

GPS 火山変動リモート観測装置 (REGMOS) の改良とその効果 Improvement of the Remote GPS Monitoring System (REGMOS) and its Effect

測地部 横川正憲¹・平岡喜文²・松村泰敬・根本盛行

Geodetic Department

Masanori YOKOKAWA, Yoshifumi HIRAOKA, Yashuhiro MATSUMURA,
and Moriyuki NEMOTO

要 旨

国土地理院では火山地域における地殻変動監視のため、GPS 火山変動リモート観測装置 (Remote GPS Monitoring System. 以下、「REGMOS」という.) を、監視対象の火山地帯や地殻変動の大きな地域に設置している。本稿では、REGMOS を 8 角柱型の筐体に改良し、各種観測センサを取り入れ Hybrid 化した REGMOS (以下、「REGMOS-H」という.) の特徴と、平成 22 年 8 月に北海道樽前山へ設置した REGMOS-H 「M樽前山 A」の各種取得データについて報告する。

1. はじめに

REGMOS の開発・運営は、自律型・無人化が前提であり、現地での電力確保と制御装置や通信機器等が停止した場合の自動復帰が絶対条件である。設置場所には、人が容易に立ち入れない場所や山頂、火山の火口付近など過酷な場所が多く、度々メンテナンスのため現地に行くことはできない。

従来の REGMOS は、ソーラーパネルへの着雪等により電力が停止し GPS 観測が停止しても、気温が上昇し電力が復帰した際は自動で GPS 観測及び通信を再開する。しかし、物理的に GPS 受信機や通信装置に不具合が発生した場合は、現地に行き交換することとなる。

従来の REGMOS は、筐体こそ新しい物が多いが、内蔵されている機器は GPS 受信機を含め 10 年以上使用し続けている物が多い。平成 10 年度の最初の設置から、平成 15 年度まで実施した改良や対処法については、町田ほか (2003) で報告されている。

しかし、平成 15 年度以降も発生した不具合や自然現象等への対策のため、平成 20 年度には 8 角柱型の REGMOS 筐体 (写真-1) を導入し、平成 21 年度には総合制御装置 (以下、「RCL」という.) 及び高速通信を可能にした衛星携帯電話を導入し、さらにネットワークカメラ等付属機器の接続も可能にした。

2. REGMOS の変遷及び位置づけ

平成 9 年度に商用電源や一般電話回線に頼らず、無人で GPS 連続観測を実施する構想が提案され、REGMOS の試作機が岩手山に設置された (根本, 1999; 平井, 2000)。その後、改良された REGMOS が各火山地域に配置され、平成 23 年 2 月現在では 8 火山に 10 機設置している。

REGMOS の商標権は平成 13 年度に、REGMOS の作成を依頼した (株) テクノバンガードが名称を保護するため登録していた。しかし、国土地理院で REGMOS という名称を今後も使用する可能性が高いため、平成 19 年度「商標権の一部移転登録」を実施した。

また、平成 20 年度測量法の改正により第十条第二項に規定する一時標識として測量法施行規則第一条別表第一の測標その四に登録された。この法改正により、REGMOS は基本測量における測量標という位置づけになった。

3. REGMOS の改良 (REGMOS-H)

REGMOS-H では、ほぼ全ての部分を改良した。改良した場所と、それにより得られた効果、及び期待される効果を個別にまとめる。

3. 1 筐体の形状

これまでいくつか形状の違う REGMOS を作成してきたが、ほとんどの筐体は 4 角柱型である。しかし REGMOS を設置している場所は山頂部等、風の強い場所が多く、風圧の影響を考慮した筐体形状が求められていた。風圧の影響をもっとも受けにくい形は円柱等流線型であり、その形状に少しでも近づく目的から REGMOS-H では 8 角柱型に変更した。

REGMOS のソーラーパネルは、発電効率を上げるため南面に取り付け、砂塵や火山噴火時の火山灰、冬季の積雪等の影響を少なくするため、発電効率の低



写真-1 北海道樽前山に設置した 8 角柱型の REGMOS-H

下を招くが、ほぼ垂直に設置している。一方、REGMOS-Hでは、すべての面にソーラーパネルを取り付けた。これは、高度の低い朝日や西日に正対させ、冬季の山頂で一面雪に覆われたときには、雪の反射により北側のパネルでも発電できるように工夫したものである。

大きさ及び重量については、発電効率の他に運搬方法を考慮し設計した。REGMOSを運搬する際、車が通行できる箇所にはトラックで運び、車が通行できない場合には、ヘリコプタを使用することになる。中型ヘリコプタでつり上げることができる最大荷重は1t程度であることから、重量は1t程度とし、大きさは一般的な4tトラックの幅にあわせ、架台の寸法を2m×2m(縦×横)とした。

3. 2 充放電コントローラ

REGMOSでは、ソーラーパネルの枚数にかかわらず一つの充放電コントローラ(写真-2左)で発電を制御してきた。しかし、全てのソーラーパネルには均等に光が当らず、発電能力が少ないほうに引っ張られる傾向がある(1枚が60%の発電で、他の1枚が40%の発電をした場合、全て40%として充電される)。そのため、REGMOS-Hでは16枚全てに独自に開発した充放電コントローラ(写真-2右)を設置して発電を制御し、ソーラーパネルごとの発電の違いに影響されず全ての電力を活用できるようにした。

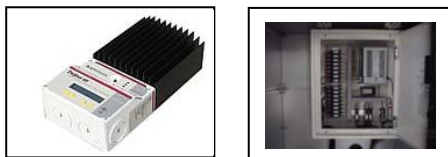


写真-2 左: Xantrex社製 C40

右: テクノバンガード社製 F234-121-001

3. 3 通信系の制御装置

REGMOSには通信制御装置として、(株)近計システム社製のTCU-1000(写真-3左)(以下、「TCU」という)が搭載されている。TCUは指定された時間になると、現地に設置されたREGMOSに搭載されている衛星携帯電話の電源を入れ、待ち受け状態に入る。この間に、監視局側の携帯電話から現地の衛星携帯電話に電話をかけ、モデム通信により観測データを監視局へ送信する。データ転送終了15分後に衛星携帯電話の電源を切る等の電源制御や、GPS観測データの蓄積等、様々な制御を実行している。TCUはこれまで改良を施し、衛星携帯電話のほかに地上携帯電話や有線電話(アナログ回線)にも対応し、衛星携帯電話と地上携帯電話の2つの通信手段を自動で切り換えることができるTCUも開発された。しかし、使用されて

いる基板は10年以上前に作成されたものであり、機器の劣化がかなり進んでいる。

一方、REGMOS-Hは発電量が強化され、GPS受信機以外にもネットワークカメラ等、周辺機器を接続することが可能になった。これら大容量のデータを転送する通信機器を使用することに伴いTCUでは対処できなくなったため、全てを制御管理できる(株)テクノバンガード社製のRCL(写真-3右)を導入した。RCLはTCU同様に衛星携帯電話の制御も可能で、機器本体にOS(LINUX)を搭載することにより、データの圧縮や生成もRCL内部で行えるようになっている。

また、TCUでは衛星携帯電話の電源が入っている間に、監視局側から電話をかけデータを吸い上げていたが、RCLでは1時間毎、定期的にインターネット網を経由し国土地理院のFTPサーバへ各種データを転送する。監視局ではFTPサーバにデータがあるか確認し、取得後はFTPサーバの容量を圧迫しないよう消去している。

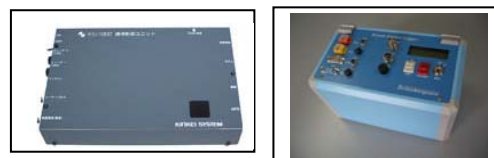


写真-3 左: 近計システム社製 TCU-1000

右: テクノバンガード社製 RCL Type-GC

3. 4 通信装置

REGMOSを設置する場所は、地上携帯電話の電波が届かない場所が多いため、購入費用も通信費用も地上携帯電話に比べ高額ではあるが、衛星携帯電話を使用している。REGMOSの開発当初、数社から衛星携帯電話が販売されており、各社の担当者と意見交換する中で、通信の安定性、通信速度、運営費用等総合的に優れていたNTT Docomo社の衛星携帯電話を採用した。また通信コマンドの提供により、TCUで衛星携帯電話の操作が可能になった。現在は、NTT Docomo社製のサテライトポータブルホンNか、ワイドスターDUO(写真-4左)いずれかの機種が使用できるようになっている。



写真-4 左: docomo社製 ワイドスターDUO

右: Addvalue社製 SABRE1

一方、REGMOS-H に採用した衛星携帯電話は、アドバリュー社製の SABRE1 (写真-4 右) である。これまでの衛星携帯電話とは通信方式が異なり、IP 通信が可能となった。そのため、大容量のデータ転送が可能となり、従来行ってきたコマンドだけの通信と比較して、双方向通信のタイムラグが大幅に改善され、データのリクエストをスムーズに実施することが可能になった。

3. 5 GPS 受信機

REGMOS が開発された当初は、消費電力が小さいこと、通信制御コマンドが公開可能などの条件から古野電気(株)製 MG-21 (1 周波) が採用され、その後、精度の向上と、GEONET で統合的にルーチン解析できるようにするため、Topcon 社製の GP-DX1 (2 周波) を採用し機能を強化した。これにより観測データの処理も、ダウンロード後に RINEX 形式に変換して GEONET で処理できるようになった。その後 Trimble 社製の 5700 (写真-5 左) が採用されている。

REGMOS-H に採用されたのは、Trimble 社製の BD960 (写真-5 右) である。この受信機は TrimbleR7 の基板 (ボード) だけのものであり、GPS 観測データ (RT17) を直接 RCL にダウンロードすることが可能である。そのため、RCL では、ダウンロードされたデータを 1 時間の RINEX データに生成・変換を実施している。また、TrimbleBD960 には電源等の各種スイッチやバッテリーボックスが無く、LED ランプによる余分な電力消費も無いため、自家発電している REGMOS には効率的な GPS 受信機である。

しかし、TrimbleBD960 は単体で観測できないことから、1 級 GPS 測量機として国土地理院の基本測量に使用する測量機としての機器登録はできない。機器登録していない観測機器を使用することによる不安を解消するため、一つのアンテナで受信した信号を分配器を用いて、Trimble5700 と TrimbleBD960 で受信し同等の解析結果が得られるか精度検証実験を実施した。結果、TrimbleBD960 は 1 周波・2 周波とも Trimble5700 の解析結果と同等の結果が得られた。

また、GPS アンテナには Trimble 社製 ZEPHYR

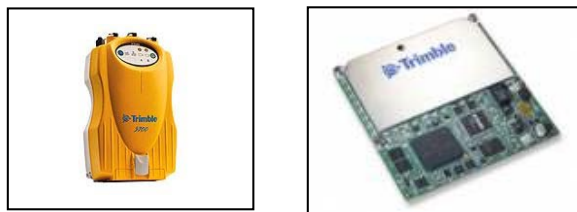


写真-5 左: Trimble 社製 5700
右: Trimble 社製 BD960

ROVER を採用したことにより、GPS アンテナのレドームが小型化され、冬季の着雪が軽減できるよう対策した。レドームの表面積を小さくすることで着雪 (氷) が軽減されることを期待し、レドームの小型化をはかった結果が、小清水ほか (2006) で報告されている。

3. 6 付属機器

3. 6. 1 ネットワークカメラ

火山監視には、GPS 観測データのように時間を加えた四次元的な位置の変化量が求められる以外にも、画像による監視も有効である。そのため、REGMOS-H ではネットワークカメラ (写真-6) を導入し画像による監視を実現した。しかし、動画はデータ量が膨大になることから取得していない。現在は静止画で 1 日 8 枚 (画像サイズ 1280×960 [ピクセル]) 取得している。

使用しているカメラには、二つの画像センサがあり昼間と夜間を撮影できるタイプになっている。夜間撮影は、高感度センサにより月明かりでも十分地形を判別でき、火山活動が活発になった場合は有効な手段になることが期待される。

過去 REGMOS では、冬季の間、GPS 観測データに急激な位相変化が現れ、GPS アンテナのレドームへの着雪や着氷が原因と思われるみかけの変動が観測されたことがある。樽前山に設置したネットワークカメラは、撮影する向きを工夫し、GPS アンテナのレドーム越しに溶岩ドームを撮影している。そのため、レドームへの着雪や着氷等の状態を確認することが可能である。



写真-6 MOBOTIX 社製
M12D-Secure-Night D22N22

3. 6. 2 温度計

REGMOS に接続されている各種機器の状態を確認するには、機器の温度の把握が重要になってくる。

電子機器には動作保障温度範囲というものがあるが設定されており、その範囲内に入っているかこれまで確認することができなかった。また、地盤の凍上現象により、GPS アンテナが傾斜し取得する座標値に影響を与える可能性もあることから、REGMOS-H では、内部、外部、地中と 3 つ温度計 (写真-7) を設置している。

もし、機器が停止した場合、直近の温度を確認することで、何処に異常が発生したかを絞り込み易くな

るため、維持管理に役立てることができる。また、地中に設置した温度計と傾斜計のデータを併せて解析することにより、凍上現象により REGMOS 管体が傾斜した場合、原因を解明する手段に用いることができ、精度管理に役立てることができる。

他にも、火山地域での全磁力計により得られた地磁気の補正計算に地中温度を利用できることから、観測精度の向上が期待できる。



写真-7 安立計器社製 AT-30K-030-1-TC3-W

3. 6. 3 傾斜計

GPS 解析結果から得られた位置の変化が、地盤の変動なのか、それとも REGMOS 管体の移動による変化なのかを精査する必要がある。

REGMOS-H では 2 軸傾斜計（写真-8）を管体及び地盤に分けて設置することで、管体の傾斜を確実に把握できるとともに、GPS 観測データ及び地盤傾斜データを確認することにより地殻変動をより確実に確認することが可能となった。



写真-8 Schaeivitz 社製 AccuStar

3. 6. 4 データロガー

REGMOS-H にはアナログ 16ch のデータロガー（写真-9）を設置し各種データを取得している。

現在は、温度計と傾斜計のデータを取得しているが、アナログ出力の計測センサであれば、必要に応じて追加で接続が可能である。



写真-9 ユニパルス社製 UL120

3. 6. 5 その他

REGMOS-H に搭載した RCL には、インターフェースとして LAN ポート×2、シリアルポート×2、を装備している。そのシリアルポートの 1 つを使用し、平成 22 年度、全磁力計（写真-10）との接続試験を実施した。その結果、REGMOS による全磁力観測に成功し、観測項目の幅が広がった。



写真-10 テラテクニカ社製 OVH-216

3. 7 通信システム構成

現地に設置された REGMOS は、あらかじめ指定した時間に REGMOS 内の衛星携帯電話が起動する。起動している間に監視局側の地上携帯電話から現地 REGMOS へ通信を開始し、現地の REGMOS と接続する。接続されている間に、バッテリーの電圧及び温度のステータス、GPS 観測データ（3 時間分）、通信ログを取得し、取得後は電話を切断する（図-1）。以上の作業を地上携帯電話 3 台使用し 3 時間毎に各 REGMOS に対して実施している。

一方、REGMOS-H では 1 時間毎に現地の RCL がインターネット網を経由し国土地理院の FTP サーバにデータ（GPS 観測データ、画像データ、温度計データ、バッテリーの電圧のステータスデータ等）を格納する FTP サーバへデータが格納された後、監視 PC でデータを監視 PC 本体に移動させる（図-2）。

緊急で GPS 観測データや画像データを取得したい場合は、TCU のように 3 時間待つことなく、通信す

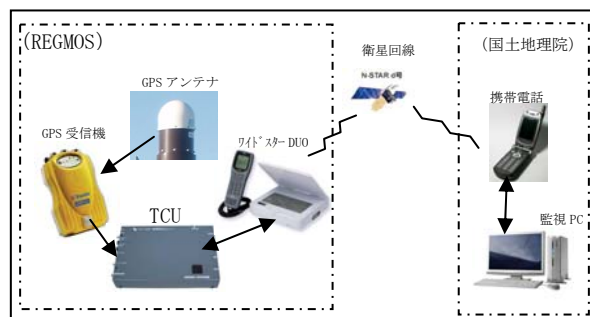


図-1 TCU を使用したシステム構成

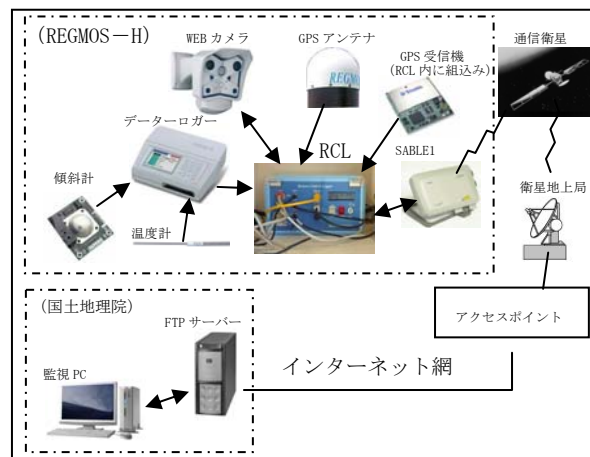


図-2 RCL を使用したシステム構成

ることが可能になっている。REGMOS-H では、衛星携帯電話の電源が常時入っているが、インターネット網への接続は常時実施していない。そのため、設定内容に変更がある場合は、REGMOS-H の衛星携帯電話に着信履歴を残し、その着信があれば、設定内容をサーバへ取得しに行く手法をとっている。

4. REGMOS-H の効果

REGMOS-H で期待された効果は、これまで冬季の着雪による電力低下で取得できていなかった GPS 観測が継続できること、安定した電力供給により各種機器の電源コントロールが不要なこと、高速通信回線を使用することによる回線の安定化、各種データ(画像、温度、傾斜量、地磁気)を取得できる多機能化及び維持管理の効率化である。

4. 1 検証に使用した REGMOS の設置場所

各種機器を取り入れた「M樽前山A」は、1年間通してのデータがまだ取得できないため、筐体の検証は、8角柱型の筐体で1年以上運用している「M北海道駒ヶ岳A」(制御装置や通信機器等は従来の REGMOS と同様)のデータを使用し実施した。

図-3に示すとおり「M樽前山A」は北海道の南西に位置し樽前山(西山)の山頂に設置されている。

「M北海道駒ヶ岳A」は更に南西に位置し、北海道駒ヶ岳(隅田盛)の山頂に設置されている。両観測点とも太平洋側に面しており、春先はソーラーパネルへ湿った雪が付着し発電を妨げる要因の1つになっている。



図-3 REGMOS 設置位置図

4. 2 8角柱型筐体の発電効果

図-4のグラフは更新する前の REGMOS 「M北海道駒ヶ岳A」のバッテリーの電圧と TCU の温度グラフである。一方、図-5のグラフは更新した REGMOS-H 「M北海道駒ヶ岳A」のバッテリーの電圧と TCU の温度グラフである。更新する前は、気温の低下とともにバッテリーの電圧が下がり、11V を下回ったときに通信が途絶えデータが転送されなくなった。しか

し、バッテリーの電圧が 11V 以上になった際に回復し観測を再開している。

図-4のグラフでバッテリーの電圧が安定しない原因は、冬季の日照不足やソーラーパネルへの着雪があったためと思われる。しかし、REGMOS-H では気象に影響されることなく 12.5V から 15.5V の間で一定にバッテリーの電圧を保っている。冬季間でも安定した電力供給が可能になっているため、GPS 観測データの欠測を防ぐことが可能となった。

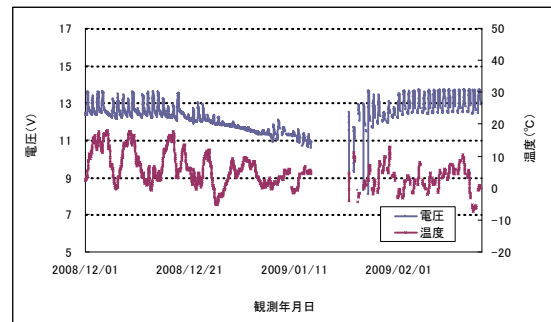


図-4 更新前(2008年12月-2009年2月)

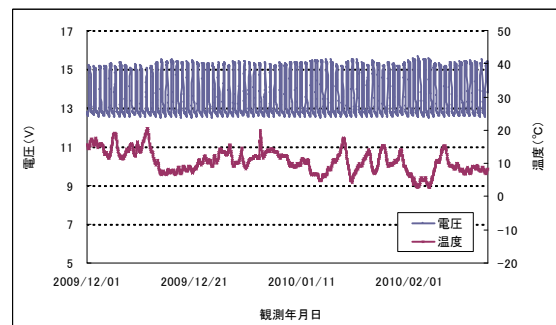


図-5 更新後(2009年12月-2010年2月)

図-6は、REGMOS-H 「M北海道駒ヶ岳A」の設置時(2009年9月から12月)からの電圧及び温度の変化である。気温の上昇とともに電圧が下がり、気温の低下にあわせて電圧が上がるといった現象が確認できる。

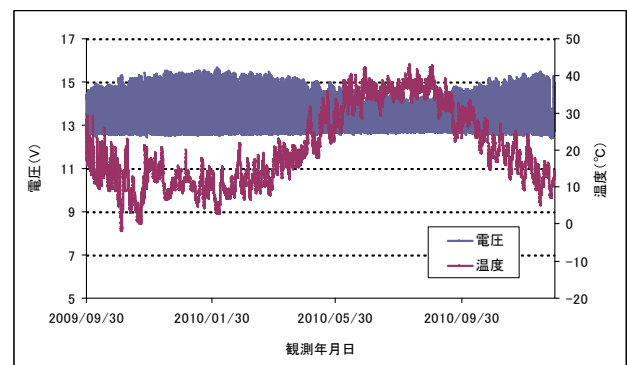


図-6 電圧及び温度の変化

これは、バッテリーへの充電効率は温度により左右されることから、低温時の充電効率低下時は充電する電圧の上限を高めに設定し、高温時の充電効率上昇時はバッテリー保護のため充電する電圧の上限を低めに設定しているためである。したがって、気温とは反比例した充電経過が見られている。

4. 3 ネットワークカメラの効果

冬季の山頂は立ち入ることが困難であり、これまでは REGMOS が停止しても、停止する前後の状態を把握することができなかった。しかし、平成 22 年度樽前山に REGMOS-H を設置したことにより画像の取得が可能になった。

写真-11, 12 は樽前山に設置した REGMOS-H からの画像である。現在は 3 時間毎 1 日 8 枚の画像を取得し、レドームの状況を確認しつつ溶岩ドームを撮影している。昼の画像からは、B 噴気孔群からの噴気を確認できているが、A 火口は確認することができない。しかし、夜の画像では多少レンズの位置が異なるため、B 噴気孔群だけでなく GPS アンテナレドームの影に隠れていた A 火口の噴気を確認できている。また、満月に近い時期であれば、月明かりだけで地形まで判別できる画像が取得できる。



写真-11 M樽前山A 「11月21日15時」



写真-12 M樽前山A 「11月21日0時」

図-7 は、これまで確認できなかった冬季の状況と、M樽前山Aの座標変化グラフ（観測開始「2010/9/13」を固定としたQ3解析「迅速解」結果の変化）である。GPS アンテナのレドーム南側に雪が張り付

いているのが確認できるが、毎日定点撮影しているため、雪の張り付き状況が日を追って確認できる。

レドームに着雪した現象は、過冷却状態になった水が急激に結晶化し、風上に向かって羽毛状に形成される「えびの尻尾」といわれるものである。

「えびの尻尾」ができ始めの2010年12月22日から雪で覆われ続け、2011年1月19日に雪が滑り落ちている。GPS アンテナレドームに着雪した場合、GPS 電波の搬送波が遅延し、水平及び比高成分の座標値が一時的に擾乱すると推論されている。（小清水ほか、2006）

図-7のグラフでは、着雪が始まったと見られる2010年12月2日から比高成分にわずかな変化が見られる。

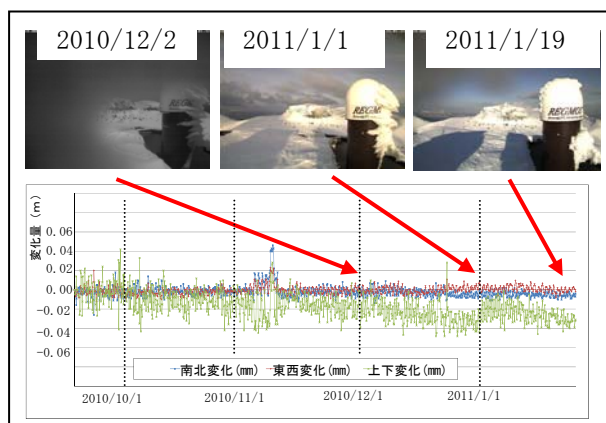


図-7 座標変化及び着雪状況

4. 4 温度計の効果

図-8は REGMOS-H に取り付けした温度センサが取得した温度のグラフである。表示しているのは、RCL, REGMOS-H 内部, 外気, 地中の各温度である。冬に向かって全体の気温が下がり、地中の温度が外気に比べ緩やかに下がっている。RCL と REGMOS-H 内部の温度は約 15℃以上の温度差を確認でき、外気と REGMOS-H 内部は重なって表示され温度差が無いことを確認できる。

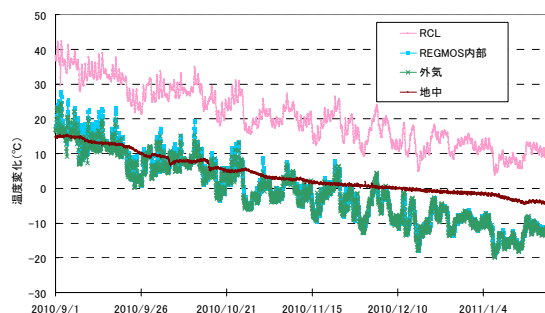


図-8 M樽前山A 温度変化グラフ

RCL が内部温度と約 15℃以上高く保たれている理由は、断熱材の中に設置された RCL が、通電により発熱し、上がった温度を断熱材が急激に低下するのを軽減しているためである。そのため、-20℃になる冬季の樽前山山頂で問題なく稼動することができている。

5. 現在の監視体制

REGMOS は現地におけるデータの取得から監視結果の監視までを含めたシステムである。そのため、国土地理院では REGMOS の取得データや稼動状況を監視する目的で、データ取得状況、バッテリーの電圧及び温度のステータス、座標変化グラフ等、毎日監視できるシステムを開発した。

データ取得状況では、各 REGMOS のデータ取得状況を表示し、3時間の GPS 観測データを正常に取得した場合“○”を表示するように設定している。データが欠測や通信障害により取得できていない場合は“—”を表示し、どの REGMOS が何時異常を来したか特定できるようになった。

バッテリーの電圧及び温度のステータスグラフでは、バッテリーの電圧の状況と気温の関係が比較できるよう時系列で表示している。バッテリーの電圧及び気温が低い場合は、ソーラーパネルへの日射が少なく発電量が少ないことが想定できる。発電量が少ない状況が続く蓄電量が低下を続けた場合は、通信回数を減らすなどのバッテリーの電圧調整を実施する判断に使用できる。

座標変化グラフは、REGMOS を設置してからの各成分（南北、東西、標高）の変化を時系列で表示している。グラフに顕著な変化が現れれば、大気の影響なのか地殻変動による変動なのか調査するための指標となる。

以上のシステムは、事務室内の大型モニター画面に数秒毎に表示切替させることで、いつでも REGMOS の状態を監視することが可能である。これまでは、特定の職員が1日数回、パソコンのブラウザ画面で各種グラフを確認する程度であり、データの欠測等があった場合にも数時間遅れで気づくことがあった。現在では、誰の目にも映るようなシステムが構築されているため、異変に気づくことも早くなり、問題の解決が迅速に行えるようになった。

6. 新可搬型 REGMOS の作成

制御装置等、各種機器の変更に伴いこれまで使用してきた可搬型（組立型）REGMOS も平成 21 年度に改良した（写真-13）。

改良のポイントは、REGMOS-H で採用した RCL やネットワークカメラ等の機器に対応し、さらにこれまでの可搬型で発生した不具合を解消することであっ

た。これまでの可搬型 REGMOS では、小型軽量化を図り持ち運びに有利になるように細かく分解できるよう設計された。しかし、分解する箇所が多くなり、組み立てる際、フレームの歪が発生し順番どおりに組み立てないとネジ穴が合わなくなる不具合がたびたび発生した。

そのため、改良の際は「分解・組み立てが容易であること」と「部品を少なくすること」をメインにして、運搬に伴う労力や費用の軽減のため、引越しの際に使用される一人用のパック（縦：約 1 m×横：約 1 m×高さ：約 1.7m）に収まる大きさに分解できるよう作成した。さらに迅速性を勘案し、工具は六角レンチのみで、組み立てに使用するネジの本数も極力少くした。

そのため、これまでの可搬型 REGMOS では組み立てに職員 4 名で約 1 時間かかっていたものが、4 名で 30 分以内に組み立てることが可能になった。また分解する箇所も少ないため、一度でも分解及び組み立てを経験すれば、誰でも容易に組み立て可能である。

しかし筐体は全体的に小さく、ソーラーパネルは 8 角柱型の 65w×16 枚に対し 85w×5 枚となっている。8 角柱型に比べ、ソーラーパネルの枚数が少ないため、発電能力が半分以下であり、供給できる電力も少なくなっている。

可搬型 REGMOS は、機動性を重視しているため数年設置という目的ではなく、短期での緊急 GPS 連続観測や商用電源や通信が途絶えた電子基準点等の復旧を目的としているため、8 角柱型と使い分けて使用していく予定である。



写真-13 新可搬型 REGMOS

7. 新しく搭載された機能

7. 1 自己復帰機能

観測データが、監視局の PC に届かない原因は、制御装置のエラー、機器の故障、通信機器の停止、バッテリーの電圧の低下等が考えられる。

従来の REGMOS でも、バッテリーの電圧低下に伴う観測停止を防ぐためデータ取得時間の調整を実施し

てきた。しかし、ソーラーパネルへの着雪等で長期間発電が止まり、電力不足により停止した場合でも、雪が溶け、電力が回復した際は GPS 観測及び通信を自動復帰し再開してきた。また、通信が正常で TCU に接続できれば何処に異常が生じたか通信ログを解析し判断することは可能であり、コマンドを送信することにより TCU に再起動をかけることも可能である。しかし、通信自体が停止した場合は現地に行くまで復帰することは不可能であった。

REGMOS-H では、この問題を解消するため RCL が異常をきたした場合の他にも、通信に異常をきたした場合は衛星携帯電話が再起動するようプログラムされ、二重のチェックを実施している。また、RCL が停止した場合には何処に異常が発生したのか、エラー内容も細かく分類できるようになったため、いち早く対処することが可能になった。

7. 2 モード切替機能

REGMOS-H では、従来の REGMOS に比べ電力供給が格段に向上したが、ソーラー発電は常に天候に左右される。そのため RCL では通常モードと、電力低下に対応する省エネモードを搭載しており、監視局側でモードの切り替えができるようになっている。

通常モードでは、常時衛星携帯電話に電源が入っており監視局側からデータを要求（ただし、1 時間毎にファイルを生成する GPS 観測データは除く）すると数分後には画像データ等のデータを転送してくる。

省エネモードでは、衛星携帯電話の待機電力の消費を抑えるため、1 時間に 15 分のみ衛星携帯電話が起動する。そのため、常時接続は不可能になるが電力不足による GPS 観測停止は防ぐことができる。また、新可搬型 REGMOS のように元々発電量が少ない場合は、必然的に省エネモードを使用することになる。

8. まとめ

開発当初 REGMOS は、電気や電話線などのインフラが無い場所で、無人で GPS 連続観測を実施し各種機器がエラーを起こしても、自動復帰する自律型の観

測機器を目指し開発された。

平成 10 年 10 月に、岩手山へ REGMOS の初号機が設置され、これまで幾度となく改良を繰り返しながら、厳冬期を除けば、ほぼ途切れることなく GPS 連続観測を実施し実績を残してきた。しかし、 -20°C に達する冬の北海道の山頂では、ソーラーパネルへの雪の付着などによるバッテリーの電圧低下により観測が中断することもあった。

本稿で報告した REGMOS-H は、これまで発生した問題点（電力確保、通信エラー）は現在まで発生しておらず、従来の REGMOS よりも安定稼働を続けることが可能になったと思われる。

さらに GPS 観測データ以外にも画像や温度、傾斜データ、地磁気データ等、多項目の観測が可能となり応用範囲が拡大された。

画像が取得できることにより、地殻変動監視以外にも、立ち入りが困難な箇所や、インフラが敷設できないために監視できなかった場所において画像での監視が可能となる。

また、今回採用した衛星携帯電話は全世界で使用できるため、日本国内にとどまらず極域を除き何処の国でも REGMOS-H は稼働できる。

現在は、地殻変動監視のみに使用しているが、今後はグローバルな社会における多項目のリモート観測への応用の拡大に期待したい。

謝辞

REGMOS-H の作成及び開発にあたっては、株式会社テクノバンガードの協力及び助言等の援助を受けました。

また、各種システムの開発にあたっては、これまでに REGMOS の作成にかかわった多くの方々の協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 平井英明(2000): 岩手山における機動観測, 国土地理院時報, 93, 1-11.
小清水寛, 石倉信広, 雨貝知美, 根本盛行, 岩田和美, 山田晃子, 沼川邦男, 志茂久夫(2006): 浅間山周辺に設置された機動観測点の障害原因の究明と対策について, 国土地理院時報, 109, 55-63.
町田守人, 海老名頼利, 真野宏邦, 秋山忠之(2003): GPS 火山変動リモート観測システムの改良, 国土地理院時報, 102, 71-80.
根本盛行(1999): 測量でとらえる火山活動, 第 28 回国土地理院技術研究発表会要旨, A1-211, 71-77.