

課題名 (タイトル) :

準地衡風点渦系の平衡状態

利用者氏名 : 木村 英史

所属 : 和光研究所 基幹研究所 戎崎計算宇宙物理研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

大気・海洋といった大規模な地球流体運動は、安定密度成層効果と地球の自転によるコリオリ効果によって、近似的には鉛直高さの異なる層ごとに 2 次元運動とみなすことができる。したがって、第 0 近似では各層ごとに 2 次元 Euler 方程式で記述される。これまで 2 次元点渦系に関する研究は数多くなされており、近年では、Yatsuyanagi ら (2005) が円筒容器内に閉じ込めた非中性プラズマに関連して 2 次元点渦系の大規模数値計算 ($N = 6724$) を行なった。しかし、地球流体運動のより詳細な特徴を捉えるには 3 次元計算が必要であるため、地球流体の第一近似として準地衡風近似を導入する。準地衡風近似による乱流の数値計算では自発的に秩序渦構造が出現し、その相互作用が流れの動力学を支配する。我々のグループは、これらの秩序渦構造 (N 個の渦) を点渦 (N 自由度), Wire 渦 ($2N$ 自由度), さらに楕円体渦 ($3N$ 自由度) で近似する乱流渦モデルを開発した。これらの渦力学系は、幾何学的意味の明確な正準変数を用いた Hamilton 力学系として定式化される。本研究では、準地衡風点渦系および球渦系の統計的性質を数値計算および理論的に調べた。大自由度の渦力学系の統計性を調べるため、分子動力学専用計算機 MDGRAPE-3 を流体分野に援用し、準地衡風点渦系の大規模数値計算を行った。

2. 具体的な利用内容、計算方法

無限の領域中のある領域に $N=2000\sim 8000$ の点渦をランダムに正規分布させ数値計算を行った。 N 体準地衡風点渦系における Hamiltonian は $N(N-1)/2$ の渦対における相互エネルギーの和 :

$$H = \sum_{(i,j)}^N \hat{\Gamma}_i \hat{\Gamma}_j / 4\pi |R_i^p - R_j^p|$$

で表されるため、 i 番目の点渦の運動方程式は

$$dX_i / dt = \hat{\Gamma}_i^{-1} \partial H / \partial Y_i, dY_i / dt = -\hat{\Gamma}_i^{-1} \partial H / \partial X_i$$

となり、クーロンポテンシャルのような形で書き表せる。

3. 結果

準地衡風点渦系のエネルギー依存性について調査するために、正温度領域、'0'-inverse-temperature、負温度領域の数値計算を行い、'End-effect'、'Inverse end-effect' といった特徴的な振る舞いを確認した。また、渦雲間の相互作用を調べ、Li らが CASL 法を用いて行った 2 体同体積球渦の計算結果と比較した。CASL 法は一様渦度領域を仮定した計算方法なので、正温度領域との数値計算結果と比較した。CASL 法での計算結果よりも、点渦法の計算結果の方が合体しやすいことが分かった。各エネルギーにおいて二つの渦雲を用意し時間発展をさせ、合体・渦交換・定常回転の 3 つに分類し調べた。特に渦雲同士が合体した場合、合体後の渦雲の渦重心周辺に着目すると、渦のエネルギーが初期のエネルギー分布より高いエネルギー分布になることを確認した。

4. まとめ

準地衡風点渦系の平衡渦分布は熱平衡分布をとり、エネルギー依存性による特徴的な振る舞いを確認した。また渦雲間の相互作用を調べたところ合体後の渦分布は初期分布に比べ大きく変化した。

