

ベキ分布にしたがう間欠的な半導体レーザー発振挙動の発生条件 Condition of power-law behaviors in delayed feedback semiconductor lasers

金沢大理工¹, JST さきがけ²,

○新山 友暁¹, 砂田 哲^{1,2}

Kanazawa Univ.¹, JST PREST²,

○Tomoaki Niiyama¹, Satoshi Sunada^{1,2}

E-mail: niyama@se.kanazawa-u.ac.jp

レーザー発振と2次相転移のアナロジーについての指摘以来 [1, 2], 発振閾値近傍での定常発振量の不連続性について多くの研究が行われてきた。一方で, 相転移点においてはスケール不変性を伴う動的な揺らぎ, すなわち $P(s) \propto s^{-\kappa}$ のようなベキ的な統計分布に従う揺らぎが存在し, 非平衡系においては自己組織化臨界 (self-organized criticality) などの非平衡臨界現象として捉えられる [3]。しかしながら, レーザー発振現象においてはこのようなベキ的な挙動は報告されていない。本研究では, 遅延を伴う戻り光をフィードバックとして加えることで, ベキ分布に従う特異な揺らぎをともなう間欠的なレーザー発振挙動が生まれることをシミュレーションおよび実験から示す [4]。

シミュレーションでは Lang-Kobayashi 方程式を用い, 十分長い遅延時間と強い戻り光強度の状況下で計算を実行した。この結果, ポンプ電流が内部共振器モードの発振閾値直上 ($j = 1$) で, 間欠的な発振挙動が認められ [Fig. 1(a)], その強度分布は明確なベキ分布に従っていた [Fig. 1(b)]。この間欠的な発振挙動が顕著に現れる条件を特定するために, maximum gain mode の発振強度からの平均超過量 (mean exceedance) を指標として, 遅延時間・戻り光強度に対する依存性を調べた。この結果, 1 ns を越える遅延時間でベキ的な挙動が現れ, 最大値の 60 % 程度の戻り光強度でもっとも顕著になることがわかった [Figs. 1(c)(d)]。発表では, 実験の結果についても紹介する [4]。

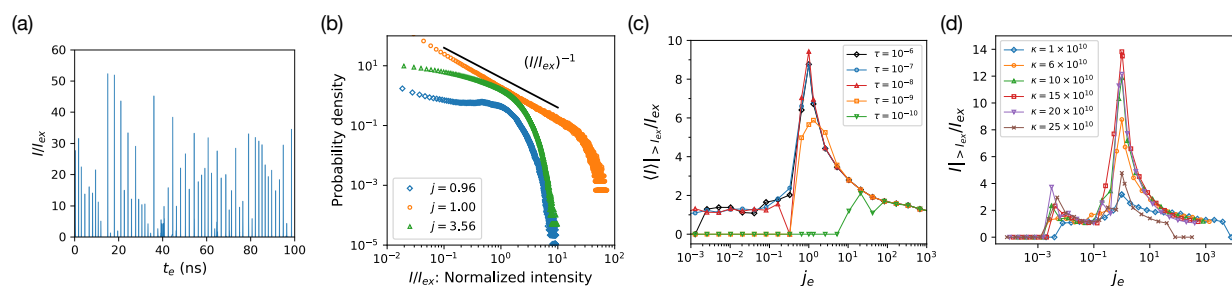


Fig. 1 (a) MGM 発振強度で規格化した光強度時系列。(b) 発振光強度の統計分布。(c) (d) 規格化ポンプ電流 j_e と平均超過量 $\langle I \rangle_{I>I_{ex}}$ の関係。ここで, $j_e = 1$ は内部共振器モードの発振閾値。

- [1] V. DeGiorgio and M. O. Scully, Phys. Rev. A **2**, 1170 (1970).
- [2] R. Graham and H. Haken, Zeitschrift für Physik **237**, 31 (1970).
- [3] H. J. Jensen, *Self-Organized Criticality: Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems (Cambridge Lecture Notes in Physics)* (Cambridge University Press, 1998).
- [4] T. Niiyama and S. Sunada, arXiv:2111.05667 (2021). *ibid*, (under review).