

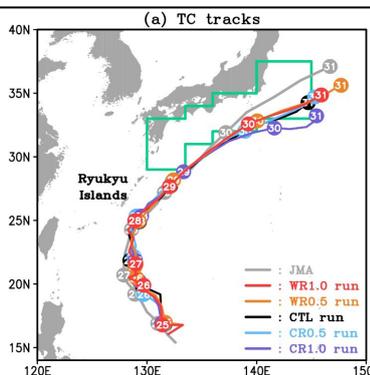


台風の発達をもたらす黒潮の遠隔影響のメカニズムを解明

台風発達のエネルギー源は水蒸気の凝結に伴う潜熱ですが、台風発達理論において水蒸気は一体どのくらいの広さの領域（海域）から供給されているのか非常に曖昧でした。本研究で、九州大学大学院理学研究所属、日本学術振興会特別研究員の藤原圭太氏と同大学院理学研究院の川村隆一教授は、台風の高解像度数値シミュレーションによって、秋季（特に10月）に、はるか南海上から日本に接近してくる台風に黒潮から蒸発した水蒸気が多量に流入しており、黒潮の海面水温の変化が水蒸気流入量の変化を通して台風強度に遠隔的な影響を与えていることを初めて明らかにしました。

台風強度を規定する主要因の一つである海面水温については従来から台風直下の海面水温のみが強調されてきました。しかし本研究は、台風直下の海面水温だけでなく、遠隔海域の海面水温の情報の精度も良くなければ、台風の強度予報は十分に改善されないことを示唆しています。また1990年代末から最近にかけて黒潮の高温傾向が顕著です。1980年代から1990年代中頃までの時代に比べて、近年は黒潮の遠隔影響がより顕在化して日本に接近する秋台風の強度を強めている可能性があります。台風活動の将来予測では、近年の黒潮の高温化が今後どのように推移していくのか注目していく必要があります。

本研究成果は、2021年11月22日に国際学術誌「Journal of Geophysical Research: Atmospheres」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（JP19H05696, JP20H00289, JP20J11837）の助成を受けました。

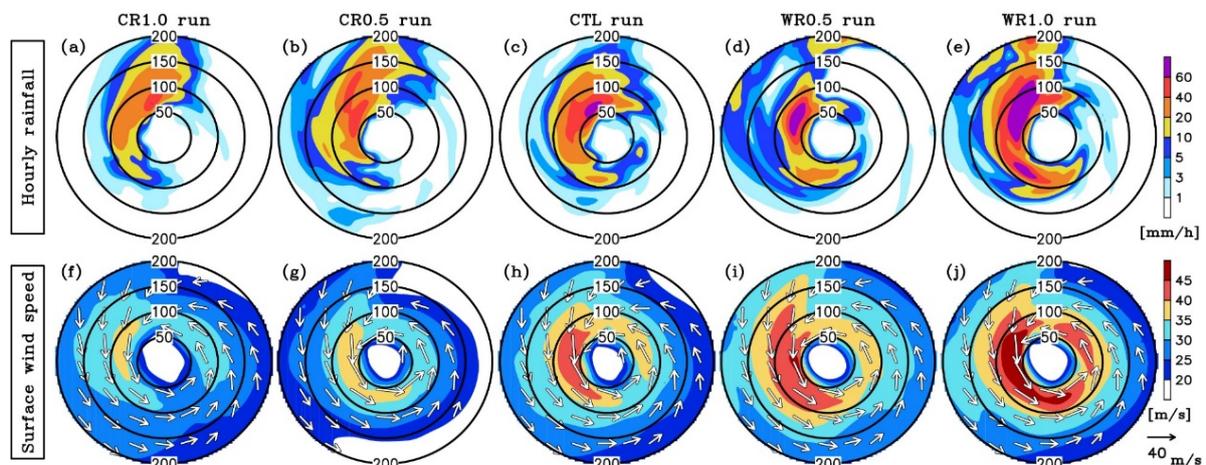


(参考図)

黒潮（左図の緑枠内）の海面水温を1℃降温、0.5℃降温、改変無し、0.5℃昇温、1℃昇温させた場合の台風Chaba（2010年台風14号）の経路（左図）と台風中心付近の降水量・風速分布（下図）。

研究者からひとこと：

本研究は、日本に甚大な気象災害をもたらす秋台風の予報精度の向上には、黒潮の正確な監視と予測がより一層重要となることを指摘しています。また、近年の台風災害の激甚化と黒潮の高温傾向の関係を紐解く有益な知見となると考えています（藤原）。



【お問い合わせ】九州大学大学院理学研究院 教授 川村 隆一

TEL:092-802-4233 FAX:092-802-4208

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

■研究背景

台風発達のエネルギー源は水蒸気の凝結に伴う潜熱であることは言うまでもありません。そのため、大気中に豊富な水蒸気が存在している熱帯海洋上で、台風は発生・発達していきます。日本近海に接近してくる台風でも、台風システム内に継続的に水蒸気が供給されれば、勢力を維持することができます。

台風の発達理論は様々ですが、全て軸対称構造を仮定しています。理想化実験などから台風の2次循環（動径方向の鉛直循環）内で海面から蒸発した水蒸気が台風の内部コア¹⁾に輸送され、上昇流によって上空で凝結が起こり潜熱を解放することで上昇流をさらに強めるフィードバックが生じる一方、2次循環に伴う内向きの動径風（インフロー）によって外側から絶対角運動量が内部コアに輸送されるため、接線風速が加速されていくというプロセスはどの理論でも共通です。

しかし現実大気においては、完全な軸対称構造をもった台風はほとんど存在しません。そのため、実際に観測される台風の2次循環の範囲を同定することはほぼ不可能とって良いかもしれません。となると、ある台風の発達をもたらす水蒸気は一体どのくらいの広さの領域（海域）から供給されているのでしょうか。このような本質的な問いに対する明快な答えはこれまで皆無でした。

■研究内容

私たちは、秋台風の典型事例として台風 Chaba（2010 年台風 14 号）に注目しました。Chaba が南西諸島の南方海上を北上している時の海面気圧をみると、日本付近の移動性高気圧と台風との間で気圧差が大きくなっています（図 1a）。そのため、黒潮上では北東風が強まり、黒潮からの海面蒸発が活発化していることがわかります（図 1b）。熱フラックスとしては 500 W/m^2 を超えています。また Chaba が発達した 10 月の海面水温（Sea Surface Temperature: SST）分布を調べてみると、黒潮（図 2a の黒枠内）の海面水温は今世紀に入って高温傾向が続いています（図 2b）。

そこで本研究では、暖流である黒潮の SST 変化は、海面蒸発の変化をもたらすため、はるか南海上から日本に接近してくる台風の内部コアに流入する黒潮からの水蒸気量に影響を与え、結果的に台風の強度にも影響を与えるという全く新しい仮説を立てました。

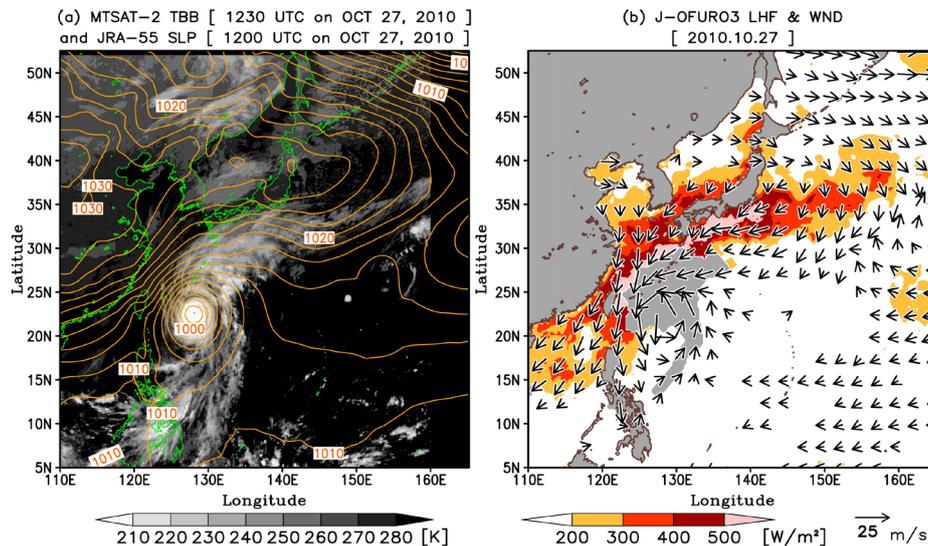


図 1 : (a) 台風 Chaba (2010) の衛星画像と海面更正気圧の分布。(b) 衛星観測に基づく海面潜熱フラックスと海上風の分布。灰色の領域は欠測。Fujiwara et al. (2020) より引用。

その仮説を検証するために、スーパーコンピュータで雲解像領域モデル²⁾を用いて黒潮（図 2a の黒枠内）の SST を改変する数値実験を行いました。具体的には、SST を 1°C 降温、 0.5°C 降温、改変無し、 0.5°C 昇温、 1°C 昇温させた場合の計 5 種類の数値シミュレーションを実施しました。その結果、黒潮の SST を低下（上昇）させると、SST 改変領域から十分遠距離に台風が位置しているにもかかわらず、台風の発達が明らかに抑制（促進）されることがわかりました（図 3）。中心気圧では最大でおよそ 25 hPa もの差が生じていました。図 3 をみると確かに、黒潮の SST が高くなると、台風中心付近の降水量や風速

が増大し、眼の壁雲もしっかりと組織化されていることが明らかです。これは SST が高いほど、黒潮からの水蒸気流入フラックス量が増加して、台風発達に寄与していることを意味しています。

SST 降温実験では、中緯度起源の乾燥空気は黒潮から受け取れる水蒸気量が減少してしまい、大気境界層³⁾のインフロー内の相当温位⁴⁾も減少し、台風の壁雲付近の対流による上昇流・下降流が弱まります。そのような変化は台風発達の抑制因子として作用すると考えられます。このように、黒潮の SST 変化は、黒潮からの水蒸気流入を通して北西太平洋の台風の強度に遠隔的な影響をもたらすことが初めて明らかになりました。

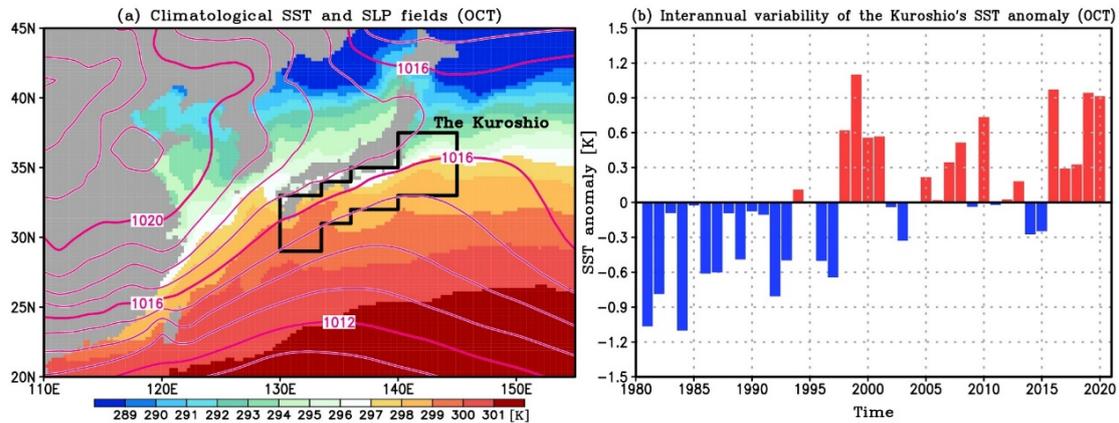


図 2 : (a) 10 月の海面水温と海面更正気圧の分布 (平年値)。 (b) 黒潮 (図 2a の黒枠内) の海面水温の年々変動 (10 月)。平年値からの差で示す。

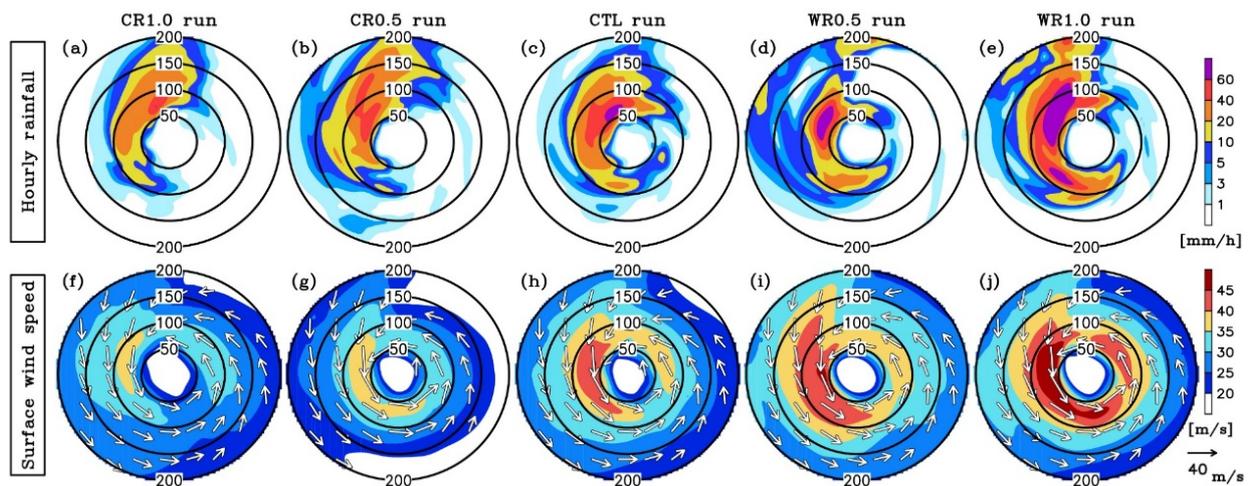


図 3 : 台風中心付近の降水量分布 (上図) と海上風速分布 (下図)。

黒潮 (図 2a の黒枠内) の海面水温を 1°C 降温、0.5°C 降温、改変無し、0.5°C 昇温、1°C 昇温させた場合 (左図から右図へ) の台風の数値シミュレーション結果。

以上のシミュレーション結果が果たして妥当であるのか、その信頼性を高めるために、台風 Chan-hom (2020 年台風 14 号) の事例についても同様な数値実験を行い、全く矛盾のない結果を得ることができました。図 1a の気圧配置は特異な事例ではなく、図 2a の平年の気圧分布から推測されるように、頻繁に観測される気圧配置です。過去の類似の台風事例全てについて数値実験を行うことは現実的ではありませんが、日本に接近してくる秋台風 (特に 10 月) の一部は黒潮の遠隔影響を受けていると考えられます。

■今後の展開

本研究の成果は、①台風から遠く離れた海域の水温 (SST) の重要性、②黒潮の能動的役割の重要性、③黒潮の近年の高温化の影響、にまとめられます。

①については、台風強度を規定する主要因の一つである SST は従来から台風直下の SST のみが強調されてきましたが、研究背景で述べたように周辺海域から台風内部への水蒸気流入を考えると、遠隔海域の SST の情報も精度が良くなければ、台風の強度予報も十分に改善されないことを示唆しています。②については、黒潮の存在自体もちろん重要ですが、黒潮自体も流路や流速が大きく変動しているため、その変動が SST 変化にも反映されます。このような黒潮の能動的な役割の理解も台風の予測可能性という観点で益々必要になっています。③については、図 2b に示されたように、1990 年代末から最近にかけて黒潮の高温傾向が顕著です。1980 年代から 1990 年代中頃までの時代に比べて、近年は黒潮の遠隔影響がより顕在化し、日本に接近する秋台風の強度が強まっている可能性があります。台風活動の将来予測の研究において、近年の黒潮の高温化が今後どのように推移していくのか注目されます。

今回の研究では黒潮に焦点を当てましたが、北半球中緯度において黒潮と並んで強い暖流である、メキシコ湾流においても同様な遠隔プロセスが働いていると考えられます。それを確かめるべく、現在ハリケーンの高解像度数値シミュレーションが進行中です。

■謝辞

本研究は JSPS 科研費 (JP19H05696, JP20H00289, JP20J11837) の助成を受けて行われました。

■用語解説

注 1) 内部コア

台風の最大風速半径の 2 倍程度の領域を内部コア領域と呼んでいます。内部コア領域では、眼の壁雲やスパイラル状降雨帯などが形成されています。

注 2) 雲解像領域モデル

積雲パラメタリゼーションを用いずに個々の積雲を解像する領域大気モデルです。本研究では水平解像度を約 4km に設定しています。

注 3) 大気境界層

地表面 (海表面) から高度 1km ぐらいまでの大気層で、地表面 (海表面) の摩擦の影響や地表面 (海表面) からの熱・水蒸気供給の影響を強く受ける層です。

注 4) 相当温位

外部との熱の出入りがない状態 (断熱変化) で、空気塊を上空のある気圧面から地表付近の 1000hPa 面まで下降させたとすると、高い気圧のために空気塊は圧縮され、内部エネルギーが増加、つまり昇温します。昇温した時の温度 θ は当然ながら元の空気塊の温度より高くなっており、この θ を温位といいます。また、空気塊に含まれる水蒸気が全て凝結して空気塊を加熱した分を温位に加味したものは相当温位と呼ばれています。もし海面から大気境界層に熱・水蒸気が供給されると、境界層の相当温位は高くなります。

■論文情報

タイトル: Active role of sea surface temperature changes over the Kuroshio in the development of distant tropical cyclones in boreal fall

著者名: Keita Fujiwara and Ryuichi Kawamura

雑誌名: Journal of Geophysical Research: Atmospheres

D O I : 10.1029/2021JD035056

■研究に関するお問い合わせ先

日本学術振興会

特別研究員 (PD) 藤原 圭太 (ふじわら けいた)

Email: fujiwara.keita.188@m.kyushu-u.ac.jp

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)

電話: 092-802-4233

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