

(2a) これまでの研究成果まとめ

マイクロからマクロスケールさらには銀河スケールにいたるまで、われわれを取り巻く世界は渦状構造に満ち満ちている。流体の構成要素であると「渦」の非線形運動や安定性を計算する数学的手法の開発を行っている。また、磁場と渦度場が流れに凍結している性質からもたらされる「トポロジカル流体力学」を追求している。

1. 粘性流体中の渦の運動速度に対する有限太さの効果を取り込む特異摂動法

- i) 有限太さに固有の双極子構造を足がかりに、渦輪の運動速度に対する渦核-曲率半径比 3 次の補正項を Navier-Stokes 方程式にもとづく特異摂動法によって導いた²⁷⁾。
- ii) 非圧縮性流体中における反平行渦対の 2 次元高レイノルズ数運動に対して、核半径-渦中心間距離比についての接合漸近展開の 5 次までの拡張を行った⁹¹⁾。

2. 渦管の 3 次元不安定性理論

Krein のハミルトンのスペクトル理論観点から、渦管の 3 次元不安定性解析を行った。

- i) 歪み流中の渦管の 3 次元不安定性に対する増幅率と固有関数を完全に書き下した³⁵⁾。
- ii) Kelvin の渦輪では、曲率の効果により、角波数の差が 1 の 2 個の Kelvin 波が共鳴不安定を起こすことを発見し、「曲率不安定」と名づけた^{34,38)}。

3. 流れのスペクトルと波の非線形相互作用

非圧縮オイラー流にする Arnold の定理を圧縮性に拡張し、電磁流体(MHD)において、等磁気循環面上に拘束された攪乱を導入し、波のエネルギーの新公式を導出した^{50,51,112)}。

4. トポロジー的不変量の Noether の定理による特徴づけと南部力学

- i) MHD に対する Hamilton の最小作用の原理の枠組みで、「クロスヘリシティ」を作用の粒子ラベルつけ替え対称性に関する Noether の定理によって特徴づけた^{52,71,115)}。
- ii) MHD においては、クロスヘリシティ、全エントロピー、磁気ヘリシティの 3 個の積分を用いて、ハミルトン運動方程式を南部括弧によって表現した¹¹⁵⁾。

5. 浅水流の Kelvin-Helmholtz 不安定性に対する重力波の効果

接線速度不連続面は Kelvin-Helmholtz 不安定性を起こすが、浅水流中では速度の跳びが重力波の伝播速度の 2.82 倍を越えると安定化する。剪断流の有限幅の効果を実算した¹¹⁴⁾。

6. 水の土壌への浸透の数値解析

重力下での水の不飽和土壌への浸透を記述するのは Richards 方程式という非線形放物型偏微分方程式である。陽的差分法を構成し、スキームの安定性を証明した^{98,99,106)}。

7. マテリアルズインフォマティクスによる化学材料開発

量子化学計算と機械学習を組み合わせ、所望の特性をもつ環状化合物を生成するアルゴリズムを構築し、化合物群を自動生成するプログラムを作成して実行した^{109,113)}。