

# GPS火山変動リモート観測システムの改良 Some aspects and its improvement of remote GPS monitoring system for volcanic activities

測地部

町田守人・海老名頼利・真野宏邦・秋山忠之

Geodetic Department

M. Machida, Y. Ebina, H. Shinno, T. Akiyama

## 要 旨

地震・火山地域における地殻変動の遠隔観測向けにGPS火山変動リモート観測システム (Remote GPS Monitoring System) が導入されて数年が経過した。現在までに岩手山をはじめとして、9火山で運用が続けられている。この間、台風・低気圧通過時の横ずれや、雷害によりGPS受信機が故障した事例が認められた。これらの状況を改善させるため、実装環境に応じて、設置用基台の改良等の対策が施された。また、話中状態等によるデータ通信の不具合を解消するため、通信制御装置のファームウェア見直しとタイマー導入がおこなわれた。これらの措置を講じたことにより、地殻変動の遠隔観測に向け、当システムの安定化が図られた。

## 1. はじめに

地震や火山活動による災害の軽減に向けて、地殻活動の監視に予断を許さない状況が続いている。火山について言えば、地殻変動の観測は、マグマの集積過程による弾性変形の情報を地表で変位場として拾い上げる役目を果たしている (下鶴, 2000)。火山の噴火機構の理解と活動予測の精度向上を図る上では、とりわけ、火口周辺や活動域の中核部における地殻変動の観測が求められている。

本稿で取り上げるGPS火山変動リモート観測システムでは、地震・火山活動の活発化に際した機動観測向けに、さまざまな要請や周辺技術の進歩をふまえて、基幹部分の開発が進められてきた。当システムの原型 (1周波型) は最初に1998年に岩手山に配備され、実地での運用が開始された (平井, 2000)。有珠山における噴火に際して、2周波型への転換など、システムの高度化が図られた (横川, 2001)。三宅島の火山活動、神津島・新島近海における地震活動の活発化に際して、機動的な観測手段として配備された (海老名, 2001)。ある時は、ライフラインの寸断や停電状態で観測停止に追い込まれた電子基準点の代役を務め、またある時は、商用電源・電話回線が確保できない地域へ当システムを配備することにより、活動域の近傍で局所的な地殻変動の観測が可能になった点が評価される。

しかし、2001年4月以降、本格的な運用段階へ移行するにつれて、強風下や厳冬期に装置が横ずれしたり、衛

星携帯電話が話中状態に陥るなど、新たな問題に直面した。これらの問題の解決にあたって、著者たちは機動性、安定性、対環境性、防護性など、総合的な観点に立脚しながら対策を検討した。問題自体の除去ではなく、想定される影響因子によって当システムに及ぼされる影響を、各種の施工によって抑制させる方法をとった。

## 2. 地殻変動監視のためのシステム

### 2. 1 国土地理院における運用状況

地震・火山活動の活発化に際して、国土地理院でおこなっている地殻変動の観測手段としては、電子基準点によるGPS連続観測、GPS機動連続観測点、GPS火山変動リモート観測システムによる観測を挙げることができる。このうち、GPS機動連続観測点、GPS火山変動リモート観測システムは、機動性が高い観測手段である。機動的な配置によって、既存の電子基準点による観測網を局所的に稠密化することができる。

### 2. 2 GPS火山変動リモート観測システム

(1) これまでの開発状況 機動的に設置可能なGPS連続観測ステーションという構想から出発して、実用化に向け1997年から測地部機動観測課において開発が進められてきた。1998年以降、地震・火山活動の活発化に際して、岩手山、有珠山、三宅島をはじめ、各地の地震・火山地域に漸進的に配備され、その機動力を発揮してきた。

(2) システムの概要 これまでの開発段階では、GPS火山変動リモート観測システムという場合、現地側に設置する観測装置自体を指すことが多かった。本稿では、「当システム」という場合、火山側に設置される可搬型観測装置 (以下、「リモート側装置」と総称する) と受信側の装置・アプリケーション (以下、「ローカル側装置」と総称する) の両者を含めて指すことにする。電子基準点やGPS機動連続観測点とは、機器構成、設置方法、データ伝送が異なっている。

① リモート側装置 GPS測位装置 (2周波型) ・データ伝送装置・各種制御装置が搭載される。太陽光発電機から得られる電気エネルギーを二次電池へ蓄えてから、装置へ供給させている。

② ローカル側装置 国土地理院側には、ローカル側装置が備えられる。リモート装置とローカル装置の間のデ

ータ伝送手段として、移動衛星通信サービス (NTT DoCoMo デジタル衛星移動通信システム) が利用される。現地側で取得された観測データは、準リアルタイムで測地部機動観測課に備えられたローカル側装置へ伝送される。ここでフォーマット変換、ファイル結合等の処理がおこなわれた後、GEONETへ転送され、電子基準点のデータとともに処理・解析される。

(3) 配備方法 リモート側装置には、必要な機器が一体化されている。ヘリコプターやユニック車でリモート側装置を設置予定地へ運搬して据え付けた後、簡単な調整と設定を経て、数時間で観測を開始できる。撤収についても1日程度で完了させることができる。

2. 3 対象地域への展開

地震や火山活動活発化に際して、電子基準点、GPS機動連続観測点、GPS火山変動リモート観測システムは、観測対象地域における空間的な分解能と、観測の継続期間に応じて使い分けられる (図-1)。2000年の有珠山噴火時の状況を例にとって地理的な配置を模式化すると、図-2のように火口からの距離に応じて、観測機器が展開される。

それぞれの観測手段には、観測網の粗密、機動性、耐久性に関して、相反するリスクを抱える。求められる観測の範囲に対して、それぞれの観測手段を適切に配置することにより、相反するリスクを補完しあい、全体として観測体制の充実を図ることができる。

3. システムに求められる要求事項

当システムが無人の環境下でGPS連続観測を目的としたシステムであることは十分に理解されながら、その設計思想や実装環境の評価については、これまでほとんど重要視されてこなかった。しかし、改良に向けた端緒として、当システムに対する基本的な考え方を整理することは、具体的な施工策を決定する上で重要な基礎である (表-1)。

(1) 観測の対象地域 活動的な火山の周辺に大学や関係機関によって観測施設が設けられ、定常的な監視体制が

整備されてきた。これに対して、国土地理院では、地震・火山噴火等による災害の予防や、災害発生の予測にとって必要な調査として観測活動がおこなわれる。特定の火山を定常的に観測するというより、任意の火山に対して、防災上、現況を正確に把握する必要がある場合、必要な観測機器を設置して火山学的な情報を収集する立場が取られる。

(2) 観測形態 全ての活火山に、観測機器を常時設置することは、観測機器の導入コストや運用コストの面で限界がある。火山の活動期に同期して、計画的に火山地域に観測機器を配備できるまでには至っていない。現行では、ある火山や地震によって活動が活発化した場合に、観測機器を緊急に配置して地殻変動の観測を開始させ、活動が完全に沈静化すれば観測機器を撤収させる「機動観測 (mobile observation)」という形態が取られている (西出, 1997)。

(3) 観測点の配置 リモート側装置を活動域に展開させる際、できるだけ異常な地殻変動の中核部へ接近して設置することが、地殻変動の観測で噴火過程の兆候を検出する上で効果的である。

(4) 観測機器の形状 噴火に伴う一次災害との遭遇を避ける上で、リモート側装置の設置が、活動域内で短時間に完了されなければならない。輸送を容易にして、コストを低減させる上で、リモート側装置を小型化させることが望ましい。装置の小型化により軽量化も図られるが、風圧荷重で装置が変位しないように予防策を講じる必要がある。

(5) 観測機器の動作の安定性 設置したリモート側装置は、活動期を通じた期間中に安定して動作しなければならない。いったん不具合が生じて、人手を介さずに回復措置が作動して、誤動作を抑制する機構 (フェールセーフ) が実装されることが望ましい。

(6) 実装環境の評価 リモート側装置は、臨海部や高山、湿潤な環境など、さまざまな場所に設置される。設置環境から被る可能性のある影響を事前に評価して、必要な対策を講じておくことが要求される。



図-1 各システムの適用範囲

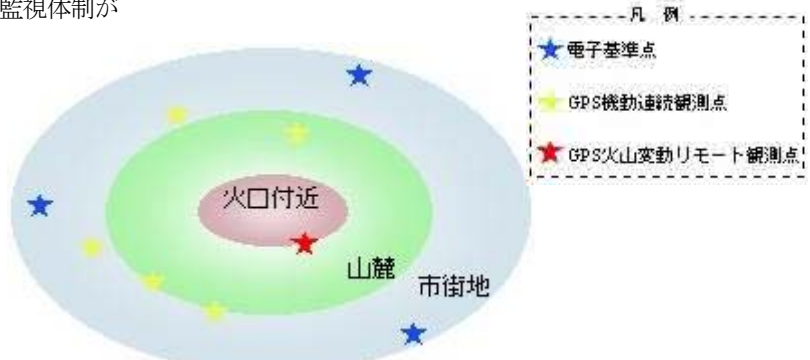


図-2 各システムの地理的配置 (模式図)

(7) 導入と運用 火山活動が活発化した場合、短時間で観測機器を設置して、短・中期的な地殻変動の監視に対応することが、機動観測の当面の課題である。火山の噴火サイクルと比較すれば設置期間は短い、リモート側装置一式を導入して運用するには、初期投資と運用費用の確保が必要である。運用面での工夫や機器の撤収・再転用により、費用の抑制を図らなければならない。

(8) 調達 地震・火山活動の活発化にあたり、観測機器設置の必要性が判断されれば、迅速な出動が求められる。短期間での観測システムの調達が求められる。必要品目を短期間で調達する必要がある。何台かのリモート側装置を常備しておくことが望ましい。

(9) 汎用性 ローカル側装置についても、十分な容量を持ったデータ記録装置と、観測点の増設に応じた追加・変更が可能な仕様のアプリケーションを備えていなければならない。

(10) 防護性 伊豆諸島方面では、鳥（カラス）に機器収納ボックスを突付かれて、損傷を受ける事例が発生した。装置にはGPS受信機や衛星携帯電話をはじめ、高価な機器が搭載されている。観測機器は野外の無人の環境下に置かれる。自然現象に起因する影響に加えて、盗難・鳥害防止向け防護（セキュリティ）対策が必要である。

(11) 解析 現地側で得られた観測データは、準リアルタイムで伝送されることが求められる。ローカル側装置に集められたデータは、できるだけ迅速に処理・解析され、防災情報として吟味されることが望ましい。現地側に設置される観測装置のハード面の実用化だけでなく、これを運用するための準リアルタイム化されたデータ取得、自動化されたデータ処理・即時解析までを網羅する一貫したシステム構築が必要である。

表一 1 当システムへの基礎的要求事項

観測地域	全国の活火山地域、地震活動地域
設置場所	電話・電源のない野外の無人地域
機動性	リモート側装置を短時間で設置
独立性	商用電源供給、一般電話回線への非依存
データ収録	観測・データ伝送・システム制御の自動化
保守性	低い故障率、最小のメンテナンス
安定性	データ取得・伝送の長期的安定性の確保
自律性	回線故障の自動復帰措置
対環境性	強風に対する変位防止（横ずれ防止対策） サージに対する構成機器の保護（対雷対策） 落石に対するソーラーモジュールの保護
調達	観測装置の常備 必要品目の短期間での調達
汎用性	観測点の追加・変更が可能であること
データ伝送	準リアルタイム化
解析処理	GEONETとの整合性の確保
費用	機器の再転用による抑制
防護性	鳥害対策、搭載機器の盗難防止対策

#### 4. システムの改良

##### 4. 1 改良の背景

当システムのうち、リモート側装置の基幹に関わる部分は、いくつかの高度化のための措置を経て2001年までに構築されてきた。機器構成に関して、基本的な仕様が定まった。2001年4月以降は本格的な運用の段階に移行して、設置台数も漸進的に増加した。

運用の機会が量的および時間的に拡大したことは、当システムがいくつかの影響因子に対して、まだ脆弱であることを著者たちに気付かせた（図-3 a）。当システム的设计思想を生かしつつ、リスクに強いシステムに改良するため、実装環境と基幹構成の間のギャップを強化する必要性が認識された。

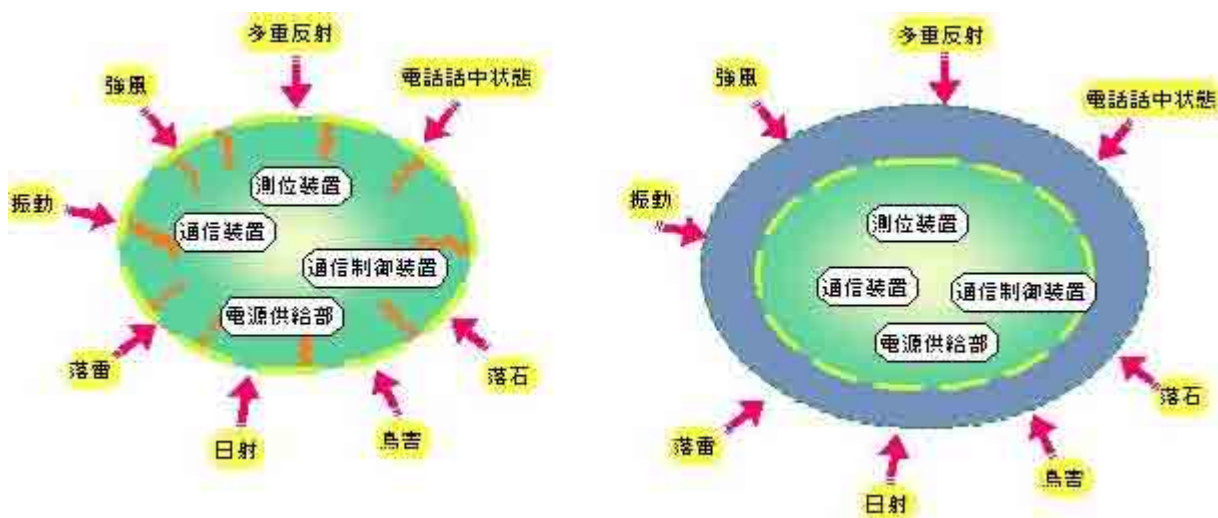


図-3 (a) 上：リスク対策がなされていない状態

(b) 下：リスク対策がおこなわれた状態



#### 4. 2 改良の契機

運用中に起きた問題のうち、ここでは、2001年以降に発生した問題を取り上げる。

- 1) 台風・低気圧の通過時に、装置が横ずれした。
- 2) 厳冬期に、基線解析結果に不可逆的な飛びが認められた(凍上が疑われる)。
- 3) GPSアンテナの電気回路に損傷をうけた(雷サージが疑われる)。
- 4) 衛星携帯電話が話中状態に陥った。
- 5) GPSアンテナ取り付けボルト、ナットがゆるんだ(強風で生じる強制振動が疑われる)。

#### 4. 3 改良に向けた検討

連続観測による地殻変動の監視にとって、非地殻変動性の要因が影響したり、原因不明のシステムの停止は好ましくない。これらの問題発生を契機として、測地部機動観測課ではシステムの安定稼働に向けて検討が繰り返された。想定される影響因子(強風、雷、凍上、落石等)は自然現象に起因するので、これらを設置環境から全く排除することはできない。著者たちは、当システムをリスクに強いシステムにするため、当システム中で影響因子からの擾乱を被りやすい部分に対して、防護策として各種のオプションの施工を試みることを改良の基軸とした(図-3b)。機動観測における基本的要求事項を踏まえながら、実装環境の評価、オプションの形状・材質・性能の分析、施工時間・作業労力を見積もった。これらの検討結果をもとに、必要な機器等を調達した。

#### 4. 4 リモート側装置の改良項目

##### 4. 4. 1 ベースプレート

(1)背景 2001年3月以前に設置されたリモート側装置の大半は、2000年に活発化した有珠山・三宅島等の一連の地震・火山活動に対応するため、緊急的に設置せざるをえなかった。設置作業では、いずれも地震・火山活動が活発化している最中に設置作業が実施された。危険地域における作業員の安全確保上、極力、短時間のうちに設置を完了させる必要があった。このため、地面に直接、リモート側装置を着地させたり、木板の上に置くだけの措置にとどまった(写真-1)。有珠山、岩手山、三宅島、神津島、新島、式根島では、リモート側装置がこのような形態で設置されてきた。この事情により、リモート側装置を地面と固定化させる措置が、これまでに講じられてこなかった。つまり、リモート側装置は、自重(約400kg)だけでその場所に静止していた。伊豆諸島では台風・低気圧の通過が頻繁であり、年間を通じて風況が強く、西風が卓越する地域である。また、有珠山・M-火口原は、火山灰質の地面に設置され、凍上現象が起きやすい条件を抱えていた。

(2)契機 有珠山に設置したM-火口原では、厳寒期になると変位する傾向が基線解析結果に認められていた。この現象は気温が氷点下以下になったときに起こることが判明した。神津島では、低気圧通過と同期して、装置が横ずれした形跡が認められた(写真-2)。岩手山・M-姥倉山では、厳冬期の強風で横ずれが発生した。三宅島では、M-阿古で変位が起きたと推察される。



写真-1 M-新島灯台



写真-2 M-返浜

(3)対策 今後の横ずれ予防対策として、専用基台(ベースプレート)を脚部の接地部分に敷いたうえ、この基台を通じてアンカーを地面に打ちこみ、接地部分を補強した。この予防措置向けに用いる基台として、当初は硬質の木材(材質は米松)を用いた。その後、装置による荷重を受けながら、野ざらしの実装環境において、耐久性を備えさせる必要性を考慮して、ステンレス製の基部・フランジ(取り付け金具)が設計された(写真-3, 4)。



写真-3  
ベースプレート基部



写真-4  
フランジ、固定用ボルト

(4)施工 2000年に伊豆諸島方面に設置されたリモート側装置のうち、三宅島・M-三宅空港を除き、M-阿古(写真-5、木製基部)、M-新瀨池、M-焼場、M-返浜、M-阿土山(写真-6、ステンレス製基部)、M-新島灯台の6基の装置に対する横ずれ防止対策は、2002年12月までに完了した。伊豆大島・T-三原山火口北については、設置時(2002年3月)に、装置を地面と固定化させる措置が講じられている。三宅島のM-三宅空港はアスファルト上に設置されているので、基台の装着はできなかった。



写真-5 木製基台装着  
作業 (M-阿古)



写真-6 ステンレス  
製基台の装着 (M-阿土山)

#### 4. 4. 2 共振によるボルトのゆるみ

(1) 背景 強風で励起される共振で、GPSアンテナを固定するボルトが緩む症状に対して、固定用ナットを二重にして締める方法が提案されてきた(海老名, 2001)。しかし、ボルトのゆるみは、その後もいくつかの観測点で発生した(写真-7)。

(2) 対策 著者たちは固定をさらに確実にするため、高いゆるみ止め効果を示すハードロックナット(ハードロック工業株式会社製)に付け替えることにした。また、不要振動の励起源の一つと思われる風力発電機については、ブレード(羽根)を取り外したうえで、本体を針金で索引して稼働させないことにした。



写真-7 M-新島灯台



写真-8 M-多幸

(3) 施工 GPSアンテナをいったん取り外して、ボルトの付け替えとハードロックナットによる固定をおこなった(写真-8)。アンテナを取り付けなおす際、高さを施工前と完全に一致させることはできなかった。高さの不一致については、地殻変動と誤認されないように、履歴情報として関係部署へ作業日を配信することで対応した。

#### 4. 4. 3 雷サージ対策

(1) 背景 北海道駒ヶ岳、樽前山、岩手山、富士山では、標高1000m級の山岳地域にリモート側装置が設置されている。人工衛星からの電波を受信するため、火山近傍で上空視界の良好な場所が選定されるが、特に夏季に雷が発生しやすい設置環境下にある。雷サージがGPSアンテナからリモート側システムへ侵入すると、GPSアンテナの電子回路を破壊するだけにとどまらず、連結されているGPS受信機や通信制御装置まで達し得る。落雷による影響は、単に現地側の観測機器に対する被害だけにとどまらない。

観測データの伝送が断絶されることにより、火山活動に関する情報提供体制に空白を生じる。また、被害を受けた電子機器の修理、交換機の調達など、コスト面での支出を強いられる。

(2) 対策 雷サージ被害を最小限にするには、落雷の時点で侵入経路の始点付近を大地と短絡して、電子機器側への雷サージの侵入を阻止することが実用的である(横山, 2001)。雷サージによる誤作動や絶縁破壊からリモート側装置を保護するため、GPSアンテナとGPS受信機の間、避雷器を取り付ける(図-4)。

(3) 施工 雷サージ対策のため、十分な放電特性を備えた避雷器(株式会社近計システム製SAG-50)を採用した(写真-9)。避雷器には、電気良導体(モリブデン)を高絶縁性の半導体で皮膜させ、互いに接触させた素子が用いられている。落雷時にGPSアンテナから侵入するサージを短時間( $4 \times 10^{-9}$ sec)で大地側へ通過させる。これによって、大電流の電子機器側への侵入を阻止する。避雷器自体の静電容量が低いため、GPS衛星から受信した電波の通過に対する伝送損失は小さい。

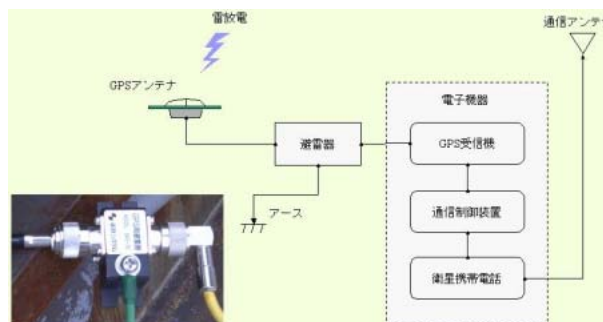


写真-9 避雷器

図-4 雷サージ対策

#### 4. 4. 4 電波吸収体

(1) 背景 全てのリモート側装置では、GPSアンテナにはグラウンドプレーンが付けられ、円形アンテナ架台(鉄製)上に搭載された構造になっている。湿潤環境下ではGPS衛星からの電波は反射されやすいと考えられており、多重反射(マルチパス)の影響を受けやすくなる。

リモート側装置は野外に設置されるので、さまざまな環境要因を全く排除することは現実にはできない。このような環境の時間的发展まで考慮すれば、GPSアンテナ部分での不要な多重反射による影響を低減させた状態でGPS衛星からの電波を受信させることは、精密さが求められる当システムによる地殻変動の監視にとって必要である。

(2) 対策 多重反射抑制対策として、アンテナ架台上面とGPSアンテナの間に、電波吸収体を敷設する。この目的のため、十分な特性を備えた電波吸収体を調達した。

(3) 施工 電波吸収体をGPSアンテナの架台とアンテナの間に装着した(図-10)。今回、採用した電波吸収体は、E&Cエンジニアリング株式会社製、ECCOSORB®VHP8 (W61

×D61×H20.3cm)である。アンテナ架台の内径(58.8cm)にあわせて、現地で電波吸収体をカッターで丸く裁断したうえで装着した。この装着により、基線解析結果に若干の飛びが認められた。地殻変動と誤認されないように、履歴情報に装着日に対応づけた。



写真-10 電波吸収体の装着 (M-火口原)

#### 4. 4. 5 落石ガード

(1)背景 M-富士御庭は富士山北西側斜面に設置された(2001年12月, 写真-11)。設置作業に先立っておこなわれた選点作業では、設置場所に以下の特徴が認められた。

- 1) 風況が強い。
- 2) 周囲が約30°の傾斜地である。
- 3) 周囲には礫、岩(拳程度の大きさ)が散在している。リモート側装置は、設置位置の関係で、ソーラーモジュール受光面を山側へ向ける配置を取らざるを得ない。斜面を転がり落ちる火山砕屑物や軽石の自然落石によって、この受光面に損傷を受けるおそれがあった。

(2)対策 落石による受光面の破損防止を目的として、受光面の前面に衝突防止面(以下、「落石ガード」という)を取り付けることにした。

(3)施工 落石ガードとしては、落石の衝撃に対して強度を保持しながら、太陽光の透過性が極端に低下しない材質でなければならない。いくつかの材質を検討した結果、ポリカーボネートを採用することにした。ポリカーボネートの板(厚さ3mm)をソーラーモジュール受光面受光面から約4cm前面に離して取り付けた(写真-12)。



写真-11 M-富士御庭設置 写真-12 落石ガード

#### 4. 4. 6 TCUファームウェアの更新

(1)背景 衛星携帯電話のシリアルドライバ中にバグがあることが判明した。エラー発生時に、衛星携帯電話のタスクが停止して永久ループに入る場合があると、回線

の切断を判別できず、結果として回線を切断できなくなる。また、切断されている場合は、改めて接続できない。

(2)対策 この症状を抑制するため、通信制御装置(TCU)側で回避機能が作動するように、ファームウェアを変更した。主な変更箇所は以下のとおりである。

- 1) OSアップデート。
- 2) シリアルドライバを更新して、ソフトウェアによりシリアル通信の不具合を解除する。
- 3) 各主要タスクに対してチェックを追加して、一定時間(タスクの種類により、10~60分)反応がない場合、自動リセットをかける。
- 4) ログの容量を4倍に増量。
- 5) ログ内容を整理・追加して、初期化関係ログの連続発生時に記録を抑制(最大1/10に抑制)。
- 6) 24時間着信待処理を行わなかった場合に自動的に電源リセット。

(3)施工 ファームウェア更新済みのTCUを携行して、既存の観測点で交換作業をおこなった。現在のところ、13基中、5基に対して施工済みとなっている。

#### 4. 4. 7 プログラムタイマー導入

(1)背景 これまでに、当システムには、たびたび衛星携帯電話が話中状態(busy状態)になる不具合が生じてきた。現地における復旧作業では、TCUの主電源を入れなおす操作(電源リセット)で復旧することが多かった。少なくとも電源の再投入に関しては、現地に行かなくても電源リセット操作できないか、測地部機動観測課内で検討が続けられてきた。

(2)対策 検討の結果、デジタル方式のプログラムタイマーを介して定期的にTCUへの電源を断つ(1週間に1回、1分間程度)ことで、衛星携帯電話も電源リセットする方法を試すことにした(図-5)。

(3)施工 当システムのリモート側装置は太陽光発電機によって得られるDC12Vを動作電圧としているため、このプログラムタイマーとしても、DC12Vで動作する機種を選定しなければならない。スナオ電気株式会社製プログラムタイマーSSC-7361S/P(DC12V改造品)を調達した(写真-13)。年月日、時分、および曜日を基準にして、指定した時刻に出力接点の切/入制御動作をおこなうことにより、TCUの電源の電源リセットがおこなわれる。指定時刻は、ボタン操作で内蔵プログラムへ与えられる。電源供給部(二次電池)とTCUをつなぐ電源線を途中で断ち、このプログラムタイマーの接点へ接続させた。タイマー自体の動作電源は、二次電池から別系統で確保した。



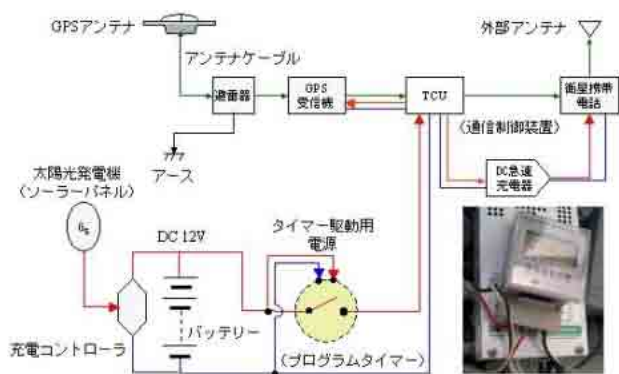


図-5 話中対策 写真-13 タイマー

#### 4. 4. 8 装置の小型化

(1) 背景 リモート側装置の設置に際して、重要な課題の一つは、自然公園法をはじめとする土地利用上の各種の規制を通過しなければならないことである。とりわけ火山地域には国立・国定公園の保護地域と重複している領域が多い。リモート側装置の設置場所がこれらの保護地域内にあたる場合には、工作物として新築の許可が必要になる。景観保護等の観点から工作物新築の目的、形状・種類、施工方法等について所管の官庁から条件を提示された場合、これに合致するように、観測装置の設計や設置方法、各種施工が要求される。

(2) 契機 樽前山では火山活動が活発な状態が続いている。これに対して、リモート側装置の配備も平成12年度から計画されてきた。設置候補地として、火口に近い西山付近が選定された。ここは支笏洞爺国立公園の特別保護地域内にあたり、環境省と協議が進められてきた。国立公園内における景観保護等の観点から、リモート側装置の形状を従来より小型化させる条件が環境省から提示された。

(3) 対策 国土地理院の保有機には、この小型化の条件を満たすリモート側装置がなかったことから、条件に合致するように装置の小型化を主体にした製作を試みた。外構部のほか、機器収納ボックスの形状、ソーラー・モジュールの型式・数量・取り付け位置の再検討が求められた。

(4) 施工 出力55Wのソーラーモジュールを6枚、東、南、西の3面に取り付けた(写真-14)。外構部全体を小型化したことで、設置面積を従来の40%に低減させることができた(図-6)。装置の小型化によって、重量が250kgと従来型の約60%に低減した。強風による横ずれ対策として、20枚の鉄板(1枚あたり10kg)をベースプレート(木製)の下にそれぞれ5枚ずつ取り付けた。そのうえで、脚部と専用基台をボルトで留め、ベースプレートを通じてアンカーを地面に打ち込む措置をとった(写真-15)。これは、のちのベースプレートの原型となったものである。

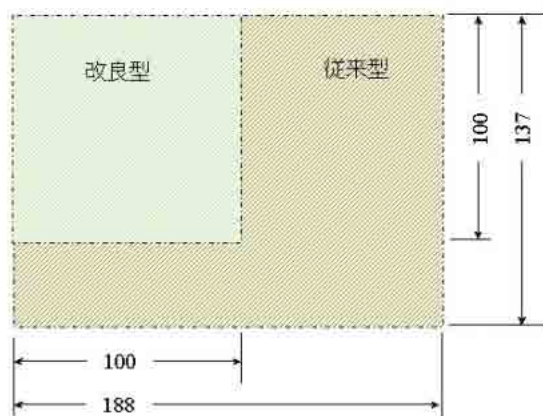
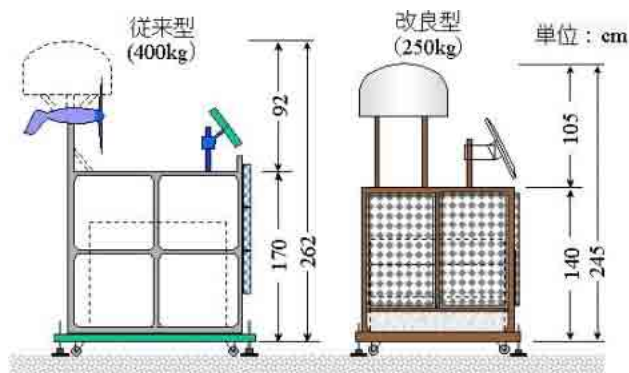


図-6 小型化されたリモート側装置と従来型の比較



写真-14 樽前山に設置されたリモート側装置



写真-15 樽前山用ベースプレート

#### 4. 5 ローカル側装置の統合化

(1) 背景 従来の受信用アプリケーションでは、ローカル側装置の受信装置1台に対して1つの電話回線しか接続できず、1台あたり処理できるリモート側装置数も5基程度に制約されていた。当時、全国14箇所に設置されていたリモート側装置からデータをダウンロードするため、3台のローカル側装置による分散処理方式で対応してきた。

日本各地の火山に対して、その活動状況に応じて設置されるリモート側装置の数には、今後の漸進的な増加傾向に備える必要がある。しかし、ローカル側では受信局数が増えて、個々の装置で許容される限界に近づいてきた。

(2) 対策 この状況に効率的に対応するため、受信機能の統合・効率化に取り組んだ。新しい統合管理システム

では、1台のローカル側装置へ通信回線を最大4回線まで接続させる。これにより20基のリモート側装置からのデータのダウンロードを一括して処理させる。ハードウェアに同時多元接続（マルチプルアクセス）のために必要な拡張機能を加え（図-7）、受信用アプリケーションも同時多元接続への対応版に変更する。

(3) 施工 同時多元接続に対応させるために、拡張シリアルボード（COMTRON社製マルチ回線通信アダプター RocketPortPCI Quad/DB9）を利用してシリアルインターフェースが4つ増設され、ローカル側装置(PC-AT互換機, OSはWindows2000)へ接続された。これに加えてモデムと電話回線（1回線）を別途準備することで、最大5箇所のリモート側装置と同時に通信できるようになった。このローカル側装置上で、統合管理用アプリケーション・プログラムを動作させる。故障時のフェールセーフとして、全く同一の仕様によるローカル側装置およびアプリケーションが2式備えられている。一方は定常運用に用いられ、他方はバックアップになっている。

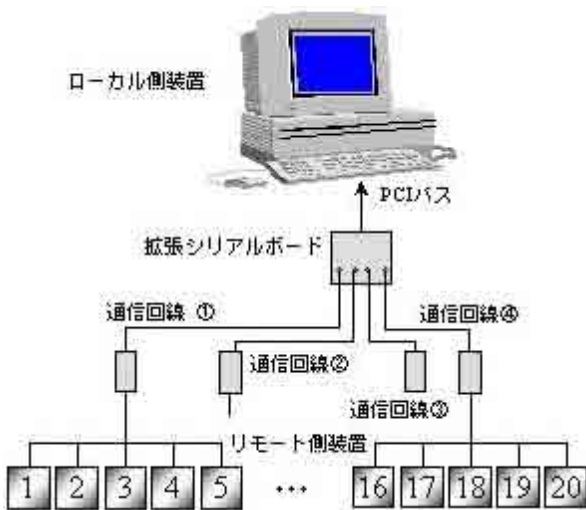


図-7 ローカル側装置の統合

(4) 運用 現行では、シティホン（NTTドコモ）3回線によって、13基のリモート側装置へ3時間毎に15分間回線を接続して、データをダウンロードしている。

①データ送信 リモート側装置では、観測データが1時間ごとに1ファイルに整約される。データ端末装置の固有番号、観測時間帯の識別記号、観測日時（通算日）、観測ステータスによって決まるファイル名が自動付加される。あらかじめ設定された時刻に、ローカル側装置から伝送されるデータ送信要求に応じて、ダウンロードが開始される。データ伝送制御にはZMODEMプロトコルが使用される。

②データ受信 ローカル側装置上に伝送された観測データ・ファイルは、端末装置の固有番号に対応したディレクトリに自動的に振り分けられ、保存される。

③伝送誤り制御 CRC方式（Cyclic Redundancy Check）が用いられている。リモート側装置からデータを送信する際、伝送する情報ビットのブロック中に、冗長なチェックビット（サイクリック符号）が付加され、ローカル側装置で受信時にこれを確認することにより、誤り検出精度を上げている。誤りの頻度、回数に応じてデータ再送要求/切断などの処理がおこなわれる。ダウンロード中に回線が切断された場合には、再接続（リダイヤル）が最大で3回まで自動的におこなわれる。

④回線の占有方式 限られた回線を13基のリモート側装置への多元接続に割り当てるために、時間帯を15分間隔で4分割して、それぞれの分割ごとに、あらかじめ決められた3~4局をダウンロード可能な状態にさせ（図-8）、3回線をランダムに割り当てる。3回線とも使用中の場合、回線を取得し遅れた局には、回線が開放され次第、優先的に接続を割り当てる。リダイヤル時に空き回線が他にある場合には、それを割り当て、同じ回線を繰り返して使用させない。

点名	多幸	富士御庭	阿古	阿土山	三原山火口北	焼場	姥倉山	樽前山	返浜	三宅空港	火口原	新島灯台	新湍池	北海道駒ヶ岳
零時	0:00 ~ 0:14	○	○	○	○									
	0:15 ~ 0:29					○	○	○						
	0:30 ~ 0:44									○	○			
	0:45 ~ 0:59											○	○	○
3時	3:00 ~ 3:14	○	○	○	○									
	3:15 ~ 3:29					○	○	○	○					
	3:30 ~ 3:44									○	○			
	3:45 ~ 3:59											○	○	○
6:00 ~ 6:14	○	○	○	○										

図-8 同時多元接続による回線の占有

## 5. 筐体化と放熱対策

### 5.1 筐体化

従来のリモート側装置では、機器収納ボックスが断熱材で作られていたが、保守作業時の利便性が悪かった。加えて、カラスに収納ボックスを突付かれる事態も生じた。これらの事態に対して対策を講じるため、著者たちは樽前山へ設置したリモート側装置に対して、更に改良を加えて筐体型デザインを外構部に取入れたリモート側装置を2002年3月に開発した（図-9）。施錠可能な開閉扉を北側に取り付け、構成機器に対する防護性も向上した。

従来は、風力発電機として水平軸型のモデルを用いたが、強風時に不要な振動の発生源となっていた。今回、垂直軸型で無指向性のサボニウス風力発電機を採用した。しかし、ブレード長が50cmとやや大きく、リモート側装置との一体化は実現できなかった。



### 5. 2 放熱対策

(1) 背景 2002年夏に国土地理院構内で試験観測をおこなったところ、機器収納ボックス内部が50℃以上の高熱状態に達することが判明した。筐体化によって収納ボックス内部の気密性が向上したことから、GPS受信機など構成機器からの発熱や、日射による熱伝導が散逸されにくくなったためと考えられた。GPS受信機や通信制御装置の動作環境を適正に維持させるため、筐体内部への熱の蓄積を抑制させる機構を取り付けることにした。

(2) 施工 改良項目は次のとおりである。

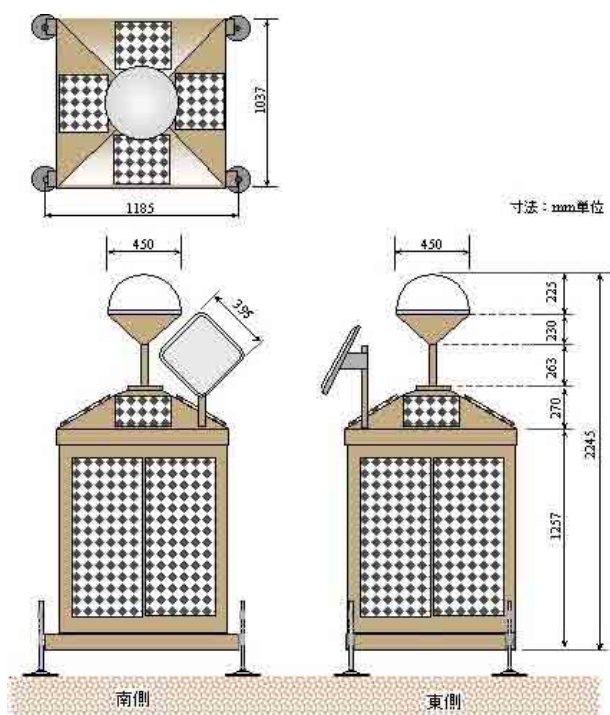


図-9 筐体化した外構部

- 1) 断熱塗料 筐体表面を断熱塗料（長島特殊塗料株式会社製 ミラクルS100およびミラクルSプライマー）で塗装した。
- 2) 断熱材 筐体内部には、断熱材（株式会社丸鈴製、MSC-R30）を貼り付けた。
- 3) 通気口取り付け 筐体4箇所に通気口を設け、雨よけにガラリを取り付けた。通気口の一つには、排気用ファンを取り付けた。ファンは、温度センサーにより、気温30℃以上の場合に動作する。
- 4) 収納ボックスの変更 機器収納ボックスを構成する断熱材の箱から、設置環境に応じて、内壁が着脱可能となるようにした。
- 5) GPS受信機収納位置変更 GPS受信機は構成機器中で発熱量が大きいものの一つである。狭い機器収納ボックスから、より内空領域の広いバッテリー室へ移動させた。



写真-18 開閉扉（北面）

写真-16 筐体の南面

写真-17 筐体の北面

### 6. 観測情報の開示

当システムで取得されたデータは、測地部機動観測課を経由して測地観測センターへ転送され、GEONET上で他の電子基準点のデータと共に処理される。その基線解析結果に基づいて、地理地殻活動研究センターで解析され、データが吟味される。強風時の横ずれや復旧作業によってデータの時系列に飛びを生じたり、回線の故障によるデータ伝送の失敗など、データ取得段階での諸事情は処理・解析作業に影響を与える。これまでは関係部署に対して電子メールで各種の情報を配信したが、時間が経過するにつれて情報が埋もれてしまい、伝達体制が不十分だった。これを改善する試みとして、2002年8月から、Web上で日々のデータ取得状況、過去の保守点検の作業履歴やリモート側装置の設置場所の情報に関する開示をおこなっている（図-10）。



図-10 観測情報のWebによる開示

### 7. まとめ

GPS火山変動リモート観測システムが本格的な運用段階へ移行したことにより、いくつかの想定される影響因子に対してリモート側装置が脆弱であったことが認められた。リスクを回避して当システムの安定性を向上させるため、ベースプレート装着、避雷器等の施工をおこなった。これらの施工の検討、実施が先行したため、本稿ではこれらの手法の検証までには至らなかった。今後のデータ取得状況を監視しながら、各種手法の導入により稼働の安定化が果たされたかどうか、実効性を評価する必要がある。

この研究の一部は、平成13年度科学技術振興調整費による富士火山の活動の総合的研究と情報の高度化（課題名：低周波地震とマグマ蓄積過程の研究③マグマ蓄積過程の解明に関する研究）の一環として実施された。

#### 8. 今後の開発動向

機動的に設置可能なGPS連続観測ステーションという構想から出発して、当システムは高度化、安定化の措置を経て運用機会を拡大してきた。各種手法の実効性を検証しながら、各地で運用中の他の観測点へ、安定稼働のための措置を拡充する。リモート側装置の小型化による機動性、運用の安定性の追求にも、引き続き取り組む。

GPSだけでなく、傾斜計、磁力計等のセンサー搭載による同時データ取得が検討されている。同一の場所における多角的な観測による基礎的データの収集・解析により、

火山噴火前後での噴火機構の解明に貢献することが、今後の新たな動機となるであろう。

#### 謝 辞

株式会社テクノバンガードからは、当システムの改良にあたり、さまざまな局面で助言と指摘をいただいたことを記し、謝意を表します。

改良項目の施工にあたり、米溪武次、高畑嘉之、森田和幸、岡村盛司、山田晃子、木村俊明、鈴木平三の方々から助言と援助をいただいた。査読者のひとり、吉池健には有益なコメントをいただき、本稿の改善に役立てることができた。

全国の火山よ、静穏であれ。

#### 参 照 文 献

- 海老名頼利 (2001) : 伊豆諸島におけるREGMOSの設置, 国土地理院時報 第96集 p. 1-10  
下鶴大輔 (2000) : 火山のはなし, 朝倉書店  
中尾茂, 森田 裕一, 平田 安廣 (1997) : GPSによる多点高密度地殻変動観測実現の可能性, 測地学会誌, 第43巻 第4号 p. 227-230  
西出則武 (1997) : 火山活動の監視と火山情報, 火山 第42巻第1号 p. 85-87  
平井英明 (2000) : 岩手山における機動観測, 国土地理院時報 第93集 p. 1-11  
横川薫 (2001) : 有珠山における自動観測監視施設の設置, 国土地理院時報 第95集 p. 17-28  
横山茂 (2001) : 高度情報化社会での雷害対策最新動向, OHM2001年7月号, オーム社  
新ステージに突入した電磁波吸収・シールド材料, 工業材料1998年10月号, 日刊工業新聞社