

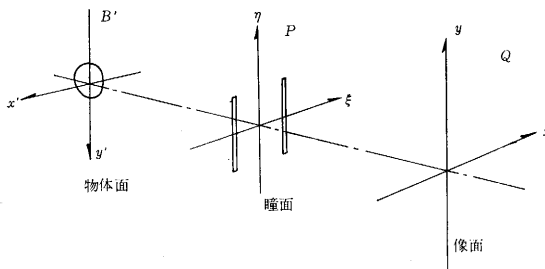
# インコヒーレントに近い光源の空間的コヒーレンスの測定法 (1)

Measurement Method of the Spatial Coherency of Nearly Incoherent Source

小瀬輝次

空間的な degree of coherence は複スリットの干渉縞の可視度 (visibility) から求められているが<sup>1)</sup>, これはこの方法が忠実にコヒーレンスの定義を実験的に実現せしめ得るからである. ところが, 第1図のように拡がりを持つインコヒーレントな単色光源  $B'$  によって照明されている面 P に複スリットを置いて干渉縞を Q 面上に作る場合, この干渉縞の可視度曲線は光源  $B'$  の形状の空間的スペクトルを示す<sup>2)</sup>. また,  $B'$  が点光源で多色光の場合には, そのスペクトル強度分布を示す<sup>3)</sup>.

これらの現象は Michelson によって前者は stellar interferometer と呼ばれ星の視直径の測定に, 後者はスペクトル線の微細構造の解析にそれぞれ応用されている.



第 1 図

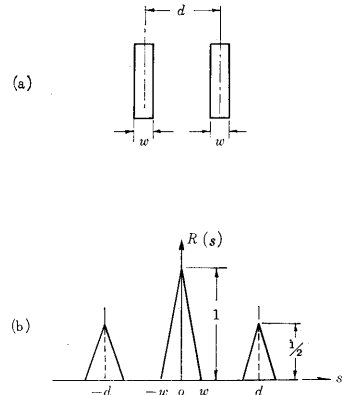
このように複スリットの干渉縞の可視度曲線が, ある場合は degree of coherence を示し, またある場合は光源の形状の空間的スペクトルを示すというのは, それらがある条件のもとでは同義のものであることを意味し, 久保田<sup>4)</sup> はコヒーレンス理論の観点からこの両者を統一したが, ここではレスポンス関数的な考えでこれらを統一し, その結果を degree of coherence の測定に応用することを考えてみた.

第1図の光学系は開口が複スリットである以外は一般のインコヒーレントな物体の時の結像と同じであるから, いま P 面で任意の開口を持つとしてこの光学系の点像の強度分布を  $r(x, y)$ , 光源の強度分布を  $B'(x', y')$  像のそれを  $B(x, y)$  とすると, これは下式のように  $r(x, y)$  と  $B'(x', y')$  の convolution 積分で与えられる.

$$B(x, y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} r(x', y') B'(x-x', y-y') dx' dy'$$

したがって, 光源と像の空間的スペクトルを  $b'(s, t)$ ,  $b(s, t)$  とし, 結像系のレスポンス関数を  $R(s, t)$  とすると

$$b(s, t) = b'(s, t) R(s, t) \dots \dots \dots (1)$$



第 2 図

の関係が得られる.

ここに P 面の座標  $(\xi, \eta)$  は実寸法を瞳の最大径で除した fractional coordinate であり, Q 面の座標  $(x, y)$  ならびに  $(s, t)$  は次式で近似的に与えられる.

$$x \approx \pi l / \lambda F \quad y \approx \pi m / \lambda F \quad s = 2\lambda F / l \quad t = 2\lambda F / m$$

ここに  $\lambda$  は光の波長,  $F$  は光学系の口径比,  $l, m$ , は Q 面上の  $x$  方向, および  $y$  方向の実寸法とする.

複スリットの場合は第2図 (a) のようにスリット間隔  $d$ , スリット幅  $w$  とすると1次元のレスポンス関数  $R(s, 0)$  は瞳関数の自己相関で与えられるので, 図 (b) のように  $s=0, \pm d$  で三角波形の側帯波を持つものになる<sup>5)</sup>. この側帯波の幅は低辺で  $2w$ , 高さは  $s=0$  の時を 1 として  $1/2$  である.

通常 stellar interferometer は星のように視直径の非常に小さい光源を取り扱うので, 従来光源が小さいという仮定のもとに理論式が導かれているが<sup>2)</sup>, 上式のようにレスポンス関数で考える時は初めにこのような仮定を設ける必要はない. ただし光源の空間的スペクトル分布  $b'(s, 0)$  を正しく像のコントラストから求めるためには  $R(s, 0)$  の側帯波幅  $2w$  内で  $b'(s, 0)$  が一様であることが必要になる. つまりこのために光源が小さいということが必要になるわけである. しかしながら,  $b'(s, 0)$  がたとえ幅  $2w$  内で一様でなくてもその変化が一次微係数のみで近似できる範囲では干渉縞の波形は歪むけれどもコントラストには影響しない. したがって実際上ある程度のスリット幅を許すことができる. 光源の形状を仮定すればこの許容幅は簡単に理論的に求めることができる.

さてこの光源の空間的スペクトル  $b'(s, t)$  と degree

of coherence の関係を考えてみると、インコヒーレントな光源の場合には van Cittert-Zernike の定理により  $b'(s, t)$  は P 面の degree of coherence に外ならない。したがって光源がインコヒーレントの場合に degree of coherence の測定のために複スリットを用いることは、上記の stellar interferometer によって光源の空間的スペクトルを求めるのとまったく同じことになるわけである。

ただ実際にあたって stellar interferometer では前記のように光源が非常に小さい場合が主であるから、スリット幅  $w$  はほとんど問題にならず、スリット間隔  $d$  をできるだけ大きくし分解能を増すことに技術的な考慮が必要となる。しかし degree of coherence の測定の場合には、おもに光源が大きく  $b'(s, t)$  の拡がりの小さい場合であるから、逆にスリット間隔  $d$  を狭くする必要があり、とくにインコヒーレントに近い degree of coherence の測定の際にはミクロン order の  $d$  を用いねばならぬ。もちろんこれに応じてスリット幅  $w$  もまたさらに狭くしなければならない。そして可視度曲線を求めるためにはスリット間隔  $d$  を変えるために、このような小さなスリットを数多く用意する必要がある。これは技術的にかなり面倒なことになる。

この点を改良して筆者等はズームレンズとコリメータレンズを組み合わせたアフォーカル系で測定面を光学的に拡大するとともに、ズームレンズで任意にスリット幅を変えられるようにした複スリットでルビレーザ光の degree of coherence の測定を行なったが<sup>6)</sup>、ここで上述のように degree of coherence の測定が  $b'(s, t)$  の測定であるとすれば、このような場合複スリット法によらず既知のレスポンス関数の光学系を用いて、像の空間的ス

ベクトル  $b(s, t)$  を測定し (1) 式より得られる

$$b'(s, t) = \frac{b(s, t)}{R(s, t)}$$

の関係式から  $b'(s, t)$  を求める方がよいことがわかる。

もちろんこの場合  $b(s, t)$  を求めるためには光源の光学系による像の強度分布を数値計算、あるいは光の回折現象を利用してフーリエ変換する面倒はあるが、一度の計算で  $b(s, t)$  が求められる点は複スリット法でスリット間隔を変えて順次に可視度曲線を求めてゆくのに比較すれば、はるかに簡便であり、かつ精度もよい測定法といえよう。

以上は stellar interferometer に重点をおいて考えたので、第 1 図の光源  $S$  と面 P の間には光学系が入らぬ場合を考えた。もしこの間に光学系がある場合は  $b'(s, t)$  は直接光源  $B'$  の空間的スペクトルではなく effective source の空間的スペクトルと考えればよい。

現在この理論をルビレーザ光の空間的コヒーレンスの測定に応用してこれの測定を行ない、通常の複スリット法で得られた結果と比較しているが、予備実験の段階では予想通りの結果が得られている。これらについては引き続き第 2 報で報告する予定である。

(1963年10月28日受理)

文 献

- 1) たとえば Max Born & E. Wolf. Principles of Optics, Pergamon Press p. 511 (1959)
- 2) たとえば同上 p. 270, あるいは 4)
- 3) たとえば同上 p. 315, あるいは 4)
- 4) 久保田広, 生産研究 15, 10, 410 (1963.10)
- 5) R. C. Jennison. Fourier Transforms and Convolutions for the Experimentalist. Pergamon Press p. 95 (1961)
- 6) 佐々木秀行, 小瀬輝次, 応用物理学学会講演会 38 年 10 月

正 誤 表 (12月号)

ページ	種 別	正	誤
3	第 8 図	$\frac{l_2}{l}$	$\frac{l_2}{1}$
5	第 12 図	ホイールベース	ホイールベース
16, 17	第 4 図~ 第 7 図	横軸の数字 $\bar{2}, 5$ は $3, 5$ に、 $\bar{1}, 5$ は $\bar{2}, 5$ に、 $0, 5$ は $\bar{1}, 5$ に訂正	
16	第 4, 5 図の表中 Fog の項	0.04, 0.05, 0.05, 0.06 と訂正	
17	第 6 図の表中 Fog の項	0.09, 0.10, 0.14, 0.15 と訂正	
"	第 7 図の表中 Fog の項	0.16, 0.16, 0.19, 0.22 と訂正	

表紙の色について

ことし 1 年間の表紙の淡赤色は、星野昌一教授に運んでいただいたものを日光堅牢度 (Light Fastness, 1~8 級まであり、数の多いほど堅牢、4 級より堅牢といえる) の高い顔料を用いて印刷したものである。顔料の成分はベンガラ (L. F. 7~8)、カドミウム・エロー (L. F. 7~8) とチタン・ホワイト (L. F. 7~8) で申分ない。なお印刷インキは東洋インキ製造株式会社より 1 年分の寄贈をうけた。(出版掛)