磁気乱流の統計的アプローチにむけて

名古屋大学　理論宇宙物理学研究室　堤 昭裕

一般的に、流体力学において、乱流への移行のしやすさは「レイノルズ数」と呼ばれる無次元パラーメーターによって決定される。レイノルズ数とは、考えている系の典型的な速さ U、典型的なスケールの大きさ L、そして粘性係数νを用いて、$Re \equiv UL/\nu$と定義され、レイノルズ数が大きいほど乱流状態に移行しやすい。

宇宙流体においては、その典型的なスケールはとても大きくなるので、自動的にレイノルズ数も高い値をとる。よって宇宙流体の物理現象を理解するためには、乱流状態について理解することが非常に重要になってくる。

しかし、その一方、流体の運動の様子を記述する運動方程式は「非線形方程式」であり、また乱流現象はこの「非線形性」が本質的にかかわっている。このことは乱流に対する数学的アプローチを非常に困難なものにしている。

このような事情により、乱流に対するアプローチは何かしらの工夫が必要になってくる。一つの方法として「統計的アプローチ」が挙げられる。これは、速度場が乱流状態にある時にはあらゆる場所でバラバラな速度であるので、その速度をランダムな確率変数をみなすという方法である。この様な確率変数を平均操作することにより、ある程度情報を粗視化するのである。

もとの運動方程式から、このような平均化された物理量に対する方程式を得ることができる。例えば平均化されたエネルギー等、基本的な物理量に対する方程式は重要な方程式になってくる。しかし、このエネルギーに対する方程式の中には「速度の三次相関」の項が入ってきて、実はエネルギーの方程式を解くには、この「速度の三次相関」に対する方程式が別に必要になってきてしまう。そして「速度の三次相関」に対する方程式には「速度の四次相関」が入ってくる。この用な事情によりエネルギーに対する方程式は無限個の連立偏微分方程式となってしまい、一般的には解くことができない。

上記のような問題に対する一つの手段としては「完結近似」が挙げられる。これは無限個の連立方程式に出てくる速度相関を途中の段階で近似して、有限個の方程式で閉じるという近似方法である。どのように閉じるかはちゃんと考え、吟味しなければならない。

このような「完結近似」を用いて MHD 乱流のエネルギースペクトルを求め

る試みは、例えばGoldreich&Sridhar(1995)により成されている。
結果は上手く Kolmogorov の（—５／３）乗則を反映するものになっており、完結近似が成功したといっていい。

完結近似の数学的な方法の内容、よりよい近似方法の MHD 乱流に対する適用などはまだ考察の余地がある内容だと考えられる。