HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	フラクタルな光散乱場の生成
Author(s)	魚住, 純; イブラヒム, マクラム
Citation	電子科学研究, 5, 82-83
Issue Date	1998-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24419
Type	departmental bulletin paper
File Information	5_P82-83.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

フラクタルな光散乱場の生成

光システム計測研究分野　魚住　純，マクラム・イブラヒム

フラクタル的性質を持つ光散乱場は，長い空間相関を有しており，フラクタル光学の応用の観点から興味深い．そのような光散乱場を，フラクタル散乱体と通常の拡散物体による二重散乱過程を用いて生成する実験を行った．生成された散乱場のスペックルは，通常のスペックルとは異なり，固有のスペックル径を持たず，理論予測に近いべき則に従う強度相関を示した．

1　はじめに

相転移，凝集，界面形成などの物理的過程，あるいは神経細胞や血管網などの生体構造等，自然界には多様なフラクタル構造が存在する．光計測などの光技術をこのような構造に適用するとき，フラクタル構造と光波との相互作用を知ることが必要となる．このような観点からフラクタル構造が光学現象に与える影響について多くの研究が行われてきた [1,2].

一方，光技術におけるフラクタル概念の積極的な応用を考えるとき，光の場自体がランダムなフラクタル性を有するような状況が実現できれば大変興味深い．本稿では，そのような光の場が生成可能であることを示し，生成された場の強度相関特性について考察する．

2　理論的背景

規則的フラクタル物体にレーザ光を照射すると，その遠方回折場に規則的フラクタル場が生成され，そのフラクタル次元は物体のフラクタル次元 Dに依存することが知られている [1]．しかし，ランダムフラクタルの遠方回折場は十分に発達したスペックルとなり，その平均強度分布

$$\langle I(r)\rangle \propto r^{-D} \tag{1}$$

にのみ物体のフラクタル性が反映される [3]．これは，フラクタルな場とは言えない．ところが，この場を通常の散乱体に照射して得られる二重散乱スペックル場では，その強度相関関数がべき則

$$C(r) \propto r^{-2(2-D)}, \quad 1 < D < 2 \tag{2}$$

に漸近することが理論的に示されている [4]．これは，その場がフラクタルであるということを意味している．以下，この方法によるフラクタル場の生成実験について述べる．

3　実験および考察

用いた光学系を図1に示す．He-Neレーザからの拡大平行ビームを面P_1上の物体に照射する．物体を透過した光はレンズL_3を経由して面P_2上のスリガラスを照射する．そこで散乱された光をレンズL_4の後方焦点面P_3に置いたCCDカメラで検出する．P_1上の物体として，フラクタル次元 D =1.2, 1.5 および 1.8のランダムフラクタル物体に加えて，円形開口および幅の狭い円環状開口を用いた．

観測された散乱パターンを図2(a)–(e)に，また比較のため典型的なスペックルパターンを図2(f)に示した．これらの図から，(f)の典型的なスペックルおよびP_1に円形開口を用いた(d)の場合には，散乱場のスペックルを特徴づける明確な「スペックル径」が存在するのに対し，フラクタル物体を第一散乱体とする二重散乱スペックル(a)–(c)では一定のスペックル径が存在せず，大小さまざまのクラスタ状の強度分布が見られることが判る．また，物体の次元が大きいほど大きいクラスタが現れ

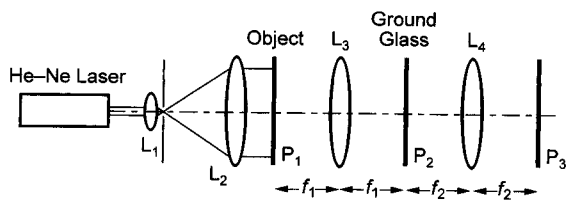

図1. 実験に用いた光学系.

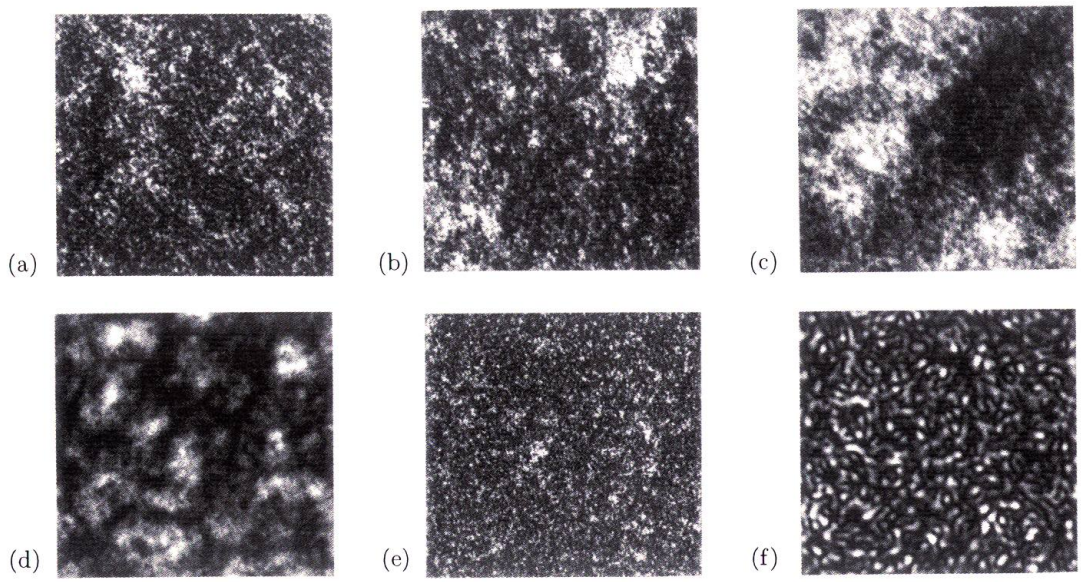

図2. 観測された散乱場のスペックルパターン．(a)–(e)は，D = (a) 1.2, (b) 1.5, (c) 1.8のフラクタル物体，(d)円形開口，および(e)円環状開口をそれぞれ物体面P_1に置いた場合．(f)は円形開口でマスクされたスリガラスを平面波で照射して得られる典型的スペックルパターン．

ている．特定の大きさが存在しないというこのような状態は，場のフラクタル性を強く示唆する．一方，円環状開口を用いたスペックルにも小規模のクラスタが観測され，フラクタル的である．

これらの強度分布の自己相関関数を図3に示す．フラクタル物体を用いた**a**–**c**では両対数表示において直線的であり，自己相関関数がべき則に従うこと，すなわち場の強度分布がフラクタル的であることが判る．これに対し，**d**および**f**の相関関数はスペックル径に相当する距離を境に急激に減少している．また，円環状開口(**e**)の場合は，物体がフラクタルではないにも関わらず直線的である．

図3の**a**–**c**の直線の傾きは，式(2)のべきの指数と比較的良い一致を示す．このような場のフラクタル次元D_sは，その強度分布を質量分布と同一視したときの質量次元として$D_s = 2D - 2$と導かれ，**a**–**c**の次元の理論値はそれぞれ0.4, 1, 1.6となる．

一方，円環状開口の遠方場はベッセル関数$J_0(r)$で与えられ，その強度分布の包絡線は式(1)の$D = 1$の場合に相当する．これが円環状開口がフラクタル的散乱場を生じる理由であると考えられる．

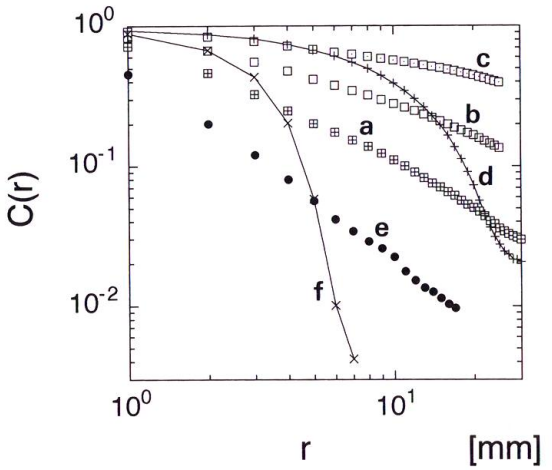

図3. 散乱強度の自己相関関数．記号**a**–**f**は図2の(a)–(f)に対応している．

[参考文献]

[1] 魚住　純，朝倉利光: 光学, **22**, 8 (1993).
[2] J. Uozumi and T. Asakura: *Current Trends in Optics*, ed. J. C. Dainty (Academic Press, London, 1994), Chap. 6.
[3] K. Uno, J. Uozumi and T. Asakura: *Appl. Opt.*, **32**, 2722 (1993).
[4] K. Uno, J. Uozumi and T. Asakura: *Opt. Commun.*, **124**, 16 (1996).