# 有珠山における自動観測監視施設の設置
# Instrument of Automatic Geodetic Observation Equipment at Mt.Usus

測地部　横川 薫
Geodetic Department Kaoru YOKOKAWA

**要　旨**

国土地理院では火山活動による地殻変動を捉えるために機動観測を行っている。有珠山噴火にともなう監視では，平成10年度の岩手山の機動観測で得られた経験，成果をもとに自動観測装置（施設）の改良を行い，より高度化させたものを設置した。特に，REGMOS（Remote GPS Monitoring System：火山変動リモート観測装置）は２周波型の受信機を搭載するなど高精度化を図った。

本稿では，屋上型のGPS機動連続観測装置，２周波型火山変動リモート観測装置（以下「REGMOS Ⅱ」という。）及び測距・測角自動観測装置について特徴，仕様及び稼働状況等を報告する。

## 1. はじめに

国土地理院は，2000年３月27日から地震活動が活発化した有珠山の監視を強化するため，緊急調査班を現地に派遣した。４月２日には臨時のGPS連続観測点２点の設置が完了し，地殻変動を捉え始めた。その後も，山体の変化をより詳細に把握するため，セオドライトによる水平角・鉛直角観測や光波測距儀による距離観測を実施した。さらに，有珠山噴火に対する緊急観測監視体制を整備するための予備費が認められ，GPS機動連続観測装置を４点，REGMOS Ⅱを２点及び測距・測角自動観測装置を２点現地に設置した。

写真－１　３月31日 噴火直後

## 2. GPS機動連続観測装置

GPS機動連続観測装置は，電子基準点のように広範囲の地殻変動を捉えるのではなく，火山などの局所的な監視を必要とする地域に設置する装置である。基本的な構成は電子基準点と同様で商用電源と公衆電話回線を必要とし，異なるところは屋上等に設置するために形状が違うこと及び機動的に設置・撤収するために可搬型であるという点である。

設置場所は，電気・電話が使用でき，設置面が平らで堅固な構造物であることが条件である。有珠山では既存の電子基準点との配置を考慮し，学校やホテルの屋上に４点のGPS機動連続観測装置を設置した（図－１）。

図－１　GPS観測点の配置

写真－２　GPS機動連続観測装置（M漁協測点）

屋上に設置したステンレス製の架台（写真－２）の中にはGPSアンテナが整置され，建物内に専用の収納箱（写真－３）を置きその中にGPS受信機や通信用のモデム，停電時用のバックアップ電源等を格納している。観測されたデータは，国土地理院（つくば市）からの電話により自動回収される。

写真－３　収納箱

## 3. REGMOS

### 3. 1　岩手山のシステム

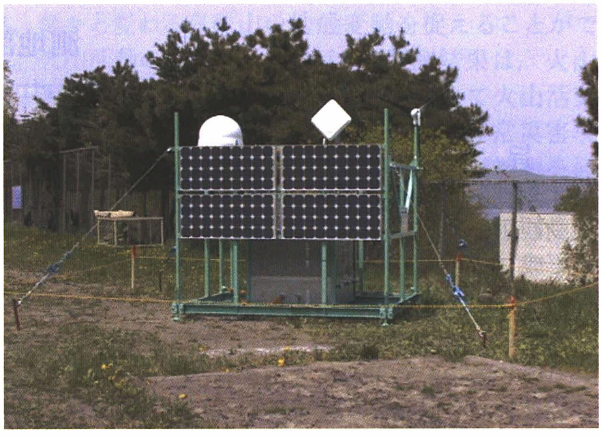
岩手山の監視体制は，電子基準点網を補完する形でGPS機動連続観測点が設置されている。しかし，山頂部や山体に近いところでは商用電源，公衆電話回線が利用できないため，REGMOS　I（１周波型火山変動リモート観測装置）を設置している。特に，稜線上には各種観測機器の搬入や設置が非常に困難なことから、観測機器や通信・電源装置を組み込み一体化したREGMOS　I　type GSI をヘリコプターによって設置した。しかし使用しているGPS測量機は１周波型のため，解析処理は電子基準点網とは別に行われている。

### 3. 2　有珠山のシステム

今回の有珠山の機動観測では，岩手山で使用したものに改良を加えたものである。その中で最も大きな改良点は，２周波型のGPS測量機を搭載したことである。２周波型のGPSを使用することにより長距離の基線解析が可能となり，電子基準点網との同時解析が可能となった。

表－１　REGMOS IIの仕様

| | |
|---|---|
| GPS受信機 | TOPCON　GP-DX１ |
| 通信制御装置 | 近計システム　TCU-1000 |
| 通信装置 | NTT DoCoMo サテライトポータブルホン N |
| 電源装置 | ソーラーパネル　75W×４枚 |
| | 風力発電装置　450W |
| バッテリ | 鉛シールド　42AH×８個 |
| 寸法 | 2.70(L)×2.50(H)×2.13(D)m 約730kg　１号機 |
| | 2.17(L)×2.59(H)×1.40(D)m 約450kg　２号機 |



写真－４　REGMOS II（温泉中測点）

#### 3. 2. 1　REGMOS IIの構成（表－１）

（１）GPS測量機

２周波型の受信機を使用することにより，既存の電子基準点との解析が可能となる反面，消費電力の増加や新たなコントロールプログラムの作成などが必要となった。平成11年度の国土地理院水沢測地観測所で実施した，GPSリモート観測装置の改良に関する試験観測とコマンドの公開や受信機制御の技術的な関係から，トプコン社製のGP-DX１を使用することに決定した（表－２）。

表－２　GP-DX１の諸元

| | |
|---|---|
| 受信周波数 | L１　C／Aコード，搬送波及びPコード |
| | L２搬送波及びPコード |
| 受信チャンネル数 | ９チャンネル |
| 精度（スタティック時） | |
| 水平 | ±（５mm＋１ppm×D） |
| 鉛直 | ±（10mm＋２ppm×D） |
| 内部メモリ | ４MB |
| 消費電力 | 4.5W |
| 動作温度 | －30～＋65℃（受信機及びアンテナ） |

（２）通信制御装置（TCU）

通信制御装置（以下「TCU」という。）は，GPS受信機で取得したデータを衛星電話機で送信するために各種の制御や監視を行うものであり，以下のような機能を有している。

(a)電源管理

ソーラーパネル及び風力発電装置により得られた電力は充電コントローラを介してTCUに供給される。GPS受信機へは常に電気を送り，衛星電話機へは受信側装置の指示により決められた時刻と時間に電気の供給がされる。また，通信時には電圧と温度（基盤上）をモニターし，

GPSデータとともに送信している。

(b)GPSデータの管理

受信されたGPSデータは，イメージファイルとして受信機内部のメモリに一時保管され，１時間分のデータになるとTCUのメモリに転送される。TCUのメモリは1.7Mあり，70時間程度蓄えることができる。実際には，TCUと受信機の両メモリが一杯になるとTCUが誤作動を起こす可能性があるため，TCUのメモリ使用率が70％程度になった場合，毎正時にTCUに設定登録されている電話へ連絡が入る仕組みになっている。

(c)データ通信

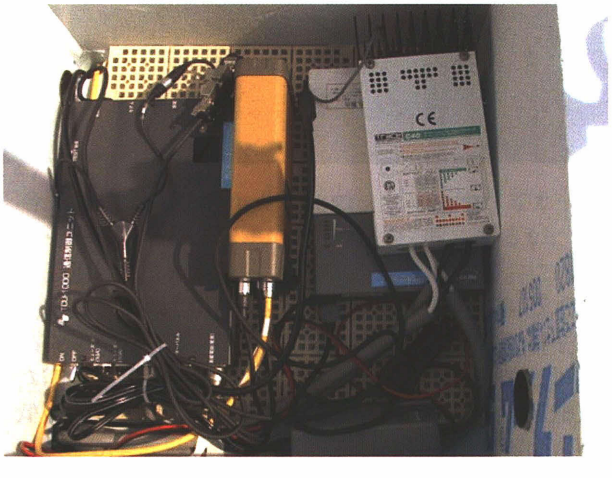
TCUは，指定したデータ通信の時間になると衛星電話機に電気を供給し，通信可能状態になる。TCU内部のメモリに蓄えられたデータは，受信側装置からの通信指示により受信側装置へと送信される。データ送信がとぎれた場合等には，再度送信をするなど通信エラーを監視し，また，送信終了時にはTCUで得られたバッテリの電圧や温度のステータス情報も送信している。

(d)　自動復旧機能

何らかの原因でTCUのコントロールソフトが暴走し，GPS受信機とのデータのやりとりや衛星電話機の管理ができなくなってしまい，ある一定のループを繰り返す事態になった場合，TCUは自動的にリセットがかかる仕組みになっている。リセットがかかると設定情報等の初期入力値はそのままに初期化され，通信ができる状態に復旧される。

(３)通信装置

REGMOSは一般の公衆電話回線が使用できない場所に設置するものである。通常の携帯電話（800MHz帯）は全国どこでも使用できるとは限らないし，災害時等には使用が制限されるなど制約上の課題が多い。岩手山でのシステムのように厳冬期でも通信ができることとシステムの安定性を考慮し，NTT DoCoMoのサテライトポータブルホン（以下「ポータブルホン」という。）及び外部アンテナを使用することにした（写真－５，６）。



写真－５　内部装置
（左からTCU，GPS受信機，ポータブルホン，充電コントローラ）

(４)電源装置

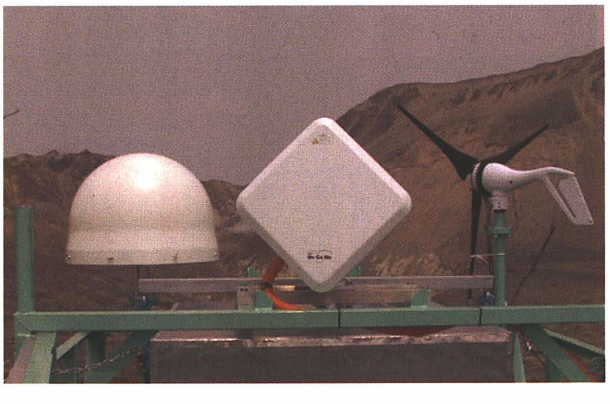
当初の計画では，データ通信を行う電話機にサテライトカーホン（以下カーホンという。）を使用するつもりであった。この電話機はポータブルホンに比べると追尾時のモーター駆動により，２倍近くの電力を消費する。また，GPS受信機本体も10倍近くの消費電力の増加がわかっている。これらの増加分をまかなうことと，荒天により発電できない不日照日を10日間として必要電力量を検討した。

(a)ソーラーパネル

最大発電量が75Wのソーラーパネル４枚を使用した。このソーラーパネルの性質として，パネル面の一部分が日陰になるなど均等に光があたらないと，その部分だけ発電しないのではなく，全体の発電効率が極端に低くなってしまう。したがって，積雪によりパネル面の一部が隠れてしまうような状況を考え，縦に４枚並べるのではなく横に２枚×２段並べるように架台南面に取り付けた。しかし，これにより架台は幅2.7m，奥行き2.1mもの大きさが必要になった。この大きさでは4tトラックでの運搬を必要とし，機動的に設置ができないため，２機のうち１機についてはパネルの付け方等を変更した。

(b)風力発電装置

ソーラーパネルの破損や故障，冬季の荒天対策として，最大発電量450Wの風力発電装置を使用した。この装置はすでに岩手山での機動観測で使用しており，よほどの荒天（羽が折れるほどの強風，落雷，海老の尻尾など）でない限り良好に稼働している実績がある（写真－６）。



写真－６　外部装置
（左からレドーム，衛星電話機外部アンテナ，風力発電装置）

(５)充電コントローラ

ソーラーパネル及び風力発電装置により得られた電力は直接バッテリに充電されるのではなく，充電コントローラを介して供給される。天候により過大な電力が発電さ

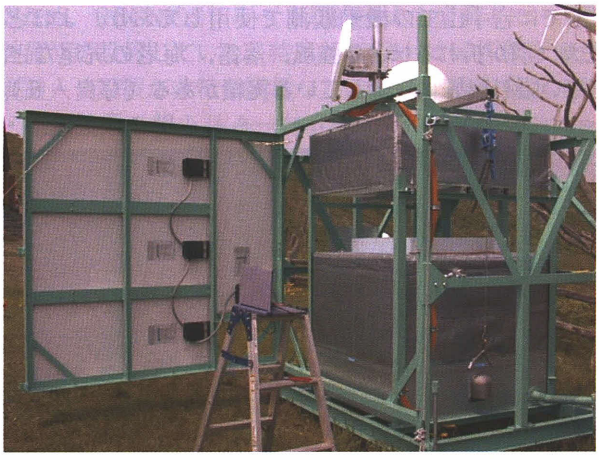
れた場合のバッテリへの過充電防止等のために使用している。

(6)バッテリ

岩手山のシステム同様に小型シール鉛電池８個を並列に接続し使用した。なお，バッテリの容量は42AHのものである。この電池の特徴として，使用可能温度範囲が広いこと，保存期間及びサイクル寿命が長いことである。また，一定条件のもとでは急速充電も可能である。耐寒温度がマイナス40℃までということで，低温時での機能低下を考えなくてもよく，バッテリ自体の保温対策をとらなくて済んだ。これにより保温すべき装置が減り，機器収納箱の大型化が避けられた。

(7)架　台

最初の架台（写真－４）はソーラーパネルを横に並べたため大きくなりすぎ，機動性がなくなってしまった。そこで２機目の架台は積雪による発電効率の低下を最小限に抑えるため，３枚を横に並べその横に１枚を縦に取り付けられるようにし，小型化（幅2.1m，奥行き1.3m）を試みた。また，パネルを取り付けた南面のフレームを蝶番により開閉できる構造にし（写真－７），小型化による機器収納箱への作業のしづらさを解決した。しかし受信機が２周波になったことによりGPSアンテナも大きくなり，アンテナ架台，レドームも大型化した。そのため，アンテナ架台の補強も行った。



写真－７　改良したREGMOS Ⅱ(火口原測点)

(8)機器収納箱（断熱ケース）

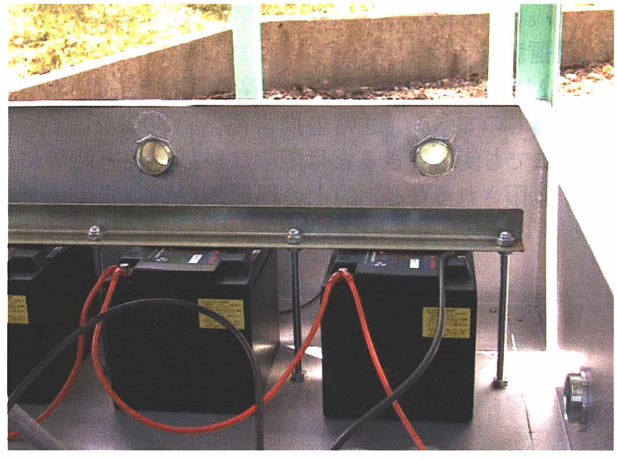
通信制御装置や通信装置（衛星電話機）など電子部品の動作環境は，通常0℃から40℃といわれている。この範囲を超えると動作が不安定になったり故障の原因となるなど，製品の保証がされない。REGMOS Ⅱは電気や電話のない地域での使用が前提であり，いかに機器類の動作環境を良好に保つかが重要になる。

そこで岩手山の時と同様に断熱材（スタイロフォーム）でケースを作成し，その中に機器類を収納した。断熱材は10cmの厚さのものを３枚重ね，内側の１枚は10cmの立ち上がりを設けた。これはケースの本体と蓋の部分の気密性を高めるとともに，内部への水の進入を防ぐねらいがある。

１周波型の受信機はアンテナと一体であったが，２周波型では受信機とアンテナは別であるため，受信機本体，TCU，衛星電話機本体及び充電コントローラを断熱ケース内に収納し（写真－５），バッテリは収納箱下段の電池室に設置した。トラブルが発生するのはおもに通信関係であり，通常は断熱ケースの蓋を開ければ作業ができる。しかし，バッテリの点検や交換が必要な場合，断熱ケースを持ち上げなければならない。そのため，ケースの底に取っ手をつけレバーブロックで持ち上げられるようにした。これにより任意の位置でケースを固定でき，電池室での作業が容易に行えるようになった。

(9)電池室

耐寒性の高いバッテリを使用したため，断熱ケースに収納する必要性はなくなった。端子の保護と固定を考慮し，断熱ケースの下に鉄板で電池室を新設した。また，運搬中にバッテリが動かないように上部にアングル材を渡し固定してある。さらに充電時にガスの発生が考えられるので，換気用と水抜き用の穴を空けている（写真－８）。



写真－８　電池室内のバッテリ

3. 2. 2　カーホンの使用

岩手山でのREGMOSは設置以降，衛星電話機の故障以外は，強風による過充電によりバッテリの安全弁が開き収納箱内の温度がかなり上昇した時でも，温度の低下にともない順調にデータを取得・送信してきており，１周波のGPSシステムとしては完成度の高いものであった。

火山変動を捉えるということからすると，機器の設置は容易かつ短時間に行えることが望ましい。REGMOS

Ⅱの設置工程は大まかに，①設置場所の選定・整地，②機器の整置・立ち上げ，③通信確認の３つに分けられる。危険地帯での作業時間を極力少なくするため，バッテリや通信機器への配線を済ませた状態で，車あるいはヘリコプターを使用して設置場所に搬入し，現地では最小限の配線接続と調整を行い，正常に作動するかどうかの確認をしてからその場を離れることになる。そこで，さらに短時間で済ませようとした場合，機器の接続は全て済ませておきREGMOS Ⅱを整置するのみで完了，という方法をとれることが望ましい。

現地でいちばん時間のかかる作業は，衛星電話機の外部アンテナの方向を正しく合わせることである。相手となる通信衛星は静止衛星であり，南方仰角47度に位置している。衛星電話機本体の受信レベルメーターを見ながらアンテナを動かし，感度が最も高くなる位置に固定しなければならない。レベルメーターは５段階あるが，表示されるまでタイムラグがあるので少しずつ位置を変えながらの調整になる。

カーホンは自動車等の移動体に取り付けて使用する衛星電話機である。アンテナ自身が衛星を自動追尾するので方位や仰角を設定する必要がない。これを利用することによってアンテナの方向調整が不要となり，REGMOSを整置するのみで設置が完了となる。１機目の架台にはこのカーホンを取り付け，実際に試験運用を行った。その結果いくつかの問題点が判明した。

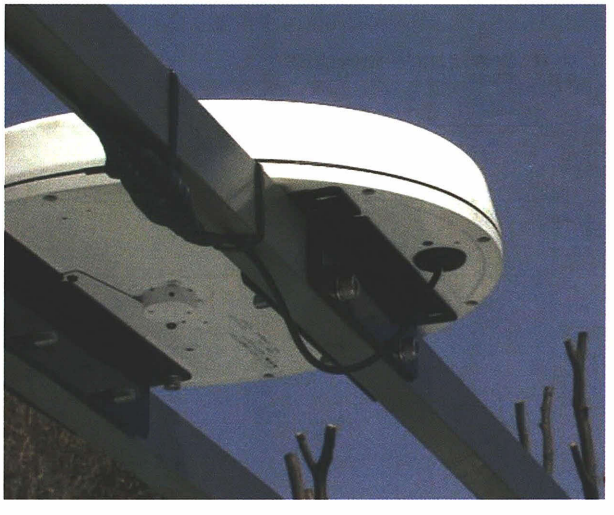
### (1)電圧不足

衛星電話機の電源はTCUが管理している。電源の投入時に大きな電圧を必要とするため，TCUの供給する電圧では不足することがわかった。これによりTCUの電源にリセットがかかり，TCU及びGPS受信機が初期化されてしまうという事態が発生した。TCUから供給される電圧を増やすことはTCUの基本ソフトウェアの変更をともなうことなので対応することは難しい。そこで，電源はバッテリから直接電話機本体へ供給し，電源の投入・切断はACC（アクセサリ）ケーブルを介してTCUが行うように端子の改造を行い対応した。

### (2)高発熱

今まで使用していたポータブルホンに比べてカーホンは，通信にかかる消費電力はほぼ同程度であるが，衛星を自動追尾するためモーターが常に動いている。この消費電力は通信時の1.6倍にあたる。通信のために電話機の電源が入っている状態では常にモーターで衛星を追尾しており，相当量の電力を消費している。試験運用では，３時間毎のデータ回収を前提に電話機の待ち受け時間（電源が入っている時間）を15分，待ち受け回数を８回に設定した。この時点ではGPSデータのイメージファイル化が不完全だったため，予定していた６倍もあるデータをダウンロードしていた。また，TCUはデータ通信中であれば待ち受け時間を超えても電話機への電源供給を続け，通信が終了した時点で電源を切断する機能がある。この結果，通信時間が長くなり電話機本体の発熱が増え，GPS受信機の発熱と相まって断熱ケース内の温度が上昇してしまった。

５日間の試験の結果，電話機の発熱は想像以上なもので，断熱ケース内にある電話機本体，TCU，GPS受信機等は手で触れられないほど熱くなっており，断熱材の一部が熱による変形を受けていた。断熱ケースは冬季の低温時においても機器の動作環境を保証するように密閉度が高くなっている。また，GPS受信機の発熱も相当あり，夏に向かっての気温上昇を考慮し外気を導入する通気口を２カ所設けたが，これだけでは到底，高温状態を防ぎきれなかった。



**写真－９　カーホンのアンテナ**

### (3)製品仕様上の問題

アンテナは自動車等の屋根に取り付けるため平たい形状をしている（写真－９）。また，アンテナを保護するカバーは据え置き型の外部アンテナに比べ薄い。このことから，火山灰の堆積や噴石等の直撃により通信に支障をきたす可能性がある。メーカーでも堆積物の影響調査や落下物から保護するようなものがなく，実際の使用にはさらなる検討を必要とした。

以上のように，カーホンの利用にはいくつかの解決すべき課題があるため，今回のREGMOS Ⅱには採用しないこととなった。

## 3．3　REGMOS Ⅱの設置

測距・測角作業やGPS機動連続観測装置の選点時の情報と，立入禁止区域（カテゴリー）との調整を図り，トラックでの運搬によって５月25日に「温泉中」を，翌26日に「火口原」を設置した。現場での通信確認を行い，５月27日からのデータを提供した。ただし，以下に述べる

「Regmos 2」プログラム等の調整の遅れから完全に自動化されて提供されたのは6月に入ってからとなった。

### 3. 4　受信側装置

国土地理院には，REGMOS Ⅱデータの受信装置が設置されている。デスクトップ型のパソコンを使用し，データの受信と転送を行っている。「Regmos 2」「自動転送プログラム」というソフトウェアにより，次の処理を実行している。

**(1)データ回収**

指定した時間になるとあらかじめ登録されている観測点へ電話をかけ，1時間毎の観測データをダウンロードする。

**(2)RINEX（ライネックス）変換**

回収されたRAWデータを共通フォーマットであるRINEXデータに変換する。

**(3)データ結合及びリネーム**

1時間毎のRINEXデータを3時間単位に結合し，GEONET（GPS Earth Observation Network System：GPS連続観測システム）で解析可能な点番号，機種等に名称を変える。

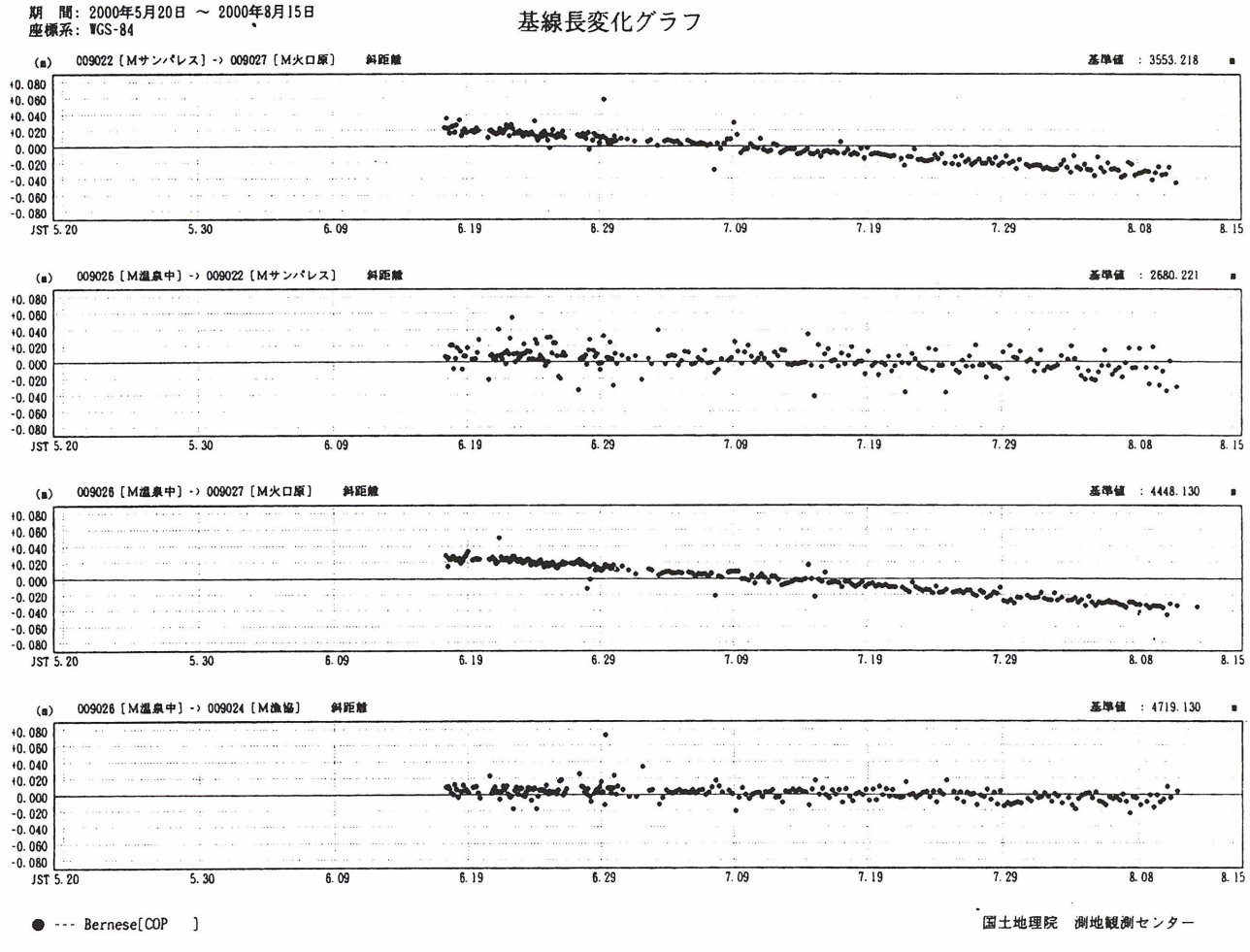
**(4)データ転送**

結合されたRINEXデータは，GEONETのサーバーへLANを利用して転送する。

### 3. 5　観測結果

REGMOS Ⅱ及びGPS機動連続観測点との基線長変化を図－2に示す。

使用しているデータは3時間毎の緊急解析が行われていた6月17日から8月10日のものである。これ以前の




図－2　基線長変化グラフ

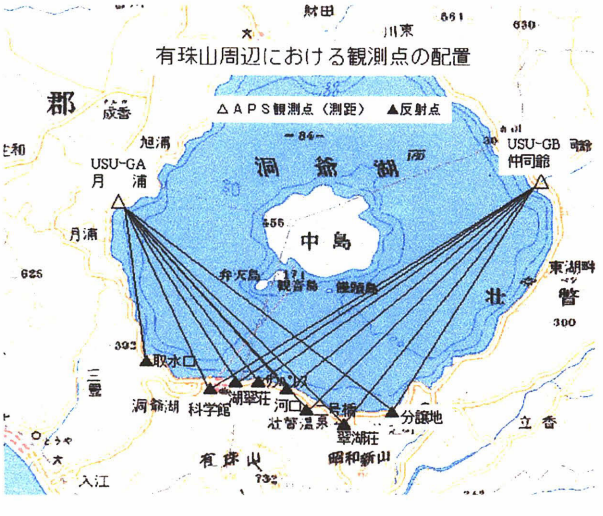
データは変換プログラム等の不具合により手動変換を行わなければならなかったので採用されていない。

活発な活動を続ける噴火口付近を横切る基線では，ほぼ直線的に短くなっており，この量は約3cm／月である。一方，噴火口から離れた基線ではその量は小さい。これらのことは，マグマの貫入がなくなり山体が収縮しているものと考えられる。

## 4. 測距・測角自動観測装置

今回の有珠山噴火にともなう地殻変動を監視するため噴火直後から現地に入り，セオドライトによる水平・鉛直角観測及び光波測距儀による距離観測を実施した。連日の観測作業は天候の合間を見ての野外観測なので，天候回復までの待機や観測点への移動等，作業員の負担や疲労ははかりしれないものがあった。角観測での視準箇所は自然目標を利用しているため自動化が難しい。一方，距離観測についてはすでに反射鏡が設置されているので測距儀の入れ替えで自動化が可能である。このため，器械点2点に測距・測角自動観測装置を導入することになった。

本装置は，光波測距儀とセオドライトを組み合わせ（以下「APS測量機」という。），パソコンによる制御で自動的に距離及び角度を測るシステムで，ダムや地滑り地のモニタリングに使われており，国土地理院ではAPS連続観測装置と呼び，岩手山の火山活動による地殻変動を監視するため1998年8月6日から観測をしている。APSとは，Automated Polar Systemの略で，システムを開発したWild（現Leica）社の製品名である。




図－3　APS観測点・反射点の配置

### 4. 1　設置場所

噴火直後の人手による距離観測時には，カテゴリー分けがなされていたため，洞爺湖南岸への反射鏡設置は困難であった。有珠山総合観測班の協力により3カ所に反射鏡を設置することができ，その後のカテゴリー見直しを受け，反射鏡を増設して現在は8カ所の反射点について観測を行っている（図－3）。

APS連続観測点（器械点）の設置場所の選点は，噴火活動が有珠山の北西で活発であったため，この地域を見渡せる場所であること，作業をするにあたり危険がないこと，電気及び電話の敷設が容易であること等をふまえ，洞爺湖の東岸（仲洞爺）と西岸（月浦）に設置することとした。仲洞爺観測点は光波測距儀による観測点（G－B）の後ろに設置し，数日間の並行観測を実施した。

月浦観測点（写真－10）は，もう一方の距離観測点（G－A）より約1km南東の湖岸に設置した。これは，旧観測点での測量結果から器械点のみの気象データを使用したのでは，温度の逆転現象等には補正しきれないことがわかっており，光が一様な気象状況を通るように反射点との標高差を小さくするため湖岸に設置した。

写真－10　APS連続観測点（月浦観測点）

### 4. 2　電源・通信関係

岩手山では電気・電話のない地域であったため，APS測量機，気象観測装置，通信装置及び制御装置の全ての稼働にかかる電源は，太陽光発電及び風力発電に頼らざるを得なかった。しかし，有珠山では一般の商用電源，公衆電話回線が利用できるため，大がかりな電源装置は必要としなくて済んだ。

電力については近傍の電柱より引き込み柱を介して観測局舎まで敷設した。局舎内にはACコンセントを用意し，APS測量機へは電源インターフェイスボックス（AC／DC変換器）を経由，気象観測装置へは地中をはわし気象ポール経由で，ターミナルアダプタ及びパソコン（制御装置）へは通常どおりの方法で電源を供給した。データの通信には公衆電話回線を利用した。仲洞爺観測点ではISDN回線が利用できたため，APS観測データと気象データの両方を1回線で送信することができた。一方，月浦観測点は交換局の災害復旧の関係で別々のアナログ回線を利用した。

### 4．3　観測局舎及び気象ポール

観測機器を整置する局舎は岩手山のものと大きく異なった。岩手山では全てが手探り状態であったため，局舎には既製品である鋼板製物置を利用した。しかし，強風による屋根の破損や積雪による変形，雨漏りなどが生じ，たびたび補強やメンテナンスが必要となった。これらの問題点を解決すべく，強度が高く設置が簡便で繰り返し利用が可能な局舎を検討中であったため，有珠山ではこれを採用することとした。

局舎のおもな特徴として，①円筒形にしたこと。②分割構造にしたことが挙げられる。円筒形ということは，風を受けても局舎に沿って逃げるので風に対する強度が強くなった。また，窓も曲面となり，平面のガラスに斜めから視通線を通した時のようなピントが合わないということが解消され，反射点の確認がしやすくなった。

観測機器の調整段階で，明らかに異常と思われる値のばらつきが測定された。原因としては，実際に反射点から戻ってきた光と窓ガラス内側での反射光との干渉ではないかと推測した。有珠山での観測点と反射点の関係は，ほぼ同じ標高にあるため測距線が水平になる。このことは窓ガラスに対して直交する形で測距をすることになる。また，ガラスの曲率のほぼ中央に器械が位置していることも影響していると考えられた。対応策として局舎の大がかりな改造は不可能なので，反射点に向けた光がガラス面で反射して戻ってこないように窓ガラスを枠ごと傾けた。その結果，ガラス下部でおよそ２cm（角度にして約２度）手前にずらすことで異常値の出現はなくなった。窓枠をずらしたことによって生じた外側の隙間には，防水のためシーリング材で目止めをした（写真－11）。

写真－11　窓枠の改造

局舎は壁を３分割にし，さらに屋根，床，床板，出入り口扉，窓，階段とそれぞれの部品に分け，ボルトで組み立てる構造にした。分割したこととアルミ製であることにより，各部品はひとりで十分に運べる重量とすることができ，再利用しやすいものとなった（写真－12）。

局舎内にはACコンセント，電話のモジュラージャック，室内灯及び換気扇が備えられており，さらに制御装置であるパソコンやAC／DC変換器等を置くラックも設置した。

気象観測装置は地面等からの輻射熱を受けないような場所で，なおかつ，電子部品からなる精密器械であるため振動の少ない場所に設置することが望ましい。このため気象ポールには直径50mmの鉄材を使用し，地上高３mまでぶれ防止のためのリブをつけ，基礎であるコンクリートからのボルトに固定するようになっている。また中空構造をしており，気象観測装置への電源及び通信のためのケーブルを通すようになっている。

局舎と気象ポールの外装色は国立公園内ということもあり，環境庁指定の焦げ茶色とした（写真－13）。

写真－12　分割構造にした局舎

写真－13　局舎及び気象ポール（仲洞爺観測点）
（局舎左は，手動測距のＧ－Ｂ点）

表－3　観測局舎等の仕様

観測局舎
　寸法：直径1.4m　高さ2.2m
　材質：アルミニウム
　架台：チタン製
　可視域：水平：120°，上下50cm
　その他：外壁は120°ずつの3分割可能
　階段を含む総重量：約100kg
気象ポール
　寸法：地上高4m（計器高は3.5m）
　材質：ステンレス
　重量：約40kg

### 4．4　APS測量機

APS観測装置の主要部分であるAPS測量機は，ライカ社製の電子モーターセオドライトと光波測距儀の組み合わせで使用した。パソコン上で動作するソフトウェアの制御によって，あらかじめ登録してある観測点への距離と角度を指定時間毎に繰り返し観測することが可能となる（写真－14，表－4）。

写真－14　APS測量機

表－4　APS測量機の諸元

セオドライト：Leica　TM1100
　測角精度：3秒（最小表示：1秒）
光波測距儀：Leica　DI3000S
　測定可能距離：12km（7素子，気象条件：普通）
　測定精度：±3mm＋1ppm
ソフトウェア：APSWin Lite　Ver.1.42

### 4．5　気象観測装置

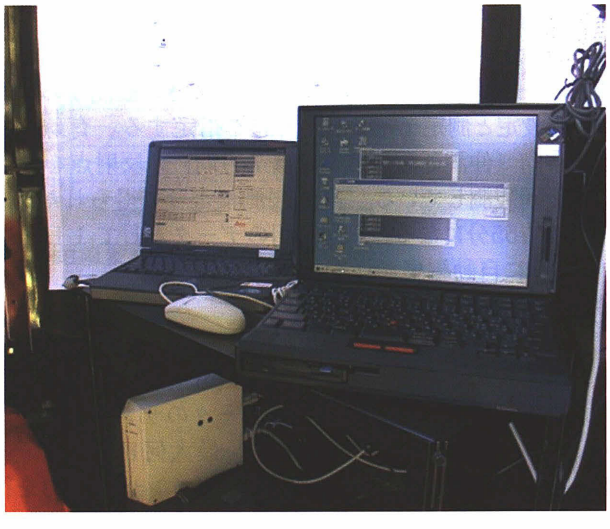
横河電子機器社製のGPS気象観測装置を使用した。本来この装置は，GPS測量において気圧・温度・湿度を観測することによって水蒸気量を推測し，測位精度を高めようとするものであるが，岩手山での観測に実績があるため今回も採用した（表－5）。

表－5　気象観測装置の諸元

気象観測装置：YOKOGAWA　MS351
　気圧計：シリコン振動式
　　500～1300hPa（±0.1hPa 以内）
　温度計：白金測温抵抗体
　　－40～＋60°（±（0.15＋0.002t）°）
　湿度計：静電容量式
　　0～100%RH（±2～3%RH）
　サンプリング時間：1秒
　使用環境：－30～＋50°，0～100%RH
　ソフトウェア：GPS気象観測装置データ回収プログラム

### 4．6　制御装置

商用電源の確保できない岩手山では消費電力を第一に考え，最小限の電力消費でシステムを制御した。APS測量機の制御には負荷が大きくかかり，通信モデムとのトラブルが幾度となく発生した。今回は，商用電源も確保できているため高性能のパソコンを導入し，システムの安定動作を図るためオペレーティングシステムにWindows NT 4.0を使用した（写真－15）。さらに，国土地理院にある受信側パソコンから制御用パソコンが遠隔操作できるようなソフトウェアをインストールした。これにより，各種の設定やプログラムの実行をはじめ，パソコン本体の再起動も電話回線を通じて行えるようになった。



写真－15　制御装置
（左がAPS用，右が気象用，下に見えるのはAC／DC変換器）

### 4．7　池田式ミラー架台

人手による距離測定をしていた当時の反射点は，3素子あるいは7素子の反射鏡をセメントで固定していた。カテゴリーの見直しにともない，洞爺湖温泉街にも立ち

入ることができるようになり，GPS機動連続観測点の設置とあわせて反射点の増設を行った。従来のような固定の仕方では設置に手間がかかり美観も損ねるため，急遽現地において専用のミラー設置架台を作成した。

架台は，厚さ８mmの鉄板に反射鏡を取り付けるための支柱を溶接し，その上に同じ厚さの鉄板を２枚重ね，自重（約35kg）でもって動くことのないような構造になっている。月浦及び仲洞爺の両観測点から測距するため，２組の反射鏡を設置できる構造になっている。架台は作成者の名前をとって池田式ミラー架台と呼んでいる（写真－16）。

**写真－16　池田式ミラー架台**
**（左は河口，右はサンパレス）**

### 4．8　観測データ

取得されるデータは①APS測量機による測距データと②気象観測装置による気象データがある。

①測距データ

観測は「APSWin」プログラムによって全て制御される。プログラムには使用する観測器械の種別，観測地区名をあらかじめ入力しておき，一連の観測点を実際に人手により測定し水平角及び高度角の位置データを記憶させておく（写真－17）。また，何時間おきに観測するのかの時間設定と測定データの出力先を指定する。有珠山では８方向（仲洞爺観測点からは７方向）の反射点を１時間に１回観測している。自動観測によって得られたデータは23時55分になると，回収用のデータとして１日分のファイルに自動編集される。

②気象データ

気象観測装置は，電源がつながると自動的に温度と気圧のデータを取得し始める。「GPS気象観測装置データ回収プログラム」は，観測されたデータのサンプリング間隔，ファイル化したものの出力先，最大何日分のファイルサイズにするかなどの設定と，パソコンへの出力を行う。ここではそれぞれ10分，10日分に設定している。測距データと同様に23時55分になると，１日分のデータに自動編集される。

### 4．9　測距データ自動取得システム（図－４）

岩手山のシステムではデータの回収のみ自動で行われていた。その後はすべて手動で，気象補正の計算，その計算結果からグラフを作成しデータに異常がないかどうかの

**写真－17　APS測量機のセットアップ**

確認，結果の転送までを行っていた。

今回，新たにデータの回収から気象補正，グラフ作成及び結果ファイルの転送までを一括して処理できる「測距データ自動取得システム」を開発し，国土地理院内でのデータ点検等の効率化を図った。

（１）おもな設定事項

(a)データ回収のスケジュール

(b)相手側のPCホスト名，ファイルのある場所

(c)転送先のPCホスト名，ファイルの置き場所

(d)観測点及び反射点の名称・番号・標高

(e)その他グラフの要素

（２）機能

(a)指定時間になると電話回線を用いて，自動で観測点のデータ（測距・気象）を取得する。

(b)取得されたデータから気象補正計算を自動で実行し，結果ファイルを担当部署及び測地部Webサーバーに転送する。

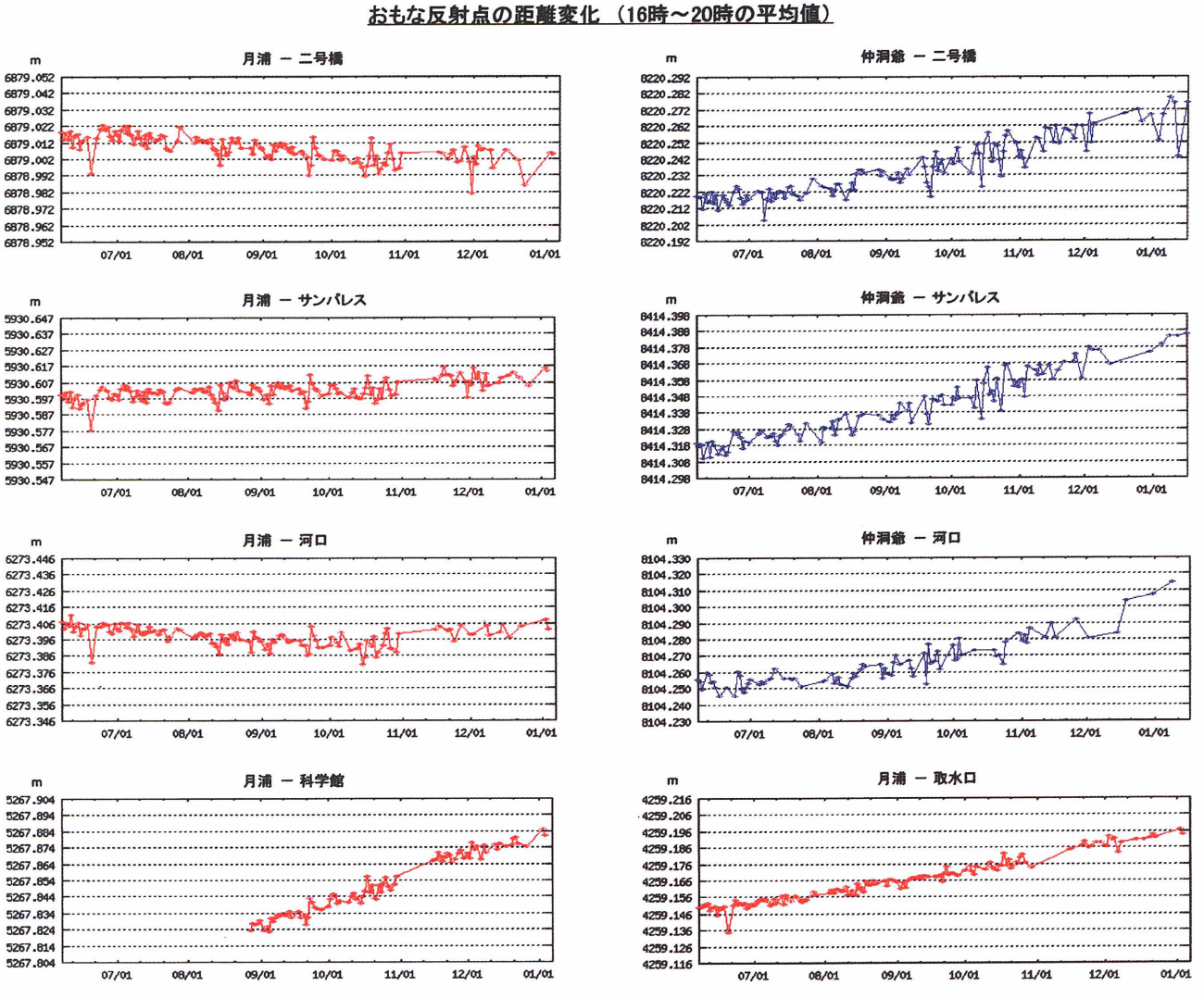
(c)測地Webサーバーにて，各方向別の日毎データと全データをグラフ化し，WWW サーバーによりグラフの画像が取得できるようにした。

(d)観測点は最大20方向まで対応することができる。

**図－４　ブラウザによる表示例**

## 4. 10　得られた成果

APS連続観測点は５月18日に設置が完了し，APS測量機や通信の確認を行い６月７日からデータの提供を始めた。測距データ自動取得システムによって得られた結果を図－５に示す。データは１日の16時～21時の観測値の平均値をプロットしてある。




図－５　APS観測による距離変化

月浦観測点からの距離測定では，二号橋，河口測点に縮みの傾向があるが，仲洞爺観測点からは顕著な伸びがみられる。また，８月末に設置した金比羅火口に近い，科学館測点では，非常に大きい伸びがみられる。これらのことは反射点が噴火口方向移動していると考えられる。すなわち，GPS観測での結果である山体が収縮しているということと調和的である。

## 5. おわりに

1997年から開発の始まったREGMOSは，岩手山における機動観測で十分な成果を上げることができた。電気や電話がなかったり危険な地域などで，人手を介することなく無人で観測を続けられるREGMOSは，火山学者や研究者のみならず行政にも貴重なデータを与えることができた。

今回の有珠山監視では，REGMOS Ⅱは２周波型GPS受信機を搭載するなどの改良がなされ，日本全国をカバーする電子基準点網と結合できるようになった。また，APS連続観測装置についても，有人観測に代わるものとして十分な成果を上げることができた。これらの観測されたデータは火山噴火予知連絡会へ提出され，火山活動の推移を把握する重要な資料として活用されている。

今後は通信に無線を利用することや，異なる観測データの測定・伝送ができるようにするなど，システムの安定化・高度化を図っていきたい。

## 謝　辞

今回の機動観測は，突発的な有珠山噴火にともない緊急に観測機器を設置しなければならない状況であったが，各装置の設置からデータ取得まで多くの方々のご協力を得て実施することができた。あらためて関係者の皆様に深く感謝申し上げる。

## 参 考 文 献

田中博幸(1999)：調査研究年報（平成10年度）「岩手山の火山活動に関する研究－GPS火山活動リモート観測－」国土地理院技術資料A・１-No.214
田中博幸(1999)：調査研究年報(平成10年度)「GPSリモート監視システムの開発」国土地理院技術資料A・１-No.214
田中博幸(2000)：技術報告書「GPSリモート観測装置の改良　２周波GPS受信機への対応」
根本盛行(1999)：第28回国土地理院技術研究発表会「測量でとらえる火山活動」国土地理院技術資料A・１-No.211
平井英明(1999)：「岩手山における機動観測」国土地理院時報第93集