

## 伊豆大島における地磁気（ULF）観測

気象庁地磁気観測所 山本哲也，桑島正幸，橋本雅彦，熊坂信之

### 1. はじめに

伊豆大島では，様々な電磁気的手法をもちいた調査が行われているが，ULF帯の電磁場をもちいた調査結果については，これまで未知の部分となっていた。一方，伊豆大島火山の構造，特に噴出するマグマの源を考えるうえで，地下数kmまでの調査は欠かすことのできないものといえるが，ULF帯の電磁場による探査深度はおおむねこの程度であると思われる，有力な調査方法であると考えられる。ここでは，このような状況ふまえて実施された，伊豆大島におけるULF帯の地磁気変化観測についての結果を報告する。

### 2. 観測

1988年3月に伊豆大島の4つの観測点（図1）で，ULF帯地磁気3成分変化観測を実施した。MIE，MIS，MIWは，それぞれ三原山の東側，南側，西側の砂漠，DMRは1986年噴火の際のC火口列の北端部付近から林道沿いに南へ数100mの観測点である。それぞれの観測点ではインダクション磁力計を埋設し，毎秒のデジタル値を記録した。測定器及び記録器はDC電源で駆動した。観測期間は，MIEとMISでは3月10日から3月13日まで，MIW，DMRでは3月13日から3月16日までであった。

図2に示したのはMIEにおける観測例であるが，人工擾乱等は少なく良好な記録がとれている。

### 3. 結果

観測によってえられたデータから，地磁気変化変換関数を求めた。

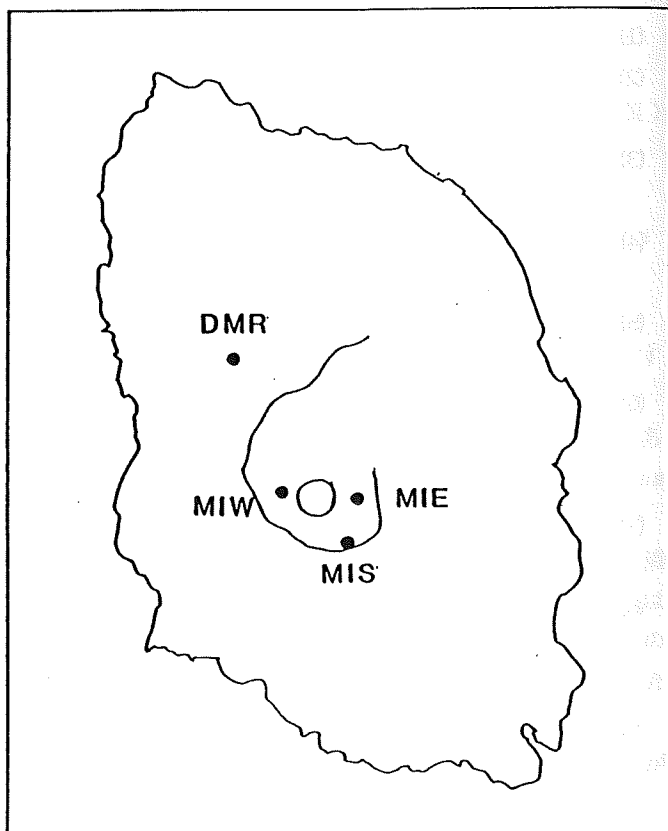


図1 観測点の配置

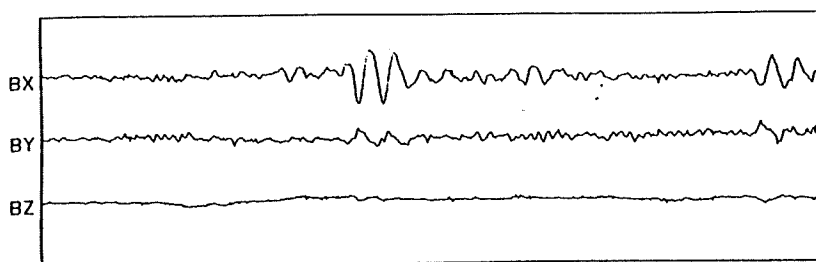


図2 MIEにおいて観測された1988年3月10日19時2分11秒 (UT) から30分間の地磁気3成分の変化

比較的顕著な現象を含む区間の記録から周期8, 16, 32, 64, 106秒の5つの周期帯について処理を行ったが, 良好な結果がえられたのは, 16, 32, 64秒の周期帯であった。これらの変換関数をインダクション・アローとして図3, 図4, 図5に示す。

周期64秒(図3)では, 実数部分のインダクション・アローの大きさは0.1から0.2程度で, おおむね島の外側を向いている。これは, 定性的には離島効果から期待されるものといえる。虚数部分は0.1から0.2の大きさで, 伊豆大島の西岸のほうを向いているようにみえる。

周期32秒(図4)では, 実数部分のインダクション・アローの大きさはそれほど顕著な変化は認められないものの, 周期64秒のものに比べてインダクション・アローの向きが西側に回転しているようにみえる。虚数部分のインダクション・アローは, 周期64秒と同様に西岸のほうを向いている。

周期16秒(図5)では, 実数部分のインダクション・アローの回転がより顕著にみられ, すべての観測点で西側を向いているといってもさしつかえがない。虚数部分は三原山周辺の観測点MIE, MIS, MIWでは, 西側を向いているが, DMRでは島の中心部をさしている。

これらに共通してみられる実数部分の西向きの回転や, DMR以外では虚数部分が西を向くことは, 離島効果では説明しにくい特徴であると考えられ興味深い。

なお, えられた変換関数の大きさは, おおむね0.1から0.2程度であるのに対し, 推定ともなう誤差は0.05以下であるが, 誤差推定的前提となる統計的仮定がどの程度妥当であるかは検討していない。

また, ULF帯では地磁気変化の水平成分がかなり偏波している現象が多いが, 今回の結果について, 偏波がどのような影響を及ぼしているかについては, 吟味していない。

したがって, 今回の結果の有意性, 普遍性について, 確固たる目安になるものがあるとはいえないので, 先に述べた変換関数の特徴は, 今回の観測データを定性的に記述したものであると, 現在の段階では考えるべきだろう。

#### 4. 海の効果の評価

離島効果の名で知られるように, 伊豆大島のような離島における地磁気変化及

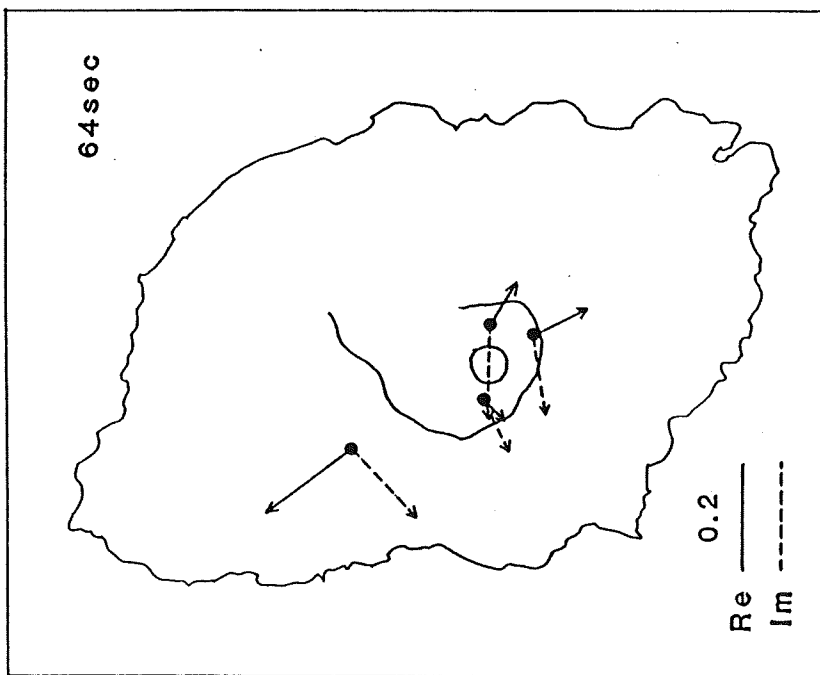


図3 観測された周期64秒の変換関数

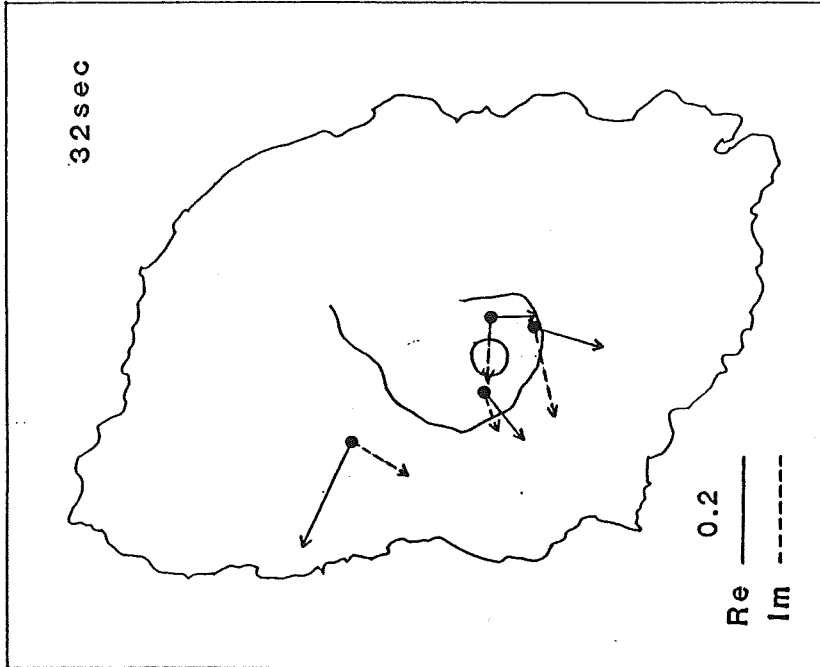


図4 観測された周期32秒の変換関数

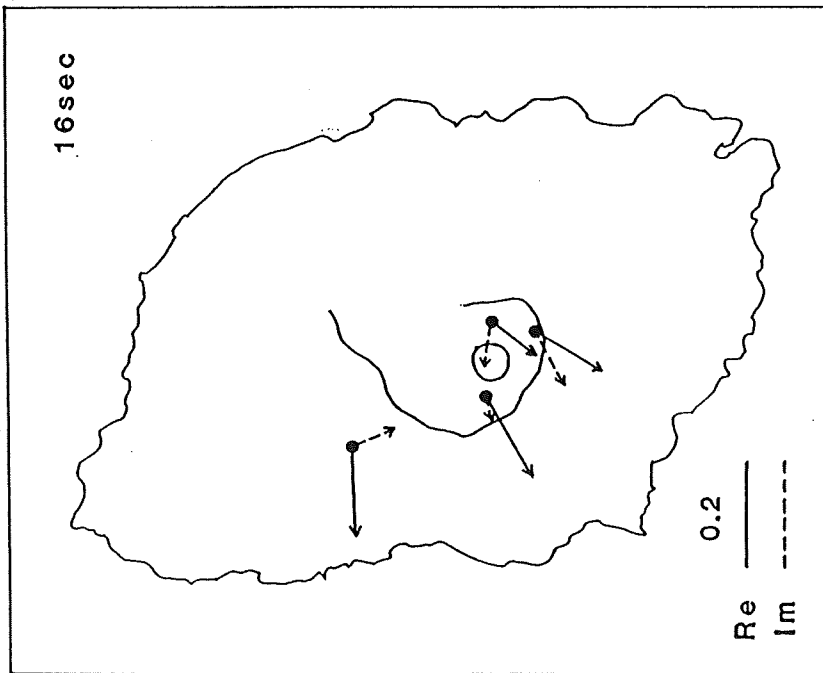


図5 観測された周期16秒の変換関数

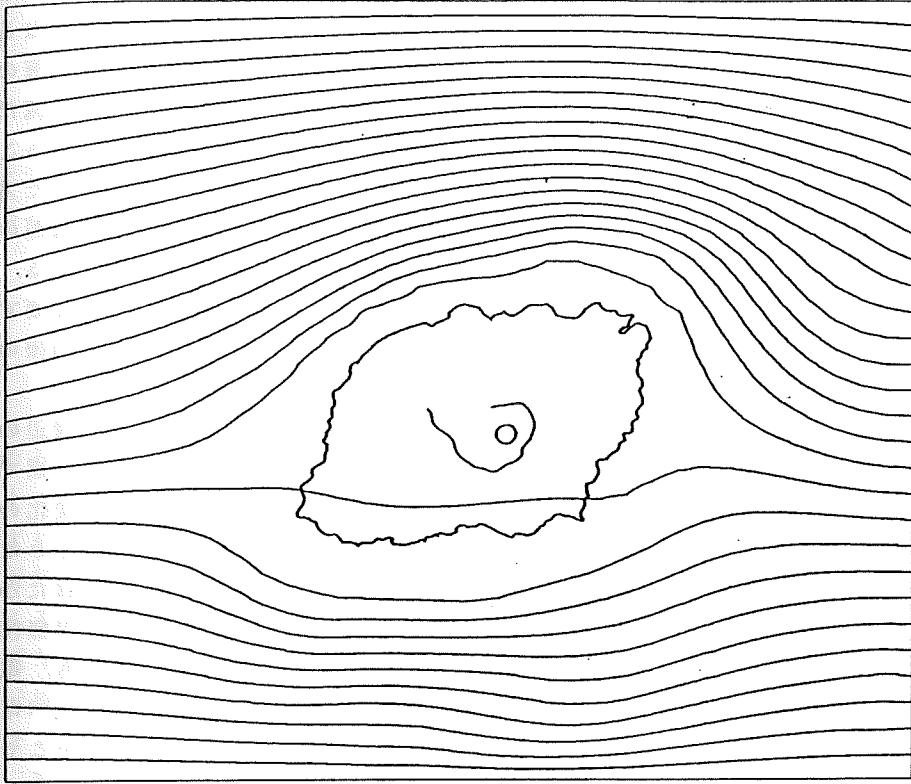


図6 計算によってえられた周期32秒の東西方向の地磁気変化によって誘導される層電流系

び変換関数は、周辺の海に流れる誘導電流の影響を強く受ける。そのため、地下構造の調査を行おうとする場合などは、海の効果の評価することが不可欠となる。伊豆大島については笹井(1968)が周期30分の地磁気変化について、海の効果の評価を行っている。それによれば、観測された変換関数は海水中の電流だけでは説明できないもので、伊豆大島でも変換関数の中部日本異常がみられることが明らかになっている。笹井(1968)が海の効果の評価するのに用いた方法は、海が無限小の厚さの薄い層に近似できるとして(薄層近似)、外部起源の磁場擾乱によって、その薄層内に誘導される電流を計算するという手法である。この手法は、計算機の能力が飛躍的に向上した現在でもなお、海の効果の評価する簡便な手法であると考えられるので、ここでも笹井(1968)とほぼ同様の手法で、海の効果の評価する。

計算にあたり問題となるのは、ULF帯の地磁気変化の場合、伊豆大島周辺の海を従来の方法で薄層とみなすことは、精度のよい近似とはならないという点である。すなわち、海が薄層と近似できるためには、注目する周期の電磁場変化のスキンドプスが水深より十分に大きく、海水中の電磁場が鉛直方向に一定とみなせなくてはならないのに、周期としてULF帯を考えると、スキンドプスはたかだか1-2km程度であり、伊豆大島周辺の海では海水中の電磁場の減衰が無視できないと考えられる。見方を変えれば、単純に薄層と近似した場合よりも、電場の減衰する分だけ実際に流れる電流は少なくなるわけで、実際的水深に比べ電流を流しうる"実効的な水深"が小さくなっているということもできる。そこで、評価にあたり、実際的水深のかわりに実効的な水深を用いれば、ULF帯についても従来と同様の方法が適用できるのではないかと考えた。

実効的な水深を決める前に、従来の薄層近似の手法を振り返ることにする。従来の手法では、層内の電場がz方向(鉛直方向)に一樣であると近似するので、層内を流れる電流*i*をz方向に積分した層電流*i<sub>s</sub>*は、

$$\begin{aligned}
 i_s &= \int_0^d i \, dz \\
 &= \int_0^d \sigma E \, dz \\
 &= \sigma d E \qquad (1)
 \end{aligned}$$

である。ここで、*d*は層の厚さ、 $\sigma$ は層の電気伝導度、*E*は層内の電場(一定)を表している。

次に、電場の減衰が無視できないような場合は、

$$i_s = \int_0^d \sigma E(z) \, dz$$

$$\int_a^d E(z) dz = \sigma d \frac{E(0)}{E(0)d} E(0) \quad (2)$$

となる。ここで  $E(0)$  は層の上面の電場であるが、これを (1) 式の  $E$  と同一視することにより、実効的な層の厚さ  $d'$  は、

$$d' = d \frac{\int_a^d E(z) dz}{E(0)d} \quad (3)$$

とみなすことができる。この式から明らかなように、減衰の著しい場合は  $|d'| < |d|$  となり実効的な層の厚さは実際の層の厚さに比べて小さくなる。また、減衰のない場合は  $E(z) = E(0)$  であるから、 $d' = d$  であり、従来の薄層近似とも連続性が保たれている。(3) 式に従って  $d'$  を求めるためには  $E(z)$  のふるまいがわかっているしなければならないが、厳密にこれを求めるのはなかなか大変な作業である。そこで、ひとつの近似として、水深  $d$  の一様な海の場合 (1次元構造の場合) の  $E(z)$  を用いることにした。この場合は、 $E(z)$  が簡単な解析解としてえられるため取り扱いやすい。

計算に使用した水深データは、海上保安庁水路部による伊豆大島付近の海底地形図から読みとった。領域は、南北 35 km、東西 30 km で、格子間隔は 1 km とした。島の部分は笹井 (1968) に従って、水深 10 m の海としてあつかい、また、自己誘導は考慮していない。

周期 3.2 秒で磁場の水平成分が東西方向に変化する場合の層電流を計算した例を、図 6 に示す。伊豆大島周辺の海は、東側が西側に比べて深いので、通常の薄層近似によって計算を行うと層電流が東側にかたよるが、ここでは実効的な水深を用いているので、東側への集中は、それほど強いものではなくなっている。

このようにして求められた層電流系から予想できる変換関数を図 7 に示す。三原山を中心にインダクション・アローが島の外側を向いており、ほぼ等方的な離島効果がみられるといえる。

## 5. 考察

図 7 に示した伊豆大島周辺の水深から予想されるインダクション・アローと観測されたインダクション・アローを比較してみると、実数部分、虚数部分ともに観測されたインダクション・アローは西向き (西南西向き) の成分が大きいようにみえる。これは 4 つの観測点に共通してみられるもので、海の効果からの西向きのずれの大きさは、おおよそ 0.1 程度である。DMR の虚数部分のふるまいは、他の観測点とは異なるので、他の観測点と同一の原因を求めるわけにはいかないだろうが、三原山周辺の 3 点に関しては観測点の位置が近接していることもあり、

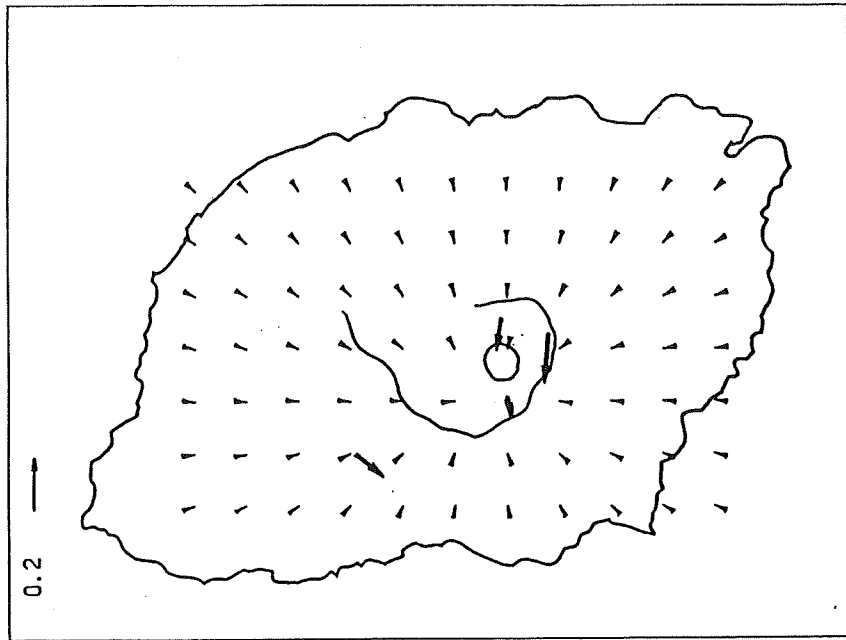
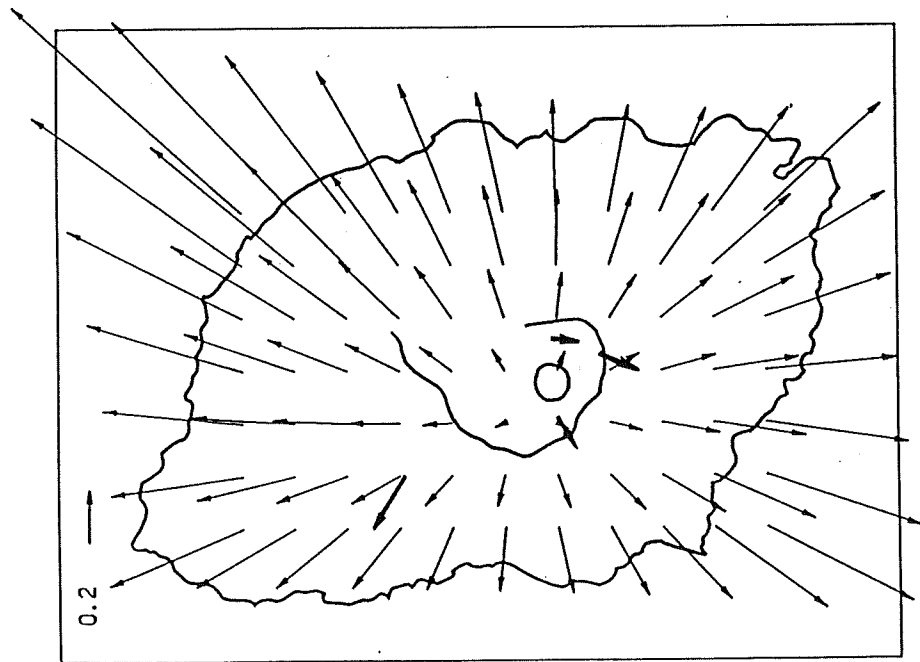


図7 計算によってえられた層電流系から期待される変換関数（インダクシ  
ン・アロー）の実数部分（左）と虚数部分（右）

伊豆大島の地下の比抵抗構造が、観測されたようなインダクション・アローの西向きの成分を作り出していることを、うかがわせる結果となっている。

一方、このような結果に対する批判的な要因も少なくないことは否定できない。

たとえば、観測されるZ成分の大きさ、もしくは、変換関数の大きさが小さく、観測点もたかだか4点であるため、ここにみられる観測結果がどの程度有意なものであるかは、まだまだ検討の余地があるように思われる。この点に関しては、解析手法の吟味を進めることも当然のことながら、伊豆大島でのULF帯の観測例を増やしていくことが、最善の解決法となるだろう。

また、海の効果を評価する方法についても改善すべき部分が残されている。その中でも特に、今回の計算では考慮しなかった自己誘導の寄与が、ULF帯では無視しえない可能性が高いので、今後、自己誘導を含めたより精密な海の効果の評価方法を確立する必要があるだろう。

#### 参考文献

Sasai, Y., Spatial dependence of short-period geomagnetic fluctuations on Oshima Island (2), Bull. Earthq. Res. Inst., 46, 907-926, 1968.