

MP-PAWR を用いた地形性降雨推定の試み Attempt at Estimation of Orographic Rainfall Using MP-PAWR

○真鍋 結衣・中北 英一・山口 弘誠
○Yui MANABE, Eiichi NAKAKITA, Kosei YAMAGUCHI

In Japan, steep terrain often intensifies rainfall through the Seeder Feeder effect. This topography-induced intensification occurs in the lower atmosphere, often below radar observation altitudes, causing discrepancies between radar-observed rainfall and ground-based measurements. Accurate estimation of surface rainfall is critically important for disaster prevention. Previous studies have proposed methods to improve the accuracy of surface rainfall estimation by calculating cloud droplet capture rates using polarization radar parameters. This study applies this method to the Rokko Mountains using newly introduced MP-PAWR (Multi-Parameter Phased Array Weather Radar) data. Unlike conventional MP radars, MP-PAWR enables high-speed, high-spatial-resolution three-dimensional observations. This study aims to verify whether applying the Seeder-Feeder model to MP-PAWR data can more accurately capture the abrupt changes in orographic precipitation over complex terrain. This is expected to capture the abrupt changes in rainfall intensity characteristic of the Rokko region and improve the accuracy of surface rainfall estimation compared to conventional methods (150 words).

1. 研究背景と目的

日本には多数の山岳域が存在し、その急峻な地形では、しばしば地形性降雨と呼ばれる降雨強化が引き起こされる。この地形性降雨は、上層からの雨滴（Seeder）が下層の雲の中を通過する際に雲粒（Feeder）を補足することで降雨が強まる Seeder-Feeder 機構（図1）によって発生すると考えられ、多量の雨がもたらされる。

しかし、レーダビームがある程度の高さを通過しているために、より降雨が強化されているであろう大気下層が観測されず、レーダで観測される雨量と地上雨量計で観測される雨量が一致しないことがある（図2）^[1]。この観測高度が異なることにより生じるレーダ観測雨量と地上観測雨量との間のズレを無くし、地上雨量を正確に推定することは、防災上の観点からも非常に重要な課題である。さらに、雨水の河川への流出という観点において枢要な総雨量の数値予報精度を向上させることも肝要である。

実際に、2019年台風19号に伴う豪雨では、地上観測総雨量に比べてレーダ観測総雨量が300mmも過小になっていた場所があったことが確認されている。中北ら^[1, 3]は、偏波レーダ情報から粒径分布パラメータを推定し、雨粒による雲粒の捕捉率を算出することで、Seeder-Feeder 機構を考慮した地上雨量推定手法を提案し、箱根付近において

その有効性を示した。

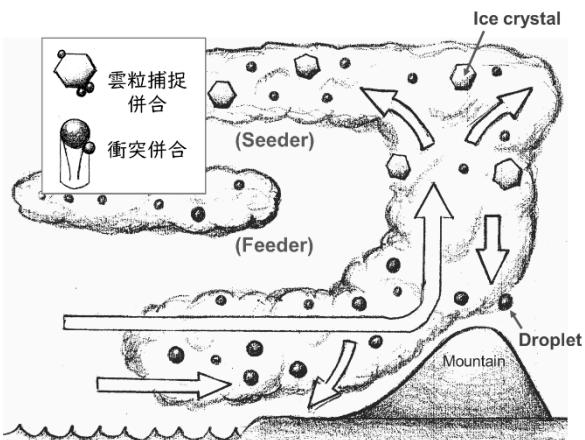


図1. Seeder-Feeder 機構

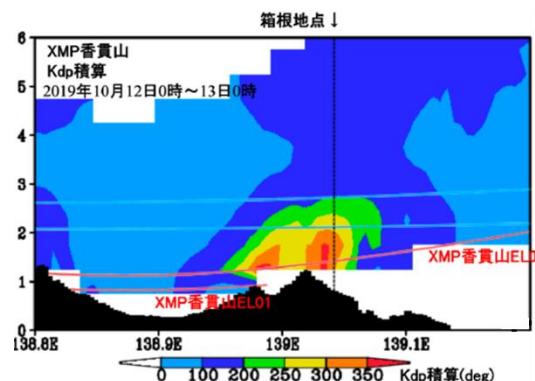


図2. 2019年台風19号時の箱根付近におけるK_{Dp}積算鉛直分布

本研究では、土砂災害のリスクが高い六甲山付近を対象とし、従来のパラボラ型レーダに比べて圧倒的に高い時空間分解能を持つ MP-PAWR (マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ) を用いて本手法を適用する。高速立体観測が可能な MP-PAWR のデータを活用することで、地形による急激な降雨強化過程をより精緻に捉え、地上雨量推定精度のさらなる向上を目的とする。

2. MP-PAWR

MP-PAWR (マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ, Multi-Parameter Phased Array Weather Radar) は、二重偏波レーダによる高精度な降水観測が可能なマルチパラメータ (MP) 気象レーダと、高速で高密な 3 次元観測ができるフェーズドアレイ気象レーダの双方の長所を併せもつ最新型の気象レーダである。従来の X バンドレーダでは約 5 分掛かっていた立体観測を 30 秒～1 分で実現し、捕捉が困難であった地形性降雨特有の急激な発生・発達プロセスを詳細に捉えることが期待される。

3. Seeder-Feeder 効果を用いた地形性降雨算定手法

Seeder-Feeder 機構や Auto Convansion による雨滴の成長、気塊の上昇による水蒸気の凝結などを考慮した立平モデル (式 1)^[2]を基に、雲水量の変化から地形性降雨を算出しており、中北ら^[3]が開発した鉛直方向を 7 層に分けて地形性降雨の計算を行う手法を用いる。

$$\frac{dL}{dt} = -cL - a(L - L_c) + WG - WL \frac{\partial \ln \rho}{\partial z} \quad (1)$$

地形性降雨算定の際には、雨滴が下層の雲粒を捕捉する割合である捕捉率が重要である。しかし、上述の立平モデルでは粒径分布を仮定して捕捉率の推定を行っていたため、実際の粒径分布とは異なっている可能性がある。ゆえに、Z や K といったレーダ情報から得られる偏波パラメータから粒径分布パラメータを推定^[4,5]して捕捉率を算出する手法を採用した。

4. 解析事例と手法

解析対象として、2024 年 8 月 5 日に六甲山周辺で発生した局地的な豪雨事例を選定した。六甲山

付近で起こる激しい集中豪雨は、山地の急傾斜地が崩れ、土砂・洪水が下流の市街地へ流れ出す危険性がある。当日は、太平洋高気圧の縁を回る暖かく湿った空気が大阪湾から六甲山地南斜面へ流入し、大気の状態が非常に不安定であった。この地形的な強制上昇により積乱雲が急激に発達し、短時間に激しい雨をもたらしたと考えられる。

地上雨量の推定には、中北ら^[1,5]が提案した Seeder-Feeder 効果を考慮した地形性降雨モデルを用いる。本手法では、偏波レーダパラメータ (Z_h , K_{DP}) から粒径分布パラメータ (N_w , D_0) を推定し、雨滴による雲粒の捕捉率 a を算出する。本研究では、ここで MP-PAWR から得られる偏波情報を用いる。これにより得られた捕捉率を用いて、地形による降雨強化分を加算し、地上到達時の雨量を推定する。

5. 結果と考察

MP-PAWR の高頻度観測データを用いることにより、六甲山の複雑な地形によって生じる短時間での降雨強度の変動や、局所的な Seeder-Feeder 効果による降水粒子の成長過程について詳細な解析を行った。その結果、従来手法と比較して地上雨量計による観測値との一致度の向上が期待される。本発表では、MP-PAWR 特有の観測精度がモデル推定値に与える影響についても考察を行う。

6. 参考文献

- [1] 中北英一, 佐藤克哉, 中渕遙平, Seeder-Feeder モデル及びレーダー立体観測情報の活用による地上雨量推定手法の開発, 土木学会論文集特集号 (水工学), 80 卷, 16 号, 23-16039, 2024.
- [2] 立平良三, 雨滴成長を考慮した地形性降雨の計算, 天氣, 23 卷, 2 号, pp. 27-32, 1976.
- [3] 中北英一, 加藤泰樹, 令和元年台風 19 号における Seeder Feeder 機構の役割に関する研究, 水工学論文集 B1, 第 78 卷, pp. 349-354, 2022.
- [4] 山口弘誠, 金原知穂, 中北英一, X バンド偏波レーダーを用いた雨滴粒径分布とその時空間構造及び降水量の推定手法の開発, 水工学論文集, 68 卷, 4 号, pp. 367-372, 2012.
- [5] 佐藤克哉, 偏波レーダー立体観測情報を用いた Seeder-Feeder 機構がもたらす鉛直降雨強化量の推定, 京都大学大学院修士論文, 2025.