

Development of a laser ranging system
to observe deformation of a volcano

青木 哲郎、高部 政雄、水谷 耕平、板部 敏和

Tetsuo AOKI, Masao TAKABE, Kohei MIZUTANI, and Toshikazu Itabe

郵政省通信総合研究所光計測研究室

Optical Remote Sensing Section, Communications Research Laboratory
Ministry of Posts and Telecommunications

Abstract

We have developed a laser ranging system which can observe the topographical deformation of a volcano. This system measures the round-trip time of laser light emitted toward a target and reflected by the target and renders the three-dimensional topographical structure of a volcano with accuracy of approximately 30 cm. This system is useful for detecting the deformation of topographical features of volcanos where placement of a reflector is very dangerous. We briefly report the system design and preliminary field test results obtained at Bandai volcano.

1. はじめに

レーザー測距計は、レーザー光のパルスを目標となる物体に発射して反射光を受け、光が往復する時間を正確に測定することによって目標までの距離を正確に測定する測定装置である。特にコーナーキューブリフレクターと呼ばれるレーザー逆反射器が取り付けられた測地衛星を用いて行う衛星レーザー測距では、誤差1cmの高精度な測定がなされ、米国のラジオス、わが国のあじさいなどの測地衛星を使って大陸移動などの測地学的に重要な研究が続けられている¹⁾。この場合は逆反射器からの反射光はレーザーの特性そのままに幅の狭い光なので、高い測距精度を得られる。一方、測距を行うときの目標として自然の地面を用いた場合は、レーザーの進行方向に対する地面の傾斜や地面の凹凸具合などから反射光のパルス幅が広がり、測距の精度は約一桁悪くなる。しかし火山地域など、人間が逆反射器を持ち込むのが困難な場所などで地形を正確かつ高い空間分解能で観測する手段としては大変有効である²⁾。NASAやJPLなどでは航空機搭載のレーザー高度計（測距計）を用いて山体ジオイドなどの観測研究が実施されている³⁾。

われわれは、可搬型のレーザー測距計を開発し、この手法によって、山地の傾斜地までの距離を約30cmの精度で正確に測定し、山体の凸凹を表す画像を得ることに成功した。この装置の特徴と初期の成果について報告する。

2. 測定手法

測定手法の概念図をFig. 1にしめす。測定装置は経緯台式の架台の上に望遠鏡とレーザをのせたもので、短いパルス幅のレーザを対象とに向けて発射し、反射光を受信してその往復に要する時間 T を測定する。その山体までの距離 R は、光速度を c とすれば

$$R = \frac{cT}{2}$$

で表される。架台を動かしてレーザの発射方向の仰角と方位角を変え、山体をスキャンして距離 R を測定すれば山体の地形図を作ることができる。

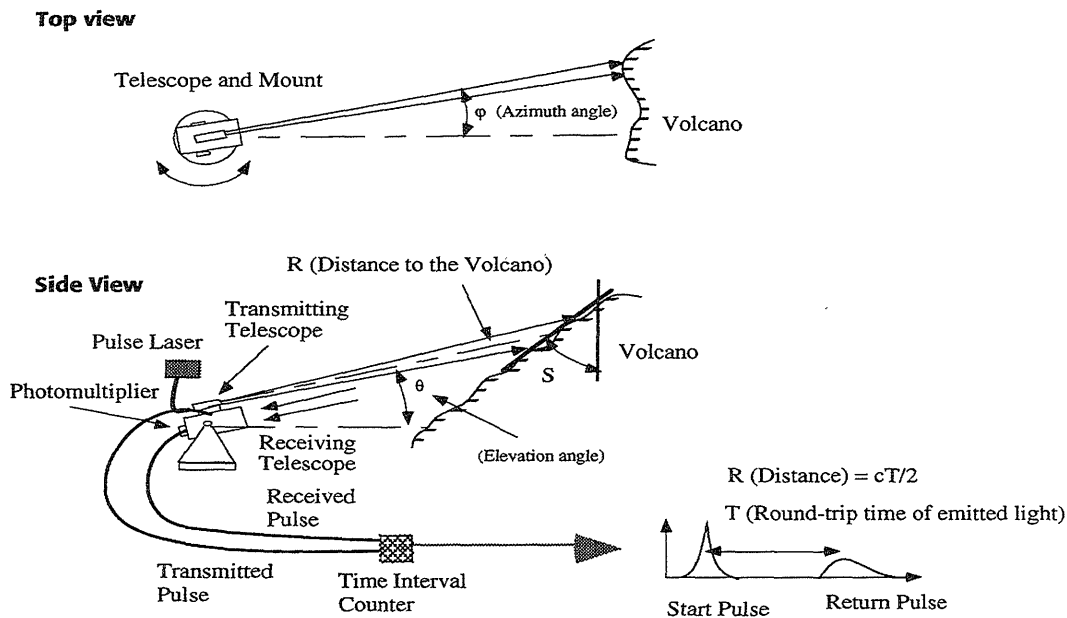


Fig. 1. Concept of the laser ranging scanning system

3. 測定装置

測定装置のブロックダイアグラムを Fig.2、外観図を Fig. 3、測定装置の諸元を Table 1 に示す。パルスレーザー源としては、Nd:YAG レーザの第 2 高調波が使われる。このレーザーの一部分は PIN ダイオードに導かれ、スタートパルスを発生し、タイムインターバルカウンターを起動する。残りの光は送信望遠鏡から対象に向けて発射され、目標物に向かって出ていく。目標物から反射してきた光は受信望遠鏡によって集光され、MCP 内蔵型のフォトマルで検出されて、タイムインターバルカウンターを止め、光の往復時間を測定する。この測定は 1 点につき 10 回繰り返され、往復時間をパソコン上で平均化して、架台にとりつけたエンコーダから読みとられる望遠鏡の向きの情報とともにハードディスクに保存される。

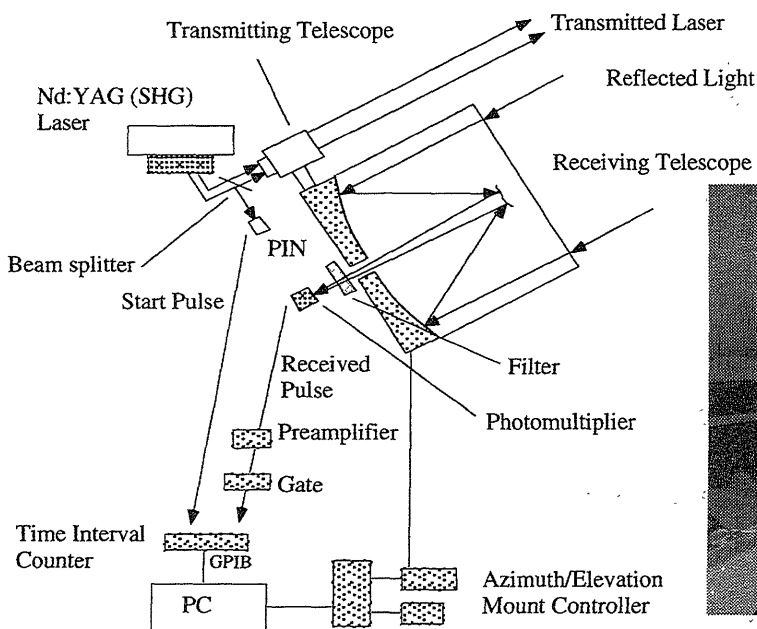


Fig. 2. Block diagram of the laser ranging system

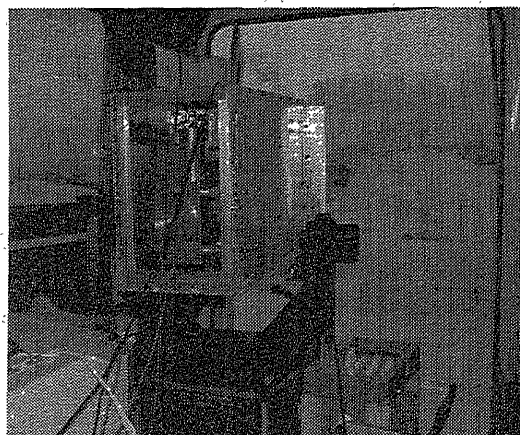


Fig. 3. View of the laser ranging system

Transmitting part	Laser	Nd:YAG/SHG(532nm)
	Power	150mJ
	Pulse width	5 nsec
	Transmitting telescope	7cm Galileo-type
	Laser footprint	1m @ 7km
	Beam divergence	0.2 micro radian
Receiving part	Receiving telescope	20cm Schmidt-Cassegrain
	Detector	HAMAMATSU MCP/PMT R2809U
	System total accuracy	3cm
	Angular resolution	0.005° (60cm @ 7km)

Table 1. Characteristics of the laser ranging system

4. 測定結果

無雪時の測定は94年5月16-20日にかけて福島県の裏磐梯において行った。裏磐梯は崩落の激しい岩場主体の山で、樹木が生えないためこの種の測定に適している。測定装置はジャッキで固定した大型のワゴン車に積まれ、できるだけ測定装置が振動しない状態にしてある。測定場所から磐梯山までの直線距離はおよそ7kmである。

距離測定の誤差をみつめるため、山体の斜面の7カ所について望遠鏡を1回ごとに動かして10回ずつ距離を測定し、その10回のばらつきを求めた。このばらつきは斜面の傾きに左右され、視線方向に対して垂直に近い測定個所についてはばらつきは小さく、水平に近い測定個所については反射光パルスの幅が広がるため、ばらつきは大きくなる。測定の結果、おおむね30cm程度の測定誤差で距離が測定できることがわかった。従って山体までの距離の時間変化を調べれば30cmより大きな山体変型を検出できることがわかった。

また晴天に恵まれた延べ2日間に渡り、角度ステップ0.01度(1.2m)おきに方位角で10度、高度角で0.4度の範囲に渡って測定を行った。Fig. 4はこの測定結果を、球座標系から直交座標系への座標変換によって地形図に変換した結果である。これは測定場所を基準として、距離にして6900mから7400m、横方向の長さにして1250m、高さで300mから400mの範囲に相当する。磐梯山の地形がきれいに捉えられている。

また95年3月17-21日にかけて、積雪時の測定を行った。残念ながら無雪時の測定場所が使用不能になっていたため、10mほど離れた場所から測定することになったが、その差を実測して補正し、測距計によって得られたデータから無雪時のデータを引き算することによって、雪の積もった厚みを検出することが出来た。これは、ちょうど実際の火山の変形をシミュレートしたことに相当する。30cmより大きな山体変形が検出できることが実証された。Fig. 5にその結果を示す。視線方向に5mから15m程度の雪の厚みがあることがわかった。

5. まとめ

今回の実験で30cm程度の誤差で山体変形が検出できることがわかったが、更に検出精度を高

めるためには、レーザービームの広がり最適化、送受信系の架台の高精度化・高安定化などが必要である。また、4度四方の測定に丸2日かかったため、更にシステムの高速度化が必要である。

今後は雲仙普賢岳、大島三原山などの火山において固定観測ステーションを設けて検証のために観測を行い、実際の地形変動を捕えられることを確認したい。

6. 参考文献

- 1) J.J. Degnan : "Satellite laser ranging : Current status and future prospects", IEEE Trans. Remote Sens., GE-23, (1985) , 398
- 2) EOS Instrument Panel Report, Vol IId, LASA, NASA, (1987)
- 3) J.L. Bufton : "Laser altimetry measurements from aircraft and spacecraft", Proc. IEEE, 77, 3 (1989) , 463

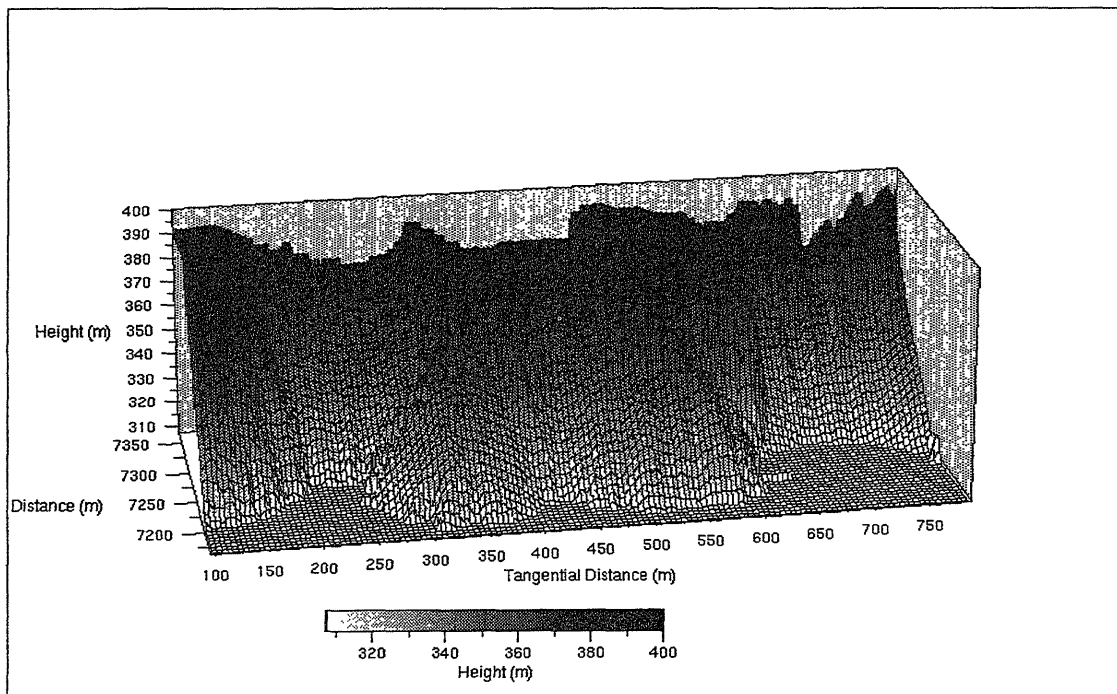


Fig. 4. Part of the measured topographical structure of Mt. Bandai

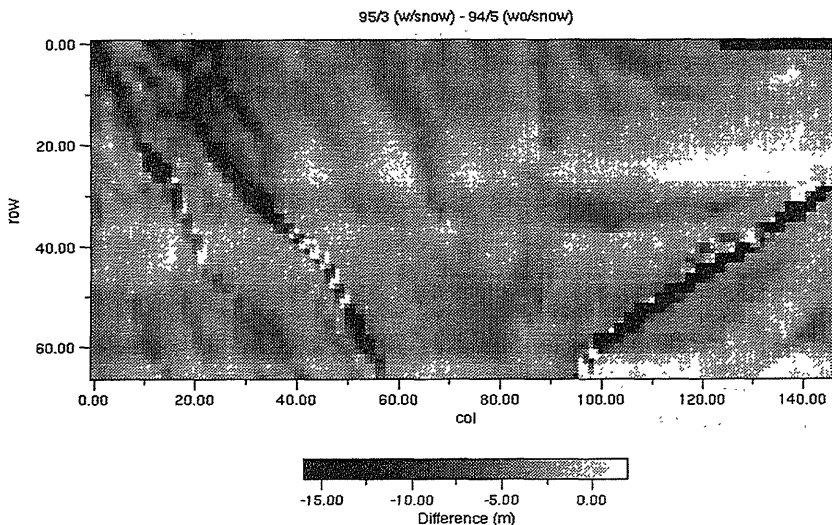


Fig. 5. Thickness of the measured snow on Mt. Bandai