

実効 β ジャイアによる台風の移動
Tropical cyclone motion due to the effective- β -gyre

○金野 大和・伊藤 耕介
○Yamato KANENO, Kosuke ITO

A tropical cyclone (TC) moves primarily following the large-scale environmental flow (the steering flow), but a deviation occurs between the actual TC track and the steering flow. One such factor is the β -gyre effect, where the meridional gradient of planetary vorticity induces a northwestward drift of a TC relative to the steering flow. If we recall that the conventional β -gyre effect stems from the conservation of the absolute vorticity, a horizontal gradient of large-scale relative vorticity can play a role in the TC motion as well as planetary vorticity. In this study, we extended the concept of the β -gyre to the "effective- β -gyre", which considers the gradient of large-scale relative vorticity in addition to the planetary vorticity gradient and investigate its influence on actual TC track. Therefore, we performed the statistical analysis of TCs and their environmental fields from 2014 to 2024. The results show a weak positive correlation between the magnitude of the effective- β and the magnitude of the deviation between the TC motion and the steering flow. Given that the β -drift component induced by the β -gyre is typically around 1–2.5 m/s, this trend suggests that the effective- β -gyre makes a certain contribution to the deviation of the TC track from the steering flow.

1. はじめに

台風の進路は主に環境場の大規模な流れ(指向流)に従うが、実際の進路と指向流の間には偏差が生じる。その要因の一つとして、惑星渦度の南北勾配($\beta = df/dy$)によって北半球の台風を指向流よりも北西方向へ移動させる β ジャイア効果が知られている(Chan and Williams, 1987)。ここで従来の β ジャイア効果が絶対渦度保存則に由来することを考えると、環境場の大規模な相対渦度も惑星渦度と同様に台風の進路に影響を与える可能性がある。Williams and Chan (1994)では、惑星渦度の南北勾配がない f 面に放物線ジェットの風速分布を仮定した背景場において、渦が疑似的な β ドリフトを引き起こすことが確認されている。しかし、現実の台風の進路に対するそのような効果を焦点とした研究はほとんどない。

本研究では、惑星渦度の南北勾配に加えて相対渦度の水平勾配を考慮した「実効 β ジャイア」を考え、現実の台風の進路にどの程度影響を与えるか確かめる。そのために、まずは数値計算を用いて実効 β ジャイアによる渦の移動速度に対する渦の初期半径および初期強度の依存性を調べた。その後、現実の台風とその環境場の解析を行った。

2. 手法

数値実験では、まず f 面上で領域の北側に東西一様な正の渦度分布、南側に東西一様な負の渦度分布

を持つ基本場(西風ジェットを模した場)を仮定した。次にその領域の中央に正の渦度擾乱を配置し、その移動を調べた。この実験を擾乱の初期半径($R=100, 200, 300, 400, 500$ km)および初期の渦度の最大値($\zeta'_{max} = 2.9 \times 10^{-4}, 5.8 \times 10^{-4}, 11.6 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$)を変えて行った。

解析では、2014 年~2024 年の全 274 台風を対象として、まず 6 時間ごとの台風の移動速度、指向流および環境場における相対渦度の水平勾配を求めた。そこから台風の移動速度と指向流の差の大きさ $|V_p|$ と環境場の実効 β ($\beta +$ 相対渦度の水平勾配)の大きさ $|\beta_{eff}|$ を計算し、両者の関係を調べた。ここで台風の中心位置は SLP 最小値で定義した。指向流は 500hPa 面の台風を中心とする半径 500~700km の領域平均、相対渦度勾配は半径 500~1500km の領域にガウシアンフィルターを掛けたものの平均として定義した。データは、ERA5 再解析データおよび Best track データを使用した。

3. 結果

数値実験では、渦度擾乱は時間とともに基本場の渦度分布を変形させることで基本流から逸脱し、結果的に北東進する様子が見られた(図 1)。また擾乱の北進速度を初期半径および初期強度ごとに比較すると、擾乱の半径と強度が大きくなるにつれて、北進速度が増すことがわかった(図 2)。この結果から、環境場にある程度の相対渦度勾配が存在する場合、

f 面であっても疑似的な β ドリフトを引き起こし、その速度は擾乱の初期半径および初期強度に依存することが確認された。

解析では、台風の移動速度と指向流の差の大きさ $|\mathbf{V}_p|$ と環境場の実効 β の大きさ $|\beta_{eff}|$ の両者の間に弱い正の相関($r=0.13$)が見られた(図3)。一方で、回帰係数は 0.6、回帰係数の t 検定による p 値は 1.53×10^{-8} と両者の線形関係は統計的に有意であり、 $|\beta_{eff}|$ の増加に伴って $|\mathbf{V}_p|$ が系統的に増加する傾向が示された。その増加幅は実効 β の値 $2.0 \times 10^{-11} - 3.5 \times 10^{-11} / \text{m s}$ に対して約 $1-2 \text{ m/s}$ であった。これは従来の β ジャイア効果の速度の代表的スケール($1-2.5 \text{ m/s}$)と同程度である。以上の結果から、実効 β ジャイアは台風進路の指向流からのずれに対する一定の寄与を示唆しており、現実の台風の進路に影響を与えていていると考えられる。

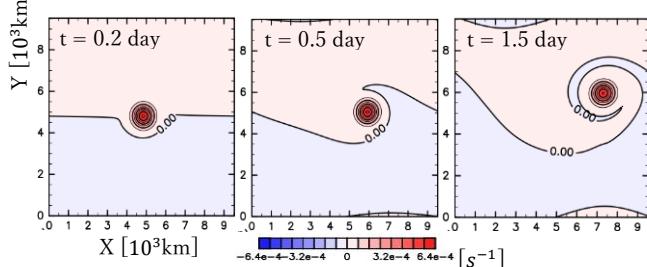


図1 涼度擾乱($R = 500 \text{ km}$, $\zeta'_{max} = 5.8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$)の位置変化。

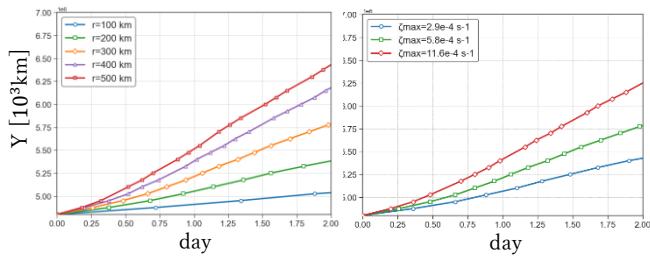


図2 涼度擾乱の中心の南北位置変化を擾乱の半径および涼度最大値ごとに比較した図。左の図では、 $\zeta'_{max} = 5.8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ の擾乱を半径ごとに比較。右の図では、 $R = 300 \text{ km}$ の擾乱を涼度最大値ごとに比較。

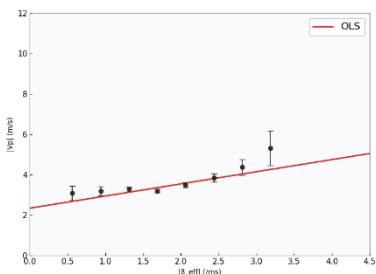


図3 台風の移動速度と指向流の差の大きさ $|\mathbf{V}_p|$ と環境場の実効 β の大きさ $|\beta_{eff}|$ の関係。赤線は回帰直線。エラーバーは 95% 信頼区間を表す。相関係数は 0.13。回帰係数は 0.6。p 値は 1.53×10^{-8} 。

参考文献

- [1] Chan, J. C. L., and R. T. Williams., 1987: *J. Atmos. Soc.*, **44**, 1257-1265.
- [2] Williams, R. T. and J. C. L. Chan, 1994: *J. Atmos. Soc.*, **51**, 1065-1076.