

ボアホールを利用した地磁気3成分観測

気象庁地磁気観測所 山本哲也

1. はじめに

今日、ボアホールの利用は、地震や地殻変動の観測では日常的なものとなっているが、地磁気観測にとっては確立された分野であるとはいえない。ただし、近年、浅いボアホール内での試験的な地磁気観測が行われたり、海洋底のボアホール内で古地磁気学的な測定をするための磁力計が開発されたりしており、技術的な背景はすでに十分に整っているといえる。

地磁気観測をボアホール内で行うことの利点として、地上の雑音源から遠ざかることができること、安定した温度等の環境がえられることなどがあげられる。

地上の強い磁性をもつ物、たとえば自動車による人工雑音は、影響を与える範囲がそれほど広くはないものの、雑音の大きさや、時間的変化の予想が困難であるため、観測値に与える影響が見定めにくく、処理がむずかしい。長期間にわたる地磁気観測の場合、致命的な悪影響をおよぼすこともしばしばある。この場合、雑音源は地上に存在するので、影響を小さくするための方法の一つとして、ボアホールを利用した地下での地磁気観測が考えられる。

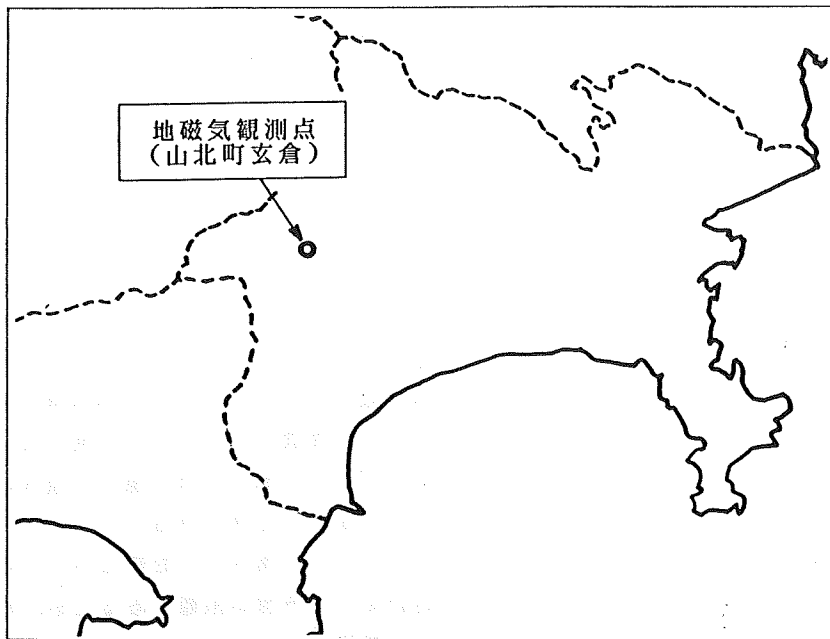
また、長期間の安定した地磁気成分観測を行なう際には、測定器の温度変化にともなうドリフト、検出器台のレベル変動にともなうドリフトなどが、大きな問題となる。無人観測の場合、この問題は解決がむずかしい。ボアホール内では、地上ではなかなか実現できないような安定した温度環境がえられ、また、地盤の強固なところに掘削したボアホールであれば、地磁気観測に影響を及ぼすようなレベル変動はないと考えられる。

われわれは、ボアホール用の磁力計の開発、ボアホールの掘削および磁力計の設置等を行なう機会をえたので、以下では、その経過、観測値について報告する。

2. 磁力計

ボアホール内に設置する磁力計としてはフラックスゲート型のものを採用した。その理由としては、①小型化が容易であること、②ボアホール内には大きな磁場傾度が存在することを覚悟しておく必要があるが、そのようなところでも測定値が得られること、があげられる。フラックスゲート型磁力計は、一般に、温度によるドリフトが大きいいため、安定した観測のためには、良い温度環境が必要であるが、ボアホール内では、この条件が充分満たされていると考えられる。

長期的な地磁気観測には、人工雑音除去を効果的に行なうことが不可欠である。そのためには、検出部を複数用いて、雑音を確実に、そして量的にとらえることができるようになることが望ましい。そこで、ボアホールの最深部ばかりではなく、地上部、中間部にも検出器を



第1図. 地磁気観測点の位置

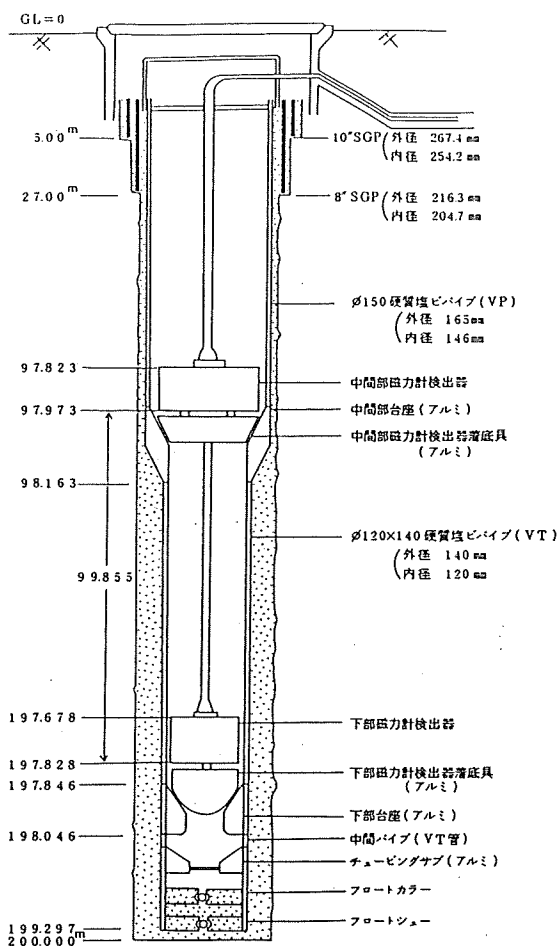
設置することにした。これにより、検出器相互の測定値の監視が行なえるようになり、地上の雑音源からの雑音をとらえ、その部分をデータ処理から除いたり、補正したりすることが可能となる。

磁力計として、3軸磁力計MB162形（島津製作所）の改良型を製作した。主な改良点は、検出部に海底磁力計用に開発された小型のものを使用したことと、検出器を設置する際の荷重に耐えられる特殊なケーブルを用いたことである。この磁力計は、ボアホール内におさめる地下200m、地下100mの検出器と地上の検出器をもつ。ボアホール内に設置する検出器の直径は10cm程度である。

磁力計製作後、柿岡で試験を行なった。デジタル出力の最高分解能は0.01nTであるが、通常の測定では、0.1nTの分解能があれば充分である。検出器の小型化を図っているものの、試験の結果からすると0.1nT程度の精度は確保されているようである。分解能を0.1nTに設定した場合は1000nTの測定レンジをもつため、普通の地磁気変化であれば測定レンジを越えることはない。磁力計の感度や、感度較正用の回路も良好であった。温度試験では、検出器、制御器それぞれに、温度変化によるドリフトがみられた。ただし、その大きさは、許容できる程度である。

3. ボアホール

試験に適した観測環境、ボーリング工事の便宜等を考慮して、神奈川県西部西丹沢の足柄



第2図. ボアホールの構造

上郡山北町玄倉の林道沿いに観測地点を選定した(第1図)。周辺の直流電車の路線からの位置は、御殿場線からは約8 km、小田急線からは約10 km、東海道線、中央線からは約20 kmほど離れている。

この観測点に、磁力計を設置するための200 mのボーリングを行なった。ボアホールの構造は第2図のようになっている。ボーリングに際してコアの採取は行なわなかったが、掘削地点の地質は深さ18 mまでが玉石まじりの土砂、それ以深がホルンフェルス化結晶片岩と推定された。ボアホールの鉛直からのずれは、地下100 mで20'、地下200 mで30'であり満足すべき精度となっている。ボアホールには塩化ビニル製のケーシングをほどこしてある。検出器は、逆円錐台型の台座で支えるが、その台座の部分はアルミを用いている。ボアホール内は地上付近まで地下水によって満たされている。これは、検出器設置の際、浮力によってケーブルにかかる重量を軽減するためである。ケーシングの内径は、0 m-100 mが146 mm、100 m-200 mが120 mmとなっている。

4. 磁力計の設置と地磁気観測

磁力計の設置は1989年3月に行われた。検出器は重量で台座に固定する方式をとっており、ボアホール内をモルタルなどで固めてはいない。ボアホール内の検出器は、設置の際に、軸方位を調整できるようにはなっていない。地上の検出器はX成分(H成分)の軸を磁北にむけた。自然の地磁気擾乱が3つの検出器で同一であると仮定すれば、地上の観測値と地下の観測値の比較により、ボアホール内の検出器の方位が求められる。

設置後、測定を開始して、地下200m、100m、0mの地磁気3成分の変化、および温度の変化が顕著であると考えられる地上部分の検出器と制御器の温度、合計11成分を1分の時間間隔で記録している。

1989年4月に落雷によると思われる異常がいくつかの測定器に発生した。ほとんどのものについては復旧することができたが、地下200mの検出器のX成分が測定不能のままとなっている。それらの事情もあって、測定値の集録が順調に行えるようになったのは1989年5月下旬からであった。

雷災は、10月末、11月中旬にも発生し、いずれも復旧はできたものの、欠測をひきおこしている。

5. 観測値の処理

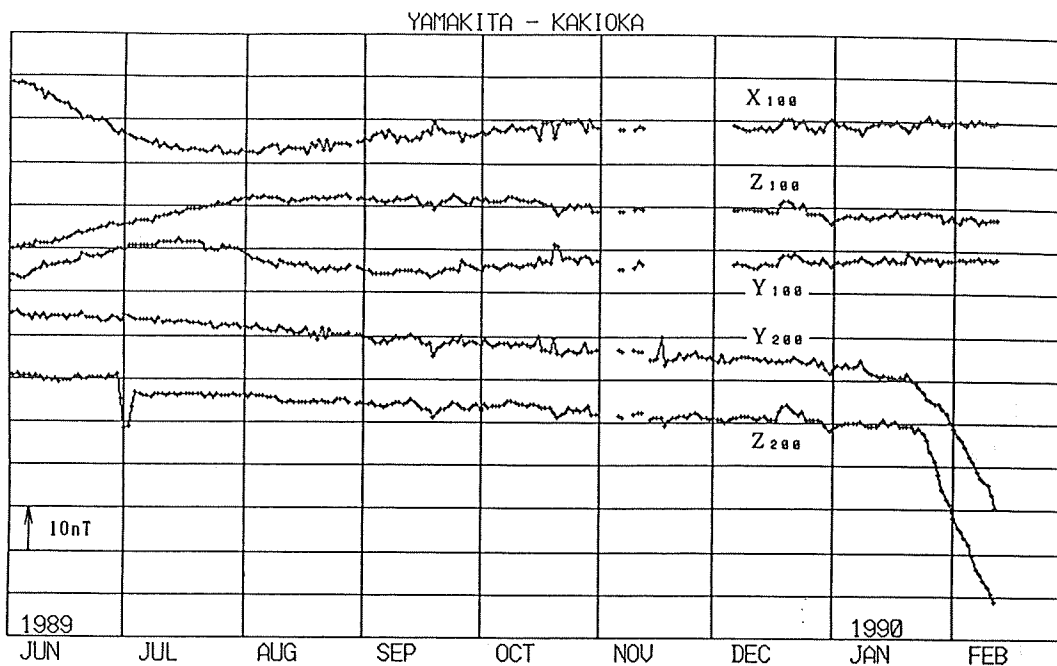
地上(0m)での観測値には、林道を通行する自動車によると思われる擾乱がしばしばみられる。また、土曜日、日曜日には、観光客が観測点付近に駐車をするためか、長時間にわたって観測値がギャップすることもある。これらは、磁力計の性能には関わらない異常値であるし、0mでの観測値から異常がある時刻は正確に判るので、データ処理からはずすことにした。このような雑音は、100mでは非常に小さくなり、200mでは確認できない。

また、毎日、深夜から早朝の間はなくなる、小さな雑音がある。おそらく、周辺の直流電車の迷走電流による雑音と思われるが、大きさは1nT程度である。この雑音については、検出器の深さが異なっても、大きさに変化はないようである。

データ処理を始める前にボアホール内の磁力計の方位を決めておく必要がある。これは地上の観測値と地下の観測値の線形関係式の係数を決定することにはかならない。顕著な地磁気擾乱(柿岡のK指数が、3または4以上)を利用して係数を月毎に求めた。それらの係数は、推定誤差(0.01程度)の範囲内で一致しており、線形関係式の係数の時間変化は、これまでのところ考慮していない。求められた各軸の方向は、 X_{100} (地下100mのX成分、以下同様)が $N37^{\circ}50'E$ 、 Y_{100} が $N52^{\circ}10'W$ 、 Y_{200} が $N136^{\circ}30'W$ であった。ただし、N方向は、0mのX軸の方向とみなしている。

6. 観測値の変化

長期間にわたる観測の様子をみるために、ボアホール内の検出器による観測値と、柿岡で



第3図. 地下100m, 200mの観測値と柿岡の観測値の差。地磁気日変化の影響を避けるために、夜間平均値(15時-18時:世界時)について差を求めた。

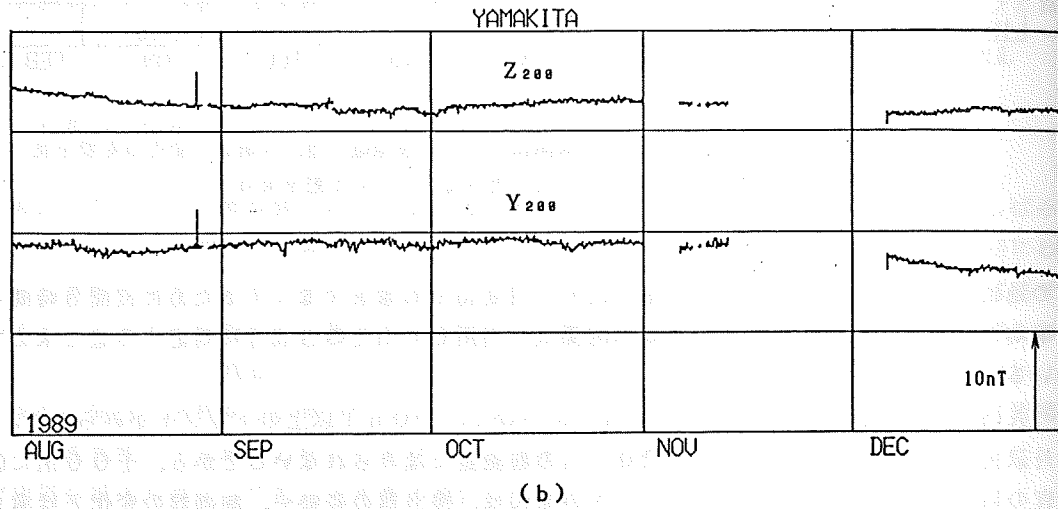
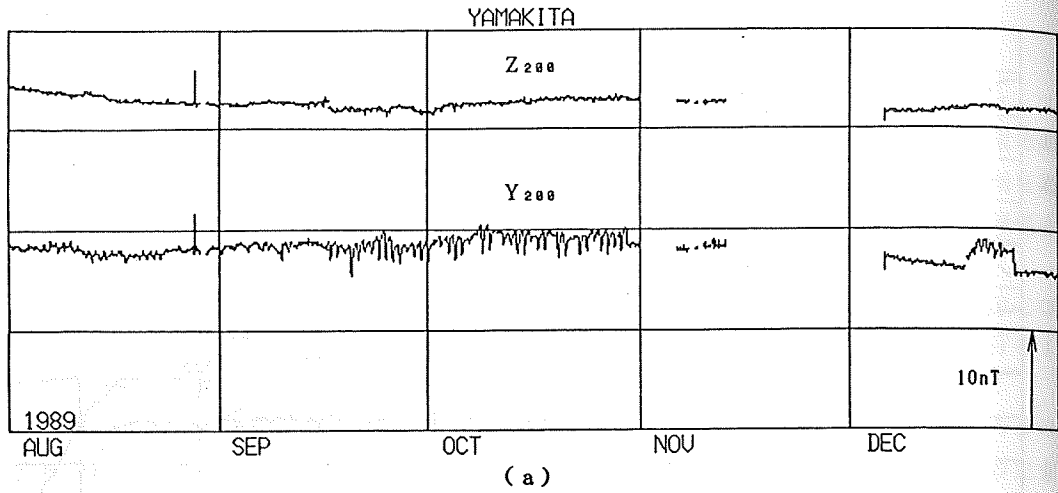
の地磁気観測値との差をとった(第3図)。日変化の影響を少なくするために夜間3時間の平均値を用い、柿岡の観測値から線形関係式を利用して山北の各成分に対応する値を求めている。

X₁₀₀, Y₁₀₀, Z₁₀₀には6月から8月にかけて、10 nT以上のドリフトがみられる。8月以後はみられなくなることや、200mの観測値にはみられないことから、100mに固有の初期ドリフトとみられる。ドリフトの原因は、検出器の姿勢や、制御器の変化とは考えにくく、おそらく、ボアホール周辺の岩石の帯磁の状態が、ボーリングの際に乱され、その後、新しい磁化を徐々に獲得しているためではないかと思われる。

Z₂₀₀には、6月末と7月上旬に2回の急激な異常変化がある。この異常変化の発生については、山梨県東部や伊東沖で発生したやや大きな地震の時刻との一致がみられ、地震動によって検出器の姿勢がずれのために生じたものと思われる。

Y₂₀₀, Z₂₀₀の、1月下旬以後のデータには、1ヶ月で数10 nTという、非常に大きなドリフトがみられる。これは、200mの磁力計の電源部の不調に原因があり、補償磁場がドリフトしたためである。

どの成分にもみられる周期の短い変化は、山北と柿岡の地磁気擾乱の振幅の差によるとみられる。たとえば、大きな磁気嵐のあった10月20日や11月17日には数nTほどの突起状の変化がみられる。データとして使用した時間帯に湾型変化があったときにも、同様の



第4図. 地下200mの観測値と地下100mの観測値の差. 毎時平均値について, 地下100mの観測値から地下200mの観測値を推定して, その差を求めた. (a)は単純差, (b)は温度補正を行った場合.

ことは生じるようである.

全期間をとおしてのドリフトは各成分ともみられ, その大きさは $1\text{ nT}/\text{月}$ ほどである. このドリフトの大きさは, 1) 同じ方向を向いている Z_{100} と Z_{200} ではほぼ同じ, 2) 逆の方向を向いている X_{100} と Y_{200} でも符号をかえればほぼ同じ, であり, 測定器のドリフトとは考えにくい. おそらく本当の地磁気変化(山北と柿岡の永年変化の差)によるものであると思われる.

7. 観測値の安定性

観測値の安定性を評価するために、100mと200mの検出器相互での観測値の比較を行なった。期間はデータの質が良好であると考えられる8月から12月とした。

すでに求められている方位から成分毎の比較を行なうと、第4図(a)のようになる。この図は、地下100mの測定値を基準にして地下200mの測定値の変化をみたものである。理想の場合には一定となるはずの量である。しかしながら、 Y_{200} には周期1日の変化がみられ、その変化は、9月中旬から10月下旬にかけて大きくなっている。この期間は、地上の観測施設の空調が停止していた時期にあたり、磁力計制御部の温度変化もかなり大きかった。したがって、これら周期1日の変化は制御部の温度係数によるものとみられる。12月中旬から下旬にかけても、空調が停止していた期間があり、対応する期間の Y_{200} には3nTほどのギャップ状の変化がみられる。

そこで、制御部の温度係数を日変化が小さくなるように定めて、 Y_{200} のデータを補正した(第4図(b))。この補正は効果的で、9、10月の周期1日の変化や、12月のギャップ状の変化が、かなり小さくなっているのがわかる。それと同時に Y_{200} には、12月以後ドリフトがあったことも明らかになった。このドリフトは、前述の1月下旬からのドリフトの前兆とでも表現すべきもので、電源部の異常は12月には始まっていたようである。おそらく11月中旬の雷災に原因があるのだろう。

測定の状態が良好な箇所では、1ヶ月間で1nT程度の変化しかなく、また長期的なドリフトもほとんど認められない。成分観測とはいえ、かなりの安定性が期待できるようである。

8. まとめ

ボアホールを利用した地磁気観測は、まだまだ未知の部分が多く、現在も、試験観測を続けている。これまでにえられた観測値から、1)地上の雑音を軽減するのに有効である、2)安定した観測が可能である、ことがわかっていて、これらはボアホール利用の効果である。特に、2)については、無人観測であり、また、絶対観測による基線値を確保していないにもかかわらず、地磁気の成分観測としては良好な安定性がえられている。数カ月程度の期間であれば、野外で行われる絶対観測よりも、精度および信頼性が高いのではなからうか。なお、これらのことが明らかになったのは、地下に2つの検出器を設置したことによっている。また、貴重な教訓もえられた。

第1にあげなければいけないのは、十分な避雷対策をすべきだったという点である。1年に満たない観測期間で3回の雷災による欠測があった。ボアホールでの観測は垂直部分のケーブルが長いため、通常の観測に比べ落雷に弱くなっているのかもしれない。

第2に、安定した観測値を確保するためには、制御部の温度環境にも配慮する必要があるという点である。前述のとおり、制御部の温度補正の効果は顕著である。

第3は、地下の検出器についても軸の方位調整ができればよかったという点である。計画

段階では、直交3成分の観測値さえあれば、座標の回転によって望む成分が得られると考えていた。しかし、地下200mで1成分が測定不能になってみると、他の検出器との観測値の比較なども、かなり制約をうけているのが実態である。この第3の点については、磁力計の台座として、逆円錐台を斜めに切断した形のものを使用すれば、解決可能であるとの見通しをえている。

この調査は、科学技術振興調整費によって行なわれた。