

計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の  
開発と応用

2016 年度採択研究代表者

2019 年度 実績報告書
------------------

佐藤 薫

東京大学大学院理学系研究科

教授

大型大気レーダー国際共同観測データと高解像大気大循環モデルの融合による  
大気階層構造の解明

## § 1. 研究成果の概要

大気レーダーは、大気乱流などに付随する屈折率の擾乱(大気の密度や水蒸気量の微小な乱れ)による電波の散乱を利用している。観測対象となる乱流は風にのって移動するがレーダーは地上に固定されているため相対的に速度を持つこととなる。つまり、大気レーダーでは乱流の時間変化と空間変化および相対速度による効果(一般に「ビームブロードニング」と呼ばれる)を含んだ量のみが観測される。

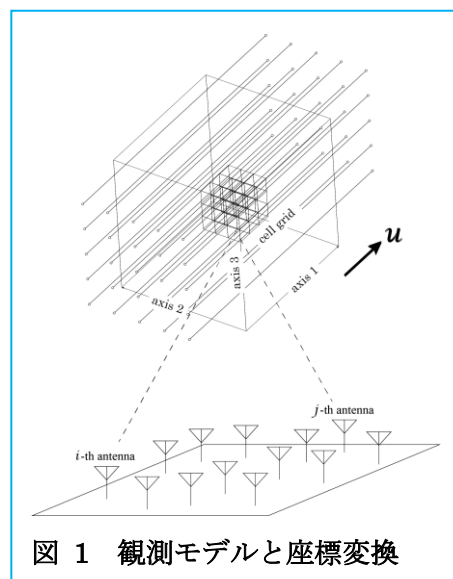
しかし、これまでこれらの効果を分離する理論的枠組みが存在せず、大気レーダーの主要な観測対象である大気乱流の特性と観測される信号の間の厳密な関係が知られていなかった。従って、観測モデルを大幅に単純化した近似モデルを仮定することにより乱流の特性が推定されてきた。本研究では、厳密な観測モデルを出発点として、移流に則した座標変換と乱流の統計的性質に基づく数理的な手法により、世界で初めて乱流特性と大気レーダー観測信号の間の数学的関係(観測方程式)を明らかにした。観測されるスペクトル(と同じ情報を持つ自己相関関数) $R(\tau)$ は、

$$R(\tau) = F(\tau) G(\tau) W(\tau)$$

と表される。ただし、 $F(\tau)$ 、 $G(\tau)$ 、 $W(\tau)$ はそれぞれ、求めたい真の乱流スペクトルと、既知のレーダー観測関数および観測ウィンドウに対応する関数である。これにより、レーダーの乱流の時間変化と観測的効果の分離が可能となった。

本研究では得られた観測方程式に基づき、乱流スペクトルを正確に推定するアルゴリズムを提示した。このアルゴリズムにより、アンテナ配置の如何によらず正確にビームブロードニングが推定可能となった。また、その精度について数値シミュレーションを行い、極めて高い推定精度が得られることを明らかにした。シミュレーションによるバイプロダクトとして、PANSYレーダーのような特異なアンテナ配置(非対称など)を有するシステムにおいては、これまで知られていなかった推定バイアスが発生することも明らかとなった。

レーダーにより乱流特性が高精度で観測可能となったことにより、正確な大気エネルギー散逸率の推定が可能となった。乱流によるエネルギー散逸は、大気階層構造におけるエネルギーの流れの最終地点であり、大気全体のエネルギー収支を理解するうえで重要である。また、本研究で示された乱流散乱の数学的理論は、大型大気レーダーだけでなく、気象庁で展開されているウィンドプロファイラなど小型大気レーダーに適用可能である。



### 【代表的な原著論文】

Koji Nishimura, Masashi Kohma, Kaoru Sato, and Toru Sato, Spectral Observation Theory and Beam De-Broadening Algorithm for Atmospheric Radar, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, DOI: 10.1109/TGRS.2020.2970200, 2020.

## § 2. 研究実施体制

### (1) 大気科学グループ(東京大学)

- ① 研究代表者:佐藤 薫 (東京大学大学院理学系研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・大型大気レーダー国際共同観測データと高解像大気大循環モデルの融合による大気階層構造の解明

### (2) 計測グループ(国立極地研究所)

- ① 主たる共同研究者:西村耕司 (情報・システム研究機構 特任准教授)
- ② 研究項目
  - ・大気レーダーによる乱流4次元スペクトル計測と散乱空間構造可視化技術の開発

### (3) 情報グループ(海洋研究開発機構)

- ① 主たる共同研究者:渡辺真吾 (海洋研究開発機構シームレス環境予測研究分野 分野長)
- ② 研究項目
  - ・衛星&レーダー観測データを用いた全球中層大気・化学組成データ同化システムの開発