

海上ラマンライダーによる海底面測距

染川 智弘^{1,2}, 倉橋 慎理¹, 河仲 準二², 藤田 雅之^{1,2}

¹ (公財) レーザー技術総合研究所 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-6)

² 大阪大学レーザー科学研究所 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-6)

Water Depth Measurement of Seafloors Using an Underwater Raman Lidar

Toshihiro SOMEKAWA^{1,2}, Shinri KURAHASHI¹, Junji KAWANAKA², Masayuki FUJITA^{1,2}

¹Institute for Laser Technology, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

²Institute of Laser Engineering, Osaka Univ., 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

We have performed water depth measurements using UV Raman lidar system. Water depth measurements are experimentally verified in the sea under the different floor distances, and the Raman signal peak corresponding to water depth can be expressed by a sum of the seafloor reflectance for all forward Raman scattering in water.

Key Words: Raman lidar, water depth measurement

1. はじめに

日本の領海・排他的経済水域は国土の面積の12倍程度も大きく、海底鉱物資源やメタンハイドレートの採掘、CO₂を海底地層に圧入して大規模削減を目指すCCS(Carbon dioxide Capture and Storage)等の有効な海底利用が期待されている。海底開発では資源探査手法の開発だけでなく、海底開発に伴う海洋生態系・環境への影響評価が重要とされている。筆者らのグループでは、広範囲の海水領域を効率よくモニタリングすることを目指して、海水中に含まれるガス濃度を測定するライダーシステムを船舶に搭載した海上ラマンライダーシステムを開発し、沼津や竹富島近海での海上観測を実施してきた¹⁾。

本報告では竹富島近海での海上観測結果で得られた水のラマンライダー信号による水中測距の可能性について紹介する。海上ラマンライダーシステムでは、レーザーパルス毎のレーザー強度のふらつきなどによる誤差を軽減させるために、水のラマン信号を校正信号として取得している。海の中では、海水は均一に分布しているために、水のラマンライダー信号はレーザーの強度減衰などに依存する信号が得られるはずであるが、海底面にもピークが見られることがわかった。この海底面のピークは、それぞれの水深で生じた前方散乱が水中を伝搬し、海底面で反射した信号であると説明できる、波長355 nmのレーザーで生じるラマン散乱波長が水の透過率が高い領域であることによる特有の現象ではないかと考えられる。

2. 海上ラマンライダーシステム

Fig. 1に海上ラマンライダーの構成図を示す。波長355 nm, 出力120 mJ, 繰り返し20 Hzのレ

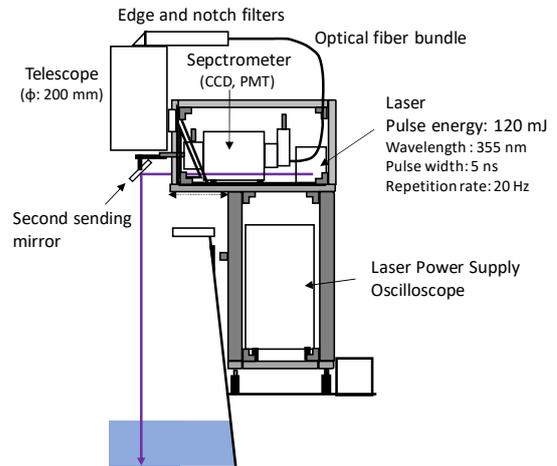


Fig.1 Schematic diagram of the underwater Raman lidar system.

ーザーパルス鉛直下向きに海中に照射し、海中からの散乱光を直径20 cmの望遠鏡で集める。観測した散乱光はレンズでコリメートした後、波長55 nmのエッジフィルターとノッチフィルターでレイリー光を除去し、光ファイバーで光路30 cmの分光器に導いた。分光器の測定ポートにはラマンスペクトル計測用の電子冷却CCDカメラと、ライダー信号を計測する光電子増倍管(PMT)を搭載している。分光器の光路上に設置したミラーの出し入れによってCCDとPMTの検出機器を切り替えることが可能である。

3. 竹富島近海でのライダー観測結果

Fig. 2(a)に3405 cm⁻¹の水のラマン散乱波長で測定したライダー信号を示す。ライダー信号は1000回積算で取得した。「Deep」は水深が約20 mの竹

富島海底温泉の測定結果であり、「Shallow」は水深が約 4 m の石垣港での測定結果である。レーザーが海面に到達した時間を原点とし、水深の計算には海水の屈折率 1.343 を利用した。

海水は均一であるために強度減衰のみを反映した波形を示すことが予想されたが、Fig. 2(a)の「Deep」での挿入図のピークや、「Shallow」の減衰波形に生じているピークのように、海底面に相当する水深にピークが見られる。水のラマンライダー信号は対象ガスの濃度を評価する際の校正信号として利用する予定であったが、校正信号としてだけでなく海底面などの測距にも利用できる可能性があることがわかった。

この水のラマンライダー信号の海底面に相当するピークは、レーザー強度が大きい海表面付近などで生じた水のラマン散乱の前方散乱が海底面まで到達し、その前方散乱の合計が海底面で反射することによって生じるのではないかと考え、以下の簡単なモデルで検証した。

ラマン信号強度は、レーザーの出力のみに依存し、前方と後方散乱の強度は同じであるとする。水の減衰係数 (m^{-1}) は文献値²⁾のデータを内挿して、波長 355 nm では 0.048975 、水のラマン散乱波長である 403.8 nm (3405 cm^{-1})では 0.020371 と求められる。海表面での強度を 1 として、水深 L での強度は

$$I(L) = \exp(-\sigma_{355}L)$$

となり、前方と後方にそれぞれ $I(L)$ の強度のラマン散乱を生じるとする。後方散乱はそれぞれの水深 L での強度減衰 $\exp(-\sigma_{403}L)$ を受け、海表面まで戻る。それぞれの水深での前方散乱 $I(L)$ は、海底 20 m までの水の減衰 $\exp(-\sigma_{403}(20-L))$ を受けながら海底面で反射され、海表面に戻るまでの水による減衰 $\exp(-\sigma_{403}(20))$ を受けて望遠鏡で観測されるとし、海表面まで戻ってくる光は距離の 2 乗で減衰するとした。計算は観測と同じ 0.15 m 間隔での水深で生じた前方散乱強度の合計が海底面で反射する。海底面での反射率は文献値³⁾を外挿し、1%とした。

Fig. 2(b)にこの簡単なモデルでの水のラマンライダーの計算結果を示す。20 m 以降は信号強度を 0 として、見やすいように線を滑らかにつないだ。観測視野の重なり関数を考慮していないので、近距離の形状が異なるが海底面にピークが見れることがわかる。ここで、仮に波長 532 nm のレーザーを用いたとして同様の計算をしても、生じた水ラマン散乱光の水による減衰が大きく、海底面にはピークが立たない。したがって、この水のラマンライダーによる海底面の測距は、水の透過率が比較的高い領域でラマン散乱波長が存在する波長 355 nm のレーザーを利用した場合の特有な現象ではないかと考えられる。

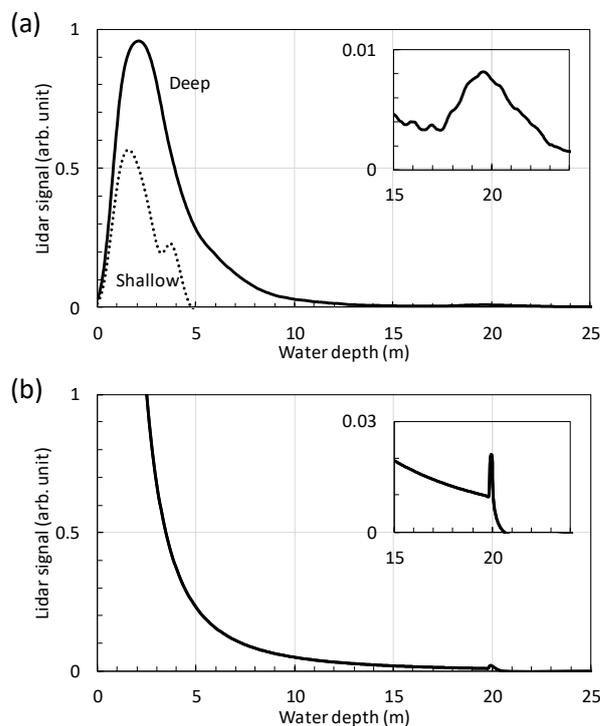


Fig.2 (a) Raman lidar signals of different water depth at water Raman wavelength (3405 cm^{-1}) and (b) the calculation results of normalized Raman signals from the sea (water depth: 20 m).

4. まとめ

海底開発が海中の環境に及ぼす影響を効率よく評価することを目的として、海水中に含まれるガスの種類や濃度をラマン散乱で測定するラマンライダー海中モニタリング手法の開発を行っている。対象ガスの濃度校正用に水のラマンライダー信号の取得を計画していたが、波長 355 nm の水のラマンライダーでは海底面に相当する位置にピークが見られ、測距にも利用できる可能性がわかった。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 25871083, 15H05336, 18H019290001 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) T. Somekawa, A. Tani, and M. Fujita: Appl. Phys. Express 4 (2011) 1124.
- 2) R. C. Smith and K. S. Baker: Appl. Opt. 20 (1981) 177.
- 3) 灘岡和夫, 二瓶康雄, 横山智子, 大見謝辰男, 下地和幸: 海岸工学論文集 44 (1997) 1291.