

# 光波測量の温度補正と隔測精密温度計の開発

半田孝司\*

## Temperature Correction of Electro-optical Measurement and a New Precise Thermometer for Remote Measurements

Takashi HANDA\*

Precise atmospheric temperature measurements are important for the electro-optical measurement because the measurement is highly affected by changes in atmospheric temperature.

In this paper several measurements under various atmospheric conditions and those along two baselines of different topography are discussed in relation with temperature change. A precise thermometer for remote measurements has been newly devised for the continuous observation.

### 1. まえがき

光波測量は器械の急速な発達によってすでに一般化した。取扱いの簡単な便利な光波測距儀が内外で数10機種にも及び普通測量における精度も充分要求を満たしているといつてよい。しかし、地殻運動の場合には変形速度が平均  $10^{-13}/\text{sec} \sim 10^{-15}/\text{sec}$  位なので、このように非常に遅い速度の有意な変位量を数年ないし10年という比較的短かい期間にとらえるためには、 $1 \times 10^{-6}$  の安定した精度の測定が必要である。しかし、ジオジメーター等による中・長距離の精密測量では後述の測定値に対する誤差の影響などもあり、 $10^{-6}$  の精度を常時確保することは必ずしも容易なこととはいえない。

光波測量において測定精度を左右する要因には、機械固有のもの、光路の気象条件等による光波の屈折現象に起因するもの及び総合的な観測技術等に起

因するものがある。

現在の測距儀自身のもつ精度・安定性等について問題がないではないが、すでに述べたように(半田, 1976), この方は技術的限度までの検討を行った。当面する課題としては光波の屈折による誤差が重要な意味をもつものと考えられる。すなわち、測定光の通過する空間光路の媒質の屈折率をいかに補正するかである。

気象観測は距離測定と同時にを行うが、地形、距離等の地域的要因、温度の日変化に関する時間的変化の要因が大きく影響し、正確な把握は容易ではない。この誤差は普通、距離に比例した影響を与えると考えられ、しかも、温度は刻々と変化しているので、測距時の瞬間の温度を精密に測定することが肝要である。特に気温は $1^\circ$ につき測定距離の $10^{-6}$ の影響があり、最も大きい。

このことから筆者は、これまで光路の気温をよ

り正確に測定するために測器の改良工夫を試み、水銀温度計に代る隔測自記温度計の開発を行った。まだ改良の余地はあるが、精度の点で一応使用に耐えるまでになったので、本稿にその装置の概要と今までに得た若干の観測例について報告する。

光波測量の光路となる低層気象についての報告等は従来からあまりなされていないが、今後、この装置を始め関連した器機を用いて低層の気温の変化等に関する資料を得るための実験観測を行い、各種データの積み重ねによって、光波測量の精度を高めるための足掛りとしたい。

本稿を書くに際し、気象協会静岡支部から貴重な資料の提供をいただいた。また、日頃御教示を賜っている徳山明教授、吉田鎮男助教授、教室各位に謝意を表す。

## 2. 隔測温度計

気温の観測には従来から水銀温度計が使用されてきたが、隔測が困難であり、連続観測に向かない。しかも瞬間的な短時間の気温変化に対し感度が充分でない。しかし、水銀温度計は温度計としては標準として使用されるものであるから、後述のサーミスタ温度計の比較検定用には欠くことはできない。

レーザー光による測量では、光路の平均気温 $1^{\circ}\text{C}$ の誤差は測定距離 $1\text{ km}$ に対し $1\text{ mm}$ の誤差を与えると云われている\* (須田, 1971)。

実際の観測は通常、測距儀本点および、プリズム反射点付近の2点で行い両者の平均値を光路大気の気温として屈折率補正式\*に適用する。光路の中間部は一般に地上高が高く測定は困難である。また、測点付近は地形、植生等の雑影響もあって、この2点方法では測定光路全体を正確に補正することには無理がある。しかし、実用面から考えると、この近似的補正に頼る他はない。このことから気温観測には正確を期す必要があり、温度計の改良に当って隔測、連続自記ができ、かつ野外への持運びに便利な測器を考えた。

装置の概要：本装置(写真1)はサーミスタセン

サー部、メーター本体、記録計から成っている。センサーにはサーミスタを用いた。サーミスタは感度が良く、応答速度が大きく、隔測に適することなどから検温素子として従来から注目されながらも、精密性、互換性に欠け、ドリフトや経年変化に問題があるとされていた。最近は、この部門はかなり進歩し、充分使用に耐える素子が出現している。本機にはガラスビード形状のサーミスタ\*\*を採用し、保護と通風を兼ねて、これをアスマン通風乾湿計にセットし、

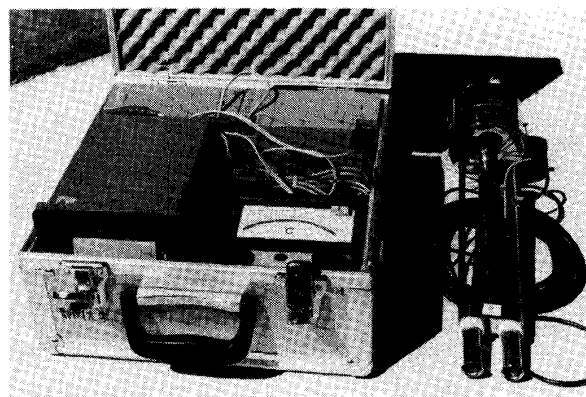


写真1 隔測温度計セットの概観  
(ケース外寸：36×36×18 cm)

測温管はモーター(乾電池作動、単 $2 \times 4$ 個)で強制通風を行う。通風量については定説がないようであるが、水銀温度計(感部の熱容量が異なるので)の場合( $2.5\text{ m/sec}$ 以上といわれている)にくらべ、いくぶん少なくともよいと考えられる。長時間連続使用したとき電池の消耗による回転数の減少があるので、次第に通風速度は遅くなるが経験的にはこの風量の違いは測定値にはあまり大きな影響はない。

サーミスタは電気抵抗が大きいためリード線を長くしても誤差が少ない特徴があり、実際の使用に当っては測点付近の立木などを利用して、地上から離れた位置に設置できるので、地表面の輻射等の雑影響をさけて測定するのに好都合である。リード線は本機では一応 $9\text{ m}$ としてあるが、さらに延長も可能である。

\* 測定距離 $D$ に及ぼす誤差 $\Delta D$ の近似式、 $\Delta D \div (\pm 0.0055 \Delta \lambda \pm 1.0 \Delta t \mp 0.4 \Delta P \pm 0.053 \Delta e) \cdot D \cdot 10^{-6}$

因みに、ジオジメーター700型の気象補正式は $\Delta D = \left( 308.6 - 107.9 \times \frac{P}{273.2 + t} \right) \cdot D \cdot 10^{-6}$ である。

$\lambda$  : 光波長  $t$  : 気温  $P$  : 気圧  $e$  : 水蒸気圧

\*\* 芝浦電子製 BT-20

増巾部及びメーター部を含む温度計本体\*は読み取り精度を高めるため、常用温度 $-5^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ の $50^{\circ}$ を3段切換えとし( $-5^{\circ}\sim 15^{\circ}/10^{\circ}\sim 30^{\circ}/25^{\circ}\sim 45^{\circ}$ )、最小目盛を $0.2^{\circ}\text{C}$ とした。トウトバンド式メーターは水平にセットすることに注意すれば、機械的強度が大きく、小型軽量(1kg)で携帯に便利である。電源は乾電池(単 $2\times 2$ , 3V)であるが消費電流が小さく(実測値で $0.8\text{mA}$ )、長時間作動させてもフルスケールのくるいがほとんどない。このことは記録計を接続するのに好都合である。

記録計\*\*には12VDCによって駆動する小型自動平衡式を採用した。有効巾75mmのロール記録紙(20m巻)には鮮明な黒色放電記録(インクレス)が得られ、取扱は簡単である。消費電流は作動中の実測値で $260\text{mA}$ 程度であり、やや大きく、乾電池では容量が不足するので、鉛蓄電池を使用することにした。電源電圧が $10.5\text{V}$ 以下になるとペンはハンチングを起し、記録も薄くなる。本記録計は本来組込用計器であるため、野外への携帯時の耐振性が若干問題となるが、現在までのところ異状は全く認められない。

前述の鉛電池\*\*\*は液漏れの心配が全くなく、フリーポジションで使える極めて便利な電池である。この電池の充放電特性は説明書によれば容量一杯で使用するとき、著しく寿命が短くなるので、必要容量に対し大き目の方がよいと考え使用している。また、この電池はジオジメーター本体の電源としても充分使用可能であるし、関連機器にも使用できるので都合がよい。ただし、1ヶ当りの電圧は $6\text{V}$ である。現在までのところ1組の電池で連続36時間の使用に対し、紙の送り、記録等に大きな支障はなかった。

この装置を約2年使用したが、時々行方水銀温度計との比較検定では良好な結果が得られている( $0.2^{\circ}\text{C}$ 以下)。メーター本体とサーミスタセンサーの互換性を確かめるために、手持ちの4台の温度計(メーター)に対し、交互にセンサーを差換えてテストを試みた。結果は指示値にほとんど差がなく( $0.1^{\circ}\text{C}$ 程度)、きわめて互換性能がよい。

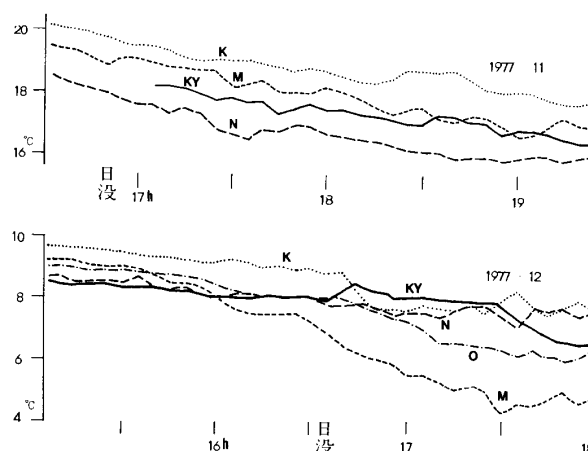


図1 小笠基線網における気温観測

K: 海戸 (標高8m, 河東山との距離3751m)  
 N: 中田原 ( " 96m, " 5241m)  
 O: 大石 ( " 44m, " 3560m)  
 M: 目木 ( " 25m, " 4697m)  
 KY: 河東山 ( " 104m)

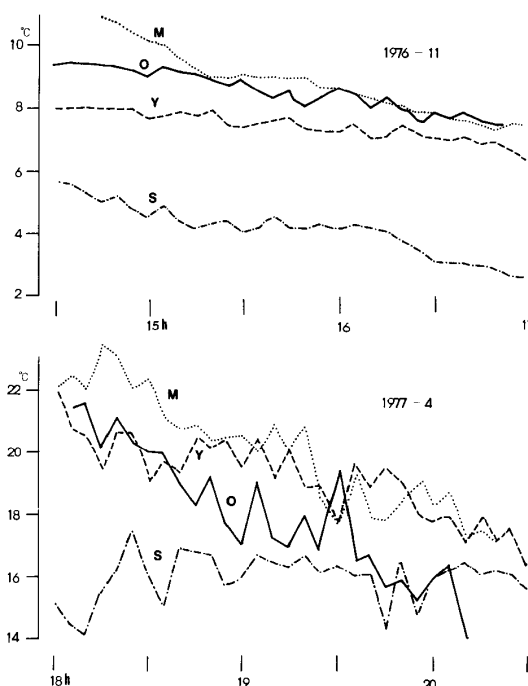


図2 身延基線網における気温観測

M: 身延橋 (標高215m, 帯金との距離 2877m)  
 Y: 山額 ( " 384m, " 2243m)  
 S: 三光堂 ( " 745m, " 2390m)  
 O: 帯金 ( " 234m)

\* 芝浦電子製MGA III 206

\*\* 三栄測器製コロナグラフ 8A31 (12VDC用)

\*\*\* GS, ポータラック PE20-6

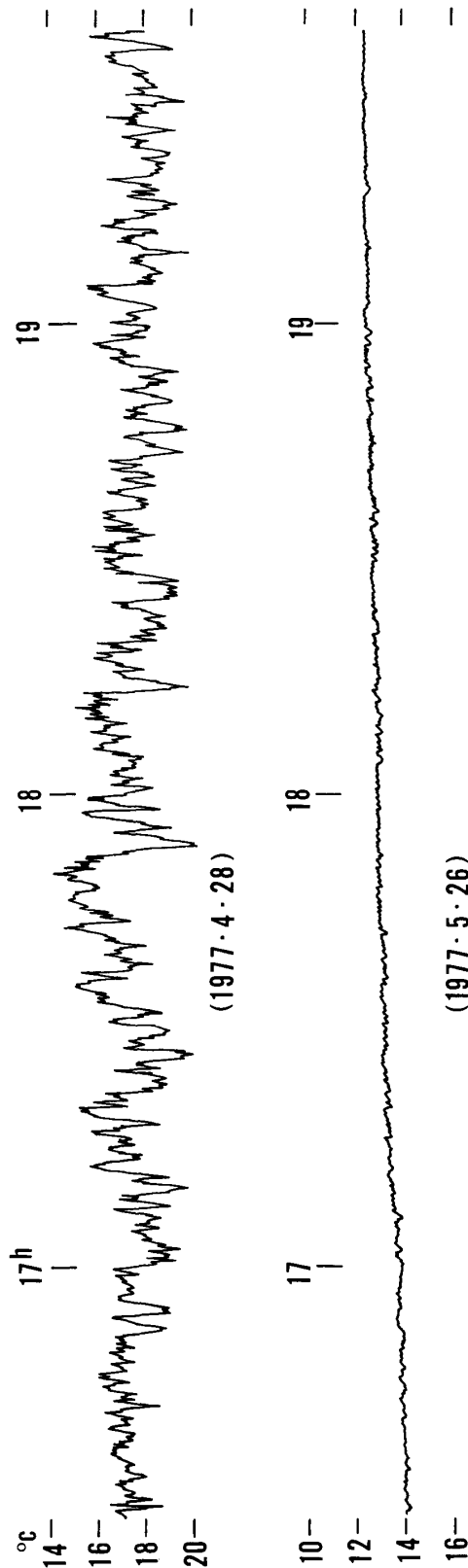


図3 隔測サーミスタ温度計の記録  
身延基線網, 三光堂測点 (標高 745m)

今後はこの装置をさらに携帯しやすい形に改良することを検討中である。

### 3. 低層の気温について

光波測量において測点及び反射点の少くとも一方は丘陵地や山の頂上付近, 山腹に置くことが多い。したがって, 光路の中間部分は地上高が数10m~数100mになり, 両端点のみの測温では必ずしも正確とは云えない。正確を期すには, この部分の温度も測りたいところであるが, 技術的には可能\*であっても, 現在のところ実用的な方法はないことはすでに述べた。現状では, 低層における気温の垂直勾配や分布の変化および特徴などを知ることが必要であるが, 地域的, 時間的の差異が大きいため, とらえにくいのが通例である。

このような複雑な気象状件を少しでも正確にとらえるには従来のような距離測定時のみの断片的気温観測ではなく, 本温度計の使用によって, 連続観測を行い, きめ細かな大気の状態変化をつかみ, さらにデータの積み重ねによって地域的, 時間的特徴を知る必要がある。また逆にこれらの特徴から, 光波測量に適したより良い観測方法を見出すことができるのではないかと考えている。

次にいくつかの観測例を示す。

図1は御前崎北西の小笠基線網における各測点の記録(前述の温度計による)を比較検討するために, 5分間隔でプロットしなおしたものである。図の上は風の強い晴れの天候であって, 各測点の気温の時間的推移の平行性がよく表われている。一方図の下はほとんど無風状態で時々薄日のさす曇りの天候であるが, 日没時付近を境に, それまで接近していた各測点の気温は各々の地形的特徴を表して, 気温の逆転現象がみられ温度差もかなり大きくなっていく。河東山本点および中田原点は, 平野部から突出した山頂地形のため, 気温の急激な変化がない。これに対し目木にみられるように山腹部の谷間では推移の変化は大きい。

図2は身延基線網における例を示す。この地域でも前記小笠地域と同様の現象がみ出される。各測点の比高が大きいため, 温度差も大きく, 例えば,

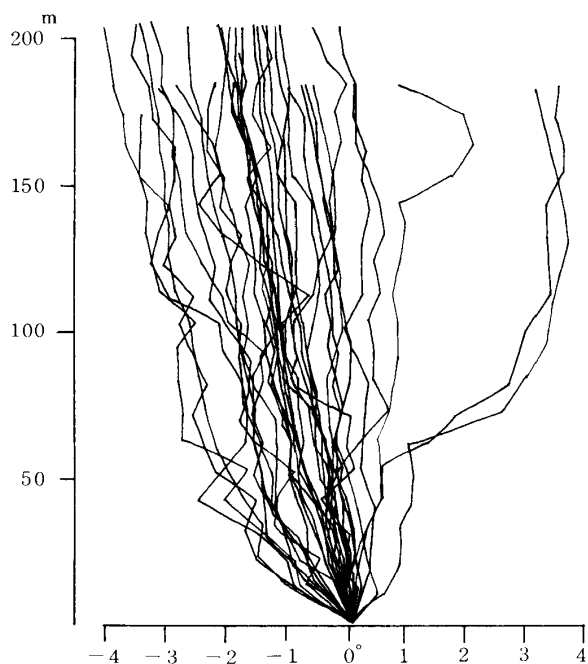
\* 実験観測の例がある(田島, 佐藤, 須田 1970)

帯金本点と三光堂反射点は $5^{\circ}\sim 6^{\circ}$ に達するが、平行性はよく表われている(図の上)。この日の天候は曇りで風は弱い。一方図の下は雨の直後の天候状態であって、温度の振れが非常に大きい。しかし、山腹に位置する山額点と三光堂点は明らかに日没後約1時間で逆転している。他の各点も同様の傾向にある。

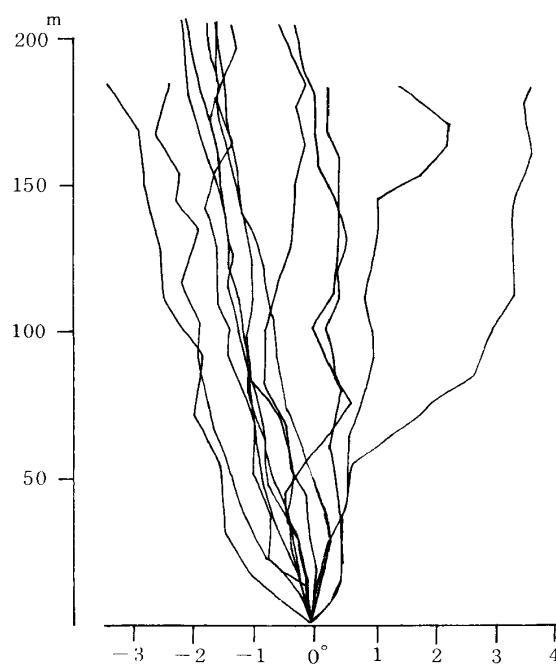
図3は前記温度計によって得た記録例であって、同じ場所(身延基線網の三光堂点)の同じ時刻の温度変化を比較したものである。通常のなめらかな温度推移(図の下)に対し、激しい変化を示す(図の上)場合がある。いずれも晴れの天候であるが、上は雨の直後の記録であり、サーミスタ特有の高感度、高応答性を見事に表わしている。わずか数分で温度変化が $6^{\circ}\text{C}$ に達している。このときのサーミスタセンサーの地上高は約3mであるが、このような気塊の不安定状態は上空どこまで連続しているのだろうか。なお、この場合視通状態はかなり良好であったことから考えると、このような細かい変化を感覚でとらえることはむずかしいと云わなければなら

ない。この測点では夜間になって振れ巾も急に減少して普通の変化に戻っている。

図4は静岡市(高松)および清水市(草薙)において上空にゾンデをあげて、地表から200mまでの気温の垂直勾配を調べたもの\*である。図の左は、上記2ヶ所の地点で行われた測定全部(季節変化を調べるために1, 5, 8, 10の各月、また日変化を調べるために昼夜間の測定を含む)の観測値を地表部での温度を基準( $0^{\circ}$ に換算)として重ね合せて表してある。これによると地表付近(50m以下)の低層部は気温勾配の巾が大きく、複雑であることを示している。逆転層は50m付近に多い。平均的な温度勾配は100mまでが $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 、100m~200mまでが $0.5\sim 1^{\circ}$ 程度である。右側の図は左の全部の測定値のなかから、日出及び日没前後2時間の測定値のみを抽出したものであるが、温度勾配のバラツキがかなり大きく、従来から云われているような光波測量に適した時間帯とは必ずしも云えない。その他、細かな分析を試みると、視通状態の良い冬季に気温の垂直勾配が、かえって不定であったり、顕著な逆



(1) 測定全部を重ね合せてある。



(2) 全測定の中から、日出・日没前後各2時間のものを抽出してある。

図4 静岡市(高松)及び清水市(草薙)における気温の垂直変化、たて軸は地上高、横軸は地上を( $0^{\circ}\text{C}$ に換算)基準にした時の温度変化

\* 気象協会静岡支部の資料をもとに作図してある。

転層が表われたりしている。また、地域的差異もはっきりしており、例えば、清水市の方が工場群に近く、この影響のためか勾配は不定である。昼夜間の比較を試みると、夜間の方が定勾配に近い。ただし、顕著な逆転は夜間であり、冬季に起り易い。

#### 4. 今後の問題

現在の光波測量においては、光波の媒質中での屈折補正を行うための気象観測が、直接測定距離の精度に影響するため、重要なポイントになっていると云える。しかし、この光路の気象は、地形や季節、時間などによって複雑な様相を示すから、細かな配慮を加えたとしても、その測定には限界がある。また、測定距離が短い場合でも大きな気温差を生じたり、陽炎の影響があるので、例えば、国土地理院の村山検定基線のような地表面に近接した光路となる場合等補正できない誤差が生じ得る。

このようなことから光波測量の基線の選定に当っては、単に良い視通を得ることの他に、気象条件のつかみ易いことの配慮も大切であろう。

陽炎等は、定量的測定が困難であり、従来から補正の対象になっていないが、測定距離への影響は小さくないと推定される未解決の問題も残されている。都田基線における観測\*によれば、明らかに陽炎の認められる時と日没直前の陽炎のない時の観測値とを比較すると、前者の方が測定距離が5mm長く、その標準偏差も大きい。

今後、気象補正についてはさらに詳細な検討が必要であろう。当面は低層の気温変化についての資料を得るため各種実験観測を試みる積りである。

#### 文 献

- 半田孝司(1976) 光波測量の精度について  
—— ジオジメーター700 型の特性 ——  
静岡大学地球科学研究報告, 2, 19-34.
- 須田教明(1971) 電磁波測距儀. 森北出版K.K.  
158 pp.
- 田島稔・佐藤裕・須田教明(1970) 光波距離測定  
の気象補正(I)—— 係留ゾンデによる低層気温  
観測 ——. 測地学会誌, 15(4), 121-129.

\* 都田一堀谷間, 5218.343 m(陽炎あり標準偏差4.1mm), 5218.338 m(陽炎なし,  $\sigma=2.7$ ) 各15セットの平均値