

11. レーザレーダによる油濁の遠隔測定—基礎実験—

Remote Detection of Oil Spills by Laser Rader

-- Basic Experiments --

佐藤 卓蔵, 柏木 寛

Takuzo Sato, Hiroshi Kashiwagi

電子技術総合研究所

Electrotechnical Laboratory

1. まえがき 海洋および河川における環境保全の重要性から遠方の特定物質を検出できる装置として、遠隔測定用レーザレーダを突用化しようという動きがある。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾レーザ光照射により、水面あるいは水中に含まれる油と植物プランクトンは、それぞれ独自のスペクトルをもつ螢光を発する。これらの螢光を分光分析すると、水面あるいは水中に含まれる物質の判別や濃度を測定できる。その他、無機(NaNO_3)とか有機化合物(ベンゼン)などの汚染分子の水中濃度をレーザラマン分光で測定しようという試みもある。⁷⁾⁸⁾近年、油の流出事故が続出し、海洋汚染の中で種類別にみると油によるものが最も多く全体の84%を占めている。⁹⁾このような背景をもとに油汚染監視技術の確立が急がれていく。従来のマイクロ波レーダや赤外放射計などによっても汚染油を検出できる¹⁰⁾が、汚染油の判別あるいは濃度を遠隔測定することは従来の方法では不可能である。それを可能にするものとして、レーザレーダに期待がかけられていく。レーザ照射による油からの螢光をスペクトル分析することにより油の種類判別を行なおうという試みが米運輸省交通システムセンターで行なわれていく¹¹⁾。しかし、油の螢光スペクトルはかなり中々いものであるため、それのみでは油の判別がかなり困難なところがある。われわれも、灯油、軽油および重油の螢光およびラマン散乱スペクトルを測定しレーザレーダによる油汚染の遠隔測定の可能性を研究したので、その初期の結果について述べる。¹¹⁾

2. 石油の螢光スペクトル 石油の螢光スペクトルの例をFig. 1に示す。この場合の励起光は、二波長351.1nmおよび363.8nmからなるアルゴンレーザ光である。これらのスペクトルはレーザラマン分光計(日本電子製, JRS-400D)により得られた。重油の場合には、試料セルの壁に附着した薄層の重油を対象とし、灯油や軽油の場合と測定条件が異なっているため、重油の強度は他のものとは比較できないことを付け加えておく。

灯油と軽油の紫外レーザ励起による散乱スペクトルの短波長側を示したものがFig. 2図である。これらのスペクトルはダブルモノクロマトの二次の回折光を観測したものである。灯油の場合には、 2900cm^{-1} 附近のラマン線が観測される。一方軽油の方は螢光が強くラマン線は観測されぬ。灯油の螢光ピーク強度は、ラマン線 2900cm^{-1} の強度に比べ二桁あるいはそれ以上大きい。

アルゴンレーザの紫外光を光源とするレーザレーダ構成により得られた灯油、軽油、重油のスペクトルをFig. 3に示す。この場合試料油はレーザおよび受信望遠鏡(口径20cm)から約5mの距離に置いた水入り容器に入れてあり、灯油、軽油の厚さは6.4mmであった。検出器はPAR社のDMAで、分光器はジャレルアツシユの0.25mモノクロが使われている。測定時間は $32.4 \times 1000\text{msec}$ である。重油の螢光のピークは、灯油、軽油の場合よりも長波長側にある。

このような螢光スペクトル全体の形を観測することにより、油の種類判別

が可能になると思われる。

3. 石油のラマンスペクトル 波長514.5 nmのアルゴンレーザー光を励起光源とし、レーザーラマン分光計で得られた灯油、軽油、重油の散乱スペクトルをオ4回に示す。灯油の場合はラマンスペクトルのみが観測されるが、軽油の場合は蛍光の上にラマンスペクトル状のった形になる。重油の場合は蛍光のみが観測される。灯油の場合の2800~3000 cm⁻¹のラマン線はパラフィン系炭化水素のCH枝の伸縮によるものである。

このような可視レーザー励起の油の散乱スペクトルからも油の判別が可能と思われる。

4. ラマン線に対するレーザーのS/N. ベンゼンのラマン線992 cm⁻¹の散乱断面¹²⁾と比較することにより、灯油のラマン線2820 cm⁻¹の微分後方ラマン散乱断面は約5×10⁻³⁴ m²·sr⁻¹であることがわかった。油の分子密度は計算によると約10²⁷ m⁻³である。いまレーザーパワー1W, 送受信光学系の効率0.01, 受信開口面積を0.03 m²とし、光電子増倍管としてS-20形、励起光として波長514.5 nmおよび488 nmのCWアルゴンレーザー光を用いるとすると、油膜の厚さをパラメータとした場合の油のラマン散乱光に対するレーザーのS/Nは、レーザー方程式¹³⁾から計算されその結果をオ5回に示す。この場合のレーザーは夜間使用を想定している。

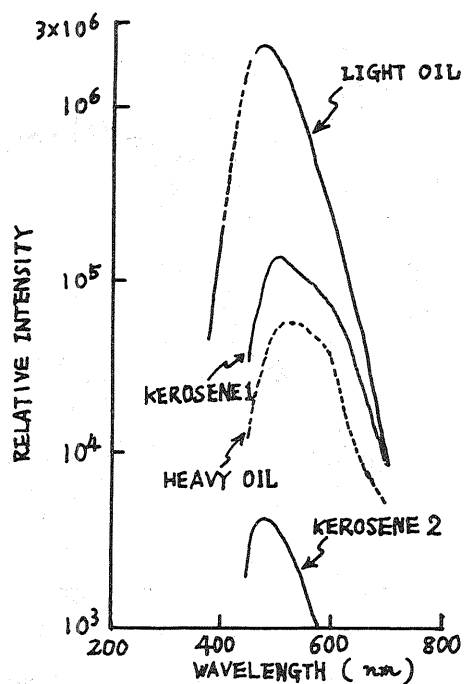
光源として488 nmのアルゴンレーザー、口径20 cmの受信望遠鏡、さらにダブルモノクロとSPC方式処理部からなるレーザー構成により得られた油の散乱スペクトルの室内実験結果をオ6回に示す。2820 cm⁻¹のラマン線に対するレーザーのS/Nは、計算値より一桁程小さい。これは、実際の光学系の損失がより大きいことによると思われる。

5. おすび 以上、紫外および可視アルゴンレーザーによる油の散乱スペクトルの測定結果より、油の蛍光およびラマン散乱スペクトルを比較することにより油濁の遠隔測定および油の判別の可能性を示した。今後、YAGパルスレーザーのオニ、オニ、オ四高調波等を用いて油の遠隔測定の実験を進めて行く計画である。

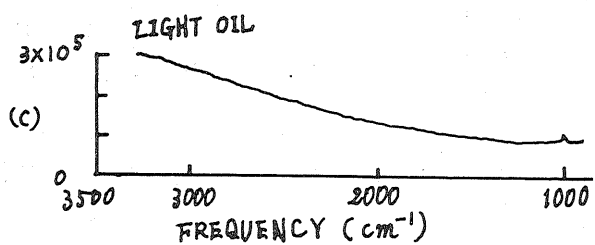
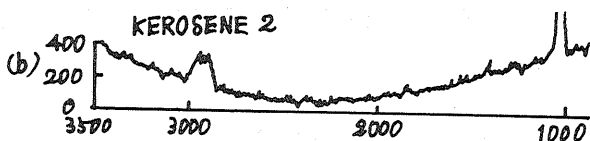
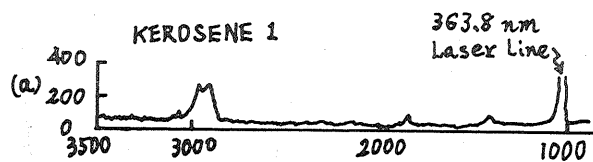
おわりに、日頃御鞭撻を頂いている当研究所榎井健二郎電波電子部長、東北大学電気通信研究所猪場文男教授、同研究所小林高郎助手に深く感謝致します。

文献

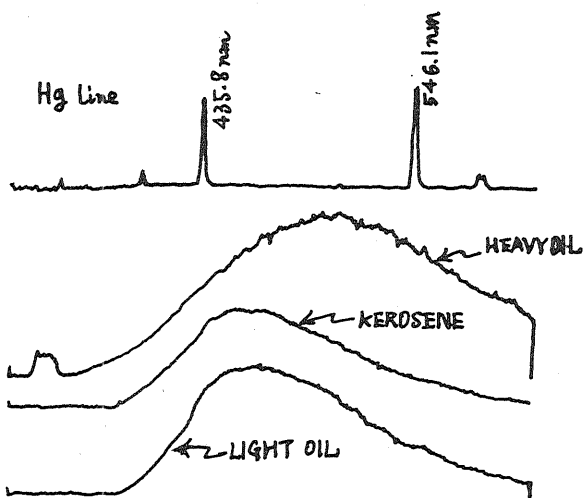
- 1) J. F. Fantasia, T. M. Hard & H. C. Ingrao; Proc. Inst. Environ. Sci. 18, 342(1972)
- 2) J. F. Fantasia, T. M. Hard & H. C. Ingrao; Transportation systems center Report No. DOT-TSC-USCG-71-7.
- 3) Electronics, July 3, 32(1972)
- 4) R. A. O'Neil, A. R. Davis, H. G. Gross & J. kruus; A report of Inland Waters Directorate, Environment Canada, 1974)
- 5) H. H. Kim; Appl. Opt. 12, 1454 (1973)
- 6) H. Gross, A. Davis & J. kruus; AIAA Paper No. 71-1076
- 7) M. Ahmadjian & C. W. Brown; Environmental Science & Technology, 7, 452(1972)
- 8) E. B. Bradley & C. A. Frenzel; Research Report No. 44., Univ. of Kentucky, (1972)
- 9) 海上保安白書, 昭和50年版.
- 10) Remote Sensing; キヤノンイメージング編, (昭和49年)
- 11) T. Sato & H. Kashiwagi; OCEAN'75 Record, P681 (1975)
- 12) J. G. Skinner & W. G. Nilsen; J. Opt. Soc. Am. 58, 113(1968)
- 13) H. Inaba & T. Kobayashi; Opto-electronics, 4, 101 (1972).



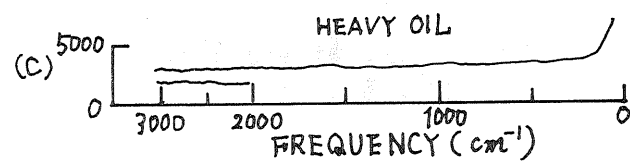
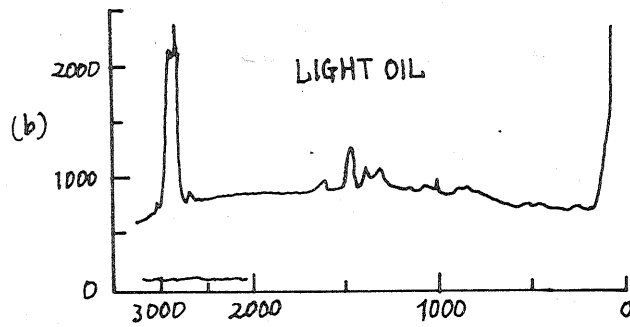
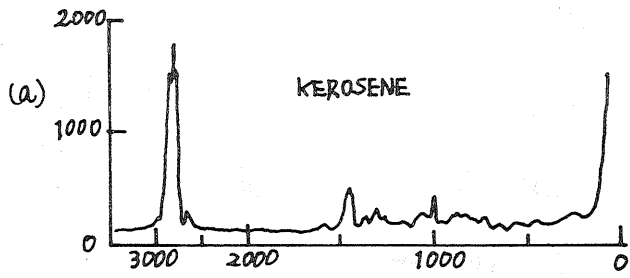
※1図 石油の蛍光スペクトル



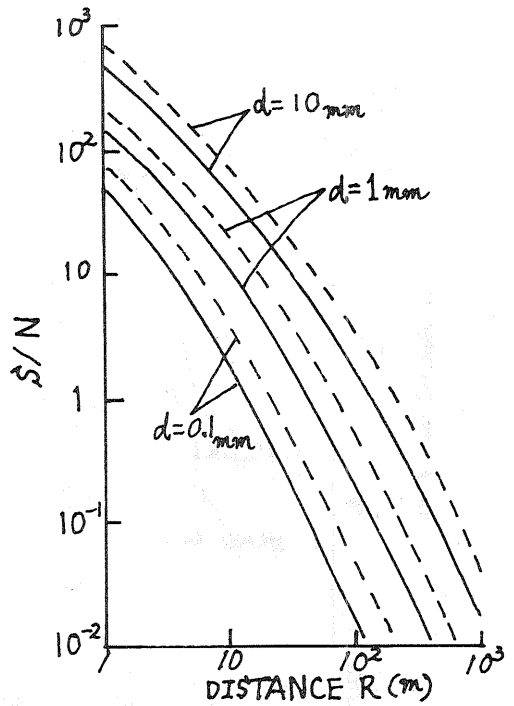
※2図 灯油と軽油の紫外レーザー励起散乱スペクトル



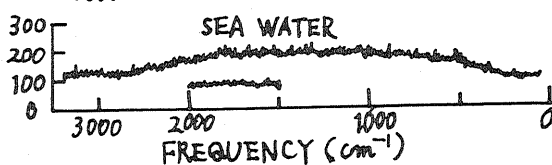
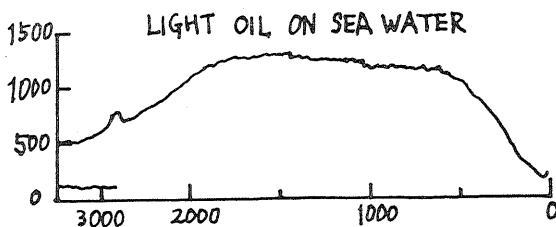
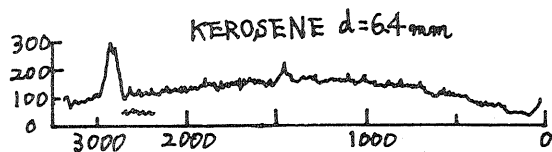
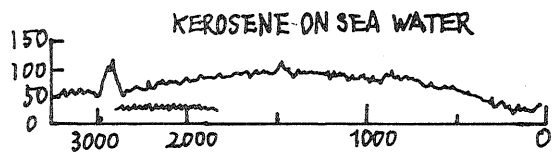
※3図 レーザレーザー系により得られた石油の蛍光スペクトル



※4回 灯油, 軽油, 重油の可視レーザー (514.5 nm) 励起散乱スペクトル



※5回 油のラマン後方散乱光に対するレーザー光の S/N. d は油膜厚. 点線はレーザー光が 488 nm, 実線は 514.5 nm の場合. 使用時は夜間とする.



※6回 レーザー光系により得られた灯油, 軽油の散乱スペクトル. レーザー光 488 nm. 距離 R 5.4 m.