

## JEM-EUSO プロジェクトにおけるライダー開発

Development of the Lidar for JEM-EUSO project

和田智之, 小川貴代, 前田康大, 戎崎俊一, 大森整

Satoshi Wada, Takayo Ogawa, Yasuhiro Maeda, Toshikazu Ebisuzaki, Hitoshi Ohmori

理化学研究所  
RIKEN

## Abstract

Exist of high energy particle more than  $10^{20}$  eV in the space is a basic problem in fundamental physics, because it means the brake of the GZK theoretical limitation. JEM-EUSO will try to detect such high energy particle in the space by the optical fluorescent, when the high energy particle incident to the atmosphere. For calibration of the background of the measurement, the atmospheric monitoring system consisted from a spaceborne lidar with an ultraviolet pulsed laser and an IR camera is used for measurements of the height of the cloud. The IR camera takes a temperature data of clouds with the 500m precision. On the other hand, ultraviolet lidar measure the height of surface of cloud with the 30m precision. Finally, we obtain the 3 dimensional map of clouds. At present, we request the laser with 20mJ/pulse@355nm,50Hz, single longitudinal mode,  $M^2 < 1$ , conduction cooling.

## 1. はじめに

大気モニタの目的は、JEM-EUSO 望遠鏡視野内の大気の状態を常時監視することにある。空気シャワー(EAS)から放射される大気蛍光とチェレンコフ光の強度および伝搬過程は、大気の透過率や雲量および雲頂高度に影響を受ける。このため、これらは精度よく決められていなければならない。 $10^{20}$  eV を越える高エネルギー事例では、雲の存在が EAS からのシグナルそのものから判別できることが分かっている [1]。しかし、EAS 観測と同時に JEM-EUSO から地球大気をモニタすることは、望遠鏡の実効観測時間を精度良く決めることができる点や、エネルギー閾値付近の事例についての信頼性をあげる点で有効である。このため JEM-EUSO では、質量・電力バジェットに対し影響が少ない範囲で、装置群を相補的に用いることによって、大気の状態を監視することにした。JEM-EUSO は大気モニタに 1)赤外線カメラ、2)Lidar、そして3)JEM-EUSO 望遠鏡の Slow Data の 3つの装置を用い視野内の雲頂高度を 500m 以下の精度で推定することを計画している(図1)。本講演では、その中でも特に Lidar について、要求仕様の検討とそれに基づく概念設計についてまとめる。

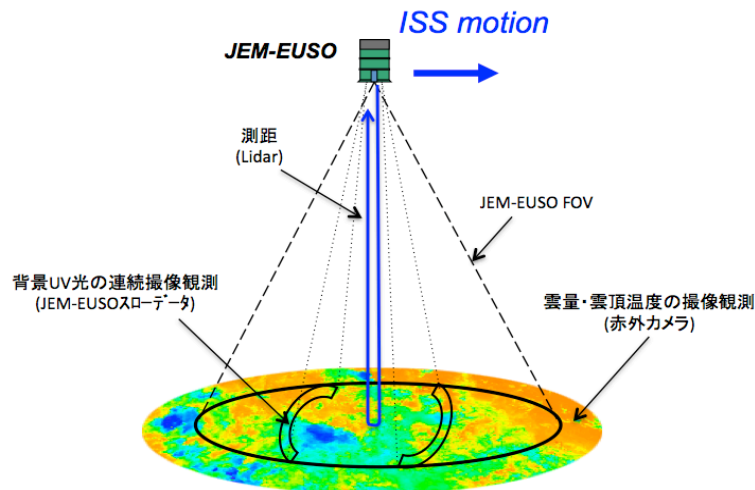


Figure 1. Concept of the Atmospheric Monitor

## 2. 目的と概要

二次元的な雲分布は赤外線カメラによって撮像観測される。赤外線カメラによって取得されたデータからは雲頂の輝度温度が得られるが、大気モデルを用いてその地点の高度方向の温度分布を推定することにより、雲頂高度が得られる。雲分布と雲頂高度は、空気シャワーのプロファイルから極限エネルギー粒子のエネルギーを推定するとき信頼性を向上させる重要なパラメータである。しかし、赤外線カメラによる雲頂高度決定精度の要求値は $\pm 500$  m程度であり、赤外線カメラのみでは、本研究での要求値(温度で $\pm 1.4$  K, 高度で $\pm 200$  m)を満足しない。より高い精度で雲頂高度を決定するために、JEM-EUSO 視野内の数点を測距観測することが、Lidar の目的である。Lidar によって得られる雲頂高度の直接観測データは、赤外線カメラにとっての較正データとしての役割を担う。Lidar の測距分解能は 30 m である。このようにして、赤外線カメラとLidar によって得られたデータから、三次元的な雲分布と雲頂高度を決定することになる。

JEM-EUSO の Lidar は送信系と受信系からなる。送信系は、Nd:YAG レーザーと射出ビームのポインティング機構からなり、レーザーの波長は、Nd:YAG が発する第三高調波( $\lambda=355$  nm)を用いる。また受信系には、JEM-EUSO 望遠鏡自身を用いる。焦点面には、Lidar の後方散乱光を測定する光検出器を4つ設置し、Lidar のレーザー光射出方向に視野を持つように配置する。レーザーの波長は、JEM-EUSO が観測する大気蛍光光とチェレンコフ光の波長範囲( $\lambda=330-400$  nm)に含まれるので、光検出器としては JEM-EUSO の焦点面検出器(マルチアノード型光電子増倍管)を用いることも可能である。

Lidar 送信系は JEM-EUSO 望遠鏡に取り付けられる。ビームは、受信装置である JEM-EUSO 望遠鏡の空間分解能程度に拡散される。光の射出方向の制御はビームポインティング機構によって行われる。ビームポインティング機構については、1)レーザーを2-4本別々の方向に固定し、プログラムに応じてそれぞれが射出、2)MEMS (micro electro mechanical system)鏡の利用の二つの可能性を検討している。

Table 1. Specification of JEM-EUSO Lidar

Wavelength	355 nm
Repetition rate	50 Hz
Pulse width	5 - 15 ns
Pulse energy	20 mJ/pulse
Beam divergence	0.1 mrad
Bandwidth of filter and transmittance	3 nm / 50 %
Telescope for detection	JEM-EUSO
Detector	MAPMT (JEM-EUSO)
Range resolution	30 m
Steering of output beam	$\pm 15^\circ$ to a vertical axis (TBD)
Exposure time	0.01 sec/shot
Integration time	0.1 sec (= 5 shots)
Mass	17 kg
Dimension*	450x350x250 mm
Power	< 70 W

レーザーシステムの要求仕様を表1にまとめる。この仕様を満足するために、現在、理化学研究所が開発しているレーザーシステムについて概要を述べる。励起モジュールとしては、中心にレーザーロッド、その周辺に三角形に発光イオンのドープしていないホスト結晶を三角状に融着し、本体であるレーザーロッドを保護する状態を作り上げる。本技術は、日本独自のセラミック結晶技術によって達成される。さら

に、そのレーザーロッドを三角形の頂点に置いた、レーザーダイオードによって励起する方式を導入する。冷却には溶媒を利用しない金属内の伝導による直接冷却を予定している。次に、共振器については、振動や、ねじれに強い共振器とするためにプリズムペアーを利用した“コの字型”のレーザー共振器を用いる。レーザーシステムの励起モジュールの断面を図2に、また共振器の光学配置を図3に示す。

現在までに、水冷の3方向からの擬似CW励起により、励起モジュール単体で200 mJ/パルスを達成している。さらに、EOQスイッチを入れた共振器により、100 mJ/パルス、20 ns の出力を最大繰り返し400 Hzまで得られており、基本波1064 nmでは、大気モニターシステムに必要な基本仕様が実験室レベルで得られている。この基本波を波長変換して、第三高調波355 nmを発生させる。現状での出力は、LBO結晶を利用して30 mJ/パルス程度が得られる。

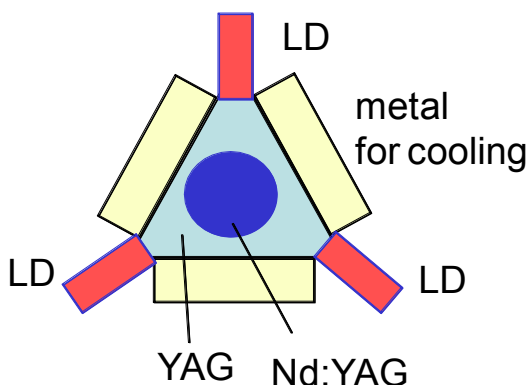


Fig 2. Pumping module (cross section)

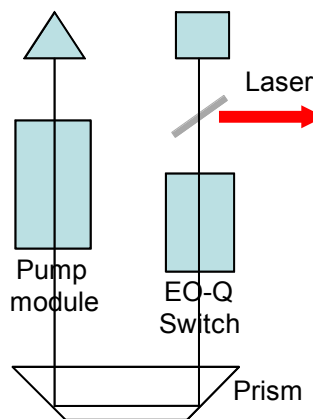


Fig 3. Cavity configuration

### 3. シミュレーション

Lidarでは、JEM-EUSO望遠鏡自身を受信系として用いる。このため、Lidarを搭載することによる望遠鏡光学系および焦点面検出器の変更が最小となるように、種レーザーの波長(1064 nm)の第3高調波にあたる波長355 nmのレーザー光をLidarでは用いることとする。Lidarの性能を、シミュレーションによって検証した。大気モデルとして、US Standard 1976を用いた。

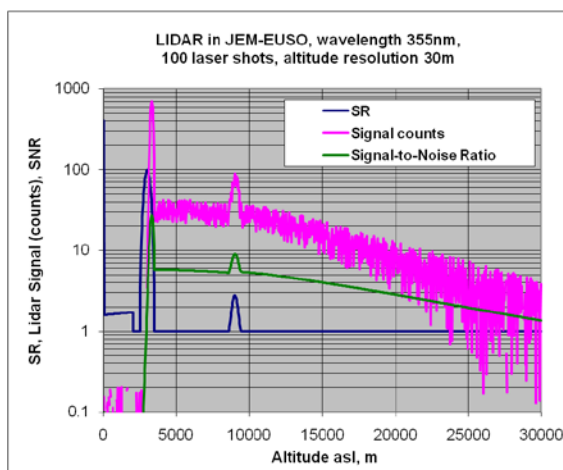
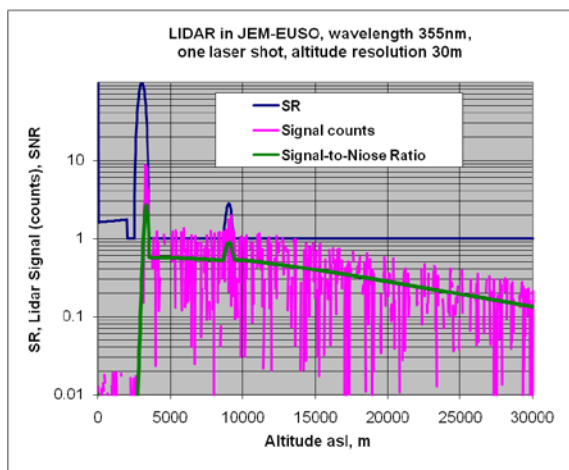


Fig 4. Calculated signal counts and SNR for (a) single shot measurement with Lidar and (b) integration of 100 measurements with Lidar

シミュレーションの結果を図4に示す。図4(a)は、Lidarの1ショットのみの結果を、(b)は100ショットの積分結果を示す。図の横軸は高度で、縦軸は雲のSR (Scattering Ratio)と信号雑音比(SNR)を示す。図中

のSRは波長355nmの場合の値であり、表4.4.3-3のものとは異なる。両図から、現状のLidar仕様では、1ショットデータからは opaque cloudのみ検出可能であるが、100ショット積分すると sub-visible な雲でも SNR=9 で検出が可能である。

#### 4. まとめ

本講演では、JEM-EUSO 搭載用大気モニタのうち、特に高い測距分解能をもつ Lidar について、仕様検討とシミュレーションを行った結果を報告した。今後、実験室レベルでの試作を継続して行い、実際の測離性能などを検討する予定である。

#### Reference

[1] Takahashi, Y. et al., *29th Int. Cosmic ray Conf.*, 2005, **8**, 351; EUSO-PI-REP-005(Section D), D36-D38, 21 Apr. 2004.