

宮崎-水俣測線のULFアレー観測

東京大学地震研究所 歌田久司・鍵山恒臣・神田径
東北大学理学部 三品正明
気象庁地磁気観測所 山本哲也・山崎明
地殻比抵抗研究グループ

ULF array study along the Miyazaki-Minamata traverse in southern Kyushu

Hisashi Utada¹⁾, Tsuneomi Kagiya¹⁾, Wataru Kanda¹⁾,
Masaaki Mishina²⁾, Tetsuya Yamamoto³⁾ and Akira Yamazaki³⁾,
Research Group for Crustal Resistivity Structure

1) Earthquake Research Institute, University of Tokyo

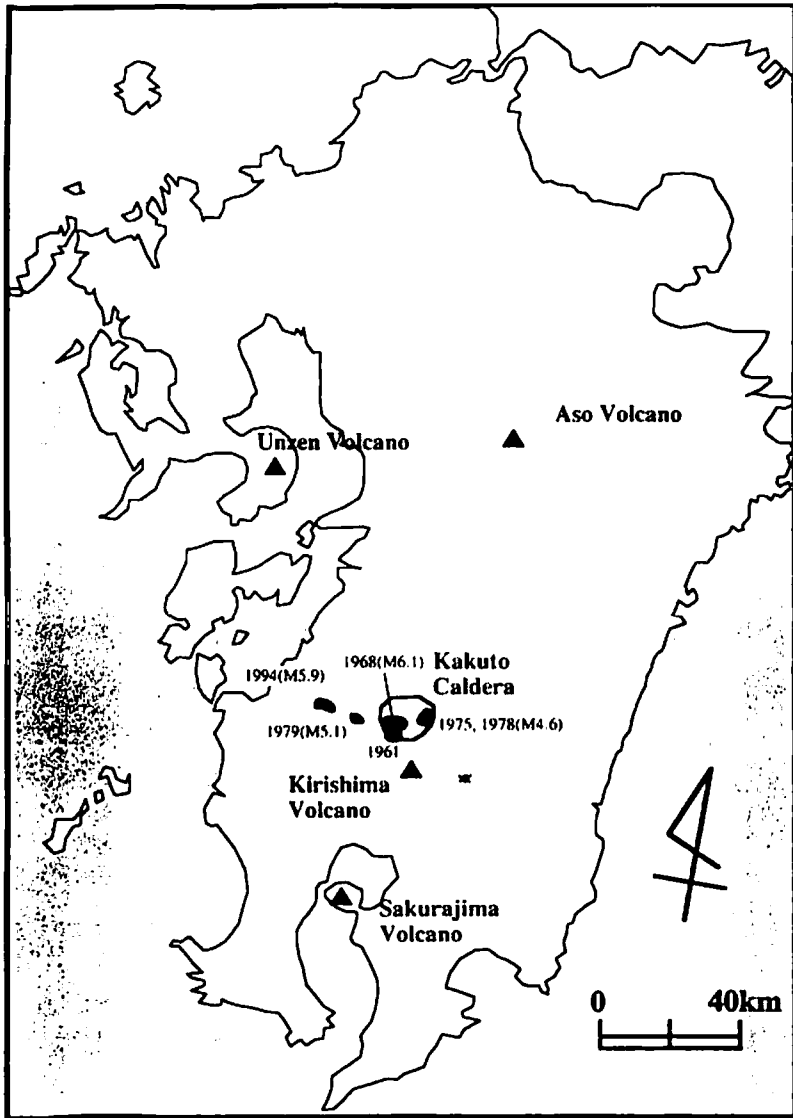
2) Faculty of Sciences, Tohoku University

3) Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency

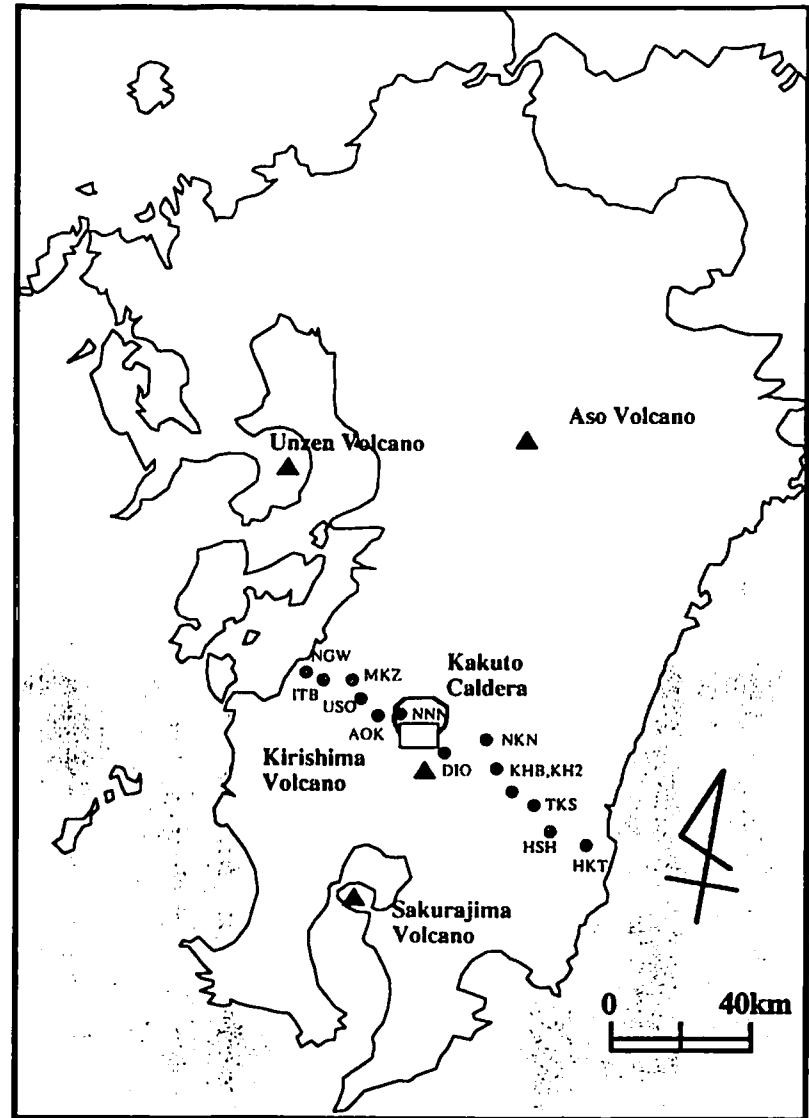
1. はじめに

1994年11月4日から14日にかけて、地震予知計画にもとづく地殻電気比抵抗構造探査のための共同観測が宮崎県えびの市およびその周辺地域で実施された。共同観測の主たる観測地域は霧島火山の北に隣接する加久藤カルデラにあたる。このカルデラ内では、1968年のえびの地震（最大M6.1）をはじめとして、しばしば群発地震活動が発生して被害が出ている。このような活動に連動するように霧島火山山頂部の微小地震活動が活発した（Minakami et al., 1970）こともあったことから、加久藤カルデラの下には霧島火山へのマグマ供給源があるのではないかという漠然とした考えも生まれた。しかしながらこの考え方には否定的な岩石学的研究もあり（井ノ上, 1985）、この火山学の問題には決着がついていない（鍵山, 1994）。

一方、近年内陸地震の発生の場合についての観測研究の進展があり、最近では地殻の構造と地震活動との関連が注目されている。たとえば長谷川他（1992）は、「地殻のbrittleな部分の厚さは温度構造と密接な関係があり、火山直下ではその周辺より薄くなっている。したがって火山周辺部では、brittleな地殻の厚みが急激に変化していることになり、比較的大きな内陸の地震はこのような地域周辺に発生している」ことを指摘している。もちろん、すべての内陸地震の発生がこのような地下の温度構造の地域性に支配されているとは限らない。笹井（1994）は、松代地震の発生機構に関して「自然が行った大規模水圧破碎」モデルを提唱している。この中では、日本列島中央部の地殻下部に存在し、低比抵抗層の原因となっている深部自由水の上昇が群発地震発生の原因と考えられているが、Yukutake



第1図 南九州加久藤カルデラ周辺の過去の地震活動.



第2図 宮崎-水俣測線の観測点分布. 四角は広帯域MT観測を行った範囲.

(1985)にも同様の考えが見られる。

地殻内の温度構造と水の分布とはいづれも電気比抵抗や地震波速度などの地下構造を決定する重要なファクターであり、これらを分離することは単純ではない。さまざまな手法による構造に関する高空間分解能の情報が不可決である。本共同観測は、カルデラ内に過去発生した最大の地震であるえびの地震の震源域の深部電気比抵抗構造の精査を第1の目標とした(笹井他, 1995)。そのために、震源域に観測点を集中してもらうけて広帯域MT 6台による高密度MT観測を実施した(後藤他, 1995)。

ところで、狭い地域に観測点を集中しただけでは、十分に信頼性の高い構造決定をすることは難しい。周辺の広い範囲の情報も必要である。かといって、広い範囲で広帯域MTによる高密度MT観測を行うことは現実的ではない。そのかわりにたとえばネットワークMT観測を実施する(小河他, 1995)ことにより、観測点の集中の欠点は十分におぎなえるものと考えられる。さらに広域の地震活動を見ると、加久藤カルデラを通る東西の微小地震活動が特徴的である(鍵山, 1994)。この線を鍵山は仮に出水-清武線と呼んでいるが、この線上にはやや大きな地震の発生が見られ(第1図)、南九州のテクトニクス全体を考える上で重要である。このように、加久藤カルデラの地震活動域の構造を南九州の中でとらえるという考えから、ULFアレー観測を実施した。ここでは、観測の概要について述べる。この地域の表層地質には北東-南西のトレンドがあるが、テクトニクスとの関連を見るためにはフィリピン海プレートの沈み込を意識しなければならないという観点から、測線の方向はほぼサブダクションの方向とした。もちろんこの1本の測線のデータで全ての結論を下すことはできないので、将来的には同様の測線をさらに数本追加して面的な情報を得る必要がある。

2. 観測

観測はわれわれのグループが所有するULF観測装置である、10台のU36と3台のEM109(U30)を使用して合計13点の同時記録で行った。観測点の分布を第2図に示す。11月4日から2組に別れて設置を開始し、1日目に5点、2日目に6点、3日目に2点の設置を行い、以後13日まで観測を継続した。観測は每秒値、すべての観測点で磁場3成分(分解能1pT)および電場2成分を測定した。使用した装置のうちU36については、すべてマスタークロックによって時計を同期したので、数ミリ秒以内の時計精度である。電極は京大橋本による銅-硫酸銅電極を用いた。

各観測点における使用機器および測定電極間隔を第1表に示す。各観測点は、(1)主要道路から数km離れる(2)なるべく耕作地は避け林などをさがす(3)高圧線から数100m以上離れる、などの条件をもとに選定した。ほとんどの点がこれらの条件をほぼ満たしているため、良好なデータを得た。ただし、丸野(MRN)は日豊本線に近いので、

列車の走行時間帯には数10nTの磁場ノイズがあって使用することはできないが、夜間0時から5時までの間のデータの質は他の地点と同程度であった。

第1表. 観測点および使用機器および電極間隔.

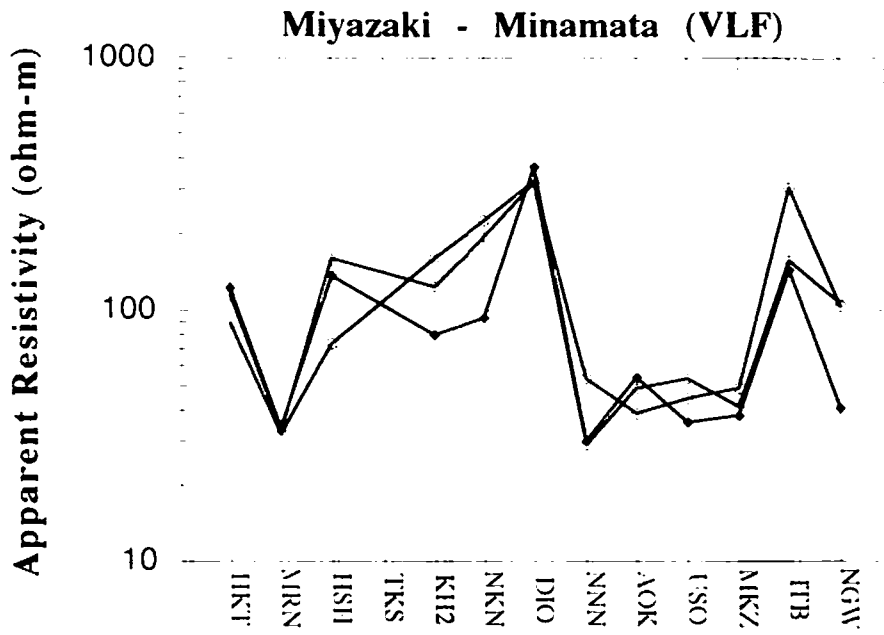
観測点名	(略号)	機器名	NS(m)	EW(m)
伯田	(HKT)	U36東北2	70.3	62.7
丸野	(MRN)	U30霧島	49.1	51.5
星原	(HSH)	U36防災3	31.0	58.9
高崎	(TKS)	U36阿蘇2	48.0	57.7
金蛇	(KHB)	U36ERI2	64.0	73.0
	(KH2)		51.6	74.1
永久井野	(NKN)	U36ERI1	58.0	64.0
大王	(DIO)	U36防災921	57.0	75.0
西野	(NNN)	EM109-1	41.1	58.5
青木	(AOK)	U36防災1	67.8	43.9
牛尾	(USO)	U36東北1	46.7	53.0
三ヶ月	(MKZ)	EM109-2	51.5	44.0
石飛	(ITB)	U36ERI3	58.5	64.3
野川	(NGW)	U36名大	70.4	56.3

ULF観測では、10秒程度より短周期の情報が得られないので、同じ電極・ケーブルを使用してELF-MTを、さらに各観測点あたり3カ所でVLF-MTの測定を行い、見かけ比抵抗分布を求めた。

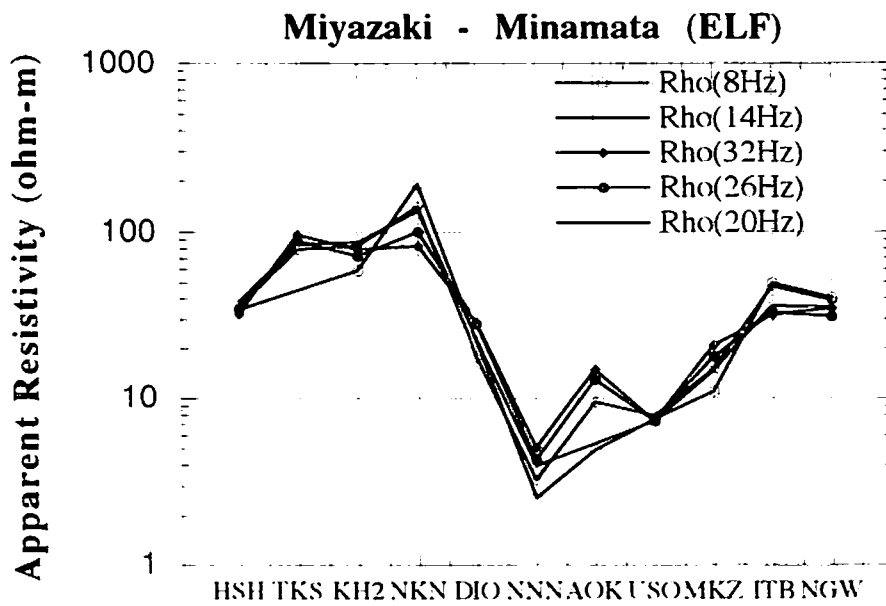
3. ELF・VLF-MTの結果

各ULF観測点におけるVLF(20.2kHz)による見かけの比抵抗(第3図)およびELFによる見かけの比抵抗(第4図)は、なめらかに変化しほぼ表層地質区分に対応した分布が得られた。このことは、観測点をするときの条件(2)のために、局所的な地質的ノイズ(いわゆるスタティックシフト)の影響がきわめて小さく抑えられたものと解釈される。太平洋岸は付加体の堆積層が主な表層地質であるが、その代表的な比抵抗値はおおよそ数10Ωmから100Ωm程度であると考えられる。見かけ比抵抗は、大王(DIO)で急激に減少し、西方へ向かって緩やかに増大する傾向がある。見かけ比抵抗の空間分布に関する議論はこの辺にとどめることにする。もともとの測点感覚が平均7~8kmであるので、これ以上の空間分解能を得るためには観測点の間を補完する観測が必要である。

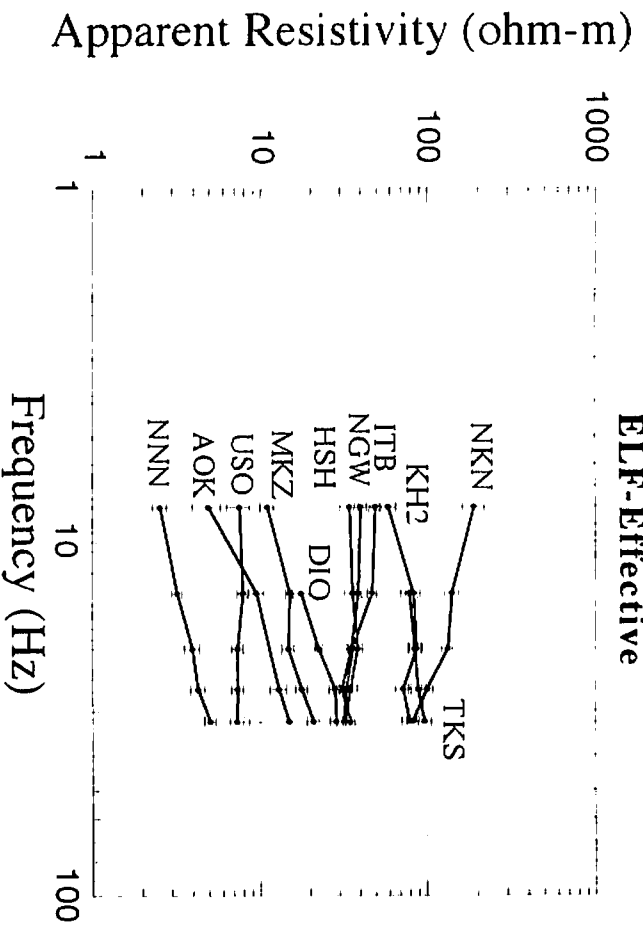
次に各点のELF-MTの見かけ比抵抗および位相の探査曲線を重ねて表示すると第5図および第6図のようになる。これらの図から、大王(DIO)から三ヶ月(MKZ)に至る地域とその両側(海側)の地域との間で、比抵抗の鉛直分布にも大きな違いがあるらしいことが推察される。すなわち、中央部分では低周波数ほど低比抵抗という傾向を示し位相も6



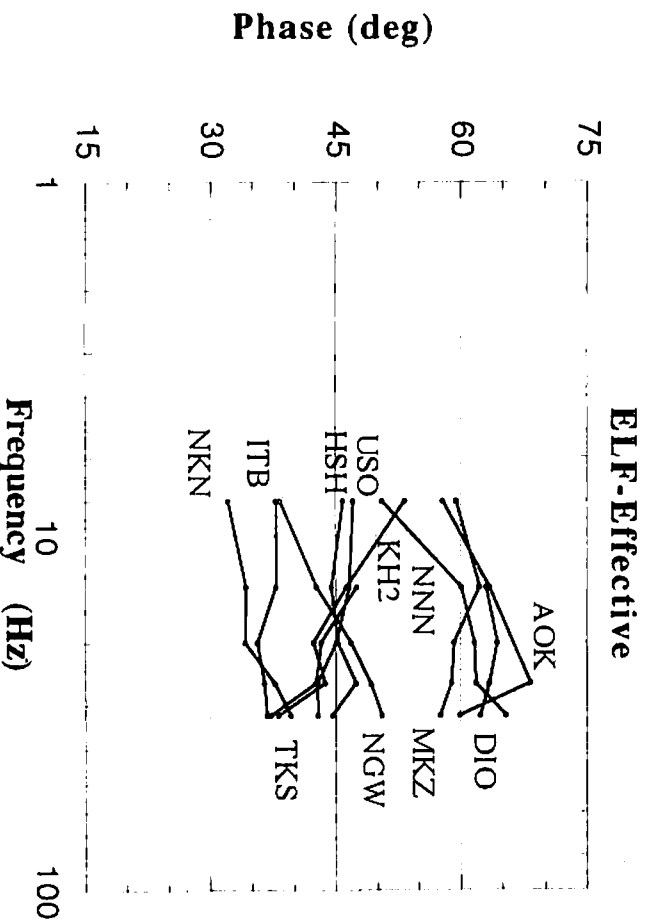
第3図 宮崎-水俣測線のVLF見かけ比抵抗分布. 各測点で3つの測定を行っている.



第4図 宮崎-水俣測線のELF見かけ比抵抗分布.



第5図 各観測点のELF見かけ比抵抗の周波数特性.



第6図 各観測点のELF位相の周波数特性.

0度程度の値であることから、数100mの深さに低比抵抗層の存在が示唆される。一方両側の観測点ではむしろ低周波数ほど高比抵抗の傾向を示し、位相も45度よりも小さい場合が多い。以上のことから九州南部の中央部分とその両側の地域の間には、単なる表層のみならずやや深部にまで比抵抗構造上の違いがあるものと見られる。

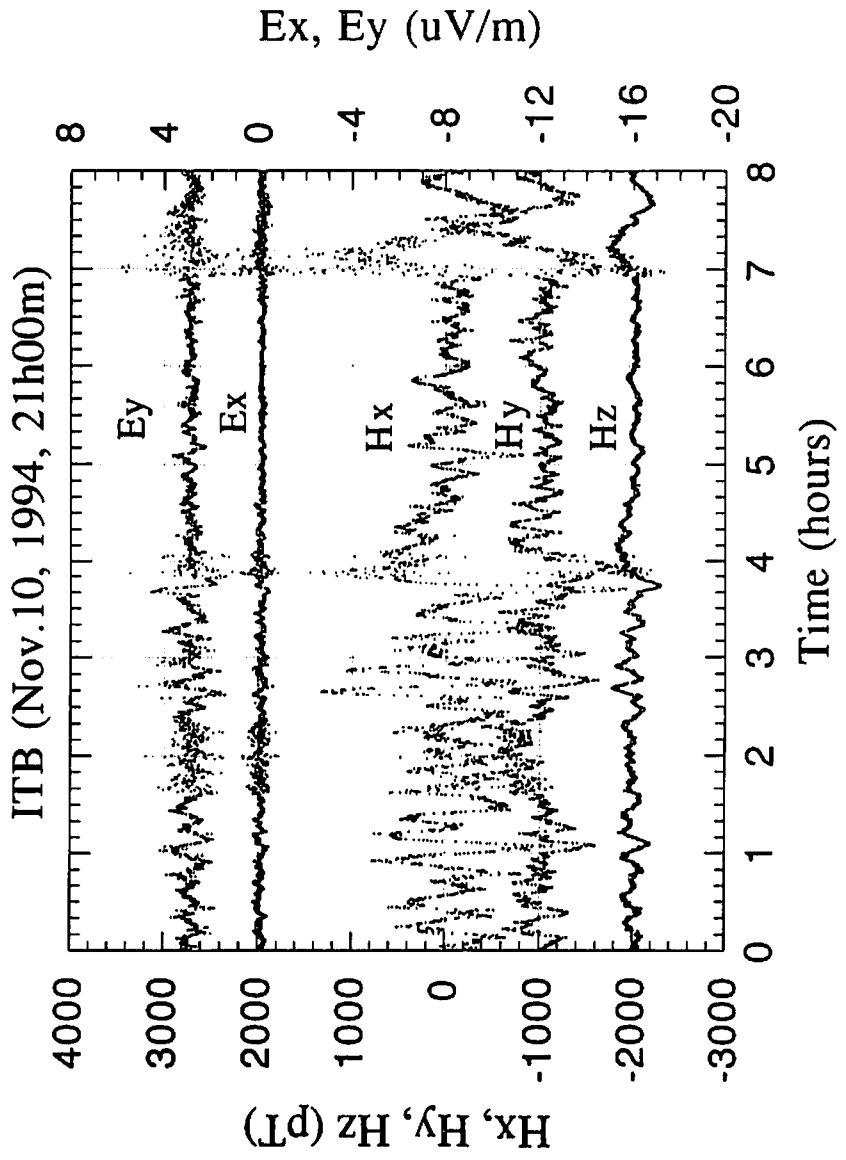
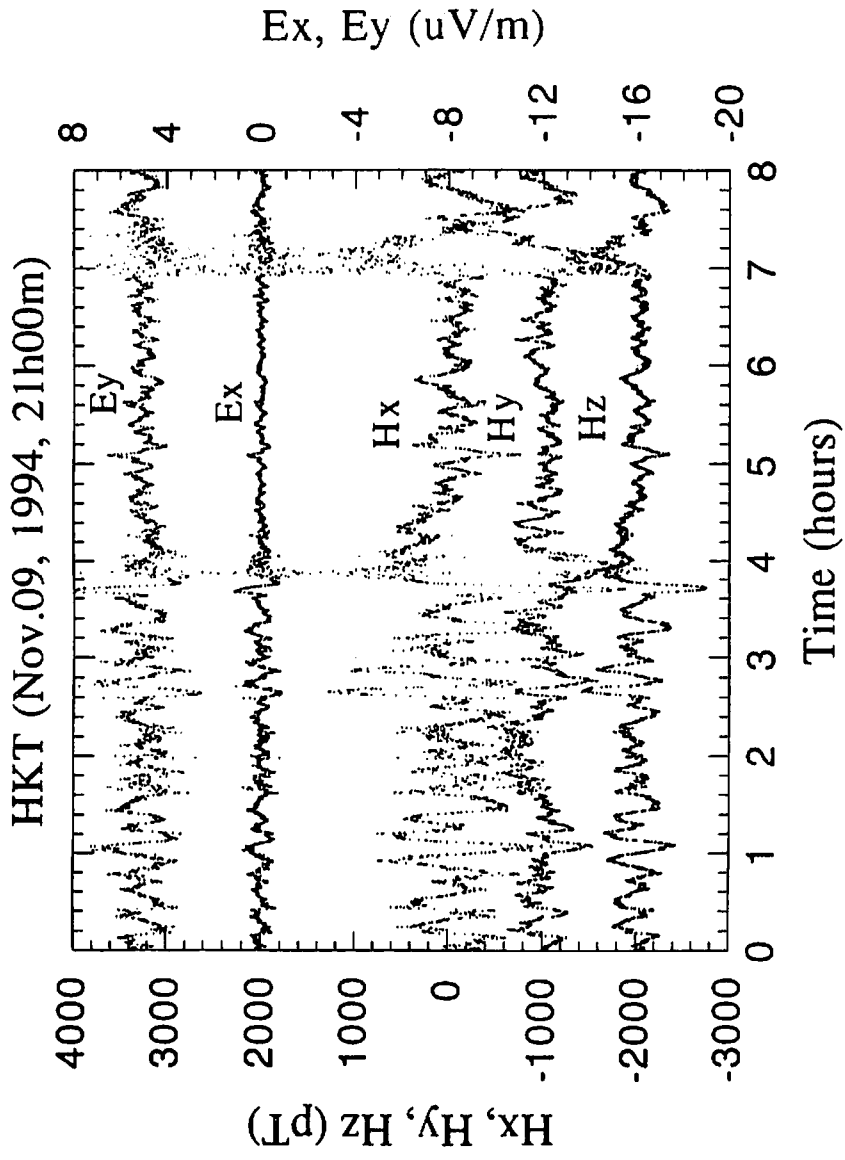
ところで、第1図や鍵山(1994)の第6図に見られるように、地震活動が活発な地域はELF・VLF-MTの低比抵抗領域ほぼ一致する。また、温泉も高原町から大口市にかけて、ほぼおなじ範囲に分布している。これらの間にはなんらかの関連があるものと考えられる。もちろん、数100mの深さの比抵抗が地震発生に直接関係することは考えられない。この地域の地表を広く覆っている火山噴出物と基盤との境界に帯水層ができていたものと見られる。地震との関連としては、地殻の破碎によって周辺より地下深部からの熱水の供給されやすい状況がつけられている可能性はある。このような観点からの温泉調査などは今後の課題であろう。

4. ULF アレー観測結果

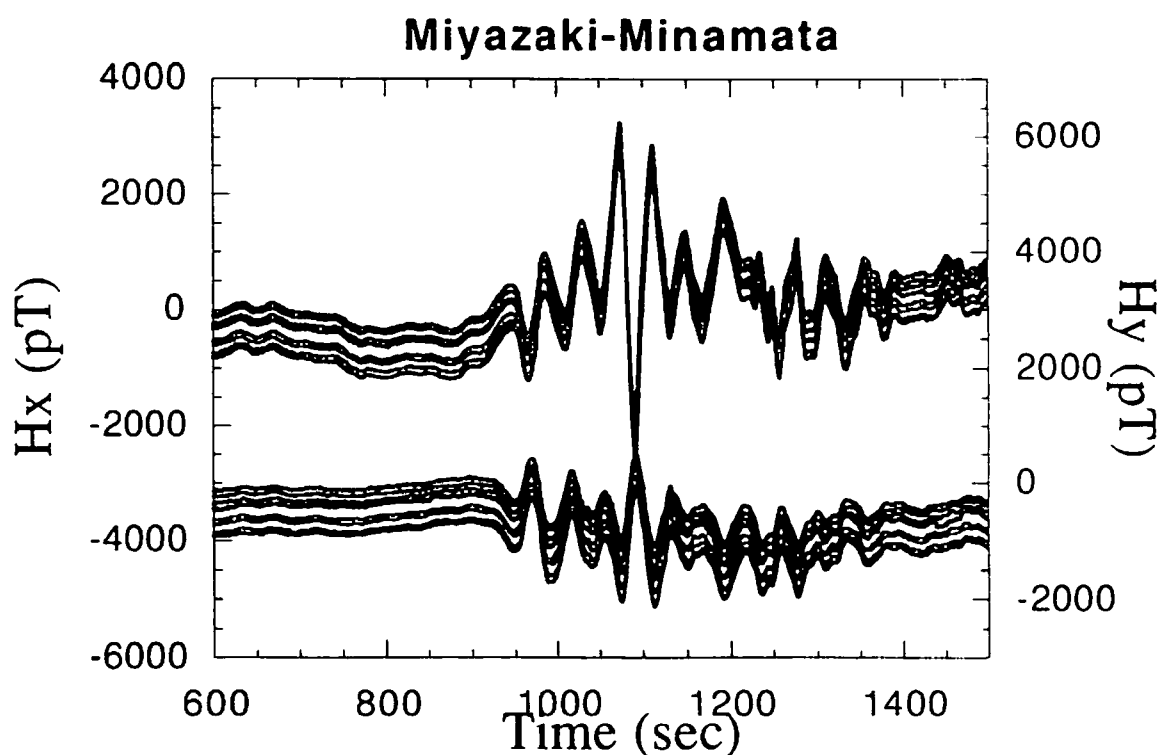
観測開始当初の11月6日前後には、やや顕著な地磁気擾乱があったものの、全観測点で同時記録がとれるようになってからは、磁氣的に静穏な日が続いた。しかしながら、11月9日から10日にかけて第7図に示すような擾乱が発生し、全観測点でほぼ良好な記録を得た。10日の午前4時少し前に始まったイベントには、かなり短周期の現象が含まれるので、この部分を拡大して見ることにする。

第8図はすべてのU36による15分間の磁場水平2成分(南北および東西成分)記録をかさねてプロットしたものである。今回の観測地域程度の範囲であれば水平成分の空間的一様性は非常によく成り立っていることが明らかである。また振幅・位相ともにほぼ一定であることから、表層の局所的異常による電磁誘導効果もほとんど無視できるものとみなされる。これに対して、磁場の鉛直成分(第9図)には、地表および地下深部の比抵抗分布の影響と見られる特徴を見ることが出来る。たとえば、内陸部で振幅が小さく両端のほど振幅が大きいことがわかるし、永久井野(NKN)と大王(DIO)の間で位相の反転が見られる。このような傾向は、大局的には太平洋と八代海の影響として解釈が可能である。しかしながら、第9図を注意深く見れば、水平成分ほど波形がそろっていないことや、振幅の変化や位相の進み遅れが空間的になめらかではないことが見て取れる。これらの性質は、均質な地球のプラス海岸線効果という単純な現象ではないことを示している。

今回の観測では電場についても良好な同時記録を得た(第10図)。南北成分が東西成分に比べて約半分の振幅であるのはこの観測地域全般についていえる特徴である。各成分の場所による振幅の違いも2倍程度であり、前項でも述べたように観測点周辺の局所的な異常がきわめて小さいことがわかる。



第7図 伯田 (上) および石飛 (下) における電磁場記録
(1994年11月9日21時から8時間分) .

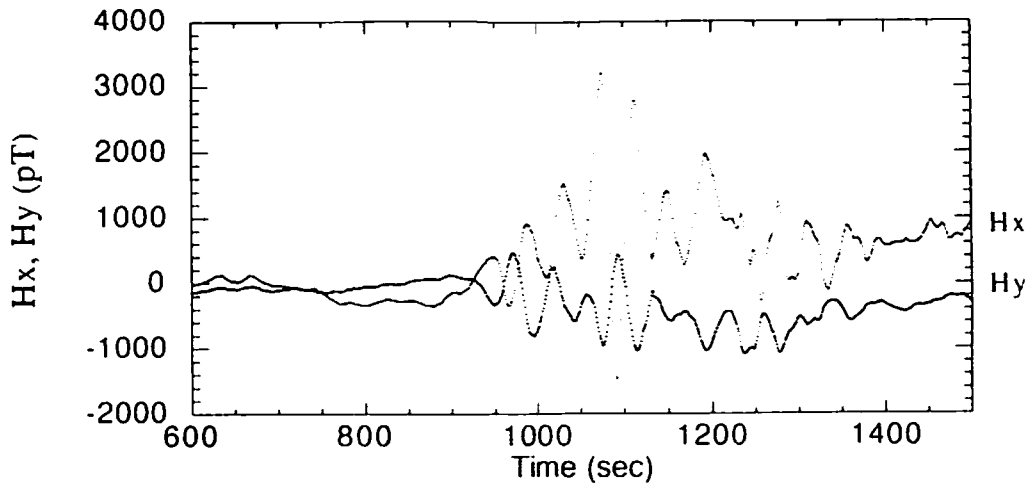


第8図 1994年11月10日3時50分から15分間の
10観測点 (U36) における磁場水平2成分変化.

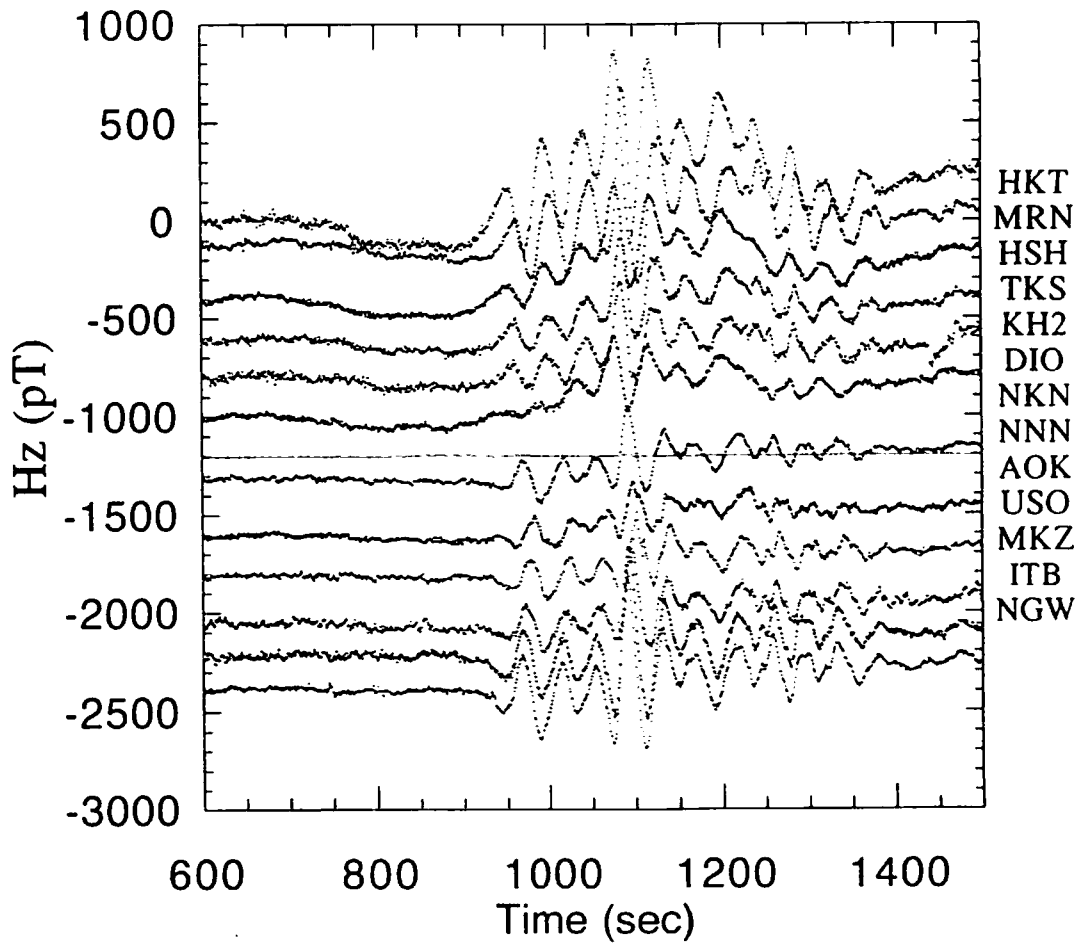
5. まとめ

宮崎-水俣測線のULFアレー観測は、これまでのU36の使用法とは異なり、やや広域の地下構造探査に適用したものである。今回の使用機器の台数は13台で、測線長はおよそ80 kmである。参加人員は設置の時に多くて2班8名、装置の保守のみの場合には少ないときには3名であった。今回の観測は、測線長はやや短いものの規模としては1980年代に我々が行ったアレー観測に匹敵する。つまり、日本列島を横断する測線での観測はこの程度の人員と日数によって十分行えることが示されたように思われる。今後のU36の有効な使用法の一つとして考えてよいであろう。

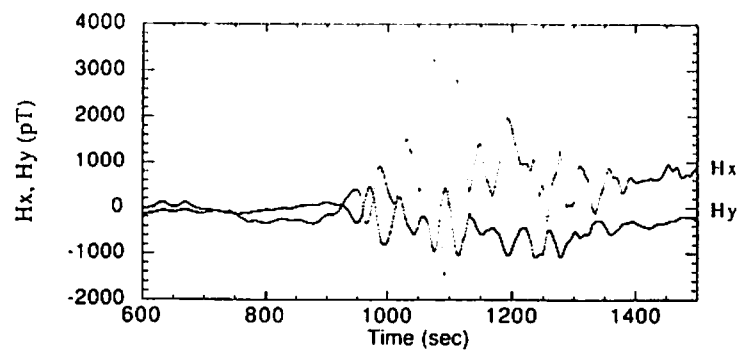
今回の観測データの解析はまだ行っていないので、地下構造に関する定量的な議論は行えない。いずれにしても、広帯域MT高密度アレーやネットワークMTの結果などと総合し



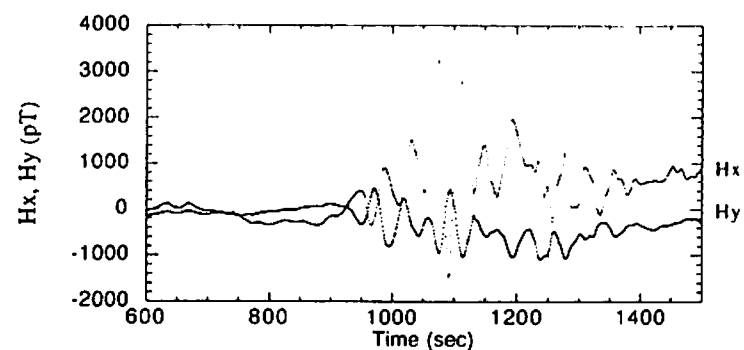
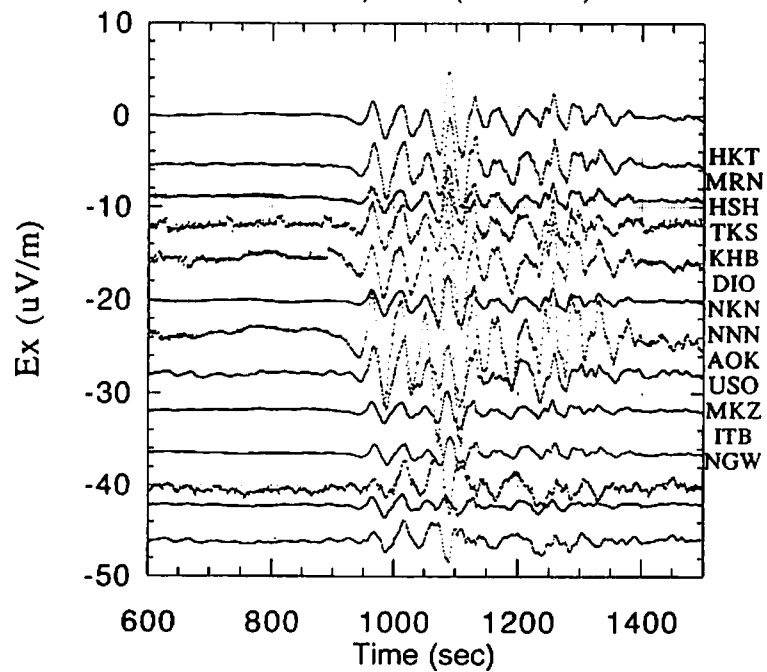
Nov.10, 1994 (03h50m)



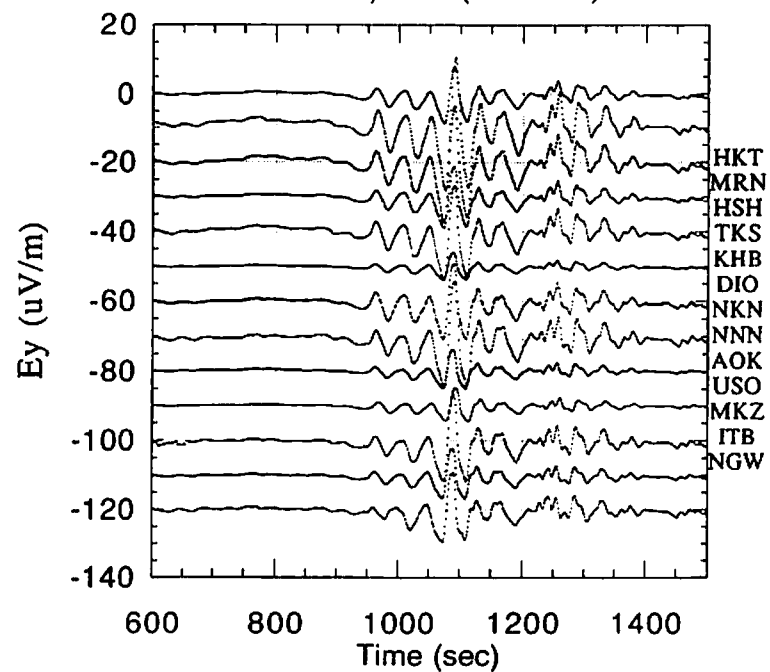
第9図 1994年11月10日3時50分から15分間の全観測点における磁場鉛直成分変化.



Nov.10,1994 (03h50m)



Nov.10,1994 (03h50m)



第10図 1994年11月10日3時50分から15分間の全観測点における電場の南北(上)および東西(下)成分変化.

て九州南部の地下構造と地震発生およびテクトニクスに関連を解明することが今後の課題である。

参考文献

- 井ノ上幸造, 霧島火山群にみられるK₂O, Rbの水平変化について, 火山, 30, 313, 1985.
- 長谷川昭・山本明・堀内茂木, 島弧火山の深部構造と内陸地震, 内陸地震 -発生の場合と物理-, 28-32, 1992.
- 鍵山恒臣, 加久藤カルデラにおける電磁気構造探査の意義, CA研究会1994年論文集, 129-133, 1994.
- 後藤忠徳・地殻比抵抗研究グループ, 宮崎県えびの市周辺における広帯域MT観測, CA研究会1995年論文集, 1995.
- Minakami, T., et al., The Ebino earthquake swarm and the seismic activity in the Kirishima volcanoes, in 1968-1970, Part 4, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 48, 205-233, 1970.
- 小河努・上嶋誠・歌田久司・増谷文雄・鍵山恒臣, 霧島火山周辺におけるネットワークMT観測について(序報), CA研究会1995年論文集, 1995.
- 笹井洋一, 松代群発地震の生成機構 -自然発生的大規模水圧破碎, CA研究会1994年論文集, 181-195, 1994.
- 笹井洋一・歌田久司・住友則彦, 1994年電磁気共同観測について, CA研究会, 1995.
- Yukutake, T., A review of studies on the electrical resistivity structure of the crust in Japan, *Earthq. Pred. Res.*, 3, 345-364, 1985.