

# 非回折光を用いた 2.0 $\mu\text{m}$ コヒーレントライダー受信効率の改善について Improvement of the receiving efficiency for a 2.0 $\mu\text{m}$ coherent lidar using non-diffraction laser beam

境澤 大亮 長澤 親生 水谷 耕平\*

Daisuke Sakaizawa, Chikao Nagasawa and Kohei Mizutani\*

東京都立大学大学院工学研究科 \*独立行政法人情報通信研究機構

Graduate school of Engineering Tokyo Metropolitan University

\*National Institute of Information and Communications Technology

## Abstract

Improvement of the receiving efficiency is required for a heterodyne lidar, because the atmospheric turbulence affects the coherence of the lidar signal. The non-diffraction laser beam maintains narrow beam width and is high tolerant for the atmospheric turbulence. It is known that the divergence of a non-diffraction laser beam is smaller than that of a gaussian laser beam. We have investigated the tolerance for atmospheric turbulence of non-diffraction laser beam. The results of numerical calculations show that the receiving efficiency of a non-diffraction laser beam is higher than that of a gaussian laser beam.

## 1. はじめに

二酸化炭素濃度の測定は地球の温暖化のメカニズムを解明する上で極めて重要である。2.0 $\mu\text{m}$  のコヒーレントライダーは風向風速に加え、温暖化寄与の割合が中心的とされている二酸化炭素の濃度分布測定にも有効である。2.0 $\mu\text{m}$  コヒーレント DIAL はその二酸化炭素の経年変化や昼夜間での振る舞いを細かな高度分布で検出可能なライダーとして注目されている。また、航空機や衛星に搭載して上空からグローバルな二酸化炭素濃度の分布測定を行うことも可能である。

しかし空気中の二酸化炭素の組成率は小さく、それを正確に DIAL で測定するためにはコヒーレントドップラーライダーにおける風向風速の測定よりも高い受信効率が求められる。そしてヘテロダイン干渉を使用するライダーでは大気揺らぎの影響を受けるため、受信効率の改善が極めて重要な問題となる。我々は非回折光の大気揺らぎに対する耐性の高さに注目し、2.0 $\mu\text{m}$  コヒーレントライダーで非回折ビームを用いた場合と従来のガウシアンビームを用いた場合の受信効率に対するシミュレーションを行い比較、検討した。

## 2. 非回折光

非回折光はビームの位相面を制御することによって生成することができる。生成されたビームは、一般的に用いられているガウシアンビームと比べてビームの中心部分にエネルギーが集中し、小さなビーム拡がりになることが知られている。非回折光の生成方法として、我々はアキシコンレンズ対を用いてガウシアンビームを環状ビームへ変換し、空中へ照射された環状ビームは空間を伝播するにつれて環状中央に光の強度分布が集中し、擬似的な非回折光となる。また径の大きさや環状の厚みを変化させることによって非回折光が生成される距離を選択できる利点がある。

非回折光の伝播距離におけるビーム形状の解析には回折式から求めることができる。 Fig.1

にガウシアンビームと非回折光の伝播特性を示す。Fig.1(a)は  $1/e^2$ 強度半径が5cmのガウシアンビームを、Fig1(b)は環状の直径が10cm、リングの厚みが約2cmの環状ビームを表している。Fig.1(c)(d)はFig1.(a)(b)で示すビームの距離0.5km~3kmにおける伝播特性を記したものである。

伝播特性の計算において、焦点距離は無限遠方上にあるものとした。 $x=0$ 、 $R=900$ mで非回折光の中心強度はガウシアンビームの約4倍、 $1/e^2$ 強度半径は0.6倍である。ガウシアンビーム ( $1/e^2$ 強度半径)は送信時が5cmであったのに対して3km伝播した際の強度半径は約8cmに広がっている。これはビーム広がり角の理論値  $\lambda/d$  [波長  $2.0\mu\text{m}$ 、 $d=5\text{cm}$ ]とほぼ等しい値であった。一方、非回折光のビーム径は3kmの伝播でもほぼ変化なく、ビーム中央に強度分布が形成され非回折光が得られているのがわかる。

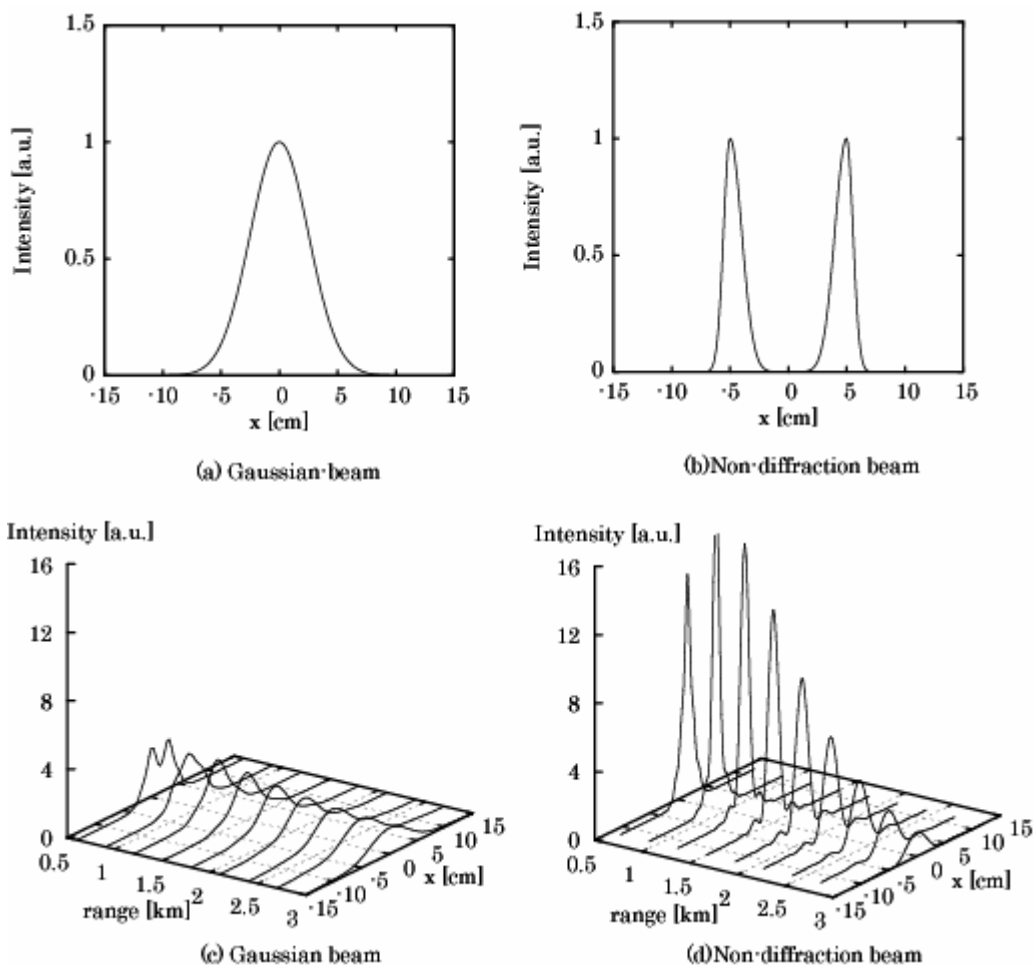


Fig.1 The characteristics of the gaussian and non-diffraction laser beam propagation.

### 3. 受信効率に対するシミュレーション

Fig.2 のように開口面 $S_0$ にある振幅 $U_0(x_0, y_0, 0)$ のビームを考える。まずこのビームが空間を伝播し、距離 $R$ 離れた所にある  $z$  軸に垂直な平面 $S_1$ 上での振幅 $U_1(x_1, y_1, z)$ を求める。次にその面 $S_1$ を再放射源と考えて開口面 $S_0$ 上で $R$ の距離を往復したビームの振幅 $U_2(x_2, y_2, 0)$ を求める。点  $P[x_0, y_0, 0]$  - 点 $Q[x_1, y_1, z]$ 間の空間は一様な大気の揺らぎがあると仮定し大気構造定数 $C_n^2$  の値で

定め、大気中のエアロゾルによる影響は考慮しないこととした。このとき各平面上での電界振幅  $U_i(x_i, y_i, z)$  は次のように表される。

$$U_i(x_i, y_i, z) = \iint U_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}, 0) e^{j \int_0^z \gamma dr} dx_{i-1} dy_{i-1} \quad (1)$$

点  $(x_0, y_0)$  は送信ビーム上の点、点  $(x, y)$  は距離  $R$  離れた面上の点、 $R$  はスケールサイズパラメータと大気構造定数の位相項を表す関数とする。

受信効率  $\eta$  は開口面上の電界振幅  $U_2(x_2, y_2, 0)$  と局部発振光  $U_3(x_3, y_3, 0)$  から次のようにして求める。

$$\eta = \frac{\int |U_2 U_3^*| dx_0 dy_0}{\int |U_2|^2 dx_0 dy_0 + \int |U_3|^2 dx_0 dy_0} \quad (2)$$

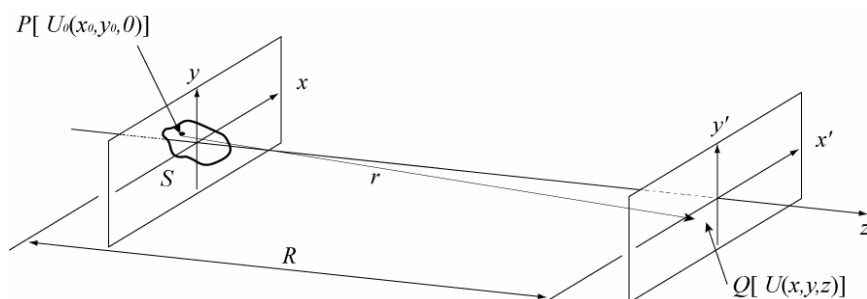


Fig.2. Simulation model

Table 1 Simulation input parameters

| Gaussian beam              |   | Non-diffraction beam       |   |
|----------------------------|---|----------------------------|---|
| 1/e <sup>2</sup> beam dia. | 10cm  | 1/e <sup>2</sup> beam dia. | 10cm  |
|                            |   | Thickness                  | 3cm   |
| Wavelength                 | 2000nm  | Wavelength                 | 2000nm  |
| Aperture                   | 15cm  | Aperture                   | 15cm  |
| Cn2                        | 10 <sup>-15</sup> 、10 <sup>-14</sup> 、10 <sup>-13</sup> | Cn2                        | 10 <sup>-15</sup> 、10 <sup>-14</sup> 、10 <sup>-13</sup> |
| Scale size parameter       | 0.5 × 10 <sup>-3</sup> m ~ 0.8 m                        | Scale size parameter       | 0.5 × 10 <sup>-3</sup> m ~ 0.8 m                        |

伝播距離に対するガウシアンビームと非回折光で求めた各々の受信効率の比  $\eta_{\text{H}}$  を Fig.3 に示す。ここで Cn2 は 10<sup>-15</sup>、10<sup>-14</sup>、10<sup>-13</sup> として与え、スケールサイズパラメータを 0.5 × 10<sup>-3</sup> m ~ 0.8 m の間で変化させた。受信鏡の大きさは直径 15cm とした。その他シミュレーションで使用した値は Table 1 に示す。

Fig.3 から、非回折光の受信効率がガウシアンビームより良いことが解る。非回折光の伝播には位相面の寄与が大きく、大気揺らぎに対して優位性を示していること[2]、またガウシアンビームは非回折光に比べ受信鏡で集光できるエネルギー量が減少することに起因する。

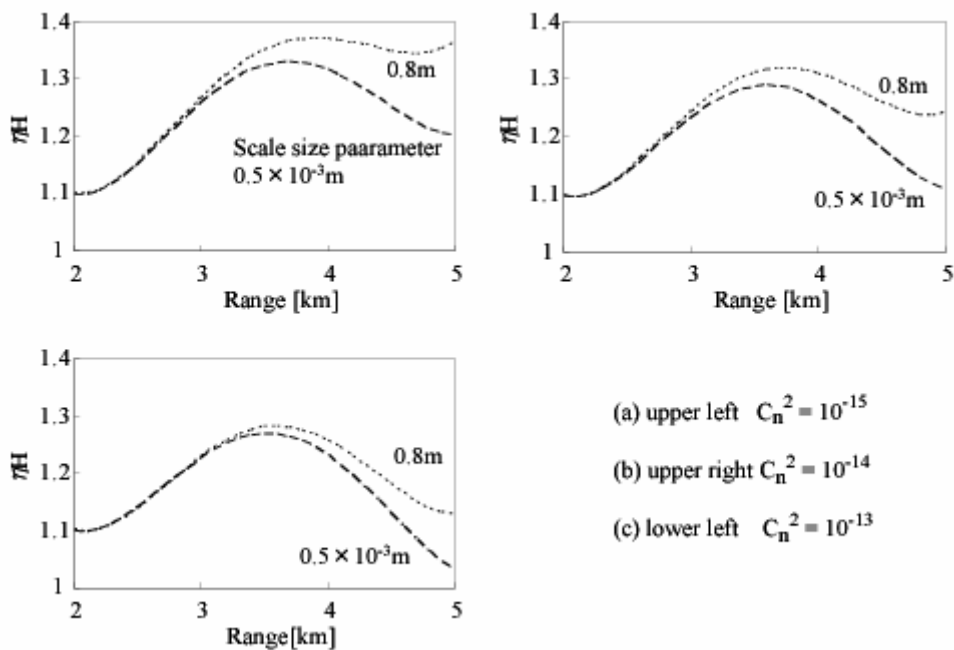


Fig.3 The ratio of the non-diffraction beam receiving efficiency to the gaussian beam

#### 4. まとめ

コヒーレントライダの受信効率を改善するために大気揺らぎに対して耐性を持つ非回折光に注目し、コヒーレントライダへの適用が可能な伝播特性と受信効率のシミュレーションを行った。実際の大気では乱流のスケールサイズは一様ではなく、温度勾配やシアなどによって様々な大きさのものが分布しているがビーム径とリングの厚みを適切に設定することで実際の大気中をビームが伝播したとしても十分受信効率の改善を行えると考えている。

#### [ 参考文献 ]

- [1]T.Aruga et al. Applied Optics vol.38 n.15(1999)
- [2]椎名等 第 51 回応用物理学会関係連合講演会 講演予稿集 (2004)
- [3]V.I.Tatarski “The Effect of the turbulent atmosphere on wave propagation” (1971)
- [4]M.J.Kavaya et al. Applied Optics vol.28 no.5 (1989)
- [5]S.Ismail et al. 22th ILRC S2O-13 (2004)
- [6]D.Sakaizawa et al 22th ILRC S2P-32 (2004)