

印刷画像表現と高品位化

金子良二・関 卓・森 典彦
デザイン学科

High Definition Of Printing Image

Ryoji KANEKO, Takasi SEKI, Norihiko MORI

Department of Design

(Received October 12, 1998 ; Accepted December 11, 1998)

1. はじめ

1990年代初頭より、印刷画像作成では高品位化が進められ高精細印刷 (High Definition Printing) や FM (Frequency Modulated Screening) 印刷と呼ばれる画像画素の微細化、また7色印刷、高濃度印刷のように高彩度、高濃度の再現を目的とする幾つかの新技术が開発されている。特に、高精細、FM 印刷はこれら高品位化の中心的な技術として、実用化が押し進められている。

この展開の背景には、コンピュータ技術の革新的な進歩と印刷精度 (主に、感光材料、印刷機) 自体の向上という要因が存在する。これらは従来法での画像再現性の改良とともに、新たに印刷再現に写真質感、重厚感や鮮やかさという視覚的な効果を付加価値として生じさせることを目的としている。

近年の印刷画像表現は、原理的には網点 (Dot) と呼ばれる微小な点の大小によって色調や濃淡を視知覚させる原理に基づいてきた。網点形成におけるコンピュータ化の進出は1970年以降から CEPS (Color Electronic Prepress System) と呼ばれるシステムが本格的に導入され、高品位化以前においても細かなレーザービームにより得られていた。しかし、高精細印刷ではさらにこの網点をデジタル技術の応用によりミクロ的なレベルでの画素として形成することを技術的な骨子としている。

ここには、印刷再現は網点 (Dot) をより細かなミクロ化を進めることにより、主観的な感覚量と対応した効果が得られるのかという問題がある。また、印刷表現が美術表現と深く関わってきた経緯を考えるとミクロ化は表現効果としての自由度の減少を招くのではないのかという問題も新たに生じる。

ここでは、印刷画像再現の歴史的な経緯と最新技術としての高品位化を対比し、印刷再現のあり方を推察する

ものである。

2. 多色印刷の源流

近代印刷技術の主幹をなす平版印刷は、1800年前後にアロイス・セネフェルダ (Allois Senefelder) により石版の滑面に「水」と「脂肪」との相反発を応用した純化学的な原理の版面方式として誕生した。色再現理論に基づいた多色印刷の取り組みはなされていないが、当時としては画像は鮮鋭で、高濃度、かつ光沢に富むものであり有価証券や地図の印刷原版としても利用された。

多色印刷方式の始まりは、1861年にジェームズ・マックスウェル (James Clerk Maxwell) が3原色フィルタによる投影光を重ね合わせることにより加法混色法を立証した後、翌年の1862年に仏人のルイ・デュコ・デュ・オーロン (Louis Ducos du Hauron) がカラー写真の再現に関する研究と併せて三色印刷の可能性について論じたときに遡る。

オーロンは1869年、この赤、緑、青色光による加法混色法に対し、それぞれの補色であるシアン、マゼンタ、イエローを顔料や色素の3原色とする減法混色法を応用し、多色プロセス平版の原点ともいえる砂目石版方式による3原色印刷を完成している。砂目による版面構造をもつ多色石版印刷は、色再現が原色フィルタの色光による加法混色法に対し顔料や色素が使用でき、多数複製を目的とする印刷技術にとっては実用的かつ経済的な方式であった。

この砂目石版は多孔質な石版の表面を100~150メッシュ (1インチあたり100~150線程度の篩の目を通して細かさ) をもつ微細な金剛砂で砂目立てがなされる。この微細な山型 (砂目のサイズ) の間に画線となるインキ着肉部と非画線となる親水部を構成するものである。しかし、作業性や可撓性がなく輪転印刷ができない等の理

由により金属平版へと移行することになる。

この砂目石版では版面に脂肪性のクレヨンで描画することにより、木炭画やパステル画の趣きをもつ印刷表現が可能になる。芸術分野でのリトグラフとして知られるように柔和なタッチの表現効果が評価され、新境地を開拓し現在に至っている。またこの後、石版印刷は石版面に感光液（重クロム酸卵白等）を塗布することにより写真石版として応用される。

この後、1874年独人のヨーゼフ・アルバート（Joseph Albert）は石版印刷方式に代わり3色コロタイプ印刷物を開発した。これは重クロム酸塩とゼラチンの混合液をガラス板に塗布した感光版を作り、写真画像ネガティブと合わせて露光を行い、水洗現像により非露光部を洗いだし、残った露光部のゼラチン膜を画像として形成するものである。

コロタイプ印刷は写真画像表現に近く、微妙な階調や色調表現ができ、原稿に忠実な再現特性を持っていた。1879年には、当時のフレデリック女王像の複製印刷物は女王に献上されるまでに至っており、その再現技術の高さが窺われる。わが国に於いても、このコロタイプ印刷は微妙な表現が求められる古画、墨絵の複製等で多く使用されている。しかし、コロタイプ印刷はインキ着肉部がゼラチン膜で作製されるため耐刷力が弱く、多数複製を目的とする流れには取り残されることになる。

石版印刷は多孔質な版面であるとともに、0.17~0.25 mm 程度の金剛砂で砂目立てを行うため微細な山型が可能になり、高解像度を得ることができる。また、コロタイプ印刷では感光化を与えるための乾燥段階において、クロム酸ゼラチンが約0.08mm 程度の皺を生じ、この皺により微妙にインキ付着量を変化させた濃淡表現が可能になる特性をもっている。

このように、印刷画像の再現においては多色印刷が開始された当初から、その画像特性は版面構造から高い解像度を持ち、連続的な階調表現がなされていた。この解像度は、後に開発されるスクリーンによる網点の解像度に比しても遜色のない精度であるといえる。このような連続的な階調ができることは写真画像と同様に調子が滑らかで、潤沢な画像表現が可能となることを意味している。

石版、コロタイプ印刷は主に作業性や版の可撓性の問題から金属平版へ移行することになるが、当時は多色印刷に不可欠な色分解フィルタの精度や3原色インキの劣性（特に、イエローインキの透明性が劣り、またシアンインキの退色が色再現の障害となった）も大きく影響したと考えられる。これらの改善により優れた印刷画像が得られることは、僅少ではあるが現在でも続けられてい

るコロタイプ印刷画像により実証されるところである。

その後、新しくハーフトーン（Half-tone）と呼ばれる網点大小による階調表現法が生まれた。これは石版、コロタイプ印刷のように版面構造の特性で濃淡を表現するのではなく、網点の面積比率の大小により濃淡を表現するという非連続的な形状で視知覚を行うものである。これは、我々が通常視知覚するものは連続階調であり、本来見ているような仕方で再現しようとする本質的な願望からは大きな転換であったといえる。

この非連続形状が連続的な階調として視知覚される生理学的な根拠としては、人間の視知覚においては明視の距離（25cm）において1/96インチ（0.26mm）以下のものを観察する場合にはその形状を判別できないこと、また二つのものを見て視角が1分（1度の1/60）以上の間隔がなければこれを識別できないという点が挙げられる。

ハーフトーン作成法の研究はウィリアム・タルボット（William Talbot）が1852年に黒い布目（一説には金網を4~5枚重ねたもの）を感光板と写真原版の間に置き、布目または金網を通過した光の強弱に応じた点の大小を形成するという試みが基点となっている。これは、石版、コロタイプ印刷以後の網点時代の画期的な幕開けとなった。この黒い布目こそスクリーンと呼ばれる光の強弱を一定のパターンの大小に置き換えるコンバータの役割をもつものである。しかし、黒い布目はパターンの大小に置き換えることは可能であったが、光量とパターン面積の対比性や階調再現域の面ではスクリーンの形態上から問題があったものと容易に推測される。

この後、スクリーンに関する研究は続けられ、不安定な布目に対し、1886年に米人ユージー・アイブス（Eugene Ives）は機械的に彫刻をした単線のガラススクリーンを開発している。アイブスは、さらにガラス板にレジストを引いて平行線を彫り、フッ化水素酸で腐食を行い黒顔料を詰めたもの2枚を直交させて貼り合わせた精巧な交線スクリーンを作成した。スクリーン線数と呼ばれる目の細かさは1インチ当たりの網点列数であるが、60~200本間において10種類程度のものが作成されている。ガラススクリーンは取り扱いなどの作業性では難点はあるが、網点自体はシャープな形状が得られ、画像再現性でも高い精度をもつものであり、また絞りを変えることにより網点の形を変化できるなど、特殊的な表現にも応用できた。

1939年にはこのガラススクリーンに換り、作業性が良くまた管理が容易なフィルム製のコンタクトスクリーンが開発された。これは「ぼけ状」の濃度分布をもつもので透過する光の強弱により網点大小を生じさせるものである。

このコンタクトスクリーンのスクリーン線数は主に60～300本のもので作成されたが、線数が多くなると印刷管理面での問題が生じるため、実用上は200本までのものが使用された。「ぼけ状」の原理を応用するため開発当初はフリンジ（現像後の網点周囲の鮮鋭度の低下）などの問題もあったが、感光材料の改良、また作業面での優位性によりガラススクリーンに換わるものとしての座を獲得した。

このような非連続形状の網点による階調表現では、単位面積内で印刷インキの付着しない紙部である最明部（網点パーセンテージ：0%）と完全にインキが付着する最暗部（ソリッド部／網点パーセンテージ：100%）の間において面積比率の異なる網点を形成することになる。ここでは、50%以下での濃さはインキの着肉する網点面積により決まり、50%以上ではインキ部以外の紙部の白により濃さは決まると考えられるので、紙部とインキ部の比率が1：1の市松模様状の50%網点が中間値となる。

代表的なスクリーン線数におけるこの50%網点のサイズを調べると65線：0.39mm、100線：0.25mm、133線：0.19mm、150線：0.17mm、175線：0.15mm、200線：0.13mmとなる。前途のごとく人間の視知覚では、明視の距離（25cm）で0.26mm以下では網点として認識できないので100線以上では全体的な効果として滑らかな連続調トーンとして視知覚することになる。

3. 美術表現と印刷画像

印刷画像の非連続的な濃淡表現は古くから芸術分野の表現技法と関わっている。近年の印刷画像は網点という微細な点群により、写真画像表現に近づくという使命を担っていたが、この濃淡表現は網点以外の線幅の太細等によっても可能なものとなる。1500年代のドイツ・ルネッサンスを代表するアルブレヒト・デューラー（Albrecht Dürer）らの木版画や彫刻凹版による線描画や1600年代のレンブラント（Harmensz Rembrandt）のエッチング技法、また1700年代のウィリアム・ホーガス（William Hogarth）に代表されるエングレービングの濃淡表現も非連続的な構成のものとなっている。これらの表現は非連続的な印刷技術を美術表現として応用したものに他ならない。

多色印刷における網点表現を考える場合、その混色は微細な色をもった点群の併置による視覚混合（Optical mixing）として定義づけられる。この視覚効果を用いた絵画表現としては、1880年代における新印象派のジョルジュ・スーラ（Georges Seurat：代表作《グランド・ジャッド島の日曜日の午後》）やポール・シニャク（Paul

Signac：代表作《マルセイユ港の入口》）の作品が挙げられる。彼等は印象派主義を継承しつつ、科学的に光学理論や色彩論に基づいた表現効果を追求した。これはまた、点描による混色効果から得られる静的調和により新鮮で、深みをもった色調の再現に固執したものとともいえる。特に、点描により表現されるシャドウ部での豊かな色調は絵画表現では得られない微妙な表現効果を与えた。また、色彩的な色数としてもシアン、マゼンタ、イエローインキとこれらの2次色である赤、緑、青インキおよび3次色である黒（またはグレー）原色を主体として使用し、豊かな色彩効果を得ている。印象派の画家であるオーギュスト・ルノワール（Auguste Renoir）や色彩画家として知られるピエール・ボナール（Pierre Bonnard）は色数では8～10種程度であるので、3原色インキを用いた網点印刷（一般には、1次色／3色、2次色／3色、3次色、ブラックの8原色）により表現が可能となる色調の豊かさを示唆している。

近年における印刷画像と美術表現との直接的な関わりは、網点作成の緻密化や精密さが進むとともに薄れている。1960年代のポップ・アート（pop art）との関わりにおいても、印刷画像の網点は日常性や大衆化の象徴物として扱われ、ロイ・リクテンスタイン（Roy Lichtenstein）の拡大された網点によるイメージの強調も、一般の網点印刷物が日常的であるがゆえに効果的であった。また、アンディ・ウォーホル（Andy Warhol）のシルクスクリーン印刷による平塗りや線画構成による表現も、網点の氾濫する中でこそ意味をもったともいえる。

4. 高精細と印刷画像特性

商業印刷を中心とする印刷画像は、美術表現とは別に常に新しい技術と結びつき、産業界の要望に対応してきた。ここでは、商業印刷物を前提としてきたため「生産性や品質の向上を求めた技術ニーズと情報流通に関連した産業界が求めるシステムや環境は同属のものである」という基本要因が技術開発を強力に押し進めた。

近年の技術開発は確かにこのような展開がなされてきたが、高品位印刷の場合は印刷業界サイドの主導的なものと開発が進められた。ここには、電子メディアでのハイビジョンに代表される高品位化という影響もあるが、印刷会社間における他社との差別化という印刷業界内部の事情もある。しかし、最も重要なのは高品位印刷が従前法での高生産性や確立された技術を凌駕する付加価値をクライアントに確実に与えるという使命が伴ってくるということである。

ここで、この高品位印刷の概要について技術的な見地から検証してみる。高精細印刷は従前からのイメージセ

ッターによる網点形成法をさらに微細化する高精細と同一サイズの微細な点の配置密度により濃淡を表現するFM印刷に分類される。

《高精細印刷》

高精細とは印刷画像のスクリーン線数が1インチ当たり300線以上のものを意味しており、現状では400～600線が主体であるが、技術的には1500線のものも製品化されている。これを、通常での175線、50%網点の対角線(0.15mm)と比較すると600線は0.04mm、1500線で0.017mmとなり、それぞれ1/4～1/9程度の大きさとなる。一般には明視の距離において0.26mm以下では網点形状を認めることはないので、微細化の程度が大きいことが分かる。

ここで、網点を微細化することにより受ける影響を考察してみよう

・微細化と視覚濃度

通常の印刷画像においては、スクリーン線数が異なる同一網点パーセンテージ（すなわち、画線部の面積と非画線部の面積が同一）の画像を視覚的に濃淡を比べた場合、印刷用紙面での入射光の吸収や内部での反射等の挙動によりスクリーン線数が高くなる程、濃く視知覚される傾向は実験的に証明されている。この現象の理論的な解析は明確にはなされていないが、光の挙動以外にもスクリーン線数が異なり網点パーセンテージが同一の場合には、画線部と非画線部の面積比率は同じであるので、網点周囲の長さが異なるために視覚的な影響が生じるとも考えられる。さらに、これらの網点画像における複雑な視覚特性は心理・生理的な面からは明化および暗化現象や縁辺対比との関連も要因として考えられる。

網点を微細化することにより視覚的な濃度の上昇は認められるが、実験的にはベタ濃度(100%の画像部)が1.70において、60線から200線の間ではその差異は0.10と少なく、印刷インキの最大濃度の制約上から600線や1500線において比例的に視覚濃度が上昇が大きく現われることは考えにくいものとなる。

・微細化と解像度

網点の微細化により物理的な解像度が増すために細かな文字などの可読性は向上する。写真原稿では、画像細部のディテールの解像度は高まるが、視知覚を通しての再現性に対応するかが問題となる。ここには、原稿がもつ絵柄の内容やフィルム、デジタル画像原稿自体がもつ解像度特性とも関連することを考慮しなければならないであろう。高精細印刷では原稿内容として、独特な質感のあるものや織物のような細かい模様状のものが最も適しているとされる。原稿内容によっては効果が得られないという多くの指摘もあり、高精細印刷画像の特性を示しているともいえる。

・微細化と彩度

また、高精細印刷ではその特性として彩度の向上が挙げられ、これは解像度の向上とともに品質面での二大特長とされる。この理由としては、視覚濃度と同様に印刷用紙内部での光の散乱や拡散によりこれらの多くは網点により吸収されるため、濃度は高くなる現象が生じるとされる。このため、網点間の間隔が短い微細な網点画像では、入射光は網点部に吸収される比率が大きくなり、この結果彩度の低下が抑制されるためであるとされる。この傾向はスクリーン線数が大きい微細な画像で、また印刷用紙の光拡散性が大きいほど顕著なものとされるが、定量的な解析はなされていない。

・モアレの抑制

多色網点印刷画像で発生する網点の干渉縞であるモアレ・ロゼッタパターンは高精細印刷では網点の微細化により網点間の規則的な重なりが目立たなくなり抑制されるとされる。これは通常の印刷画像でも各インキ版ごとにスクリーン角度を変えて発生を防ぐが、もアレの発生しやすい原稿などではスクリーン角度の設定により多くの場合解決され、また従前法による印刷画像でもモアレ・ロゼッタパターンが問題とされるものは多くはないのが現状である。

・ハイライトにおける再現性

印刷時の網点インキの転移を考える場合、網点が微細化されるに従い、印刷用紙の平滑性の特性により転移が忠実に行われなくなる。これは、ハイライト部での影響が当然大きくなり、この結果ハイライト部で調子の「飛び」という欠落を生じることになる。

・微細化とドットゲイン

高精細では網点の微細化とともに、印刷時の印圧により生じる影響も通常のスクリーン線数の場合と異なる。印刷時にはこの印圧によりドットゲイン(dot gain)と呼ばれる網点インキ部の太り現象が生じ、適正な再現特性には障害要因となる。これはドットゲイン量が同一である場合には、網点が微細なものになるほど面積率の変化は大きくなる。このドットゲイン量は175線に対し、600線では2倍になることが実験結果から得られている。高精細印刷では、このドットゲインの変動管理が大きな問題となる。

・微細化とトラッピング

また、印刷時にはトラッピング(trapping)により先に刷られているインキが後から刷られるインキを確実に受けつけることが望まれるが、網点が微細化することにより低下し、網点が重なる部分での発色を劣下させる。

《FM 印刷》

FM 印刷では0.008~0.030mm程度の同一サイズの微細点の不規則な面積密度により濃淡表現がなされる。通常の175線の網点印刷画像では、50%網点は0.15mmであるので1~10%の網点に相当する同一な微小点により再現されることになる。

・微小化と解像度

微小点による表現であるため高精細印刷と同様な解像性をもつが、網点の大小による濃淡でないため粒状性(ざらつき感)を生じることがある。この傾向は特に、0.020mm以上のものにおいて顕著である。しかし、写真原稿での再現性においてはこのざらつき感是不利な条件となるが、水彩画やデッサン画での描画タッチとしては適したものとなる。これは石版印刷方式であるリトグラフの様に微細な砂目による表現と表現原理が近似している結果ともいえる。

・微小化とモアレ

微小点の密度で構成されるため、モアレ自体の発生を考慮する必要がなく、出力時のスクリーン角度をもたせるという演算要素がなくなる点では有利な方式となる。

・微小化とドットゲイン

高精細印刷と同様に通常の175線と比較しドットゲインは増すが、高精細印刷より少ない。

この他、原理的に網点の微細化を必ずしも必要としない方式としての高品位印刷には高濃度、7色印刷がある。これらは基本的にはインキや版の特性という材料的な面での改善が前提となっている。

《高濃度印刷》

スクリーン線数としては、従来方式での175線が主体となるがインキの本質的な欠陥とされた低濃度を改善し、高濃度および高彩度を目的として開発されたものである。一般に、カラープリントでの最大ベタ濃度は2.5前後であるが、印刷ベタ濃度を2.0~2.5程度に上げることでより写真画像に近いものになる。

この結果、濃度の増大により絵画などの印刷画像では重厚感が得られ、表現効果としては美術表現に適したものとなる。また、グラフィック表現などで求められる強い色面効果では、他の高品位方式と比べ、シルクスクリーン印刷に近い表現が可能になる。

新しいインキ開発がなされ、色域的にも高精細印刷用インキと比べ、色域拡大と高彩度であることが物理的な測定からも確認できる。問題点としては、高濃度とするためドットゲインの影響が大きく、製版時の色分解カーブ特性の設定が困難な点が挙げられる。95年前後からは、この高濃度とスクリーン線数が500線程度での高精細印

刷とを組み合わせ、両者の特長を活かした方式も実用化されている。

《7色印刷》

7色印刷では、従来方式でのシアン、マゼンタ、イエロー、(ブラックインキ)に別途の1次色であるレッド、グリーン、イエローインキを加え印刷を行なうものである。従来法のように、2次色の再現を1次色の掛け合わせにより再現しないため、印刷用紙の反射による影響が少なく、濁りのない高彩度の表現が可能になる。

また、FM印刷方式においてこの7色インキを使用することにより、スクリーン角度の問題もなくなる。インキを増すことにより再現色域も拡がり(ただし、レッド系統の色では、色域拡大は認められない)、従来法での4色印刷に比べ、全体的には30%程度色域は拡大しているとされる。

問題点としては、製版・印刷ともに7色の工程が必要となり、コスト的な面で高くなる。また、各種の原稿に対し新たに3原色を足す品質効果が得られるのかが問題とされ、1~2色の追加した場合との比較が求められている。

4. まとめ

90年代初頭より注目され始めた印刷画像の高品位化は、近年印刷技術の変遷の中で捉えると、印刷業界から積極的にアプローチされたという稀な展開といえる。これらの展開の背景には、デジタル技術の進歩と印刷精度の向上という要件は勿論であるが、印刷業界における会社間での差別化という新たな時代の始まりが感じられる。

印刷技術そのものは、その黎明期から優れた多くの特性をもつものであり、単に多量複製という観点からは外れたために多くはその使命を終わらざる得なかった。

印刷物における高品位化の発想は印刷管理面の困難さから隆盛は見なかったが、1970年代には高精細印刷としてはコンタクトスクリーンの600線が試作されたこと、またFM印刷も25年前にはデジタル技術の応用ではないが砂目立てを行なった金属版に連続調原版を焼き付けるという方式がすでに試みられおり、特に近年に端を発したものではない。連続調原版を用いる金属砂目法は版材、砂目立て技術の改良もなされているので、実験的な試行がなされるべきであろう。

また、高品位印刷を発注者サイドから見ると、表現効果における特性はその方式により大きく目的が異なる点に配慮すべきである。特に、グラフィック関連では写真画像の再現とは異なる表現効果を求められる。特に、7色印刷の追加色の指定等でその再現性は大きく影響を受

けので、発注者としての知識が必要となる。

近年の印刷技術におけるコンピュータの進出はDTP (Desk Top Publisng) に見られるように産業構造を変えるほどの勢いで発展している。ここには、商業印刷物の高品位化に対し、新たに各企業内でも一定レベルの印刷物が得られるオンデマンド、ショートラン印刷と呼ばれる可変情報に対応したシステムも登場している。今後、印刷物の多様化は個人・企業内で処理を行うレベルのものと高品位印刷とに二極化していく傾向が強まると思わ

れる。ただし、ここには高品位印刷がコストや品質精度の安定性という解決されねばならない問題を抱えている。

参考文献

- 1) 千葉雅哉「現代デザイン事典」平凡社、1990
- 2) 馬渡 力「印刷発明物語」日本印刷技術協会、1981
- 3) 「高精細印刷画像論」日本印刷学会西部支部編、1995
- 4) 金子良二「網点画像における心理物理的特性(第1報)」日本印刷学会論文集第21巻第3号、1983