

4-5 アラスカプロジェクトにおけるライダー観測装置

4-5 Lidar instruments for observation of the arctic atmosphere in Alaska-project

水谷耕平 板部敏和 安井元昭 青木哲郎 石井昌憲 篠野雅彦

村山泰啓 リチャード L. コリンズ

MIZUTANI Kohei, ITABE Toshikazu, YASUI Motoaki, AOKI Tetsuo, ISHII Shoken,

SASANO Masahiko, MURAYAMA Yasuhiro, and Richard L. Collins

要旨

我々はレイリーライダーを開発し、米国アラスカ州フェアバンクス近くのポーカーフラット実験所(65.1N、147.5W)において北極域中層大気の温度分布の観測を行っている。中層大気の風を観測するレイリードップラーライダーは通信総合研究所本所において開発中である。これらのライダーとポーカーフラットに設置されているレーダ装置の組合せにより、広い高度範囲の大気構造と力学が同時に観測できる。また、北極域対流圏と成層圏の雲とエアロゾルを観測するためのミー散乱ライダー(多波長ライダー)を開発した。このライダーはポーカーフラットに今年中に設置される予定である。ここでは、アラスカにおける北極域中層大気観測のためのこれらレイリーライダー、レイリードップラーライダー、多波長ライダーについて記述する。

We developed a Rayleigh lidar system and it is now working well for temperature observations of the Arctic middle atmosphere at Poker Flat Research Range near Fairbanks, Alaska (65.1N, 147.5W). A Rayleigh Doppler lidar for wind measurements of the middle atmosphere is in the development phase. The combination of these lidars and radars installed at Poker Flat gives us an opportunity of simultaneous observations of the structure and dynamics of the atmosphere in broad range of altitudes. We also developed a Mie lidar system (multi-wavelength lidar) to observe clouds and aerosol distribution in the arctic troposphere and stratosphere. It will be installed at Poker Flat in this year. Here, we give descriptions of the Rayleigh lidar, the Rayleigh Doppler lidar and multi-wavelength lidar for the observations of the Arctic middle atmosphere at Poker Flat.

[キーワード]

レイリーライダー、ドップラーライダー、エアロゾル、北極域中層大気
Rayleigh lidar, Doppler lidar, Aerosol, Arctic middle atmosphere

1 はじめに

ロケット観測を除くと高度30kmから60kmの中層大気の温度と風は、レイリーライダーとレイリードップラーライダーでのみ連続観測が可能である。レイリーライダーは中緯度地方の中層大気の温度分布を観測するためには使われてきたが、北極域に設置されるようになったのは比較的最近である。ALOMAR観測所(69N、16E)

には1994[1]、ASTRO observatory (80N、86W)には1993から[2]、また、ARCLITE facility (67N、50W)には1993に配備された[3]。我々はアラスカプロジェクトによる北極域大気総合観測を行うための装置の一つとして、1997年にポーカーフラット(65.1N、147.5W)にレイリーライダーを設置した。この装置はアラスカプロジェクトの観測装置の一つであるとともに、北極を取り巻くレイリーライダーのネットワークの一つとし

での役割が期待される。レイリードップラーライダーは中層大気の風を観測できる装置であり、レイリーライダー同様に総合観測用の装置の一つとして現在開発中である。装置は望遠鏡、ファブリ・ペロ干渉計と多重リング検出器システムからなるインコヒーレント・ドップラーライダーである。また、大気総合観測の低高度側を受け持つ装置として、大気化学や輻射過程にかかわる対流圏と成層圏の雲やエアロゾルを観測するための多波長ライダー(ミー散乱ライダー)を開発した。このライダーはポーカーフラットに今年中に設置される予定である。

2 レイリーライダー

レイリーライダーは1997年11月にポーカーフラットに設置された。システムの構成を図1に、仕様を表1に示す。送信レーザ光の波長はNd:YAGの2倍波532nmである。パルスレーザ光は10倍に拡大された後、ミラーによって鉛直方向に送信される。後方散乱光は口径61cmでF/3.1のニュートン式望遠鏡で集められる。視野は1.6mradと比較的広めに取っている。そのため、背景光は多いが軸の調整は比較的簡単である。

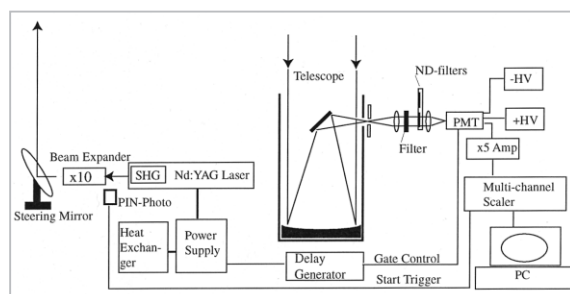


図1 レイリーライダーの構成

入射スリットを通った光は平行光にされ狭帯域フィルター、さらには較正実験や軸合わせ時には減光フィルターを通して検出器上に焦点を結ぶ。高度25kmまでの強い入射光から検出器の低ノイズ光電子増倍管を守るために電氣的なゲートを使った。レイリーライダーでは大気分子からの散乱光が観測され、中層大気の温度分布が導き出される。したがって、気温の観測の下限は成層圏エアロゾルが存在する上限高度である35km程度になる。

図2は1999年3月17日の観測での光子計数の高度分布である。25kmまではゲートがかかっているが、それでも強い反射光のため信号が少し見えている。25kmで検出器の感度は戻っているが、38km回りまでは計数が飽和している。また、120kmより上ではもはや信号は見られない。背景光成分を引いて、大気吸収を補正した後の計数値は(大気密度/距離の2乗)に比例しており、この計数値から静水圧平衡を仮定して温度分布を導き出すことができる[4]。我々はこの日の夕方、ポーカーフラットから50kmほど離れたフェアバンクスでオゾンゾンデを放球した。この時にレイリーライダーは20%の減光フィルターを使った観測をしており、計数が飽和しないようにした。ゾンデとレイリーライダーによる温度分布を図3に示した。二つの観測が重なる35km付近での相違は2K程度である。二つの観測における測定場所の違いや、短時間変動等を考えると一致はかなり良いといえる。

図4は1999年1月21日に観測した温度分布を並べたものである。図の中に幾つかの波らしき物が見えている。波の幾つかは下方に伝播しており、大気重力波が上に向かって伝播していることを示している。このようなデータはシステ

表1 ポーカーフラットのレイリーライダーシステム

Transmitter		Receiver	
Laser	Nd:YAG laser with SHG	Telescope	61cmΦ F/3.1
wavelength	532 nm		Newtonian
Output energy	550 mJ	Field of view	1.6 mrad
Repetition Rate	20 Hz	Height resolution	75 m
Pulse width	<7nsec	Detector	PMT(R3234-01)
Beam divergence	<0.1 mrad		

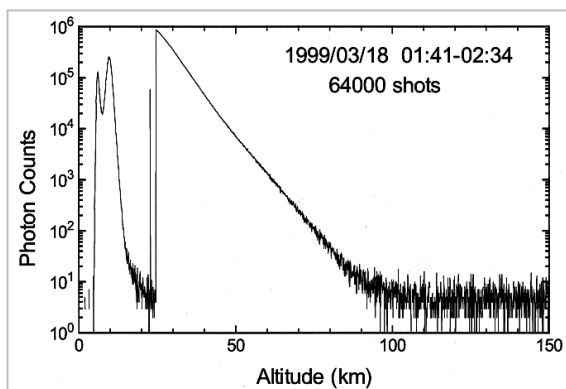


図2 53分間の積分による光子計数の高度分布

各時間分解能の500nsecが高度分解能の75mに相当する。

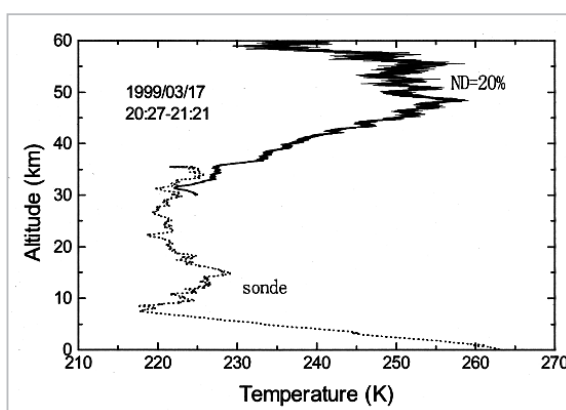


図3 レイリーライダーとラジオゾンデで観測した温度分布

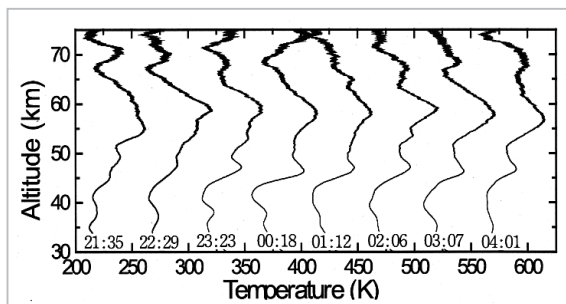


図4 1999年1月21日に観測された温度分布の時間変化

各プロファイルごとに50Kずらして表示してある。

ムが大气波動や大气潮汐を観測するのに十分な能力を有していることを示している。このシステムは北極域を取り巻くレイリーライダー観測網の大きな空白領域を埋めると同時に、ポーカフラットにおいて他の観測装置と共に中層大気の総合観測の一翼を担う。

3 レイリードップラーライダー

レイリードップラーライダーは大气分子によるレイリー散乱のドップラーシフトから風を、線幅の広がりから温度を測る装置である。温度分布はレイリーライダーでも得られるので、アラスカプロジェクトにおけるレイリードップラーライダーの目的は風を測ることである。システムの構成を図5に、仕様を表2に示した。レーザーの波長はNd:YAGの2倍波の532nmでレーザーパルスの繰り返しは30Hz、エネルギーは800mJである。I₂分子の吸収線を参照して波長を安定化した種レーザーを導入することで、レーザーはシングルモード発振をする。レーザー光は大口径可動鏡で打ち上げられ、反射光は同じ可動鏡で75cmニュートン式望遠鏡に向けられ、光ファイバー上に集光される。光ファイバーは光を隣室の分光器に導くとともに、光を一様にならす役割を果たす。ファイバーから出た光は一度チョッパー上で像を結んだ後平行光になり、安定化された口径15cm、間隔2.5cmのエタロンを通る。光ファイバーの干渉縞像は24チャンネルの等面積リング検出器上にできる。各チャンネルのカバーする周波数は300MHzに設定されており、フリースペクトルレンジの6GHzは十分検出器でカバーできるようになっている。

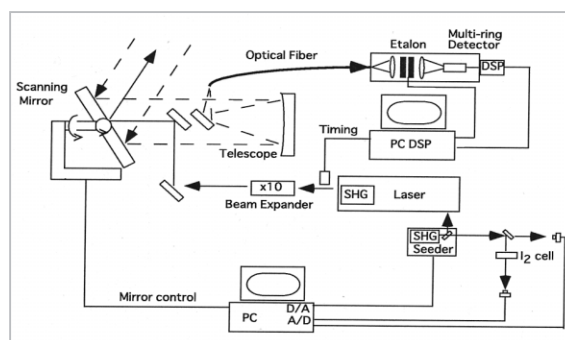


図5 レイリードップラーライダーの構成

後方散乱光の周波数ドップラーシフトは $\Delta\nu = 2\nu(v/c)$ と表せる。ここで ν はレーザー光の周波数、 c は光速、 v は風の視線方向(LOS)成分である。鉛直風は通常小さいので水平風の視線方向成分が観測される。例えば、可動鏡で天頂角30°にセットすると視線方向成分は水平風のちょ

表2 レイリードップラーライダーの仕様

Transmitter		Fabry-Perot Spectrometer	
Laser	stabilized Nd:YAG with SHG	Type	Capacitance-stabilized Etalon
Wavelength	532 nm	Working aperture	15 cm
Pulse energy	800 mJ	Etalon gap	25 mm (6 GHz FSR)
Repetition	30 Hz	Reflectivity	90%
Beam div.	<0.1 mrad	Detector	24 equal area ring detectors (1 channel= 300MHz)
Receiver Telescope		type	
Diameter	75 cm	Height resolution	200m
F-ratio	3.7		
Field of view	0.4 mrad		

うど半分になる。5m/sの水平風、つまり2.5m/sの視線方向成分が9.3MHzのドップラーシフトに対応する。これは検出器上の1チャンネルの1/30を測ることに相当する。レーザ光の線幅は約100MHzであり、その安定度は2MHz以下にできる[5]。大気分子のランダムな熱運動による線幅の広がり約2.5GHz (FWHM)である。そのような条件で観測精度を見積もると、10分の観測では高度43kmで5m/s程度の水平風測定精度が、2時間の観測では高度60kmで6m/s程度の水平風測定精度が得られる[6]。一方、ポーカーフラットではMFレーザの夜間の観測可能領域は68km以上の高度である[7]。MFレーダとレイリードップラーライダーの組合せで10kmから100kmの風の観測が可能になると考えられる。

4 多波長ライダー

多波長ライダーは大気中のエアロゾル、雲の高度分布を観測し、極域でのエアロゾル分布や雲分布の変動とその輻射過程や物理化学的役割の解明に役立つデータを提供する。アラスカに設置する多波長ライダー装置の配置を図6に、仕様を表3に示した。多波長ライダーではNd:YAGレーザの基本波(1064nm)と2倍波(532nm)を送信する。受信には対流圏用と成層圏用の二つの35cm口径望遠鏡を使う。対流圏では532nmのN₂ラマン(607nm)とH₂Oラマン(660nm)も観測し、雲やエアロゾルによる吸収量の補正や水蒸気密度の導出もできる。また、532nmでは偏光観測を行い、散乱粒子の非球形度を測定する。偏光観測とH₂Oラマン観測から対流圏エアロゾルと雲の分類や相状態の推定が可能となる。成層圏用には1064nmと532nmの2波長での観測を行

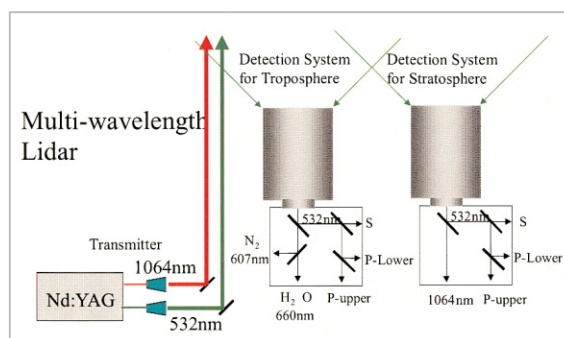


図6 多波長ライダーの構成

表3 多波長ライダーの仕様

Transmitter	
Laser	Nd:YAG Laser with SHG
Wavelength	1064nm 532nm
Receiver (Troposphere)	
Telescope	35cmΦ
Wavelength	532nm(P 2ch, S 1ch) 607nm (N ₂ Raman 1ch) 660nm (H ₂ O Raman 1ch)
Receiver (Stratosphere)	
Telescope	35cmΦ
Wavelength	532nm(P 2ch, S 1ch), 1064nm (1ch)

*Haze channel (532nm) 5cmΦ Telescope

い、波長分布から粒径分布を推定する。ダイナミックレンジを広げるため532nmでは対流圏用、成層圏用共に2チャンネルで観測を行い、最下層を観測するヘイズチャンネルと合わせて、対流圏から成層圏のエアロゾルや雲分布を五つの観測チャンネルでカバーする。これらの装置は2002年中にアラスカに運び観測を開始する。

多波長ライダーは成層圏の化学過程に影響を及ぼす成層圏エアロゾルの極域周辺部での振る舞いの解明や、対流圏でのエアロゾルと雲の分布観測から極域での輻射過程の研究に使われる。また、これらの装置はポーカーフラットに設置されているFTIRや赤外カメラによる大気放射観

測と協力して、放射収支に関してより多くの成果を上げることが期待される。

5 おわりに

ポーカフラットに設置されたレイリーライダーは北極域中層大気の温度分布の観測を行い、中間圏の反転層の特徴を描き出すなどの活躍をしている。また、中層大気の風を測るレイリードップラーライダーの開発が進んでいる。さらには、対流圏や成層圏の雲とエアロゾルを観測する多波長ライダーも開発され、2002年中にポーカフラットに設置される予定である。これらの装置と他のアラスカプロジェクトの観測装

置を組み合わせた総合観測が行われることになる。短期的には大気重力波や大気化学的な研究が注目されるが、長期的には温暖化の影響の現れやすい極域での大気構造の変化や放射収支の研究が興味深い。

謝辞

レイリーライダーの設置と運用に協力していただいたアラスカ大学フェアバンクス校のスタッフに感謝します。また、レイリードップラーライダーのファブリ・ペロ検出システムを製造したハブモア社のDr. D.Reesに感謝します。

参考文献

- 1 U.von Zahn, E.V.Thrane, and R.Skatteboe, "The Alomar facility: status and outlook", in Proc. 12th ESA Symp. On Rocket and Balloon Programmes & Related Research, ESA SP-370, 379-385, Lillehammer, Norway, 1995.
- 2 J.A.Whiteway and A.I.Carswell, "Rayleigh lidar observations of thermal structure and gravity wave activities in the High Arctic during a stratospheric warming", J.Atmos.Sci., 44, 1404-1410, 1994.
- 3 J.P.Thayer, N.B.Nielsen, R.E.Warren, C.J.Heinselman, and J.Sohn, "Rayleigh lidar system for middle atmosphere research in the arctic", Opt.Eng., 36, 2045-2061, 1997.
- 4 A.Hauchecorne and M.L.Chanin, "Density and temperature profiles obtained by lidar between 35 and 70km", Geophys.Res.Lett., 7, pp565-568, 1980.
- 5 D.Rees, M.Vyssogorets, N.P.Meredith, E.Griffin, and Y.Chaxell, "The Doppler wind and temperature system of the ALOMAR lidar facility: overview and initial results", J.Atmos.Terr.Phys., 58, pp.1827-1842, 1996.
- 6 K.Mizutani, T.Itabe, M.Yasui, T.Aoki, Y.Murayama and R.Collins, "Rayleigh and Rayleigh Doppler lidars for the observations of the arctic middle atmosphere", Trans.IEICE, E83-B,pp.2004-2009, 2000.
- 7 Y.Murayama, K.Igarashi, D.Rice, B.Watkins, R.Collins, K.Mizutani, Y.Saito, and S.Kainuma, "Medium frequency radars in Japan and Alaska for upper atmosphere observations", Trans.IEICE, E83-B,pp.1996-2003, 2000.



みず たに こう へい
水谷耕平

電磁波計測部門ライダーグループリー
ダー 理学博士
レーザーリモートセンシング



やす い ちと あき
安井元昭

電磁波計測部門ライダーグループ主任
研究員 博士(理学)
大気科学



いし い しゅう へい
石井昌憲

電磁波計測部門ライダーグループ研究
員 博士(理学)
レーザーリモートセンシング

むら やま やす ひろ
村山泰啓

電磁波計測部門北極域国際共同研究グ
ループリーダー 博士(工学)
中層大気環境の観測的研究

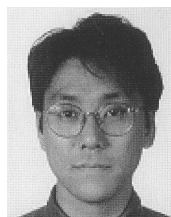
いた べ とし かず
板部敏和

基礎先端部門長 理学博士
レーザーリモートセンシング



あお き てつ お
青木哲郎

電磁波計測部門ライダーグループ主任
研究員 理学博士
光によるリモートセンシング、赤外線
天文学



さきの まさ ひこ
篠野雅彦

電磁波計測部門ライダーグループ専攻
研究員 博士(理学)
レーザーリモートセンシング



Richard L. Collins, Ph. D.

アラスカ大学フェアバンクス校
レーザーリモートセンシング