

台風の最大強度に対する内部コアの非軸対称成分の寄与

辻野 智紀

名古屋大学 地球水循環研究センター 博士課程(前期課程)2年



1. はじめに

熱帯海洋上で発生する台風は、成熟期ではその渦の中心を軸とした回転対称(以下、軸対称)な渦と考えることができる。このことから、成熟期における台風の最大強度に関する理論的研究の多く(たとえば、MPI 理論)は、台風を軸対称な2次元の渦であると仮定して行われている。

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、成熟期の台風では、顕著な非軸対称成分が存在することが示され、それが台風の強度(風速)に影響を与えることが示されている(例えば、Wang, 2002a,b)。これらは、軸対称を仮定したモデルでは表現することができない。実際、Yang et al. (2007) は、2次元軸対称モデルと3次元モデルを用いた数値実験を行い、3次元モデルでは、非軸対称成分によって台風の強度が弱くなるという結果を得ている。

したがって、台風の最大強度をより正確に予測するには、非軸対称成分による最大強度の変化を考慮しなければならない。

そこで、本研究では3次元非静力学モデルを用いて、理想化された台風における非軸対称成分が台風の最大強度に与える寄与を角運動量収支解析によって定量的に調べる。また、MPI 理論によって予測される台風の最大強度との差をこれらをもとに比較する。

2. 数値モデル・解析手法

<数値モデル>

ここでは、名古屋大学地球水循環研究センターで開発された3次元雲解像モデル(CReSS: Cloud Resolving Storm Simulator)を用いて実験を行った。

モデルの基本設定は右の表に示し、初期に与えた渦は以下の式である。

$$V(r, z) = \frac{z_0 - z}{z_0} \frac{40 \times (r/r_0)}{1 + (r/r_0)^3}, \quad (z \leq 10 \text{ km}). \quad \text{--- (1)}$$

(r, z) = 円筒座標系の動径, 鉛直座標。
V = 接線方向の速度(低気圧性回転が正)。
z₀ = 10 km, r₀ = 120 km。
r = 0 はモデルの計算領域の中心に一致。

<解析手法>

台風の非軸対称成分が最大風速に与える寄与を見積もるために、Wang (2002b) における式:

$$\frac{\partial r\bar{v}}{\partial t} = \underbrace{\left[-\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \bar{u}\bar{v}) - \frac{1}{\rho_0(z)} \frac{\partial}{\partial z} (r\rho_0(z)\bar{v}\bar{w}) - f\bar{r}\bar{u} \right]}_{\text{FLXM}} - \underbrace{\left[-\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \bar{u}'\bar{v}') - \frac{1}{\rho_0(z)} \frac{\partial}{\partial z} (r\rho_0(z)\bar{v}'\bar{w}') \right]}_{\text{FLXE}} + r\text{Turb}. \quad \text{--- (2)}$$

を用いて角運動量収支解析を行った。各記号は以下の通りである。

(u, v, w) : 円筒座標系における動径方向, 接線方向, 鉛直方向の速度成分,
ρ₀(z) : 基本場の密度, f : コリオリパラメータ, t : 時間, (r, z) : 円筒座標の動径, 鉛直座標,
Φ : 変数Φの接線方向の平均(軸対称成分), Φ' : 接線平均からの変動(非軸対称成分)。

ここで、“FLXM”は軸対称成分による角運動量の加速, “FLXE”は非軸対称成分による角運動量の加速を表す。また, “Turb”は乱流過程を表す。

4. まとめ・今後の課題

<まとめ>

- 非静力学モデルを用いてシミュレーションされた台風の成熟期における非軸対称成分の寄与を角運動量収支解析によって調べた。
- 軸対称成分による下層での加速は、インフローによる角運動量の内向き輸送に、下層から中層にかけての加速はアイウォールにおける強い鉛直流によって角運動量を上向きに輸送することに対応している。
- 非軸対称成分は最大風速半径において、角運動量を減速させており、これは非軸対称成分によって、アイウォール付近の角運動量をアイウォールの内側に輸送することに対応している。
- この非軸対称成分による角運動量への寄与が渦ロスビー波と軸対称流の相互作用によるものであるという可能性が考えられる。

<今後の課題>

- この結果とMPI理論から得られる最大強度の結果を比較し、非軸対称成分が最大強度の理論値に与える寄与を調べる。
- 成熟期の最大強度が異なる台風について同様の解析を行い、最大強度に対する非軸対称成分の寄与の大きさを定量的に明らかにする。

参考文献

- Montgomery, T. M., and R. J. Kallenbach, 1997: A theory for vortex Rossby-waves and its application to spiral bands and intensity changes in hurricanes. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **123**, 435-465.
- Wang, Y., 2002a: Vortex Rossby waves in a numerically simulated tropical cyclone. Part I: Overall structure, potential vorticity, and kinetic energy budgets. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 1213-1238.
- Wang, Y., 2002b: Vortex Rossby waves in a numerically simulated tropical cyclone. Part II: The role in tropical cyclone structure and intensity changes. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 1239-1262.
- Yang, B., Y. Wang, and B. Wang, 2007: The effect of internally generated inner-core asymmetries on tropical cyclone potential intensity. *J. Atmos. Sci.*, **64**, 1165-1188.
- 板野稔久, 2010: 渦ロスビー波, *天気*, **57**, 81-84.

3. 結果・考察

図1はモデルで計算された台風の最大風速の時間変化を表す。ここでは、最大風速が準定常状態に達した以降を台風の成熟期とし、この期間における非軸対称成分を解析の対象とする。

図2は計算開始から183時間後の台風中心付近における、高度2.5 kmでの鉛直渦度について、台風中心の接線方向にアンマリーをとったものである。接線方向に波数2の波型の非軸対称成分が見られる。ここで、台風中心は地表面気圧の最低値として定義した。

図3は図2と同時刻での角運動量の式(2)における“FLXM”の動径-鉛直分布(上)と“FLXE”の分布(下)である。

<FLXMの分布>
最大風速半径(~40 km)付近の最下層において、角運動量の増加がみられる。また、同じ半径付近の領域中層(3 km - 10 km)において、角運動量の増加がみられる。

下層での角運動量の増加は、台風中心に吹き込むインフローによって角運動量が外側から輸送されることによるものであり、中層での増加はアイウォールでの強い上昇流によって下層の角運動量が上向きに輸送されている。

<FLXEの分布>
最大風速半径付近の最下層において、非軸対称成分による角運動量の減少がみられる。これは、軸対称成分による角運動量の増加がみられる領域に対応している。

FLXEの分布から、非軸対称成分が台風の最大風速半径において、角運動量を減少させることがわかった。角運動量の減少は軸対称成分の接線速度の減速を意味するので、非軸対称成分が台風の最大風速に対して、負の寄与を与えることが示された。

このような非軸対称成分による接線風(軸対称成分)の加速のメカニズムとして考えられるのが、渦ロスビー波による波と平均流の相互作用であり、今回シミュレートされた台風においてもそのような相互作用が起きている可能性が考えられる。

図4は最大風速半径付近における高度2.5 kmでの相対渦度の接線方向の変動を時系列で示したものである。変動の周期はほぼ2時間で反時計回りに伝播していることがわかる。これは、板野(2010)で述べられている渦ロスビー波と同様の性質がみられる。このことから、非軸対称成分の角運動量の増減が渦ロスビー波と軸対称流の相互作用によるものである可能性が考えられる。

図4: 図2の時刻における、最大風速半径付近での相対渦度の接線方向の変動成分の時系列。

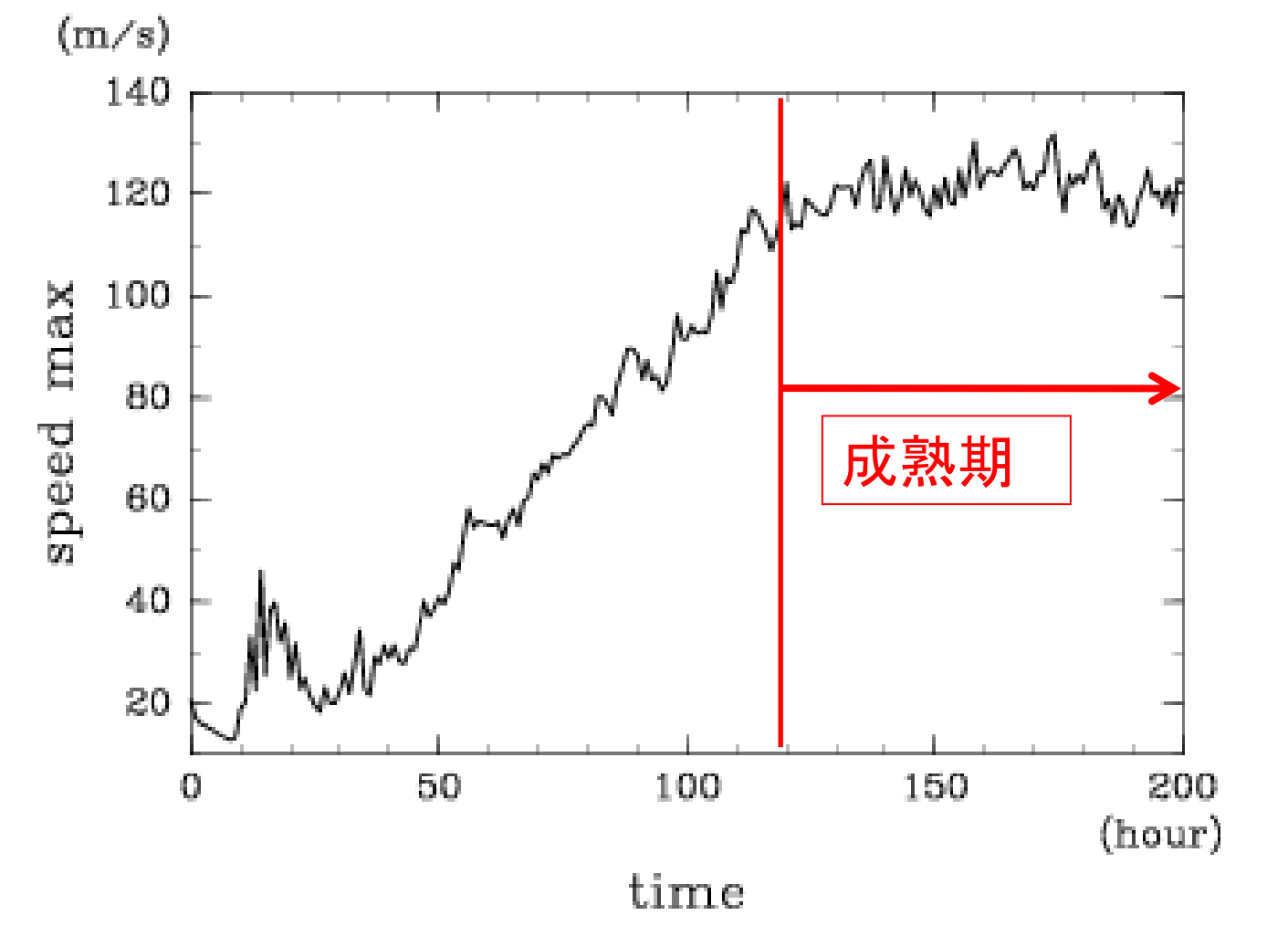


図1: 計算された台風の最大風速の時間変化。

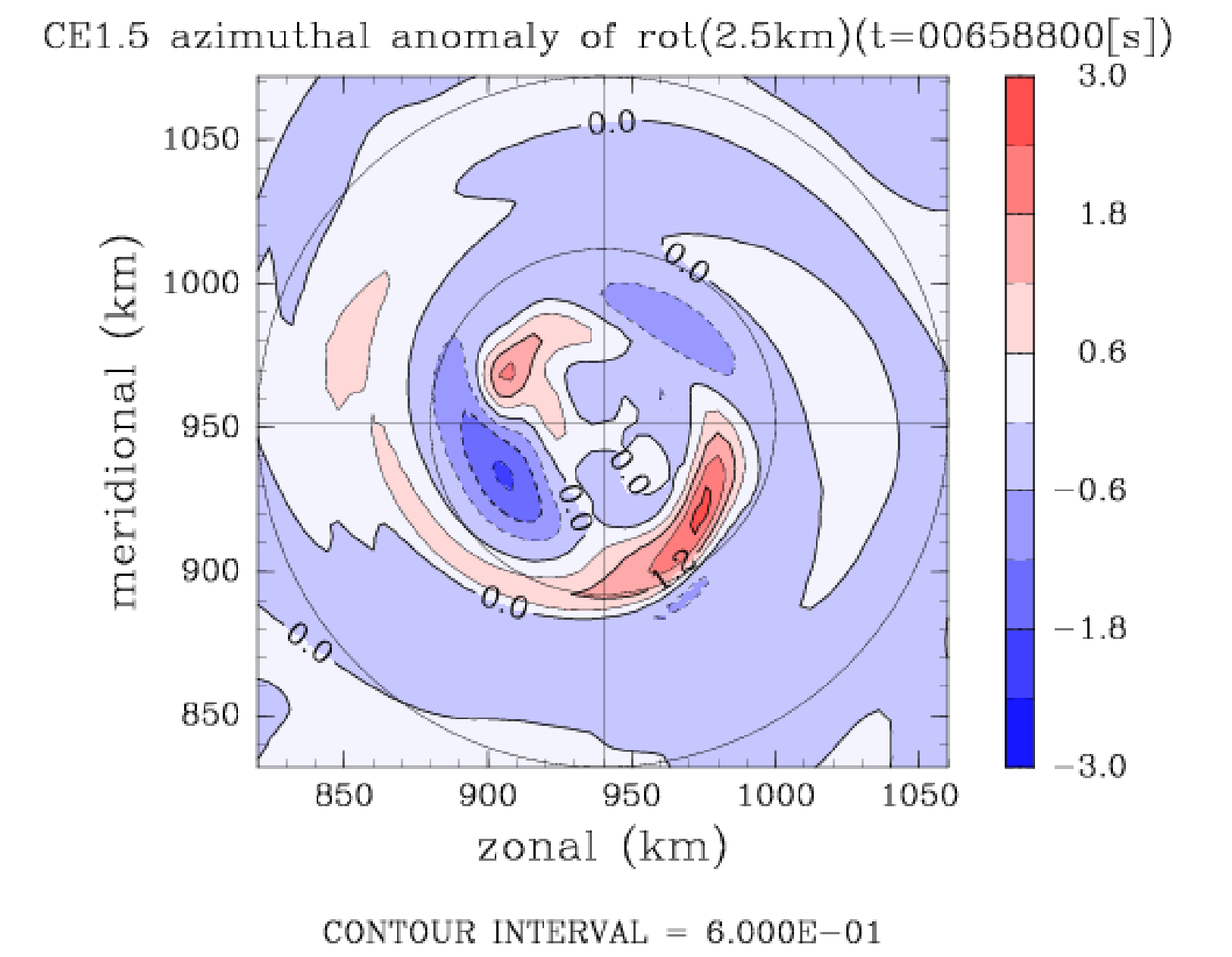


図2: 183時間後における高度2.5 kmでの鉛直渦度の接線方向の変動成分。

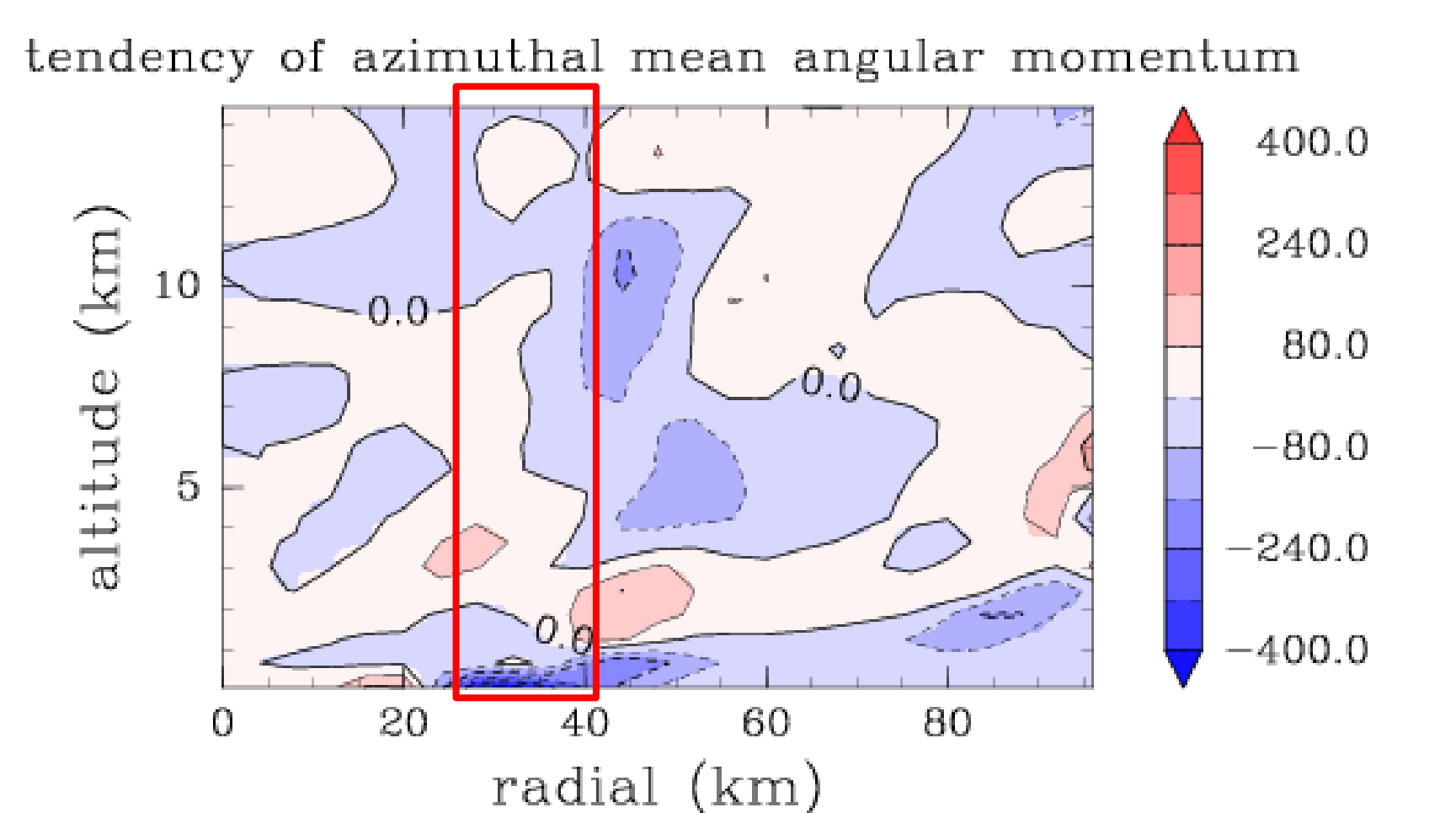
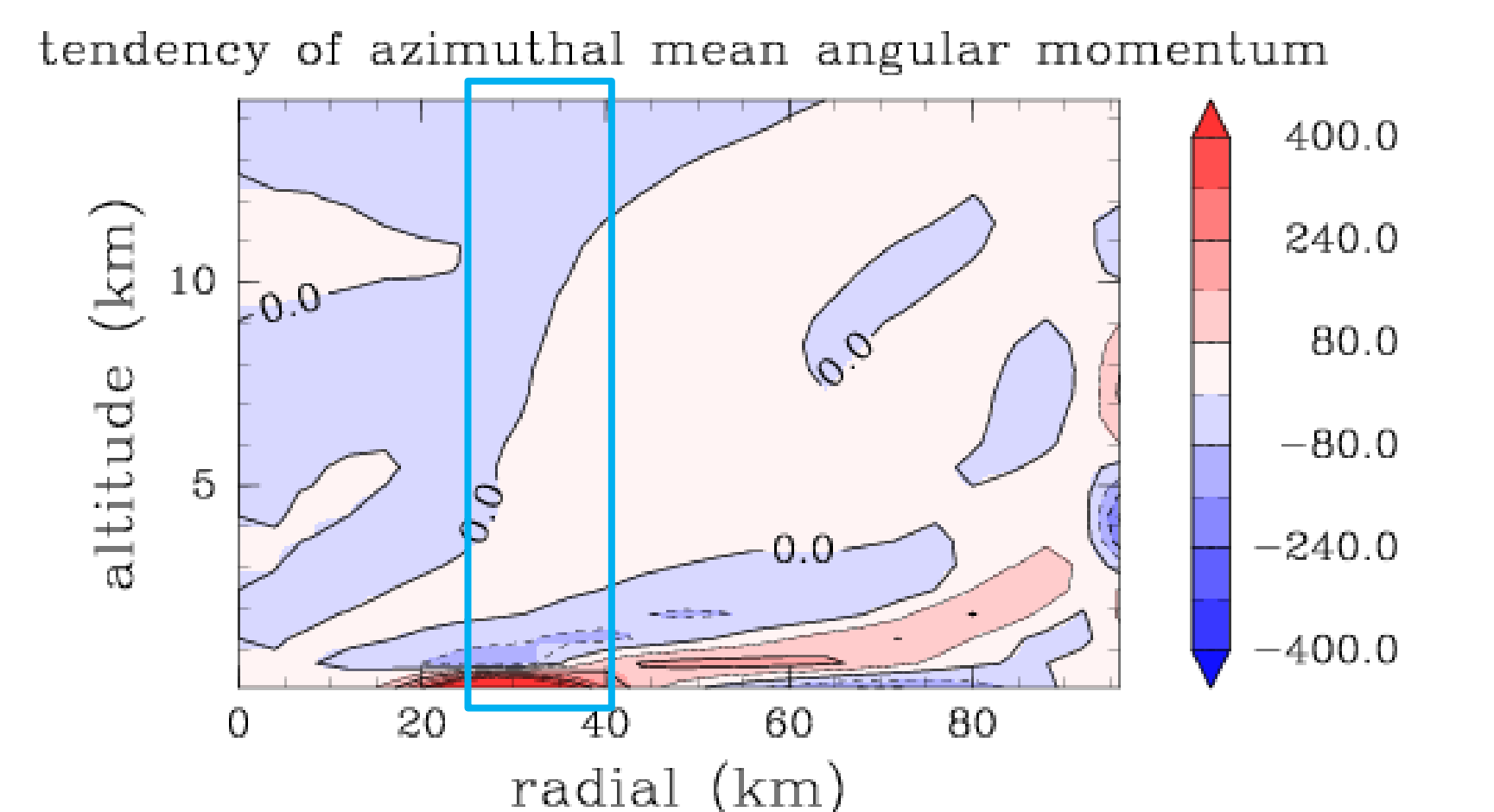


図3: 図2の時刻における、“FLXM”(上)と“FLXE”(下)の分布。単位は、上が $\times 10^4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, 下が $\text{m}^2 \text{ s}^{-2}$ 。枠線は平均的な最大風速半径。

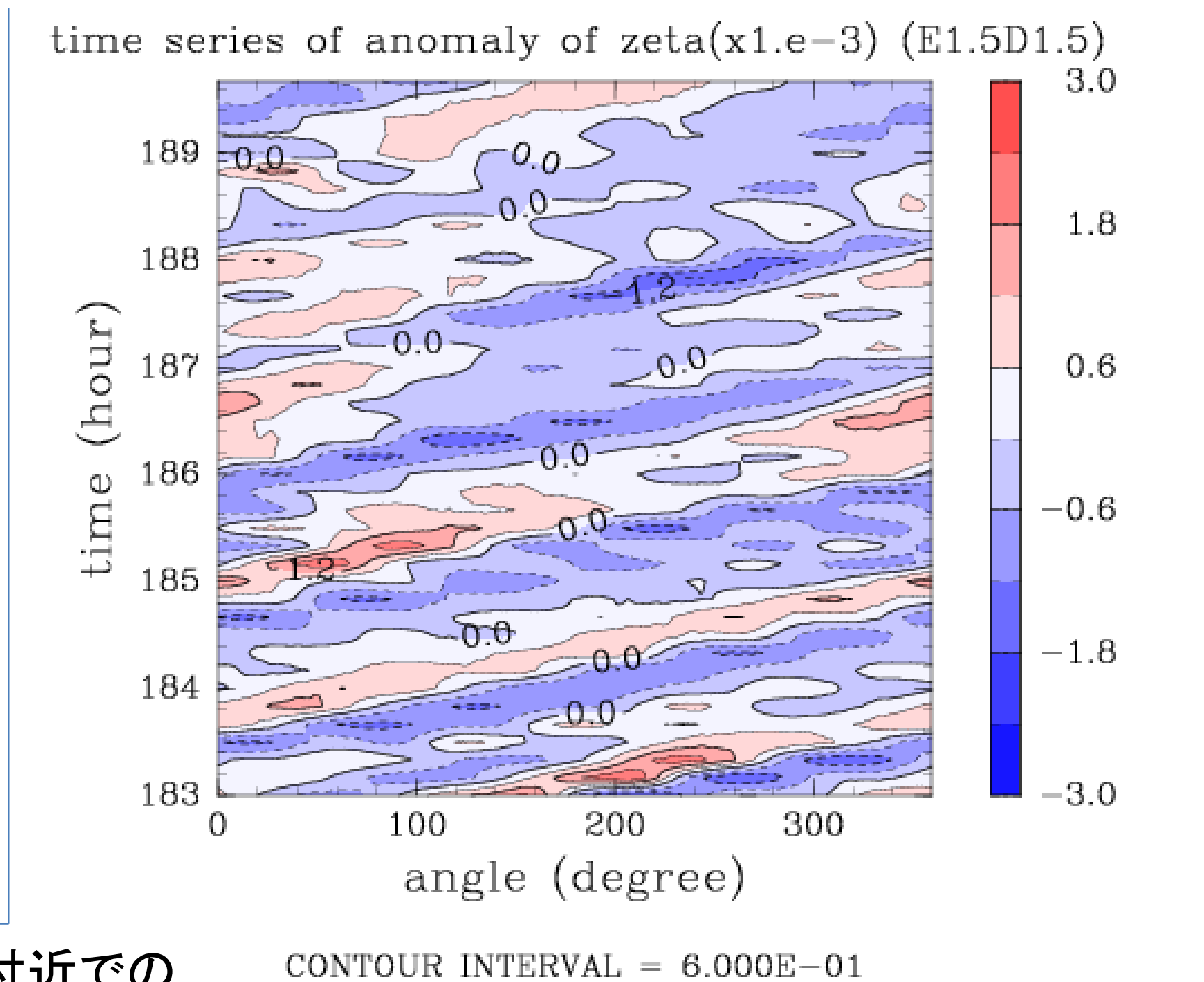


図4: 図2の時刻における、最大風速半径付近での相対渦度の接線方向の変動成分の時系列。