

解説**最近の印刷の高精彩化の動向**

小野善雄

大日本スクリーン製造(株)技術情報部 〒602 京都市上京区掘川通寺之内上ル4

(1992年8月18日受理)

Recent Trends of Printing toward Higher Definition and Saturation

Yoshio ONO

Technical Information Department, Dainippon Screen Mfg. Co., Ltd.,
Teranouchi-agaru 4, Horikawa-dori, Kamikyo-ku, Kyoto 602**1. はじめに**

近年、各種の印刷物においてカラー画像の占めるウェイトが増加している。カラー印刷を増加させることが可能になった背景には、印刷の前段階である製版の工程において、カラー原稿(多くの場合、カラーフィルム画像)を光電走査し、種々の機能を有する画像処理回路によって能率よく、しかも高品質に色分解するカラーキャナ(電子色分解機)が広く普及してきたことがあげられる。

カラーキャナによって色分解の画質が向上し、製版・印刷の工程全般にわたる機材や品質管理技法の進歩と相俟って、多種多様なカラー印刷物について安定して一定水準以上の画質を確保することが可能になっている、というのが今日の印刷業界の状態であるといえるが、しかしそれでもなお現状に満足できないで印刷の画質をさらに向上させようとする試みが一部でなされている。それは、後に述べるように、現在の4色カラー印刷法に本質的に内在する画質上の欠点を抑制ないしは克服しようとするものであり、印刷の高精彩化のための試みだといえる。それには超細線ハーフトーン印刷と7色印刷という二つの方向があり、前者はモノクロ印刷にも適用できる。

2. 超細線ハーフトーン印刷

画像の印刷には、普通は、微小な網点の面積割合の大小によって階調を表現するハーフトーン法が用いられ

る(ただし、グラビア印刷ではハーフトーンと連続調の中間的な方法が用いられている)。ハーフトーン印刷においては、使用する印刷用紙や所要の画質レベルに応じて種々異なる細かさのスクリーンを使用する(注:連続調画像をハーフトーン画像に変換する処理を網かけというが、以前は網かけを行うために網目状のパターンを有する製版用スクリーンが広く使用されたが、現在では網かけはドットジェネレータ(電子的網点発生器)を備えた走査露光式画像記録機を用いて電子的に処理されることが多くなって、特にカラー印刷用ではほとんどすべて電子的に行われている)。スクリーンの細さはスクリーン線数(わが国では通常1インチ当たりの線数で表す)によって表現され、普通は新聞用の65線(26線/cm)から高級印刷用の200線(80線/cm)までが使用されるが、200線の使用は少なく、日本では高級印刷物の標準的なスクリーン線数は175線である。因みに、欧米では175線さえも使用が少なく、高級印刷物の多くは150線によっている。

図1は標準的な形状の網点によって明から暗までの階調を段階的に表した状態を拡大して示したものである。ここでは網点の形状は中央の面積割合50%のところで市松模様をなし、ハイライト部(明部)とシャドウ部(暗部)では、それぞれ黒と白の小さい円形をなしている。スクリーン線数はより細かいものを使用するほど画像の解像度が良くなるはずであるが、同時に画像のハイライト部(明部)の最小網点とシャドウ部(暗部)の最大網点を所望どおりに製版印刷することが困難となる。

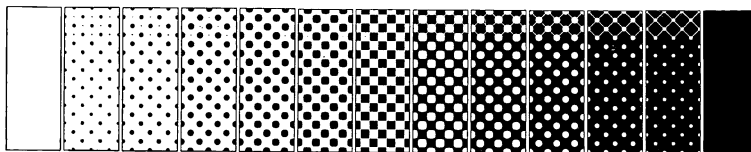


図1 標準的な形状の網点によるハーフトーンの階調スケール (拡大図)

スクリーン線数が非常に細かくなると、最小網点・最大網点が表現不可能となって（最小網点とはんでしまい、最大網点はつぶれてしまう）、ハイライト端とシャドウ端の調子が消滅し、調子再現性が悪くなる。しかも、スクリーン線数を細かくすることによる解像度の向上は必ずしも期待どおりに実現されるとは限らない。例えば、カラー原稿からの複製倍率が高い場合には、細かい線数のスクリーンを用いてもそれに見合うだけの解像度は原稿画像自体に存在しないかもしれない。また、原稿画像自体に微細なディテールが乏しい場合にもスクリーン線数を細かくする効果はあまり期待できない。このような場合には、普通よりも細かいスクリーンを使用しても解像度はほとんど変わらず、調子再現上の欠点だけが目立つという結果になりがちである。このようなことから、200線よりも細かいスクリーン線数を使用しても得るところは少ない、という否定的見解が専門家の間でよく述べられてきた。

しかしながら、スクリーン線数がハーフトーン印刷の解像度を制約する主要な要因になっていることも確かである。また、規則的に配列された網点を用いる通常のハーフトーン印刷ではモアレの問題が時々生じる。これには、網点印刷物を原稿とする再網かけ製版の場合のモアレや、規則的なパターンが画像中に存在する原稿（例えば背広の宣伝用写真）からの網かけの場合に生じるモアレ、カラー印刷で4色の刷り重ねによって生ずるモアレなどがある。カラー印刷では、4色の版のスクリーン角度を適切に選ぶ（色の強いブラック、シアン、マゼンタを30°おきにとり、これらの内の2色と15°をなすようにイエローを配する（後の図7(a)参照））ことによってモアレを抑制しているが、細かく見ると、30°おきの3色の網点がロゼット（rosette：円環）模様状に並ぶため、スクリーンピッチの4倍程度の大きさ（模様のどこを見るかによってこの大きさは異なるが）でそれが目につくことがあり、ロゼットモアレと呼ばれる。ただし、ロゼットモアレは普通は問題にならないが、いったんこのモアレに気がつくと気にする人もいるため、ときたま問題にされることがあるという程度のものである。

したがって、ハーフトーン印刷の解像度を向上させる

とともにモアレを抑制するということは以前からの課題であり、前記のような専門家たちの否定的見解の存在にもかかわらず、これらの課題に応えるべくスクリーンなし印刷や超細線ハーフトーン印刷が試みられてきた。

スクリーンなし印刷は、製版の際にスクリーンを使用しないで、平版用印刷版の表面の微細な凹凸を利用して砂目状に分布したインキ付着部と非付着部を版面に形成し、その印刷版を用いて印刷を行うものである。この方法は1960年代の半ば頃から一部で試みられたが、製版・印刷の再現性の不安定さが問題であったとみられ、普及するには至らなかった。

超細線ハーフトーン印刷は従来普通に使われている最も細かいスクリーン線数である200線の2倍程度以上の超細線というべきスクリーン線数を使用するハーフトーン印刷である。この方法が実際に用いられたのは、15年余り前に、大蔵省印刷局が大日本スクリーンで開発された600線（240線/cm）のコンタクトスクリーンを用いて600線のカラー平版（オフセット）印刷による切手を試作したのが嚆矢といえよう¹⁾。しかし、一般の商業印刷の世界では、1987年頃から米国のWoods Lithographics社が500線（200線/cm）スクリーンのカラー平版印刷をUltra Dotと名付けて実用化したのが最初だと思われる²⁾。その後、日本でも二、三の印刷会社または製版会社が超細線ハーフトーン印刷の実用化を試み始め、91年秋から92年夏にかけて450線（180線/cm）から900線（360線/cm）ぐらいまでの超細線スクリーンによる実用化成功の発表が相次いでいる。さらには、大量印刷される週刊誌にまで700線（280線/cm）の印刷が登場している。なお、巻頭に綴じ込まれた超細線ハーフトーン印刷の見本は文化堂印刷(株)で製版、印刷していただいたものであり、同社の西山由弘社長および橋本恵光取締役役に紙面を借りて厚く御礼申し上げる次第である。

これらの超細線ハーフトーン印刷は、通常のハーフトーン印刷に比べて、画像の解像度ないしは明瞭さ（definition）を向上させ、モアレを抑制するという所期の効果を挙げているだけでなく、カラー印刷においては色の彩度の向上をももたらしているという。すなわち、所期

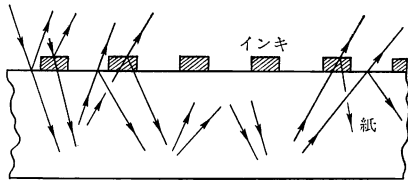


図2 紙の内部における光の散乱と内部反射

の高精細化だけでなく高彩度化をも併せて、印刷の高精細化に寄与するという目で注目を集めている。そこで、超細線ハーフトーン印刷で色の彩度が向上する理由についてここで触れておきたい。

ハーフトーン印刷画像における網点面積 $A(0 \leq A \leq 1)$ と濃度 D の関係を単純に考察すると、

$$D = \log_{10} \frac{1}{1 - A(1 - 10^{-D_s/n})} \quad (1)$$

という式を簡単に導き出すことができる³⁾。ただし、ここで、 D_s はベタ刷り ($A=1$) の部分の濃度であり、また網点部分はどこをとっても濃度が D_s に等しく、非網点部分はどこでも濃度はゼロであるという単純な前提条件を仮定している。

ところが実際には、図2に示すように、紙の内部に入り込んだ光が散乱するためにこの前提条件は成り立たない。特に白紙部分に入射した光の一部が隣接する網点部分から外へ出ようとして網点のインキに吸収されるため、非網点部分の実効濃度はゼロよりも高くなる。Yule と Nielsen はこの現象を考慮に入れて実際により良く適合する経験式として次式を与えている⁴⁾。

$$D = n \log_{10} \frac{1}{1 - A(1 - 10^{-D_s/n})} \quad (2)$$

ここで、 n は印刷用紙やスクリーン線数によって変化するパラメータで、 $n \geq 1$ であるが、用紙の光拡散性が強いほど、またスクリーン線数が大きいほど、その値は大きくなる。図3は種々の n の値について Yule-Nielsen の式の間接関係をグラフに示したものである(ただし、 $D_s=1.4$ の場合)。彼らはコート紙でスクリーン線数が65線、150線、300線の場合に n はそれぞれ1.3、1.8、3.0が適合するといっている。また、及川の実験によると、アート紙とスクリーン線数60~85線を用いた場合には $n=1.2$ が適合し、上質紙と133~150線の場合には $n=5$ が適合する⁵⁾。なお、 $n=1$ の場合は(1)式に一致し、 $n=\infty$ の場合は連続調の場合を表して A 対 D のカーブは直線になる。

カラー印刷物は通常シアン(C)、マゼンタ(M)、イエロー(Y)およびブラック(K)の4色のインキを用いた四つの版からの重ね刷りによって製作されるが、4色のう

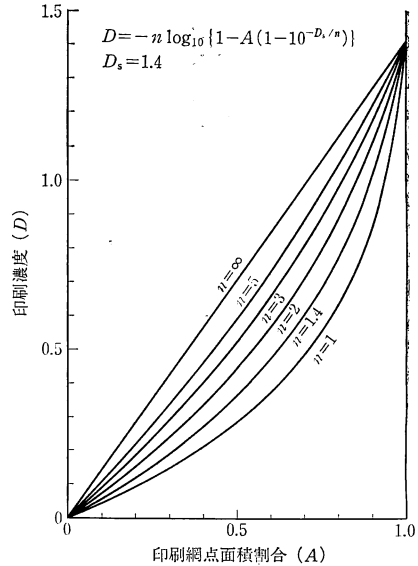


図3 Yule-Nielsen の式によるハーフトーン印刷画像の網点面積対濃度の関係

表1 3色(CMY)インキの3色(RGB)濃度

インキ	フィルタ		
	R	G	B
C	D_{cr}	$k_{cg}D_{cr}$	$k_{cb}D_{cr}$
M	$k_{mr}D_{mg}$	D_{mg}	$k_{mb}D_{mg}$
Y	$k_{yr}D_{yb}$	$k_{yg}D_{yb}$	D_{yb}

ちのカラーの3色インキのベタ刷り領域のレッド(R)、グリーン(G)、ブルー(B)3色濃度(R, G, Bの色フィルタそれぞれを通した濃度)は一般に表1に示す形で表現することができる。例えば、Cインキについてみると、その主濃度はRフィルタ濃度であって D_{cr} と表現することとした場合、他の2色のフィルタ(GとB)を通した濃度は主濃度 D_{cr} に1よりも小さい係数 k_{cg} と k_{cb} をそれぞれ乗じた値として表現することができる。MインキとYインキについても同様である。ここで、3色インキの各々について、主濃度以外の二つの濃度は理想的には不要なものであり、これらの不要濃度の主濃度に対する割合、すなわち係数 k (添字省略) が小さいほど彩度の高い色を表現できる。

いま、ハーフトーン印刷物の網点面積と濃度の関係を経験的に示す上記 Yule-Nielsen の式、すなわち(2)式が表1に記した九つの濃度のすべてに対応する色インキの網点面積との間にも成立つものと想定すると、例えば任意の網点面積 A で印刷されたCインキの不要濃度の一つであるGフィルタ濃度の主濃度 D_{cr} に対する比率

k'_{cg} は次式によって計算することができる⁶⁾.

$$k'_{cg} = \frac{\log_{10} \{1 - A(1 - 10^{-k_{cg} D_{cr}/n})\}}{\log_{10} \{1 - A(1 - 10^{-D_{cr}/n})\}} \quad (3)$$

他の五つの係数 k' も同様の式によって計算することができる。

図4は、ベタ刷り部の主濃度 D_s ((3)式中では D_{cr}) を1.4として、ベタ刷り部での係数 k ((3)式中では k_{cg}) を0.25および0.5とした場合に、(3)式から計算される係数 k' の網点面積 A に対する変化の様子をいくつかの n の値について示したものである。このグラフからわかるように、 k' の値は網点面積が小さくなるほど大きくなり(このことはハーフトーン印刷の本質的な欠点の一つである明るい部分ほど色の彩度が低下するという事実を示すものである)、特にその傾向は n の値が小さい場合ほど顕著である。逆に、 n の値が大きい場合ほど k' の値は小さくなって色の彩度が向上し、明るい部分での k' の値の増加傾向も小さくなっていく。このことは全般的に n の値が大きくなるほどカラーのハーフトーン印刷物の色の彩度は改善されるということの意味しており、したがってスクリーン線数が細かいほど、また印刷用紙の光拡散性が強いほど色の彩度が上昇して、すぐ上で述べたハーフトーン印刷の欠点を抑制してくれることになる。なお、Yule は実際に65線と150線の2種のスクリーンを用いた印刷物について、150線の方が色の彩度が高くなることを確認している⁷⁾。

もっとも、実際の超細線ハーフトーン印刷においては、C, M, Y の印刷の1次色よりも R, G, B という2次色において彩度の向上が強く認められる傾向があるといわれ、超細線スクリーンによる彩度の向上には他の原因もあるのかもしれない。

超細線ハーフトーン印刷の実用化に当たっては、製

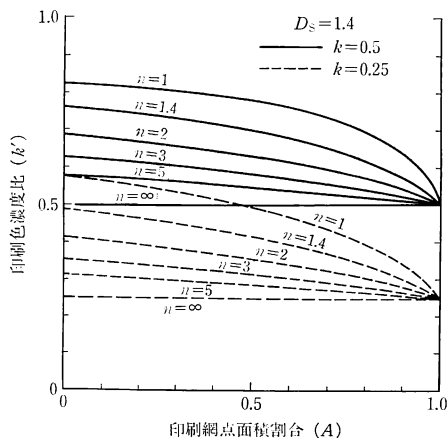


図4 (3)式で計算した印刷インキの色濃度比 k'

版、印刷の両方の工程について技術的な困難がいろいろあったと考えられる。やはり最大の問題は前に述べた最小網点、最大網点をいかに安定に表現できるようにするか、同時に全階調にわたる網点サイズの再現性をいかに安定化させるか、といった点にありそうである。このため、その普及化のスピードについてはいくらかの制約が伴うことも考えられる。

また、ごく最近、ドイツやスイスで、かなりランダムに発生された網点(砂目状の網点の1種ともいえる)を用いたハーフトーン印刷が実用化されていて^{8,9)}、従来の砂目スクリーンによる印刷や前述のスクリーンなし印刷に見られるようなザラツキ感が比較的少なく、高解像、モアレ排除の効果を上げていることが注目される。

3. 7 色 印 刷

前章で述べたように、今日のカラー印刷は通常 C, M, Y, K の4色のインキを用いた四つの印刷版からの重ね刷りによって製作されている。オフセット平版印刷においては、昔はもっと多くの色版を用いていたが、インキの進歩(濃度の向上)に伴って使用インキ数が少なくなって、凸版、グラビアといった他の版式と同様に4色印刷が普通になり、近年においてはオフセット平版が断然主流をなす時代になっている。けれども、4色印刷に内在する本質的な欠点として、C, M, Y の1次色は良いとして、R, G, B の2次色を鮮やかに表現することができない、換言すれば原稿の画像に R, G, B 系統の彩度の高い色が存在する場合にそれを忠実に再現することができない、という問題が存在する。

7色印刷は4色印刷のこのような欠点を克服するために Küppers によって提唱されたものであり¹⁰⁾。通常の C, M, Y, K の4色インキに加えて、R, G, B の3色インキをも使用して、合計7色のインキを用いた七つの印刷版によって印刷を行おうとするものである。日本でも永田が同様の提案を行っている¹¹⁾。このような印刷を可能にするためには、例えば R インキ 100% で高彩度の赤色を表現すべき領域においては、4色印刷では単純に言えば M インキ 100% と Y インキ 100% で赤色を表現していた(R インキ 100% による赤色よりも彩度は落ちるが)のに対して、7色印刷ではこの領域に M インキと Y インキを全く印刷しないようにする(すなわち M, Y 共に 0% とする)ことが必要である。また、7色印刷で例えば R と Y の中間的な色を表現しようとする、R インキと Y インキをそれぞれ適当な網点面積として重ね刷りすればよいが、4色印刷では R と Y の間の色もすべて

YインキとMインキの重ね刷りで表現していたのであるから、7色印刷では4色印刷に比べてMインキを全く使わないようにするとともに、Yインキの使用割合も減少させる必要がある。同様に、RとMの中間的な色を表現する場合には、7色印刷では4色印刷に比べてYインキを全く使わないようにするとともに、Mインキの使用割合も減少させる必要がある。このように本来の3色インキ(C, M, Y)の使用量を減少させる操作は、4色印刷においてKインキの使用量を増加させた場合にC, M, Yの3色インキを減少させる下色除去(under color removal: UCR)の操作と類似性がある。

図5にK版の使用量を最小限に抑えた場合と、最大限に増やした場合という二つの場合について、4色印刷における中性色(無彩色: 白色-灰色-黒色)の階調がC, M, Y 3色版によってどのように表されるかを模式的に示す。K版の使用量が増加しても、4色版全体による中性色の階調は一定に保たれるように(注: この図からはわからないが、中性色以外の色についても4色版全体による表現は変化がないように)、K版が増加した領域において3色版は対応する量だけ減少させられる。この操作が下色除去である。

上に述べたように、R, G, Bの3色版を追加して使用しようとする場合にも、4色印刷でのK版に対するものと類似したC, M, Y 3色版の下色除去が必要であるが、実はこのことは任意の色(特色; 4色印刷を基準に考えると4色以外の色はR, G, Bも含めてすべて特色である)の特色版を使用する場合に共通していえることである。カラースキャナはK版に対するC, M, Y 3色版の下色除去を容易、適正に行う機能を備えているが、任意の特色版に対する下色除去機能を追加した特色カラースキャナが25年ばかり前に大日本スクリーンによって開発され¹²⁾、大蔵省印刷局で実用されてきた¹³⁾。したがって、カラースキャナにR, G, B 3色版用の適正な下色除去機能を装備すれば、7色印刷のための製版は容易に

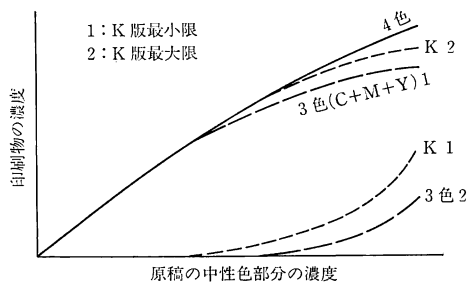


図5 K版を最小限と最大限に用いた場合の3色版刷り重ねとK版の階調

行えることになる。

7色印刷によって、従来の4色印刷に比べて印刷の色表現可能範囲(色域; color gamut)はどの程度広がるだろうか。Küppersは7色印刷の可能性を追及してインキメーカーの協力を得てそれに適したC, M, Y, R, G, Bの6色インキを設定している。EderはKüppersの設定した6色インキの一部を少し変更して、7色印刷と4色印刷の比較見本を作成しているが、その中には7色印刷と4色印刷でそれぞれ表現できる最も鮮やかな色パッチの比較見本も含まれている¹⁴⁾。図6は、Ederの色パッチ見本を測色して得られたデータに基づいて、7色印刷と4色印刷の色表現可能範囲をCIE色度図上に示したものである。この図からわかるように、7色印刷はR, G, B 3色について4色印刷に比べてより高彩度な色を表現でき、しかもYを除いたC, M 2色についても7色印刷の方が色表現可能範囲が広がっていることがわかる。これは4色印刷では、C, M, Y 3色インキの色を選定する際に、それらによって表現できる2次色(R, G, B)の3色にまで配慮する必要があって、選択の幅が制約されるのに対して、7色印刷ではC, M, Y 3色インキの選択の自由度が広がるためであろうと推測される。

なお、前章で触れたように、4色印刷では各色版のスクリーン角度を適切に選ぶことによって、規則的に並んだ各版の網点同士の重なりによって生ずるモアレを最小限になるように抑えている。図7(a)は4色印刷の標準的なスクリーン角度を示している。7色印刷では色数が増えるためモアレを回避することが困難になると予想さ

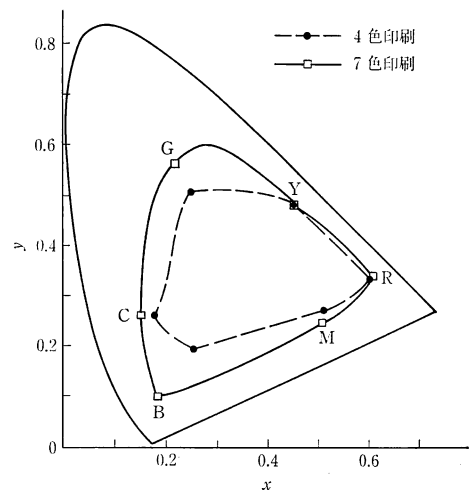


図6 CIE_{xy}色度図による4色印刷と7色印刷の色表現可能範囲の違いの例

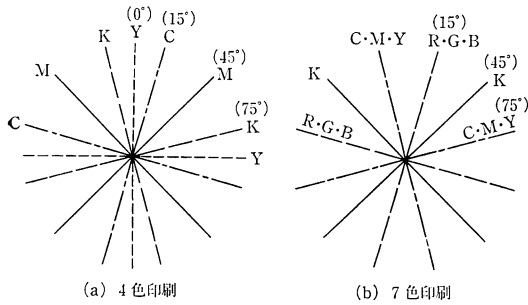


図7 4色印刷と7色印刷のスクリーン角度

れるかもしれない。しかし、Küppersはこの問題に対して、C, M, Y および R, G, B の各3版同士は同じ箇所印刷されることはないで、それら同士を同じスクリーン角度に配置すればよいという単純な解決策を見いだした。すなわち、例えば各版が図7(b)に示すようなスクリーン角度をとればよい、というわけである。

Küppersはさらに、7色印刷の利点として、R, G, B系の高彩度の色の色再現が向上するという本来目指した利点に加えて、印刷された画像のどの箇所においても合計網点面積率(合計インキ被覆率)を100%以下とすることによって印刷プロセスの信頼性の向上と使用印刷インキのコストの節減をも実現できるとして、7色印刷でK版を最大限に使用する(六つの色インキの使用を最小限に抑える)べきことを提唱している。さらに、その際各色インキの網点が従来のように部分的に重なり合うのではなく、網点同士がすべて並置されて重なり合う部分がないようにすることによって、中間色においても最大限に彩度の高い色再現を達成することができる、としている。

このように、7色印刷は高精彩印刷を実現する一つの有望な方法であり、そのための機能を備えたカラースキャナと7色印刷機が利用できれば、技術的には超細線ハーフトーン印刷よりも容易に実施できる可能性がある。しかし、7色印刷機が高価につくため、印刷コストが高つくことが最大の問題点だと思われ、その実用化が始まったというニュースはまだ聞かれていない。この方向でのより低コストのアプローチとして、5色または6色印刷機を用いて(注:特に5色機は従来からかなり使用されている)、印刷すべき画像に応じてR, G, B3色の内で特に高彩度に表現したい1色または2色を従来の4色に追加して、5色または6色印刷を実施する

(注:モアレについては補色同士を同角度に配置することと7色印刷の場合の対処策との組合せで対応できよう)、ということも考えられる。

4. む す び

超細線ハーフトーン印刷と7色印刷という最近の印刷の高精彩化へ向けての動きについて述べてきたが、前者は一部で実用化が始まったばかりで、後者はまだ実用化への試みがなされているという段階にある。これらの高精彩印刷の普及化にとっては、前者については技術面での管理のむずかしさの克服が重要であり、後者については7色分解用の機能をもったカラースキャナと7色印刷機の普及が必要である。いずれにしてもコスト的には両者ともに従来の方法よりは高くつく(後者の場合は特にそれがはっきりしている)が、それぞれに適した分野で高精彩印刷が広がっていくことを期待したい。

文 献

- 1) 大蔵省印刷局監修: 切手と印刷(新版)((財)印刷局朝陽会, 東京, 1977) pp. 5 & 88.
- 2) Anon.: "Ultra step in fine printing," *Graphic Arts Monthly*, **61**(1) (1989) 69-70 & 72.
- 3) A. Murray: "Monochrome reproduction in photoengraving," *J. Franklin Inst.*, **221** (1936) 721-744.
- 4) J. A. C. Yule and W. J. Nielsen: "The penetration of light into paper and its effect on halftone reproduction," *TAGA Proc. 1951* (Tech. Assoc. Graphic Arts) pp. 65-76.
- 5) 及川善一郎: "凸版および平版のトーンレプロダクション", *印刷雑誌*, **39**(11) (1956) 62-68.
- 6) 小野善雄: "網点印刷物の濃度", *スクリーンニュース*, No. 20・21 (1957) (大日本スクリーン製造(株)) 2-3.
- 7) J. A. C. Yule: *カラーレプロダクションの理論* (印刷学会出版部, 東京, 1971) pp. 199-200.
- 8) D. J. Maetz: "Der Durchbruch zum »fotografischen« Bildaufbau im Offsetdruck ist geschafft," *Dtsch. Drucker*, **28**(6) (1992) s1-s4.
- 9) K. Schläpfer: "Die Vorteile der frequenzmodulierten Rasterung für den Offset," *Dtsch. Drucker*, **28**(21・22) (1992) w76-w80.
- 10) H. Küppers: "Warum Sieben-Farben-Druck?" *Fachh. Bull. Tech.*, **5-88** (1988) 247-259.
- 11) 永田泰弘: "発色範囲広げる7原色カラー印刷", *画像技術情報*, No. 16 (1989) 10-22.
- 12) 島田庄市: "色分解演算方式", 特公昭 47-44501.
- 13) 大蔵省印刷局監修: 切手と印刷(新版)((財)印刷局朝陽会, 東京, 1977) pp. 11 & 122-125.
- 14) I. Eder: "Die Siebenfarben-Evolution—eine neue Optische Dimension," *Dtsch. Drucker*, **26**(11) (1990) w173-w180.