

乱流のカオティックカスケードモデル

京都大学 防災研究所 山田 道夫
 京都大学 理学部 大木谷 耕司

発達した 3 次元 (2 次元) 乱流は現象論的に Kolmogorov 理論 (Batchelor-Kraichnan-Leith 理論) によって基本的に記述される。これらは共に、エネルギー (エンストロフィー) カスケードの概念と次元解析にたよっていて、特にエネルギースペクトル $E(k)$ が $E(k) \propto k^{-5/3}$ (k^{-3}) という相似則をもつ事が知られている。3 次元乱流の場合、次元解析に用いるパラメータはエネルギー散逸率 ε 及び動粘性率 ν である。ところが、同じパラメータをもつ Burgers 方程式 (可積分系) の場合、エネルギースペクトルは $E(k) \propto k^{-2}$ の形をとる。この事より、乱流の現象論が成り立つためには、保存則に加えて系の内在的不安定性 (カオス) が必要であると考えられる。

それでは、系がカオスをもつ時、保存量がエネルギーでもエンストロフィーでもないとしたら、依然としてこのような次元解析は有効であろうか。この疑問に答えるため、

$$I(\alpha) \equiv \int_0^{\infty} k^{\alpha} E(k) dk$$

という保存量をもつカオティックなカスケードモデルで数値実験を行なった。その結果、 $0 \leq \alpha \leq 2$ ($\alpha=0$: エネルギー, $\alpha=2$: エンストロフィー) に対しては次元解析が有効で、カスケード理論が成立する事がわかった。一方、 $\alpha > 2$ に対してはカスケードはもはや起らず、従って $E(k)$ は相似則を満たさないことがわかった。

詳しくは、近く掲載される Yamada, M. and Ohkitani, K. (1989). *Phys. Lett. A* をごらんいただきたい。

テアリングモードの非線形結合による電流密度のダイナミクス

名古屋大学 プラズマ研究所 浦田 一宏・羽鳥 尹承

トカマクと呼ばれるトーラス状の実験装置がある。初期状態では、円形断面の中央部を大電流が流れ、密度の高いプラズマが発生する。各磁力線は入れ子構造をなすトーラス面上を走り、この「磁気面」によりプラズマを閉じ込める。装置中のプラズマには、テアリングモードと呼ばれる、抵抗性により磁力線の繋替えが起こり、磁気面がそのトポロジーを変えて「磁気島」になる不安定性が起こる。複数のこのモードの成長が、電流破壊と呼ばれる大電流の散逸を引き起こすと考えられている。

縮約した MHD 方程式に基づいて、この現象のシミュレーションを行なった。円形断面の同心円上の島構造として発生した 2 つのモードが非線形結合することにより、磁気島のオーバーラップが起こる。その結果、磁力線のカオス領域 (磁力線が面上に留まらずに、ある体積中を走り回る磁気面が破壊された領域) が発生して広がって行く。最後まで磁気面が破壊されずに残った中央部では、いくつかの磁気面が磁力線に対し粘着性を持つ Cantorus (穴の開いたトーラス面) として残り、先にカオス領域となった内側の磁力線が外側のカオスの大洋に出て行くことを妨げていることがわかった。それに伴い、中心付近の高い電流密度の領域に、電流密度の低い小領域が複数めり込んで行くこと (泡の生成) を発見した。この直後から電流はフィラ