

23 原子フィルターを用いた高分解レーザーレーダーと気象パラメータ測定への応用

HIGH SPECTRAL RESOLUTION LIDAR SYSTEM WITH ATOMIC BLOCKING FILTERS FOR MEASURING ATMOSPHERIC PARAMETERS

清水 浩、野口和夫、^{††} C. Y. She[†]

H. SHIMIZU K. NOGUCHI^{††} AND C. Y. SHE[†]

国立公害研究所、千葉工業大学[†]、コロラド州立大学^{††}

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES CHIBA INSTITUTE OF TECHNOLOGY^{††}

COLORADO STATE UNIVERSITY^{††}

1. はじめに

レーザー光を大気中に送出すと、大気中のエアロゾルによりミー散乱が生じ、空気分子により、レイリー散乱が引き起こされる。従来のミー散乱型レーザーレーダーでは、これらの散乱は分離されずに、双方をまとめてミー散乱として観測されてきた。しかし、レーザーレーダーにより観測されるこれらの散乱に基づく情報は互いに異なっている。従って、これらを分離できれば、より多くの大気情報が得られる。

これまでに、これらの分離を行なう試みはあったが、いずれも分離に干渉計を使用していた。だが、干渉計による分離は感度が悪く、技術的にも難しいという欠点があった。

分離技術として、新たに気体状態の原子をフィルターとして使用する方法を考察した。ここでは、ミー散乱とレイリー散乱を分離して測定する方式を高分解レーザーレーダーと呼ぶ。

2. ミー散乱およびレイリー散乱スペクトルとそれらの分離法

ミー散乱およびレイリー散乱スペクトルの模式図を図1に示す。常温、1気圧において、可視のレーザー光線に対して、レイリー散乱スペクトルは2 GHz程度のスペクトル幅を持つ。このスペクトルの幅の形状は気温と、気圧により変化する。これに対して、ミー散乱スペクトルの幅はその100分の1以下で、通常は、励起レーザー光のスペクトル幅よりも狭い。

2種類の散乱光は、このように、スペクトル幅が異なるために、分光技術を用いて分離が可能である。原子の吸収線は、非常にスペクトル幅が狭く、安定で、かつ吸収係数が大きい。また、温度の制御により、吸収スペクトル幅が自由にえられる。このような特徴を生かせば、気体状の原子は狭帯域ブロッキングフィルターとして用いることができる。レーザー光をこの原子フィルターの吸収の中心に同調し、レーザーレーダーで受信される散乱光を原子フィルターに通すと、ミー散乱が吸収され、レイリー散乱のみが透過する。また、原子フィルターの温

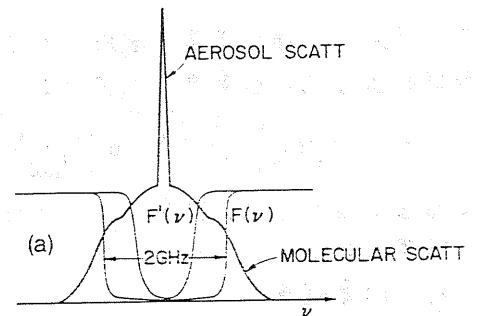


図1 ミー散乱およびレイリー散乱スペクトル

原子	Rb	Ba	Cs	Pb
原子質量	87	138	133	208
波長 (nm)	780.023	553.701	388.865	283.306
レーザー	ALEX	色素	AIX(SII)	色素(SII)
遷移	$5s^2 S_{1/2}$	$6s^2 S_0$	$6s^2 S_{1/2}$	$6p^2 P_{1/2}$
遷移強度	$5p^2 P_{3/2}^o$	$6p^1 P_1^o$	8p	$7s^3 P_{3/2}^o$
蒸気圧 (mmHg)	3.5x	7.3x	5x	1.6x
($T=10^{-5}$)	10^{-6}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-6}
温度 (°K)	320	680	410	710
原子の吸収幅 (GHz)	0.53	0.98	0.97	1.40
レイリー線幅 (GHz)	0.89	1.24	1.80	2.44

表1 フィルターとして使用可能な原子

	TEMP %/°K	PRES %/mb
WING	2.05	0.011
CENTER	0.24	0.11

表2 レイリー散乱スペクトルの温度と気圧の変化率

度を高くして吸収スペクトル幅を広くすると、レイリー散乱のウィング部分のみを透過させることができる。

表1に、原子フィルターに使用可能な原子をあげる。原子フィルターの条件は、1)原子番号が空気分子に比べて十分大きいこと、2)レーザー発振波長域に強い吸収線があること、3)比較的低温で蒸気圧が十分に高いこと、などである。

3. 高分解レーザーレーダーで得られる気象パラメータ

高分解レーザーレーダーでは、まず、レイリー散乱全体の強度から、光の減衰係数が求められる。すなわち、レーザーレーダー信号は、光の減衰係数と、散乱対象の後方散乱係数に依存するが、レイリー散乱を生じさせる空気分子は密度がほぼ一定とみなせるため、後方散乱係数は既知となるのである。つぎにミー散乱強度と、レイリー散乱から求めた減衰係数より、ミー散乱の後方散乱係数が正確に求められる。第3に気温や気圧の測定が可能である。図2は、レイリー散乱スペクトルの形状の温度と気圧による変化率を示したものである。この図より明らかかなようにレイリー散乱のウィング部と、中心部の強度を比較することにより、気温と、気圧が求められる。図2の形状の変化率の計算結果を表2に示すが気温のウィング部の変化率が特徴的に大きい。

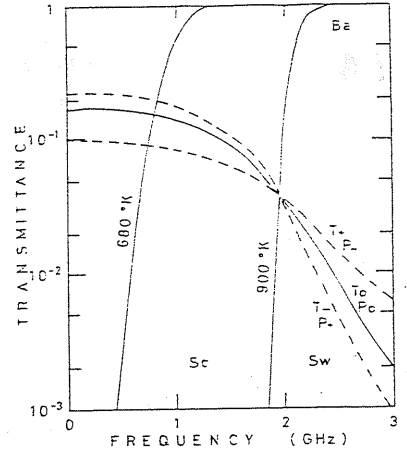


図2 レイリー散乱スペクトルとその温度、気圧変化

4. 高分解レーザーレーダー装置の構成と測定感度

図3に、ここで提案した方式の装置の構成を示す。可視光の領域で、使用できるフィルター用の原子はBaのみであるから、レーザーにはエキシマーレーザー励起のDyeレーザーを使用するものとした。受信信号光は3つに分離し、1つは直接、もう1つは低温状態の原子フィルターを通してレイリー散乱全体、3つめは高温状態でレイリー散乱のウィング部のみを測定する。

図4に、この方式を用いた気温の測定感度の計算結果を示す。この図は、誤差1°Cを得る場合の測定距離に対する測定時間を示している。レーザー出力は40mJ/pulse、繰返し25ppsとし、受信望遠鏡は直径1.5mと50cmの場合について計算した。その結果、10kmの遠方を測定するのに、50cmの望遠鏡でも、5秒程度で測定できる。

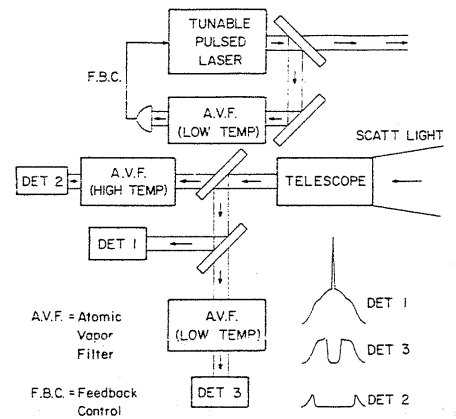


図3 装置のブロック図

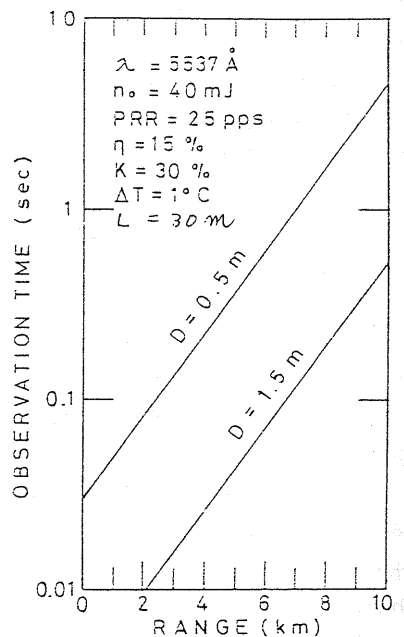


図4 測定の感度

5. まとめ

技術的問題点が多いが、現在、実現に向けて準備を進めている。