

地球流体乱流における渦構造生成とそれに伴うエネルギートランスファー

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。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異方性として現れると考えられる。本研究の目的は大規模数値シミュレーションを通して地球流体の持つ異方性を数理的に理解し、異方性乱流の統計的性質を明らかにすることにある。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、およびそれに伴うエネルギートランスファーとその積分であるフラックスの解析を行った。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。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、回転がない場合でも同様の遷移がおこることを数的に示した [1]。

文献 [1] では定常乱流を得るために低波数バンドにランダムな水平方向の外力を加えたが、その外力は鉛直方向にある波数を持っており、厳密な意味で2次元的外力でなく、人工的な重力波の種を与えているとも考えられた。そこで本年度は新たな外力としてその鉛直方向の波数が0であるような厳密に2次元的外力を加え、初期には温度場の速度場への影響を切り、パッシブなスカラー場として扱うことによって2次元乱流を発達させて、ある時間に温度場のカップリングをオンにして、成層のスペクトルに与える影響を調べることにした。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 1024^3 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 ϕ_1 と ϕ_2 の時間発展をプロットしたものである。 $t \sim 14.2$ で成層がスイッチされ鉛直成分 (重力波成分) が発達していく様子が見える。 $t \sim 28$ で ϕ_1 と ϕ_2 の影響が定常に成り、その後はある一定の比を保って落ち着く。 Figure 2 は異なる3つの時刻における ϕ_1 のスペクトルをプロットしたものである。初期には2次元乱流特有の逆カスケードが低波数領域で観察されるが、それは成層が加わるとフラットなスペクトルに変化している。これは文献 [2] で観察されたことと一致する。また、 ϕ_1 と ϕ_2 の比が定常になる時までに高波数領域で $k^{-5/3}$ に対応するスペクトルが現れていることがわかる。

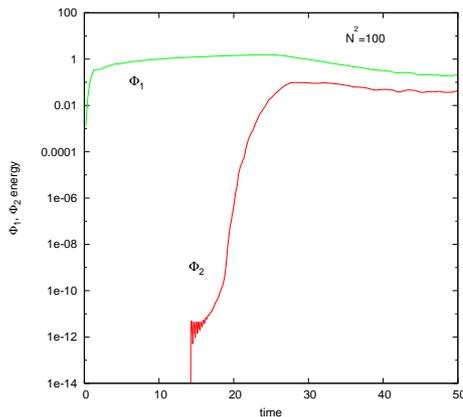


Figure 1: ϕ_1 と ϕ_2 の時間発展

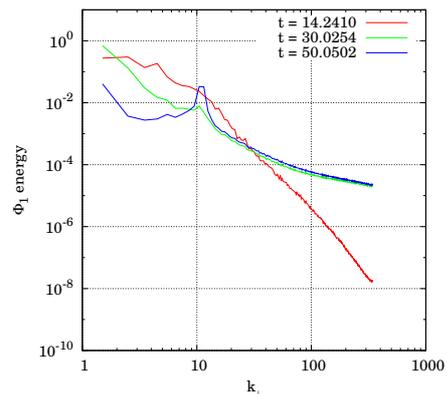


Figure 2: 3つの時刻における ϕ_1 のスペクトル

References

- [1] Y. Kimura & J. R. Herring, *J. Fluid Mech.* **698**, 19–51 (2012).
- [2] J. R. Herring & O. Métais, *J. Fluid Mech.* **202**, 97–115 (1989).