

# NTT 海底ケーブルを用いた地電位差測定

下泉 政志(九州能開大)、田中 良和(京大理)、

歌田 久司(東大 地震研究所)、浜野 洋三(東大理)

## Geoelectric Potential observations with the sea bottom communication cables

M. Shimoizumi (Kyushu Polytechnic college)、Y. Tanaka (Kyoto Univ. )

H. Utada (ERI、 Univ. of Tokyo)、 Y. Hamano (Univ. of Tokyo)

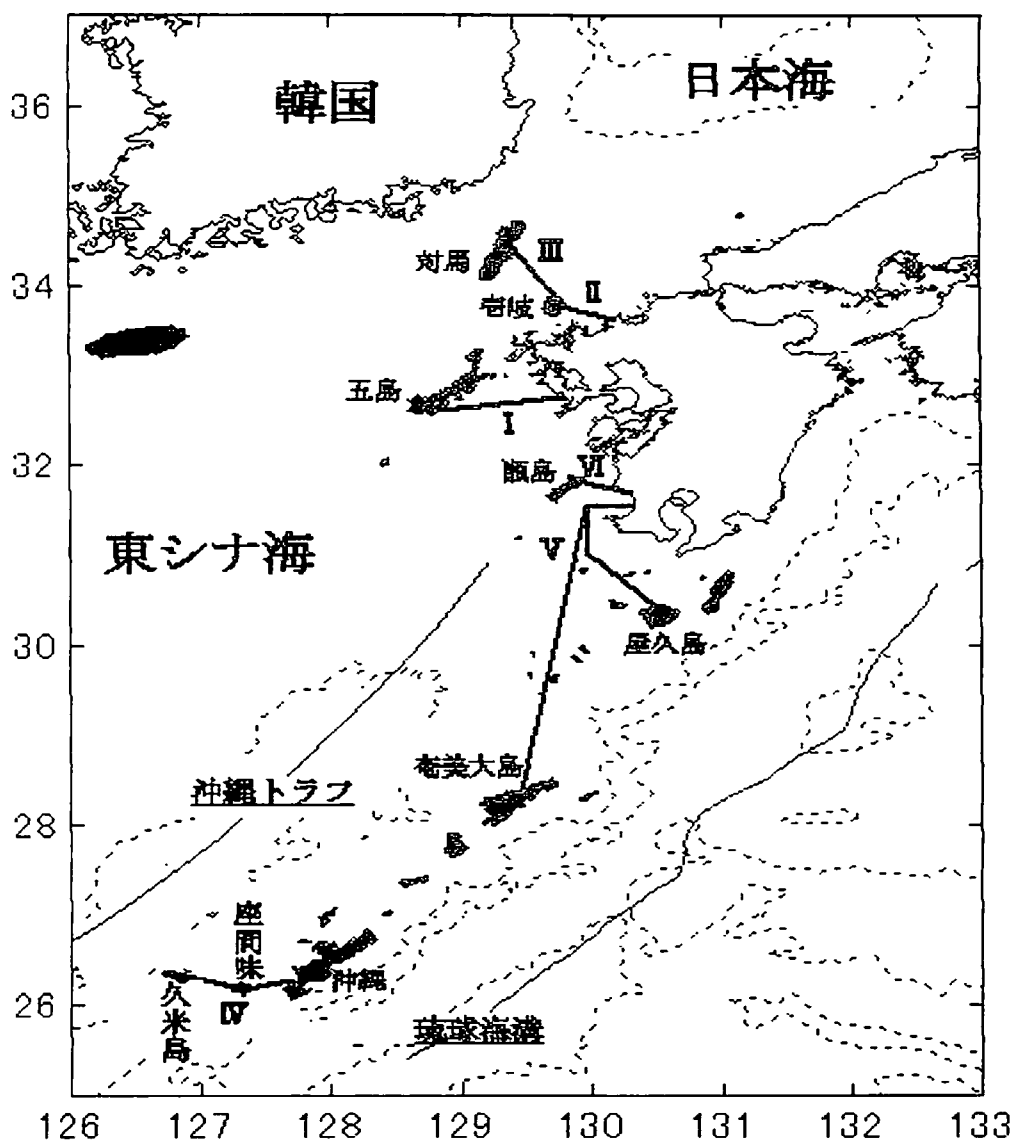
### 1. はじめに

高度情報通信網に不可欠な高速デジタル通信の伝送媒体である光ファイバー・ケーブルの敷設が、「FTTH」の掛け声に乗り、急ピッチで進んでいる。この流れは陸上ケーブルのみならず海底ケーブルにおいても同様であるが、これは同軸海底ケーブル通信方式の技術的問題(通信容量、デジタル通信方式など)によるものであり、それら技術的な問題の解決と、通話路当たりの建設コストの大幅な低下をもたらす光海底ケーブルへの移行は、時代の流れとしては当然の事であった(小林、1991)。が、しかし、海底同軸ケーブルが使用不能になった訳ではなく、当初の25年という設計年数を過ぎた今でもその中継器の故障は殆どないといわれ、通信ケーブル自体の寿命は更に長い。巨額の費用を要して敷設されたこの技術的遺産を地球科学観測に再利用しようという動きが高まり、1990年にはGeo-TOCプロジェクトがスタートし(例えば、行武、1991)、現在、海半球プロジェクトとして発展している(浜野、1997)。その利用形態の一つとして、海底観測ステーションへの電源供給およびデータ伝送としての利用が計画され、着々と実現に向け進んでいる(例えば、中塚 他、1999)。また、もうひとつの利用形態として、太平洋では同軸海底ケーブルを用いた電位差観測が1991年以降行われ、藤井(1996)は、TPC-1ケーブルのグアム-ニ宮間、及び、グアム-フィリピン間の地電位差データと陸上の地磁気観測データを用い、周波数帯域10mHz~数 $\mu$ HzにわたるMT伝達関数から、フィリピン海下の上部マントルの平均的な電気伝導度構造を推定するという成果をあげている。

このような大規模な海底ケーブル利用以外にも、Mori (1987)は、地震予知を目的として東海沖および房総沖に設置されている気象庁の海底地震常時観測システムへの電源供給、及び、信号伝送に使用されている同軸海底ケーブルを利用した地電位観測を1980年代から開始し、地震・火山噴火予知と関連のある地電位変化の異常現象(前兆現象)を検出する試みを実施している。このような地域的な利用対象として、日本ではNTTの通信(主に、電話)回線を利用することができ、特に、九州・沖縄地方には、全国の70%以上の海底同軸ケーブルが敷設されており、Tanaka et al.(1997)は、NTTの協力を得て、長崎-福江間(約96km)の海底ケーブルを用いた電位差観測を1996年より開始した。当初の目的は、九州西方海域下の平均的な電気伝導度構造の推定であり、九州本島および離島での電磁気観測から推定された上部マントル良導体(HCL)の検出であった。このHCLの地球物理的解釈に関しては、Handa et al.(1992)による沖縄トラフの北方延長によるものとか、Shimoizumi et al. (1997)による新生代火成活動に

関連したマントル・アップウェリングによるものなどが推定されている、が、その HCL の起源を同定するには、その分布域を特定することが重要な要素の1つであると考えられ、そのためには海域での面的観測が必要である。本海底ケーブルを用いた電位差測定もそのための一手段という位置付けで、観測区間も単に九州北西部のみにとどまらず、第 1 図に示すように、現在では、ほぼ東シナ海を取り囲むように配置されており、これからも、随時、観測区間を拡大していく予定である。

本論文では、この九州・沖縄地域の NTT 海底ケーブルを用いた地電位差測定システムの概略と取得されたデータについてのみ報告し、データ解析結果については稿を改めることにする。



第 1 図 九州・沖縄地域周辺での海底ケーブルを用いた地電位差観測区間

	区 間	区 間 長 [km]	中継器数	敷設年月 観測開始
I	長崎柿泊－福江六方	96.43	26	1980/11 1996/07－
II	福岡野北－壱岐芦辺	52.71	14	1978/10 1996/12－
III	壱岐芦辺－対馬勝見浦	82.05	22	1978/10 1997/07－
IV	沖縄宜野湾－座間味	50.85	8	1972/05
	座間味－久米島	65.54	10	1998/12－
V	鹿児島永吉－屋久島永田	204.56	48	1983/09
	鹿児島永吉－奄美大島朝仁	457.00	82	1999/01－
VI	鹿児島串木野－上甑島 中甑	46.94	5	1985/04 1999/08－
	上甑島 中甑－下甑島里道沖	10.7	0	
	下甑島里道沖－下甑島芦浜	14.1	0	2000/01－

第1表 九州島周辺における地電位差観測区間

区間VIの上甑島－下甑島間は水底ケーブルで、それ以外は海底同軸ケーブル

## 2. 海底ケーブル

まず、使用している海底ケーブルに関して、その概要および、特性について述べる。NTT が採用している海底同軸ケーブル方式は数種類あるが、九州周辺海域では NTT 仕様 CS-36M-S と呼ばれる、38/25mm 外装、および無外装海底同軸ケーブルにより 2700 通話路を群別1条方式で伝送する方式が採用されており、その仕様のケーブルおよび中継器が敷設されている(三宮、NTT、私信)。

周波数帯域 36MHz の双方向伝送用に設計された海底ケーブル(中心導体の直径が 8.4mm、絶縁体 PE 外径が 25.4mm:第2図参照)には、38(25)mm 外装で約 6(4)km ごとに通信信号を増幅するための中継器が挿入されている。本来の通信業務に使用されていた際には、この中継器に電力を供給するために、両端において±490V(または、片側 980V)の直流が印加され、156mA の電流が給電されていた。地電位差観測は、この給電装置が撤去された状態で行われている。つまり、途中で、中継器という抵抗は入っているが、基本的に、海底ケーブルは単なる導線としてみなすことができ、流れる電流は主に海流による誘導分と外部磁場変動による誘導分であり、数 100μA 程度以下である。

第3図の中継器内ツェナーダイオードの電圧－電流特性曲線の傾きから、微小電流領域における中継器1個当たりの直流抵抗は約 2.5kΩ であることが分かる。ケーブル中心導体(直径 5.588mm)自体の導体抵抗は 0.68Ω/km であるので、100km 長でも 68Ω であり、直流抵抗は中継器による部分(20個で、50kΩ)が支配的である。区間 I、II、IIIでの実測(計算)値はそれぞれ、約 44(65)kΩ、24(35)kΩ、38(55)kΩ であり、中継器の抵抗値は計算値より少し低めの 2kΩ 程度のものである。

尚、ケーブルの伝送特性は遮断周波数が約 0.3Hz の1次高域遮断型フィルタ特性で近似できた。従って、数秒以上の周期においては、伝送歪みによる影響は無視し得る量であると判断できる。

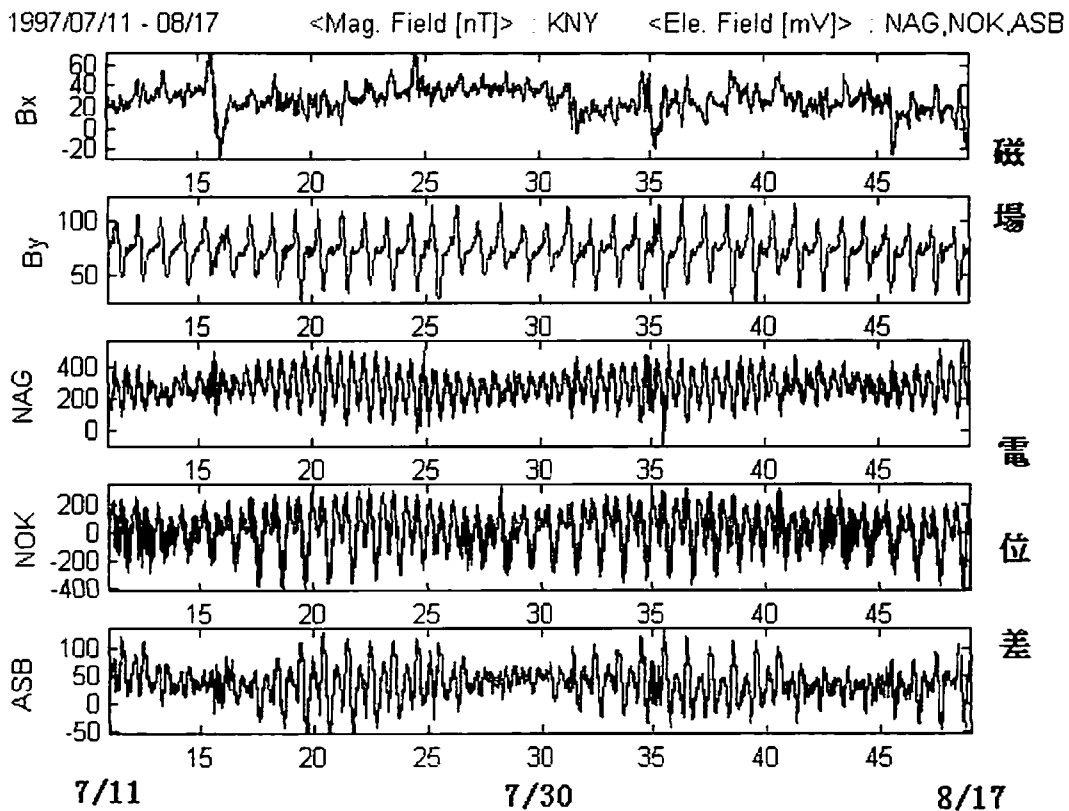
観測当初の機器構成は、上記のようなものであったが、観測区間を拡大し、また、観測期間を重ねるにつれ、問題点がでてきている。

1. 専用リング・システムの必要性

機器の設置／保守／データ回収を1人で行うことは不可能に近くなってきており、だれでも用意に作業の行える形態が必要である。もちろん、利用できる海底ケーブル区間は残り少なくなってきたはいるが、新規設置のみならず、長期観測を考える場合、既設システムの更新も必要である。

2. 落雷などによる機器損傷の遠隔検出機能

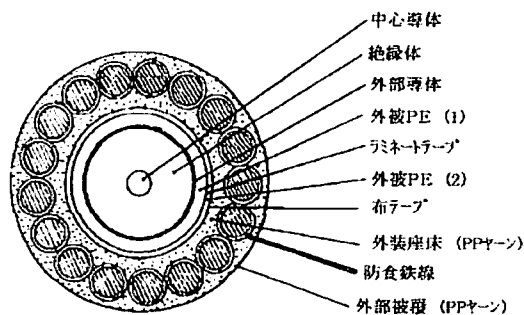
現在までに、落雷により、海底ケーブル、もしくは、GPS 受信機経由で計測器が破壊(シリアル・インターフェース部)されたことが数回あり、それにより最大数ヶ月の間データ欠測が発生している。落雷に対する防御対策のみならず、その状況を報告／検出する機能を付加することが望まれる。



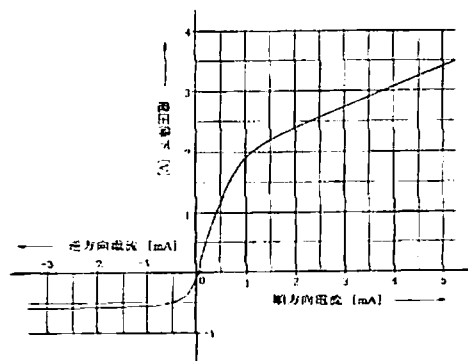
第5図 磁場水平成分と地電位差データ例

NAG:区間 I (長崎－福江) NOK:区間 II (野北－壱岐) ASB:区間 III (壱岐－対馬)

第5図に1997年7月11日から1ヶ月余りの期間の観測例を示しているが、潮流(Oceanic tide)による電位変化(約12、24時間周期:分潮)が3区間に共通して顕著である。これは、電気伝導度が4S/mという値を持つ良導体である海水が、地球主磁場を横切って運動することにより発生する誘導起電力によるもの(所謂「海洋のダイナモ作用」)である。尚、1日周期の変動は磁場データ(特に、東西成分 By)にも見られる。さらに磁場データには見られない数日以上の長い時間スケールを持つ海流の影響もこの時系列データから明瞭である。これら海況(潮汐を含む海流)変動のモニタリングにも海底電位測定は有効であり、現在、海洋物理学者による研究が進行中である(Kawatate et al., 1991, 平 他, 1996)。



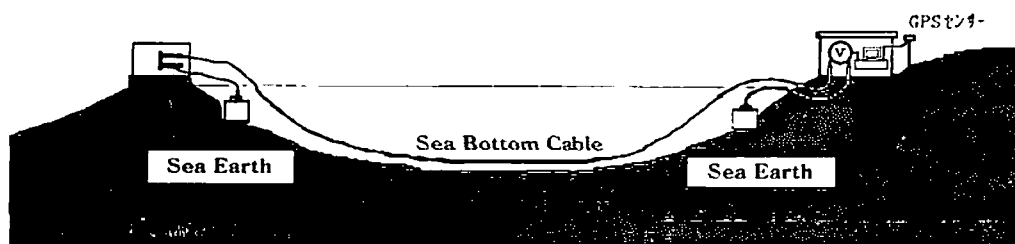
第 2 図 25mmLAP 海底同軸 8mm ケーブル



第 3 図 CS-36M-S 型中継器の  
微小電流-電圧特性

### 3. 地電位差観測

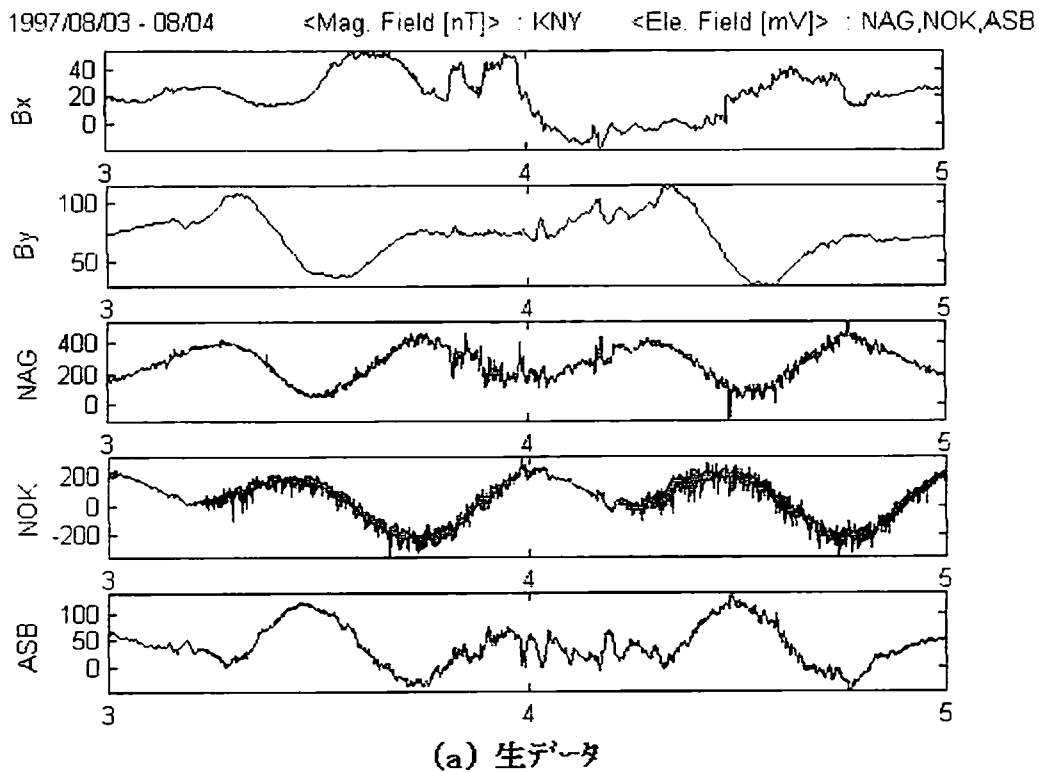
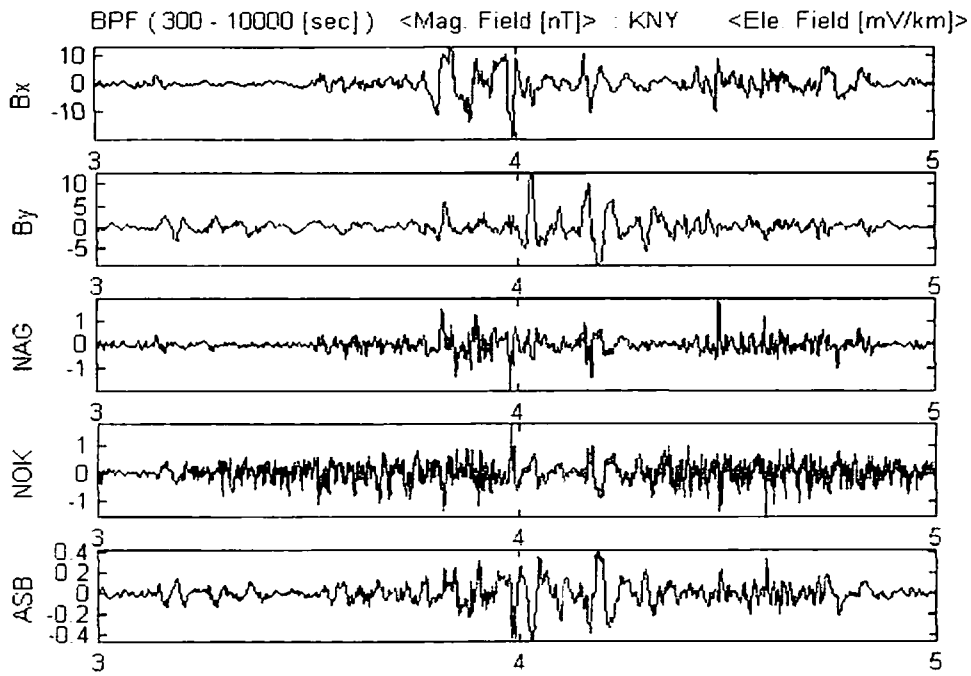
海底ケーブルは、各陸揚げ地点において NTT 所有の陸揚げ局舎に引き込まれ、さらに、局舎には汀から最大数 100m 内の海水中に沈められたステンレス電極によるシー・アース(海中接地)線も引き込まれている。長崎ー福江区間での地電位差観測を例にとると、一端(福江六方)の局舎内で海底ケーブルとシー・アースを直接接続し、他端(長崎柿泊)で海底ケーブルとその地点でのシー・アース間の電位差を計測している。電位差測定においては 61/2 桁デジタル電圧計(Yokogawa-7561、および、HP34970A+HP34902A [16CH MUX])を用い、RS232C インターフェースによりパーソナルコンピュータに毎秒値を転送している。従って、海底ケーブルに損傷がなければ、測定電位差はそれらシー・アース間のものであり、海底ケーブルが走る領域下の電氣的構造の情報を含んでいると考えられる(第 4 図参照)。



第 4 図 観測状況の模式図

なお、観測機器設置の際には、一端のシー・アースとケーブル間に信号発生器を接続し、他端でその信号を記録するなどのケーブル試験を行い、その品質を確認してから計測を行っている。その結果、殆どの区間のケーブルでは損傷は見られなかった。ただ、鹿児島ー奄美大島間 470km では、鹿児島から 300km 沖で断線が発生しているようである(三宮、NTT、私信)。

九州内陸部で計測されている磁場同時データを用いて解析を行うため、0.1 秒精度の時刻管理が必要となり、これはデータ・サンプリングのタイシング信号として、GPS からの信号を用いることで実現している。



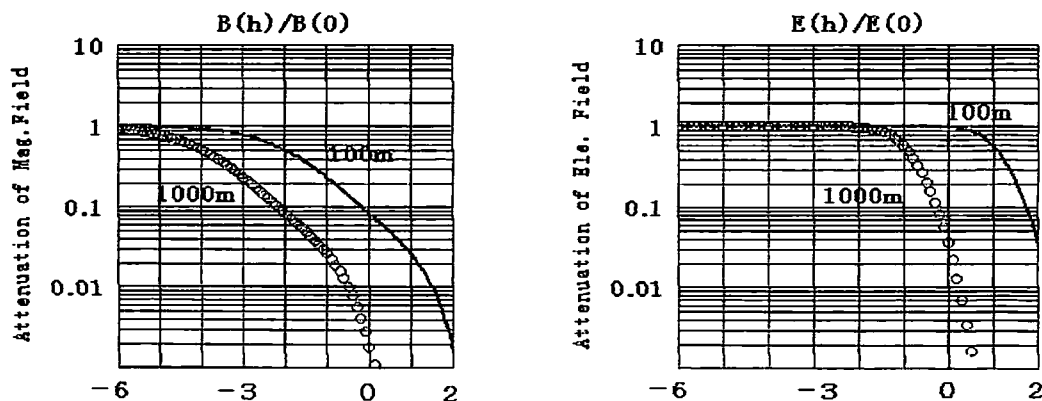
第6図 観測データ例 (1997年8月3日-4日)

一方、数時間程度以下の時間スケールの電位変動は、主に、地磁気変動により誘導された電流によるものである。第5図に表示した期間中の2日間(8月3日-4日)を表示したものを第6図(a)に示す。さら

に、鹿屋地磁気観測所における水平磁場2成分 ( $B_x$ :南北成分、 $B_y$ :東西成分)の変動に対応した電位変動を確認するために周期 300~10,000 秒のバンドパス・フィルターをかけ、潮流等の影響を除去したものを同図(b)に示す。尚、同図(a)においては、地電位差データを mV 単位で表示し、(b)ではそれを基線長で割った mV/km という電場の単位で表示している。

第 6 図(a)から、区間 II (ラベル:NOK) のデータには、直流電車の漏洩電流の影響が明瞭に認められる(毎日、午前 0 時 30 分頃から 4 時頃のみ信号レベルが極端に減少するというパターンは、福岡市周辺における電磁気観測では常に見られるものである)。従って、このケーブル区間のデータ解析において、特に数 100 秒以下を対象とする際には何らかの雑音除去を施す必要がある。

地下構造が単純な場合には、電磁場の直交成分のみが相関を持つが、同図(b)からは、ほぼ東西方向の電位差に相当する区間 I (ラベル:NAG) は、磁場の南北成分 ( $B_x$ ) との相関が良く、ほぼ北北西-南南東方向の区間 III (ラベル:ASB) のデータは、東西方向の磁場との相関が良い事が分かる。



第7図 海底電磁場の減衰の周波数依存性 (水深 100m、1000m における電磁場減衰量)  
縦軸は地表(海面)での値を基準にした減衰量で、横軸は周波数([Hz])を示す。

海底下では、第 7 図の磁場スペクトルから分かるように、浅海においても 100 秒程度以下の短周期外部磁場擾乱は、良導体である海水のため減衰してしまうが、電場の減衰は磁場のそれに比べると短周期(水深 100m では、10Hz 程度、水深 1km でも 1 秒程度)までは影響せず、陸上の同時観測磁場データと海底での電場データの組み合わせを用いることにより、浅部構造の情報を得ることが出来る可能性がある。もちろん、ソースとなる磁場強度は短周期ほど弱くなるので、使用可能な最低周期は一概には言うことは出来ない。また、MT 法に従った解析時には、水平磁場の一様性の仮定が必要であるので、今回の場合のようにせいぜい 100km 程度までの基線長が限界になるかもしれない。

#### 4. おわりに

九州・琉球背弧の平均的電気伝導度構造を推定するために、NTT が所有する海底同軸ケーブルのうち、九州本島と離島間、および、沖縄本島と離島間に敷設されているものを用いた地電位差観測を行っている。観測は 1996 年より開始し、随時観測区間を拡大している。ここでは、その概要と取得できている地電位データに関して報告した。

東シナ海を横断している KDD 海底線ケーブルを用いた地電位差データも東大地震研で収録中であり(歌

田ら[1999])、さらに九州本島内では、橋本ら(1999)によりネットワーク MT 観測が進んでいる。これらとこの海底ケーブルによる地電位差データが、さらには、東シナ海などでの海底観測が有機的に結合し、九州・琉球背弧のより信頼性の高い電氣的構造モデルが作成され、当該地域のテクトニクスの研究が進展することを期待している。

観測システム設置、ケーブル試験などの際には、陸揚げ局舎を管理されている NTT 西日本の多くの方々にお世話になっている。また、NTT ワールドエンジニアリング 伝送品質担当のスタッフの方々には海底線に関する資料提供をお願いしている。これらの方々にお礼を申し上げる。

また、鹿屋における1秒値磁場データは、気象庁地磁気観測所のご厚意で提供して頂いた。

本研究のうち、1999 年度以降は、1999 年度文部省科学研究「海底電線を用いた九州西方海域の地殻電気構造の研究」により行った。

#### 参考文献

- 小林好平、国際海底ケーブルと海洋科学観測、月刊海洋、23、5、269-274、1991  
行武毅、GAO-TOC 計画の概要、月刊海洋、23、6、289-294、1991  
浜野洋三、海半球ネットワーク —地球内部を覗く新しい目—、月刊地球、19、1、3-8、1997  
中塚正、宮崎光旗、西村清和、村上裕、小川康雄、Venus 計画における深海底地磁気電場観測システム、CA 論文集、229-235、1999  
K. Fujii, On geoelectric potential variations over a planetary scale、Ph.D. thesis、University of Tokyo、1996  
T. Mori, Variations in the geoelectric field with relation to crustal conditions of the earth、Geophysical Magazine、42、41-104、the Japan Meteorological Agency、1987  
Y. Tanaka et al.、International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables: Extended Abstract、46-49、1997  
Y. Tanaka et al.、Electric Field Observation with the sea bottom communication cables near Kyushu Island、Japan、International Symposium on New Images of the Earth's Interior through Long-term Ocean-floor Observations: Abstract、48-51、1997  
S. Handa et al.、The Electrical high conductivity beneath the northern Okinawa trough、inferred from geomagnetic depth sounding in northern and central Kyushu、Japan、J. Geomag. Geoelectr.、44、505-520、1992  
M. Shimoizumi et al.、Electrical conductivity anomalies beneath the western sea of Kyushu、Japan、Geophys. Res. Letter、24、1551-1554、1997  
K. Kawatate et al.、A cross-spectral analysis of small voltage variations in a submarine cable between Hamada and Pusan with speed variation of the Tsushima warm current、in Oceanography of Asian Marginal Seas (ed. By K. Takano): Elsevier Oceanography Series 54、207-222、1991  
歌田 久司、上嶋誠、趙國澤、湯吉、馬明志、中国東北部における電磁気観測、CA 論文集、105-116、1999  
橋本武志、網田和宏、馬渡秀夫、田中良和、神田径、下泉政志、上嶋誠、笹井洋一、九州地域におけるネットワーク MT 観測(続報)、CA 論文集、29-37、1999