

係留バルーン磁力計による活断層構造の調査
——吉岡断層（1943年、鳥取地震）の場合——

鳥取大学教養部	宮腰潤一郎
	塩崎一郎
	西田良平
鳥取大学教育学部	岡田昭明
京都大学防災研究所	大志万直人

Geomagnetic Survey of the Yoshioka- fault Using a
Balloon- magnetometer

J. Miyakoshi, I. Shiozaki, R. Nishida and S. Okada
(Inst. Earth Sciences, Tottori Univ.)
N. Ohsiman (Disaster Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.)

I. はじめに

一般に活断層が巾数100m、深さ数kmあるいはマントル上部にまで及ぶとみられる低比抵抗帯となっていることはよく知られている。ところが活断層には断層と直交方向に二次元的地下構造の存在を示唆する小規模ながら極めて明瞭な磁気異常が断層線上の各所に断続的に存在することが1980年秋東北地方の千屋断層において行われた地球内部電磁気グループによる共同観測によって見いだされた。(1) そして同様な磁気異常が存在することが国内の各所で発見されまた国外でも本蔵たちの調査によりトルコの北アナトリア断層においても磁気異常の存在が明らか

になった(2)、(3)、(4)、(5)　そして何れもそれらは岩脈状岩体の帯磁のためと説明されている。

1. 吉岡・鹿野断層横断地磁気プロファイル

1943年9月、鳥取地震 ($M=7.4$) が発生した吉岡・鹿野断層は現在も地殻内に活発な微小地震活動がみられる活断層である (図1)。1988年に我々はこの断層及びその延長を南北に横切る5つの測線についてプロトン磁力計による全磁力測定を行った。測線位置を図2に、各測線における全磁力値のプロファイルを図3に示す。いずれの測線上でも推定断層位置にはほぼ一致して顕著な磁気異常の存在がみとめられるが特に吉岡温泉南の吉岡断層を横切るNo.4の測線では典型的な二次元的磁気異常がみられる。

II. 吉岡断層における地表磁気測量

1991年、この磁気異常を確かめるために吉岡断層を含む付近一帯に対してプロトン磁力計による地表磁気測量を行った。測定器は、分解能1 nTの測機舎製ポータブル・プロトン磁力計PPM-739Cを使用した。

磁気センサー高は地上1.8mであり、3~10回くりかえして得られた測定値の平均値を各観測点の全磁力値とした。この際、測定値のバラツキが±5 nT以上になる場合は、センサーを数m移動して再度測定した。なお、移動しても変動が大きい場合は、その地点を測点から除外した。地磁気日変化の補正には京都大学微小地震観測所 (鳥取市円護寺) の定点連続観測記録を使用した。

測定結果については、全観測点の測定値について平均値を求め、この値と各測点の値との差を磁気異常値とした。なお、その磁気異常値が周辺の値と大きく異なるものは、ごく局所的あるいは人為的ノイズによるものと考え、データ処理段階で除外した。日変化補正および磁気異常値を求める手順は以下のとおりである。

- 1) 日変化を消去するため各測点についての測定値 (A) と、同時刻の鳥取市円護寺での定点測定値 (B) との差 (C) を求める

$$[C=A-B]$$

- 2) 全測点に関するCの平均値 (D) を求める $[D=(\sum C) / N]$ 。

- 3) 各測点についてDとCとの差を求め、これを磁気異常値

(ANOMALY) とする [ANOMALY=D-C] 。

測定に際しては調査範囲の北東端近くに基準点(ST)を設け、調査期間中複数回の測定を行った。調査期間中の日変化レンジは最大で72nT (11月2日)、最小で30nT (11月3日)であった。

各測点について得られた磁気異常値にもとづき、50nT毎のコンター・マップにより磁気異常図(図4)を作成した。図中で、実線は正異常、点線は負異常を示す。

ところで、前述のように吉岡断層の位置にほぼ一致して二次元的磁気異常が存在している。このことを確かめるために、地表調査から判断される断層位置を横切る2本の測線について精査を行った。第1測線は長さ約230m、第2測線は約330mで、それぞれ約10m間隔で測点をとった(図5)。ただし、両測線とも県道矢矯-松原線と交差しており、この交差点の前後約20~30mは並行する電力線の磁気ノイズのため測定不可能であった。各測線の測定結果を磁気断面図として図6に示す。図中、黒丸に付した縦の実線は複数回の測定値が±10nT以上ばらつく場合のばらつきの範囲を示す。電力線に近付くと、全磁力は大きく減少すると共にばらつきも大きくなることがわかる。

さて、両測線の磁気断面図から、断層の直上に二次元的磁気異常が存在することは確実であると判断される。この磁気異常は第2測線では電力ノイズとほとんど重なってしまっているが、測点No.176~177に僅かながらみとめられる。ピークで示される高異常と北側の低異常との距離は100m程度であって、このような近距離の間に全磁力の系統的な変化がみられるということは、この二次元的磁気異常を作る源は浅部に存在することを意味すると考えられる。

以上の結果、吉岡断層上のこの地域には、1)断層を横断するほぼ南北方向に二次元的磁気異常が存在する、2)異常の範囲の大きさから判断して、磁気異常の中はおよそ200~300mであろうと判断された。そこでこの地域を係留バルーン磁力計による測定の対象地として選んだ。この地域には電柱などが無い水田地帯であり秋の収穫後の時期を選べば測定が容易であることも有利な点であった。

III . 係留バルーン磁力計による測定

1. 係留バルーン磁力計

係留バルーン磁力計の基本設計は大志万が担当し、K.K.ガウスに作製を依頼し測定精度は0.1nTとした。磁気センサーは上空におけるスピンによる影響を避けるためハネカム巻コイルとした。なお、センサーコイルの方向差が磁場計測値に与える影響を調べたが、たかだか1nT程度である。磁気センサーの重量は約4kgとなるためバルーンの容積は30m³とし、ヘリウムガスを充填して使用した。1回の飛揚に要するヘリウムガスの量は7kg圧のボンベ5本程度である。なお、現地における飛揚高度は気象条件等を考慮して最高100m程度とした。

2. 現地測定

吉岡断層現地における測定は1992年12月19日に行った。当日は幸い快晴、ほとんど無風であった。現地の測点は吉岡断層をほぼ南北方向に切る測線上に50m間隔に9点設けた。測点位置を図5に示した。各測点においてセンサー高を5m、10m、15m、20m、30m、…100mと順次変え、その間に10秒間隔で測定を行った。バルーンのある程度ふらつくために各高度における測定値にはばらつきが生ずる。そこで各高度において数回の測定を行いその平均を採用した。ほとんど無風とはいうものの風によってバルーン（センサー）が流されるためその位置は必ずしも地図上の点とは一致しないがその誤差は高度100mでたかだか20m程度のものであった。

地磁気日変化等の時間変化の補正には、鳥取市円護寺の京都大学防災研究所微小地震観測所におけるプロトン磁力計の連続計測値を利用した。吉岡断層現地における測定（A）は10秒間隔であり地震観測所における計測（B）は1分間隔であったが、12月19日の変化磁場は静穏であったのでBに対して適当に内挿を施し、両者の差（A-B）を求めることによって時間補正を行った。図7はこのようにして時間変化の補正をすませた後の各測点における各高度の全磁力値をまとめたものである。

IV. 考察

各高度における全磁力値のプロファイルは測点1、2、3において明らかに他の点と異なっている。この1、2、3はほとんど吉岡断層の直上に位置し明瞭な二次元磁気異常がみられた地域でもある。これらの点

では地表面で見られた磁気異常は高度およそ100mまで延びている。これに比べると他の点の磁気異常は地表から上方へ離れるに従って急激に減少し高度数10mで消滅する。またバルーン的位置により、測定値に大きなばらつきが見られるものがあるがこれは測定時にバルーンが風に流されたこととその高度における磁気傾度が大きかったことが影響していると考えられる。

V. モデル解析

地表での面的なサーベイによるとバルーンによる測線付近の磁気異常の源は厳密には三次元的形状をしていると考えられるが、ここではバルーン磁力計によつて得られているプロファイルが一測線のみであるということもあり解析には二次元モデルを用いることとする。

まず地下磁性体のおよその形状を知るためWon(1981)(6)による二次元インバージョンモデルを用い、地下磁性体の上面の深さ、巾、帯磁率それに両側面の傾きを見積つた。ただしこのモデルでは磁性体の下面の深さは決定できない。このモデルによる解析手順は以下の通りである。

- a) それぞれの高度で二次元インバージョンモデルを適用する。ただしこの場合プロファイルの測定データが9点となりインバージョンの収束がよくないため、スプライン補間を用い見かけ上プロファイルデータを41ヶとした。
 - b) まず高度2mでのプロファイルに対しインバージョンを適用する。
 - c) 次に、高度2mの場合得られた解のうち帯磁率のみ固定して高度5、10、20、40、50mのプロファイルデータに対し先ずスプライン補間をほどこした後、インバージョンを適用する。なおこの場合初期値には2mの高度で得られた値を用いる。
- 得られた結果は次のとおりである。

Height(m)	K (e.m.u.)	Dip (°)	Depth(m)	Thickness(m)
2	2.9×10^{-3}	124.7	14.6	112.9
5	〃	128.9	18.8	76.5
10	〃	123.6	24.8	69.5
20	〃	117.7	32.8	59.3

40	〃	106.2	50.0	50.5
50	〃	95.1	57.3	41.8
		Mean 116.0°		Mean 68.4m

上面の深さについては、各プロファイルの高度を含んでいるので

これを差し引いて

Height(m)	Depth(m)
2	12.6
5	13.8
10	14.8
20	12.8
40	10.0
50	7.3
	Mean 11.9m

となつた。決定された形状を図8に示す。

次に磁性岩体の下面の深さを見積もるためインバージョンで求めた形状で磁性岩体の下面を有限の深さとしたモデルを用い、その下面の深さをパラメータとして No.1, No.9 の測点での各高度について磁気異常を計算した。各点での磁気異常の高度に対する減衰率を検討した結果、磁性岩体の下面の深さは200mより浅くはなくまた500mより深くすると無限に深いモデルに一致してしまうことが解つた。

VI. ボーリングコアの帯磁率測定

前述のように吉岡断層の位置に一致して高度100mに及ぶ明瞭な二次元的構造的磁気異常が存在し、その磁気異常は図8に示したような地下200m以深に及ぶ磁性岩体によるものとして説明された。これが現実にとどのような地質構造に対応するかを知ることは活断層の成因を考える上で重要な知見を得ることになるであろう。幸いにも吉岡断層の北側の吉岡温泉では温泉源保護の観点から1992年に鳥取県による4本のボーリン

グが実施された。ボーリングは全深度における岩石コア採取の方式によって最大深度200mまで行われた。そこで掘さくされた4本のボーリング井のすべてのコアサンプルについて携帯用帯磁率計（国際電子、K-2）により帯磁率の測定を行ったが、そのうちの、ほぼ断層線上にあり、二次元的磁気異常の領域内にあると考えられる#4の位置を図5に、測定結果を図9に示した。#1、#2、#3のコアの帯磁率はおおよそ 10^{-5} 程度で所々に 10^{-3} 程度の大きな値を持つ岩層を挟んでいる。しかしその層厚はたかだか数m程度であってこれが顕著な磁気異常を作り得るとは考えられない。ところが#4のボーリング井は地表から約30mまでは砂礫等のやわらかい層が続くがその下は花崗岩を主体とした岩盤に入る。そして深度約160mに明瞭な破碎帯が存在し、これを挿んで厚さ60m以上に及ぶ岩層が 10^{-3} 程度の大きな帯磁率を持っている。そしてこれらの岩層は石英薄膜を挟む多くの亀裂を持つなど明らかに著しい変成作用をうけている。おそらくこれが磁気異常を作っているのであろうと判断された。

VII. まとめ、謝辞

地震発生に岩体の破壊——断層形成過程が関わっており、その意味から活断層の構造・物性の解明が極めて重要な課題であることは明らかである。殊に破壊核形成に至る課程における電磁氣的物性を明らかにすることの重要性が最近特に注目されている。活断層上ではところどころに明瞭な二次元的磁気異常が見いだされることは近年明らかになった事柄であるが、この度の調査によってこの磁気異常が高度100m付近にまで延びていること、この磁気異常を生み出す原因は岩脈ではなく破碎帯及びそれに連なる帯磁率が約2桁大きな変成領域が存在するためであることが明らかになった。おそらくこの変成領域は磁性体鉱物の粒子を多く含有しているものと思われるがその詳細な調査は今後に俟ちたい。

終りにこの研究を進めるに当たって種々便宜を与えてくださった地元吉岡町の各位とボーリング業者の方々々に心から御礼申し上げる次第である。

参考文献

- (1) 乗富一夫、地球電磁気学的手法による断層活動度の研究、昭和56年5月文部省科学研究費自然災害特別研究成果、1981、84~91.
- (2) 多田堯他、中央構造線と地磁気異常(序報)——四国における全磁力測定——地震、1983、423~429.
- (3) 渡辺修夫他、北アナトリア断層帯西部域における全磁力異常、1984年CA研究会論文集、1984、189~192.
- (4) 村上英記、山田功夫、阿寺断層・跡津河断層における全磁力測定、1985年CA研究会論文集、1985、183~187.
- (5) 村上英記、山田功夫、藤村彰夫、1984年長野県西部地震の震央周辺における全磁力調査、地震、1986、361~369.
- (6) I. J. Won, Application of Gaussian' Method to Magnetic Anomalies of Dipping Dykes, Geophysics, Vol. 46, 211~215, 1981

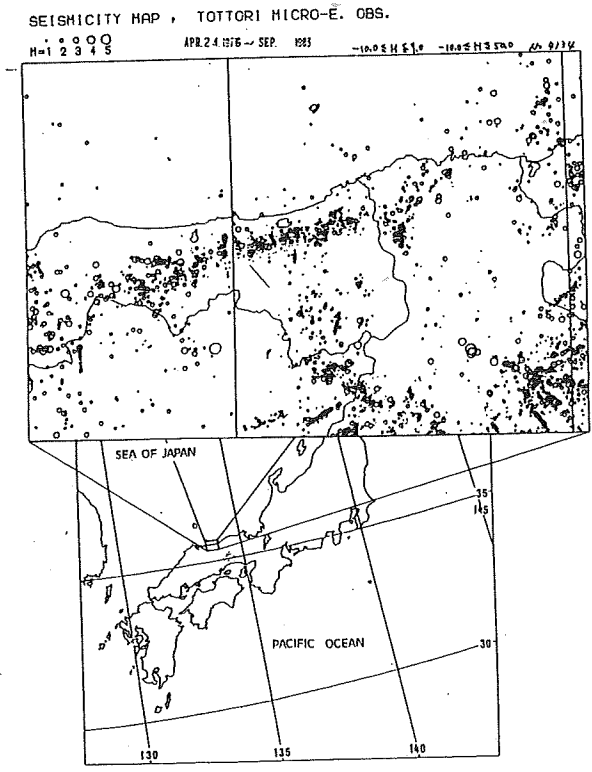


図1 震央分布図
 (京都大学防災研究所鳥取微小地震観測所による)

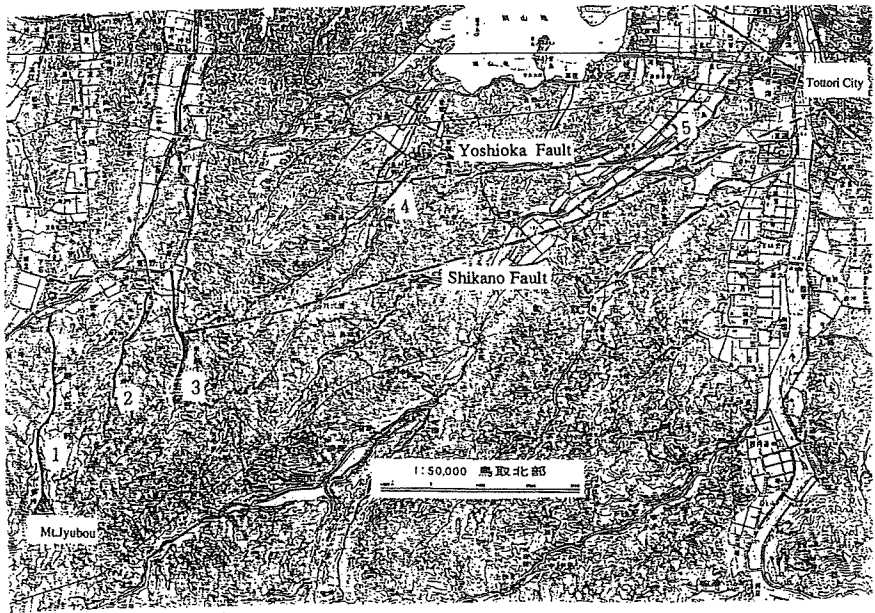


図2 鹿野・吉岡断層と全磁力測定測線位置

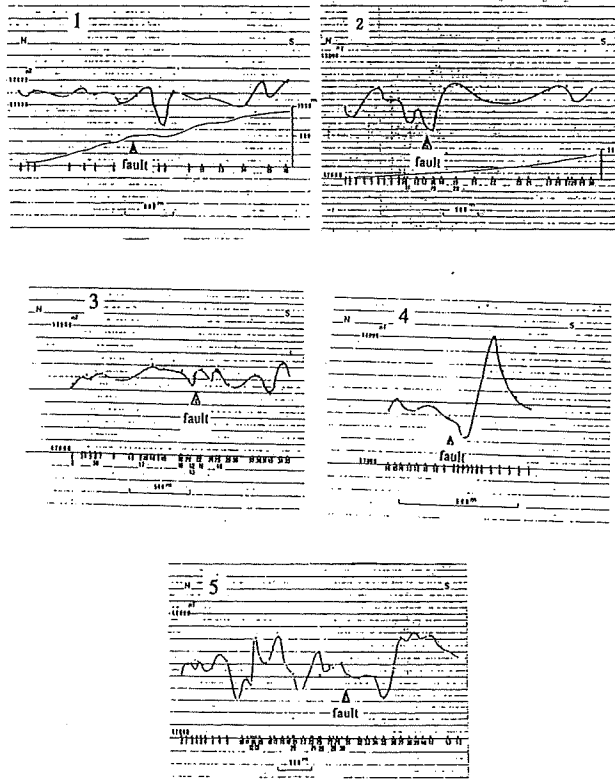


図3 全磁力値のプロファイル

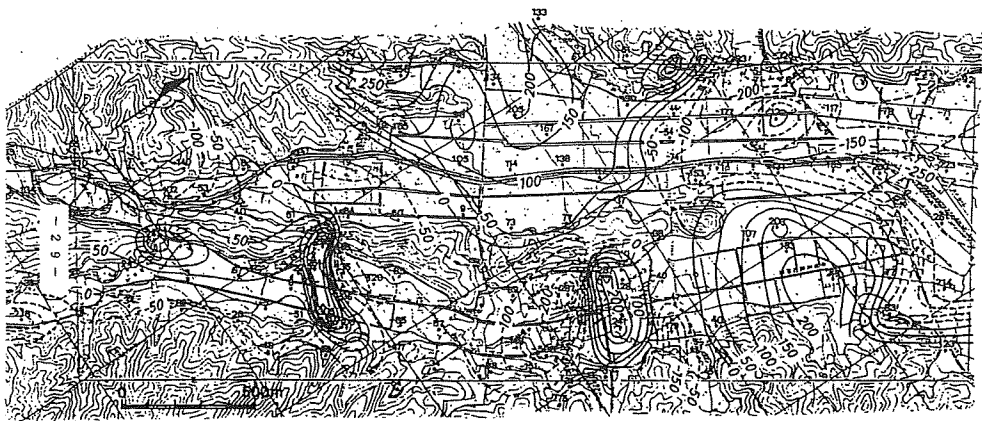


図4 地表全磁力値分布

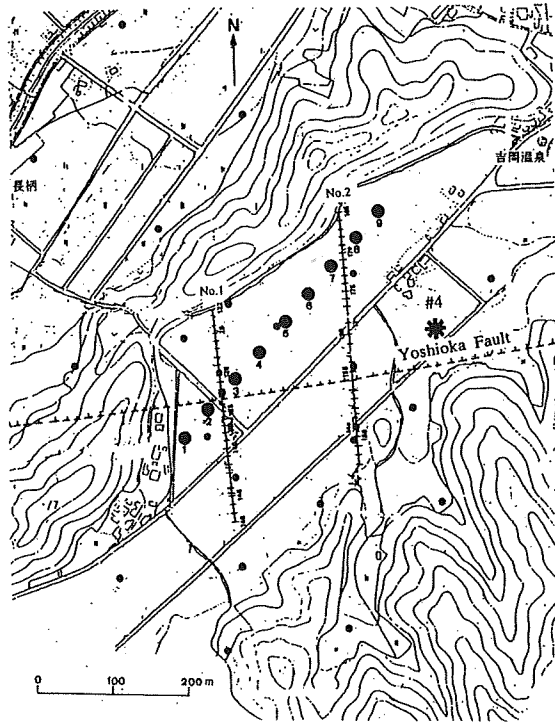


図5 地表全磁力分布精査測線及び
 バルーン磁力計による測点位置（1～9）
 と#4ボーリング井位置

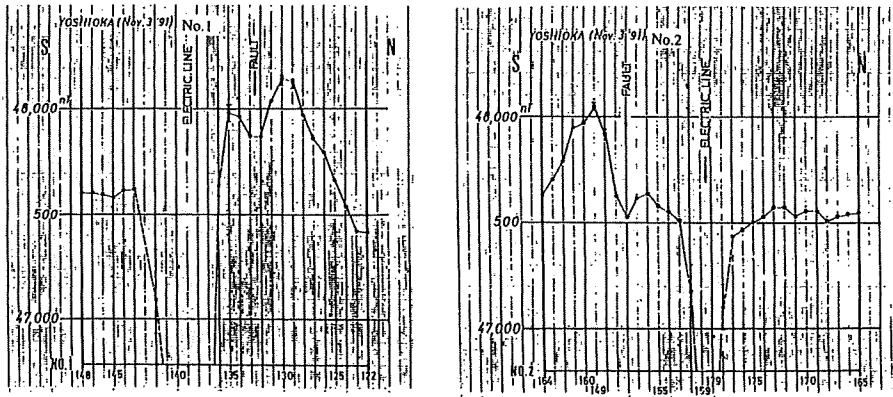


図6 地表全磁力分布精査プロフィール

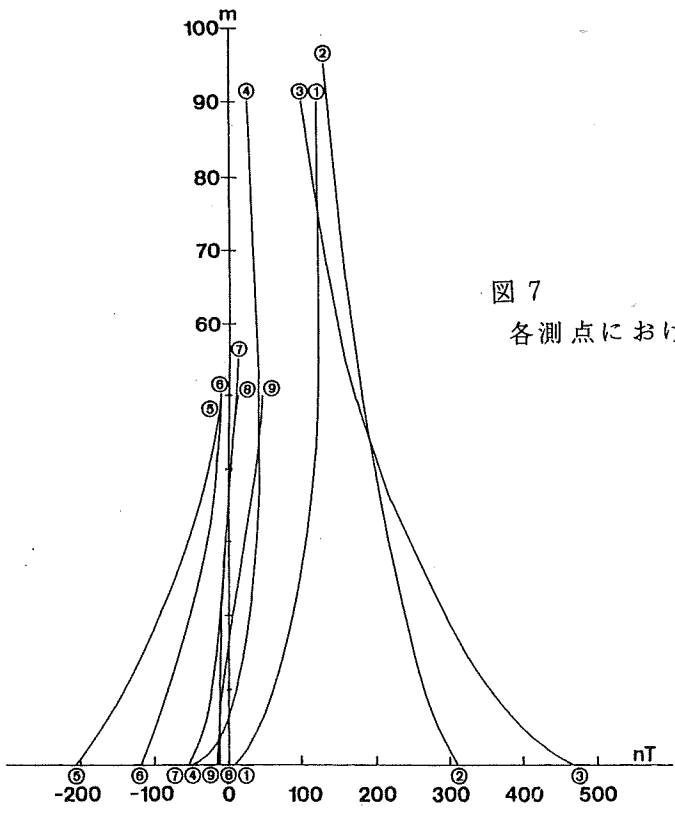


図 7
各測点における全磁力値高度分布

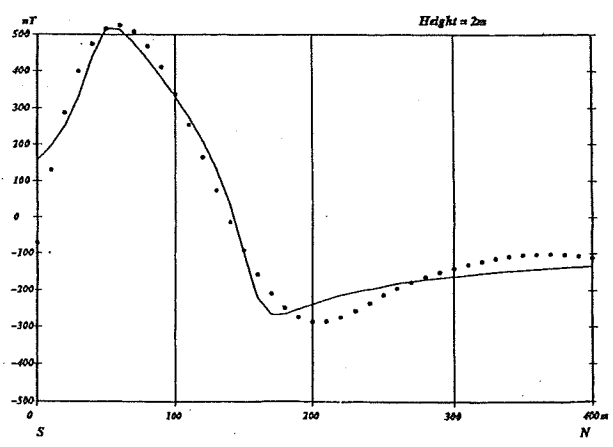
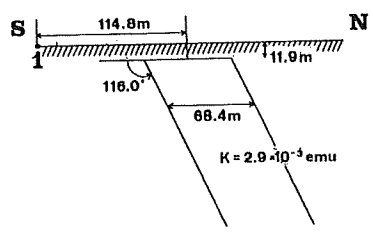


図 8 磁気異常解釈モデル

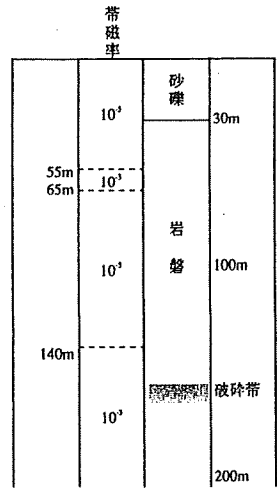


図 9

4 ボーリング井の帯磁率深度分布