

PRESS RELEASE (2025/03/25)

令和6年9月能登半島豪雨の発生要因を解明

～海洋熱波が台風の遠隔降雨を増幅～

ポイント

- ① 台風14号(Pulasan)による遠隔降雨が日本海南部で顕著になっていた。関連して、能登半島付近に膨大な水蒸気が流入しており、その値は $1,600 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ に達していた。
- ② 豪雨発生時、黄海から日本海南部にかけての海水温が極端な高温状態(平年値より $+4.5^\circ\text{C}$ を超える)になっており、Category 3の海洋熱波が生じていた。
- ③ 高解像度数値シミュレーションによる海面水温改変実験から、海洋熱波が台風の遠隔降雨を増幅させることによって、能登半島豪雨が引き起こされたことが明らかになった。

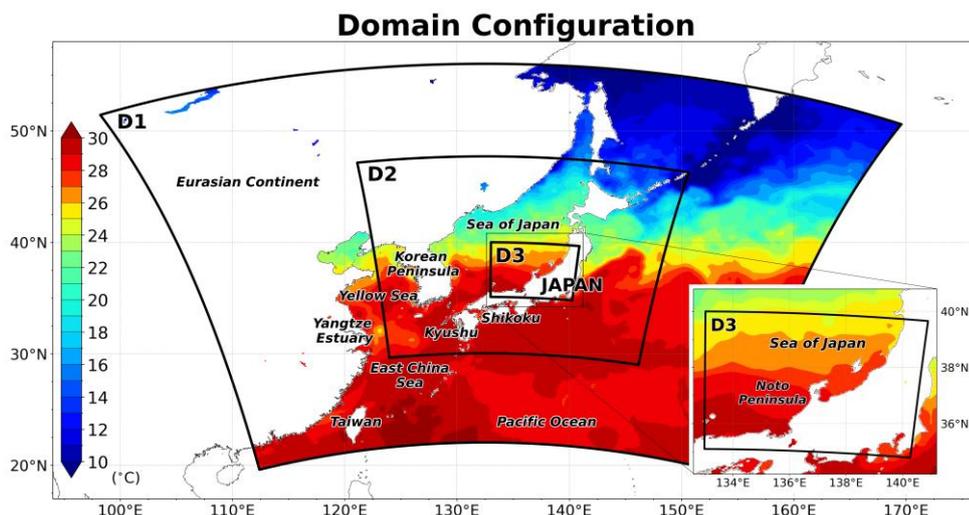
概要

令和6年(2024年)9月21日午前を中心に能登半島北部で記録的な豪雨が発生し、同時多発的な斜面崩壊や土石流・泥流による甚大な災害が引き起こされました。秋雨前線の降水帯が対馬海峡から能登半島へ延び、半島北部では48時間積算のレーダー解析雨量の最大値が512mmに達していました。

本研究で、九州大学大学院理学研究院の川野哲也助教と川村隆一教授の研究グループは、高解像度数値シミュレーションと大気再解析データを併用して、能登半島奥能登地域に記録的な豪雨をもたらした降水システム(線状降水帯を含む)を再現し、その発生・持続メカニズムの全容を解明しました。解析結果から、①本豪雨は台風14号(Pulasan)がもたらした遠隔降雨であり、台風近傍から能登半島へ $1,600 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ に達するほどの強い水蒸気の流入が生じていたこと、②水蒸気流入の直下に位置する日本海南部の海水温は平年に比べて $+4.5^\circ\text{C}$ を超える異常高温(海洋熱波)となっており、海洋熱波が台風の遠隔降雨を増幅させていたこと、③本豪雨の期間降水量の最大値で38%、領域平均値で27%が海洋熱波によるものと見積もられることを明らかにしました。

これらの知見は、日本周辺海域で海洋熱波が発生していると台風の遠隔降雨が増幅され、沿岸地域で豪雨が発生する危険度が急速に高まることを強く示唆しており、豪雨災害ハザード(危険度)予測の観点から、台風活動の予測だけでなく、海洋熱波の予測も益々重要な課題になると考えられます。

本研究成果は、2025年3月23日(日)に国際学術誌「Scientific Online Letters on the Atmosphere」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(JP22K03720, JP24H00369)の助成を受けました。



【参考図】

雲解像モデルを用いた高解像度数値シミュレーションの計算領域。領域 D1, D2, D3 の水平解像度はそれぞれ 9km, 3km, 1km である。下部境界条件である海面水温分布も併せて示している。

【研究の背景と経緯】

令和6年(2024年)9月21日午前を中心に能登半島北部で記録的な豪雨が発生し、斜面崩壊や土石流などによって人的被害を含む甚大な被害をもたらしました。石川県輪島市では1時間降水量が121mmを記録し、観測史上1位の値を更新しました(気象庁)。台風本体による大雨を除くと、秋雨期に日本海沿岸地域でこのような豪雨が発生するのは極めて稀な現象です。豪雨災害ハザード(危険度)の予測のために豪雨発生の要因を解明することは減災の観点から大変重要です。

図1aは9月20日の日本周辺の大規模な水蒸気の流れを可視化したものです。台風14号(Pulasan)が黄海上で再発達し、台湾付近の熱帯低気圧と相まって太平洋高気圧との間で東西気圧勾配が強まり、東シナ海経由で日本海へ多量の水蒸気が流入していることがわかります。図1bは同日の日積算降水量の分布を示しており、黄海から朝鮮半島、日本海、そして東北地方にまで顕著な降水帯が延びている様子が見てとれます。台風近傍から遠方に延びる水蒸気の強い流れの下で局在化した活発な降水域は「台風の遠隔降雨」と呼ばれ、図1bの降水帯はWu et al. (2024)^[1]の定義に基づくと遠隔降雨と同定されます。気象庁によると9月20日未明には秋田県で線状降水帯が発生し、9月21日早朝には石川県でも線状降水帯が発生しました。図1を改めて見ると、これらの線状降水帯も台風の遠隔降雨の一部として位置づけられることがわかります。

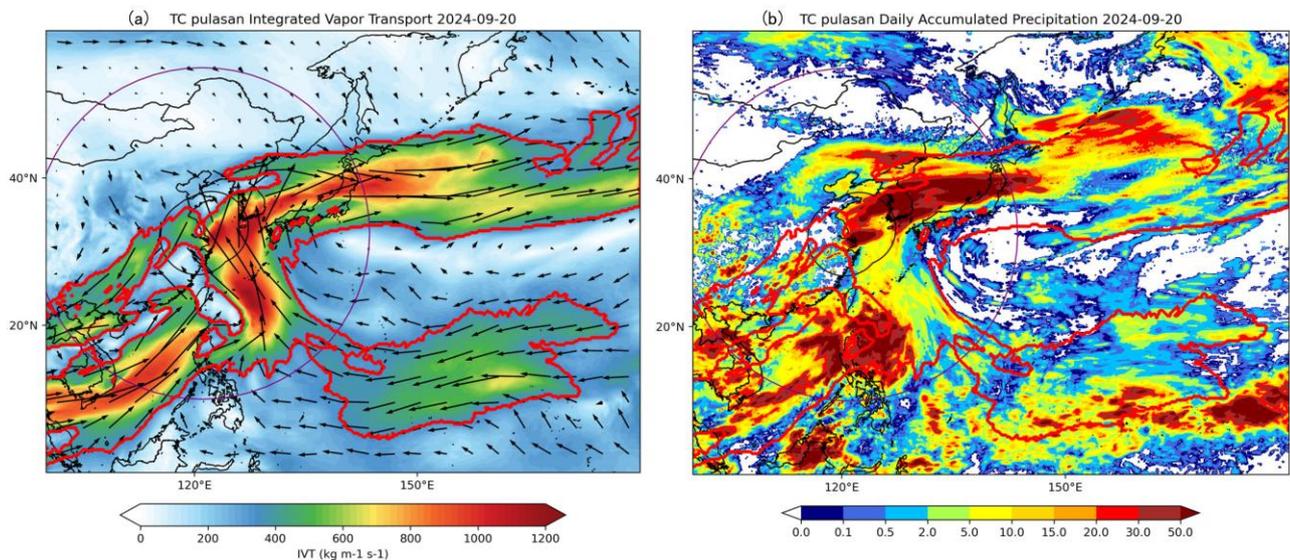


図1

(a)2024年9月20日の鉛直積算水蒸気フラックス(※1)(ベクトルと陰影)の水平分布図。台風14号(Pulasan)近傍の内円は台風中心から半径550km、外円は半径2500kmの地域を示す。赤い太線は $350 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ の境界線である。(b)図1aと同じ、ただし日積算降水量の分布。

一方、海にも大きな異変が起きていました。図2は9月21日における西部太平洋域の海洋熱波(marine heat wave)の発生状況を示したものです。この図では海面水温の気候平均値を基準に90パーセンタイル値を超える極端な高温を海洋熱波と定義しています。気候値と90パーセンタイル値の差が2倍を超えるとCategory 2、3倍を超えるとCategory 3、4倍を超えるとCategory 4というようにその強度を分類しています。図を改めて見ると、日本周辺海域では広範囲に海洋熱波が発生しており、その中でも黄海から日本海南部にかけてはCategory 3(Severe)に相当する海洋熱波が発生していることがわかります。図1で示した通り、台風の遠隔降雨が生じているちょうど直下の海域で顕著な海洋熱波が発生していることから、能登半島北部の記録的な豪雨に何らかの影響を与えている可能性が高いと考えられます。

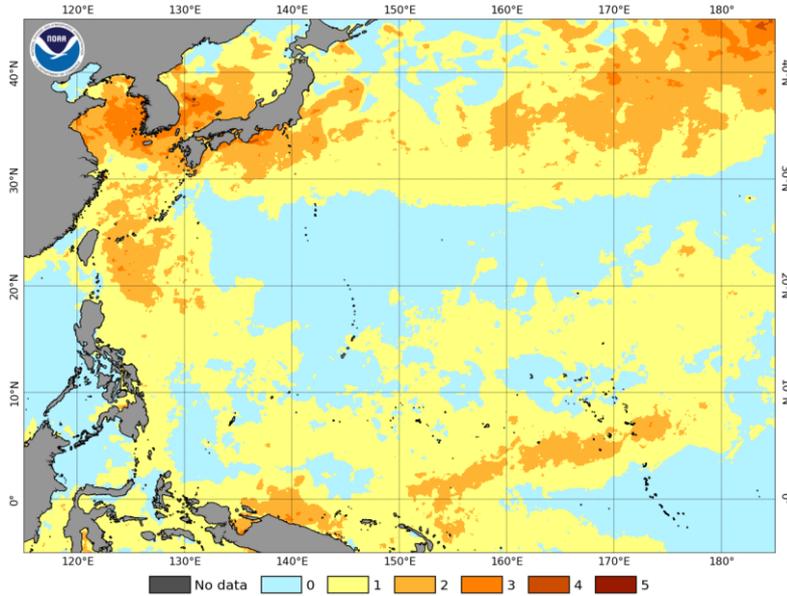


図 2

2024 年 9 月 21 日の海洋熱波の発生状況。

凡例の数値は海洋熱波のカテゴリを示し、以下のように分類される。

Category 0: 発生なし

Category 1: Moderate

Category 2: Strong

Category 3: Severe

Category 4: Extreme

Category 5: Beyond Extreme

(画像出典: NOAA Coral Reef Watch)

【研究の内容と成果】

そこで本研究では、雲解像モデルを用いた高解像度数値シミュレーションによって能登半島豪雨をもたらした降水システム（メソ対流系(※2)）を精度良く再現し、その発生プロセスを明らかにすると共に海洋熱波の有無が豪雨に与える影響を定量的に評価しました。高解像度数値シミュレーションの実験設定ですが、計算領域は参考図に示しています。親ドメインは水平解像度 9km で東アジアから北西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 3km で日本周辺海域、孫ドメインは水平解像度 1km で中部日本をカバーし、各ドメイン間の双方向ネスティング(※3)を採用しました。再現実験と並行して海洋熱波の影響を評価するために、能登半島風上側にあたる一部の海域（図 3b）と日本海全域（図 3c）の海面水温を平年値に置き換えた海面水温改変実験を実施しました。併せて大気再解析データを用いた解析も行いました。本研究で明らかになった主な知見は以下の通りです。

(i) 秋雨前線の降水帯が対馬海峡から能登半島へ延び、半島北部では 48 時間積算のレーダー解析雨量の最大値が 512mm に達していました。この降水帯は黄海で再発達した台風 14 号 (Pulasan) 近傍から能登半島へ向かう水蒸気の強い流れ（最大値 $1,600 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ）によって維持されており、主として台風がもたらした遠隔降雨であることがわかりました。

(ii) 一方、水蒸気の強い流れの直下に位置する日本海南部の海水温は平年に比べて $+4.5^\circ\text{C}$ を超える異常高温（Category 3 に相当する海洋熱波）となっており、豪雨再現実験と海面水温改変実験を比較した結果、海洋熱波が台風の遠隔降雨を増幅させていたことが明らかになりました。

(iii) 日本海全域の改変実験では、本豪雨の期間降水量の最大値で 38%、領域平均値で 27% が海洋熱波によるものと見積もられました。特に、能登半島風上側にあたる海域の異常高温が台風の遠隔降雨を局地的に増幅させていることを見出しました（図 4）。

(iv) 能登半島北部に流入する水蒸気の経路は、対流圏下層の自由大気経由と大気境界層経由の 2 つのルートに分けられ、後者のルートで流入する湿潤空気塊が上記海域の異常高温によって強い変質を受けていたこと、海面からの活発な熱・水蒸気供給が対流圏下層の対流不安定を強化していたことも降水量増加に大きく寄与していることがわかりました。

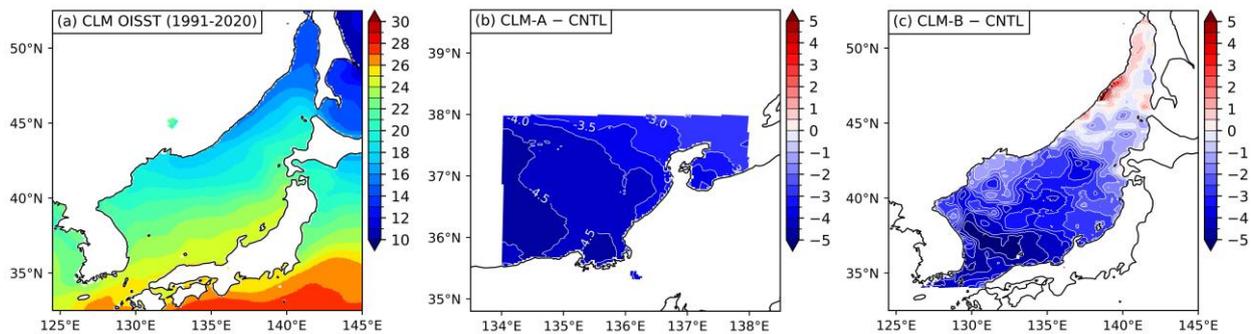


図 3

(a)海面水温の平年値（1991-2020年の気候平均）の分布。(b)能登半島風上側にあたる海域の海面水温を平年値に置き換えた海面水温改変実験。(c)図3bと同じ、ただし日本海全域。

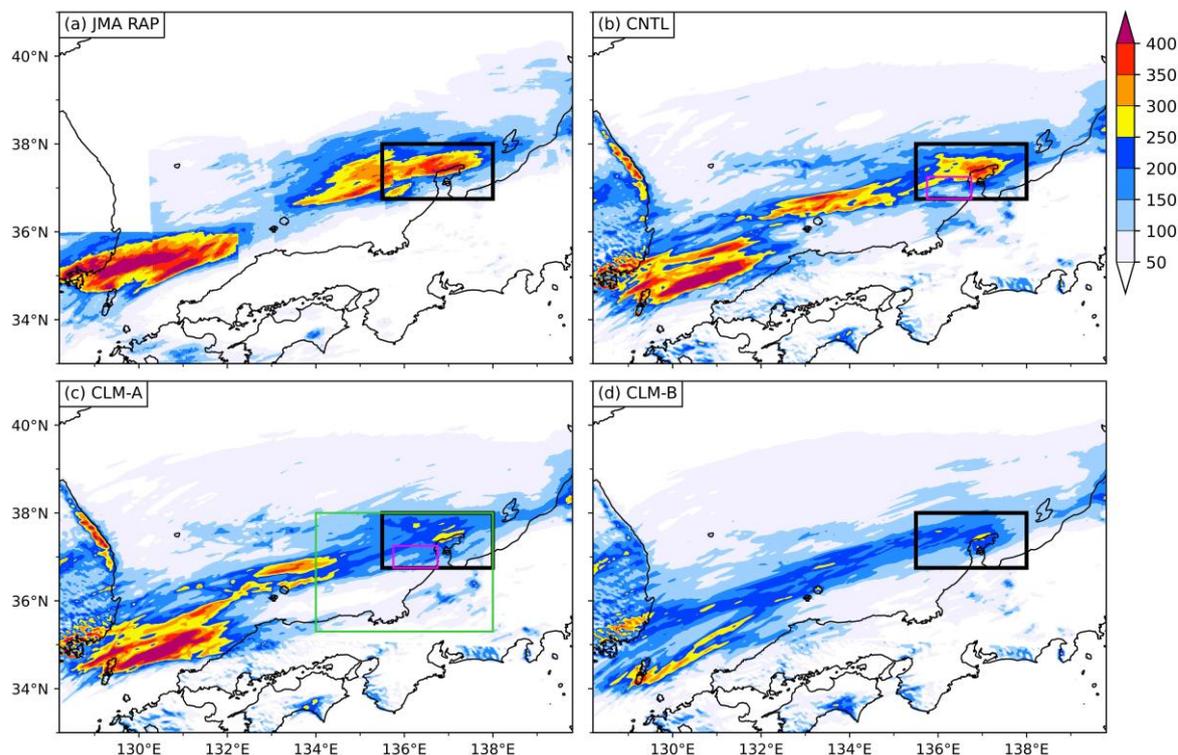


図 4

(a) 48時間積算（9月20日15時～22日15時）のレーダー解析雨量分布。(b)再現実験の積算降水量分布。黒枠の領域で降水量を観測と比較。(c)図3bの海面水温改変実験の積算降水量分布。能登半島北部の降水量減少が顕著に見られる。(d)図3cの海面水温改変実験の積算降水量分布。朝鮮半島から延びる降水帯全体が弱化している。

【今後の展開】

本研究から、台風と台風起因する太平洋高気圧西端のリッジの強化^[2]によって両者間の東西気圧勾配が強まり、日本海へ多量の水蒸気が流入してくる時に日本海で顕著な海洋熱波が発生していると、風下側に位置する西日本から北陸地方、東北地方の日本海沿岸地域に記録的な豪雨が発生するポテンシャルが急激に高まることが予想されます。また台風が関連する東日本太平洋沿岸の大雨が親潮域の暖水渦^[3]や黒潮続流の大蛇行^[4]によって増幅される事例も最近報告されています。

本事例では台風の遠隔降雨の一部として線状降水帯も発生していることから、台風の遠隔降雨が日本周辺海域で発生する海洋熱波によって増幅されると、沿岸地域で記録的な豪雨が発生する危険度が高まることに十分留意する必要があります。日本周辺海域の海洋熱波の精密なモニタリングと台風の遠隔降雨の予測精度の向上が豪雨災害の軽減のために益々重要となっています。

【用語解説】

注1) 鉛直積算水蒸気フラックス

水蒸気フラックスを地表面から大気上端まで鉛直積分した値を指します。ここでの水蒸気フラックスは水平方向の水蒸気輸送の大きさを表しています。

注2) メソ対流系

メソスケール（総観規模より小さい、20～200km程度を中心とした水平スケール）の組織化された積乱雲の集団（積乱雲群または複合体）を指します。いわゆる「線状降水帯」もメソ対流系に分類されます。

注3) 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）手法を指します。側面境界の不連続性を解消するなどの効果があります。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費補助金（JP22K03720, JP24H00369）の助成を受けて行われました。

【参考文献】

- [1] Wu et al. (2024): <https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100714>
- [2] Yoshida et al. (2023): <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100578>
- [3] Iizuka et al. (2021): <https://doi.org/10.2151/sola.17A-004>
- [4] Hirata et al. (2025): <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88294-9>

【論文情報】

掲載誌：Scientific Online Letters on the Atmosphere

タイトル：Impact of unusually high SSTs in the southern part of the Sea of Japan on heavy rainfall that occurred in Noto, Japan, on 21 September 2024

著者名：Tetsuya Kawano, and Ryuichi Kawamura

D O I : 10.2151/sola.2025-021

【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 助教 川野 哲也（かわの てつや）

TEL：092-802-4232

Mail：kawano.tetsuya.942@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）

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