

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：33401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350509

研究課題名(和文) 福井平野における豪雨発生と局地循環の関連解明

研究課題名(英文) Study on relationship between strong rainfall and local circulation in the Fukui plain

研究代表者

中城 智之 (Nakajo, Tomoyuki)

福井工業大学・工学部・教授

研究者番号：00367509

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、福井平野の降雨分布における地形と下層風の相互作用の影響を調査することを目的として、福井平野の北部と中央部に設置された2基のウィンドプロファイラレーダーによる下層風のデータとC帯気象レーダーによる降雨分布の統計的比較を行った。その結果、福井平野の降雨分布の詳細は高度1km以下の風速度によって分類される事が分かった。特に、福井平野北部で発生する局地的な強雨が、高度1km以下の風向が西寄りの場合に発生する事が確認された。これらの結果は、降雨予測における高度1km以下の風速度計測の重要性を示している。

研究成果の概要(英文)：We statistically compared wind data at lower troposphere based on wind profiler radars with precipitation distribution data based on C-band weather radar in order to investigate the effects of interaction between terrain and lower wind on precipitation patterns in the Fukui plain. The results show detailed precipitation patterns in the Fukui plain are classified by wind at altitude lower than 1 km. In particular, localized strong rainfall often occurs in the northern area of Fukui plain in the condition that wind at altitude lower than 1 km is westerly. These results indicate the measurement of lower wind at altitude lower than 1 km is important on local weather forecasting.

研究分野：電波を用いたリモートセンシングによる環境計測

キーワード：局地降雨 地形性降雨 下部対流圏 ウィンドプロファイラ 気象レーダー

1. 研究開始当初の背景

高度数km以下の「大気境界層」は、私たちの生活に直接影響を及ぼす重要な大気層であり、特に近年、豪雨の問題に関連して注目されている。北陸地方の福井平野では、2004年の福井豪雨が記憶に新しく、その後も豪雨が頻発している状況にある。

夏季の北陸地方における豪雨の原因となる積雲対流の発生については、一例として、大気境界層において熱コントラストが原因で発生する局地循環の代表である海風・谷風による北風と、フェーン現象による南風の衝突による水蒸気収束が重要な役割を果たす例が報告されている。したがって、豪雨の発生予測には、総観規模の気象場と共に局地循環の実態を同時に詳細に知ることが必要不可欠である。現在、豪雨の観測・発生予測に向けた新型気象レーダーの整備や数値予報モデルの高精度化が進められているが、豪雨発生の主要因である局地循環の理解が進んでいないため、特に観測を通じたその実態説明が急務となっている。

2. 研究の目的

豪雨の発生状況は大局的には総観規模の気象状況で決定されるが、局地的には地形の影響を受ける。福井県嶺北地方では2004年の福井豪雨の記憶が新しいが、降雨に対する地形の影響についての観測的な研究はほとんどなされていない。

本研究では、地形の影響が現れる対流圏下層の風の情報としてウィンドプロファイラレーダー (WPR) のデータを用い、アメダスによる地上気象データ、全国合成レーダーによる雨量データ、衛星データ等を総合的に比較することにより、福井平野の降雨と局地循環の関連について調査を行った。

3. 研究の方法

(1) 対流圏下層の風データ

本研究では下層風のデータとして、気象庁アメダスによる地上風データとWPRのデータを用いた。データを使用した測定局の位置および福井平野の地形を図1に示す。図中、福井平野中央部の「FUKUI」は福井地方気象台であり、アメダス福井局と気象庁ウィンドプロファイラネットワークの福井局 (以下、WINDAS 福井局) が設置されている。「MIKUNI」は気象庁アメダス三国局、「AWARA」は福井工業大学のWPR (以下、福井工大 WPR) が設置されている。

本研究ではWPRのデータとして、WINDAS 福井局と福井工大 WPR のデータを用いた。第1図に示したように、2基のWPRは南北方向に24kmしか離れていないが、WINDAS 福井局が北方以外の3方向を低い山で囲まれている福井平野中央部に位置しているのに対して、福井工大 WPR は比較的開けた福井平野北部の海岸沿いに設置されており、地形の条件が異なっている。本研究では福井平野中央部と福井平野北部の地形の違いの影響について考察するため、2基のWPRのデータを用いること

とした。アメダスについても同様の観点から、福井平野中央部の福井局と福井平野北部の三国局のデータを用いることとした。

福井工大 WPR は三菱電機製で、WINDAS 福井局への混信を避けるため周波数を WINDAS で採用されている 1375MHz に対して 600kHz 高い 1381MHz としている事を除いて、現行の WINDAS で使用されている WPR の更新前のシステムと同等である。アメダスおよび WPR データの時間分解能は 10 分であり、積乱雲の発達による短時間現象も解析対象となる。データ解析期間は、福井工大 WPR が安定稼働を開始した 2013 年 4 月から、WINDAS 福井局がシステム更新のために稼働を一時停止する直前の 2013 年 10 月までの 7 か月間とした。ただし、台風 18 号の影響を強く受けた 9 月 15 日および 16 日はデータセットから除外した。

(2) 降水データ

下層風との比較を行う降水データとして、気象庁の C バンド気象レーダーネットワークによる全国合成レーダー-GPV を用いた。このデータは高度 2km における空間分解能 1km の降水強度として提供されている。降水データとしては、他にもアメダスや解析雨量があるが、上空で発生した降水粒子が地上に落下するには、十分な質量の雨滴に発達することや落下の途中で蒸発しないことなど、下層風以外の様々な条件を考慮に入れる必要がある。本研究では下層風と降水粒子発生域の関係を見出すことを主目的としているため、全国合成レーダー-GPV のデータを用いることとした。なお、全国合成レーダー-GPV のデータの時間分解能はアメダスおよび WPR による風データと同じ 10 分である。

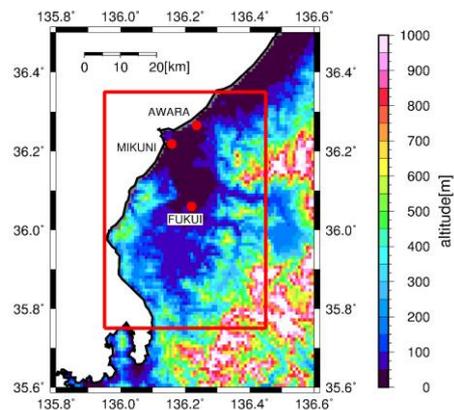


図1 観測局の位置関係。赤丸は観測局の位置を、赤線枠は本研究における福井平野の定義を示す。

4. 研究成果

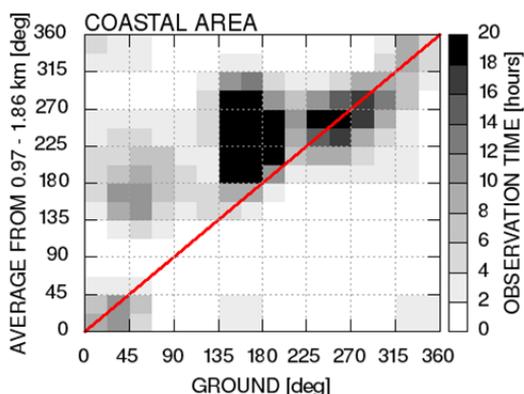
(1) 福井平野で降雨が発生する時の下層風の出現特性

2013 年 4 月から 10 月の 7 か月間において福井平野で降雨が観測された時の下層風の風向の出現頻度を図2に示す。ここで、本研究では図1で示した赤線の枠内の範囲を福井平野と定義し、この範囲内で気象レーダーのエコーが観測される時、福井平野で降雨が発生したとしてカウントした。図2では、

風向の特徴を明らかにするため、アメダスによる地上風向とWPRによる高度0.97kmから1.87kmまでの平均風向との関係を示している。0.97kmから1.87kmの高度範囲は、地形の影響を受けない自由大気の風、すなわち総観規模の気圧配置で決まる一般風が吹く高度範囲として用いた。以降、本報告では高度0.97kmから1.87kmまでの平均風を一般風と呼ぶ。一方、地上は風が地形の影響を最も強く受ける高度であり、一般風と地上風を組み合わせた風向パターンの分類と降雨分布の比較を行う事により、地形の影響を受けない一般風と地形の影響を受ける局地風の降雨分布に対する影響を総合的に検討できると考えた。

図2に見られる特徴として、福井平野北部では福井平野中央部と比較して出現頻度の高い領域が明確に分離する傾向があり、風向パターンの分類が容易である。特に、西寄りの風が出現する特徴が顕著に認められる。また、地上が北寄り・一般風が南あるいは西寄りという福井平野中央部にはない風向パターンが存在する。以上の事から、本研究では風向による分類に、地上風として福井平野北部のアメダス三国局、一般風として福井工大WPRのデータを用いる事とした。

(a)



(b)

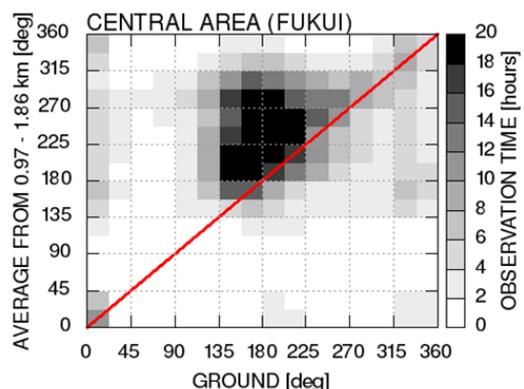


図2 降雨時における福井平野の(a)北部および(b)中央部における地上風向と一般風向の関係。

## (2) 下層風向と福井平野の降雨分布の関係

図2(a)における下層風の分類と福井平野の降雨パターンを比較した結果、次の3つの下層風向パターンが福井平野の特徴的な降雨分布に対応することがわかった。

- ①地上風と一般風が共に南寄り(135-225度)の場合(17%)
- ②地上風が北寄り(315-60度)の場合(33%)
- ③一般風が西寄り(225-315度)(50%)

パターン①では福井平野では比較的降雨が少なく、南西部の山岳域および沿岸海域で降雨が増加する。パターン②では福井平野北部一帯で若干降雨が増加する傾向になる。最後にパターン③では、福井平野東側の平野域と山岳域の境界付近で降雨が増加するが、特に、福井平野北部において局地的な降雨が顕著に増加する傾向が見られた。このように、福井平野の降雨分布は下層風の風向パターンと対応関係があることがわかった。

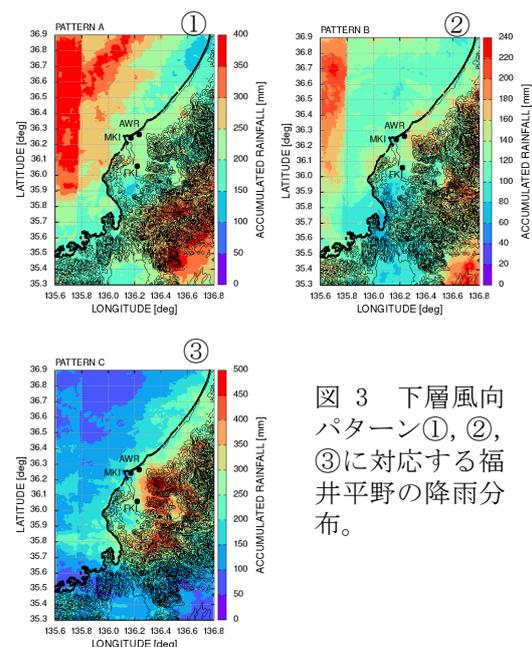


図3 下層風向パターン①, ②, ③に対応する福井平野の降雨分布。

## (3) 風向パターン③における下層風の特徴

福井平野北部において局地的な降雨の増加が見られる風向パターン③に着目し、下層風の特徴をさらに詳細に調べた。その結果、図3-③の降雨分布の特徴は、一般風速が概略10m/sを超える場合により顕著に表れることがわかった。このときの福井平野北部と中央部の風速を高度毎に統計的に比較した結果を図4に示す。地上風と一般風では、福井平野北部と中央部の風速のヒストグラムはほぼ同一の分布であるが、高度400mでは明らかに福井平野北部において強い風速の出現頻度が高くなっている。この事は、風向パターン③において発生する福井平野北部の局地的な降雨の発生に、数100mの高度の風が関与していることを示唆する。高度数100mの風速の差異は、図1に示した福井平野の西側の高度数100mの低い山によるものと考えられ、地形の効果が降雨分布に影響している可能性がある。

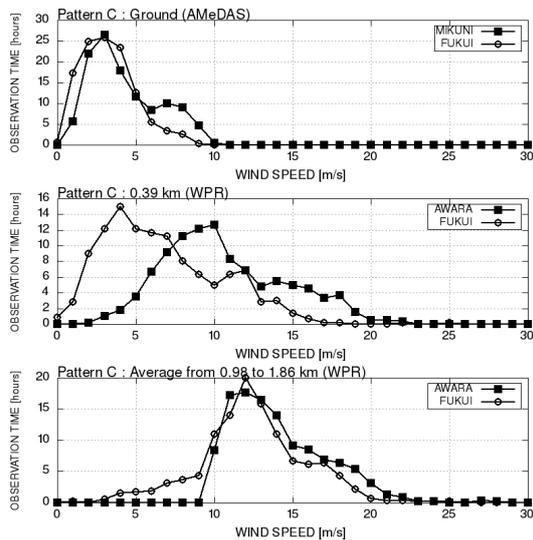


図4 風向パターン③において一般風速が10 m/s以上のときの福井平野北部と中央部の風速の頻度分布の高度依存性。高度数百 m 付近の代表値として高度0.39 kmを表示している。

#### (4) 解析事例

風向パターンが①から③へ変化した降雨事例として、2013年4月6日から7日にかけての降雨事例を取り上げる。この事例では、日本海上を北東方向に向かって進む中心気圧980hPaの低気圧により、福井平野では6日は南寄りの風、7日は西寄りの風となった。

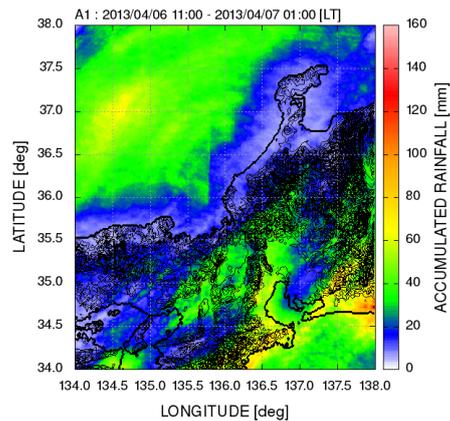
図5に、6日10時から7日16時にかけての積算雨量の空間分布の変化を示す。7日1時を境に降雨域が変化し、7日には福井平野北部の平野域と山岳域の境界で局地的な降雨が発生している。図は割愛するが、10分当たり降雨量では、7日4時以降に北部平野域で平均して10mm/h、最大で20mm/hに相当する強い降雨が局地的に発生した。

この事例における下層風の出現状況を図6に示す。4月6日から7日にかけて、平野北部のあわらと平野中央部の福井の両方で低気圧の東進に伴う南寄りから西寄りへの風向変化が観測されている。西寄りの風が卓越する7日1時以降、高度1 km以下において福井と比較してあわらで強い風が発生し、その高度が時刻と共に上昇していく様子が見受けられ、4時以降の局地的な強い降雨との関連が強く示唆される。

#### (5) 結論と今後の展望

本研究の結果、福井平野の降雨分布が対流圏下層の風速度と密接に関連することが示された。特に、対流圏下層の風向が西風するとき、平野北部の平野域と山岳域の境界付近で局地的な強い降雨が発生する傾向が強く、高度1 km以下に出現する局地的な強風との因果関係が示唆された。これらの結果は高度数100mの風速度の測定の重要性を示しており、今後、観測を継続し福井平野の降雨特性をさらに調べると同時に、数値シミュレーションによるメカニズム解明を検討したい。

(a)



(b)

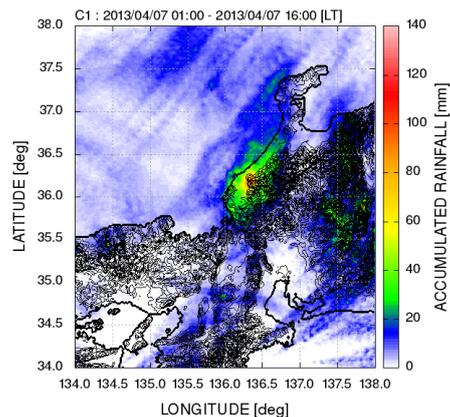
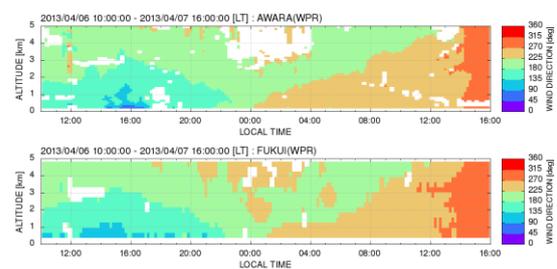


図5 気象レーダーデータから算出した時間帯別積算雨量。(a) 2013年4月6日11時から7日1時まで、(b) 7日1時から16時までの積算雨量を示す。

(a)



(b)

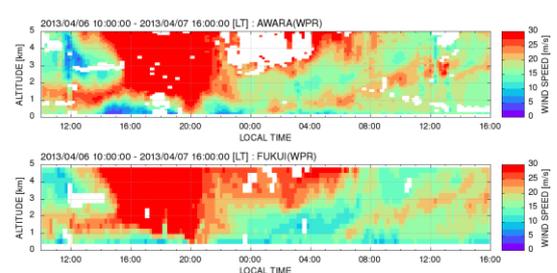


図6 2013年4月6日10時から7日16時にかけて、福井工大WPRとWINDAS福井局で観測された下層風の状況。あわらと福井の(A)風向および(B)風速の時間-高度ダイアグラムを示す。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

① H. Luce, R. Wilson, F. Dalaudier, H. Hashiguchi, N. Nishi, Y. Shibagaki, and T. Nakajo, Simultaneous observations of tropospheric turbulence from radiosondes using Thorpe analysis and the VHF-MU radar. *Radio Science*, 査読有, vol. 49, 2014, 1106-1123.

② 山本真之, マルチリモートセンサーによる雲の微細構造の解明, 低温科学, 査読有, vol. 72, 2014, 195-206.

③ Yamamoto, M. K., F. Toshiyuki, N. H. B. A. Aziz, T. Gag, H. Hashiguchi, T. Y. Yu, M. Yamamoto, Development of a digital receiver for range imaging atmospheric radar, 査読有, vol. 118, 2014, 35-44.

④ 中城智之, 山本真之, 青山隆司, 加藤芳信, 宇治橋康行, 橋口浩之, 1.3GHz ウィンドプロファイラレーダーによる福井平野における局地循環の初期観測結果, 福井工業大学研究紀要, 査読有, vol. 44, 2014, 31-38.

⑤ 中城智之, 青山隆司, 加藤芳信, あわらキャンパス 10m パラボラアンテナシステムへの新しい窓を拓く衛星地上局としての現状と将来展望, 福井工業大学研究紀要, 査読有, vol. 43, 2013, 58-65.

⑥ Y. SAKAMOTO, Y. TANABE, H. YAGISAWA, N. SUGIMURA, K. YOSHIDA, M. NISHIO, T. NAKAJO, H. AKIYAMA, Operation Results of Cubesat RAIKO Released from International Space Station, *The proceedings of the 29th International Symposium on Space Technology and Science (29th ISTS)*, 査読有, 2013.

⑦ T. Nakajo, K. Sasaki, Y. Ogura, Y. Saito, H. Hashiguchi, M. D. Yamanaka, S. Fukao, Vertical flow in atmospheric boundary layer observed by a lower troposphere radar under clear air condition, 査読有, *The Proceedings of the 13th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar*, 2013, 126-130.

[学会発表] (計 5 件)

① 中城智之, 山本真之, 橋口浩之, 福井平野の地形性降雨の特徴に関する初期解析結果, 気象学会, 平成 27 年 10 月, 京都テルサ (京都) .

② T. Nakajo, M. K. Yamamoto, H. Hashiguchi, Effects of local circulation on growth of cloud/localized precipitation in the Fukui plain observed by 2 adjoining 1.3-GHz wind profiler radars and weather radar, EarthCARE Workshop 2014, 平成 26 年 9 月, 日本科学未来館 (東京) .

③ T. Nakajo, M. K. Yamamoto, H. Hashiguchi, Observation of local circulation in north area of Fukui prefecture in Japan by using

two adjoining 1.3-GHz wind profiler radars, The 14th Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar (MST14/iMST1), 平成 26 年 5 月, Sao Jose dos Campos, Brazil.

④ 青山隆司, 中城智之, 寿賀晴紀, 衛星および WPR を用いた北陸地域の対気境界層の観測, 日本リモートセンシング学会第 55 回学術講演会, 平成 25 年 11 月, 日本大学工学部 (福島) .

⑤ 中城智之, 青山隆司, 加藤芳信, 宇治橋康行, 山本真之, 橋口浩之, 福井工業大学あわらキャンパスに設置されたウィンドプロファイラレーダーによる北陸沿岸域の局地循環観測の現状報告, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, 平成 25 年 11 月, 仙台国際センター (宮城) .

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中城 智之 (Nakajo, Tomoyuki)  
福井工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 00360579

### (2) 研究分担者

青山 隆司 (Aoyama, Takashi)  
福井工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 6035807

宇治橋 康行 (Ujihashi, Yasuyuki)  
福井工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 60092764

加藤 芳信 (Kato, Yoshinobu)  
福井工業大学・スポーツ健康科学部・教授  
研究者番号: 70148188

橋口 浩之 (Hashiguchi, Hiroyuki)  
京都大学・生存圏研究所・准教授  
研究者番号: 90293943

山本 真之 (Yamamoto, Masayuki)  
情報通信研究機構・電磁波計測研究所センシングシステム研究室・主任研究員  
研究者番号: 09346073

### (3) 連携研究者

高橋 幸弘 (Takahashi, Yukihiro)  
北海道大学・理学研究科・教授  
研究者番号: 50236329

坂本 祐二 (Sakamoto Yuji)  
東北大学・工学研究科・助教  
研究者番号: 50431523

桑原 聡文 (Kawahara, Toshinori)  
東北大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 30601033