

## レーザー測距儀による気温の測定

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-01-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新妻, 信明, 西田, 光二, 水藤, 尚, 武田, 浩 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.14945/00000340">https://doi.org/10.14945/00000340</a>

## レーザー測距儀による気温の測定

新妻信明<sup>1</sup>・西田光二<sup>1</sup>・水籾 尚<sup>1</sup>・武田 浩<sup>1</sup>

### A new use of laser ranging for air temperature measurement

Nobuaki NIITSUMA<sup>1</sup>, Kouji NISHIDA<sup>1</sup>, Naoshi SUITO<sup>1</sup> and Hiroshi TAKEDA<sup>1</sup>

**Abstract** Laser ranging has been carried out from the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University in the Udo Hills (105.83 m in altitude) to the Advertising Tower of Tokai University on Yatsuyama Hill (108 m in altitude and 3708.568 m from the Crustal Activity Observatory) and the Microwave Relay Antenna of NTT on Yambara Hill (448 m in altitude and 10552.989 m from the Crustal Activity Observatory). The ranging was done 4 times for intervals of 24 hours of continuous manual measurements in April and May 1995, and automatic measurements at 10 minute intervals from January to March 1996. Autoranger JX, manufactured by Rokuoh Precision, Inc., was used for the laser ranging.

The average distance and standard deviation was obtained for the set of 10 measurements. The confidence limits of 67% for the average distance,  $D_s$ , are  $1 \pm 0.8$  mm. The meteorologic correction to obtain the real distance,  $D$ , from the measured distance,  $D_s$ , is formulated as follows.

$$D = D_s + D_s \times (310.0 - (106.339 \times P - 15.026 \times E) / (273.15 + T)) \times 10^{-6}$$

where,  $P$ ,  $E$  and  $T$  are air pressure in mmHg, vapor pressure of air in mmHg, and air temperature in  $^{\circ}\text{C}$ , respectively. The corrections for temperature, pressure and humidity are  $4 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$ ,  $1.4 \text{ mm}/10 \text{ mmHg}$  and  $0.3 \text{ mm}/10\%$ , respectively. The meteorologic correction should be done on the laser path in the sky. The correction for vapor pressure is not significant compared with the confidence limits of ranging, and the pressure on the laser path can be estimated with sufficient accuracy from the pressure measured on the surface. However, it is difficult to estimate the temperature on the laser path with an accuracy better than  $0.2^{\circ}\text{C}$ .

If the real distance  $D$  does not change, the temperature on the laser path  $T_c$  can be calculate from the laser ranging distance,  $D_s$ , and the air pressure and vapor pressure measured on the surface using following equation:

$$T_c = (106.339 \times P - 15.026 \times E) / (310.0 + (D_s - D) \times 10^6 / D_s) - 273.15$$

The calculated temperatures  $T_c$  from laser ranging, air pressure and vapor pressure measured at the Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency were compared with the air temperature measured at the Shizuoka Meteorological Observatory. Stratification of the air column by solar radiation during day time and surficial cooling by radiation at night time were observed. Heat haze by surface heating from solar radiation was detected by the apparent cooler temperature of the laser path corresponding to a longer laser path and large standard deviation of the calculated temperature.

Laser ranging is thus a useful tool not only to detect crustal movement but also to measure air temperature on the laser path with an accuracy better than  $0.2^{\circ}\text{C}$ .

**Key words** : laser ranging, air temperature measurement, Kusanagi Fault

<sup>1</sup>静岡大学理学部地球科学教室. 422 静岡市大谷836.

<sup>1</sup>Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Oya, Shizuoka, 422 Japan.

## はじめに

静岡大学の立地している有度丘陵は、草薙断層によって静岡の旧市街地を含む北側から分断されているが、この断層は1935年にM=6.4の地震によって死者9名、全壊家屋814の被害を与え、1993年にもM=4.2の地震を起こしている(新妻, 1995)。有度丘陵の傾動速度や過去の東海地震などの被害状況から、この草薙断層は近い将来起こることが予知されている東海地震の際にも活動することが示唆されており、草薙断層の監視は重要な課題となっている。草薙断層の監視のためには、断層を挟んだ2地点間の距離を精密に測定・監視することが最も直接的な方法である。

静岡大学地殻変動観測所では2点間の距離を測定するためにレーザー測距儀(K&E社製レンジマスター)による精密測距を行ってきたが(檀原, 1981; 大野, 1985MS; 千葉, 1985MS; 平田, 1985MS)、レーザー測距儀の温度依存性が大きく、測定値の信頼性に疑問が残されていた(新妻・小田川, 1993)。さらに、このレーザー測距儀はHe-Neレーザー発振管を用いており、その発振管の寿命が短い上に、製造中止となっているために連続観測による常時監視を行うことは困難であった。また、レーザー測距によって2点間の距離を精密に求めるためには、空気中の光の速度に影響を与える気温・気圧・湿度についての補正が必要であるが、これらの気象補正を施した後も測定距離のばらつきは大きく、地殻変動観測のためのレーザー測距は、近年余り行われなくなってきている。

このような状況であるが、草薙断層の測定・監視は緊急かつ重要な課題であるので、常時レーザー発振可能な半導体レーザーを用いたレーザー測距儀を1994年度の静岡大学プロジェクト研究経費によって購入し、静岡大学地殻変動観測所と谷津山および山原に設置さ

れたレーザー測距用反射鏡間の精密測量を実施し、気象補正について検討したのでその結果を報告する。

## 使用機器

本研究に使用したレーザー測距儀は、六桜精密社製オートレンジャーJXであり、Ga-Asレーザーダイオードにより赤外レーザー(波長780nm, 最大出力3mW, 測定時出力0.5mW以下)を発振し、測距能力14kmを有する。計測結果を出力するRS232-C端子を備え、計算機への測定値自動取り込みも可能である。測距用同期発振周波数は14.984980MHzであり、この周波数を測定するための端子を備えている。このレーザー測距儀を静岡大学地殻活動観測所内の整準台(標高105.83m)に設置し、測定に使用した(写真1, 2)。

レーザー反射鏡には、直径6cmの測器社製レーザー反射プリズム3素子を1組として使用し、ガラス窓付き配電箱内に取り付け、その配電箱を塔柱に固定した(新妻・小田川, 1993)。谷津山においては標高108mの東海大学の宣伝塔(旧NHKの放送塔)、山原においては標高448mのNTTのマクロウェーブ中継用塔に固定した(図1, 写真3, 4, 5)。

## 測定

静岡大学理学部地球科学科の地殻物理実験において、谷津山と山原を交互にレーザー測距する24時間連続観測を1995年4月28・29日、5月13・14日、19・20日、28・29日の4回実施し、542の測定値を得た。その際、地殻活動観測所において気圧は水銀気圧計、乾球温度と湿球温度はアスマン通風湿度計で測定した。

1996年1月からは、オートレンジャーJXの出力をRS-232C回線を通して取り込み自動測定を行うためのソフ

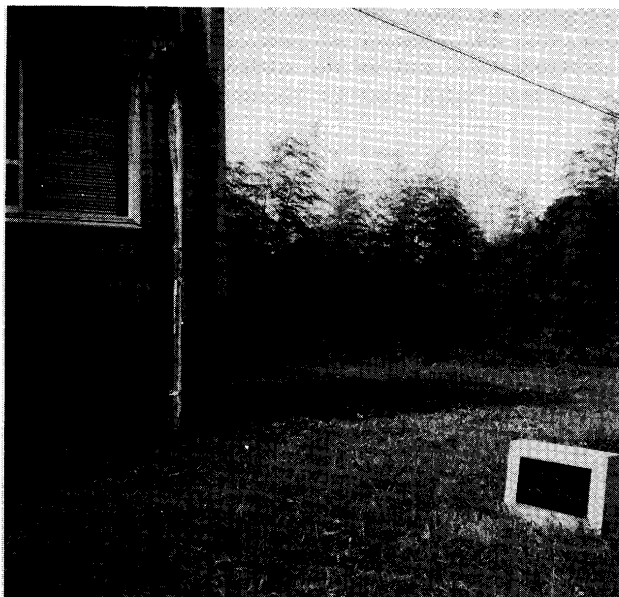


写真1. 静岡大学地殻活動観測所。  
Photo 1 Crustal Activity Observatory of Shizuoka University.

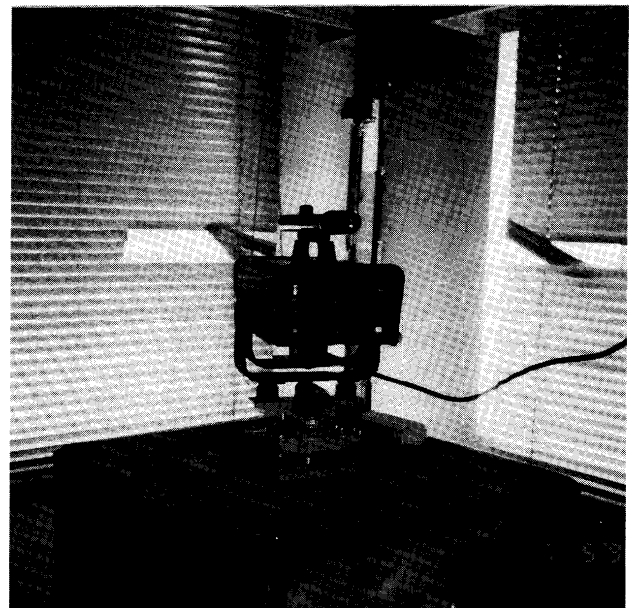


写真2. 静岡大学地殻活動観測所内に設置されたレーザー測距儀オートレンジャーJX。  
Photo 2 Auto-Ranger JX set on a pillar at the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University.



図1. 位置図.

SC: 静岡大学地殻活動観測所, YT: 谷津山, YB: 山原, SM: 静岡地方気象台, SP: 草薙断層.

Fig. 1 Index map. SC: Crustal Activity Observatory of Shizuoka University in the Udo Hills, SM: Shizuoka Station of the Japan Meteorological Agency, YT: Tower of Tokai University on Yatsuyama Hill, YB: Antenna of NTT on Yambara Hill, SP: slide plane of the Kusanagi Fault.



写真3. 静岡大学地殻活動観測所から見た谷津山の東海大学宣伝塔。  
Photo 3 View of the Advertising Tower of Tokai University on Yatsuyama Hill from the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University.

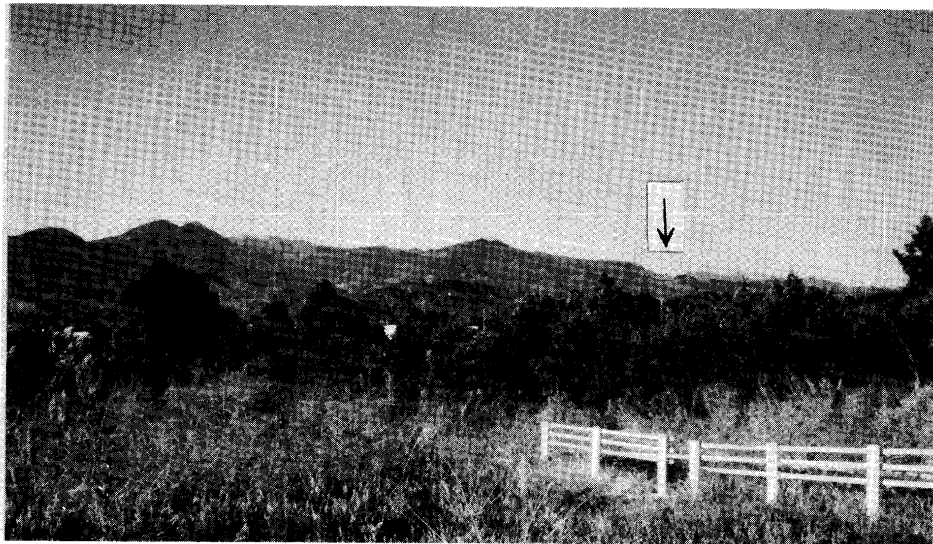


写真4. 静岡大学地殻活動観測所から見た山原のNTTマイクロウェーブ中継塔。  
Photo 4 View of the Microwave Relay Antenna of NTT on Yambara Hill from the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University.

トウェアを開発し、ノート型パーソナルコンピュータを用いた10分毎の自動測定を行い、349の測定値を得た。

これらの測定においては、10回の測距を行い、平均値と標準偏差を算出し、1測定とした。標準偏差から求めた平均値の67%信頼限界は、 $1 \pm 0.8\text{mm}$ であった。

距離測定のための同期用発振器の周波数を測定した結果、周波数測定器（岩崎通信 SC-7201）の測定精度内で一致しており一定であった。

#### 気象補正

大気中の光の速度は気温 $T^{\circ}\text{C}$ 、気圧 $P\text{mmHg}$ 、水蒸気圧 $E\text{mmHg}$ によって変化するために、レーザー光の往復時間を測定して求められる距離 $D_s$ についてこれらの気象補正を行って距離 $D$ を算出する必要がある。補正に用いる式は、

$$D = D_s + D_s \times \left( 310.0 - \frac{106.339 \times P - 15.026 \times E}{273.15 + T} \right) \times 10^{-6} \quad (1)$$

である。気温 $T^{\circ}\text{C}$ における飽和水蒸気圧 $E_{ws}$ は、

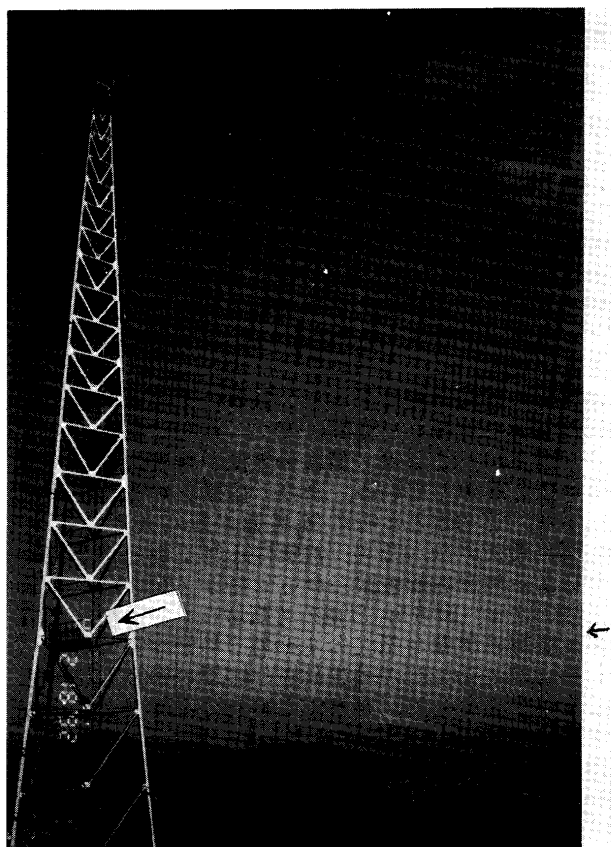


写真5. 谷津山の東海大学宣伝塔（旧NHK放送塔）に固定されたレーザー反射鏡を納めた配電箱。  
Photo 5 Electric wiring box, in which the mirror for laser ranging is set, put on the Advertising Tower of Tokai University (which had been used for broadcasting by NHK) on Yatsuyama Hill.



写真6. 山原のNTTマイクロウェーブ中継塔に固定されたレーザー反射鏡を納めた配電箱。  
Photo 6 Electric wiring box, in which the mirror for laser ranging is set, put on the Microwave Relay Antenna of NTT on Yambara Hill.

Tetensの実験式の係数を気温0-30℃の範囲で0.001 mm Hgの精度で合致するように求めた式

$$E_{ws} = 1704.8 \times 10^{7.105 \times (T-15) / (239+T)} \quad (2)$$

を用い、水蒸気圧Eおよび湿度Er%は、乾球温度T℃、湿球温度Tw℃、気圧PmmHgとして、

$$E = E_{ws} - 0.5 \times (T - T_w) \times P / 755 \quad (3)$$

$$Er = E / E_{ws} \times 100 \quad (4)$$

により算出した。

式(1)において、谷津山および山原と静岡大学間の距離(3708.568m, 10552.989m)を用い、15℃, 760mmHg, 50%を基準にして気温・気圧・湿度が測定距離に与える影響を算出した(表1)。気温1℃の変化に対して約4mmおよび約10mm, 気圧10mmHg(13hPa)の変化に対して約1.4mmおよび約4mm, 湿度10%の変化に対し約0.3mmおよび約1mm変化する。これらの気象要素の中で気温の影響が最も大きな影響を与えており、次に気圧の変化で、湿度の影響は最も小さい。谷津山との距離を1mmの精度で測定するには、気温を0.2℃, 気圧を1mmHg, 湿度を50%より良い精度で測定しなければならない。

2点間の距離の正確な補正を行うためには、レーザー光の往復する光路に沿ってこれらの気象要素を積分した値が必要であるが、従来の光波測距においては、レーザー測距儀と反射鏡の位置において気象観測を行い平

均値を求めて補正を行っていた(須田, 1970; 木股・山内, 1981; 木股, 1984・1986)。また、気球などを用いた光路における気温の直接測定も試みられている(田島ほか, 1970; 平田, 1984MS)。光波測距儀によって1mm精度の平均距離は容易に求まるが、この精度で気象補正を行うためには、0.2℃の精度で光路の気温を測定する必要がある。水蒸気圧Eは補正に大きな影響を与えないので地表における値を使用しても問題なく、光路の気圧は地表で測定した気圧から比較的精度良く求めることができることから、測定された距離Dsと気圧P・水蒸気圧Eから光路の気温Tcを逆算する解析法を採用することにした。光路気温の算出には式(1)を変形し、

$$T_c = \frac{106.339 \times P - 15.026 \times E}{310.0 + \frac{D_s - D}{D_s} \times 10^6} - 273.15 \quad (5)$$

を使用した。ここでDは2点間の真の距離であり、変化しないものと仮定している。もし、Dが断層の動きによって変化すると、光路気温と実測気温との関係に系統的でしかも有意な差が出てくるはずである。光路気温が系統的に低くなった場合には、2点間の距離が伸長したことになる。



本研究では、谷津山下に位置する静岡地方気象台(図1)から公表されている気圧・湿度の毎時値を直線補間して測距時の気圧・湿度とし、式(5)を用いて光路気温を算出した。実距離Dは、1995年5月に実施した24時間観測の際に(図2b)、気温勾配が最も小さい早朝の測定値を使用し、光路気温と観測所における測定気温が一致していると仮定して求めた谷津山と山原の距離、3708.568m, 10552.989mを使用することにする。

光波測距儀による10回の測定から平均値と標準偏差を求めて1測定としているが、光路気温の平均値の67%信頼限界は $0.2 \pm 0.2^\circ\text{C}$ であり、気象台の気温観測と同程度の精度で上空気温が得られることになる。

## 測定結果

静岡地方気象台における気温 $T_{MA}$ と算出光路気温 $T_c$ の差を測定時刻について示すとともに、測定時の気象台気温 $T_{MA}$ を測定時刻について示す(図2, 3, 4, 5)。表示点の白黒および大きさは光路気温の標準偏差を表しており、黒が平均以下で白が平均以上であり、大きさが大きくなるほど平均より離れる。黒丸の大きさが大きいほど測定中のばらつきが少なく、白丸の大きさが大きいほど測定中のばらつきが大きいことを示している。1995年4・5月の24時間連続観測の結果を谷津山(図2)と山原(図3)に分けて示し、1996年1月から3月までの自動観測の結果についても谷津山(図4)と山原(図5)に示す。

いずれの測定結果においても昼間には光路気温よりも気象台気温が高くなっており、光路気温のばらつきが大きくなっている。1995年の連続観測では時刻による気温変動が類似しているために、光路気温の算出式(5)の妥当性を判断できないが、1996年の山原の測定においては(図5a)、測定時の気象台気温が異なるにも関わらず算出気温差がほぼ一定となっていることから妥当性が支持される。

## 光路と地表の気温差

一般に地表よりも上空の方が低温であるが、昼間には日射による地表加熱のためにその差は拡大する。しかし、冬季の夜間には放射冷却によって地表の方が上空よりも低温になり、逆転層が形成されることもある。このような気温の差は、標高106mの静岡大学地殻変動観測所から標高108mの谷津山を結ぶ光路気温、標高448mの山原を結ぶ光路気温、そして標高14.1mの地表で観測されている静岡地方気象台の気温との差として出てくるはずであり、その差を $0.2^\circ\text{C}$ の精度で実測できることになる。

1995年の連続観測によると、気象台気温は谷津山との光路気温に比較して昼間は高く、夜間に低くなっている(図2a)。これは、気象台気温が地表加熱の影響が強いことを示している。また、山原との光路気温に対しては、日の出とともに気温差が急に大きくなり、12時頃に最大となった後、次第に小さくなる典型的な日射による地表加熱曲線となっており(図3a)、気象台気温の変化(図3b)と極めて類似しているが、気温差の変動幅は気象台気温の変動幅の半分以下である。これは山原との光路が地表日射の影響が半減していることを示すと同時に、谷津山との光路は地表日射の影響を可成り受けていることを示している。

気象台と観測所との気温の日変化を検討するため、1995年の連続観測時の観測所と気象台との気温差を検討すると(図2b)、気温差は $\pm 2^\circ\text{C}$ の範囲に収まっており、日の出前の早朝に最小となる。日射の影響の最も大きな昼間においても気温差は広がらず、夜間よりもむしろ小さいことは、100m近い標高差が存在するにもかかわらず、地表日射の影響は殆ど同じであることが分かる。

1996年1月から3月は気温の変動が激しく、早朝に気象台気温が氷点下にまで下がったことがある(図4b)。その時の光路気温と気象台気温の差は気象台気温の低下とともに $5^\circ\text{C}$ まで拡大していることは(図4a)、光

表1 光波測距に及ぼす気温 $T$ ・気圧 $P$ ・湿度 $Er$ の影響。15 $^\circ\text{C}$ 、760mmHg、50%を基準として、谷津山(3708.568m)と山原(10552.989m)の測定距離を算出。Er=20%の場合は、 $T=15^\circ\text{C}$ 、 $P=760\text{mmHg}$ 、 $Er=20\%$ の測定距離である。

Table 1 Effects of air temperature  $T$ , air pressure  $P$  and humidity  $Er$  for laser ranging from the Crustal Activity Observatory to Yatsuyama and Yambara in meters.  $T=15^\circ\text{C}$ ,  $P=760\text{mmHg}$  and  $Er=20\%$  are used as standard meteorologic conditions, and the distances to Yatsuyama and Yambara are 3708.568 m and 10552.989 m. For example, in the case for which  $Er=20\%$  in this table, the measured distances to Yatsuyama and Yambara are shown in meters for the air condition of  $T=15^\circ\text{C}$ ,  $P=760\text{mmHg}$  and  $Er=20\%$ .

$T$ ( $^\circ\text{C}$ )	$P$ (mmHg) (hPa)	$Er$ (%)	
0	3708.515m 10552.839	745 (993)	
5	3708.495 10552.782	750 (1000)	
10	3708.476 10552.727	755 (1006)	
15	3708.457 10552.674	760 (1013)	
20	3708.439 10552.622	765 (1020)	
25	3708.421 10552.572	770 (1026)	
30	3708.404 10552.523	775 (1033)	
		3708.437m 10552.615 3708.444 10552.635 3708.450 10552.657 3708.457 10552.674 3708.464 10552.693 3708.471 10552.713 3708.478 10552.732	20 30 40 50 60 70 80
		3708.458m 10552.676 3708.458 10552.675 3708.458 10552.675 3708.457 10552.674 3708.457 10552.673 3708.457 10552.672 3708.457 10552.671	

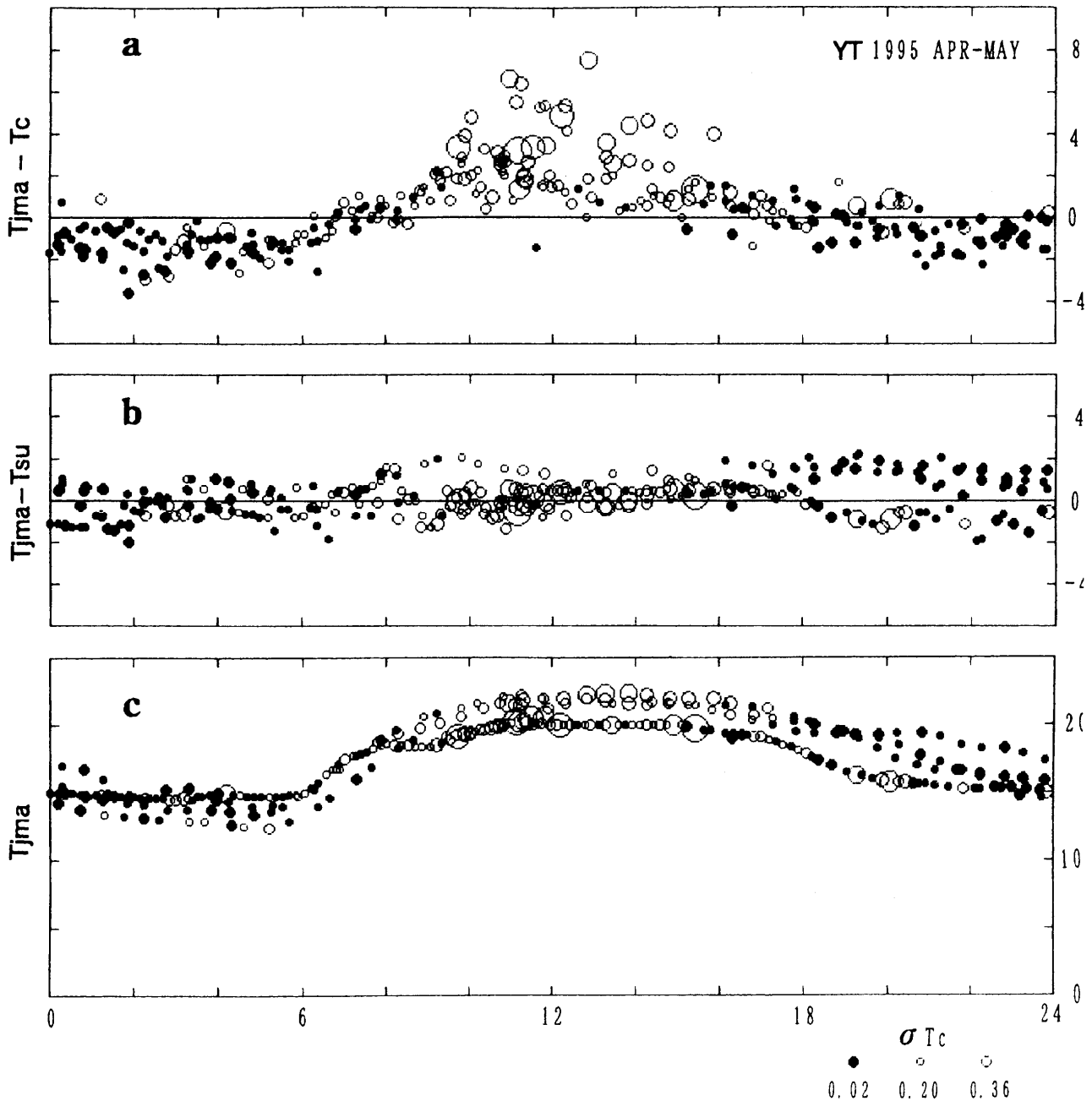


図2. 1995年4,5月の24時間連続観測によって静岡大学地殻活動観測所・谷津山間の測距から求められた光路気温と静岡地方気象台の気温の差 (a). レーザー測距時の地殻活動観測所と静岡地方気象台の気温差 (b). 静岡地方気象台における気温 (c). 横軸は時刻. 点の大きさは算出気温の67%信頼限界.

Fig. 2 Differences between the calculated air temperature of the laser pass for laser ranging and air temperature observed at Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency (a). Differences in air temperature between the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University and the Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency (b). Air temperature at the Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency (c). Horizontal axis corresponds to time in o'clock. The size of plotted points corresponds to 67% confidence limit of calculated temperature from laser ranging. The laser ranging was carried out from the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University to Yatsuyama Hill for 4 times for 24 hour continuous intervals in April and May 1995.

路気温はほぼ一定であったのに、地表は放射冷却によって気温が急激に低下したことを示している。

### 陽炎現象

昼間の日射による地表加熱によって陽炎現象が起こるが、その時には光が直進できず2点間の光路が長くなることが予測される。実際の光波測距によると、朝からの気温の上昇とともに測定距離が短縮して算出温度が上昇するが、陽炎現象の起こる昼間には測定距離



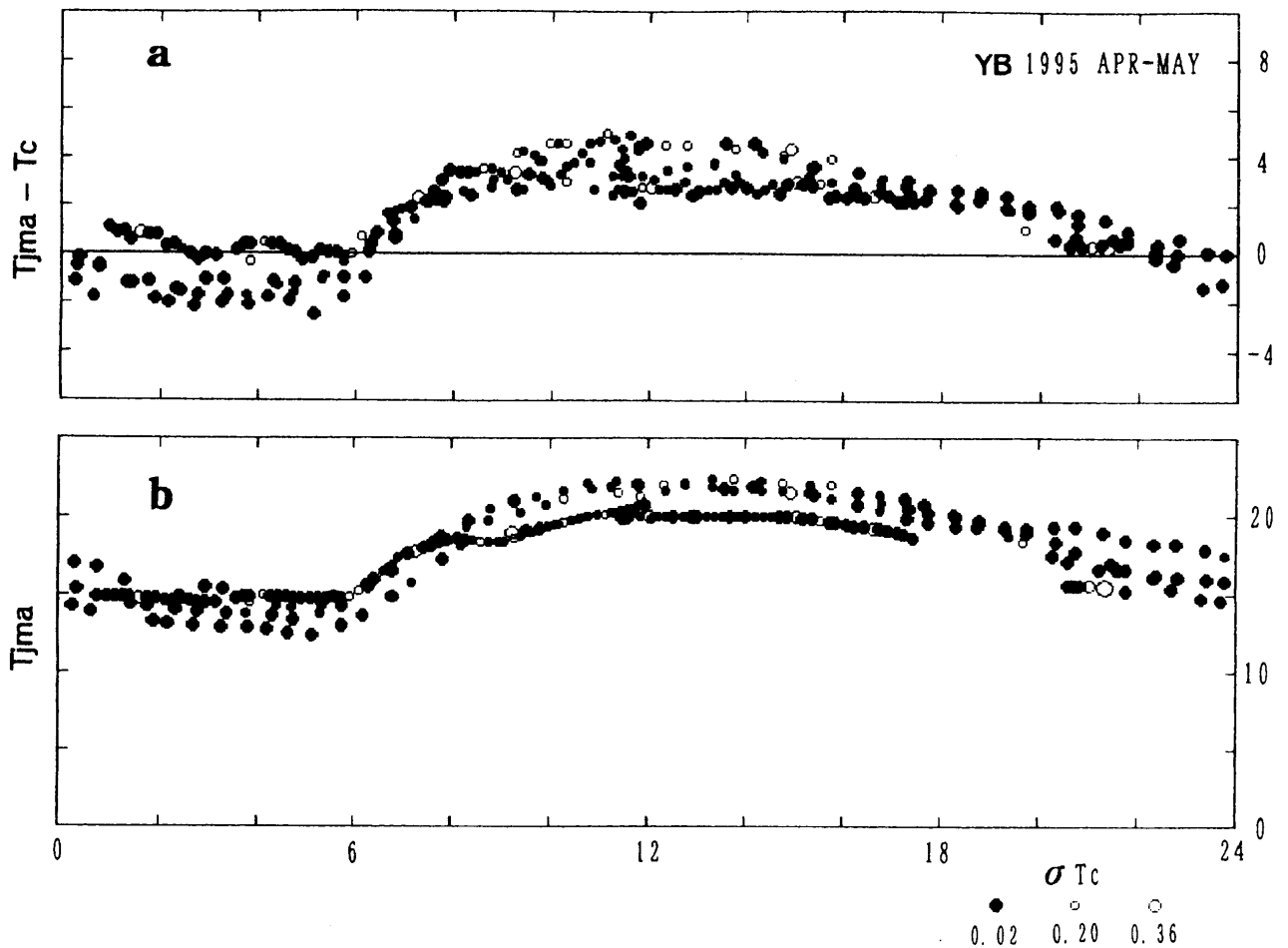


図3. 1995年4,5月の24時間連続観測によって静岡大学地殻活動観測所・山原間の測距から求められた光路気温と静岡地方気象台の気温の差 (a). レーザー測距時の静岡地方気象台における気温 (b). 横軸は時刻. 点の大きさは算出気温の67%信頼限界.  
 Fig. 3 Differences between calculated air temperature of the laser pass for laser ranging and air temperature observed at the Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency (a). Air temperature at the Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency (b). Horizontal axis corresponds to time in o'clock. The size of plotted points corresponds to 67% confidence limit of calculated temperature from laser ranging. The laser ranging was carried out from the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University to Yambara Hill for 4 times of 24 hours continuous intervals in April and May 1995.

が伸長するために算出気温の上昇をやめて低下する。気象台の測定気温と算出気温を比較すると、ほぼ一定に保っていた気温差は陽炎が起きる時間帯では大きく広がるとともに値がばらつく (図2 a, 図4 a)。図中の白丸の大きさは、算出気温を求めるための10回の測距値についての標準偏差の大きさを示しており、平均値がばらつくのみならず、光路の歪みが1測距毎の変動として捉えられていることを示している。これらの結果は、光波測距によって陽炎の影響が直接測定できることを明らかにしている。陽炎によって光路が短くなることはないので、測距値の最小値が真の距離に近いものとなるはずである。

陽炎の影響は、谷津山との光路に著しく (図2 a, 図4 a)、山原との光路において明確に現れていない (図3 a, 図5 a)。山原との光路においても陽炎現象が起きていることは、測距儀の照準用望遠鏡によって確認できるが、光路が上空で長いので、地表日射にともなう陽炎の影響が相対的に数分の一になっているものと予想される。

谷津山との光路における陽炎の影響は、光路気温に

換算して8℃にも及んでいるが (図2 a)、これを距離に戻すと30mmの伸長になり、角度に換算すると14'になる。望遠鏡によって観察される陽炎による像の歪みはこの角度よりもはるかに小さいことから、光は幾重にも屈曲して往復していることになる。

#### 光路温度測定の意味

近年の電子計算機の発達によって、地球上の大気の動きを流体力学の方程式を直接解くことによって算出することが定常的に実施され、天気予報に利用されている。この全地球大気モデルでは、実測した気温・気圧・湿度などを初期値として計算を開始し、計算結果と実測値と各段階で比較・更新しながら計算を進めている。この計算において用いられる実測気温としては、放射冷却や日射加熱の影響を強く受ける地方気象台など地表の気温測定値が用いられているが、地表気温よりもレーザー測距による数kmから10kmの光路の平均気温の方がより良いと考えられ、今後の検討が望まれる。

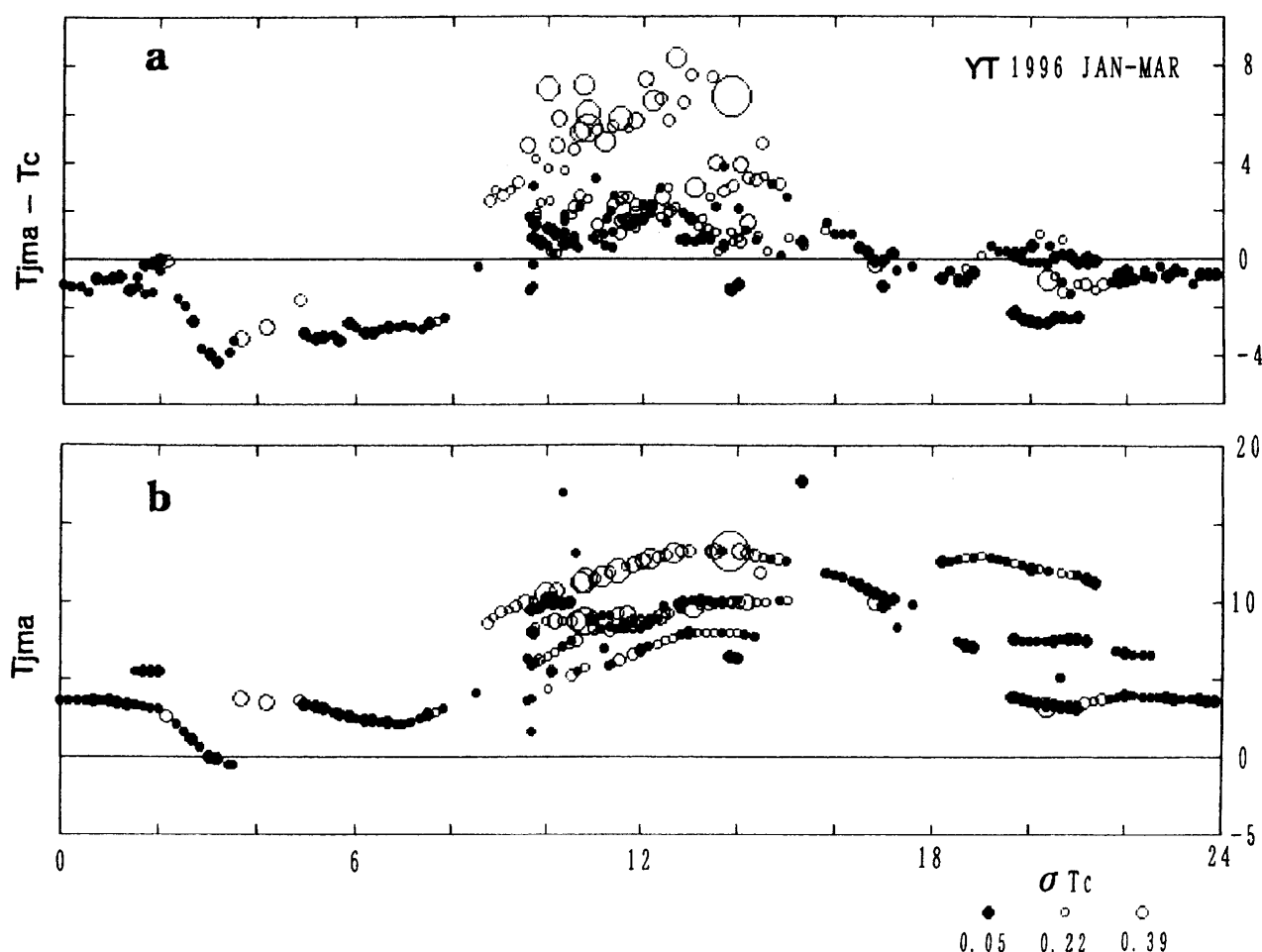


図4. 1996年1-3月の自動観測によって静岡大学地殻活動観測所・谷津山間の測距から求められた光路気温と静岡地方気象台の気温の差 (a). レーザー測距時の静岡地方気象台における気温 (b). 横軸は時刻. 点の大きさは算出気温の67%信頼限界.  
 Fig. 4 Differences between calculated air temperature of the laser pass for laser ranging and air temperature observed at the Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency (a). Air temperature at the Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency (b). Horizontal axis corresponds to time in o'clock. The size of plotted points corresponds to 67% confidence limit of calculated temperature from laser ranging. The laser ranging was carried out from the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University to Yatsuyama Hill during automatic measurements from January to March 1996.

レーザー測距から算出された気温と実測気温を常時比較し、その差が系統的に変動した場合には、測距機と反射鏡間の距離一定という気温算出の際の仮定が成立せず、地殻変動のために距離が変化していることを示しており、地殻変動を算出することができる。これまでのレーザー測距においては、地表に設置した測距機および反射鏡の位置における気温・気圧・湿度を用いて大気的光速度の補正計算を行い、距離を算出していたが、算出距離の変動が測距機の測定精度よりもはるかに大きいために使用されなくなってきた。本研究によって、この変動は光路気温の変動と陽炎による光路の屈折であることが明らかになったことから、レーザー測距機は、精密な距離測定機であるとともにこれまで測定困難であった大気の状態を実測できる優れた気象観測機器になり得ることが示された。測定光路を増やして、トモグラフィの手法を用いれば、上空大気より詳細な気温分布を算出することができるであろう。

レーザー測距機のレーザー受光部に太陽光が直接入射すると、受光部破損の恐れがあるために、太陽光が

入射しないように測距機は南側に反射鏡は北側に設置する必要がある。今後、測定の自動化、常時遠隔測定が可能になれば、全国規模の大気気温測定と地殻変動の監視に有力な手段となるであろう。

現在の自動測定においてはコンピュータによってレーザー強度調整スイッチを操作できないために、光路の霞や霧等によってレーザー透過度が変化するとレーザー強度が適正範囲を外れて、測定が中止されてしまい、手動によって再調整しなければ再起しない。完全自動測定のためには、コンピュータによるレーザー強度調整用のハードウェアおよびソフトウェアの開発が必要である。

#### 謝辞

NTT静岡ネットワークセンタの大山春男氏および藤原勝氏には反射鏡設置に関して種々便宜を計っていただいた。静岡大学理学部物理学科の三重野 哲氏には周波数計測器の使用に便宜を計っていただくとともに討論いただいた。静岡大学理学部地球科学教室の里村幹夫・鈴木 款氏には討論・査読いただき、R. Ross氏

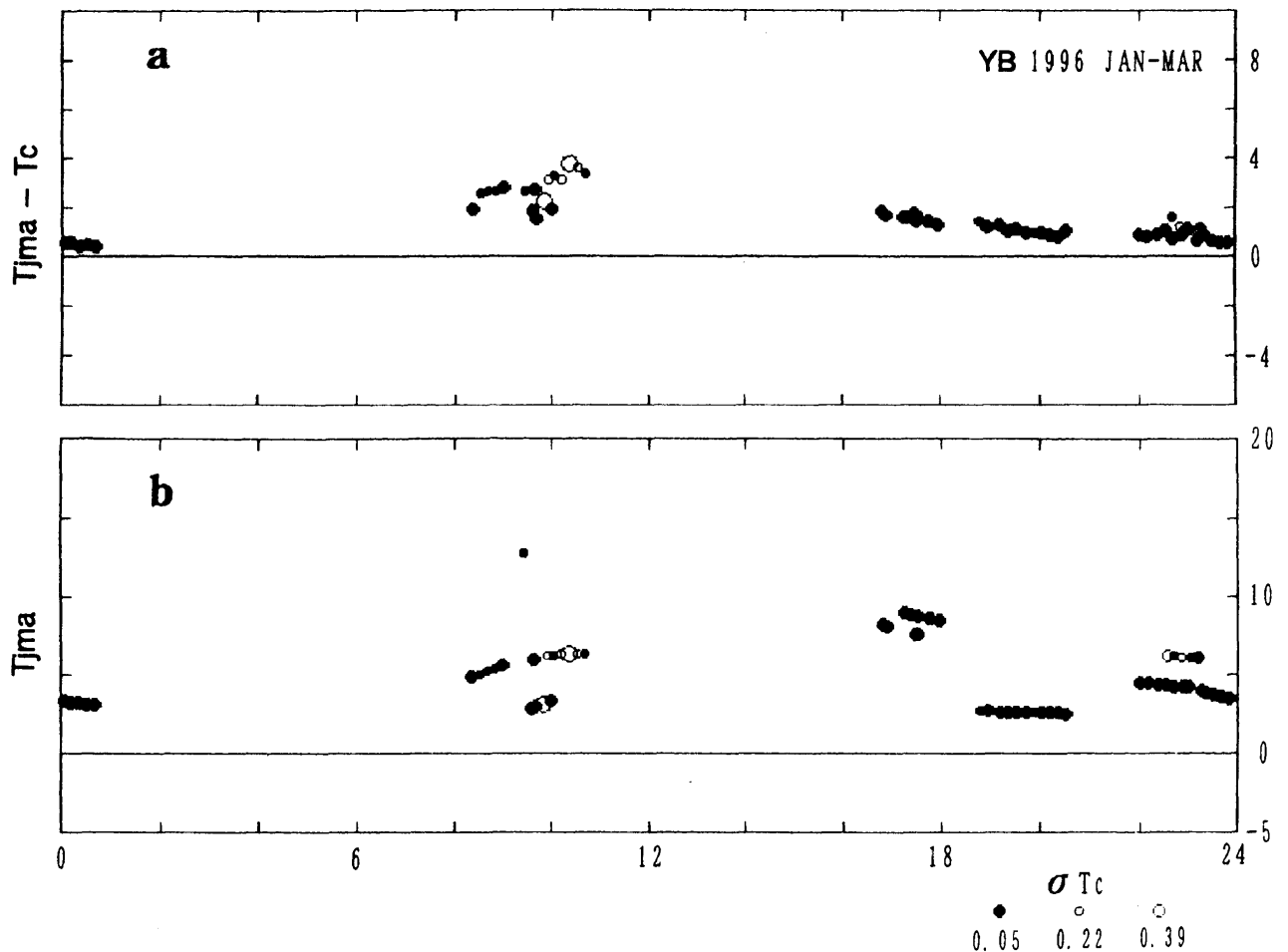


図5. 1996年1-3月の自動観測によって静岡大学地殻活動観測所・山原間の測距から求められた光路気温と静岡地方気象台の気温の差 (a). レーザー測距時の静岡地方気象台における気温 (b). 横軸は時刻. 点の大きさは算出気温の67%信頼限界.  
 Fig. 5 Differences between calculated air temperature of the laser pass for laser ranging and air temperature observed at the Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency (a). Air temperature at the Shizuoka Meteorological Observatory of the Japan Meteorological Agency (b). Horizontal axis corresponds to time in o'clock. The size of plotted points corresponds to 67% confidence limit of calculated temperature from laser ranging. The laser ranging was carried out from the Crustal Activity Observatory of Shizuoka University to Yambara Hill during automatic measurements from January to March 1996.

には英文を査読いただいた。

#### 引用文献

- 千葉哲也(1985), 高度差をもつ測線の光波測量における気象補正, 静岡大学理学部地球科学卒業論文, 107, 66p.  
 檀原 毅(1981), 静岡大学地殻活動観測所の概要. 静岡大学地球科学研究報告, 6, 25-34.  
 平田多加尚(1985), 低層気象と光波測距における気象補正—特に接地層—, 静岡大学理学部地球科学卒業論文, 111, 53p.  
 新妻信明(1995), 本州中部のテクトニクスと1993年の静岡の地震. 静岡大学地球科学研究報告, 22, 11-

22.  
 新妻信明・小田川信哉(1993), 谷津山—静岡大学間のレーザー光波測距. 静岡大学地球科学研究報告, 19, 35-44.  
 大野 裕(1985), 静岡大学周辺における光波測距測定に及ぼす気象的影響の研究, 静岡大学理学部地球科学卒業論文, 103, 60p.  
 須田教明(1970), 光波測距儀による距離測定における気象補正法に対する考察, 測地学会誌, 16, 137-147.  
 田島 稔・佐藤 裕・須田教明(1970), 光波距離測定気象補正(I)—係留ゾンデによる低層気温観測—, 測地学会誌, 15, 121-129.