

相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」 の設置と長期観測

門馬 大和*¹ 満澤 巨彦*¹ 海宝 由佳*¹ 堀田 宏*¹

1993年9月、相模湾初島南東沖6 km、水深1,177mのシロウリガイ群集域の海底に、「深海底総合観測ステーション」を設置し、リアルタイムの長期観測を開始した。本ステーションには、カラービデオカメラ（2台）、3成分速度型地震計、ハイドロフォン、地中温度計（2台）、CTD、電磁流速計などが搭載されている。ステーション水中部と初島の陸上局は、全長約8 kmの鉄線二重装光電気複合ケーブルで接続され、観測データと電力の伝送が行われている。

これまでの観測の結果、貝の個体数にはかなりの変動があること、シロウリガイ群集域内では、海底下30cmの地中温度が群集域外に比べて約0.6℃、水温よりも約2.5℃それぞれ高いこと、海底では、西向きの変異流が卓越していることなどが分かった。今後、2～3年間の長期連続観測を行い、生物生態、環境変動、及び周辺の地震や火山活動など地殻変動との関連を明らかにしたい。

キーワード：長期観測、観測ステーション、相模湾初島沖、リアルタイム

Long Term and Real Time Observation on the Deep Sea Floor off Hatsushima Island in Sagami Bay

Hiroyasu MOMMA*² Kyohiko MITSUZAWA*²
Yuka KAIHO*² Hiroshi HOTTA*²

In September 1993, a real time deep sea floor observatory was deployed within the *Calypptogena* clam colony off Hatsushima Island in Sagami Bay at a depth of 1,177m. The aim of the long term observation off Hatsushima Island is to know the relations among biological, seismic and volcanic activities in the plate boundary between Philippine and North American plates.

The observatory is equipped with two color video cameras, a seismometer, a hydrophone, two heat flow sensors, a CTD and an electromagnetic current meter. The data and power to and from the land station at Hatsushima Island are sent in real time through 8 km long electro-optical cable. Also, the data including still video images are sent to JAMSTEC in Yokosuka through the telephone link.

Temperature at 30cm beneath the sea floor within the clam colony is approximately

* 1 海洋科学技術センター深海研究部

* 2 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

0.6 °C and 2.5 °C higher than those outside the colony and the ambient sea water, which is approximately 3 °C, respectively. This means that the clams live selectively in the warmer sediments. The number of the clams which is seen from the observatory varies significantly with time. It is not yet known what would be the controlling factor of this change.

After two to three year continuous observation, the underwater unit will be recovered for maintenance and improvement of the instruments.

Key words : Long term observation, Real time observation, Sea floor observatory, Hatsu-shima

1. 初島沖長期観測の必要性

1984年に、相模湾初島沖でシロウリガイの大群集が発見されて以来、「しんかい2000」や「ドルフィン3K」によって多くの調査や現場実験が行われてきた(太田, 1987)。これらの調査は、年間数回、1回あたり数時間の単位で行われているので、時間軸における観測密度は極めて低いものであった。海底に観測ステーションを設置することによって、長期間の連続観測が可能になり、観測密度を飛躍的に高めることができる。これは、シロウリガイなどの生物生態の観察や、地震、火山噴火などの予測できない現象の現場観測に不可欠である。

海洋科学技術センターでは、深海底の長期観測を今後の重要研究課題として定めており、その具体的方法として、筆者等は「自己記録型」、「リアルタイム型」及び、「ブイ・衛星型」長期観測ステーションによる観測手法を提案し、実現しつつある(Momma, 1992)。相模湾は、シロウリガイ群集、群発地震、海底火山、マグマ溜まり、活断層、プレート境界など、地球科学上重要なキーワードを持つ場所である。初島沖のシロウリガイ群集域は、初島からわずか6 kmの位置にあるので、リアルタイムの連続観測を行う最適の条件を備えている。これは、海底の観測点から陸上までのケーブルと、その敷設に要する経費が少なく済むという意味である。

このような理由から、1991年から3年計画で「リアルタイム型」長期観測ステーションを開発し(Momma, 1993)、1993年に初島沖の海底に設置し、観測を開始した。

本ステーションには、ビデオカメラ、地震計、ハイドロフォン、地中温度計、CTD、流向流速計などの観測機器が搭載されており、データの伝送に光ファイバを用いるなど、最新の技術を用いた総合観測が可能である。このような深海底の総合的な長期観測は世界初のものである。

2. 「深海底総合観測ステーション」の概要

本ステーションは、水中部、ケーブル、陸上局、及び陸上データ伝送部からなっている。図1に、本ステーションのシステムブロック図を示す。

(1) 水中部

幅2 m、長さ2.5 m、高さ1.5 mのSUS304角パイプ製オープンフレームに、バンティルト付きカラービデオカメラ、固定カラービデオカメラ、地震計、ハイドロフォン、水中ライト(250 W、6灯)、地中温度計(2台)、CTD、電磁流速計、トランスポンダ、油浸均圧トランス、光伝送装置、リレー装置などを装備している。写真1に水中部の全景を、また、表1に観測装置の主な性能を示す。表2に、水中部及び陸上局の光伝送システムの仕様を示す。初島陸上局から送られた単相交流1,500 Vは水中部の油浸均圧トランスで100 Vに降圧され、光伝送装置や水中ライトの電源として用いるとともに、直流15 Vで各観測機器に供給される。

地震計、ハイドロフォン及び地中温度計は、設置後に海底にじかに設置する必要があるため、全長10 mのケーブルで本体と接続されている。また、水中部を最適の観測地点に移動できるように、本体の上部に離脱可能な補助ブイを取り付けてあり、バラストを切り離すと中性浮力になる。さらに、水中部を回収する際の重量軽減のために、本体にもブイを取り付けてあり、シンカーを切り離すと水中重量が50 kg程度になる。なお、海底に設置した状態の水中重量は約150 kgである。

(2) ケーブル

図2のケーブル断面図に示すように、全長約8 km、外径26 mmの鉄線二重絶縁光電気複合ケーブルは、電線2本、シングルモード光ファイバから構成されている。各電線の公称断面積は8 mm²、導体抵抗は、約2.3 Ω/kmである。信号の伝送には、2本のファイバを使用し、他の2本は水中部の端末でループ接続し、光ファイバの

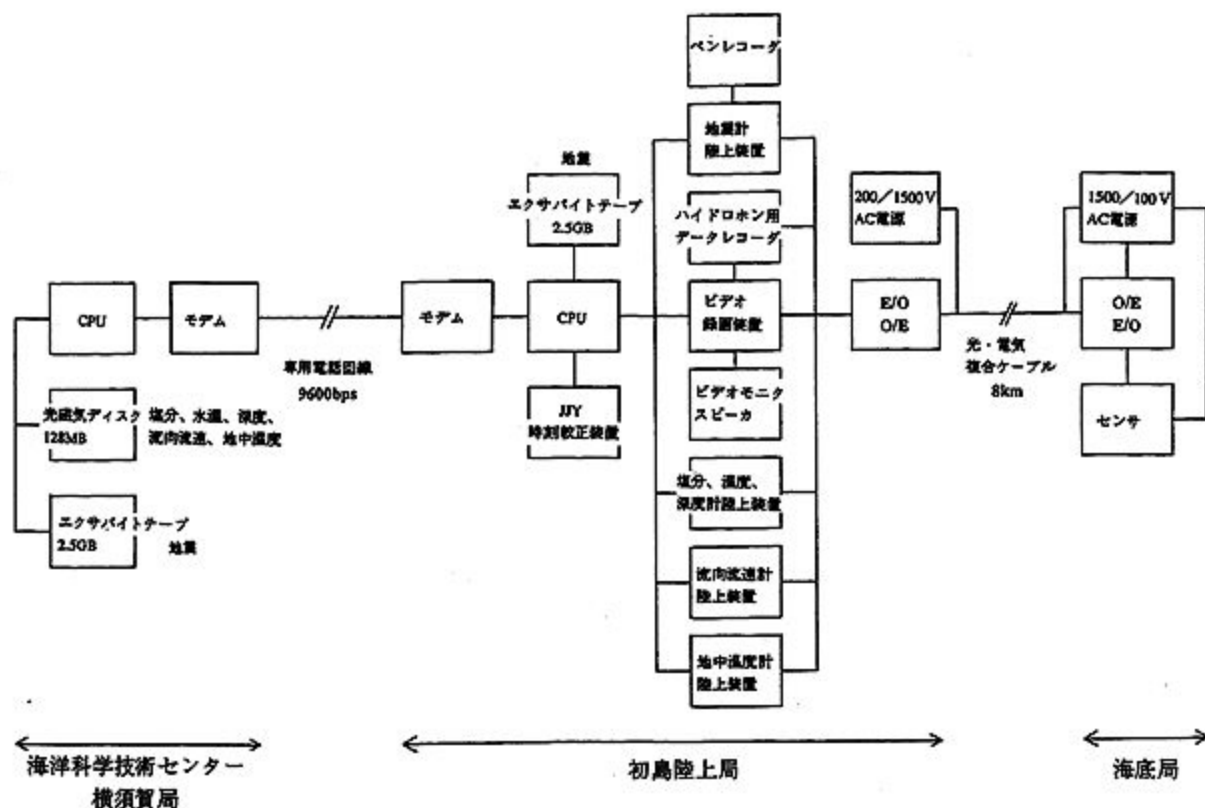


図1 ステーションシステムブロック図

Fig. 1 Real time deep sea floor observatory system block diagram.

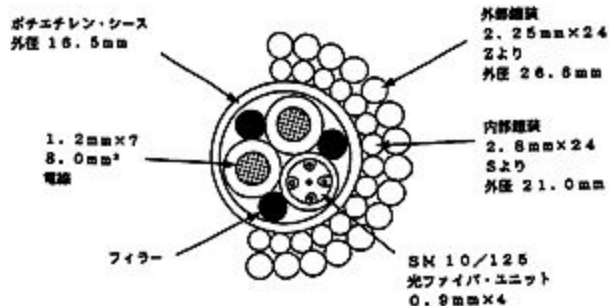


図2 光電気複合ケーブル断面図

Fig. 2 Cross section of double armored electro-optical cable.

特性チェックを行っている。アップリンクには $1.3\mu\text{m}$ 、ダウンリンクには $1.55\mu\text{m}$ の各光波長を使用している。

(3) 陸上局

陸上局は、静岡県熱海市初島の海岸にあるプレハブ観測舎に置かれている。陸上局では、ケーブルを介して水中部への電力の供給、データの送受信、信号の光/電気変換や、ビデオ及び観測データの表示・記録が行われる(写真2)。通常、陸上局は無入であるが、今のところ、

1週間に約36時間(1.5日)は初島で有人観測を行っている。無人観測は、ビデオカメラで210分テープに12時間ごとに、15分間(1日当たり30分)ずつ自動録画されるのに対して、有人観測では連続的に観察と録画が行われる。地震計、ハイドロフォン、CTD、地中温度計、流向流速計は、常時連続観測が行われている。

(4) 陸上データ伝送部

初島にある陸上部から、海洋科学技術センター横須賀局まで、電話回線を通じてデータの伝送を行うとともに、横須賀局から初島陸上局や水中部の制御を行う。データは5秒ごとに更新し、ほぼリアルタイムであるが、画像データは電話の伝送速度に制約があるため、静止画を伝送している。地震データは、地震の発生を検出したときのみ横須賀局に伝送される。横須賀局では、画像を含むデータをカラーCRTに表示するとともに、データをMOディスク(CTD、地中温度、流向流速、カメラ角度)及びEXABYTEテープ(地震)に記録する。ただし、画像データは初島局で自動録画されるため、横須賀局では保存していない。

表 1 水中部観測機器の主な仕様

Table 1 Specifications of underwater equipments.

機 器 名	仕 様
テレビカメラ	パナソニック CAM-92 3CCD カラーカメラ 2台 ・焦点調節：遠隔制御 ・最低被写体照度：15ルクス ・解像度：水平600TV本，垂直350TV本
水中ライト	Deep Sea Power & Lights 250W 6台
地震計	NEC サーボ型速度計 ・測定範囲：1.22mkine～40kine ・周波数帯域：0.1～30Hz ・成分数：3成分(上下動1成分，水平動2成分)
ハイドロフォン	ITC-1010A ・周波数帯域：0.01～20kHz ・指向性：全方向
地中温度計	海洋電子 サーミスタ温度計(測定点3点)2台 ・測定範囲：0～80℃
CTD	Sea Bird SBE 9plus ・測定範囲 電気伝導度：0～7 S/m 水 温：-5～35℃ 水 圧：0～15,000psia
流向流速計	アレック電子 電磁流向流速計 ・測定範囲：0～200cm/s ・測定精度：2%
トランスポンダ	Benthos Model XT-6000 2台 ・送信周波数：13.5及び14.0kHz ・受信周波数：13.0及び 6.5kHz

3. ステーションの設置

(1) 事前調査

これまでに、「しんかい2000」などによって観測予定海域では密度の高い観察が行われており、ガイドラインマーカーなどの視覚目標が設置されていた。さらに、ステーションの海底設置に先立って、観測地点を最終的に決定するために、ディープ・トウによる周辺海底の詳細な観察と、シービームによるケーブルルートの地形調査を行った。その結果、近くに海底変色域がある、34°59.96'N, 139°13.67'E (GPS, Tokyo Datum), 水深約1,170mのシロウリガイ群集域を選定した。設置作業の際の海底の位置目標として、予定地点から約300m北東にトランスポンダを係留した。

(2) 設置方法

ステーションの設置方法は以下のとおりである。まず、観測地点の真上付近から、海底敷設用ケーブルの先端に吊った水中部を海底近くまで降下させ、水中部に搭載したビデオカメラで海底を観察しながら目標地点に誘

導する。音響測位と目視観察で目標点を確認したら、ケーブルを繰り出して水中部を着底させ、ケーブルをルートに沿って敷設しながら初島の陸揚げ地点に向かう。陸揚げ地点の沖合いで作業船からケーブルの先端を陸揚げし、観測局に引き込み、陸上装置と接続する。通常海底電話ケーブルの敷設と異なる点は、設置地点の位置制度が重要なので、音響測位と目視観察で設置の位置精度を±30m以内に高めたこと、敷設作業中も常時水中部機器の作動をモニタしたこと、経費節減のため専用のケーブル敷設船ではなく、作業船または台船を使用したことである。特に、目視観察で最適地点まで誘導する方法は、海洋科学技術センターで永年実績のあるディープ・トウ(深海曳航式探査システム: Momma, 1987)の技術を応用したものである。

(3) 設置作業

1993年3月、第1回目の設置作業を1,000t級のサプライボートで行った。しかし、水中部を海底付近まで降下させた際にケーブルが突然スリップし、約2,000mの

表 2 光伝送システムの仕様
Table 2 Specifications of optical telemetry system.

アップリンク 信号	光伝送方式	2心アクティブ, 2波長多重(1.3 μ m, 1.55 μ m) (アップリンクでは, 1.3 μ mを使用)		
	映像信号系	適用TV方式	NTSC	
		変調方式	PFM(パルス化周波数変調)	
		搬送周波数	32MHz \pm 8MHz	
		入力レベル	1V _{p-p}	
		入力インピーダンス	75 Ω 不平衡	
		点数	1ch(2ch入力切替え方式)	
	アナログ信号系 (ハイドロフォン対応)	入出力レベル	0~10V	
		分解能	13bit(A/D変換)	
		変調方式	P/S, PCM, S/P変換	
		サンプリング周波数	151kHz	
		伝送速度	10Mbps	
		点数	1ch	
	デジタル信号系 (その1: 地震計対応)	変調方式	P/S, PCM, S/P変換	
		サンプリング周波数	303kHz	
伝送速度		10Mbps(RS232C信号で9,600bpsまで)		
点数		3ch		
デジタル信号系 (その2)	入出力レベル	RS232C信号レベル		
	変調方式	P/S, PCM, S/P変換		
	サンプリング周波数	303kHz		
	伝送速度	9,600bps以下		
	点数	14ch		
ダウンリンク 信号	光伝送方式	2心アクティブ, 2波長多重(1.3 μ m, 1.55 μ m) (ダウンリンクでは, このうち1心のみ, 1.55 μ mを使用)		
	デジタル信号系 (その1: 地震計対応)	変調方式	P/S, PCM, S/P変換	
		サンプリング周波数	303kHz	
		伝送速度	9,600bps以下	
		点数	1ch	
	デジタル信号系 (その2)	入力レベル	TTLレベル, 負論理 (前面パネルまたは背面端子より入力)	
		出力レベル	オープンコレクタ	
		変調方式	P/S, PCM, S/P変換	
		サンプリング周波数	303kHz	
		伝送速度	9,600bps以下	
点数		15ch (内1chは水中装置でTV切替えに使用)		

ケーブルが海底に落下した後に停止した。水中部の機器には落下により異常はなかったが、先端部のケーブルがキックしてしまったため、設置作業は失敗に終わった。

これを教訓として、十分なスリップ防止対策を行うとともに、水中測位精度と操船性能を高めるため、観測船「かいよう」の使用も検討した。最終的には、台船に器

材を搭載し、これをタグボートで操船する方法を採用した。

1993年9月、第2回目の設置作業を行った。ケーブルの繰り出しには、6,000m級ディープ・トウ用のトラクションウィンチを改造して使用した。ステーションの水中測位は「かいよう」で行い、30秒ごとにトランシーバで台船に連絡し、手書きで位置をプロットした。また、台船の船位はGPSで測定したが、洋上に目標がないと操船しにくいので、「かいよう」を設置予定点の0.2海里(400m弱)東で定点保持させた。以上の位置情報をもとに、3,000t級の台船を5隻のタグボートで目標地点に誘導した。これは、かなり困難な作業であったが、熟練の作業指揮者によって目標地点の30m以内に着底させ、敷設作業に移った。ステーション水中部は、ビデオカメラでシロウリガイ群集が観察できる位置に設置された。

ケーブル敷設作業は、通常海底ケーブルと同様に、海底の傾斜と船速に合わせてケーブルスラックを1~3%の範囲で調整した。敷設全長が8 km程度しかなかったため、早朝から作業を開始して、夕方までにはケーブルの陸揚げが完了した。翌日、浅海部の防護管取

付や陸上部のケーブル埋設を行い、初島の陸上局とケーブルを接続し、第1段階の作業を終えた。図3に、初島沖のケーブルルートを示す。最終的な設置地点は、 $34^{\circ}59.97'N$, $139^{\circ}13.69'E$ (GPS, Tokyo Datum), 水深1,177mとなった。

4. ステーションの移設と地震計等の海底設置

以上に述べた敷設作業によって、基本的な観測が可能になった。地震計、ハイドロフォン、地中温度計は、海底にじかに設置する必要がある。また、第1段階では、ステーション本体を目標地点に設置できるとは限らないため、これを最適の場所に移設することを当初から計画していた。これらの作業は、「しんかい2000」を用いて行う予定であった。1993年11月初旬、これに先立って「ドルフィン3K」で設置状況の偵察を行った。その結果、ステーション水中部は10~15度の傾斜地に着底しており、潜水船が近くに着底して作業しにくいこと、ケーブル先端部に取り付けたプラスチックブイが海底から浮き上がっていることなどから、「しんかい2000」よりも「ドルフィン3K」の方が作業しやすいことが分かった。

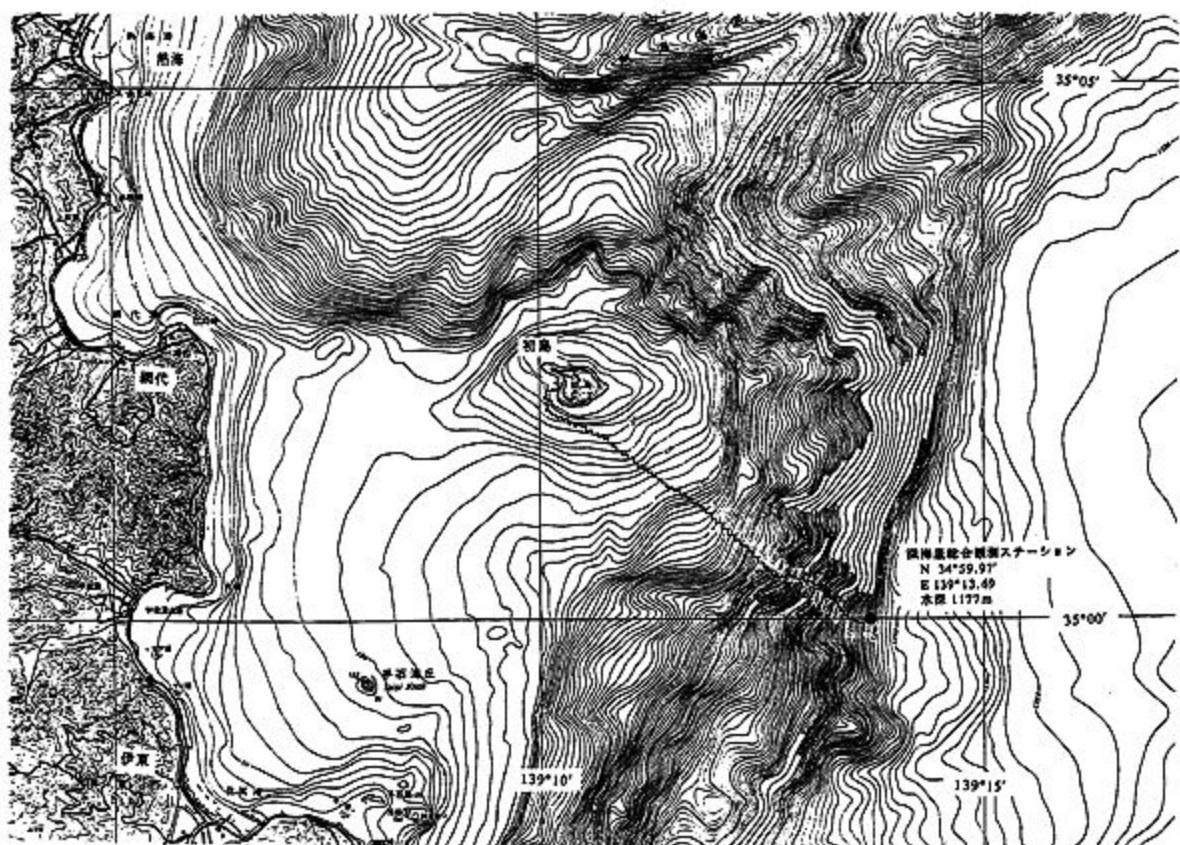


図3 初島沖深海底総合観測ステーション位置及びケーブルルート

Fig. 3 Location map and cable route of the observatory in Sagami Bay.

第1段階の設置作業によって、すでにシロウリガイを観察していたが、ステーションをあと数m移動すると、密集したコロニーの中に置くことができるので、本体も移設することにした。そこで、「3K」によって、ステーションの移設、機器の海底設置、プラスチックブイの撤去などを行った。これらは、複雑かつ高度な海底作業であったが、見事に成し遂げられた。

以上の一連の作業の結果、ステーションはシロウリガイの密集域に再設置され、1993年11月中旬から本格観測に着手した。また、1994年3月からは、電話回線を通じて横須賀に観測データが送られるようになった。

5. ステーションによる観測

ステーション水中部の2台のカラービデオカメラのうち、1台はズームと首振り機構を持っている。写真3は、ステーションから眺めた北東～南西方向の海底の全景である。ステーションが、密度の高いシロウリガイ群集内に設置されていることが分かる。これまでの観察の結果、カメラ視野内のシロウリガイ個体数が、時間とともにかなり変化することが分かった。これが、何によるかはまだ明らかではないが、地中温度の変化が要因の1つではないかと考えられる。

2台の地中温度計のうち、1台はシロウリガイの群集内に、他の1台は群集外に設置してある。図4に両者の地温変化の例を示す。地温計には、熱流量測定のために3つのサーミスタが上、中、下3か所に取り付けられている。CTDによる海底直上の水温は約3°Cであるが、地中の温度は海底下30cmで最大2.5°C水温よりも高い。さらに、群集内の地温は群集外よりも約0.6°C高いことが分かった。これは、シロウリガイが地温の高い場所に住み分けていることを示している。恐らく、地中温度は海底からの湧水量に比例していると思われる。

海底直上の流速は2.5~20cm/sの範囲で、流向は西向きが卓越し、潮汐の周期で変動している。この西向きの流向は、相模トラフ底からの湧昇流を示している。1994年の3月から4月にかけて、懸濁物が増加し視界が非常に低下した時期があった。これに伴って、シロウリガイの数にかなりの変動が見られた。

周辺の地震活動であるが、観測開始以来、伊豆半島東方沖で群発地震が起きていないこともあって、相模湾内で発生したと思われる地震は数が少ない。今後、陸上の観測データとの比較を行うとともに、他機関の観測網とリンクさせる予定である。

生物は、シロウリガイ、巻き貝やゲンゲのような定住

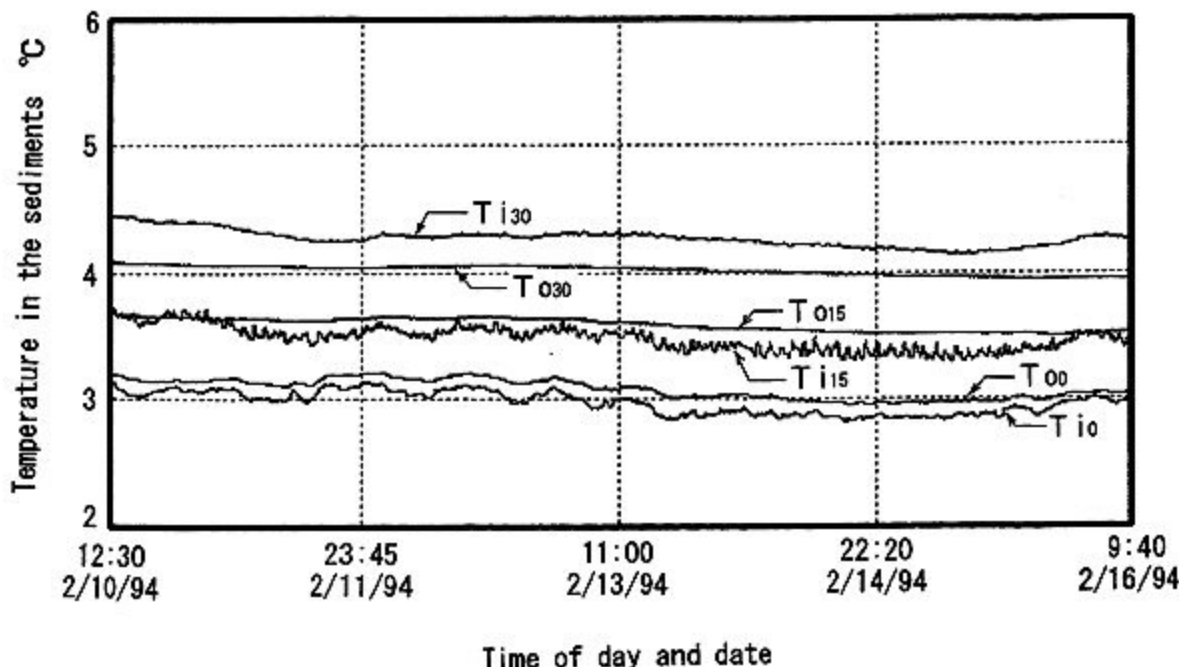


図4 地中温度計によるシロウリガイコロニー内外の海底下の温度変化

Fig. 4 Temperature profile beneath the sea floor within and outside the clam colony. T_i : temperature within clam colony, T_o : temperature out of the clam colony, T_{30} , T_{15} and T_0 : temperature at 30cm, 15cm and just below the sea floor, respectively.

生物, ソコログラやアナゴのような回遊生物, ウミグモやクラゲなどのような浮遊生物に分けられる。変わったものとして, カレイやタコなどが観察された(写真4)。

6. おわりに

1994年6月末現在で, 観測開始から10か月目に入った。今のところ水中機器の作動は順調で, かなりの観測データが蓄積されつつある。今後, 2~3年の観測を続け, その後水中部を回収し, 機器の整備と機能向上を行ったうえ, 再び同一地点に設置して観測を続ける予定である。

深海底でリアルタイムの長期連続観測を行うのはこれが初めての試みで, 何が出てくるかわからないという期待と不安がある。本ステーションは, 視覚情報を含む, 複数のセンサーを用いた観測を行うことに最大の特徴を持っている。

終わりに, 本ステーションに深い理解とご協力をいただいている, 初島区長坂下優美氏, システムの開発に尽力したナノテックの照屋貴司氏, ステーションの困難な設置作業を克服した深田サルベージ建設の関係者の皆様

に深く感謝します。

参考文献

- 太田 秀ほか(1987):相模湾初島沖における「シロウリガイ群集」総合調査報告(1)。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 51-60.
- Momma, H., K. Mitsuzawa, T. Matsumoto and H. Hotta (1992): Long-Term Sea Floor Observation in JAMSTEC, Proc. IEEE/OCEANS '92, Vol. 2, 697-700.
- Momma, H., K. Mitsuzawa, Y. Kaiho and H. Hotta (1993): "Hatsushima"—Real Time Long-term Deep Sea Floor Observatory, Proc. IEEE/OCEANS '93, Vol. 3, 473-477.
- Momma H., K. Ohtsuka and H. Hotta (1988): JAMSTEC/Deep Tow System, Proc. IEEE/OCEANS '88, Vol. 4, 1253-1258.

(原稿受理:1994年6月30日)

(注)写真は次ページ以降に掲載



写真 1 着水直前の水中観測装置全景
 Photo 1 Underwater observation unit is over the side and ready to launch.



写真 2 初島陸上局の観測機器
 Photo 2 Land unit at Hatsushima Island.

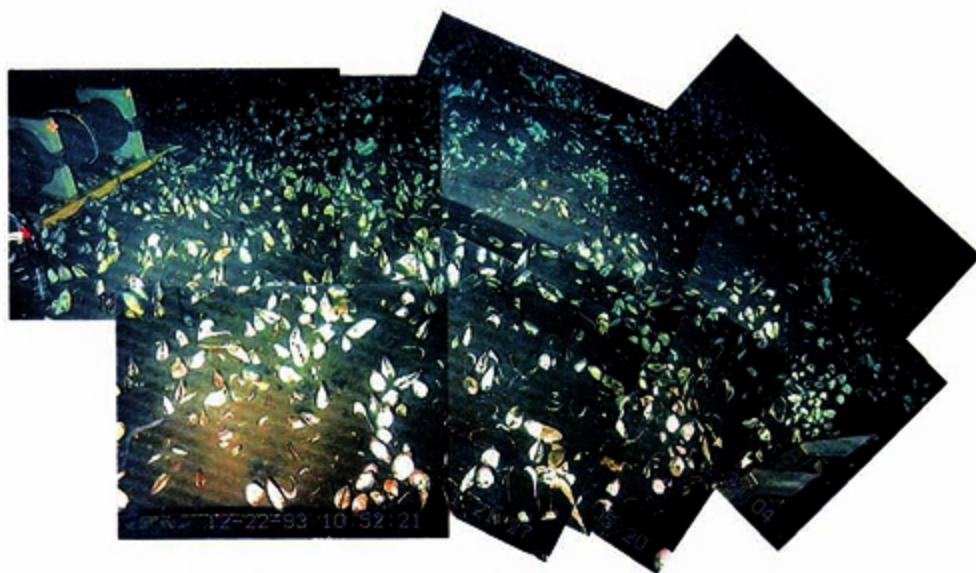


写真 3 ステーションから観察した海底の全景
 Photo 3 Panoramic view from the observatory.
 This is a mosaic of video prints.



写真 4 ステーションで観察された深海生物：深海のタコ
 Photo 4 Deep sea octopus. This is one of the deep sea animals observed from the observatory.