

富士山の山体変動観測

須藤 茂¹⁾・齋藤 英二²⁾・渡辺 和明²⁾

1. 富士山にたどり着くために

かつて、著者の一人は、つくばの旧地質調査所本館7階の西側の研究室の窓側に座っていました。そこからは、特に冬の夕方などに富士山の姿を望むことができました(第1図)。見えるときはいつも感動していました。火山の研究者で、自分の研究室から、その国一番の火山を直接見ることができる人がどれだけいるだろうかと考えると、密かに喜んでいたことを覚えております。今は、同じ建物内の研究室にいますが、著者の座っている位置からは、山はおろか、外が見えません。

それはさておき、富士山は多くの日本人にとって象徴的な存在であるだけでなく、火山研究者にとっても、あこがれの山です。それでは、多くの火山研究者が連綿と富士火山の研究を続けてきたのでしょうか。答えは、もちろんノーです。

かつて筆者は、新しい共同研究計画案を立てるにあたり、富士山をテーマにしてはどうかと、よその研究所に相談を持ちかけたことがあります。1990年代でした。呼びかけに対する答えはノーでした。理由は、富士山の研究は、その結果がどうであれ社会的にあまりに影響が大きいので、研究所としては対処しきれないというものです。また、所内でも富士山の研究を新たなテーマとすることを諮ったことがありました。そのときには、どうして富士山などを選ぶのか、いったい誰が富士山の研究をするのかと反対する意見を述べた研究者がいたのが印象的でした。

富士山では、例外的に、長期間にわたって、強力に地震観測などを継続してきた防災科学技術研究所などによって、2000年の低周波地震の活動が報告され(鶴川, 2003)、その騒動の後に、急に提



第1図 茨城県つくば市の産業技術総合研究所から見た富士山。

案された様々な研究計画案の多さや、国による富士山ハザードマップ作成計画の進み具合を見ると隔世の感があります。ここでは富士山の噴火予知のための山体変動調査が、産業技術総合研究所でいかにして行われるようになったかを記します。

2. 山体変動調査は有効か

火山の噴火予知及び活動の推移の予測に山体変動観測が有効であることは古くから認められています(Dzurisin *et al.*, 1984など)。旧地質調査所でも、1980年代に伊豆大島でのドライティルト観測などが行われていました。伊豆大島では、変動があったことは認められていましたが、噴火予知に実際に役立てるまでには至りませんでした。

1990年から始まった雲仙の活動時には、まず、眉山の変動観測が始められました。これは、活動の初期には、普賢岳よりも眉山の方が地元の心配事であったからです。結果的には眉山の異常な変動

1) 産総研 地球科学情報研究部門

2) 産総研 地質調査情報部

キーワード：富士山、山体変動観測、光波測距、GPS、噴火予知、岩手山

や崩壊は起きませんでした。しかしながら、活動の途中で、眉山が崩壊するという話がまことしやかに流れたことがあります。その時には、山体変動観測によれば異常な動きは観測されることが、偽情報を打ち消す役割を果たしました(吉岡, 2002)。続いて、普賢岳の変動観測が始められました。これはマグマの上昇をとらえ、噴火を予知することを目指したものです。この測定の結果、変動とほぼ同時期に始まった山頂直下の地震活動の情報と合わせて、わが国では初めての溶岩噴出の直前の予知の成功に結びつきました(斎藤ほか, 1991)。このときは作業予定者の1人はできるだけ早く機器を設置しようと提案していたのですが、もう1人の共同作業者の慶事のために現地作業の予定が延びていました。1991年5月9日に反射鏡を設置、10日に最初の観測、13日に最初の異常値観測、17日に溶岩噴出に関する火山噴火予知連絡会会長コメント発表、20日溶岩噴出確認という具合でしたから、この予知の成功に関しては、かなり運が良かったことになります。

一方、1995年の九重山の噴火では、噴火予知は全くできませんでした。筆者は、よほど緻密な観測をしていない限り、この程度の水蒸気爆発を予知することはできないと今でも思っています。問題はその後でした。噴火が一段落した後山体変動観測を続けた結果、新たにできた噴火口ではないところを中心に変動が続いていることが明らかになったのです(斎藤ほか, 2003)。これは驚きでした。火山は、噴火をしていないときでも、まだ我々の知らない不思議な動きをしていることがわかったのです。

これでは、噴火の直前から山体変動観測を始めたのでは、得られた異常な観測値がマグマの動きを反映したものか、そうではない別な要因による変動のためなのかを区別することができません。

3. 先立つもの

1998年に岩手山で変動が観測されました。最初は岩手山の下で、ついで、岩手県内陸北部地震をきっかけにして、三ッ石山付近の下で、それぞれ変動があったことが明らかになりました。これも不思議な活動でした。旧地質調査所では、まずはじめ



第2図 岩手山の山頂域に設置したGPS観測システムの一部。

に岩手山の山体変動観測を光波測距により開始しました。ついで、より広範囲の変動を観測するのに、GPSが有効であろうと判断しましたが、現地で長く測定できる機器は手元にありませんでした。

そこで筆者は、それまで応募したことがなかった当時の工業技術院のベンチャー中小企業支援型競争特研に「自動連続小型GPS観測装置の開発」を提案し、採択されました。

このときの審査の会場での緊張は今でも覚えています。委員の方々は主に工学関係者であったようで、データ通信の無線の話などを質問されました。この研究では、現地に設置したGPSのデータを、いろいろな無線装置で麓に転送する試みを実施しました(第2図)。冬季の山頂部での雪、氷、風などの気象条件の悪さから、完全に連続とはいきませんが、長期にわたるデータが得られました。

かくて、岩手山と三ッ石山を取り囲むように設置された変動観測網により、変動の中心が三ッ石山付近の地下深所にあることなどが明らかになりました(須藤ほか, 2003)。

余談ですが、この研究の成果により開発した、自動連続小型GPS観測のシステムは、ほかの機関にも採用され、開発企業によりきちんと販売されています。この面での実績も確保しました。

さらに余計な話ですが、この調査の過程で、変動の中心が岩手山ではなく、その西方の三ッ石山であることがわかり、岩手山は東方に動いているという結果を地元にもお知らせしようとしたところ、地元関係者から、岩手山が動いているはずがないと

ということで猛反発を受けたことがありました。当時はそのことに驚きましたが、今となっては笑い話になりました。地元との連絡は相当に密にしなければいけないのですが、当時は旅費とその他の研究費が仕分けされていたために、機器のトラブルの度に現地へ行く旅費も十分ではありませんでした。そのため、地元の関係者と直接御会いすることが少なく、その点に抜かりはありました。

さて、いよいよ富士山です。まず、税金の無駄使いを指摘されないように、関係研究機関に富士山の山体変動観測の予定をお聞きしました。ありませんでした。では、始めようというわけですが、先立つものを確保しなければなりません。先の岩手山での研究は、単年度ですので、継続はできません。今度は、旧工業技術院の競争特研に、「産業立地に関わる火山災害の影響評価及びリスクマネジメント」を提案しました。共同研究機関の企画担当者からは、この分野での予算獲得は無理でしょうと言われてしまいましたが、採択されました。当時の地質調査所では採択実績がない制度でしたので、手続き等わからないことばかりでしたが、これでようやく富士山の山体変動観測が始められることになりました。産業立地と富士山の関係ですか、ここでは火山災害のうち火山灰による災害を取り上げ、そのモデル火山として富士山を選んだのです。富士山から約100kmの位置に首都東京は位置しています。これは、フィリピンのピナツポ火山とマニラ首都圏の関係と同じです。マニラの国際空港は1991年の同火山の噴火で、4mm程度の火山灰に覆われただけで約1週間の閉鎖を余儀なくされ、経済的に大きな打撃を受けました。富士山がいつ、どこから、どのような噴火をするかは、災害予測に重要です。この研究では、旧地質調査所は、わが国の火山灰の降った実績を取りまとめることと、富士山の変動や構造の研究を分担して実施することになりました。降下火山灰による災害については別に報告します。

災害はいろいろなところにやって来ます。上記の研究は5年計画で始められましたが、工業技術院から産業技術総合研究所への組織改編の過程で、この予算制度そのものが無くなってしまったのです。慌てました。急遽よその制度を探しました。見つけたのは旧運輸省関係の制度で、運輸施設整備事業団(2003年に組織改編により、鉄道建設・運輸施設

整備支援機構に名称変更)の基礎的研究推進制度でした。応募したところ、約20倍の競争率でした。通りました。富士山が導いてくれた奇跡に感謝します。冗談はともかく、これまでほとんど考えられていなかった巨大都市での火山灰災害について、研究する意義があると認められたものと思います。

4. 観測網の考え方

これまでの当所の実績から、山体変動観測はGPSと光波測距により行うことにしました。ただし、富士山のような孤立した成層火山体では、光波測距は少ない器械点から効率的に行うことはできません。したがって、GPSを主とし、補助的に光波測距を行うことにしました。GPS、光波測距ともに、これまでの実績から連続観測を試みることにしましたが、補助的に繰り返し観測も行うことにしました。

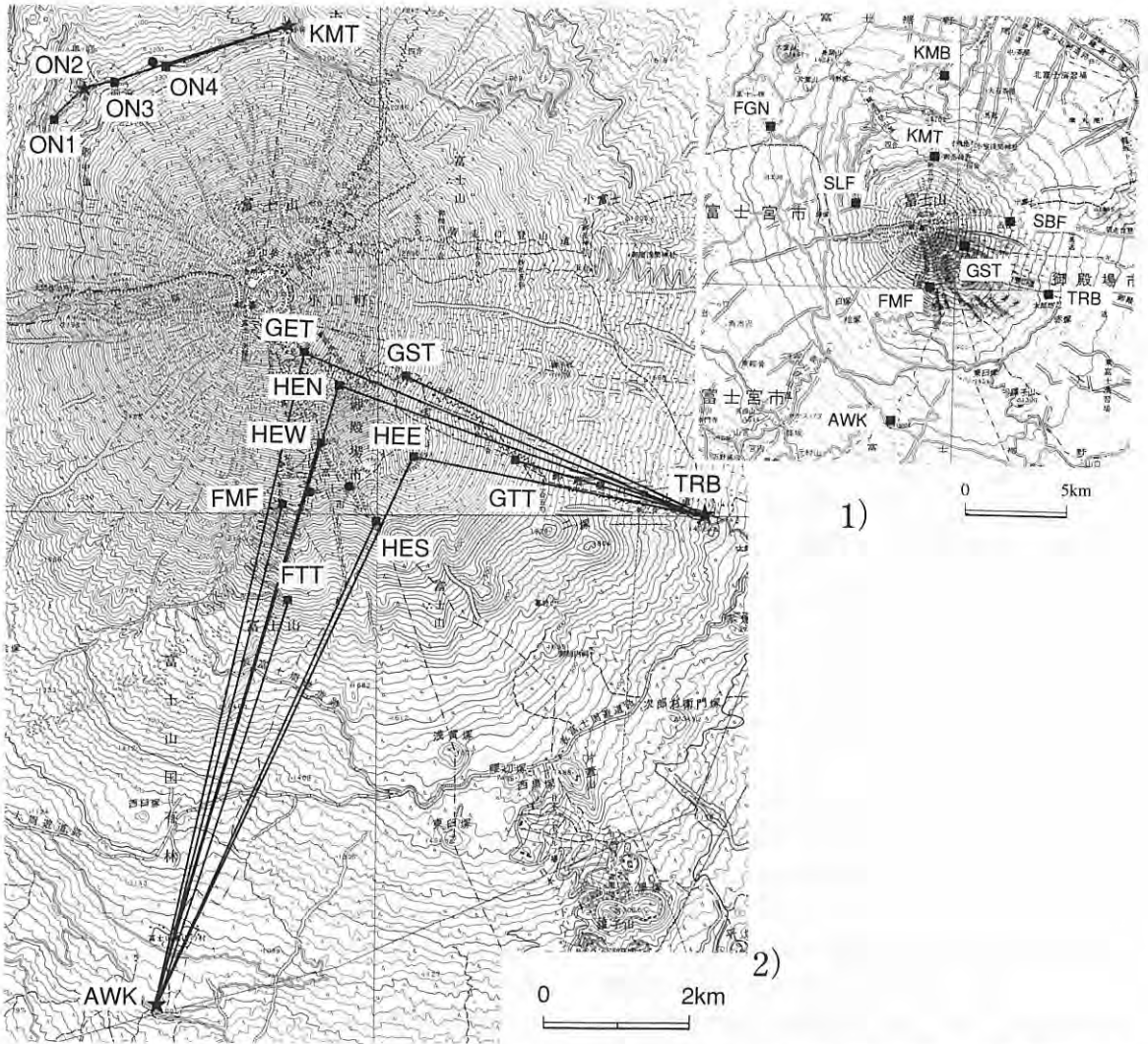
観測網の大きさは、おおそ変動の力源の深さと同じ程度になります。その程度だと変動を敏感に捉えることができるからです。変動の力源が上昇してきたとすると、最初は大きな観測網で捉えることができ、次に小さな観測網で確かめることができます。このため大小二重の観測網を設置することにしました。大きい方の観測網の測定点の間隔を約10km、小さい方をその半分にしました。それより大きい観測網は既に国土地理院によって地震調査の一環として設定されています。

地質調査の結果から明らかのように(石塚ほか、2003など)富士山には、割れ目噴火を起こしやすい方向があります。一番可能性の大きいのは、北西-南東方向です。このため次の噴火でもこの方向に伸びたマグマが貫入上昇してくる可能性が大きいと仮定し、その両側を挟むような測定点を考えました。

実際には必ずしも理想通りには行きません。設置予定地付近の微地形及び植生、地盤、電気・電話の配線関係、電波の通信状態、地主さんとの交渉など様々な要素を考慮しなければなりませんので、結果的には、ややいびつな観測網になりました。

5. 観測装置設置

各観測点の配置を第3図に示します。最終的にGPS連続観測点は9個所、GPS繰り返し観測は3



第3図 産業技術総合研究所による富士山の山体変動観測網。1) GPS観測網。国土地理院の20万分の1地勢図「甲府」「静岡」を使用。2) 光波測距観測網。大きい星印：連続機械点，小さい星印：繰り返し機械点，四角：反射鏡点，黒丸：繰り返しGPS観測点。国土地理院の5万分の1地形図「富士山」「山中湖」「富士宮」「御殿場」を使用。

個所，自動連続光波測距器械点は2個所，同反射鏡は9個所で，12測線，繰り返し光波測距は4測線となりました。このうち，自動連続光波測距器械点2個所は，GPS連続観測点と同じ地点に，自動連続光波測距用の反射鏡点2個所は，別なGPS連続観測点と同じ地点に，それぞれ設置されました。

山体変動観測のための機器の設置については，既に教科書もありますが(Doukas and Ewert, 1992)，当所のこれまでの実績も加えて，様々な方法がとられました。

最も楽な方法は，堅固な既存の建築物を利用す

る方法で，GPS連続観測点，剣丸尾(KMB，第4図)及び小御岳(KMT，第5図)が，これに相当します。ただし既存の施設を破壊しないように，機器の取り付けに際しては，建物の一部を挟み込む方式を採用しました。

そのほかのGPS連続観測のためのアンテナは，すべてコンクリート柱の上に設置しました。すなわち，太郎坊(TRB，第6図)，栗倉(AWK，第7図)，御殿場口六合目(GST，第8図)，富士宮口新五合目(FMF，第9図)，スバルライン四合目(SLF，第10図)，富士ヶ嶺(FGN，第11図)，須走五合目



第4図 GPS連続観測点, 剣丸尾(KMB). トイレの上.



第7図 GPS連続観測点及び連続光波測距器械点, 栗倉(AWK).



第5図 GPS連続観測点, 小御岳(KMT). 屋根の上.



第8図 GPS連続観測点及び反射鏡点, 御殿場口六合目(GST).



第6図 GPS連続観測点及び連続光波測距器械点, 太郎坊(TRB).



第9図 GPS連続観測点及び反射鏡点, 富士宮口新五合目(FMF).



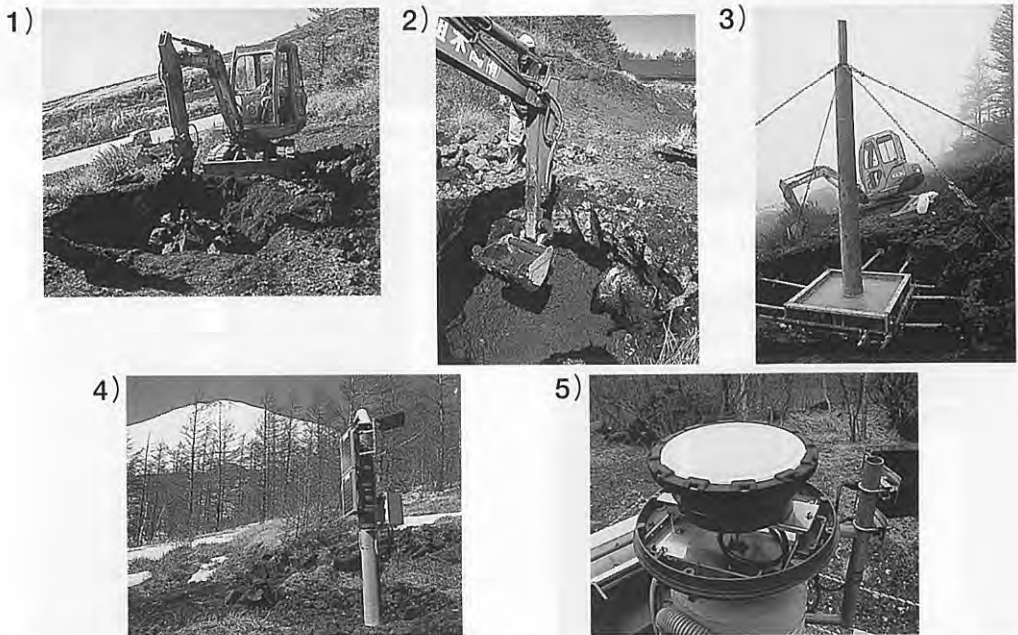
第10図 GPS連続観測点, スパルライン四合目(SLF). 春にはこのように雪の中に隠れてしましますが, 律義にもデータは送信され続けました.



第11図 GPS連続観測点, 富士ヶ嶺(FGN).

(SBF, 第12図)の7点です。このうち, GST点のみは, 堅固な溶岩の上に直接柱を立てましたが, ほかの点はあまり丈夫な地盤ではありませんでしたので, 穴を掘ってコンクリートで固めた上に柱を立てました。SBF点での建設の例を示します(第12

図)。ここでは地表に溶岩が分布していましたが, あまり信用できないと思い, 機械で掘削しましたところ, 案の定, 溶岩流は数十cmの薄いもので, その下は全く固結していない火砕物でした。約2m掘り下げた後, 鉄筋を組み, 1m×1m×2mの直方体のコンクリート柱を地下に, 直径20cm高さ2mの鉄筋コンクリート円柱を地上にそれぞれ立ち上げました。円柱の上にGPSアンテナを, その下に電源



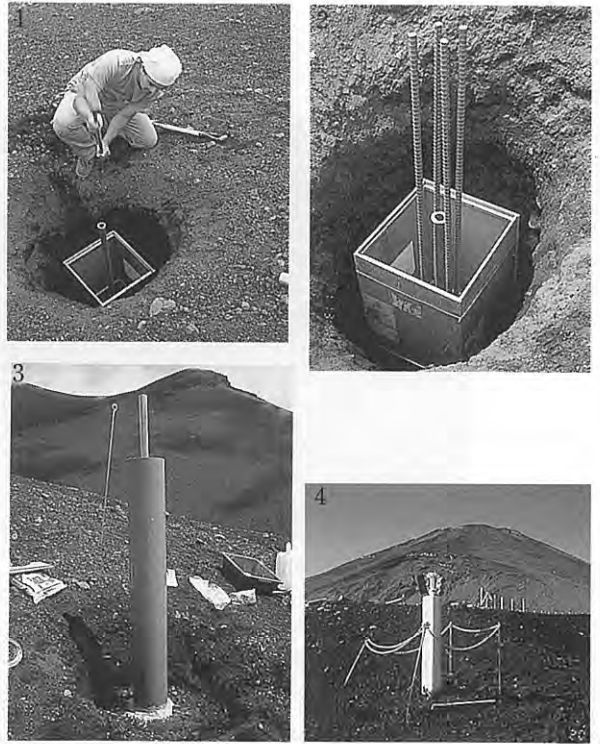
第12図 GPS連続観測点設置工事の例, 須走五合目(SBF). 1) 地表付近には硬い溶岩がありましたので, 削岩機で掘りました。2) その下は柔らかい火山灰とスコリアの層でしたので, 2m掘りました。3) 穴の中に, コンクリートを打ち, 鉄筋コンクリートの柱を立てました。4) 柱の上にGPSのアンテナ, 横に太陽電池, 制御装置, 通信装置を付けて出来上がりです。5) GPSのアンテナは, このようにレドームの中に設置されています。



第13図 自動連続光波測距装置の例、栗倉(AWK)。右のコンクリート柱の上に光波測距儀を、左の棚に制御・記録・データ転送装置を設置。



第14図 光波測距用反射鏡設置の例、露岩にモルタルで固定する場合、宝永火口西(HEW)。



第15図 光波測距用反射鏡設置の例、穴を掘ってコンクリート柱を立てる場合、宝永火口南(HES)。1)約1mの深さに穴を掘り、鉄筋を打ち込んで、コンクリートと連結させます。2)鉄筋を地上部分にも立ち上げ、柱の中に入るようにします。3)塩ビ管で枠を作り、中央に反射鏡取付のためのパイプをセットし、中にコンクリートを流し込みます。4)地上約1mのところに反射鏡を設置して完成です、念のため周囲にロープを張ります。

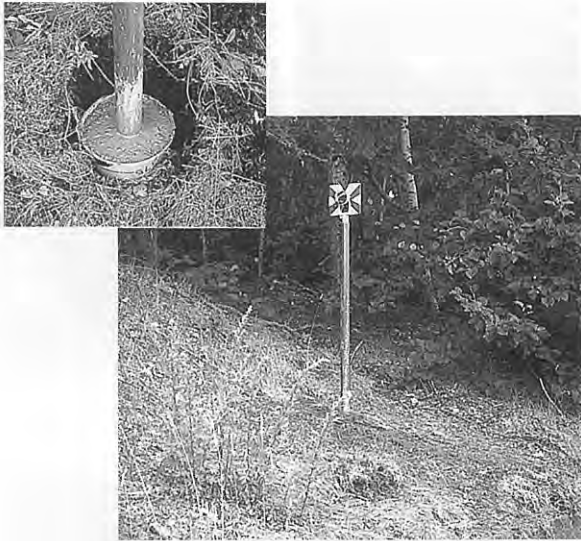
としての太陽電池、データ送信用アンテナ、及び蓄電装置、記録装置、電話装置を組み込んだ制御装置一式が入った箱を取り付けました。より地盤が軟弱であると判断された地点では、コンクリート直方体の下にさらに鉄筋または鉄骨を打ち込んで連結させてあります。

GPSと光波測距をとともに実施しているTRBとAWKの2点では、電気及び電話が有線で確保される地点を選定しました。これは、独立電源によるGPS連続観測は、実績があったのですが、光波測距のためには、電力を多く必要とするために、独立電源方式は採用しないことにしたからです。この2地点では、GPSのアンテナのみをコンクリート柱上に設置し、GPSに関するほかの装置一式及び自

動連続光波測距装置一式はプレハブの建屋内に設置しました(第13図)。

光波測距儀は、GPS同様に、コンクリート柱上に設置しました。プレハブの建屋の窓越しに、それぞれいくつかの反射鏡点をめがけて自動的にレーザービームを発射する仕組みにしています。

自動連続光波測距のための反射鏡の設置の仕方場所により様々な方法を用いました。堅固な露岩のあるところでは、岩石の上に、自家製の金属製反射鏡取付板をモルタルで固定しました(第14図)。これは、取り付ける足の部分に、ネジにより伸縮性を持たせたもので、岩盤が多少傾いていてもほぼ垂直に取り付けることができるように工夫されているものです。旧地質調査所試料調整課山口



第16図 繰り返し光波測距用反射鏡の設置。1) 紙パイプで杵を作り、鉄筋を地中に打ち込んで、パイプを支持します。2) 測量時のみ、パイプの頂部に反射鏡を置きます。

氏の製作によるものです。地盤が弱いところでは、GPS同様に、コンクリート柱に設置しました(第8、9図)。

宝永火口南の反射鏡設置の様相を紹介します(第15図)。ここは火砕物が厚く堆積しているところですので、まず穴を掘り、次に穴の底に鉄筋を打ち込み、それに繋げるように鉄筋コンクリートの柱を、塩ビ管を杵にして作成しました。出来上がりは地上約1mですが、地下にはそれ以上の柱が埋め込んであることになります。

繰り返し光波測距の反射鏡2点については、同様の方法を用いましたが、ここはスバルライン沿いで訪れる人も多いために、できるだけ目立たぬように、地上部分は細い鉄パイプのみにしてありますが、地下には鉄筋とコンクリートの柱が埋められています。ちょっと触った程度では動きません。ただし、そこへ行って変な気を起こさないようにして下さい(第16図)。

さらに簡単な方法として、GPS繰り返し測定の地点では、アンテナ設置のための雄ねじのみを露岩に埋め込んであります。最も簡単な方法は、マーカーを接着剤で止めただけの地点もあります。詳しい地点は書きません。

これらの施設は1999年から2002年にかけての4



第17図 高所では、パンの袋はご覧の通り、2,800m地点。

年間で設置されました。また、この作業の途中で、測定にトラブルのあるたびに適宜最適の方法を目指して手法等の改良を行いました。

高所での作業はもちろん厳しいものがありました。すぐに息が上がってしまいます。食事は簡単に食べられるように、主にパンを持って行きました。すると第17図のようになりました。海拔2,800m地点でもです。コンクリートの表面を保護するためにペンキ塗り作業もしました。缶のふたを開けようとしたときには、簡単に開きそうでした。調子に乗って力を入れたところ、ふたは、裏に付いていたペンキとともに空中高く吹き飛びました。顔に当たらなかったのは不幸中の幸いでした。ペンキの飛沫がそこいら中に飛散しました。悲惨でした。現地の作業が終わって、ふたを閉めたポリタンクが、平地に帰ってきたら凹んでいることもあり、しばらくは、重い荷物を上に載せたわけでもないのに変だなと思っていましたが、合点が行きました。ふたを緩めたところ、シュッと音がして元の形に戻りました。

6. データ回収

自動連続光波測距は、ほぼ確立された方法ですので、当初の予定通り、麓の2点から行いました。

一方GPS観測では、電話線のある2点のGPS観測点においては、有線により、データを回収し、電話線のないGPS観測点においては、当初は、ノート型パソコンにより現地でデータを回収する方法を採りました。しかしながら、この方法は、高所の

寒いところでは作業中に画面がだんだん薄くなってしまふなど、十分に安定して有効ではなく、改良が求められました。次に用いた方法は、カード方式によるものです。これは、現地で、カード型記憶装置にデータを蓄え、調査時に交換するものです。この方式は、パソコン使用に比べると圧倒的に簡単で確実でした。しかしながら、時代の要請はリアルタイムのデータ収集に向かっています。調査者が現地に行ってデータを回収する方法では、いざというときに世の中の役に立ちません。

このため、電気電話のない観測点では、通常の携帯電話によるデータ通信を試みることにしました。これは、岩手山における光波測距データの通信に用いられた方法で、実績があります。衛星携帯電話は、使用電力がより大きく、より大容量の電源を確保する必要があることと通信経費の点で採用しませんでした。現場の装置を悪条件下でも安定して維持するためには、できるだけ小さくまとめる必要があります。

この携帯電話は、かつては、街で女子高生が使っているような極く普通のものですよ、と表現していたことがあります。しかしこの表現は、今となっては正しくありません。現在表現するとすれば、よほどの変わり者しか使っていない骨董的な古いタイプの携帯電話ですよ、ということになります。余計な機能はいっさい必要としないのです。そうでないと小さな電力で安定してデータ通信機能を維持することはできません。

携帯電話が山の中でどれだけ通じるかという問題は、よく山岳雑誌などでも検討されています。街から離れて尾根を越えてしまうと通じづらくなるようです。では、富士山ではどうでしょうか。独立峰ですから、どこからも町が見えます。中継装置がたくさん設置されている町です。これなら大丈夫かなと思いましたが、ここが素人の浅はかなところでした。たくさんの中継装置からの電波が入ると、安定して一つの中継点と通信を続けることができません。通信テストは難航しました。通話時に、通信の状態を示す画面で良好であると指示が出ていても、データ通信がうまくいくとは限りませんでした。

その頃富士山で遭難騒ぎがありました。遭難者が携帯電話で救助を求め、運良く助けられたのです。富士山での携帯電話の効用が一気に認めら



第18図 GPSの制御装置箱の中、本体の下が電源装置の一部(バッテリー)、上の発泡スチロールの箱の中に携帯電話装置一式が入っています。扉に取り付けてあるのが記録装置です。須走五合目観測点(SBF)。

れ、山での通信がより確実にできるようになりました。ある観測点では、すぐそばに中継点らしき物が建設され、それ以降、携帯電話の通信は非常に良好に行われるようになりました。ただし本当にその中継装置ができたせいかどうかは実は素人にはわかりません。根拠はわかりませんが、実績として、ほとんどの観測点で、携帯電話によるデータ通信は可能になりました(第18図)。

ただ1点だけ、うまく機能しない点が残りました。そこも見晴らしはよく、どうしてそこだけうまくできないのかは理解できませんでした。しばらく悩んだ末に、無線装置使用によるデータ通信しか手はないと判断するに至りました。その頃になりますと、互いの機関で観測装置設置の相談も頻繁に行われるようになり、その観測点では、気象庁が所有する無線装置を使用して通信を試みることで調整が進みました。観測点のデータを無線装置によりいったん富士山測候所御殿場基地事務所に送信し、さらに専用回線を用いて、東京の気象庁本庁に送るものです。気象庁で受けたデータは同時につくば市の産業技術総合研究所にも転送される仕組みにしました。

これで産業技術総合研究所が設置した9点のGPS観測データは、準リアルタイムで解析することができるようになりました。また、気象庁は、産業技術総合研究所の観測網と別に、山頂部を中心にした観測網を設置しました。これらは同じ測定装置

を用いていますので、一緒に解析することが可能です。より良い情報を得るために今後データの共有ができるようにデータ転送装置に改良が加えられています。

現段階で、非常時に懸念される技術的な問題点としては、携帯電話を使用したデータ通信が、輻輳することなしに保証されるかどうかということがあります。このため、できるだけ専用波無線装置に交換することに努力しましたが、1台の設置のみで力尽きました。今後の課題です。

7. 冬を越せるか

我々は、岩手山のGPS観測で、痛い目に合わされました。それは厳冬期の山岳高所では、観測機器がいったい雪と氷に覆われてしまい、観測ができなかったことです。火山活動が冬季の活動を遠慮してくれるとは限りません。これでは世の中の役に立ちません。

そのため、岩手山山頂よりも高所で行われる観測で、厳冬期を乗り切ることができるかどうか、大変気掛かりでした。結果は、12月も1月も順調にデータが送られてくるという幸運に恵まれました。これは後でわかったことですが、富士山では岩手山と違って、雪や氷が乾燥していて機器に付きにくい性質であるためのものでした。観測地点の写真を見ていただければおわかりのように、太陽電池は垂直に設置してあります。これは、太陽エネルギーを効率的に受けるという点では良くないのですが、雪や氷が付くことを避けるために採られた方法です。そのせいもあってか、冬季にも十分な電源を確保することができました。

しかし全くトラブルがなかったわけではありません。太陽電池の全面にひびが入っていたこともありました。また、GPSアンテナを保護するレドームに穴が開いてしまったこともありました(第19図)。1度目は原因がわかりませんでした。2度目の時には犯人が中に残っていました。直径が約3cm程の多孔質の岩石でした。

厳冬期にも観測のために登山をする富士山測候所の方にお聞きしたところ、風が強いときには、石礫が飛んできて、背中に当たったりすると痛いということでした。また、氷塊も飛んでくることがあるそ



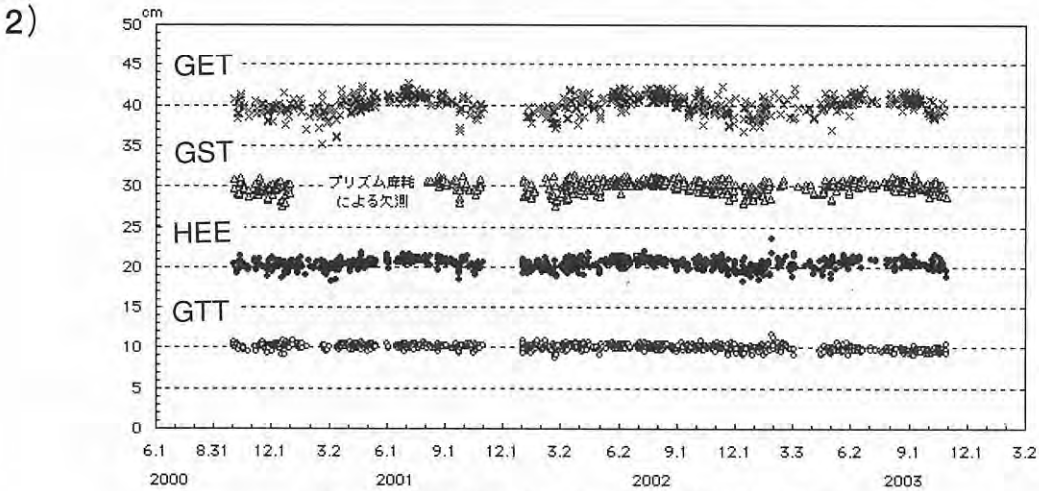
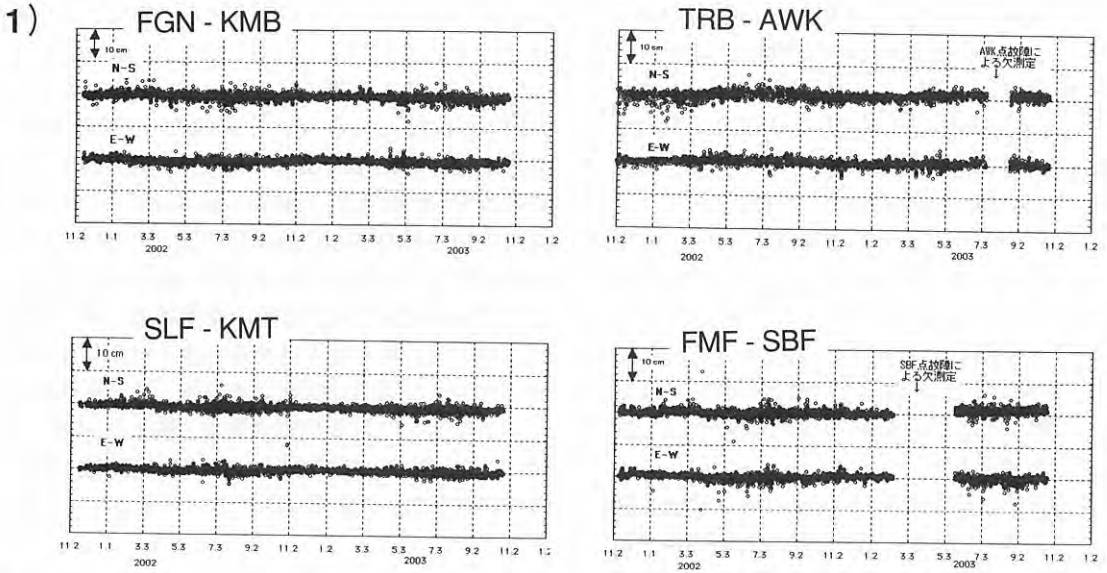
第19図 風で飛ばされた小石が当たって破損したレドーム、御殿場口六合目観測点(GST)。

うです。現地に設置する機器及び取り付けの方法については、風速80mにも耐えられるようにとの条件をつけました。そのため風だけによる被害は今のところ出ていません。風と一緒に飛んでくる岩塊などに対する策としては、太陽電池の表面に、ポリカーボネート板をつけるなどしていますが、完璧な策は立てられません。

8. データ解析、発表と社会的貢献

つくば市の産業技術総合研究所まで届けられた山体変動観測データは、多少のデータ解析の操作を経た後、グラフなどに表されます。ここで初めて変動があったかどうか判断されるわけです。この、多少の操作が、まだ必要であることには問題があります。つまり、当所は、24時間官署でもありませんし、土日、暮正月は通常お休みとなります。このため、山体に変動があっても、確認されるまでに時間がかかりますし、緊急時の対応はできません。このため、今年度から、観測データを気象庁も同時に取得できるシステムにし、できるだけ確実に速やかに、異常を検知できる体制となるよう努力しています。

解析結果の一部を第20図に示します。このように、いずれの測線でも、顕著な変動は認められていません。九州の九重火山では、噴火活動がない間にも山体の一部は変動を続けていることが明らかになりました(斎藤ほか、2003)。富士山では、今のところ、熱水対流系の活動によるものと思われ



第20図 山体変動観測結果の一部。1)GPS, 2)光波測距。

る顕著な変動は観測されていないようです。また、この間、2000年秋などには、富士山体の下で低周波地震の活動が顕著である時期がありました(鶴川, 2003), そのときにも、当所の山体変動観測網では動きは認められませんでした。このことは、低周波地震はあったけれども、マグマは、噴火が差し迫っていると判断されるほどの動きはしていないと考える根拠になりました。この判断の是非については、なんとも明言できませんが、結果的には、2003年に至ってもまだ噴火はしていませんので、正しかったのかもしれませんが、恒常的な山体変動観測は、観測値に異常がなかったことで、少しは役に立っ

たこととなります。

2章に記しましたように、雲仙の1991年の溶岩噴出時には、噴火の1週間前から、火口直下の地震活動と山体変動が観測され、噴火の予知に役に立ちました。有珠山の2000年噴火では、噴火の4日前から、やはり地震活動と変動が観測され、噴火の予知に役に立ちました。この2つの例は、いずれも粘性の大きなマグマの活動によるものです。富士山でよく噴出するのは、流動的な玄武岩マグマです。それとよく似た例は三宅島の1983年と2000年噴火でしょうか。1983年の場合、噴火の約1時間前に、2000年噴火の場合、約半日前に、それぞれ

異常が観測されました。富士山の次の噴火ではどうなのでしょう。富士山での前の噴火、すなわち1707年噴火(宝永噴火)の場合、何十日のオーダーで、事前の異常が報告されていたために、次の噴火でもそうである可能性もあるでしょう(荒牧, 2003など)。しかしながら、そうでない可能性も大きいと思われまます。すなわち、マグマの性質が似た、三宅島では、1時間や半日のオーダーでしか噴火前の異常が認められなかったからです。富士山では、このようなタイプの噴火、すなわち、観測網を完備していても、数時間しか余裕のない噴火の方が、過去には、圧倒的に頻度が多かったのではないかと推定することもできます。

産業技術総合研究所では、このような事態に備えて、光波測距システムでは、測定時間の間隔を相当に密にしてあります。また、GPS観測では、通常は1日に1回の観測ですが、これをつくば市の産業技術総合研究所から操作することによって、より測定間隔を詰められるように機器を設定してあります。何か火山活動が起きそうであることが予測される段階になってから、危険な現場に機器を新たに設置したり、設定のし直しをしたりする事にならないよう努力はしています。

しかしながら自然が相手です。現在は、富士山の災害予測図が発表されるなど、火山活動観測に関しては緊張状態にあります。しかしながら、もし噴火がすぐには起きなかったら、この緊張状態が、5年、10年と保たれるのでしょうか。噴火予知の戦いの相手は自然だけとは限らないことになります。

9. 終りに

産業技術総合研究所による富士山の噴火予知のための山体変動観測が、いかに始められ、どのように運用されているかについて報告しました。

この仕事は以下の多くの関係者の協力がなければできませんでした。末尾に記して深謝の意を表します。アイウエオ順に紹介させていただきます。NTT, 小山町, 上九一色村, 環境省, 気象研究所, 気象庁地震火山部火山課, 気象庁富士山測候所, 小飼智慎, 御殿場市, 静岡県, 静岡森林管理署, 静岡県東部農林事務所, 静岡県立富士山麓山の村, 玉穂財産区, 天照教, 東京電力, 鳴沢村, 沼津土木事務所御殿場支所, 富士山運搬組合, 富士山本宮浅間大社, 富士土木事務所, 富士宮市, 富士箱根伊豆国立公園沼津管理官事務所, 富士箱根伊豆国立公園富士五湖管理官事務所, 富士吉田市, 文化庁, 山梨県, 山梨県道路公社, 横浜防衛施設局, 吉田林務事務所, 陸上自衛隊富士学校。

文 献

- 荒牧重雄(2003):富士山ハザードマップについて, 地質ニュース, no.590, 7-13.
- Doukas, M.P. and Ewert, J.W. (1992): Installation of bench marks and permanent reflectors for geodetic deformation networks. U.S.Geol.Surv., Bull.1966, 115-124.
- Dzurisin, D., Koyanagi, R.Y., and English, T.T. (1984): Magma supply and storage at Kilauea volcano, Hawaii, 1956-1983. J. Volcanol. Geotherm. Res., 21, 177-206.
- 石塚吉浩・高田 亮・中野 俊・河村幸男・谷田部信郎(2003):富士山はどんな活動をしてきたか? -富士火山の活動史-, 地質ニュース, no.590, 17-22.
- 斎藤英二・渡辺和明・須藤 茂・星住英夫・遠藤秀典(1991):光波測距による普賢岳の山体変動の測定, 日本リモートセンシング学会誌, 11, 57-60.
- 斎藤英二・須藤 茂・渡辺和明(2003):九重硫黄山, 1995年噴火後の山体変動, 火山, 48, 275-282.
- 須藤 茂・斎藤英二・渡辺和明・安田 聡(2003):岩手山及び三石山周辺の1998年-2002年の山体変動について, 火山, 48, 283-292.
- 鶴川元雄(2003):富士山の低周波地震, 地質ニュース, no.590, 40-43.
- 吉岡庭二郎(2002):雲仙火山科学掘削に対する地元の期待, 地質ニュース, no.576, 20-22.

SUTO Shigeru, SAITO Eiji and WATANABE Kazuaki (2003): Ground deformation monitoring system on Fuji volcano.

<受付:2003年9月1日>