

# 「日本の南フェーン” 神通おろし” の特徴とメカニズム」

日下 博幸<sup>1</sup>, 西 暁史<sup>2</sup>, 柿沼 亜衣<sup>2</sup>, 遠藤 周平<sup>2</sup>

(1 筑波大学計算科学研究センター, 2 筑波大学大学院生命環境科学研究科)

## 1. はじめに

近年, 日本では, 記録的な高温が発生しており, その要因の一つとしてフェーン現象が注目されている (例えば, Takane and Kusaka 2011, Takane et al. 2016, Nishi and Kusaka 2018)。

フェーンはもともとアルプス地方で吹く暖かく乾燥した強風の名前である (ただし, 現地の研究者たちの発音はフーンに近い)。現在では, 山から吹き降りてくる風によって (山の効果によって) 発生する昇温現象全般をフェーン現象と呼んでいる (AMS 2018)。フェーン現象の発生メカニズムとして古くから知られているものに I 型 (いわゆる湿ったフェーン) と II 型 (いわゆる乾いたフェーン, 力学フェーン) がある。最近では, 空間分解能数 km 以下の数値モデルを用いてフェーンの時空間構造を詳細に解析することで, 地面からの加熱と大気境界層内での乱流拡散の効果や, 風下平野上の強い安定成層の崩壊, I 型と II 型の混合効果など, 古典的な I 型や II 型とは異なるメカニズムが提唱され, フェーン現象に対する新たな見方が広がっている (例えば, Takane and Kusaka 2011, Richner and Hächler 2013, Takane et al. 2015, Miltenberger et al. 2016, Elvidge et al. 2016)。

日本は, 山地が多く地形が複雑であり, なおかつ世界有数のストームトラック地域に位置しているため, フェーンが吹きやすい環境にある。例えば, 発達した低気圧が日本海を通過する際, 山越えの南よりの風により, 北陸地方をはじめとする日本海側の平野では, しばしばフェーン現象が発生する (例えば, Arakawa et al. 1982, Ishizaki and Takayabu 2009, Shibata et al. 2010)。北陸地方のフェーンは, 日本海低気圧通過時に吹くことが多いと認識されており, それ故に, そのメカニズムは I 型が主流だと考えられている。しか

し, それを実証した研究は講演者らが調べた限りはない。

本講演では, 北陸地方で吹くフェーンの一つである富山平野 (図 1) の神通おろしを対象に, 講演者らが行ってきた研究成果の一部を紹介する。はじめに, 典型事例を対象に, 神通おろしの特徴とそのメカニズムを述べる。次に, 以下の二つの疑問に答えるために講演者らが行った数値シミュレーションと統計解析の結果を紹介する。二つの疑問のうち一つは, 「神通おろしの多くは日本海低気圧通過時に発生するのか?」であり, もう一つは, 「神通おろしの多くは本当にフェーン I 型なのか?」である。

## 2. 日本海低気圧型事例 (2013 年 3 月 9 日–10 日)

2013 年 3 月 9 日から 10 日にかけて, 温帯低気圧が発達しながら日本海を通過した (図 2)。富山アメダスでは, 3 月 9 日 21 時 20 分~50 分の間に, それまで北よりや西よりだった風速 3m/s 以下の弱い風が急に風速 6m/s 以上の南よりの風に転じ, 夜間にもかかわらず 7.4℃だった気温が 15.3℃まで急上昇した。同時に, 相対湿度は 75%から 34%まで急降下した (図 3)。この南よりの風は翌 10 日 7 時 40 分まで続き, その後, 寒冷前線の通過により西よりから北寄りの風に変わった。南よりの風は, 温帯低気圧の暖域の風であったと思われる。

本研究では, この気温上昇が単なる暖気移流であったのか, フェーンによるものであったのか確かめるために, アメダスデータを用いて気温と風の水平分布を調査した。その結果, 富山で比較的強い南風が吹いていた時間帯の濃尾平野周辺の風が非常に弱いこと, 夜間の気温は上昇することなく低下し続けていたこと, その結果として南風吹走前は富山平野の気温の方が低かったにもかかわらず, 吹走中は高かったことが分かった (図省

略)。富山平野と濃尾平野の地上気象データの差異は、この事例が南風のフェーンであった可能性を示唆している。

さらに確認するために、気温空間分解能 3km の領域気象モデル Weather Research and Forecasting (WRF) を用いた数値シミュレーションを実施した。WRF は、富山や名古屋の地上気象要素の日変化をよく再現し (図 3)、また、南風吹走中の地上風や地上気温分布もよく再現した。そこで、このシミュレーション結果を用いて、後方流跡線解析を実施した。その結果と気象庁レーダーを併せ見たところ、風上側のコースでは、南風の吹走数時間前から吹走中にかけて降水がなかったことが分かった。また、空気塊の多くは山陽地方～伊吹山地・鈴鹿山脈北部～東濃地方～飛騨高地まで上空 1.0～1.5km 程度の高さを維持した後、飛騨高地から富山平野に吹き降りていたことも分かった。この間、乾燥静的エネルギーはほとんど変化しなかった (つまり、位置エネルギーとエンタルピーの和は一定であった) (図 4)。図 5 は、流跡線に沿った温位の鉛直断面図である。この図もまた、飛騨高地から富山平野へのおろし風とそれによる断熱圧縮・加熱の存在を示唆している。

本研究では、さらに、空気塊の移動経路周辺の地形を除去した数値実験を行い、おろし風による空気塊の断熱圧縮効果を別の視点から確認した。地形除去実験から得られた富山の気温は、夜間に上昇することはなく、基準実験 (再現実験) との気温差は 10℃ 程度認められた (図 3)。この値は、断熱圧縮による温度上昇とおおよそ整合する。

これまでに紹介した結果は、いずれもこの事例が単なる暖気移流ではなくフェーンであったこと、そのメカニズムはⅡ型もしくは冷氣層の破壊型であったことを強く示唆している。

最後に、本事例のフェーンがⅡ型であったか冷氣層破壊型であったか評価するために、シミュレーションから得られた温位断面図と地上気温の水平分布図を 3 分毎に確認した。その結果、飛騨山地からのおろし風により、冷氣層が崩れていく様子が確認できた (図省略)。

### 3. 神通おろしの気候学的特徴

本事例は、日本海低気圧通過時のフェーンであったのにも関わらず、冷氣層破壊型のⅡ型であった。日本海低気圧の暖域内で降水が少ないことは一般的であり、その点からすると、本事例は例外ではないと思われる。このことを確かめるために、2007 年～2016 年に富山で確認されたフェーン現象 115 事例のうち、風上側の降水の有無を調査した。ここで、フェーン現象事例は富山で発生した高温日のうち、地上の風向・風速・気温・湿度と上空の風向・風速の値から機械的に判断した。さらには、目視によって確認した。

その結果、過去 10 年間の高温日に発生したフェーン現象 115 事例のうち、広く降水が認められたのはわずか 28 事例であった。このことは、富山に高温をもたらすフェーンのうち、約 76% のメカニズムがⅡ型もしくはその仲間であり、Ⅰ型もしくはハイブリッド型は約 24% しかないことを意味する。

次に、115 事例を天気図毎に分類した。その結果、日本海低気圧通過時 (図 2) は全体の 70% であり、高気圧の北縁型と台風型もそれぞれ 15%, 12.5% 存在することが分かった。また、高気圧の北縁型 (図 6) の全ての事例で風上斜面は無降水であった。高気圧北縁型の典型事例に対しても日本海低気圧型事例と同様の解析を行ったところ、高気圧北縁型の典型事例もまた冷氣層破壊型のⅡ型であることが分かった。

### 4. 結論

2013 年 3 月 9-10 日に富山で発生した「神通おろし」吹走時のフェーン現象は、飛騨山地から富山平野へのおろし風にともなう断熱圧縮・加熱によって引き起こされていることが、アメダスデータや数値シミュレーションにより確認された。また、フェーン吹走域における温位と風の詳細な時空間変化から、冷氣層の破壊もフェーン開始時の急激な昇温に寄与していることが分かった。

山岳を除去した数値実験の結果、Elvidge et

a1. (2016) によるフェーンのメカニズムの決定手法の一部についてその有効性を検証することができた。

時間の都合上、講演では紹介することができないが、高気圧北縁型の日に発生するフェーンも冷氣層破壊型のⅡ型であることが同様の解析によって示された。

過去 10 年間の高温日に富山平野で発生したフェーン現象 115 事例のうち、約 70% は日本海低気圧通過時に発生していた。ただし、高気圧の北縁型と台風型もそれぞれ 15%, 12.5% 存在した。高気圧北縁の天気図型の時でもフェーンによる高温が発生することが分かった。

フェーンの約 76% は、風上斜面で降水をもたらさないⅡ型もしくはその仲間であることが分かった。とりわけ、高気圧北縁型の場合は全事例で降水が認められなかった。

## 参考文献

- AMS Glossary (2018): Foehn,  
<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Foehn>  
 Arakawa, S., K. Yamada, and T. Toya (1982): A study of foehn in the Hokuriku district using the AMeDAS data, *Pap. Meteorol. Geophys.*, 33, 674–701.  
 Elvidge, A. D., and I. A. Renfrew (2016): The causes of foehn warming in the lee of mountains, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 97, 455–466.  
 Ishizaki, N., and I. Takayabu (2009): On the warming events over Toyama plain by using NHRCM, *SOLA*, 5, 129–132.  
 Nishi, A., and H. Kusaka (2018): Effect of foehn wind on record-breaking high temperature event (41.1°C) at Kumagaya on 23 July 2018(in press), *SOLA*  
 Miltenberger, A. K., S. Reynolds, and M. Sprenger (2016): Revisiting the latent heating contribution to foehn warming: Lagrangian analysis of two foehn events over the Swiss Alps, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 142, 2194–2204.  
 Richner, H., and P. Hächler (2013): Understanding and forecasting Alpine foehn. *Mountain Weather Research and Forecasting*, 219–260.  
 Shibata, Y., R. Kawamura, and H. Hatsushika (2010): Role

of large-scale circulation in triggering foehns in the Hokuriku district of Japan during midsummer, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 88(3), 313–324.

Takane, Y., and H. Kusaka (2011): Formation mechanisms of the extreme high surface air temperature of 40.9°C observed in the Tokyo metropolitan area: Considerations of dynamic foehn and foehnlike wind, *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 50(9), 1827–1841.

Takane, Y., H. Kusaka, and H. Kondo (2015): Investigation of a recent extreme high-temperature event in the Tokyo metropolitan area using numerical simulations: the potential role of a 'hybrid' foehn wind, *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 141(690), 1857–1869.

Takane, Y., H. Kusaka, H. Kondo, M. Okada, M. Takaki, S. Abe, S. Tanaka, K. Miyamoto, Y. Fuji and T. Nagai (2016): Factors causing climatologically high temperatures in a hottest city in Japan: a multi-scale analysis of Tajimi, *Int. J. Climatol.*, 37, 1456–1473.

## 謝辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「次世代農林水産業創造技術」（管理法人：農研機構生物系特定産業技術研究支援センター）の支援を受けて行った。筑波大学大学院生命環境科学研究科の前田知夏氏と小林大樹氏には、図の作成にご助力いただきました。

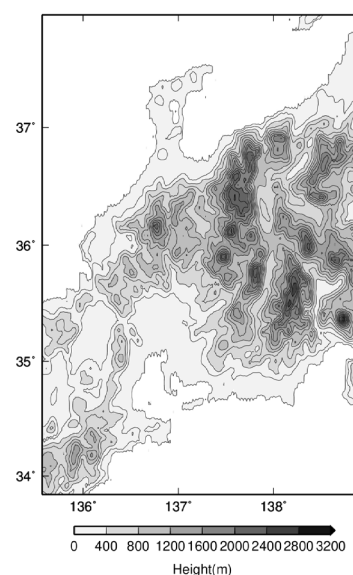


図 1 中部地方の地形。色は標高。

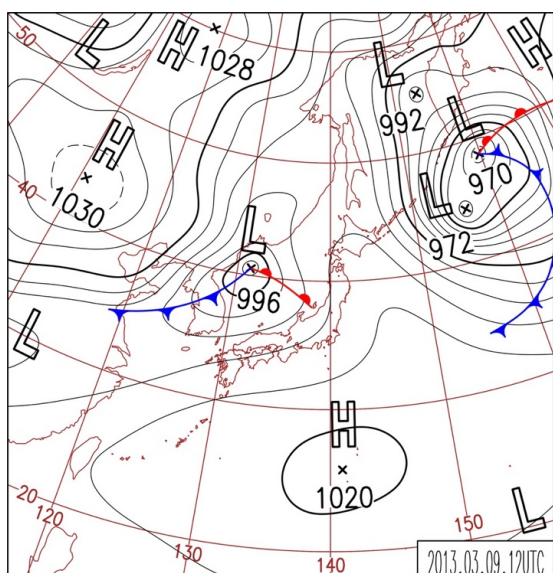


図2 2013年3月9日21時の地上天気図。

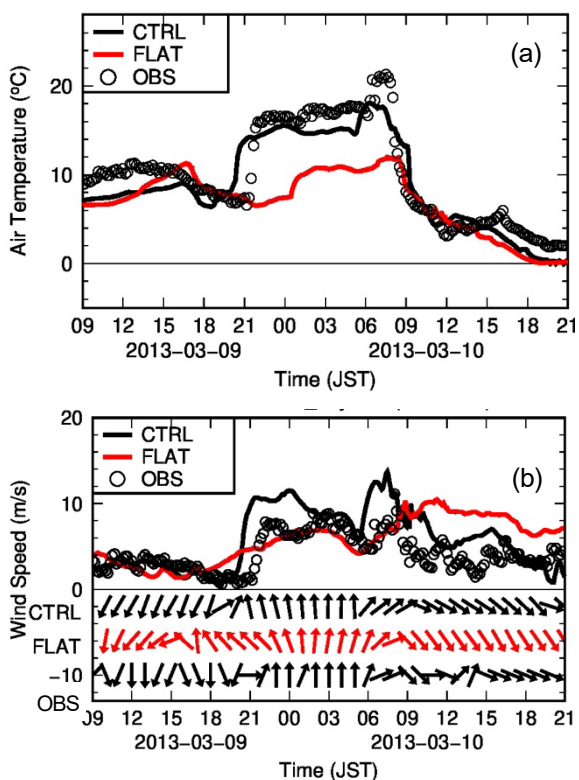


図3 神通おろし吹走前後の地上気象要素の時間変化。(a) 気温、(b) 風向・風速。ベクトルは風向を意味する。白丸はアメダス観測値、黒実線はWRFによる基準実験の結果、赤実線は山岳除去実験の結果。

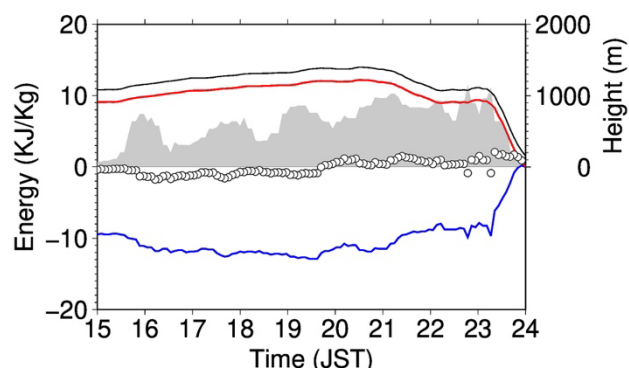


図4 後方流跡線解析の結果。灰色は地形、丸は乾燥静的エネルギー、黒実線は軌跡の平均高度、赤実線は位置エネルギー、青実線はエンタルピーを意味する。

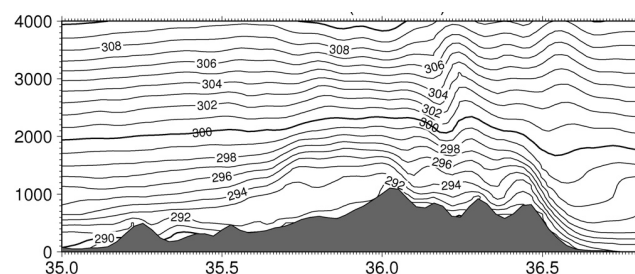


図5 神通おろし吹走時の温位の鉛直断面図。灰色は地形。実線は等温位線。

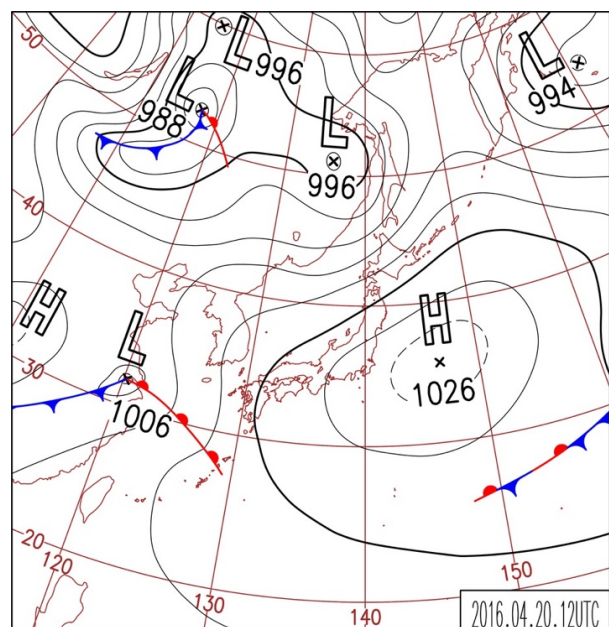


図6 2016年4月20日21時の地上天気図。