

18 kmにおける2色変調法による大気屈折率評価実験  
 Experimental Study on Air Refractive Index by 2-Color Modulation  
 Method over 18-km Distance

松本 弘一, 藤間 一郎, 瀬田 勝男, 大石 忠尚  
 Matsumoto H., Fujima I., Seta K., O'ishi T.  
 計量研究所 量子部  
 National Research Laboratory of Metrology

We have developed a three-color laser-modulation distance meter, which uses 633nm He-Ne, 1.06 μm YAG, and 10.6 μm CO<sub>2</sub> lasers as light sources. These lasers are modulated at several hundreds MHz by a LiTaO<sub>3</sub> crystal and a CdTe crystal, respectively. In this paper, the He-Ne/YAG lasers, which are modulated at a frequency of 250 MHz, are transmitted over 18-km distance. The change of the air refractive index along the optical path is preliminarily determined with a resolution of 0.3 ppm by the two-color method.

1. はじめに

最近 測地・測量の分野において、精密な測距技術が要求されている。また、数十kmの長距離を高い精度で測定することは、地殻の微小変動を捉えるなどの目的に対して重要な意味を持つ。このような測定手段として光波測距があげられるが、この場合、測定地点間の空気の屈折率を正確に把握する必要がある。現在、長距離標準の確立を目的として、3色レーザ光を高周波で変調する測距システムを開発し、計量研究所と筑波山との間(約18km)で測距実験を行っている。

2. 測距システム

2.1 光の変調法 電気光学結晶において、入射光の偏光成分によって位相変化の受け方が異なるので、出射光は偏光子に通すことによって強度変調される。ここでは、LiTaO<sub>3</sub>結晶(1mm角の断面、20mmの長さ)を用いて、633nm He-Neと1.06 μm YAGレーザを同時に250MHzという高い周波数で変調している。また、レーザ光の進行方向にマイクロ波を加えるとともに、2個の結晶を用いることによって、変調器のバイアス点のドリフトを抑えている。

2.2 測距法 我国では大気によるレーザ光の減衰が大きいことや人間の眼に対する安全性を考慮して、トランスポンダ方式が採用される(Fig.1)。まず、レーザ変調光を遠方にある反射鏡に向

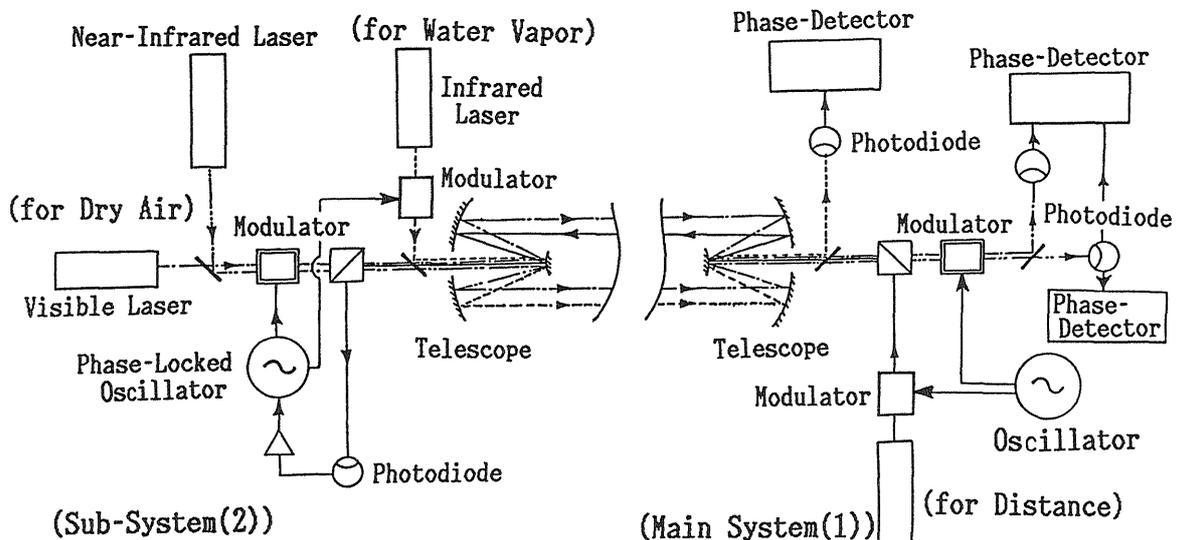


Fig. 1 Outline of developed distance-measuring system.

かって出射する。次に、反射鏡の代わりに別の光変調器に入射し、復調される。この光電検出信号に同期させて別のレーザを発射させ、同様に復調される。ここでは、変調周波数が250MHzであるので、光のものさしの目盛り間隔は約1200mmとなる。また、ヘテロダイン周波数が7.5kHzであり、2波長光を同時にデータレコーダーに記録し、位相差の精密測定を行った。

### 3. 大気屈折率の補正法

大気中において、光を用いて精密計測する場合には、大気の屈折率の補正が必要となる。野外などの長い距離では、光路全体の気象条件を測定するのが困難であるので、補正精度が十分でない。このため、3色法が利用される。これは、光は波長によって大気の屈折率に依存して伝搬する時間が異なることを利用するものである。つまり、3波長光を変調器によって同時に変調し、それらの変調光の大気中伝搬後の位相差を測定すれば、途中の光路の大気平均屈折率を求めることができる。

633nm He-Neと1.06 $\mu$ m YAGレーザの変調信号の位相差によって、乾燥大気の屈折率の補正、すなわち温度・気圧の影響の補正が可能であり、測距精度は $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ 程度になる。実際の大气においては、温度・気圧の補正に加えて湿度の補正も必要になる。このための第3の波長としては、水蒸気に対して相対的に変化の大きいものが有効であり、CO<sub>2</sub>レーザがCdTe結晶によって変調される。この結果、 $10^{-7}$ ~ $10^{-8}$ の精度が得られる可能性が高い。

### 4. 18kmの距離での測距実験

以上の測距システムの性能を評価するために、計量研究所の建物と筑波山にある建物(京成ホテル)の間の18kmの距離において測距実験が進められている。この結果、He-NeとYAGレーザを250MHzで変調し、これらの変調光の位相差を測定した。この場合、アナログ信号を長時間に渡って、記録し、正弦波近似によって振幅と位相を決定した。(Fig.2)この図から、位相のばらつきはYAGレーザについて1.8deg(標準偏差)であった。この測定値の平均化を行うことにより、0.1degの分解能で位相を求めることができる。また、2色のレーザについて位相は同様の傾向で変化している。

### 5. おわりに

今後はこの技術に従来から知られた測距技術を付加することによって、精密な距離の決定が可能である。この技術の開発によって、数十kmの比較的長い領域における長さ(距離)標準の確立はもとより、地殻の伸縮の測定による地震予知などが期待される。また、地球環境問題で話題になっているラジカルガスなどの精密計測に有効であると考えられる。

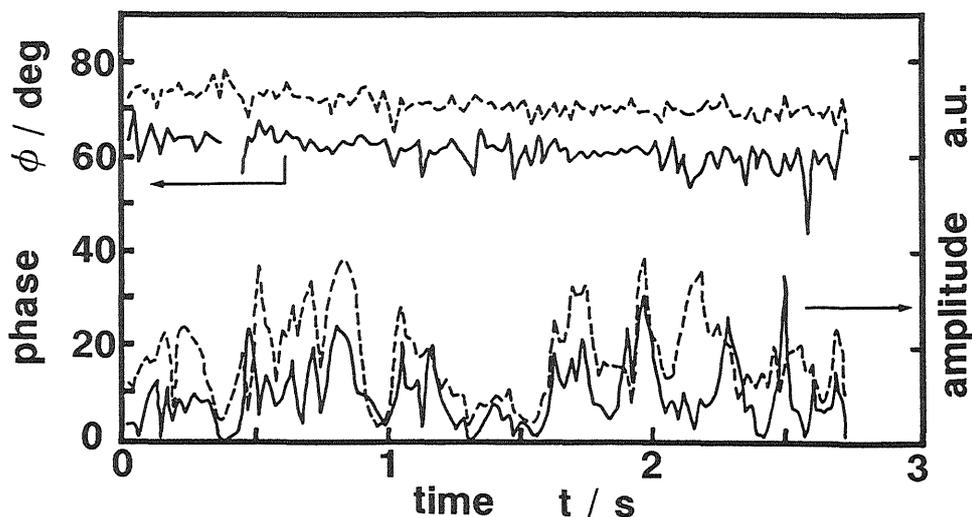


Fig. 2 Experimental results by two-color modulation method:  
 — ; 633 nm He-Ne laser ,    - - - - ; 1.06  $\mu$ m YAG laser.