

2016年台風10号接近に伴う日高山脈と石狩山地における降水帯構造

馬場賢治¹⁾・猪又淳之助¹⁾

Characteristics of precipitation structure around in the Hidaka and Ishikari Mountains due to the approach of typhoon LIONROCK (1610) in 2016.

Kenji BABA¹⁾ and Junnosuke INOMATA¹⁾
(Accepted 8 December 2021)

1 はじめに

台風の降水システムについて、House (2010) は台風の壁雲の外側の降雨帯を内側から順に principal rainbands, secondary rainbands, さらに外側を distant rainbands と定義した。distant rainbands のような台風の中心から遠く離れた地域に形成される降水帯においても大雨をもたらすことが数多く観測されて来ており、防災上の注意が必要な現象の一つである。このため台風の中心から離れた降水帯による大雨に関する研究は数多く行われてきている。Ishihara et al. (1986) は、台風本体から離れたレインバンドについて、2つのドップラーレーダーを用いて観測し、降水帯の維持には内側からの暖湿流入が重要であることを指摘した。Akter and Tsuboki (2010) は領域雲解像モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) を用いて、バングラデシュに上陸したサイクロンを対象に数値シミュレーション実験を行い、台風の中心から離れた降水帯内の対流セルについて、回転する上昇気流のあるスーパーセルも生じていることを明らかにした。その内部降水域における雨、霰及び雪の混合比の和は、最大 18.4 g/kg であることを見積もった。また、大雨をもたらす要因の1つとして、山岳による地形効果についての研究も行われている。武田・元田 (1965) では九州中部山岳地帯における台風起因の降水帯について、レーダー観測によるデータを用いて、降水帯内の単一セルが山岳の風上側斜面を通過する際に地形による強制上昇気流により発達することを示し、この降水帯が山岳の風上側で長時間に渡るプロセスを整理した。Takasaki et al. (2019) は 2008 年

に発生した愛知県岡崎市の豪雨の事例において、メソ気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting model) を使用して、地形の有無の比較実験を行い、地表付近の暖湿移流が山岳地帯を回り込み、山岳下流域で収束し、その効果で豪雨が発生したと報告した。

2016年には、8月15日から31日の17日間で5つの台風(1606, 1607, 1609, 1610, および1611)が北海道に上陸・接近した(Fig.1)。台風6号(CONSON)は南鳥島付近から釧路沖に進み、15日に根室半島を通過後、温帯低気圧になった。小笠原諸島海域にあった台風7号(CHANTHU)は、16日から17日にかけて関東地方から東北地方の沿岸を北上し、日高地方付近に上陸後、北海道を縦断した。日本の東で発生した台風11号(KOMPASU)は北西進し、三陸沖に接近後に北上、21日に北海道に上陸した。台風9号(MINDULLE)は、小笠原諸島から北上し、22日に千葉県に上陸後、東日本を縦断し、翌23日には北海道に再上陸して、温帯低気圧になった。日本の南海上で迷走した台風10号(LIONROCK)は、30日に岩手県に上陸し、その後北西に進み、日本海で温帯低気圧化した。太平洋から東北地方に上陸し、日本海に通過する経路は、気象庁の統計開始以来初であった。これらの台風やそれに刺激された前線、および台風本体から離れた降水帯などにより、北海道では十勝川水系や石狩川水系などにおいて河川の氾濫などが多発し、流域に大きな被害をもたらした。このうち、特異な経路を辿った台風10号の影響により、8月29日から31日の期間で台風から離れた降水帯が、南島方海上から十勝地方や日高山脈・石狩山地に長時間掛かり続

¹⁾ 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類気象・気候学研究室 069-8501 江別市文京台緑町582番地
Laboratory of Meteorology and Climatology, Department of Environmental Sciences, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan
日本気象学会・理科教育学会

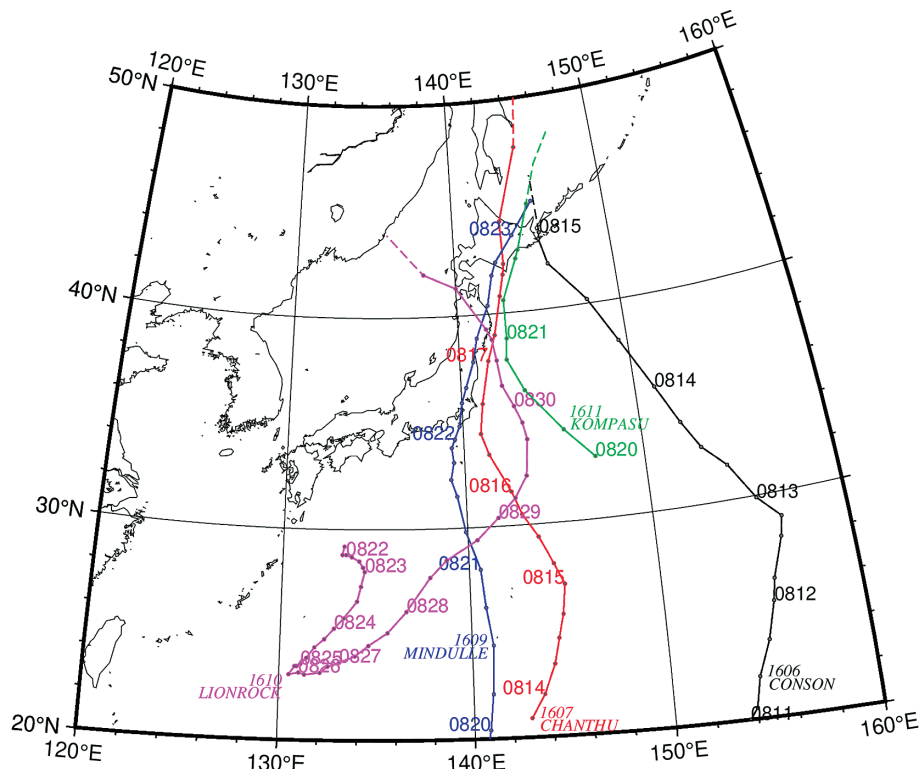


Fig. 1 Typhoon tracks that affected Hokkaido in August 2016, drawn by using the best track data from the Japan Meteorological Agency. Solid lines mean typhoon tracks, and dashed lines are extratropical cyclones. Black circles indicate the position at 00, 06, 12, and 18 UTC, and position at 00UTC (09JST) on each day.

け、降水量を増加させていた。そこで本研究では、Tsuboki and Sakakibara (2002) が開発した領域気象モデル CReSS を用いて、台風 10 号の影響により特に降水量の多くなった 8 月 30 日の降水帯の維持機構と特性について明らかにする。

2 対象地域と期間

降水量の多かった十勝地方、日高山脈、石狩山地、および降水帯が流入した釧路・日高沖を含む東経 142 度から 146 度、北緯 41 度から 44 度の領域を研究対象地域とした (Fig. 2)。本研究では日高山脈の北部地域と南部地域に降水量の極大が見られたため、日高山脈を Fig. 2 の赤線を境界に北部、南部と定義した。十勝平野の北には石狩山地があり、石狩山地の南斜面にはアメダスの観測地点のぬかびら源泉郷がある。同図の青点線は日高山脈東斜面と石狩山地の南斜面の領域を示し、本事例において特に注目した地域である。研究対象の期間は台風 10 号が接近した日本時間の 8 月 29 日から 31 日とした。尚、本研究では、基本的に協定世界時 (UTC : Universal Time Coordinated ; JST-9h) を用いて解析を行った。

3 データ

気象庁が提供する数値予報モデル (MSM : Meso-Scale Model) の 3 時間毎の初期値データ、1 km メッシュ全国合成レーダー GPV の降水強度データ、十勝・釧路地方の AMeDAS (Fig. 3) 41ヶ所の降水量、風向・風速、および、海面データとして MGDSST (NEAR-GOOS) を利用した。地形データは USGS の SRTM30 を使用した。

4 雲解像モデル CReSS

雲解像モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) は、雲スケールからメソスケールの現象の高精度シミュレーションを行うことを目的として開発された雲解像の非静力学気象モデルである (Tsuboki and Sakakibara, 2002)。坪木・榊原 (2006) によれば、特に強い降水をもたらす積乱雲とそれらが組織化した場合、流れの場のプロセスとともに雲物理の複雑な非線形相互作用が生じる複雑なシステムとなるため、それらの場と雲物理過程を並列計算機で効率よく実行できるように設計されている。

本研究では、3 日間の時間積分を行うため、移流

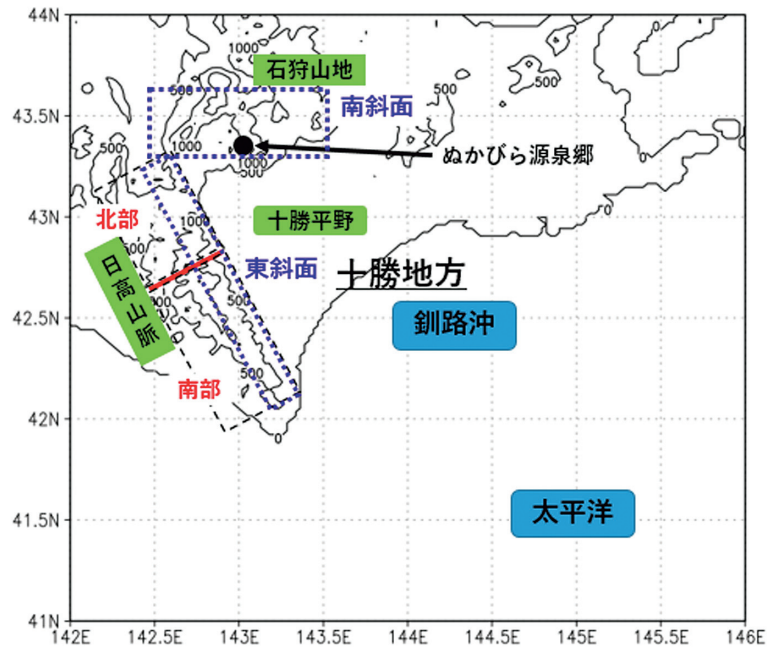


Fig. 2 Study area of this study.

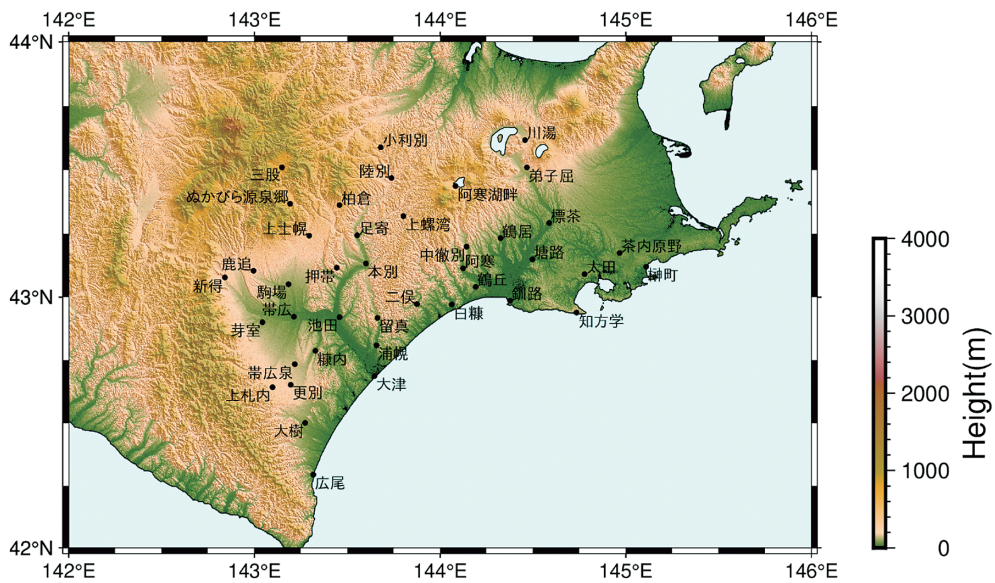


Fig. 3 The Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) sites using in this study.

を考慮して前述の対象地域より広範囲の東経 136 度から 148 度、北緯 37 度から 46 度の範囲でシミュレーションを行なった。実験設定は Table 1 に示す。

5 2016 年 8 月 30 日の対象地域の地上大気場

台風 10 号に付随する遠隔降水帯が北海道に掛かった 8 月 30 日の 1200UTC (2100JST) から

1700UTC における気象レーダー強度とアメダスを Fig. 4 に示す。1200UTC (Fig. 4a) には、十勝平野では、広範囲にわたりやや強い降水帯がみられ、そこから釧路沖の南東方向に延びる降水帯が分布した。一方、日高山脈南部地域から海上に南東方向と南南東方向に延びる降水帯が観測された。十勝平野のアメダスからは、風速 5~10 m/s の南風であった。1300UTC (Fig. 4b) には、石狩山地南部のぬか

Table 1 Set up of the experiments for CReSS used in this study.

計算領域	東経 136-148 度 / 北緯 37-46 度
格子数	水平 515 × 515 (2 km 格子) 鉛直 45 層
計算間隔	4 秒
データ出力間隔	10 分
初期値と使用したデータ	2016 年 8 月 29 日 大気：気象庁メソ数値予報モデル GPV 海面水温：気象庁 MGSST データ (NEAR-GOODS)
地形データ	USGS 提供 SRTM30

びら源泉郷付近において、走行が西北西-東南東の 50 mm/h を超える降水域がみられた。一方、日高山脈南部でも北西-南東の走向方向で 50 mm/h 以上の降水帯が広がっていた。同地域の風は南南東であり、15 m/s を超えていた。1400 UTC (Fig. 4c) でも、走向の異なる降水帯がみられ、ところどころ 50 mm/h を超えていた。1500 UTC (Fig. 4d~e) では、南側の降水帯のみが顕著に残り、降水帯は時間とともに北西へ移動し、日高山脈の東斜面や石狩山地南部を中心に降水量が多くなっていた。特に 1700 UTC (Fig. 4f) では、ぬかびら源泉郷では 31.5 mm/h であった。

6 雲解像モデル CReSS による解析

5 章と同じ時間帯の CReSS によるシミュレーション解析による降水強度と地上の風向風速の結果を Fig. 5 に示す。1200 UTC 頃の 2 つの降水帯と十勝平野での降水域、その後の降水域や極大の領域の変化も概ねよく再現されていた。同時に風向・風速についてもアメダスによる観測と概ね同様の場が形成されていた。よって、時空間的に解像度の良いシミュレーション結果を基に物理的な解析を進める。

6.1 降水強度、水平水蒸気移流と発散場

前述の Fig. 5 から、釧路沖から日高山脈に伸びる降水帯が再現され、山岳風上側で降水量が多く計算されていた。特に、日高山脈北部では 1450 UTC (Fig. 6a) に、石狩山地南斜面では 1550 UTC (Fig. 6b) に極大 (50 mm/h~) 域が分布していたため、この時間帯を中心とした山岳斜面による降水強化過程について解析を行った。

850 hPa 等圧面の相当温位 (K) と水蒸気混合比 (g/kg)、および水平風を Fig. 7 に示す。1350 UTC (非表示) では、釧路沖海域から日高地方に南南西風で且つ大雨の指標とされる 340 K を超える相当温位が伸び、それと対になるように南東風の低相当温

位が北東側に存在していた。それらの境界付近では、南南東と南東風のシアラインが形成されていた。これらは 1450 UTC (Fig. 7a) には北上し、高相当温位の先端部や北側境界部のシアラインは日高山脈北部に達していた。その後の 1550 UTC (Fig. 7b) には石狩山地南部斜面付近にそれらの先端部は達していた。

同等圧面の水平発散場を Fig. 8 に示す。前述の高相当温位、特に北側のシアライン付近で収束場 (負の発散場) が分布しており、前述の低相当温位領域には発散場が分布している。これらが、時間とともに北上し、日高山脈東側斜面や石狩山地南部に大きな収束場を形成していることがわかる。

6.2 降水最大時の鉛直物理量の変遷

前節では、水平空間分布から、降水域や発散場の極大などの変遷を示したので、その特徴的な日高山脈と石狩山地地域において鉛直方向についての結果をこれ以降で示す。日高山脈において降水量の多い 1450 UTC について、Fig. 6a の赤い破線 (142.5 E~143.5 E, 43 N) における降水混合比 (雨、霰および雪の混合比の積算: g/kg) と上昇流 (m/s) の東西断面図 (Fig. 9a) を示す。日高山脈の東斜面の最上部付近では、3.0 m/s を超える上昇流があり、上空 2500 m 付近まで達していた。0.5 m/s を超える上昇流域も 7000 m 付近迄伸びていた。その風下にあたる西斜面側では下降流域が分布していた。また、降水混合比 2.0 g/kg を超える領域は、高度 3000 m 迄の上昇流極大域から下降流極大域にかけて分布していることが分かった。同 1.0/kg の領域は、強い上昇流により 7000 m 付近まで達しており、5800 m にも極大がみられた。一方、石狩山地南部に関しては、Fig. 6b の赤い破線 (143.1 E, 43~44 N) における南北断面を Fig. 9b に示す。降水量がピークであった南側斜面付近において 3.0 m/s を超える上昇流域が 3500 m に達し、上昇流域として

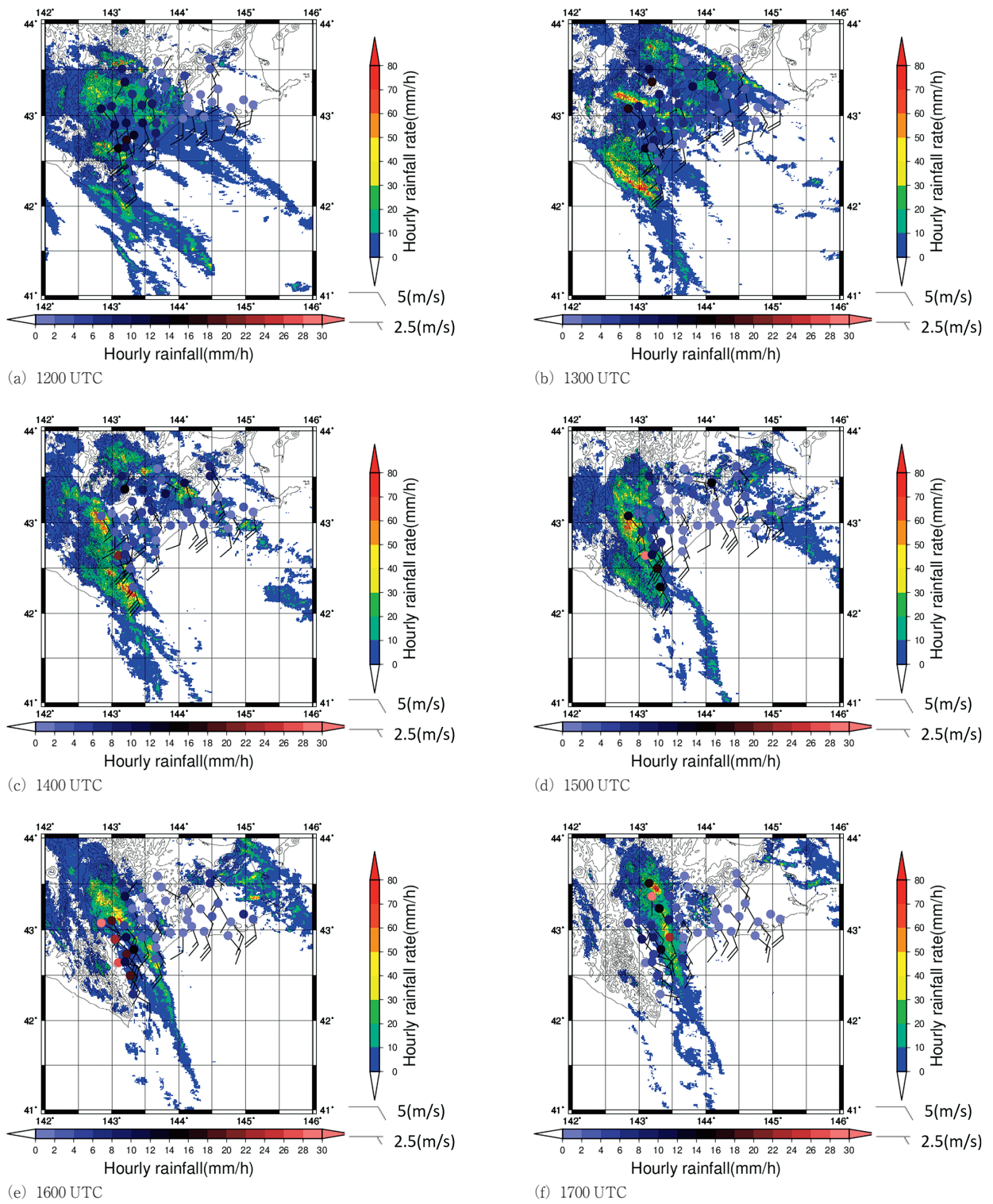


Fig. 4 Transitions in observations were derived from Precipitation Intensity of JMA Weather Radar and AMEDAS at 12-17 UTC on August 30, 2016. Colors show the Precipitation Intensity (mm/h, right color bar) and the precipitation (mm/h, bottom color bar) of AMeDAS inside of the circles. Wind barbs indicate wind average speed (m/s) and dominated direction in 10 minutes. Solid lines indicate contour lines (200 m intervals).

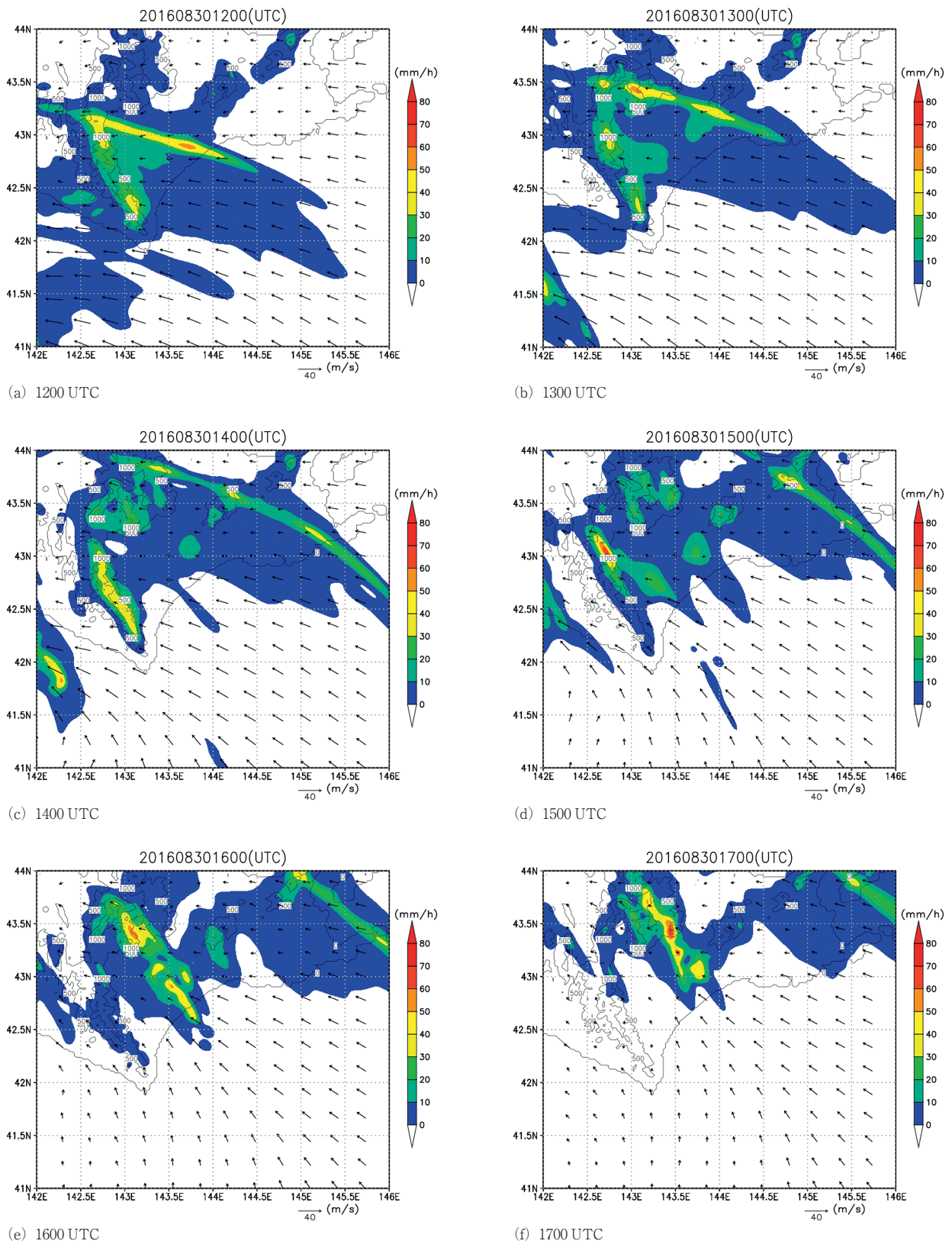


Fig. 5 Simulation results of precipitation intensity and ground wind from 12 UTC to 17 UTC on August 30, 2016 by CRSS. Colors show the Precipitation Intensity (mm/h), and vectors represent surface wind (m/s). Solid lines indicate contour lines (500 m intervals).

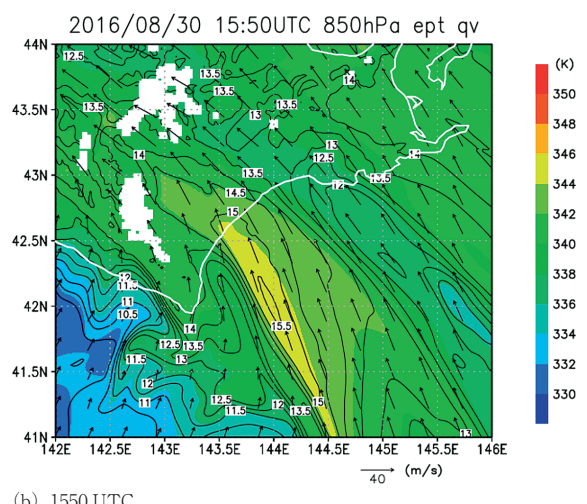
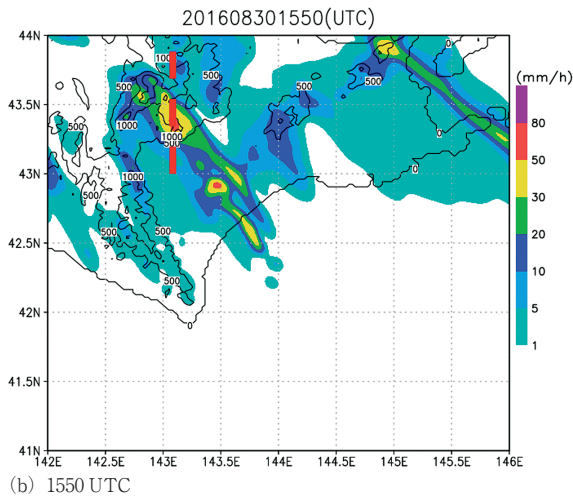
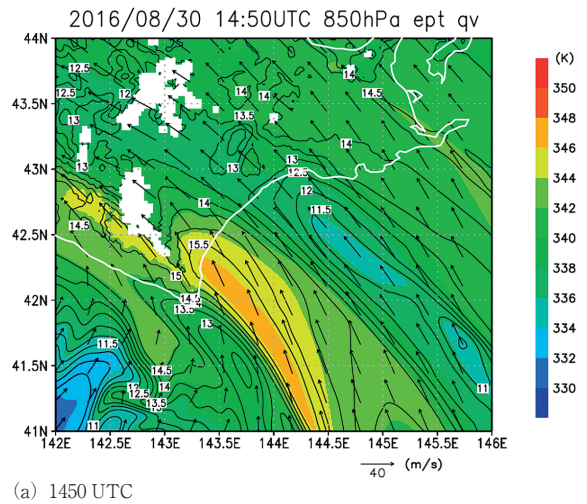
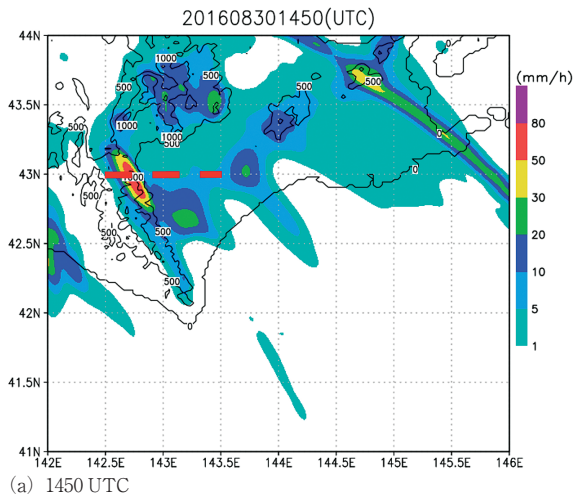


Fig. 6 Precipitation intensity (mm/h) of 1450 UTC (a) and 1550 UTC (b) on August 30, and Solid lines are contour lines (500m intervals).

Fig. 7 Equivalent potential temperature (K), water vapor mixture ratio (g/kg), and horizontal wind (m/s) on the 850 hPa geopotential height on August 30, 2016. The white area is out of the calculation area due to the highlands.

は 8000 m 程度まで分布していた。日高山脈と比較すると、複雑な構造をしており、上昇気流の極大が複数あり、その間は補足流的な流れが生じていることが推測される。降水混合比の極大は、3000 m 以下と 6000 m 付近の 2 つ存在し、何れも 1.8 g/kg を超えていた。

両地域における環境場の時間変遷を調べるため、30 日 0900 UTC から同 1800 UTC における上昇流 (m/s)、水平風 (同)、相当温位 (K) の時間高度ホフメラー解析を行った (Fig. 10)。Fig. 10a は日高山脈の東斜面 (Fig. 9a の黒い太点線) の変遷である。0900 UTC から 1600 UTC の高度 2000 m 以下においては大半の時刻で相当温位 340 K 以上が存在し、上昇流は 2.0 m/s を上回っていた。1100 UTC から 1200 UTC、および 1400 UTC から 1500 UTC に上昇流が地上から高度 6000 m まで極大域となり、一

方、相当温位は高度 2000 m から 5000 m で極大であった。1200 UTC にはレーダー (Fig. 4a) と CReSS (Fig. 5a) の降水強度の分布でも日高山脈東斜面で降水強度の極大が分布し、日高山脈東斜面の上昇流と相当温位の極大の時刻と対応していた。1450 UTC における高度 2000 m から 3000 m の相当温位は 340 K を超えており、上昇流は 2.5 m/s を上回った。地上から高度 8000 m までの水平風は 1500 UTC 頃に東から南寄り風の風に変化し、上昇流は 1500 UTC から 1800 UTC にかけて次第に弱まった。Fig. 10b に Fig. 9b の黒い太点線における石狩山地南斜面の物理量の時間変化を示した。0900 UTC から 1700 UTC の最下層の高度 2000 m 付近では殆どの時刻において相当温位が 340 K 以上で

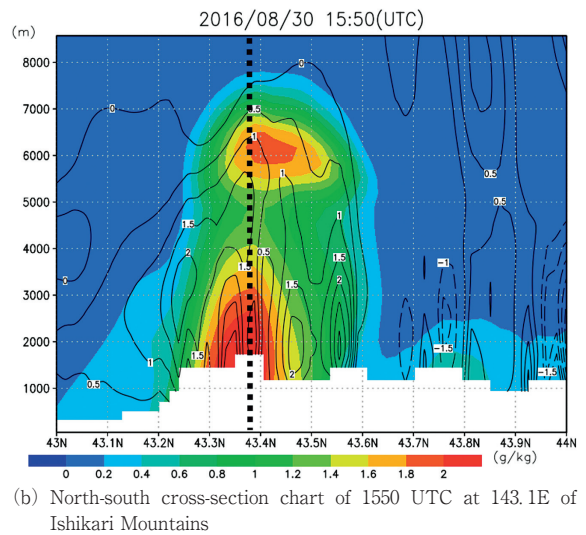
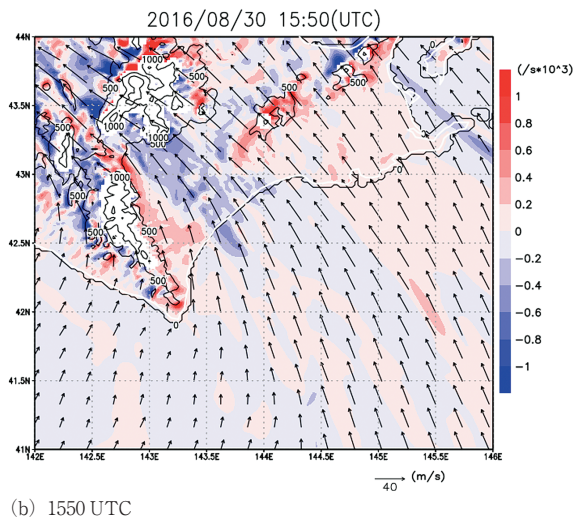
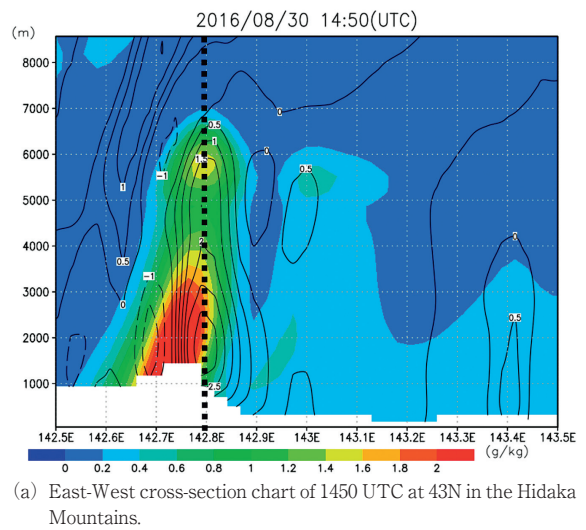
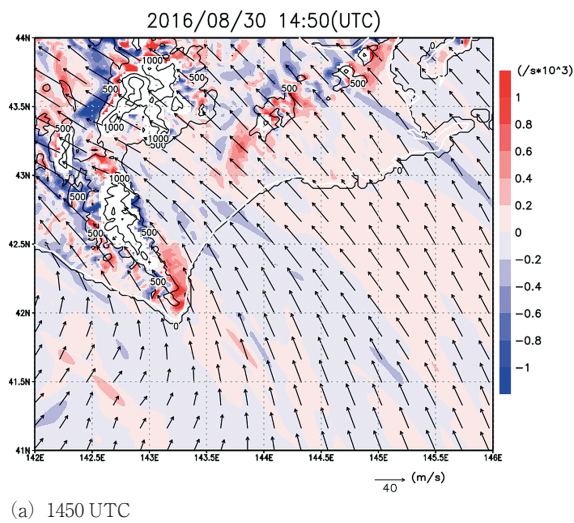


Fig. 8 Horizontal divergence field ($/s \times 10^3$) and horizontal wind (m/s) on 850 hPa geopotential height on August 30, 2016.

Fig. 9 Vertical cross-section chart of precipitation mixture ratio and ascending current on August 30, 2016. The color is the mixing ratio (g/kg), and the solid line is the upward current (m/s).

分布し、上昇流は 1.0 m/s 以上であった。1300 UTC と 1600 UTC 頃に上昇流の極大が地上から高度 6000 m まで現れ、相当温位の極大は高度 2000 m から 6000 m に分布した。これらの極大であった 1300 UTC 頃にはレーダー (Fig. 4b) と CReSS (Fig. 5b) の降水強度の結果において、石狩山地南斜面で降水強度の極大が分布していた。1550 UTC において高度 2000 m から 3000 m では相当温位が 340 K を超え、上昇流は 1.5 m/s 超であった。地上から高度 6000 m までの水平風は 1600 UTC 頃に東から南寄りに風向きが変化し、上昇流は 1600 UTC 以降に次第に弱まった。

7 考 察

2016 年に北海道に大雨をもたらした台風のうち、短期間で十勝付近において大雨をもたらした台風の中心から離れた降水帯について、雲解像モデル CReSS を用いて解析を行った。同地域には大雨の指標となる相当温位 340 K が南海上から北西方向に 1200 UTC 頃から舌状に日高山脈の走行に対して斜めに流入 (Fig. 7a) し、その北側ではシアラインがあり、その領域では広く収束場が分布 (Fig. 8a) していた。これらが時間とともに北上している様子がみられた。最も日高山脈の東斜面において降水強度の大きい 1450 UTC では、前述の擾乱が移動し、

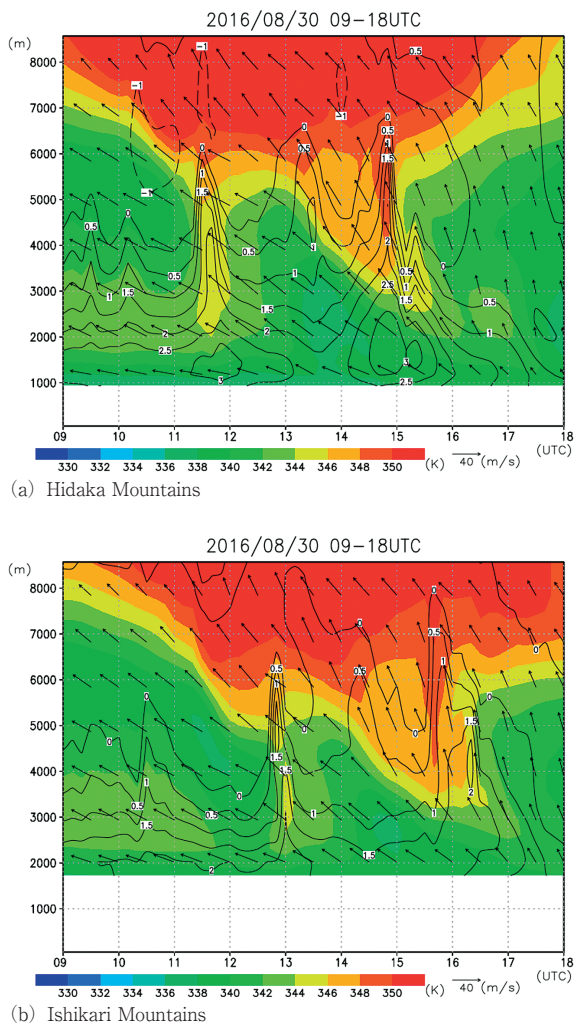


Fig. 10 Hovmoeller diagrams of equivalent potential temperature (K), vertical wind (m/s), and horizontal wind (m/s).

地形の効果も加味されたと考えられる周辺より大きい $-1.0/s \times 10^3$ の収束場 (Fig. 8a) があつた。この付近の鉛直断面図 (Fig. 9a) からは上昇流域が 6000 m を超え、併せて降水混合比は 1.0 g/kg を超えていた。これらから、積乱雲の発生しやすい場であり、長時間にわたり南海上から水蒸気や熱が供給され続け、降水量を増加させたことが推測できる。一方、石狩山地南部の降水強度が多かつた 1550 UTC は、850 hPa 面では日高山脈に沿う南南東風と釧路沖海上からの南東風が十勝平野で収束し、石狩山地南部斜面を指向していた。また、この領域では $-0.5/s \times 10^3$ を超える水平収束場が広範囲にわたり計算されていた。1450 UTC と比較すると 2~3 K 小さい相当温位ではあるが、340 K を超える相当温位が釧路沖から十勝平野を通して石狩山地南部まで流入していた。上昇流域は 8000 m 付近まで達し、併せて

降水混合比が 1.0 g/kg を超える領域が、前述の日高山脈上空よりも広範囲に分布していた。これらの影響で不安定な場が広範囲に渡り、積乱雲を長時間維持することにより、記録的な降水になったことが示唆された。

8 まとめ

2016 年 8 月に北海道地方に接近・上陸した台風により、各地で大雨をもたらした。このうち台風 11 号の中心は東北地方を東から西へ横断したが、その降水帯が北海道十勝地方に短時間で大雨をもたらした。その台風について雲解像モデル CReSS を用いて数値実験を行った。再現された降水帯は、大雨の指標である高相当温位が流入し、且つ水平風が収束し、大気が不安定な条件が比較的長い時間続き、その指向が山岳斜面に向いていたため、斜面の影響により不安定な場となっていた。あまり例のない台風の進路により、降水帯が東もしくは南から長時間暖湿移流が入つたことで記録的な降水量となった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、名古屋大学名誉教授上田博氏および名古屋大学研究員加藤雅也氏にご尽力を頂きました。ここに謝意を表します。図の作成には、GMT (Wessel and Smith, 1998) と GrADS (COLA) を用いました。英文チェックはエナゴを利用しました。

文 献

Akter, N., and Tsuboki, K. (2010), Characteristics of Supercells in the Rainband of Numerically Simulated Cyclone Sidr, SOLA, 6, 025-028.
 House, Jr. Robert, A. (2010), Clouds in Tropical Cyclone, Monthly Weather Review, 138, 293-334.
 Ishihara, M., Yanagisawa, Z., Sakakibara, H., Matsuura, K. and Aoyagi, J. (1986), Structure of Rainband Observed by Two Doppler Radars, Journal of the Meteorological Society of Japan, Ser. II, 64, 923-939.
 Takasaki, Y., Yoshizaki, M., Suzuki, A. and Watarai, Y. (2019), Sensitivity of Quasi-Stationary Band-Shaped Precipitation System to Topography: A Case Study for 28 August 2008 Okazaki Heavy Rainfall Event, Journal of the Meteorological Society of Japan, 97 (2), 453-66.
 武田京一, 元田雄四郎 (1965), 台風降雨帯の地形に

よる影響, 天気, 12, 371-376.
Tsuboki, K. and Sakakibara, A. (2002), Large-scale Parallel Computing of Cloud Resolving Storm Simulator, High Performance Computing, 243-259.

坪木和久, 榊原篤志 (2006), 雲解像モデルを用いた台風に伴う局地豪雨の量的予測実験:— 2004年10月20日の台風0423号に伴う近畿地方北部の豪雨を例として—. 自然災害科学, Vol.25, 351-373.

Abstract

The outer rainbands of Typhoon 1611 (LIONROCK), which caused heavy rainfall in the Tokachi region of Hokkaido from August 29 to 31, 2016, were analyzed by the Nagoya University Cloud-Resolving Storm Simulator (CReSS) at a 2 km grid size. From the meteorological radar observations of the Japan meteorological agency, rainbands were distributed from the Tokachi area in the east-southeast and east-southeast directions, respectively, were successfully simulated using CReSS. The rainband advected from the south-southeast had an equivalent potential temperature exceeding 340 K, indicator heavy rainfall, and in the northern region, a shear line of winds in the southeast and south-southeast was formed having unstable atmospheric conditions. Results show this disturbance directed to the Hidaka and Ishikari mountains, increased precipitation due to the influence of mountain slopes.