



Title	The Environmental Measurement Using a Coherent White Light Continuum-Development of the White Light Depolarization Lidar System-
Author(s)	染川, 智弘
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/48748
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	そめ 染 かわ 川 とし 智 ひろ 弘
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 2 1 7 8 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 20 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科宇宙地球科学専攻
学 位 論 文 名	The Environmental Measurement Using a Coherent White Light Continuum —Development of the White Light Depolarization Lidar System— (コヒーレント白色光を用いた環境計測—白色光偏光ライダーの開発—)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 徳永 史生 (副査) 教 授 松田 准一 教 授 木下 修一 准教授 白神 宏之 准教授 山中 千博

論 文 内 容 の 要 旨

ピーク強度が 0.1 TW におよぶパルスレーザー光を最適な条件下で希ガス中に集光して得られる遠赤外から紫外に及ぶ超広帯域のコヒーレント白色光は、指向性、干渉性、短パルス性といった元のレーザー光の性質を有している。コヒーレント白色光を用いた遠隔計測（ライダー）は白色光ライダーと呼ばれ、任意の多波長を用いた同時観測だけでなく、赤外域を用いた温暖化ガスの検知など幅広い応用が期待されている。ライダーでは後方散乱光の偏光特性を測定することで、散乱粒子の形状に関する情報（偏光解消度： δ ）を得ることができ、コヒーレント白色光の偏光を利用した白色光偏光ライダーの開発を行った。

Kr ガスを用いて生成させたコヒーレント白色光は線形偏光を保持しており、コヒーレント白色光の広帯域なスペクトルを活かした 350、450、550、700、800 nm での多波長 Mie 散乱ライダーと 450 nm での偏光ライダーを組み合わせたシステムを開発し雲の観測を行った。得られた雲の δ は、従来の単色レーザーを用いた場合と同等であり、コヒーレント白色光を用いた偏光ライダーに世界で初めて成功した。 δ は粒径に依存することが知られており、450、550、800 nm の 3 波長での同時偏光ライダーを開発し、 δ の波長依存性の観測を行った。得られた雲の δ と粒径の指標となるオングストローム係数を比較し、 δ が粒径と相関があることを示した。また、 T matrix 法を用いた δ の理論計算より、得られた雲の δ を再現し、3 波長の δ から粒径と形状を推定できることを示した。

白色光ライダーの実際の環境計測の応用として黄砂の観測に成功した。通常の観測で得られるエアロゾル層の δ はほぼ 0 を示す球形のエアロゾルであるが、黄砂が飛来したときのエアロゾル層は 0.3～0.7 と大きな δ を示し、黄砂は他のエアロゾルと識別が可能であることを示した。また 1.6 と 4.0 mrad の視野角を 1 分ごとに切り替える多視野角観測を行い、2 つの視野モデルから多重散乱の δ を評価した。多重散乱の δ と 1.6 mrad の δ の比の波長依存性の傾きから多重散乱の要因である光学的厚さを推定できることがわかった。

白色光ライダーでは、レーザーの発振波長に制限されることなく任意の多波長での同時観測が容易に行えるが、生成に使用するレーザーの中心波長から離れた波長帯域では生成白色光の強度が比較的小さくなり、信号がノイズに埋もれて検出できないことがある。移動平均を用いて平滑化を行っているが、移動平均ではノイズ自身も平滑化を行ってしまうため、ノイズに埋もれた信号の抽出は行えない。そこで、ウェーブレット変換を用いたノイズ除去法の開発

を行った。信号強度の小さい 350 nm の信号では、移動平均では抽出できない信号の検知が行え、ウェーブレット変換によるノイズ除去は有効であることを示した。

論文審査の結果の要旨

申請者は超高強度のフェムト秒レーザーを Kr ガスに集光して得られる紫外から赤外域に及ぶ超広帯域コヒーレント白色光の偏光性を利用した新しいリモートセンシング技術の開発を行った。

レーザーを用いたリモートセンシング技術（ライダー）は、100 km に及ぶ測定範囲において高い空間・時間分解能を有し、大気汚染、地球温暖化、オゾン層破壊などといったグローバルな環境問題に対する極めて重要な測定手段である。しかし通常のレーザーは発振波長が限られており、様々な物質に対して同時観測を行う際には、複数のレーザーシステムを同時に稼働させる必要がある。光源としてコヒーレント白色光は、紫外から赤外に及ぶ広いスペクトル域を有しながら、直進性、偏光性に優れており、その任意の多波長で観測を可能にする「白色光レーザー」として期待されている。これまでの白色光ライダーの研究では、大気水蒸気などの分光計測や、雲やエアロゾルの多波長同時観測といった計測が行われてきたが、申請者はコヒーレント白色光の偏光性に着目して、白色光偏光ライダーの装置開発、多波長同時同軸観測法に関する種々の考案とその吟味および実際の環境測定を実施した。

まず、申請者は作成したレーザーシステムにおいて生成したコヒーレント白色光が、線形偏光を有していることを実験的に明らかにした。次いで、350、450、550、700、800 nm で白色光の広帯域を活かした多波長 Mie 散乱ライダーに、450 nm での偏光ライダーを組み合わせた受光システムを開発した。2005 年 3 月の観測で、申請者はコヒーレント白色光を用いて、雲粒子からの後方散乱光の偏光信号の観測に世界で初めて成功し、白色光偏光ライダー法の利便性を実証した。次に 450、550、800 nm の 3 波長で同時に偏光解消度 δ を測定できる受光システムを開発した。これを用いて、2007 年 2 月の観測では、雲粒子について δ の波長依存性の観測に成功した。さらにこの δ の波長依存性が、散乱体の粒径と形状に依存することを、多波長同時観測で得られたオングストローム係数（粒径の指標となる）を用いて明らかにし、また非球形氷粒子を模擬した回転楕円体について、T-matrix 法を用いた δ の数値計算を行い、観測結果を再現できることを示した。このことは、複雑な計算を必要としたオングストローム係数の算出手法にかわって、多波長の δ の値から散乱体の粒径と形状を推定可能とする新たな手法を導いたものとして高く評価できる。また申請者は白色光ライダーの実際の環境計測への応用として、黄砂の観測を行っている。2007 年 5 月に行った観測では、通常の観測で得られるエアロゾルと違い、大きな δ を示す黄砂の観測に成功している。この他、3 波長同時偏光ライダーシステムで多視野角の測定を行い、視野角の違いに基づく多重散乱の寄与による δ の変化を算出し、これが散乱体の光学的厚さに依存することを示している。また白色光の赤外域の利用を念頭に置いて、雑音成分を含む弱い散乱光データについて、ウェーブレット変換を用いたノイズ除去法の開発も行っている。

以上のように、申請者は創意工夫の上に、コヒーレント白色光を用いた大気環境計測法を開発し、多波長における同時偏光解消度の観測からきわめて重要な結果を得ることに成功し、白色光ライダーの有用性を世界に先駆けて明らかにした。超高強度レーザーの大気伝搬の物理と、実用面としての環境計測の両面から非常に興味深い知見を与えるとともに、今後の発展が大いに期待できるものである。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。