

「多波長レーザー測距儀の開発について」

"Development of the multi-wavelength laser distancemeter"

井上 登、西 修二郎、今給黎 哲郎

Noboru Inoue, Shujiro Nishi, Tetsuro Imakiire

建設省国土地理院

Geographical Survey Institute

1. 初めに

地震予知のための精密な地殻変動調査など、従来からの電磁波測距儀の能力以上に高い精度の辺長観測が要求されてきた。国土地理院では昭和56年度より多波長レーザー測距儀を開発してきた。(科学技術庁振興調整費)56年度は目的に合った性能を得るための測距方式の検討と変調器の試作、57年度は製作した変調器を用いたフィゾー実験と2波長1ウェイ方式実験機の試作、58年度は2波長2ウェイ方式(トランスポンダ)の試作と実験を行なった。56~58年度が第一期の計画であり2波長レーザー測距儀の実験機製作と観測実験を行なうことができた。

この測距儀は赤色(He-Ne)レーザーと青色(He-Cd)レーザーを用いた対向型(トランスポンダ)で、二つの波長を用いることにより光路上の大気の状態を自動的に補正する。また、一つの光を測定路線で往復させないで、二つの逆方向の光を用いることにより信号の減衰を抑えて長距離の観測を可能とした。

2. 機器の構成

トランスポンダ測距装置では測定する辺の両側に器械をおく。本機では器械の制御、測定作業を一方の側でできる機構にした。この制御側を主局、もう一方を従局と呼ぶ。主局側は赤色(He-Ne)レーザー、KDP結晶高周波変調器、光電増幅管、カセグレン式反射望遠鏡を搭載した光学架台と、レーザー・変調器の制御装置、信号位相差測定器、データ取り込み・距離計算・結果記録用パソコンが組み込まれた電気架台、マイクロ波通信機器からなる。従局側は光学架台に青色(He-Cd)レーザーが加わり、電気架台に位相差測定器がないところが異なるだけで基本的に同じ構成である。

細部の仕様は以下のとおり。

○レーザー管	: He-Ne レーザ (GLG-5350)	波長 $\lambda = 633$ [nm] (赤)	出力 5 [mW]
	: He-Cd レーザ (OMNICHROME 456-14)	$\lambda = 442$ [nm] (青)	出力 14 [mW]
○変調器	: KDP 結晶変調器	変調周波数	$f_0 = 1.8$ [GHz]
○光電増幅管	: 電流増幅率	R712 (赤) 7.5×10^5	R268 (青) 2.1×10^6
○カセグレン鏡	: 口径 20 [cm]	ビーム拡がり角	$\theta = 0.1 \times 10^{-3}$ [rad]
○位相計	: HP 3575A	分解能	$d\phi = 0.1$ [°]

3. 2波長トランスポンダ装置の測定原理

二色のレーザーで測定し赤青それぞれで得られた距離を D_r 、 D_b とする。また、光路上の屈折率を n_r 、 n_b とすると実際の幾何学的距離 D との関係は以下ようになる。

$$D = D_r / n_r = D_b / n_b \quad \text{----- ①}$$

これを用いてDに関して以下のような式が書ける。

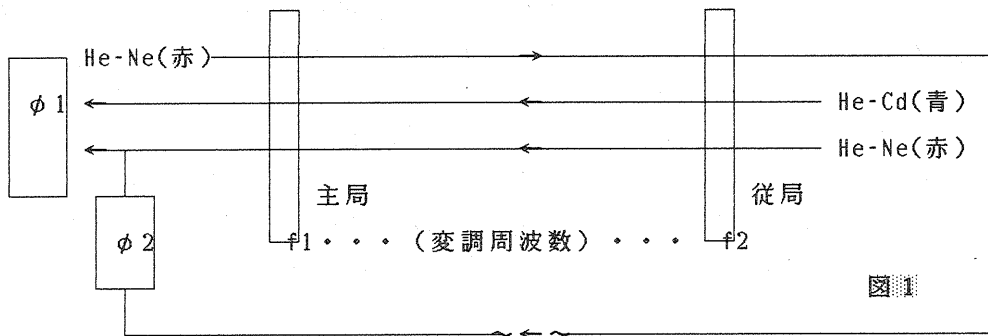
$$D = D \{ n_r - (n_r - 1) \} = D [n_r - \{ (n_r - 1) / (n_b - n_r) \} (n_b - n_r)]$$

$$= D_r - \{ (n_r - 1) / (n_b - n_r) \} (D_b - D_r) = D_r - A (D_b - D_r) \quad \text{----- ②}$$

ここで

$$A = (n_r - 1) / (n_b - n_r) \quad \dots [\approx 20] \quad \text{----- ③}$$

このAは温度・気圧にほとんど依存せずに定数とみなせる。そのため気象測定の精度によって距離の精度が制限される単色の測距儀より有利なのである。



$D_r, D_b - D_r$ は位相差の情報からもとめる。すなわち従局からの赤青レーザの位相差、 $\Delta \phi 1$ と主局・従局の赤赤レーザ位相差 $\Delta \phi 2$ は従局から情報を返送することによる遅れ ϕ_m を介して次のような関係を持っている。(N、Mは整数値)

$$2 \pi M + \Delta \phi 1 = (2 \pi f_2 / c) (D_r - D_b) \quad \text{----- ④}$$

$$2 \pi N + \Delta \phi 2 = (2 \pi / c) (f_2 + f_1) D_r + \phi_m \quad \text{----- ⑤}$$

④・⑤から、

$$D_r - D_b = (c / f_2) (\Delta \phi 1 / 2 \pi) + (c / f_2) M \quad \text{----- ⑥}$$

$$D_r = \{ c / (f_1 + f_2) \} \{ (\Delta \phi 2 - \phi_m) / 2 \pi \} + \{ c / (f_1 + f_2) \} N \quad \text{----- ⑦}$$

ここでM、Nを求めれば $D_r, D_r - D_b$ がでる。Mは概略距離が10kmのオーダーでわかれば確定する。Nは ϕ_m のため推定できないので変調周波数を変えて測定して決定する。式②後項 $A (D_r - D_b)$ は変調周波数 f_1, f_2 が1.8GHzと高いため $\Delta \phi 1$ の分解能 0.1° と係数 $A \approx 20$ から $0.5\text{mm} \sim 1.0\text{mm}$ の精度で決定できる。 D_r の項もより高い精度で求まり、Dは最終的に1mmまで測れる。国土地理院が行なっている数十kmの測距観測においてこれは 2×10^{-7} の精度を得ることに相当する。

2波長装置では気象条件のうち温度・気圧の影響を除けるが水蒸気圧の影響を除くためにはもう1波長つけくわえる方がさらに有利である。多波長測距装置は日本列島の平均的な地殻変動速度からいって異常な変動を検出するのにこれまで10年の観測期間が必要とされたところを2～3年で検出可能とする点で将来の地震予知に活用が期待できる。

参考文献

西 修二郎：「二色レーザー測距儀を利用した距離測定」，国土地理院研究技術報告会資料(1984)