

広域 3D 環境・気象監視ライダーの検討

Analysis of Regional-3 Dimensional Lidar System for Environmental and Meteorological Observation

小林 喬郎

Takao Kobayashi

福井大学 工学研究科

Graduate School of Engineering, University of Fukui

ABSTRACT

Efficient and versatile lidar and network system are analyzed for separate detection of PM_{2.5} aerosol, Asian dust and clouds by using multiple wavelength lasers for 3-dimensional measurements of regional hemisphere of 20~30 km range. System requirements are also discussed for sensing basic meteorological parameters such as temperature and wind fields.

1. 環境問題とライダーの役割

近年、産業活動による CO₂ や他の排出物質による大気汚染やオゾン層破壊、酸性雨、異常気象や地球温暖化など地球環境の異常現象が頻発してきた。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)より出されたスーパーコンピュータ解析による報告では、2050 年には 1-2°C、今世紀末には 3-5°C の大きな平均気温の上昇が予測されている。また、大陸からの汚染粒子 PM_{2.5} や微量ガスの移流による日本列島の大气汚染レベルの上昇が社会的な問題となってきた。

国連環境計画(UNEP)の報告では、温暖化による異常気象による被害額は 2040 年では 120 兆円/年を越すことが指摘されている。また、経済協力開発機構(OECD)の報告では 2070 年までに洪水による港湾被害が 3900 兆円に、また日本の被害額が 350 兆円に達すると試算している。このように各国で膨大な経費の支出が予想されるため、緊急な対策が必要である。また、天気予報と同じく大気質などの健康に及ぼす情報の地域的に緻密な予報の必要性も高まってきた。

そこで、ライダーによる遠隔計測技術により地球環境状態や気象要素などを計測して大気汚染レベルの監視や異常気象などの広域情報を実時間で効率的に測定して予報するためのレーザーセンシング技術の実現へ向けて今後の開発が必要な条件などを検討した。

2. 浮遊粒子状物質 SPM の計測

ミー散乱ライダーにより発電所や工場、自動車などから排出されて大気に漂う浮遊粒子状物質

(SPM) の遠隔地への移流状態を直接的に測定できる¹⁾。表 1 に現状のミー散乱ライダーでの観測情報と測定距離、レーザー波長などの特性を示す。PM_{2.5} と黄砂や雲などの粒径分布を識別する方法として波長や偏光、消散係数の利用が進んでいる。また今後のシステムとして、紫外域から 2 μm 域までの多波長レーザーにより識別精度の向上が期待できる。また、既に距離 50km に及ぶ広域の大気汚染の発生源や拡散、輸送特性が把握できる大型装置が国立環境研で開発された。さらに装置の小型化と高感度化が進展しており、20km 以上の距離の水平方向の大気質の測定が可能となってきた²⁾。

表 1 エアロゾル計測ライダーとレーザー

測定量	観測情報	ライダー方式	測定距離 / 高度	レーザー波長(nm)	次世代ライダーレーザー
強度	重量密度	ミー散乱	20km (R) 5km (H)	Nd:YAG 355, 532, 1064	多波長・高スペクトル分解能ライダー* Nd:YAG/OPO 355, 532, 1064, 1500, 2000nm
多波長強度比	粒径分布 PM _{2.5} /PM ₁₀	多波長 ミー散乱	20km (R) 5km (H)	同上	
偏光解消度	粒子形状	多波長 ミー散乱	20km (R) 5km (H)	同上	
消散係数	温室効果係数 可視度	・ラマン/ミー ・HSRL*	20km (R) 20km (H)	同上	
空間分布	汚染の移流・拡散 大気構造、雲高	・ビーム走査 ミー散乱	20km (R) 10km (H)	同上	

* HSRL: High Spectral Resolution Lidar
高スペクトル分解能ライダー

3. 気象要素の計測

表 2 に気象要素を計測できるライダーの種類と現状での特性を示す。異常気象の観測に必要な気温分布の測定法として大気分子の回転ラマン散乱光強度の温度依存性を用いる方式が開発され

てきた。さらに高効率な方式として、大気のレイリー散乱スペクトル幅の温度依存性を利用する高スペクトル分解能(HSR)方式ライダーがある。この方式は気温に加えて風向・風速や雲やエアロゾルのライダー比の測定など多機能特性が示されている²⁾。

風向・風速の測定はヘテロダイン検波方式ドップラーライダーが最も高感度である。ビームを3次元走査して、水平断面や垂直断面の視線方向風速の測定が可能である。最近では小型の装置で30km以上の水平距離の風計測が可能となってきた。

しかしながら、この方式はエアロゾルのミー散乱を利用するためエアロゾルが常時分布する対流圏下部の約5km以下の高度に制限される。

表2 気象要素計測ライダーとレーザー

観測要素	測定量	ライダー方式	レーザー波長(nm)	水平距離(R) 高度(H)	次世代レーザー方式
気温	回転ラマン散乱	回転ラマン	Nd:YAG 355nm	10km (R,H)	Yb(ファイバ,YAG) 350 nm (1050nm) [高スペクトル分解能(HSR)]
	レイリー散乱	レイリー 高スペクトル分解能(HSR)	Nd:YAG 355 nm	10-50km (H) 10km (R, H)	
湿度	振動ラマン散乱	振動ラマン	Nd:YAG 355, 532	20km (R,H)	[高スペクトル分解能(HSR)]
風向・風速	ミー散乱	コヒーレント・ドップラー	Er:YAG 1550 Ho:YAG 2100	30km (R) 5km (H)	
	ミーレイリー散乱	インコヒーレント・ドップラー	Nd:YAG 355	20km (R) 35km (H)	Yb(ファイバ,YAG) 350 nm (1050nm)

ドップラーライダーは大気の流れ・風速及び高度分布などの気象計測装置以外にも、工場や発電所からの排煙等の排出量や移流、拡散、沈着などの大気汚染の広域分布の計測や、発電用風車近傍の風速分布の計測、竜巻や渦流などの構造や進路の詳細な測定と予報など、気象災害防止に役立つことが考えられる。

4. 広域大気環境情報ライダー監視システム

図1に近い将来に実現が期待される広域3次元大気環境情報ライダー監視システムの計測データと配置の例を示す。小型のビーム走査型ライダー装置を配置して、エアロゾルに加えて気温や風向・風速などの気象要素の水平面と対流圏の広域3次元空間データを実時間で計測して表示するものである。さらに汚染分子濃度などの測定機能も付加できる。装置の配置を40km間隔として、例えば関東地域の120km四方の居住域は9台の装置でカバーできる。

このシステムによりSPMや黄砂の分布や大気清浄度の予報が可能となり現在の気象予報の密度と精度を時間的・空間的、さらには質的にも高度化できる。

これらのシステムの実現のためのレーザーの条件として、高出力、高効率、単一モード、ビーム安定性、周波数安定性、またライダー装置の条件として小型・軽量性、温度や湿度、ダストなどの耐環境性、低コスト化などが挙げられる。

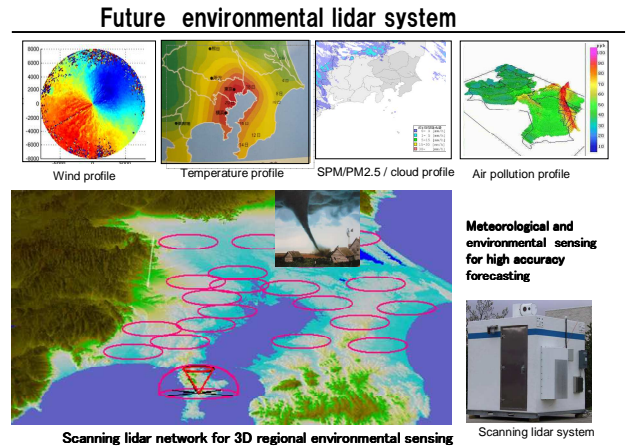


図1 広域大気環境ライダー監視システムの計測情報と配置の概要

5. 結び

レーザーの持つ優れた特性を利用して地球環境の監視や高精度な気象予測によって清浄で安全な生活圏を確保するための次世代の環境情報ライダー監視システムの例を検討した。その実現には既存のレーザーでは限界があり、小型で高効率な固体レーザーやファイバーレーザーなど新しいレーザーと光エレクトロニクス素子などの更なる研究開発が不可欠である。それによって高度な科学技術や新産業の発展が可能となるため、若手の研究者、技術者の活躍が期待される。

参考文献

- 1) C. Weitkamp ed., Lidar, Springer (2004).
- 2) 小林 喬郎, 応用物理, 77(11), pp. 1281-1292 (2008).