

コロラド州立大ナトリウムライダーとの中間圏・下部熱圏協同観測
Cooperative observation of the mesosphere and lower thermosphere
with the sodium lidar of Colorado State University

中村卓司¹、福島徹也¹、津田敏隆¹、C.-Y. She²、B. Williams²、D. Krueger²、W. Lyons³
T. Nakamura¹、T. Fukushima¹、T. Tsuda¹、C.-Y. She²、B. Williams²、D. Krueger²、W. Lyons³

¹京都大学・生存圏研究所、²コロラド州立大学・物理学科、³FMA 研究所

¹RISH・Kyoto University, ²Dept. of Physics・Colorado State University, ³FMA Research.

Abstract Collaborative studies of mesospheric and lower thermospheric dynamics on local airglow structure and global tidal structure have been carried out with the CSU sodium temperature-wind lidar at Ft. Collins and two airglow imagers, as well as the MU radar in Japan. These studies suggest that the temperature profiling capability and a good height resolution of the measurement is the superior feature of the sodium lidar.

1. はじめに

高度 50 – 150 km 付近の中間圏・下部熱圏(MLT)領域は、地表や対流圏などを起源とする下層からの変動、太陽活動に基づく超高層大気からの変動の両者の影響がいずれも強く、種々の時間空間スケールの変化に富む領域である。とくに、近年の観測で下層の積雲対流や海水温度などの変動が顕著にこの領域に影響することが明らかになっており、地上観測、衛星観測それにモデリングを多角的に活用してこの領域の構造・変動を研究することが盛んになっている。このような状況で、金属原子の共鳴散乱ライダーは、中間圏・下部熱圏の温度や風速を高高度・時間分解能で観測できる手段として注目されている。今回は、毎月定常観測を続けるコロラド州立大学のナトリウム温度風速ライダー[1]と京都大学・生存圏研究所の MU レーダーおよび大気光イメージャとの共同研究について報告する。

2. コロラドでの大気光イメージャとの協同観測

大気光は、夜間に中間圏から電離圏で起こる種々の化学反応（や電離気体反応）による発光である。90年代半ばから高感度の CCD カメラを用いた大気光のイメージングが各地で行われるようになり、イメージ画像から大気重力波の特性や運動量輸送などが研究されている。これらの画像の高度は、一般的なロケット観測結果が引用され、たとえば OH 大気光では高度 87 km、OI(557.7nm)大気光では 96 km とされるのが一般的である。一方で、UARS/WINDII などの衛星観測では大気光の高度は地方時や緯度で変化することが示されている[2]。従って、これらの大気光イメージ中の構造がどの高度であるか観測的に知ることは非常に重要である。このため、日本国内を中心にこれまで、東北大、CRL(現 NiCT)、名古屋大、京大などが大気光イメージャの 2 地点同時観測をおこなって大気光イメージの高度を三角測量的に計測することを行ってきた[3]。その結果、年周変化、重力波にとともなう数時間周期変化、地方時変化などが明らかになってきた。

本研究では、大気温度構造とくに大気安定度や風速などの背景場が大気光の構造の高度分布に影響を与えないかどうか調べるために、定常的に温度、風速のプロファイル観測を行っているコロラド州立大学の Ft. Collins にある 3 周波 Na 温度風速ライダーの周辺に約 60km の間隔で 2 台の OH 大気光全天イメージャ(一台はコロラド州立大学、もう一台は京大のイメージャ)を配置し(Fig.1)、同期させて 2 分ごとに大気光イメージを撮影し、2 分毎のイメージ中の大気光構造の高度を決定した。

2002年9月より観測を開始したが2002年11月に天気恵まれたイメージャ、ライダー同時観測が2晩観測された。Fig 2にこのうち11月19日の1晩の大気光構造高度とライダーで求めたブラントバイサラ振動数の2乗 (N^2)、リチャードソン数(Ri)の時間高度変化を示した。大気光構造の高度は一晩で大きな変化を示しており、通常の高さ87kmよりも低い。またとくに低くなっている時間は「リップル」と呼ばれる細かい波構造が見えている。さらに、ライダーで見た N^2 の小さい領域に大気光構造の高度が一致して変化していることが多く見られ、静的な大気安定度の小さいところに構造がよく見られることを示唆している。現在さらにデータを多く集めて検討を進める準備をしている。ただしコロラドで見られた構造は、日本で見られるものと比較して異なると考えられるところが多くあり、信楽など日本上空での温度ライダー、イメージャ同時観測により、中間圏界面領域の経度差を調べる必要があると考えられる。

3. 大気潮汐波の経度変化、短周期変化の日米協同観測

1日、半日およびその高調波の大気潮汐波は、太陽放射加熱を起源とする大気波動で、対流圏、オゾン層、熱圏などで励起され、MLT 領域では大気波動の中でももっともエネルギーが大きい。近年の観測やモデリングによる研究で、太陽非同期(Non-migrating)潮汐の成分がかなり大きいことや、数日から数十日の短期変動が大きいことが示されているが、これらの詳細は衛星観測では時間分解能、ライダー観測では空間カバレッジが不足しておりまだまだ観測的研究が不足している状態である。京都大学のMUライダーは流星観測モードで動作すると高度時間分解能 $1\text{km} \times 30$ 分の世界最高の流星ライダーとして高度80–100 kmの風速と拡散係数を観測できる[4]。一方、コロラド州立大学のナトリウムライダーも同様の時間高度分解能で85–105 kmの温度、風速を観測できる。これらの観測の特徴は、世界各地に点在するMFライダーや通常の流星ライダーに比べて、高度分解能の highかつ広い高度範囲の観測ができることであり、この特徴を利用して大気潮汐波の時間高度変化を経度約120度離れた中緯度の2地点(コロラド、信楽)で観測することを行った(Fig.3)。

Fig4にコロラドと信楽で1日周期潮汐(16–32h周期成分)、半日潮汐(8–16h成分)の時間高度変化を示す。特に注目される点は95km付近での1日潮汐波がコロラドと信楽で同時に強くなっている点で、日オーダーの潮汐の変化が120度離れた2地点で同期していることが示される。90 km以下の高度では複数のモードが混合しているようで複雑である。一方、半日周期の方は、若干高度が違うものの両地点で1日あたり6km程度上昇する波束として捉えられている。このように離れた両地点で24時間および12時間周期の波動が同じような性質で短期変動する様子が捉えられたのは初めてのことであり、潮汐のグローバルな構造全体が短周期で変動することを示唆している。

4. まとめ

以上、ナトリウムライダーの有効性について、中間圏・下部熱圏の温度観測という面でのMLT領域の局所的・また微細構造を捉える上での重要性、それと高度分解能のよい温度・風速観測という点で一般のMLTライダーに優る鉛直伝搬特性の解明といった点を今回は示した。これらの特性は、金属原子の散乱断面積が十分大きく、高度の高いMLT領域で高精度の力学観測ができることからきている。今後、日本でも種々の観測と組み合わせて高性能な金属共鳴散乱ライダー観測が行われることを期待する。

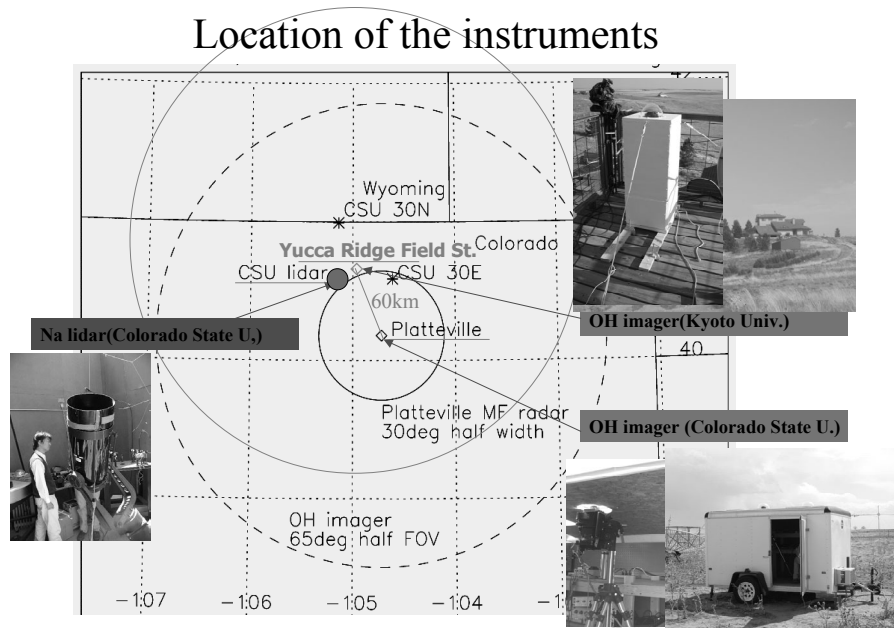


Fig. 1 Map of the sodium lidar of CSU and two imagers of CSU (Platteville and Yucca Ridge).

Estimated height (airglow) and atmospheric stability (lidar) November 19, 2003

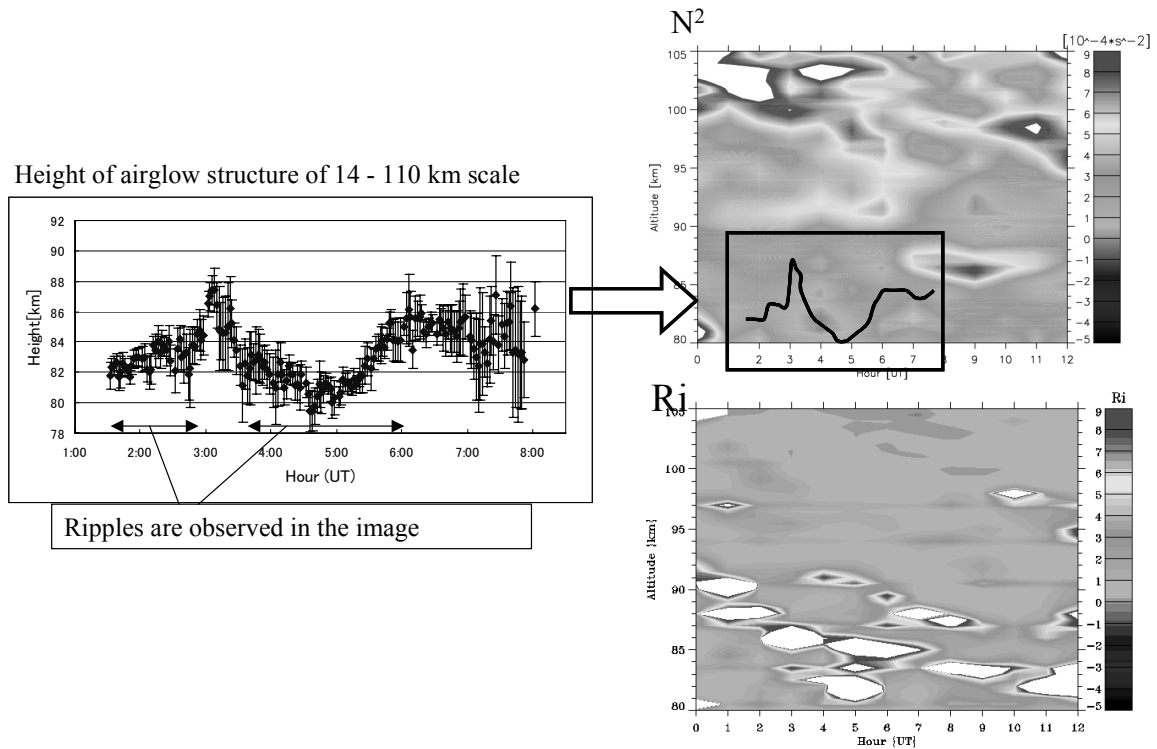


Fig. 2 Estimated OH airglow structure heights from the imagers observation (left) and Brunt Vaisala frequency squared (right top) and Richardson number (right bottom) observed with the sodium lidar. Note that sodium lidar data are with 1km x 1 hour resolution.

Location of lidar/radars

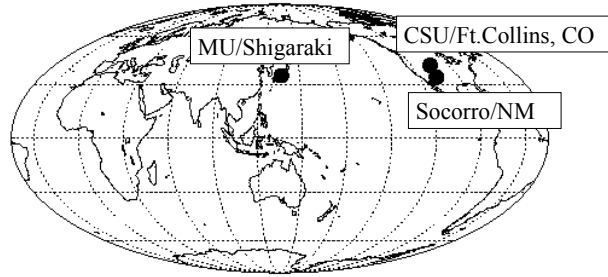


Fig. 3 Map of the MU radar (135E, 35N) and CSU sodium lidar (105W, 41N)

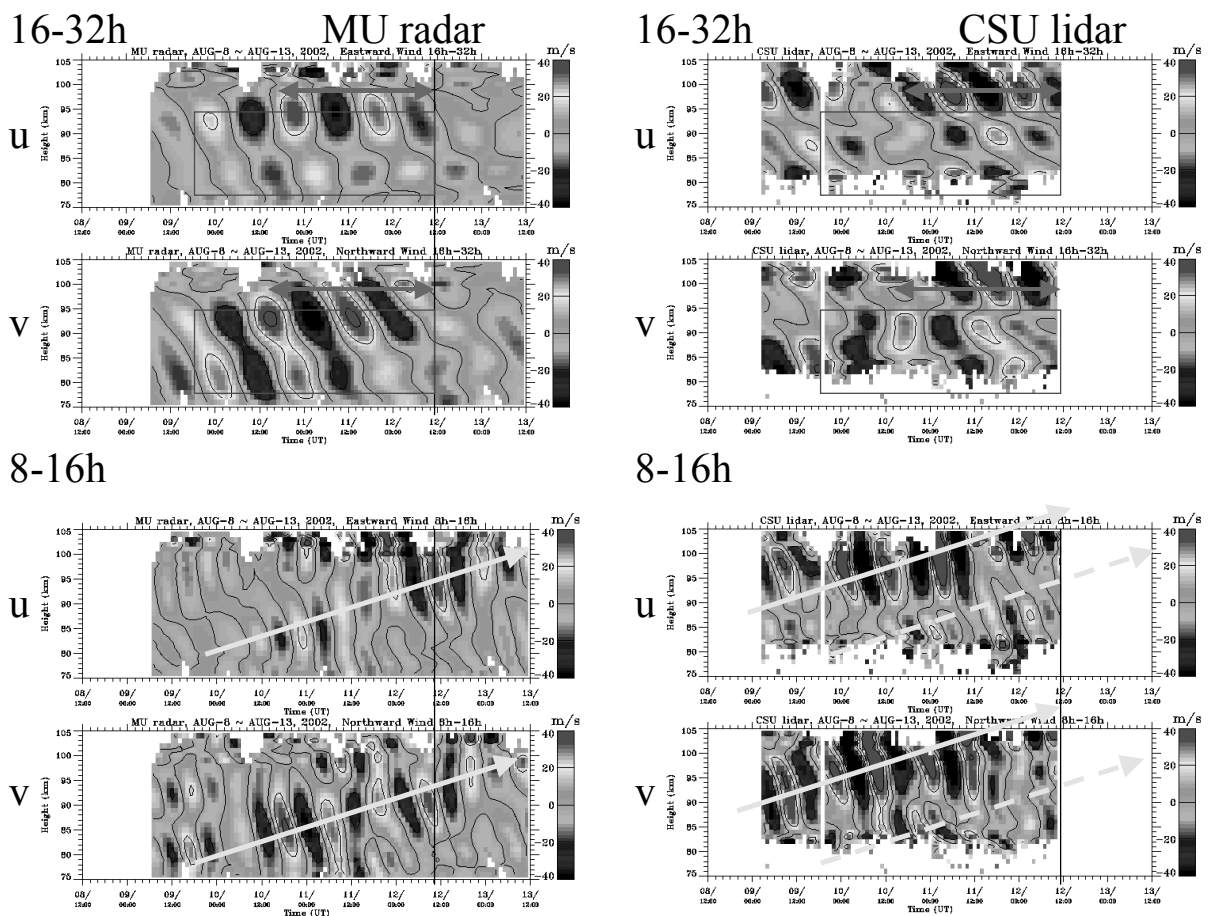


Fig. 4 Height time cross sections of the wind velocities over Japan (left) and Colorado (right) on August 9 – 13, 2002. Diurnal (top) and semidiurnal (bottom) components are extracted using the band-pass filters. Top and bottom panels in each figure are corresponding to zonal (u) and meridional (v) winds.

参考文献：

- [1] She et al., Geophys. Res. Lett., 30(6), 1319, doi:10.1029/2002GL016412,2003.
- [2] Zhang and Shepherd, Geophys. Res. Lett., 26(4), 529-532, 1999.
- [3] Kubota et al., Adv. Space Res., 24(5), 593-596, 1999.
- [4] Nakamura et al., J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 64, 947-958, 2002.