

回転球面上非粘性Rossby 波乱流における東西ジェットの形成

Zonal flow formation in inviscid two-dimensional Rossby wave turbulence on a rotating sphere

*小布施 祈織¹、山田 道夫²

*Kiori Obuse¹, Michio Yamada²

1. 岡山大学 大学院環境生命科学研究科、2. 京都大学 数理解析研究所

1. Graduate school of environmental and life science, Okayama university, 2. Research Institute for Mathematical Sciences, Kyoto University

惑星大気や海洋の運動を記述する最も基本的な数理モデルの1つである回転球面上2次元 Navier-Stokes 方程式系は、木星などにおいて見られる東西ジェットに類似する非等方非一様な大規模構造を有する解を持つことが知られている。自由減衰問題では極域西向きジェット[1], 強制問題では複数本の東西ジェット[2, 3]がそれぞれ形成されるが, ジェットの形成メカニズムは未だ十分に明らかにはなっておらず, 弱非線形理論に基づく平均流非加速定理[4, 5, 6]から, 回転系に特有な線形波である Rossby 波が持つ西向き運動量の粘性散逸に起因するため粘性の存在が不可欠であると語られることも多い。

これに対し本発表では, 非粘性非強制問題においても極域西向きジェットが形成されること, すなわちジェットの形成に粘性散逸は不可欠ではないことを示唆する数値実験結果を報告する。

2次元球面上非圧縮条件のもとで, 粘性係数を0から 10^{-34} の間で選びながらランダム一様な初期状態から非強制Navier-Stokesを時間発展させると, 全てのケースで極域西向きジェットの形成が確認された。ジェットの位置と強さは, 粘性係数を減少させるにしたがって良い収束を示し, 時間発展過程での総エネルギーの最大値と最小値の差をプロットすると, 粘性係数が 10^{-35} から 10^{-43} までは-1乗のべきで減少し, 10^{-44} 以下では一定のある値をとった。このことは, 本研究で行った数値計算のうち, 超粘性係数が 10^{-44} 以下ケースは非粘性極限計算としてみなしても良いことを示唆している。2次元かつ物理的境界の存在しない領域においては, 初期の流れ場が特異性を持たなければ, 非粘性極限のNavier-Stokesの解は非粘性の解, すなわちEuler方程式の解, と一致することが知られているため[7, 8, 9], 上記の結果より, 少なくとも非強制問題では, 回転球面上2次元 Rossby 波乱流における極域西向きジェットの形成は Rossby 波の運動量の粘性散逸に起因するものではないことが強く示唆される。

[1] S. Yoden and M. Yamada, "A numerical experiment on two-dimensional decaying turbulence on a rotating sphere", *J. Atmos. Sci.*, **50**, 631--643 (1993)

[2] T. Nozawa and S. Yoden, "Formation of zonal band structure in forced two-dimensional turbulence on a rotating sphere", *Phys. Fluids*, **9**, 2081--2093 (1997)

[3] K. Obuse, S. Takehiro, M. Yamada, "Long-time asymptotic states of forced two-dimensional barotropic incompressible flows on a rotating sphere", *Phys. Fluids*, **22**, 156601 (2010)

[4] G. Charney and P.G. Drazin, "Propagation of planetary-scale disturbances from the lower into the upper atmosphere", *J. Geophys. Res.*, **66**, 83--110 (1961)

[5] A. Eliassen and E. Palm, "On the transfer of energy in stationary mountain waves," *Geophys. Publ.*, **22(3)**, 1--23 (1961)

[6] D.G. Andrews and M.E. McIntyre, "Planetary waves in horizontal and vertical shear: The generalized Eliassen-Palm relation and the mean zonal acceleration", *J. Atmos. Sci.*, **30(11)**, 2031--2048 (1976)

[7] K.K. Golovkin, "Vanishing viscosity in the Cauchy problem for equations of hydrodynamics", *Trudy Mat. Inst. Steklov.*, **92**, 31--49, (1966)

[8] F. J. McGrath, "Nonstationary plane flow of viscous and ideal fluids", *Arch. Rational Mech. Anal.*, **27**, 329--348 (1968)

[9] Y. Maekawa and A. Mazzucato, "The Inviscid Limit and Boundary Layers for Navier-Stokes Flows", *arXiv:1610.05372v1 [math.AP]* (2016)

キーワード：ロスビー波乱流、非粘性、東西ジェット

Keywords: Rossby wave turbulence, inviscid, Zonal flow formation