

相模湾初島沖深海底総合観測ステーションの更新 - 次世代リアルタイム観測の確立に向けて -

岩瀬 良一*¹ 満澤 巨彦*¹ 平田 賢治*¹ 海宝 由佳*¹
川口 勝義*¹ 藤江 剛*¹ 三ヶ田 均*¹

水中着脱コネクタを搭載し拡張性を持たせるとともに、本格機として信頼性を向上させることを目的として、1993年9月に初島南東約7 km沖の水深1170mの海底に設置された相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」を2000年3月に回収し、新システムを製作・設置した。

新システムでの観測により、湧水環境の違いを反映していると考えられる地中温度変化の旧システムとの相違や、ADCPなど新規搭載センサのデータと透過度、地動ノイズ間の相関などについて新たな知見が得られつつある。また、無人探査機「ハイパードルフィン」による着脱試験を通じ、水中着脱コネクタの特性試験を行った。

今後、観測によりデータを確認しつつ、ステーション本体の揚収を含む機器調整や地震計埋設等の整備の後、本格観測による伊豆半島東方沖の海底変動を解明すると共に、水中着脱コネクタを搭載した拡張性と、観測対象としてのこの地域の地殻変動の活発さを利用し、「次世代型」観測システム開発のための各種実験を行うテストサイトとして、今後初島沖ステーションを活用していく計画である。

キーワード：相模湾初島沖、冷湧水、深海底長期観測、水中着脱コネクタ、伊豆半島東方沖

Renewal of "Real-time Deep Seafloor Observatory off Hatsushima Island in Sagami Bay" - Toward the development of "next-generation" real-time deep seafloor observatory -

Ryoichi IWASE*² Kyohiko MITSUZAWA*² Kenji HIRATA*² Yuka KAIHO*²
Katsuyoshi KAWAGUCHI*² Gou FUJIE*² Hitoshi MIKADA*²

For the purpose of adding extensibility by mounting underwater mateable connectors and of improving the reliability of fundamental equipments, "Real-time Deep Seafloor Observatory off Hatsushima Island in Sagami Bay", which had been deployed on the seafloor southeast off Hatsushima Island at a depth of 1170m in September, 1993, was recovered and new observatory was produced and was installed in March, 2000.

By the new system, new phenomena are being obtained, such as a different tendency of subbottom temperature variation from that of the old system that seems to reflect the difference of cold seepage environment, relations among data of ADCP, transmissometer, which are newly equipped sensors, and ground motion noises, etc.. An optical loss change of the underwater mateable optical connectors was measured through connecting/disconnecting test by ROV "Hyper-Dolphin".

In the future, the Off Hatsushima Island Observatory will be utilized as a test site for the development of "next-generation" observatories, along with the continuous observation for revealing further phenomena occurring on the deep seafloor, after adjusting the observatory equipments.

Keywords : Off Hatsushima Island in Sagami Bay, Cold seepage, long term deep seafloor observation, underwater mateable connector, east off Izu Peninsula

* 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

1. はじめに

相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」は、1993年9月に初島南東約7 km沖の水深1175mの海底に設置された(門馬ほか(1994), Momma, et al.(1998))。このステーションは、伊豆半島東方沖の群発地震域に隣接し、シロウリガイを中心とした国内で最大規模の化学合成生物群集が存在する冷湧水域において、深海環境変動現象を多面的にリアルタイムで連続観測することを目的として開発されたものであり、ビデオカメラ、地震計、CTD、地中温度計、流向流速計などの多種類のセンサによる観測データを光ファイバ海底ケーブルによりリアルタイムで陸上局まで伝送するシステムである。当時、このようなシステムによる観測は他に例がなく、また搭載した観測機器も、大半がそれまでの海洋調査で一般的に使用していたものであり、特に高信頼度品を選択したのではなく、システムの耐用年数として3年程度を想定していたが、実際には1993年の設置以来、途中一部機器からのデータ断等の障害が発生したものの、1999年7月21日まで5年以上に渡る連続観測を実現し、群発地震時の泥流(岩瀬ほか(1998))を初めとする様々な海底変動現象を捉えた。その後、この初島沖ステーション開発で得た知見を元に高知県室戸岬沖及び北海道釧路・十勝沖海底地震総合観測ステーションの先端観測ステーション(Momma, et al.(2000)), VENUS沖縄沖観測点(Kasahara, et al.(2000))のマルチセンサ深海底環境変動観測装置(岩瀬ほか(2000))が開発・設置され、深海底環境の多面的観測が実施された。

一方、水中着脱コネクタを用いた深海底での機器接続技術の進展により、VENUS沖縄沖観測点に代表されるような、データ伝送を行う観測システム本体を海底に設置した後に、センサを海底で接続、取り外しできる拡張性を備えたケーブル型観測システムが開発され始めた。こうした観測方式をさらに進めれば、従来は設置時に搭載したセンサによる固定観測点でしかなかったケーブル型観測システムを、新たに開発されたセンサを必要となときに接続できる拡張性や機動性を持った「次世代型」の観測システムにすることが可能となる。相模湾内という地理的な近さと、観測対象としての地殻変動の活発さから、こうした「次世代型」観測システム開発のための実験を行うテストサイトとして、初島沖ステーションが着目された。

以上のような背景のもと、初島沖ステーションは、2000年3月にそれまでの旧システムを回収し、本格機として信頼性を向上させ、また水中着脱コネクタを搭載し拡張性を持たせた新システムを製作、設置した。本論文では旧システム回収、新システム設置工事並びに新システムの概要について述べる。

2. 旧システムの回収

旧システムは、1993年9月に設置され、引き続いて同年11月、無人探査機「ドルフィン3K」によりステーション本体のシロウリガイ群生域内への移設及びフレームに搭載されていた地震計及び地中温度計の海底面への設置が行われ、本

格観測を開始した。1994年10月、2台のビデオカメラのうち、首振り装置つきの3CCDビデオカメラが、首振り装置取り付け金具の腐食によりフレームから脱落した。1997年10月、地中温度計からのデータが途絶した。1999年1月より、脱落したビデオカメラからの映像が途絶した。1999年7月23日には高圧給電系の絶縁が低下し、システム全体への給電が不能となり、観測を中断するに至った。

海底ケーブルを含む旧システム水中部の回収は、観測中断から約8ヶ月後の2000年3月、新システム設置前に実施した。まず3月14日、新日本海事(株)の無人探査機「はくよう2000」により、海底に展開してあった地震計をワイヤーとシャックルでステーション本体のフレームに取り付けた。翌15日、作業船により初島側浅海部より海底ケーブルを船上に揚収していき、最後にケーブル先端のステーション本体を揚収した。

首振り装置の脱落はあったものの、全体としては、ステーションの外観に大きな腐食は見られなかった(図1)。耐圧容器やフレームの材質は、チタン、アルミ、ステンレス等、異種金属を併用しているが、シリコン塗料を塗るなどの腐食対策がある程度奏功したと思われる。旧システムで発生した障害のうち、観測を中断するに至った高圧給電系の絶縁劣化については、ケーブルへの浸水もしくはステーション本体に搭載された変圧用トランスを封入した油漬け均圧容器への浸水が原因として推定されていたが、トランスへの浸水は認められず、また絶縁も保たれていたことから、ケーブルへの浸水と判断された。しかしながら、ケーブルの具体的な浸水箇所については特定されていない。

観測期間中にデータが途絶した地中温度計及びビデオカメラについては、それぞれのコネクタの電源及び信号ラインの正極側のピンに腐食が見られ、特に電源ピンは激しく腐食していた。地中温度計については約4年、ビデオカメラについては約5年の間にコネクタの接合面に海水が浸入し、絶縁が劣化して電源が入らなくなったと考えられる。



図1 回収された旧ステーション本体(2000年3月15日)

Fig. 1 Recovered old observatory (March 15, 2000)

3. 新システムの概要

耐用年数を過ぎ、老朽化の進む旧システムの更新及び「次世代型」観測システム開発に向けた実験が可能な拡張性のあるシステムを目指し、1998年後半より新システムの検討を開始し、2000年3月に設置した。

新システム及び旧システムの主な仕様対照表を表1に示す。

新システムでは従来の観測項目に加え、透過度計、ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler),津波計(精密水圧計)及びガンマ線センサを追加し、従来以上の観測の多面化を図った。透過度計は、従来ビデオカメラで観察されていた濁りを定量化し、また水中ライトの寿命やビデオ記録

の制約から間欠的な観察にとどまっていたものを連続的に観測することを目的としている。ADCPは従来一点観測であった流向流速計測について、ステーションの約500m上方までの流向流速分布を把握することを目的としている。津波計は水晶発振器を用いた高精度の水圧計である。水晶発振器は圧力だけでなく温度の影響も受けるので、温度計測用の水晶発振器による温度補正がなされるタイプのものであるが、シリコンオイルにより周囲を覆って水温変化の影響をさらに軽減している。ガンマ線センサはNaI(Tl)シンチレータを使用した256chのマルチチャンネルアナライザであり、数年前よりROV「ドルフィン3K」などへの搭載用に開発

機器名	新システム	旧システム
地震計	サーボ型速度計3成分1式 A/D 24bit 200Hz	サーボ型速度計3成分1式 A/D 16bit 100Hz
ハイドロホン	ITC-1010A	同左
TVカメラ	SuperHARP方式 1台 (OVS-SKH-506A) 3CCD方式 1台 (OVS-152)	CCD方式 1台 3CCD方式 1台
CTD	SeaBird SBE-9/17plus 透過度計 (ALPHA TRACKA2) 付き	SeaBird SBE-911plus
地中温度計	サーミスタ方式 4chプローブ2本	サーミスタ方式 3chプローブ2本
流向流速計	超音波型流向流速計 (ADVOcean)	電磁流向流速計
津波計	感圧水晶型 (Paroscientific 8B2000-I)	-
ADCP	RDI BB-DR-150	-
ガンマ線センサ	NaI (T) シンチレータ	-
水中ライト	250W 6灯	同左
伝送部	光伝送方式 アップリンク：5芯 ダウンリンク：2芯 直流給電方式	光伝送方式 (アップリンク・ダウンリンク を波長多重により2芯共有) 交流給電方式
水中着脱光コネクタ	4式 Ocean Design 8ピンコネクタ (各1芯のみアクティブ, 海底ケーブルに接続)	-
水中着脱電気コネクタ	Ocean Design 8ピンコネクタ：4式 内、RS-232C, 15V・1A給電：3式 RS-422, 15V・2.4A給電：1式 Ocean Design 4ピンコネクタ：1式 (2芯のみアクティブ, 海底ケーブルに接続)	-
光・電気複合ケーブル	電気4芯 内、給電用：2芯 水中着脱コネクタ接続：2芯 光12芯 (11芯アクティブ) 外径41.0mm 全ケーブル長 約8km	電気2芯 光4芯 (2芯アクティブ) 外径26.6mm 全ケーブル長 同左

表1 新旧システムの主な仕様

Table 1 Specifications of new and old system

され海底での計測が開始されたが(加賀谷ほか(2000)), 深海底で長期連続計測された例はなく,湧水に含まれる放射性物質の量変化と地殻変動との間の相関を捉えることが目的である。また,地震計について従来の16bit/100Hzサンプリングを24bit/200Hzとし,ビデオカメラのうち1台をSuperHARP方式の超高感度カメラ(内田ほか(1993))とするなど,従来の観測項目についても性能の向上を図った。また,耐圧容器及びフレームについてはチタン材を使用し,耐腐食性能を向上した。

また,拡張性に関しては,「次世代型」観測システムの要である水中着脱コネクタ(電気コネクタ5式,光コネクタ4式)を搭載している。水中着脱電気コネクタ5式のうち,4式はシリアルインタフェースを有した8ピンコネクタであり,その内訳は,RS232Cインタフェースが3式,RS422インタフェースが1式となっている。いずれも伝送速度は19.2kbpsであり,15Vの直流給電が可能である。このインタフェースに適合するセンサを海底で接続することにより,リアルタイムのデータ取得が可能である。水中着脱電気コネクタの残りの1式は4ピンコネクタであり,このうちの2ピンを初島陸上局とを結ぶ光電気複合ケーブルの電気ラインに接続しており,実験用に将来海底に設置する機器への給電路などとしての利用が可能となっている。

水中着脱光コネクタ4式は全て8ピンコネクタであるが,このうちの各1ピンを光電気複合ケーブルの光ラインに接続している。これらは海底設置機器への光伝送路として利用できるほか,光ファイバ地震計など,光ファイバを利用した観測機器の開発にも活用する計画である。現在は4式の水中着脱光コネクタうちの2式を使用して折り返し用のケーブル付きコネクタを接続しており,初島陸上局からコネクタ接続部の減衰が計測できるようにしている。OTDR(Optical time domain reflectometer)により計測した結果ではコネクタ1個あたりの減衰量は約1dB以下であり,陸上で一般に使われ

ているコネクタに劣らない性能を有していると考えられる。水中着脱光コネクタは,国内では実海域において実際に観測に使用した実績がないため,当面は本ステーションにより深海底における長期特性とROVによる着脱試験を通じて性能の検証を行う予定である。新システム設置から8か月後の2000年11月に無人探査機「ハイバードルフィン」により着脱試験を行った結果では,着脱による減衰量の増加は認められなかった。

4. 新システムによる観測

新システムの設置は2000年3月18, 19日に行われた。設置方法は旧システム設置時と同様,作業船によりステーション本体を設置した後(図2),無人探査機「はくよう2000」により地中温度計プローブ,地震計,ハイドロフォンそしてガンマ線センサを周囲に展開した。設置地点は旧システムより40m程度北の水深1170mのシロウリガイ群集域の縁である(図3,図4)。

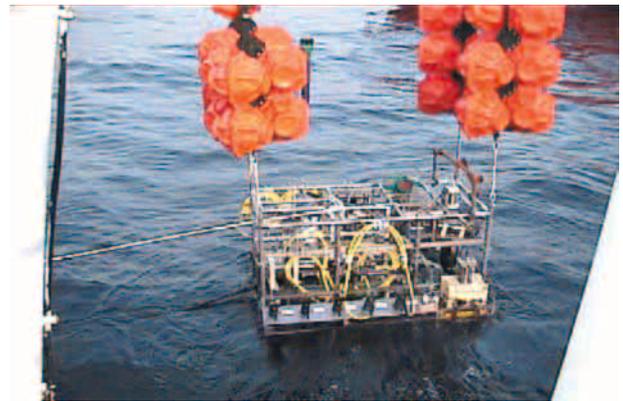


図2 設置中の新ステーション(2000年3月18日)
Fig. 2 New observatory under installation (March 18, 2000)

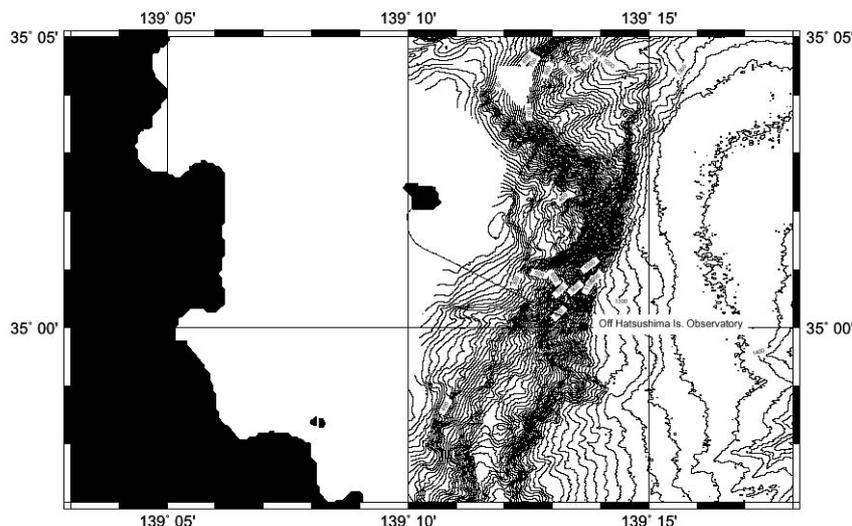


図3 初島沖ステーションの位置とケーブルルート
Fig. 3 Location of the observatory and cable route

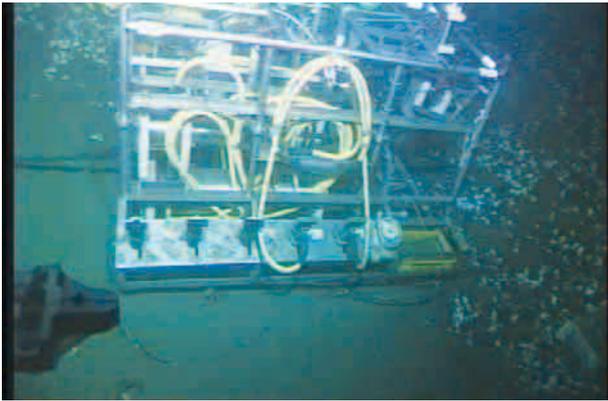


図4 海底の新ステーション
 (2000年11月19日、「ハイパードルフィン」により撮影)
 Fig. 4 New observatory on the seafloor
 (November 19, 2000, Photo taken by ROV "Hyper-Dolphin")

設置後、陸上とのケーブル接続を経て、2000年3月末より観測を開始した。旧システムとの差異や新システムで新たに追加されたセンサを中心に、これまでに得られた観測結果の概要を示す。

地中温度に関しては、旧システムと同様に2本のプローブをシロウリガイのコロニーの内外に分けて設置したが、旧システムでは、設置直後はコロニー内の温度勾配の方がコロニー外に比べて高かったのに対し、新システムでは大きな差が見られない。また新システムでは、水温変化に支配された温度変化以外には顕著な変化が見られないが、旧システムでは水温変化の他、湧水の影響を受けていると考えられる地中温度変化が観測されていた。これらの相違は、旧システムから40mほど北に離れた新システム設置点のコロニーでは、湧水がそれほど活発でないなど、湧水環境が異なることを示していると考えられる。

ADCPは、ステーションの真上12mから490mまでの間の高度の水柱について、8m間隔で60層分の3成分流速分布を計測間隔1分で計測している。図5に2000年6月1日から6月4日までの記録例を示す。上から順にそれぞれ東西、南北、上下成分の流速分布であり、横軸は時刻、縦軸は海底面からの高度である。東西、南北成分とも全体的に半日周変化が見られるが、同一時刻においては、最下層と最上層で、東西、南北成分とも、流れの向きが逆になっている。また全体的には流れの変化が上層から下層に伝搬する傾向が見られる。こうした現象が、ステーションの西側に急崖があるという地形的特徴による局地的な現象かどうか、相模湾内の物質循環などを考える上でも興味深い。これを明らかにするためには、係留系の展開などによる広域観測が必要である。

新システムに搭載した流向流速計は、旧システムの電磁型から超音波型に変更した。主な理由は、電磁型の場合周囲の電磁場環境が計測データに影響を与える可能性があり、特に本ステーションのように多くのセンサを一つのフレームに搭載したマルチセンサ型観測システムではその傾

向が顕著なためである(岩瀬ほか(1998))。ADCPとの相違は、ADCPの計測対象が最下層でも海底面より12m上方であるのに対し、海底直上を計測対象とすること、及び計測間隔がADCPよりも短い(5秒)ことである。ところが、新システムの流向流速計は、残念ながら設置直後に故障し、データが取得できない状態となっている。ADCPの最下層と海底直上の底層流との相関を調べるため、海底設置型の自己記録型電磁流向流速計を、2000年11月18日「ハイパードルフィン」第36潜航によりステーション近くに設置し、同年12月2日に「しんかい2000」第1244潜航により回収した。設置した海底面が不安定であったため、設置翌日に流向流速計が東方向に傾斜してしまい、必ずしも定量的に正確な比較ができたというわけではないが、ADCPの最下層と海底直上の流れはほぼ同様の傾向であることを確認した。

図6に、図5と同じ期間におけるハイドロフォン、地震波形、ADCP最下層(海底面より12m上方)の流向流速、透過度、津波計による水圧及びCTDで計測された水温変化の記録の例を示す。サンプリング間隔は、ハイドロフォンと地震計は200Hz、ADCPは1分、透過度は5秒、津波計は10秒であり、水温は5秒間隔でサンプリングしたデータに対して1分間の移動平均をとっている。

地震計は円筒形の耐圧容器に封入され、海底面上に円筒軸(長手方向)が東西向きに設置されており、海底直上の底層流の影響を受けやすいことが想像される。図6でも流速の増大と共に特に地震計の南北成分の振幅が増大していることがわかる。南北成分の振幅が他の成分に比べて大きいのは、船舶のローリングに相当し、耐圧容器の構造上、海水に対する断面積が大きく、また流向が南寄り(南南西方向)に卓越していることが要因と考えられる。

一方、ハイドロフォンの振幅の増減は、必ずしも地震計のように海底直上の流速の増大とは対応しておらず、信号の発生源が海底面近く以外にあることが推測される。今後周波数解析やADCPの他の高度の記録と対比するなど、今後詳細に解析する予定である。

また、この期間はビデオで比較的顕著な濁りが確認されている。図7にこの期間中の濁りの少ない時刻(2000年6月3日12:06)と濁りの多い時刻(2000年6月3日22:57)にステーションのSuperHARPカメラにより撮影された画像を示す。図3では流速の増加と透過度の減少、すなわち濁りの増加が良く対応していることがわかる。このことから、この濁りは海底直上の流速の増大により海底面上の堆積物が巻き上げられたことにより発生したものと推定される。なお、透過度計やビデオカメラは浮遊物や巻貝などの生物の付着により計測値や視界に影響を受けることがあり、透過度の計測値はこれを考慮する必要がある。また、ADCPや流速計にカニが長時間に渡って居座ることがあり、流速計測の障害となっている。

深海底におけるガンマ線センサによる長期連続観測は、世界的にも新システムにより初めて行われた計測であるが、設置以来現在までデータにほとんど変動が見られない。1999年以降、伊豆半島東方沖では地震活動が比較的静穏

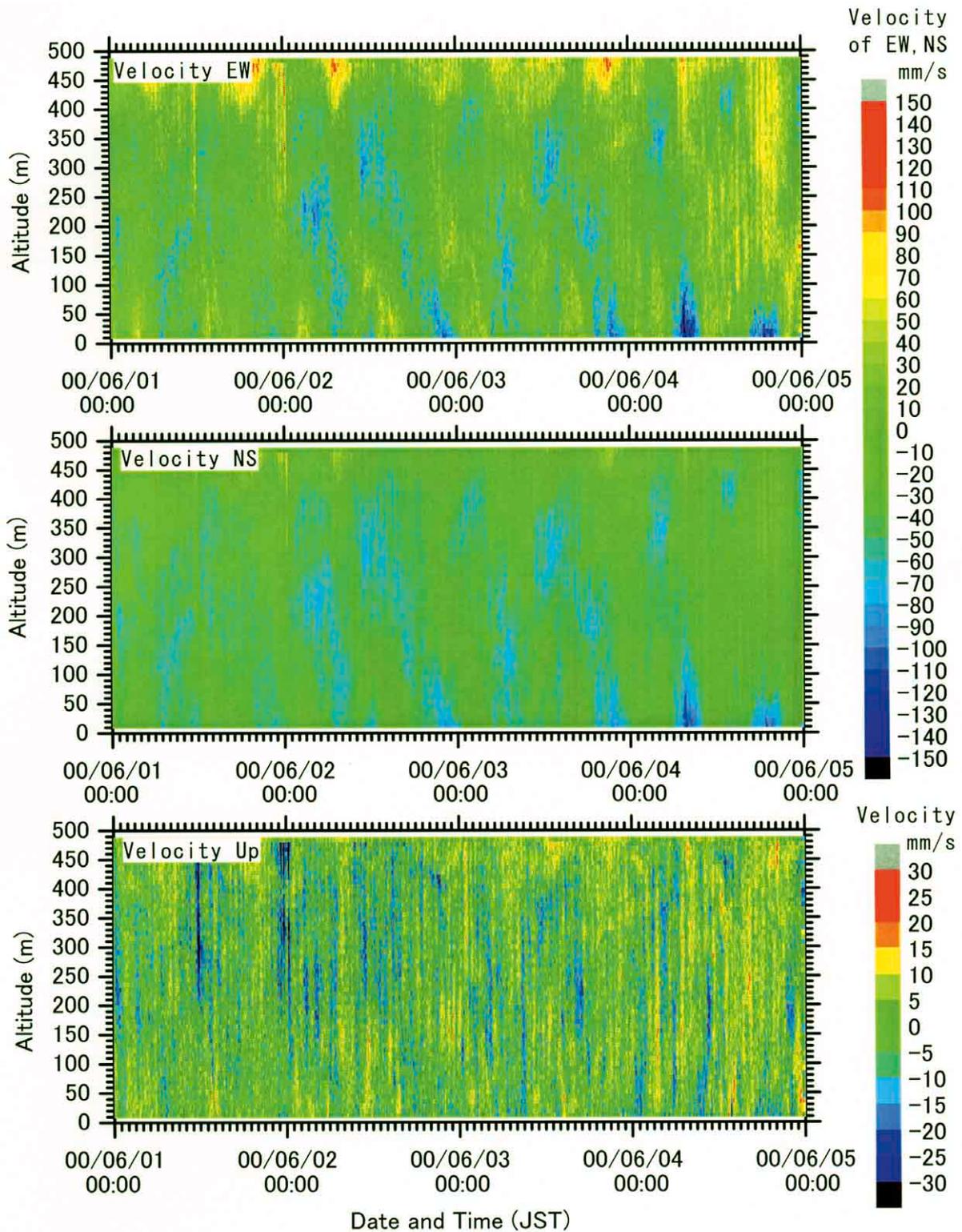


図5 ADCPによる記録例(2000年6月1日-6月4日)
 上:東西流速成分(東:+,西:-)
 中:南北流速成分(北:+,南:-)
 下:鉛直流速成分(上:+,下:-)

Fig. 5 An example of ADCP profiles (June 1-4, 2000)
 Top : East-west component (East:+, West:-)
 Middle : North-south component (North:+, South:-)
 Bottom : Vertical component (Up:+, Down:-)

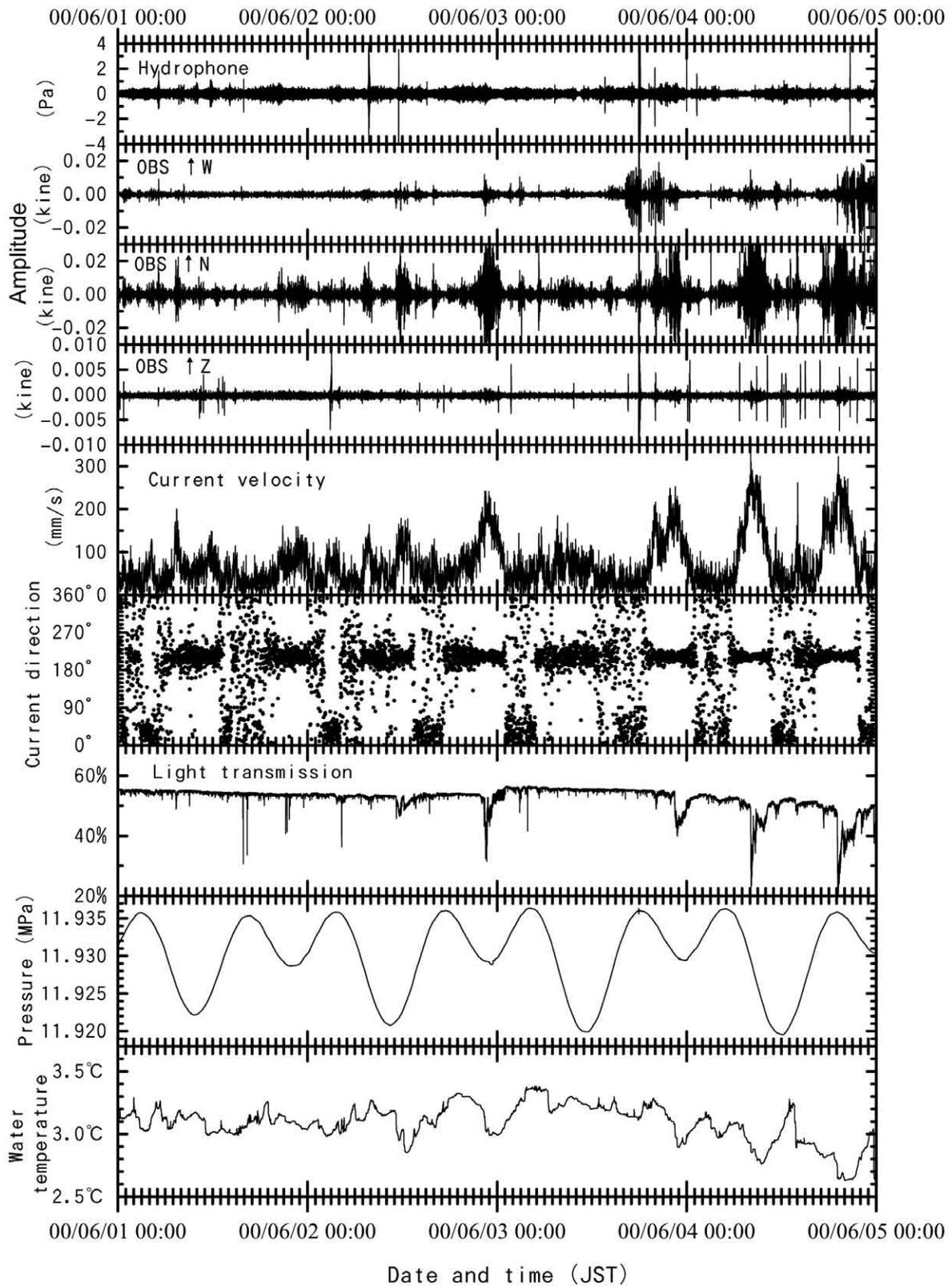


図6 ハイドロフォン,地震計,ADCP最下層,透過度計,津波計,CTD水温計の記録例(2000年6月1日-6月4日)

(上から,ハイドロフォン,地震計東西成分,同南北成分,同上下動成分,ADCP最下層(高度12m)の流速,同流向,透過度,水圧,水温)

Fig. 6 Profiles of hydrophone, seismometer, ADCP (the lowest layer, 12m beyond the seafloor), transmissometer, CTD thermometer (June 1-4, 2000)

(From top, hydrophone, E-W component of OBS, N-S component of OBS, vertical component of OBS, current velocity, current direction, light transmission, pressure, water temperature)

であるため、今後群発地震活動が活発化した時の変動に注目している。

5. まとめと今後の予定

新システムにより、地中温度変化の旧システムとの相違や、ADCPなど新規搭載センサのデータと透過度、地動ノイズなどとの各計測データ間の相関について新たな知見が得られつつある。しかしながら、新システムには流向流速計の故障などまだいくつか動作上の問題点があり、観測によりデータを確認しつつ、ステーション本体の揚収を含む機器調整を今後予定している。そのときには現在埋設されていない地震計を埋設し、海底面とのカップリングを向上することも予定している。

これらの調整の後、本格観測による伊豆半島東方沖の海底変動を解明すると共に、水中着脱コネクタを搭載した拡張性と、観測対象としてのこの地域の地殻変動の活発さを利用し、「次世代型」観測システム開発のための実験を行うテストサイトとして、今後初島沖ステーションを活用していく計画である。

謝 辞

初島沖ステーションの観測に当たっては、長年に渡り山本新一組合長はじめ初島漁業協同組合、伊豆東岸関係漁協、リゾートトラスト(株)初島クラブ並びに熱海市のご理解とご協力を頂いた。新システムの製作、設置にあたっては、下田睦海氏をはじめとする沖電気工業(株)、新日本海事(株)の関係各位、篠原直道氏ほか初島ダイビングセンター各位にお世話になった。また設置後の観測や実験には、依田司令はじめ「しんかい2000」運航チーム、柴田運航長は

じめ「ハイパードルフィン」運航チーム並びに「なつしま」、「かいよう」乗組員の方々(株)マリン・ワーク・ジャパン(株)ワイエスアイ・ナノテック各位のお世話になった。ここに記して御礼申し上げます。

引用文献

- 岩瀬良一, 満澤巨彦, 門馬大和, “1998年4月伊豆半島東方沖群発地震に伴う泥流の発生 - 相模湾初島沖「深海底総合観測ステーション」による観測 - ”, JAMSTEC 深海研究, 14, 301-317(1998)
- 加賀谷一茶, 木下正高, 服部陸夫, 岡野真治, “海洋線測定システム用船上表示装置の開発と試験”, JAMSTEC 深海研究, 16, 133-140(2000)
- J.Kasahara, Y.Shirasaki, and H.Momma, "Multi-disciplinary measurements on the ocean floor using decommissioned submarine cables: VENUS project", IEEE Journal of Ocean Engineering, 25, 111-210(2000)
- H.Momma, R.Iwase, K.Mitsuzawa, Y.Kaiho and Y.Fujiwara, "Preliminary results of a three-year continuous observation by a deep seafloor observatory in Sagami Bay, central Japan", Physics of the Earth and Planetary Interiors, 108, 263-274(1998)
- H.Momma, "Deep Ocean Technology at JAMSTEC", MTS Journal, 33-4, 49-63(2000)
- 内田徹夫, 大塚清, 青木太郎, 谷岡健吉, “超高感度・高解像度水中カラーTVカメラ(DEEP SEA SUPER HARP TV CAMERA)の開発”, 海洋科学技術センター試験研究報告, 29, 113-124(1993)

(原稿受理: 2001年2月19日)