

## 2

### レーザの水中計測への応用

### Laser Applications to Underwater Measurement

松井 敏明, 三浦 秀一, 五十嵐 隆

Toshiaki Matsui, Shuich Miura, Takashi Igarashi

郵政省電波研究所

Radio Research Laboratories, Ministry of Post & Telecommunications

#### 1) はじめに

海中におけるレーザ応用の一つとして、航空機搭載用レーザ測深器の研究が行われている。<sup>①②</sup> これらは主にYAGレーザのQスイッチパルスの高調波(532nm)を利用し、沿岸その他の浅海、珊瑚、河川等の水深測定、水底図の作成等を目的としている。深直可能な水深は、水の状態に大きく依存するが、短時間に広範囲の測深が可能であり、また多重散乱による偏光度の解消を利用すれば、水中濁度の広範囲な計測も可能と考えられ、興味を引く問題である。

この研究において最も基礎となる部分は、水中のレーザ光伝搬特性、特に多重散乱の効果と把握することである。郵政省電波研究所においては、海洋開発に関連して、海中レーザ光伝搬特性の研究、海中物体探査のためのレンジゲート方式レーザビューアの開発、海中レーザ通信装置の開発等を行い、室内水槽(6m)、大型実験用水槽(25m)を用いた実験及び海洋実験を行ってきた。<sup>③④⑤</sup>

ここでは、レーザの水中計測への応用の一つとして、航空機搭載用レーザ測深器に対する検討を行い、その結果について述べる。

#### 2) 航空機搭載用レーザ測深器

送信電力 $P_t$ 、 $\rho$ 、水面の反射率、 $R$ 、海底の反射率、 $A$ 、受信開口、 $E$ 、受信効率、 $H$ 、飛行高度、 $L$ 、水深、 $n$ 、水の屈折率、を用いれば、水底からの反射光電力 $P_r$ は、

$$P_r = \frac{P_t R \cdot (1-\rho)^2 \cdot \exp[-2(\gamma H + \alpha L)] \cdot (A \cdot E)}{2\pi (H + L/n)^2} \dots \textcircled{1}$$

と表される。<sup>①</sup> ここで $\gamma$ は、大気中減衰係数、 $\alpha$ は実効的な水中減衰係数であり、ここでは水深による変化及び多重散乱光の効果は無視してある。

送信パルスが、水面から反射されて戻るまでの時間を $t$ とすれば、飛行高度 $H$ は、

$$H = ct/2 \dots \textcircled{2}$$

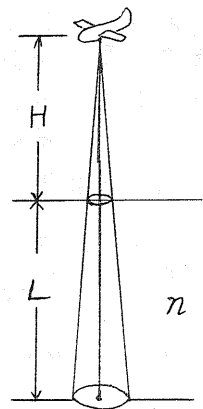
となる。水面反射パルスと水底反射パルスの時間幅を $\Delta T$ とすれば、水深 $L$ は、次式で与えられる。

$$L = c\Delta T/2n \dots \textcircled{3}$$

#### 3) 水中のレーザ光伝搬特性

水中の光減衰係数 $\alpha$ は、吸収係数 $a$ と散乱係数 $S$ で表され、 $\alpha = a + S$ である。この逆数を $\delta$ とおき減衰距離と呼ぶ。また水中距離 $L$ を、 $\delta$ を用いて、 $L = \delta x$ とおけば、この $x$ は、濁度と( $\alpha$ 又は $\delta$ の大きさ)無関係に、直接光の減衰量を水中距離を表すのに便利である。

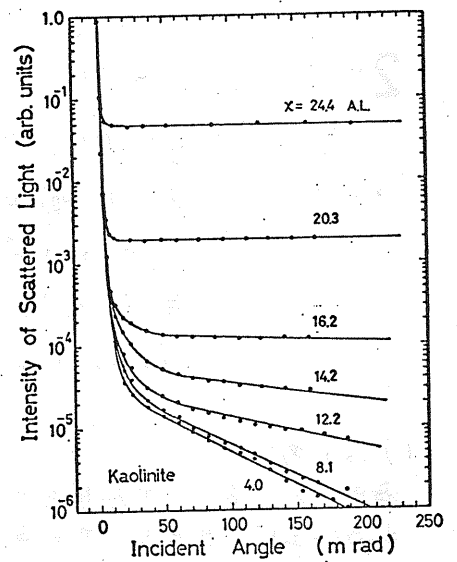
$$P(x) = P_0 e^{-x} \dots \textcircled{4}$$



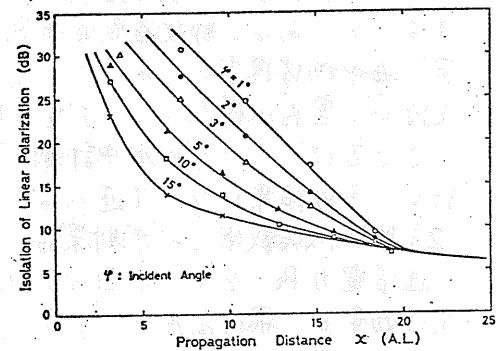
水中の光伝搬では、多重散乱の効果と無視できない場合が多い。しかもその影響は、距離、減衰距離、視野、受信開口径、偏波その他に依存し非常に複雑である。オ1図は、伝搬距離 $x$ とともに直接光に対する散乱光のレベルが上昇してゆく様子を示すデータである。受光器への入射角度(空中)に対する受光強度を示してあり直接光強度を基準にしてある。

またオ2図は、多重散乱による直線偏光の偏向度が劣化してゆく様子を示してある。受光器への入射角度に大きく依存することになる。

いずれもカオリナイト(白陶土)を用いた水槽中シミュレーションの結果であるが、粒径分布、体積散乱関数においても実際の海水とよく一致する。これらの結果を解析し、各種の送受信条件、伝搬路条件に対し、多重散乱光が受信光電力、時間領域(周波数領域)、偏向度の各面に、どのような影響をもたらし、と見積もることができる。<sup>④⑤</sup>



オ1図 散乱光の角度分布 (距離 $x$ バラナタ)



オ2図 偏波面保存特性 (受光器入射角 $\varphi$ で分離測定)

#### 4) 水深測定限界

水底からの反射光 $P_r$ (①式)を検出し、時間幅 $\Delta T$ を測定するが、その際、背景光雑音レベルが制限を与える。

背景光雑音 $P(b)$ は、

$$P(b) = \frac{S \cdot A(s) \cdot E \cdot T(\Delta\lambda)}{hc/\lambda} \cdot \exp(-\gamma H) \quad \text{⑤}$$

で与えられる。<sup>①</sup> ここで $S$ は、太陽および大気の輻射(太陽高度、雲、海面状態に依存)、 $A(s)$ は、受信器の見込み立体角 $d\Omega$ に対する海面の面積、 $E$ は光学系の効率、 $T(\Delta\lambda)$ は光学フィルタ透過率である。受信可能な最大レーザ信号を $P_M$ とすれば、可能最大水深 $L_M$ は次式のように与えられる。

$$L_M = \frac{\ln[P_M/P(b)]^{1/2}}{\alpha} \quad \text{⑥}$$

⑤⑥式より、 $L_M$ は、太陽高度、天候、海面状態、受信系、送信系等に大きく依存することになる。

#### 5) おわりに

以上2)、4)の議論では多重散乱光の影響を無視した場合のものであるが、レーザ測深器システムの構成によっては、その影響は非常に大きなものとして現れる。水底からの反射光電力 $P_r$ は、①式より大きく受信されるであろうし、⑥式の $\alpha$ は、もう少し小さく現れる。現在30m程度の水深についての測定結果が報告されているが、もう少し深い水深の測定も可能と考えられる。

レンジゲート方式による水中レーザ探査装置では約10減衰距離( $\alpha = 0.1$ は100m)以上の探知能力が確認されている。システム構成の具体的な場合についての検討結果を報告する予定である。

参考文献)

- ① Hongsuk H. Kim; Appl. Optics Vol.16, No.1, 46, 1977
- ② D. Bright; NASA Report, sp-375, 9, 1975
- ③ 松井, 三浦, 生島; 電波研季報, Vol.23, 123/124, 75, 1977
- ④ 松井, 近藤, 三浦; 信学会研究会資料, A, p78-31, 1978
- ⑤ 松井, 近藤, 三浦; 電波研 研究予稿(オ55回)昭和53年10月25日