

海底ケーブル利用による沖縄海域での深海底地磁気電場観測

中塚 正・小川康雄・大熊茂雄・西村清和・宮崎光旗
(地質調査所)

Deepsea Geomagnetic and Electric Field Observation at Okinawa Site Using an Undersea-cable

T. Nakatsuka, Y. Ogawa, S. Okuma, K. Nishimura, and T. Miyazaki
(Geological Survey of Japan)

1. はじめに

地質調査所では、Venusプロジェクト（科学技術振興調整費総合研究課題「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、旧第二太平洋海底ケーブル（沖縄ーグアム間、TPC-2）を利用した海底地磁気電場観測装置の開発を担当しており、1999年9～10月に沖縄南西方の水深約2150mの海域に、観測装置の展開設置・ケーブル接続を行った。

このプロジェクトの全体概要・地磁気電場観測装置の仕様と1998年までの進捗状況については、既に報告した（中塚ほか、1999、Conductivity Anomaly 研究会1999年論文集、p.229-235）。1999年には、7月12～15日に2回目の乾ドック試験を行って機器の動作確認を行った後、海洋科学技術センター（JAMSTEC）海洋調査船「かいよう」のKY99-07航海（9月7～20日）において、ディープトウを用いた観測装置の海底への投下を行った。引き続き、JAMSTEC無人海底作業艇「かいこう」／その母船「かいれい」のKR99-09航海（9月26日～10月12日）において、電場測定用電極の展開作業および電源／通信ケーブルの海底ケーブル分岐装置への展張・接続作業を行った。

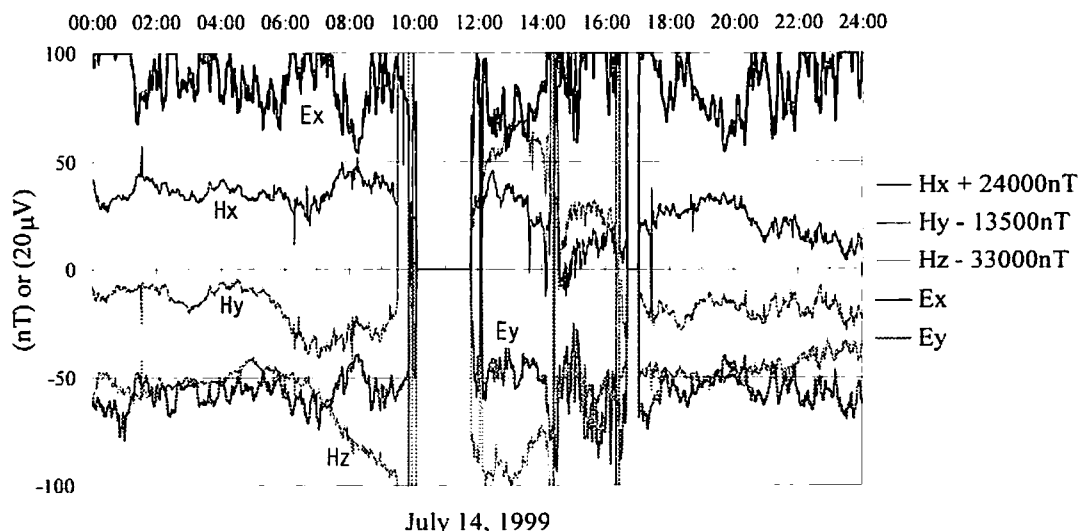
作業は概ね順調に推移し、接続作業の直後（10月3日）には、海底ケーブルの陸揚げ局である沖縄通信所において当該装置の正常動作が確認された。その後、沖縄局で受信されるデータは専用回線を通じて、横須賀の海洋科学技術センターへもリアルタイム伝送されるシステムも稼働した。

しかしながら、海底地磁気電場観測装置の動作開始から47日後の11月19日夜に至って、海底ケーブル分岐装置に不具合が生じ、それ以後のデータ送信が中断した。また、翌11月20日には電源供給再開も不能な状況が発生し、現在このシステムは停止している。その後、分岐装置の開発担当のもとで現地調査も行われ、分岐装置フレームに組み込まれている「データ伝送中継器」の耐压容器に電食が生じて海水の侵入があったと予想される状況が把握されている。このシステムの再生へ向けた取り組みについては、検討中である。

2. 乾ドック試験

観測装置の実海域設置に先立ち、1999年7月12～15日に神奈川県三浦市にある乾ドック（造船所）において、海底観測システムに加わるすべての観測機器類を集結した動作確認試験を行った。7月12日には、機器搬入に続いてそれらの相互接続と空中での動作確認を行い、翌13日に注水と水中動作試験・相互干渉試験、14日には長時間水中連続動作試験を行い、15日の排水・撤収まで各種の動作確認・取得データの妥当性確認などにあたった。このときの地磁気電場観測装置の取得データ例を第1図に示す。試験場所は市街地に隣接するため、人工ノイズが大きいが一応の妥当性のあるデータが得られた。

Geomagnetic and Electric Fields Observation System
Sample record of Dry Dock Test



第1図 乾ドック試験での取得データの例

第1図ではプロトン磁力計の全磁力データを示していないが、試験場所の磁気傾度が高いために計測不能の状態であったためである。しかし、7月15日に装置をつくばへ撤収後、再度の確認試験を行ったところ、装置のステンレスフレームにも磁気傾度を高くする原因のあることが判明し、フレームの再調整とプロトンセンサーの取り付け部位の修正を行って実海域設置に臨むこととした。

3. 観測機器の海底設置・接続

1999年9月12日に「かいよう」KY99-07航海において、海底地磁気電場観測装置のディーブトウによる投下作業を行った（第2図）。既設置の海底ケーブル分岐装置の北方約240m地点で観測装置の切り離し操作を行い、観測装置の正常な着底を確認した。その際の「かいよう」のLBL 音響測位による装置の設置位置は、

北緯 25度44.517分

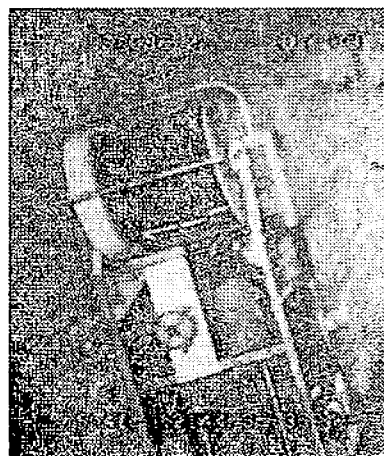
東経128度03.754分

である。

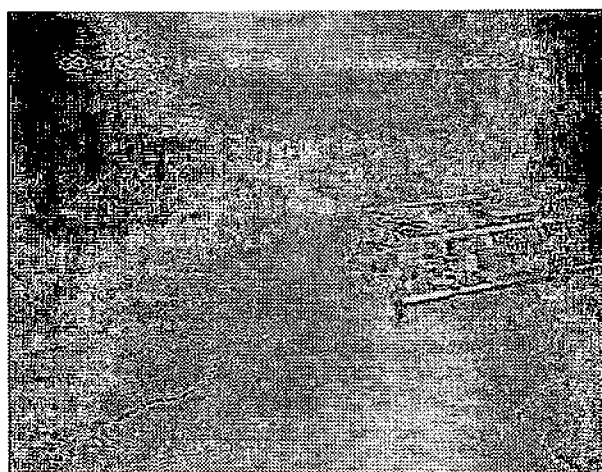
続いて「かいいい」KR99-09航海において、10月1日に「かいこう」Dive #130で接続ケーブル展張と電極展開を行い、10月3日「かいこう」Dive #131で分岐装置への接続を実施した。

10月1日の電極展開を終えた後の観測装置の状況を第3図に示す。

Dive #130では、ケーブルドラムの若干の不具合からドラムが浮き気味となり、安定を図る必要があ



第2図 観測装置の着底状況



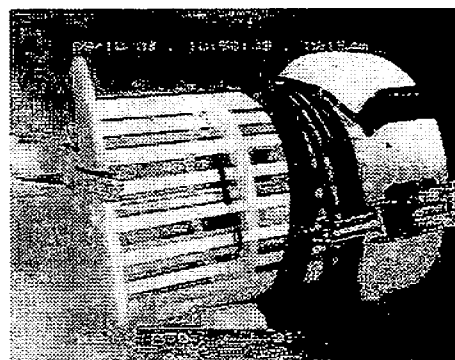
第3図 電極展開後の観測装置

ると判断され、Dive #131において、用意したS字フックと海底にあった地震計用重りを用いてドラムを安定化させた後に（第4図）、コネクタ接続作業を行った。

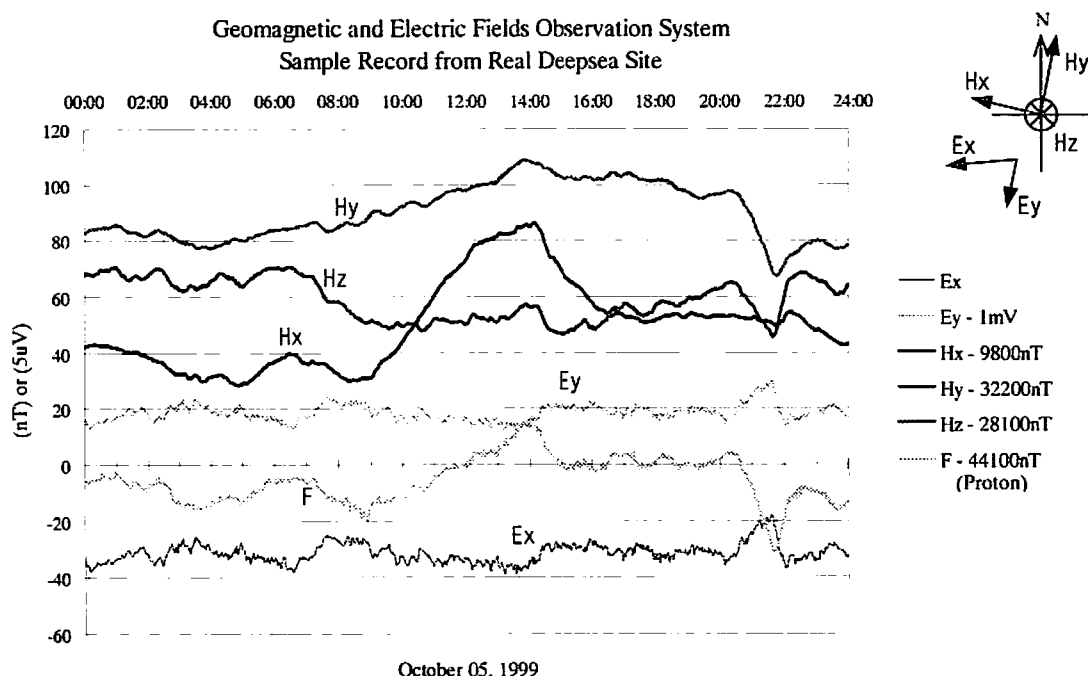
その直後に、沖縄中継局に連絡して電源投入・動作試験を行い、正常動作を確認した。

4. 観測開始とデータ収録の状況

10月3日の動作試験において、12:01 JST のデータを沖縄中継局で受信したのを最初に、その後の各観測機器の接続・動作確認作業等による給電停止の時間帯を除いて、連続的に観測データを受信した。第5図に1日分の取得データの例を示す。



第4図 重りで安定化したドラム



第5図 実海域での1日分の取得データ例

10月3日以降にも、他の観測装置の接続・動作確認作業にともなう電源供給停止やデータ伝送停止があったが、10月8日 13:15 JST 以後 11月19日 19:44 JST までの連続データの収録が行われた。

しかしながら、11月19日19時45分頃に原因不明のデータ伝送停止が発生した。同日20時頃にそれに気づいた他観測機器担当者からの連絡で、その後、分岐装置開発担当者らによる復旧作業が試みられた。動作再開操作を行うことにより、動作復帰するものの間もなくデータ伝送再停止に陥る状況が、幾度か繰り返され、原因の考察を進めている中で、11月20日16時45分頃から、動作再開操作も受け付けられない状況に至った。この時点で最後に伝送されたデータは、11月20日 16:43 JST のものである。

その後、関係者を集めた会議等で原因の解明と復旧の手順の検討が行われた。さらに原因解明の一環として、海洋科学技術センターの無人探査機「ドルフィン3K」を使用して、海底ケーブル分岐装置フレームのビデオカメラを用いた状況把握がなされた（12月23日）。その結果、同フレームに収容されている「データ伝送中継器」の耐圧容器に電食と見られる変状の認められることが明らかになった。

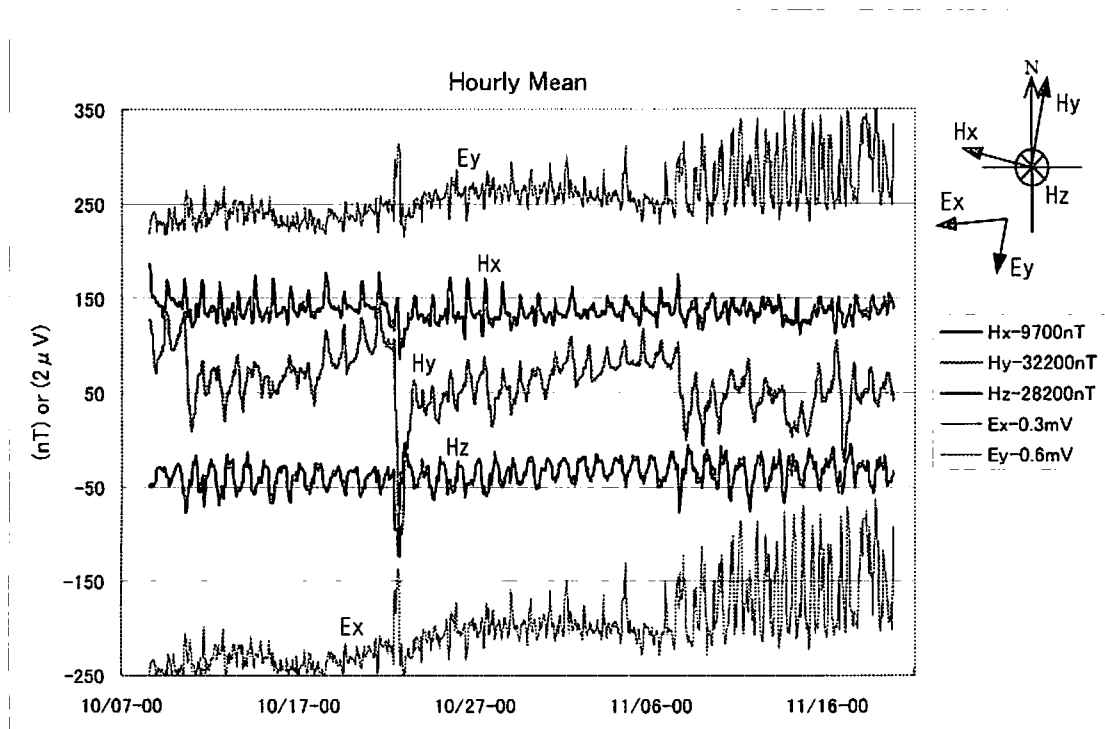
もちろん耐圧容器は耐食を考慮してチタン合金製であり、設計上も海水との間に電流の流入・流出が生じないようにしていた筈であるが、見逃された何かの不具合があったと考えられる。原因のより詳細な解明とそれに立脚した観測システムの復旧のためには、この耐圧容器から海水中へ流出した電流がいかなる経路を通して閉回路を形成したかをも確認することが欠かせず、十分な追加調査が必要である。現在の計画では、その第1ステップとして海中作業用の絶縁度テスターを準備し、設置状況調査として2000年5月に予定されていた「かいこう」の潜航調査を、作業内容の一部変更の形で、接続各機器を含めた電食発生原因の把握にあたる予定である。

5. 収録データに見られる特徴

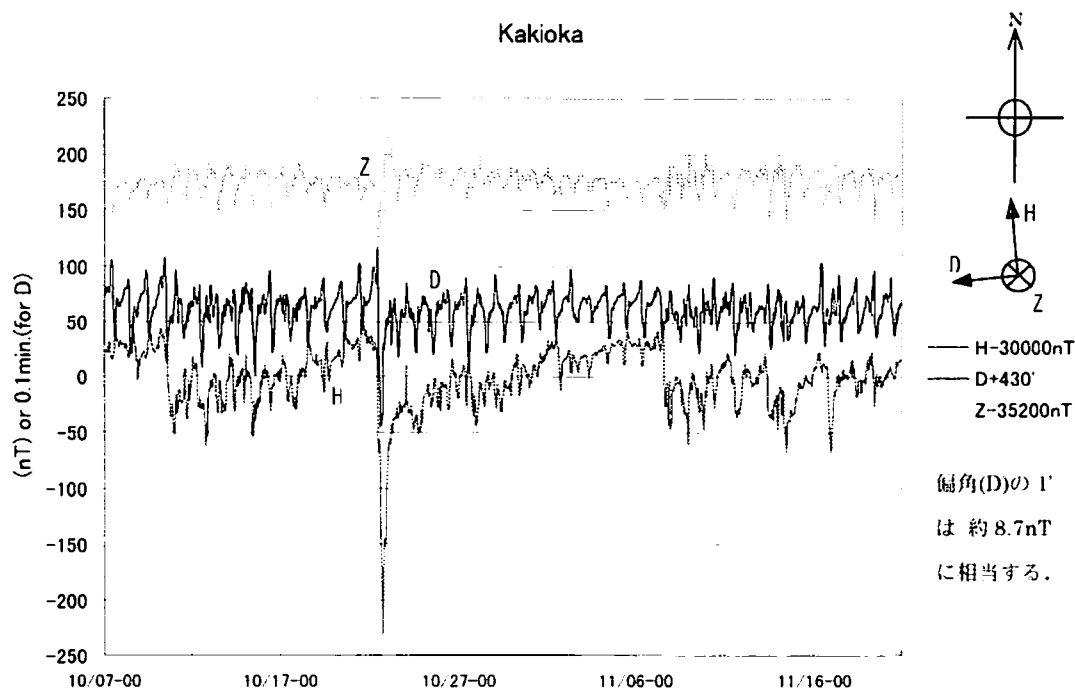
以下では、1999年10月8日13:15JST から 11月19日19:44JST までの42日間余の海底地磁気電場観測装置の連続データに見られる特徴について触れる。

第6図は、その全期間のデータを時間平均値で示したものである。このグラフにもいくつかの特徴が見られる。最も目につく点としては、電場 ($E_x \cdot E_y$) の変動が11月7日頃から大きくなっており、自然現象とは見られない。両成分が相似の変化を示しており、共通電極の劣化や電場計側部の不具合が考えられなくもないが、 $E_x \cdot E_y$ の類似した変化はそれ以前から見られること、その10日あまり後にデータ伝送中継器で不具合が発生したことを考えあわせると、電食によるシステムの停止に至る過程を電場観測が捉えたものかもしれない。

一方、 $E_x \cdot E_y$ があまりに類似した変化を示す点は、検討を要する。電極の展開にあたっての「かいこう」による作業は、オペレータにとって慣れないせいもあって思うに任せず、直交からはかなりずれた配置となっている。概略の配置は、図の右上隅に矢印で示した如くであり、スパンは E_x が 20 m E_y が 17 m 程度であるが、ほとんど同じ方向成分を測定しているわけではない。海底では底層流の存在が知られており、その流向に卓越方向があって大部分の電場変動を規制しているとすれば、データの



第6図 1999年10月8日～11月19日の連続データ



第7図 柿岡地磁気観測所の毎時値地磁気データ

妥当性を否定するものではない。実態の把握のために、さらに詳細なデータの検討と、他種目の観測機器で測定されている流向・流速のデータとの対比もすすめたいと考えている。

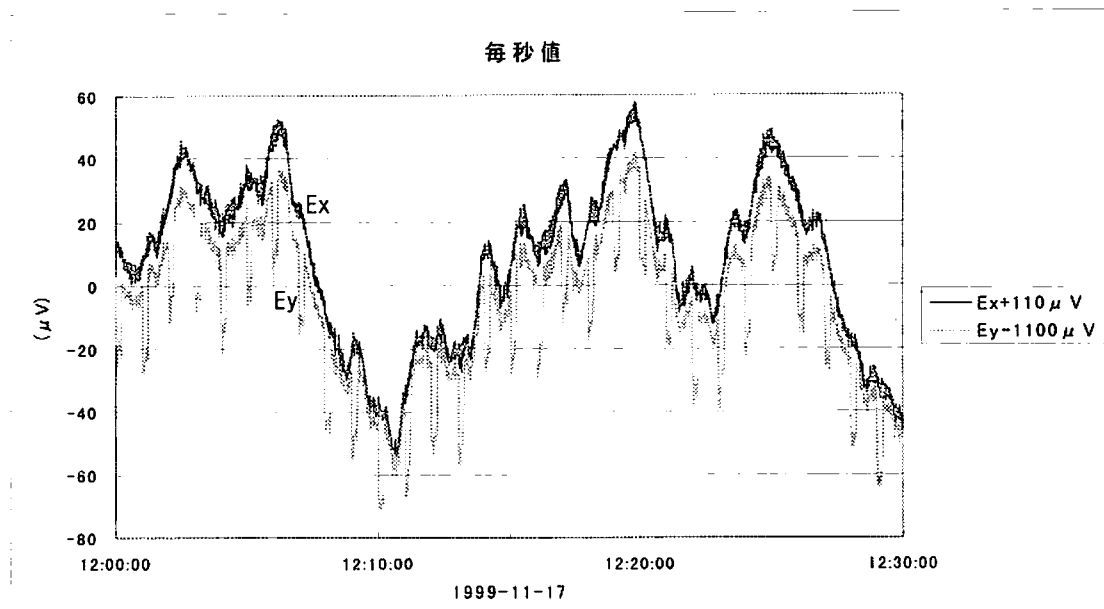
第6図の H_y のグラフ (y のサフィックスは、フレームの横方向であり東方向を意味せず、このサイトでは北方向に近い) では、10月10日・22日・11月7日頃などにレベルのシフトを起こして、それが徐々に復する変化を示しているようにも見える。しかし、第7図に示すように柿岡地磁気観測所での H 成分の地磁気変化にも同じ変化が記録されており、正しい観測データの得られていることがわかる。第7図は、地磁気観測所による柿岡での地磁気3成分観測データから毎時値をプロットしたもので、東京大学地震研究所の地磁気データベース (笹井氏の努力による) を利用させていただいた。[地磁気観測所・地震研究所ならびに笹井氏をはじめとする両機関の担当者に感謝します。] 両図を比較してわかるように、第6図の磁場3成分の変化は、両地点の緯度の相違をも反映した極めて妥当な観測結果であることが、見て取れる。

次に収録データを点検中に気づいた電場データの異常な振る舞いについて記す。本装置では、標準設定で磁場3成分を毎分計測 (プロトン磁力計はデフォルトで5分毎計測) であるが、電場は毎秒計測となっており、60秒分の電場データと磁場データを毎分データ送信している。第8図には、その電場2成分の30分間のデータをプロットしてある。この記録で、 E_y 成分に毎分1秒から13~14秒にかけてステップ状の変化が重疊していることがわかるが、その時間帯は、毎分のデータ伝送の時間帯にぴったり符合する。

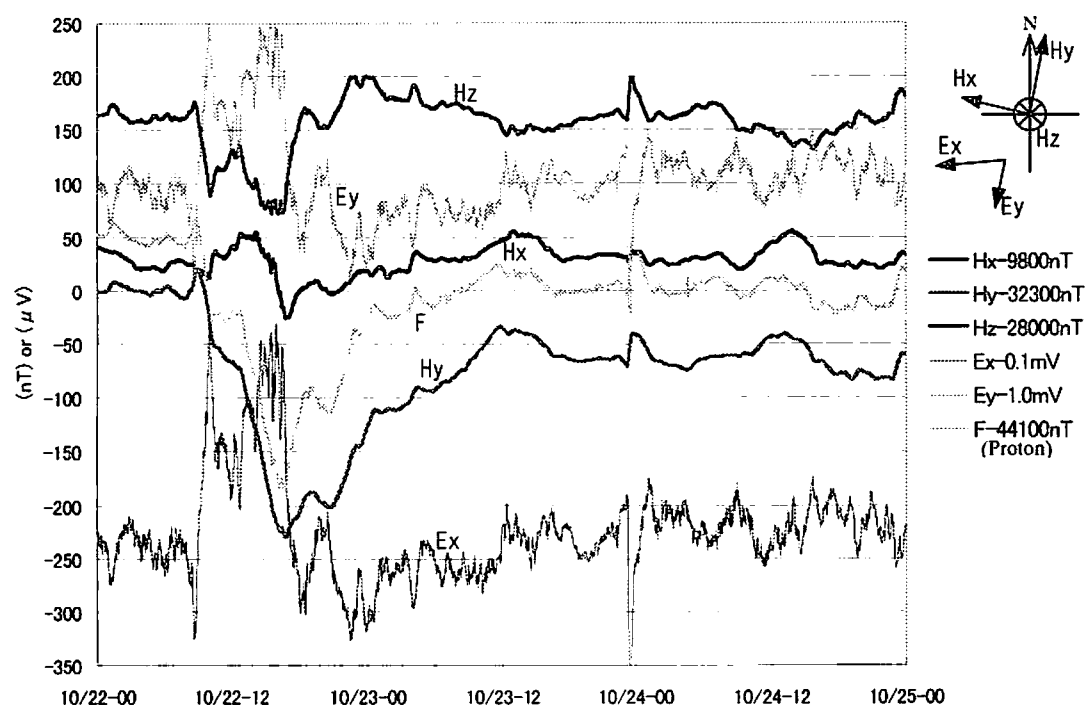
観測装置からデータ伝送中継器へはカレントループによる非同期シリアル伝送が用いられており、その信号電流は中継ケーブルを流れる。しかるに、中継ケーブルの展張にあたっては、底層流の影響で「かいこう」の操縦が必ずしも思わしくなく、結果として、中継ケーブルが E_y 成分の電極ケーブルと2~3mの間隔で平行する状況となった。第8図のノイズが E_y 成分にのみ現れるのは、そのためであろうとも考えられる。しかし、ステップ変化の場として検出されるためには実効的に交流分を検波するような状況が必要であり、実態はつまびらかではない。逆に、このデータ伝送信号のカレントループがデータ伝送中継器から漏れ出したとすると、電場計測の本装置の側では電極が海水に浸っており電流の戻り口になりうると考えられる。

ので、交流分が減衰して直流分のみがステップ変化として検出される可能性も十分ありそうである。

現在のところ、磁場データとの対比を見る上では、毎分15秒～59秒のデータの平均をもって毎分値としており、データ解析上の支障はない。



第8図 電位差毎秒値データ例



第9図 地磁気嵐時の記録 (1999-10-22～24)

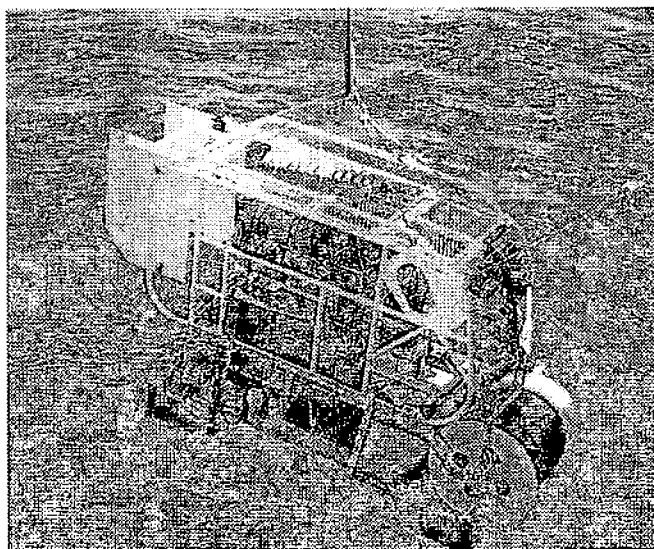
6. おわりに

現在のところ、取得データの内容の妥当性チェックを行っている段階であり、それを用いた電気伝導度構造解析やより正確なデータのキャリブレーション等は今後の課題であるが、変動電磁場を正しく捉えて

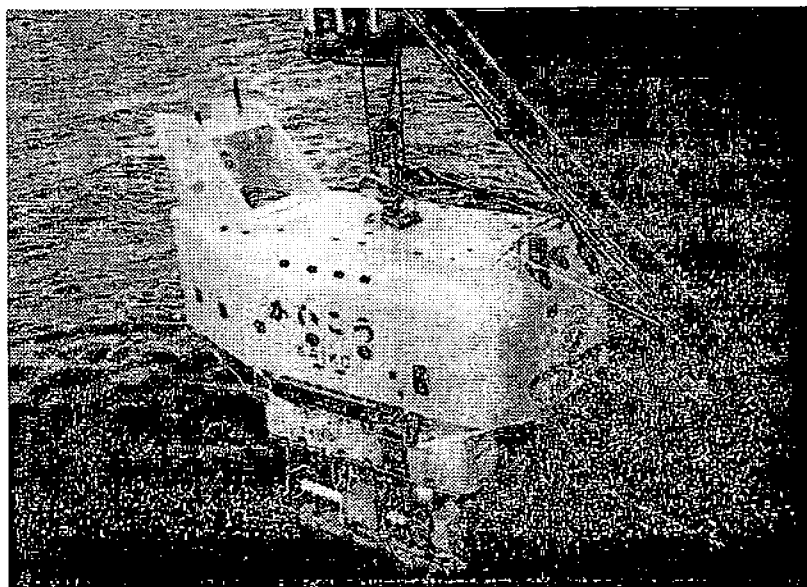
いることが確認できる。ここでは、1999年10月22日に発生した顕著な地磁気嵐とその誘導電場および引き続く電磁場変動を捕捉した例を第9図に示して、とりあえずの進捗報告とする。

海底観測システムの動作確認というステップを越えたとはいえ、観測開始から50日足らずで動作停止に陥っていることは残念であり、不具合原因の解明と復活へ向けた取り組みを始めている。復活にあたっては、原因箇所の特定とその部分の切り離し、引き上げ回収、引き上げ部位の修復または更新機器の調達とその再設置、再接続といった手順が必要と想定され、それに要する予算的裏付けも新たに必要となる。しかし、これまでに蓄積された海底ケーブルシステム構築のノウハウと経験は貴重であり、それらを生かしつつ取り組めば、信頼性の高いリアルタイム観測システム構築が実現できるものと思われる。

最後に、海底設置・接続の作業に用いられたディープトウ・無人海底作業艇「かいこう」につき、参考までに、それらの外観を写真を掲げておく。



第10図 海底地磁気電場観測装置を組み付けたディープトウ



第11図 無人海底作業艇(ROV)「かいこう」。上部がランチャー、下部がビークルと呼ばれ、海底近傍に到達後に分離して作業する。