# 大気乱流を考慮したラゲールガウスモード多重の基礎検討

Investigation of Laguerre-Gaussian mode multiplexing

through atmospheric turbulence

日本女子大理 安井 碧空, <sup>0</sup>小川 賀代

Japan Women's Univ., Aozora Yasui, °Kayo Ogawa

E-mail: m1416096ya@ug.jwu.ac.jp

## <u>1.はじめに</u>

近年、動画配信、SNS の普及などにより、通 信トラフィックが増加し続けている。これによ り、シングルモードファイバ(SMF)の伝送容量 が物理的限界に近づいており、新たな多重方式 の検討が始まっている。その中の一つに OAM 多重がある。OAM はラゲールガウス(LG)ビー ムの持つ2種類のモード次数の内、ラジアル次 数nを0に固定し、アジマス次数mのみを変 化させたモードである。モード間のクロストー クは避けられないため、多重する際には、モー ドを離す必要がある。よって、更なる大容量化 を実現させるには、ラジアル次数nも考慮に入 れればよい。ファイバ内において多重を行うに は、モードを保持する新しいファイバの開発が 必要となるため、多重部分については空間的に 多重する手法が提案されている。<sup>1)</sup>

一方、大気伝搬を伴う自由空間通信ではシン チレーションが課題となる。ラジアル次数nを 有する LG ビームはシンチレーションに耐性 があるため<sup>2)</sup>、次数nを考慮することで、乱流 の影響を軽減するモード多重の実現が可能だ と考えられる。よって、本研究では大気乱流の 影響を考慮した LG ビームの多重の組み合わ せを検討する。

## 2.大気乱流モデル

大気中では不規則な屈折率変化が生じるため、大気伝搬には屈折率揺らぎのモデルを用いて位相変化を与える。本研究では、シンチレーションに対して強い影響を与える内部・外部スケール、屈折率構造定数を考慮した von Karmanのパワースペクトル密度モデルを用いた。

$$\phi(f) = 0.023 \left(\frac{4\pi^2}{k^2 z C n^2}\right)^{-5/3} \frac{\exp(-f^2/(1/2\pi l_0)^2)}{\left(-f^2/(1/L_0)^2\right)^{11/6}}$$
(1)

ここで、k は波数、z は伝搬距離、 $l_0, L_0$  は乱流の内部、外部スケールの大きさである。 $C_n^2$  は 乱流の強さを表す屈折率構造定数であり、  $C_n^2 = 10^{-17} \text{m}^{-2/3}$  以下が弱い乱流、  $C_n^2 = 10^{-13} \text{m}^{-2/3}$ 以上が強い乱流となる。 **3.評価方法及び結果** 

多重分離フィルタは、モード分離後、SMFに 入力することを想定し、抽出モードが入射した 場合のみ1点に集光する設計とした。Fig.1に LG(0,7)を抽出するフィルタに大気伝搬後の LG(0,7)モードが入射した結果を示す。乱流が 強いC<sub>n</sub><sup>2</sup>=10<sup>-13</sup>m<sup>-2/3</sup>において(Fig.1(b))、集光ビ ームの状態が崩れていることが確認できる。 Fig.2 に、LG(0,7)を抽出するフィルタに大気伝 搬した様々なモード[LG(0,3)~LG(10,10)]が入 射した時のクロストークの結果を示す。シミュ レーションは、波長 780nm、伝搬距離 1000m、  $l_0=0.005 \text{m}$ ,  $L_0=30 \text{m}$ ,  $C_n^2=10^{-15}$ ,  $10^{-13} \text{m}^{-2/3}$  °C 行い、結果は実行回数 200 回の平均値である。 組み合わせに適したモードのクロストークが -10dB 以下とした時、乱流が弱い場合、次数n は隣接モードも組み合わせ可能に対し、次数m はモードを1以上離す必要があった。一方、乱 流が強い場合、次数nは9モード以上、次数m は10モード以上次数を離す必要があった。 4.まとめ

自由空間通信を伴う LG モード多重を行う 際には、大気乱流の影響を考慮する必要がある。 よって、モード多重の組み合わせ次数の選択範 囲を広げるためには、ラジアル次数nへの拡張 の必要性を確認した。

#### <u>謝辞</u>

本研究は JSPS 科研費 JP17K06445 及びフ ジクラ財団の助成を受けたものである。

### <u>参考文献</u>

1) J.Wang, et.al., Nature Photonics 6, pp.488-496(2012) 2) A.Saito, et.al., MOC'16, 13C-17 (2016)



(a) Moderate  $(C_n^2 = 10^{-15} \text{m}^{-2/3})$  (b) Strong  $(C_n^2 = 10^{-13} \text{m}^{-2/3})$ Fig.1 Intensity distributions after

