

成層圏エアロゾル測定用高スペクトル分解ライダーの開発

Development of an Iodine absorption based High Spectral Resolution Lidar for Stratospheric aerosol monitoring

織田伸和¹, 佐藤佳宏¹, 川崎昌博¹, 杉本伸夫², 松井一郎², 中根英明²
Nobukazu ODA¹, Yoshihiro SATO¹, Mshiro KAWASAKI¹, Nobuo SUGIMOTO²,
Itirou MATSUI², and Hideaki NAKANE²

1 北大院地球環境・北大電子研, 2 国立環境研

1 Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido Univ.
/ Research Inst. for Electolon Science Hokkaido Univ.

2 National Institute for Environmental Studies

Abstract

We develop a High Spectral Resolution Lidar (HSRL) that uses an Iodine absorption filter and tunable, narrow bandwidth Nd:YAG laser. We use iodine molecular cell as a narrow band blocking filter for rejecting Mie scattering component in lidar return signal. Using this technique, we can determine backscattering coefficient and extinction coefficient of aerosols without assumptions.

1. はじめに

近年, 大気環境計測の手法として様々なライダー(レーザーライダー)が使われている。一般にライダーで得られる信号には2つの強い散乱光成分が含まれている。一つはエアロゾルによる Mie 散乱, もう一つは大気構成分子による Rayleigh 散乱である。ライダー方程式には後方散乱係数と消散係数の二つが未知数として含まれ, それぞれにエアロゾルと分子の寄与がある。分子の Rayleigh 散乱は理論的に記述されるが, エアロゾルについては後方散乱係数と消散係数の関係が一般にわからないためライダー方程式を厳密に解くことができない。そこで, 後方散乱係数と消散係数の比例関係を仮定し, それが空間的に一定であるという仮定をしてライダー方程式を解く方法などが使われている。しかし, 火山噴火後の成層圏エアロゾルなどでは高度毎に性質が異なることが知られており, このような仮定は厳密には正しくない。

本研究では, ライダー信号光を高分解で分光することによって, Mie 散乱と Rayleigh 散乱を分離して測定できる高分解能ライダーを開発している。分光素子としてセルに封入したヨウ素分子の吸収線を利用したフィルターを用いる。送信レーザー光が単一波長である場合, Mie 散乱成分はエアロゾルの運動速度すなわち風速に相当するドップラーシフト(～ MHz)を持つ。これに対して, Rayleigh 散乱成分は分子の運動速度すなわち音速程度に相当するドップラー幅(～ GHz)を持つ。従って, GHz以下の鋭い構造を持つフィルターを使えばこれら2成分を分離することができる。ライダー信号の Mie 散乱と Rayleigh 散乱成分を分離することによって, 大気分子の高度分布のみを仮定してライダー方程式を解くことが可能となり, エアロゾルの定量測定が可能となる。¹⁾

2. レーザーおよびヨウ素分子フィルターの特性

レーザーは、Nd:YAGレーザー (COHERENT社, Infinity 40-100)の第二高調波 (532nm) を用いる。このレーザーは半導体レーザー励起のQスイッチYAGリングレーザーをマスターオシレータとし、フラッシュランプ励起のアンプで増幅する構成を持ち、アンプ段の中央で位相共役ミラーを用いてビームを折り返し、アンプ段における波面の乱れを補償している。マスターオシレータの温度を制御することによって波長掃引が可能である。レーザーのスペクトル幅は約 300MHz である。

ヨウ素フィルターは長さ20cm, 内径5cm のパイレックス製のセルを真空に引き、固体のヨウ素を封入したもので、蒸気圧は室温 (30° C) で 0.47 Torrである。

Fig. 1はレーザーを掃引してヨウ素セルの吸収を測定したものである。横軸はマスターオシレータの温度で波長に対応している。ヨウ素分子は図に見られるようにYAG レーザーの第二高調波の波長帯に鋭く強い吸収線を持っている。吸収測定と同時にレーザー光のエタロンフリンジを観察し、マスターオシレータのモードホップを調べた。この結果、図中の矢印のところでモードホップが起こっていることがわかった。モードホップの間隔は約 10GHz であった。また、マスターオシレータの温度設定の1ステップでレーザーの周波数が約 130MHz (0.004cm^{-1}) 変化した。観測された吸収線の間隔から強い2本の吸収線はそれぞれ、1110と1111 (Gerstenkorn and Luc, 1978²⁾による表記)と同定された。また、線幅は約 1 GHz (0.03cm^{-1}) で、Mie散乱をブロックして、Rayleigh 散乱成分を取り出すためのフィルターとして利用できることがわかった。

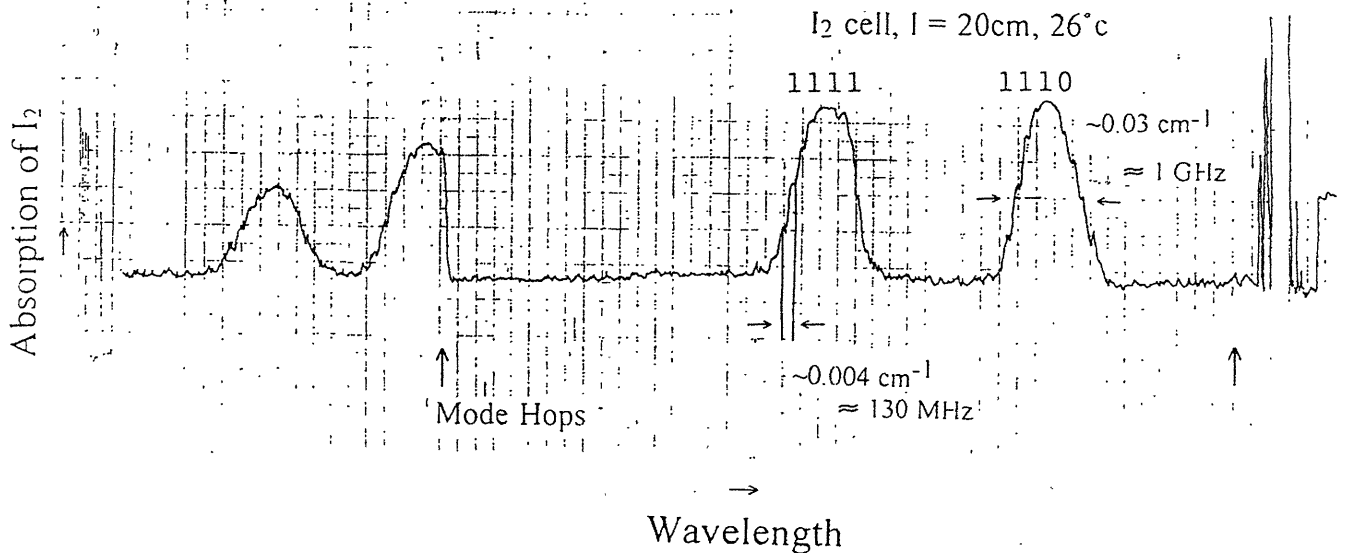


Fig.1 Absorption spectrum of I_2 .

3. ライダーシステムの設計

高スペクトル分解ライダーシステムの構成をFig.2 に示す。レーザー光はビームエクspanderで5倍に拡大して送信される。レーザー光の一部は後述する波長モニター装置に送られる。

ライダー信号光は、受信望遠鏡で集光した後、干渉フィルターにより背景光をカットし、一部を光電子増倍管 (PMT) 1 によって検出する。残りの受信光はヨウ素セル a を通過し Mie 散乱をブロックした後、PMT2 で検出する。すなわち、PMT1 では受信信号のうちの Mie 散乱および Rayleigh 散乱の両方を検出する。また、PMT2 では Rayleigh 散乱成分のみを検出する。PMT2 の後のフィルターはヨウ素セルの蛍光を取り除くためのものである。PMT (浜松ホトニクス社製 H4915) からの信号はそれぞれフォトンカウンターで計測する。得られたデータは IBM-PC を用いて収集し、データの解析もこれを用いて行う。

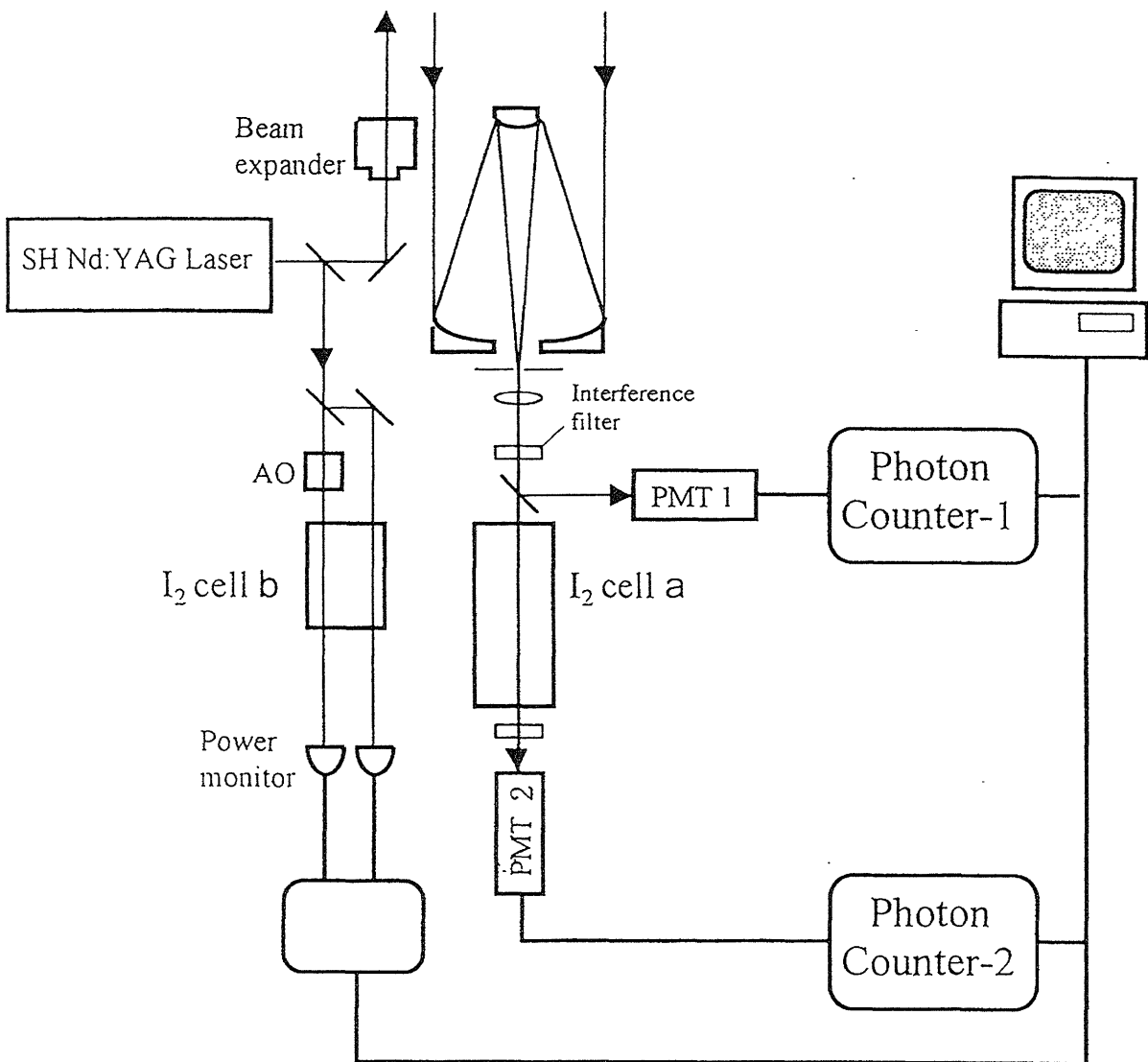


Fig.2 Schematic diagram of the high spectral resolution lidar.

測定では、レーザー送信光をヨウ素の吸収線に同調し、その波長を保つことが必要である。そこで、レーザー波長をモニターしてレーザー波長を制御するための種々の方法を検討した。当初、吸収スペクトルの中央にレーザーを同調するために飽和分光スペクトルを利用することを検討し、スペクトル測定を試みた。しかし、ヨウ素の吸収線は多数の超微細構造から構成されており、パルスレーザー（波長幅300MHz）ではこれらを分解できないことがわかった。そこで、吸収スペクトルを使ってレーザー波長を制御する方法を考案した。この方法では、Fig.3 に示すようにレーザー光を二つに分け、一方をAOモジュレータに通して、周波数をシフトする。両方の光を適当な長さのヨウ素セルを通し、そのパワーを測定する。AOモジュレータにはキャリア周波数270MHzのものを用いる。レーザーの周波数を吸収のピークすなわち信号の極小に同調するとき、AOモジュレータを通った光は吸収のピークから270MHzずれる。この信号の強度の変化によってレーザー波長のズレの方向を検知することができる。

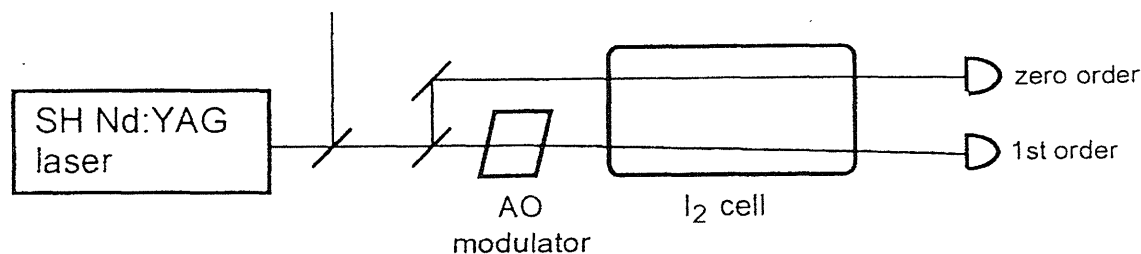


Fig.3 Laser wavelength monitor method.

レーザー周波数の制御をマスターオシレータの温度により行っているため制御の時定数は非常に長い（数分）が、この方法を用いることによってレーザー波長にフィードバックをかけることが可能であると考えている。

4. 今後の計画

現在、ライダーシステムを製作中である。完成後は、札幌の北海道大学電子科学研究所に移動して観測実験を行ない、ライダーシステムの動作を評価するとともに、データ解析手法の研究を行う。さらにその後は、国立環境研の地球環境モニタリング事業の一環として、北海道の陸別町において観測を継続的に実施する計画である。

- 1) P. Piironen, and E.W. Eloranta, 1994: Demonstration of a high spectral resolution lidar based on an iodine absorption filter, Optics Letters, vol.19 no.3 234-6
- 2) S.Gerstenkorn and P.Luc, 1978: Atlas du spectre d'absorption de la molecule d'iode (Centre Nation de la Recherche Scientifique, Paris.)