

レーダーインバージョンによる大気擾乱精測技術の開発

Development of measurement technique for atmospheric disturbance using radar inversion

研究代表者：橋口浩之（京大生存圏研究所）
hasiguti@rish.kyoto-u.ac.jp

研究分担者：西村耕司（京大生存圏研究所）
nishimura@rish.kyoto-u.ac.jp
担当：理論的側面の検討と研究の助言

研究分担者：田村亮祐（京大生存圏研究所）
tamura.ryosuke.65w@st.kyoto-u.ac.jp
担当：シミュレーションコードの作成と解析

研究目的 (Research Objective):

近年、大気レーダーの新たな観測方程式（スペクトル観測方程式）が提唱された。この方程式は、レーダーシステムと大気による電波散乱過程をモデル化した理論から導出され、レーダーシステムが多チャンネル受信（干渉計観測）の場合に、レーダービームを向けた観測体積内の3次元風速が推定可能となる。これにより、従来推定法では困難だった3次元風速場の推定が、レーダービームを多方向に向けることで可能となる[Fig.1]。この観測を実現するため、スペクトル観測方程式の逆問題を数値的に解いて3次元風速を推定するインバージョンアルゴリズムを構築した(RI法)。しかし、実観測において、推定値の真値は未知なため、数値実験による推定精度検証を予め行う必要がある。そこで、散乱シミュレーションを開発し、RI法の精度検証を行なうと同時に、従来法である空間アンテナ法(FCA法)による風速推定による比較も踏まえたRI法の相対的な性能も評価するため、計算機を用いた数値実験を行なった。

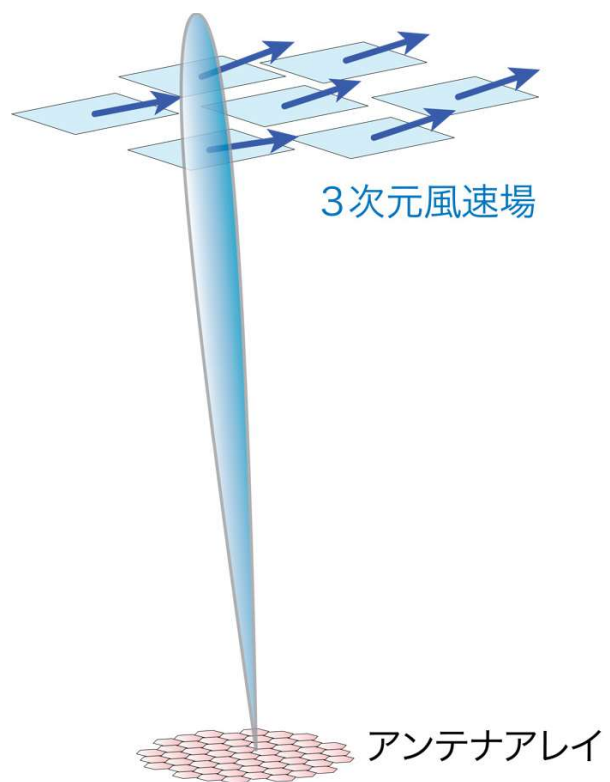


Fig.1 3次元風速場観測の概念図

計算手法 (Computational Aspects):

散乱シミュレーションは、サンプリング領域よりも十分に広い空間内に一様分布する散乱体が、ある平均風速と速度分散をパラメータとする正規分布に従うランダムな速度でレーダーの送信波を散乱しながら、等速直線運動するモデルである[Fig.2]。散乱体の密度は、レーダーの半波長ほどの点密度としている。散乱体の初期位置は、ランダムな一様分布によって決まり、サンプリング領域の境界は周期境界条件を設定している。シミュレーションの計算コストは、散乱体の個数とアンテナ本数に依存する。本研究ではレーダーシステムとして、数多くの素子アンテナを持つ MU レーダーを想定しているため、大規模計算機を利用した計算が必要となる[Tab.1]。散乱シミュレーションの時間発展モデルは散乱体ごとに独立なので、散乱体を計算機の利用可能ノード数で分割し、各ノード内では OpenMP を用いた並列計算を行った。

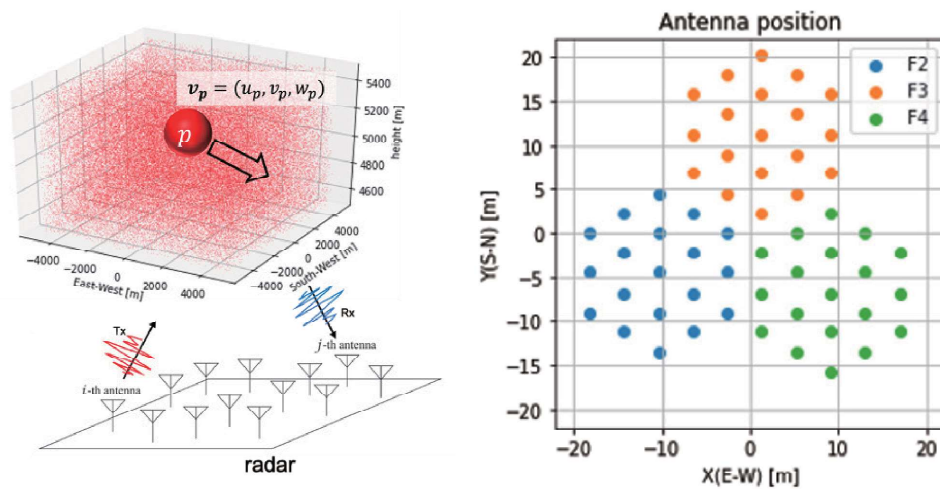


Fig. 2 散乱シミュレーションの概念図 (左) とレーダーのアンテナ配置図 (右)

Tab. 1 シミュレーションの設定パラメータ

種別	設定項目	設定値
レーダーシステム	サンプリング間隔	0.032 sec
	ビーム方向	(天頂角, 方位角)=(0,0)
	距離分解能	150 m
	送信波長	6.45 m
	サンプリングレンジ	2000 m
	受信チャンネル	3
	送受信サブアレイ	F2, F3, F4
	レーダーの中心座標	(x, y, z) = (0, 0, 0) m
	サンプリング継続時間	128 sec (サンプリング 4000 回)
散乱モデル	散乱体積領域 V の x 軸移動領域 (東西)	$-2000 \leq x \leq 2000$ m
	散乱体積領域 V の y 軸移動領域 (南北)	$-2000 \leq y \leq 2000$ m
	散乱体積領域 V の z 軸移動領域 (上下)	$1500 \leq z \leq 2500$ m
	散乱体積領域 V 内の散乱体個数	$O(10^8)$ 個
	風速	$(\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}) = (20, 0, 1)$ m/s
	速度分散	$\sigma = 0.5$ m/s

研究成果 (Accomplishments) :

独立な初期位置を設定した5回の散乱シミュレーション実験を行い、RI法(提案手法)とFCA法(従来法)による風速推定を行なった。RI法では、全ての推定パラメータの標準偏差内に真値を含んでおり、FCA法より高精度に3次元風速および速度分散が推定された。これより、RI法の実装アルゴリズムによって、十分な精度で風速推定が可能となることが理解された。また、FCA法で推定可能なパラメータは水平風速と風向に留まるが、RI法はこれらに加えて、鉛直流と風速分散も高い精度で推定可能である。FCA法と比較すると、水平風速と風向の推定値平均が真値により近いことがわかる[Fig. 3]。以上より、電波散乱の物理的、統計的性質とレーダーシステムを考慮したスペクトル観測方程式のインバージョンアルゴリズムは、従来推定手法に比べ、推定の高精度化と観測情報量の向上を図ることができることがわかった。

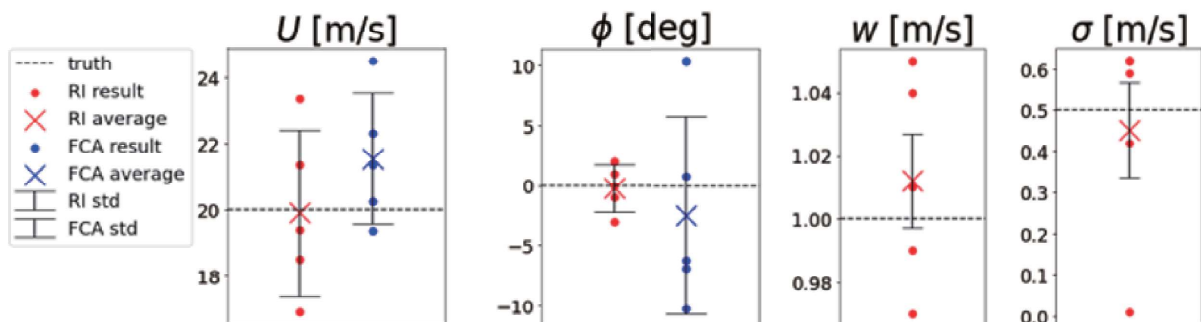


Fig. 3 RI法とFCA法による風速推定結果。
(U :水平風速、 ϕ :風向、 w :鉛直流、 σ :速度分散)

公表状況 (Publications) :

(口頭)

1. 田村亮祐, 西村耕司, 橋口浩之, スペクトル観測理論に基づくレーダーインバージョンアルゴリズムの開発, 第14回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, オンライン, 2020年9月14-15日.
2. 田村亮祐, 西村耕司, 橋口浩之, レーダーインバージョンによる大気乱流強度推定, 日本気象学会2020年度秋季大会, オンライン, 2020年10月25-31日.
3. 田村亮祐, 西村耕司, 橋口浩之, 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, 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, オンライン, 2020年11月1-4日.
4. R. Tamura, K. Nishimura and H. Hashiguchi, Volume scattering simulation for 3D wind vector estimation using radar inversion, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting, online, May 30-June 6, 2021
5. Ryosuke Tamura, Koji Nishimura and Hiroyuki Hashiguchi, The Inversion

Algorithm of Atmospheric Radar Signal Given by a 3-Dimensional Volume Scattering Semi-Physical Simulation, LAPAN/BRIN-Kyoto University International Symposium for Equatorial Atmosphere / The 6th Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science / INternational Conference on Radioscience, Equatorial Atmospheric Science and Environment (INCREASE), online, September 20-21, 2021.

(修士論文)

田村亮祐, レーダー干渉計インバージョンによる3次元風速場推定の研究, 令和3年度京都大学理学研究科地球惑星科学専攻修士論文.