

## 人工降雨実験のための2波長ライダーの開発

—光／電波、能動型／受動型、各種測器を用いたシナジー観測のなかで  
Development of the Two Wavelength Lidar for Artificial Precipitation Experiment

永井 智広<sup>1</sup>, 酒井 哲<sup>1</sup>, 村上 正隆<sup>2</sup>, JCSEPA 地上観測グループ<sup>3</sup>  
Tomohiro NAGAI<sup>1</sup>, Tetsu SAKAI<sup>1</sup>, Masataka MURAKAMI<sup>2</sup>,  
JCSEPA ground-based observation group<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所 気象衛星・観測システム研究部

<sup>2</sup> 気象研究所 物理気象研究部

<sup>3</sup> 気象研究所他全7機関

<sup>1,2</sup> Meteorological Research Institute (MRI), <sup>3</sup> Seven Institutes and Universities including MRI

**Abstract**

This paper describes the development of a dual wavelength and polarization lidar system for the warm cloud seeding experiments by Japanese Cloud Seeding Experiment and Augmentation (JCSEPA). The purpose of the experiments is to evaluate the effects of the cloud seeding on the microphysical properties of the clouds and precipitation based on the multi-sensor (ground-based and airborne) measurements. Since the effects of the seeding critically depends on the background aerosol properties (particle size and number concentration), it is necessary to measure these aerosol properties in real time. We have developed a lidar system for measuring the vertical distribution of the aerosol and cloud optical properties. The lidar employs a dual-wavelength (532 and 1064 nm) laser and detects the backscatter light at these two wavelengths (including the polarization components at 532 nm) as well as the nitrogen Raman signal at 607 nm. We discuss the detail of the lidar system and show the preliminary result of the measurement in this paper.

**1. はじめに**

国連などでは、2025年までに世界の人口の2/3が水不足に直面すると指摘している。日本においても国民1人あたりの降水量は世界平均の1/4と少なく、降水は急峻な地形により短時間で海洋に流失するため、水資源としての利用率も低い。多くの人口密集地域は潜在的な水不足の状態にあり、雨不足・雪不足が続くと容易に渇水となる。渇水は、10年に2～3回と頻発しており、おおよそ10年に1回の割合で深刻な渇水が発生している。今後地球温暖化が進行すると、少雨・渇水や豪雨・洪水などの現象が起り易くなることも指摘されている。安定的に水資源を確保するための人工降雪技術や、渇水対策に即効性のある人工降雨技術に関する研究を進め、今後予想される水不足問題・干ばつ等の災害軽減対策を講じる必要がある。

これらの課題に対応するため、気象研究所をはじめとする7機関が協力し、これまでの研究でその可能性が明らかとなってきた山岳性降雪雲での人工降雪技術の確立をめざすとともに、渇水の度に強く望まれている人工降雨について、その可能性を明らかにするための基礎的研究を行う。このうちの人工降雨に関しては、雲生成チェンバーを用いた室内実験、詳細雲物理ボックスモデルを用いた数値実験による基礎研究を行うとともに、各種リモートセンシング技術を用い、暖候期の降水雲の微物理構造導出アルゴリズムを開発し、モニタリング観測を行って人工降雨に適した雲の出現頻度を把握する。また、渇水時の天気パターンの中で出現する雲を対象に、航空機等による雲の直接観測やドライアイス・吸湿性粒子を用いたシーディング実験を行い、降雨機構を解明し、シーディング効果の有無（人工降雨の可能性）を明らかにすることを考えている。

この各種リモートセンシングは、暖候期においては、X-バンド (9.8GHz)、Ka-バンド (35GHz)、W-バンド (94GHz) ドップラーレーダー、マイクロレインレーダー (23GHz)、多波長・2波長マイクロ波放射計などの地上設置型などのリモートセンシング機器等に合わせ、2波長ライダーを加

えて複合的に組み合わせ、また、合わせて行われる航空機による直接観測の結果を考慮し、有効雲の判別アルゴリズムの開発をすることとしている。このなかで、Nd:YAG レーザーを用いた2波長ライダーの開発を行ったので、これについて報告する。

## 2. 2波長ライダーの開発

ここでは、Nd:YAG レーザーを送信部に用い、その基本波 (1,064nm) と第2高調波 (532nm) を用いたシステムを開発した。装置の諸元とブロック図、装置の写真をそれぞれ Table 1、Fig.1、Fig. 2 に示す。

Table 1 Specifications of the dual-wavelength lidar for the cloud seeding experiment of the JCSEPA.

送信部								
レーザー	Nd:YAG							
送信波長	532nm				1,064nm			
パルス出力	160mJ				230mJ			
パルス繰り返し	20Hz							
ビーム拡がり角	0.2mrad							
受信部								
受信望遠鏡	シュミットカセグレン式							
受信波長	532nm		607nm (N <sub>2</sub> ラマン)				1,064nm	
受信高度	低高度	高高度	低高度	高高度	低高度	高高度	低高度	高高度
望遠鏡口径	20cm	35.5cm	20cm	35.5cm	20cm	35.5cm	20cm	35.5cm
視野角 (全角)	2.0mrad	1.0mrad	2.0mrad	1.0mrad	2.0mrad	1.0mrad	2.0mrad	1.0mrad
偏光観測機能	有	有	無	無	無	無	無	無
受信チャンネル数	2	3	1	1	1	1	1	1
検出器	PMT				APD			
信号処理	12bit A/D + 光子計数法							
時間分解能	20 秒							
高度分解能	7.5m							

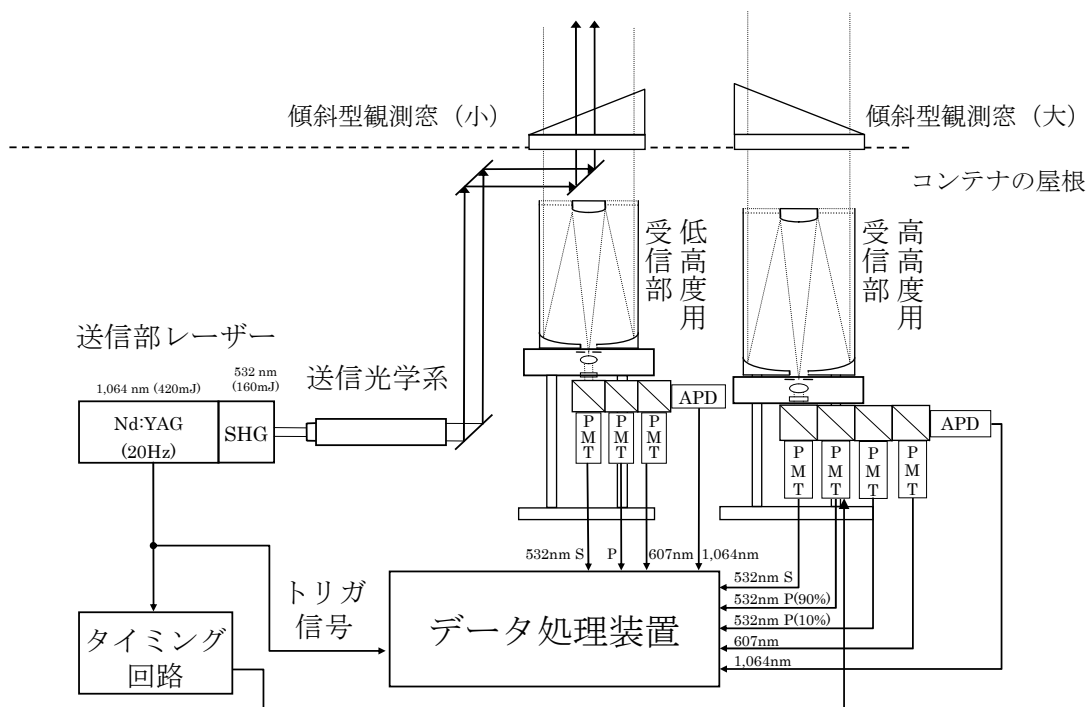


Fig. 1 Schematic of the lidar system developed for the cloud seeding experiment of the JCSEPA.

装置の開発に際しては、2波長、偏光 (1波長)、窒素ラマンチャンネルを設けることにより、降水雲周辺のエアロゾルや雲底付近の雲粒子の粒径、形状の情報を得られることとした。(ただし、

2008年シーズンは、窒素ラマンチャンネルのデータの取得は完全には行えていない。) また、降水のある時間前後にもなるべく長時間の観測が可能なるよう、傾斜型の観測窓を設け、降雨中も連続して観測が可能で、また、排水性を上げて降雨後に有効な観測が可能になるまでに復帰する時間が短時間になるようにした。また、降雨中も含めて雲底の観測が必要であることや、極力下層までの観測が必要なことから、受信望遠鏡を大小2つとして観測可能な高度範囲を拡大し、小口径の低層観測上受信部と送信光を同軸構成として地上高 100m からの観測を可能とした。

### 3. 観測

ここで開発した装置を用い、2008年6月18日から7月3日にかけて行われた JCSEPA の集中観測期間、7月4日から8月3日に設定された連続観測期間中、他のリモートセンシング機器と同時に、高知県高知市の鏡ダム近く(北緯 33.6°、東経 133.5°、標高約 55m)において集中観測を行った。観測サイトの概観を Fig 2 に示す。ライダーの他、X-バンド(気象研)、Ka-バンド(三菱電機特機システム/気象研)、W-バンド(情報通信研究機構)のレーザー、マイクロレインライダー(気象研)、多波長マイクロ波放射計(気象研)、2波長マイクロ波放射計(情報通信研究機構)、ディストロメーター(気象研)、地上気象観測装置(気象研/いであ株)が設置されている。



Fig. 2 Photograph of the lidar system.



Fig. 3 Photograph of the Kagami observation site designated at Kochi city in the Kochi Pref. (33.6°N, 133.5°E, 55m msl).

Fig. 4 に 2008 年 7 月 1 日に行ったシーディング実験時のライダー観測例を示す。シーディング用のヘリコプターは、15 時 (06 Z) 頃に高知空港を離陸し、15:44 から 15:52 にかけてライダー観測地点から西南西-南南西 6 km の地点、高度 0.7km において吸湿性粒子シーディング(フレアー)を実施した。その後観測用航空機は 16:25 (07:25Z) 頃ライダー観測地点上空に飛来し、雲・エアロゾルのサンプリング観測を行った。この期間中、ライダーは高度 1 km 以下に下層雲、8-12 km に上層雲、4-6 km にダスト層を観測した。今後は、シーディング粒子の検出可能性、シーディング前後における雲の光学特性の変化について解析する予定である。

### 4. おわりに

人工降雨実験のリモートセンシング機器の一つとして、2波長ライダーを開発した。この装置は、他のリモートセンシング機器等と同時に観測を行い、人工降雨の有効雲判別のアルゴリズム開発に利用される。今後2シーズン、暖候期の観測を高知にて行い、航空機からのシーディング実験とあわせ、人工降雨に関する基礎的なデータを取得する予定である。

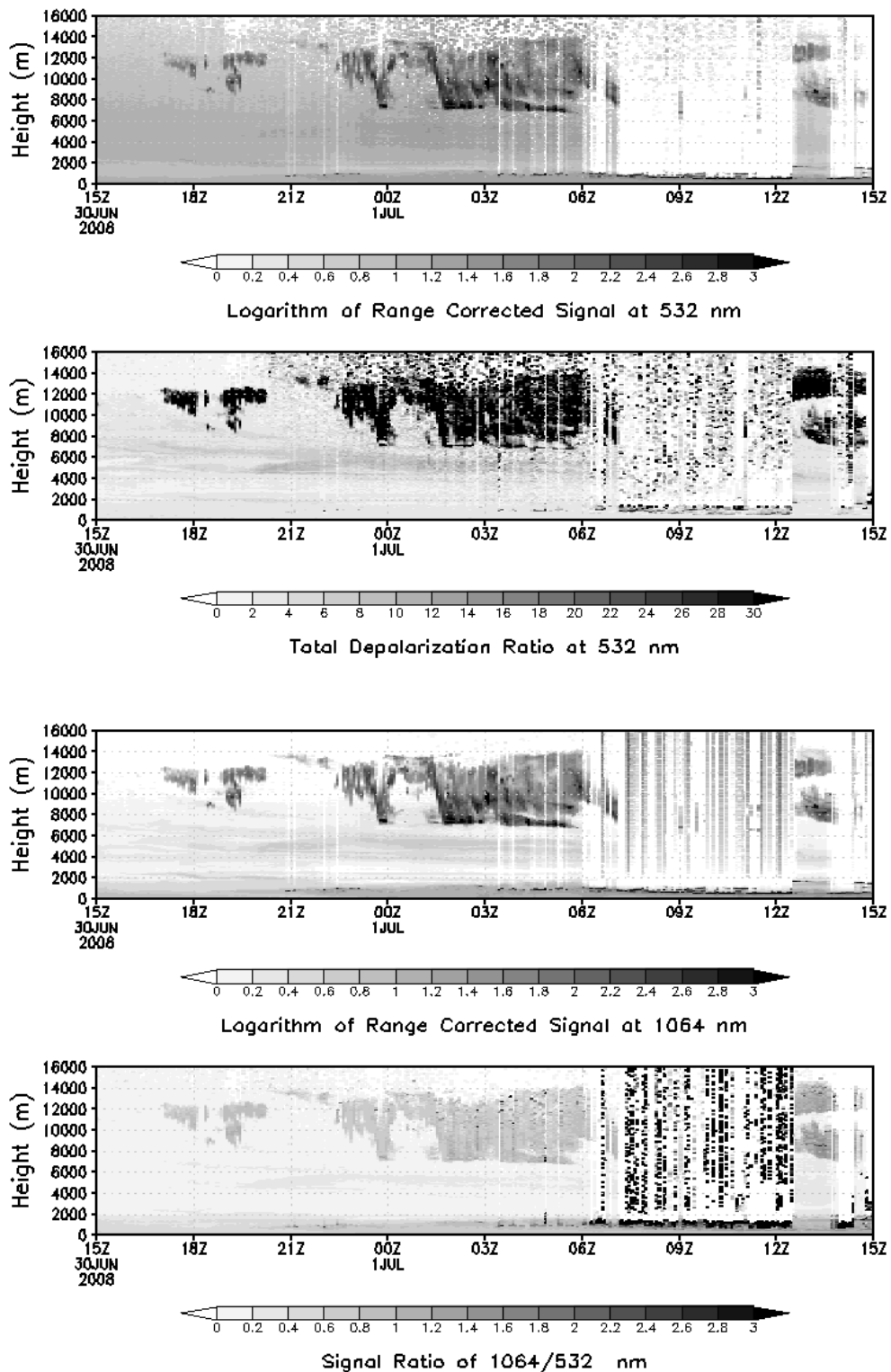


Fig. 4 Example of the time-height cross section of the aerosol properties obtained with the lidar (from top to bottom: range-corrected backscattering intensity at 532 nm, total depolarization ratio at 532 nm, range-corrected backscattering intensity at 1064 nm, ratio of backscattering intensity at 1064 nm to 532 nm).

<謝辞> 本研究は、文部科学省 科学技術振興調整費・総合研究「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究(JCSEPA : Japanese Cloud Seeding Experiment for Precipitation Augmentation)」(平成 18~22 年度)により実施されている。