

## 「みらい」MR01-K02航海におけるピストンコアラーの挙動

山本 浩文\*1 村木 広明\*2

海洋地球研究船「みらい」で実施されるピストンコアラーによる採泥は、海中でどのような挙動で採泥をするのかよく知られていなかった。また、海底で採取したコアの方向が不明であった。このためピストンコアラーに取り付け可能な小型センサーを製作し、実海域で計測を行った。

キーワード：黒潮続流域, ピストンコアラー, ピストンコアラー挙動計測センサー

## The action of piston corer on the R/V Mirai cruise [MR01-K02].

Hirofumi YAMAMOTO\*3 Hiroaki MURAKI\*4

As for mud sample by Piston corer carried out by the R/V "MIRAI", it didn't know what kind of action to have in the sea by well. And, the direction of the core where it was collected in the bottom of the sea wasn't clear. Therefore installation developed a possible miniature sensor in the piston corer, and measurement was done in the sea trial.

**Keywords** : Kuroshio extension, Piston corer, APC-8M

---

\*1 海洋観測研究部  
\*2 (株)マリン・ワーク・ジャパン  
\*3 Ocean observation and Research Department  
\*4 Marine Works Japan Ltd.

## 1. はじめに

三陸沖東方海域の黒潮・親潮続流域で過去2万年間の海洋環境の変遷を復元し、大規模大気モデルの結果と比較検討するために、海洋地球研究船「みらい」搭載のピストンコアラーによる採泥観測を行っている。

「みらい」の慣熟航海から現在までに、ピストンコアラーはいくつかの改良が行われた。例えば、海中に投入するときや船上に揚取るとき、または海底に採泥管が貫入するとき大きな曲げの力がかかっても容易に曲がらないよう管の材質の検討を行った。その結果、毎回の観測では管がまっすぐな状態で揚取されることになり、投入、揚取作業の簡略化や擾乱の少ない採泥試料の確実な採取が可能となった。

これまでの採泥観測では、ピストンコアラーを海中に投入後、海底に採泥管が貫入した海面に達するまでの一連の動作はほとんど計測された例はない。また、海底で採取したコアの方向が不明であった。このためピストンコアラーに取り付け可能な小型の傾斜、方位、深度を組み合わせたセンサーを製作し、実海域で計測を行った。

## 2. ピストンコアラーの概略

管状の採泥器を海底堆積物に打ち込み、その層序を乱すことなく採取するものである。管内部にピストンが存在し、その陰圧を利用して、少しでも深く打ち込むもので、海底直上100mでワイヤー繰り出しを停止し、ピストンコアラー本体を安定させる。数分後繰り出しを開始し、海底直上5.6mで自由落下し海底に貫入するものである。<sup>1)</sup>

図1はその構造や作動状態を模式的に示したものである。海底堆積物に入る管の上側に重錘(約1.5トン)が取り

付けられ、天秤の一端に引っ掛けられている。一方の端には0.1トンのパイロットサンプラー(阿修羅:表層約30cmの堆積物を採取可能)を付け、採泥管の先から数m先行させておく(写真1)。ゆっくり海底に降下させると同時に天秤の平衡がくずれ、採泥管は天秤から外れて自由落下する。

採泥管の内部にはメインワイヤーをあらかじめ通しておき、先端にピストンを取り付ける。観測前にこのピストンは管の最先端部に位置させ、メインワイヤーは採泥管の先端が着底したときにピンと張るように調節しておく。着底後は採泥管だけが堆積物中に貫入し、ピストンは海底の位置にとどまる。船から採泥管を吊しているワイヤーの巻き上げを開始すると、もし採泥管の根元まで貫入していなければ、まずピストンが引かれ、そのときに採泥管内に生じる陰圧のため、管はさらに堆積物中に押し込まれるかもしれない、管先端部分の堆積物を吸い込む。堆積物の質にもよるが、堆積物中の火山灰層を何層か貫いた後に粗粒の火山灰層で管の貫入が止まり、管先端部分の堆積物を吸い込むことが多い。採泥管の先端部分には、堆積物中への刺さりをよくするためのビットと呼ぶ刀型や採取試料の流出防止のためのリテーナーと呼ぶ一種の逆流防止弁が取り付けられている。

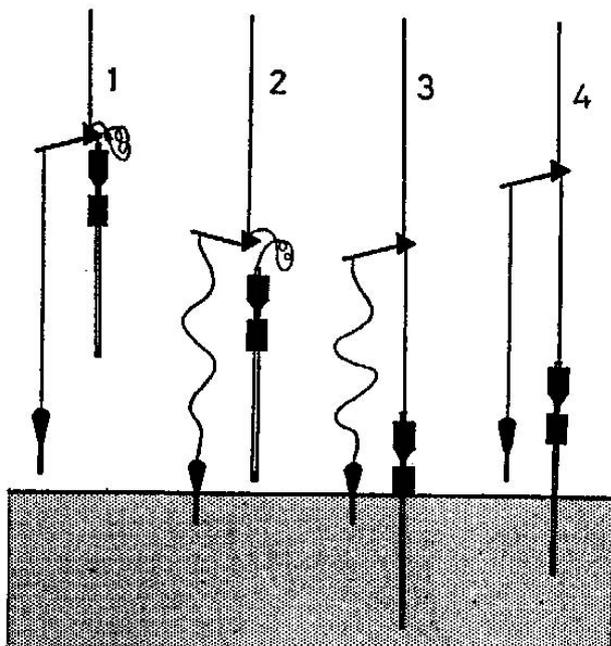


図1 ピストンコアラー採泥管貫入の仕組み

Fig. 1 The method which makes it stab piston corer in the bottom of the sea



写真1 船尾左舷からみた天秤及びパイロットコアラーの取り付け作業

Photo 1 The installation work of the balance and the pilot corer which saw it from the stern port

### 3. 「みらい」MR01-K02航海の採泥観測

三陸沖東方の水深5,760mの地点(33°05'N,146°25'E)でピストンコア(PC-01:無攪乱コア長約10.5m)による採泥を行った。このときピストンコアラーが海面から海底に到達し、採泥を行い船上に揚収されるまでの挙動(傾斜, 方位, 深度)を0.5秒毎に計測した。

### 4. ピストンコアラー挙動計測センサー概要

本装置は、ハイレスポンスのホール素子コンパス, 2軸傾斜センサー及び深度センサーを装備し, 耐圧7000mのチタン容器内に収められた内部記録方式の計測装置である(図2, 写真2)。耐圧容器内部は, メモリパックロガー, 操作パネル, 電源部, 各センサー及びアンプ回路部, 電源部で構成されている。メモリパックロガーは, 着脱式の8メガビットの記憶容量を有し, 4チャンネルで構成される1回の測定が131,000回可能である。

測定モードは, 連続測定, バースト測定の2種類があり, 操作パネル上設定ダイヤルにより, 各種の長期観測が自由に設定することができる。電源は8AHのリチウム電池を使用した。メモリーパックに記録されたデータは, 専用のメモリーパックリーダーにより, 汎用のパーソナルコンピュータにデータ転送した後, 各種データ処理を行う。

(センサ仕様)

センサ項目	タイプ	測定レンジ	精度	分解能
方位センサ	ホール素子コンパス	0~360°	±2°	0.1°
傾斜センサ	2軸電解液式	0~±60°	±2°	0.03°
深度センサ	圧力探知式	0~7000m	0.3%FS	2m

(データロガー)

記録方式: メモリーパック

入力チャンネル数: 4ch

入力項目: ch.1 X軸傾斜

ch.2 Y軸傾斜

ch.3 方位

ch.4 深度

記録容量: 8メガビット

測定モード: 連続, バーストモード

(ハードウェア)

材質: チタニウム合金

寸法: 直径100mm × 長さ608mm

重量: 9.5kg(空中), 4.5kg(水中)

耐圧深度: 7000m

(電源)

タイプ: リチウム電池

電池容量: 8000mAh

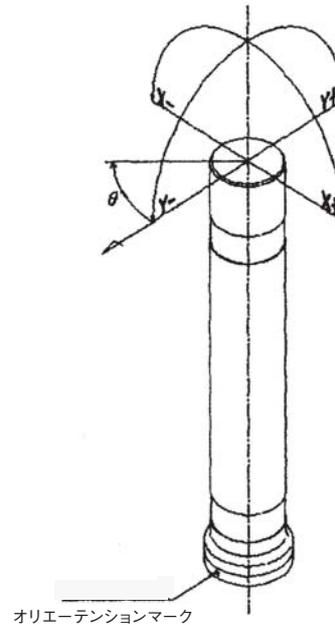


図2 傾斜, 方位センサーの向き

Fig. 2 The inclination and direction of the sensor



写真2 耐圧容器と挙動計測センサー内部

Photo 2 The inside of the pressure housing and the action measurement sensor

### 5. ピストンコアラー挙動計測装置のピストンコアラーへの取り付け

ピストンコアラーへは図3, 写真3に示すように取り付けを行った。ピストンコアラー重錘部やパイプの金属部近傍に本センサーを取り付けた。金属の材質が管はステンレス, 重錘は鉛であったが, コンパスのくるいは発生しなかった。また, センサーの耐圧容器にはオリエンテーションマークが印されており, その方向とピストンコアラーの接続する管の向き(天秤の延伸方向)にあらかじめ合わせておく。つまり, オリエンテーションマークの方向がセンサーの方位データとなる。本センサーのピストンコアラーへの取り付け治具として非金属のMCナイロンを使用した。

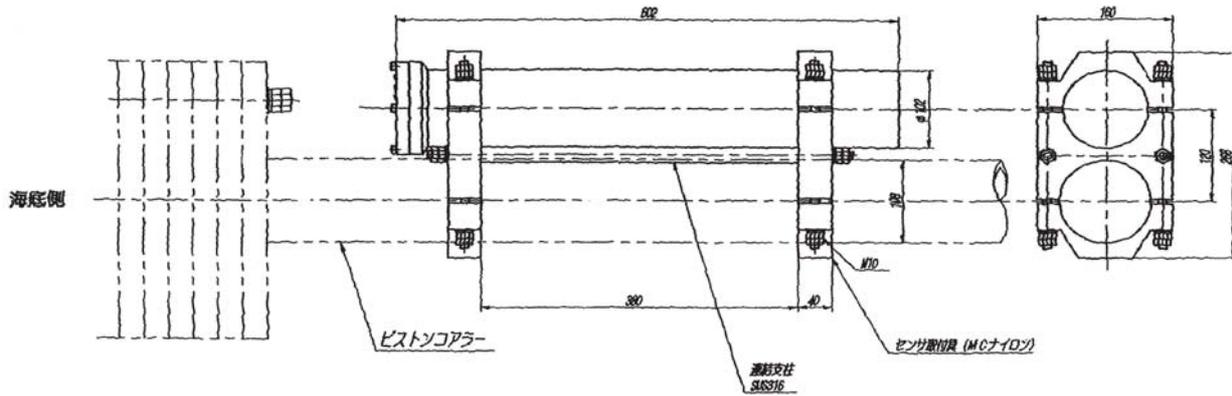


図3 挙動計測センサーのピストンコアラーへの取り付け図

Fig. 3 An installation figure to piston corer of the action measurement sensor

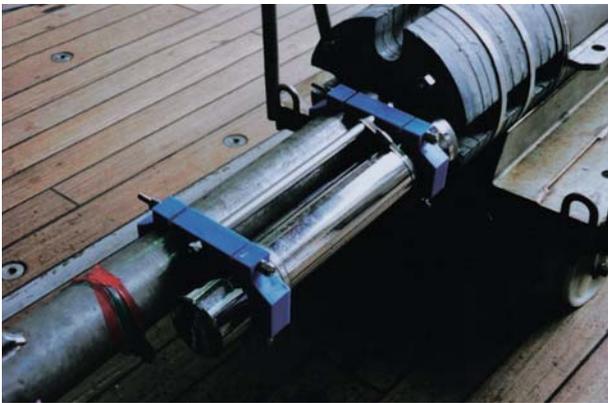


写真3 ピストンコアラー挙動計測センサーの観測時の取り付け

Photo 3 The installation photo of piston corer the action measurement sensor in the observation

## 6. ピストンコアラーの動き

ピストンコアラーによる採泥観測のオペレーションログを表1に示す。「みらい」の後部甲板のAフレームクレーンでつり下げられたピストンコアラーが、午前5時54分に降下を開始した。吊り下げワイヤー線長が500mで降下スピードは1.2m/sとした。その後吊り下げワイヤーの線長が5650mで繰り出しを停止した。ワイヤーを一定速度で5000m以上繰り出していることから、ピストンコアラーの採泥管の先端が海底方向にまっすぐ向いていない。ピストンコアラーの自重(約1.5トン)で採泥管の先を海底面方向に向け安定させるため、数分間(このときは3分間)ワイヤーの繰り出しを停止した。その後7時22分にワイヤーの繰り出しを開始し、非常にゆっくりとしたスピード(0.3m/s)でピストンコアラーを海底に向かって降下した。7時28分に海底に天秤の先のパイロットコアラー(阿修羅)が着底したと同時に、重錘、採泥管を止めていたフックが外れ、採泥管が海底に貫入した。その数秒後ワイヤーの巻き上げを開始した。7時29分に採泥管が海底より離底した。採泥管の引き抜き時のケーブルの自重を含めたテンションはAフレームのシーブ(滑車部分)では最大7.9トンと

なった。7時40分にワイヤーの線長が5000mとなり、巻き上げ速度を1.2m/sとした。ピストンコアラーは8時56分に海面に達し、9時18分に船上に揚収した。

## 7. ピストンコアラー挙動計測センサーのデータ

図4, 図5, 図6, 図7にピストンコアラーが海面から降下、海底で貫入、採泥管の引き抜き、船上に揚収するまでの経過を示す。天秤の向きは左舷の方向に設定されている。実際に、この向きでピストンコアラーを海底に向かって下降させた。

### (方位と深度データ)

図4の上部にセンサーが得たコンパスのデータ、下部に深度データを示す。ピストンコアラーは、海中投入前に左舷方向にあった天秤の位置と同じ方向で降下している。ウインチの操作を甲板上から後部操舵室に切り替えるため水深200m付近でいったんワイヤーの繰り出しを停止している。このときは157°に変わり、さらに降下を続けると220~230°付近を移動しながら、海底直上約100mでいったんワイヤーの繰り出しを30秒間停止した。このときの天秤の方向は173~179°で安定した。再度海底に向けてワイヤーの繰り出しを行った。海底付近の深度とコンパスデータの拡大図を図5に示す。ピストンコアラーが海底に到達したときに1.0秒以内に採泥管が貫入した。このときの深度データは5817mで方位は163.2°であった。採泥管が海底下最大貫入した深度データは5831mで、その方位は262.8°であった。この図から見ると方位は1秒間に163.2°から159.5°, 262.8°へ回転している。つまり、採泥管が貫入時に約134°回転していることになる。センサーが重錘の上の部分に取り付けられていることから、深度データが5817mの時に海底面に採泥管の先が当たり、最大深度データが5831mの時に採泥管が最大貫入したとすると、採泥管は重錘の根元付近まで貫入せず、海底面からセンサーまで約6.7mあったと計算できる。よって、採泥管の長さが20mであるので、採泥できた堆積物は約13mと計算できる。

採泥管が海底に貫入後、船上では数秒後にゆっくりとワイ

表1 採泥観測のオペレーションログ  
Table 1 The operation log of the coring observation

Appendix-1 Operation Log

Core: PC-01  
Pilot: PL-01  
Station: 84  
Date: 21/May./2001  
Length of pipes: 20m  
Length of main wire: 27.8m  
Length of Pilot wire: 28.6m  
Length of free fall: 5.6m  
Weather: fine  
Wind: 242deg,4.5m/sec  
Wave hight: 1.3m

Time	Wire-out	Lat.*	Lon.*	Depth	Tension	Wire-Speed	Remarks
5:00							Started
5:54	0m	33-05.0242N	146-25.3488E	5755m	1.2ton	↓ 0.7m/sec.	Started wire-out
6:06	500m				1.4ton	↓ 1.2m/sec.	
6:13	1000m				1.7ton	↓ 1.2m/sec.	
6:27	2000m				2.5ton	↓ 1.2m/sec.	
6:41	3000m			5758m	3.4ton	↓ 1.2m/sec.	
6:54	4000m			5760m	4.3ton	↓ 1.2m/sec.	
7:08	5000m			5759m	5.1ton	↓ 1.2m/sec.	
7:19	5650m			5759m			Stopped wire-out
7:22	5650m			5750m		↓ 0.3m/sec.	Started wire-out slowly
7:28	5745m	33-05.0003N	146-24.9702E	5758m	4.9ton	↑ 0.3m/sec.	Hit bottom, and wire in
7:29	5720m	33-04.9984N	146-24.9705E	5755m	7.9ton	↑ 0.5m/sec.	Left bottom(max tension 7.9ton)
7:40	5000m				6.0ton	↑ 1.2m/sec.	
7:54	4000m				5.1ton	↑ 1.2m/sec.	
8:08	3000m				4.2ton	↑ 1.2m/sec.	
8:22	2000m				3.3ton	↑ 1.2m/sec.	
8:36	1000m				2.4ton	↑ 1.2m/sec.	
8:56	0m						Surfaced
9:18		33-05.1318N	146-25.1287E	5760m			Recovered a corer

\*GPS:WGS84

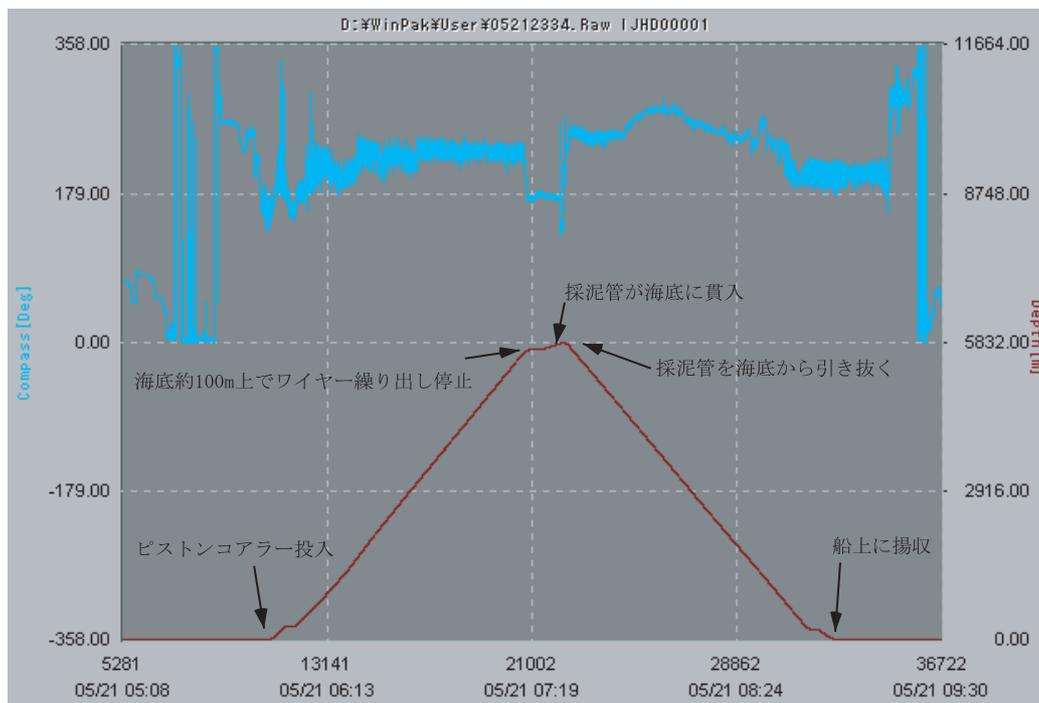


図4 採泥観測の方位と深度データの時系列図  
Fig. 4 The time series of the coring direction and the depth data in the coring

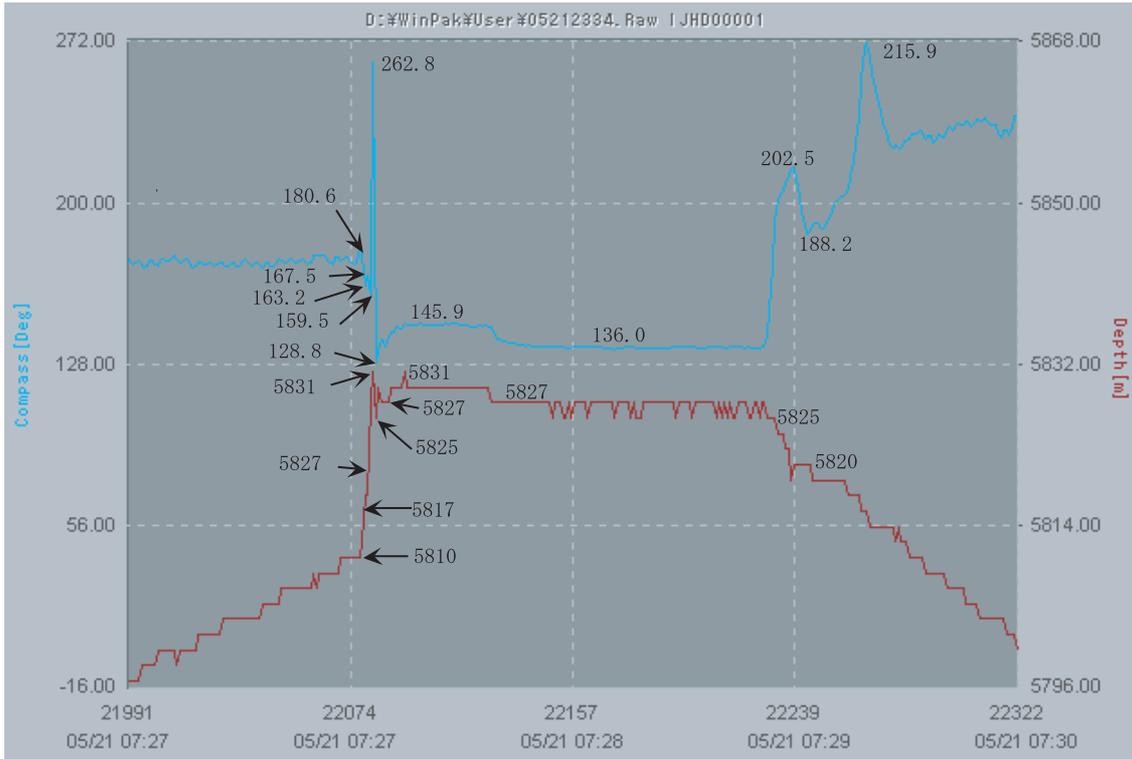


図5 採泥管が海底に貫入し、引き抜かれるまでの方位と深度データの時系列図  
 Fig. 5 The time series of the direction and depth data from the corer stab to pulled out

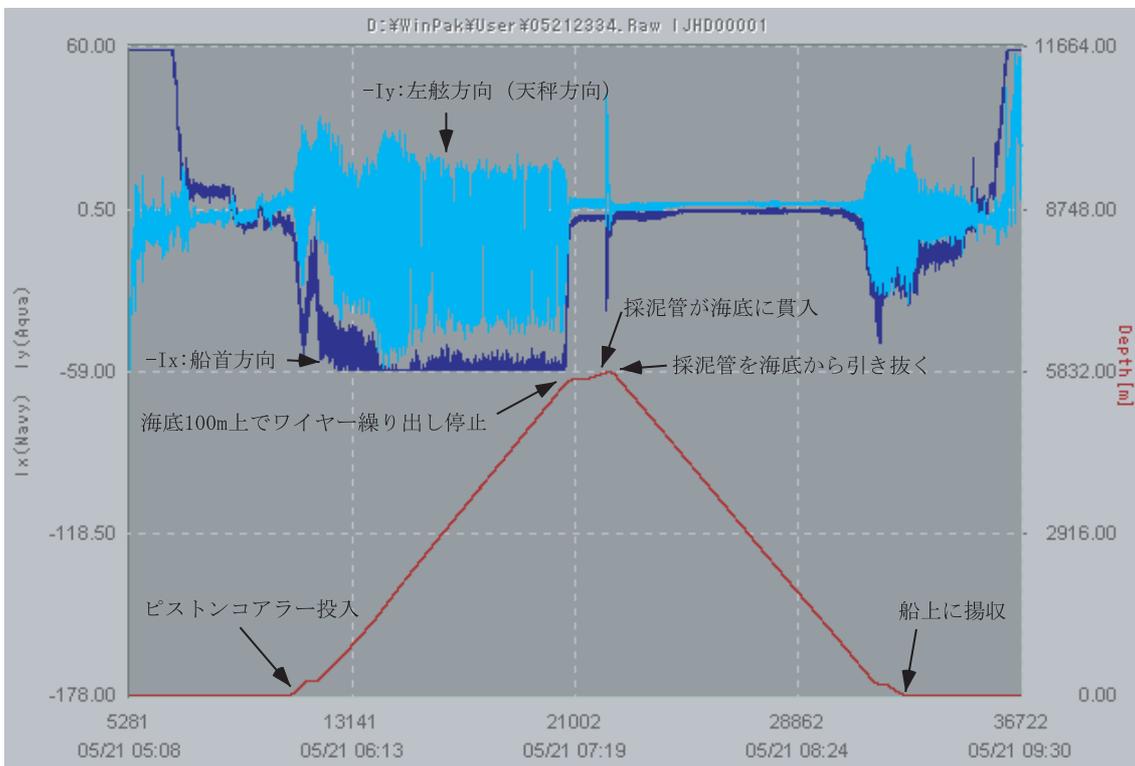


図6 採泥観測の傾斜と深度データの時系列図  
 Fig. 6 The time series of the coring inclination and depth data in the coring



図7 採泥管が海底に貫入し、引き抜かれるまでの傾斜と深度データの時系列図  
 Fig. 7 The time series of the inclination and depth data from the corer stab to pulled out

ヤーの巻き上げを行うが、採泥管は1分間貫入した状態となっている。その間の方位は145.9°と136.0°の安定したデータであった。採泥管離底深度データは5820mで、引き抜きの時にも136°~202°まで回転し、抜いた瞬間には188.2°~215.9°と回転している。その後、海面までの巻き上げ途中では、230°付近から280°付近へと安定した方位を保っている。ピストンコアラの方位は下降、海底での貫入および上昇の過程において、大きく回転するような変化はなかった。

(前後左右の傾きと深度データ)

図6の上部に-Ix(船首方向), -Iy(天秤方向=左舷方向)の傾斜データ, 下部に深度データを示した。約200m付近でワイヤーの繰り出しを停止したときにIxの値は3.2°付近で安定した。Iyの値は27.82~-45°の間を揺れていた。さらに降下させ海底直上約100mのところまで停止するまでIxの値が-58°となった。これは、重錘部分が船首方向に傾き、やや左舷方向(天秤方向)に傾きながら降下していったことを示している。30秒間停止していた時のIxの値は1.28~3.24°, Iyの値は1.28~4.35°であった。ピストンコアラはほぼ鉛直方向になっていたことになる。その後(図7), パイロットコアラが着底するとIxは1.03°, Iyは2.33°の角度で貫入し、最深部到達時にIxは-7.66°, Iyは22.68°, 少し抜けたときにはIxが-13.91°, Iyが-2.87°となり、ピストンコアラを引き抜くまでの30秒間のうちに、Ixが-32.76°, Iyが39.08°と大きく揺れ、Ixが3~-5°にIyが7~9°になった。採泥管が海底に貫入した瞬間

に船首方向に約32°傾き、左舷側(天秤方向)に約36°傾いたことになる。採泥管が離底後、Ixは0.75~2.8°, Iyは0.23~2.56°とほぼ鉛直方向に近い安定した角度で上昇した。

#### 8. 深度データについて

パイロットコアラが海底に到達したときにセンサーの深度の値は5810mであった。この値から海底の深度を計算することにする。本センサーの最大深度データは5831mであった。採取された試料は10.5mであることが船上の試料処理の段階で判明している。20mからその10.5mを引くと、9.5mの採泥管が貫入しないで海中に存在していることがわかる。その採泥管の長さが9.5m、その上の重錘が1m、そのすぐ上にセンサーを設置していることから、9.5m+1m+5831mで海底の深度は5841mとなる。一方、「みらい」装備のシービームのデータによると採泥点の水深は5760mであった。78.6mの差が生じている。また、パイロットコアラが海底に到達したときのワイヤーの繰り出し全長は5745mであった。パイロットコアラをつり下げているワイヤーの長さが28.6mで単純にワイヤーが船の真下に伸びていると仮定すると、5745m+28.6mで5773.6mとなり、センサーの深度データの方が65m深くなる。

本センサーの深度の換算方法は、得られた圧力値に海水の密度(1.025kg/cm³を一定)で割って10をかけたものである。海水の密度は図8<sup>2)</sup>のように海面から海底面にいたる深度によって変化する。一般に海水の平均密度は $\sigma = 1.035\text{cm/m}^3$ で表されるが、この値を代入してもまだ20, 30mの差がある。

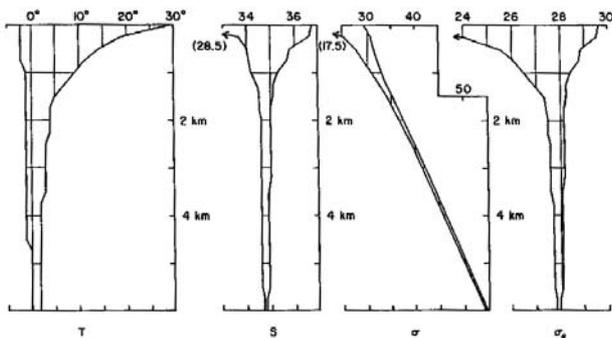


図8 海洋の98%を代表する水温(T)と塩分(S)の深度分布とそれらに対応する現場密度とポテンシャル密度

Fig. 8 The ranges of temperature T (in °C) and salinity S for 98% of the ocean as a function of depth, and the corresponding ranges of density  $\sigma$  and potential density  $\sigma_0$ .

このため、センサーの校正値や高圧水槽による加圧試験ではどのようなデータになるか調査した。

(海洋科学技術センター中型高圧水槽による加圧試験)

海域調査後海洋科学技術センターの中型高圧水槽で加圧試験を行った。加圧は0~590kg/cm<sup>2</sup>を20分、590kg/cm<sup>2</sup>の保持を3分、減圧は7分の条件で行った。ピストンコアラーク動計測センサーの圧力データのサンプリング間隔は0.5秒とした。そこで得られた本センサーの最大値の値は5746mで、圧力値に換算すると588.965kg/cm<sup>2</sup>であった。このときの密度は1.025kg/m<sup>3</sup>を使用した。この値は、圧力センサーの合否判定基準誤差±3%FSの範囲であった。

この中型高圧水槽の試験結果と圧力センサー付属の深度検定試験成績書とも合否判定基準誤差の±3%FS以内であった。

9. まとめと考察

これまで、ピストンコアラークの海中での動作は不明であった。今回本海域でこのセンサーを取り付けて海中の動作が判明した。特に、海底に採泥管が貫入したときの方位がわかった。

(方位)

ピストンコアラークを海面に投入後海底に到達し、海面に到達するまで、コアラーク本体が360°回転する事はなかった。海底に降下中は、方位220~230°付近をふらつきながら移動した。海底直上約100mで30秒間ワイヤークの繰り出しを停止した時に173~179°でふらつきが小さくなった。海底に採泥

管が貫入後1秒間に134°回転した。採泥管を引き抜きピストンコアラークを引き上げ時に230°から280°に変化するが、その振幅は降下の時の4分の1程度の10°と小さい。

(傾斜)

ピストンコアラークを投入後海底付近までは船首方向に59°傾き、左舷側天秤方向に28°右舷方向に45°の間を揺れていた。これは天秤の先のパイロットコアラークが採泥管下降時のフックの外れ止めの役目を十分果たしていたことがうかがえる。海底直上100mの停止では、この揺れは安定し、ほぼ採泥管が真下を向いていることがわかった。海底に貫入したときは船首方向に傾き、すぐに船尾方向に、その後船首方向に32°傾いた。約20秒後に船首方向に2, 3°傾いた。巻き上げ中、ピストンコアラークは鉛直方向を向いて上昇した。

(深度データ)

深度データに関しては、陸上の圧力校正値と実海域におけるデータに50m以上の差がでた。しかし、海底に採泥管が貫入したときの、データ5810mと採泥管が最深部まで貫入したデータ5831mの差、つまり、得られた堆積物試料の長さ10.5mであったが、データと得られた試料との差がほとんどなく、相対的には等しい値を示していると考えられる。今後は、シービームデータやピストンコアラークをつり下げているワイヤークケーブル長の検討を重ね、さらに実海域において計測を行いデータの解析をおこなっていく必要がある。また、換算式に代入する海水密度の値については、現状1.025cm/m<sup>3</sup>として計算しているため、現場の海域に適合した密度を代入する必要がある。

10. おわりに

本センサーを製作するに当たって、アレック電子株式会社の金子二郎氏には様々なご尽力をいただいた。海域観測後、センサーデータ校正のため海洋科学技術センター中型高圧水槽を使用した。その際、研究業務部施設・設備課久保下正義氏、菊間敏雄氏の協力を得た。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本気象協会, "海洋観測指針", 気象庁編., p115,117 昭和51年
- 2) Adrian E. Gill, "Atmosphere-Ocean Dynamics", INTERNATIONAL GEOPHYSICS SERIES., Vol30, P47(1982)

(原稿受理：2001年7月31日)