

# 偏光散乱画像による水中懸濁粒子の測定

Measurements of Suspended Material in Water using Polarized light Scattering

山岸 進, 村山利幸

S. Yamagishi, T. Murayama

東京海洋大学

Tokyo University of Marine Science and Technology

## Abstract

The utility of the polarized light-scattering systems for small particles was limited by small signal to noise ratio in strongly turbid medium and complexity caused of real mixture of various particles. We describe polarized back scattered experiments that the diffuse back scattered image shows effective patterns correspond to the concentration, size, and optical activity of the particles. Results of measurements indicate the potential of the in-situ characterization for particles.

## 1. はじめに

海水中の懸濁粒子の偏光計測によれば海域によって偏光特性が異なることが報告されているが、多様な粒子の混在した海水特性の推定は未解明な部分が多く残されている<sup>1)</sup>。海水の in-situ 測定を効率よく行うには後方散乱観測手法が有効と考えられることからフィージビリティ研究を開始した。細いレーザビームを懸濁水面に照射すると、入射側偏光と受光側検光子の組み合わせに応じたクローバ状のパターンが観測される。この画像を用いて2次元Mueller Matrix 要素を算出することができる。ここでは、粒子濃度、サイズ、形状等が異なるサンプルを測定し、Mueller Matrix 要素に及ぼす影響を考察した。

## 2. 実験方法

後方散乱光測定装置を作製して実験した<sup>2)</sup>。He-Ne レーザ (7mW、632.8 nm、無偏光) を光源とし、光スポット (<500 μm) の周辺(約 8 x 8 cm)をレンズにより結像する。レーザの表面反射光をOptical mask (d=1~2 mm) で遮断した。中間像をリレーレンズ系でCCDカメラ (Bitran 社製, BS-40L、8.3 x 8.3 μm, 772 x 580 Pixel, 分解能16 bit) に導き記録した。PC を用いてカメラ付属のソフトでCCD を制御し、画像データの記録と処理を行った。入射側と受光側に配置した偏光素子を用いて、状態が既知の偏光を試料に照射し、検光素子を通して観測することにより散乱体のMueller matrix 要素を実験的に求めて解析した<sup>3)</sup>。ニュートラルフィルターで光量を調節して1~5秒露光しており、Speckle が問題とならないIncoherent 散乱画像である。

## 3. 結果と考察

クロス偏光配置 (HV) の場合、Fig. 1 右側の写真にある4枚葉のクローバ状パターンが見られる。中心部はミラーの穴のため欠けている、上部に見える細い線はOptical mask を吊るした線である。左図はHV とHH 配置の円周上の強度分布をプロットしたものである。光強度は中心部から隔たるとつれて低下し、またHH 測定はHV に比べて減衰が大きいことが分かる。図中、[HV, d=250]は水平偏光(H) した入射光の散乱を垂直検光子(V) で観測した画像で、ビームを中心とした直径25 mm の円周上の強度分布を表す。

Fig. 2 はM12の円周上強度分布を示す。M12は散乱画像の減算(HO-VO)から求めた。試料は市販牛乳(M社製パック牛乳)で、希釈倍率が大きくなるにつれて強度分布の振幅が小さくなっている。ここでHは水平偏光、Vは垂直偏光を示し、HOは入射光が水平偏光、受光側の検光子を入れないことを示す。また、Lは左回り(光源に向かって)、Rは右回り偏光を表す。Fig. 3 はM12とM14(LO-RO)を示す。試料は上記の牛乳とお茶(S社製日本茶ペットボトル)である。牛乳のM12、M14には明瞭なCOS(2φ)周期変化が現れ、光学活性粒子群の特徴を示している。お茶のM12には変化が明瞭に現れているが、M14はほとんど変化していないことが分かる。別途測定した粒径分布測定によれば、牛乳の粒径(Mod.)は約1 μm、お茶は約2 μm である。

理論的解析によって、一般的なランダム分布非対称性粒子のMueller matrix 要素の対称性が求められている<sup>4)</sup>。牛乳のMueller matrixはこれに近い形をしているが、成分の異なる粒子の集合であり、さらに検討が必要である。お茶は、鏡面对称粒子散乱の重ね合わせに近いことから、比較的均質な光学的非活性粒子群と考えられる。

Table 1. Symmetry of Mueller matrix  
Randomly oriented arbitrary particles.

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{12} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ -M_{13} & -M_{23} & M_{33} & M_{34} \\ M_{14} & M_{24} & M_{34} & M_{44} \end{bmatrix}$$

Particles superimposed on their mirror images.

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & 0 & 0 \\ M_{12} & M_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{33} & M_{34} \\ 0 & 0 & -M_{34} & M_{44} \end{bmatrix}$$

#### 4. おわりに

水中懸濁粒子の後方散乱観測を行い、実験的に Mueller matrix の要素を求めた。実試料の測定結果、濃度と粒子特性による Mueller matrix 要素の対称性を理論と比較検討した。実試料の多くは特性の異なる粒子の集合であり、検討が必要である。また、粒子密度が高いと散乱像が中心部に限定されるため、画像結像方法に工夫が必要である。本研究は文部科学省科学研究費補助金(C)の援助を受けた。

#### 参考文献

- 1) K.J. Voss and E. S. Fry, Appl. Opt. Vol. 23, 4427-4439(1984)
- 2) S.Yamagishi, T.Murayama and T. Morinaga, Proceedings of 25<sup>th</sup> LSS, Senpoku-shi, 2007
- 3) M.J.Rakovic et al. Applied Optics Vol. 38, No. 15, 3399-3408(1999)
- 4) H. C. van de Hulst, "Light Scattering of Light by Small Particles" Dover, 1981

Fig. 1 Experimental results for the azimuthal dependence of cross-polarized patterns correspond to the HV and HH orientation of the experimental set-up. Right side figure shows the example of directly measured HV pattern, a dotted circle indicates sampling points of [HV, d=250] corresponding to the graph.

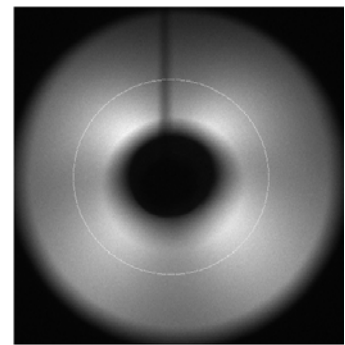
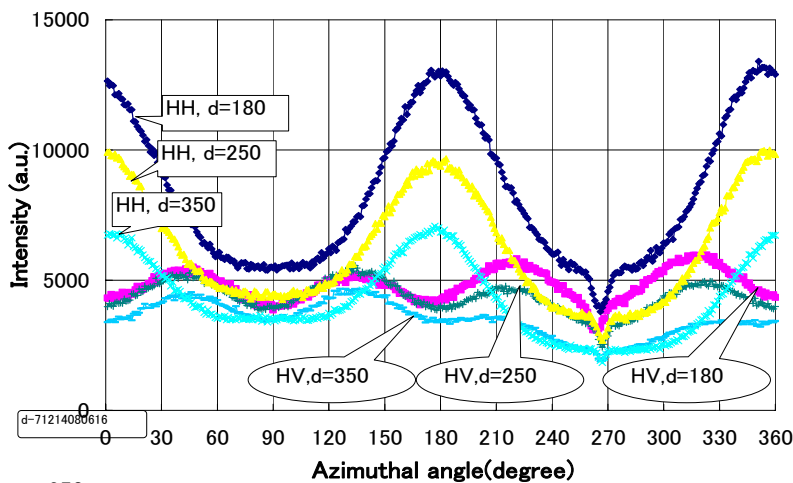


Fig. 2. Experimental results show for the azimuthal dependence of M12 of Mueller matrix for three different concentrations. Plotted data correspond to the circle of 25 mm.

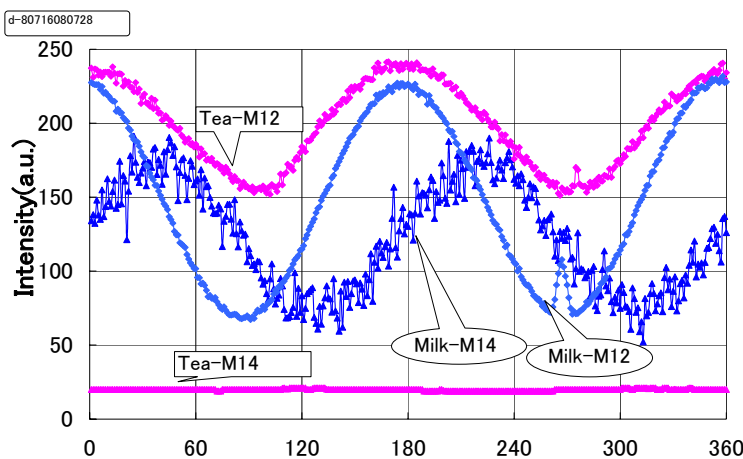
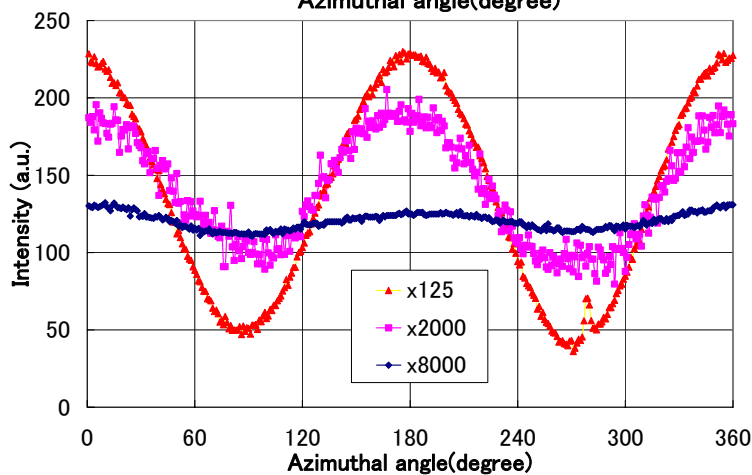


Fig. 3. Experimental results show for the azimuthal dependence of M12 and M14 of Mueller matrix for homogenized milk and Japanese tea. Plotted data correspond to the circle of 25 mm. Tea-M14 is almost flat.