

気象庁地磁気観測所における観測の現状

大和田毅，芥川真由美（気象庁地磁気観測所）

Current state of observation of Japan Meteorological Agency Magnetic Observatory

Takeshi Owada , Mayumi Akutagawa (Kakioka Magnetic Observatory, JMA)

Abstract

Japan Meteorological Agency Magnetic Observatory executes the observation about geomagnetic field, the geoelectricity and the atmospheric electricity on work aimed for monitor of the earth and the geoelectromagnetism environment surrounding the earth. We acquire the data such as 0.1-second, 1-second, and 1-minute etc. concerning geomagnetic field, geoelectric field and atmospheric electric field.

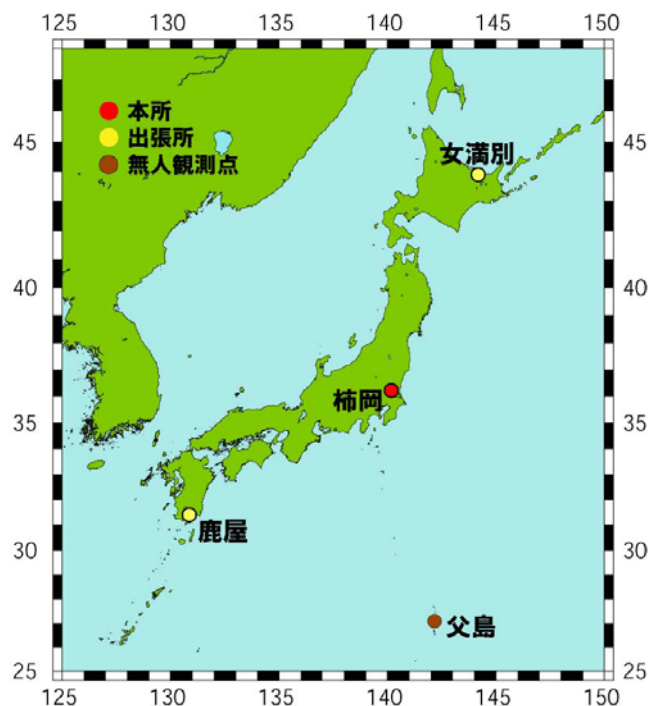
These data are offered to a geomagnetism of the whole world-related institution and the researcher through WDC or an INTERMAGNET project.

In this Report, we introduce present conditions about an observation method of the geomagnetism field, accuracy, and the quality control of data.

1.はじめに

日本で連続的な地磁気観測が始まったのは，第1回国際極年観測の1883年3月から東京赤坂における臨時観測である．本格的な定常観測は，気象庁の前身である中央气象台がその構内で開始した1888年2月からとなるが，市電のノイズが観測の障害となり，1912年に現在の柿岡に移転，翌1913年1月から観測を開始し現在までほぼ1世紀にわたり継続している．また女満別は1952年から，鹿屋は1958年から地磁気観測を開始した．小笠原諸島の父島は，1973年から無人観測点として開始した．詳細は地磁気観測百年史（地磁気観測所，1983）を参照されたい．

地磁気観測所の定常観測点の位置を第1図に示す．柿岡，女満別，鹿屋はそれぞれが位置する磁気緯度の特性を生かし，IAGA（国際地球電磁気学・超高層物理学協会）から各種指数を算出する地点として選定されている．柿岡はDst指数を算出する観測点，女満別は北半球の地磁気活動指数を表すKn指数を算出する観測点，鹿屋は急始磁気嵐現象判定のための観測点となっている．各観



第1図 地磁気観測所の定常観測点

Fig.1 Stationary observation point of JMA Magnetic Observatory

測点では、地磁気、地電流（電極間の電位差を観測していることから正しくは地電位差であるが、本稿では地電流と呼ぶ）を中心とした観測が行われている。地磁気観測所が生産しているデータ等は第1表のとおりである。

2. 観測に関する規則

地磁気観測所における定常観測点での観測は、気象官署観測業務規程（訓令）に則り実施されている。また世界各国の観測所と連携し IAGA の勧告に基づき実施されている。地磁気観測所では、業務的に長期的な観測精度を維持するために、観測方法、取得データの処理方法等を独自で定めてある。例えば、地磁気観測については、「地磁気観測業務実施細則」により、絶対観測に使用する測器、観測の頻度、再観測基準、毎分値の異常値補正の基準などが定められている。地電流、空中電気についても同様の実施細則があり、それに則って観測が実施されている。また、得られたデータ等のファイルフォーマットなども決められている。

第1表 地磁気観測所が公開・提供している資料
Table 1 Documents which Magnetic Observatory shows and offers.

| | | 柿岡 | 女満別 | 鹿屋 | 父島 |
|--------|---------|----|-----|----|----|
| 地磁気 | 0.1秒値 | ○ | ○ | ○ | |
| | 毎秒値 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 毎分値 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 毎時値 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | K-指数表 | ○ | ○ | ○ | |
| | 地磁気嵐一覧表 | ○ | ○ | ○ | |
| | Si一覧表 | ○ | ○ | ○ | |
| | Bay一覧表 | ○ | ○ | ○ | |
| | sfe一覧表 | ○ | ○ | ○ | |
| | Pi一覧表 | ○ | ○ | ○ | |
| 地電流 | 0.1秒値 | ○ | ○ | ○ | |
| | 毎秒値 | ○ | ○ | ○ | |
| | 毎分値 | ○ | ○ | ○ | |
| | 毎時値 | ○ | ○ | ○ | |
| | 地電流嵐一覧表 | ○ | ○ | ○ | |
| 大気電位傾度 | 毎分値 | ○ | ○ | | |
| | 毎時値 | ○ | ○ | | |

3. 地磁気観測の方法と精度及びデータの品質管理

地磁気観測所における地磁気観測は、地磁気の変化分を連続的に観測する変化観測と、ある時間の絶対的な地磁気の方向と強さを観測する絶対観測から構成されている。変化観測は、柿岡、父島ではフラックスゲート磁力計とオーバーハウザー磁力計を、女満別、鹿屋はフラックスゲート磁力計とプロトン磁力計を用いている。フラックスゲート磁力計やオーバーハウザー磁力計などの変化観測装置は、磁力計周囲の温度変化や検出器の傾斜変動などの影響が測定誤差として含まれることから、中・長期的な安定性に欠ける。そのため、父島を除く3観測点のフラックスゲート磁力計については、検出器を温度変化、傾斜変動の少ない地下室を設けて設置している。

また地磁気観測所で使用しているフラックスゲート磁力計は、地磁気の変化を高分解能で連続的に測定することはできるが、絶対値としての測定はできない。地磁気観測所のホームページで即時的に公開されている1秒値、毎分値の「暫定値」は、フラックスゲート磁力計の計測値に暫定的な基線値を加え、絶対値に近い値（柿岡、女満別、鹿屋は絶対値から±3nT以内に、父島は±10nT以内に収まるように、暫定的な基線値は変更・管理している。）である。

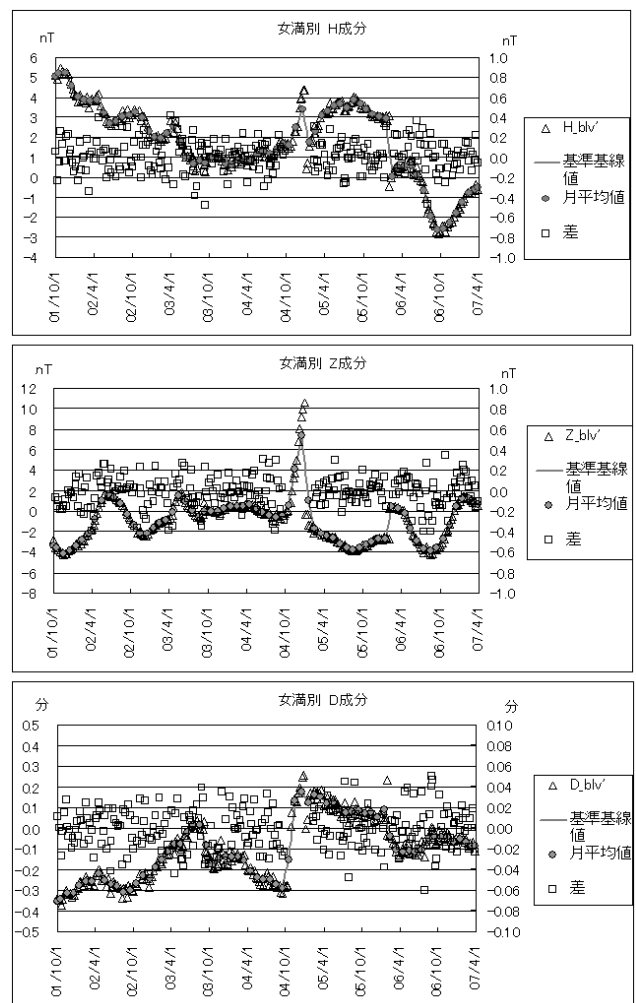
変化観測装置の温度変化や検出器の傾斜変動などによる測定誤差を定期的に絶対観測を行い補正している。絶対観測は、最小分解能1秒角の角度測定器とプロトン磁力計を用い、柿岡、女満別、鹿屋ではほぼ1週間に1回、父島は2~3月に1回実施されている。長期的な観測精度は、絶対観測の精度に左右される。

安定した観測とデータの品質管理の取り組みとしては、観測装置の毎日朝夕の点検と定期保守、異常時の迅速な対応を実施している。観測データは、各観測点とも複数の磁力計を配置しており、相互比較による十分なチェック・検討を行った上で最終データを生産している。また、観測所に隣接する場所で鉄材を用いた施設の建設等の人工擾乱（当所では、地磁気の変化と区別するために人工擾乱と呼んでいる。）に備えた観測環境監視のため、プロトン磁力計による構内の磁気測量を月1回実施している。この他に地磁気観測所で実施・公開された観測データの品質を3ヶ月ごとに評価し、観測の方法や報告資料が適切かを検討している。例えば、地磁気観測データの場合は、基線値の変動から絶対観測が適切に実施されているか、磁気儀の状態はどうか、基線値から算出された採用基線値が温度や傾斜の変動を適切に反映しているか、半年に1回実施されるフラックスゲート磁力計の感度測定結果から採用されている感度が適切か、磁力計の状態に変化はないか、0.1秒値と毎秒値のノイズ幅に変動はないか（観測装置全体の状態と観測環境の変化を確認）、などの項目について確認している。

3-1. 絶対観測の精度

柿岡、女満別、鹿屋の絶対観測の精度について述べる。絶対観測の精度は、絶対観測中にも地磁気の方角と強さが変化していることから、絶対観測値から直接求めることはできない。そのため、フラックスゲート磁力計の基線値変動から求めるのが一般的である。ただし、絶対観測ごとに得られた基線値にも誤差が含まれることから、ここでは基線値の月平均値を基準値としている。第2図に2001年1月から2007年3月までの女満別のH、Z、D成分の結果を示す。丸（○）が月平均値でそれを結んだ線が基準となる基準値、三角（△）が絶対観測ごとに得られた基線値で何れもスケールは左側縦軸、四角（□）が基準値との差でスケールは右側縦軸に示している。

第3図に第2図と同期間の基準値との差の頻度分布を示す。ただし、2004年10月から2005年1月までは、主測器のフラックスゲート磁力計故障のため副測器を使用しているため、この期間のデータは除いてある。黒色がH成分、白色がZ成分、灰色がD成分である。3成分ともほとんどのデータが ± 0.3 nTまたは ± 0.03 分に分布している。各観測点の絶対観測精度を、基準値と基準とした基線値の差が全体の95%程度を占める区間とすると、3地点ともH、Zは ± 0.2 nT、D成分は柿岡と女満別が ± 0.03 分、

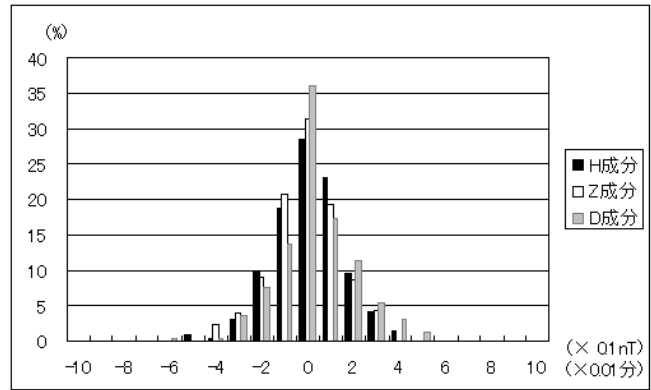


第2図 女満別の2001年1月から2007年3月までの基線値の変動。

上段；H成分，中段；Z成分，下段；D成分

Fig.2 Change of baseline values of H(top), Z(middle) and D(bottom) from January 2001 to March 2007 in Memambetsu

鹿屋が±0.04分となっている.D成分の精度が落ちるのは,Dの絶対観測では,地理的な方向を求めるために,地理的北との角度の分かっている目印(地磁気観測所では方位標と呼んでいる)の測定が加わるのと,磁気儀で測定する場合のI(磁気儀でIを測定し $H=F\cos I$, $Z=F\sin I$ でH,Zを求めている)の感度と比べてDが悪い(柿岡の場合 I;10秒 2.2nT, D;10秒 1.5nT)ことが原因として上げられる.



第3図 女満別の基線値と基準の基線値との差の分布

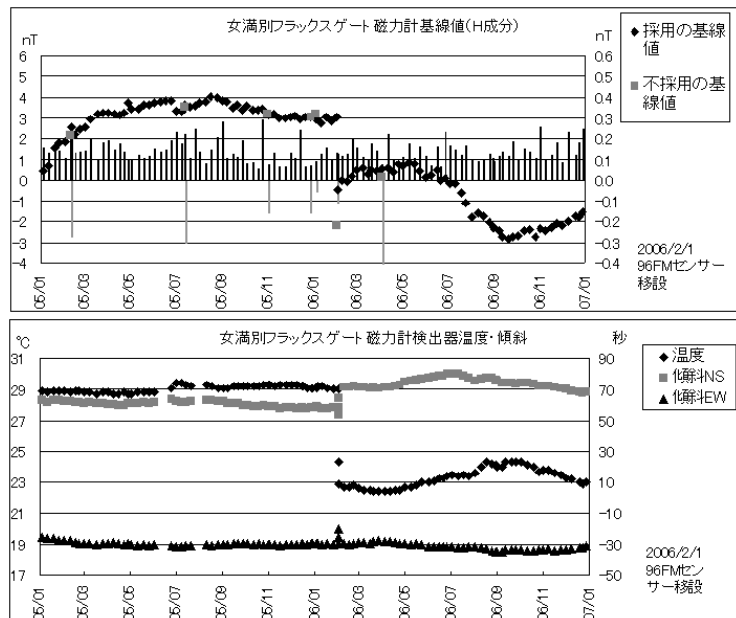
Fig.3 Variation of the difference with a baseline value of Memambetsu and that of the standard

3-2.観測値のチェック

地磁気観測所の実施している絶対観測から得られたフラックスゲート磁力計の基線値チェックを,女満別を例に述べる.前述したように柿岡,女満別,鹿屋では,ほぼ1週間に1回の絶対観測を実施し,フラックスゲート磁力計の基線値を求めている.

第4図に2005年1月から2006年12月までのH成分の基線値(上段)と,フラックスゲート磁力計検出器の温度,南北及び東西方向の傾斜変動(下段)を示す.傾斜変動は北側及び東側が高くなったときをプラスとしている.図上段のひし形()が採用した基線値,四角()が異常と判断され不採用となった基線値でスケールは左側縦軸,上向きの棒グラフが採用された基線値の標準偏差,下向きが不採用となった基線値の標準偏差でスケールは右側縦軸である.図下段のひし形()が検出器の温度,四角()が検出器の南北の傾斜,三角()が東西の傾斜である.

チェックは,検出器周辺の温度や傾斜,基線値の標準偏差を参考に行い,温度の依存分や傾斜変動分を考慮しても,前の週の基線値から±0.3nTの違いがある場合には,絶対観測の再観測を行うことになっている.不採用となる原因は,絶対観測中の人工擾乱の混入のように特定できることもあるが,殆どの場合には原因が特定できずに,過去の変化から±0.3nT外れたことになっている.また原因が特定された場合には,±0.3nT以下であっても再観測を行っている.基線値の客観的な良否判定方法を確立する事が,早急な課題となっている.なお,2006年2月の不連続は,検出器の位置をわずかに移動したことによるもので,それまで年間を通してほぼ一定で

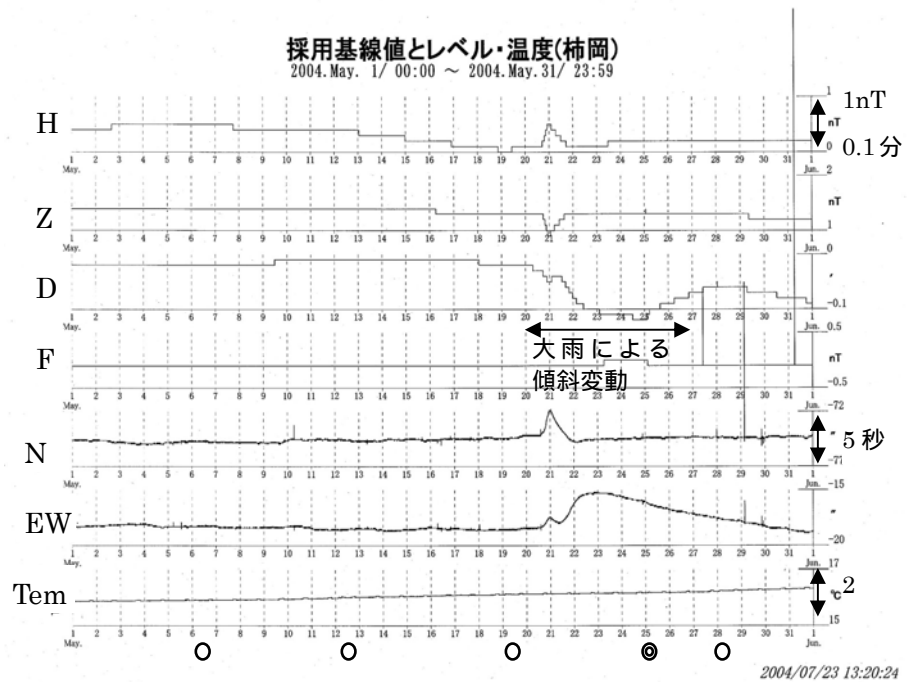


第4図 女満別のフラックスゲート磁力計H成分の基線値と検出器の温度,傾斜

Fig.4 Change of baseline value of H, temperature and level of detector of the Fluxgate Magnetometer in Memambetsu

あった温度と傾斜の変化が、温度の年較差が約 2℃、南北の傾斜の年較差が約 10 秒と大きくなった。

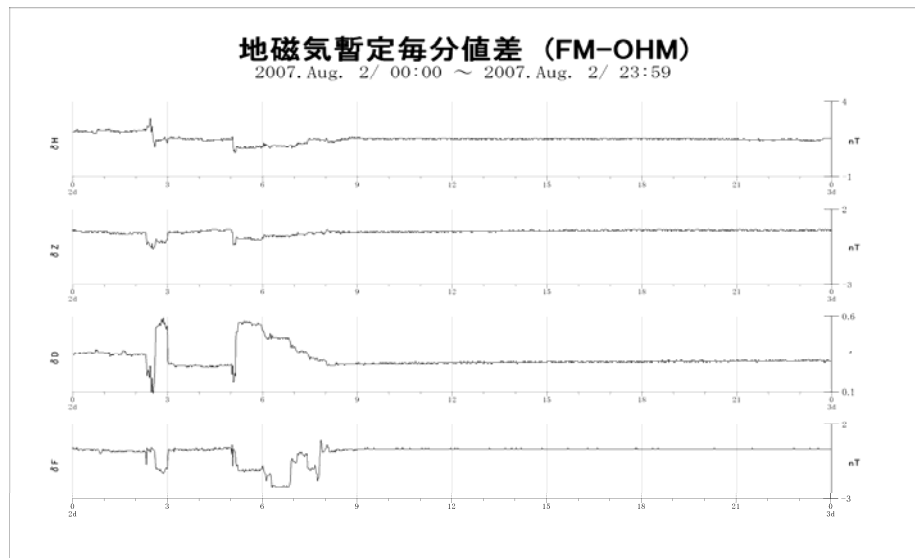
最終的な毎分値は、フラックスゲート磁力計の測定値に、1 週間ごとに絶対観測で得られる基線値間を直線内挿により 1 分ごとに求め、これを加算することで作られる。第 5 図に 2004 年 5 月の柿岡の最終毎分値作成に使用した H, Z, D, F 成分の基線値とフラックスゲート磁力計検出器の温度、傾斜を示す。図の一番下に示されている丸(○)は絶対観測を実施した日で、二重丸(◎)は同じ日に 2 回行ったことを示している。フラックスゲート磁力計検出器の温度、傾斜データの変化や磁力計の調整等がなければ絶対観測の間は直線内挿となっている。しかし 20 日以降の大雨による傾斜変動が発生した場合には、検出器が傾くことにより、測定値に誤差が含まれることから、傾斜変動に見合った基線値を与えないと正しいデータにはならない。柿岡で南北方向の傾斜が 1 秒角変化すると H, Z 成分に約 0.2 nT、東西方向の傾斜が 1 秒角変化すると D 成分に約 0.02 分の誤差となる。



第 5 図 柿岡の最終毎分値作成に使用した各成分の基線値とフラックスゲート磁力計検出器の温度、傾斜。丸(○)は絶対観測を実施した日で、二重丸(◎)は同じ日に 2 回行ったことを示す。

Fig.5 Change of baseline value of each ingredient, the temperature and level of the Fluxgate Magnetometer detector for finalized 1-minute value in Kakioka.

shows the day when we carried out absolute observation.
shows the day when we performed it twice on the same day.



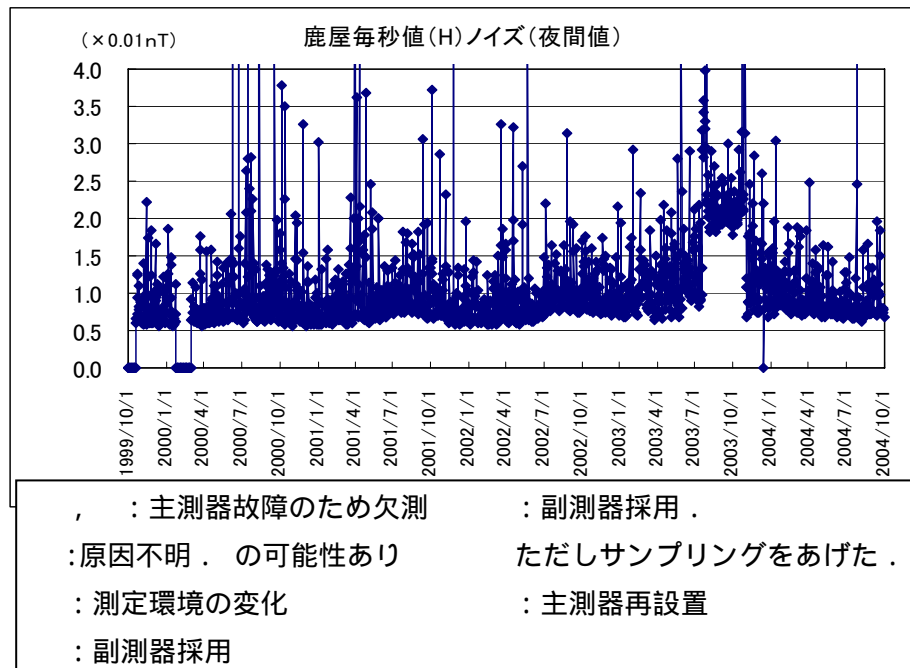
第 6 図 柿岡における車両による人工擾乱の例。上から H, Z, D, F
Fig.6 Example of the artificial disturbance by the vehicle in Kakioka.

磁力計からのオリジナルデータには、観測所に隣接する道路を通過または駐車した車両や工事による異常が含まれることがある。人工擾乱の発生時間やその大きさは、擾乱源の大きさ、位置でことなり、小さな擾乱は1つの磁力計のデータだけではわからない場合がある。各観測点には、複数の磁力計が離れた位置に設置されており、両者の差をとることで異常データの確認を行っている。第6図に柿岡における車両による人工擾乱を示す。異常データは、その時間と量を特定して補正処理される。擾乱源が複数の場合には、影響の現れ方も複雑であり、補正は慎重に行う必要がある。

3-3. 観測データの評価

地磁気・地電流の0.1秒値と毎秒値については、長期的な観測装置全体の劣化や故障の前兆、また観測環境の変動を見るためにノイズ幅の変動を確認している。ノイズ幅の求め方には色々な手法があるが、この場合には、決められた時間帯の1時間分のデータ(0.1秒値であれば36000個、1秒値であれば3600個)を、1つ前のデータとの差をとり、その差の絶対値の平均とし、日毎に求めている。この方法では、自然変化も反映されるが、

観測装置全体の状況や観測環境の変動を確認することはできる。第7図に鹿屋の1999年10月～2004年9月までの地磁気1秒値のH成分のノイズ幅の変化を示す。前述したように、自然の地磁気変化も反映されていることから、線の下限の変動を見ている。図中の数字は変化の見られる期間で、その原因は図の下に示してある。、は主測器が故障し副測器のデータを採用した期間で、のデータ収録方法では、通常のノイズ幅の5倍程度と大きくなったため、でサンプリングを100Hzとし、その平均から毎秒値を求める方法に変更している。また夏場にピークを持つわずかな年周変化が見られるが、測定環境に原因があると考えている。

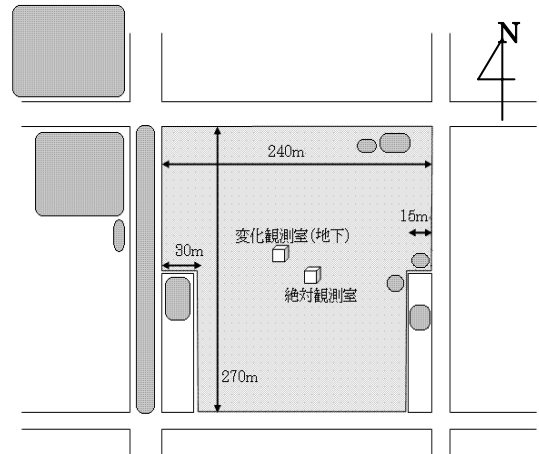


第7図 鹿屋の1999年10月～2004年9月までの地磁気毎秒値(H成分)のノイズ幅の推移

Fig.7 Change of noise width of geomagnetic 1-second value of H from October 1999 to September 2004 in Kanoya

3-4. 観測点の環境

地磁気観測を継続していく上で、大きな問題となっているのが観測環境である。柿岡、女満別、鹿屋の何れの観測点も地域開発に伴い、観測環境は年々悪化しており大きな問題となっている。3観測点の中で最も観測環境が悪化しているのが鹿屋で、2006年1月～2007年6月までの期間で、観測障害となった人工擾乱源の位置を第8図に示す。ハッチ()で示した10箇所で行われた工事作業等が行われ、その影響が絶対観測点に及んでいないかを確認するための観測をその都度実施している。各観測点とも、地域開発とどのように共存しつつ、観測環境を守るか苦慮している。地磁気観測所では、人工擾乱の監視・データ補正についての調査研究を続けており、その成果をもとに2007年には人工擾乱計測システムを柿岡に導入した。このシステムを更に発展させ、将来的には監視から補正までの自動化を目指している。



第8図 鹿屋の人工擾乱源の位置()
 Fig.8 Location of the artificial disturbance sources in Kanoya

4.まとめ

気象庁地磁気観測所の役割は、定点における永続的な高精度観測を実施、継続することである。この役割を継続するために、今後も高度な観測技術を維持し、また人工擾乱の自動検出・補正技術や絶対観測の完全自動化などの技術開発を目指している。

その他に地磁気観測所では地球電磁気観測の技術の向上と発展、地球電磁気現象に関する学問的発展、及び国際貢献のために、地磁気観測所保有の観測解析の技術並びに施設を関係機関に提供する技術協力、支援を実施しており、今後も積極的に行っていきたいと考える。

5.参考文献

地磁気観測所，地磁気観測百年史，1983．

小池捷春・徳本哲男・石井美樹・豊留修一，絶対観測法の検討，地磁気観測所技術報告第28巻第1,2号，p31-38，1988．

地磁気観測所，地磁気観測所技術報告第34巻特別号，1994．