

地球流体乱流の数値解析

木村 芳文

名古屋大学大学院多元数理科学研究科

地球流体の特徴は流体が薄い球殻内を自転と重力の影響の下に運動していることにある。本研究の目的は大規模数値シミュレーションを通してこの地球流体の持つ特徴を数理的に理解することにある。自転と重力の影響は流体にとっては流れの性質が鉛直・水平方向や回転軸方向に応じて異なるという力学的異方性をもたらすと考えられる。そしてこの力学的異方性はこれまでに多く考察されてきた等方的な乱流とは大きく異なる描像を乱流統計にもたらすことが期待される。このような異方性乱流の統計的性質を明らかにすることが本研究の大きなテーマである。具体的に本年度は昨年度に引き続いて成層乱流のエネルギースペクトルと渦構造の関係についての解析を行った。

成層乱流のエネルギースペクトルの特徴は k_{\perp} を水平方向の波数 ($= \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$) とするとき、 k_{\perp} がある波数より低波数側で k_{\perp}^{-3} 、高波数側で $k_{\perp}^{-5/3}$ という遷移をすることにある。このことは海洋や大気の観察では報告されていたが、それを裏付ける大規模な数値計算はこれまでになかった。我々は成層の効果を取り入れた Navier-Stokes 方程式を Boussinesq 近似の下で数的に解くことでこの問題を考察した。解析は得られた速度場をトロイダル成分 (回転成分: ϕ_1) とポロイダル成分 (発散成分: ϕ_2) に分けることによって行った。計算は 2048^3 の格子点を用いて擬スペクトル法を用い、並列化は領域を z 軸に垂直のスラブに等分し、MPI を用いて計算を行った。

Figure 1 はトロイダル成分 ϕ_1 (これはほぼ速度の水平方向成分に対応すると考えられる) のエネルギースペクトルを横軸を k_{\perp} として時間的に追ったのがものである。最初に大きいスケールからの k_{\perp}^{-3} スペクトルが形成された後に小さいスケールの $k_{\perp}^{-5/3}$ スペクトルが持ち上がってきており、 1024^3 の格子点で得られた結果を確認することができた。さらにいくつかのスペクトルの時刻における鉛直面内のエンストロフィー等高線を示したものである。初期の k_{\perp}^{-3} が支配的な時刻においてはウエッジ状の渦が支配的であり、それらの翼が時間とともに引き延ばされケルビン・ヘルムホルツ渦が生成されることが観察された。

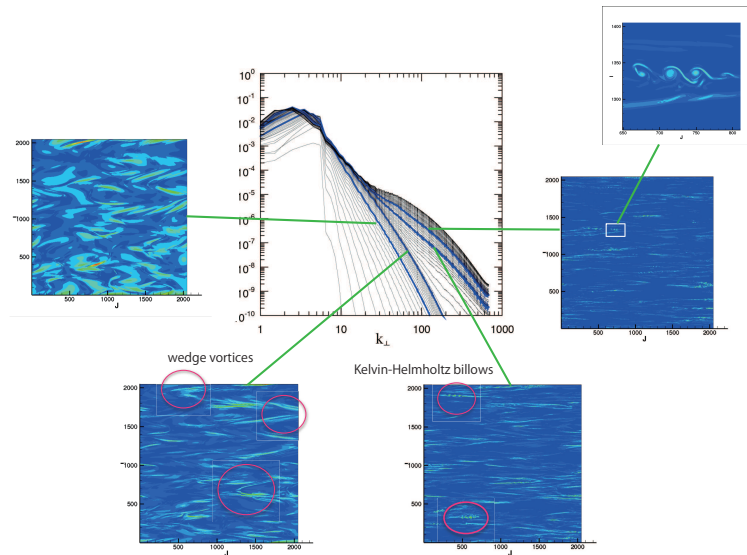


Figure 1: $N^2 = 100$ における ϕ_1 スペクトルの時間発展と対応する鉛直面内のエンストロフィー等高線