

# 網印刷物の品質評価の研究 (1)

## — 網画像の微視的解析 —

写真学科

内 藤 郁 夫

Studies of Quality of Half Tone Reproduction (1)  
— Microanalysis of Printed Matter —

Ikuo Natio

### Abstract

A reflectance of half-tone printed matter decreased with increasing wave number measured. The measurement by an image processing apparatus indicates that the reflectance decreased continuously around the dot edge. The width of the reflectance change was determined to be  $32\mu\text{m}$ . By the effect of the dot edge, the dot area was changed in the monitoring threshold value, the wavelength, screen ruling, dot percentage, etc..

On the basis of these results, an equation for the evaluation reflection density was proposed on the hypothesis of a middle tone area around the dot;

$$R = (1-a)10^{-dp} + a10^{-ds} - b(10^{-dp/2} - 10^{-ds/2})^2$$

where b is the middle tone area. The width of middle tone area was also determined. The error limit of the equation was within 0.4%.

### 1. 緒 言

網印刷物の濃度 (d) を評価する事は、最も重要かつ基本的な問題の一つである。網印刷物の網面積率 (a) と d との関係を表わす式として、R.Buchdal 式<sup>1)</sup> (式 1) Murray-Davies 式<sup>2)</sup> (式 2)、Yule-Nilsen 式<sup>3)</sup> (式 3) が報告されている。

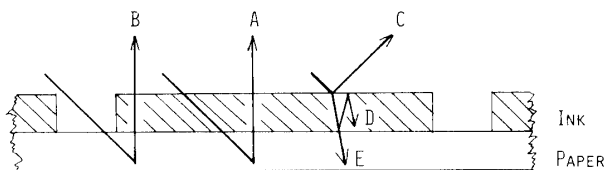
$$R = R_p - a(R_p - R_s) \quad (1)$$

$$d = \log \frac{1}{(1-a) + a10^{-ds}} \quad (2)$$

$$d = n \log \frac{1}{(1-a) + a10^{-ds/n}} \quad (3)$$

これらの式において、 $R \cdot R_p \cdot R_s$  はそれぞれ網印刷物・紙・インキベタ部分の反射率である。 $ds$  はインキベタ部分の反射濃度である。

R.Buchdal 式は均一に印刷された網画像におけるモードである。Murray-Davies 式は  $R_p = 100\%$  とした式である。実際には、光が紙中に浸透・拡散し濃度の計算値は実測値と一致しない事が知られている。Yule-Nilsen 式では、これらの影響を変数 n で補正し、紙質が悪くなるほど、またスクリーン線数が高くなるほど、n が大きくなると報告している。しかし、n には理論的な裏付けがな



Model of reflection of Light on the surface

Fig. 1. A : MAJOR PATHS OF LIGHT.  
 B : SIDE PATHS OF LIGHT.  
 C : FIRST-SURFACE REFLECTION.  
 D : MULTIPLE INTERNAL REFLECTION.  
 E : ABSORPTION AND TRANSMISSION BY THE PAPER.

く経験的な値が使用される。さらに、Clapper と Yule とは、光の内部多重反射理論に基づいた式を公表している。<sup>4)</sup>しかし、表面反射、使用インキ、網点形状、その他による変数が多く、この式による解析は煩雑である。図1には網点に入射した光の反射を模式で示す。Aは画線部に入射した光が画線部に発出する場合であり、式1~3はAを基に提案された式である。網点境界部では、画線部に入射した光の一部が非画線部より、非画線部に入射した光の一部が画線部より発出する(B)。この他、表面反射(C)、内部多重反射(D)

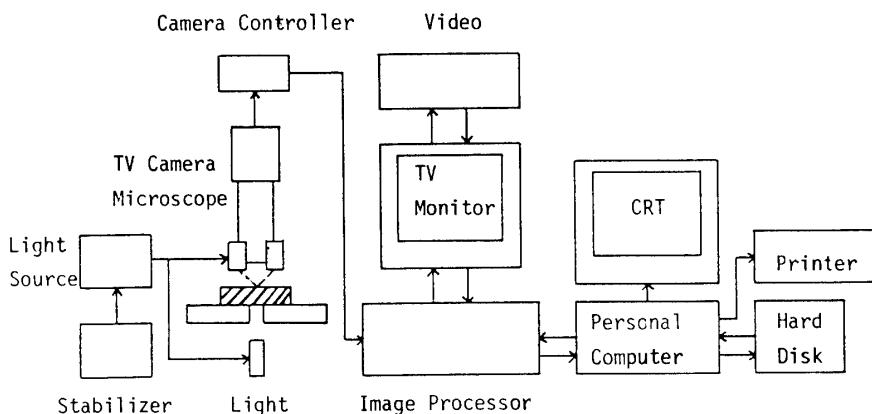


Fig. 2. Image processing apparatus

表1. 画像解析装置の構成

機能	装置	装置名および形式
照明	ランプ	モリテックス MHF-150型, リング照明用オプティカルファイバー
入力	顕微鏡 カメラ	ニコン SMZ-2 T型, 2倍接眼レンズ付 池上通信製FCD-10型, B.G.R色分解フィルター
処理	本体 コンピューター	日本アビオニクス製 Excel II 型, PC-9801VM. 演算素子付
出力	テレビ受像機	ソニー製PVM-14420型
記録	プリンターおよびビデオ装置	

等複雑な挙動をする。これらの関係を明確にするため R.Buchdal 式を基礎に、網印刷物の反射濃度評価式を考察した。

## 2. 実 験

### 2-1. サンプル作成

マグナスキャン520より、網点面積率10~90% (9段階)の $3.94 \times 10^3$ ,  $5.91 \times 10^3$ ,  $7.87 \times 10^3$ ,  $9.85 \times 10^3$  lines/meter (LPM;それぞれ100, 150, 200, 250 LPI)の4種類のスクエアドット網分解ポジフィルムを作成した。その目伸しにより $9.8 \times 10^2$ ,  $1.97 \times 10^3$  LPM (25, 50 LPI) スクエアドット網分解ポジフィルムも作製した。校正機によりキャストコート紙にプロセスインキ (グロス墨) を使用し、印刷した。ベタ濃度は、汎用濃度計で約2.12に調整した。

### 2-2. 測 定

試料の分光反射率は(株)日立製作所製カラーアナライザ-307型にポーライザーを使用して測定した。基準白板には、電気総合研究所測定による硫酸バリウム白板を使用した。微小部分の反射濃度変化は小西六写真工業(株)製マイクロデンシトメーター PDM-5を使用して測定した。スリット幅は $2 \mu\text{m}$ (走査方向) $\times 10 \mu\text{m}$ に調節した。さらに、後述する画像解析装置も使用して測定した。

### 2-3. 画像解析装置

使用した画像解析装置はテレビカメラで入力した画像を処理する装置である。本装置では最大 $0.3\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ の面積を $512 \times 512$ 画素に分割し、画素当たり256階調で入力する。その解像性は $0.7 \mu\text{m}/\text{Line}$  ( $1.8 \times 10^5$  LPM) に相当する。リング照明装置を使用し、サンプルの $45^\circ$ 方向より照明した。測定には顕微鏡接眼レンズに色分析用フィルター (ラッテン No.47B, 58, 27) を使用しテレビカメラで入力した。モニターテレビ上の画像はカメラ撮影した。装置の構成を図2と表1に示す。

用紙とベタ部分の反射率をB. G. R フィルターを使用して測定した。装置上での反射光量を反射率に設定した。さらに、本装置での測定値と反射率との間に直線性があると仮定した。

## 3. 結果および考察

### 3-1. 計算濃度と実測値との関係

Murry - Davies 式による計算反射濃度 ( $d_{\text{cal.}}$ ) をカラーアナライザーによる実測値 ( $d_{\text{meas.}}$ ) に対しプロットした(図3)。一般によく知られている様に  $a = ca. 70\%$  サンプルでは  $d_{\text{meas.}}$  は  $d_{\text{cal.}}$  より約0.3大きい値である。この関係を明らかにするため、図4に R.Buchdal 式による計算反射率と実測値の差 ( $\Delta R = R_{\text{cal.}} - R_{\text{meas.}}$ ) を網面積率 ( $a$ ) に対しプロットした。図4 a に測定波長による変化を、図4 b にスクリーン線数 ( $s$ ) による変化を示す。 $\Delta R$  は、測定波長が長くなる程、スクリーン線数が高くなる程大きい。また、 $a = 50\%$  で  $\Delta R$  は最大となった。これは、オプティカルドットゲインによる網点面積率の変化<sup>5,6)</sup>と同様である。

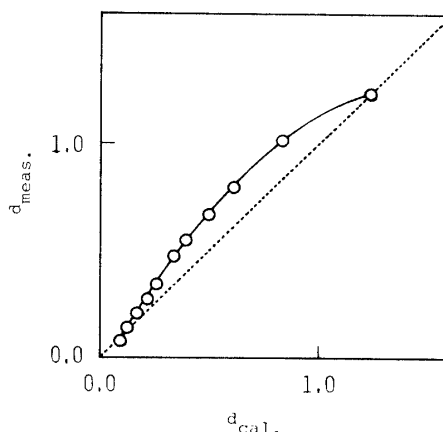


Fig. 3. Typical relationship between the reflection density calculated ( $d_{\text{cal.}}$ ) and it measured ( $d_{\text{meas.}}$ ) in the halftone product. The density calculated was obtained by means of the Murray-Davies equation.

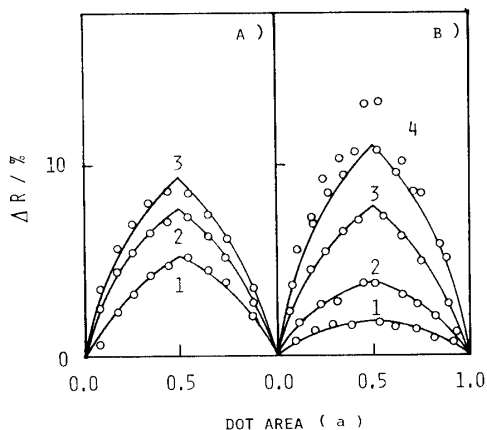


Fig. 4. Plots of the difference reflectance ( $\Delta R$ ) vs. the dot area ( $a$ ). A : Demonstrated the change of  $\Delta R$  in the monitored wavelength, screen ruling =  $3.94 \times 10^3$  lines per meter,  $\lambda_{\text{moni.}} = 700$  (1), 550 (2), and 400 (3) nm. B : Demonstrated the change of  $\Delta R$  in the screen ruling.  $\lambda_{\text{moni.}} = 550$  nm, screen ruling = 9.8 (1), 19.7 (2), 39.4 (3), and 59.1 (4)  $\times 10^2$  lines per meter.

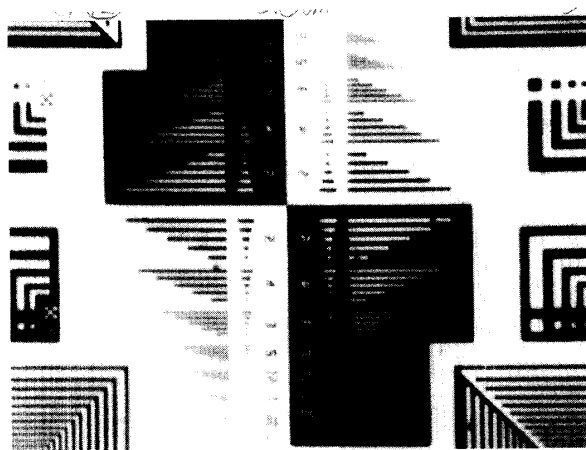


Fig. 5. Photograph of micro-Pattern taken by using the image processing apparatus.

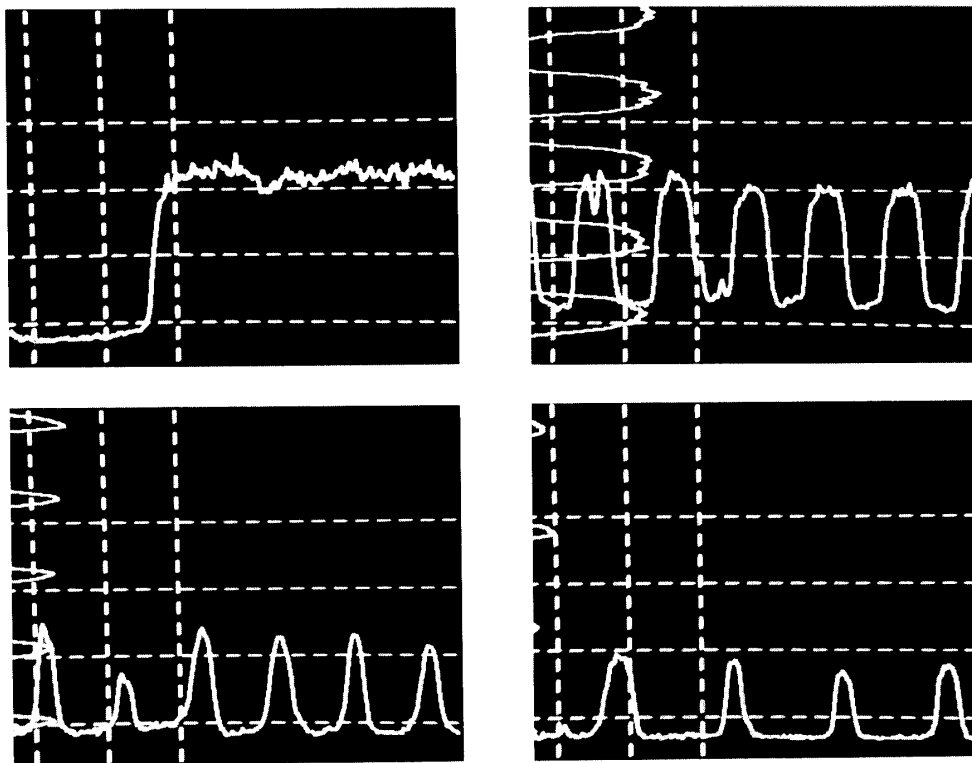


Fig. 6. Reflection Traces of half-tone printed matter  
 Photo 1 :  $9.8 \times 10^2$  LPM,  $a = \text{ca. } 50\%$ , 2 :  $9.8 \times 10^3$  LPM, ca. 20%;  
 3 :  $9.8 \times 10^3$  LPM,  $a = \text{ca. } 50\%$ , 4 :  $9.8 \times 10^3$  LPM, ca. 80%.

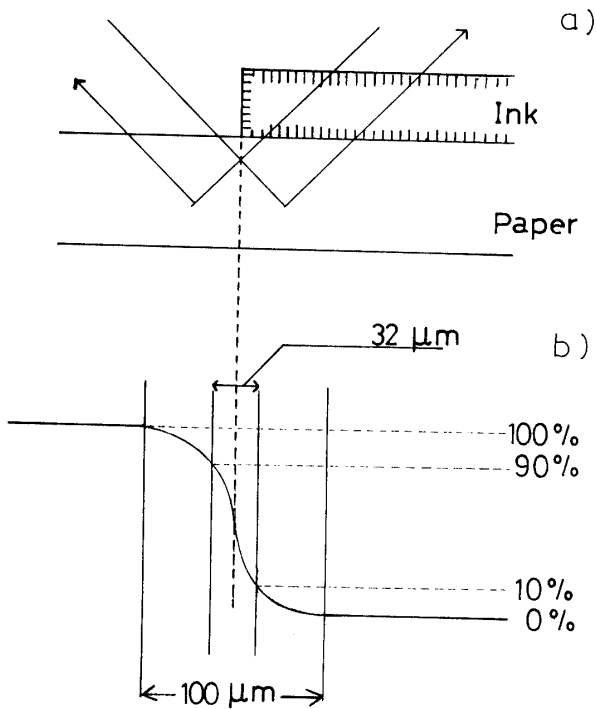


Fig. 7. Models of the reflection around the dot edge (a) and its reflection trace (b). The rise width of the reflection ( $\Delta L$ ) was determined; 44 (B-filter), 32 (G), and 27  $\mu\text{m}$  (R).

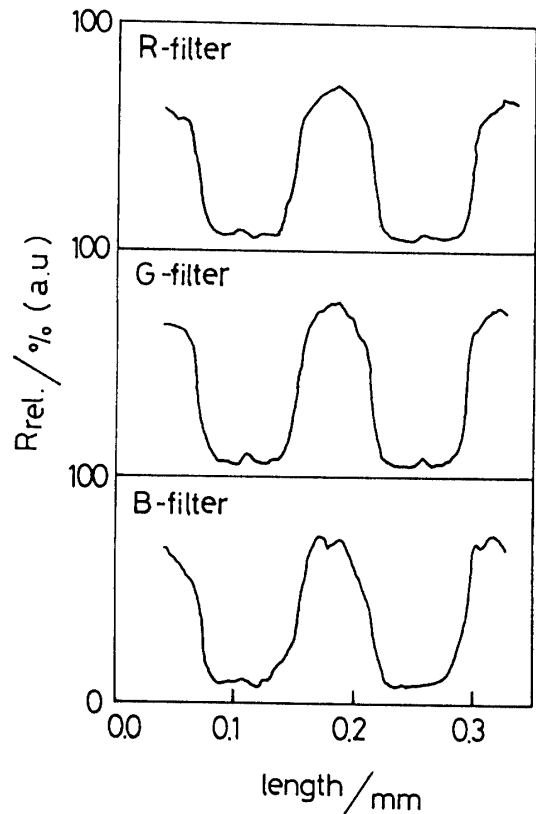


Fig. 8. Reflection traces monitored by using filters at a same area.

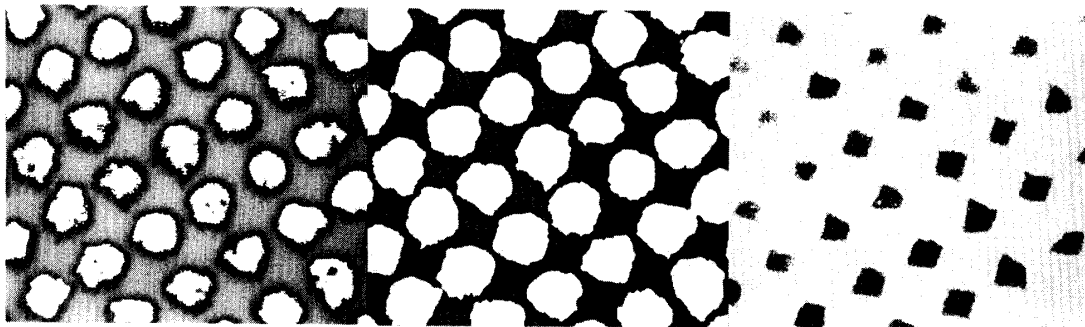


Fig. 9. Photographs of a half-tone printed matter They indicated the change of the imaging area in in the theshold value. Sample : 250 LPI,  $a = \text{ca. } 50\%$ , measured by using G-filter.

### 3-2. 画像解析装置の解像性

画像解析装置の精度を検討するため、IC 解像度テスト用クロムブラウンマスクを反射光で測定した。画像処理前の出力画像の写真を図 5 に示す。写真撮影に露光時間がかかり明確ではないが、画像解析の条件では  $0.75 \mu\text{m}$  の L/S パターンまで解像した。これにより、本装置では  $\pm 1 \mu\text{m}$  の精度

での解析が可能であった。

### 3-3. ドット境界部での反射率変化

$s = 9.8 \times 10^2 \text{LPM}$ ,  $a = \text{ca. } 50\%$  のサンプルと  $s = 9.8 \times 10^3 \text{LPM}$ ,  $a = \text{ca. } 20, 50, 80\%$  のサンプルを画像解析装置と G フィルターを使用して観測した。図 6 に微小区間の反射率変化を示す。s

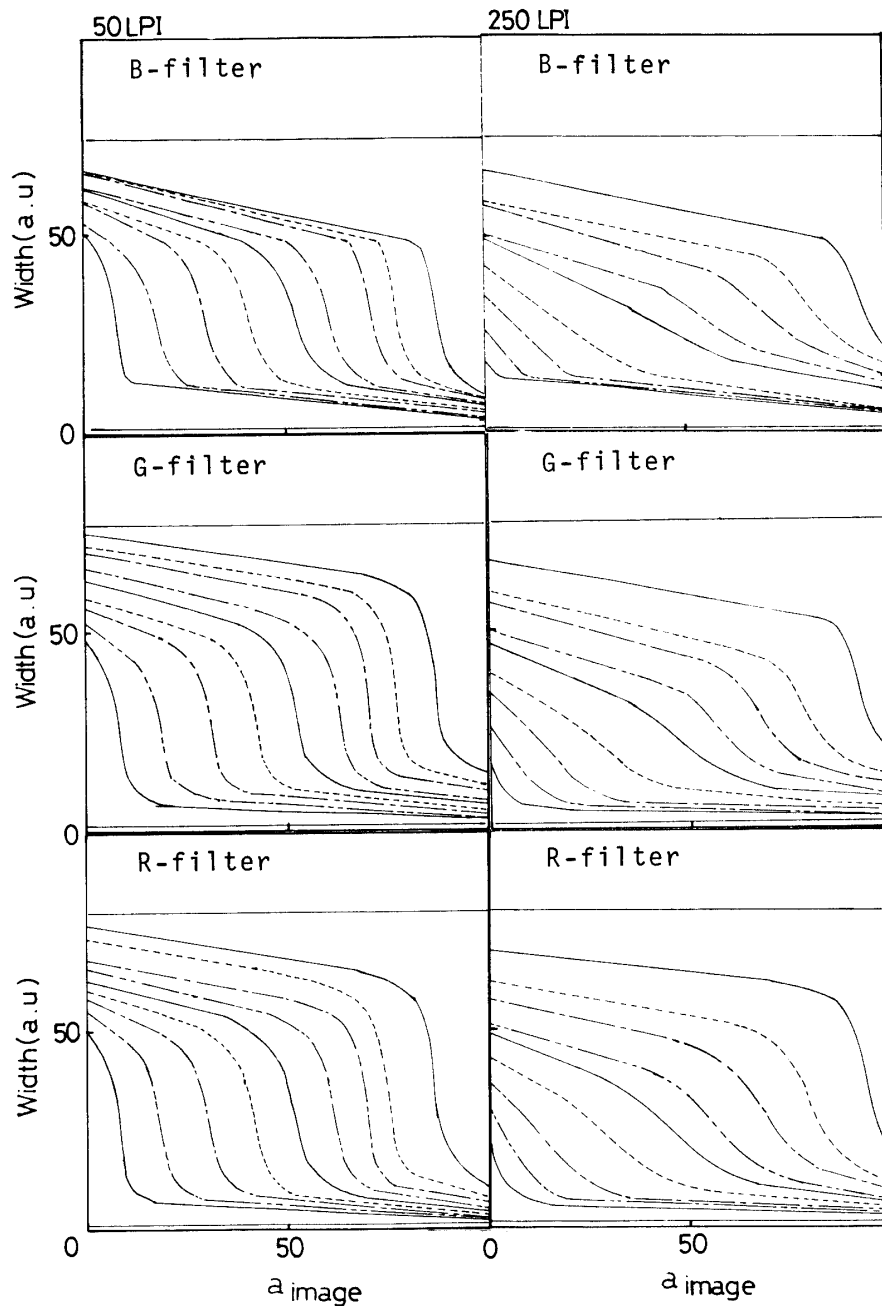


Fig. 10. Relations between the threshold value and the imaging area.  
 Sample :  $a = 10 \sim 90\%$ , 50LPI(a-c), and  $a = 10 \sim 90\%$ ,  
 250LPI(d-f), filter : B(a,d), G(b,e), and R(c,f). 1 : Low  
 density area

$s = 9.8 \times 10^2$  LPMのサンプルの反射率は  $R_p$  より  $R_s$  までゆるやかに変化する。 $s = 9.8 \times 10^3$  LPMのサンプルでは、反射率の変化量は少ない。このスクリー線数では網点サイズが小さいため、微小面積の反射率は  $R_p$  まで増加または  $R_s$  まで減少しないと推論した。

$s = 9.8 \times 10^2$  LPMのサンプルの写真より反射率変化する距離をGフィルターを用いて計測した。全変化量の10%より90%までの距離は  $32 \mu\text{m}$  にも、全体では  $100 \mu\text{m}$  以上にもおよぶ。この値はマイクロデンシトメーターで測定 [スリット幅： $2 \mu\text{m}$  (走査方向)  $\times 10 \mu\text{m}$ ]<sup>6)</sup>した濃度立ち上り

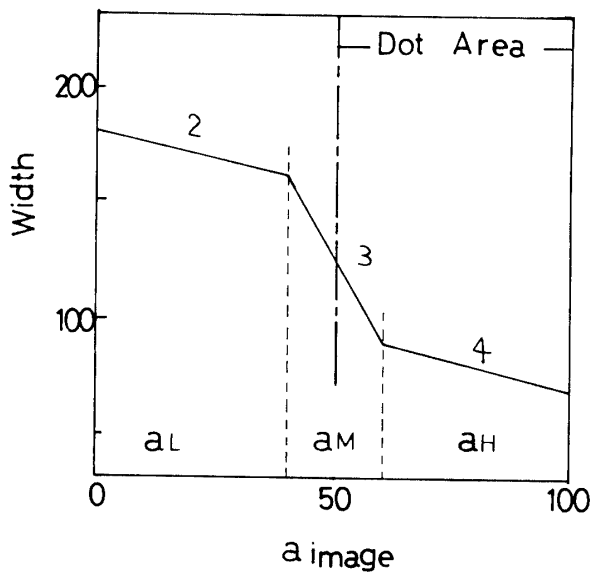


Fig. 11. Model relation between threshold value (width) and the imaging area

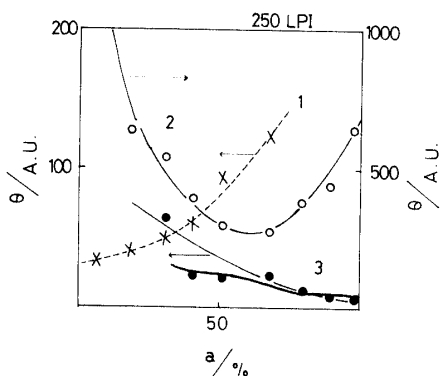


Fig. 12. Dependence of  $\theta^{-1}$  on the dot area. 1 : Low density area, 2 : middle density area, 3 : low density area.

幅約 ( $30 \mu\text{m}$ ) と良く一致した。一方, B フィルターや R フィルターでの測定距離は, それぞれ  $44 \mu\text{m}$ ,  $27 \mu\text{m}$  と測定した。

ドット境界部では非画線部に入射した光の一部は紙中で散乱・回折のあと画線部より, 画線部に入射した光の一部は非画線部より発出する (図 7)。このため, 反射率はドット境界部で急激に変化せず, 一定の幅を持って変化したと結論できる。一般に, 光の振動数と屈折率とは比例する。紙中においても同様に光は拡散。散乱すると期待できる。反射率の立ち上り幅は, R 光 < G 光 < B 光の順と

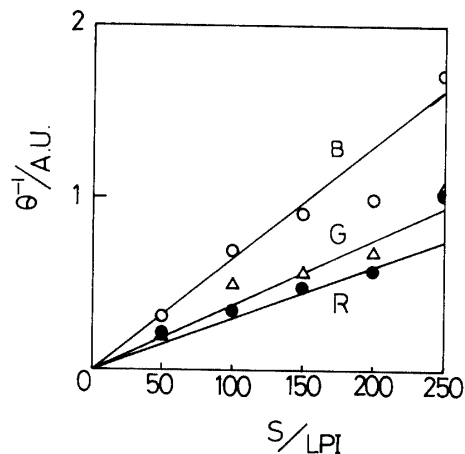


Fig. 13. Changes of  $\theta_2^{-1}$  in the screen ruling. Samples : a = ca. 50%, Filter : B, G, and R.

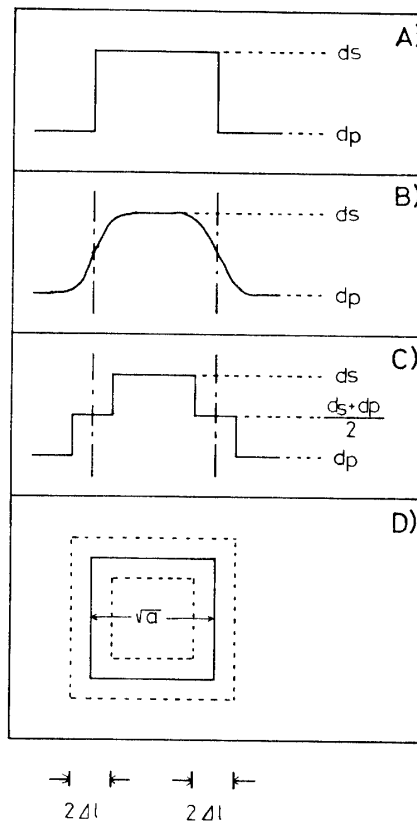


Fig. 14. Models of density trace. A : Murray-Davies model, B : a model for the microdensitometer trace, C : a model considering the middle-density area, D : a top view of the model C.

なり, その値もほぼ波数に比例していた。

### 3-4. ドットドット間距離の測定

ドット境界部では反射率が立ち上り幅を持って変化した。しかし、紙中での光の拡散、散乱の影響が非画線部。画線部どちらに主に現れたのか明確でない。また、画線部面積率が大きくなったのか小さくなったのかも判別できない。このため、 $s = 9.8 \times 10^3$  LPM,  $a = \text{ca. } 20, 50, 80\%$  のサンプルの同一部分同一位置での反射率変化を B.G.R フィルターを使用して測定した。測定結果は相対反射率 [ $R_{\text{rel}} = (R - R_s) / (R_p - R_s)$ ] に変換し、ドットとドット間の反射率変化を明確にした。図 8 に  $R_{\text{rel}}$  と距離との関係を示す。画線部と非画線部とに分割する反射率設定が困難であるが、B フィルターで観測した画線部距離は R フィルターでの測定値より大きい。この結果は図 3 a の結果と一致し、B 光でのドットゲイン量が最も多い事を示す。

### 3-5. 観測反射率と網面積率との関係

図 9 に  $s = 9.8 \times 10^2$  LPM,  $a = \text{ca. } 50\%$  のサンプルの写真を示す。これらは観測するシキイ値を変えて撮影した写真であり、シキイ値により画線部面積率 ( $a_i$ ) が大きく変化する。 $a_i$  をシキイ値に対しプロットした。図 10 には、 $s = 2.0 \times 10^3, 9.8 \times 10^3$  LPM の全てのサンプルを B, G, R フィルターを用いて測定した結果を示す。いずれのサンプルにおいてもプロットは逆 S 字型となる。

$a_i$  とシキイ値との関係を模式化するため、3本の直線で近似した。直線の交点で全面積を低濃度部 ( $a_L$ ; 線 1) ・中間部 ( $a_M$ ; 線 2) ・高濃度部 ( $a_H$ ; 線 3) に分割した (図 11)。また G 光で観測した線 2 の中点を網面積率 ( $a$ ) とした。

図 12 に  $s = 9.8 \times 10^3$  LPM のサンプルで測定した三本の直線の傾き ( $\theta$ ) を  $a$  に対しプロットした。線 1 の傾き ( $\theta_1$ ) や線 3 の傾き ( $\theta_3$ ) は、スクリーン線数や画線部面積率の影響をあまり受ず、おおよそ一定であった。一方、線 2 の傾き ( $\theta_2$ ) は  $a$  の増加に従い減少し、 $a = 50 \sim 60\%$  で最小となる。以降、 $\theta_2$  は増加した。他のフィルターでの測定でも、他のスクリーン線数のサンプルで

もほぼ同様の結果を得た。

図 11 より明らかな様に、 $\theta_2$  の逆数 ( $\theta_2^{-1}$ ) は中間濃度域のパラメーターである。ドット境界部で画線部・非画線部両側に等しい幅の中間濃度域が生成すると仮定すると、 $\theta_2^{-1}$  は  $a = \text{ca. } 50\%$  を最大とする対象的な曲線となる期待できる。いずれの結果も、 $\theta_2^{-1}$  の最大値は  $a = \text{ca. } 55\%$  付近にあり、上記仮定が成立した事が明らかである。また、最大値が  $a = 50\%$  よりずれる事よりインキ着肉部より拡大されて観測された事と推論できる。

$a = 50\%$  付近のサンプルで測定した  $\theta_2^{-1}$  を  $s$  値に対しプロットすると、良い直線関係が成立する (図 13)。プロットの傾きも G フィルターでの値を 1 とすると、 $0.8(R) \cdot 1.7(B)$  となる。これより、スクリーン線数の関係なく一定幅の中間濃度域係が出現した事が明らかであり、その幅も反射率立ち上り幅の比とはほぼ一致していた。

### 3-6. 網点構造と反射モデル

ドットの反射率の模式を図 14 に示す。Buchdal 式や Murray-Davis 式で示されるのは画線部境界で急激に反射率の変化するモデルである (a)。実際の測定では反射率はある幅を持って変化する (b)。もし、ドット境界部に中間濃度域を仮定すると、反射率は階段式モデル (c) で示される。画線部では入射・発出と光は 2 度インキ皮膜を通過するが、この領域では一度しかインキ層を通過しない。これにより、中間濃度域の濃度を  $(dp + ds)/2$  と仮定した。

ドット境界部において反射率 (濃度) は連続的に変化する。その変化する幅は G フィルターでの測定では  $32 \mu\text{m}$  にも及ぶ。境界部に立ち上り幅の半分の中間濃度域を仮定した (4 式)。

$$R = (1 - a - b) 10^{-dp} + (a - b) 10^{-ds} + 2b 10^{-(dp+ds)/2} \quad (4)$$

この式において、画線部・非画線部ともに  $b$  だけ面積が減少し、 $2b$  の中間濃度領域が出現する。



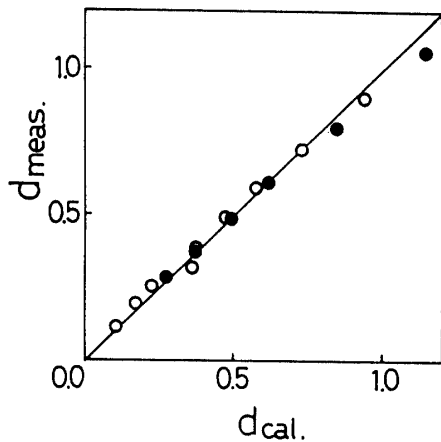


Fig. 15. Plots of  $d_{meas.}$  vs.  $d_{cal.}$  estimated by means of eq. 5.  $s = 3.9 \times 10^3$  (○) and  $9.8 \times 10^3$  LPM (●)

式 4 は、式 5 に変形できる。

$$R = (1-a)10^{-dp} + a10^{-ds} - b [10^{-dp} - 2 \cdot 10^{-(dp+ds)/2} + 10^{-ds}] \quad (5)$$

右辺最初の 2 項は R.Buchdal の式である。第 3 項は修正項、 $\Delta R$ 、を現わす。

網点周囲に形成される中間濃度域の幅を  $2 \Delta L$  とすると、 $b$  は式 7 で示される。

$$b = L \cdot \Delta L \quad (7)$$

ここで  $L$  は単位面積 ( $1 m^2$ ) あたりの網点境界長の総和である。リスクエアドットでの  $L$  は式 8 で示される。

$$\begin{aligned} L &= 4s^2 [ |0.5 - |a - 0.5|| / s^2 ]^{1/2} \\ &= 4sa^{1/2} \quad (0 < a \leq 0.5) \\ &= 4s(1-a)^{1/2} \quad (0.5 < a < 1) \quad (8) \end{aligned}$$

反射率の立ち上り幅が  $4 \Delta L$  に相当するので、この値を用いて反射率を計算し、測定値にプロットした (図 15)。 $a < 50\%$  では、計算値は実測値と良く一致した。一方、 $a > 50\%$  では最大 0.4% の反射率差で一致する。この原因は画線部面積率の決定法に起因すると推論され、 $a$  が大きくなると面積を大きく測定する傾向がある。また、式 5 で反射率が計算できると結論できる。

#### 4. まとめ

$s = 9.8 \times 10^2 \sim 9.8 \times 10^3$  LPM,  $a = 10 \sim 90\%$  の墨印刷物を画像解析装置を中心に測定し、網印刷画像の微細構造とその反射濃度評価式を検討した。光の紙中での拡散・散乱のため、ドット境界部では濃度は幅 [44(B), 34(G), 27 μm(R)] を持って立ち上る。このため、ドット周囲に中間濃度域を形成される。反射濃度評価においても、この幅の半分の中間濃度域 [ $d = (dp + ds) / 2$ ] を仮定する事でうまく説明できた。

本検討では高品質画像を用いてドットの微細構造について検討したが、一般印刷画像には「ヌケ」や網点形状の歪など、検討項目が多い。特に紙の平面性による影響と水による影響は無視できない重要な因子である。本装置には微小点処理や分布処理も可能である。これらの機能を用いてさらに一般印刷物の品質は今後検討する予定である。

最後に、有意義な示唆を戴きました本学芸術学部木下堯博教授、印刷物を製作して戴きました野崎印刷紙業 K K 松本義則氏、測定に御協力戴きました龍元和氏に深謝致します。本報告は、平成 2 年度特色ある教育・研究課題「網印刷画像の品質評価の研究」の研究成果の一部をまとめたものである。

#### 参考文献

- (1) A. Murray, J. Franklin Inst, 221, 721 (1936).
- (2) R. Buchdahl, M.F. Polglase, and H.C. Schwalbe, Paper Trade Journal, 122, 41 (1946).
- (3) J.A.C. Yule, and W.J. Nilsen, TAGA, Proceedings 3, 65 (1951).
- (4) F.R. Clapper, and J.A.C. Yule, J. Opt. Soc. Am., 43, 600 (1953).
- (5) G. Baba, M. Sengoku, and H. Minegishi, Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, 59, 150 (1975).
- (6) W. Schroder, Der Polygraph, 4, 308 (1979).
- (7) 日本印刷学会東部支部研究委員会技術専門部会第 2 部会, 印刷雑誌, 59, 33 (1976).
- (8) 梅川荘吉, 奥山滋, 日本印刷学会論文集, 11, 37 (1969).