

熱帯低気圧の内部コアにおける渦ロスビー波の検出

* 辻野 智紀・坪木 和久 (名古屋大学 地球水循環研究センター)

1. 研究目的

熱帯海洋上で発生する熱帯低気圧 (以下 TC) は、発達過程においてその渦の中心に対して軸対称な構造をとり、成熟期ではほぼ軸対称な渦と考えることができる。しかし、多くの観測や 3 次元モデルによるシミュレーションから、TC の発達に伴い、渦ロスビー波やレインバンドといった非軸対称成分が存在することが示されている。辻野・坪木 (2011, 秋季大会) では、3 次元非静力学モデルを用いた TC の理想実験を行い、TC の壁雲域に相当する内部コア領域における非軸対称成分が TC の成熟期の最大風速の時間変化に対して負に寄与することを示した。この研究において、内部コア領域で発生する非軸対称成分が、接線方向に高速に伝播するという性質を有していることを確認した。これは、Wang (2002) や Yang et al. (2007) で存在が示唆されている渦ロスビー波の伝播であると考えられる。渦ロスビー波とは、熱帯低気圧のような近似的には軸対称と考えられる渦において、渦の中心から半径方向への相対渦度の変化によって伝播する波のことである (詳しくは板野, 2010 参照)。彼らは非軸対称性が接線方向に高速に伝播する性質を有しているという定性的な議論のみ行っており、定量的な議論は行っていない。

そこで、本研究では、辻野・坪木 (2011) において内部コア領域で発生した非軸対称成分が渦ロスビー波の伝播であることを定量的に示すため、シミュレートされた非軸対称成分の伝播速度と渦ロスビー波の理論モデルから予測される伝播速度を比較を行う。

2. 数値モデル設定・解析手法

本研究では、名古屋大学地球水循環研究センターで開発された非静力学雲解像モデル (CReSS; Cloud Resolving Storm Simulator) を用いた。モデルの基本設定は以下のとおりである。水平解像度は 4km, 計算領域は 2000km × 2000km, 鉛直は 40 層のストレッチングで最下層は 100m とした。初期値とした力学場は Sawada and Iwasaki (2010) を参考に、式

$$v(r, z) = \frac{10\text{km} - z}{10\text{km}} \times 40 \times (r/120\text{km}), \quad (z \leq 10\text{km})$$

で評価した軸対称な低気圧性の渦を計算領域中心に配置した。ここで、 r, z は円筒座標系における動径方向と鉛直方向の座標であり、 r は渦の中心を原点にとる。 v は円筒座標系でみた接線方向の風速である。大気場は JAMSTEC の観測船「みらい」(MR10-03 航海) で得られたラジオゾンデ観測データを水平方向一様に与えた。海面水温は 30°C で水平一様に与え、水温の時間発展はしない。側面境界条件は open boundary, 鉛直境界条件は固定境界でスポンジ層を上層 17km 以上に設定した。コリオリパラメータは領域にわたり一定で、緯度 15° の値を用いた。積分時間は熱帯低気圧が準定常状態となる 250 時間まで行った。

本研究でシミュレートされた非軸対称成分が渦ロスビー波の伝播であることを示すために、非軸対称成分を接線方向に波数展開し、低波数 (波数 1-3) 成分について、接線方向の位相速度、動径方向の位相速度、動径方向の群速度と、浅水モデルにおける渦ロスビー波の理論モデルである Montgomery and Kallenbach (1997; 以下 MK97) の分散関係式:

$$\omega = n\bar{\Omega}_0 + \frac{n\bar{\xi}_0}{R\bar{q}_0} \frac{dq_0/dr}{\{k^2 + (n^2/R^2) + \gamma_0^2\}}$$

から得られる各伝播速度を比較する。ここで、 $k, n, R, \Omega_0, \xi_0, q_0, \gamma_0$ はそれぞれ、動径方向の波数、接線方向の波数、最大風速半径、角速度、相対渦度、PV, 局所ロスビー変形半径の

逆数の 2 乗である。また、上線は接線平均量を表し、これらの各物理量は本研究のシミュレーションによって得られた各物理量を用いる。

3. 実験結果

図 1 は、本研究でシミュレートされた準定常状態 (計算開始 240-250 時間) における高度約 1.2 km での PV の接線平均からのアノマリーの時系列 (波数 1-3 成分のみ) である。波数 1 型については、渦ロスビー波の特徴である接線方向の高速な伝播は見られないが、波数 2, 3 型については顕著な接線方向の伝播が見られる。この時系列図から得られる各波の接線方向の伝播速度が位相速度に対応しており、これらの値と MK97 で予測される伝播速度を比較したものが表 1 である。

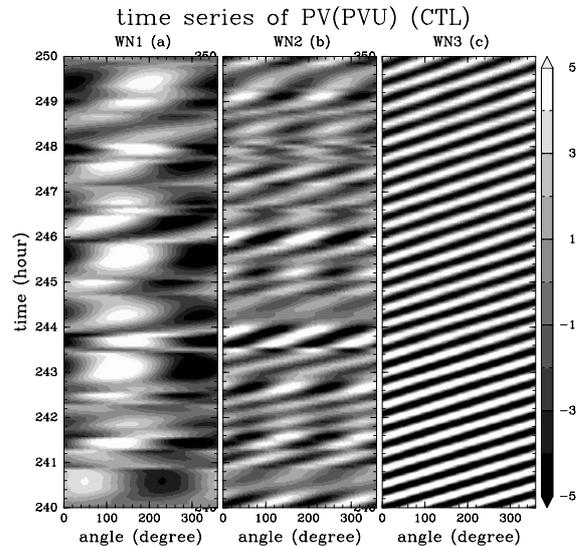


図 1 中心から半径 40 km, 高度約 1.2 km における PV の接線方向反時計回りの低波数非軸対称成分の時系列 (単位は PVU, 240-250 時間). (左) 波数 1, (中) 波数 2, (右) 波数 3.

表 1 非軸対称成分の波数ごとの接線位相速度. 単位は ms^{-1} . 理論値は MK97 から得られる値の 240-250 時間平均値.

	波数 1	波数 2	波数 3
理論値	101	101	101
モデル値	-	70	70

4. まとめ・考察

3 次元非静力学モデルにおける TC の内部コア領域で発生した非軸対称成分の伝播速度は、波数 2, 3 成分については渦ロスビー波の理論モデルから予測される伝播速度と同程度であることが示された。これにより、これらの波数については渦ロスビー波の伝播で説明することができ、これは、Wang (2002) や Yang et al. (2007) の主張を支持するものである。しかし、理論モデルと厳密に一致したわけではなく、接線速度については、 30 ms^{-1} 程度理論値が過大評価となった。これは、本研究でシミュレートされた非軸対称成分が 3 次元成層流体において発生しており、浅水流体を仮定している理論モデルで考慮されていない効果 (例えば、鉛直安定度など) によるものが要因として考えられるが、今後の課題である。また、紙面の都合上結果には示さなかったが、動径方向の位相速度についても理論値とモデル値は同程度の値を示しており、動径方向の群速度については非分散性の伝播性質を示し、明確な比較ができなかった。