

# 第 5 編 写真感光材料

第 1 章	解 説			
	第 1 節	解 説	畑 中 勇	1 頁
	第 2 節	情報伝達系としての写真感光材 の性質 ( 1 - 3 )		
第 2 章	O. T. F.			
	第 1 節	X 線撮影系の画像の解析 ( IV ) — X 線線像のレスポンス関数に 及ぼす両面 Film の影響— ( 3 - 4 )	竹 中 栄 一 高 橋 照 彦	6
	第 2 節	最大情報量撮影第 8 報 現像効果のレスポンス関数 ( 4 - 5''(c) )	内 田 勝 巢 組 一 男 遠 藤 俊 夫	10
第 3 章	粒 状 性			11
	第 1 節	X 線写真フィルム <sub>イ</sub> の粒状性 ( 5 - 3 )	高 野 正 雄	
	第 2 節	粒状パターン <sub>ウ</sub> のウィーナスベ クトルの計算 ( 6 - 1 )	畑 中 勇	14

## 第 5 編 写真感光材料

### 第 1 章 解説

#### 第 1 節 解説

電気通信で発達した情報理論は光学に応用される様になった。正しくいえばそれに用いられているフーリエ解析が光学にも応用される様になったとした方が良いのかもしれないが光学研究の一時代を画したといえる。この風潮は問題の性格上ひとり光学系にとどまらずその周辺の系たとえば写真感材にまでおよぶ様になった。写真感材においてはこのような考え方は特にカラーフィルムの性能向上をうながし、やはり一時代を画したと言える。

写真感材は光学系とことなり、化学的なプロセスが入るので O. T. F. のみを考えていると失敗する。単純に考えてもそれ以外に特性曲線なるものを考慮しなければならない。よりくわしくは更に O. T. F. を露光過程と現像過程とに分けなければならないがこれでもまだ十分ではない。又雑音に相当した粒状性なる要素も入るので複雑になり高精度の測定は期待できない。混乱を招くおそれがあるが写真感材でも直接撮影用のものは増感紙ときりはなした O. T. F. を求めても意味がない。この様な事から感材技術者には光学技術者ほど O. T. F. を厳密に取扱うムードはない。

この反面光学系よりむしろ取り扱いやすい面もある。それは写真感材の O. T. F. は位相を考慮しなくても良い事である。このため M. T. F. なる語を使用する事が多い。又同種の感材であるならいたるところ O. T. F. が同一である事も取り扱いやすい点である。

第 1 章に解説、第 2 章に O. T. F. 第 3 章に粒状性関係の報告をのせる。(畑中記)

#### 第 2 節 情報伝送系としての写真感材の性質

富士写真フィルム研究所 畑中 勇

##### 1. H. D. 曲線と O. T. F.

像のコントラストに働きかける写真感材個有の性質としては H. D. 曲線と O. T. F. の 2 つが考えられる。写真感材に個有のこの 2 つの性質さえわかれば如何なる入力像に対しても可成り良い近似でその出力像を予測する事ができる。両者に関与する因子は物理的にみてもやや相異なる。

##### 1.1 H. D. 曲線

入力像の強度のみに働きかけるものであり、(1)式あるいは Fig. 1 に示す如きものであり、特性曲線あるいは非直線性とも言われるものである。

$$D = G(E) \dots \dots \dots (1)$$

入力像は 2 次元的に変化するものであるので  $E(x, y)$  とすると、出力像は(1)式から

$$D(x, y) = G(E(x, y)) \dots \dots \dots (2)$$

となる。

像のコントラストが小さいときには

$$\Delta D = g_E \times \Delta E \dots\dots\dots (3)$$

となり、Fig. 2 に示す如く簡単になる。

注意すべき事は H. D. 曲線としては横軸に  $\log E$  をとるので、 $\Delta E(x, y)$  を  $\Delta \log E(x, y)$  とせねばならず、したがって透過度を  $T$  とすれば、

$$(\Delta T/T) = g_E \times (\Delta E/E) \dots\dots\dots (4)$$

なる関係が存在する。

H. D. 曲線はポピュラーであるが、入出力すなわち横軸縦軸のとり方を変えて曲線をかきかえる事があるが、本質的な問題ではない。H. D. 曲線の中ほどに直線部分が存在する事が多いが、この部分の  $g_E$  を  $r$  と称する。Fig. 3-a, Fig. 3-b に例を示すが図の如きスクリーンタイプでは一般に直線部分が表れる。しかしノンスクリーンタイプでは直線部分が表れず、むしろ H. D. 曲線の横軸を真数にとって曲線をかきかえればほぼ直線が得られる。

1.2 O. T. F.

像が 1mm 以下の大きさになると、H. D. 曲線だけでは説明できない現象が起る。H. D. 曲線のみでは微小コントラストの場合では特に(3)式の如く簡単になる。

$$D(x, y) = g_E \times E(x, y) \dots\dots\dots (3')$$

簡単のためあるいは O. T. F. の定義にもとずいて、 $\Delta E$  を  $E(x, y)$ ,  $\Delta D$  を  $D(x, y)$  とかいた。

O. T. F. 形式のコントラスト変化は Fig. 4 の如きものであり、(3') 式あるいは Fig. 2 とは異なった事情がある様にみえる。しかしフーリエ解析を用いると数式の上では  $g_E$  に単に  $F^\#(u, v)$  が付加する丈の簡単な表現にまとめられる。

$$D^\#(u, v) = g_E \times F^\#(u, v) \times E^\#(u, v) \dots\dots\dots (5)$$

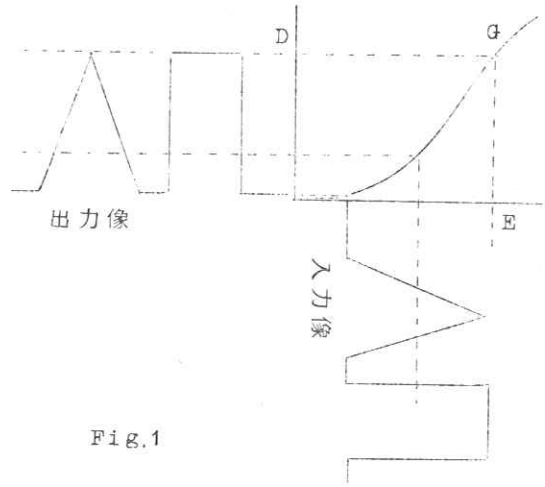


Fig. 1

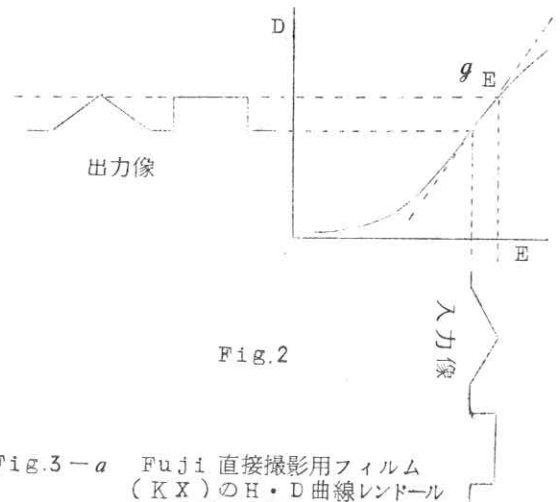
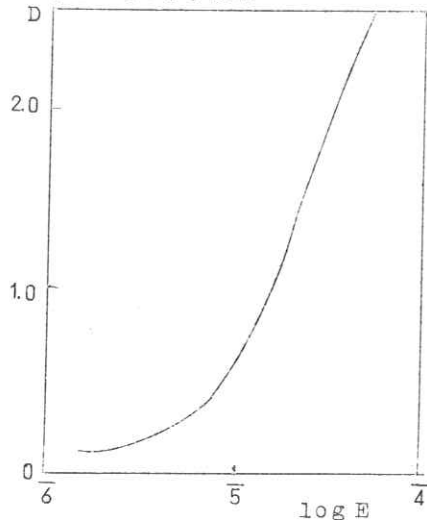


Fig. 2

Fig. 3-a Fuji 直接撮影用フィルム (KX) の H・D 曲線レンドール (25°C 5分) 使用



$D^{\#}(u, v)$  は逆変換する事により  $D(x, y)$  が求められる。すなわちフーリエ変換により距離空間から周波数空間に変換し  $(x, y \rightarrow u, v)$ 、逆変換により元の距離空間にもどす  $(u, v \rightarrow x, y)$  と言う手続が必要となる。写真感材の場合、O. T. F. は光学系に於いて  $D^{\#}(0, 0) = 1$  とするが、正しくは  $g_E$  をかけたもの、あるいはもっと一般的には H. D. 曲線を考慮するのではなければ意味がない。これについては次にのべる。Fig. 5 に写真感材の O. T. F. を解説し、Fig. 6 に実例を示す。

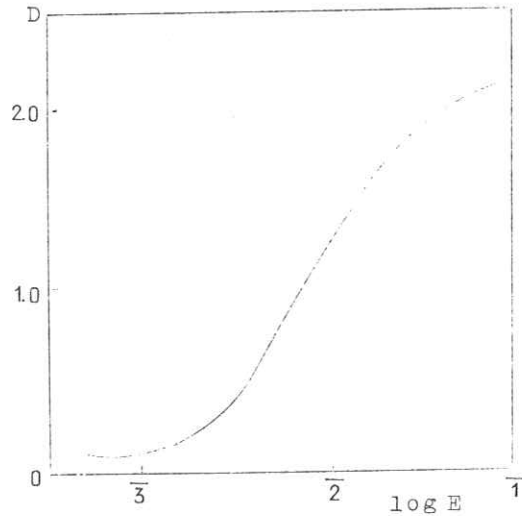


Fig. 3-b Fuji 間接撮影用フィルム (RX) の H・D 曲線 (レンドール (20°C 5分) 使用)



Fig. 4

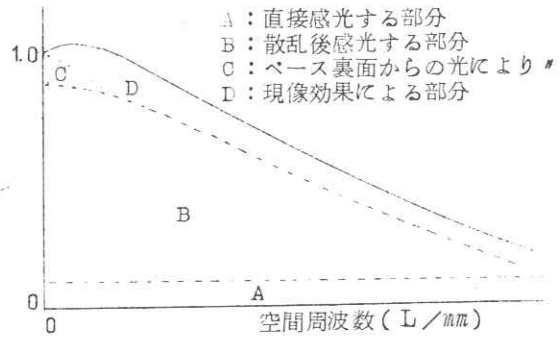


Fig. 5

図からわかる通り乳剤層自体の O. T. F. は秀れており、乳剤層自体の改良はあまり意味がない。しかし K Xのごとく増感紙とサンドイッチして使用する場合、増感紙とのサンドイッチによる非常に複雑な O. T. F. の劣化が起る。この様な使用方法においては増感紙の O. T. F. と感材の O. T. F. とを単にかけ合わせて総合特性を求めると言う事は意味がない。

### 1.3 写真感材における像形成過程

露光から現像までのプロセスをくわしく吟味すると O. T. F. は更に露光過程のもの、 $F^{\#}(u, v)$

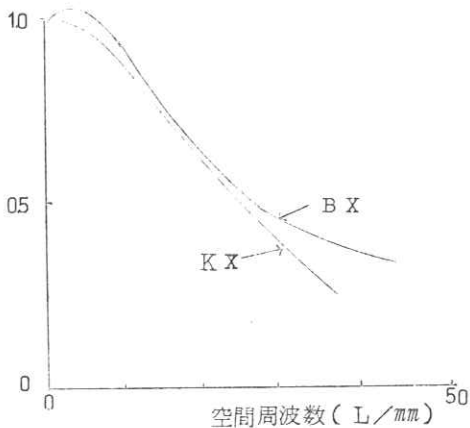


Fig. 6

何れもレンドール 20°C 4分、現像像 K X は片面のみについて測定

と現像過程のもの、 $H^\#(u, v)$  とに分けた方が良い事がわかる。この考えに従うと Fig. 7 の様な3ステージのプロセスでかくことができる。

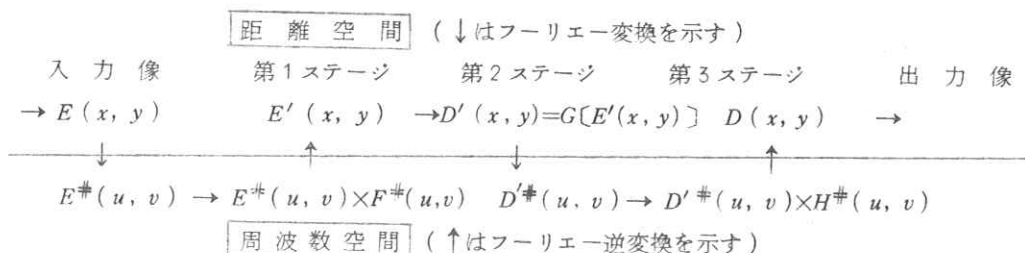


Fig. 7  $F^\#(u, v)$  : 露光過程の O. T. F.  
 $G[ \quad ]$  : H. D. 曲線  
 $H^\#(u, v)$  : 現像過程の O. T. F.

実際にはこの様なシステムは複雑なわりには精度が高くないので  $H^\#(u, v)$  は便宜上  $F^\#(u, v)$  に含めて第1ステージと第2ステージとで議論するのが普通である。

## 2. 粒 状 性

粒状性は通信系の雑音に対応させて考える事ができるが、これは H. D. 曲線や O. T. F. よりむしろ像とならべべきである。したがってこれは像と同じく H. D. 曲線あるいは O. T. F. によってコントラスト変化をうける立場にあるものであり、やはりフーリエ解析をする事がのぞましい。フーリエ解析をする利点は他にもいくつかあげることができる。一つはマイクロトレースのデータのままでは際限のない取扱にくいものであるがフーリエ解析をする事により、まとまったデータになる。又情報理論との結びつきがある事、自己相関関数との対応がつく事等もあげることができる。

マイクロトレースのデータを  $N(x, y)$  とかきフーリエ変換を  $N^\#(u, v)$  とかくとこれでよい様に思われるが、位相がでたらなのにもなるので、位相に関する情報はすべて、 $|N^\#(u, v)|$  又は  $|N^\#(u, v)|^2$  を評価に用うべきである。後者は特に情報理論又は自己相関々数との結びつきが直接的であるのでウィナーズベクトルとよばれよく用いられる。

$$W_N(u, v) = |N^\#(u, v)|^2$$

ハロゲン銀粒子の大きさは乳剤によって異なるが、 $0.1 \mu \sim 10 \mu$  のオーダーであるので粒子が理想的にランダムに分散されている場合はウィナーズベクトルの形は  $100 \text{ L/mm}$  まで平坦であり、

$$W_N(u, v) = W$$

として良い。マイクロトレースの標準偏差で粒状性を表現する事があるが  $W_0$  と標準偏差  $\sigma_D$  との関係は

$$W_0 = a \times \sigma_D^2$$

となる。ただし  $a$  はマイクロトレースの際のアパーチャーである。したがって直径  $10\mu$  の円のアパーチャーで走査すれば

$$W_0 = 78.54 \times 10^{-8} \sigma_{10}^2$$

となる。しかし高野の報告にもある様に  $W_N(u, v)$  は必ずしも平坦でない。この様な事は粒子の分散状態が理想的でなかったり、前段のシステムで発生した雑音が重畳したり、又は粒子の大きさが異状に大きい様な場合に起り得る。ウィーナスペクトルには位相に関する情報が無いので逆変換によってもとのミクロトレースを得る事はできない。

### 3. 画質と情報量

上にのべたる性質が画質にどの様に寄与するかと言う事が問題となる。最終的には人間が評価するもので、あるとすれば心理統計的にこの関係を見つけなければいけないが、情報理論も画質の尺度を与える事ができる。1), 2), 3) これを次式に示す。

$$C = \frac{1}{2} \iint_{-\infty}^{+\infty} \log_2 (1 + S(u, v)) du, dv = \pi \int_0^{\infty} [\log_2 (1 + S(\omega))] \omega d\omega \dots \dots \text{bits/unit area}$$

$S(\omega)$  は Fig. 8 の如き系を考えた場合次の様になる<sup>3)</sup>

$$S(\omega) = r^2 \times F(\omega)^2 \times \frac{W_S(\omega)}{W_N(\omega)}$$

$W_N(\omega)$  ; 雑音すなわち粒状性のウィーナスペクトル

$W_S(\omega)$  ; 信号すなわち像のウィーナスペクトル。

$r$  ; H. D. 曲線の  $r$

$F(\omega)$  ; O. T. F.

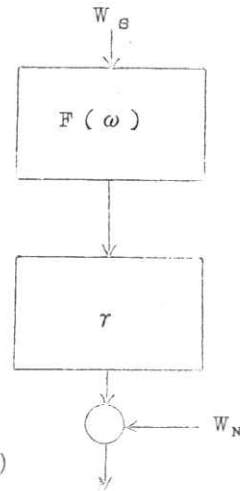


Fig 8

### 参考文献

- 1) E. H. Linfoot ; J. Phot. Sci. 9 188 (1961)
- 2) R. C. Jones ; J. Opt. Soc. Am. 51 1159 (1961)
- 3) R. Show ; Phot. Sci. Eng. 6 282 (1962)

## 第 2 章 O.T.F.

### 第 1 節 X 線撮影系の画像の解析 (Ⅳ)

#### —X 線線像のレスポンス関数に及ぼす両面 Film の影響—

東大医学部放射線医学教室 竹中栄一  
工業技術院機械試験所 高橋照彦

#### § 1 はしがき

第Ⅱ報第Ⅲ報で Knife edge 法により二三の場合につき X 線線像のレスポンス関数を測定した結果を述べたが、フィルムと Edge を密着させたとき、X 線線像のレスポンス関数はフィルムのレスポンス関数に近いが、次の因子が更に加わっていると思われる。

1. X 線焦点の形状、大きさ、量子雑音、焦点外 X 線。
2. 被写体—散乱、廻折、干渉  
密着故、二次線の軟 X 線が Edge 近くのフィルムに大きく影響する。
3. フィルムの両面性—片面が edge と密着していない。乳剤間の散乱、フィルム間の散乱
4. その他、空中の散乱、絞り
5. 黒化度測定 ミクロフォートメーターが完全平行光でない事、ピント面が両面のどちらかに合せねばならないこと、又平行光としても光の乳剤面、フィルムベースの散乱などが関係するが、Scanning aperture が最も大きく関係する。(X 線画像解析 (Ⅱ, Ⅲ) R I I - 2 - 6, 3 - 3)  
そこで両面フィルムと片面フィルムとの比較、片面づつの現象との比較などを行った。

#### § 2 実験方法 (X 線画像Ⅱ, Ⅲ 参考)

#### § 3 測定結果

- ◇ Fig. 3 の様に片面と両面は相当異なる。1×1mm<sup>2</sup> の焦点を使用し、倍率 1.05 のとき Cutoff frequency 25 本/mm 位故、胸部撮影のときなど関係している (FFD 180cm)。骨濃影で FFD 100cm で 5cm 以上骨がフィルム面から離れているときも関係する。
- ◇ 片面フィルムで 50 本/mm で MTF 0.6 位あり、両面フィルムするとき Cutoff frequency 25 本位である。(Fig. 3 Fig. 5)
- ◇ 又、拡大率をいろいろかえたときの First cutoff frequency から、倍率 ×1 のときを外推推定すると、Cutoff frequency が推定できる。
- y 軸に (拡大率 - 1) をとり、log-log にプロットすると完全な直線になり、拡大率 0.05 で数本という事になる。極めて高い Cutoff frequency を有する。(Fig. 4)
- 最近 K. Rossmann の one side coated film の実験で (焦点の大きさ不明) Blue Brand Film で 70KVP, 0.25mm Cu で Cutoff frequency 250 本/mm, Line spread function で半波高値 7μ 位の値を得ている。
- 但、片面 Film や、片面フィルムに増感紙片面のときは特性曲線の“ノビ”が両面のときの夫々半分

近いから、撮影対象、目的により選ぶべきである。( Fig. 1, Fig. 2 )。

#### § 4 結 論

両面フィルムと片面フィルムを使用したときのX線線像のレスポンス関数の差を調べた。

#### 文 献

1. K. Rossmann and G. Lubberts: Am. J. Roentgenol. 86(235), 1966
2. 大上進吾: 応用物理 29(528), 1960
3. 田島又一, 勝亦実: 日本写真誌 24(67), 1961
4. W. F. Berg and A. Spüller: Jap. J. Appl. physics 4(suppl.), 1965

Fig. 1 Characteristics Curves of Medical X-ray Film

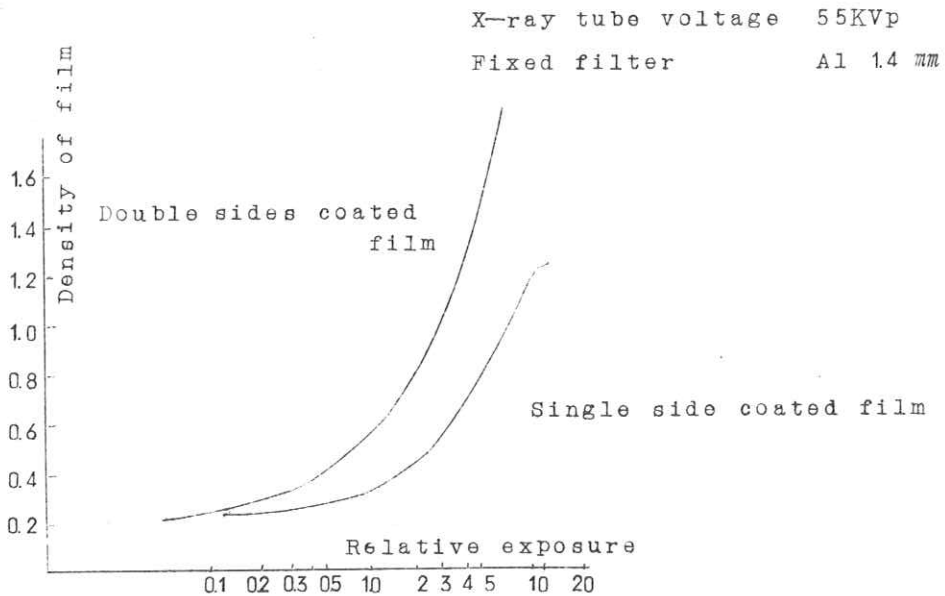




Fig2 Characteristics Curves of Screen-film System  
Intensifying screen (MS Kyokko)

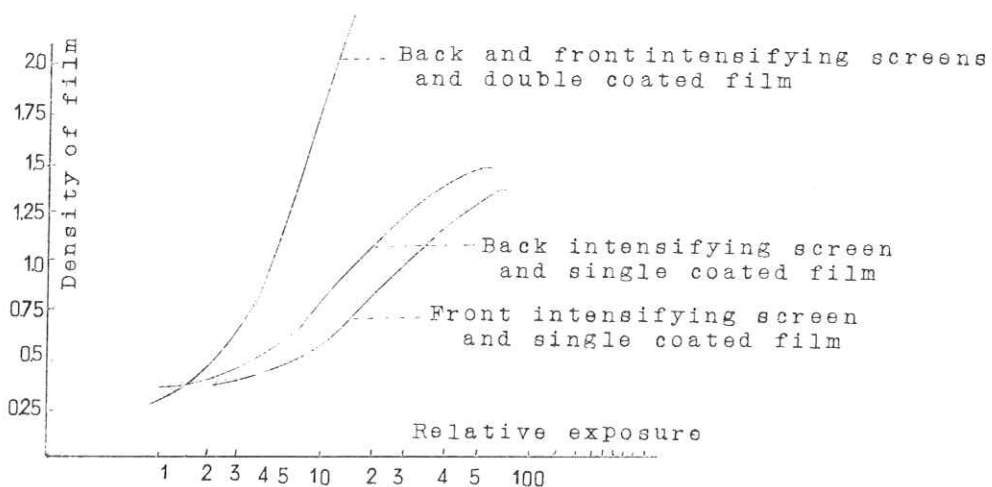


Fig3 Experimental Fluctuation of Modulation  
Transfer Function of Radiographic System

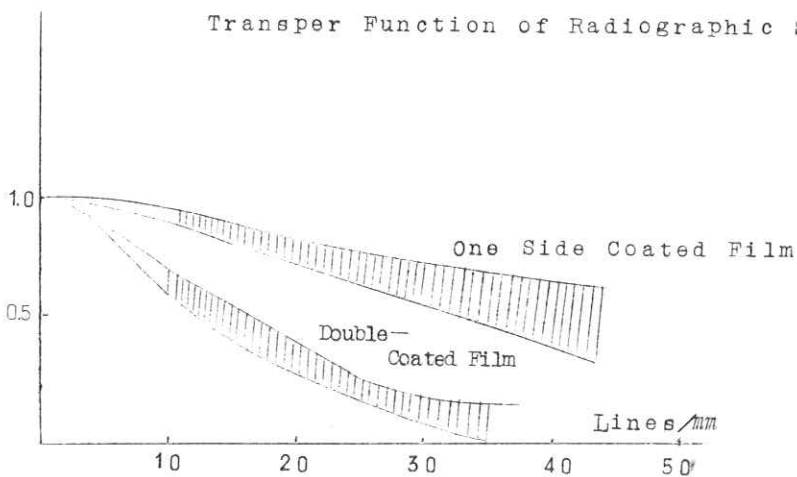


Fig. 4 The First Cut-off Spatial Frequency in Magnifying Radiographic System

——— Intensity distribution of focus ( $1 \times 1 \text{mm}^2$ ) vertical to edge  
 - - - - - " " " " " " parallel " "  
 ····· " " " " " " ( $2 \times 2 \text{mm}^2$ ) vertical " "  
 ——— " " " " " " parallel " "

Mag. ratio—1.0

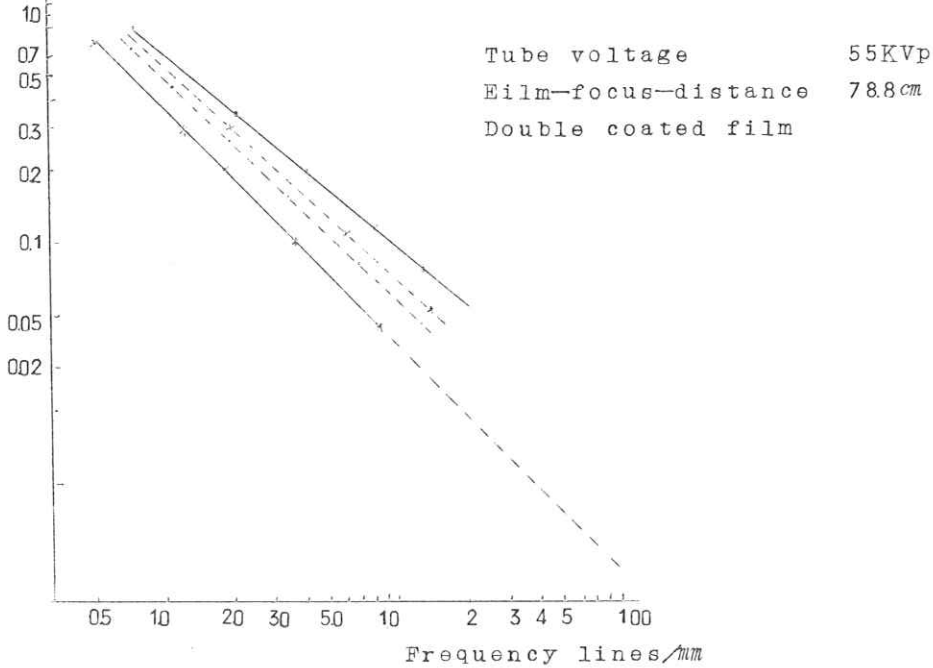
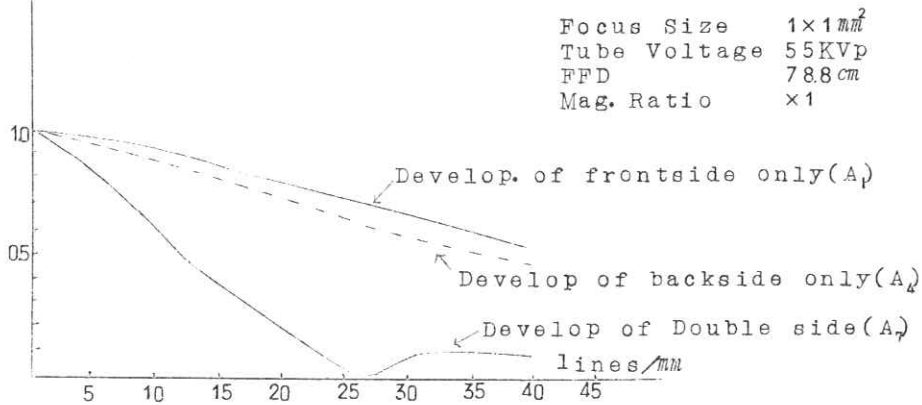


Fig. 5 Modulation Transfer Function of Radiographic System Influenced by Double Coated Film



第2節 最大情報量撮影第8報(現像効果のレスポンス関数)

阪大技師学校 内田 勝 阪大病院放射科 巢組一男 遠藤俊夫

現像処理に於いて静止した儘現像を行なう場合、静止効果がある事はよく知られている。そこで我々はX線フィルムについての静止効果を求めるべく実験を行なったので報告する。

実験方法は0.1mm幅のスリットをもった鉛製円板を回転させながら近似的な正弦波露光を与えて撮影をし、撈拌、静止現象の2通りの処理をした。

以上の処理で得た資料をマイクロフォトメーターで濃度測定をしそれぞれのレスポンスを計算し、図表化した。

実験結果として、静止現象と撈拌現象図表を比較すると静止現象の方がコントラストがすぐれている箇所が見られる。

数量的には、1mm 当たり2~3本の所においてコントラストの増大が認められる。

また一般フィルムは1mm 当たり10本付近と言われているのがX線フィルムの場合は、これよりも低周波域にある。

なお実験はスリットを用いて行なったのでスリットによるレスポンスの影響で、偽解像の点が存在しているがフィルムのみの場合には当然これはないものと考えられる。この様に静止現象で処理した場合、比較的低周波域の所でコントラストの増大が得られる事が解った。

従って現像ムラをとり除く事が出来れば静止現象の方がより良い画質を得る事も期待出来るものと考えられる。

質問討論

高橋：眼では静止、運動どちらがよいかよくわからない。

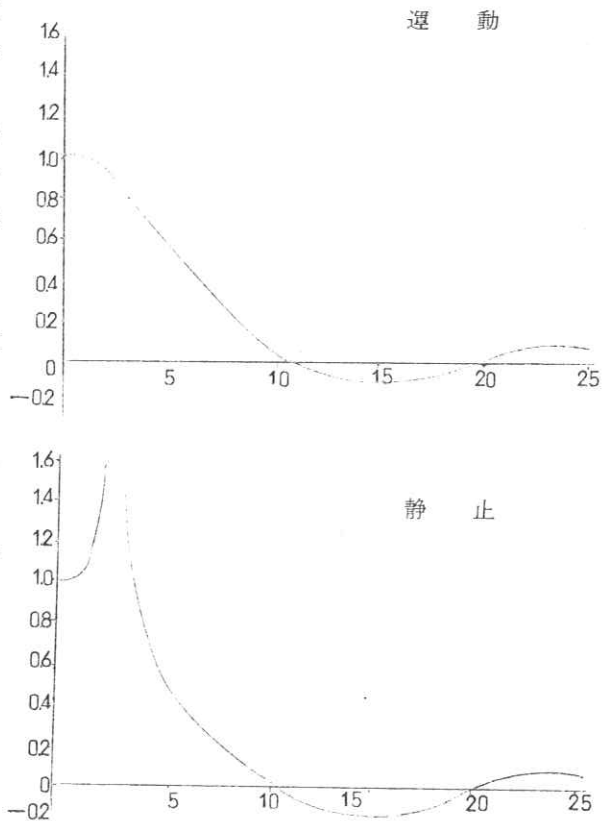
内田：シャウカステンにかけるとよくわかる。

金森：フィルムは。

遠藤：直接用のもの

高橋：何回やりましたか。

遠藤：一度だけ。



### 第 3 章 粒 状 性

#### 第 1 節 X 線写真フィルムの粒状性

富士フィルム研究所 高野正雄

X線写真撮影において直接法では蛍光増感紙が、また間接法では蛍光板がそれぞれX線 → 光の変換器として使用されている。これらの蛍光増感紙及び蛍光板は、X線写真フィルムの感光度を増加させる利点を持ってはいるが、写真像の画質をひどく低下させる。特に画質の中でも像構造、すなわち粒状性と鮮鋭度は大きく阻害されて、情報量の低下をまねく重要な因子になっている。そこで、今回はX線写真において雑音として画質の低下をまねく粒状性だけに注目し、その性質を明らかにする実験を試みた。

##### 1. Wiener Spectrum

粒状性の評価法については今まで数多くの研究がおこなわれてきている<sup>1)</sup>。しかし、粒状性を取り扱う方法が明確になったのは、ごく最近のことで、通信理論の光学への応用が盛んになって以来のことである<sup>2)</sup>。その内容は、粒状パターンを二次元の定常時系列として取り扱い、自己相関関数を用いて表示するものである。Wiener Spectrum は、パターンの自己相関関数  $\Phi(\tau, \eta)$  の Fourier 変換した  $F(u, v)$  で定義される。

$$F(u, v) = \iint_{-\infty}^{\infty} \Phi(\tau, \eta) \exp\{-2\pi i(\tau u + \eta v)\} d\tau d\eta$$

Wiener Spectrum の求め方はいろいろな方法があるが、今回は大上の製作した高速回転走査マイクロフォトメーターと周波数分析器を用いた装置を<sup>3)</sup>改良して使用した。装置の光学系および電気回路を Fig. 1 に示した。

実験に使用したX線写真フィルムは微粒子、高鮮鋭度のもので、X線露光後、ハンガー型自現機で26℃、2分現像をおこなった。蛍光増感紙は極光 SF, MS, SS の 3 種類を使用した。

Fig. 2 に蛍光増感紙を用いた場合と、用いない時の Wiener Spectrum を示した。蛍光増感紙を用いて G. E. マキシコン X線発生装置で露光して求めた Wiener Spectrum  $F(u, o)_{total}$  から、蛍光増感紙を使用せず、直接X線露光して求めた Spectrum  $F(u, o)_{film}$  を差引いたものが、蛍光増感

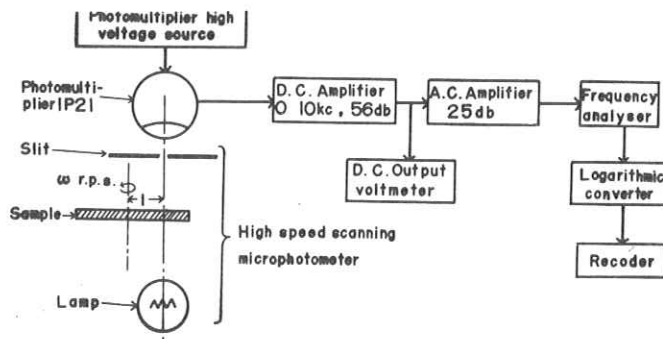


Fig. 1 Schematic diagram of the high speed microphotometer.

紙の Wiener Spectrum  $F(u, o)$  screen である。蛍光増感紙の Wiener Spectrum  $F(u, o) \neq 0$  になる空間周波数は、土井<sup>4)</sup>らの求めた蛍光増感のレスポンス関数に対し、空間周波数領域で良く一致している。Wiener Spectrum と X 線写真像の形成条件との詳細な関係については文献を参照されたい<sup>5)</sup>。

## 2. Expected Mottle Size

一般に粒子が平面上に分布しているとき、それらがランダムに分布する場合と、粒子が aggregate し集落をなして分布している場合とがある。現像銀の分布がいつれであるかは、顕微鏡等で観察しただけでは明らかにすることはできない。

粒子の分布がランダムであるかどうかは Wiener Spectrum による解析が有効である。すなわち、もしランダムに粒子が分布していれば、パターン of Wiener Spectrum は粒子の自己相関関数の Fourier 変換に等しくならなければならない。もしパターン of Wiener Spectrum の帯域巾 ( $F(0, 0)$  の  $1/2$  になる点) が粒子サイズから期待されるよりも狭ければ、それは粒子が aggregate して集落を作っていることの現われである。

現像銀の場合には、一般に spectrum の帯域巾が粒子サイズから期待される帯域巾の数分の一であるから、かなり著しい集落の存在を認めることができる。この集落の大きさを定量的に表示するため、報告者は EXpected Mottle Size という値を次の如く定義した。

今、問題にしているパターンの Wiener Spectrum と等しい帯域巾をもつランダムに分布した円形粒子のパターンを考えたとき、その円形粒子のサイズを問題にしているパターンの Expected Mottle Size と呼ぶことにする。すなわち、一般のパターンを spectrum の帯域巾が等しいランダムな粒子分布から成るパターンにおきかえようという考え方である。

透過率が零に等しい一定の大きさの円形粒子が、平面上にランダムに分布しているときは、このパターンの Spectrum は次の式で与えられる。

$$F(u, o) = \frac{\pi D(dt/2)^2}{0.43} \left[ \frac{J_1 \{2\pi u(dt/2)\}}{\pi u(dt/2)} \right]^2$$

ここで  $dt$  が粒子の直径、 $D$  が濃度、 $J_1$  は 1st order の Bessel 関数を示す。

そこで、パターンについて測定された Wiener Spectrum と帯域巾の等しい spectrum を与

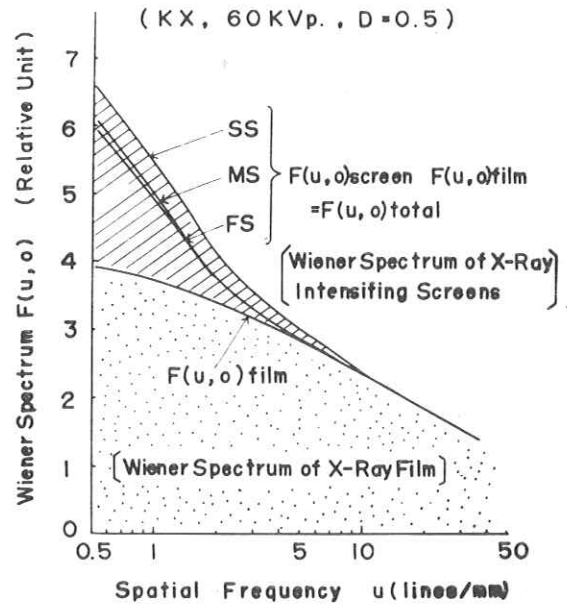


Fig. 2  
Wiener spectrum of film and intensifying screen.

える  $dt$  の値をこの式を用いて求めれば、その値がこの項で定義した Expected Mottle Size となる。帯域巾として、 $F(0, 0)$  が  $1/2 F(0, 0)$  になる空間周波数の値を用いる。実際には  $F(0, 0)$  の代りに、それに近似的に等しい spectrum level を用いて計算した。

Fig. 2 より直接 X 線霧光したフィルムの Expected Mottle Size を求めると  $30 \sim 50 \mu$  になる。ハロゲン化銀粒子サイズが  $15 \mu$  であるのに比べて非常に大きい。今、現像により一結晶粒子が 5 倍の現像銀粒子に拡大されるとすると、1 Expected Mottle Size は投影面積換算で約  $15 \sim 35$  個の集落を形成していると考えられる。

蛍光増感紙を用いた場合、FS, MS, SS の平均 Expected Mottle Size は約  $200 \sim 300 \mu$  になる。これは像形成の一単位である現像銀の大きさに比べ大きく、X 線写真像の粒状性研究ではこのような集落化 (Mottling) が重要な働きをしていることが理解できる。

蛍光増感紙による Mottling については、多くの研究者らによってその重要性が論ぜられていた。しかし、その大きさを定量的に X 線写真過程で議論した報告は、まだ提出されていない。その意味で、Expected Mottle Size は Mottling の定量化を行う一方法を与えるものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 大上進吾：写真学会誌，22, 38 (1959)
- 2) P. Fellgett : J. Opt. Soc. Am., 43, 271 (1953)  
E. Klein and G. Logner : J. Opt. Soc. Am., 11, 177 (1963)
- 3) B. Picinobono and M. Sarell : Optica Acta., 2, 106 (1958)
- 4) K. Rossman : J. Opt. Soc. Am., 52, 774 (1962)  
土井邦雄，佐柳和男：応用物理，29 721 (1964)
- 5) 高野正雄：富士 X-レイ研究，70, 8 (1966)
- 6) 大上進吾，高野正雄：日写講演要旨集，48 (1965 春)  
田島又一，高野正雄：日写講演要旨集，50 (1965 秋)

#### 質 問 討 論

内田：コダック 2475 フィルムについて

高野：2475 については未知だが粒子の大きさだけで感度は決まらない。アグリゲーションもよくきく。まだはっきりしない。

## 第2節 粒状パターンのウィーナースペクトルの計算

富士写真フィルム研究所 畑中 勇

O. T. F. に関しては具体的なパターンの計算例が多くあり、図又は表になっているので距離空間、周波数空間の対応が明らかであり、一般に認識され易い。しかし粒状性のウィーナースペクトルに関しては具体的なパターンをフーリエ解析する事がまれであり、一般に認識され難い。このためここに具体的な粒状パターンのウィーナースペクトルの計算例を報告する。

Fig. 1-a は計算機で乱散を作りそれにより粒子を分散させたものであり、1000粒子から成っている。この図は左右に周期的に続いているものとして矢印の方向に細いスリットで走査すれば Fig. 1-b のとき一次元のウィーナースペクトルが得られる。これの累積をとると Fig. 1-c の様になるが、この図は横軸を拡大率、縦軸を粒状性と解釈すれば実用価値がある。

Fig. 2-a, Fig. 2-b, Fig. 2-c, Fig. 2-d は何れも人為的に400個の粒子を分散させたパターンであり累積スペクトルを Fig. 2-e に示す。a, b, c, d の折れ線はそれぞれ Fig. 2-a, Fig. 2-b, Fig. 2-c, Fig. 2-d の累積スペクトルである。

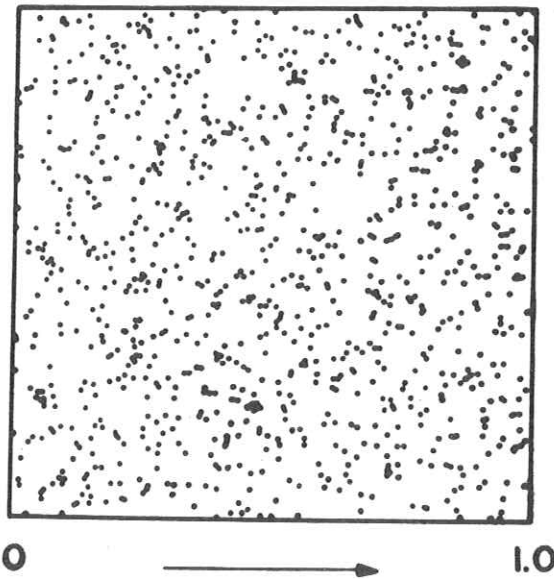


Fig. 1-a

計算機にて乱数を発生させ、その乱数にもとずいて1000個の粒子を分散させたもの。

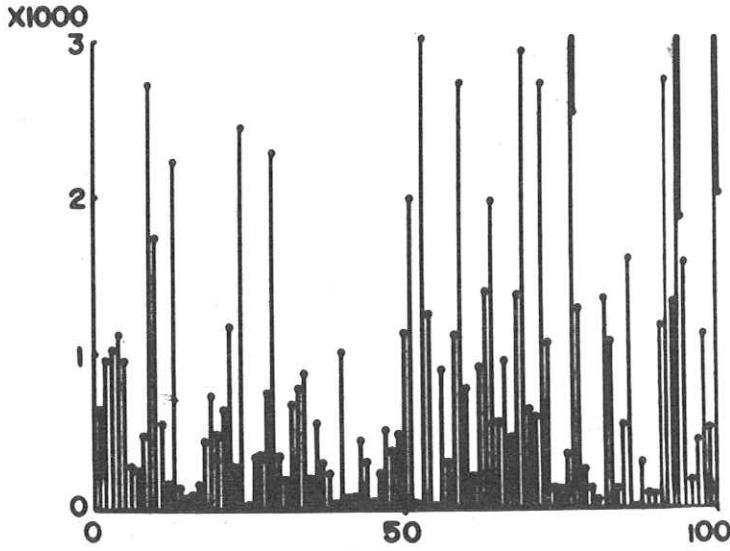


Fig. 1-b

Fig. 1-a を矢印方向に細いスリットで走査するとした場合のスペクトル。  
×1000は粒子数に対応した値。

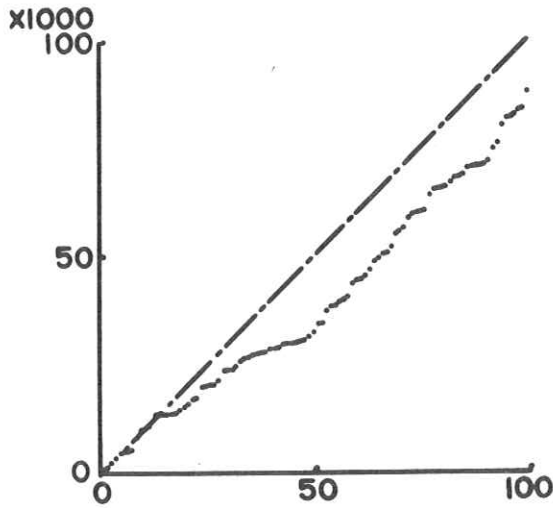


Fig. 1-c

Fig. 1-b を累積して得たグラフでありこれは横軸が拡大率、縦軸が粒状性としてもよいので実用価値がある。



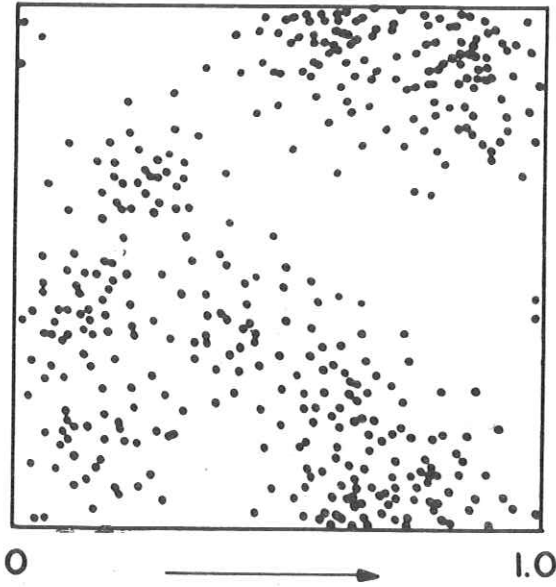


Fig. 2-a

40 粒子より成る集らくを合計  
10 個, 人為的に作ったもので増感  
紙を用いたラジオグラフィーの一  
つのモデル。

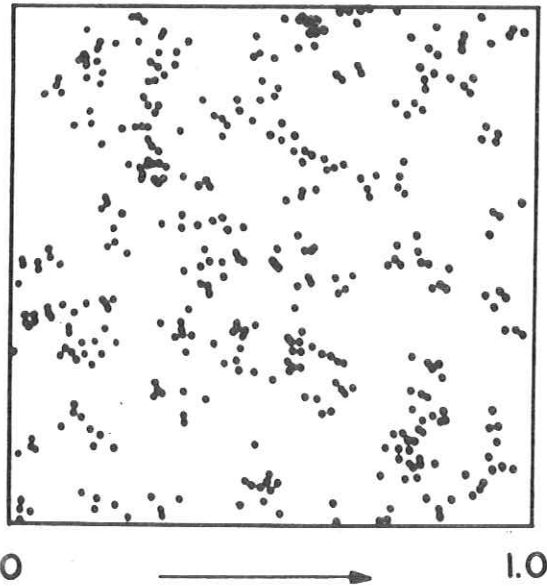


Fig. 2-b

4 粒子より成る集らくを合計  
10 個, 人為的に作ったものでノ  
ンスクリーンのラジオグラフィ  
ーの一つのモデル。

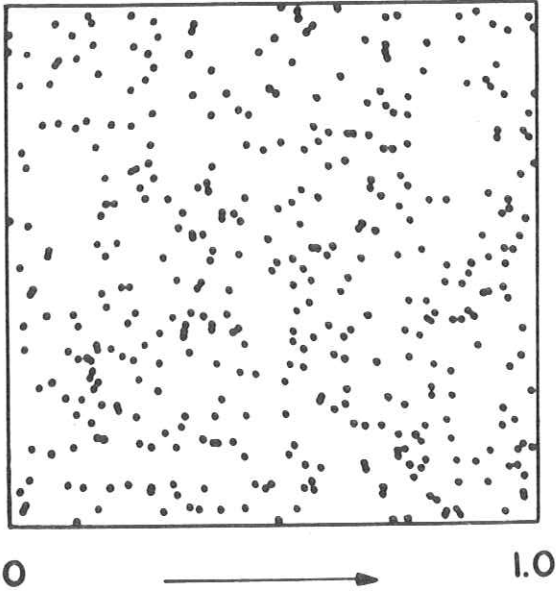


Fig. 2-c

400 粒子を乱数表に従ってランダムに分散したものの。

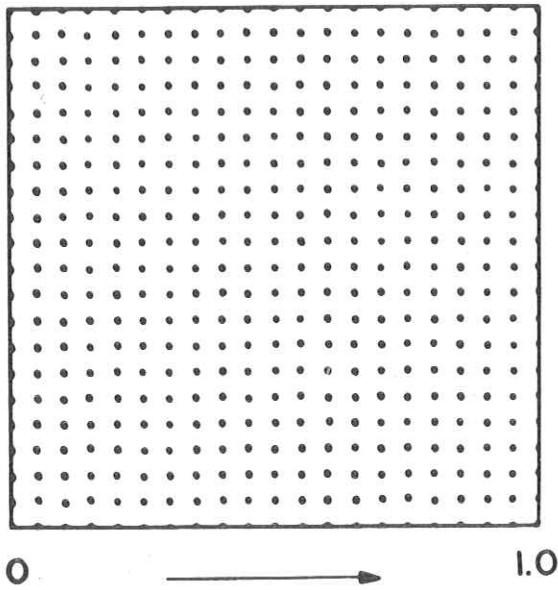


Fig. 2-d

400 粒子を規則的に配列したものの。

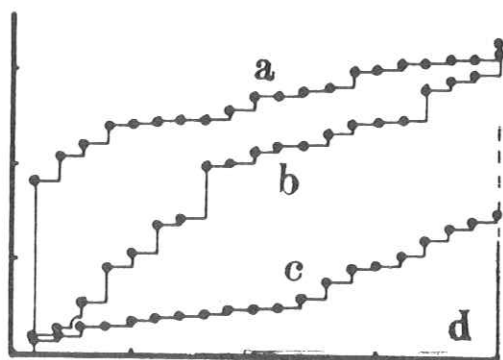


Fig. 2-e

Fig. 2-a, 2-b, 2-c, 2-d,  
の累積スペクトルをそれぞれ a, b,  
c, d の折れ線に示す。