HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	後方多重散乱光の空間的偏光異方性
Author(s)	岩井, 俊昭
Citation	電子科学研究, 4, 128-130
Issue Date	1997-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24397
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_P128-130.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

後方多重散乱光の空間的偏光異方性

附属電子計測開発施設　岩　井　俊　昭

高密度散乱媒質からの後方散乱光は，偏光方向によって「蝶ネクタイ状強度分布」と「クローバー葉状強度分布」を媒質と空気との境界面に形成する。このような空間的偏光異方性を有する強度分布は，低次散乱の寄与が支配的であり，入射光の偏光に対する散乱過程の偏光消散が不十分な状況において発生する。本研究では，この特徴的な強度分布の粒子径依存性をモンテカルロ・シミュレーションを用いて波動光学的に解析する。

1．はじめに

網膜[1]，雲の水滴[2]，なめらかな粗面[3]，および微粒子水溶液[4]からの多重散乱現象の偏光特性に関しては，単散乱には現れない新しい現象が発見されている。媒質と空気の境界面近傍では，入射光の偏光と平行な成分が「蝶ネクタイ状の強度分布」を形成し，垂直な成分が「クローバ葉状強度分布」を形成する。このような強度分布は，後方散乱光に寄与する散乱光成分のうち，低次散乱の寄与が支配的であり，入射光の偏光に対する散乱過程の偏光消散が不十分な状況において発生する。したがって，この現象を解析する問題は，単散乱理論と多重散乱で一般的に用いられている光子拡散理論の狭間に存在するものであり，現時点で有効な理論がない。

本研究では，このような多重散乱光の偏光特性をRayleigh-Debye散乱理論に基づくモンテンカルロ・シミュレーションを用いて波動光学的に解析し，強度分布の散乱粒子径依存性を解析する。

2．モンテカルロ・シミュレーション

図1にシミュレーションで想定する実験系を示す。直線偏光化されたレーザ収束光が空気と散乱媒質の境界面の一点から入射され，媒質内における多重散乱を経て伝播したのち，後方に射出される。検光子の方向を入射光の偏光方向と平行および垂直に選択しながら，結像レンズを通して媒質の境界面上の強度分布を観測する。媒質内のランダムな多重散乱において，個々

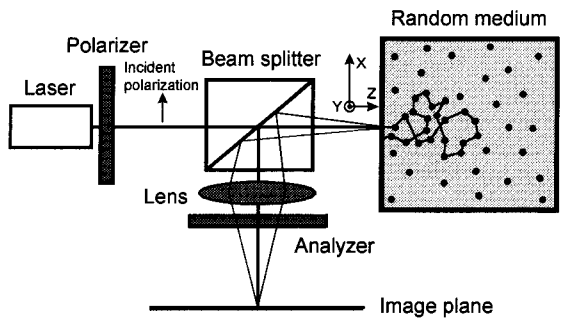

図1　想定する実験系

の散乱過程はRayleigh-Debye散乱を仮定し，偏光を考慮しつつ光線追跡を行う[5]。最終的に出射面を出る散乱光強度のインコヒーレント和が強度分布になる。モンテカルロ・シミュレーションにおいては，レーザ光の波長は633 nm，散乱媒質は屈折率1.59のラテックス球の10%水溶液を想定した。

3．空間的偏光異方性と粒子径依存性

図2は，粒子直径100 nmと400 nmのラテックス水溶液からの後方散乱光の平行偏光成分と垂直偏光成分のシミュレーション結果を示す。なお，図においてX軸とY軸は，ともに散乱媒質の平均自由行程ℓで規格化されている。入射光の波長に比べて小さな粒子径に対して，ほぼ$r<\ell$の領域に平行偏光成分と垂直偏光成分はそれぞれ楕円状とクローバー葉状の強度分布を形成している。粒子径が増加し波長に近づくと，平行偏光成分では入射偏光方向と垂直なY軸方向に沿って

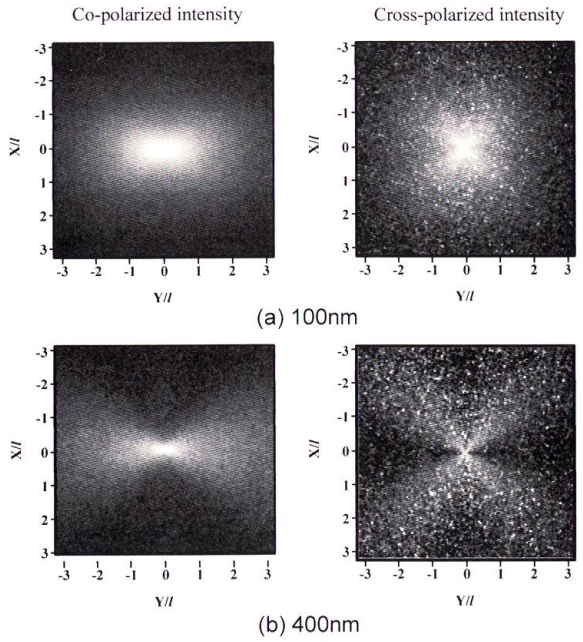

図２　後方多重散乱光の空間的偏光異方性

外側に広がり，蝶ネクタイ状の強度分布になる。一方，垂直偏光成分では，45 度傾いた方向に沿って外側に広がり，クローバー葉状の強度分布になる。

図３の(a)と(b)は，蝶ネクタイ状強度分布とクローバー葉状強度分布のコントラスト変化のシミューレンション結果を示す。(a)図から，強度分布の中心から X 軸に沿って離れるにしたがって，コントランストは増加し，$r \cong \ell \sim 1.5\ell$ で最大となり，その後減少する。また，その値は粒子径にしたがって増加する。観測点が中心付近にあるとき，低次散乱による散乱光の平行偏光成分が発生確率は低いものの X 軸上にも相当な強度で分布するため，コントラストは低くなる。観測点が中心から離れるにしたがって，X 軸方向の強度が減少し，コントラストは最大値まで増加し，その後 Y 軸方向の強度が減少しコントラストも減少する。粒子径が増加すると，低次散乱の影響が減少し，Y 軸上の全域にわたり X 軸方向の強度が減少し，コントラスト値が増加する。一方，垂直偏光成分では，コントラストは中心で最大となり，観測点が中心から離れると，コントラストは単調に減少し，ほぼ 0.05～0.1 の値で一定値に漸近する。このようなコントラストの変化は，粒子径が増加すると一層顕著になる。これは，垂直偏光強度分布は，２次散乱の寄与が最も支配的であり，３次以上の散乱成分は極端にコントラストを減少させ

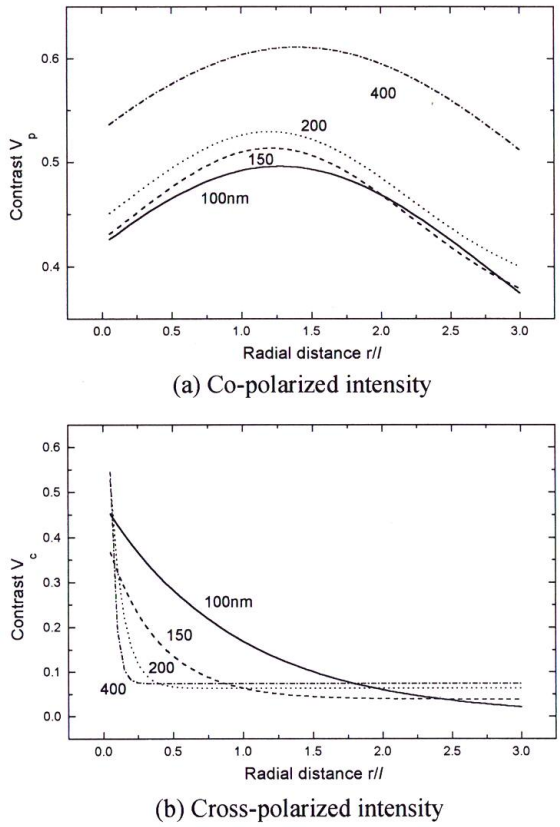

図３　蝶ネクタイ状強度分布とクローバー葉状強度分布のコントラスト特性

ること，および粒子径が増加すると低次散乱の発生確率が低下し高次散乱の発生確率が増加することに起因している。図２に見られるように，粒子径が波長に比べ小さいときは，中心付近には２次散乱から生じるはっきりした構造のクローバー葉状の強度分が形成され，観測点が離れるにしたがって十分に偏光解消を起こす高次散乱によりコントラストの低い強度分布が形成される。粒子径が増加すると高次散乱が増加するので，中心付近の構造が消失しコントラストは急激に減少し，一定の低コントラストをとる。このように，後方多重散乱光の偏光異方性は，散乱粒子径に依存した散乱次数の発生確率および偏光解消によって決定されることが明らかになった。

4．結　論

本研究では，単散乱理論や光子拡散理論が適用できないような低次散乱で生じる後方多重散乱光の空間的偏光異方性について，モンテカルロ・シミュレーショ

ンを用いて検討した。その結果，平行および垂直偏光強度分布は，それぞれ特徴的な「蝶ネクタイ状強度分布」と「クローバー葉状強度分布」になることが数値シミュレーションによって示された。さらに，後方多重散乱光の偏光異方性の発生は，散乱粒子径に依存した散乱次数の発生確率および偏光解消によって決定されることが明らかになった。

【参考文献】

[1] B. F. Hochheimer and H. A. Kues, Appl. Opt. 21, 3811 (1982).

[2] S. R. Pal and A. I. Carswell, Appl. Opt. 24, 3464 (1985).

[3] E. R. Mendez and K. A. O'Donnell, Opt. Commun. 61, 91 (1987).

[4] M. Dogariu and T. Asakura, J. Opt. (Paris) 24, 271 (1993).

[5] T. Iwai, H. Furukawa, and T. Asakura, Opt. Rev. 2, 413 (1995).