

2010年台風14号(Chaba)の発達期にみられた黒潮の遠隔影響

藤原圭太・川村隆一・川野哲也（九州大）

1. はじめに

近年、モデルの高度化や新しい予報技術（台風アンサンブル予報など）の導入などにより、台風予測精度の向上が図られている。しかし台風進路予測は大幅に改善している一方、台風強度予測に顕著な改善は見られない。その問題点として、台風内部コアの再現性や大気海洋相互作用の表現などが挙げられるが、本研究では遠隔海域が台風強度に与える影響（台風の巨視的描像）に注目する。

先行研究では、夏季の台風強度は南アジアモンスーン域（インド洋や南シナ海など）の水蒸気の影響を強く受けている事例があることが報告されている（Fujiwara et al. 2017 ほか）。しかし、秋季の台風がどの遠隔海域の影響を受けているのかに関しては依然として未解明である。そこで、本研究では雲解像モデルと流跡線解析などを用いて、秋台風における水蒸気集積の実態解明と遠隔海域水蒸気による台風強度への影響の定量的評価を目的とする。

2. 秋季北西太平洋の循環場

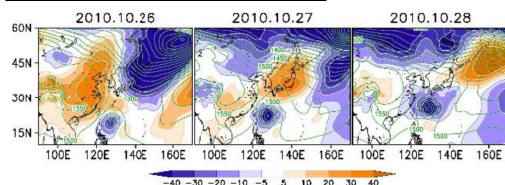


図1. 日平均したZ850(等値線:50m間隔)とZ850の偏差(陰影)。偏差は日平均から7日移動平均を引くことで定義している。暖色系の領域は高気圧偏差を示す。使用データはJRA55である。

秋季になると、アジア大陸から東進する移動性高気圧が日本付近を頻繁に通過する。また、北西太平洋における台風活動も依然として活発なため、移動性高気圧とフィリピン海から北上する台風が、日本周辺に同時に存在

する事例が度々見られる(図1)。このとき、移動性高気圧と台風との間で気圧傾度が強化され、日本南岸に下層北東風が形成される。日本南岸には西岸境界流(黒潮)が位置しており、海面蒸発も強まる(図2)。このような総観場は日本南方の台風に黒潮起源の水蒸気を輸送するのに好適であると思われる。そこで数値実験により、黒潮からの水蒸気輸送に対する台風強度の応答を検証した。

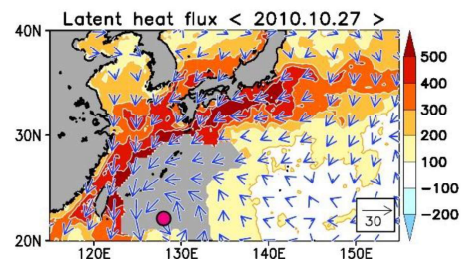


図2. 全球海面フラックスデータセット(J-OFURO3)に基づく日平均潜熱フラックス(陰影)と10m水平風(ベクトル)。赤丸はChaba(2010)の中心位置を示す。灰色の領域はデータの欠測域を表す。

3. モデル設定

台風のシミュレーションには、領域雲解像モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) を使用した。計算領域は東アジア域と北西太平洋を含み、水平解像度は緯度方向・経度方向共に 0.04° である。本研究では、2010年台風14号(Chaba)に注目し、計算期間を2010年10月24日1200UTCから10月31日0000UTCに設定した。CReSSの初期値・境界値には気象庁全球モデル(GSM)のデータを使用し、海面水温データにはNOAAのOISSR V2を与えた。

本研究では、台風の発達に対する黒潮の遠隔影響を調査するため、現実台風シミュレーション(CNTLと表記)に加え、2種類のフラックス改変実験を実施した。なお、CNTL

で再現された台風や総観場は現実と相違ない(図略)。感度実験では、後述する図4aの黒の矩形で囲まれた海域の潜熱フラックス(LH)を人為的に改変する。具体的には改変領域のLHを0に設定する感度実験(LH00と表記)とLHを50%除去した実験(LH50と表記)である。

4. 黒潮からの長距離水蒸気輸送 (CNTL)

CNTLの台風の最盛期にあたる2010年10月28日1300UTCに注目して、後方流跡線解析を実施した。このとき台風の最大風速半径(RMW)は約60km付近にあり(接線風速 55 m s^{-1})、壁雲での潜熱加熱は高度6km付近で極大を示した(潜熱加熱率 70 K h^{-1})。そこで台風中心から半径150km(RMWの約2.5倍)を内部コア領域(図3aの赤円内)と定め、その領域内において高度6kmにおける潜熱加熱率が 30 K h^{-1} を超える領域に空気塊を配置した。積分期間は10月28日1300UTCから10月26日1300UTCまでである。

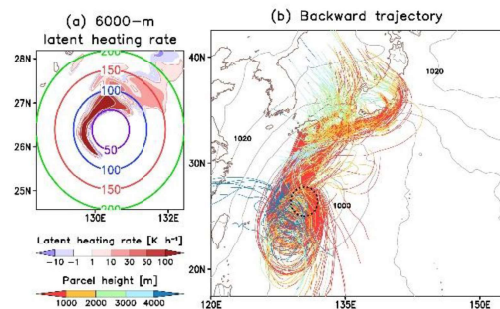


図3 (a) 10月28日1300UTCにおける高度6kmの潜熱加熱率(陰影)とSLP(等値線: 10hPa間隔)。 (b) 後方流跡線解析から得られた内部コア領域での潜熱解放に関する空気塊のトラジェクトリー。流跡線の色は空気塊の高度を表し、赤色は高度1km以下を示す。また、10月28日1300UTCにおけるSLP(等値線)も示してある。

図3bには、全ての空気塊の流跡線と28日1300UTCにおけるSLPが示されている。台風は南西諸島の東海上に位置しているが、多量の空気塊が黒潮上の大気境界層内を経由して、台風内部コア領域に流入している様

子が確認できる。図2に示されているように、黒潮域では海面蒸発が非常に活発であることから、黒潮上を吹送する空気塊は水蒸気供給による強い変質を受け、湿潤となることが予想される。そこで、黒潮域の境界層内を吹送する典型空気塊に着目して、物理特性の変化を詳細に調査した。

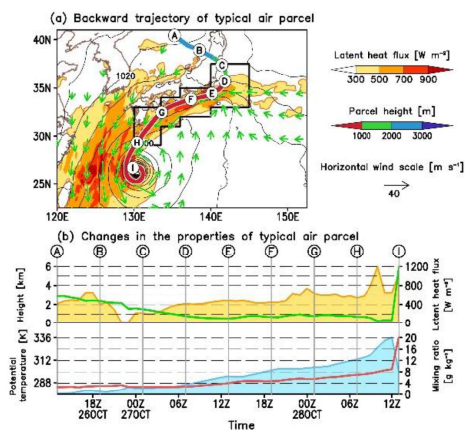


図4 (a) 典型空気塊の後方流跡線と10月28日1300UTCにおける潜熱フラックス(陰影)、高度500m水平風(ベクトル)、SLP(等値線: 4hPa間隔)。水平風速が 10 m s^{-1} 未満は描いていない。図中の黒枠は、感度実験におけるフラックス改変領域である。(b) 典型空気塊の物理特性の時間変化。(top) 空気塊の高度(折線: 左軸)と空気塊直下の潜熱フラックス(陰影: 右軸)。(bottom) 空気塊の温位(折線: 左軸)と水蒸気混合比(陰影: 右軸)。記号A-Hは、図4aの空気塊の位置に対応している。

図4に典型空気塊の流跡線と物理特性の時間変化を示す。日本海上の乾燥空気塊は断熱的に下降し、日本の東海上で大気境界層内へ侵入する(地点A-D)。その後、下層北東風に沿って台風に接近する間に、黒潮域の 400 W m^{-2} から 600 W m^{-2} の強い潜熱フラックスの影響を受けて、水蒸気混合比が約 8 g kg^{-1} 増加する(地点D-H)。湿潤となった空気塊は台風内部コア領域内(地点I)で急激に上昇させられ、混合比が急激に減少する(20 g kg^{-1} から 8 g kg^{-1})と同時に、温位が増加している(300 K から 336 K)。同様な特徴は他の空気塊にも見られている。したがって、後方流跡線解析の結果から、黒潮域で多量の水蒸気を獲得した湿潤空気塊が台風内

部コア領域における潜熱加熱の一部を担っていることが強く示唆される。

5. 黒潮潜熱フラックス改変実験

本節では、黒潮域からの水蒸気流入に対する台風の応答をさらに検証するために、潜熱フラックス改変実験 (LH50・LH00) を実施した。フラックス改変領域は図 4a の黒枠内の海域である。

5-1. 台風の経路・強度・構造について

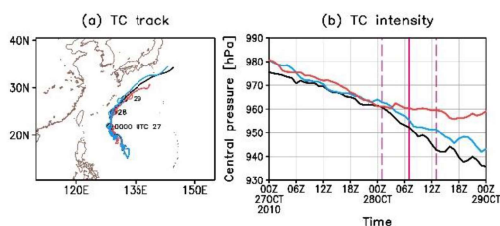


図 5 (a) CNTL (黒線)、LH50 (青線)、LH00 (赤線) における台風の経路。黒丸は CNTL、青丸は LH50、赤丸は LH00 の 27 日、28 日、29 日における台風の位置を示す。(b) CNTL (黒線)、LH50 (青線)、LH00 (赤線) における台風の強度。27 日から 29 日の範囲で示している。

台風の経路は各数値実験間で顕著な違いはない (図 5a)。台風強度に関しては、27 日には明瞭な違いは見られないが、CNTL の台風の発達期にあたる 28 日には系統的な差が生じる (図 5b)。28 日 1300UTC (CNTL の台風の最盛期) では、CNTL と LH00 の強度差は約 20 hPa、CNTL と LH50 では約 10 hPa に達する。また、強度差に対応して、LH50 および LH00 の壁雲における潜熱解放は、CNTL と比較して、抑制されていた (LH50 : 30 K h⁻¹、LH00 : 10 K h⁻¹)。

5-2. 大気境界層内の水蒸気分布について

黒潮における潜熱フラックス改変が、どのようなプロセスで台風の発達に影響を与えるのかに関して、大気境界層内の水蒸気分布や大気安定度の観点で比較を行った。

図 6 には対流圏下層 (高度 500 m) における水蒸気混合比と相当温位 (θ_e)、鉛直安定度を示している。鉛直安定度は、高度 1.5 km と 0.5 km における θ_e の差 ($\theta_e(z =$

1.5 km) minus $\theta_e(z = 0.5 \text{ km})$) として定義している。まず混合比に注目すると、LH50 や LH00 の大気境界層が相対的に乾燥していることが分かる (図 6 の top panel)。図 6 の middle panel からは、境界層内の水蒸気量が減少したことで、LH50 および LH00 における黒潮域の対流圏下層の θ_e は、CNTL よりも低い値を示すことが確認できる。さらに、地表面付近における θ_e の差は、境界層内の大気安定度の違いに反映される (図 6 の bottom panel)。CNTL では黒潮域に鉛直安定度の高い領域が部分的に見られるが、黒潮からの水蒸気供給によって、台風に近いほど安定度が徐々に減少している。LH50 では、台風近傍に鉛直安定度の高い領域が見られる。LH00 では、12 K/km という鉛直安定度の非常に高い領域が、下層北東風に沿って黒潮域から台風中心近傍にまで拡大している。

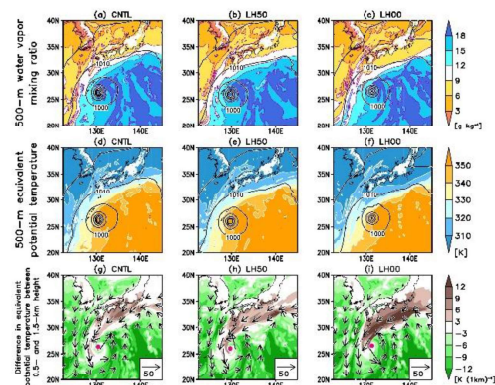


図 6. (top) 10 月 28 日 1300 UTC における高度 500 m の水蒸気混合比 (陰影) と SLP (等値線: 10 hPa 間隔)。 (middle) 10 月 28 日 1300 UTC における高度 500 m の相当温位 (陰影) と SLP (等値線: 10 hPa)。 (bottom) 10 月 28 日 1300 UTC における鉛直安定度 (陰影)、高度 500 m 水平風 (ベクトル)。水平風速が 10 m s⁻¹ 未満は描いていない。図中の赤丸は台風中心の位置を表す。

5-3. 前方流跡線解析

LH50・LH00 における境界層の鉛直安定度の強化は、台風内部コア領域における対流活動を抑制させることが示唆される。そこで、台風内部コア領域における黒潮起源の水蒸気の凝結量の時間変化を、前方流跡線解析を

用いることで定量的な比較を行った。前方流跡線解析では、黒潮域から台風への継続的な水蒸気流入を表現するために、初期時刻を2010年10月27日1100UTCから1700UTCまで1時間間隔に設定した(全7メンバー)。空気塊は黒潮域全域(図4aの黒枠内)の高度800mに配置した。凝結量の計算は、空気塊が台風内部コア領域(台風中心から半径150km以内)に侵入した時点から開始する。

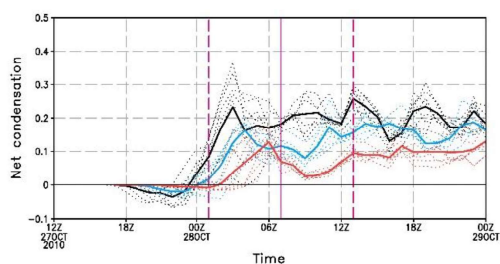


図7. 台風内部コア領域における湿潤空気塊の正味の凝結量の時間的推移。黒線はCNTL、青線はLH50、赤線はLH00を示す。太実線は7メンバー平均、細点線は各メンバーの結果である。

図7は複数の初期時刻を持つ前方流跡線解析から得られた台風内部コア領域における凝結量の時間変化を表す。計算開始直後には当然ばらつきはあるものの、CNTLの台風発達期においては、凝結量はCNTLが最も多く、その次にLH50、LH00の順となっている。これは図5bの台風強度の差と整合的である。以上の結果から、フラックス改変実験(LH50・LH00)では、黒潮での海面蒸発が抑制されたことで、台風へ輸送される水蒸気量が減少したことに加えて、大気境界層の鉛直安定度の強化が台風内部コアでの対流活動を抑制し、結果的に台風が相対的に弱化したと考えられる。

6. まとめと議論

本研究では、2010年台風14号(Chaba)を対象に数値実験を実施し、日本南方の台風の発達に対する黒潮の遠隔影響を調査した。Chabaは秋季特有の移動性擾乱(移動性高気

圧)との間に下層北東風を形成し、その直下の黒潮における海面蒸発を活性化させることで、黒潮起源の水蒸気を効率よく台風近傍に集積していた。具体的には、移動性高気圧に伴う乾燥空気塊が黒潮上を吹送する際に、黒潮から多量の水蒸気を獲得することで湿潤となり、内部コア領域における潜熱解放に部分的に寄与することが後方流跡線解析から示唆された。フラックス改変実験(LH50・LH00)では、上述の湿潤化が抑制されるまたはほとんど働かないため、乾燥空気が内部コア領域に直接侵入する。さらに大気境界層内の鉛直安定度も強化されることで、内部コア領域の対流活動に不都合な環境となり、台風の発達が抑制されたと考えられる。

本研究からは、台風予測に対して黒潮からの長距離水蒸気輸送の影響が無視できない事例があることが強く示唆された。水蒸気輸送を精度よく再現するには、黒潮域における潜熱フラックスの正確な評価に加えて、下層北東風の形成に寄与する移動性高気圧の振る舞いを精度良く予測する必要がある。移動性高気圧の挙動と台風強度との関係性は興味深い課題であり、今後より詳細な物理プロセスについて解明していく予定である。また、黒潮の遠隔影響をより詳細に調査するためには、現実的な大気海洋相互作用を考慮する必要がある、大気海洋結合実験を実施することも今後の課題である。

謝辞

本研究会において貴重な質問やコメント等を下さった皆様に感謝致します。

参考文献

Fujiwara et al. 2017, J. Geophys. Res., doi:10.1002/2017JD027557