

マルチセンサによる深海底観測 —VENUS沖縄沖観測点—

岩瀬 良一*¹ 川口 勝義*¹ 満澤 巨彦*¹

科学技術振興調整費による「海底ケーブルを用いた地震等多目的地球環境モニターネットワークの開発に関する研究 (VENUS計画)」の一環として、深海底で発生する環境変動現象を多面的かつ定量的に把握することを目的として開発した「マルチセンサ深海底環境変動観測装置」を、1999年9月から10月にかけて沖縄南東沖の南西諸島海溝域水深2,150mの海底に「かいよう」/ディープ・トウカメラにより設置し、「かいいい」/「かいこう」により沖縄—グアム間旧海底同軸通信ケーブルTPC-2に取り付けられた分岐装置に接続した。9月30日から約1ヶ月半にわたってリアルタイム連続観測を行い、底層流や水温の日周/半日周変化、海底の画像、水温変化が支配的な地中温度変化とそれに基づく地中温度勾配等が得られた。今後同時に設置された他の観測装置のデータと比較検討することで、深海底の現象を詳細かつ多面的に把握することが期待される。

キーワード：VENUS計画, 南西諸島海溝, TPC-2, 深海底長期観測, マルチセンサ

Deep seafloor observation by multi-sensor equipment - VENUS off Okinawa Island observatory -

Ryoichi IWASE*² Katsuyoshi KAWAGUCHI*² Kyohiko MITSUZAWA*²

A multi-sensor deep sea floor observation equipment was developed for VENUS (Versatile Ecomonitoring Network by Undersea cable System) project to observe deepsea geophysical phenomena by multidisciplinary measurements. The project was supported by the special coordination funds for promoting science and technology of Science and Technology Agency. In September and October 1999, the equipment was deployed by R/V “Kaiyo” and deep-tow camera system at a depth of 2,150m off Okinawa Island on the landward slope of Nansei Shoto Trench and was connected by R/V “Kairei” and ROV “Kaiko” to the branch unit which had been attached to TPC-2, a retired submarine co-axial telecommunication cable between Okinawa and Guam Islands. By the real time observation carried out for one and half months, diurnal and semi-diurnal changes of deepsea current and water temperature and subbottom temperature change which was affected by the water temperature change were observed, subbottom temperature gradient was estimated and digital still images of seafloor were obtained. More detailed and multidisciplinary research of deepsea phenomena will be made by analyzing data including those of other observation equipments which were deployed at the same time.

Key words : VENUS project, Nansei Shoto Trench, TPC-2, Long term deep seafloor observation

* 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

地球表面の7割を占めながらデータの空白域となっている海洋底において、陸上と同じレベルでの長期連続観測を行う有力な手段の一つとして、ケーブル型の観測システム、すなわち海底ケーブルを用いて海底の観測装置への給電および陸上への信号伝送をリアルタイムでおこなうシステムがある。しかしながら、こうしたケーブル型観測システムを、新規にケーブルを敷設することにより構築するためには莫大な費用が必要となり、広大な海洋底に展開することは現実には困難である。

一方、光通信技術の発達により、従来用いられてきた商用通信用の国際海底同軸ケーブル網は、多くが光ファイバケーブル網に交代して、運用を停止しつつある。この同軸ケーブルを地球科学観測目的に再利用すれば、新規にケーブルを敷設することなく既設のケーブルルート上での海洋底の観測が実現可能となる。科学技術振興調整費による「海底ケーブルを用いた地震等多目的地球環境モニターネットワークの開発に関する研究(VENUS計画)」(Kasahara et al(1998))は、こうした試みの一つとして、1995年度より5年計画で実施されている計画である。

VENUS計画は、1994年3月に運用停止となった沖縄グアム間海底同軸ケーブル(旧TPC-2、現在の呼称は「グアムー沖縄間地球観測海底ケーブル」)を有効利用し、これに様々な種類の観測機器を接続することで、フィリピン海プレートを横断する形で海洋底での現象を多面的にモニターするシステムの構築を目指し、それを実現可能とするための技術の開発を行うものである。この計画には、海洋科学技術センターの他、東京大学地震研究所、KDD研究所、海上保安庁水路部、地質調査所、気象庁気象研究所、電子技術総合研究所、通信総合研究所等が参加しており、実際には沖縄本島南端から南東に約50km沖、水深2150mの地点(図1)を本計画におけるフィールドとし、広帯域地震計、マルチセンサ深海底環境変動観測装置、地磁気・電場観測装置、津波計、音響測距装置、ハイドロフォンアレー、臨時観測装置等の観測装置の開発、これらの観測機器からのデジタルデータを多重・伝送する分岐装置の開発、これらの海底への設置と接続技術の開発を行ってきた(白崎ほか(1997)、門馬ほか(1997)、笠原ほか(1997)、宮崎ほか(1997)、長屋ほか(1997)、飯高(1997))。計画最終年度の1999年8月から10月にかけて機器の設置ならびに旧TPC-2ケーブルへの接続を行った。この沖縄沖観測点は、旧TPC-2ケーブルに接続され各観測装置への給電とデータの多重ならびに伝送を行う分岐装置を中心に、半径約1kmの範囲に観測装置が展開されている。分岐装置と各観測装置との間には水中着脱コネクタにより海底で接続されている。

「マルチセンサ深海底環境変動観測装置」(岩瀬ほか(1997))は、この計画の一環として、深海底で発生する環境変動現象を多面的かつ定量的に把握することを目的として開発した観測装置であり、平成11年9月30日に無人探査機「かいこう」により分岐装置に接続された。

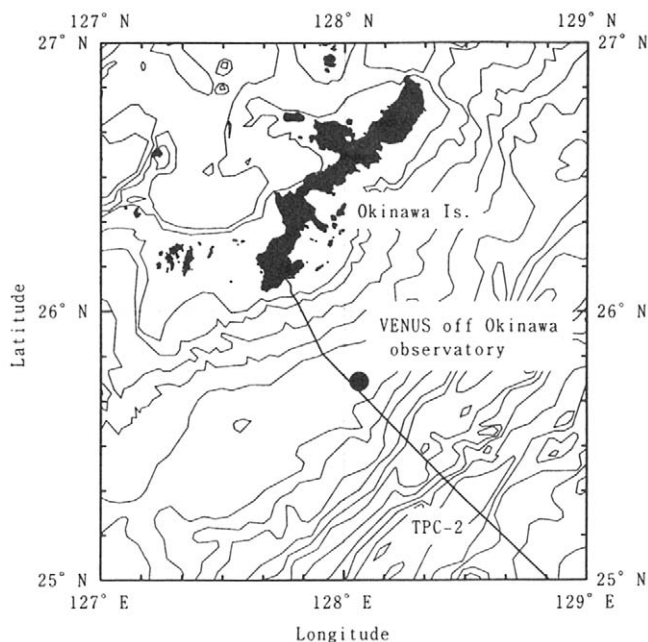


図1 VENUS沖縄沖観測点の位置

Fig. 1 The location of VENUS off Okinawa observatory

2. 「マルチセンサ深海底環境変動観測装置」の構成

「マルチセンサ深海底環境変動観測装置」(以下「マルチセンサ」と呼ぶ)は、CTDセンサ(SEA-BIRD ELECTRONICS SBE25)、透過度計(Chelsea Instruments ALPHATRACKA)、電磁流向流速計(アレック電子製)、デジタルスチルカメラ(Benthos DSC5010)、同カメラ用ストロボ(Benthos 383A)、地中温度計(海洋電子製)、地震計(東京測振VSE-11,12型)、ハイドロフォン(ITC-1010A)及びこれらの信号を多重するマルチプレクサより構成される。

CTDセンサ、地中温度計、デジタルスチルカメラ及び地震計はマルチプレクサとそれぞれ伝送速度600, 600, 9600, 9600bpsのRS232Cシリアルインタフェースにより接続されている。各センサへはマルチプレクサから24Vの直流給電が行われている。ストロボについては給電はマルチプレクサから行うが、制御はカメラ本体から出力されるパルス信号により行われる。透過度計及び電磁流向流速計については各出力(透過率, X軸流速, Y軸流速, 流速計方位)はアナログのレベル電圧としてCTDセンサに入力され、CTDセンサ内でこれらをA/D変換し、電気伝導度、水温、水圧の各計測値とあわせ1秒周期でマルチプレクサにシリアル信号にして出力する。ハイドロフォンは地震データとあわせて地震計内でA/D変換(80Hz, 16bit)し、マルチプレクサにシリアル信号を出力する。地中温度計は長さ25cmのプロブを1本有しており、プロブ先端から10cm間隔で3個のサーミスタが内蔵され、サンプリング間隔10秒で温度計測を行う。マルチプレクサと分岐装置は長さ60mの水中ケーブル付き水中着脱コネクタにより接続され、データの送受信はカ

レントループによりおこなわれる。伝送速度は、時刻信号を含む陸上局からの制御信号の受信は9,600bps、陸上局へのデータの送信は24,000bpsであり、1秒ごとに各センサからのデータを多重し、パケット化して分岐装置に送信する。分岐装置からマルチプレクサへの給電は24Vの直流給電である。旧TPC-2ケーブルシステムは給電能力にかなりの制約があり、マルチセンサで利用できる電力は15W以下となっている。デジタルスチルカメラや地震計のジンバル動作中はこれ以上の消費電力を必要とするが、これらを間欠動作させ、マルチプレクサ内に搭載した鉛蓄電池により消費電力を平均化することで消費電力が15W以下となるようにしている。デジタルスチルカメラのシャッター、フォーカス、ゲイン等の制御は陸上装置より遠隔制御で行う。

耐圧容器は海中での腐食を考慮して全てチタン製である。一方フレームはステンレス製である。地震計、ハイドロフォン及び地中温度計プローブは、設置の際にはフレームに固定されているが、無人探査機によりフレームから引き出し、海底に設置できる構造となっている。

3. 沖縄沖観測点への設置及び接続

沖縄沖観測点は、マルチセンサの他、広帯域地震計、地磁気・電場観測装置、津波計、音響測距装置、ハイドロフォンアレー、移動体観測装置の各観測装置から構成されている。これら各観測装置からのデータを、旧TPC-2に接続された分岐装置で多重及びMSK変調して陸上まで伝送する。ケーブルシステムへの給電は沖縄陸上局から行うが、観測装置に給電できる電力はケーブルシステム全体でも最大150Wである。観測機器の低消費電力化をはかった結果、沖縄沖観測点全体で約57Wとなった。本システムの最大の特徴は、分岐装置周辺の海底に展開した観測装置からケーブルを展張し、水中着脱コネクタにより分岐装置に接続することである。展張するケーブル長は、一番長い音響測距装置で1km、短いもので50mである。これにより従来のケーブル型観測システムでは実現できなかった、観測装置の面的な展開が実現された。津波計及びハイドロフォンアレーは、探線により引き上げた旧TPC-2ケーブルに分岐装置とともに「黒潮丸」船上で接続して1999年8月下旬に海底に設置したが、この他の観測装置は同年9月中旬に「かいよう」KY99-07航海において、ディープ・トウカメラにより分岐装置の周りの海底に展開し、同年9月下旬から10月上旬にかけて「かいれい」KR99-09航海において、無人探査機「かいこう」により海底で分岐装置に接続した。観測装置の展開にディープ・トウカメラを用いるのは、音響測位並びに後述のROV-HOMERシステムにより、リアルタイムで海底面上での位置がわかること、並びに海底を確認しつつ機器の設置ができるため、設置時に適当な高度をとることで機器が海底に激突することが避けられ、なおかつ設置地点の底質も確認できる等の利点があるからである。

マルチセンサは9月10日、6000m級ディープ・トウカ

メラにより分岐装置の南東約50mの地点に設置された。設置に先立ち、「かいこう」やディープ・トウでの接近が容易になるよう、ROV-HOMERシステムの小型音響マーカー(Sonardyne TYPE 7835 TRANSPONDER ID:15)をマルチセンサのフレームに取り付けた。なお、このROV-HOMERシステムは、親機(同TYPE 7832 ROV UNIT)を搭載した曳航体あるいはブイからマーカーまでの直距離及びおおよその方位が、90種類の異なるID番号毎に計測できるものである。分岐装置にもこのマーカー(ID:10及び23)を取り付けた。観測装置の設置にあたっては、曳航中これによりディープ・トウから分岐装置までの直距離を確認しながら設置位置を判定した。

マルチセンサのディープ・トウカメラへの取り付けは、ディープ・トウカメラの後部切り離し装置を用いて、ディープ・トウの下に固定する形となっている。ディープ・トウへ取り付けした後、10:40に着水し(写真1)、11:54に分岐装置の南東約175m、水深2152mの地点で海底を視認し、分岐装置へ向け曳航を開始した(測線DT-3C)。分岐装置から約45mのところまで第1回目の切り離しを試みたが切り離されず、また直後にハイドロフォンアレーケーブル等が見え、他の機器とケーブルが交錯する危険性が生じたため設置を中止し、回頭して再度分岐装置の南東側に回り込むこととした。



写真1 ディープ・トウカメラで設置中のマルチセンサ

Photo 1 Multi-sensor observation equipment attached below the deep-tow camera

回頭後、13:33に分岐装置の南東約255m、水深2150mの地点で海底を視認し、分岐装置へ向け2回目の曳航を開始した(測線DT-4C)。分岐装置から南東約50mのところで第2回目の切り離し操作を行い、マルチセンサを設置した。ディープ・トウカメラの測位はLBLによりおこなった。これにより得られた「マルチセンサ」の設置位置は、北緯25度44.379分、東経128度03.768分、深度2,152mであった。これら2つの測線におけるディープ・トウの航跡を図2に示す。

ディープ・トウカメラによる設置の後、9月30日に実施された「かいこう」第129潜航により、リールに巻いた長さ60mのケーブルを展張して分岐装置に接続した(写真2)。陸上機器の調整の後、同日夜横須賀から制御できるようになった。その後、10月3日の第131潜航で地震計及び地中温度計を海底に展開して設置し、ディープ・トウ

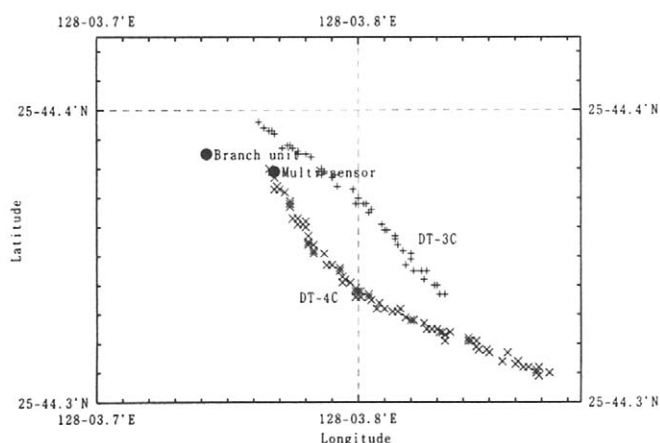


図2 マルチセンサ設置時のディープ・トウカメラ航跡
Fig.2 Track lines of deep-tow camera for deploying Multi-sensor observation equipment



写真2 「かいこう」で分岐装置に接続中のマルチセンサの水中着脱コネクタ
Photo 2 Underwater mateable connector of "multi-sensor" which is being connected to the branch unit by ROV "Kaiko"

カメラによる設置時に邪魔にならないように横倒しにしてあった流向流速計を、流速検出部がフレーム上面に出るよう取り付けした。続いて、地中温度の変化は堆積状況にも影響を受けることから、地中温度計プローブの設置状況の変化がカメラにより観察できるよう、10月9日の第135潜航で同プローブをデジタルスチルカメラの視野内に移動した(写真3)。

「かいこう」がマルチセンサ近傍で作業した一連の潜航におけるビークルの音響測位位置を図3に示す。異なる潜航の間では、最大約20m程度の位置のずれがあることがわかる。母船「かいいい」の測位はD-GPS、ランチャーの測位はLBLで行われているが、ビークルはランチャーからのSSBLにより測位されている。また、海底に設置したベースラインを構成する3本のトランスポンダは、海底面から100m程度立ち上がっている。系統的なずれは、底層流によりトランスポンダが水平方向に流されることによるベースラインのずれ並びにランチャーとビークル間のSSBL測位誤差によるものと考えられる。

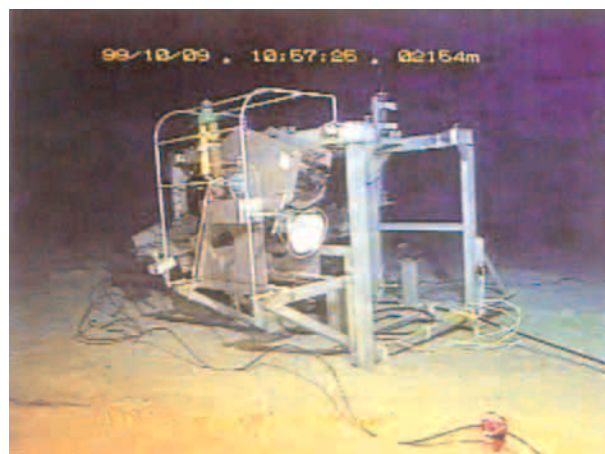


写真3 海底のマルチセンサ
Photo 3 Multi-sensor on the seafloor

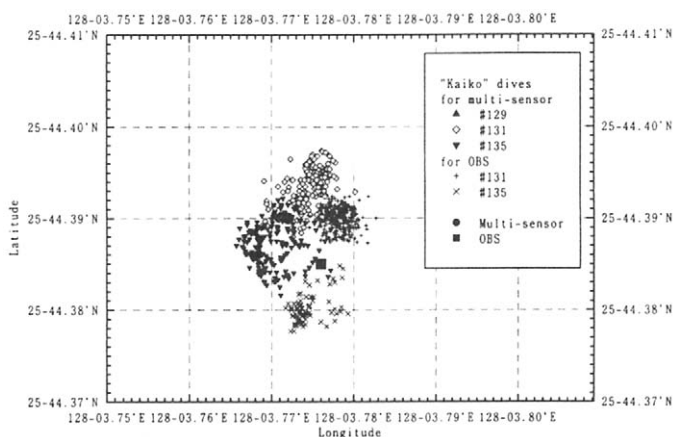


図3 「かいこう」音響測位記録
Fig.3 The results of acoustic positioning of "Kaiko"

図3に示すビークルの音響測位結果から、マルチセンサの設置位置については、第131潜航と第135潜航の航跡分布の中間(マルチセンサ本体：北緯25度44.390分、東経128度3.772分、地震計：北緯25度44.385分、東経128度3.776分、深度2,156m)をとることとした。

4. 観測結果

CTD、流向流速計、透過度計、地中温度計、デジタルスチルカメラについては、マルチセンサを分岐装置に接続した9月30日よりデータ収録を開始した。しかしながら11月19日に分岐装置の給電系に障害が発生し、分岐装置に接続されている観測装置への給電ができない状態となった。このため、マルチセンサも11月19日以降動作が

停止した。また、短周期地震計とハイドロフォンについては、設置直後より、観測データの信号が地震計とカメラの制御ラインに混入する障害が発生し、短周期地震計とハイドロフォンを動作させると地震計及びカメラが誤動作してしまうため、短周期地震計とハイドロフォンの電源をOFFのままとした。この他、地中温度計データには電気回路に起因するノイズと思われる約1.5時間周期の規則的で微弱なリップルが乗っていたが、この周波数成分のノイズを取り除くことで、地中温度変化の検出は可能である。

9月30日から11月19日までの観測期間中のCTD(電気伝導度、水温、水圧)及び透過度計のデータを図4に示す。電気伝導度は水温とほぼ同じ変化を示しており、水温の

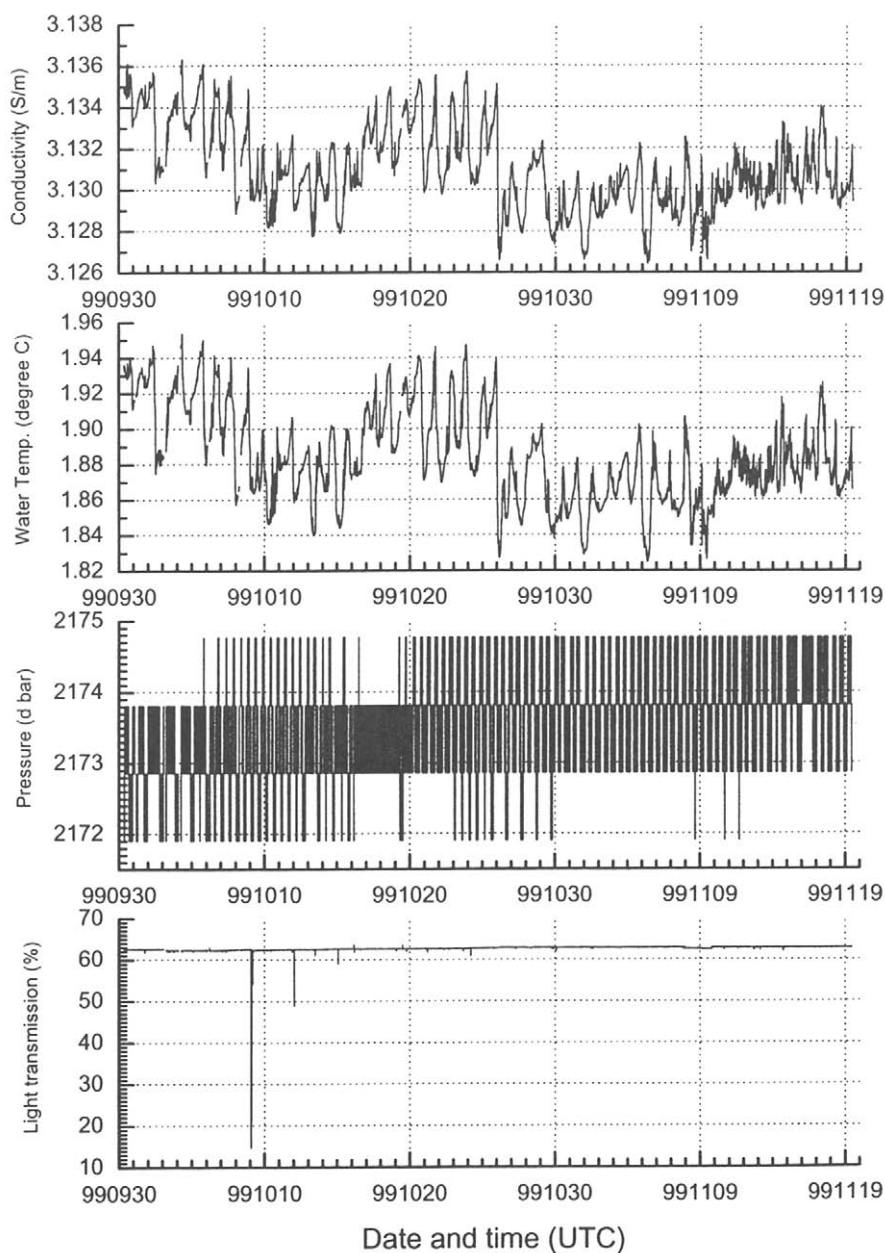


図4 マルチセンサのCTD及び透過度計記録

Fig.4 CTD and light transmission profiles by Multi-sensor observation equipment

変化が支配的であることを示している。水温の変化は、ほぼ24時間の周期を持つ日周変化が卓越しており、その変化量は観測期間中の最大で0.12度、平均して約0.05度である。また、大潮の前後である10月9日及び10月26日頃には半日周変化も見られる。水圧については、分解能が1dbar程度であるため観測期間中の水圧値は4つの値しかとらないが、おおよそその潮汐変化を捉えている。なお、マルチセンサの水圧計は歪み計を使用しているが、水圧計としては、感圧水晶を使用したマルチセンサよりも分解能の高い津波計が開発され、分岐装置に取り付けられている(勝間田ほか(1999))。感圧水晶は水温変化の影響を受けるので、津波計内の温度センサにより温度補正をしているが、今後マルチセンサの水温データ等と相互に対比することで、深海環境データと潮汐の相関並びに津波計の温度特性について詳細な解析を行うことが可能である。

透過度計のデータは、波長660nmの光が25cmの経路を通過するときの透過率を示しており、純水中ではその値は91%である。観測期間中はほぼ一定の値63%を示している。但し、10月9日には「かいこう」がマルチセンサの

近くで作業をした時に巻き上げた泥による濁りで、透過率がピーク値で10%にまで変化している。これ以外では、例えば10月12日に48%を記録していることもあるが、「かいこう」作業時を除き、1秒以内のスパイク的な変化である。これらの変化は、濁りの変化を示したものではなく、中層生物等の浮遊物が単体で通過したことによる変化と考えられる。また、11月8日以降は透過度計のみならず電気伝導度計と水温計に比較的短周期の変動が重畳している。地磁気・電場観測装置などマルチセンサ以外の観測装置でも、同じ時期にそれまでとは異なる傾向の変化が観測されており(中塚、私信)、11月19日以降のデータ途絶につながった給電系の障害と何らかの因果関係があると考えられる。

電磁流向流速計は海底面に垂直な方向に磁場を発生させた状態で、海底面と平行な水平面上に配置された直交する2組の電極により、流速に比例して発生する誘導起電力を各成分毎に計測して流速を求めるものである。流速計に内蔵された方位計より、直交する電極のうちの一方の方位は251度であった。第131潜航で所定の位置に据え付けられた10月3日以降のデータが、意味のあるデー

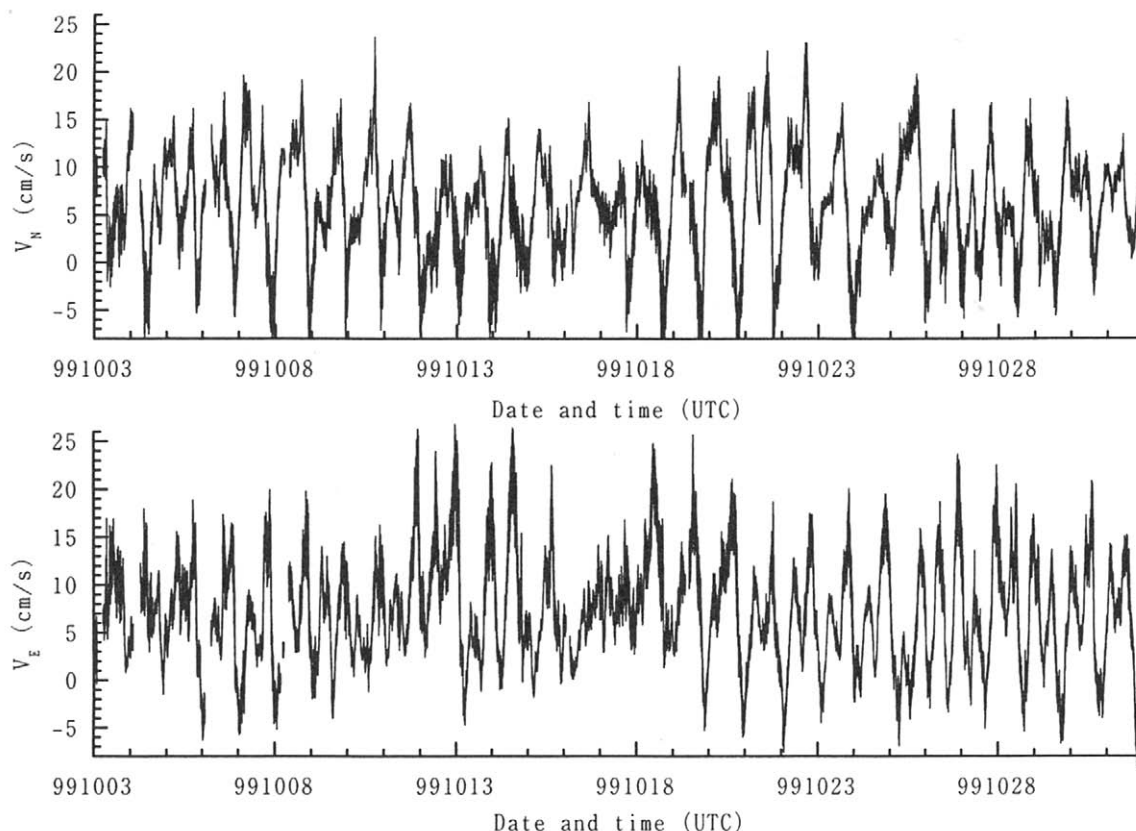


図5 マルチセンサの流速記録

VN: 流速北成分

VE: 流速東成分

Fig.5 Profiles of deepsea current by Multi-sensor observation equipment

VN: North component

VE: South component

タとなる。しかしながら、11月以降のデータは流速が不自然に小さくなっており、先述の他のセンサと同様、給電系の障害と何らかの因果関係がある可能性がある。また、電磁流向流速計は、他の機器などが発するノイズなど周辺の電磁場環境の影響を受けやすいと考えられ、比較観測による現場キャリブレーション等により、データの信頼性を検証する必要がある(岩瀬ほか(1998))。今回は比較観測の機会がなかったため、2組の電極による電位差データと流速計の方位のみから北流速と東流速を算出した。10月3日から10月31日までのデータを図5に示す。24時間周期の日周変化が卓越しているが、12時間周期の半日周変化も見られ、特に大潮の前後では顕著である。

地中温度計は地中に設置した10月3日までは水温を計測していたので、この期間中の計測値の差からサーミスタ毎のオフセットの違いを補正することが可能である。

プローブのサーミスタ間の温度差は平均して0.002度以下であるが、CTDの水温計との差は0.069度であった。これらの平均値によりCTDの水温値に合うよう地中温度計のオフセットを補正した。プローブをさしなおしたのが10月9日であるので、その翌日以降11月19日までの地中温度変化を水温変化と共に図6に示す。プローブの先端から10cmで取り付けられているサーミスタの計測値をプローブ先端、つまり海底下の深い方からT1, T2, T3としている。地中温度の変化は水温変化に支配されており、深いほどその変化が減衰している。熱流量の計測を目的として温度勾配を求める場合、潜水船などによる短時間の計測ではこれらの水温変化の影響を除去できないことは明らかである。図6のデータから温度勾配を求める場合、厳密には熱伝導による遅延時間を考慮する必要があるが、近似的にはサーミスタ間の温度差の時間平均をと

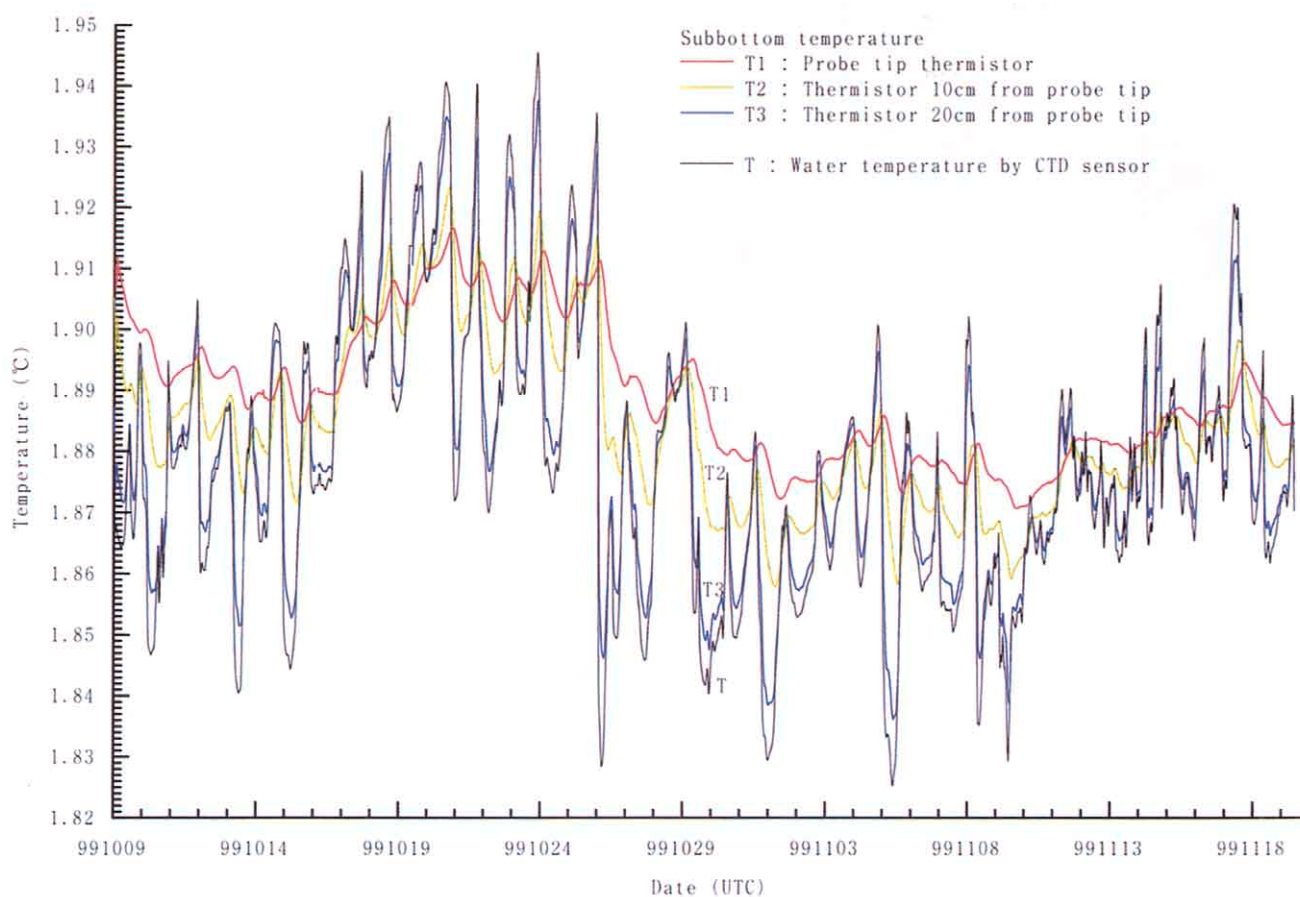


図6 地中温度及び水温データ

- T1: 地中温度計プローブ先端のサーミスタで計測された温度(海底下約25cm)
- T2: 同プローブ先端から10cmのサーミスタで計測された温度(海底下約15cm)
- T3: 同プローブ先端から20cmのサーミスタで計測された温度(海底下約5cm)
- T: CTDセンサで計測された水温

Fig.6 Profiles of subbottom temperature and water temperature by Multi-sensor observation equipment

- T1: Subbottom temperature measured by the probe tip thermistor(About 25cm below seafloor)
- T2: Subbottom temperature measured by thermistor 10cm from the probe tip(About 15cm below seafloor)
- T3: Subbottom temperature measured by thermistor 20cm from the probe tip(About 5cm below seafloor)
- T: Water temperature measured by CTD sensor

ることで、温度勾配が得られる。図6の期間中について時間平均をとったところ、T1-T3間で0.010度、T2-T3間で0.005度と極めて良い線型性があり、プローブ間の距離から温度勾配は $0.05^{\circ}\text{C}/\text{m}$ となった。もっともプローブがまっすぐ刺さっているわけではないので温度勾配はこの値より若干大きいと考えられるが、ほぼ妥当な値と言える。

デジタルスチルカメラについては、消費電力が大きく、データの伝送に2時間半の時間がかかることに加え、観測期間中の撮影制御を手動で行っていたため、必ずしも毎日画像データが取得できたわけではないが、ほぼ1日に2画像の頻度で画像データを取得した。この間海底面には大きな変化は見られなかったが、若干の浮遊物とトカゲギスの仲間と思われる魚が撮影されている(写真4)。



写真4 マルチセンサのデジタルスチルカメラで撮影された海底の画像(1999年11月1日 00:40 UTC)

Photo 4 Digital still image taken by "multi-sensor" at 00:40 UTC, November 1, 1999

5. まとめ

1999年9月から10月にかけて沖縄南東沖水深2,150mの海底に「かいよう」/ディープ・トウカメラにより設置され、「かいかい」/「かいこう」により分岐装置に接続した「マルチセンサ深海底環境変動観測装置」により、9月30日から11月19日までの約1ヶ月半にわたりリアルタイム連続観測を行った。分岐装置に発生した給電系の障害のため、1ヶ月半の観測にとどまり、また観測期間後半には障害の影響と思われる現象がデータに重畳していたが、この間に得られたデータにより底層流や水温の日周/半日周変化が確認された。カメラの映像からは、観測期間中、地中温度データに影響を与えるような堆積物の変化は認められず、地中の温度変化はそのほとんどが水温変化の影響によると考えられ、その影響を除去して、 $0.05^{\circ}\text{C}/\text{m}$ の地温勾配が得られた。今後はマルチセンサ以外の観測装置のデータの対比も行い、この観測点における深海底の現象を詳細かつ多面的に把握したい。

謝辞

本研究は科学技術庁の科学技術振興調整費による「海底ケーブルを用いた地震等多目的地球環境モニターネットワークの開発に関する研究」の一環として実施された。

マルチセンサの製作には(有)テラテクニカの大西信人氏、高村直也氏、NEC海洋エンジニアリング(株)の佐々木清志氏、(株)東京測振の横井勇氏、小林明男氏、日油技研工業(株)の笠貫登氏、白仁浩文氏他多数の方々にお世話になった。また設置・接続には、長谷川澄船長他「かいよう」乗組員の方々、宮本元行氏他観測支援員の方々、石田貞夫船長他「かいかい」乗組員の方々並びに福井勉船長他「かいこう」操縦班の方々、KDD沖縄サービス(株)の片岡丈夫氏をはじめ関係各位に大変お世話になった。ここに記して御礼申し上げます。

引用文献

- 1) Kasahara, J., Sato, T., Momma, H., and Shirasaki, Y. (1998), "A new approach to geophysical real-time measurements on a deep-sea floor using decommissioned submarine cables", EPS, **50**, 913-925
- 2) 白崎勇一・小島淳一・加藤洋一(1997), "VENUS計画におけるデータ伝送技術", 月刊地球, **19**, 769-774
- 3) 門馬大和・川口勝義・岩瀬良一・田代省三(1997), "VENUS計画における機器の接続と設置技術", 月刊地球, **19**, 774-782
- 4) 笠原順三・佐藤利典(1997), "VENUS計画における広帯域地震観測", 月刊地球, **19**, 783-787
- 5) 宮崎光旗・中塚正・村上裕・大西信人(1997), "VENUS計画における海底地磁気・電位差観測システムの開発状況", 月刊地球, **19**, 795-799
- 6) 長屋好治・浅田昭・古川博康(1997), "VENUS計画における地殻変動・ハイドロフォン観測", 月刊地球, **19**, 800-804
- 7) 飯高弘(1997), "VENUS計画における音響通信を用いた臨時観測", 月刊地球, **19**, 805-809
- 8) 岩瀬良一・門馬大和・勝間田明男・高橋道夫(1997), "VENUS計画における海底マルチセンサと津波観測", 月刊地球, **19**, 788-794
- 9) 勝間田明男・高橋道夫・小高俊一・小原義廣・伊藤秀美・岡田正実・中村浩二・中村雅基・佐々木清志(1999), "ケーブル式海底津波計の開発(その2)", 日本地震学会講演予稿集1999年度秋季大会, P186
- 10) 岩瀬良一・満澤巨彦・門馬大和(1998), "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

(原稿受理: 2000年2月2日)