

台風の遠隔降水の謎を紐解く新たなメカニズムを提唱

～水蒸気コンベアベルトがもたらす梅雨期の豪雨～

ポイント

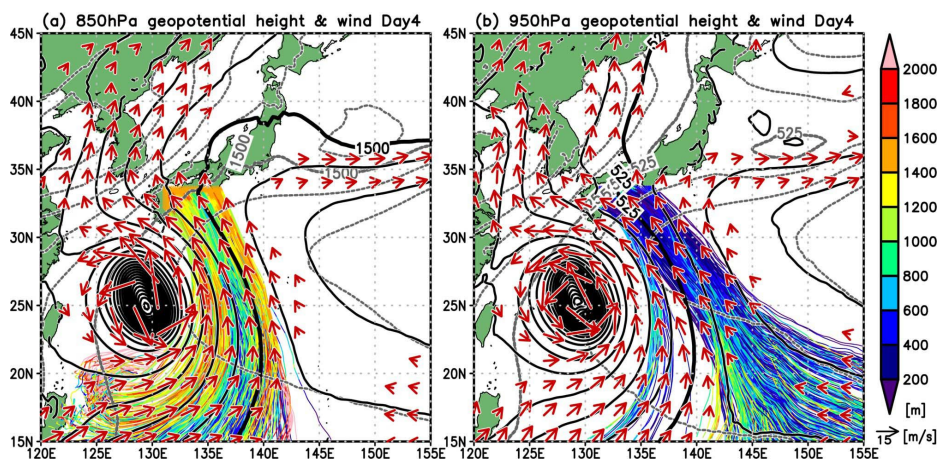
- ① 梅雨期の豪雨災害には台風の間接的な影響（遠隔降水）を受けている事例が多数あります。減災・防災の観点から台風の遠隔降水のメカニズム解明が求められています。
- ② 本研究で、台風が主因となって形成される水蒸気コンベアベルトが西日本の太平洋沿岸地域の局地的大雨をもたらす仕組み、また局地的大雨を発生させる多量の水蒸気の流入過程・湿潤空気塊の変質過程を明らかにしました。
- ③ 要因解明は、梅雨期の降水量の短期予測の精度向上に資する一方、水資源としても重要な梅雨の将来予測の不確実性を低減していく事にも繋がります。

概要

過去の梅雨期の豪雨災害を詳しく調査すると、台風が間接的な影響（遠隔降水）を与えている事例が多々見つかります。しかしながら、台風の遠隔降水の力学・熱力学的プロセスはよくわかっていませんでした。本研究で、九州大学大学院理学研究院の川村隆一教授、理学府修士課程2年の吉田尚起大学院生（研究当時）らの研究グループは、台風の遠隔影響の全容解明のために、領域気象モデルを用いて、理想化された梅雨期の背景場の下で疑似的な台風を埋め込む台風ボーガス実験を実施しました。数値実験結果から、はるか遠くの南シナ海から台風の東縁に沿って西日本へ多量の水蒸気を流入させる「水蒸気コンベアベルト」が四国・九州地方などの局地的大雨の発生に寄与していることを明らかにしました。また台風と台風が誘起する高気圧偏差との間で水平気圧傾度が強まるため、水蒸気コンベアベルトによる水蒸気の流入の強化のみならず、海面からの水蒸気供給を受けながら流入してくる大気境界層経由の別ルートも重要であることがわかりました。

これらの知見は、顕著な水蒸気コンベアベルトを伴った台風は災害をもたらすような遠隔降水の発生ポテンシャルが高く、特に注意喚起が必要な台風であることを示唆しています。台風の遠隔降水の普遍的理解は、梅雨期の降水量の短期予測の精度向上に資することが期待される一方、台風の遠隔降水の定量的な評価を通して、水資源としても重要な梅雨の将来予測の不確実性を低減していく事にも繋がります。

本研究成果は、2023年5月30日(火)に国際学術誌「Weather and Climate Extremes」にオンライン掲載（早期公開）されました。また本研究はJSPS 科研費補助金（JP19H05696, JP20H00289）の助成を受けました。



【参考図】
 台風によって低緯度から西日本の太平洋沿岸地域に流入してくる暖湿気塊を流跡線で示している（カラーは空気塊の高度）。フィリピン海周辺からのルートと太平洋高気圧西縁に沿う二つのルートに大別される。

【研究の背景と経緯】

冬から夏へ季節が遷移する過程で生じる短期間（40 日程度）の雨季を私たちは梅雨（Baiu）と呼んでいます。中国では Meiyu と発音します。気象学的には、モンスーンと中緯度偏西風の両システムが結合したハイブリッド現象（hybrid monsoon）と捉えることができます。アジアモンスーンの湿潤な気流が中国や韓国、日本に流れ込んでくるため、梅雨期には多くの豪雨災害が発生します。特に近年は、線状降水帯等による甚大な豪雨災害が九州地方中心に頻繁に発生しています。過去の豪雨事例の気象循環場を詳しく調査すると、台風が間接的な影響を与えていると推察される事例が多々見つかります。メディア等の天気解説でも「台風が梅雨前線を刺激して大雨がもたらされる」とよく聞くことがありますが、実際のところ、梅雨前線に対する台風の遠隔影響の力学・熱力学的プロセスは十分に解明されていません。先行研究では事例研究や統計的研究も一部ありますが、日本に接近する台風の多様性（経路・移動速度・強度・サイズの違い）や偏西風の流れなどの背景場が大きく異なるため、それらのばらつきが時にはノイズとなってシグナルをかき消すことで普遍的理解の障壁となっています。

本研究は、理想化された背景場の下で擬似的な台風の再現実験を行なうことで台風の遠隔降水の普遍的理解を目指したものです。梅雨期の降水量の短期予測の精度向上が求められる一方、梅雨期間の降水量が将来どのように変化していくのという長期的予測も重要な研究課題となっています。両者の予測には台風の遠隔降水の定量的な評価が欠かせないことから、研究の推進によって減災・防災の観点からの貢献のみならず、水資源としても重要な梅雨の将来予測の不確実性を低減していく事にも繋がります。

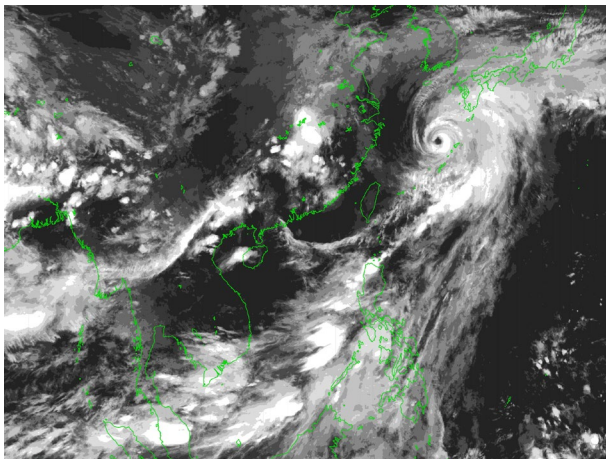


図 1

2007 年 7 月 13 日 21 時の MTSAT の赤外画像

台風 4 号（Man-yi）が北上して日本に接近している一方、南シナ海から台風に向かって積雲の帯が広がっている。雲の帯に沿って、多量の水蒸気が輸送されている。後述するように、この強い水蒸気の流れを本研究では水蒸気コンベアベルトと呼んでいる。

【研究の内容と成果】

そこで本研究では、まず 7 月の気候平均場をもとに典型的な梅雨前線が再現されている背景場を創り上げました。次に台風ボーガス¹⁾と呼ばれる手法で、発生位置を経度方向に一定間隔でずらした複数の台風を背景場に埋め込み、台風の強度・サイズ・移動速度がほぼ同じで経路だけ東西方向に異なるような数値シミュレーション（台風ボーガス実験）を実施しました。擬似台風の埋め込み直後は日本付近の中緯度大気循環はほぼ同じで、台風間で中緯度循環の影響の違いはほとんど無視できるという利点があります。また台風の構造をある程度の精度で再現すると同時に台風の遠隔影響が歪められないように、親ドメインは水平解像度 20km で東アジアから北太平洋の広域をカバーする一方、子ドメインは水平解像度 6.667km で北西太平洋域をカバーし、両ドメイン間の双方向ネスティング²⁾を採用しました。本研究で明らかになった主な知見は以下の通りです。

(i) 梅雨期にフィリピン海付近から北上して日本に接近する強い台風の多くは水蒸気コンベアベルト³⁾（Moisture Conveyor Belt: MCB）を伴っており（図 1 に例示）、台風の東縁に沿う南からの水蒸気の流れは、南シナ海上のアジアモンスーンの下層西風と接続する MCB の一部として捉えられることがわ

かりました（1 ページ目参考図(a)参照）。

(ii) 台風が南からの低渦位の移流を通して日本付近の高気圧性循環を誘起し、太平洋高気圧西端のリッジを強化するという力学プロセスが支配的であることが確認されました。その結果として、主要な梅雨前線帯は北上しますが、西日本の太平洋沿岸地域では日降水量 100mm を超える局地的な大雨（いわゆる遠隔降水）が発生しやすいことが明らかになりました（図 2、図 3）。

(iii) 台風と台風が誘起する高気圧偏差との間で水平気圧傾度が強まり、遠隔降水をもたらす多量の水蒸気の流入が促進されます。また水蒸気の流入経路は MCB 経由のみならず、太平洋高気圧の南西縁に沿う大気境界層経由も重要であることが見出されました（1 ページ目参考図(b)参照）。特に後者の経路による水蒸気流入の寄与は可降水量分布では不明瞭で見逃されていました。

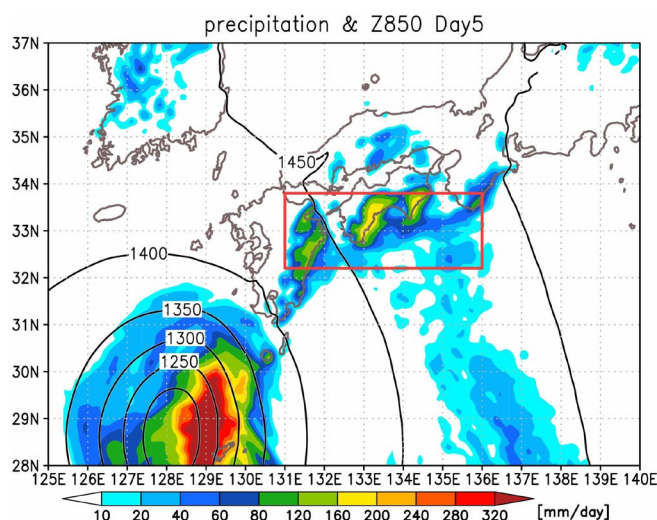


図 2

九州地方に接近する台風本体の降水域とは離れた地域（四国地方、九州地方などの太平洋沿岸地域）で日降水量 100mm を超える大雨が発生している。局地的な大雨が降っている赤枠の領域の高度 1.5km（自由大気下端）、0.5km（大気境界層）に仮想空気塊を配置して、後方流跡線解析を行った結果が 1 ページ目の参考図に示されている。

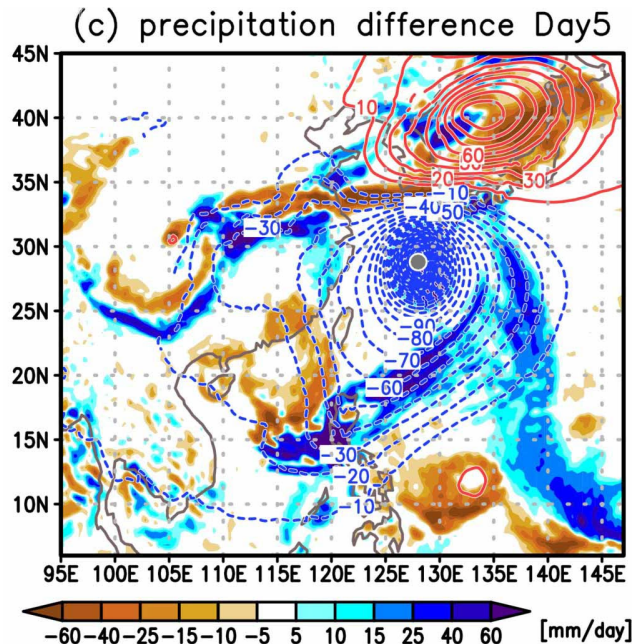


図 3

降水量および 850hPa ジオポテンシャル高度の偏差分布（台風ボーガス実験とコントロール実験との差）。台風が誘起する高気圧偏差が日本付近を覆っており、関連して梅雨前線帯は北偏している。対照的に中国東部の Meiyu 前線は南偏の傾向がみられる。

【今後の展開】

本研究では理想的な梅雨期の背景場を与えることで台風の遠隔影響の基本的な描像を得ることに成功しましたが、偏西風の流れなどの中緯度大気循環が外的要因や内部変動で急激に変化している背景場では台風との間で複雑な相互作用が生じるため、今後も更なる調査を継続していく必要があります。また、より最適な台風ボーガス手法を適用して擬似台風を自由にコントロールできれば、台風の強度やサイズ等が異なる場合の遠隔影響の違いを評価することが可能になります。

台風の遠隔降水の予測という観点では、台風自体の予測精度はもちろんのこと、①台風が誘起する高気圧偏差の位置や強度、②台風がどの程度の MCB を伴っているのか、③MCB 内の凝結による水蒸気流入量の減少はどの程度か、④海面からの蒸発による境界層経由の水蒸気流入量の増加はどの程度か、等のファクターが適切に再現されている必要があります。特に台風と台風が誘起する高気圧偏差の両者の地理的位置関係の予測のズレが局地的豪雨の発生地域の位置ズレに直結するため、地域スケールでの降水量の短期予測のハードルは依然として高いと考えられます。

いずれにしても、顕著な MCB を伴った台風は災害をもたらすような遠隔降水の発生ポテンシャルが高く、特に注意喚起が必要な台風です。例えば、（季節は異なりますが）2022 年の台風 14 号は明瞭な MCB を伴っており、実際、南九州の東部中心に記録的な大雨をもたらしました。梅雨の将来予測の問題も台風の影響を考慮せざるを得ないため、台風の遠隔降水の定量的な評価を確実に進めていくことが梅雨の将来予測の不確実性の低減につながることを期待されます。

【用語解説】

注 1) 台風ボーガス

一般的には、典型的な台風の 3 次元構造をモデル化した疑似的なデータを作成して数値モデルの初期場に埋め込む手法を指す。低解像度の客観解析値を初期値にした場合、現実の台風の発生・発達を予測することが難しいため、その問題を解決するために用いられる。

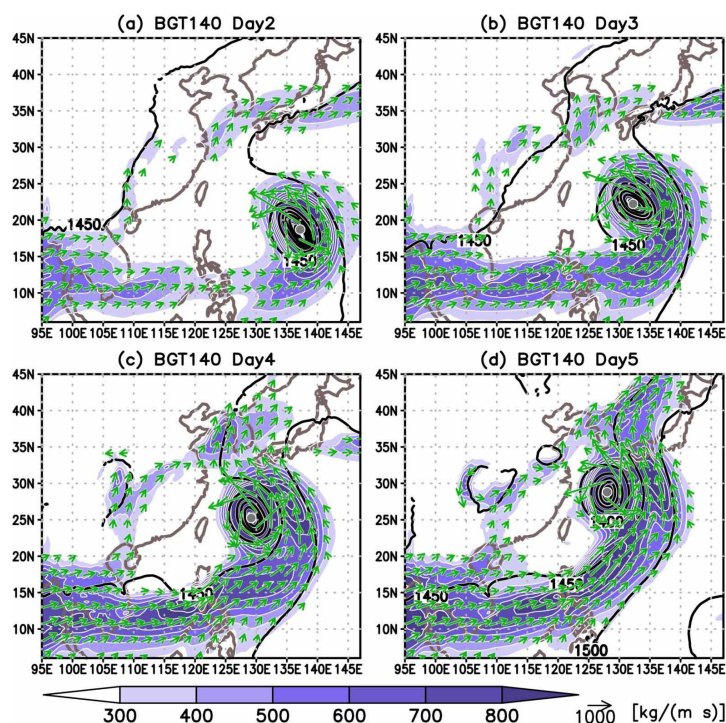
注 2) 双方向ネスティング

親モデル（広域モデル）から子モデル（狭域モデル）に一方的に情報を伝達させることはせずに、両モデル間で互いに情報を伝達させる（物理量のやり取りを行う）手法を指す。側面境界の不連続性を解消するなどの効果がある。

注 3) 水蒸気コンベアベルト（Moisture Conveyor Belt: MCB）

本研究の定義では、インド洋・南シナ海上のアジアモンスーン下層西風とフィリピン海付近の台風との相互作用で形成される大規模な水蒸気輸送のベルトをいう。台風は MCB を介して遠方の海域から多量の水蒸気を集積することができる（Fujiwara et al. 2017 ほか）。MCB は温帯低気圧の気流構造に起因する水蒸気の強い流れ、所謂「大気の川（Atmospheric River）」とは明瞭に区別される。

右図は水蒸気の流れをベクトルで、流れの強さを陰影で表している。モンスーン西風と台風が接続して MCB が形成されていく様子（Day2 から Day5）がみてとれる。



【謝辞】

本研究は JSPS 科研費補助金（JP19H05696, JP20H00289）の助成を受けて行われました。

【論文情報】

掲載誌：Weather and Climate Extremes

タイトル：Remote dynamic and thermodynamic effects of typhoons on Meiyu–Baiu precipitation in Japan assessed with bogus typhoon experiments

著者名：Naoki Yoshida, Ryuichi Kawamura, Tetsuya Kawano, Takashi Mochizuki, and Satoshi Iizuka

D O I : 10.1016/j.wace.2023.100578

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門 教授 川村 隆一（かわむら りゅういち）

TEL：092-802-4233

Mail：kawamura.ryuichi.130@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp