

大気中におけるレーザービームの  
位相ゆらぎと位置ゆらぎ

Air Fluctuation for Phase and Position of a Laser Beam

瀬田 勝男, 藤間 一郎, 松本 弘一

( Katuo Seta, Ichiro Fujima and Hirokazu Matsumoto )

計量研究所

( National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba. )

SYNOPSIS: Phase and Position of a laser beam is fluctuated by air turbulence, when the beam propagates in the atmosphere. The fluctuations of the phase and the position were measured simultaneously by using an interferometer and a position sensor. The power spectra of the fluctuations agreed with the Tatarski's model. The fluctuation effects on the optical distance measurements were estimated.

1) はじめに

光のビームが大気中を通過するとき、大気の温度や圧力、すなわち屈折率の分布によって光波の波面が歪み、波の位相とビーム位置のゆらぎが生ずる。大気ゆらぎは、寸法・距離の光学的測定において誤差の原因となるものであり、この誤差を小さくするためには平均を取るための測定時間やビーム径などを最適化する必要がある。また、大気ゆらぎの状態に応じて、測定装置のパラメータなどを決定する必要がある。今回、長距離測定のための基礎データを収集する目的で、大気中での光波の位相ゆらぎとビームダンシングを同時測定するための装置を開発し、短い距離での予備測定を行った。

2) 測定装置

装置の概要を図1に示す。ビームダンシング  $\delta x$  の測定には市販のビーム位置検出素子(PSD)を用い、位相ゆらぎ  $\delta L$  は2光束干渉計によ

り検出した。大気の位相ゆらぎにおいては、位相ゆらぎとほぼ同じ周波数成分の強度ゆらぎが存在する。このような条件下での測定を可能にするため、干渉縞の位相をアナログ計算機により求め、位相変化がゼロになるよう電歪素子(PZT)へフィードバックをかける位相補償型干渉計を製作した。この干渉計の構成によれば、ゆらぎによる光強度の変化が約20 dB程度まで存

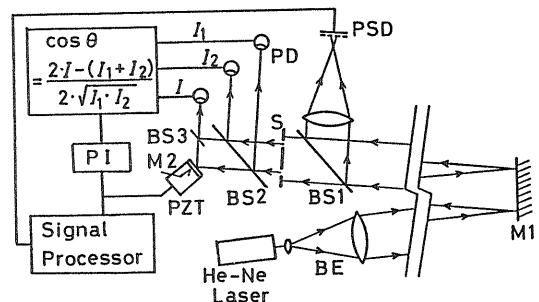


Fig.1 Schematic diagram of the experimental setup.

	測 定 条 件		
	A	B	C
光源: 633 nm He-Neレーザー(出力 5 mW)		ビームの高さ: 地上 1.2 m(ただし約 3.5 m 高の丘の上)	
日 時	1987年 3月12日 20:00 - 22:00	1988年 3月24日 21:00 - 22:00	1988年 3月24日 22:00 - 23:30
光 路 長	80 m	16 m	112 m
ビ ー ム 径	30 - 10 mm	30 mm	50 - 30 mm
気 温	5.2 °C	4.7 °C	4.9 °C
風 速	2 - 3 m/s	5 - 7 m/s	< 1 m/s
スリット間隔( $\rho$ )	10 mm	15 mm	15 mm

在しても、1 フリンジの数%の精度で位相ゆらぎを求めることが出来る。

測定は前頁の表に示す条件下で行った。このような測定においては、同一の条件の再現は困難である。特に条件Bの時には、風速が大きいこと等に合せて気象条件が不安定であり、短い距離にもかかわらず大きなゆらぎが観測された。

### 3) 測定結果

表に示す条件Cにおける位相ゆらぎ $\delta L$ のパワースペクトル $\delta L_0^2$ の測定結果を図2に示す。2 Hzを境界として低周波と高周波に分割して測定した結果を合わせて示してある。また、パワースペクトルを位相と位置の周波数当りのゆらぎ量に置き換えた結果を条件Aについて図3に示す。この図における実線はTatarskiによって導かれた理論勾配である<sup>1)</sup>。低周波域と高周波域で勾配が $f^{-1/3}$ から $f^{-4/3}$ へ変化しているなどTatarskiの乱流モデルと一致した結果が得られている。

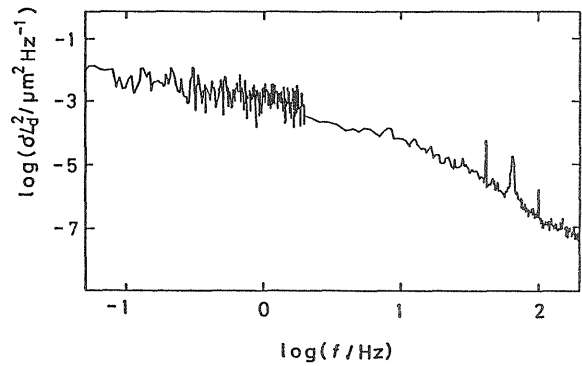


Fig.2 Power Spectrum of the phase fluctuation.

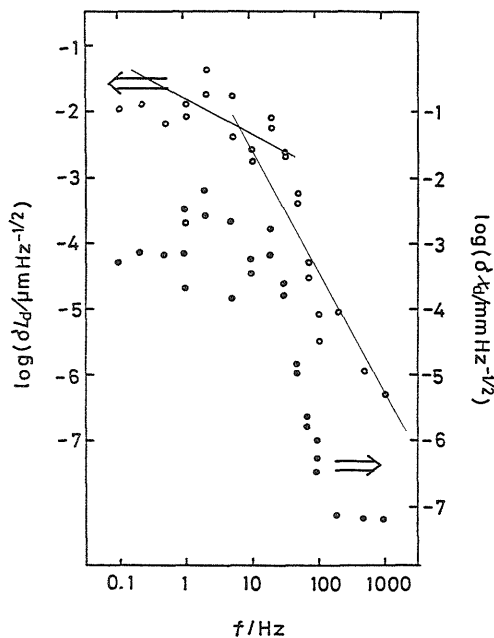


Fig.3 Spectra of the phase and the position fluctuations

### 4) 長距離測定に与える影響

Tatarskiは、光路長 $L$ に対するゆらぎの依存性として、

$$\delta L \propto L^{1/2} \quad (1)$$

$$\delta x \propto L^{17/12} \quad (2)$$

を求めており、この式の妥当性はCliffordらや松本らによって確認されている<sup>2,3)</sup>。これにより長距離でのゆらぎ量が評価できる。今後、さらに長い距離での測定を行い、長距離測定に与える大気ゆらぎの影響を明らかにしていく予定である。

### 参考文献

- 1) V.I.Tatarski, Wave Propagation in a Turbulent Medium (McGraw-Hill, New York, 1961).
- 2) S.F.Clifford et al., J.Opt.Soc.Am., 61, 1279(1971)
- 3) H.Matsumoto and K.Tsukahara, Appl.Opt., 23, 3388(1984)