

## 219 光散乱場における位相渦の考察

## Phase Vortex 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

## 1. はじめに

光波の干渉計測は、干渉縞を解析することで位相分布を検出し、これによって、光の波長を基準スケールとして、対象の形状や微小変化を高感度で得られる。古くから応用されている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(図1)。しかし、ホログラフィ干渉やスペck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、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

(光源モデル) 光源を2次元の有限配列(7×7)の散乱体セルモデルとし、おのおのの光源要素が制御できるランダム位相をもつモデルとした。ランダム位相は、ガウス乱数によって与えた。

(計算モデル) ランダム位相をもつ散乱光源からブ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  $R(x) = R_0 \exp(-2\pi ix/L)$  を重ねた干渉強度は、

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

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。したがって、計算では干渉項である式(1)の第3項

$$J(x, y) = I(x, y) - S_0^2(x, y) - R_0^2 = 2R_0 S_0(x, y) \cos[2\pi x/L - \phi(x, y)] \quad (2)$$

を求めた。ただし、結果の表示においては、式(2)の絶対値を用い、ゼロ強度の暗線を黒く表示した。したがって、 $\pi$  の整数倍ごとの等位相線が明線として示される。このとき、明線を与える条件は式(2)より

$$\frac{2\pi x}{L} - \phi(x, y) = \pi n \quad (3)$$

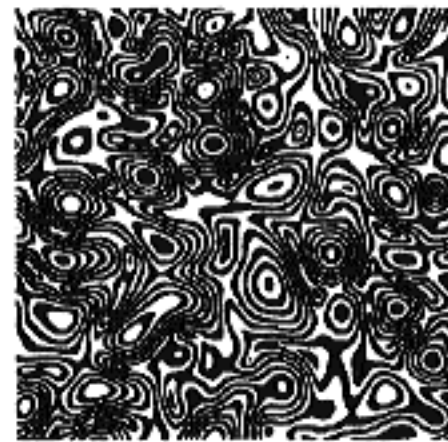


図1 分岐のない等位相線マップ

である ( $m$  は次数).

なお, 散乱場の位相  $\phi(x, y)$  は, 一般的にはランダム変数であるが, 特別な場合として位相ゆらぎがなく, かつ散乱領域が方形 (一辺が  $a$ ) であるときには式(2)は

$$J_{\phi=0}(x, y) = 2(ab)R_0 \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} \frac{\sin(\pi y)}{\pi y} \cos(2\pi x/L) \quad (4)$$

となる.

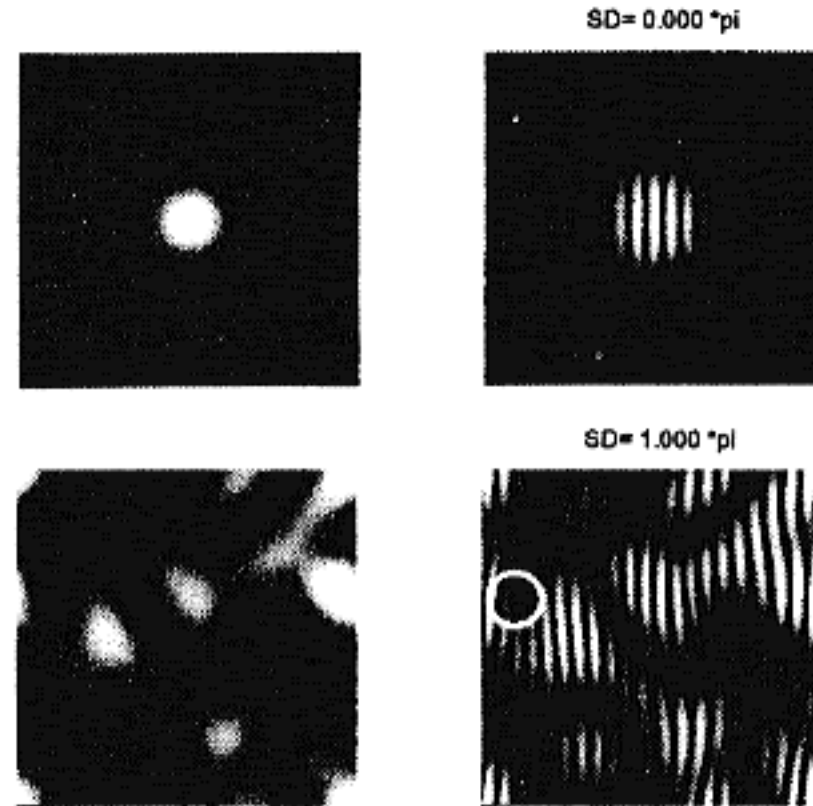


図2 散乱場の強度分布 (左) と干渉パターン (右).  
 $\sigma_\phi = 0$  (上) と  $\sigma_\phi = \pi$  (下)

### 3. 結果と考察

図2に散乱体での位相変動の標準偏差  $\sigma_\phi$  が0 (上図) と  $\pi$  (下図) の場合に得られた散乱強度分布 (左図) と干渉パターン (右図) を示す.  $\sigma_\phi = 0$  の結果は, 位相の変動が無い場合で式(4)に相当し, 方形開口の回折パターンに干渉縞が重畳した結果が得られている. この場合は, 回折光が生じる部分に参照光のフィルト量で決まる平行な干渉縞になる.

一方,  $\sigma_\phi = \pi$  の場合には, 散乱体の各セルから出射する光波の位相が異なるために, 散乱強度分布はランダムな散乱パターン (スペckルパターン) となる. この場合の干渉縞には, 図中の白丸で囲まれる部分のような位相の渦を特徴づける分岐や終端が幾つかの箇所で現れている. 左右の図を比較して分かるように, この位相の特異点は光が到達していないところに生じ, 散乱光が生じる場所では縦縞状の構造を取っている. このように, 散乱場の位相はスペckルの個々の領域ではほぼ一定しているが, 隣接するスペckルの間では位相の不整な接続が生じていることが考えられる.

#### 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).