

乱流モデルにおける energy transfer

京大理 大木谷 耕司、京大防災研 山田 道夫

発達した乱流の波数空間におけるエネルギー伝達の”平均的な”性質は Kolmogorov の普遍平衡理論(K41)によってとらえ得ると考えられる。それによると慣性小領域におけるエネルギースペクトルは、 $E(k) \sim k^{-5/3}$ 、また、エネルギーフラックスは $\varepsilon(k) = \text{一定}$ となることが予想される。ところが現実の乱流は K41 の仮定に反し、空間的にも時間的にも一様ではない。ここではあるモデル方程式の数値計算によってエネルギー伝達の時間的間欠性について調べることを試みた。

取り扱うモデルは離散化された Fourier 空間 ($k_n \sim 2^n$) において定義されるいわゆるカスケードモデルの一種である。詳細は文献1)にゆずるが、この系は i) 2 次の非線形性、非粘性のときの ii) エネルギー保存、および iii) 位相空間での体積保存という構造上の性質を流体系と共有する。さらにその時間発展はカオス的であり、かつ時間平均の意味でエネルギースペクトルは K41 を満足する。

ところがこの簡単なモデルにおいても、エネルギー伝達は時間的に間欠的である。つまり、エネルギーフラックス $\varepsilon(k)$ を時間的に追跡したところ慣性領域で効果的にエネルギー輸送がある活性時期とそれがほとんどない不活性時期とがあることがわかった。次に、この現象を力学系理論の立場からみるため局所(第一) Lyapunov 指数のふるまいを調べたところ、これも激しい振動を示す時期と比較的おだやかにふるまう時期とがあって、前述の活性、不活性と対応している。

まとめると、このモデルにおいては力学系としての不安定性とエネルギー伝達の時間的間欠性とは密接に結びついているといえる。現実的な流体系である Navier-Stokes 方程式において同様の対応を調べるのが今後の課題である。

1) K. Ohkitani and M. Yamada, Prog. Theor. Phys., Vol. 81, No. 2(1989).