチェーンを Plate 1 に示す。このチェーンの特徴は、互いに異なる 8 bit コードのスキャン信号 181 組を順次、信号電送線に送り込み (コード・スキャンニング)、コードの一致したセンサーのみ (181 個のなかのひとつ) が計測状態になり、それ以外はオフの状態になる。このことがセンサーの並列接続を可能にしている。また、このような並列接続は、適当なコネクタを介してチェーンの直列接続を可能ならしめ、チェーン長を自由に変更可能とする利点をもたらす。こうした利点は、従来のチェーン結線では実現不可能である。

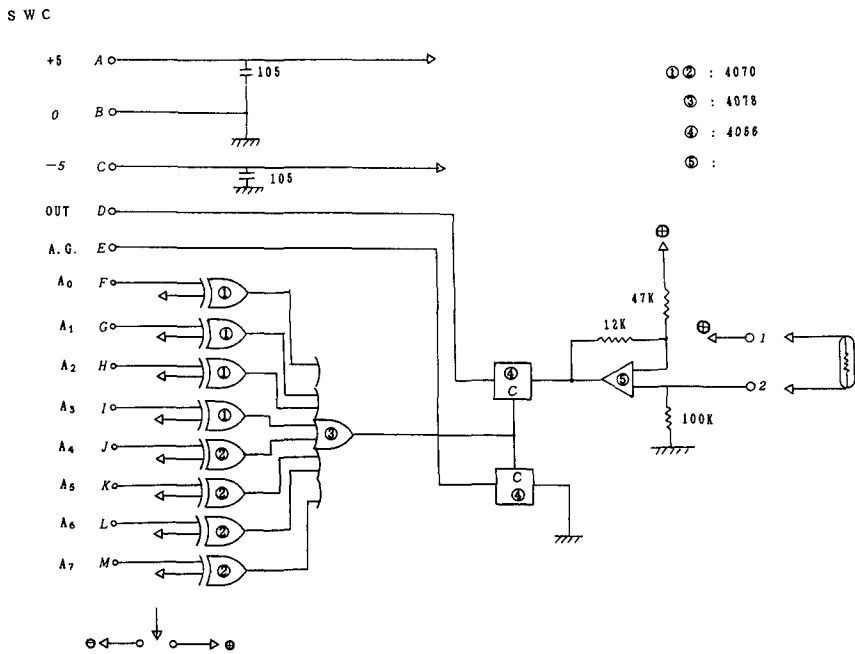


Fig. 3. Circuit diagram of the logic switching block in the harness.

(2). データ収録システム

チェーン・システム全体のブロック・ダイアグラムを Fig. 5 に示す。Fig. 5 の破線の左側は、水中チェーン部のひとつのハーネス内のブロック図を示す。破線の右側は、船上のインターフェイスおよびデータ収録用のコンピュータ、記憶装置並びにモニタである。このシステムでは、データ収録と同時に、取得データはリアル・タイムで各層の時系列として描画されるので、CPU のクロック・サイクルは 60 MHz 以上のシステムが必要である。また、RS 232 C の転送速度が 19200 bps 以下では正常なデータ取得が不可能である。

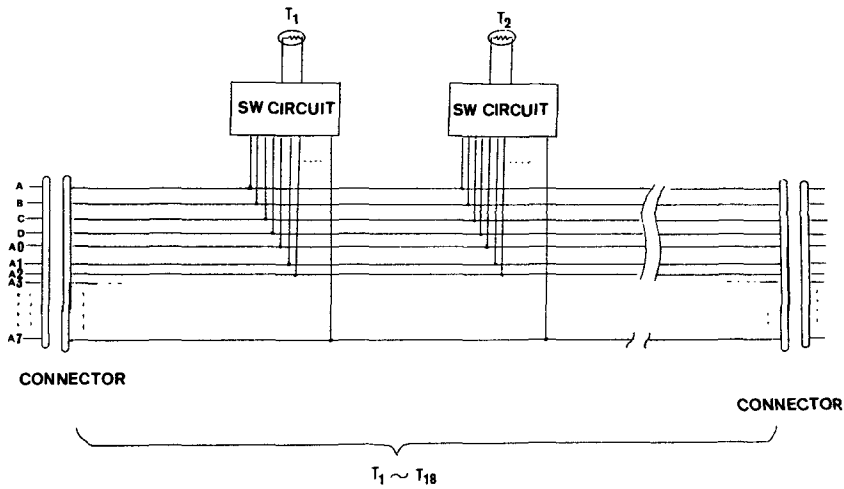


Fig. 4. Schematic diagram of the logic switching circuits.

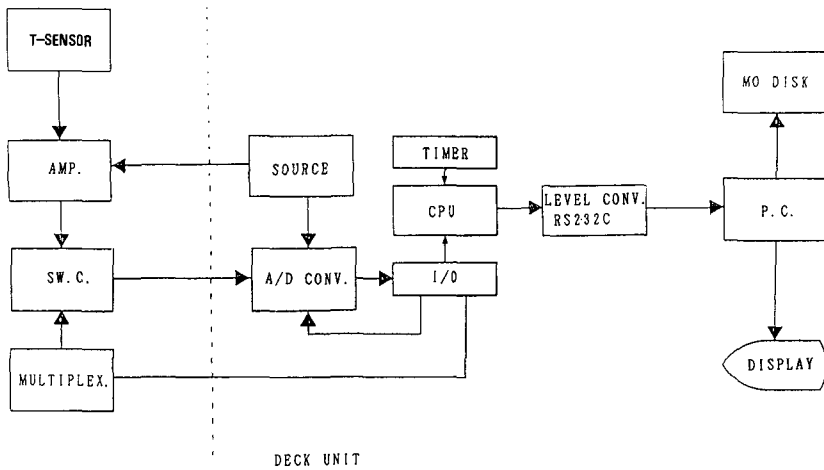


Fig. 5. Block diagram of the towed temperature structure profiler.

#### IV. オペレーション・プラン

本システムの曳航時の模式図を Fig. 6 に示す。3 ユニット、27 m のチェーン部の最下端には、圧力センサを附加し、チェーン最下端の深度がリアル・タイムでモニタ可能である。チェーン上部には、200 m の中継ケーブルが接続され、その長さを調節することにより、チェーン深度を中継ケーブルの長さの範囲で任意に変えることができる。Fig. 6 に示したように、ケーブルは船尾からおよそ 20 m はなれた曳航ブイを界して下方に係留される。したがって、水中部のケーブル長は最大 200 m になる。

曳航時のケーブルには、曳航速度に応じたドラッグが働くと同時に、ケーブル後端に発生するカルマン渦によるケーブルの振動が生じ、この振動が更にドラッグの増大に寄与するばかりでなく、ケーブル自体に好ましくない影響をもたらす。このようなドラッグおよびケーブルの振動を低減するためにはケーブル断面にある種のフェアリングを施す必要がある。Plate 1 で、チェーンに沿って“わかめ”

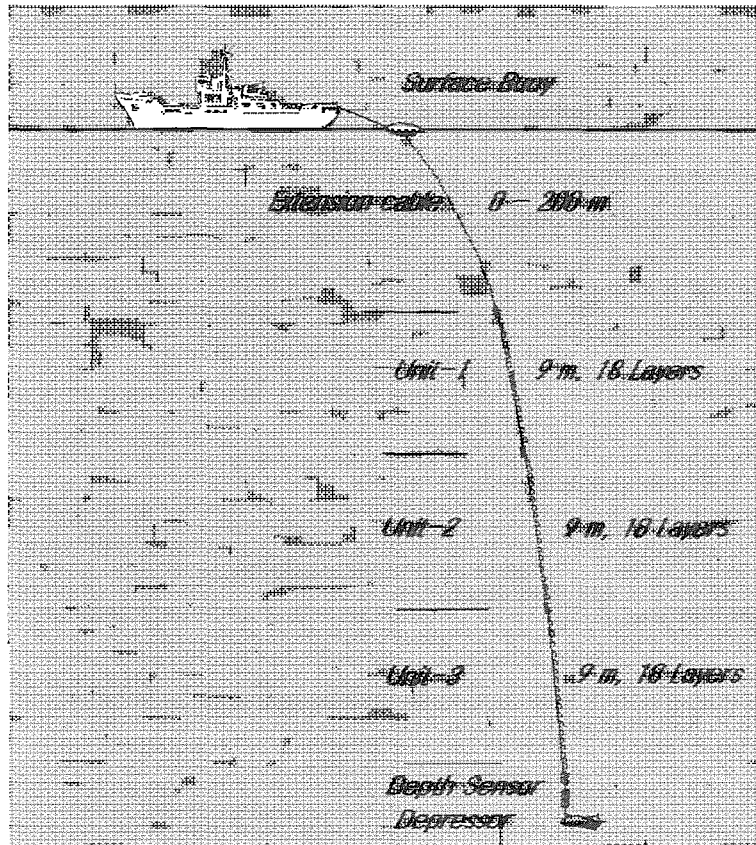


Fig. 6. Plan view of towing observation.

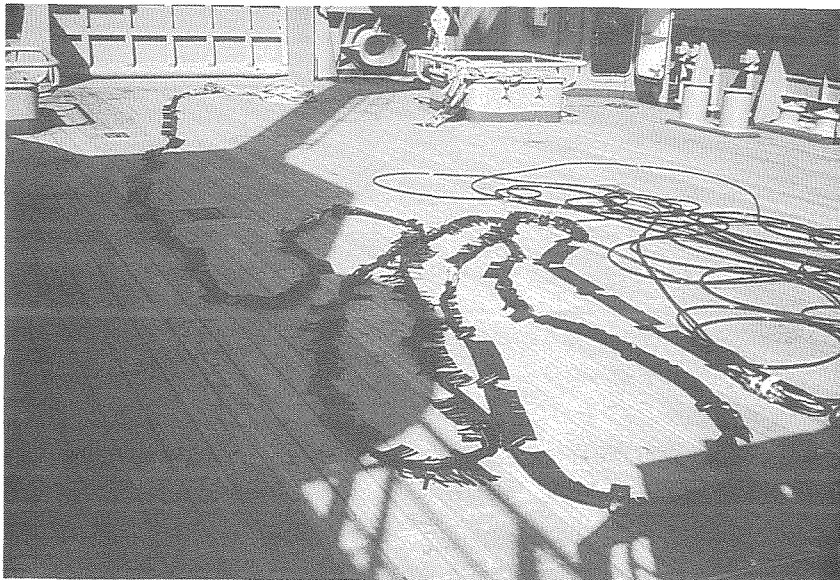


Plate 1. Cable view of the Towed Temperature Structure Profiler adopted three unit sensor chains.

状のひれが附加されているのがみられるが、これは水中できわめて有効なフェアリング効果を現わし、これによってドラッグ係数は、フェアリングなしの場合に比べ約1/2に減らすことができる。

## V. 曳航観測実験

平成5年10月にチェーン1ユニット(9 m, 18 センサ)の製作が完了し、同年12月21日に、淡路島西岸の西淡町沖、水深30 mの海域(Fig. 7)で曳航試験観測が行われた。北東から南西には長さ4 kmの測線(A-B)上を船速4ノットで曳航し、測線沿いの水温分布時系列を記録した。曳航観測のスタート地点でCTDによるT-S分布観測を行った。観測海域は冬期のために成層が比較的弱く、約10 m厚の水温14.15度の表層混合層と、その下層に厚さ13 mの弱い躍層があり、さらに23 m以深、30 mの海底までは、14.70度の一様な層となっていた。水温は表層で低く、下層で高い逆転成層となっているが、塩分補償によって密度は全体に弱い安定成層となっている。Fig. 8は、CTD観測による水温分布(a)、塩分分布(b)、水温・塩分分布から計算した密度アノマリー(c)、および密度分布から見積もったソープ変移(d)と安定度周波数(e)を示す。

曳航開始から5分間のチェーンによる水温記録の一例をFig. 9に示す。曳航時のチェーン最下層の深度は14 mで、ケーブルの推定傾角は約48度であった。これから、最上層のセンサ深度はほぼ7 m、チェーンが直線的に48度の傾きを持つと仮定したときの各水温センサー間の鉛直間隔は約37 cmと推定される。ほぼ一定の曳航速度における最下層の深度計の指示の変化は30 cm以内に収まり、十分な精度で安定な曳航が可能であることがわかった。

Fig. 10は、船速4ノットの曳航時の記録の内、深度変化の最も少ない記録を選びだしたものの中の、曳航距離約60 m分の曳航断面水温等値線図を示したものである。14.05度を境に、それより高温の領域をハッチで示してある。深度10 mから13 m層にかけて顕著なロール状内部波パターンが、波長約240 mの低波数の内部波の峰付近に列状に並んでいるのが明瞭にみられる。この記録は、北東から南西

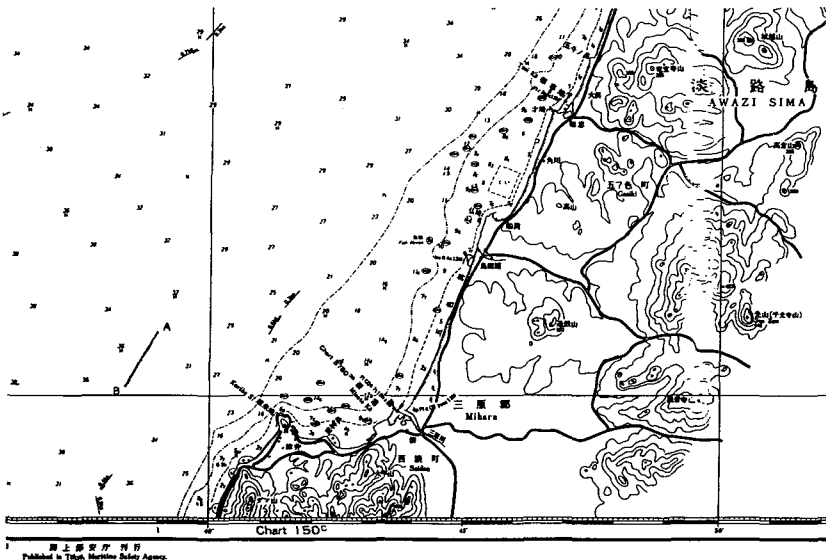


Fig. 7. Location of the towing observation. The towing operation was carried out along the survey line A-B, starting from A to B and turned from B to A.

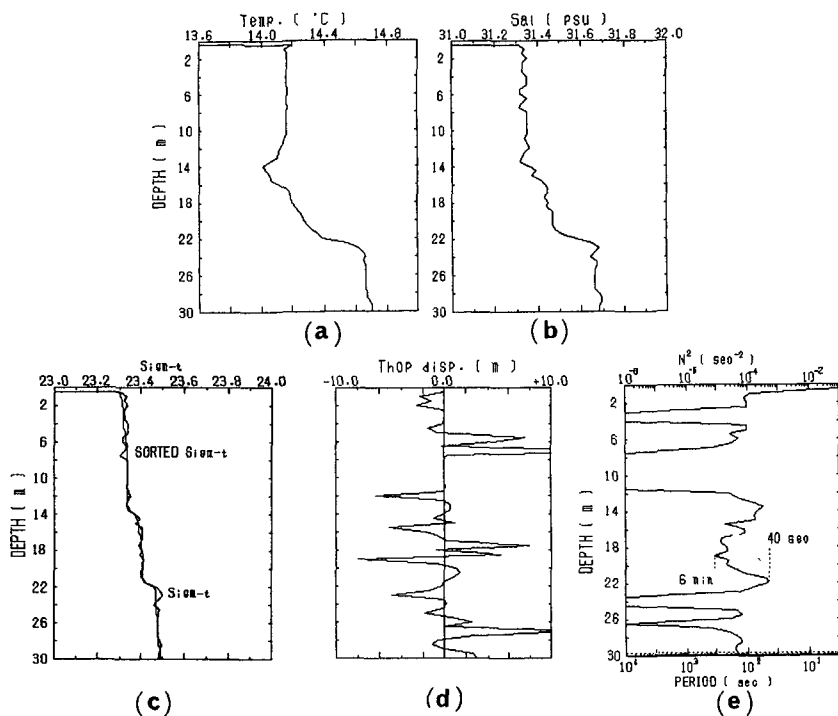


Fig. 8. Hydrograph of the towed area, observed with a Compact CTD. Temperature(a), salinity(b), and density anomaly(c). Sorted density anomaly is shown with red line in (c), and the displacements required in sorting give the Thorp Displacements (d). The squared stability frequency estimated from the sorted density anomaly (e).

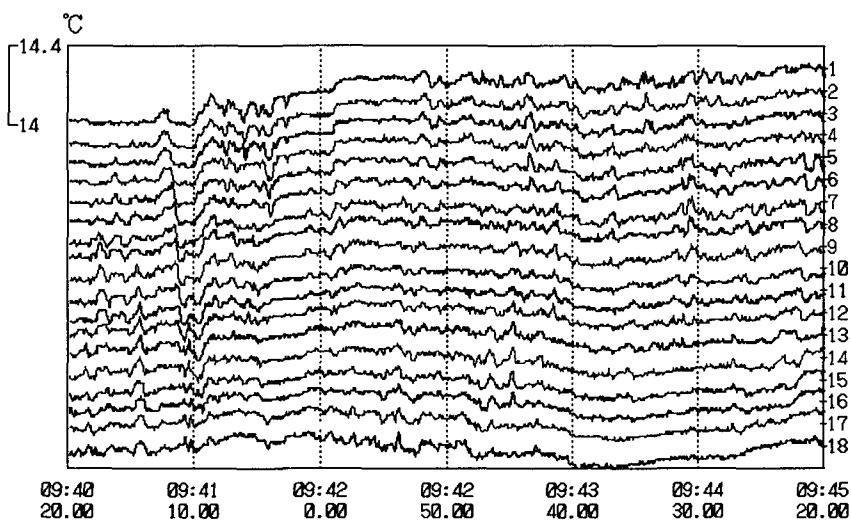


Fig. 9. An example of the temperature record obtained from the towing system. Temperature records from respective sensors are offset by about 0.1 deg.C.

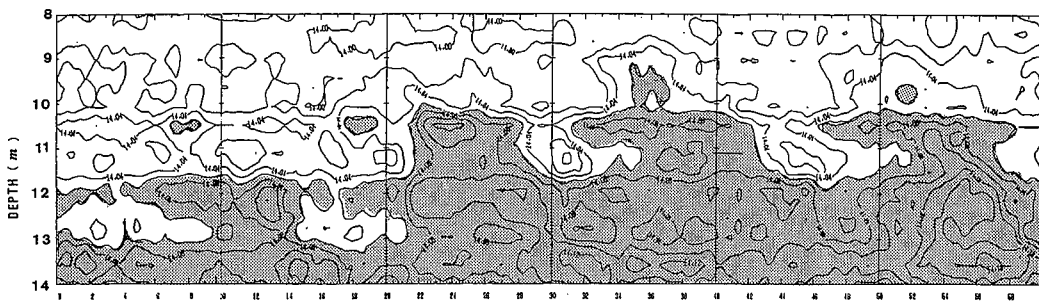


Fig. 10. Temperature structure in the towed section with 60 m horizontal distance. The hatched area higher than 14.05 deg.C shows a typical internal wave roll pattern.

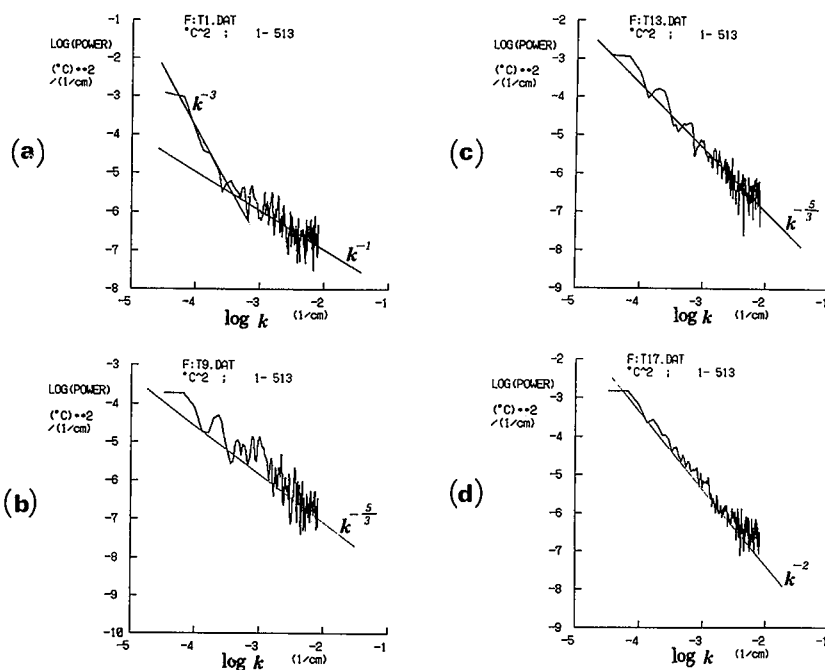


Fig. 11. Wave number spectra of temperature fluctuations at 8 m layer (a), 12 m (b), 12.7 m (c), and 14 m (d), respectively.

に曳航中のもので、内部波の頭部はいずれも北東側にロールしている。このパターンから、ロールの波長及び波高はそれぞれ 15 m、および 2 乃至 3 m と見積もった。

船速一定と仮定して、各層の水温時系列から水温の波数スペクトルを計算することができる。深度 10 m から 13 m 層をロール域とみなし、ロール域の上層、深度 8 m とロール域の下層、深度 14 m、およびロール域中央および基部の 11.1 m および 12.0 m 層の 4 層について、水温変動の波数スペクトルを計算した。Fig. 11 は、各層の波数スペクトルで、スペクトル勾配は、ロール域の下層 (Fig. 11 (d)) で  $-2$ 、ロール域の中央および基部 (Fig. 11 (b), (c)) では  $-5/3$  になっている。波数スペクトルが  $k^{-5/3}$  の時、場は乱流慣性小領域と考えられ、この層では、内部砕波による乱流の形成が行われていると思われる。ロール下層域は  $k^{-2}$  の典型的な内部波 (非砕波) 域を示している。一方、ロール域上層 (Fig. 11 (a)) は、0.3 cpm より低波数側で  $-2$  乃至  $-3$ 、高波数側で  $-1$  のスロープとなっている。Monin and

Ozmidov(1985)によると、表面波に起因する内部波のスペクトル・スロープは $-3$ に、また対流域の高波数乱流では、スロープが $-1$ になる。したがって、ロール域の上部は、両者が混在した領域であったと考えられる。Fig. 12は、以上の解析結果をもとに、この海域の一部の様子を模式的に表現したもので、恐らく西淡町沖を北東進する流れのシアによって、深度12 m付近の密度境界面に形成されていた波長十数メートルの内部波がKH不安定のロールになったものと思われる。

スペクトル・スロープが、空間的にいかなる分布をしているかをみるために、512データを100個づつずらしながら、ダイナミック・スペクトル法を用いて8 m乃至14 m深のスペクトル・スロープの空間分布を求めた。スロープ等値線図をFig. 13に示す。図の横軸は水平距離にして約840 mで、等値

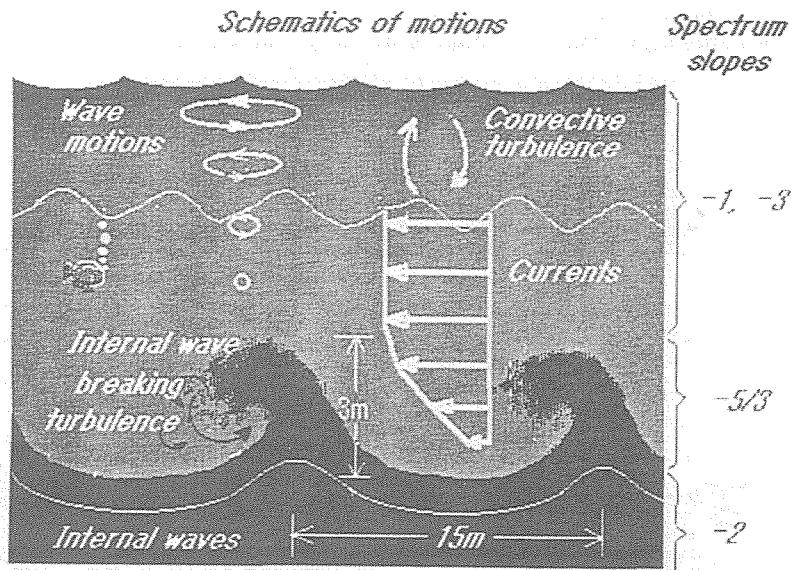


Fig. 12. Schematic illustration of the internal wave roll area and distribution of the spectrum slopes.

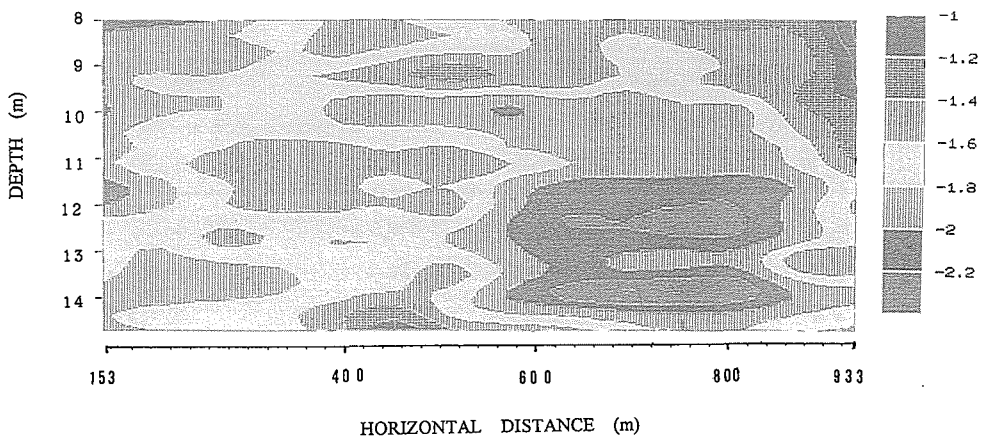


Fig. 13. Contour map of the spectrum slopes in the towed section with 1000 m horizontal distance. The patch size with the slope of  $-5/3$  near the roll area spreads about 500 m in horizontal.

線の値が $-1.6$ から $-1.8$ の間の領域が $-5/3$ のスロープに対応する。深度 $12$ から $13$  mに広がる $-5/3$ のスロープの領域(図中白抜き領域)がロールに起因する乱流慣性小領域と考えられ、その水平の広がり、およそ $400$  m程度と見積もられる。距離 $400$  mより遠方の領域では、 $-5/3$ スロープのパッチがみられないが、これは、より長波長の内部波の谷部にあたり、この領域ではロールの形成がなかったものと考えられる。Fig. 13では、 $10$  m以浅の領域にも、 $-5/3$ の小パッチが部分的にみられるが、これは、必ずしもロールに起因するものではない。ロールがみられた深度の $-5/3$ のパッチの空間スケールを目視で評価すると、鉛直で約 $2$  m、水平で $400$  m程度のパッチ・サイズと見積もられる。

## VI. む す び

海洋の海水混合過程を明らかにする上で、内部波に起因する乱流混合過程はきわめて重要な位置を占める。従来から、内部砕波が海洋内部の乱流過程に大きな役割を果たしていると考えられてきたが、実際の海洋で内部砕波の実態を捉えた例は殆どない。唯一の例が、Woods(1968)による、染料を用いた内部波ロールの水中写真である。しかしながら、Woodsの水中写真は解析に耐えるデータとは言いがたい。本研究では、内部砕波の実態を解析可能な形で捉えることを目指して、それに最も有効と思われる計測手法を開発し、初年度の測器完成の時点で、1ユニットによるテスト観測を試みた。その結果、開発したシステムは、所定の性能を十分発揮することがわかった。

また、このテスト観測で得られたデータの解析から、

- (1) 開発したシステムが内部波観測に極めて有効であること、
- (2) 観測された内部波ロール域の水温変動時系列にもとづく波数スペクトルは、 $k^{-5/3}$ の慣性小領域の乱流構造をもつこと、
- (3) ロール域以外は内部波特有のスペクトル構造を示すこと、
- (4) ロールに起因する乱流パッチの水平スケールは約数百m程度でそのスケールは、ロール域を峰部に含む、より長波長の内部波の波長に依存すること、

などが明らかになった。特に、初年度のテスト観測の中で、このシステムが狙いとする内部砕波ロールを偶然捉えることができたことは、幸運というべきであろう。ここに示した解析は、今回得られたデータのほんの一部に過ぎない。取得データのより詳細な解析は、共著者のひとり嘉屋によって進められている。また、今後、本システムを東支那海陸棚縁辺域の内部波観測に適用する計画もあり、砕波の生起確率や生起空間スケールの解明、内部波のエネルギー散逸の評価等が、こうした研究によって可能になるものと思われる。

最後に、今回の観測データは、実際の海洋での内部波ロールを解析可能な形で捉えたという点で、世界的にも極めて希少な例であることを強調したい。

謝辞 本研究は、文部省特別事業国際共同研究G O O Sの支援のもとに行われたものである。本研究遂行にあたり、研究支援の労を提供された文部省並びに東京大学海洋研究所の関係各位に心から謝意を表す。また、本研究におけるシステムの曳航試験観測は、アレック電子株式会社の戸川社長はじめ同社スタッフの協力によるものであることを記し、ここに謝意を表す。

## 文 献

Mescar, R., and F. Evans, 1977. Distributed Instrumentation Profiling, *Exposure*, 5(3), 1-7.

Monin, A.S., and R.V. Ozmidov, 1985. *Turbulence in the Ocean*, D. Reidel Publishing Co., Lancaster, pp. 247.

Woods, J.D., 1968. Wave-induced Shear Instability in the Summer Thermocline, *J. Fluid Mech.*, 32, 791-800.