

光学像の改良についての最近の研究

——光学におけるフィルタリングについて——

斎藤 弘 義

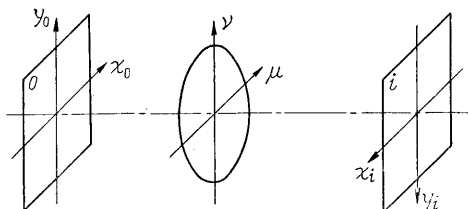
1. ま え が き

一般にレンズやプリズム等を含む光学系は物体の形状についての情報を受け取ってこれを像として伝達するものであるから、広い意味で情報理論が適用されることは想像できると思うが、特にレンズが通信系における線型のフィルタ回路に相当することが明らかになって、回路の特性を周波数特性で表現すると全く同様に物体の構造即場所的な明度の分布を空間軸上での一つの波形と考え、空間周波数というものを設定してレンズの結像特性を空間周波数に対する性能で見直してみようという気運が数年来非常に活潑になり、またこの見地から通信で行われている種々の技巧がそのまま光学にも適用できることが明らかとなった。光学ではこの線に沿った研究が最近非常に数に上るが、それらを概観すると研究の方向には二つあって、一つはいままで主として収差論で取り扱ってきたレンズの性能を空間周波数に対するレンズの透過特性（光学ではこれをレスポンス函数と呼んでいる）を求めるというやり方で、収差があるときはその特性がどう変るか、あるいはどういう特性のものが良いレンズかということを調べてゆくもので、いままで比較的ばくぜんとして用いられていた“像の良さ”というものが科学的に明瞭にされてきて、その結果レンズの試験でも従来の標板による解像力試験よりもむしろレスポンス函数を求める方向に変わりつつありそのための測定器も種々考案されている。これに対してもう一つの方法はより積極的に光学系に種々の改変を行い、レスポンス函数そのものを覚えて使用目的に合致するものを作り出そうとする試みである。この方法は空間周波数に対する透過特性をある所から切除したり減らしたりするので通信系における同様フィルタリングと呼んでいる。光学では古くから像を変えるためのいろいろの手段があったが、こういう考え方から見直すと理解し易いので、それらも含めて光学ではフィルタリングとしてどのようなことが行われてきたかを展望し、この方面に関心を持つ人の参考に供したいと思う。

2. フィルタとしての光学系

われわれは物体をレンズにより写像しようとする時、当然物体からの光を問題にするわけであるが、一概に物体からの光といってもその状態は非常に違う。写真レンズの対象となる物体は多くは外光を反射し、しかも光波の位相の点では全く秩序がなくなって、物体の異なる2点からくる光は互に干渉し合わない。それに反して顕微

鏡の対象となる物体は、これを照明する仕方で2点からくる光にある程度干渉し合う成分が含まれていて、極端な場合点光源から出た光は物体を透過した後も全く可干渉である。この可干渉か否かの程度は光学レンズの結像が干渉とか回折とかによるのであることを思い合わせれば非常に重要なことになるわけで、前者の場合を *incoherent*、後者の極限の場合を *coherent* といい、その中間の状態を *partial coherent* といって区別する。そして結像理論は一般論としては *partial coherent* のときを扱ってたてれば、その両極端の場合として *incoherent* および *coherent* の場合がそのまま取り扱えるのであるが、この一般論は非常に複雑な理論となり、レスポンス函数に当るものが単なる周波数に対する一つの函数でなくなるので、取扱いがむずかしくこの方面はまだ余り手をつけられてない。それに対して *incoherent* と *coherent* のときは非常に簡単に理論が構成される。



第 1 図

(1) *incoherent* の場合 第1図で物体が $o(x_0, y_0)$ という明度分布をしているときにその像 $i(x_i, y_i)$ はどうなるかを考えるに、まず物体面上の1点を考えると、これのレンズによる回折像は $t(x_i, y_i)$ となるとする。例えばレンズに収差がなく像面が Gauss 像面に置かれていれば t は Airy disc といわれる強度分布が $[J_1(ax_i)/ax_i]^2$ で示されるものになり、収差があればそれに応じて変形した回折像になる。物体面上の各点が像面ではこのようになるから、物体の像の強度分布は

$$i(x_i, y_i) = \iint o(x_0, y_0) t(x_i - x_0, y_i - y_0) dx_0 dy_0$$

となる。いま i, o 等をそれぞれ波形と考えて Fourier 分析し Fourier スペクトル（空間周波数）で考えると

$$I(\mu, \nu) = \tau(\mu, \nu) O(\mu, \nu)$$

ということで、この両式は通信系の線型フィルタを介して入力信号と出力信号を結びつける式と全く同様であることが判る。 $\tau(\mu, \nu)$ は $t(x_i, y_i)$ を Fourier 変換したものでフィルタの周波数特性を表わすものであるが、光学ではこれをレスポンス函数というのである。一方光学

では $t(x_i, y_i)$ は Huygens の原理から出射瞳における振幅透過率 (pupil 函数) の Fourier 変換したものの絶対値を自乗することにより求められるからその関係から

$$\tau(\mu, \nu) = \iint \hat{\tau}(\mu', \nu') \hat{\tau}^*(\mu' + \mu, \nu' + \nu) d\mu' d\nu'$$

となる。ただし τ は pupil 面の振幅透過率を示し、収差のない完全なレンズでは

$$\begin{aligned} \hat{\tau}(\mu', \nu') &= 1 \quad (\text{pupil 内で}) \\ &= 0 \quad (\text{pupil 外で}) \end{aligned}$$

一般に吸収 $a(\mu', \nu')$ 、波面収差 $\Delta(\mu', \nu')$ があるときは

$$\begin{aligned} \hat{\tau}(\mu', \nu') &= a(\mu', \nu') \exp ik\Delta(\mu', \nu') \quad (\text{pupil 内で}) \\ &= 0 \quad (\text{pupil 外で}) \end{aligned}$$

$$\text{ただし } k = 2\pi/\lambda$$

として表わされる。

(2) coherent の場合 このときは incoherent のときのように強度について線型な関係はないが振幅については全く同様な線型な関係がある。すなわち像の振幅 $\hat{i}(x_i, y_i)$ (振幅の意味で \wedge を付ける以下同じ) は

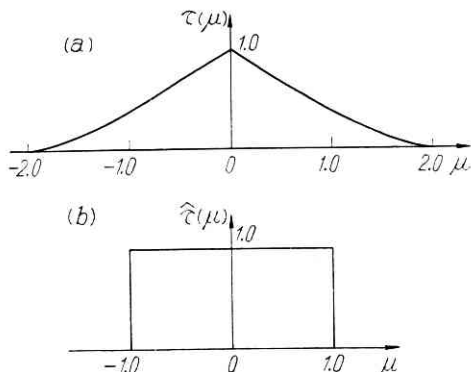
$$\hat{i}(x_i, y_i) = \iint \hat{o}(x_o, y_o) \hat{t}(x_i, y_i) dx_o dy_o$$

あるいは

$$\hat{I}(\mu, \nu) = \hat{\tau}(\mu, \nu) \hat{O}(\mu, \nu)$$

である。

従来は光学像を求めるのに主として前者の積分の式を使って計算していたのであるが、空間周波数という量を導入すると後者のように単なる積として求めることができるのでいろいろの見通しも簡単につくことになり、光学系の特性はレスポンス函数 $\tau(\mu, \nu)$ あるいは $\hat{\tau}(\mu, \nu)$ ですべて表わせることになる。例えば無収差レンズのレスポンス函数は incoherent のとき第2図(a)となり、coherent では第2図(b)になり、共に low pass filter に相当し、レンズの解像力の限度もおのずから決まってくる。以上の考察から μ, ν 面でフィルタリングを行えば像の性質が変わってくるわけであるが、光学では μ, ν 面は実際に対応する面が存在し、以下に述べるように pupil 面とか物体の回折スペクトル面で適当な細工をす



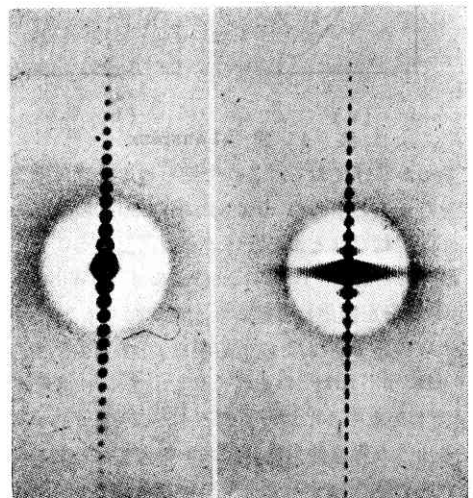
第 2 図

ることにより像が違ったものになり、目的によっては興味ある像を作ることができる。

3. レスポンス函数を変える方法

pupil 面に適当な吸収や位相を与えて振幅透過率を変えればレスポンス函数は変ってくる。従来のレンズ設計における収差補正の計算や Schmit plate 等は位相のみのフィルタをいろいろ変えて理想とするレスポンス函数のものを作ろうとしていたこととなるし、また pupil 面に吸収を与えて回折像を変えることも一種のフィルタリングとすることができる。ここでは比較的新しい吸収膜を与える方法を概観してみよう。

分光分析の場合、スリット (話を簡単にするため線光源と考える) のプリズムの矩形開口による回折像は $(\sin ax/ax)^2$ のよく知られた形のものとなり、スリットの幅の方向 (すなわち分散の方向) に拡がりを持つが、非常に接近した 2 本のスペクトル線でしかも一方が他方に対して暗いような場合は、一方の回折像の裾に隠されてしまつて分離できなくなる。これは分光器の分解能として問題にされてきたものであるが、この場合なるべく裾を引かない結像系ができれば非常に助かるわけである。この問題はフランスにおいて apodisation の研究として P. Jacquinet¹⁾, B. Dossier²⁾ 等によって数年にわたって行われた。初めは pupil の幾何学的形を変えて分散の方向に回折縞の拡がらないような工夫から始めて、位相フィルタ、吸収フィルタ等を理論的に検討し、この目的には吸収フィルタが良いという結論を得て金属の真空蒸着により一次元的な吸収フィルタを製作した。第3図はフィルタの効果を示す1例で右図の横方向の回折縞は左図のように消される。また円形開口の場合についても検討した。円形開口の場合 pupil 面の振幅透過率 $T(\rho, \theta)$ (回転対称の場合) と点の像の振幅分布 $G(r, \theta)$ とは Hankel の相反関係で結ばれ



第 3 図 (Dossier)

$$G(r, o) = 2\pi \int_0^1 T(\rho, o) J_0(2\pi r \rho) \rho d\rho$$

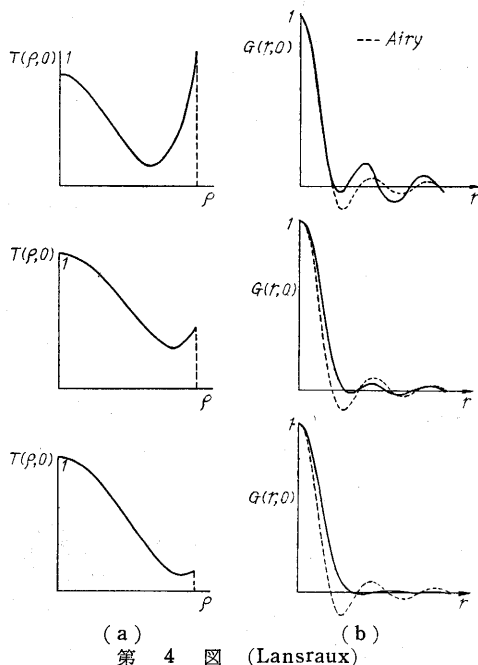
で現わされるが、一般に $T(\rho, o)$ が任意の函数のときはこの積分は解析的に求められない。それでこの積分が求まるような函数の和に展開して回折像を求めるわけであるが、Dossier は Dini-Bessel の展開を用いて apodisation の目的に沿うものを求めている。また G. Lansraux³⁾ は天体観測の際、惑星の衛星が惑星の作る回折輪の中に埋もれて探知できないようなとき回折輪の1次の暗輪をずらしてやる目的で吸収フィルタを計算した。pupil 函数を

$$T(\rho, o) = \sum k_n A_n \quad \text{ただし } A_n = (1 - \rho^2)^{n-1}$$

とするとき回折像は

$$G(r, o) \sim \sum K_n L_n \quad \text{ただし } L_n = n! J_n(2\pi r) / (\pi r)^n$$

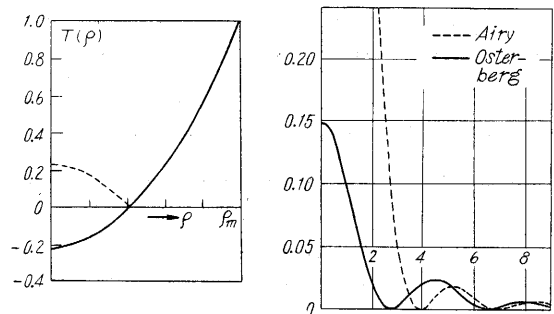
の形になり、1次および2次の Min の位置を指定するときは $n=3$ で、1, 2, 3 の各次の Min の位置を指定するときは $n=4$ として $T(\rho, o)$ の形を求めた。第4図(a)の $T(\rho, o)$ に対する $G(r, o)$ を第4図(b)に例と



第 4 図 (Lansraux)

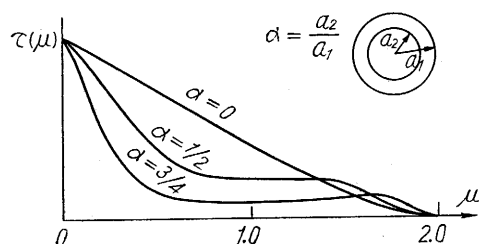
して幾つか挙げておく。これで見られるように適当な吸収膜を与えると中心の disc は Airy のものよりも大きい、回折輪のほとんどないような像を作ることができる。同様のことを H. Osterberg & J. E. Wilkins⁴⁾ は Sonine 積分を使用して解析し、第5図のように pupil 面に吸収膜および $\pi/2$ の位相膜を coat して、中心の明るい disc が Airy のものよりも小さく、例えば径が 77% でしかも中心における明るさが 21% ぐらいで止められるような顕微鏡対物レンズを報告している。

これらの場合はすべて点光源を対象としているので、前節で述べたように振幅に対するレスポンス函数は



第 5 図 (Osterberg & Wilkinson)

pupil 面における複素透過率そのものになるので、定性的にはフィルタリングと考える和理解し易い。すなわち pupil の外縁部は高周波部に対応し、この部分をよく透すときは回折像は高周波部を多く含み、拡がりや少なくなることは予期できる。第4図の場合、周縁部の透過率を増してやると回折像の中心極大は次第に細くなって、Airy のものに近づき、第5図の場合は周縁部の透過率を増して高周波分を多くとり入れ、中心以外の場所での高周波分の合成でできる回折像の裾を負の低周波分によって打ち消すようにして、非常に鋭い回折像を作っていると考えることができる。この考えから回折像の幅を狭めるための最も簡単な手段として pupil の中心部を遮光して外縁部のみ光を通すような high pass filter も考えられるが、このようなものは従来球面鏡等を使う反射光学系の際の円環状開口の場合で、その回折像を W. H. Steel⁵⁾ が調べているが、やはり中心極大が Airy のものより幅狭くなることが知られている。しかし以上のはすべて点光源に対するもので、2点の分解などにはよい結果を与えるとはいえず、一般に拡がりを持つ対象の写像には回折像の二次以上の極大の影響もあって非常にフレアーの多いレンズと同様な結果となって好ましくない。拡がりを持つ対象の場合は、pupil 函数の自己相関函数としての incoherent の場合のレスポンス函数で議論せねばならないのは当然で、例えば円環状開口のレスポンス函数は第6図のようになり、高周波分で利得があるかわりに中程度の周波数で損失があることが判る。以上の場合は、すべて収差のないレンズについての改良であったが、収差のある場合も pupil 面に適当なフィルタリングをすれば収差を補正することもできる。辻内⁶⁾ は



第 6 図

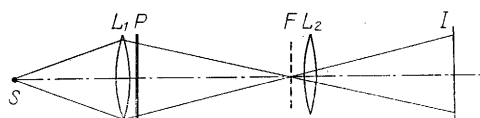
この研究を進めているが、すでに defocus のときの像を改良する濃度フィルタを発表している。収差のある場合の pupil 函数は $T(r)\exp[ikW(r)]$ で表わされる。ここで $T(r)$ は振幅透過率、 $W(r)$ は波面収差である。いま

$$T(r) = \frac{1}{2} \{1 + \cos[kW(r) + \delta]\}$$

なる常に正なる値をとる振幅透過率にしてやり、pupil 函数を δ の選択によって変えうるようにすれば、これである程度像の改良が可能となり、例えば defocus の場合 $W(r) = ar^2$ として像の良さを示す Strehl's definition を計算してみると、 $2n\lambda < a < (2n+1)\lambda$ なる収差量に対しては $\delta_1 = 2n\pi - \frac{ka}{2}$ 、 $(2n+1)\lambda < a < 2(n+1)\lambda$ に対しては $\delta_2 = \delta_1 + \pi$ なる δ の値を用いるとそれぞれ max にすることができる。上記の濃度フィルタは Twyman のレンズ干渉計で干渉図形を写真にとることにより、近似的に作ることができ、実験してみても良好な結果を得ている。続いて pupil 面に π の位相変化をさせる位相膜を円環状に蒸着したフィルタをさらに重ねることにより、見掛け上焦点が 2 または 3 ケ所に在るようなレンズにする方法も報告されている。

4. 二重回折による方法

前節の pupil 面にフィルタを置く方法では、incoherent に対するレスポンス函数は、0 周波数に対するレスポンスが常に最大となるような low pass filter しか作ることができない。物体の微細構造は高周波分が大きく効いているのであるから、微細構造を際立たせるには低周波分をむしろ cut してやった方がよいので、この目的には不適當である。このような場合には以下に述べる二重回折でフィルタリングで行うことができる。第



第 7 図

7 図の光学系は顕微鏡等で用いられる光学系であるが、点光源 S から出た coherent な光はレンズ L_1 によってその像面に光源の回折像を生ずる。いま物体として写真などの透過物体 P を L_1 の直後に置けば、 L_1 の像面には物体 P の Fraunhofer 回折スペクトルが生じ、これは物体の振幅透過率に対する Fourier スペクトル、すなわち空間周波数成分にはかならない。したがってこの面で適当な場所に吸収フィルタなどを挿入して物体のスペクトルそのものを変えてやれば、次のレンズ L_2 によって作られる物体の像はフィルタの仕方で変わって現われる。この方法は古くは顕微鏡についての Abbe の結像理論を確かめるために実験されていて、例えば十字

格子の像がスペクトルの取入れ方によって縦線格子、横線格子、あるいは斜線格子といろいろの変化することなどが知られている。また 0 周波のみを cut する strioscopy (物体の振幅透過率、あるいは位相の勾配によって像の強度が現われる)、0 次および片側のスペクトルのみで像を作る、すなわち電気の single side band に相当するシュリーレン法 (物体の対称性はくずれ位相物体等が浮彫り状に見えてくる)、あるいは 0 周波のみに位相板を入れる位相差法 (位相物体が明暗物体として見えてくる) 等々、種々の観察方法が従来行われているがこれらはすべて一種のフィルタリングを行っていたことになる。原子を見る顕微鏡として名高い Gabor の two wavefront microscopy では上記の物体のスペクトルを作るのに X-ray で行い、得られたスペクトル像に位相を推定して付加し hologram なるものを作って次段可視光線によって物体の像を作る方法もある。

フィルタリングということ意識して、この二重回折が使われたのは比較的最近のことで、前述のいろいろの方法は目に見えない位相物体を明暗物体として見えるようにしようということが主な目的であったが、今度は明暗物体を対象とし、ただしその見え方をいろいろ変えてやろうというのである。

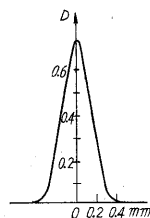
いまもとの物体のスペクトルを $O(\mu)$ とすると、これを撮った写真はそのときの撮影レンズ、使用した感光剤という二つのフィルタを通して来たことになり、それぞれの周波数特性の積である $a(\mu)$ なる modulation を受けて、写真のスペクトルは $a(\mu)O(\mu)$ となっているはずである。写真レンズや感光剤は一般に low pass filter であるため、物体の微細構造を表現する高周波分は、この写真では非常に減っているわけである。そこで $1/a(\mu)$ になるフィルタを入れれば最終像は初めのものに忠実な $O(\mu)$ のスペクトルを持つ像ができる。P. Croce²⁾ はこのようなフィルタ (ただし一次元) を製作している。フィルタの振幅透過率を $b(\mu)$ とすると濃度

$$D(\mu) \text{ は } D(\mu) = \log 1/|b|^2$$

$$\text{一方 } |a|^2 = 1/|b|^2$$

$$\text{であるから } D(\mu) = \log |a|^2$$

すなわち濃度が初めの写真をとるとき周波数特性の対数をとったものになればよい。フィルタは Al の蒸着で作



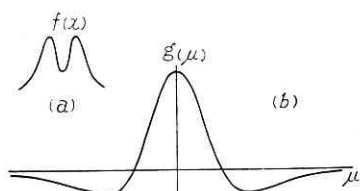
第 8 図

のフィルタの挿入によって写真操作の際減ぜられた高周波分を相対的に増し、微細な構造のコントラストを改善することができた。また二重写しを修正することも可能で二重写し的时候は線像の強度分布は第 9 図のようになりこれは二つの Gauss の曲線の差で置き代

$$f(x) = \exp(-x^2) - \exp[-(2.5x)^2 - 0.20]$$

と近似されるから、レスポンス函数としては $f(x)$ の Fourier 変換である二つの Gauss 曲線の差であって

$$g(\mu) = \sqrt{\pi} \left[e^{-\pi^2 \mu^2} - \left(\frac{1}{2.5} \right) e^{-(\pi \mu / 2.5)^2} - 0.20 \right]$$



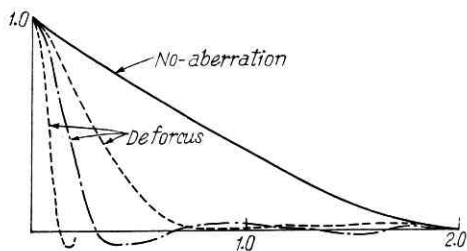
第 9 図

すなわち第 9 図 (b) のようなものであればよい。このようなフィルタは近似的には前と同様の Al の濃度

フィルタと、それより幅の広い MgF_2 の $\lambda/2$ 膜の重ね合わせで作ることができる。ただしフィルタの負の濃度に対応するものは MgF_2 により $\pi/2$ の位相差だけ与え濃度は 0 として近似する。このようなフィルタはその実験例をみると相当の効果があるようであるが、実際に製作するのは delicate な技巧が要り、特に二次元的にも効果あるものを作るには相当製作がむずかしいであろう。

5. ノイズを減らすフィルタ

上述の方法は、主として物体の微細構造を強調することが目的であるが、これとは逆に細部を消してしまう方がよい場合もある。普通写真に撮った場合、写真の性質上当然出てくる銀粒子のために目的の物体が隠されてい



第 10 図

る場合がある。このような写真から物体を探し出すためには物体が銀粒子の構造よりも粗い場合は、むしろ low pass filter である方が望ましい。簡単な方法としては defocus にするとレンズは第 10 図にレスポンス函数を示すように一層 low pass になるからこうしてもよいし、また二重回折法でスペクトル面に絞りを置いて像を見て、銀の粒状が邪魔にならない程度に絞りを絞ってやってもよい。第 11 図は絞りを置いたときの例で物

体を探し出す目的には有効な手段であることが判る。

通信理論ではノイズ除去は重要な問題で、そのためのフィルタが種々考えられているが、これらを光学の場合に応用してみたらどうであろうか。まず入力信号のスペクトル $S(\omega)$ が知れている時に任意の時刻 t_0 における出力信号が noise power に対して最大の値をとるようにするにはフィルタの周波数特性を $S^*(\omega)e^{-i\omega t_0}$ となるようにすればよいことが知られている。光学の場合、軸上物体に対しては二重回折で物体のスペクトル写真を取りこれをフィルタとして使えばほぼよいことになる。前述の小孔を用いる方法はこれの一種の近似であって、小孔のように透過率が 1 か 0 というのではなくて物体のスペクトル強度に比例した透過を与える方が一層有効であることを示している。E. L. O'Neil⁸⁾ は実験的にその効果を確かめている。

さらにもっと広く入力信号そのものは判らないが、その統計的性質が判っているとき、Wiener-Hopf のフィルタというのがあり通信では使い方を適当にすることにより記憶、noise 除去あるいは prediction の作用をさせるものであるが、光学でも同様の考えでフィルタを構成することができる。物体 $\hat{o}(x)$ とその像 $\hat{i}(x)$ との差の自乗平均が最小になるようにフィルタの性質を作るもので

$$\epsilon = \lim_{P_x \rightarrow \infty} \frac{1}{P_x} \int_{-P_x/2}^{P_x/2} [\hat{i}(x_i) - \hat{o}(x_i)]^2 dx_i$$

を最小にするための解としてフィルタの特性は

$$\tau_{opt}(\mu) = \phi_{S-N} / \phi_{00}$$

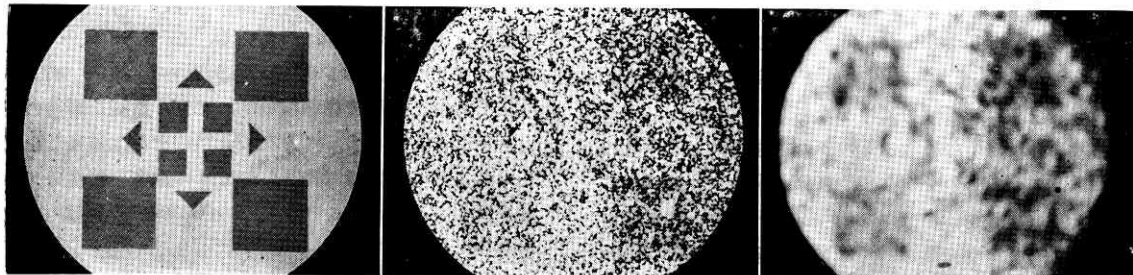
ただし $\phi_{00} = \phi_{SS} + \phi_{NN} + \phi_{SN}$, $\phi_{S-N} = \phi_{SS} + \phi_{SN}$ でそれぞれ signal (S) および noise (N) の power spectrum* ならびに S と N の crossed power spectrum** を意味する。S と N が相関がないとすれば

$$\tau_{opt}(\mu) = \frac{\phi_{SS}}{\phi_{SS} + \phi_{NN}}$$

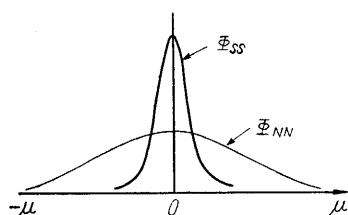
として求められる。一般に光学画像では ϕ_{NN} は写真の銀粒子によるもので第 12 図ように高周波数まで広がった Gaussian noise で、一方 ϕ_{SS} は低周波数分しか含まな

* それぞれの波形の自己相関函数の Fourier 変換

** S と N の波形の相互関数函数の Fourier 変換



第 11 図



第 12 図

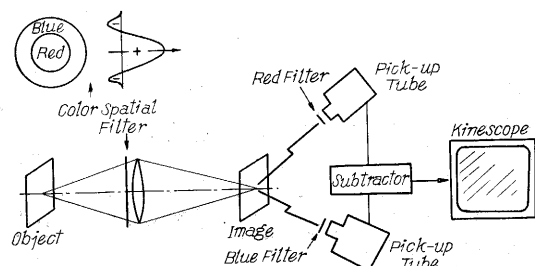
となる。

レーダで周期的な信号の探知するために noise を減らす手段として使われる方法も、光学の場合周期構造のもの、例えば格子等が写真銀粒子に埋もれた場合に適用できる。これは格子によって規則正しく並んで現われるスペクトルの所に小孔を並べ、そのスペクトルを通してやることに対応させることができる。

光学でのうまい点は二重回折法によってスペクトルを実際に並び出せることで、物体の面で分離できない信号と noise をスペクトル面で容易に分離できることと、通信の場合因果性、あるいは Paley-Wiener の criterion が充たされねばならないため、実現できるフィルタには制限があるのに反して光学では過去、未来に対応するものは原点の左方、右方の区別でしかないためにこの制約を受けず、フィルタの構成を簡単に考えてよいことである。しかしこれらのフィルタリングでは、一度写真として撮られたものを物体として対象にするため、実際実験する場合には写真固有のいろいろの性質が問題となる。例えば写真の非線型な性質や、エマルジョンや支持フィルムが位相の点で均質でないことなどのためスペクトルが思わざる騒乱を受けることがある。またフィルタも非常に小さい範囲で濃度を所望のものにすることも技術的には相当困難なことである。

6. 電気系との組合せによる像の改善

pupil 面にフィルタを置いてレスポンス函数を変える場合、incoherent に対するレスポンス函数は 0 周波数



第 13 図 (Cheatham)

に対して常に max となるものしか得られないが、光量を一度電氣量に変えて、これを調整する方法によりこの制約を除くことができる。T. P. Cheatham⁹⁾ の “color-coding” と呼んでいる方法は第 13 図のように pupil 面に環状に色フィルタを置き、このような光学系によって

い場合が多いので、フィルタは前述のものとはほぼ同様小孔に近いもので孔の透過率が Φ_{SS} , Φ_{NN} で決められるようなもの

できる像をそれぞれの色に感度を持つ二つの同期テレビジョンカメラで scanning を行い各出力の減算によって kinescope 上に画像を得る方法で、前記の制約はこの場合取除くことができる。同様の考えは P. Dumontet¹⁰⁾ によって採用され一次元物体に対して面積型のフィルタが実験されている。

7. あとがき

レンズが線型のフィルタであることを共通の基盤として、通信系で行われているフィルタリングが光学においても適用され、この見地から古くから行われていた像を改善するための手段を総括的に眺めることができ、系統だって理解し得ることは便利のように思われる。レンズの評価の場合にも言えるように、ある特定の周波数に対してレスポンスが良いからといってそのレンズは良いと一概に言えないと同様、すべてについてよい像を得るという点ではフィルタリングも無力であるかもしれないが、目的によってはそれに最も適したフィルタによって像を改善することができる。またこれらのフィルタリングは光学のみならずすべて結像を問題とする分野で共通の問題である。光学ではどのようにフィルタリングが行われているかを概略つかんでいただき、他の分野で行われている方法で光学に応用できそうなことをご教示いただけたら筆者には望外の幸である。

終りにこの稿を書くに当たっている論議を賜った本所小瀬輝次氏に感謝して筆をおく。(1957. 12. 13)

文 献

1. P. Jacquinot: Proc. Phys. Soc. **63B** 969 (1950)
2. B. Dossier: Rev. d'Opt. **33**, 57, 147, 267 (1954)
3. G. Lansraux: Rev. d'Opt. **32**, 475 (1953)
4. H. Osterberg & J. E. Wilkins: Jour. Opt. Soc. Am. **39** 553 (1949)
5. W. H. Steel: Rev. d'Opt. **32**, 4, 143, 269 (1953)
6. 社内: 機械試験所報 **11** 171 (1957)
7. P. Croce: Rev. d'Opt. **35**, 569, 642 (1956)
8. E. L. O'Neil: I. R. E. Trans. of the Professional Group on Inf. Theory. IT-2, No. 2 (1956)
9. T. P. Cheatham: National Convention of the I. R. E. March. (1954)
10. P. Dumontet: Opt. Acta. **3** 145 (1956)

次号予告 (2月号)

研究解説

人造羊毛とその染色……………永井 芳男
 剣持 寛人

1 屯試験高炉の鉄鋼石の還元について……………金森研究室

MITにおける研究生活……………斎藤 成文

観測用気圧計としてのピラニ
 ゲージ (その 3) ……………富永 五郎
 岡田 繁

海外事情

ソ連の機械工業視察 (1) ……………竹中 規雄

研究速報

比色法によるブドウ糖水溶液中のヒド

ロオキシメチルフフルールの定量 (その 1)

ーベンジン酢酸による显色条件の検討……………吉弘 芳郎
 中村 亦夫