

Fe ライダーを用いた中間圏界面の温度観測システムの開発

Development of temperature observation system in the mesopause region using a Fe lidar

柴田泰邦、阿保 真、長澤親生

Yasukuni Shibata, Makoto Abo and Chikao Nagasawa

東京都立大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University

Abstract: We will install a high-power lidar in Indonesia and some observation will be performed; the temperature observation from the stratosphere upper part to a lower thermosphere, aerosol and water vapor observation, the metal atomic layer observation near the mesopause. It is thought that the behavior of the metal atomic layer which is closely related to temperature structure, wind field, ion or electron density in the mesopause differs from middle latitude. Then, temperature observation near the mesopause is planned by the resonance scattering lidar. The examination result of the temperature observation method by the resonance scattering lidar and the development state of affairs of the lidar system are reported.

1. はじめに

我々は 2001 年から 6 年計画で赤道直下のインドネシア・コタバンに地表から中間圏界面高度までの広い領域をカバーする“大型高機能ライダー”を設置し、赤道域での成層圏上部から下部熱圏までの垂直温度構造と中間圏界面近傍の金属原子層の観測、熱帯積雲対流活動などに重要な役割を担うエアロゾルや水蒸気の鉛直分布等のライダー観測を行う予定である。中間圏界面近傍において温度構造、風速場、大気波動、イオン・電子密度分布などに密接に関係する金属原子層やスボラディック金属層の生成・変動は、中緯度と大きく異なるものと思われる。そこで、熱帯中間圏界面近傍の温度観測および、Na、K、Fe、Ca、Ca イオン層の観測を行い、熱帯中間圏界面近傍の金属層や電離層のスボラディック E 層の生成機構の解明を行う。

今回は、赤道域観測用金属原子ライダーのうち、Fe 共鳴散乱ライダーによる温度測定法の検討結果と、大型高機能ライダーシステムの開発状況について報告する。

2. 中間圏温度測定用 Fe 共鳴散乱ライダー

Fig.1 に大型高機能ライダーのシステム図を示す。Na 原子観測は Nd:YAG 第 2 高調波励起の

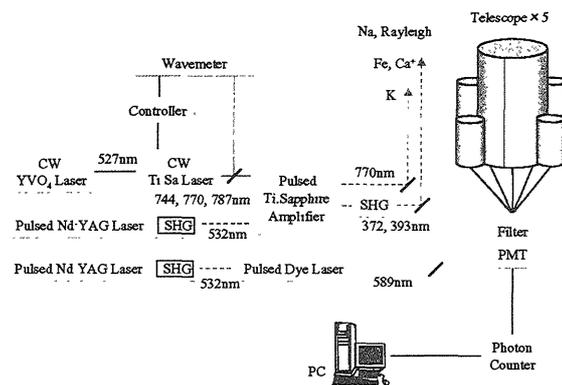


Fig.1 Out line of the lidar system

色素レーザー(589nm)を光源とする。K(770nm)、Fe(372nm)、Ca(422nm)、Ca イオン(393nm)層の観測は各金属原子の共鳴線波長で発振可能なTi:Sapphireレーザーの基本波および第2高調波を用いる。以下では、Fe原子を利用した温度測定用ライダーシステムについて述べる。

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(Boltzmann Lidar)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、数度以内の温度精度を短時間で得ることが難しい。そこで、我々はFig.2に示すようにFeの共鳴線372nmの散乱断面積の温度依存性が大きな中心周波数 ν_0 と約2GHz離れた温度依

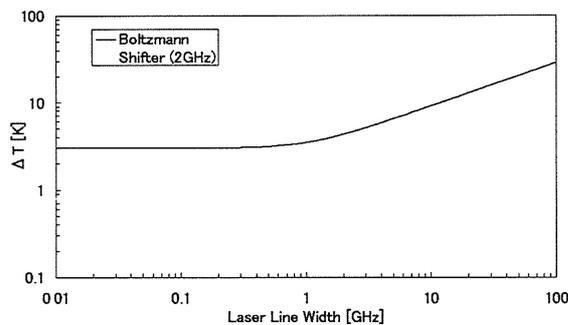


Fig.3 The compare with temperature measurement error of the Boltzmann lidar and the Shift technique

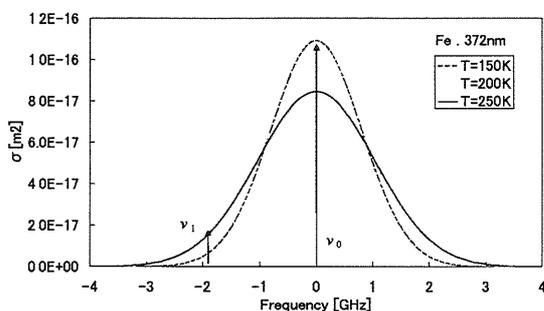


Fig.2 Fe resonance spectrum

存性が ν_0 と逆関係の共鳴線エッジ部分に同調したレーザー ν_1 を用い、2波長における散乱強度の比から温度を測定するシフト方式を提案する。Fig.3にレーザー線幅に対するボルツマンライダーとシフト方式の測定精度の比較を示す。Fig.3の計算で用いたライダーパラメータはレーザー出力50mJ、積算回数18000×2、スペクトル幅150MHz、距離分解能1000m、望遠鏡直径80cm、量子効率40%、光学系効率30%、Fe密度 $2 \times 10^{10} \text{m}^{-3}$ とした。同じスペックのライダーシステムを用いた場合、ボルツマンライダーに比べシフト方式は約4倍測定精度が向上する。しかし、レーザーの線幅が広がると、Feの有効散乱断面積が小さくなることからSNが悪化し、測定精度が悪くなる。

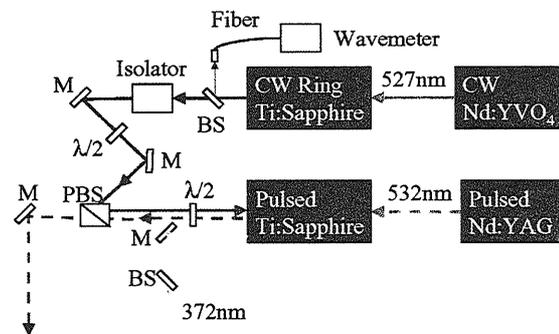


Fig.4 The optical diagram of the Ti:Sapphire laser.

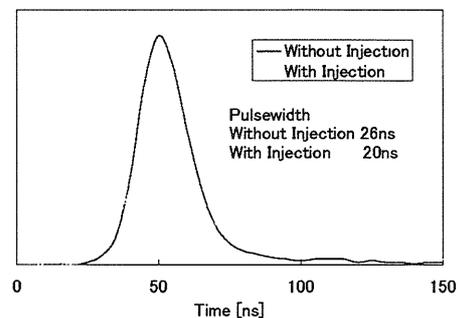


Fig.5 Pulse widths of the Ti:Sapphire Laser

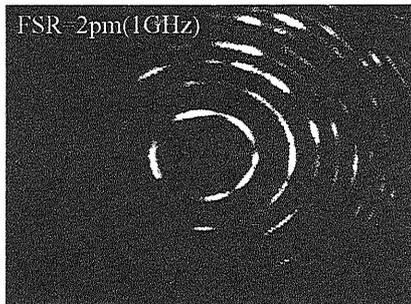


Fig.6 The etalon fringe pattern of Ti:Sapphire laser. linewidth = 0.32pm (160MHz)

3. 試作した小型Ti:Sapphireレーザの諸特性

レーザスペクトル幅の狭帯域化や安定度を実験的に評価するため、パルス Nd:YAG 第 2 高調波励起の小型 Ti:Sapphire レーザを試作し、諸特性を調べた。Fig.4 に小型 Ti:Sapphire レーザのブロック図を示す。シード光源は LD 励起 Nd:YVO₄ 第 2 高調波励起の 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は、パルス Ti:Sapphire レーザの波長を変えると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、今回はパルス 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、共振器長の制御はリアミラーに取り付けたピエゾ素子(PZT)で行った。

Fig.5 にパルス時間波形を、Fig.6 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フーリエ限界スペクトル

幅 Δf_L は約 140MHz となり、Fig.6 からインジェクションがかかったときの線幅は約 160MHz と、ほぼフーリエ限界に近い線幅が得られた。また、770nm におけるレーザ出力は 22mJ/Pulse であった。

4. Fe 層および K 層密度観測

試作した小型 Ti:Sapphire レーザを用いた基礎実験として、中間層 Fe 層と K 層の密度観測を行った。Fe の共鳴線 372nm は Ti:Sapphire レーザの第 2 高調波を、K の共鳴線 770nm は Ti:Sapphire レーザの基本波を用いた。観測時のライダーシステムパラメータを Table 1 に示す。Fe 共鳴線へのレーザ波長同調は、372nm パルス光の一部を Fe のホロカソードランプに注入し、Fig.7(a)の光ガルバノ信号が常にピークになるよう波長を制御した。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 Fig.7(b)の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.8 に高度に対する Fe および K の密度分布を示す。Fe 層の原子密度は一般に言われている密度の半分

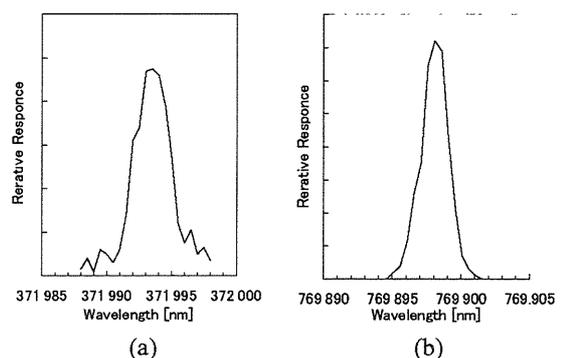


Fig.7 Optogalvanic signals by hollow cathode lamp of Fe and K.

以下の値となった。これは、レーザ波長の同調精度やインジェクション効率に問題があったためである。また、一般に K 層の原子密度は小さく、観測は困難であるが、高度 90km をピークに幅約 10km の K 層が観測された。

Table 1 Lidar parameters

| | |
|--------------------|--------------------------|
| Pulse Energy | 4mJ@372nm 22mJ@770nm |
| Linewidth | 160MHz |
| Telescope Diameter | 35cm |
| FOV | 2mrad |
| ShotNumber | 72,000 (Fe) 9,000 (K) |
| Range resolution | 2.6km (Fe) 3.0km (K) |

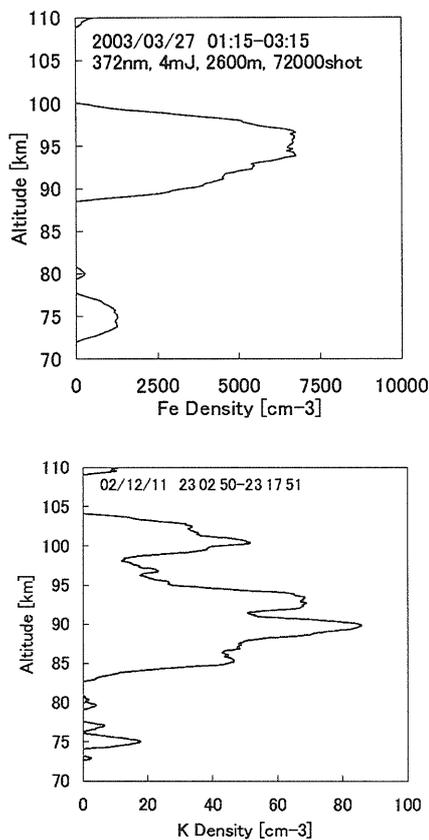


Fig.8 Fe density profile and K density profile.

5. まとめと今後の課題

赤道域観測用金属原子ライダーのうち、Fe 共鳴散乱ライダーによる温度測定はレーザスペクトル幅の狭帯域化とレーザ周波数の安定度が測定精度向上の鍵となる。レーザスペクトル幅の狭帯域化は、インジェクション技術を用いることで温度測定に要求される数百 MHz 以下の狭帯域化が可能である。以上の検討結果の検証とインジェクション技術開発の目的で、小型 Ti:Sapphire レーザを試作し、性能を評価した。Output Coupler からシード光を注入することで任意の波長におけるシード光の光軸調整が不要となった。インジェクションによりスペクトル幅は 0.32pm(160MHz)に狭帯域化し、温度測定において十分狭い線幅が得られた。

試作した Ti:Sapphire レーザを用いて中間圏 Fe 層と K 層の密度観測を行い、それぞれ金属層の観測に成功した。

《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)