

温帯低気圧化した低気圧に伴う線状降水帯がもたらした 2023 年 8 月隠岐諸島豪雨

平田英隆（立正大学データサイエンス学部）

1. はじめに

台風が中緯度域に侵入し、その性質が温帯低気圧へ変化する現象を台風の温帯低気圧化（以後、便宜的に温帯化と呼ぶ）という。温帯化中の低気圧や温帯化した低気圧に伴って豪雨や暴風が生じることがあり、しばしば災害の発生と関連することがある（e.g., Kitabatake et al. 2007, Yanase et al. 2022）。日本周辺は世界的に見ても温帯化が頻発に起きる地域であり（e.g., Kitabatake 2011, Bieli et al. 2019）、防災/減災の観点からもその特性について理解を深めていくことは重要であると言える。

2021 年 8 月 9 日に島根県の隠岐諸島付近で線状降水帯が発生し、豪雨をもたらした（図 1a）。隠岐諸島の気象庁アメダス観測点・海士では統計開始を開始した 1978 年 11 月以来最も多い日降水量（310.0 mm）を記録した。これにより、河川の氾濫や土砂崩れが起こり、様々な被害が生じた。この豪雨が発生したとき、台風第 9 号（Lupit）から温

帯化した低気圧が山陰地方に位置しており、この低気圧が隠岐諸島における豪雨の発生と関連したことが考えられる（図 1b, c）。本研究では、再解析データおよび観測データの分析を通じて、2021 年 8 月に隠岐諸島付近において生じた線状降水帯と台風 Lupit から温帯化した低気圧との関係について調査を行った。

2. データ

本研究は再解析データおよび観測データを利用した。再解析データには、ECMWF 提供の ERA5（Hersbach et al. 2020; 水平解像度：緯度経度 0.25° 、時間解像度：1 時間）を使用した。降水の水平分布を把握するために、気象庁の現業気象レーダー（水平解像度：1 km、時間解像度：10 分）によって観測されたレーダーエコー強度のデータを用いた。台風の情報には、RSMC Tokyo - Typhoon Center 作成のベストトラックデータを使用した。

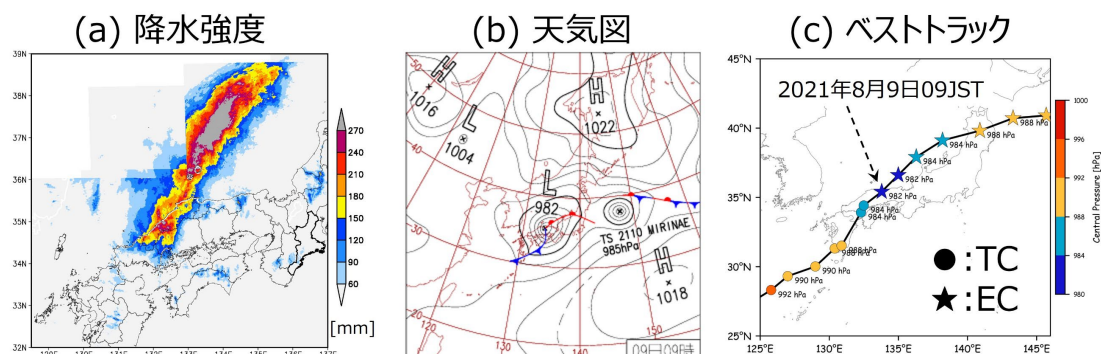


図 1. (a) 気象庁の現業気象レーダーが観測したエコー強度から算出した 2021 年 9 月 8 日の積算降水量の水平分布図。(b) 気象庁の 2021 年 9 月 8 日 9 時（日本時刻）の気象庁の地上天気図（出典：気象庁 HP <https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>）。(c) 2021 年台風第 9 号（Lupit）の経路と中心気圧。

3. 低気圧と豪雨の発生環境場

豪雨の発生環境場を把握するために、隠岐諸島周辺の力学・熱力学場および大気の安定度について調査する。ここでは、隠岐諸島のアメダス観測地点・海士で最も強い降水を観測した8月9日10時（日本時刻）に注目する（図2a）。

豪雨発生時には、地上付近において隠岐諸島の東側に暖気、西側に寒気が存在した（図2b）。そのため、ちょうど隠岐諸島の上空には、東西方向にシャープな温位の勾配で特徴付けられる地表前線が位置していた（図2c）。この地表前線の暖気側では東寄りの風、寒気側で北寄りの風が卓越しており、隠岐諸島付近では風向の急変も確認することができる。この南北に伸びる地表前線の存在が、線状降水帯の発生の第一要因であると考えられる。

次に、隠岐諸島周辺の対流有効位置エネルギー（CAPE）や水蒸気などの特徴について調査する（図3）。隠岐諸島の東側（すなわち、前線の暖気側）では、CAPEが比較的高い値を示し、地上付近の水蒸気量も高くなっている（図3a、b）。また、暖気内では西向きの水蒸気フラックスが明瞭であり、これがちょうど前線付近で収束している（図3c）。これらの結果から、隠岐諸島東側の暖域内の潜在不安定かつ湿潤な空気が、前線付近で収束することで、線状降水帯の形成が生じたと考えられる。

4. 前線形成

前節で指摘したように、低気圧に伴う南北に伸びる地表前線の存在が線状降水帯の発生要因のひとつと考えられる。この節では、この前線の形成について考える。

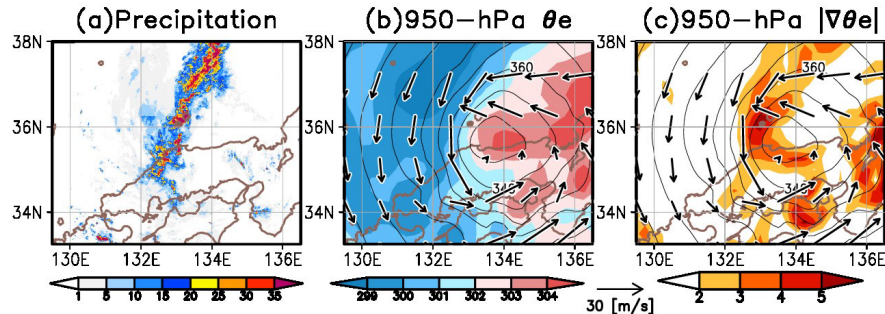


図2. 2021年9月8日10時（日本時刻）における(a) 降水強度（mm/hr）、(b)950hPaの温位（K）、(c)950hPaにおける温位の水平勾配の大きさ（ 10^{-2} K/km）の水平分布図。(b)と(c)の等値線と矢印は、950hPaのジオポテンシャル高度（m）と水平風ベクトルを示す。

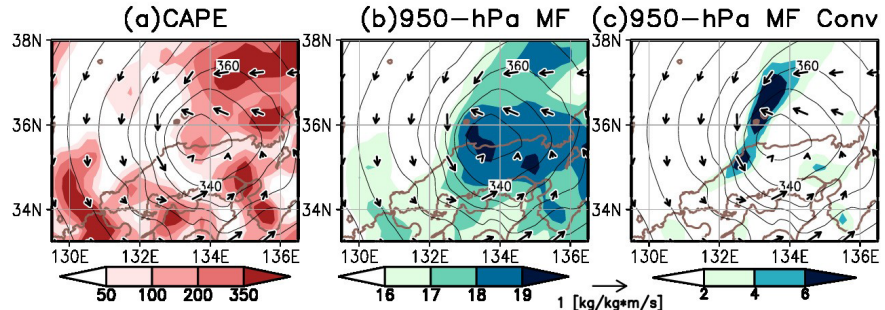


図3. 2021年9月8日10時（日本時刻）における(a) CAPE（J/kg）、(b)950hPaの混合比（g/kg）、(c)950hPaにおける水蒸気フラックスの水平収束（ 10^{-6} kg/kg/s）の水平分布図。等値線と矢印は、950hPaのジオポテンシャル高度（m）と水蒸気フラックスを示す。

地表付近の温位の分布に注目すると隠岐諸島で豪雨が発生する前に、前線の暖気側の温位が上昇する様子が確認できた（図略）。この暖気の発達に伴い、隠岐諸島付近において東西の温位勾配が増大し、前線の強化が起きた。

上述の暖気の発達に関わるプロセスについて考察するために、流跡線解析を実施した。ここでは、前線の暖気側と寒気側の 950hPa 面に配置した空気塊（図 4a）に対して実施した後方流跡線解析の結果を紹介する。開始時刻は 9 月 8 日 9 時（日本時刻）である。

暖気側に配置した空気塊は、低気圧の循環により日本列島の南の海上から流入してき

たことがわかる（図 4b）。多くの空気塊が日本列島上の山岳の風上側で上昇、風下側で下降する様子を見てとれる。また、温位の傾向方程式を解析したところ、山岳の風上側では非断熱加熱が、風下側では鉛直移流による昇温が生じていた（図略）。これらの結果は、湿潤過程が関与するフェーン現象が暖気の発達に寄与することで前線の強化に貢献したことを示唆する。

5. 海洋からの影響

3 節では、南北に伸びる前線の暖気側の地表付近の水蒸気が線状降水帯のソースになったことを示した。また、4 節においては、

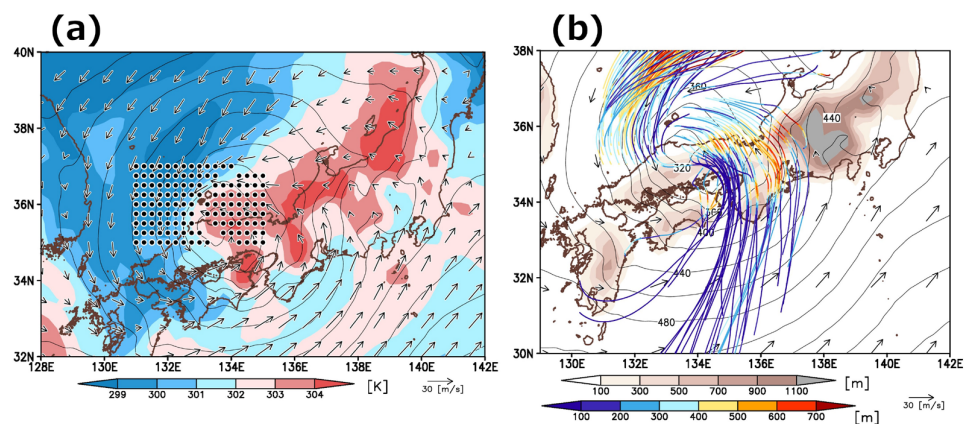


図 4. (a) 後方流跡線解析の始点を黒の点でします。2021 年 9 月 8 日 9 時（日本時刻）における 950hPa 面の温位（陰影）、ジオポテンシャル高度（等値線）および水平風ベクトル（矢印）も示す。(b) 流跡線解析の結果。線の色は空気塊の高度を示す。褐色系統の陰影は ERA5 の地形を示す。

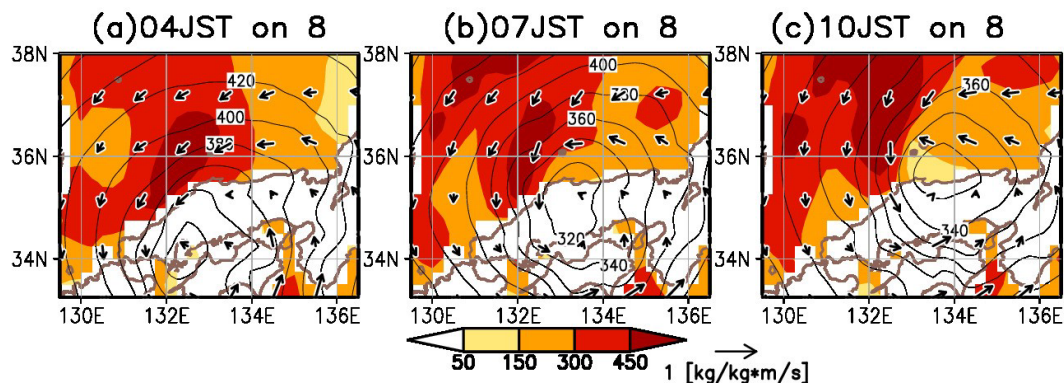


図 5. 2021 年 9 月 8 日 (a) 04 時、(b) 07 時、(c) 10 時における海面からの潜熱フラックス (W/m^2) の水平分布図。等値線と矢印は、950hPa のジオポテンシャル高度 (m) と水蒸気フラックスを示す。

フェーン現象が暖気の発達に寄与したことを指摘した。フェーン現象に伴い昇温した空気は一般的には乾燥する。そのため、それらの空気塊が湿潤化するためには、日本海上に流入した後に、海上から水蒸気供給を受けるはずであり、日本海沿岸域からの水蒸気供給も豪雨の発生に影響したと考えられる。

海洋からの影響を調査するため、海面からの潜熱フラックスの水平分布を示す(図5)。前線の暖気側では、 150 W/m^2 を超える海面から大気への潜熱フラックスが生じている(図5)。この結果は、日本海沿岸域からの水蒸気供給が線状降水帯の形成に貢献したことを示唆する。

6. まとめ

2021年8月9日に発生した線状降水帯が島根県の隠岐諸島に豪雨をもたらした。本研究は再解析データおよび観測データを用いて、この線状降水帯の形成における台風Lupitから温低化した低気圧の影響について調査した。線状降水帯の発生環境場として、隠岐諸島付近で発達する南北に伸びる地表前線と前線の暖気側の潜在不安定かつ湿潤な空気の存在が重要であることが示された。前線の形成について調べたところ、低気圧に伴う循環が湿潤過程を含むフェーン現象を誘起することで、暖気を発達させて、前線の形成に関与したことが示された。さらに、フェーンの影響で昇温した空気塊は、日本海沿岸域の海面からの水蒸気供給により湿潤化し、降水強化に関与したことが示された。

謝辞

ERA5はCopernicus Climate Data Store (<https://cds.climate.copernicus.eu/>)、気象庁の現業気象レーダーのデータは京都大学生存圏研究所の生存圏データベース ([a/\), RSMC Tokyo - Typhoon Center ベストトラックデータはRSMC TokyoのHP \(<https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html>\) から取得し、使用させて頂きました。本研究はJSPS 科研費 JP 23K20883、JP 24H02222 の助成を受けたものです。](http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/jmadat</p></div><div data-bbox=)

参考文献

- Bieli, M., S. J. Camargo, A. H. Sobel, J. L. Evans, and T. Hall, 2019: A global climatology of extratropical transition. Part I: Characteristics across basins. *J. Climate*, **32**, 3557–3582, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0518.1>.
- Kitabatake, N., 2011: Climatology of extratropical transition of tropical cyclones in the western North Pacific defined by using cyclone phase space. *J. Meteor. Soc. Japan*, **89**, 309–325, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2011-402>.
- Kitabatake, N., S. Hoshino, K. Bessho, and F. Fujibe, 2007: Structure and intensity change of Typhoon Songda (0418) undergoing extratropical transition. *Pap. Meteor. Geophys.*, **58**, 135–153, <https://doi.org/10.2467/mripapers.58.135>.
- Yanase, W., K. Araki, A. Wada, U. Shimada, M. Hayash, and T. Horinouchi, 2022: Multiple dynamics of precipitation concentrated on the north side of Typhoon Hagibis (2019) during extratropical transition. *J. Meteor. Soc. Japan*, **100**, 783–805, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2022-041>.