

相模湾初島沖海底ケーブルによる電界変動計測

岩瀬 良一^{*1} 後藤 忠徳^{*1} 藤縄 幸雄^{*2}
松本 拓己^{*2} 高橋 耕三^{*3}

伊豆半島東方沖の群発地震活動等と密接な関係を有すると考えられる地下流体の移動を検出する試みとして、相模湾初島沖深海底総合観測ステーションの全長約9kmの海底ケーブルを用いた電界変動連続観測を、2002年3月末より開始した。観測開始当初、初島沖ステーションは改修工事のため回収され、海底にはケーブルのみが敷設された状態であったが、この海底ケーブルを海水と絶縁した状態でアンテナとして用いた。ステーションを再設置した2002年11月以降はケーブル先端に電極を取り付けてケーブル両端の地電位差を計測する方式とした。全期間を通じて、電車の漏洩電流等によると思われる人工ノイズや、雷並びに降水による変動が観測された。ステーション再設置後は地磁気変化に誘導された地電位変動の影響が大きい。またDC成分には直線的な電位変化の傾向も見られる。観測期間中は顕著な群発地震活動がなかったこともあり、地下流体の移動と結びつくような変動は観測されていない。地下流体の移動検出のためには、今後観測を継続し、各種の変動原因を見極め、定量的な解析を行う必要がある。

キーワード: 電界変動, 海底ケーブル, 地下流体, 相模湾初島沖, 群発地震

Observation of electric field changes using submarine cable on seafloor off Hatsushima Island in Sagami Bay

Ryoichi IWASE^{*4} Tadanori GOTO^{*4} Yukio FUJINAWA^{*5}
Takumi MATSUMOTO^{*5} Kozo TAKAHASHI^{*6}

Observation of electric field changes by using a 9km long submarine cable of the long term deep seafloor observatory off Hatsushima Island in Sagami Bay has been carried out since the end of March 2002, trying to detect electric field anomalies induced by ground fluid movement that are thought to be related to earthquake swarm activity. At the beginning, the observatory was recovered from the seafloor for repair and the submarine cable, which was used as an antenna, was electrically isolated from seawater. Since re-deployment of the observatory in November 2002, an electrode was connected at the end of the submarine cable and voltage between both cable ends has been detected. Artificial noises that seem to be caused by trains, and anomalies caused by thunders and rainfalls were observed throughout all observation period. After the re-deployment of the observatory, geo-electric field changes induced by geomagnetic field changes were dominant and DC component of the voltage was decreasing linearly. Anomalies related to the ground fluid movements have not been observed, partly because significant earthquake swarm has not occurred during the observation period. In order to detect the anomalies related to the ground fluid movements, further observation, identifying the cause of each electric field change, and quantitative analyses are necessary.

Keywords : Electric field changes, Submarine cable, Ground fluid, Off Hatsushima Island in Sagami Bay, Earthquake swarm

*1 海洋科学技術センター

*2 独立行政法人 防災科学技術研究所

*3 独立行政法人 通信総合研究所

*4 Japan Marine Science and Technology Center

*5 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

*6 Communications Research Laboratory

1. はじめに

近年地震活動における地下流体の果たす役割が注目されており(藤井, 2002など), MT (magneto-telluric) 法による地下の比抵抗構造解析など, 電磁気学的な手法による地下流体分布の解明が試みられている(小川, 2002)。また地震に伴う電磁界変動については従来から様々な研究がなされているが, 地震観測用の陸上ボアホール内のケーシングパイプを超長電極として用いた電界変動の観測により, 地震活動に関与する地下流体の移動を検出する可能性が指摘されている(Fujinawa et al., 2000)。1979年以降群発地震が繰り返し発生してきた伊豆半島東岸の伊東沖海域では, この手法を海域に応用し, 群発地震域の南側に敷設されている伊豆大島-伊東間の通信用海底ケーブルの耐圧銅パイプを海底長大アンテナとして用いた電界変動観測が試みられている(藤縄ほか, 2002)。

一方, この群発地震域の北東に位置する相模湾初島沖深海底は, 地殻熱流量の異常を伴った冷湧水域が存在する特異な場所であり(岩瀬・町山, 2002), ケーブル型海底観測システム(深海底総合観測ステーション)による深海環境の長期観測が1993年より実施されている(Momma et al., 1998)。このステーションでは, 水深1,170mの冷湧水域に設置された海底ステーション本体が, 静岡県熱海市の沖約

11kmに位置する初島にある陸上局と光電気複合ケーブルで接続されており, 地震観測の他, 海底画像, 底層流, 水温, 塩分濃度, 精密水圧等のリアルタイム観測が実施されている。現在稼動しているステーションは2代目で, 2000年3月に設置されたものである(岩瀬ほか, 2001)。但し, 2002年3月に改修工事のためステーション本体は回収され, 同年11月8日の再設置までは海底ケーブルのみが海底に設置されていた(Iwase et al., 2003)。

海洋科学技術センターと防災科学技術研究所では, 2000年度から2002年度にかけて共同研究「海底ケーブルによる電界変動計測の研究」を実施し, 藤縄ほか(2002)の手法をこの初島沖ステーションに適用し, ステーションの海底ケーブルをアンテナとして用いた電界変動観測を開始した。ステーションで得られる深海環境データとも対比することで, 従来あまり行われていない電界変動に及ぼす深海環境変動の影響を評価することも可能である。本稿ではこの研究の概要とこれまでに得られたデータについて報告する。

2. 観測方法

初島沖ステーションの海底ケーブルは, 電気4芯と光ファイバ12芯からなる全長8,769mの光・電気複合ケーブルで, 初島を起点として南東方向の沖合に敷設されている(図1)。

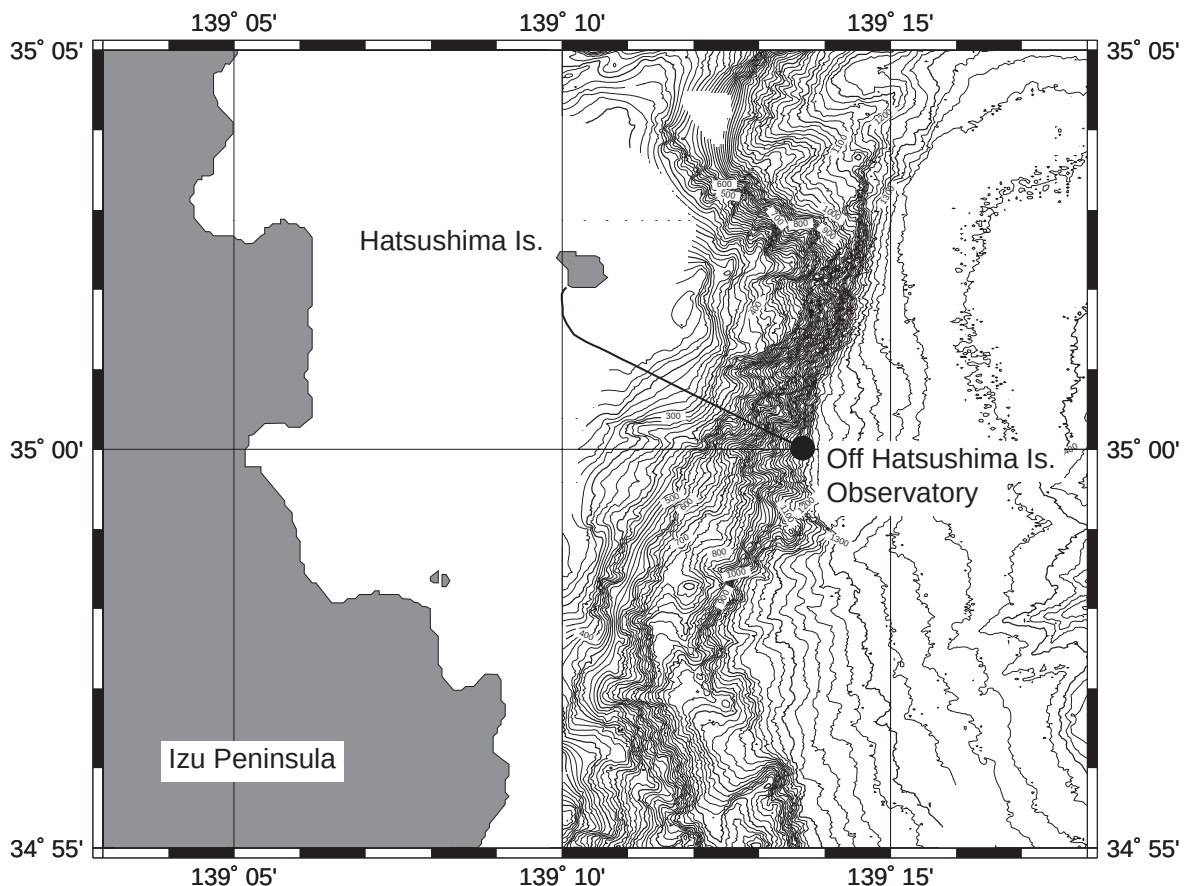


図1 相模湾初島沖深海底総合観測ステーションの位置と海底ケーブルルート

Fig. 1 Location of the long term deep seafloor observatory off Hatsushima Island in Sagami Bay and submarine cable route

このうちの8,170mが海中にあり、残りの約600mが汀線から陸上局まで、初島島内を引き回されている。島内では陸上局を出たところから約140mが、東京電力の電柱及び自営柱各2本による架空線（空中配線）であり、そこから先は海岸まで埋設されている。そして海岸で地表に出て防護管を取り付けられた状態で海に入っている。ケーブルは水際部分を含め海中では埋設せずに海底面上に設置されている。ケーブルのステーション本体側先端から8,438mは鉄線二重外装で、残りは架空部分を含め、無外装（ポリエチレン・シースのみ）である。鉄線二重外装部分のケーブル構造を図2に示す。無外装部分では図2のInner sheathと示された部分より外側がないケーブル構造となっている。ケーブルの電気4芯のうち、2芯を1対として海底ステーションへの直流給電に使用

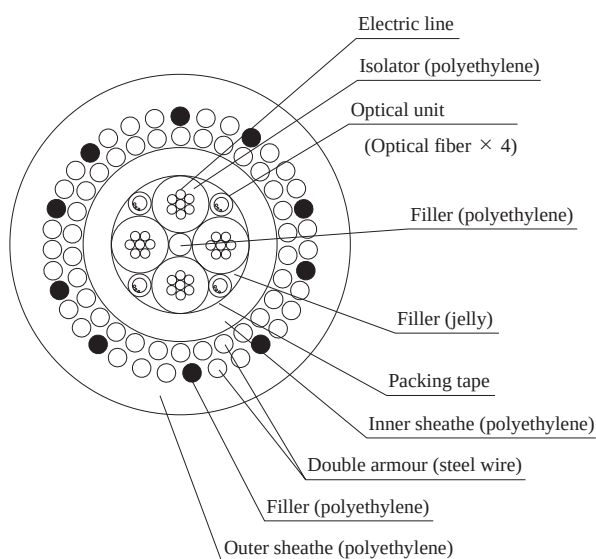


図2 海底ケーブルの構造
Fig. 2 Submarine cable structure

されているが、残りの2芯は給電用の予備線として海底側先端に水中着脱コネクタが取り付けられ、海水と絶縁された状態でステーション本体に固定されており、普段は使用されていない。本研究ではこの予備線の一つを電界変動計測用のアンテナとして用いることとし、初島陸上局内に電界変動計測装置を設置し、局内でこの予備線に接続した。計測装置の信号検出回路は、藤縄ほか(2002)と同じであり、防災科学技術研究所が関東・東海地域に展開しているボアホール式地中電界計測装置に用いられているもので、DC (0～0.7Hz), ULF (0.01～0.7Hz), VLF (1～9kHz)の3つの周波数帯域で同時に計測している。但し、データのサンプリングとデータの転送方法に変更を加えた。従来方式では300Hzでサンプリングして3秒間の最大最小値を記録していたのに対し、本研究では0.25秒間の最大最小値を記録するように（つまりデータ量は12倍）した。またデータ転送は、従来は公衆回線とモデムを用いたダイヤルアップ方式で専用線を介して1日分1ファイルを防災科学技術研究所に転送していたのに対し、本研究では初島沖ステーションのデータ転送専用線を使用し、海洋科学技術センター横浜研究所（2002年5月以前は横須賀本部）にファイル転送するようにした（図3）。

以上のような電界変動計測システムが完成し、定常的に観測を開始したのは、改修工事のためにステーション本体が回収された2002年3月末からであるが、その後の同年11月再設置などに伴い、観測期間によってケーブルの接続形態が異なっている。したがって計測条件も異なっている。アンテナとして用いたケーブルの給電用予備線の回路構成を図4に示す。

全期間を通じて、陸上側は給電路として使用する際の雷サージ対策用に中点アース回路が構成されている。計測装置を接続する前の元々の給電用予備線1対の回路構成は、図4(a)に示すとおり、海底側はオープンで海水とは絶縁されていた。

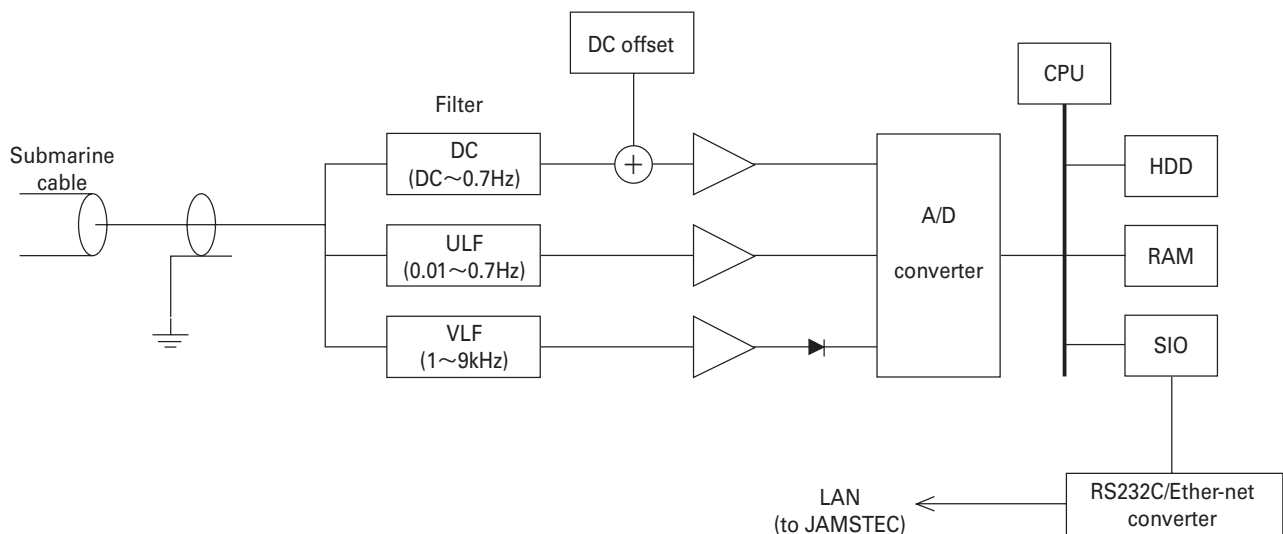


図3 電界変動計測装置ブロック図
Fig. 3 Block diagram of electric field change observation system

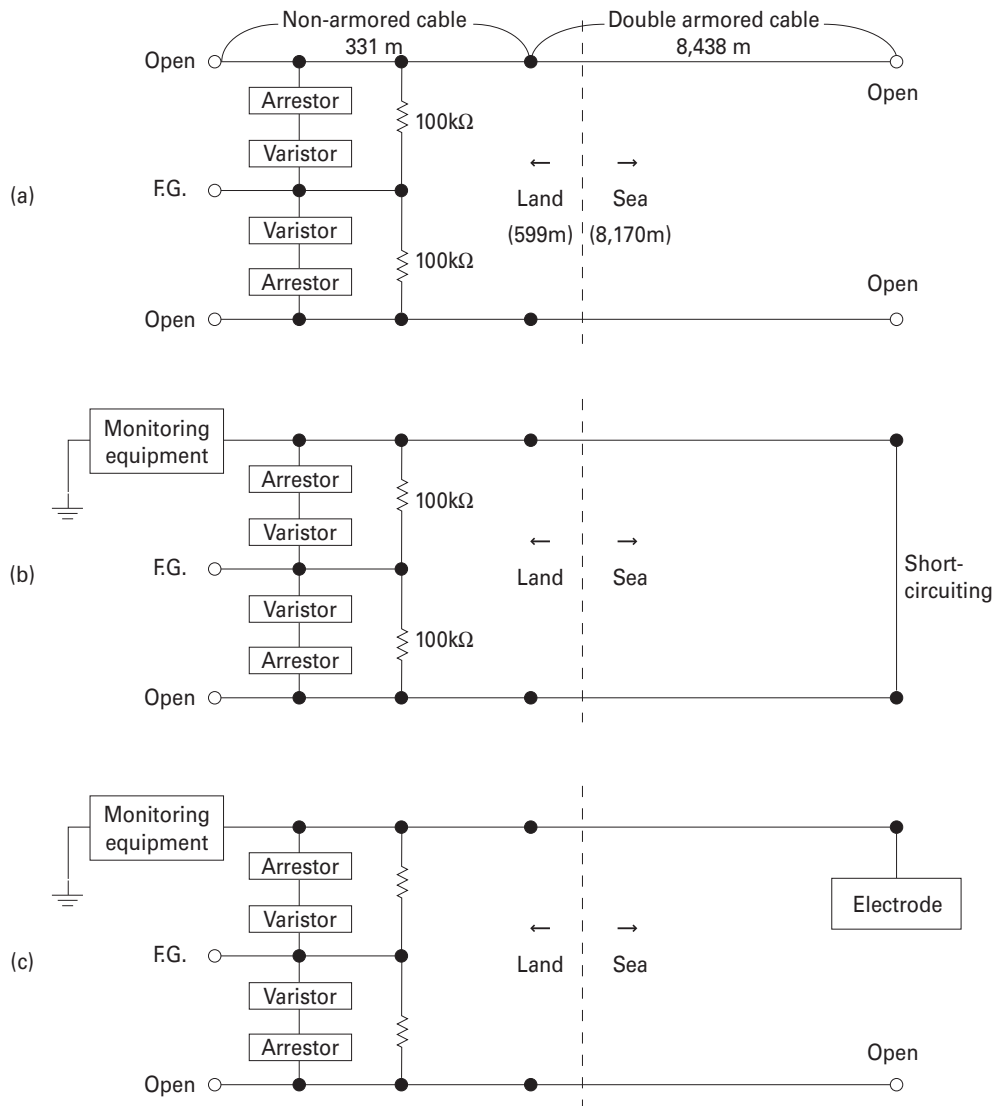


図4 海底ケーブル接続図

- (a) 初島沖ステーション回収前(2002年3月以前)
- (b) 初島沖ステーション回収後(2002年3月-2002年11月)
- (c) 初島沖ステーション再設置後(2002年11月以降)

Fig. 4 Circuit diagram of submarine cable

- (a) Before recovery of the observatory (Before March, 2002)
- (b) After recovery of the observatory (March - November, 2002)
- (c) After re-deployment of the observatory (Since November, 2002)

2002年3月末のステーション本体回収から同年11月8日の本体再設置までの間は、工事中のケーブル断線検出のために、海水と絶縁させたまま一対の予備線の水中側を短絡させていた(図4(b))。つまり、アンテナとしては先端が折り返された2本の電線を使用した形になっている。

2002年11月8日のステーション本体再設置に際し、ケーブル両端の電位差が計測できるように、予備線の海底側端に新たに電極(銀-塩化銀平衡電極)を取り付け、海水アースとした(図4(c))。ステーション本体の再設置は、海底ケーブルを海底側端から作業船により引き揚げ、船上でケーブル先端にステーション本体を接続した後海底に再設置するという方法

をとった。電極は船上で水中着脱コネクタを介してケーブルに接続した。その際、電極そのものは、塩水を満たし上面のふたを取り外したプラスチック製の容器に入れ、ステーション本体のフレームに仮固定し(図5)、ステーション本体再設置後、無人探査機によりフレームから外して海底に設置した。

電界変動計測装置の基準電位となる陸側電極(アース)は、2002年3月末の観測開始当初は、直径1cm長さ1mの銅製の丸棒を陸上局建屋脇の地中に埋設して使用した。ステーション再設置後の2003年1月30日に、これを水中部の電極と同一の銀-塩化銀平衡電極に交換した(図6)。

なお、計測データの刻時には計測に用いているパソコン



図5 海底ケーブルに取り付けられたシーアースステーション海底設置後、海底に設置された

Fig. 5 Electrode connected to the end of the submarine cable
After the observatory was re-deployed, the electrode was put on the seafloor

の内部時計を使用しており、自動で時刻補正を行う機能はない。またDC成分はドリフトによりスケールアウトすることがあり、時々オフセット調整が必要となる。さらにパソコンがハングアップして欠測することもあるが、初島陸上局は普段は無人であるため、現地観測のタイミングでパソコンの時刻較正とハングアップ時のパソコンの再立ち上げとともに、オフセット調整を手動で適宜実施している。現地観測の頻度は、2002年11月のステーション再設置以降は週1回であるが、それ以前は数ヶ月に1回程度と不定期であった。時刻のずれは最大で47秒である。

3. 観測データ

前述のように、アンテナとして用いた海底ケーブルの給電用予備線の接続形態の相違のため、観測期間によって電界変動の計測条件が異なり、計測条件から、(1) 定常観測を開始した2002年3月31日から同年10月31日までと、(2) ステーション本体を再設置した2002年11月8日以降の2つの期間に大別される。後者はさらに2003年1月30日に陸側の電極を交換したため、この前後で計測条件が若干異なっている。

3.1. 2002年3月31日ー2002年10月31日の観測データ

この期間は、海底のステーション本体が回収され、海底ケーブルのみが海底に設置されており、図4(b)の接続構成、つまり海底端で折り返され海水と絶縁された2本の給電用予備線がアンテナであり、陸上の電極は銅棒を使用している。

この期間のデータを図7に示す。この図には比較のため初島に一番近い気象官署である対岸の気象庁網代測候所の気温及び降水量の1時間値もあわせて示した。

VLF帯域はノイズレベルが極めて高く、記録を細かく見ると数十分程度の間高いレベルが続いた後に突然レベルが下がるなど、矩形的な形状を規則的に示すことが多く、変動の傾向から人工的なノイズ源によるものと思われる。



図6 陸上電極(2003年1月30日設置)

Fig. 6 Electrode on land (Installed on January 30th, 2003)

ULF帯域では、全期間を通じて信号レベルが午前1時から4時ごろの間小さくなり、昼間に大きくなる日周変化が見られる。これは気象庁(2002)で報告されている淡路島の地電流観測の結果と同様な傾向である。気象庁(2002)では、淡路島対岸に位置する阪神地域における電車の漏洩電流がノイズ源として寄与している可能性を指摘している。一方、藤縄(2002)の伊東ー伊豆大島間の海底通信ケーブルをアンテナとして用いた観測記録では、同様な傾向は見られず1日を通してノイズレベルが小さい。この相違の可能性としては、ノイズ源と計測地点との距離や電車の運行規模の相違によることがあげられる。藤縄(2002)に比べ、本研究の計測点は熱海や湘南地域などのより大きな市街地に近いため、本研究の傾向も気象庁(2002)と同様、対岸の電車の漏洩電流がノイズ源である可能性が高いと考えられる。

ULF帯域とDC帯域では、図7で筋状に見られるような大きな変動がしばしば観測される。網代測候所の降水記録の大半が、これらの変動と相関があり、気象庁(2002)の指摘と同様、降水による漏洩抵抗の低下によって増加した電車の漏洩電流が変動原因の一つと考えられる。しかし網代測候所で降水を記録していないときでも変動が見られる場合も多い。最近では電力会社等により、雷の発生位置をリアルタイムで地図上に表示するサービスがインターネットを通じて提供されている。これらを参照すると伊豆近傍のみならず、北関東や新潟などで落雷もしくは雷雲が発生した場合にも、しばしばULF帯域とDC帯域に大きな変動が見られる。この期間中は雷の情報を常時参照していたわけではなく、すべての変動が雷の状況と対応させられたわけではないが、変動原因としては広域的な雷の影響が大きいと考えられる。

DC帯域では長周期の変動として、6月末から8月にかけての信号レベルの上昇が見られる。また特に7月以降は14時ごろに極大となる信号レベルの日周変化も見られる。これらの変動は網代測候所の気温変化と似たような傾向を示している。ケーブルの大半が海底にあるため、ケーブルに及ぼす気温の影響はそれほど大きくないと考えられる。一方、この

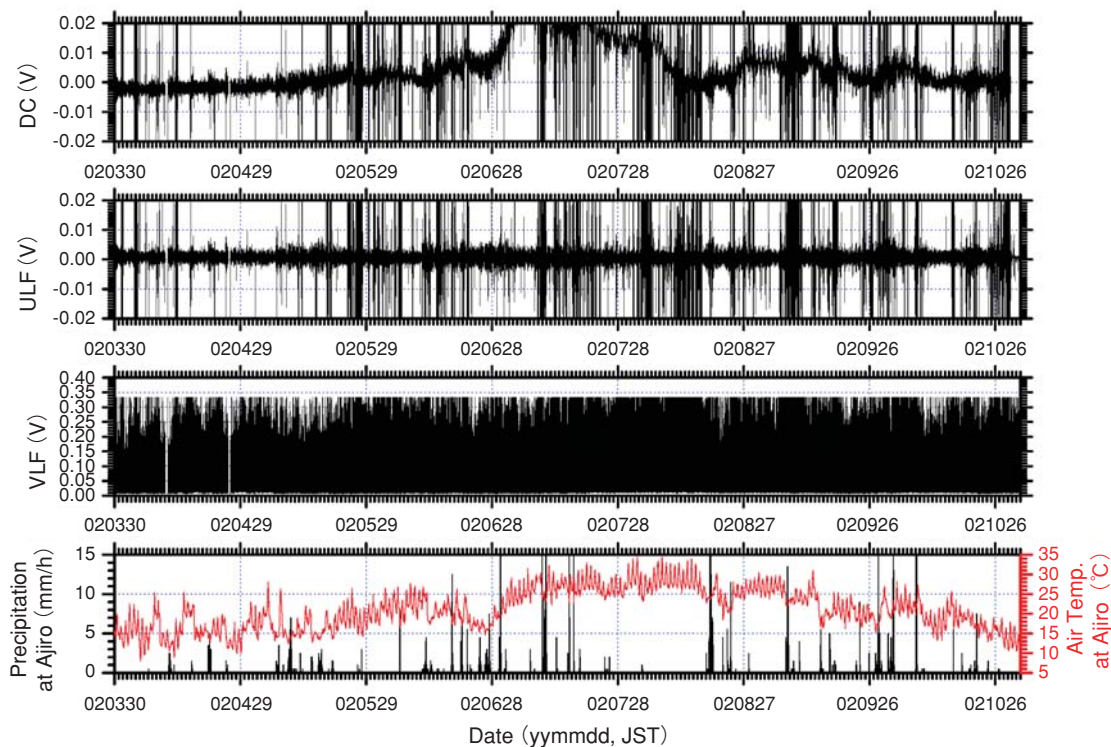


図7 電界変動記録と網代測候所の降水量・気温(2002年3月~10月)

上から, DC帯域, ULF帯域, VLF帯域, 降水量(黒), 気温(赤)

Fig. 7 Profiles of electric field changes observed by this study with precipitation and air temperature at Ajiro (March - November, 2002)

From top: DC band, ULF band, VLF band, precipitation (black bars) and air temperature (red line)

期間, ステーションの観測休止に伴い陸上局の冷房を停止していたため, 電界変動計測装置は気温の影響を受けており, 計測装置の温度特性が変動原因である可能性が考えられる。気温の影響を受ける可能性がある箇所としては, この他陸上側アースの接触抵抗なども考えられるが現時点では詳細は不明である。

この観測期間中では, 2002年5月8日から14日にかけて, 伊東沖で小規模な群発地震活動が発生したが, これ以外は顕著な群発地震活動はなかった。群発地震発生中には, いくつかのスパイク的な変化が見られるが, その前後に降水記録もあり, 地震活動との対応は明瞭ではない。群発地震後の5月26日夕方から27日終日にかけてDC及びULF帯域に断続的に変動が発生した。数時間程度で治まる通常の雷に比べて変動継続時間が長い。残念ながらこの間の雷情報は入手していないが, 関東, 東海, 中部, 新潟及び福島県の気象官署の降水量データを参照すると, この時間帯に広域的に降水が記録されており, 降水もしくは雷が変動原因であったと推定される。

2002年10月29日以降, ULF帯域の信号レベルが激減し, DC帯域ではスケールアウトしているが, これはステーションの再設置工事の事前準備として, ケーブルの導通及び絶縁計測をした後であることから, テスターや絶縁計による計測の後に十分な放電がなされなかったなどの人為的な要因により, ケーブルの荷電状態が変わってしまったためと考えられる。

3.2. 2002年11月8日以降の観測データ

ステーション本体の海底再設置後であるこの期間は, 図4(c)の接続構成, つまりアンテナとして用いている給電用予備線の海底側端に銀-塩化銀平衡電極を取り付け海水に接地した構成となっている。また陸上の電極を2003年1月30日に銅棒から海底端と同じ銀-塩化銀平衡電極に交換している。

海水接地電極を取り付けたのは, 陸上の電極との間でケーブル両端の電位差を計測することを目的としている。またステーション回収前の試験計測結果から, ケーブルを海水から絶縁した状態で電界変動計測を行った場合, ステーション搭載の観測装置の動作に伴う現用の給電線上の突入電流により誘導された電界変動が, アンテナとして使用している予備線上に発生し, 非常に大きなノイズとなることが判明しており, 計測条件を変えることでこの影響の変化を調べることも意図していた。

図8に2002年11月から2003年7月までの計測データを, 図9, 図10及び図11にこの期間のうち2003年6月の1ヶ月間のDC, ULF及びVLF各帯域の計測データをそれぞれ示す。図7と同様, 図8には比較のため気象庁網代測候所の気温及び降水量の1時間値もあわせて示した。欠測はパソコンのハングアップによるものである。

VLF帯域の変動は, ステーション再設置前と同じく, 人工的なノイズ源によるものと思われるノイズが大きい。

ULF帯域の変動は, バックグラウンドノイズのレベルが, ス

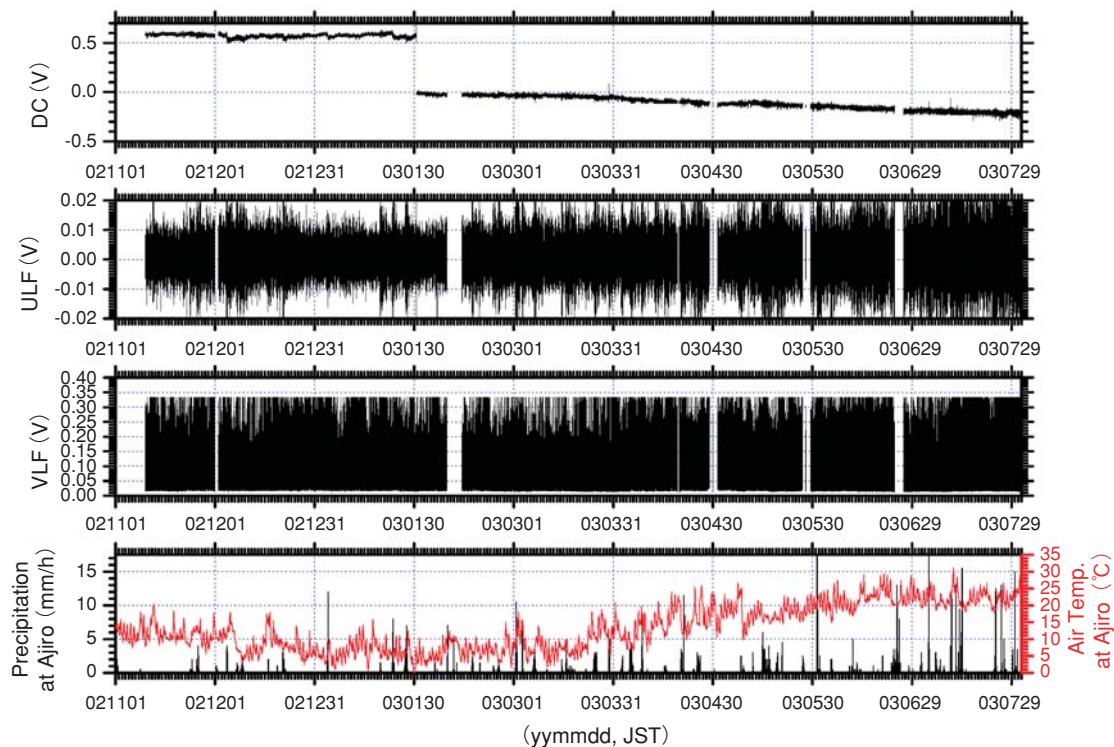


図8 電界変動記録と網代測候所の降水量・気温(2002年11月～2003年7月)

上から, DC帯域, ULF帯域, VLF帯域, 降水量(黒), 気温(赤)

Fig. 8 Profiles of electric field changes observed by this study with precipitation and air temperature at Ajiro (November, 2002 - July, 2003)

From top: DC band, ULF band, VLF band, precipitation (black bars) and air temperature (red line)

テーション再設置前より大きくなっている。信号レベルが大きくなる昼間の最大振幅が、再設置前は5mV程度であったが、再設置後は20mVを越えることがある。時間的な変動傾向は再設置前と同様、午前1時から4時ごろの間小さくなり昼間に大きくなる日周変化であり、再設置前と同じく電車の漏洩電流と推定される。信号レベルの相違は、再設置前は外部と絶縁されたケーブルの誘導電位を検出していたのに対し、設置後は地電位差に重畳された信号を検出しているためと考えられる。また、再設置後のデータは2003年4月頃から7月末にかけて信号レベルが漸増している。DC帯域でも2003年3月中旬から電位がほぼ直線的に減少する傾向が見られる。網代測候所の気温の変化に同時期から上昇傾向があり、温度特性による影響が考えられるが、気温ほどのばたつきは見られない。また再設置前と異なりこの期間中の陸上局内は空調が動作しており、計測装置への気温の影響は再設置前よりは少ないと考えられる。初島沖ステーションで計測された水温データにもこれと相関を有するような変動は見られない。まずは現在の構成による通年観測により、これらのトレンドが年周変化か否かを見極める必要がある。

DC帯域及びULF帯域にはこのほか毎日定時に発生する変動がある。例えば2時, 11時前及び17時に両帯域で明瞭な変動が見られる。ULF帯域では必ずしも明瞭ではないがDC帯域では4時にも明瞭な変動が見られる。これらもおそらく定時に運行する電車や貨物列車の漏洩電流など人工的

なものが原因と思われるが、発生源の特定には至っていない。なお、信号レベルが小さく、これほど明瞭ではないが、再設置前のデータにも同様の変動が見られる。

DC帯域の電位は、2003年1月30日の陸側電極の交換前は0.6V程度で一定であったが、電極交換直後にはほぼ0Vとなり、前述のように3月中旬以降はほぼ直線的な漸減傾向にある。電極交換による電位の相違は、材質の電極が異なっていたため、交換後は同材質(銀-塩化銀平衡電極)となっている。電極交換前の12月4日, 同21日, 1月3日, 同23日及び同27日に、最大で0.07V程度のステップ的な変動が見られるが、いずれも降水が記録されており、この期間の陸側電極として使用していた銅棒と地面との接触状態が降水により変化したためと考えられる。電極交換以降、降水時の変動は低減されている。

DC帯域にはほぼ日周変化とみなせる長周期の変動が見られる。これらDC帯域の長周期変動の要因としては、地磁気変動と海流による誘導電流が考えられる。図12に5月29日から1週間の全帯域の電界変動データを、気象庁柿岡地磁気観測所の地球磁気データのうちの水平分力と偏角成分ならびに網代測候所の降水量データ、及び初島沖ステーションのADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, 層別流向流速計測装置) データのうち海底面からの高度12mでの流向・流速とともに示す。地球磁気データは、京都大学地磁気世界資料解析センター(<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp>)で公開されている地磁気一分値データを使用させていただいた。この図によれば、

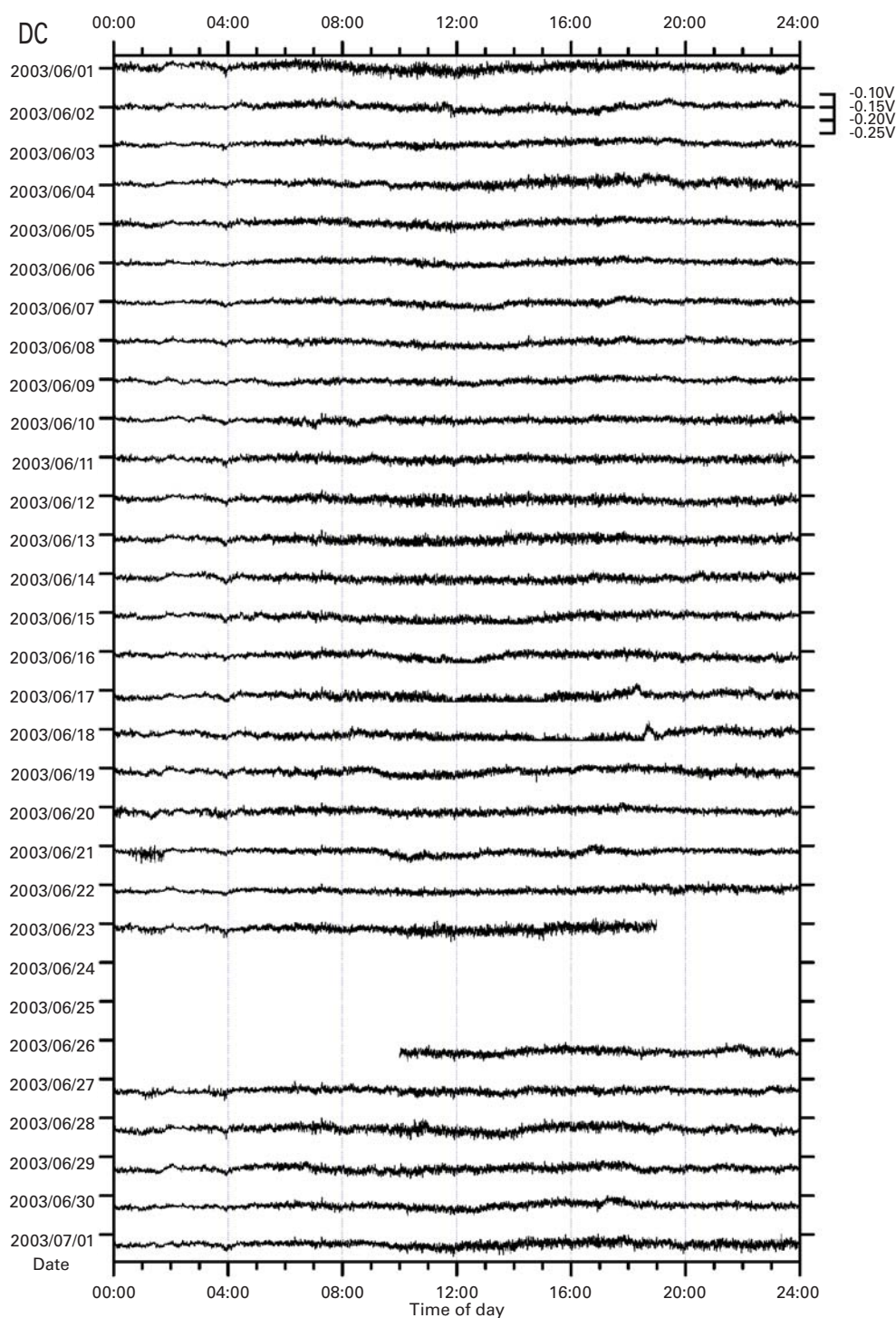


図9 電界変動記録(DC帯域, 2003年6月)

Fig. 9 Profiles of DC band electric field changes in June, 2003

5月31日は降水の影響が出ているものの、それ以外では全体としてDC帯域の長周期の電位変動が地磁気変化と良い相関を示していることがわかる。特に5月29日から発生した磁気嵐(気象庁地磁気観測所・磁気嵐月別概況, http://www.kakioka-jma.go.jp/A/review/mstorm/mstorm_index.html)の影響は明らかである。一方、流向・流速とはあまり相関が見られない。な

お、高度12mのADCP流向・流速データを示したのは、高度が大きいほどADCPの性能上データの誤差が大きくなるためである。このデータが海底ケーブル敷設海域全体を必ずしも代表するものではないが、位相の相違つまり時間差があるものの、多くの場合その他の高度でも同じ傾向の変動を示す。また同じ日周変化でも流向・流速の変化は潮汐と相関があり、地磁

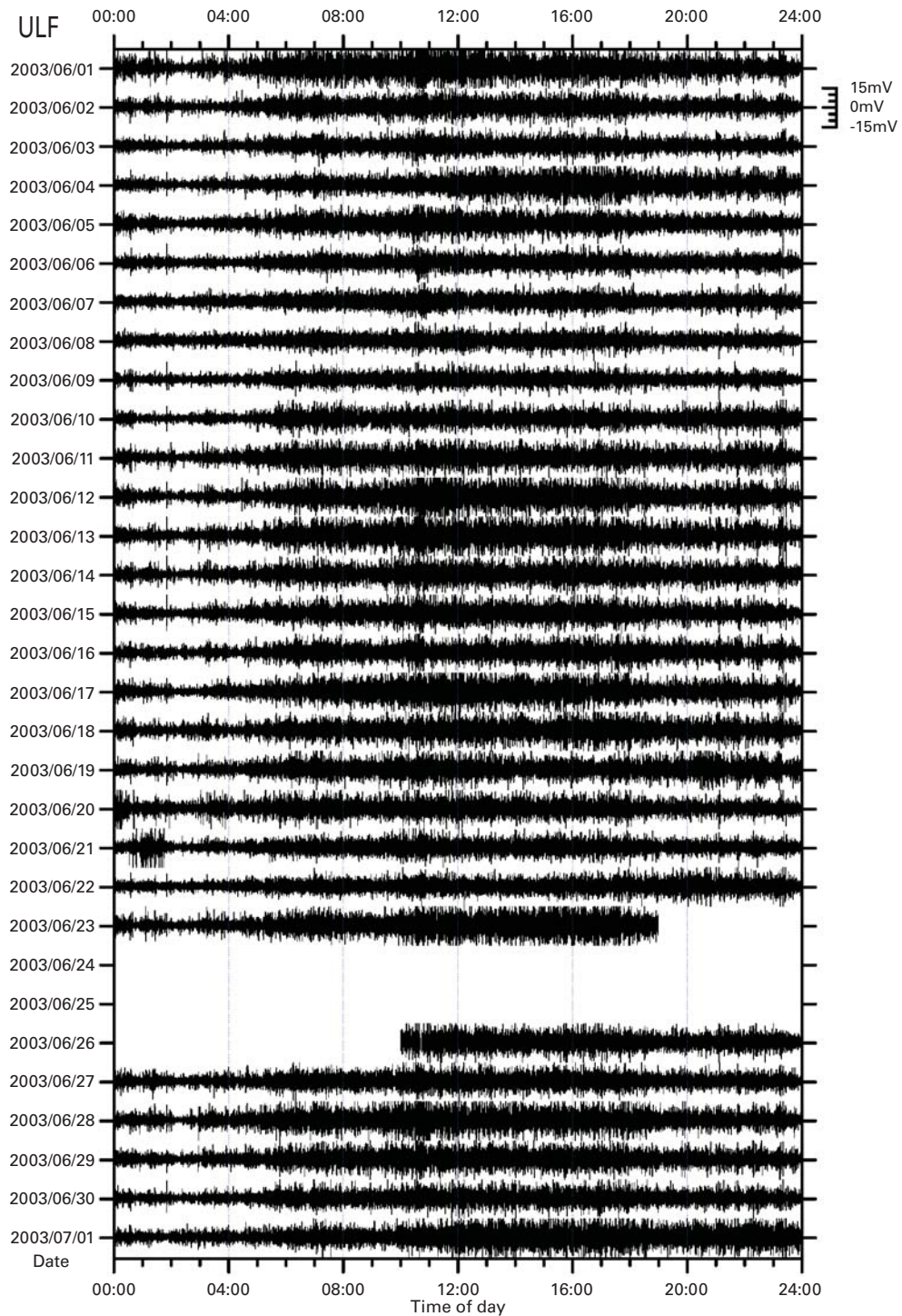


図10 電界変動記録(ULF帯域, 2003年6月)
Fig.10 Profiles of ULF band electric field changes in June, 2003

気変化とは変動周期に相違がある。以上のことから、DC帯域の長周期変動は主に地磁気変化に誘導された地電流の変化を反映していると判断される。計測された流速が高々秒速十数cm程度と、外洋に比べて小さいことも電界変動への寄与が少ない要因と考えられる。

ステーション再設置前は、DC帯域及びULF帯域に降水並

びに雷が原因と思われる変動(図7の筋状の変動)がしばしば見られた。再設置後はバックグラウンドの信号レベルが大きく、図8では明瞭ではないが、図12の5月31日のように同様の変動が見られる。ただし再設置前に比べて発生頻度は少なく、ほとんどが網代測候所の降水及び相模湾周辺の雷と対応しており、再設置前に見られた遠方の雷との相関は見られ

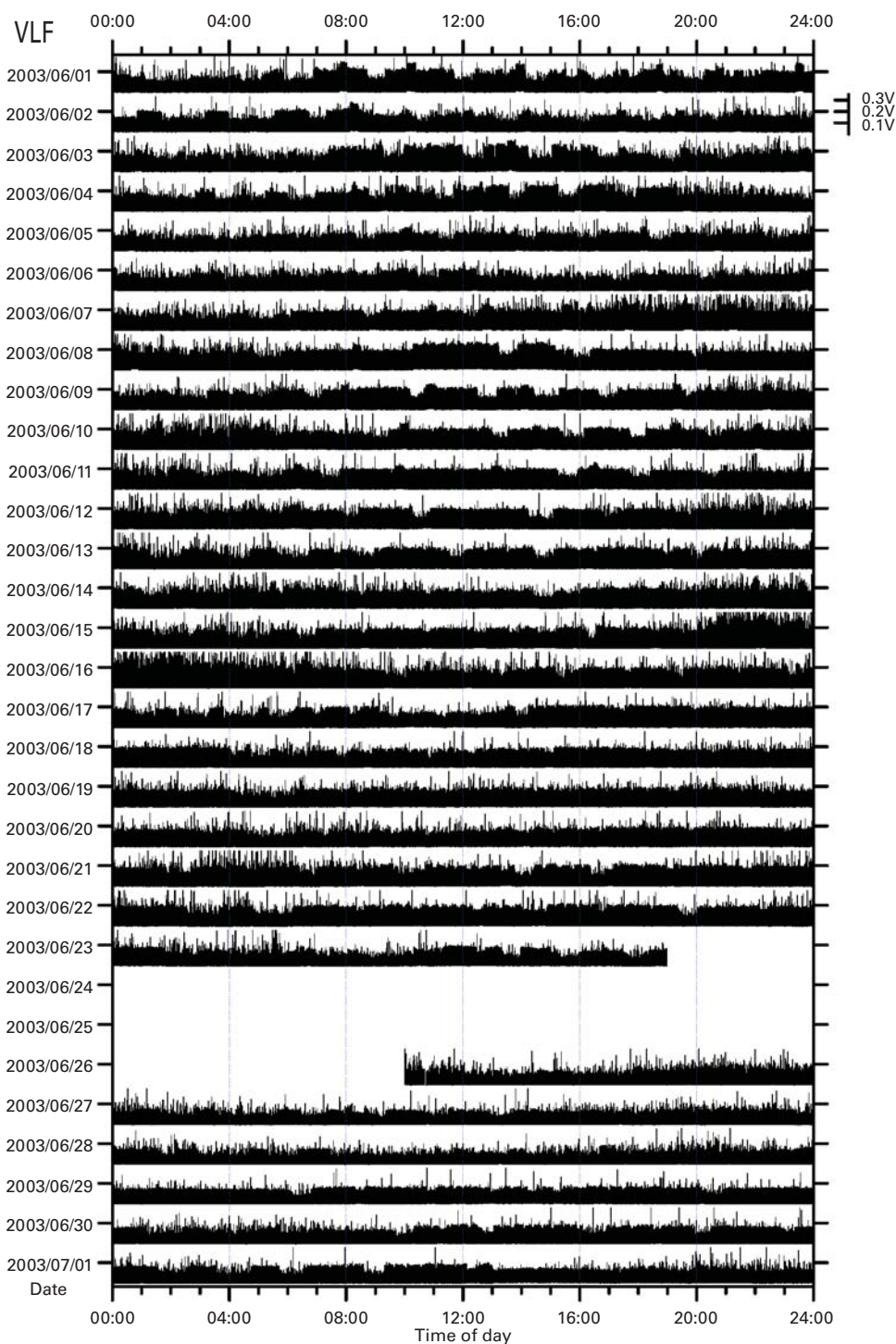


図11 電界変動記録(VLF帯域, 2003年6月)

Fig.11 Profiles of VLF band electric field changes in June, 2003

ない。なお雷の発生状況は、(株)パワードコムがインターネット上で公開している雷情報 (<http://www0.thunder.ne.jp>) を参照した。

以上の検討による地磁気変動、雷、降水及び定時発生の人為的なノイズ源との対応が見つからない顕著な変動現象としては、2003年6月21日午前1時前後にDC及びULF帯域で発

生した変動があげられる(図9, 図10)。この時間帯には大きな地磁気変動はなく、関東周辺を含め雷や目立った降水は特に見当たらない。人工的と思われるノイズとは発生時間帯がやや異なり、継続時間が長い。しかしながら信号レベルが低いものの、他の日の同じ時間帯に(例えば図9の6月1,2日) やや変動が見られることもあり、人工的なものである可能性

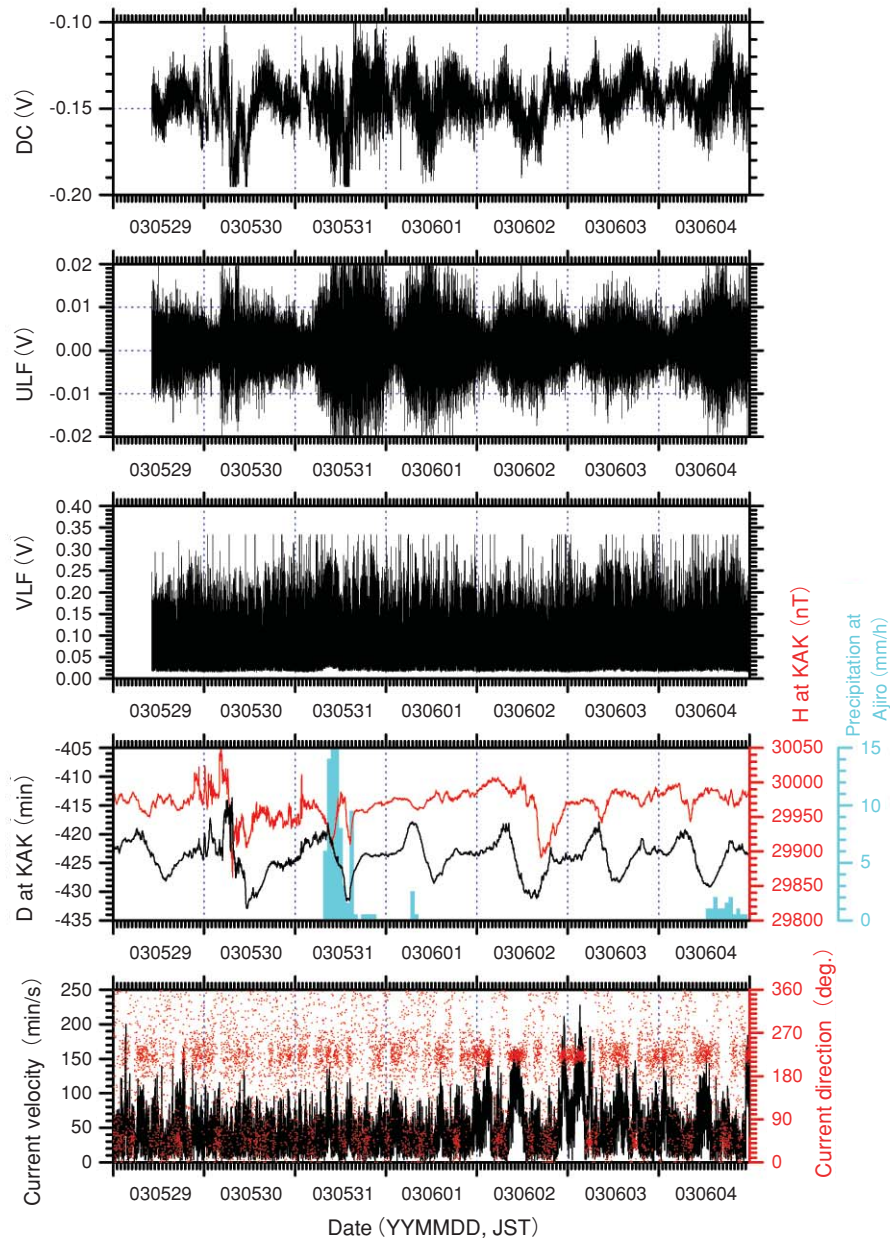


図12 電界変動記録と気象庁柿岡地磁気観測所の地磁気，網代測候所の降水量，初島沖ステーションADCPデータ(2003年5月29日～6月4日)

上から、DC帯域、ULF帯域、VLF帯域、地磁気偏角(黒)、地磁気水平成分(赤)、降水量(青)、ADCP高度12m地点の流速(黒)、流向(赤)

Fig.12 Profiles of electric field changes of this study, geomagnetic data at Kakioka (KAK) Magnetic Observatory of Japan Meteorological Agency, precipitation at Ajiro, and ADCP data of "off Hatsushima Is. Observatory" (May 29th - June 4th, 2003)

From top: DC band, ULF band, VLF band of this study, horizontal component (red line) and direction (black line) of geomagnetic field at KAK, precipitation at Ajiro (blue bars), water current velocity (black line) and direction (red dots) at 12m above seafloor observed by ADCP

も否定できない。今後も同時時間帯の変動を確認する必要がある。なお、小規模の群発地震がこの約1週間前の6月13日から4日間ほど発生しているが、この期間中には特に特異な変動は見られない。

4. 考 察

これまでの電界変動観測により得られたデータの特徴を整理すると、以下のようになる。

ステーション再設置前(ケーブルが海水と絶縁された状態)

及び再設置後(ケーブル両端の地電位差を計測している状態)を通じて、DC及びULF帯域に午前1時から4時の間に信号レベルが低下するノイズが観測されるが、これは気象庁(2002)による淡路島の地電流観測時と同様な、対岸の電車の漏洩電流によるものと思われる。ただし、再設置前に比べ再設置後の信号レベルは4倍以上となっている。この差異は、検出信号が海水と絶縁されたケーブル上の誘導電位であるか、地電位差に重畳された信号であるかの相違によるものと考えられる。またほぼ毎日定時に発生するノイズも観測され、発生源は特定されていないが、同じく人工的なノイズと推定される。

雷もしくは降水によりDC及びULF帯域に変動が生じる。再設置前は北関東など遠方で発生した雷に対応すると思われる変動も見られたが、再設置後は変動の出現回数が減少し、遠方の雷に対応する変動は見られない。

再設置前のDC帯域には気温とある程度の相関を有する長周期の変動が見られる。一方、再設置後のDC帯域では、陸側の電極が銅棒のときは、降水時に0.07V程度のステップ的な変動があるものの約0.6Vのほぼ一定電位であった。その後水中部電極と同じ銀-塩化銀平衡電極に変更したところ、当初はほぼ0Vの一定電位であったが、約1ヵ月半後の3月中旬よりほぼ直線的に漸減(負の方向に増加)し、7月末には約-0.2Vとなった。またこれと連動するようにULF帯域の信号レベルも増加している。

再設置後のDC帯域には、ほぼ日周変化とみなせる長周期の変動が見られるが、これは主に地磁気変化に誘導された地電流の変化を反映している。これに比べて、海流の影響は確認できない。

観測期間中、2002年5月及び2003年6月に伊豆半島東方沖で小規模な群発地震活動が発生したが、これに対応した電界変動は確認されていない。2003年6月の群発地震発生から約1週間後に、雷、地磁気変化及び定時発生ノイズに対応しない変動がDC及びULF帯域に見られたが、人工ノイズである可能性も否定できない。

ULF帯域では全期間を通じて人工ノイズが非常に大きい。

本研究の目的は、海底ケーブルを用いた電界変動観測により、群発地震活動等と密接な関係を有すると考えられる地下流体の移動の検出を試みることにある。しかしながら、観測データには以上のように種々の変動要素が包含されており、これらの原因を特定して取り除く必要がある。その点では、ステーション再設置後よりも再設置前の海水と絶縁した状態で海底ケーブルをアンテナとして用いる方が、雷や降水による変動を除けば地磁気変化による誘導地電流を含むノイズレベルは小さい。しかしながらそれはステーションが稼動していなかったため、ステーション稼動時は機器動作に伴う給電線上の突入電流による誘導電位が極めて大きくて電界変動観測には適さず、突入電流による誘導電位が低減される現在のケーブル両端の地電流計測方式の方が適している。

現段階ではまだ定性的な検討であり、また再設置から1年を経たおらず、観測期間中は小規模な群発地震が2回(ス

テーション再設置後は1回)発生したのみである。DC成分の直線的な電位変化のトレンドやその原因などを見極めるためにも、今後観測を継続し、地磁気変化による誘導地電流などを手がかりとして海底下の電気伝導度構造を推定することを含め、定量的な検討を行う予定である。さらに将来は海底磁力計による比較観測などを通じて詳細な解析を実施したい。

5. まとめ

伊豆半島東方沖の群発地震活動等と密接な関係を有すると考えられる地下流体の移動を検出する試みとして、初島沖深海底総合観測ステーションの海底ケーブルを用いた電界変動連続観測を2002年3月末より開始した。当初はケーブルを海水と絶縁したアンテナとしたが、ステーションを再設置した2002年11月以降はケーブル先端に電極を取り付けてケーブル両端の地電位差を計測する方式とした。全期間を通じて、電車の漏洩電流等によると思われる人工ノイズや、雷並びに降水による変動が観測された。ステーション再設置後は地磁気変化に誘導された地電位変動の影響が大きい。観測期間中は顕著な群発地震活動がなかったこともあり、地下流体の移動と結びつくような変動は観測されていない。DC成分の直線的な電位変化のトレンドなども見られるが、各種の変動原因を見極めるためにも、今後観測を継続し、海底下の電気伝導度構造を推定することを含め、定量的な検討を行う。また詳細解析のため将来は海底磁力計による比較観測なども実施したい。

謝辞

電界変動計測装置の製作にあたっては(株)テックスにお世話になりました。ステーションの再設置及び電極の海底設置には沖電気工業(株)及び新日本海事(株)のお世話になりました。初島沖ステーションの観測にあたっては初島漁協並びに元初島資料館管理人の田中様にお世話になりました。気象官署の気象データは気象業務支援センターのメテオi-NETサービスを利用しました。地磁気データについては京都大学地磁気世界資料解析センターの公開データを利用しました。地震情報については(株)パワードコムインターネット公開情報を参照しました。ここに記して御礼申し上げます。

引用文献

- 藤井直之, 水の動きが地震現象を左右する, 科学, 72, 222-223(2002).
- Fujinawa, Y., Takahashi, K., Matsumoto, T., Iitaka, H., Yamane, S., Nakayama, T., Sawada, T. and Sakai, H., Electromagnetic Field Anomaly Associated with the 1998 Seismic Swarm in Central Japan, Physics and Chemistry of the Earth, 25, 247-253(2000).
- 藤縄幸雄, 青柳勝, 高橋耕三, 松本拓己, 飯高弘, 土井卓也, 葛西直子, 中野洋, 佐藤宗純, 斉藤俊幸, 佐々木清志, 資宗克行, 伊豆大島-伊東間海底ケーブルによる電

- 界変動観測－2000年三宅島火山噴火活動関連の異常変動－, 防災科学技術研究序報告, 63, 31-55 (2002).
- 岩瀬良一, 満澤巨彦, 平田賢治, 海宝由佳, 川口勝義, 藤江剛, 三ヶ田均, 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－, JAMSTEC深海研究, 18, 185-192 (2001).
- 岩瀬良一, 町山栄章, 電気伝導度変化を伴う冷湧水変動の検出－相模湾初島南東沖潜航調査(「ドルフィン3K」第546潜航, 「しんかい2000」第1320,1323潜航)序報－, JAMSTEC深海研究, 20, 115-125 (2002).
- Iwase, R., Asakawa, K., Mikada, H., Goto, T., Mitsuzawa, K., Kawaguchi, K., Hirata, K. and Kaiho, Y., "Off Hatsushima Island in Sagami Bay: Multidisciplinary long term observation at cold seepage site with underwater mateable connectors for future use", Proceedings of "The 3rd International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies", IEEE, 31-34 (2003).
- 気象庁地磁気観測所, 活断層における地震予知技術開発のための地電流等観測報告書, 155p (2002).
- Momma, H., Iwase, R., Mitsuzawa, K., Kaiho, Y. and Fujiwara, Y., "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).
- 小川康雄, 電磁波で地殻構造と水の動きを見る, 科学, 72, 204-208 (2002).

(原稿受理:平成15年8月19日)