

## KASMMER更新の計画と現状

地磁気観測所 角村悟, 山崎明, 徳本哲男, 中禮正明

The plan and the present condition of the new system of KASMMER

Satoru TSUNOMURA, Akira YAMAZAKI, Tetuo TOKUMOTO and Masaaki CHUREI  
Kakioka Magnetic Observatory

### 1 はじめに

柿岡地磁気観測所の標準磁気儀 (Kakioka Automatic Standard Magnetometer -KASMMER-) が昭和45-46年に整備されて以来20年以上の年月が経過しようとしている。KASMMERは、連続観測用の光ポンピング磁力計4式(全磁力およびH, Z, Hy成分用)と絶対観測用比較校正装置および計測部、データ収録・処理用の処理装置等で構成され(柳原(1972), 佐野他(1972), Yanagihara et al.(1973))、これまで長期間にわたって安定したデータを提供してきた(Kuwashima(1990a))。KASMMERシステムにおける、オリジナルデータから報告値作成への作業の流れを要約すると以下ようになる。

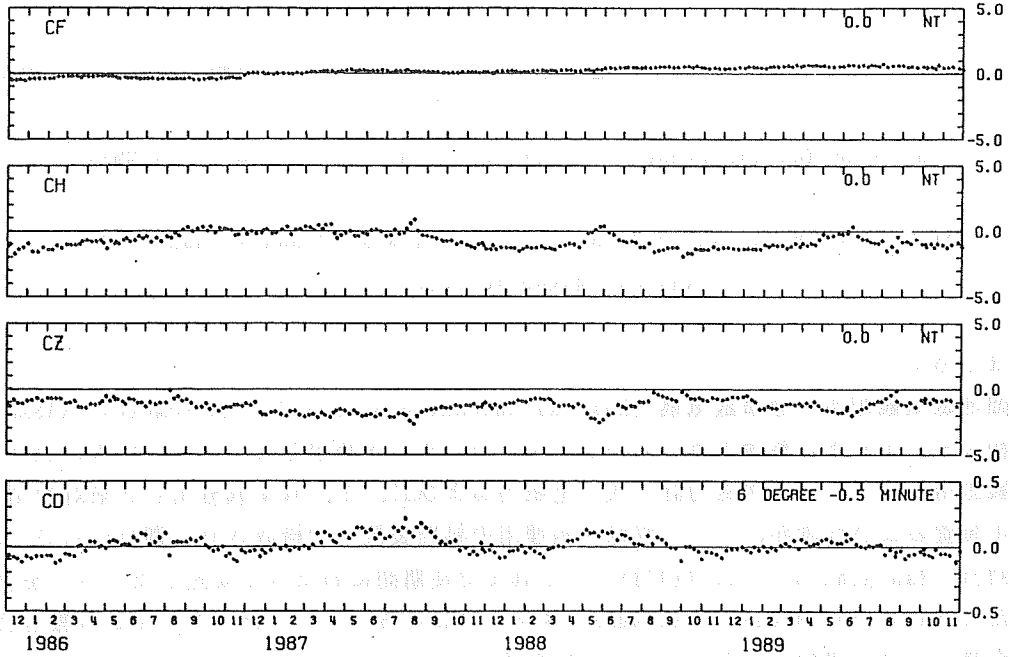
光ポンピング磁力計により毎秒値の連続測定を行い、得られたデータを処理装置で収録し、かつその値を用いて毎分値等を常時算出している。一方、週1回程度の割合で、基準点における地磁気絶対値を比較校正装置のマニュアル操作により求め、その結果から光ポンピング磁力計の較正值(c-value)やフラックスゲート磁力計の基線値を得る。毎分値については、c-valueをもとに較正しかつ欠測補充、異常値補正を施し、それをもとに毎時値も計算する。図1に、1986年~1989年におけるc-valueと変化計の基線値の時間変化を示す。変化計の基線値が大きく温度に依存していることが図からわかる。変化計のH成分の基線値は、磁石の吊糸の捻れ等機械的な部分の経年変化による長期的なドリフトを示している。フラックスゲート磁力計の基線値も変化計とほぼ同程度の温度依存性を持つ。一方、c-valueは数年間で約1~2 nT以内で安定しており、光ポンピング磁力計では、安定した計測がなされてきたことがわかる。

しかし、20年間も連続使用してきたため、光ポンピング磁力計は最近かなり老朽化が進み、特に温度補償でのトラブルが多くなり、欠測も余儀なくされる事態が起りつつある。また、消耗品等の入手も困難な状況になりつつあり、そのため光ポンピング磁力計の更新を進めることとなった。比較校正装置の方は、ほとんどが機械的なもので損傷が比較的少なく現在のところ観測に支障がないことから、更新は先送りとなった。ここでは、更新の概要と平成3年度までのデータ取得状況および今後の方針について報告する。

### 2 更新計画の概要

更新計画検討に先だて、ニーズを明らかにしておく必要がある。柿岡の地磁気データに対するニーズとしては、現在ほぼ以下の通りと考えられる。

OBSERVED C VALUES KASMMER



OBSERVED BASE LINE VALUES KAK VM NO. 1

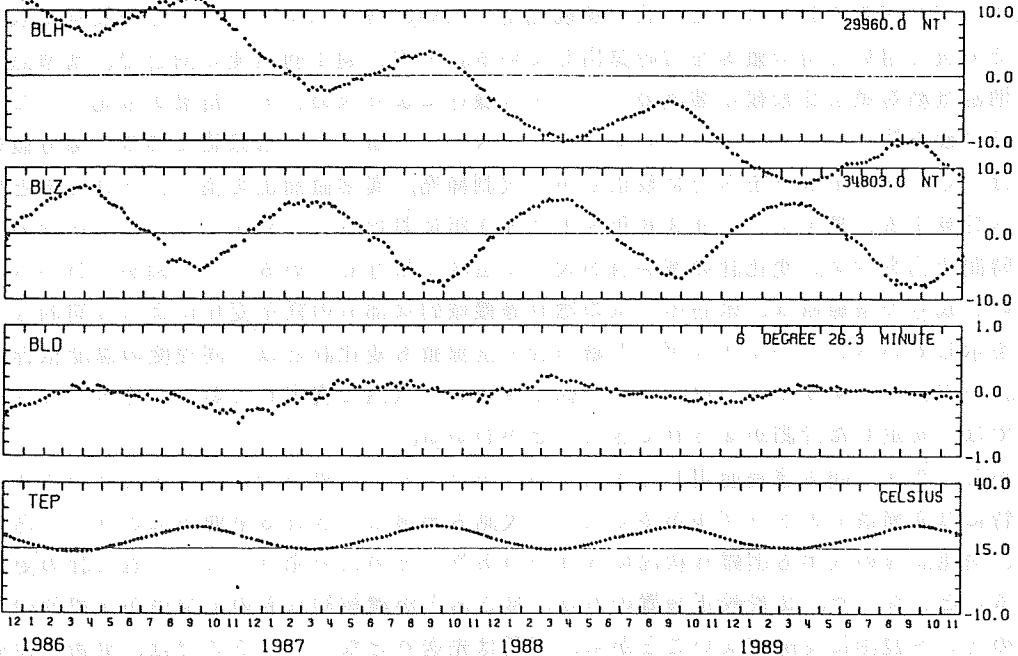


図1 1986年～1989年における、光ポンピング磁力計のc-value（上段）と変化計の基線値およびセンサー室温度（下段）の時間変化。

F, H, Z, D, TEPはそれぞれ全磁力, H, Z, D成分と温度を示し、単位は、F, H, ZについてはnT、Dについては'、温度については℃で表わしてある。

c-valueの方が変化計基線値に比べて2倍の感度になっている。

時間分解能についていえば、超高層、固体地球の両面で、毎秒値のニーズが最近高まってきたことが重視される。最近の例では、1991年3月24日のSSCは、柿岡における観測でIGY以来最大の202nT(H成分)という大振幅を記録したが、これは毎秒値から導出された値である。SSCの立ち上がりが20秒程度と急峻であったため、毎分値では時間分解能が充分でなくまた吊磁石変化計では記録が不鮮明であった。これまでにも、変化計器録が読み取りにくくなるような現象は何例か起こっている(例えば、1958年2月および1972年8月イベント等)ので、このSSCが全くの例外とはいえない。このような急変化現象について、超高層物理学だけでなく固体地球物理学でのCAやMT解析でも、波形を忠実に捉えることは重要である。したがって、時間分解能については、毎秒値が必要であると考えられる。

毎秒値は誘導磁力計による微分データではないので、磁気嵐でもカバーできるダイナミックレンジを持たなければならない。その上で測定分解能をどこまで上げるかが次の検討課題である。図2は、1989年10月21日に北海道でオーロラが観測された時のデータであ

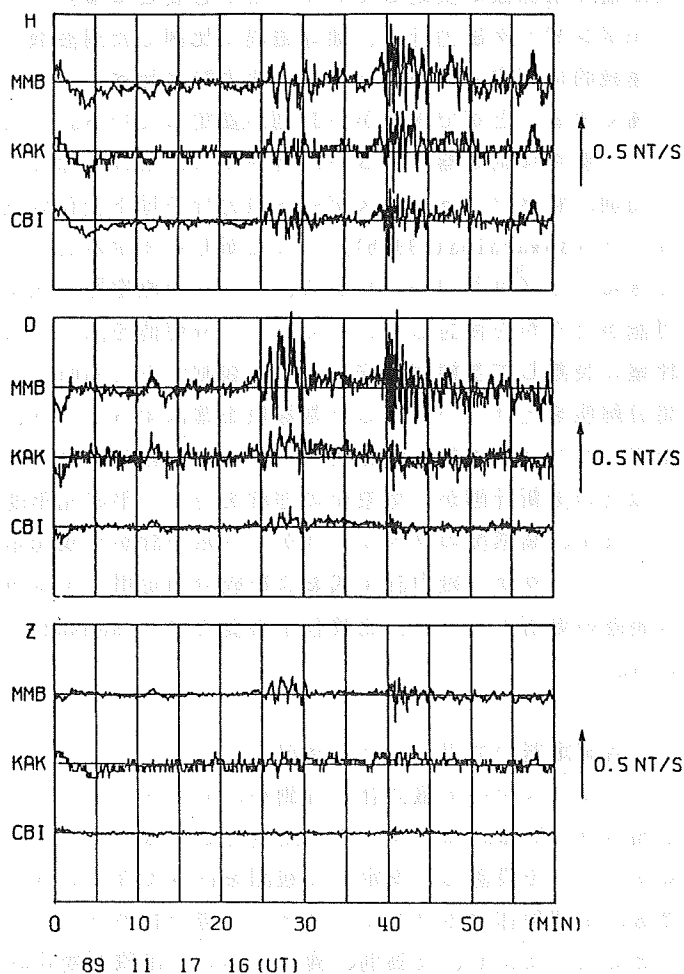


図2 1991年11月17日  
16時43~59分(UT)  
に女満別でオーロラが視認  
された時の、女満別、柿岡、  
父島における地磁気毎秒値  
の差分(隣合う毎秒値の差)。  
女満別、父島のデータはリ  
ングコア磁力計によるもの。  
オーロラは、25分頃の  
P12では発生せず、短周  
期の卓越する40分頃のイ  
ベントに関連して発生した。

る。女満別、父島に比べて柿岡のデータ、特にZ成分の記録が見かけ上大きくばらついているが、これは収録単位が0.1nT単位であることによるディスクリートノイズである。この例ではP12の振幅が大きかったが、振幅0.1nT以下のPc3等の地磁気脈動の解析は0.1nT単位のデータでは解析できない。最近名大S T E研で行っている210°磁気子午面内観測網でのデータ解析から、女満別付近で振動するモードのPc3が発見されており、今後毎秒値を用いたPc3等の地磁気脈動の解析が本格化するであろう。また、固体地球物理学での毎秒値の利用に際しても0.01nT以上の分解能が求められつつある。これらのことを考慮して、測定分解能としては、0.01nTを目標とした。このことは、測定器自体の分解能とともに、デジタルデータの提供の体制も含めて検討すべき問題となる。

以上により、0.01nTの分解能の毎秒デジタルデータを今後提供してゆくデータの目標とした。

データの安定性については、地震予知永年変化精密観測や火山における全磁力観測の基準値として利用されることから、長期間安定した絶対値を得ることが目標となり、そのため、測定器の基線値が安定していることが必要となる。

光ポンピング磁力計は、地球磁場に比例した周波数で発振する回路を形成してその周波数を連続的に測定するが、プロトン磁力計に比べて2桁ほど発振周波数が高いため測定分解能を高くすることができ、かつ計測が安定している。したがって、上記のニーズを全て同時に充せる優秀な測定器であるが、現在では、製作に際して非常なコスト高が見込まれる。一方、女満別、鹿屋でフラックスゲート磁力計を地下変化計室に設置して安定した基線値を得ていること(Kuwashima(1990b))、また新しい測定器としてオーバーハウザー磁力計等が登場してきたこと(笹井(1984))から、これらの測定器で光ポンピング磁力計に置き換えることが可能かどうかを検討した。その結果、分解能を高くしたフラックスゲート磁力計を地下変化計室に設置して基線値も安定させて観測すると同時に、オーバーハウザー磁力計により、時間分解能を上げつつ安定した基線値を確保するという、能力的に相補的な測定器の組合せで光ポンピング磁力計に置き換えられるとの結論に達した。

以上の更新計画が、気象庁の理解を得て、平成元年度から4年計画で実施されることとなり、まず、高感度のフラックスゲート磁力計が平成元年度に整備された。平成3-4年度でオーバーハウザー磁力計4式および成分測定用コイルが更新され、更に、平成4年度中に処理装置の更新も行われ、比較校正装置を除くKASMMERシステム全体が一新される予定になっている。

### 3 各測定器の取得データの状況

フラックスゲート磁力計の計測が、センサーやアンプの温度変化の影響を受けることはよく知られている。センサーの温度変化を少なくするため、女満別、鹿屋では、地下変化計室にセンサーを設置し、安定した観測を行っている(Kuwashima(1990b))。そこで、柿岡でも、新規製作するフラックスゲート磁力計のセンサー設置用の地下変化計室を新営することとした。ただし、女満別、鹿屋と違い、吊磁石変化計を設置する部分が不要なので、階段部だけの縦長建築となった。深さは、女満別と同じく地下5.3mとした。

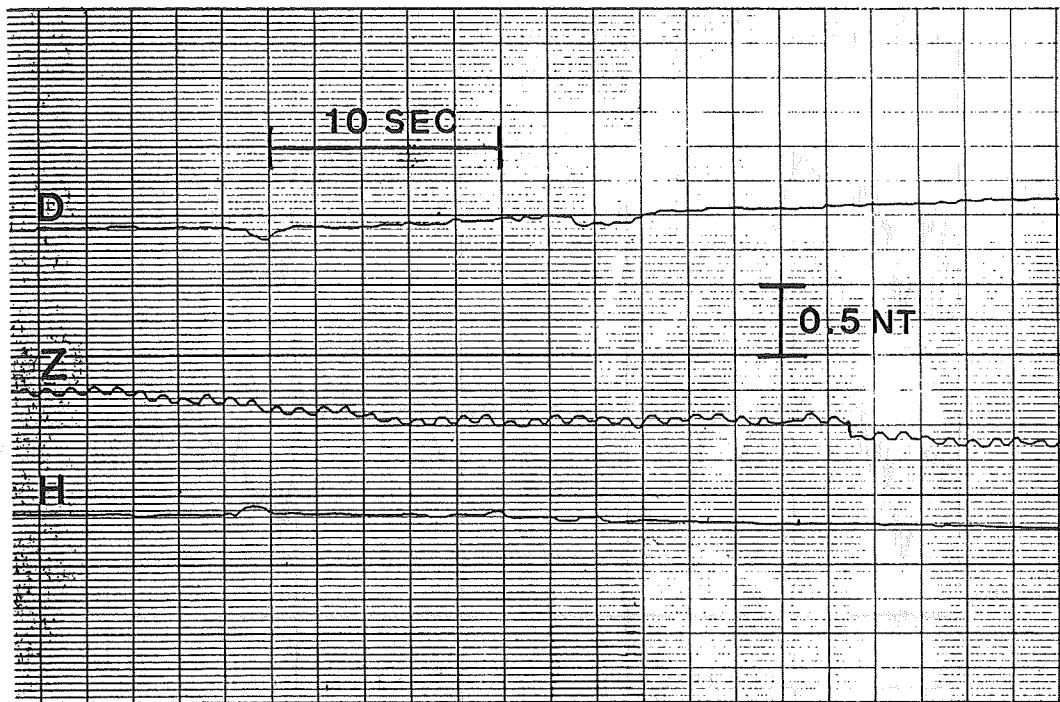


図3 90 FMのアナログ記録例。

フラックスゲート磁力計については、長期連続測定に用いるルーチン観測測定器であることから、測定の安定性を考慮しかつ分解能を上げることとした。センサーはbiaxial型として、dimension ratioを大きくすることにより分解能を0.01nTまで上げることを目標とした。図3は、今回整備したフラックスゲート磁力計(90 FM)のアナログ出力の記録例である。Z成分に振幅約0.05nTの電話ノイズが見られているが、他の成分を見ると、機械的ノイズ等に起因する測定のふらつきは小さく、記録が0.01nT近くまで安定していることがわかる。

測定器の基本となるアナログ信号の分解能については一応達成されたが、デジタルデータとしての毎秒値の時刻対応について次に述べる。これまで、光ポンピング磁力計では、周波数測定が正秒から1/1.4=約0.714秒後までであり、そのデータをその秒における値として提供してきた(Yanagihara et al.(1973))。したがって、時刻対応としては約0.36秒未来を代表するデータとなる。90 FMのデジタル出力は、正秒から0.576秒の間に各成分とも32回のA/D変換を行いそれを平均した値を出力している。新システムでは、このデータをその秒の値とすることにより(役0.28秒未来を代表することになる)、これまで提出してきた毎秒値とほとんど同じ時刻対応となるよう検討している。

デジタル毎秒値提供の単位については、これまでミニコンのディスクの容量、ソフト等の制約から0.1nT単位で提供してきたが、平成4年度中に更新される新処理装置においては、0.01nT単位のデータ提供に対応できるよう計画中的である。これにより、図2で見られたような見かけのディスクリートノイズは大幅に改善される。

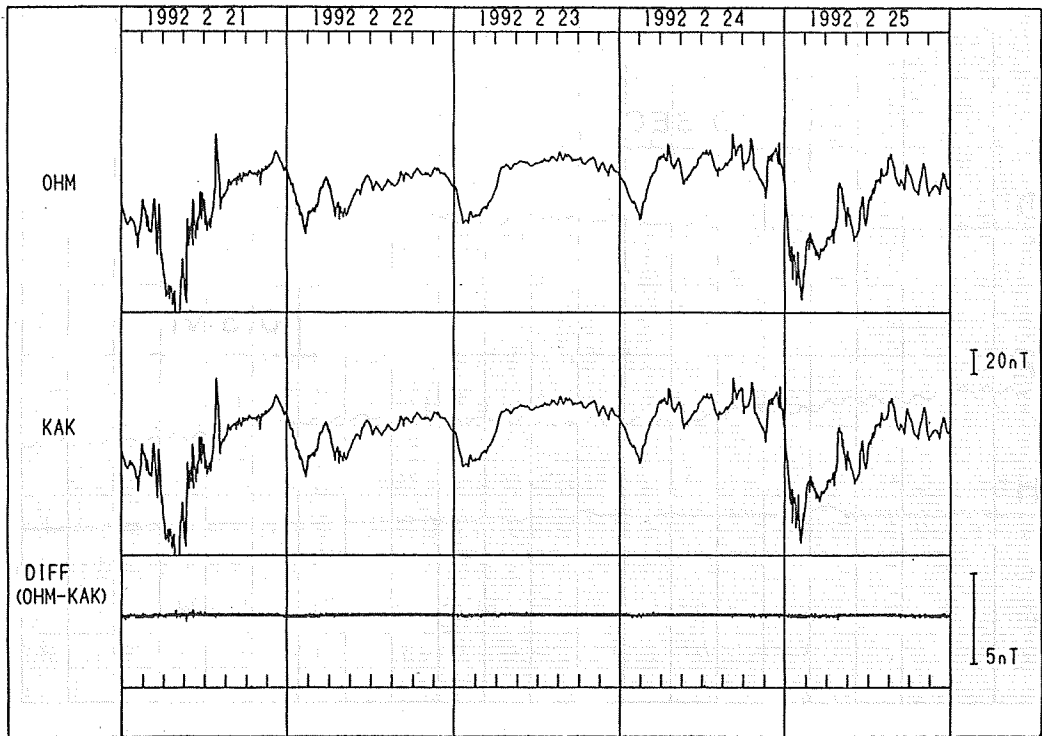


図4 オーバーハウザー磁力計 (OHM) とによる光ポンピング磁力計 (KAK) の全磁力データと両者の差 (DIFF)。時刻はUT表示。

図4は、オーバーハウザー磁力計と光ポンピング磁力計との全磁力データの比較である。同図下段に両者の相互差を示してあるが、両者が0.1nTレベルで差がないことがわかる。現在更に長期間のデータを蓄積中であるが成績は良好であり、安定性については期待していた通りのものとなっている。

オーバーハウザー磁力計による成分観測が今後の比較試験項目となる。今回整備したオーバーハウザー磁力計は、信号強度を得るためセンサー部分となるフリーラジカル溶液を充したガラス容器(球)の寸法が11cmであり、またオーバーハウザー磁力計の計測が磁場傾度に対して不利なことから、成分観測用のコイルも最低11cm以上の一様磁場領域を安定して与えるものにする必要がある。11cm以上の一様磁場領域をヘルムホルツコイルで作るとするとコイル径が最小でも110cmとなり、現用の直径60cmの成分測定用ヘルムホルツコイルでは不十分である。そこで、効率よく一様磁場領域を得るために、Fanseleau-Braunbek型コイルを作成した。中心コイルの直径は65cmで、コイル中心に約20cm強の一様磁場領域が得られる設計(山崎(1990))となっている。現在、短期的な成分測定試験を実施しており、今後成分観測の長期安定性試験および成分測定値の処理法について検討中である。

#### 4 今後のデータ提供体制

平成4年度には、処理装置の更新が行われる予定である。これまでは、ミニコン2台を並行運用してきたが、ソフト面での操作性やコストパフォーマンス等を考慮して平成4年度の更新でワークステーションのシステムに切り換えることとなった。新システムにおいても、装置の故障等による欠測防止のため、データ収録部分をdual化する予定であるが、ミニコンを2台平行運用するのに比べ、データ収録の複数化部分に要するコストを縮小することができ、その分データ処理解析とともに、通信処理等の融通性を持たせるようにした。これにより、INTERMAGNET等ネットワーク経由でのデータ提供等について対応可能となるようなシステム設計にしている。新しい処理装置への移行作業の後、90FMおよびオーバーハウザー磁力計によるデータの定常的提供体制が確立するのは、平成5年度中の見込みである。

#### 5 謝辞

手塚所長、窪田前所長、唐牛および村上元所長には、本計画全般にわたっていろいろと御指導いただいた。また、桑島前技術課長（現気象庁管理課補佐官）には、計画策定の初期の段階から、技術面および予算化等全ての面で御指導御教示いただき、小池前技術課主任研究官（現鹿屋出張所長）、水野元技術課主任研究官（現観測課長）をはじめ技術課、観測課の職員の方々には、実行計画推進についていろいろと御支援いただいている。また、本計画の予算化および契約等の実行について気象庁管理課の予算班、実行班の方々に御協力いただいた。ここに謝意を表します。

なお、90FMは、島津製作所、オーバーハウザー磁力計およびFanseleau-Braunbek型コイルは、国際電子、カナダGEM社、ガウスにより製作された。また、地下変化計室は、平沢工務店、白山製作所により製作された。

#### 参考文献

- Kuwashima M., "kakioka Automatic Standard magnetometer (KASMMER)", Phys. Earth Planet. Int., 59, 97-103, 1990a.
- Kuwashima M., "Accuracy in geomagnetic measurements of Japanese magnetic observatories", Phys. Earth Planet. Int., 59, 104-111, 1990b.
- 佐野幸三 河村謙 大島汎海, "標準磁気儀 (KASMMER) について", 地磁気観測所技術報告, 12-2, 38-70, 1972.
- 笹井洋一, "地磁気測定のためのオーバーハウザー効果プロトン磁力計", 月刊地球, 6-7, 424-428, 1984.
- 山崎明, "Fanseleau-braunbek コイルについて", 地磁気観測所技術報告, 30-1, 2, 26-37, 1990.
- 柳原一夫, "地磁気観測の精度 KASMMER以前の分析とKASMMERの目標", 地磁気観測所技術報告, 12-2, 1-17, 1972.

Yanagihara K., Kawamura M., Sano Y and Kuboki T., "New Standard Magnetic Observation System of Kakioka (KASMMER)", Mem.Kakioka Mag.Obs., 36-4, 217-281, 1973.

この報告は、新標準磁気観測システム「KASMMER」の開発と運用に関するものである。本システムは、従来の磁気観測システムよりも高精度で、かつ自動化された観測を行うことを目的として開発された。観測データは、コンピュータによって自動的に処理され、リアルタイムで表示される。このシステムは、Kakioka磁気観測所において、1973年から運用されている。本報告では、システムの構成、観測方法、データ処理方法、および観測結果について詳しく説明する。

本システムは、高精度の磁気観測を行うための重要な要素として、観測装置の改良とデータ処理システムの開発が挙げられる。観測装置としては、高感度の磁気センサーと高精度の時計が採用されている。データ処理システムとしては、専用のソフトウェアが開発され、観測データのリアルタイム処理が可能となっている。また、観測データの長期保存と検索機能も備わっている。このシステムは、地球磁場の変動を高精度で観測し、地球物理学的研究に貢献している。本報告では、システムの具体的な構成と観測結果について詳しく説明する。

### 謝辞

この研究は、Kakioka磁気観測所の関係者の方々のご協力のおかげで進められた。特に、観測装置の保守とデータ処理システムの開発に尽力された方々に感謝する。また、この研究に協力した多くの学生や研究者にも感謝する。

観測データの解析には、コンピュータによる自動処理が不可欠である。本システムでは、専用のソフトウェアを開発し、観測データのリアルタイム処理を実現した。このソフトウェアは、観測データの取得、フィルタリング、積分、および表示を行うことができる。また、観測データの長期保存と検索機能も備わっている。

本システムは、高精度の磁気観測を行うための重要な要素として、観測装置の改良とデータ処理システムの開発が挙げられる。観測装置としては、高感度の磁気センサーと高精度の時計が採用されている。データ処理システムとしては、専用のソフトウェアが開発され、観測データのリアルタイム処理が可能となっている。また、観測データの長期保存と検索機能も備わっている。