

流, ハード乱流と呼ばれている. この名前の由来は, 温度揺らぎがそれぞれガウシアン, 指数分布に従うことにある. その他, 対流によって運ばれる熱量 (ナッセルト数) 等の物理量の温度差 (レイリー数 Ra) に対するスケーリング則が変わる, 温度揺らぎの周波数スペクトルにべき則が現れる, 安定なセル流が生じ境界層からプルームと呼ばれる噴き出しが起こる, 等の事象によりハード乱流は特徴付けられている. これらの事象は, 粗い現象論により説明されているが, 実験では観測できない速度場や温度場の構造をモデル化しており, その根拠は曖昧である.

ここでは, 流れ場の全体像を掴むために, ハード乱流が起こることが知られている2次元ブシネ近似のナビエ・ストークス方程式を直接シミュレーションして得られた結果を報告する. 数値計算は, 垂直方向にチェビシェフ多項式, 水平方向に三角関数で展開したスペクトル法を用い, $Ra=1.7 \times 10^8$, $Pr=7$, アスペクト比1の場合を調べた. セル中央及び境界付近で記録した温度, 速度, 渦度の時系列を用いて1点及び2時刻差の分布関数を求めると, ほぼ引き伸ばされた指数 (stretched exponential) 分布で近似できることが分かった. さらに, 分散及び指数の時刻差依存性により中央での速度, 渦度揺らぎは, セル流に対応する時間スケールを持つが温度揺らぎは, 更に長いスケールを持つことが示唆された. これは, 境界から噴き出したプルームが中央部まで運ばれる過程が間欠的であることを示している. 又, 境界近くではセル流よりも短い時間スケールがあり, これは境界層の剝離が頻繁だがランダムに起こることを示している.

ハード乱流の成因が比較的安定なセル流にあり, 又, この維持のために境界層とセル流の相互作用が重要であることは明らかであろう. これらのダイナミクスと各種統計量との関連を明らかにすることは今後の課題である.

Alfvén Wave に関する話題

核融合科学研究所 羽 鳥 尹 承

円筒状のプラズマを考える. 軸方向に強い磁場があり, 又, 軸方向に電流が流れていて, 磁力線はヘリカル型になっている. 軸方向の境界条件として, 周期条件ならトカマクのモデルとなり, 凍り付き条件なら太陽表面のループのモデルとなる. プラズマは $low \beta$ と仮定して, 簡約化 MHD の方程式を使って以下の話をする.

このようなプラズマが不安定性のため非線形現象を起こし臨界状態に達すると激しい現象に転移することがある. そんな一つの例として, tearing 不安定の MHD シミュレーションを示しながら (Urata and Hatori (1991), Hatori and Urata (1992)), 磁力線のカオス構造と Alfvén wave のアンダーソン局在という新しい視点からその機構を説明できることを示した. 不安定性によって生じた二つの性質の異なる磁気島が空間的に接触するまで発達すると, 急激に時間発展が早まるということがシミュレーションの結果である. 理論解析によれば, 磁力線のカオス構造が起これば Alfvén wave が発生し, その波は局在化する可能性が大であることを示すことができる. この機構でプラズマは爆発的な変化をとげ, 当然乱流状態を作り出す. 乱流に伴う異常電気抵抗により強い磁気再結合が起こることが予想される. 太陽表面の flare 現象に対して私はこのようなイメージを持っている.

このような激しい緩和現象が起こったあかつきにどんな準定常状態に落ちつくかの問題は MHD の主要な研究課題である. 例えば J.B. Taylor の force free state に導く変分原理の理論

は有名である。プラズマの流れ場も考慮した理論もいくつかある。そのような中の一つの可能な解として、磁場と流れが平行に揃った状態 (aligned state) について考えた。ただし今の配位は三次元すべての方向に等方的ではなく、強い磁場の方向 (z 軸) とそれに垂直方向 (x, y 軸) とは同等には扱えない。磁場と流れが平行に揃うのは (x, y) 面内に限った。比例係数 α をパラメーターとして、aligned state は既知の解を含む family を構成する。既知の解の中には、磁気平衡状態、二次元 Navier-Stokes, Alfvén wave, などが含まれている。一般のパラメーター α に対しては、時間変数と z 座標が混じった新しい時間変数に対する二次元 Navier-Stokes 方程式を満すことが示された。

参 考 文 献

- Hatori, T. and Urata, K. (1992). プラズマにおける磁場とトポロジー, *ながれ*, **11**, 36-100.
 Urata, K. and Hatori, T. (1991). Formation and decay of current bubble in the nonlinear coupling process of resistive tearing modes, *Research Trends in Physics: Chaotic Dynamics on Transport in Fluids and Plasmas* (eds. I. Prigogine et al.), AIP.

一様剪断乱流における渦構造の形成

京都大学 理学部 田 中 満
 京都大学 数理解析研究所 木 田 重 雄

平均流が $U(x) = (Sy, 0, 0)$ (S は定数) で表される一様剪断乱流は、乱流境界層や乱流混合層などの現実の剪断流における複雑な渦のダイナミクスを知る第一歩として重要である。ここでは、一様剪断乱流における渦構造の時間発展をナビエ-ストークス方程式の直接数値計算により調べた。空間微分にはスペクトル法 (128^3 モード)、時間積分にはルンゲ-クッタ-ジルを用いた。初期条件は、場が等方になるように、また、線形項と非線形項がつりあうように選んだ。渦構造の時間発展のようすは以下のようなものである。

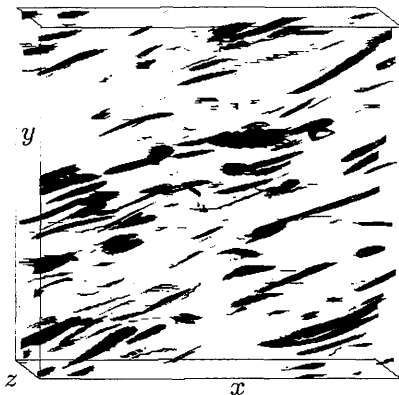


図 1. $St=4$ における等渦度面 (64×128^2).

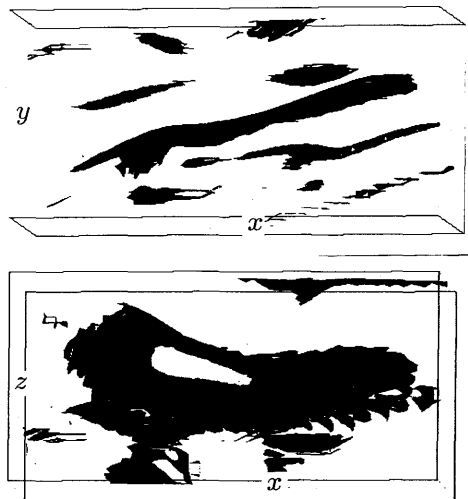


図 2. $St=8$ における等渦度面 (40^3).