

野焼きの炎とファイバフューズの共通点

轟 眞市

物質・材料研究機構 光材料センター*

Shin-ichi TODOROKI

本連載でも何度か取り上げたファイバフューズ [1, 2] を、講演でビデオ¹を見せながら紹介すると、ほとんど全ての人が興味を持ってくださるのだが、素朴な疑問を感じる方も少なくない。できる限りお答えしているのだが、筆者の拙い説明では、たちどころに氷解するまでには至らないようである。ところが先日、うまい例えがあるのを発見した。それを今回は紹介したい。

素朴なふたつの疑問

図2にファイバフューズを発生させる手順を示す。光ファイバに数W程度のレーザー光を通しておき、どこか一部分を何らかの方法で加熱すると、プラズマが光ファイバのコア部分に閉じ込められた状態で光源方向に進んでいく現象が発生することがある。光ファイバの内部に孔を発生させながら進行するこの現象を止める一番単純な方法は、光源のスイッチを切ることである。

デモンストレーションをした時に出てくる疑問の多くは、なぜ光源の方向にプラズマが進むのか、である。レーザー光を光ファイバに通す時点で、その方達は次の様な先入観を抱いてしまうのである。

これから起こることは、レーザー光の進む方向に沿って起こるに違いない

ところが、期待とは逆の現象を目の当たりにして混乱してしまうのである。

もうひとつ、裏切られる先入観がある。それは、「案外、遅いんですねえ。何ですか?」という感想がもの語っている。無意識に、電光石火の現象を逃すまい、と身構えてしまっているのだ。

*〒 305-0044 茨城県つくば市並木 1-1
fax 029-854-9060

¹<http://www.youtube.com/Tokyo1406> 参照

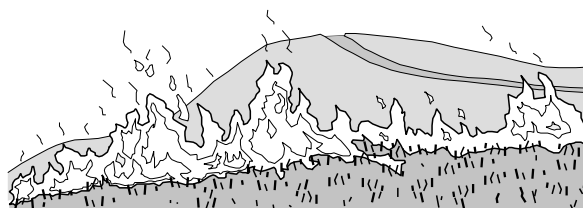


図1: 枯れ草の面を炎の線が舐めるように焼き尽くす野焼き。

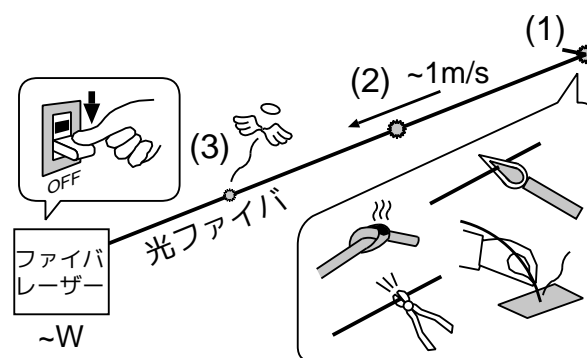


図2: ファイバフューズの(1)発生、(2)伝搬、および(3)停止の位置関係。レーザー光の伝搬方向とは反対に移動する。

振る舞いは、野焼きの炎の如し

なぜ、光の流れに逆のようにプラズマが移動するのか? それは、エネルギーが供給される方向に移動するからである。ちょうど、野焼きの炎が枯れ草のある方向に進んでいく様に(図3参照)。

即ち、プラズマがレーザー光からのエネルギーを受け取って、光源方向に存在するガラスを溶融・気化する。発生したガスはプラズマとなって、四方八方に熱と光を放出する。その温度は数千Kと測定されている [3]。一方、光源から遠い方のプラズマは、レーザー光からのエネルギーを充分受け取れないが

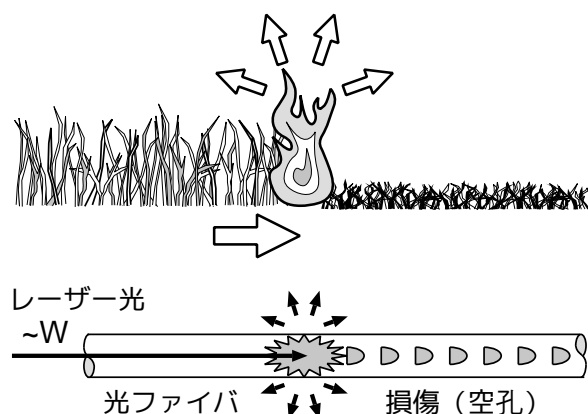


図 3: 野焼きの炎(上)とファイバフューズ(下)の類似性。矢印はエネルギーの出し入れを表す。

ために冷えて固化してしまう。

このような反応の場が伝搬していく様子は、しばしばソリトン(孤立波)に例えられるが、古典的な意味でのソリトンの概念からは逸脱していることに注意を要する。多くの人は、ソリトンと聞けば津波を連想することだろう。津波が伝播しているものは、運動エネルギーそのものであり、孤立波に対してエネルギーが出入りしている訳では無い。

一方、図3に示した炎もプラズマも、エネルギーの取り込みと放出を常にバランスさせている状態にある。取り込まれるエネルギーが減ってくると、その状態を維持できなくなった時点で消滅してしまう。このような孤立波は、散逸ソリトン(dissipative soliton)と呼ばれる[4]。

流れの中にだけ在るもの

散逸ソリトンの概念を生んだ源流を遡って行くと、イリヤ・プリゴジン(1917-2003)がノーベル化学賞(1977)を受賞するきっかけとなった「散逸構造」へとたどり着く。Wikipediaにある定義を引用すれば、

平衡状態でない開放系に生ずる定常的な構造

と素っ気ないが、化学の枠を越えて生物学や社会科学にまで影響を与えている概念である。

エネルギーの流れの途中に現れる特異点、その最も高度な存在の一つは生命と言えるだろう。我々は食物を摂取して自らの体を維持すると同時に活動し、排

泄する。この視点を持って眺めれば、ファイバフューズは、その生命モデルを極限にまで簡略したシステムのように見えてくる。

ファイバフューズの伝搬速度が期待よりも遅く感じたのは、プラズマが伝搬するプロセスの中に、ガラスの溶融・気化・固化が含まれているからである。それが自分の手のひらの上を、けなげに走って行くのを見れば、小さな生命を見るようないとおしさも沸いてくる、と思うのは、きっと筆者の鼻屑目にすぎないのであろう。

[参考文献]

- [1] 轟 眞市：“ファイバフューズの動画に突然注目が集まった事の顛末”，マテリアルインテグレーション, **22**, 11, pp. 67-69 (2009).
- [2] (財)光産業技術振興協会 光増幅器標準化委員会：“光増幅器 光ファイバヒューズに関する一般情報”，OITDA 規格技術資料(2010年3月).
<http://www.oitda.or.jp/main/st/TP-j.html>
- [3] E. M. Dianov, V. E. Fortov, I. A. Bufetov, V. P. Efremov, A. E. Rakitin, M. A. Melkumov, M. I. Kulish and A. A. Frolov: “High-speed photography, spectra, and temperature of optical discharge in silica-based fibers”, IEEE Photon. Technol. Lett., **18**, 6, pp. 752-754 (2006).
- [4] A. Ankiewicz, W. Chen, P. St. J. Russell, M. Taki and N. Akhmediev: “Velocity of heat dissipative solitons in optical fibers”, Opt. Lett., **33**, 19, pp. 2176-2178 (2008).

追記(2012/3/16): 電気保護装置としての「ヒューズ」と区別するために、熱で溶けることを表す「フューズ」と表現を改めました。