

2.2 浅間山

2.2.1 浅間山における研究観測

火山活動評価手法を実際に観測されたデータへ適用するために、浅間火山においてGPS及び光波測距を用いた精密地殻変動観測を行った。GPS観測は2000年から、光波測距観測は2003年から開始し、2004年噴火活動に伴う地殻変動を捉えることに成功した。その観測データに基づく解析結果の詳細は高木・他(2005)を参照されたい。

ここでは、浅間山における地殻変動観測の詳細を報告する。

2.2.1.1 GPS観測

GPS観測では、連続観測と繰り返し観測を効率的に行うことによって、火山活動に伴う地殻変動の検知を目指した。両観測ともに2000年から開始したが、空間的に高密度の繰り返し観測網を展開したのは2002年からである。

ここでは、連続観測と繰り返し観測について述べる。

2.2.1.1.1 GPS連続観測

浅間山におけるGPS観測は、2000年の地震活動活発化に際して観測網を整備したことから始まる。2000年9月18日から地震活動が活発化し(軽井沢測候所, 2000), 19日には地震の日回数は431回となった。日回数が400回を超えたのは1973年5月24日以来であった(気象庁, 2000)。気象研究所は、火山活動に伴う地殻変動を検知するために、山体周辺の3箇所にGPS連続観測点を設置し、9月29日から連続観測を開始した。GPS観測装置は古野電気社製(MG2110)であり(藤原・他, 2002), 携帯電話, あるいは衛星携帯電話を用いた伝送システムを用いている。観測点はC(地震観測点C点, 山頂火口から南東方向, 3.2km), ONI(鬼押出し, 山頂火口から北北東方向, 4.2km), 及びKWS(軽井沢測候所, 山頂火口から南南東方向, 7.2km)で, KWSのみ現地収録方式で測候所職員に一週間毎のデータを回収してもらい, 電子メール等で気象研究所に定期的に送付してもらった。

2001年9月に気象庁火山監視・情報センター(以下, 火山センターあるいはJMAと略す)が浅間山に3点のGPS連続観測点を展開することになった。整備を予定する3点のうちの2点は, 電力や伝送回線の問題から, 我々が観測を開始していたONIとKWSの2点を選定された。観測網が重複することを避けるため, ONIでの観測を中止し, 地殻変動の検知力を上げるためにより山頂に近いE(地震観測点E点, 山頂火口から北東方向, 1.9km)に観測点を移設した。一方, KWS

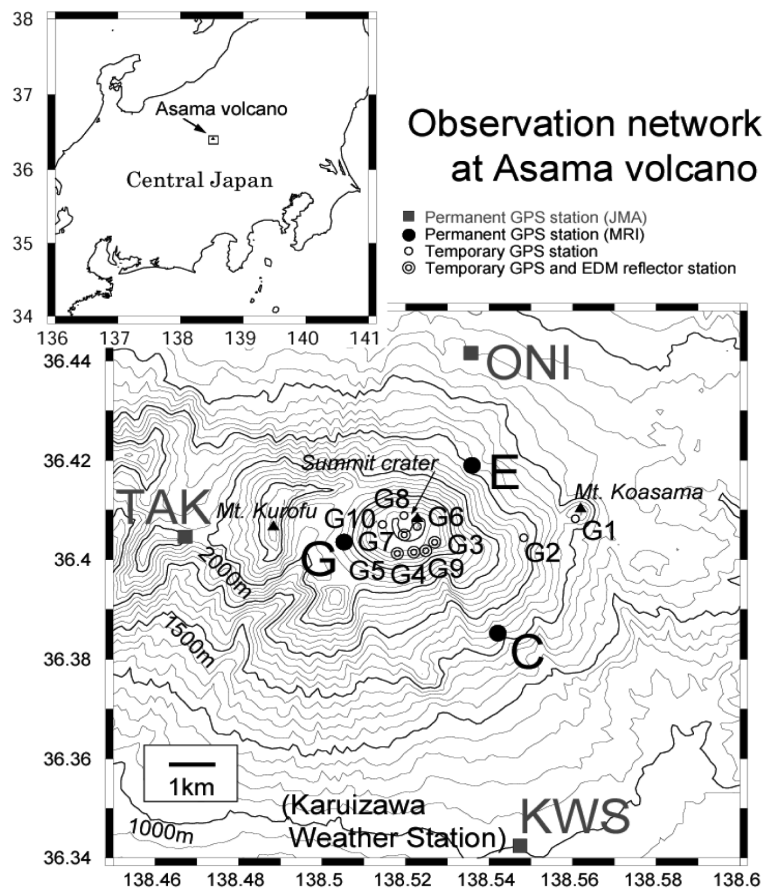


Fig. 2.2.1.1 GPS and electro-optical distance measurement (EDM) observation network around Asama volcano.

のGPS観測点は基線解析の参照点としていたため、火山センターのGPS観測点とほぼ同位置で2004年まで比較観測を継続した後、2004年7月に地震観測点G点（G，山頂火口から西南西方向，1.4km）に移設した。これにより、火山センターの連続観測網は、山頂を中心とした基線長が7.4~11.1kmの山麓部を結ぶ三角形を形成するのに対し、我々の観測網は山頂を中心とした基線長が3.3~3.9kmの山腹部を結ぶ三角形を形成したことになる。

これらの観測点の配置図を Fig. 2.2.1.1に示す。また観測点（火山センターも含む）の変遷を、繰り返し観測の履歴とともに Fig. 2.2.1.2に示す。また繰り返し観測を含む観測点の詳細を Table 2.2.1.1に、観測点の写真を Photo 2.2.1.1a~pに示す。

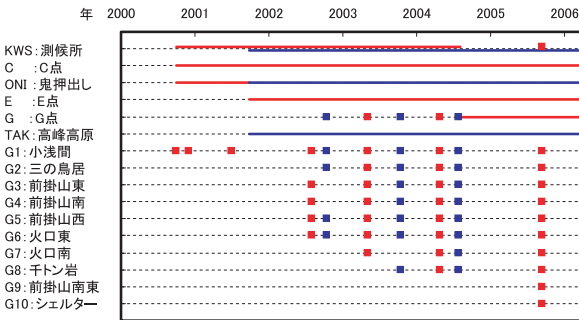


Fig. 2.2.1.2 Historical table of GPS observations at Asama volcano. Red line or square denotes observation by MRI, and blue denotes observation by JMA.

Table 2.2.1.1 Location of GPS and EDM observation sites on Asama volcano.

Station code	Site	Latitude [Deg.]	Longitude [Deg.]	Height [m]	Note
KWS	Weather Station	36.34229N	138.54725E	1017	Permanent point managed by JMA since Sep., 2001.
C	C	36.38427N	138.54154E	1584	Permanent point.
ONI	Onioshidashi	36.44219N	138.53670E	1348	Permanent point managed by JMA since Sep., 2001.
E	E	36.41829N	138.53650E	1715	Permanent point.
G	G	36.40377N	138.50492E	2183	Permanent point.
TAK	Takamine	36.40431N	138.46859E	1985	Permanent point managed by JMA.
G1	Koosama	36.40824N	138.56080E	1625	Temporary point installed by ERI.
G2	Sannotoria	36.40439N	138.54848E	1826	Temporary point.
G3(M3)	Maekake-E	36.40348N	138.52698E	2443	Temporary point combined with EDM point.
G4(M2)	Maekake-S	36.40151N	138.52200E	2443	Temporary point combined with EDM point.
G5(M1)	Maekake-W	36.40121N	138.51802E	2455	Temporary point combined with EDM point.
G6	Crater-E	36.40670N	138.52292E	2568	Temporary point installed by ERI.
G7(M5)	Crater-S	36.40511N	138.51961E	2546	Combined with EDM point by JMA since Sep., 2005.
G8	1000-ton Rock	36.40889N	138.51979E	2502	Temporary point.
G9(M4)	Maekake-SE	36.40191N	138.52389E	2433	Temporary point combined with EDM point.
G10	Shelter	36.40823N	138.51467E	2437	Temporary point.

2004年には、火山活動の高まりに備え、地殻変動の検出が期待されるより山頂に近い場所として、それまで繰り返し観測を実施していたG点を連続観測することにし、7月16日に当面現地収録方式で観測を開始した。その1ヶ月後の9月1日から噴火活動が開始したため、直ちにテレメータ化に移行して変動の準リアルタイム把握に努めたかったのだが、火山活動活発化のために安全が確保できず、ただちに実現はできなかった。活動が静穏化した2005年8月3日に1年ぶりに観測点を保守することが可能になりテレメータ化（衛星携帯電話方式）したが、データの蓄積容量の制限のために、2004年12月9日から2005年8月2日まで欠測となった。

C点は観測初期に障害が多発した。伝送障害等のため2000年11月30日から正常なデータを受信できない状態が続いた。2001年7月21日に現地の携帯電話交換等の対応により復旧したが、7月12日まで欠測となった。2002年6月12日から再び伝送障害が生じたため、7月29日に衛星携帯電話方式に変更した。同年8月4日雷災によるものと思われる受信機障害が生じ、9月26日に受信機交換をするまでの間、欠測となった。

Fig. 2.2.1.3に連続観測の基線長KWS-C, KWS-ONI, E-C, E-G及びC-Gの基線解析結果を示す。基線解析は毎時の解析値を1日平均したものである。このうち、火山活動に伴う変動として、噴火活動直前の2004年7月下旬の短期間に、E-C間の約1cmの伸びを観測した。これは火山体直下の浅部マグマだまりにマグマが供給されたことを示唆する(高木・他, 2005)。火山センターのGPS観測点のうちTAKと組み合わせた基線長変化も、Fig. 2.2.1.3に示す。そのうち、E-TAKは期間中に1年あたり平均で1cm弱の継続的な伸張傾向が見られ、とくに噴火活動があった2004年の後期には1cm以上の伸びがあった。これは山体北西部の深部マグマだまり(村上, 2005, 青木・他, 2005)の膨張に伴う変動を記録しているものと思われる。

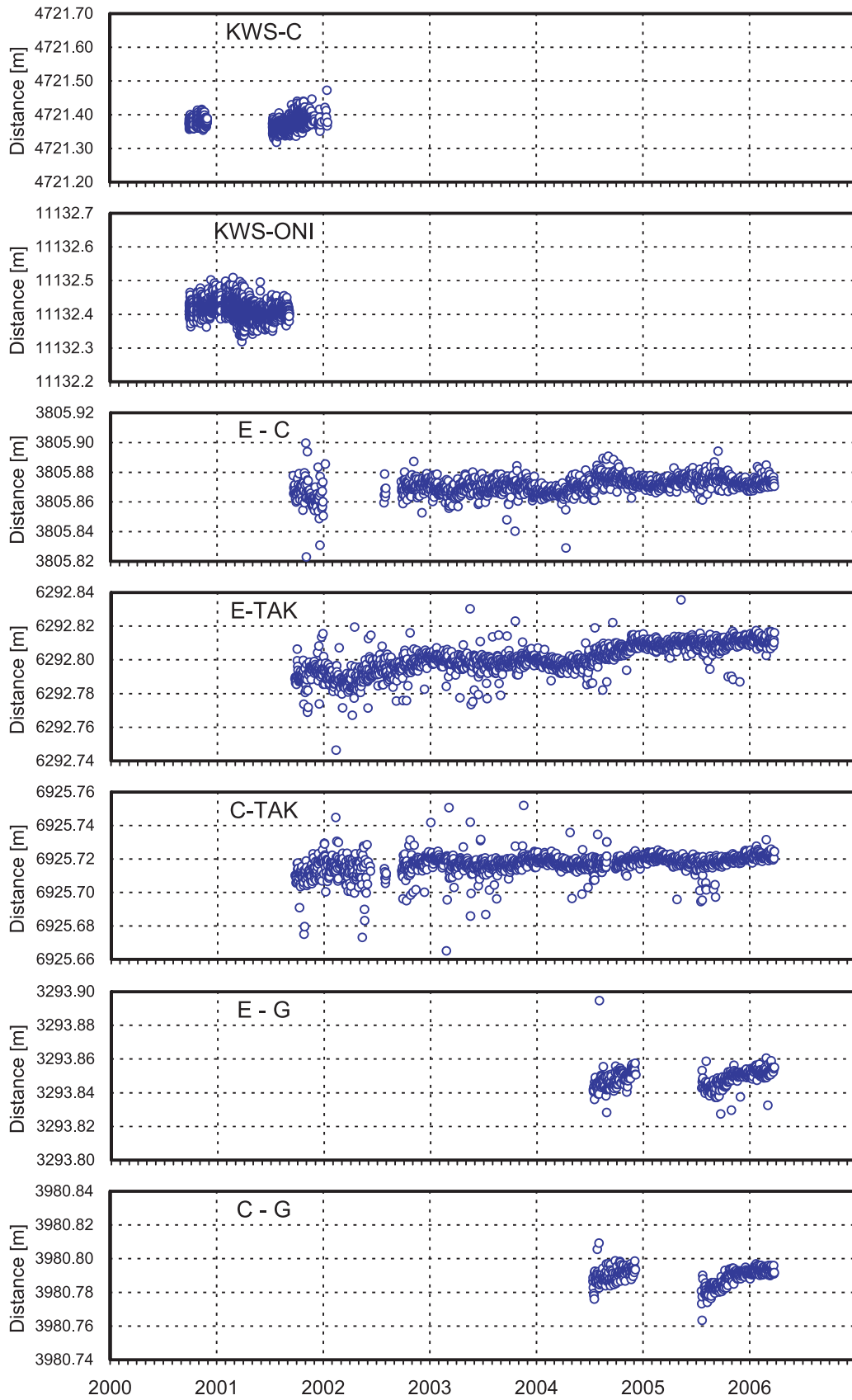


Fig. 2.2.1.3 Time series of the baseline lengths observed by permanent GPS points, 2000 - 2006.

2.2.1.1.2 GPS 繰り返し観測

観測の経緯

GPS 繰り返し観測は、GPS 連続観測を開始した2000年9月に、G1（小浅間）にベンチマークを設営し、連続観測網を空間的に補完的する体制で開始した。2001年までに3回の観測を行った後、山頂部周辺での空間分布を高めるために、2002年に6箇所（G2, G3, G4, G5, G6, G）で観測点を増設した（Fig. 2.2.1.1）。このうちG2とG6は、東京大学浅間山火山観測所のベンチマークを借用しており、それぞれ三の鳥居と火口東（山頂）観測点である。2002年7月に新設した観測点のうち、前掛山の3点（G3, G4, G5）は、2.2.1.2で後述する光波測距観測のための反射鏡も併設するハイブリッド観測点である。2002年10月の観測からは火山センターも加わり、互いに補完的に観測を行った。

その後、G7（火口南）、G8（千トン岩）で順次観測を開始した。このうち、G7は東京大学浅間山火山観測所のベンチマークで、これを借用して観測した。2004年7月にはGは連続観測点に移行した。また、2004年9～12月の噴火活動後、初めての繰り返し観測を2005年9月に実施したところ、G3, G4の観測点は火山礫等により被災しており、ベンチマークが破損していた（Photo 2.2.1.2）。ベンチマークの支柱、あるいは礎石が傾いており、これらの観測点の座標を噴火活動前と比較することは困難となった。しかしG3及びG4は反射鏡を併設する観測点であり、噴火活動中においても山麓の軽井沢測候所から測定することが可能であった（2.2.1.2）。それによると、2004年11月14日の噴火活動で破損したことが推定されている。東京大学浅間山火山観測所の観測点であるG6とG7のアンカーボルトも火山礫の衝突によるものと思われる若干の傾きがあったが、東京大学によって補修され噴火後も引き続き繰り返し観測に使用することが可能になっている。

2004年9月から始まった断続的な噴火活動は同年12月に終了したが、火山の活動度は高い状態が継続したので、噴火停止後の山頂部の観測は2005年夏まで実施することが出来なかった。被災したG3とG4の代替点として、それらのほぼ中間地点に光波測距用の反射鏡を併設したG9（前掛山南東）を2005年8月に新設した。また、山頂周辺部の観測強化のために、火口の西方にG10（シェルター、山頂火口から西北西方向、0.5km）を新設した。その後、2005年9月に、噴火活動後、初めての繰り返し観測を実施した。

観測点の配置図を Fig. 2.2.1.1 に、観測点の詳細を Table 2.2.1.1 に、観測履歴を Fig. 2.2.1.2 に、観測点の写真を Photo 2.2.1.1f~p に示す。

基線解析結果

基線解析はKWSを参照点として、連続観測点（火山センターも含む）のデータも同時に用いて処理した。2000年9月～2001年6月の3回の繰り返し観測は、山頂火口から東方に3.7km離れた小浅間のG1のみであり、この間に有意な変動を認めることは出来ない。2002年7月の観測点強化後も、2004年4月までの5回の観測の間に有意な変動パターンは見られない。しかし、2004年4月から噴火活動直前の2004年7月までの3ヶ月では、山頂部を中心に放射状に膨張する明瞭な水平変動が観測された。高木・他（2005）は山頂火口直下約300mと海拔付近の二箇所に圧力源を置くモデルで、この観測結果を説明した。この変動は、その後始まった噴火活動に備えるための、マグマ蓄積過程であったものと考えられる（詳細は、2.2.2を参照）。

その後、2005年9月と2006年4月に繰り返し観測を実施した。噴火活動をはさんだ2004年7月から2005年9月まで（期間a）と、噴火停止後の2005年9月から2006年4月まで（期間b）の水平成分の変位分布を Fig. 2.2.1.4 のaとbに示す。期間aのG8を除く観測点の水平変位量は1～15mmであるのに対し、G8は164mmと他の点に比べて顕著に大きい。期間bの変位量は1～11mm程度で、両期間とも変位分布から圧力源は山頂より北西側に予想される。そこで、観測された変位分布から、グリッドサーチ手法を用いての圧力源を推定した。期間aのG8の変位量は他の点に比べて顕著に大きかったが、この観測点のベンチマークの状況を噴火活動停止後に確認したところ、ボルトの保護皮膜のビニールテープが噴火活動に伴う熱により熔結し、また火口外側にはその一部が飛沫となった痕跡が認められたほかは、ボルトが火山礫等で被災した形跡は全く認められなかった（Photo 2.2.1.2c）。しかし、このベンチマークを設置した巨岩である通称千トン岩自体は1950年噴火で火口底から噴き

上げられた巨大な岩塊が火口縁上に落下したものであり、不安定な位置にあるため、圧力源による弾性変形以外の外力（たとえば噴火の圧力や、地震動）でバランスを崩して座標が変化した可能性も否定できない。よって、期間 a の圧力源推定には G8 の観測データを使用しないことにする。

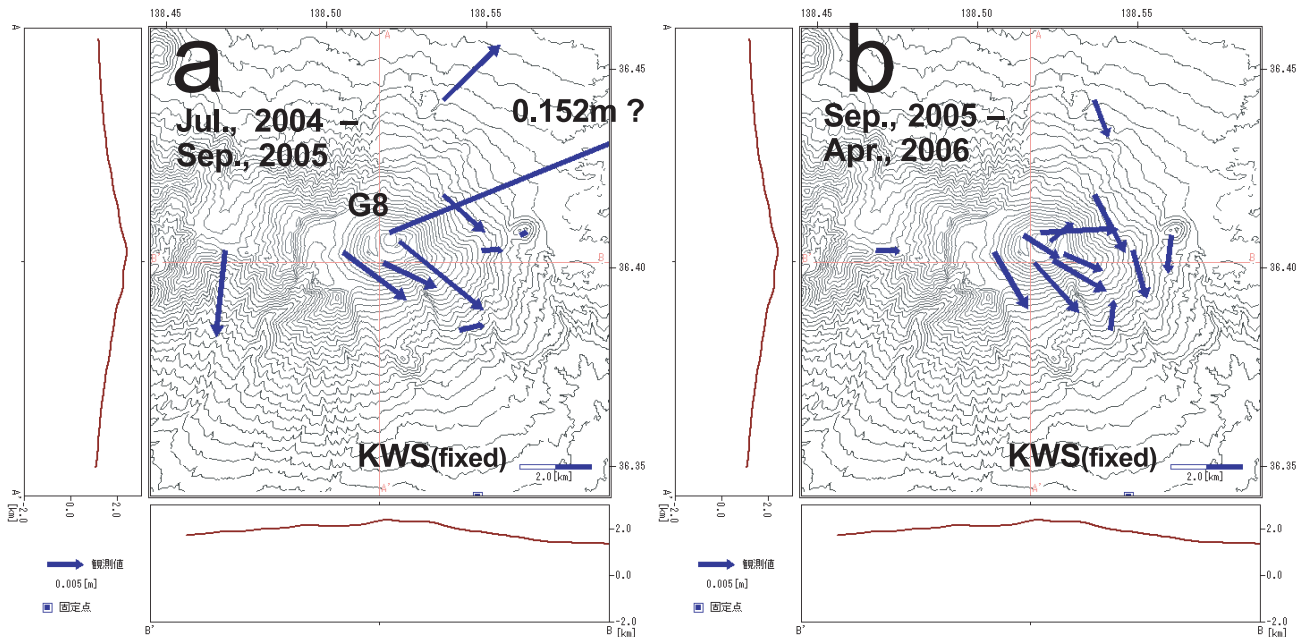


Fig. 2.2.1.4 Horizontal displacement vectors detected by repeating GPS measurements.
 a: 0.001 - 0.015 m of displacement was observed except G8, July 2004 - September 2005. Displacement of G8 was 0.152 m.
 b: 0.001 - 0.015 m was observed, September 2005 - April 2006.

ふたつの期間について、点力源モデル（茂木モデル）と開口割れ目モデル（岡田モデル）について最適値を求めた。期間 a では、岡田モデルの解は十分に収束せず、茂木モデルによる最適値の方が残差自乗和が小さくなった。圧力源は火口の北西5.4kmの海拔下1.1kmに決まり、体積変化量は $+9.00 \times 10^6 \text{m}^3$ となった。ここは、青木（2005）や村上（2005）が2004年噴火前に広域のGPS観測網で観測された変動による圧力源である開口割れ目の場所にはほぼ一致する。また、期間 b では岡田モデルによる最適値の方が残差自乗和が小さく求まった。圧力源のパラメータは、火口から西北西に4.6kmに中心を持つ、走向が東西で長さ2.8km、幅4.1km、上端の深さが海拔下1.7kmの垂直の断層面が0.23m閉じることで説明がつく。体積変化量は、 $-2.64 \times 10^6 \text{m}^3$ であった。Fig. 2.2.1.5にふたつの期間で推定された圧力源、及び観測値と計算値の変位分布を示す。また、Table 2.2.1.2に、求まった圧力源パラメータ、残差の標準偏差、及び各パラメータのグリッドサーチにおけるサンプリングを示す。

Table 2.2.1.2 Evaluated source parameters during Period A and Period B.

Parameter	Period-A	Period-B	Sampling
	Jul., 2004 - Sep., 2005	Sep., 2005 - Apr., 2006	
Source type	Point source	Tensile crack	
Latitude	36.43479N	36.41170N	0.1km
Longitude	138.47106E	138.47044E	0.1km
Depth	1.1km	1.7km	0.1km
Length		2.8km	0.1km
Width		4.1km	0.1km
Azimuth		270°(E-W)	1°
Dip		90°(Vertical)	Fixed
Open		0.23m	0.01m
Volume increase	$+9.00 \times 10^6 \text{m}^3$	$-2.64 \times 10^6 \text{m}^3$	
Standard deviation	0.00421m	0.00428m	

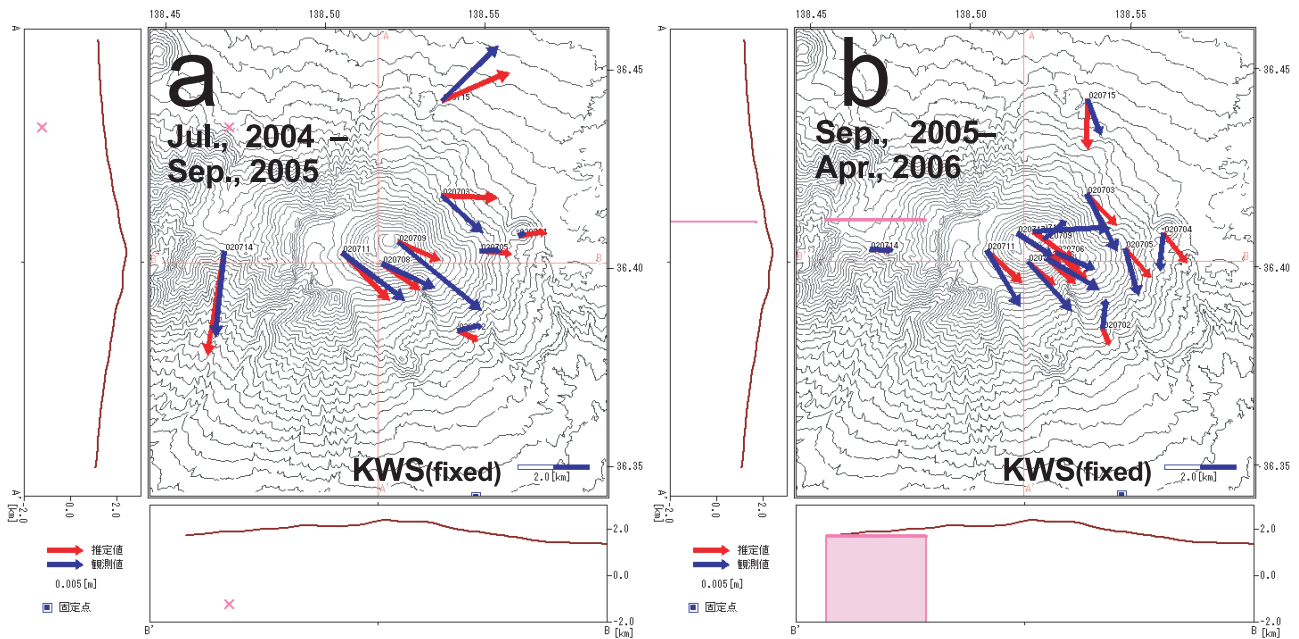


Fig. 2.2.1.5 Observed and calculated horizontal displacements and evaluated pressure source.
a: July 2004 - September 2005. b: September 2005 - April 2006.

2.2.1.2 光波測距観測

光波測距のための反射鏡は、GPS 繰り返し観測用のベンチマークに併設して、2002年7月に3点設置した (Fig. 2.2.1.1)。観測点は、浅間山の山頂部である釜山の南側を取り囲む前掛山であり、西から順に M1, M2, M3 である (それぞれ GPS 観測点の G5, G4, G3 にあたる)。それぞれ山頂火口中心部から約1000m 離れた位置にあり、いずれも山麓部から見通せる場所である。反射鏡はいずれも3素子 (ソキア社製の APS01) を設置し、南南東約7km の位置にある軽井沢測候所の方向に向けて設置した。

2004年の浅間山噴火活動中には、M2とM3が火山礫の衝突によるものと思われる被害にあった。M2は支柱を設置した転石が根元から砕かれ、3素子の反射鏡のうち2素子が破壊された。M3も3素子のうち2素子が破壊された。Photo 2.2.1.2a, b は、火山礫によって被弾した後、最初の観測で確認した観測点の様子である。これ以降、M2, M3の測距は反射光が弱くなったために測定能力が低下した。このため、噴火活動停止後の2005年8月5日に、M2とM3のほぼ中間地点の前掛山南東部にM4を新設した。これはGPS繰り返し観測点のG8と一致する。さらに、火口近傍の変化を捉える目的で、2005年9月16日に火口縁上にM5を新設した。これは、被弾したGPS繰り返し観測点G07を再生して、反射鏡を併設したものである。M4とM5はともに3素子反射鏡である。

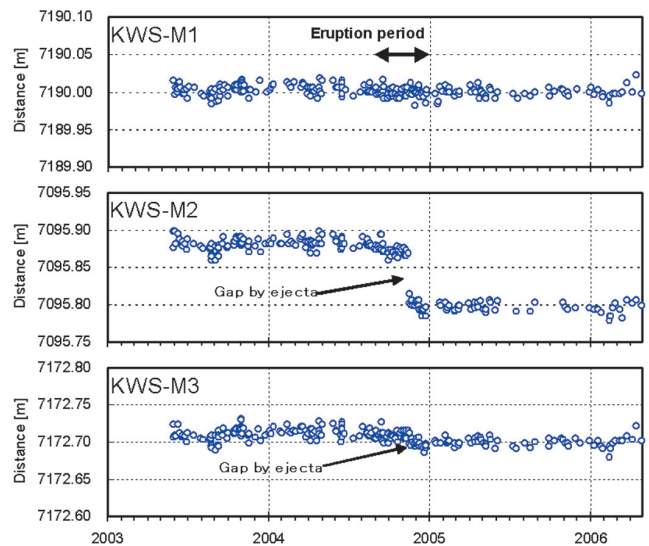


Fig. 2.2.1.6 Time series of slope distances by EDM. Anomalous gaps in November 2004 at M2 and M3 were due to the hitting of the ballistic ejecta on the reflectors during the November 14 eruption.

2.2.1.2.1 繰り返し観測

観測を開始したのは、反射鏡設置の約1年後の2003年5月からである。軽井沢測候所の測風塔に三脚を据えつけて、繰り返し観測の定点(KWS)とした。測距儀はジオジメーター社6000型(1周波型、変調周波数14.984651MHz)である。反射点が見通せる好天時に、三脚に測距儀本体を設置して繰り返し測距をおこなった。測定は年数回の出張観測以外は、ほとんど軽井沢測候所の協力により行われた。2003年5月から2006年4月までに248回の測定を実施した。2004年8月まではひと月あたり8回程の頻度で観測を行っていたが、2004年9月の噴火活動開始後は観測頻度を高め、月に平均約12回の観測を行った。2003年5月から2006年3月までのM1~M3のKWSからの斜距離変化をFig. 2.2.1.6に示す。なお、斜距離の大気補正は、気象庁格子点データによって補間する手法を用いて高精度に行った結果、測定誤差は従来の方法と比べ半分程度($\pm 10\text{mm} \rightarrow \pm 5\text{mm}$)に縮小されている(高木・他, 2005)。2004年11月14日に発生した中規模噴火による火山礫による被弾のために、M2とM3に2004年11月14日の前後で斜距離にジャンプがある。しかし、経路上での局所的な大気不均質の影響を完全に補正できていないために生じる誤差が時系列データに重畳しているために、その量は正確には読み取れない。このときの斜距離変化量を正確に求めるために、被弾していないM1の斜距離と、M2、M3の斜距離との相対差を求めた。機械点KWSからM1、M2、M3までの斜距離は約7kmあるのに対し、M1~M3は山頂部のほぼ同じ高さの1km以内に位置することから、機械点から反射点までの光波経路はいずれの測線でもほぼ同様の大気中を伝搬していると考えられる。よってM1との斜距離の相対差を求めることで、光波経路上での局所的な大気不均質の影響を相殺できる。Fig. 2.2.1.7にM1の斜距離に対する、M2及びM3の斜距離の相対差を示す。2004年11月14日を境により明瞭なジャンプが見て取れるようになった。その量はそれぞれ67mmと13mmであった。

このジャンプを補正し、また噴火後に設置した反射点M4とM5も加えた斜距離変化を示したものがFig. 2.2.1.8である。噴火活動が開始する2004年9月よりも前の、同年6月頃から斜距離の短縮傾向が見られ、それは噴火活動が停止した同年12月にほぼ停止した。短縮量はM2で最も大きく約20mmであり、M1、M3は10mm以下である。M2の観測点位置は山頂火口中心部と測距の機械点を結ぶ線上にあり、山頂部が放射状に膨張する変動をした場合に、期待される斜距離変化量が最も大きい観測点となる。これ以外の明瞭

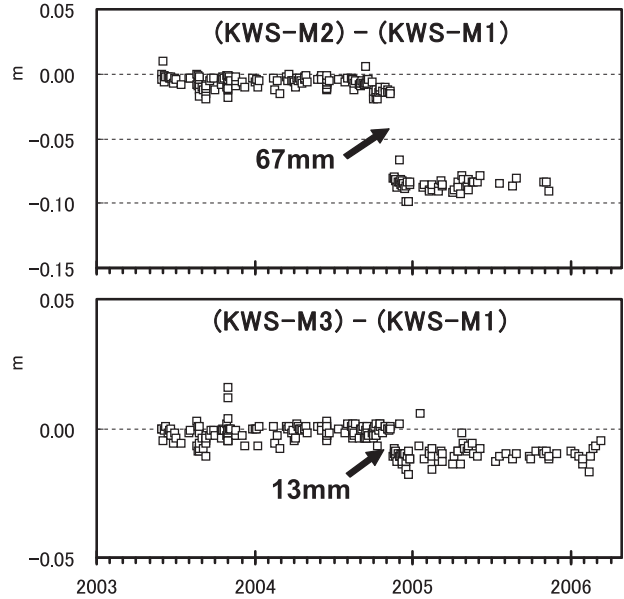


Fig. 2.2.1.7 Gaps clarified by differentiating from slope distance KWS-M1 without gap.

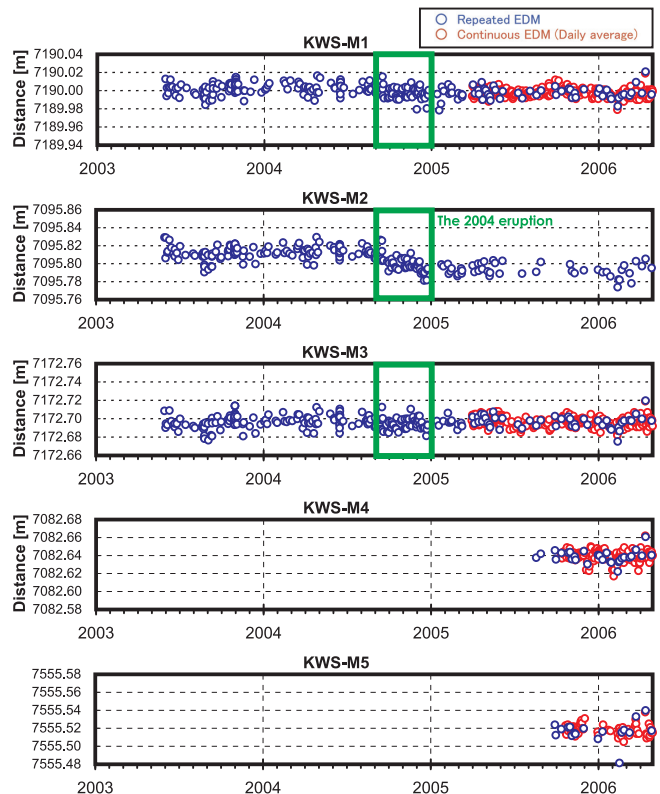


Fig. 2.2.1.8 Slope distance change detected by repeating and continuous EDM from May 2003 to April 2006. The green rectangle designates the active eruption period.

な山体変動はないが、斜距離が短縮傾向になる2004年の6月の前に、若干の伸張傾向があったようにも見えるが、その量は10mm以下であり、また測定頻度も十分でなかったために断定は出来ない。

2.2.1.2.2 連続観測

噴火活動中に光波の繰り返し測定を行うことで、山体変動を観測することに成功した。さらに時間的に高密度に測定できれば、変動の詳細を議論できる可能性があった。そこで2005年3月より連続観測を行うことにした。自動視準・自動追尾式のトータルステーションのライカ社製のTCRA1201・R300を使用した。観測装置は2005年3月30日に軽井沢測候所の遠望観測室に設置した (Photo 2.2.1.3)。機械点はこれまで手動により繰り返し観測を行っていた機械点のほぼ直下約5mに位置する。測距装置の計測はパーソナルコンピュータ (PC) で制御され、観測データはPCの中に保管・蓄積される。データは計測ネットワークサービス社製 DAMSYS ver 5.0によってデータ処理される。PCはブロードバンド回線 (光ケーブル) とつなげてサーバーの役割を持たせており、その処理結果をインターネット経由でウェブブラウザにより自由に閲覧できるシステムとなっている。また、データを任意にダウンロードすることも可能である。テキスト各パラメータ設定 (観測時間間隔等) もインターネット経由により遠隔操作が可能である。測距の時間間隔は、各反射点とも毎正時に行うよう設定した。ウェブブラウザで斜距離データを閲覧する画面を、Fig. 2.2.1.9に示す。

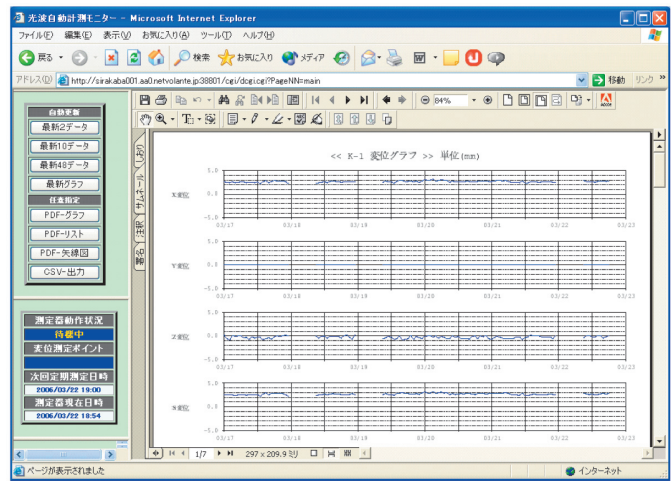


Fig. 2.2.1.9 Sample of the view displaying temporal variation of the slope distance.

観測開始時は山頂部に設置されたM1～M3の反射点3点を視準・測距した。このうち、噴火活動で被害を受けて反射鏡の素子数が減ったM2とM3のうち、M3は測距可能であったが、M2は測距不能であった。その後、噴火停止後に新設した反射点のうち、M4は8月10日から、M5は10月23日から、同様に測距を開始した。毎時データを1日分平均した斜距離変化を、連続観測を開始する以前から継続している繰り返し観測値と重ねて Fig. 2.2.1.8に示す。機械点の異なる繰り返し観測データと連続観測データを一致させるために、繰り返しデータの斜距離には連続データと整合するようにオフセット距離を加えた。その値はM1で0.856m, M3で1.008m, M4で0.951m, M5で0.913mである。連続観測開始後に、火山活動に伴うと考えられる変動は観測されていない。

2.2.1.2.3 溶岩湖形成時の荷重シミュレーション

噴火活動中の2004年9～12月には、繰り返し光波測距観測によって山頂部の地殻変動がモニタリングすることの成功し、約2cmの山頂部反射点の斜距離の短縮を観測した。噴火活動期間中には山頂部への接近は困難であり、山頂部の地殻変動のモニタリングは、我々の観測結果以外にはなかった。一方、人工衛星や航空機の観測によって、2004年9月中旬以降に火口底には溶岩が蓄積され始め、最大で火口底よりも100m程度高くなった (大木・他2005)。その標高は、前掛山に設置した反射点の標高2400mと同程度かやや上まわる。我々が捉えた測距結果の斜距離短縮を評価するためには、その溶岩湖の荷重による影響を検証しておく必要があった。

浅間山の火口内に溶岩が蓄積された場合、周辺の地殻変動観測点でどの程度の地殻変動が検出できるかを把握するため、有限要素計算 (Ansys ver. 7) により既存の地殻変動観測点 (GPS, EDM, 傾斜計) で期待できる変位量等を計算した。モデルの設定は Fig. 2.2.1.10のとおりであり、地表面の要素分割規模は、火口中央から1000m以内は一辺50mの正三角形、火口中央から1000m以遠は一辺250mの正三角形とした。ボリューム全体の形状

は、半径9 kmの正六角形の深さ10kmで、要素分割規模は火口中央から1000m以内の深さ2 kmの六角柱内は50~250m, それ以外は250~1000mとした。計算における拘束条件として、6つの側面と底面は全成分固定とした。大木・他(2005)によると、溶岩上面の高さは最大で、2004年10月22日に火口底の深さ約200mの半分近くの所にまで達し、噴出物体積は $2.1 \times 10^6 \text{m}^3$ となった。計算に用いた溶岩の荷重は、火口内に溶岩が火口縁いっぱいまで蓄積したものと等価となるように、地形に合わせて圧力勾配を与えた。各種パラメータは、火口内溶岩の密度を 2.5g/cm^3 、山体母岩の剛性率を $4 \times 10^{10} \text{Pa}$ 、山体のポアソン比を0.25とした。

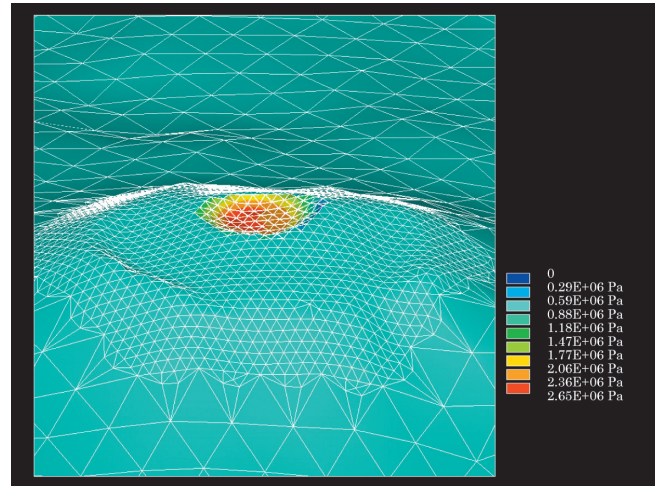


Fig. 2.2.1.10 Solid volume used for FEM calculation, and the pressure condition of the crater wall caused by the lava load in Asama volcano.

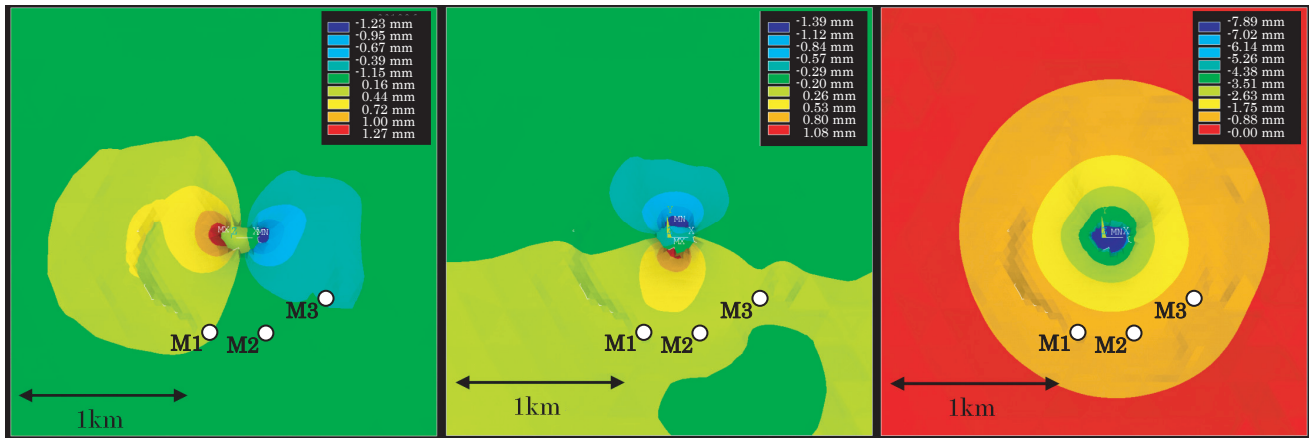


Fig. 2.2.1.11 Displacement patterns on Asama volcano caused by lava lake load, calculated by the FEM. a: EW. b: NS. c: UD.

計算結果は、Fig. 2.2.1.11の通りであり、周辺の変動パターンは、予想に反し火口縁近傍であっても山頂部膨張にはならず、収縮・沈降であり、しかもかなり微量であった。反射点で期待される斜距離変化量は、いずれの点でも1 mmに満たない。Table 2.2.1.3に各成分も含めた期待される変位量を示す。またC点を固定した時のE点の変位と、傾斜計A点とF点で期待される傾斜変化量もともに示す。

Table 2.2.1.3 Displacement or tilt caused by the lava lake load at several points calculated by the FEM.

Point	Displacement (mm)				Tilt (μ rad)	
	EW	NS	UD	Synthetic	EW	NS
Reflector M1	0.09	0.26	-0.91	0.95		
Reflector M2	-0.07	0.24	-0.94	0.97		
Reflector M3	-0.21	0.14	-0.80	0.84		
GPS point E fixed C	0.00	-0.04	-0.15	0.16		
Tiltmeter A					-0.92	2.13
Tiltmeter F					-3.40	-3.01

剛性率は地殻の典型的な値としたが、実際の火山体ではこれより小さい可能性があり、変動量はこれより大きくなる可能性もある。しかしながら、火口内に蓄積された溶岩による地殻変動量は、既存の観測網ではほぼ無視できるほど小さい。溶岩が火道の浅い部分を押し上げて上昇する際の応力による地殻変動の方がはるかに大きいものと思われる。噴火活動中の山頂部の膨張の山体変動は、火口下の圧力源で説明しなければならない。

(高木朗充)

謝辞

GPS 繰り返し観測は、気象庁火山監視・情報センターと補完的に実施し、データを共有させて頂いた。浅間山の研究観測においては、軽井沢測候所の多大な協力のおかげで成し遂げることができた。特に上田義浩氏、飯島聖氏には噴火活動中の多忙な時にもかかわらず、観測以外の全てにおいて深くお世話になった。この他、歴代の測候所長である斎藤進氏、中川正道氏、松田慎一郎氏をはじめ、高山仁志氏、井口泰志氏、堀部和秀氏、松村智之氏、佐藤義之氏、大井哲夫氏、小林松太郎氏、篠原善行氏、成戸健治氏にも協力を頂いた。東京大学地震研究所浅間火山観測所の小山悦郎氏には、観測点の使用の許可を頂き、また多くの助言を頂いた。また、古野電気 の笹栗邦敬氏には度重なる観測機器の障害に対し、迅速的確に対応して頂いた。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 青木陽介・渡辺秀文・小山悦郎・及川純・森田裕一，2002：2004-2005年浅間山火山活動に伴う地殻変動，火山，50，575-584。
- 藤原健治・田中圭介・北川貞之・潟山弘之・松島功・内田直邦・中禮正明・徳永規一・増成友宏，2002：有珠山周辺に展開した準リアルタイム GPS 観測システムについて，火山，47，695-698。
- 軽井沢測候所，2000：臨時火山情報第1号，浅間山，第1号。
- 気象庁，2000：平成12年9月地震・火山月報（防災編），17。
- 村上亮：GPS 連続観測結果が示唆する浅間火山のマグマ供給系，火山，50，347-361。
- 大木章一・村上 亮・渡辺信之・浦部ほくろう・宮脇正典，2005：航空機搭載型合成開口レーダー（SAR）観測による浅間火山2004年噴火に伴う火口内の地形変化，火山，50，401-410。
- 高木朗充・福井敬一・藤原健治・上田義浩・飯島 聖・山本哲也・坂井孝行・菅野智之・潟山弘明，2006：山体変動から推定される2004年浅間山噴火前後の浅部マグマ供給系，火山，50，363-375。

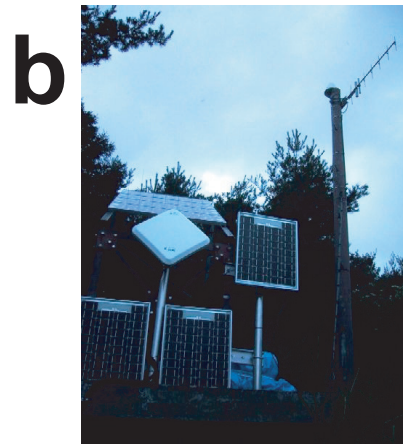


Photo 2.2.1.1 GPS observation sites. a: KWS b: C c: ONI d: E e: G f: G1 g: G2 h: G3.



Photo 2.2.1.1 (Continued) GPS observation sites. i: G4 j: G5 k: G6 l: G7 m: G8 n: G9 o: G10 p: G (Old).

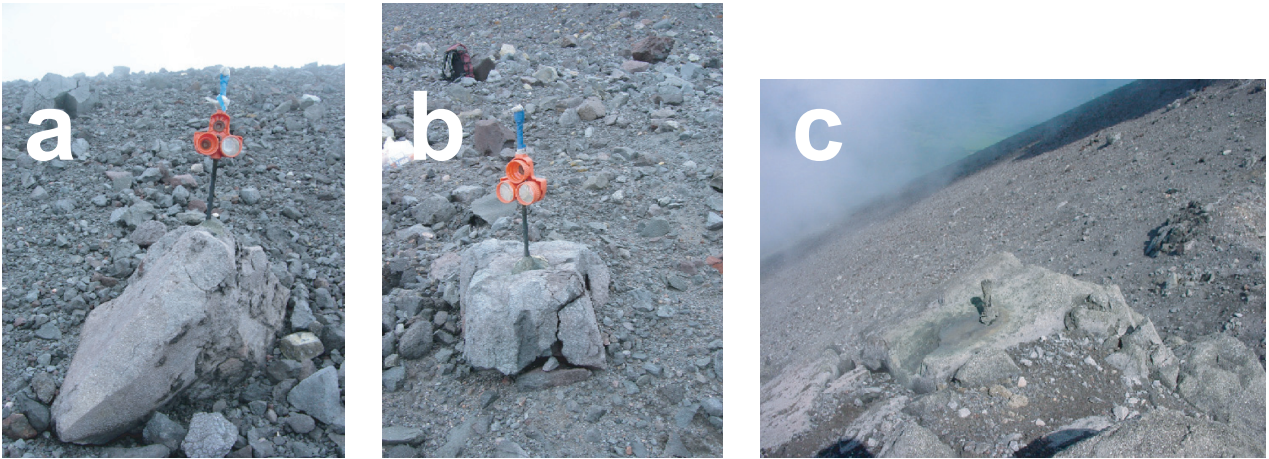


Photo 2.2.1.2 Destroyed GPS/EDM observation sites. a: G3. Two reflector elements were destroyed, and a pole was declined. b: G4. A reflector element and a cornerstone with a benchmark were destroyed. c: G8. Vinyl tape that covered an anchor bolt was melted by volcanic heat of the 2004 eruption.



Photo 2.2.1.3 Automatic EDM system installed at KWS for measurement of ground deformation at Asama volcano.