

富士山頂の温室効果ガスの小型吸収ライダーによる観測

小林喬郎¹, 椎名達雄², 久世宏明², 矢吹正教³, 三浦和彦⁴

1.福井大学, 2.千葉大学, 3. 京都大学, 4. 東京理科大学

1. はじめに

地球温暖化に関係する温室効果ガスのレーザー計測法として3次元空間分布を計測する差分吸収方式ライダーが利用されている¹⁾。本研究では極めて小型の装置構成で、地面や回帰性反射板(Retro-reflector)などハードターゲットを利用する差分吸収方式ライダーの開発を進めている²⁾。本報告では装置の動作特性を検証するため、富士山測候所付近の温室効果ガスメタン(CH₄)と火山性ガス硫化水素(H₂S)の濃度変化を測定した結果を報告する³⁾。

ハワイ、マウナロア山では、温室効果ガスCO₂の長期観測が行われている。また、富士山頂の測候所では外部の大気を吸引してCO₂濃度の通年観測が国立環境研により実施されている。これらの結果は中緯度域の地球温暖化の研究に貴重な観測データを提供している。これに対してライダーセンサーは、外部の大気分子を直接的に広域の計測が可能となる。また、CO₂に次ぐ温室効果ガスのCH₄の同時観測も目指した。

2. 装置の構成とガスの検出特性

2. 1 小型吸収方式ライダーの構成

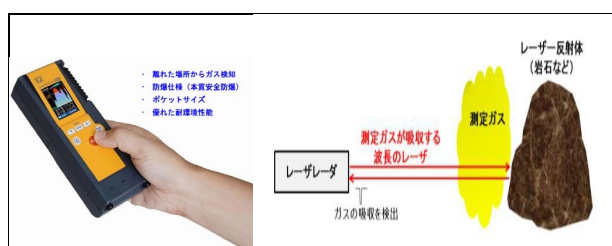


図1. 小型の吸収方式ライダーの概念図

図1に小型の吸収方式ライダーの外形と測定概念図を示す。小型・軽量のセンサー(アンリツ社、メタンミニ)で、地面や回帰性反射板にレーザー光を照射して光路中の分子吸収量を計測する。半導体レーザー(LD)の波長は 1.6537 μm 、出力10mWで電池で長時間動作が可能である。路面や岩などの粗面散乱体では最大20mの距離で0.45ppm $\cdot\text{m}$ の柱密度の大気中メタンの高感度検出が可能である。分子の吸収線の中心波長にLD波長を固定するため周波数変調(FM)して、位相同期を行う検出法を用いる。

図2に光学系と位相同期検出系の構成を示す。LD光は反射板を通り粗面の散乱体に照射され、後方散乱光はレンズで集光して光検出器(2)から位相検出回路(Lock-in Amp (2)で信号として利用される。また、LD光の一部は検出器

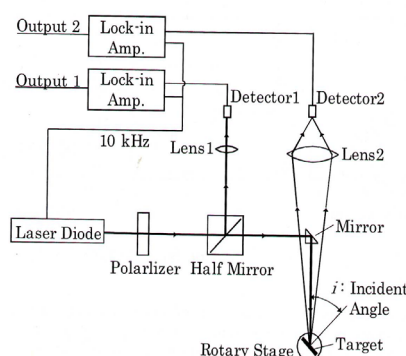


図2. 光学系と位相検出系の構成

(1)から位相検出回路(1)を通り、LD波長を分子の吸収波長に固定する出力(1)として用いられる。

2. 2 回帰性反射板を利用する長光路吸収法の実験

レーザー送信光を反射させて効率的に元の位置に戻す反射体としてレトロ反射鏡や平面状のレトロ反射板が道路標識などに利用されている。そこで、レトロ反射板を用いて長光路の差分吸収分光法のDOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) の可能性を検討した⁴⁾。

図3にその装置の構成を示す。光ファイバーからの波長が1.6 μm 付近の自然放出光(ASE)を送信光として利用して、千葉市街の2.55kmの距離にレトロ反射板を設置し、その反射光を集光して分光器を通して吸収スペクトルを測定した。その結果、大気中のCO₂密度が360~450 ppmvの変化が測定された。また、水蒸気H₂OやHDOなど多数の分子が検出された。これらの結果、反射体を利用する長距離吸収分光計測法は微量ガスの検出感度が極めて高いことが判明した。

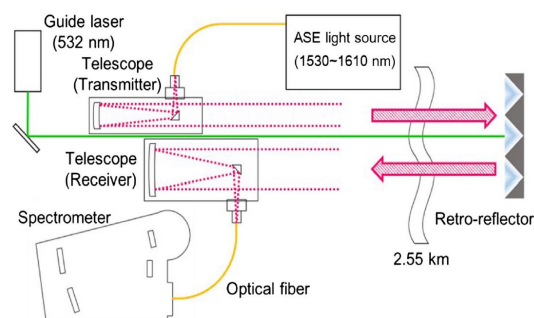


図3. 長光路・差分吸収分光(DOAS)装置の構成

3. 富士山頂での観測結果

3.1 メタンガスの測定

富士山測候所の外部の約10m離れた北側の土地に、小型吸収方式ライダーとレトロ反射板を三脚に乗せて26mの距離に配置して、メタンガス濃度を測定する実験を行った。

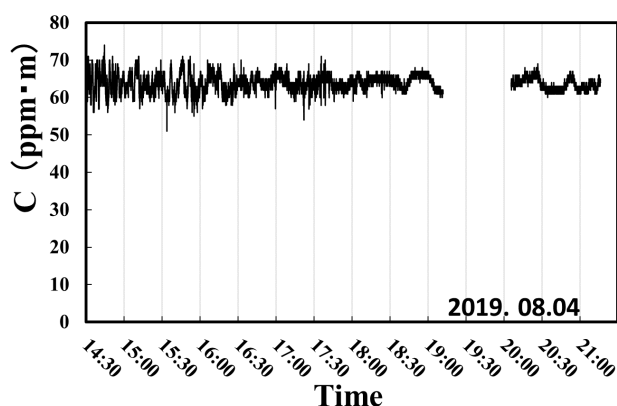


図4. メタン(CH₄)の柱密度の時間変化
(実験日：2019年8月4日)

図4にその結果を示す。縦軸はメタンの柱密度 (Column Concentration) で、平均値の65ppm・m は往復の光路長52mから平均密度は1.25ppmとなり、この値は現状の世界の平均値とほぼ一致している。昼間の14時から18時頃までは密度の揺らぎが大きく、夜間に入ると変化が小さくなっている。なお、約19時から20時までのデータの欠損はPC電源の不具合に起因している。

3.2 硫化水素の柱密度の測定

また、硫化水素 (H₂S) ガスを計測するレーザーセンサーはLDの中心波長1.5772 μ m で、数ppbレベルの高感度特性を目指して共同開発中の装置を用いた。

図5にメタンの測定と同じ光路長で行った硫化水素ガスの柱密度の測定結果を示す。測定時間は19時から21時まで1時間間隔で、最初の1分間の測定値を示している。柱密度値は200~350ppb・m、密度は3.8~5.4ppbで、時間と共に増加の傾向を示している。密度の変動は分散値が約10ppbであった。これらの値は標準セルを用いた今後の検証が必要である。

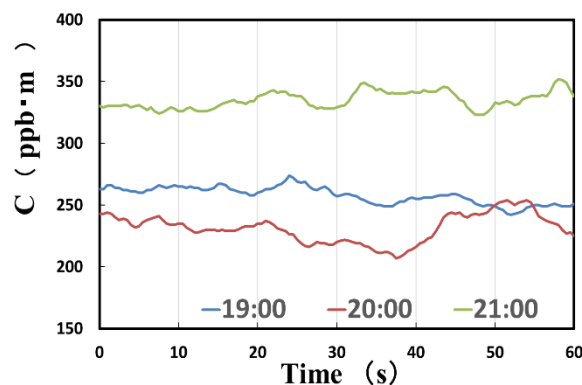


図5. 硫化水素(H₂S)の柱密度の時間変化
(測定時間:19時~21時の最初の1分間)

4. 結言

以上の観測結果より、富士山の山頂付近の大気中のメタンと硫化水素の密度の時間変化などの測定が実現できた。光路長は26mと設定したが、数mでも測定が可能であった。小型で省電力の動作特性のため、富士山などの極域での観測への利用が可能であることが示された。今回は観測可能な日程が1日と制限されて十分なデータが得られなかったことが残念であった。

今後はこれらの小型吸収方式ライダーによる長光路での高感度測定や、CO₂を含む多種の分子の同時計測を実現することを目指して行きたい。

参考文献

- 1) 小林喬郎、杉本伸夫、久世宏明 (2007). レーザー研究学会誌、33,5, 295-261.
- 2) 椎名達雄、小林喬郎 (2014). メタンガス遠隔吸収センサーの最適波長変調法の検討. レーザーレーダー研究会、第32回予稿集、32,P-32, 102-103.
- 3) 小林喬郎、椎名達雄、久世宏明、矢吹正教、三浦和彦 (2019). 小型・長光路吸収センサーによる温室効果分子の富士山頂での観測. レーザーセンシング学会、第37回シンポジウム予稿集、E-5, 121-122.
- 4) Saito H. , Manago N. , Kuriyama K. , , Kuze H. , Near-infrared open-path measurement of CO₂ concentration in the urban atmosphere, *Optics Letter*, 40, 2568-2572.