

回転半球面上における流体運動

Flow pattern formation in two dimensional turbulence on a rotating hemisphere

谷口 由紀 [1]; 山田 道夫 [2]; 石岡 圭一 [3]
Yuki Taniguchi[1]; Michio Yamada[2]; Keiichi Ishioka[3]

[1] 京大・数理研; [2] 京大・数理研
; [3] 京大・理・地惑

[1] RIMS, Kyoto Univ.; [2] RIMS, Kyoto Univ.; [3] Div. Earth and Planetary Sci.,
Grad. School of Sci.,
Kyoto Univ.

回転球面上の全領域における2次元非圧縮性流体の運動では、自転速度が十分に速いと帯状渦構造が出現し、極域に東風ジェット（東風周極流）が形成されることなどが知られている。我々は、全球における結果を踏まえて、球面上で円形の粘着境界を持つ領域について、2次元非圧縮性流体の流れパターン形成を調べてきた。円領域（丸池）の大きさや位置を変化させた一連の数値実験から、丸池が縦半球（半球の境界が経度線と一致）のときには、初期場の流線が同心円状の場合流れのパターンが東から西へ移動すること、また、丸池が南半球（境界が赤道と一致）のときには、初期乱流場から南極付近に西風周極流が形成されることを見出している。この南極付近の西風周極流は、丸池の大きさに依らず丸池の中心が南極にあれば形成される傾向にある。

ここではまず、丸池が南半球で赤道が粘着境界の場合の西風周極流形成について、初期条件の境界付近の振る舞いの影響について報告する。さらに、境界条件が粘着条件ではなく slip (stress free) 条件の場合について数値的に調べ、境界条件の違いが周極流形成に及ぼす影響について議論する。

数値計算では、丸池の大きさと位置を任意に設定できるように、中心が球の頂点となるよう球面を回転した後、その頂点を基準とする立体写像によって丸池を平面単位円板に変数変換し、この単位円板上で非圧縮性流体の2次元 Navier-Stokes 方程式を解いた。この変数変換の利点は、渦度方程式の非線形項とラプラシアンが類似の形式で変換され、写像後の方程式が流体方程式に近い形になることである。丸池の境界における境界条件は no slip 条件と slip (stress free) 条件の両方を用いた。単位円板上では極座標を用いて角度方向にフーリエ展開、動径方向にはチェビシェフ多項式展開を行い、選点法により展開係数を求めた。no-slip 境界の場合は境界条件を満たす展開形を用いているが、slip 境界の場合は境界条件を τ 法で加える。時間積分については Crank-Nicolson 法と Runge-Kutta 法を用い、粘性係数と球自転角速度はそれぞれ 0.0009976、400(木星相当)とした。

我々はこれまでの研究から、回転球面上の丸池が南半球（赤道が粘着境界）の場合、初期場に依らず極域で西風周極流が形成されることを見出している。このとき境界での no-slip 条件を満たすファクターを含むものを初期乱流場として採用して計算を行ったが、このときの初期乱流は領域の中心付近に局在していた。ここではまず、境界近くまで初期乱流場を均一に分布させるようなファクターを用いて、初期乱流場を 16 通り選び速度場の方向を逆転した場合も含め合計 32 通りの初期値に対して、同様な数値実験を行った。その結果、no-slip 境界条件のもとで 32 通りのアンサンブル平均をとったところ、全ての初期値に対して極域で西風周極流が形成されることを確認した。次に同じ初期条件に対し、境界条件を slip(stress free) 条件とした数値実験を実行した。初期乱流が領域の中心付近に局在する場合は西風周極流、初期乱流が境界付近まで存在する場合は東風周極流が形成されることを見出した。即ち、流れ領域に一樣に広がる初期乱流場に対し、non-slip 境界条件の下では極域に西風周極流が形成されるが、stress-free 境界条件の下では周極流の向きが逆転し東風周極流が形成される。さらに、後者の場合、乱流初期場の広がりを極域周辺に限定するにつれて、東風周極流が西風周極流に再逆転する。これらの周極流の向きの違いは、non-slip 境界条件では境界における角運動量の選択的散逸と、また、slip 境界条件(角運動量保存)では角運動量の緯度再配分とそれぞれ関係し、いずれも Rossby 波による角運動量輸送に起因するが、wave activity のみによる説明は困難である。