

光散乱場における位相渦の発生メカニズム

Phase Vortices in the Scattered Field of Light

高井 信勝, 高 義礼*

Nobukatsu TAKAI Yoshinori TAKA*

北海学園大学 工学部 *北海学園大学ハイテクリサーチセンター

Hokkai-Gakuen Univ, *High-tech Research Center, Hokkai-Gakuen Univ

Phase vortices produced in the scattering field of Fraunhofer diffraction are investigated by means of a computer simulation using a language of MATLAB. Interference fringe patterns with π separation are employed to display them with high contrast. The simulation procedure and several knowledge with respect to generation of phase vortices in the scattering field are reported.

1. はじめに

レンズや非球面などの形状測定で得られる干渉縞の等位相線は、通常、山岳地形の等高線のように分岐のないループの集合として観測される。しかし、ホログラフィ干渉やスペックル干渉で利用される散乱場の干渉縞には、これとは異なって、分岐や終端をもつ等位相線が現れ、これが位相の渦構造によることが知られている。本稿では、科学技術計算言語 MATLAB を用いた計算機シミュレーションによって位相渦の発生メカニズムを調べた結果について報告する。

2. シミュレーションの手法

〈散乱体モデル〉散乱体を光源とみなし、2次元の有限配列（7×7）の散乱体セルモデルとした。おのおのの光源要素が与える光波の位相をガウス乱数で与え、その標準偏差値を変えて散乱場の干渉縞を調べた。

〈計算モデル〉ランダム位相をもつ散乱光源からフラウンホーファ回折領域に形成される散乱場の位相を調べた。計算では、光源の2次元フーリエ変換を求め、その観測面に適当なティルトを与えた参照平面波を重ね合わせて干渉パターンを作成した。

いま、散乱場の振幅分布と位相分布をそれぞれ $S_0(x,y)$ および $\phi(x,y)$ で表わすと、その複素振幅分布は $S(x,y) = S_0(x,y)\exp[i\phi(x,y)]$ とかける。このとき、これに参照波を $R(x) = R_0(x)\exp(-2\pi ix/L)$ を重ねた干渉強度は、

$$I(x,y) = |S(x,y) + R(x)|^2 = S_0^2(x,y) + R_0^2 + 2R_0S_0(x,y)\cos[2\pi x/L - \phi(x,y)] \quad (1)$$

となる。ここで、 L は参照波のティルトを決める定数である。

〈干渉縞の表示法〉式(1)の第3項目が干渉項であるので、第1、第2の項を差し引いた結果を表示した。このとき、散乱場の干渉縞を通常のように位相差が 2π ごとに \cos 項が極大になる点を明るく、極小になる点を暗く表示すると振幅 $S_0(x,y)$ の影響で非常に低コントラストの表示になる。振幅 $S_0(x,y)$ に関わりなく、コントラストの良い干渉縞は \cos 項の絶対値を表示することで得られる。このときには、干渉縞の明線は位相差が π ごとに生じ、かつ振幅の明暗に重なって干渉縞が得られる。

〈位相渦の干渉縞〉Fig.1 は、位相渦に関して上述の二つの干渉縞の表示法を比較した結果である。Fig.1(a)は、空間のある点（位相の特異点）の周りで位相が渦を巻いてゼロ（黒い部分）から 2π （明るい部分）まで変化する様子を明暗で示したものである。(b), (c)は、それぞれ干渉縞を位相差 2π と π で表示した結果である。これに見られるように、位相の特異点の周りの枝分かれし、干渉縞は前者の表示では Y

字型，後者ではΨ字型の独特なパターンを示す。

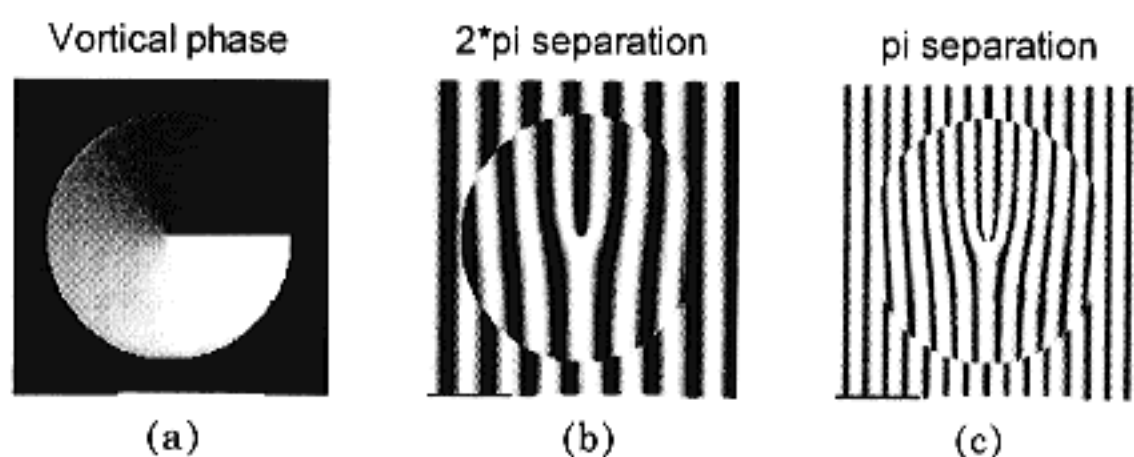


Fig.1 位相渦の空間分布(a)と干渉縞。(b)は隣り合う縞の位相間隔が 2π ，(c)は π 。

3. 散乱場の干渉縞

Fig.2 に位相変動の標準偏差が 0.5π の場合に得られた散乱場の強度分布（左図）と，その場に参照波を与えて得られた干渉縞（右図）の一例を示す。ここで干渉縞は，位相差が π ごとの明線で表示している。この干渉縞を見ると，Fig.1(c)の位相渦の結果に類似した干渉模様がいくつかの箇所（白い輪で示す部分）に認められる。これが，散乱場に生じる位相渦の現れである。

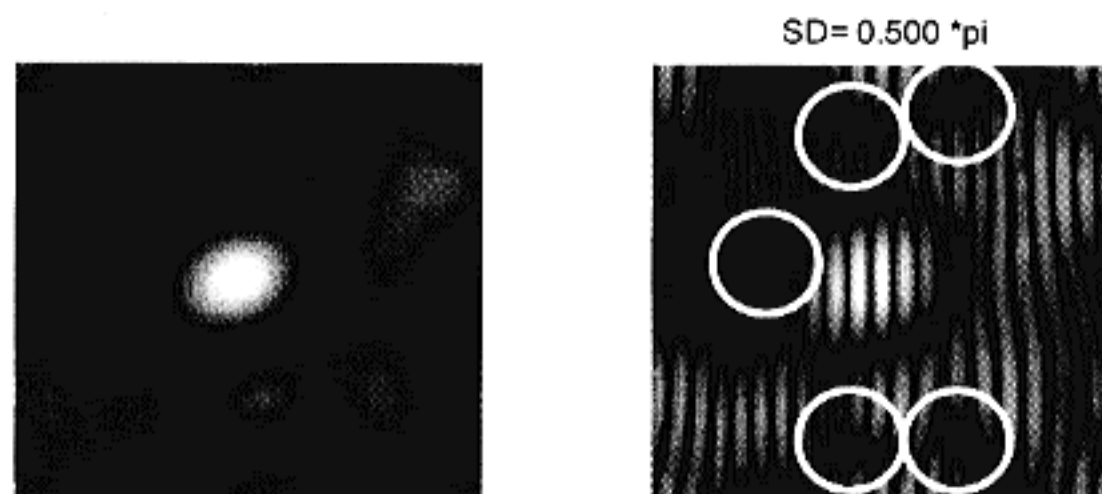


Fig.2 散乱場の強度分布（左）と隣り合う縞の間の位相間隔が π の干渉縞（右）。

この研究では，散乱物体から出射する光波の位相の標準偏差を種々に変えて位相渦の現れを調べ，その結果次のような知見が得られた。(1)位相渦は，散乱強度がゼロの点の周りに発生する（必要条件）。(2)散乱場は，いわゆるスペックルパターンを呈するが，個々のスペックルの内部では位相が一定である。(3)位相渦は，隣接するスペックルの位相が不整に接合したときに発生する。これらの様子は，Fig.2 においても見ることができる。

参考文献

- (1) 武田光夫：「光の位相に渦をみる：位相アンラップ問題」，応用物理，第 65 巻，第 8 号，pp.811-816 (1996)。
- (2) 外丸敏宏，宮本洋子，武田光夫：「粗面により散乱された光波動場の位相特異点の空間構造」，Optics Japan'98 予稿集 pp.345-346 (1998)。