

中間圏界面における Ca イオンと中性金属原子層の同時観測

Simultaneous observations of Ca ion and neutral metal atomic layers in the mesopause

○柴田泰邦、長澤親生、阿保 真

Yasukuni Shibata, Chikao Nagasawa and Makoto Abo

首都大学東京 システムデザイン学部

Tokyo Metropolitan University

Abstract: Many observations of metal atomic layers such as Na, Fe, K, Ca and Ca ion in the mesopause range are performed in many parts of the world. We have also observed Na, Fe, K and Ca ion layers at Tokyo and Indonesia using resonance scattering lidars with a dye laser and a Ti:Sapphire laser. However, since the output power of the Ti:Sapphire laser is weak, we cannot get data of good quality. Since the Ti:Sapphire laser which we are using has a low damage threshold of a crystal, it is difficult to improve the output average power. In order to solve the formation mechanism of metallic sporadic layers, the simultaneous observation of Ca ion and the neutral metal atom is necessary. We discuss about using the 2nd harmonics and the 4th harmonics of a high-power 1.57 μ m OPO laser for the scattering lidar.

1. はじめに

高度 100km 付近の中間圏界面付近に成層する Ca イオンや Na, K, Fe, Ca といった中性金属原子の観測が世界各地で行われ、この領域の気体・イオン化学反応過程や力学的構造に関する貴重な情報が得られるようになった。我々は、色素レーザを光源とする Na 共鳴散乱ライダー(589nm)、可変波長の Ti:Sapphire レーザを光源とする K (770nm), Fe (372nm), Ca イオン (393nm) の観測を、東京とインドネシアで行ってきた。特に、Na 層観測から、厚さ 2~3km で突発的に発生するピーク密度の高いスポラディック Na 原子層 (Nas) の生成・変動は、赤道領域と中緯度では大きく異なることが分かってきた[1]。金属原子層は中間圏界面近傍の温度構造、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。スポラディック Na 原子層 (Nas) の発生機構は、まだ未解明な多くの部分を含んでいる面もあるが、中低緯度における電離層のスポラディック E 層 (Es) がインドネシアに伴い発生し、Nas はインドネシアによって Na イオンが集まり、それが Na 原子のソースになるとの説が提唱されている。一方、ライダーによる金属イオンの観測は、唯一共鳴波長が観測可能な波長域にある Ca イオンが行われているのみである。高緯度における Ca 原子と Ca イオン層のライダー同時観測では、Ca 原子層は平均 87km の高度に定常的に存在したが、Ca イオン層は定常的に出現せず、90-120km の高度に Sporadic 層が時折観測されている[2]。Ca イオンから Sporadic Ca 原子層への変遷は、観測事例が少なくまだ不明な点が多い。

我々も中緯度において、Na 層と Ca イオン層のライダー同時観測の準備をすすめている。東京での Ca イオンの観測例を Fig.1 に示す。しかし、現有の Ti:Sapphire レーザは結晶のダメージ閾値が低く、高出力化、高繰り返し化が難しいため、特に紫外光を使う観測において質のよいデータを得ることが難しい。そこで、我々が開発した CO₂DIAL 用の波長 1.57 μ m OPO レーザの第 2 高調波、第 4 高調波をこれら金属原子・イオン層観測の光源としての活用可能性について検討する。

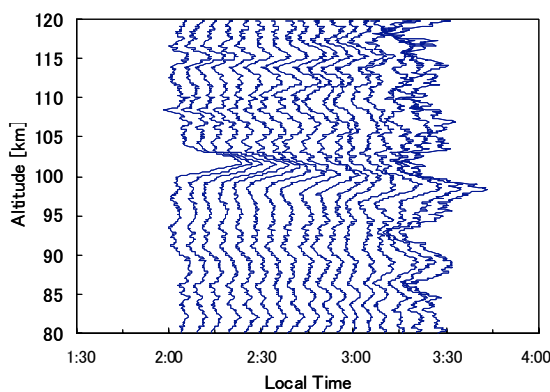


Fig.1 Example of Ca ion layer observed at Hino, Tokyo (14 June, 2008).

3. OPO レーザの共鳴散乱ライダー用光源としての可能性

Ti:Sapphire レーザは、ランプ励起 Nd:YAG レーザの第 2 高調波(SHG)で励起し、基本波または SHG の波長を各共鳴波長へ同調している。各レーザの出力と基本波からの波長変換率を Table1 に示す。波長変換効率は Ti:Sapphire 基本波で 10%、Ti:Sapphire SHG で 2.2%である。現状では、密度が少ない K, Ca イオンを観測するには出力が十分でない。共鳴波長での出力向上のため、励起出力を上げる方法が考えられるが、Ti:Sapphire 結晶のダメージ閾値との兼ね合いで、今以上の励起パワーの注入が困難であり、波長変換効率の大幅な改善は期待できない。そこで、Ti:Sapphire レーザに替わり、CO₂DIAL 用に開発した

1.57 μ m OPO レーザの高調波の利用を考える。第2高調波は786nmで波長を振ることで770nmのK共鳴線へ、第4高調波は393nmで、Caイオン共鳴線へ同調可能である。

光パラメトリック発振は、非線形結晶の非線形効果を利用し、入力レーザー周波数 ν_p を分割した2周波数 ν_s, ν_l ($\nu_s + \nu_l = \nu_p$)の光を発生させる波長変換法である。短波長(ν_s)をシグナル光、長波長(ν_l)をアイドラー光と呼び、結晶の角度、温度、励起波長などを変えることで出力波長を自在に変えることができる。OPO(Optical Parametric Oscillator)レーザーは、結晶の透過特性と共振器鏡の反射特性で発振波長範囲を決めることができる。

Fig.2に開発したLD励起Q-sw Nd:YAGレーザー(1064nm)励起OPOシステムを示す[3]。非線形結晶にはPPMgSLT(周期分極反転MgSLT)を用い、シグナル光1572nmを得ている。200Hzの繰り返しを実現するため、LD励起Nd:YAGレーザーを使用している。励起出力40mJ/pulse @200Hzに対し、1572nmの出力は10.2mJ/pulseを得ている。また、パルス幅は20ns、線幅は110MHzで、共鳴線幅と比べて十分狭いスペクトルである。発振波長はOPO結晶の温度を制御することにより1572~1584nmの範囲で可能である。

Nd:YAG励起出力を80mJ/pulse@200Hz、第2~4高調波の変換効率を40%と仮定した場合のレーザー出力の見積もりと波長変換率をTable2に示す。OPO SHGの波長変換率は、Ti:Sapphire基本波の波長変換効率と同じであるが、平均出力はOPOの方が約2.7倍大きい。OPO第4高調波(FHG)の波長変換率は1.6%とTi:Sapphire SHGの波長変換効率2.2%より劣るものの、平均出力はTi:Sapphireの2倍を得る。よって、OPOレーザーを共鳴散乱ライダーの光源に用いることによって、Na(色素レーザー)、Fe(Ti:Sapphire)、CaイオンorK(OPO)の同時観測が可能となる。

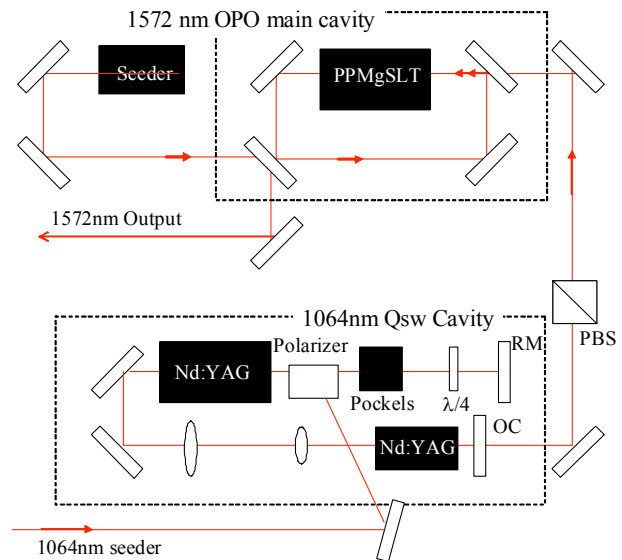


Fig.2 Block diagram of the PPMgSLT OPO laser system.

Table 1. Characteristics of the Ti:Sapphire laser output.

	Nd:YAG 1064nm	Nd:YAG 532nm	Ti:Sapphire 770nm	Ti:Sapphire 393 / 372nm
Energy (10Hz)	600mJ	300mJ	60mJ	13mJ
Average Power	6.0W	3.0W	0.6W	0.13W
Efficiency		50%	10%	2.2%

Table 2. Characteristics of the OPO laser output estimation.

	Nd:YAG 1064nm	OPO 1572nm	OPO SHG 786nm	OPO FHG 393nm
Energy (200Hz)	80mJ	20mJ	8mJ	1.3mJ
Average Power	16.0W	4.0W	1.6W	0.26W
Efficiency		25%	10%	1.6%

4. まとめ

共鳴散乱ライダーの光源として利用しているTi:Sapphireレーザーに替わり、1.5 μ m帯OPOレーザーの利用可能性について検討した。現有のTi:Sapphireレーザーより数倍出力を向上させることが可能であることが分かった。OPOレーザーにAMP段を追加して高出力化することにより、Ti:Sapphireレーザーに替わる共鳴散乱ライダー用光源としての新たな利用価値が生じるものと期待される。

参考文献

- [1]Y. Shibata et al., J. Meteor. Soc. Japan, Vol.84A, pp.317-325, 2006.
- [2] M. Gerding, et al., Annales Geophys., 19, pp 47-58, 2001.
- [3]D. Sakaizawa et al., Reviewed and revised papers presented at 24th ILRC, pp 683-684, 2008.