藤原圭太・川村隆一・平田英隆・川野哲也(九大院・理)

1. はじめに

熱帯低気圧は地球上において最も激しい 気象擾乱であり、北西太平洋域は熱帯低気圧 (以下、台風)の多発地帯である.台風は暴 風や大雨を引き起こすことで、広範囲に甚大 な人的または経済的被害をもたらす.そのた め、台風の発達メカニズムの研究は学術的意 義に加えて、社会的意義も高い.

台風の代表的な発達メカニズムとして, CISK (Charney and Eliassen, 1964) 🗞 WISHE (Emanuel et al., 1988) が提唱され ているが、依然として台風の強度予測には大 きな誤差が生じている (Rappaport et al., 2009). その原因の一つとして、台風外側領 域から台風内部コア領域へ流入する水蒸気 量の定量的評価の不確実性 (e.g., Braun, 2006; Yang et al., 2011)が挙げられるかもし れない. 例として, インド洋・南シナ海から 台風内部コア領域への水蒸気の流入(水蒸気 コンベアベルト: Moisture Conveyor Belt, MCB)が中緯度傾圧帯に侵入する台風の衰退 を遅らせている可能性があると示唆されて いる (Kudo et al., 2014). また MCB の強化 及び弱化が台風の経路や強度に実質的な影 響を及ぼしていることも近年報告されてい る (Hegde et al., 2015). このように, 複数 の研究から台風外側領域から輸送される水 蒸気が台風の発達に寄与していることが指 摘されているが、どのように水蒸気が台風内 部コア領域に輸送され, 潜熱解放により台風 の発達を促進しているのか等の詳細なプロ セスの解明が不充分である.

そこで本研究の目的は,台風外側領域から 台風内部コア領域へ流入する水蒸気が,台風 の構造と関連して、どのように台風中心付近 へ輸送され、潜熱解放をしているかを調査す ることである.

本研究では、台風外側領域から台風内部コ ア領域への水蒸気輸送形態の1つである MCB に注目する.対象とする台風は、沖縄 を経由し日本に接近した台風 0704 号 (Man-yi)である.

2. モデル設定と改変実験設定

台風のシミュレーションには雲解像領域 気象モデル, Cloud Resolving Storm Simulator (CReSS) (Tsuboki and Sakakibara, 2002; Tsuboki and Sakakibara, 2007)を用いた.計算領域は70°E-160°E, EQ-42.5°N,水平解像度は緯度 0.05°×経度 0.05°である.鉛直層数は 45 層で,初期時刻 は Man-yi の発生時刻である 2007 年 7 月 9 日 00UTC とした.初期値・境界値のデータ には大気側に NCEP 提供の Climate Forecast System Reanalysis,海洋側には NOAA 提供の Optimum Interpolation Sea Surface Temperature を用いている.

CReSS により再現された台風は最大発達 の時刻が RSMC ベストトラックデータと比 較するとやや遅れる.しかし,経路や最大強 度など基本的な特徴は再現されているため (図略),このシミュレーション結果を Control Run (CNTL ラン)として解析を行 う.

水蒸気流入の影響を調査するため、MCB
を人為的に強化または弱化させる. そのため
に、Hegde et al. (2015)の手法を参考に、インド洋・南シナ海 (70°E – 105°E, EQ –

26.0°N)の海面水温(SST)を変化させる.SST の変動幅(ΔT)は±2°C,±3°Cに設定し,4 つの 改変実験を行った.SSTの観測値(SST_{ori})に変 動分を加えたSST_mを改変実験の SST 初期値 として用い,SST_mは次の式で表される.

SST _m= SST_{ori}
$$-\frac{\Delta T}{2} \left[\tanh\left(\frac{x-112.5}{2}\right) - 1 \right]$$

3. MCB を介した水蒸気輸送

図 1aは CNTL ランにおける台風の成熟期 の時刻(13 日 00UTC)とその 36 時間前と 72 時間前における鉛直積算水蒸気フラックス と SLP を示す. 台風が発達するにつれて, イ ンド洋・南シナ海上の水蒸気フラックスが東 に延び,台風に伴う水蒸気フラックスの分布 と繋がり, MCB が形成されている. このよう な特徴は JRA55 の再解析データにも見られ ている.

図 1b は海面潜熱フラックス, 925 hPa 水平 風を示している. MCB の形成以降, MCB に 沿って下層西風が強まると同時に, その直下 の海域から蒸発が活発になっている.上述の 状況から.インド洋・南シナ海で蒸発した水 蒸気が MCB を介して台風中心付近まで輸送 されている可能性がある.

そこで、MCB 直下の海域からの変質を受 けた空気塊がどのように台風へ捕捉される のかを調べるために、後方流跡線解析を行っ た.ここでは、台風中心付近の潜熱加熱に寄 与する空気塊の挙動を調べるために、 台風中 心から 300km 以内で, 潜熱加熱率が 5 K/hr を超える領域に空気塊を配置した. 高度は方 位角平均した潜熱加熱率が極大を示す高度 5500m とし、計算間隔は1分である.図2a は流跡線解析により得られたインド洋・南シ ナ海起源の空気塊のうち代表的な経路を表 している. 図 2b は代表的な空気塊に関連す る物理量(高度・潜熱フラックス・温位・比 湿)の時系列を示している.MCBに沿って台 風内部へ流入する空気塊は高度 1000m 以下 の大気境界層内を移動している. その際、 MCB 直下の海面から多量の水蒸気供給を受 け湿潤化する. その後、台風中心付近で急激 に上昇し、35Kの温位上昇を伴う強い潜熱加 熱を誘起し、台風の強度に影響を与えている 可能性がある.これらのプロセスを更に検証 するために、MCBを人為的に変化させ、それ に対する水蒸気輸送並びに台風強度の応答 を調査する.



図 1. (a) 2007 年 7 月 10 日 00UTC, 11 日 12UTC, 13 日 00UTC における CReSS の シミュレーション結果. 陰 影は鉛直積算した水蒸気フ ラックス(kg m⁻¹ s⁻¹),等値 線は SLP (hPa)を示す. (b) (a)と同様である. ただし, 陰影は海面潜熱フラックス (W m⁻²),ベクトルは 925 hPa 水平風を示す.





図 2. (a) 後方流跡線解析にお いて選択された典型空気塊の 流跡線を示す.線の色は空気 塊の高度(m)を示し, A-E で示 された位置は図 2(b)と対応し ている. (b) (a)の空気塊の特性 の時間変化を示す.上図は空 気塊の高度(m),下図は空気塊 の比湿(g kg⁻¹),温位(K),空気 塊 直下の潜熱フラックス (W m⁻²)を示す.

4. SST 改変実験の結果

図 3a は各改変実験の台風中心気圧の時系 列を全ての改変実験の平均値からの差で示 したものである. SST 降温実験 (Cool Run: CR)では SST 昇温実験 (Warm Run: WR) に比べて台風の発達が促進される傾向を示 した. 台風の強度の差が顕著となる時刻(13 日 00UTC)の水蒸気フラックスの分布をみる と、WR では南シナ海上で MCB の断裂が見 られた.この時、ベンガル湾上で多量の降水 が確認できるため(図略), MCBの断裂はベン ガル湾上の低圧部に水蒸気が捕捉され、南シ ナ海・西太平洋へ輸送される水蒸気量が減少 したためだと考えられる. このような背景場 の違いから、WR と CR で台風内部へ輸送さ れる水蒸気量に差が生じていると考えられ る. そこで CNTL ランと同様な条件を満た す領域に空気塊を配置し、後方流跡線解析を 実施した.

その結果、インド洋・南シナ海から台風内



部へ流入する空気塊は CR の方が多く, その 割合は全体の約 30%に及ぶ(図 3b,c). また空 気塊全体の比湿の増加量も CR の方が多い (図略). それ故, WR では MCB の断裂により インド洋・南シナ海から台風内部へ輸送され る水蒸気量が実質的に減少していると言え る. このような CR と WR の水蒸気輸送量の 差異は前方流跡線解析でも同様な傾向が見 られている. また台風システム内に輸送され た空気塊はインフローにより台風内部コア 領域に運ばれ, 壁雲付近で強制上昇すること で, 潜熱解放を誘起していることも明らかと なった.

上述の水蒸気輸送量の差は台風の構造の 違いにも対応している. CR では WR よりも インフローの強度, 壁雲の上昇流, 壁雲での 潜熱解放が強くなっている. このように台風 外側領域から台風内部コア領域への水蒸気 輸送が台風の発達に影響を与えていること を関連付ける結果が得られた.

> 図 3. (a) 各改変実験の台風中心気圧 の時系列を示す. 黒が CNTL ラン, 寒色系が CR, 暖色系が WR を示す. 灰色で覆われた時刻は台風が上陸し た時刻を示す. (b) WR3 におけるイ ンド洋・南シナ海起源の空気塊の流 跡線を示す. ベクトルは9日 00UTC から13日 00UTC で平均した鉛直積 算水蒸気フラックスを示す.流跡線の 色は空気塊の高度を示す. (c) (b)と同 様であるが,CR3 を示す.

24

5. まとめと議論

雲解像領域気象モデル CReSS を用いて、 インド洋・南シナ海から台風内部コア領域へ 輸送される水蒸気がどのように台風の発達に 影響を与えているのかを調査した.本研究で は沖縄を経由し日本に接近した台風 0704 号 (Man-yi)に注目した. 台風が発達するにつれ て、台風東側からインド洋・南シナ海に延び る水蒸気フラックスの顕著な領域(MCB)が形 成され、MCB 直下の海域では蒸発が活発化し ていた.

後方流跡線解析の結果より, MCB を介して 輸送される空気塊は MCB 直下の海域から多 量の水蒸気供給を得て、 台風システム内へ輸 送されていた. その後, インフローにより壁 雲付近に運ばれ, そこで強制上昇に伴って, 潜熱加熱を誘起し、 台風の発達に寄与してい ると考えられる. また, SST 改変実験による MCB の強弱はインフロー強度, 壁雲の上昇 流, 壁雲での潜熱加熱の差とよく対応してい た.

以上の結果を一連のプロセスとしてまとめ Rappaport, E. N., and Coauthors (2009), ると、 ①MCB が形成(強化)されると、 ②イン ド洋・南シナ海から台風システム内への湿潤 空気塊の流入量が増加する.その後、③イン フローによって台風内部コア領域に捕捉され, ④壁雲で強制上昇させられる.その結果,⑤ 潜熱加熱が誘起され, 台風の発達を促進させ る.上述の一連の過程が他の台風に対しても 成り立つかどうか、現在検証を行っている.

謝辞

CReSS は名古屋大学宇宙地球環境研究所で 開発されているモデルです. モデルの使用に ついてこの場を借りてお礼申し上げます.ま た本研究集会において貴重な質問ならびにコ メントを下さった皆様に感謝いたします.

参考文献

- Braun, S. A. (2006), High-resolution simulation of Hurricane Bonnie (1998). Part II: Water budget. J. Atmos. Sci., 63, 43–64.
- Charney, J. G., and A. Eliassen (1964), On the growth of the hurricane depression. J. Atmos. Sci., 21, 68-75.
- Emanuel, K, A. (1988), The Maximum Intensity of Hurricanes. J. Atmos. Sci., 45, 1143–1155.
- Hedge, A. K., Kawamura, R., Kawano, T. (2015), vidence for the significant role of sea surface temperature distributions over remote tropical oceans in tropical cyclone intensity. Climate. Dynamics., doi:10.1007/s00382-015-2859-8.
- T., Kawamura, R., Hirata, H., Kudo, Ichiyanagi, K., Tanoue, М., Yoshimura, K. (2014), Large-scale transport of remotely vapor evaporated seawater by a Rossby wave response to typhoon forcing during the Baiu/Meiyu season as revealed by the JRA-55 reanalysis. J. Geophys. Res. Atmos., 119, 8825-8838.
- Advances and challenges at the National Hurricane Center. Wea. Forecasting, 24, 395-419.
- Tsuboki, K., and Sakakibara A. (2002), Large-scale parallel computing of cloud resolving storm simulator. High Performance Computing, H.P.Zima et al., Eds., Springer, 243-259.
- Tsuboki, K., and Sakakibara A. (2007). Numeral prediction of high-impact weather systems. The Textbook for Seventeenth IHP training course 2007. HvARC, Nagoya in University, Japan, and UNESCO, 273 pp.
- Yang, M. J., S. A. Braun, D. S. Chen (2011), Water budget of Typhoon Nari (2001). Mon Weather Rev. 139. 3809-3828.