

中間圏界面温度観測用チタンサファイアライダーの開発 Development of the Ti:Sapphire lidar for mesopause temperature observation

柴田 泰邦、長澤 親生、阿保 真
Yasukuni Shibata, Chikao Nagasawa and Makoto Abo

東京都立大学大学院 工学研究科
Tokyo Metropolitan University

Abstract

The low and middle atmosphere over Indonesia in the western Pacific region plays a very important role in global atmospheric motions. However, the vertical temperature structure of stratosphere and mesosphere have not been well documented in the equatorial region. We have constructed the lidar facility for survey of atmospheric structure over troposphere, stratosphere, mesosphere and low thermosphere over Kototabang (100.3E, 0.2S), Indonesia in the equatorial region. The lidar system consists of the Rayleigh lidar for stratospheric and mesospheric temperature measurements and the resonance lidar for metallic species such as Na, Fe, Ca ion measurements and temperature measurements in the mesopause region. The laser system included in this lidar facility consists of three pulsed Nd:YAG lasers, a pulsed Ti:Sapphire laser seeded by a ring Ti:Sapphire laser and a dye laser. The development of the resonance lidar have been finished and test observations of metallic layers and the temperature in mesopause region is started in Japan. This paper reports the performance of the developed lidar system and the results of the test observations.

1. はじめに

我々は赤道直下のインドネシア・コタバン(100.3°E, 0.2°S)に地上から中間圏界面高度までの広範囲をカバーする大型高機能ライダーを設置し、赤道領域の定常大気観測を行う計画を進めている。赤道大気は太陽放射が地球上で最大となるため積雲対流活動が活発で、これに伴い各種の大気擾乱が励起され、地表近くから高度数百 km にいたる全ての高度域で強い上下結合をもたらす。これらはエルニーニョに代表される地球の気候・環境変動に直結する現象であり、赤道インドネシア域で特に顕著である。しかしながら従来の観測には限界があり多くの重要課題が未解決のまま残されている。各種の大気波動の立体構造および時間変化に関する様々な特性の把握には温度の高度分布の測定が有用であるが、成層圏から中間圏、熱圏下部の大気波動特性を明らかにするために必要な高度・時間分解能を持った温度計測にはライダーを用いるしかない。全ての高度範囲をカバーする温度測定用ライダーシステムは存在しないが、レイリーライダーおよび共鳴散乱ライダーを組み合わせるにより、より広い高度範囲に関する温度分布の測定が可能となる。

近年、中緯度の中間圏界面温度観測には、She et al. (1991)などが開発した狭帯域Naライダーが利用され、詳細な中間圏界面付近の温度構造が観測されるようになった。この狭帯域Naライダーは、メンテナンスが容易でないリング色素レーザーがキーデバイスとなっているが、インドネシアなどの遠隔地での自動観測には不向きであるため、新たに遠隔地での自動観測に適合したライダーの開発を行う必要がある。そこで、我々は全固体レーザーで観測可能なFe共鳴散乱ライダーによる中間圏界面温度観測用ライダーを開発した。光源には温度観測だけでなく、K(770nm), Fe(372nm, 374nm), Ca⁺(393nm)等の金属原子層の観測を行うため、波長可変

のTi:Sapphireレーザを採用した。現在、都立大構内において中間圏温度と各金属原子層の試験観測を順次行っている。今回は各種金属原子層の観測結果とFe共鳴散乱ライダーによる温度測定の結果について報告する。

2. チタンサファイアライダー

Fig.1 に開発したパルスNd:YAG第2高調波(5.0W@532nm)励起の高出力Ti:Sapphireレーザを示す。レーザスペクトル幅を狭帯域化するため、インジェクションシード法を用いている。シード光源はLD励起cw Nd:YVO₄第2高調波励起のcw Ring Ti:Sapphireレーザである。インジェクションでよく用いられるリアミラーからシード光を注入する方式では、複数の金属原子共鳴線にパルスTi:Sapphireレーザの波長を同調させた場合にシード光とパルス光の光軸が内部のプリズムによりずれるため、その都度シード光軸のアライメントが必要となることから多波長観測には不向きである。そこで、パルスTi:SapphireレーザのOutput Coupler (OC) からシード光を注入するインジェクション方法を採用した。これにより、パルス光の波長が変わってもシード光との光軸はずれることがない。また、共振器のリアミラーはインジェクションが常にかかるようフィードバック制御回路を付加したピエゾ素子(PZT)に取り付けた。Fig.2 にエタロンで見たパルス光のフリンジパターンを示す。インジェクションがかかったときのスペクトル幅 Δf_L は約160MHzとなり、フーリエ限界の約140MHzにほぼ近い値となった。レーザ出力は180mJ/Pulse@770nm, 55mJ/Pulse@372nmである。

これまでFe原子共鳴線を利用した中間圏温度測定用ライダーとしてFe原子の2つの共鳴波長(372nm, 374nm)を利用したボルツマンライダーが提案されているが、374nmの受光強度が372nmに比べ1桁ほど少ないため、高出力レーザの導入、高感度受光器や受光望遠鏡の大型化等による受光効率の向上が要求される。一方、我々はFeの共鳴線372nmの中心波長 λ_0 と共鳴線エッジ部分に同調したレーザ λ_1 を用い、2波長における散乱強度比の変化から温度を測定するシフト方式を提案している。シフト方式は波長同調精度が要求されるが、ボルツマン法に比べて高精度の温度測定が期待される。

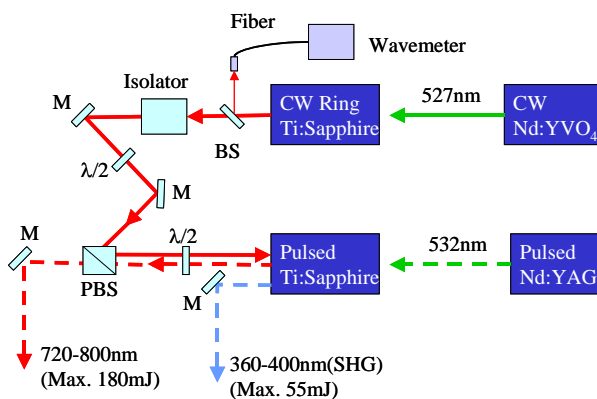


Fig.1 Block diagram of the Ti:Sapphire laser.

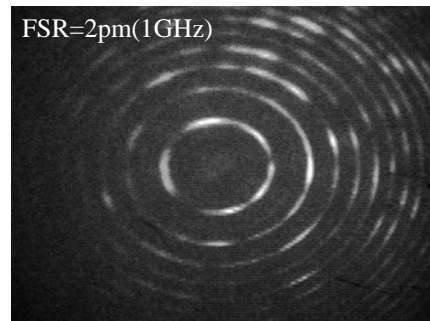


Fig.2 Etalon fringe pattern of the Ti:Sapphire laser. (Bandwidth = 160MHz)

3. 試験観測結果

・K 層

K 共鳴線へのシード光の同調は、K のホロカソードランプにシード光の一部を注入して得られる光ガルバノ信号が常にピークになるように波長を制御した。Fig.3 に K 原子の密度分布を示す。中緯度の K 原子密度は数十[個/cm³]と Na や Fe の密度に比べ 2 桁ほど少ないことが知られており、観測は困難であるが、高度 90km をピークに約 30[個/cm³]の K 層が観測された。また、2003 年 10 月 31 日には K 密度が 1 時間のうちに約 3 倍になる急激な変化が捉えられた。この原因はまだ不明であるが、Na や Fe に見られる幅数 km のスポラディック層とは形状が異なる。

・Fe 層および Na 層の同時観測

Ti:Sapphire レーザと色素レーザーを用い、Fe 層および Na 層の同時観測を行った。Fig.4 に観測結果を示す。Fe 層は Na 層に比べて層の幅が狭く、重心高度が低い。また、スポラディック Na 層とスポラディック Fe 層の生成高度および生成時間に相関は見受けられず、スポラディック金属層の生成理論を考える上で興味深い。スポラディック Na 層の生成原理の一つとして、周囲の温度変化により金属化合物が金属原子に化学変化することで生成されることが提案されているが、この理論が正しいとすると同じ温度場でも Na と Fe では化学反応過程が異なるため時間的な相関がないものと推察される。

・Fe 層温度観測

Fe 温度の試験観測は、Fe の共鳴線 372nm の中心波長 λ_0 と共鳴線の傾き部分に同調したレーザー λ_1 を用い、2 波長における散乱強度比の変化から温度を測定するシフト方式を用いた。Fig.5 に Fig.4 と同時刻に得られた Fe 層温度分布を示す。時間とともに中間圏界面付近の温度構造が変化している様子が見られる。

なお、これらの試験観測は口径 60cm の望遠鏡を用いて行ったもので測定精度が十分でないが、インドネシアに設置の際は複数の望遠鏡を用いることにより約 4 倍の精度向上が期待出来る。本システムは、日本での試験観測のあと 2004 年度中のインドネシアへの設置を予定している。

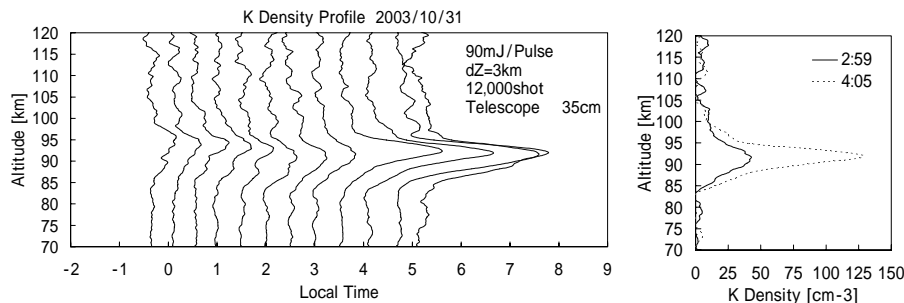


Fig. 3 Time series of K layers observed at Hachioji (2003/10/30-10/31)

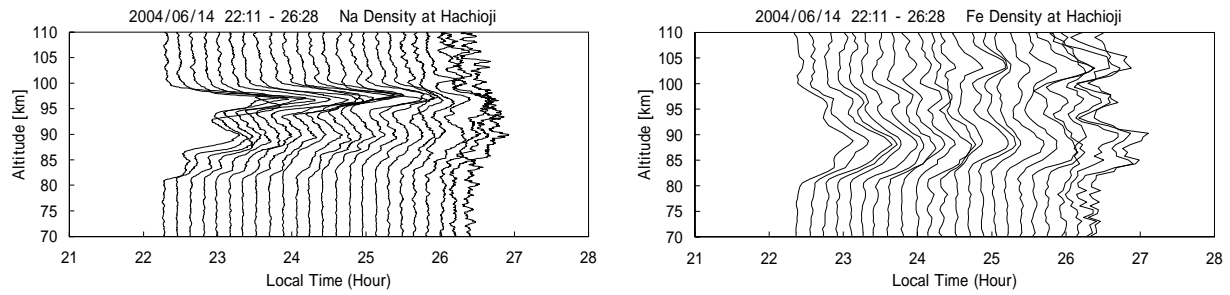


Fig. 4 Time series of Na layers ($\Delta z=300\text{m}$) and Fe layers ($\Delta z=1500\text{m}$) observed at Hachioji

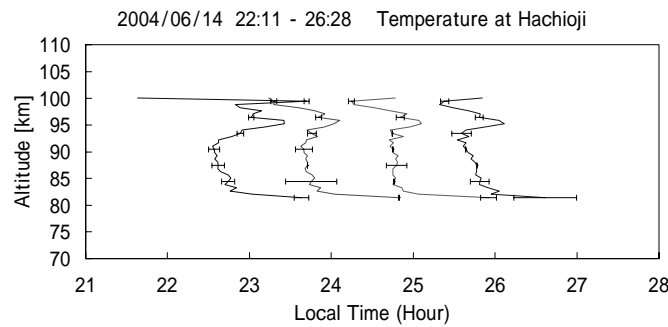


Fig. 5 Time series of Temperature profiles of the Fe layer at Hachioji

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金(特定領域研究「赤道大気上下結合」)により行われている。

(参考文献)

- 1) Hauchecorne, et. al., Geophys. Res. Lett., 7, 565-568 (1980).
- 2) She, et. al., Geophys. Res. Lett., 17, 929-932 (1990).
- 3) Megie, et. al., Planet. Space Sci., 26, 27-35 (1978).
- 4) Granier, et. al., Geophys. Res. Lett., 12, 655-658 (1985).
- 5) Nagasawa, et. al., Geophys. Res. Lett., 22, 263-266 (1995)
- 6) Jerry., et. al., Appl. Opt., 33, 7151-7156 (1994)