

局地的大雨予測のための水蒸気 DIAL による水平スキャン観測の検討

Study on horizontal scan observation by water vapor DIAL for the local heavy rain forecast

菊田 達也, Pham Le Hoai Phong, 阿保 真

Tatsuya Kikuta, Pham Le Hoai Phong and Makoto Abo

首都大学東京 システムデザイン研究科

Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

Abstract:

Frequency of localized heavy rain, especially in urban areas is increasing. To predict the heavy rain area, observations of horizontal water vapor distribution are important, because the occurrence area of heavy rain and the convergence area of water vapor are closely related. Differential absorption lidar (DIAL) is one of the progressive techniques for water vapor concentration distribution measurement in the atmosphere. In this study, we propose horizontal scan observations of the water vapor concentration for real time monitoring of the horizontal distribution of water vapor. The simulation result using real water vapor data shows that water vapor DIAL (time resolution:10 min, spatial resolution: 1.0km) can predict the localized heavy rain in 30 minutes before .

1. はじめに

極めて短時間・狭い範囲に猛烈な大雨をもたらす局地的大雨は「ゲリラ豪雨」とも呼ばれ、時には死者を出す程の被害をもたらす近年大きな問題となっている。そのため水害被害を軽減するための高性能レーダによる豪雨発生の直前予測システムが実用化されつつあるが^[1]、レーダでは散乱体が雲内の雨滴であるため、雨滴が発生する前段階での予測は不可能である。

大雨を降らせる積乱雲は、下層に暖かく水蒸気濃度の高い空気が収束し、上空との温度差から上昇気流が生じ上昇した水蒸気により発生する^[2]。従って水蒸気の収束を観測することができれば、豪雨の発生前段階での予測が可能となる。そこで地上風の収束や水蒸気量を高密度観測やモデル計算により捉えることで、豪雨の発生前段階での予測の研究が進められている。水蒸気を観測する手法としてはラジオメータ等の電波を用いた方法とライダーによる方法があり、ライダーにはラマンライダーと差分吸収ライダー(DIAL)があるが、小型のラマンライダーでは昼間の観測は困難である。

本研究では、昼間観測が可能である DIAL を用い、通常鉛直方向の観測に用いられる水蒸気 DIAL を水平方向にスキャン観測することにより、雲の下水蒸気密度の水平分布を求め、水蒸気の収束地点をリアルタイムで検出し、局地的大雨発生場所を予測するシステムを検討する。

2. 必要な測定分解能とシステムの仕様

東京都環境局の大気汚染常時監視測定局の気温及び相対湿度のデータから 1km メッシュで線形補間を行い、都内で局地的豪雨が発生した直前の水蒸気濃度分布図を作成した。それをレーダによる降水分布図と比較し、降雨と水蒸気濃度の収束の関係を調べた。その結果、降雨発生のおよそ 30 分～1 時間前に水蒸気の収束が確認できた。そこで必要な測定時間間隔は 10 分、空間分解能は 1km と設定した。

スキャン型 DIAL システムは半導体レーザによる全固体化送信系を用いた Repasky ら (2013) ^[3] の仕様を参考に、Table 1 のようにパラメータを設定した。数台のシステムで 23 区内をカバーすることを想定し、半径 7km で最大 1km メッシュの空間分解能となるよう、スキャン角度分解能、1 方向の観測時間を設定した。

Table 1. Diode laser based H2O DIAL System parameters

On line wavelengths	829.820nm
On line absorption cross section	$1.2 \times 10^{-24} \text{cm}^2$
Pulse duration	1 μ s
Pulse Repetition Rate	10kHz
Pulse Energy	10 μ J
Primary Mirror Diameter	35.6cm
APD Quantum Efficiency	45%
Background count rate	2MHz
Range resolution	1km
Observation time(all directions)	10min
Observation time(1 direction)	13.6sec
Angular resolution	8.2deg

3. 観測シミュレーション

距離 R_1 , R_2 間の平均気体濃度 n を求める DIAL 方程式は次式で表される^[4].

$$n = \frac{1}{2\Delta\sigma(R_2 - R_1)} \ln \left[\frac{S_{on}(R_1)S_{off}(R_2)}{S_{on}(R_2)S_{off}(R_1)} \right] \quad (1)$$

ここで S_{on} , S_{off} はそれぞれ on, off 波長の受信信号で, $\Delta\sigma$ は on 波長と off 波長の吸収断面積の差である. 受信信号強度に起因する気体濃度統計誤差 $\Delta n/n$ は次式で与えられる.

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{2\Delta\sigma n(R_2 - R_1)} \left\{ \int_{i=1}^2 \int_{j=1}^2 \left[\frac{(S_{ij} + B)F + D}{S_{ij}^2} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで $\Delta\sigma$:on波長とoff波長における気体吸収断面積の差, n :気体濃度, S :受信信号, B :背景光雑音, F :ディテクタの雑音指数, D :ダークカウントである. また, $i = 1, 2$ は距離 R_1 , R_2 に, $j = 1, 2$ はon波長とoff波長に対応する.

2013年7月23日14:40東京都千代田区付近において豪雨が発生した事例を参考に, 豪雨発生前の100分間の水蒸気濃度の変化を地上観測データを元にモデル化した. 距離分解能:1km, 時間分解能:10分とし, 前記の DIAL システムを用い, 渋谷から東方向に水平観測を行った場合の. 式(1)を用いた DIAL 観測のシミュレーション結果を Fig.1 に示す. 図の色(濃淡)は水蒸気の濃度を表している.

Fig.1 より, 豪雨発生前の40分前(14:00)までは, 水蒸気の視線方向の変化は小さいが, その後観測地点から4~5km地点において, 水蒸気濃度が上昇している様子が見られる. この地点は豪雨発生場所に対応しており, 豪雨の発生前に水蒸気濃度が上昇していることがこの時間・距離分解能の観測で確認できた.

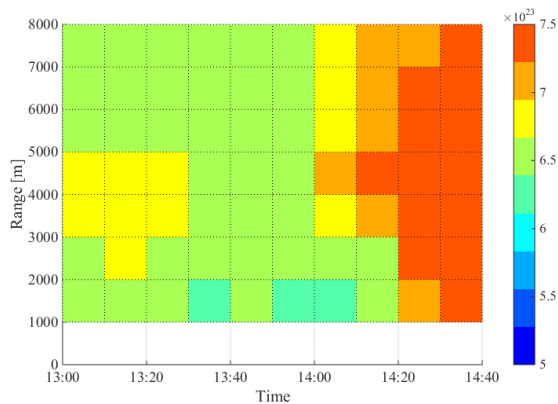


Fig.1 Contour plot of the time variation of water vapor concentration assumed DIAL observation with 1km range resolution, and 10min time resolution .

Fig.1 の4~5kmの地点に着目して, 式(2)によって算出される統計誤差をエラーバーとして示した, 豪雨発生前の100分間の水蒸気濃度の時間変化を Fig.2 に示す.

Fig.2 より, 13:50 から 14:00 にかけて水蒸気濃度の変化は統計誤差より大きく有意な増加であることが確認でき, リアルタイム観測でも豪雨発生を約30分前には予測可能と推定できる.

このシステムを用いて全方向をスキャン観測することにより, 豪雨の発生場所を2次元的に予測可能である. 更にスキャンシステムを複数配置することで, 広域な観測を実現することができる.

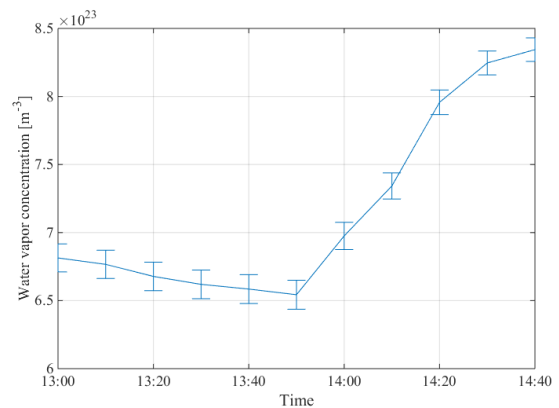


Fig.2 Time variation of water vapor concentration with the statistical error at the 5km point from the DIAL system.

4. まとめ

局地的大雨予測のための水平スキャン観測 DIAL システムを提案し, そのために必要な時間分解能を10分, 空間分解能1kmと見積もった. 平均送信出力0.1W, 望遠鏡口径35cmの小型ライダーシステムで, 豪雨発生前の30分前に水蒸気の収束を観測できることを実際の地上観測データから作成したモデルより確認した. 今後実際に水平スキャン観測実験を行い, シミュレーションとの比較・考察を行う予定である.

謝辞 10分毎の大気汚染常時監視測定データは, 東京都の環境科学研究所より提供していただいた. 本研究の一部はJSPS 科研費26282115の助成を受けている.

参考文献

- [1] E. Nakakita et al., Annuals of Disas., Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 55 B, 2012.
- [2] 三上岳彦, 都市型集中豪雨はなぜ起こる?: 台風でも前線でもない大雨の正体, 技術評論社. 2008.
- [3] K. S. Repasky et al., Remote Sensing Vol.5, No.12, pp.6241-6259, 2013.
- [4] S. Ismail et al., Applied Optics Vol.28, No.17, pp.3603-3615, 1989.