

## 南極昭和基地設置気温プロファイル観測用遠隔制御ライダーの 開発と共鳴散乱ライダー開発計画

### Development of Remote Controlled Lidar System for Observations of Middle-Atmosphere Temperature and Plan of Resonance Scattering Lidar System at Syowa Station

<sup>1</sup>阿保 真、<sup>2</sup>堤 雅基、<sup>2</sup>富川喜弘、<sup>3</sup>佐藤 薫、<sup>4</sup>中村卓司、<sup>5</sup>川原琢也、<sup>4</sup>江尻 省

<sup>1</sup>柴田泰邦、<sup>6</sup>北原 司、<sup>7</sup>坂野井和代

<sup>1</sup>Makoto Abo, <sup>2</sup>Masaki Tsutsumi, <sup>2</sup>Yoshihiro Tomikawa, <sup>3</sup>Kaoru Sato, <sup>4</sup>Takuji Nakamura,

<sup>5</sup>Takuya D. Kawahara, <sup>4</sup>Mitsumu Ejiri, <sup>1</sup>Yasukuni Shibata, <sup>6</sup>Tsukasa Kitahara, <sup>7</sup>Kazuyo Sakanoi

<sup>1</sup>首都大学東京、<sup>2</sup>国立極地研究所、<sup>3</sup>東京大学、<sup>4</sup>京都大学生存圏研究所

<sup>5</sup>信州大学、<sup>6</sup>鳥羽商船高専、<sup>7</sup>駒澤大学

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan Univ., <sup>2</sup>NIPR, <sup>3</sup>Univ. of Tokyo, <sup>4</sup>RISH, Kyoto Univ.

<sup>5</sup>Shinshu Univ., <sup>6</sup>Toba National College of Maritime Tech., <sup>7</sup>Komazawa Univ.

#### Abstract

We have been promoting a new lidar project at Syowa station (69S), Antarctica. Atmosphere has a characteristics temperature structure, which is thought to be generated and maintained by various atmospheric waves such as gravity waves, but is still not understood quantitatively due to the lack of observations, especially in Polar Regions. The new lidar system is now being designed and constructing for both nighttime and daytime temperature observations in the wide height range from stratosphere to the lower thermosphere. For daytime measurement, we use a Fabry-Perot etalon filter to reduce background noises. The most parts of this lidar system will be remotely controlled via the Internet from Japan. The lidar system is basically self-controlled and the remote control functions are limited. We are developing automatic adjustment system of the overlap between the field of view of the receiver-optics and the area of laser illumination using a gated high-sensitivity ICCD camera and image processing technique. We also propose a six year project of the study of interactions between the polar middle and the upper atmospheres using a state-of-art resonance lidar system which will be collaboratively operated with existing optical and radar instruments in and around Syowa, as well as a huge atmospheric radar, PANSY, to be installed at Syowa. The lidar consists of a Rayleigh lidar and two resonance scatter lidars, observing temperature profiles and variations of minor constituents such as Fe, K, Ca, Ca+.

#### 1. はじめに

極域の昭和基地付近の緯度(69S)での温度プロファイルには、日射のない冬季に成層圏界面が高温になるなど、大気波動が駆動する大気の子午面循環によって起こると考えられる現象が見られるが、十分な観測がなされていないこともあって、まだ定量的な理解には至っていない。特に南極域は、北極域と比べても観測体制が貧弱であり、昼間観測つまり夏季の観測に乏しい。我々は南極昭和基地における長期的な温度ライダー観測を実施することを計画しており、最終的には成層圏から中間圏・下部熱圏高度領域の昼夜連続温度観測の実現を目指している。この計画は南極昭和基地大型大気レーダ計画(PANSY)とも関連し、レーダ観測では困難な温度観測、上部成層圏・下部中間圏の観測を担当する。

昭和基地において長期ライダー観測を実現するためには、観測隊員としてライダーの専門家を常に派遣できるとは限らないため、メンテナンスの簡便化が必須となる。そのため、自動制御機構や衛星回線を利用した日本国内からの遠隔制御機構を備える必要がある。本稿では、現在開発を進めている昼間気温観測可能な遠隔制御型レイリー/ラマンライダーシステムと、計画中の共鳴散乱ライダー開発の概要について述べる。

#### 2. 遠隔制御レイリー/ラマンライダーシステム

首都大ではインドネシアに大型高機能ライダーを設置して長期運用を実現しており、その制御方法のノウハウを昭和ライダーにも採用することを検討している。現在開発中の気温観測用レイリー/ラマンライダーのブロック図をFig. 1に示す。光軸自動調整機構とともに、天窓設置による自動運転を計画している。望遠鏡の口径は、輸送可能重量、設置建物の制限から口径80cmに制限される。

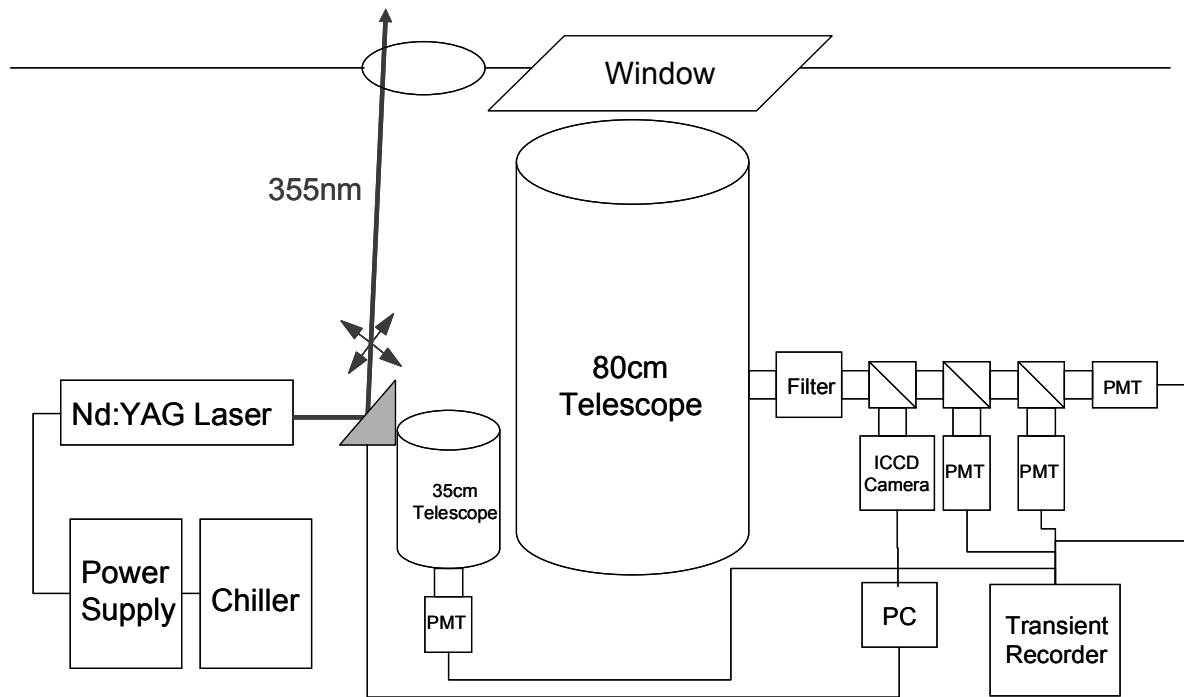


Fig.1 Schematics of the remote-controlled Rayleigh and Raman lidar system at Syowa station.

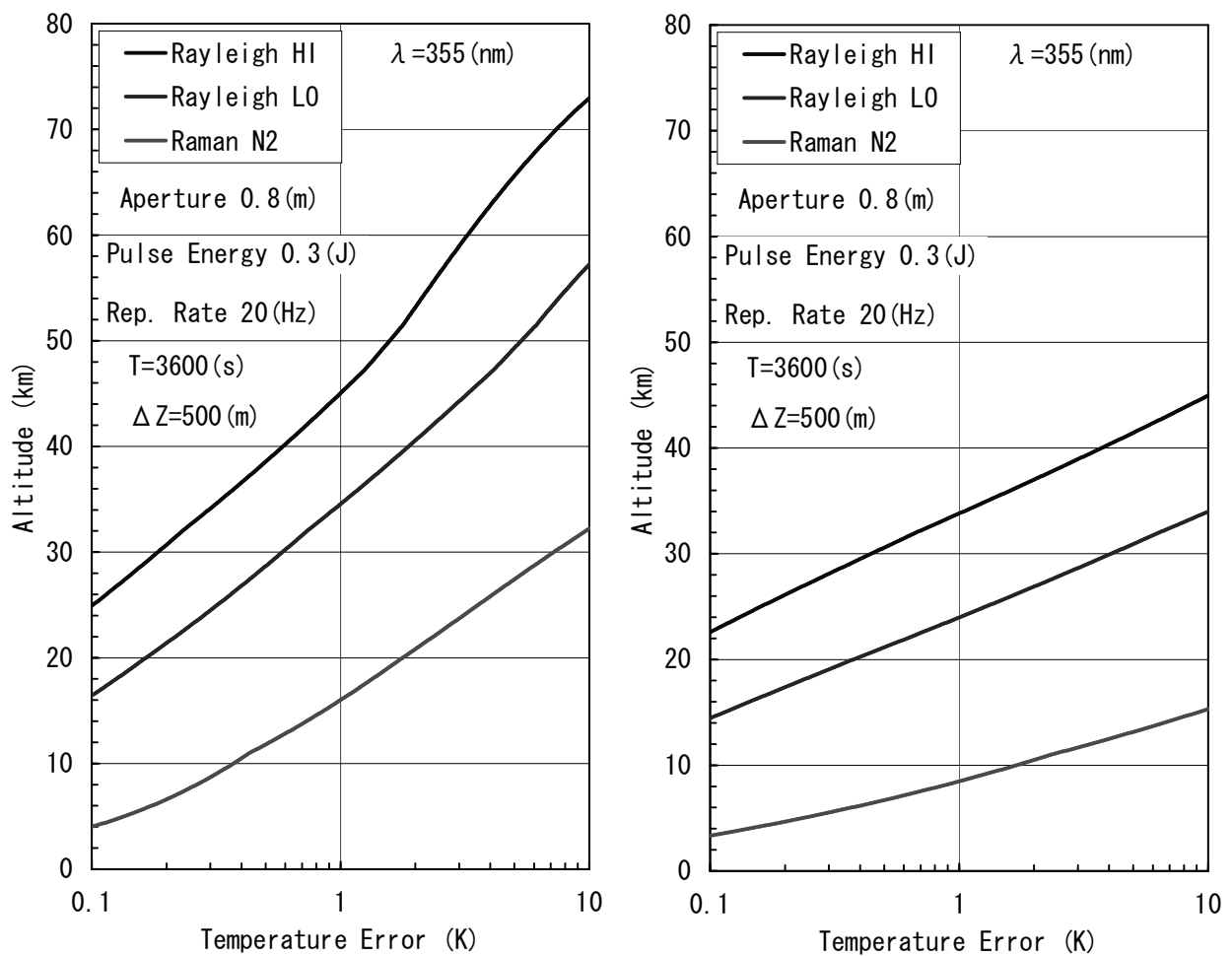


Fig.2 Error estimation for nighttime and daytime measurement of temperature.

レーザの出力は基地の電源容量により制限される。波長は将来的に紫外でのFe共鳴散乱観測への受信系の転用も考慮し、Nd:YAGの第3高調波である355nmを用いる。現在想定しているレーザと望遠鏡での夜間と昼間それぞれの気温観測精度のシミュレーション結果をFig. 2に示す。この結果より積算時間1時間、高度分解能500mで、夜間は高度60kmまで、昼間は高度40kmまで気温誤差3K以内での測定が可能であることがわかる。また極域の極低温下に起こる極成層圏雲 (PSC) や極中間圏雲 (PMC) の観測も可能である。

昼間観測実現のためには受信フィルタの狭帯域化が必要であるが、このためにギャップ間隔  $100\mu\text{m}$ 、帯域幅  $10\text{pm}$  の温度コントロールしたエアースペース型エタロンを使用する。Fig.3 にエタロンの透過曲線のシミュレーション結果を示す。レーザビームと受信視野重なるの光軸調整は、昼間観測のために受信視野が狭いこともあり測定精度を維持する重要なポイントとなる。これについては、高速ゲート付き ICCD カメラを用いた自動調整法を開発している。ゲート機能のない CCD カメラではレーザビームは線状に映るが、ゲートを掛けることにより任意の高度のビームを見ることができ、重なり関数が1となる十分高い高度でのレーザビームの位置を視野の中心に調整することにより正確な光軸合わせが可能になる。また、ゲートにより露光時間も短くなるため、昼間でもビームの観察が可能になると期待される。

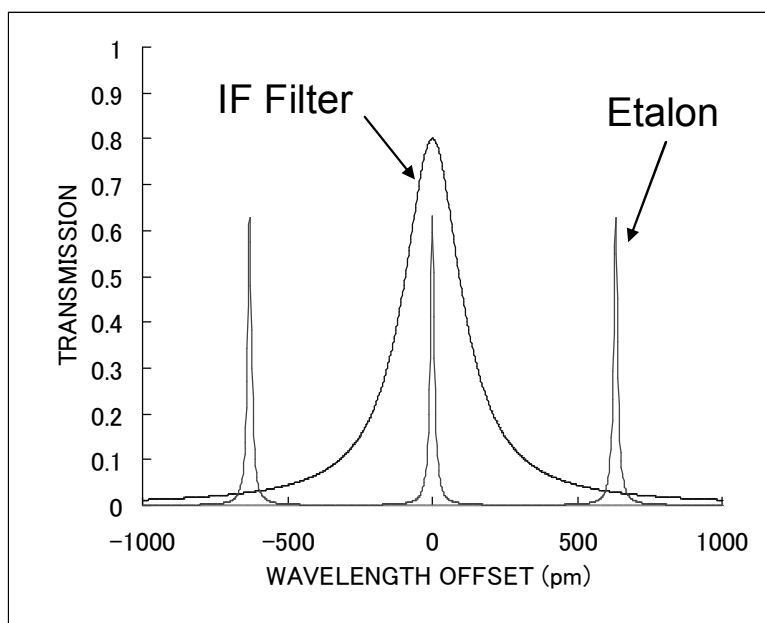


Fig.3 Calculated transmission curve of narrowband Etalon filter for daytime measurement.

### 3. 共鳴散乱ライダー開発計画

南極上空の高度 100km 付近を境とする対流圏・中層大気と超高層大気との二つの領域の上下結合、相互作用について、力学結合・物質交換の観点から解明することを目的とした共鳴散乱ライダー観測計画を第VIII期の南極観測重点プロジェクトとして計画提案している。大型 VHF レーダ PANSY とライダーは計測パラメータが相補的であり、光電波協同観測を協力して展開することが期待される。夏季の中間圏界面の超低温、関連する PMC、PMSE などの現象、高エネルギー粒子の降りこみ、極域中層大気を上方に伝わる下層からの波動伝搬など特徴的な極域の中層大気と超高層大気の結合過程を知る上で重要になることは、風速・電子密度などのパラメータをばらばらに計測するのではなく、多くの物理量を同時に多数サンプルすることである。また、複雑に高度変化・時間変動する領域を捉えるためには、レーダやライダーのような時間高度分解能にすぐれた測器による連続観測が有効である。本計画は、大気の組成(微量成分)と力学量(温度、密度、風速など)を時間高度分布として同時に計測できるライダーシステムを昭和基地に展開し、将来的には PANSY レーダとの協同観測を行い、MF レーダ、リオメータ、大気光・オーロラ観測装置などの他の測器と協同で複合観測を行うことで、多様な変動を見せる極域の中間圏界面を中心とする領域を、観測事実から極域中層大気と超高層大気の相互作用を詳解することをめざすものである。

以上の目的を実現するために、特に中間圏界面付近の温度の測定が重要となる。共鳴散乱を利用した温度測定には、Na、K、Fe の各共鳴線のドップラー拡がりを複数波長で測定する方法と、Fe ボルツマン法がある。現段階では遠隔運用を念頭にレーザのメンテナンスの容易さ、波長制御の容易さ、昼間観測に有利さ(フラウンホーファ線があること)などの条件から、Fe ボルツマン法(波長 372nm と 374nm)の採用を予定している。この場合レーザとしては、シンプルな構造で高出力発

振が可能で実績のある Alexandrite レーザの第2高調波利用が第一候補となる。ただし、今後のレーザ技術の発展も考慮し最終的決定はまだ行っていない。現在想定しているレーザの主な仕様は、エネルギー：150mJ (@372nm)、繰り返し：20Hz、スペクトル幅：1GH、波長制御精度：±100MHz となっている。また、波長可変レーザを用いることにより、キャンペーン的に Ca、K、Ca イオン等の密度分布測定、高速サンプリングによる流星 trail 測定なども計画している。

#### 4. おわりに

スケジュールとしてはレイリーライダーについては、平成20年度に受信系、21年度に送信系を導入して国内での試験観測を行った後、平成22年度以降に南極昭和基地での連続運用を予定している。また、共鳴散乱ライダーについては提案通り予算が付けば、平成22年度から開発を始め、国内での移動観測で経験を積んだ後、平成24年度以降に南極での運用を計画している。