

戻り光のある半導体レーザーの間欠発振挙動における臨界性促進因子 Enhancement factor of criticality in semiconductor lasers with delayed feedback

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次相転移にアナロジーがあることが古くから議論されており [1, 2], その発振閾値近傍での挙動について相転移現象との類似性が議論されてきた。これに対して発表者は、戻り光による遅延フィードバックを有する半導体レーザーにおいて、十分長い遅延時間と強い戻り光強度を与えることで、発振閾値近傍で臨界的な発振ダイナミクスが発生することを示してきた [3]。

ここで述べる臨界的なダイナミクスとは、レーザー発振強度のようなイベントサイズ s が $P(s) \propto s^{-\alpha}$ のような指数 α のみで特徴付けられる確率分布 (ベキ分布) にしたがうことを指す。この分布は、平均値・分散などの代表スケールをもたないという特徴をもつ。このため、レーザー発振強度が多様な大きさのバーストの連続で構成され (間欠発振挙動), そのバースト間隔もベキ分布に従うことになる。よく知られた例としては地震現象や森林火災などがあり、自己組織化臨界現象 (self-organized criticality, SOC) と呼ばれる非平衡系での臨界現象の現れのひとつとして捉えられている [4]。

このようなベキ分布にしたがうレーザー発振現象が、SOC の発生条件を満たす場合に発現することなどについてこれまでの発表で示してきた。一方で、観察される強度分布には最大値が存在し、ある強度を境に急速に発生確率が低下していた。本発表では、この最大値を漸進させより純粋な臨界状態に漸近させる因子について、SOC の内部散逸効果の側面から議論する [5]。半導体レーザー系における内部散逸はキャリア寿命 τ_s によって規定されるため、これを人為的に変更して Lang-Kobayashi 方程式を用いたシミュレーションを実行した。Fig. 1 に示した強度分布より、 τ_s を長くして散逸を小さくすることで、明らかに分布の裾部分が延び、発生しうる最大強度が上昇していることが分かる。しかしながら、 τ_s が遅延時間 τ を越えるとこの傾向は破れ、最大強度は減少に転じるという相互関係が確認された。このことから、発振強度分布が純粋なベキ分布に従うような臨界極限に漸近するには、 $\tau_s < \tau$ を満たしながら $\tau_s, \tau \rightarrow \infty$ という2重極限が必要であることが示唆された [3]。

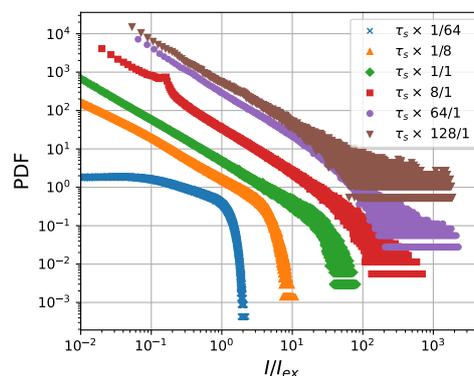


Fig. 1 異なるキャリア寿命を与えた場合の発振光強度の統計分布。

- [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] T. Niiyama and S. Sunada, Phys. Rev. Research, **4**, 043205 (2022).
- [4] H. J. Jensen, *Self-Organized Criticality* (Cambridge University Press, 1998).
- [5] A. Vespignani and S. Zapperi, Phys. Rev. E **57**, 6345 (1998).