

多様な地表面上に適用可能な先端的マルチドップラーレーダー解析システムの構築

気象庁気象研究所 正会員 ○山田 芳則

1. はじめに

強風の監視や予測は、風害の被害軽減にとって非常に重要な課題である。風の監視では、ドップラーレーダーは降水域内の高い時空間解像度で風と降水強度とを観測できる点で地上観測や高層観測よりも優位である。しかし、1 台のレーダーでは風解析に限界があるため、3 次元的な風の場合を高い時空間解像度で解析するためにはマルチドップラーレーダー解析が必要である。すでにフランスでは、現業ドップラーレーダー網を用いたリアルタイム 3 次元風監視システムが構築され、国土全体の風監視が現業的に行われている (Bousquet et al. 2008)。日本でも気象庁レーダーや XRAIN から構成されるレーダー網からこのような風監視システムが構築できれば、防災・減災にとって非常に有効と考えられる。また、3 次元風解析システムは、豪雨や短時間強雨、突風などのシビア現象をもたらす雲の内部構造の解明にもきわめて有効である。

従来型デュアルドップラーレーダー解析の場合 (e.g., Ray et al. 1980)、基線上やその周辺では風解析が困難あるいは解析される風の精度があまり高くないこと、解析は平坦な地表面上に限定されることなどの欠点があった。MUSCAT 法 (Bousquet and Chong 1998; Chong and Cosma 2000; Chong and Bousquet 2001) はこれらの欠点を克服しただけでなく、より高い精度で風速成分の算出を可能にした。従来型と MUSCAT 法による風速成分の精度の違いは、たとえば Yamada (2013) を参照されたい。Chong and Cosma は MUSCAT 法を複雑地形上の 3 次元風解析にも拡張した。

国土面積の約 3/4 を山地が占める日本においては、多様な地表面上での風を算出できるようにすることが必要である。複雑地形上での 3 次元風解析は、風の実況監視のみならず、地形と降水雲・降雪雲との相互作用による豪雨・豪雪の形成の研究においてもきわめて有効である。多様な地表面上での 3 次元風解析のための先端的マルチドップラーレーダー解析システムを構築したので、その概要について報告する。なお、ドップラー速度から精度よく風の場合を解析することは決して容易ではないことを強調しておきたい。

2. 先端的マルチドップラーレーダー解析システムの概要

ドップラーレーダーデータから精度の高い 3 次元的な風の場合を算出するためには、高度な解析手法と適切に品質管理されたドップラー速度データの 2 つがきわめて重要である。本解析システムは基本的に、デコード、ドップラー速度データの品質管理、Cartesian 座標系への内挿処理 (data fit)、風速成分の算出 (MUSCAT 法) の過程から構成される。内挿処理では、特に下層での風の算出精度が改善する Yamada (2013) の方法をデフォルトとして採用している。複雑地形上での解析で使用する地形データは、国土地理院の「数値標高モデル 10m メッシュ」から解析時の空間解像度に応じて作成する。質の悪い速度データやノイズなどによって算出される風の精度が極端に低下するため、速度データの品質管理では Yamada (2020) を用いている。残念ながら、品質管理に関する完璧な方法は現在でも存在しない。この方法で取り除けない質の悪いデータは、GUI による品質管理支援プログラムで削除した。

3. デュアルフェーズドアレイレーダー解析

解析の一例として、2019 年 7 月 11 日近畿地方を通過した小低気圧に伴う降水システムについての解析結果について紹介する。解析には、吹田市と神戸市に設置されているフェーズドアレイレーダーデータを用いた。このレーダーでは 1 回の 3 次元走査に要する時間は 30 秒と非常に短い。風解析での空間解像度は、水平方向に 0.5 km、鉛直方向に 0.25 km、最低の解析高度は神戸レーダー (解析座標系の原点に設定) 上空の 0.25 km とした。複雑地形上の解析の場合でも平坦な地表面上での解析と同様に、原点からの等高度面上での解析を行う。

風解析の結果を図 1 と 2 に示す (2020 JST)。図 1 には、六甲山地の南西側の陸上や大阪湾上において収束する気流が解析されている。この収束は高度約 3 km まで存在していたが、下層では六甲山の影響を受けていると考えられる。図 2 の鉛直断面内では、上昇流の大きさは最大で約 2 m s^{-1} であり、また六甲山の風上斜面上では地形に

キーワード マルチドップラーレーダー解析、フェーズドアレイレーダー、多様な地表面

連絡先 〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1 気象研究所 気象観測研究部 TEL 029-853-8629

よる強制上昇流とみられる気流が明瞭に解析され、その上昇流域に対応してセル上のエコーが確認できる。図2のようにレーダーサイトの近くでもエコー頂高度付近まで風解析が可能であるのは、このレーダーが鉛直上方まで密にデータを観測できるためである。講演では30秒間隔の解析結果も紹介する。

4. まとめ

多様な地表面上での風解析が可能な先端的マルチドップラーレーダー解析システムを構築した。このシステムは、レーダーデータを所定のフォーマットに変換することで、気象庁レーダーやXRAIN, Kuバンドレーダー、フェーズドアレイレーダーなどに適用可能である。

5. 謝辞

複雑地形上での3次元風解析システムの構築とドップラー速度品質管理法の開発は、JSPS 科研費JP26242036の支援を、またフェーズドアレイレーダーデータのデコードと地形作成プログラム、ドップラー速度データ品質管理支援プログラムの作成は、JSPS 科研費JP19H00815の支援を受けたものです。フェーズドアレイレーダーデータは、牛尾知雄教授（大阪大学）と佐藤晋介博士（情報通信研究機構）から提供いただきました。

参考文献

Bousquet, O., and M. Chong: A multiple-Doppler synthesis and continuity adjustment technique (MUSCAT) to recover wind components from Doppler radar measurements. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **15**, 1998, pp. 343-359.

Bousquet, O., P. Tabary, and J. P. Châtelet: Operational multiple-Doppler wind retrieval inferred from long-range radial velocity measurements. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **47**, 2008, pp. 2929-2945.

Chong, M., and O. Bousquet: On the application of MUSCAT to a ground-based dual-Doppler radar system. *Meteor. Atmos. Phys.*, **78**, 2001, pp. 133-139.

Chong, M., and S. Cosma: A formulation of the continuity equation of MUSCAT for either flat or complex terrain. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **17**, 2000, pp. 1556-1564.

Ray, P. S., C. L. Ziegler, W. Bumgarner, and R. Serafin, 1980: Single- and multiple-Doppler radar observations of tornadic storms. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1980, pp. 1607-1625.

Yamada, Y.: Characteristics of Wind Fields Derived from the Multiple-Doppler Synthesis and Continuity Adjustment Technique (MUSCAT). *J. Meteor. Soc. Japan*, **91**, 2013, pp. 559-583.

Yamada, Y.: An efficient practical post-processing algorithm for the quality control of dual-PRF Doppler velocity data. Submitted to *J. Meteor. Soc. Japan*, 2020.

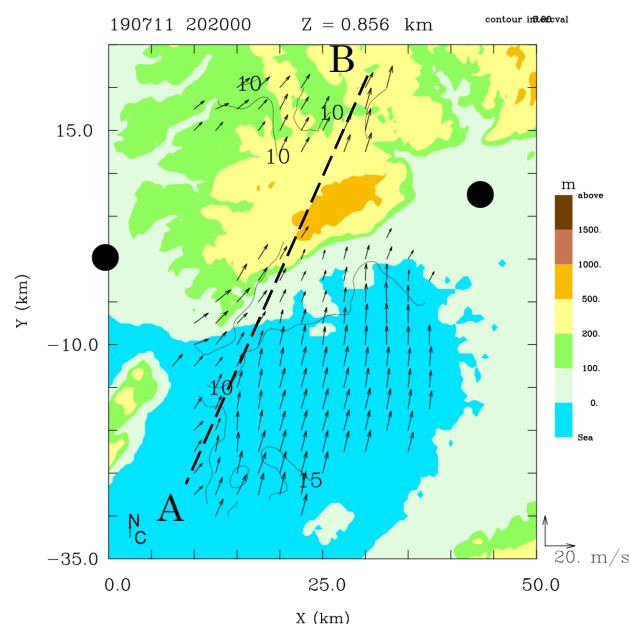


図1 神戸レーダー上空0.75 kmでの水平風（地表に相対的、5格子ごと）の分布。陰影は地形を表す。等値線は水平風速 (m s^{-1})。破線 AB は図2に示す鉛直断面の位置。●はフェーズドアレイレーダーの位。x-, y- 軸はそれぞれ、東西、南北方向。

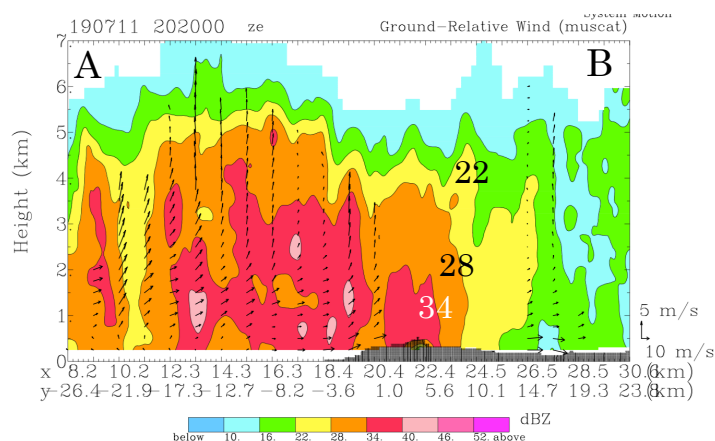


図2 鉛直断面内の反射強度（陰影、6 dBZ ごと）と風（矢印、水平方向に5格子ごと）。矢印は地表に相対的な水平風と鉛直風のベクトル表示で、各格子点での流線に平行になるように描画。濃い灰色の領域は地形。鉛直断面の長さは55 km。