

7.3 海底ケーブル沖縄観測点における地磁気電場観測

中塚 正・宮崎光旗・小川康雄・大熊茂雄（地質調査所）

VENUS Deep-sea Geomagnetic and Electric Field Observation at the Okinawa Site

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

Deep-sea geomagnetic and electric field observation system for VENUS project was deployed at the Okinawa observation site, about 50km southeast of the Okinawa Island, at the depth of about 2,150m. The equipment functioned normally from the start of supplying power on October 3, 1999. Since then, the data transmitted from the sea bottom was monitored at the shore station, and the geomagnetic and electric field data were recovered in real time. However, on November 19, data transmission was terminated abruptly. The cause of this termination was proven to be some trouble in the “data transmission control” unit from the later investigation. The effort to recover the observation function is now under way.

Although the upcoming of observation data from the sea bottom is stopped now, we got abundant continuous data of geomagnetic and electric fields observation at the Okinawa site. Those data are quite informative in various context. Of course, this is the first success of real time observation of magnetic/electric field variation at the remote sea bottom site, which was enabled by the VENUS project. Actually, our observation detected clearly the electro-magnetic variation related to the remarkable magnetic storm on October 22, 1999 and its succeeding phenomena, which shall be further investigated. On the other hand, the quality of transmitted data and the electric field data itself are the effective information to examine the situation and process of the trouble.

Now the clear elucidation of what happened near the branching unit, how it could be prevented, and how we can recover the function of our cable system are anticipated, and then we expect earlier restoration of the real time observation system.

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 - 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、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。

その詳細については、前章で述べた。ここでは海底設置・接続を終えた地磁気電場観測装置から得られた観測データの状況と、それらデータに見られる特徴的な事柄について報告する。

2. 観測開始とデータ収録の状況

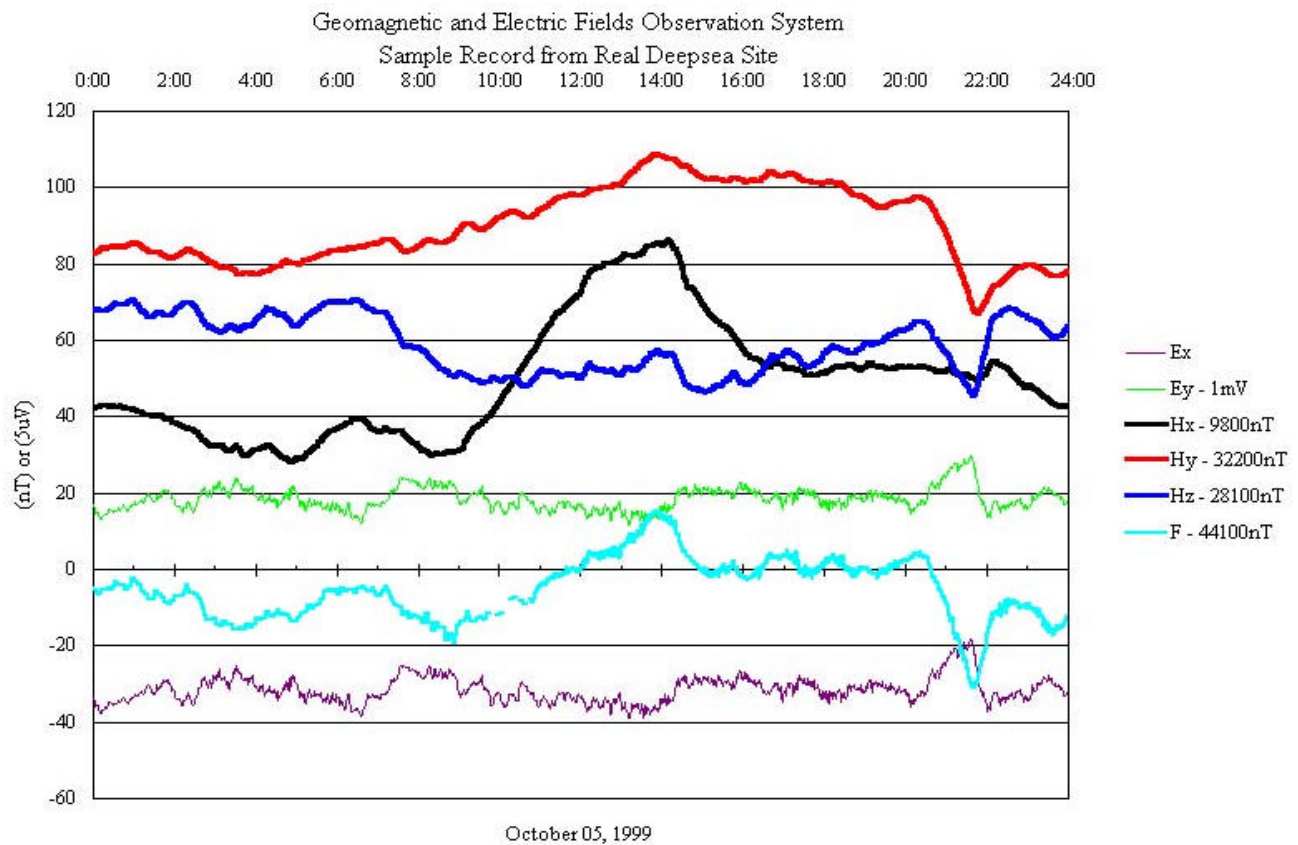
前章で述べたように、地磁気電場観測装置の設置・接続を終えたのは1999年10月3日であり、直後の動作試験において、12:01 JST のデータを沖縄中継局で受信したのを最初に、その後の各観測機器の接続・動作確認作業等によ

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1図に1日分の取得データの例を示す。

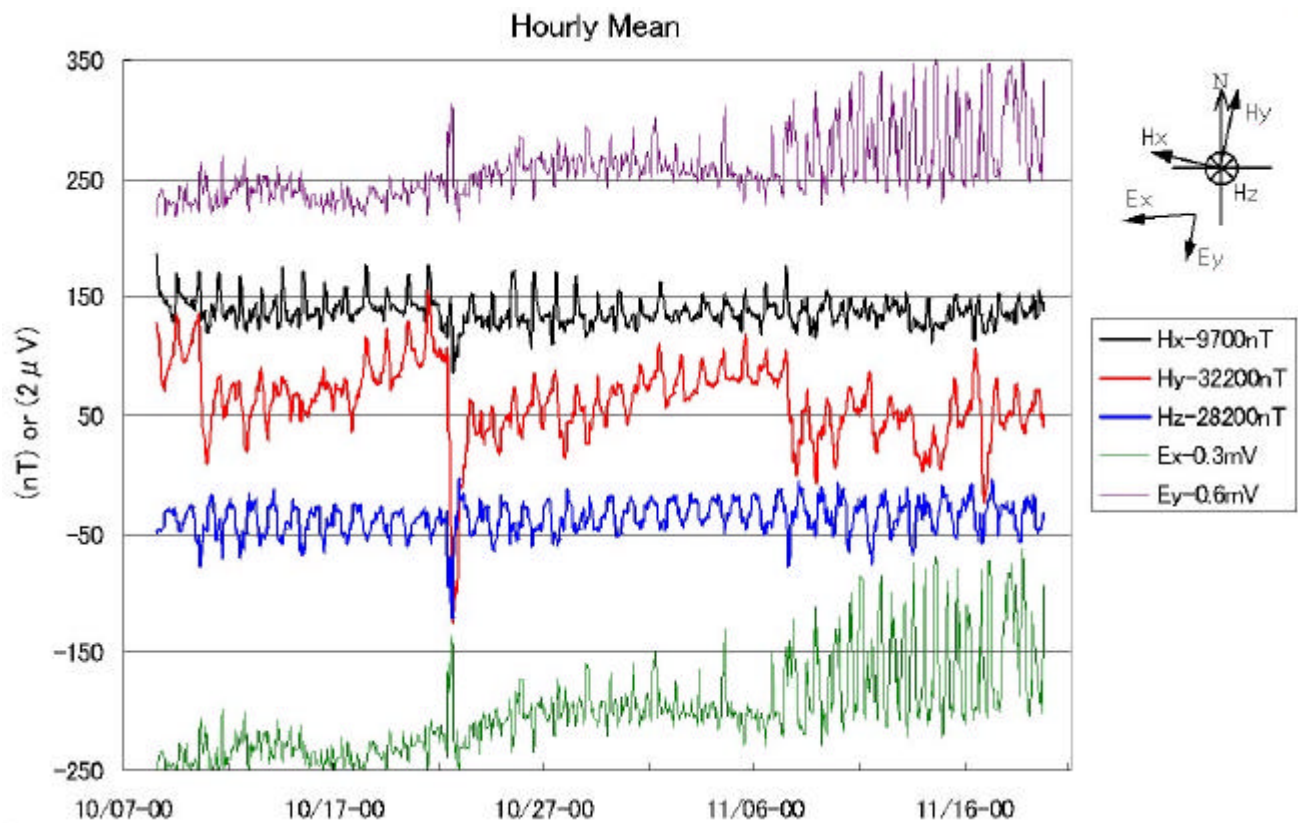
10月3日以降にも、他の観測装置の接続・動作確認作業にともなう電源供給停止やデータ伝送停止があったが、10月8日 13:15 JST 以後 11月19日 19:44 JST までの連続データの収録が行われた。

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地磁気電場観測データは、11月20日 16:43 JST のものである。

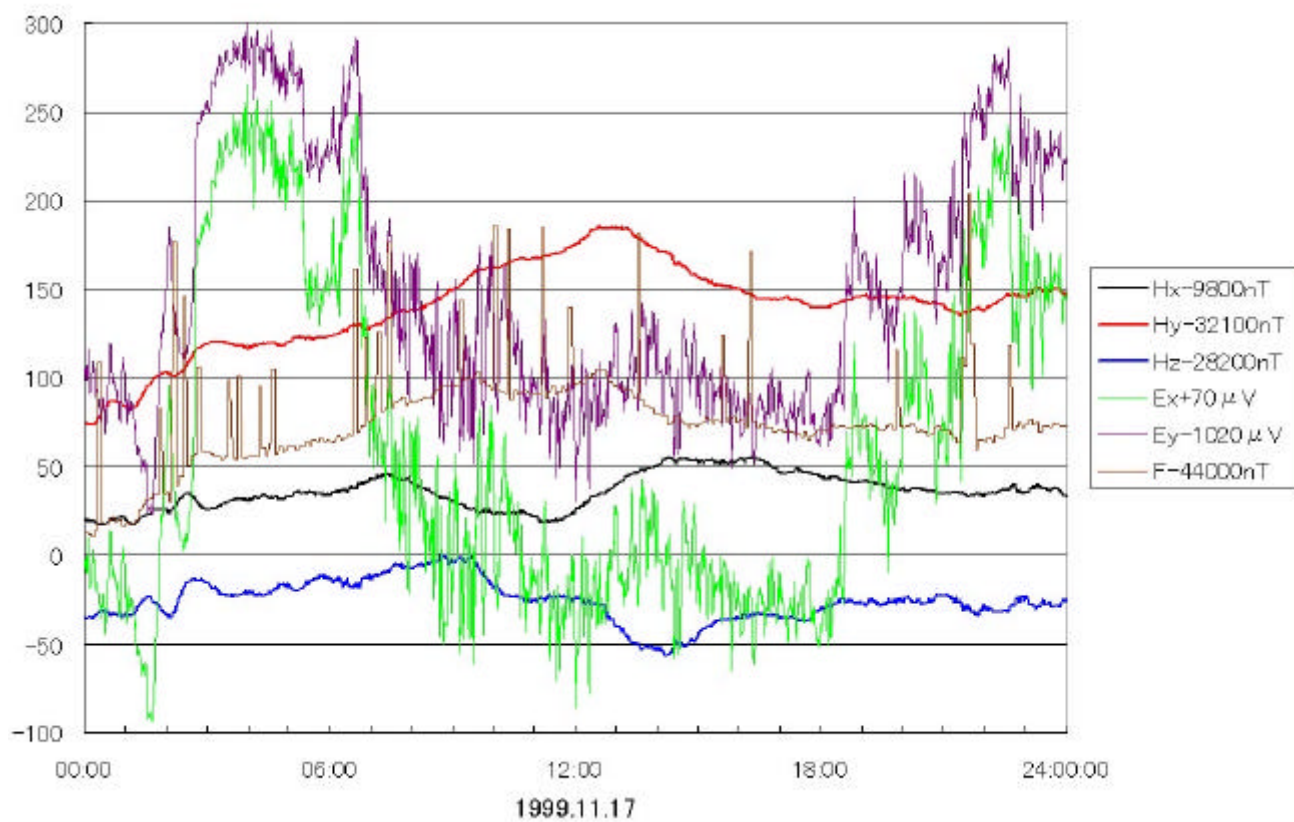
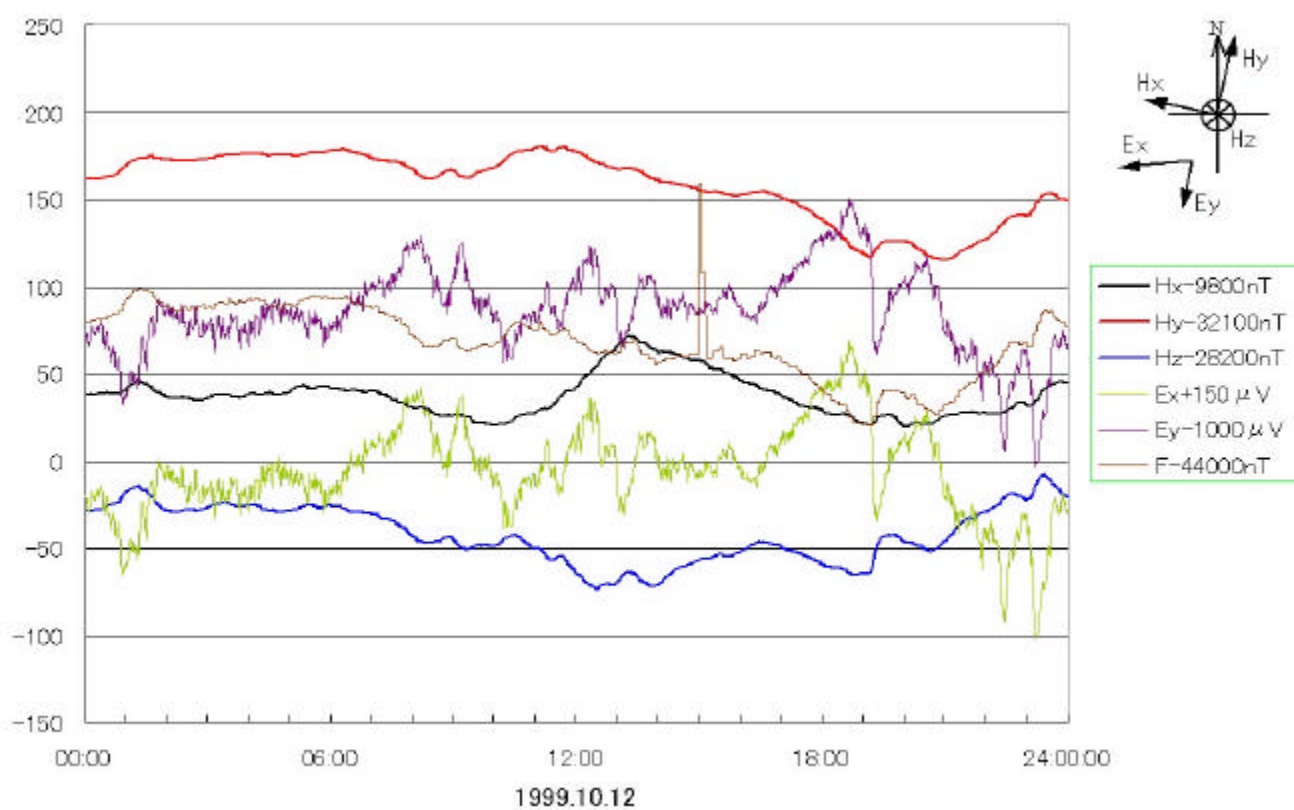
その後、不具合原因の解明と復旧の手だての検討が行われ、現在、水中テストを用いた原因箇所の詳細把握の予定



第1図 地磁気電場観測装置の1日分の収録データ例



第2図 1999年10月8日から42日間の地磁気電場観測データ(1時間平均値)



第3図 地磁気電場観測装置の観測開始の初期（1999年10月12日）と不具合発生で観測停止となる少し前（11月17日）の各1日分の観測データの比較（短周期ノイズの増大が顕著に見られる）

が組まれている。なお、原因解明の一環として、1999 年 12 月 23 日に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ている。

3．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 2 図は、その全期間のデータを各 1 時間平均値で示したもので、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。また第 3 図には、その全期間のうち、前の方の 10 月 12 日と、終りに近い 11 月 17 日の各 1 日分の毎分値のグラフを示す。この第 3 図では、1 時間平均値では判断できないより短周期についても電場測定値に大幅な変動が現れるようになったことがわかる。第 2 図・第 3 図ともに、電場測定値の $E_x \cdot E_y$ 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である可能性がある。

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ると思うに任せず、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、図の右側上寄りに矢印で示した如くであり、スパンは E_x が 20m E_y が 17m 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る必要がある。

第 2 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 4 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 4 図は、第 2 図と同じ地磁気 3 成分の変化と地磁気観測所による柿岡での地磁気 3 成分観測データを対比して示したものである。柿岡の

データは、東京大学地震研究所の地磁気データベース（同所の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。] その毎分値データベースから、毎時値(瞬時値)をプロットし、海底地磁気電場観測装置の 1 時間平均値と対比してある。上下両図を比較してわかるように、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とれる。

4．電場データに含まれる異常な信号

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 5 図には、その電場 2 成分の 30 分間のデータをプロットした例を掲げてある。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畳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。

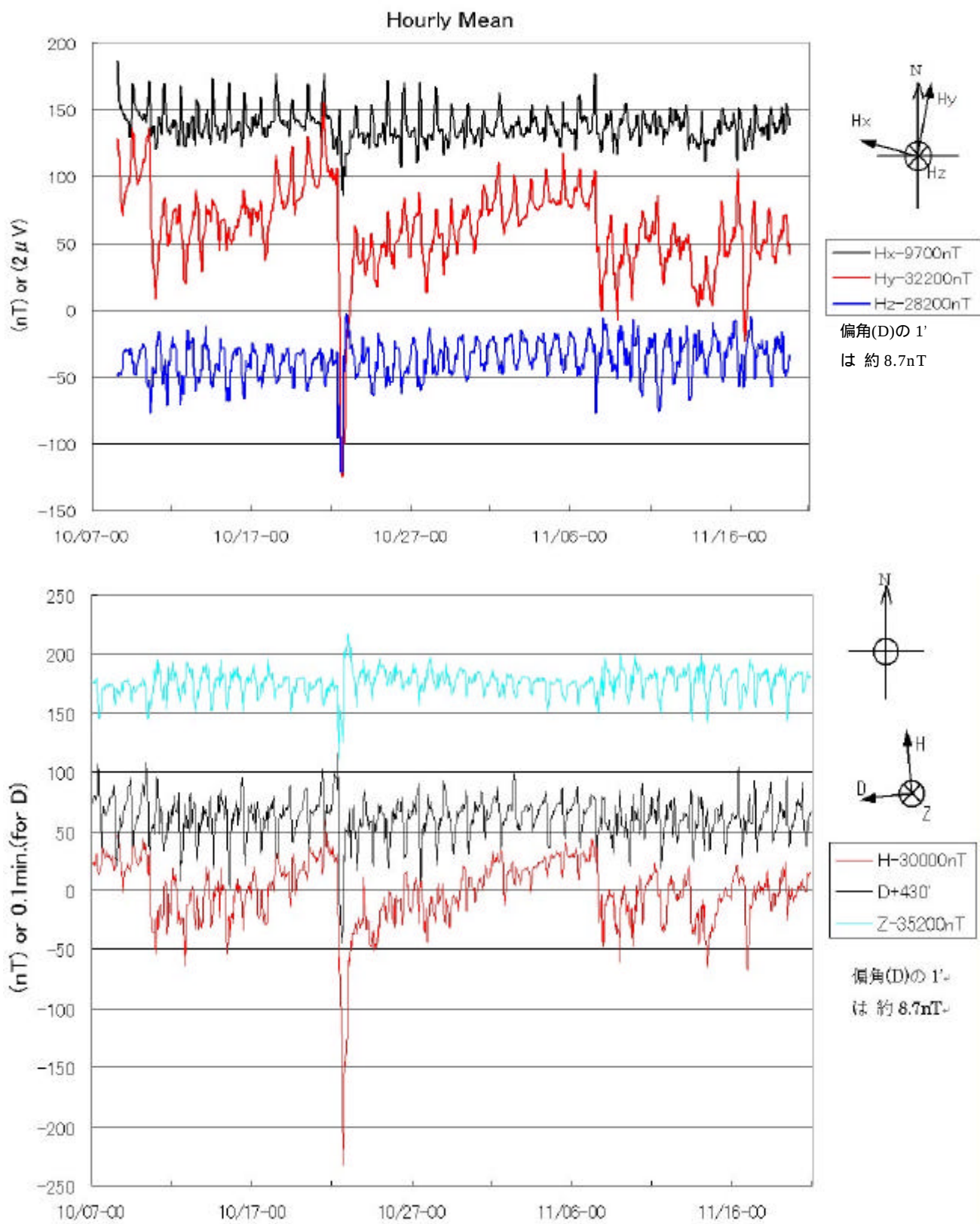
観測装置からデータ伝送中継器へはカレントループによる非同期シリアル伝送が用いられており、その信号電流は中継ケーブルを流れる。しかるに、中継ケーブルの展張にあたっては、底層流の影響で「かいこう」の操縦が必ずしも思わしくなく、結果として、中継ケーブルが E_y 成分の電極ケーブルと 2~3m の間隔で平行する状況となった。第 5 図のノイズが E_y 成分にのみ現れるのは、そのためであろうとも考えられる。しかし、ステップ変化の場として検出されるためには実効的に交流分を検波するような状況が必要であり、実態はつまびらかではない。逆に、このデータ伝送信号のカレントループがデータ伝送中継器から漏れ出したとすると、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。

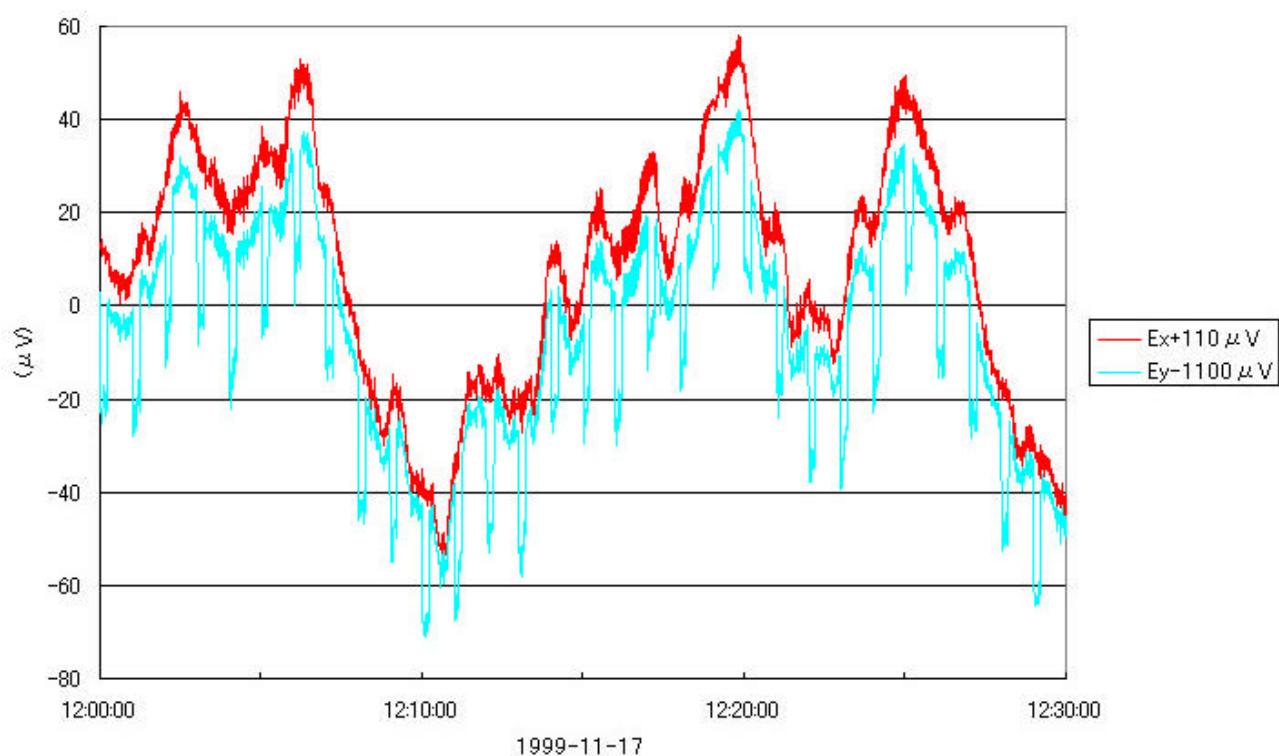
5．自然現象による電磁場変動の把握

地磁気電場観測装置から得られたデータについては、現在のところ、そ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、現在進行中である。

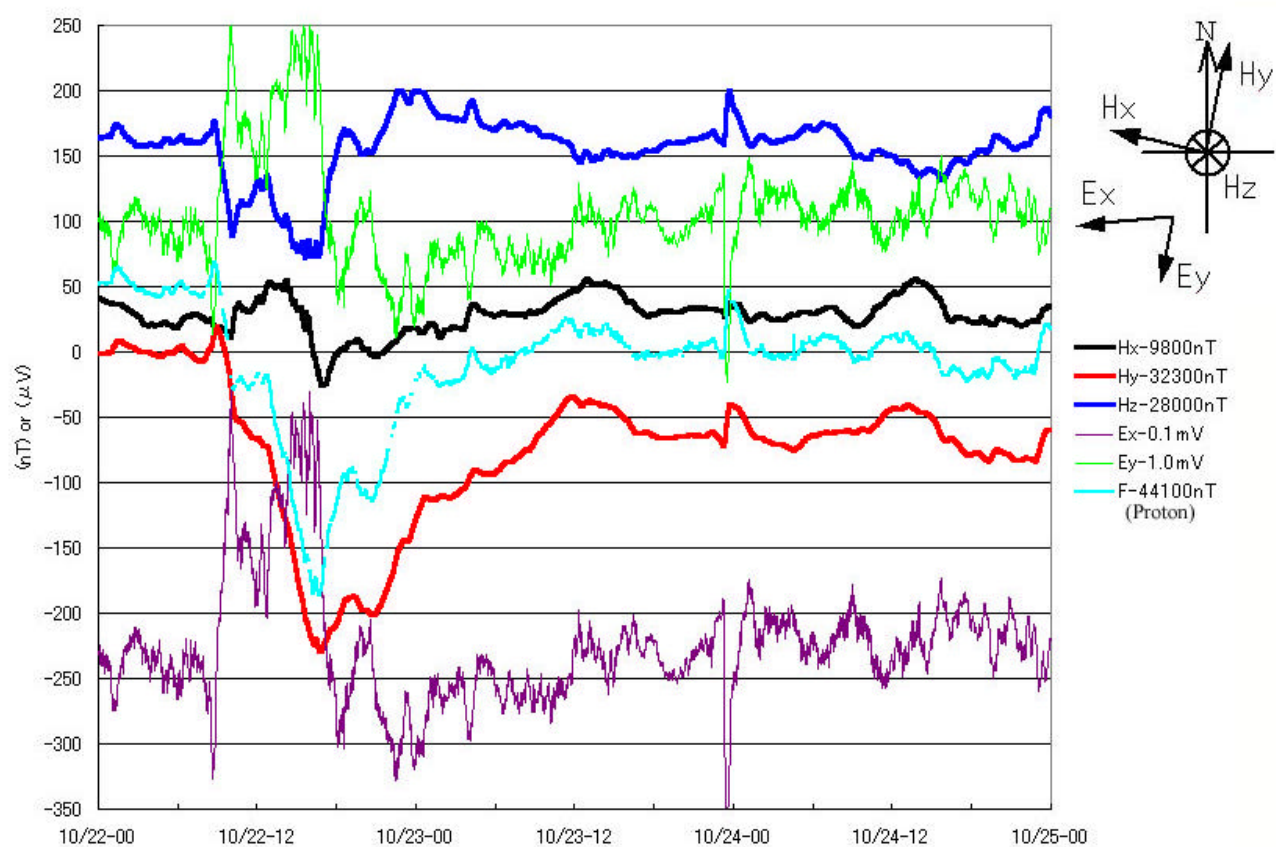
それらの結果については、機会を改めて報告することとするが、ここに提示したデータに注目するだけでも、変動電磁場を正しく捉えていることが確認できる。ここでは、1999 年 10 月 22 日に発生した顕著な地磁気嵐とその誘導電場および引き続き電磁場変動を捕捉した例を第 6 図に示す。



第 4 図 海底地磁気電場観測装置 42 日間連続観測データの地磁気 3 成分（上：1 時間平均値）と地磁気観測所（柿岡）での同時期の観測データ（下：毎時値 = 瞬時値）の対比．



第 5 図 電場 2 成分の 30 分間の毎秒値のプロット例



第 6 図 地磁気嵐時の海底地磁気電場観測装置の記録例 (1999-10-22 ~ 24)

6. おわりに

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

のと思われる。

なお、データ伝送中継器の不具合が電氣的な現象を伴っていてその周辺に電氣的な場を作り出している筈であること、地磁気電場観測が連続観測でありデータ伝送状況のモニタの役割をも果たしていることを考えあわせると、海底地磁気電場観測装置の測定記録は、不幸にして生じたデータ伝送中継器 / 分岐装置の不具合の原因解明にとっても重要な情報源の一つと考えられる。従って、ここにその測定記録のデータチェック結果のサマリーを付録として掲げておくこととする。

< 付録 > 地磁気・電位差計モニタ PC の収録データ Summary (時刻は JST)

(この収録データは、受信パケットの簡単な FormatCheck にパスすれば、PC 内部時計のタイムスタンプを付して記録されるため、受信パケットの時刻データのくずれや Format の軽微な異常は、検出できない。PC 内部時計は、調査の結果、1 日に 12 秒程度進む状況にあったことが判明しているため、その分の補正は済ませてある。)

991003 12:01 : First Data (地磁気電位差計接続後、 単独動作試験開始)	991028 01:08-01:10 NoData (A)
12:06-12:08 NoData (一旦動作停止、 各観測機器逐次動作へ)	22:13 NoData (A)
13:04 NoData (PC 操作のためデータ収録停止?)	991029 08:20 NoData (A) 10:20 NoData (A)
13:24 Fluxgate Abnormal Range 3	991030 13:48 NoData [B]
17:15 NoData (PC 操作のためデータ収録停止?)	17:25 NoData <FormatError>
991004 07:16 NoData (??)	991031 11:16 NoData (A)
10:44-12:16 NoData (精密測距#2 接続作業)	991101 10:17 NoData (A)
12:39-13:43 NoData (精密測距#3 接続作業)	991102 05:30 NoData (A) 16:17 NoData [B]
13:58-14:46 NoData (精密測距#1 接続作業)	991103 13:50 NoData [B]
991006 04:07 Fluxgate Abnormal Range 1	991104 03:38 NoData (A) 08:21 NoData (A)
10:46-11:43 NoData (移動体観測接続作業)	11:06 NoData (A) 16:06 NoData [B]
11:48-11:57 NoData (移動体観測接続作業)	991105 14:39 Fluxgate Abnormal Range 3
16:38 Fluxgate Abnormal Range 1	20:11 NoData <FormatError>
18:46 Fluxgate Abnormal Range 3	21:07 NoData (A) 22:20 NoData [B]
991008 13:13-13:24 NoData (給電停止?)	991106 02:51 NoData (A) 11:20 NoData (A)
991010 07:31 Fluxgate Abnormal Range 1	12:58 NoData <FormatError>
991015 02:01 Fluxgate Abnormal Range 3	14:33 NoData (A) 20:42 NoData [B]
06:51 Fluxgate Abnormal Range 3	991107 10:05 NoData (A) 10:34 NoData (A)
991017 06:51 Fluxgate Abnormal Range 1	19:16 NoData [B]
991023 00:42 NoData (A)	991108 07:51 Fluxgate Abnormal Range 1
17:33 NoData [B]	15:09 NoData [B] 19:25 NoData (A)
991024 08:45 Fluxgate Abnormal Range 3	19:43 NoData (A)
991025 00:35 Fluxgate Abnormal Range 3	991109 03:25 NoData (A) 12:47 NoData (A)
12:05 NoData [B]	15:40 NoData [B]
991027 05:33 NoData (A)	991110 00:34 NoData (A) 01:12 NoData (A)
	08:49 NoData (A) 16:25 NoData (A)
	991111 06:36 NoData (A) 11:24 NoData (A)

23:39 NoData (A)
 991112 06:42 NoData [B] 13:50 NoData (A)
 991113 04:36 NoData <FormatError>
 991114 11:27 NoData (A) 14:29 NoData (A)
 21:10 Fluxgate Abnormal Range 1
 991115 00:18 NoData (A) 13:02 NoData (A)
 22:44 NoData [B]
 991117 07:21 Fluxgate Abnormal Range 1
 991118 01:31 NoData (A)
 991119 00:11 NoData (A) 04:50 NoData (A)
 08:54 Fluxgate Abnormal Range 1
 12:16 NoData (A)
 19:45-21:54 NoData
 <分岐装置からの給電 19:45 頃自動停止：長屋氏報告，
 その後 21:55 頃の手動給電開始から，22:09 頃の再度
 の給電自動停止まで，14 分間データを受信>
 22:09- NoData
 991120 -15:49 NoData
 <野田氏らによる JAMSTEC での試験>
 15:52-16:22 NoData
 <15:50-51(2 分)と，16:23-43(21 分)のデータを受信>

991120 16:43 : Last Data

上記のうち，

- ・NoData (A) は，JAMSTEC での収録データでも(単発での)データ欠落になっている。(データ packet が来なかった．packet が途中で終りになった可能性もある)
- ・NoData [B] は，JAMSTEC での収録データでタイムスタンプ異常データになっている。(1 分の位に<0x84>が入る．10 分の位は space になることが多い.)
- ・NoData <FormatError> は，JAMSTEC での収録データも Format エラーを検出している。(計 4 回の内，1 回は space が改行に文字化け，3 回は packet の終りの方で同期喪失)
- ・それ以外の NoData は，概ね原因がわかっている．
- ・Fluxgate Abnormal Range 1/3 は，データは受信しているものの，Fluxgate 磁力計のレンジデータが 1 成分だけ/3 成分とも 000 になっている．
 (JAMSTEC での収録データから，受信データに NULL コードが入ったためと判明)

(以上)

【 付記 】

本報告は，2000 年 3 月末の時点でのとりまとめを行ったものであるが，その後，2000 年 5 月には「かいれい / かいこう」を利用した Venus 観測システムの状況調査と各観測機器の海水との絶縁確保状況テストが実施された．本報告の記述に関連して，その調査等で明らかになった点について補足の記述を加えておく．

本文の 4. 節において，「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」と記した．しかし，地磁気電場観測装置の詳細回路を検討したところ，電極は装置とデータ伝送中継器とをつなぐ電源線・データ伝送信号線のいずれとも絶縁が確保できる設計になっており，耐圧容器破損などの故障がない限り『電流の戻り口』にはならないことが明らかになった．実際に 5 月の「かいれい / かいこう」での海中テスターを用いた試験で，何ら絶縁性に問題のないことが確認できている．

従って，4. 節で「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」と記したように，第 5 図に典型的に示されている電場変化は，毎分値やそれより長い周期の変動を議論する上で何ら問題はないが，(ケーブルのレイアウトを含めた)観測装置側の特性を示すものであり，予期しない性能上の問題点が現れたものと考えざるを得ない．現時点では，その原因の推定はできておらず，今後の課題と考えている．

しかし，第 3 図の上下で象徴的に示された短周期ノイズの増大などを電場センサーが捉えたことの信憑性が揺らぐものではなく，6. 節で述べたように，「海底地磁気電場観測装置の測定記録は，不幸にして生じたデータ伝送中継器 / 分岐装置の不具合の原因解明にとっても重要な情報源の一つと考えられる」ことに変わりはない．

(以上)