

半導体レーザーを用いた長期モニタリング観測用共鳴散乱ライダーの開発

阿保 真、小祝 翔、柴田泰邦、長澤親生
首都大学東京大学院システムデザイン研究科

Resonance scattering lidar for the mesospheric metallic layer monitoring using CW laser diode

Makoto Abo, Sho Koiwai, Yasukuni Shibata and Chikao Nagasawa
Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

Many resonance scattering lidar observations of metal atomic layers such as Na, Fe, K, Li and Ca in the mesopause region have been conducted in many parts of the world including the polar region. Generally a resonance scattering lidar consists of a high-power flash-lamp pumped pulsed laser such as an Alexandrite laser, but we propose the resonance scattering lidar system consisting of the continuous-wave laser such as a diode laser. Feasibility study of pseudorandom modulation continuous-wave (PMCW) Na lidar for the mesopause-region temperature and wind measurements has been already carried out, but a high power CW laser for Na observation (589nm) is difficult to get. We propose diode laser based PMCW resonance scattering lidar for long-term monitoring of the mesospheric K layer in Syowa station. Using the PMCW lidar system with laser power of 1.5W (@770nm), telescope aperture of 50cm, range-resolution of 1km, and accumulation time of 30min, the K density error will be 6% at altitude of 91km (K layer peak). We are building the PMCW K lidar system for measurements of the K density profiles.

高度 90km 付近の中間圏界面領域に成層する Na, K, Fe, Ca 等の金属原子層はこの高度領域の気体・イオン化学反応過程や力学的構造に迫るための貴重な情報源となっており、極域を含む地球上のより多くの地点での観測が求められているが、その観測点はまだ十分とはいえない。金属原子共鳴散乱ライダーには、一般に金属原子の共鳴散乱波長に正確に同調することが可能で高出力のパルスレーザーが必要である。現在、昭和基地における南極観測第 VIII 期重点研究観測では、フラッシュランプ励起アレキサンドライトレーザーによる多波長共鳴散乱ライダー観測の準備が進行中であり、K(770nm)、Fe(386nm)、Ca⁺(393nm)、N₂⁺(390-391nm)の4種の原子とイオンを狙い、高度 80km 以上の大気温度、原子やイオンの分布など、大気圏と電離圏の結合過程を詳細に観測する予定である。しかし、この観測のためにはレーザー装置のメンテナンスのために専門的知識や技術を要した観測要員が必要となり、観測期間を長くとることは運用上困難である。

一方、近年半導体レーザーおよび波長変換技術の進歩によって、高出力 CW レーザーを用いたライダーシステムが注目されている。半導体レーザーベースの CW レーザーを用いることで、①電気-光変換効率が改善されるため小型化・省電力化が可能である、②半導体レーザーの寿命が 1 万時間以上と高寿命であり、ピークパワーが低いため光学部品のダメージが起こりにくくメンテナンスが容易である、という特徴がある。このため、CW 半導体レーザーベースの共鳴散乱ライダーが実現できれば、中間圏界面領域の長期間モニタリング観測が可能となる。しかし、CW レーザーはピーク出力が低いため、そのままパルス変調したのでは十分な平均パワーを得ることができない。そこで我々は擬似ランダム変調を用いた共鳴散乱ライダーを提案しており、Na を用いた中間圏界面の気温と風の測定についてのシミュレーションによる検討をすでに行っている (She et al. 2011)。しかし Na の共鳴波長 589nm の生成には波長混合が必要であるため光源の入手が容易ではなく、実験はまだ行われていない。それに対し、K の共鳴波長 770nm は直接半導体レーザーから得ることが可能であり、さらに最近では高出力の Tapered Semiconductor Optical Amplifier の入手も可能となってきた。そこで我々は擬似ランダム変調を用いた K 共鳴散乱ライダーを提案し、その実現可能性について検討した。

擬似ランダム変調方式ではすべての高度の散乱信号を同時に受信するため、90km 付近にある金属原子層からの共鳴散乱光に対して非常に大きい信号となる、観測には不要な低高度のレイリー・ミー散乱信号を受信しないようにレーザーと受信視野の重なり関数を調整する必要がある。現時点で実証実験が可能で、レーザー出力 1.5W (@770nm)、望遠鏡口径 50cm、のシステムで、高度 30km 地点でレーザーと受信視野が重なるように設定し、夜間で、距離分解能 1km、積算時間 30 分としたときに、K 層のピークである高度 91km で 6%、密度がピークの半分となる高度 86km で 10%以下の測定誤差で密度測定が可能であることがわかった。現在実際のレーザーシステムを構築し、レーザーと受信視野の重なり調整などの実験を行い、K 層測定の準備を行っている。

Reference C. Y. She et al, Mesopause-region temperature and wind measurements with pseudorandom modulation continuous-wave (PMCW) lidar at 589 nm, Appl. Opt., Vol.50, No.18, 2916, 2011.