台風のロスビー波応答による水蒸気の長距離輸送 - JRA-55を用いた水蒸気起源解析-

1. はじめに

工藤ほか(2013 春季気象学会)は、同位体 循環モデルを用いて九州北部の夏季の降水起源 の変動を解析し、台風という擾乱が日本への水 蒸気輸送を大きく変化させていることを報告した。 台風と水蒸気には密接な関係があり、遠隔的に 影響を及ぼすことで豪雨との関連が指摘されてい る(Kawamura and Ogasawara 2006, Yamada and Kawamura 2007 など)ほか、 CISK(Charney and Eliassen 1964)や WISHE(Emanuel et al. 1994)の理論でも知 られているように、水蒸気の潜熱放出による加熱 が台風本体の維持・発達のエネルギー源になると 考えられている。

しかしながら台風本体やその周辺の水蒸気輸送の動態を詳細に示した研究はない. そこで本研究では、同位体循環モデルを用いて、台風によって南西日本へもたらされる多量の水蒸気輸送の動態、ならびに台風近傍の水蒸気輸送の動態について調査した.

2. 使用モデル・解析手法とその精度検証

本研究で実施した色水解析(CMA:Colored Moisture Analysis: Yoshimura et al., 2004)は, Yoshimura et al. (2003)が構築 した水平 2 次元同位体循環モデルに色水と呼ば れる情報を付随させたもので,水蒸気の起源ごと に長距離輸送を可視化するツールである.なお, 数値実験の実行には JRA-55 長期再解析デー タを用いた.モデルの精度検証のため,夏季の福 岡において日単位で観測した値と同位体比(る D, δ^{18} O)の比較を行った(観測の詳細は本節の 最後に記載).その結果, Hiraoka et al. (2011)の富山や石垣島と同程度の相関が得ら れた(δ D:0.74, δ^{18} O:0.75)ため,南西諸島か *工藤督右・川村隆一・平田英隆(九大院・理)・

一柳錦平·田上雅浩(熊本大院·自然科学)

ら西日本,中部日本にかけての地域の降水起源 解析への CMA の適用は妥当であると考えられ る. ※観測・同位体比測定の詳細 観測点:九州大学理学部本館屋上(北緯 33.6°, 東経 130.4°) 観測期間:2012年6~9月. 測定方法:熊本大学自然科学研究科所有の同位体 比質量分析計(Thermo Fisher Scientific 社製 「DELTA-V」)を使用. 測定誤差:δD が±0.5[‰],δ¹⁸O が±0.05 [‰].

3. 解析対象の台風

本研究では、日本への影響が大きいと考えられる、梅雨期に沖縄付近に向かう進路をとる台風に着目した。RSMCのベストトラックデータを用い、1979~2012年の台風の中で7月に最大発達を迎え、かつ北進して沖縄付近へ向かうものを抽出した(全15事例:図1).大気循環場の解析にはJRA-55長期再解析データを使用し、台風の最大発達日をkey day(day 0)としてコンポジット解析を行った。なお本研究の解析にあたって、日平均値には3日加重平均と31日移動平均を施し、3日加重平均から31日移動平均を引いたものを偏差場と定義した。



4. 南西日本へ多量に流入する水蒸気

4-1 下層循環場の解析

まず day -1 の台風周辺の下層循環場を図 2 に示す. 台風の西側では低気圧偏差が伸びてお り、それに伴いベンガル湾付近では西風偏差とな っている. 図1より、ベンガル湾付近では背景場 としてモンスーン西風が卓越する領域であり、低 気圧偏差がそれを強化することで、多量の水蒸 気が台風近傍に流入している可能性がある. ま た, 台風の北東象限と南東象限には高気圧偏 差が形成され、台風とその高気圧偏差間で東西 気圧傾度が強まるため,多量の水蒸気が南西日 本へ効率よく流入している. インド洋東部から台 風近傍,そして南西日本付近まで続く水蒸気フ ラックス帯状に延びており、これを以降、便宜的 に Moisture Conveyor Belt (MCB) と呼ぶこ とにする。 図2の下層循環偏差パターンは台風 熱源によって励起されたロスビー波の西方への位 相伝播、東方への波束伝播で説明可能であると 考えられる.



図 2 day -1 における 925hPa 流線関数(等値線:×10⁶ m² s⁻¹)と鉛直積算水蒸気フラックス(ベクトル, 陰影:kg m⁻¹ s⁻¹)の合成偏差図.



図 3 day -1 における潜熱フラックス(陰影:W m⁻²)と鉛直積 算水蒸気フラックス(ベクトル:kg m⁻¹ s⁻¹)の合成偏差図.

4-2 南西日本へ流入する水蒸気の起源

MCBに沿って海面からの潜熱フラックスが増加 していることから(図3), CMAを用いて水蒸気起 源を解析した結果(図4にその領域区分を示 す),確かに MCBに沿ってインド洋起源の水蒸 気が台風近傍に流入し,また,例えばフィリピン 海起源は台風の東側を経由して南西日本へ流 入している(図5).このように,台風のロスビー波 応答によって,MCB等の形成を介して多量の水 蒸気が遠く離れた海域から台風近傍に効率的に 輸送されている実態が見出された.また,この遠 隔プロセスによる多量の水蒸気供給が台風の維 持・発達に関与している可能性が考えられるた め,次節では,台風近傍の水蒸気に関して調査 した結果を紹介する.



図 4 色水解析の領域 区分. 青:北西太平洋,赤: フィリピン海,濃紫:南 シナ海,薄紫:イン陸. 洋,肌色:海洋大陸. 以後この領域名を使 用. 黒線は 2007 年 台風 04 号の経路.





図 5 各起源の可降水量(色:mm, 水色が正偏差, 茶色が 負偏差), 925hPa 流線関数(等値線), 水蒸気フラックス(ベ クトル)の合成偏差図(単位は図 2 と同様). ●は台風中心位 置.

5. 台風近傍の水蒸気

5-1 台風の中心付近の解析

今回は 2007 年台風 04 号の事例解析を行っ た.まずこの台風に伴う下層循環場の解析をする と, day -2 において MCB を形成し, それに伴っ て海面からの潜熱フラックスも増加するというコンポ ジット解析と同様の特徴を示した(図 6). よっ て,この台風は典型事例であると判断し、台風 の中心付近の解析を行った(図7上). なお,中 心付近の定義は台風中心が含まれるグリッドとそ の周囲8グリッドの計9グリッドの空間平均として いる. その結果, 蒸発量は降水量や水蒸気収 束量に比べて1オーダー程度小さかったため,台 風中心近傍への水蒸気供給という点においては 外側からの水蒸気流入が重要であると考えられ る. そこで, 流入してくる水蒸気の起源を調べる ために, 台風の中心付近の水蒸気の色水解析を 実施した.



図 6(上) 線:925hPa 流線関数偏差, ベクトル・色:水蒸気 フラックス偏差. (下)色:潜熱フラックス偏差, ベクトル:水蒸 気フラックス偏差. ※単位は図 2,3 と同様

5-2 台風の中心付近の水蒸気起源解析 台風が day -2(図 4・図 7 における●付近)の

ときに MCB を形成するような下層循環場がで き, その約 3~4 日後, インド洋(薄紫)や南シナ 海(濃紫)起源の水蒸気が台風の中心付近に到 達している(図7下). MCB 形成後約3~4日 で到達という時間経過は, インド洋から台風まで の距離が約 4~5000km であることと, 925hPa におけるインド付近の西風が約 14m s⁻¹程度で あったことから整合的である.このように、降水量 が多くても遠隔地域からの水蒸気流入によって台 風中心付近の可降水量が維持されている. ま た、日本付近に到達したとき、インド洋・南シナ 海・海洋大陸(肌色)といった遠隔地域起源の水 蒸気が全可降水量の4割程度を占めていること から、台風が衰退しやすい中緯度傾圧帯に存在 しても, 遠隔地域からの水蒸気が多量に流入す ることによって、台風の衰退を遅らせている可能性 が示唆される.



図 7(上) 台風の中心付近の解析. (下)台風の中心気圧 と、中心付近の水蒸気起源(棒)の時間変化. 図4の領域の 色と棒の色が対応.

6. まとめと今後の課題

①台風の遠隔影響で南西日本へ多量にもたらさ れる水蒸気輸送の動態

•7 月の基本場に, 台風がモンスーン合流域を北 進する時の台風熱源のロスビー波応答が重なるこ とで MCB が形成される. ・MCBに沿ってフィリピン海や太平洋起源の水蒸 気が南西日本へ多量に流入している. ②台風近傍の水蒸気輸送の動態

・MCB に沿って遠く離れた海域の水蒸気が台風 近傍へ流入している.

・中緯度傾圧帯に侵入した台風では海面からの 中心付近の蒸発量の寄与よりも,遠隔地域から MCBを介して台風近傍に流入する水蒸気が可 降水量を維持しており,それが台風の急速な衰 退を抑制している可能性がある.

台風のロスビー波応答が効率的に遠方から多量 の水蒸気を台風中心近傍に輸送する役割を担っ ていることが見出だされたが、実際に台風の lifetime に影響を与えているのかについては今後 数値実験で検証していく必要がある.

謝辞

2013 年度異常気象研究会にて発表の機会を 頂けましたことに感謝いたします.また立花義裕 教授・木本昌秀教授・堀之内武准教授より貴重 なコメントを頂きましたこと,深く感謝いたします.

参考文献

Charney, J. G., and A. Eliassen, 1964: On the growth of the hurricane depression. *J.Atmos.Sci.*, **21**, 68-75.

Emanuel K. A., J. D. Neelin, and C.S.Bretherton, 1994: On large-scale circulations in convecting atmospheres. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 120, 1111-1144.

Hiraoka, A., R. Kawamura, K.
Ichiyanagi, M. Tanoue, and K.
Yoshimura, 2011: Water origins over central and southern Japan during the early summer rainy season as simulated with an isotope circulation model. *SOLA*, **7**, 141-144.

Kawamura, R., and T. Ogasawara, 2006: On the role of typhoons in generating PJ teleconnection patterns over the western North Pacific in late summer. *SOLA*, **2**, 37-40.

Yamada, K., and R. Kawamura, 2007: Dynamical link between typhoon activity and the PJ teleconnection pattern from early summer to autumn as revealed by the JRA-25 reanalysis. *SOLA*, **3**, 65-68.

Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, 2003: A quantitative analysis of short-term 180 variability with a Rayleigh-type isotope circulation model. J. Geophys. Res., 108(D20), 4647.

Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, 2004: Colored moisture analysis estimates of variations in 1998 Asian monsoon water sources, J. Meteor. Soc. Japan, 82, 1315-1329.

工藤督右,川村隆一,一柳錦平,田上雅浩, 九州北部における梅雨期・盛夏期の降水起源 解析,日本気象学会 2013 年度春季大 会,2013.05.16.