

R005-02

Zoom meeting C : 11/1 AM1 (9:00-10:30)

09:15-09:30

レーダーインバージョン法を用いた乱流強度推定法の開発

#田村 亮祐¹⁾,西村 耕司²⁾,橋口 浩之¹⁾

¹⁾京大生存圏研究所,²⁾国立極地研究所

Development of measurement technique for atmospheric turbulence using radar inversion

#Ryosuke Tamura¹⁾, Koji Nishimura²⁾, Hiroyuki Hashiguchi¹⁾

¹⁾Research Institute for Sustainable Humanosphere,²⁾National Institute of Polar Research

Atmospheric radar can observe the height profiles of wind velocities from the turbulent scattering of radio wave. In theory, it can also estimate turbulent intensity from the Doppler spectral width of the atmospheric radar. In order to estimate the turbulent broadening s_{turb} from the observed spectral width s_{obs} , it is necessary to consider other broadening effects: beam (s_{beam}), shear (s_{shear}), and time (s_{time}) broadenings [1]. Namely, $s_{\text{turb}}^2 = s_{\text{obs}}^2 - (s_{\text{beam}}^2 + s_{\text{shear}}^2 + s_{\text{time}}^2)$. However, s_{turb}^2 sometimes becomes negative due to the over-estimation of beam broadening. The estimation error of beam broadening is caused by the assumption that the beam pattern is rotationally symmetric and has low sidelobes. Especially, for the radar which has an asymmetric beam pattern such as the PANSY radar at Syowa Station in Antarctica, debroadening is considered remarkably difficult.

Recently, a new radar observation theory which has a potential to be able to estimate the accurate beam broadening was proposed by Nishimura et al. [2]. In this theory, if we assume that the time functions of turbulent vortex which scatter the radio wave are uncorrelated between the any different points in the observation volume and its power spectral expectation is equal, then, the correlation function (CF) of the received signal (R) is equal to the multiplication of its scattering function (F) determined by the turbulent strength, two way beam pattern function (G) determined by the wind velocity, and window function (W) determined by sampling temporal lag [2]. That is $R = FGW$. It implies that when turbulent strength and wind velocity are unknown, we can theoretically estimate these parameters by solving the inverse problem.

In this study, we use the MU radar of RISH, Kyoto University to apply this new theory to real radar data analysis. As a first step, we use wind velocity obtained from Doppler Beam Swinging (DBS) method and estimate the turbulent broadening. In this case, it is relatively easy to solve inverse problem because the unknown parameter is just the turbulent strength. In practice, to avoid the affections from the noise and clutters, we estimate the parameter from the Fourier transform of CFs and optimization is conducted by the least squares method (see figure).

As the next step, we try to develop the debroadening algorithm which deals with the estimation of wind velocity and turbulent strength. It is expected to be able to analyse more precise wind velocity compared with conventional methods like DBS or Spaced Antenna (SA) method and turbulent strength.

The new way of observation algorithm can be applied not only to an atmospheric radar but also to a Doppler weather radar having the interferometer function and has a possibility to estimate the cross-radial velocities.

[1] W. K. Hocking, Measurement of turbulent energy dissipation rates in the middle atmosphere by radar techniques: A review, in Radio Science, vol. 20, no. 6, pp. 1403-1422, doi:10.1029/RS020i006p01403, 1985.

[2] K. Nishimura, M. Kohma, K. Sato and T. Sato, Spectral Observation Theory and Beam Debroadening Algorithm for Atmospheric Radar, in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, doi: 10.1109/TGRS.2020.2970200, 2020.

大気レーダーは、放射された電波が大気乱流により散乱され、その微弱な散乱波を受信することで上空の三次元風速プロファイルを観測できるリモートセンシング技術である。原理的には、スペクトル幅から乱流強度も推定可能である。受信波のスペクトル幅 (σ_{obs}) から乱流ブロードニング (σ_{turb}) を推定するには、シアア (σ_{shear})、時間変動 (σ_{time})、ビームが有限であることに起因する平均風速成分の影響 (σ_{beam}) (ビームブロードニング) を正確に差し引くデブロードニングを行う必要がある [1]。すなわち、

$$\sigma_{\text{turb}}^2 = \sigma_{\text{obs}}^2 - (\sigma_{\text{beam}}^2 + \sigma_{\text{shear}}^2 + \sigma_{\text{time}}^2)$$
。従来手法では、ビームが回転対称でサイドローブがないという近似に基づいてデブロードニングが行われており、 σ_{beam}^2 の過大評価により、 σ_{turb}^2 が負になるなど、精度の問題が指摘されてきた。また、回転対称のビームパターンを持たない昭和基地の PANSY レーダーなどでは上記手法の適用が困難であった。

この問題に対し、レーダー観測理論の再検討により、乱流ブロードニングの正確な推定が可能となった [2]。この理論によれば、観測を行う三次元空間内の異なる任意の二点間で乱流散乱効果を表す時間関数が無相関かつその二乗期待値が等しいと仮定することで、受信波の相関関数 (R) が、平均風速の情報を加味した電波の伝搬パターンの相関関数 (G)、乱流による電波の散乱効果を表す相関関数 (F)、そしてサンプリング窓関数の相関関数 (W) の積に等しいという関係式 $R = FGW$ をえる。乱流強度は散乱効果を表す相関関数に、平均風速は電波の伝搬パターンを表す相関関数にそれぞれパラメータとして情報が含まれているので、逆問題を解くことでこれらの未知のパラメータの推定が原理的に可能である。

本研究では、京大生存圏研究所の MU レーダーを用いた実証を行う。初めに、平均風速はドップラービーム走査法による観測結果を用い、乱流ブロードニングのパラメータ推定を行う。この場合、平均風速が未知パラメータに

含まれないため比較的容易に逆問題を解くことができる。逆問題を解く際には、クラッターやノイズから受ける影響を検討しやすいため、相関関数を周波数空間にフーリエ変換し非線形最小二乗法により最適な乱流強度パラメータの推定を実行する。(図参照)

その後、未知パラメータに平均風速も加えた逆問題を解く手法の確立を目指す。逆問題を解く際、ドップラービーーム走査法または空間アンテナ法による平均風速の結果をパラメータ初期値とすることを検討しており、結果的に従来の手法と比べ更に高精度な平均風速推定と乱流強度推定の両立を目指す。

本研究における観測手法は大気レーダーのみならず、ドップラー気象レーダーへの適用も検討している。干渉計機能を追加することでドップラー速度のクロスラジアル成分の推定が可能となり、従来さまざまな困難が指摘されてきた単一の気象レーダーによる三次元風速分布観測の実現が期待される。

[1] W. K. Hocking, Measurement of turbulent energy dissipation rates in the middle atmosphere by radar techniques: A review, in Radio Science, vol. 20, no. 6, pp. 1403-1422, doi:10.1029/RS020i006p01403, 1985.

[2] K. Nishimura, M. Kohma, K. Sato and T. Sato, Spectral Observation Theory and Beam Debroadening Algorithm for Atmospheric Radar, in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, doi: 10.1109/TGRS.2020.2970200, 2020.

