

## 論文

## 分光 Neugebauer モデルによる再現色予測の有効性と適合条件\*

## An Investigation of Effectiveness and Applicable Conditions of the Simple Spectral-Based Neugebauer Model for Color Printing\*

飯野 浩一\*\*・Fabrice CAPIEZ\*\*\*

Koichi IINO\*\* and Fabrice CAPIEZ\*\*\*

\*\*Manufacturing Technology Research Laboratory, Technical Research Institute, Toppan Printing Co., Ltd.  
4-2-3 Takanodai-minami, Sugito, Saitama 345-8508 JAPAN\*\*\*Manufacturing & Technological Development Dept., Toppan Printing Co., Ltd.  
7-21-33 Nobitome, Niiza, Saitama 352-8560 JAPAN

## Abstract

A spectral-based Neugebauer model, which is a direct derivation of the Neugebauer equations, is proposed for the prediction of printed color. A distinctive feature of this model is that the dot area ratios are modified differently at every wavelength. The capacity of this Neugebauer model to work for all binary color printing is doubtful however, due to the fact that it appears to have been examined prior to the development of some of the more complex models that have been proposed for accurate prediction. This research investigates the conditions under which the model can be applied and its effectiveness. Three experiments were conducted. The first experiment evaluated which kind of printers the model works on. The model achieved satisfactory prediction accuracy for application in sheet and web offset. The second experiment investigated how the screening conditions of offset printing affect the model performance. AM, FM, and AM/FM hybrid screenings were evaluated. The model only worked sufficiently under the AM screening condition. The purpose of the final experiment was to evaluate the accuracy of the model's prediction of printed color on different types of paper using offset printing. The results showed that the model performed sufficiently on any type of the coated paper. In conclusion, the model proves to be a good predictor of color that is printed on coated paper using offset printing and under AM screening.

## 1. はじめに

カラーマネジメントを行う上で、画像出力装置への入力信号とそれによる出力色との関係を知ることは、必要不可欠であり重要な課題である。

ハードコピー装置においては、入力値と出力色の関係を参照テーブル (LUT: Look Up Table) として記述する方法<sup>1)</sup> が用いられている。一般的には、これらの LUT は、IT8.7/3<sup>2)</sup> やさらに多数の信号値の組合せであるカラーパ

ッチから成るチャート画像を入力とし、実際にハードコピーを出力、測定することによって構築される。入力値の全組合せに対応するパッチ出力と測定は実際には困難であり、LUT における格子点を代表とする現実的なパッチ等が用いられる。この方法では、パッチを増やすことにより、推定値ではなく実測値そのものを用いることができるので、比較的容易に精度を向上させることが可能となる。また、補間方法を併用する方法<sup>3)</sup> や、墨加刷による色域の減少度合いを利用する方法<sup>3)</sup> 等によって、精度を低下させることなくパッチ数を少なくする試みもなされており、パッチの決定はこれら手法のノウハウに依存する。

しかし、これら多数のパッチを出力・測定する方法は、基本的には作業等の負荷が高い。用紙、インキ等の消費材

\* 2004 年 12 月 16 日受理

\*\* 凸版印刷株式会社 総合研究所生産技術研究所  
(〒 345-8508 埼玉県北葛飾郡杉戸町高野台南 4-2-3)\*\*\* 凸版印刷株式会社 生産・技術開発部  
(〒 352-8560 埼玉県新座市野火止 7-21-33)

変更によっては、多数パッチを再出力、再測定することが要求され、必ずしも効率的な方法とはいえない。また、多数のパッチを出力するためには大きな出力面積を必要とし、パッチの配置位置によって出力色に変動が生じないようにする工夫や、出力面における均一性を保つこと、さらに、一度の出力で完了しない場合には出力の繰返しにおける再現性や安定性も求められる。

特に、オフセット印刷においては、インキ消費量が画線面積に依存するため、インキ膜厚を均一とし再現される光学濃度が全面において一定となるようインキ量調整キーの操作を必要とし、調整には注意や労力、時間を要する。また、版胴軸に垂直となる印刷方向は制御が困難であり、出力面の均一性を保つことは容易ではない。これらの不均一性によっては、連続的なパッチの関係が損なわれ、偽輪郭やトーンジャンプ等のアーチファクトを生じさせる原因ともなる。

一方、その他の方法として、色予測モデルを用いる方法がある。この方法ではデバイス特性を記述するモデルパラメータを少数のカラーパッチ等から求め、必要とするLUTの対応値をモデルから算出する。そのため、出力や測定に関わるコストが少なく、また、必然的に出力に要する面積も小さく、不均一性の影響を受けにくいという利点がある。

しかし、従来から信号値と三刺激値との関係は非線形性が高く、単純な関数では同定が困難である<sup>3)</sup>とされている。面積変調方式による出力機の色予測モデルとしてはNeugebauer方程式<sup>4)</sup>が良く知られているが、このモデルは用紙内での光散乱や多重反射等により成立しないことが従来から指摘<sup>5)</sup>されている。このような単純なモデルでは実現象を的確に記述することが難しく、精度的な面で十分でないといえる。そのため、種々の複雑な補正・改良モデルが考案されているが、付加的なパラメータやそれらを求める計算、また、非常に複雑な手順が必要となり、これらが負担となっている。補正・改良モデルの詳細、および、色予測における性能比較についてはWybleら<sup>5)</sup>の解説が詳しい。

近年、Neugebauer方程式の分光領域への単純な拡張によって、Japan Colorにおける色予測が比較的精度良く行えることが報告<sup>6)</sup>されている。このモデルでは、各一次色ステップの実効網点面積率を波長毎に求め、それらを用いて波長毎にNeugebauer原色の面積率をDeMichelの確率により独立的に求め、出力色の分光反射率を再構成している。これまで、種々の複雑な補正・改良モデルが提唱<sup>5)</sup>されてきた背景には、このような単純な拡張モデルでは現

象を包括的に近似できなかつたためとも考えられ、一般性や、モデルの成立には何らかの限定的な条件が課せられることが予想される。

ここでは、このNeugebauer方程式の分光拡張モデルが色予測においてどの程度の精度や有効性を持っているのか、適合する出力デバイス、および、印刷を中心とした適合条件について検討を行う。絶対的な精度も一つの評価軸ではあるが、デバイスの不均一性や繰返し再現における変動、また、簡便性を考慮すると、単純なモデルにおいても実用的に適用できる程度のリーズナブルな精度を満たしている可能性もあり、これらを検討することは有用と考えられる。

## 2. 分光 Neugebauer モデル<sup>6)</sup>

ここで用いる分光 Neugebauer モデルは、Neugebauer原色と網点面積率の両方が波長の関数となるように拡張したモデルである。言い換えれば、波長毎に独立したNeugebauer方程式を立てるのと同じ。このモデルは、シアン (C)、マゼンタ (M)、イエロー (Y)、ブラック (K) の4色の一次色入力に対して、出力色の分光反射率を予測するモデルとなる。このモデルについて、実測データからのパラメータの解析方法を含め、構成を以下に示す。

出力されたC, M, Y, Kの一次色原色*i*の各ステップにおける分光反射率を測定する。これら各々の設定網点面積率に対する実効網点面積率 $a_{\text{eff},i}(\lambda)$ をEq. (1)より算出する。一つの設定網点面積率に対して波長毎の実効網点面積率を持つことになる。

$$a_{\text{eff},i}(\lambda) = \frac{R_{\text{measure},i}(\lambda) - R_s(\lambda)}{R_{t,i}(\lambda) - R_s(\lambda)}, \quad \text{Eq. (1)}$$

但し、

$a_{\text{eff},i}(\lambda)$  : 原色*i*における実効網点面積率、

$R_{\text{measure},i}(\lambda)$  : 原色*i*の分光反射率、

$R_{t,i}(\lambda)$  : 原色*i*ベタの分光反射率、

$R_s(\lambda)$  : 用紙の分光反射率、

$\lambda$  : 波長。

これらの関係から、各一次色原色における設定網点面積率が与えられると、各原色の分光実効網点面積率が得られる。これらの実行網点面積率は、一次色の機械的、および、光学的ドットゲインが含まれたものとなる。

分光実効網点面積率から、各波長においてDeMichelの

確率を用いて 16 色の Neugebauer 原色の網点面積率を Eq. (2) を用いて算出する。

$$\begin{aligned}
 F_c(\lambda) &= a_{\text{eff},c}(\lambda)(1-a_{\text{eff},m}(\lambda))(1-a_{\text{eff},y}(\lambda))(1-a_{\text{eff},k}(\lambda)), \\
 F_m(\lambda) &= (1-a_{\text{eff},c}(\lambda))a_{\text{eff},m}(\lambda)(1-a_{\text{eff},y}(\lambda))(1-a_{\text{eff},k}(\lambda)), \\
 F_y(\lambda) &= (1-a_{\text{eff},c}(\lambda))(1-a_{\text{eff},m}(\lambda))a_{\text{eff},y}(\lambda)(1-a_{\text{eff},k}(\lambda)), \\
 F_k(\lambda) &= (1-a_{\text{eff},c}(\lambda))(1-a_{\text{eff},m}(\lambda))(1-a_{\text{eff},y}(\lambda))a_{\text{eff},k}(\lambda), \\
 F_{cm}(\lambda) &= a_{\text{eff},c}(\lambda)a_{\text{eff},m}(\lambda)(1-a_{\text{eff},y}(\lambda))(1-a_{\text{eff},k}(\lambda)), \\
 F_{cy}(\lambda) &= a_{\text{eff},c}(\lambda)(1-a_{\text{eff},m}(\lambda))a_{\text{eff},y}(\lambda)(1-a_{\text{eff},k}(\lambda)), \\
 F_{ck}(\lambda) &= a_{\text{eff},c}(\lambda)(1-a_{\text{eff},m}(\lambda))(1-a_{\text{eff},y}(\lambda))a_{\text{eff},k}(\lambda), \\
 F_{my}(\lambda) &= (1-a_{\text{eff},c}(\lambda))a_{\text{eff},m}(\lambda)a_{\text{eff},y}(\lambda)(1-a_{\text{eff},k}(\lambda)), \\
 F_{mk}(\lambda) &= (1-a_{\text{eff},c}(\lambda))a_{\text{eff},m}(\lambda)(1-a_{\text{eff},y}(\lambda))a_{\text{eff},k}(\lambda), \\
 F_{yk}(\lambda) &= (1-a_{\text{eff},c}(\lambda))(1-a_{\text{eff},m}(\lambda))a_{\text{eff},y}(\lambda)a_{\text{eff},k}(\lambda), \\
 F_{cmy}(\lambda) &= a_{\text{eff},c}(\lambda)a_{\text{eff},m}(\lambda)a_{\text{eff},y}(\lambda)(1-a_{\text{eff},k}(\lambda)), \\
 F_{cmk}(\lambda) &= a_{\text{eff},c}(\lambda)a_{\text{eff},m}(\lambda)(1-a_{\text{eff},y}(\lambda))a_{\text{eff},k}(\lambda), \\
 F_{cyk}(\lambda) &= a_{\text{eff},c}(\lambda)(1-a_{\text{eff},m}(\lambda))a_{\text{eff},y}(\lambda)a_{\text{eff},k}(\lambda), \\
 F_{myk}(\lambda) &= (1-a_{\text{eff},c}(\lambda))a_{\text{eff},m}(\lambda)a_{\text{eff},y}(\lambda)a_{\text{eff},k}(\lambda), \\
 F_{cmky}(\lambda) &= a_{\text{eff},c}(\lambda)a_{\text{eff},m}(\lambda)a_{\text{eff},y}(\lambda)a_{\text{eff},k}(\lambda), \\
 F_w(\lambda) &= (1-a_{\text{eff},c}(\lambda))(1-a_{\text{eff},m}(\lambda))(1-a_{\text{eff},y}(\lambda))(1-a_{\text{eff},k}(\lambda)),
 \end{aligned} \tag{Eq. (2)}$$

但し、

- $a_{\text{eff},c}(\lambda)$  : シアン一次色の分光実効網点面積率,
- $a_{\text{eff},m}(\lambda)$  : マゼンタ一次色の分光実効網点面積率,
- $a_{\text{eff},y}(\lambda)$  : イエロー一次色の分光実効網点面積率,
- $a_{\text{eff},k}(\lambda)$  : ブラック一次色の分光実効網点面積率,
- $F_l(\lambda)$  : Neugebauer 原色  $l$  の分光網点面積率.

Neugebauer 原色の分光反射率と 16 原色の分光網点面積率から、Eq. (3) を用いて、分光反射率を求める。

$$R(\lambda) = \sum_l F_l(\lambda) R_{t,l}(\lambda), \tag{Eq. (3)}$$

但し、

- $R_{t,l}(\lambda)$  : Neugebauer 原色  $l$  ベタの分光反射率,
- $R(\lambda)$  : 予測される分光反射率.

この分光反射率  $R(\lambda)$  から、観察光源、観測者を定め、三刺激値 XYZ、または、CIELAB 値等の測色値を算出する。

### 3. 実験および考察

IT8.7/3<sup>2)</sup> を用い、モデルの測色的な精度を評価した。モデルの各パラメータは IT8.7/3 の S7<sup>2)</sup> から、Neugebauer の 16 原色と、C、M、Y、K の各一次色ステップを用い、算出した。IT8.7/3 の Extended data set<sup>2)</sup> から S7、S8 および、紙白を除いた計 745 色についての分光反射率を予測した。よって、実質的には C、M、Y の一次色ステップについては、各々 10%、20%、40%、70% の 4 段階のステップを、K については 20%、40%、60%、80% の 4 段階のステップの合計 32 色よりパラメータを抽出することになる。

出力物は、45°/0°の幾何条件を持つ GretagMacbeth 社製の Spectrolino を用い、ブラックバックキングの条件にて測定を行った。測定波長域は 10nm 間隔で 380nm から 730nm である。これら実測した分光反射率、および、モデルより予測された分光反射率に、補助標準の光 D<sub>50</sub> と CIE1931 標準観測者を用い ASTM の方法<sup>7)</sup> により、それぞれの三刺激値 XYZ、CLELAB 値を計算し、予測と実測の色差  $\Delta E^*_{ab}$  を算出した。

745 色の評価パッチの中には、Neugebauer 16 原色のうち 7 色が含まれているが、モデルパラメータを求めたものとは同一ではないため評価に含めた。これらモデルパラメータ算出部分と、評価に用いた予測部分を Fig. 1 に示す。

#### 3.1 実験 1 適合デバイス

##### 3.1.1 実験 1 方法

この実験では、種々の出力デバイスを用い、モデルがどのようなデバイスに対して適合しているのか、色予測の精度から検討を行った。また、IT8.7/3 Extend data set には同一の面積率を持つ組合せが 92 組合せされており、それらの色差から出力面における均一性についても評価を行った。

検討対象としたデバイスは、オフセット枚葉印刷 (Japan Color 2001<sup>8)</sup>)、商業オフ輪印刷 (JCW2003/Ver. 1<sup>9)</sup>)、電子彫刻製版方式によるグラビア輪転印刷、レーザ熱転写方式網点再現型 Direct Digital Color Proof (DDCP)、銀塩ペーパー方式網点再現型 DDCP、電子写真方式プリンタ、インクジェットプリンタとした。本来 Neugebauer モデルは面積変調における階調再現モデルでありグラビア印刷は適用外と考えられるが、色予測の可能性を検討する目的で加えた。

##### 3.1.2 実験 1 結果および考察

Fig. 2 には、一次色の実効網点面積の例として、Japan Color 2001 用紙タイプ 1 におけるマゼンタの結果を示す。

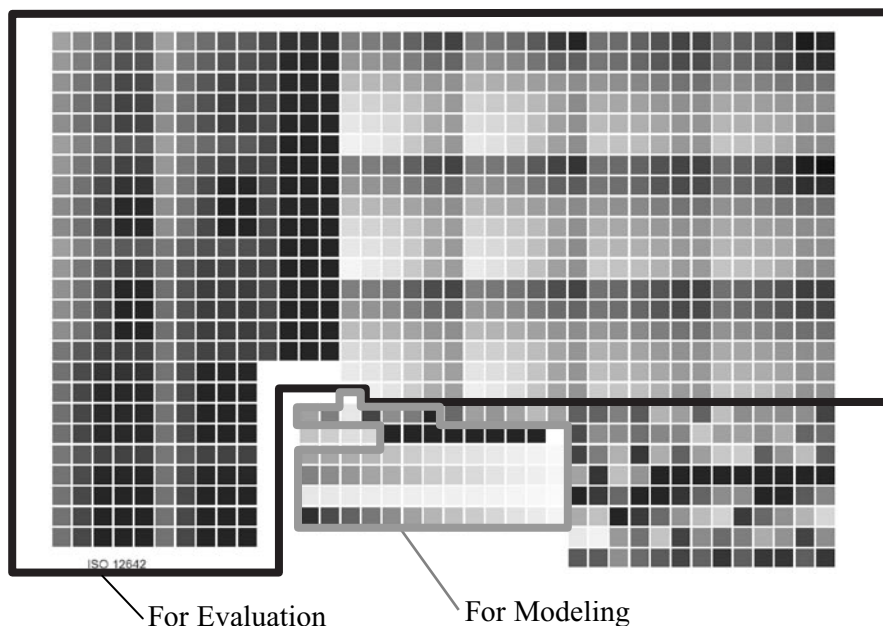


Fig.1 IT8.7/3 Color Chart that was used for evaluation of the color prediction accuracy of the spectral Neugebauer model. Model parameters were obtained from a part of the modeling patches.

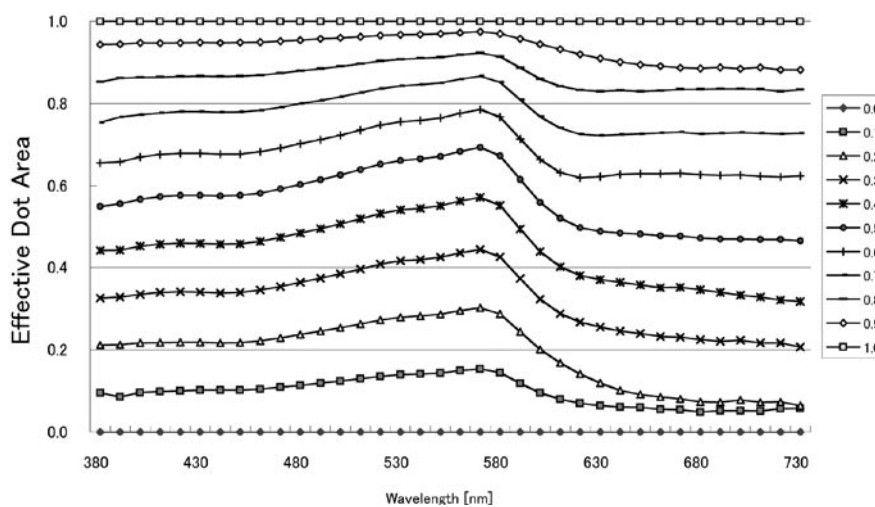


Fig.2 An example of effective dot area ratios calculated from a Magenta ramp of Japan Color 2001 Type 1 sample. Effective dot area ratios that have the same set dot area ratio vary as a function of wavelength.

実効網点面積率は波長に依存し、変化していることが分かる。従来のモデルでは、そのモデル形態にも依存するが波長に関わらず一定の網点面積率を持つと仮定し何らかの単一の最適値等が用いられる<sup>5)</sup>が、Fig.2に示されるように波長依存性を考慮した波長毎の個別な網点面積率を導入することによって、精度の改善が期待される。

各々のデバイスにおける実測測色値とモデルの予測測色値との色差統計量、および、出力面内の均一性についての統計量をTable 1に示す。均一性は、印刷と他のプリンタ

方式とを比較すると、電子写真方式を除いたプリンタは一般的に印刷より良いが、電子写真方式においては概ね印刷と同程度であった。IT8.7/3の出力面積はA4程度の大きさであるが、この比較的小さな領域においても全く同一のデータを出力した場合、その位置により出力色に差が生じる。パラメータ抽出のパッチに対して完全にモデル化できたとしても別の場所に出力した確認用パッチではこれらの誤差が生じることになるので、実質的な予測の目標値と考えることができる。実験1に用いた印刷では、概ね平均色

**Table 1** Color prediction accuracy of the spectral Neugebauer model for different printing devices. Statistics of color differences between predicted and measured colors are shown. Also, Statistics of color differences between the same color patches in the IT8.7/3 that indicate the performance of printing uniformity of the devices are shown.

Device Type	Device Name	Accuracy of prediction ( $\Delta E^*ab$ )			Uniformity ( $\Delta E^*ab$ )		
		Ave.	Max.	Std. dev.	Ave.	Max.	Std. dev.
Sheet Offset	Japan Color 2001 Type 1	2.54	6.44	1.336	0.85	2.98	0.476
	Japan Color 2001 Type 2	2.06	5.79	1.136	1.33	3.99	0.742
	Japan Color 2001 Type 3	1.49	4.98	0.809	1.21	3.03	0.605
	Japan Color 2001 Type 4	2.09	7.36	1.086	1.06	2.77	0.565
Web Offset	Japan Color/JCW2003	1.33	3.86	0.724	0.77	2.38	0.483
Rotogravure	Rotogravure	4.17	19.03	2.987	0.94	3.31	0.684
Laser Thermal	Konica Color-Decision	2.03	4.79	0.941	0.35	1.34	0.224
Trans. DDCP	Fuji Final Proof	2.47	5.57	1.282	0.49	1.71	0.337
Photographic	Konica DigitalKonsen. Pro	3.43	12.45	2.262	0.30	0.74	0.165
	Fuji Speed Proof	3.37	9.38	2.001	0.23	0.70	0.113
Electrophotography	Fuji Xerox DC1255CP	4.01	9.31	1.976	1.37	3.74	0.816
Ink-Jet	Creo Realist	6.23	16.47	3.248	0.38	1.69	0.268
	Epson PM-4000PX	4.79	23.59	3.214	0.61	1.61	0.391
	Epson PX9000	5.71	27.38	3.673	0.52	1.81	0.336
	Canon 6500i	7.15	19.59	3.566	0.59	2.15	0.371
	Canon 9100i	7.97	27.61	5.847	0.42	1.72	0.296

差 1.5 程度, 最大色差 4 程度が目標といえる。

予測精度はオフセット枚葉印刷, 商業オフ輪印刷, および, レーザ熱転写方式 DDCP においては, 平均色差 3 以下, 最大色差 7 程度であった。グラビア輪転印刷においては, 平均色差は 4 程度ではあるが, 最大色差は約 19 と非常に大きく, 予測が適切ではないことが分かる。本来モデルが仮定していない濃度変調方式を主体とするグラビア印刷において, 適用することは本質的に困難であることが再確認できた。銀塩ペーパー方式 DDCP において平均色差は 3.5 程度ではあるが, 最大色差は 10, または, それ以上であった。電子写真においては平均色差 4 程度, 最大色差 9 以上であった。インクジェットでは, 何れのプリンタにおいても平均, 最大値ともに大きく, 平均色差で 5 から 8 程度, 最大色差では 15 から 30 程度の値も存在した。

銀塩ペーパー方式 DDCP では, CMY の 3 原色感材を用いてそれらにより擬似的に墨色を合成し CMYK の 4 原色表現へと拡張している。そのため, その生成機構による影響が懸念されるので, 墨加刷色を除いた CMY 3 原色のみによる 215 色の予測精度について検討を加えた。その結果を Table 2 に示す。Table 1 と比較しても精度的に大きな改善は示されていない。銀塩ペーパーにおけるゼラチン層の

**Table 2** Statistics of color differences between predicted and measured colors with the exception of black over print patches for photographic paper type DDCPs.

Device Name	Accuracy of prediction ( $\Delta E^*ab$ )		
	Ave.	Max.	Stdev.
Konica DigitalKonsen. Pro	3.23	12.45	2.749
Fuji Speed Proof	2.44	8.29	1.922

多層構造の影響や, それ以外に, 網点の重なり部分におけるインキトラッピングを模した特殊処理<sup>10)</sup>等の故意的な色操作に影響され, 予測が精度良く行えないことが要因として考えられる。

実験に用いた電子写真では, 万線を基調とした各色で異なる成長角度を持つ特殊なスクリーニング方式<sup>11)</sup>が用いられている。また, 単層の網点の高さ方向の厚みが印刷の 10 倍以上あり側面での光散乱が生じる<sup>12)</sup>ことが知られているが, インキの重なりによりさらなる光散乱が生じ, これらの影響等も考えられる。

インクジェットにおいては, 色差が非常に大きい。一般的にインクジェットは網点が非常に微細で, 誤差拡散やブルーノイズマスク法等のスクリーニングが用いられており<sup>13)</sup>, これらの影響が考えられる。また, 6 色や 7 色インキを用いるインクジェットプリンタでは, 4 色データからそれらのインキへの切換え処理<sup>13)</sup>や, プリンタドライバーによる内部的な色変換処理, インキ量制限処理等の意図的操作による多次色予測への影響も考えられる。しかし, そのような処理のない 4 色インキによる直接出力のインクジェット方式においても予測誤差は大きい。インクジェット用インキは, 印刷インキと比べて 100 から 10000 倍程度粘度が低く, 紙への浸透も 1 から 100 倍程度<sup>14)</sup>となる。紙の表面付近に定着する印刷インキ<sup>14)</sup>とは異なり, 紙中へのインキの浸透や, それによる紙中でのインキ間の相互作用による混色等によりモデルが適合しないことも考えられる。ここでは, モデル不成立の要因についての可能性を論じたが, 物理的な特性との詳細な検討は, 今後の課題である。

モデルの色予測精度について実測値との色差から検討し

たが、どの程度の色差であれば実用上有効なリーズナブルな精度であるのかを判断するのは困難である。そこで、ここでは文献 15 の許容値尺度による評価を一つの判断基準として評価を検討した。この許容値尺度は製版作業者を被験者とし、基準画像とテスト画像を併置した時にそれら画像間の色の差が許容できるか否かによって求められた尺度であり 1.0 が許容限界を示す。少なくともこの許容限界以下での予測ができないと実用に供するのは難しいと考えられる。その許容値尺度による結果を Table 3 に示す。

**Table 3** Acceptability of predicted color of each device for a practical use. If the value is less than unit, predicted color errors might be acceptable, while, if it is greater than unit, errors might not be acceptable.

Device Type	Device Name	Acceptability
Sheet Offset	Japan Color 2001 Type 1	0.92
	Japan Color 2001 Type 2	0.76
	Japan Color 2001 Type 3	0.64
	Japan Color 2001 Type 4	0.92
Web Offset	Japan Color/JCW2003	0.53
Rotogravure	Rotogravure	1.79
Laser Thermal	Konica Color-Decision	0.83
Trans. DDCP	Fuji Final Proof	1.03
Photographic	Konica DigitalKonsen. Pro	1.45
Paper DDCP	Fuji Speed Proof	1.49
Electrophotography	Xerox CP1255	1.61
Ink-Jet	Creo Realist	2.72
	Epson PM-4000PX	1.91
	Epson PX9000	2.29
	Canon 6500i	3.05
	Canon 9100i	3.68

Table 3 の結果からは、オフセット枚葉印刷、商業オフ輪印刷、および、レーザ熱転写方式 DDCP については許容限界以下であり、モデルによる色予測が実用的な精度で適用できる可能性のあるデバイスといえる。他のデバイスについては許容限界以上であり、直接的なモデルの適用は困難であると考えられ、何らかの補正や修正、または、基本モデルの変更が必要といえる。

モデルが適合するデバイスは限られているといえるが、モデルは有用と考えられる。パラメータ取得のために必要なパッチも少なく、Table 1 に示されるように面内均一性が得難いオフセット印刷においては、好ましい方法ともいえる。

## 3.2 実験 2 オフセット印刷のスクリーニングによる適合性

### 3.2.1 実験 2 方法

実験 1 の結果から、オフセット印刷、および、レーザ熱転写方式 DDCP においては、モデルによる色予測が実用的な許容範囲で行える可能性が示された。Japan Color 2001 においては、円形網点、線数 175lpi の AM 方式スクリーニングが用いられている<sup>8)</sup>が、オフセット印刷においては種々のスクリーニングを用いることが可能である。また、近年、第 2 世代といわれる FM 方式や AM/FM ハイブリッド方式のスクリーニングの提案、導入<sup>16)</sup>も検討されており、スクリーニングによる予測精度への影響、および、モデルの適合性について検討を加えた。

スクリーニング方式として、AM、FM、AM/FM ハイブリッド方式を検討した。AM 方式では、網点形状は正方形網点とし、一般的に使用される 175lpi を含め、100, 133, 175, 200, 230, 280, 350lpi の各線数を設定した。FM 方式として、10 $\mu$ m および 20 $\mu$ m の最小ドットサイズを持つ大日本スクリーン製造社製の Randot X と、20 $\mu$ m の最小ドットサイズを持つ Creo 社製の Staccato Screening について検討した。また、AM/FM ハイブリッド方式として、600lpi および 300lpi 相当の大日本スクリーン製造社製の Fairdot について検討を行った。

刷版は CTP 版出力とし、用紙はタイプ 3 用紙<sup>8)</sup>である王子製紙製 OK トップコート N、インキは東洋インキ製造製 TK ハイユニティを用いた。印刷濃度は、色調管理装置により可能な限り画線部において均一となるようインキ量調整キーの操作を行った。

### 3.2.2 実験 2 結果および考察

各スクリーニング条件におけるモデル予測精度を示す色差統計量と、3.1 で用いた許容値尺度を Table 4 に示す。面内の均一性についても 3.1 と同様に評価を行ったが、Japan Color 2001 と同程度であることを確認した。AM 方式の線数変化における予測値と実測値の平均色差との関係を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 から、AM 方式においては、線数が増加するに従い予測色差が大きくなり、精度が低下する傾向であることが分かる。また、Table 4 の許容値からは、線数 280lpi 以下においてはモデルによる色予測精度が実用的には許容できる範囲のものと考えられる。線数が増加するに従い構成網点は小さくなるので、微少な網点になるほどモデルからの乖離が大きくなるといえる。これらの要因として、網点が小さくなることにより hypergain<sup>17)</sup> のような状態になりやすくなること、光学的ドットゲインで知られるような

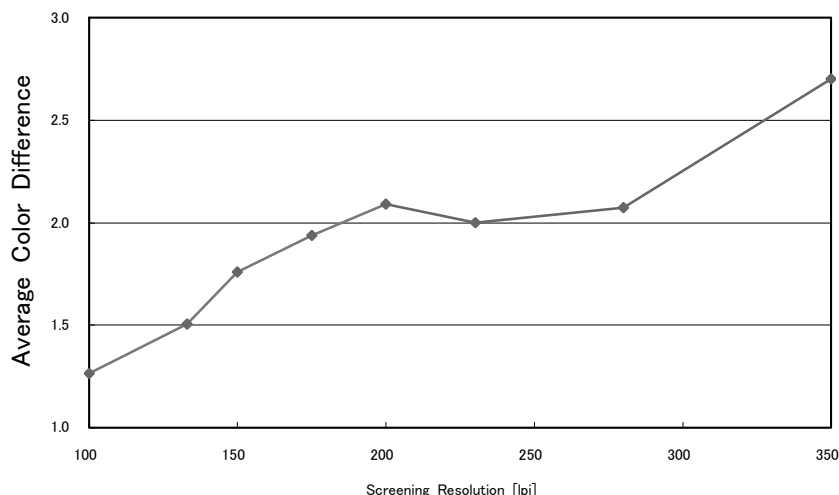


Fig.3 Color prediction accuracy of the spectral Neugebauer model for printed color under the AM screening with different screening resolutions. It seems that there is a trend that the higher resolution the AM screening has, the worse prediction result the model gives.

Table 4 Color predicted accuracy of the spectral Neugebauer model for offset printing under several different screening conditions. Statistics of color differences between predicted and measured colors, and the acceptability that is the same criterion as Table 3 are shown.

Modulation Method	Condition	Accuracy of prediction ( $\Delta E^*ab$ )			Acceptability
		Ave.	Max.	Std.dev.	
AM	100 lpi	1.26	4.06	0.622	0.54
	133 lpi	1.51	3.90	0.782	0.64
	150 lpi	1.76	5.90	1.060	0.79
	175 lpi	1.94	5.76	1.067	0.87
	200 lpi	2.09	6.55	1.260	0.93
	230 lpi	2.00	5.17	0.922	0.78
	280 lpi	2.07	5.95	0.999	0.88
	350 lpi	2.70	7.32	1.491	1.08
AM/FM	Fairdot 300	2.41	6.03	1.226	0.96
	Fairdot 600	2.96	7.57	1.348	1.34
FM	Randot X 10	2.43	8.49	1.523	1.09
	Randot X 20	2.48	7.63	1.464	1.05
	Staccato 20	2.66	7.17	1.218	1.17

インキ層を一度しか通らない光が互いに重なる割合が増加すること、また、DeMichelで示されているNeugebauer原色の存在確率と実際の差が大きくなることが考えられる。

FM、および、FM/AMハイブリッド方式においては、AM方式における350lpiの結果とほぼ同程度の予測精度であった。これらのスクリーニングにおいては、AM方式における精度低下の要因の他に、各色の網点の重なりが意図的に少なくなるよう独自の配置になるよう操作がなされている<sup>18)</sup>場合もあり、単純なDeMichelの確率では記述がさらに困難な状態となっていることがあげられる。

この実験では、日本で一般的な線数である175lpiを含む280lpi以下のAM方式において、モデルによる色予測が許容限界以下で可能であり、実用的には適用が可能と考えられる。網点が微少である高細線AM、FM、FM/AMハイブリッド方式において、予測精度は許容内とはならなかった。

### 3.3 実験3 オフセット印刷の用紙による適合性

#### 3.3.1 実験3方法

Japan Color 2001ではISOで定められた4種類の用紙が用いられて印刷されており、実験1の検討もそれが対象となる。しかし、実際のオフセット印刷においては種々の用紙が使用され、用紙による適合性について検討を行った。

実験3では、通常業務において使用頻度の高い印刷用紙である36紙を選択し、それらを対象としてモデルによる色予測精度について検討を加えた。用紙は経済産業省による「紙・板紙の品種分類」に準拠し、各メーカーがカタログ等で公表しているカテゴリに従った。ダル表記の用紙については、マットのカテゴリに含めた。内訳は、アート紙3、コート紙14、軽量コート紙3、他コート紙4、微塗工紙11、上質紙1紙である。スクリーニングは、AM方式、正方形網点、線数175lpiとし、印刷濃度は用紙カテゴリ毎の設定とし、その他の条件は実験2と同じとした。

#### 3.3.2 実験3結果および考察

Table 5には実験に用いた用紙36紙の分類と、モデル予測値と実測値の色差統計量、および、実験1と同じ許容値尺度を示す。実験3における印刷面内の均一性は、実験1におけるJapan Color 2001のそれらと同程度であること

**Table 5** Color prediction accuracy for printed color of offset printing on different papers. Statistics of color differences between predicted and measured colors and the acceptability for a practical use are shown.

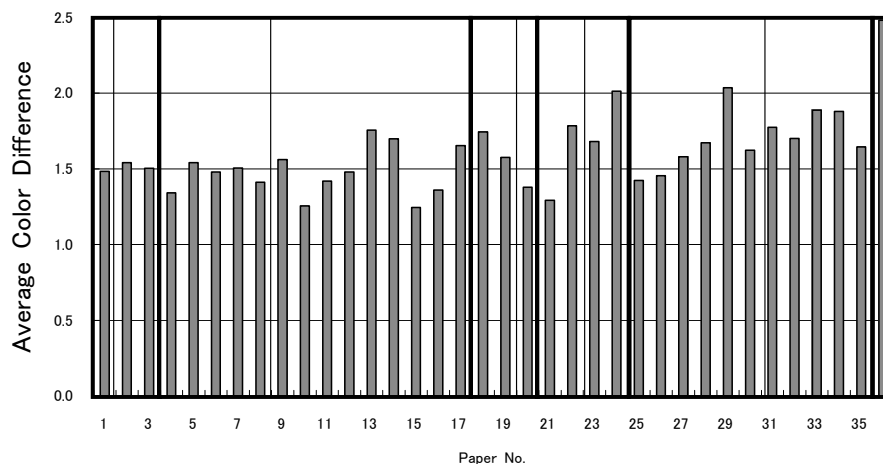
Category			No.	Accuracy of prediction ( $\Delta E^*ab$ )			Acceptability	
				Ave.	Max.	Std. Dev.		
Coated	Art	Gloss	1	1.48	4.30	0.792	0.63	
		Matte	2	1.79	5.38	1.078	0.77	
			3	1.50	4.87	0.955	0.64	
	Coated	Gloss	4	1.34	4.11	0.747	0.56	
			5	1.54	5.38	0.883	0.62	
			6	1.48	4.47	0.771	0.61	
			7	1.51	4.64	0.916	0.60	
			8	1.41	4.10	0.775	0.59	
			Matte	9	1.56	5.76	0.879	0.62
				10	1.25	4.28	0.681	0.51
		11		1.42	4.01	0.789	0.59	
		12		1.48	3.94	0.776	0.62	
		13		1.76	6.54	1.088	0.68	
		14		1.70	5.40	1.059	0.75	
		15		1.25	3.94	0.688	0.54	
		Light Weight	Gloss	18	1.74	5.79	0.992	0.69
			Matte	19	1.57	5.32	0.908	0.64
	Others	Cast coated	20	1.38	3.87	0.755	0.58	
			21	1.29	4.04	0.750	0.54	
	Others	Fancy coated	22	1.78	5.58	0.980	0.71	
			23	1.68	4.79	0.960	0.71	
			24	2.01	5.89	1.215	0.89	
	Bitokoshi	Super	25	1.42	4.27	0.837	0.60	
			26	1.45	4.33	0.824	0.59	
27			1.58	4.07	0.830	0.61		
28			1.67	4.37	0.845	0.73		
29			2.04	5.67	1.045	0.89		
30			1.62	4.73	0.858	0.67		
No Super		31	1.77	4.55	0.927	0.77		
		32	1.70	4.84	0.930	0.72		
		33	1.89	4.66	0.899	0.81		
		34	1.88	4.66	0.858	0.75		
		35	1.65	3.87	0.765	0.69		
Uncoated	Fine	36	2.48	10.00	1.529	1.09		

を確認した。また、Fig. 4 には各用紙におけるモデル予測値と実測値の色差の平均を示す。

これらの結果からは、塗工紙、微塗工紙では概ね平均色差が2以下、No.13用紙を除いて最大色差は6以下である。平均色差1.5、最大色差4程度の面内均一性を考慮すると、塗工紙、微塗工紙であれば品種には依存せずモデルによる色予測が行えているといえる。また、Fig. 4からも分かるように、用紙カテゴリーと色予測精度の間には明らかな相関関係は見られないが、微塗工紙のノースーパー品において若干ではあるが色差が大きくなる傾向にある。

非塗工紙である上質紙 No. 36 における予測色差は大きい。これらの要因として、定性的には以下のような可能性が考えられる。非塗工紙では塗工紙と比較して光拡散の度合いが大きい<sup>19)</sup>。このことは光学的ドットゲインも大きくなる<sup>19)</sup>ことを意味し、FMや高精細AM方式スクリーニングと同様な効果によることが考えられる。また、塗工紙では塗工層上に顔料が残るのに対して、非塗工紙ではインキが紙へ浸透しやすく<sup>20)</sup>紙中へのインキ拡散が生じる。これらはインクジェットにおける振る舞いと同様な傾向にある。しかし、実験1で用いたJapan Color用紙タイプ4はNo.36と同じカテゴリーの上質紙であるが、許容限界以下での色予測が可能であった。これらの差は用紙の物性に依存していることが考えられるが、色予測精度と用紙物性の詳細な関係については残された課題である。

オフセット印刷における用紙適合性の実験では、塗工紙、微塗工紙において用紙カテゴリー、品種には依存せず、モデルによる許容限界以下の精度で色予測が行えることが示された。



**Fig.4** Color prediction accuracy of the spectral Neugebauer model for printed color using by offset printing on different papers. The tested papers were classified and their category is shown in Table 5.



また, Wyble ら<sup>5)</sup> は従来手法である Yule-Nielsen の補正を加えた再現色予測モデルが, 面積変調方式における再現色を簡便で比較的精度良く予測できることを示している. そこで, 各カテゴリーの代表的な用紙において, Yule-Nielsen 補正による分光 Neugebauer モデル<sup>5, 21)</sup> (以降 Y-N 補正モデル) との予測精度の比較を検討した. このモデルは, 計算や手順の負荷がここで検討している分光 Neugebauer モデルとほぼ同程度と考えられる.

IT8.7/3 の S7 における全一次色原色ステップの実測分光反射率と Yule-Nielsen モデルによる予測分光反射率との RMS<sup>5)</sup> を最小とする  $n$  値を求め, その  $n$  値を用いて Y-N 補正モデルにより IT8.7/3 における 745 色の分光反射率を予測した.

実測値との色差, および, 評価値尺度を Table 6 に示す. 許容値尺度は全て 1.0 以下を示しているが, Table 5 と比較すると上質紙, ファインシーコート紙以外では Y-N 補正モデルの色差が大きい. 特に, アート紙, コート紙においては分光 Neugebauer モデルの方が予測精度は良く, 従来手法である Y-N 補正モデル以上に効果的にオフセット印刷における再現色の予測ができるものと考えられる.

## 4. まとめ

Neugebauer 式を単純に分光領域へ拡張した色予測モデルについて, その有効性と適合条件について実験的に検討を行った. オフセット印刷, グラビア印刷, レーザ熱転写方式網点生成型 DDCP, 銀塩感材方式網点生成型 DDCP, 電子写真, インクジェットを評価対象デバイスとし, IT8.7/3 における色予測精度について検証を行った.

また, 実用的に適用できるリーズナブルな精度を具体的に示す一つの判断基準として許容値尺度を用い, 検討を行った. その結果, オフセット枚葉印刷, 商業オフ輪印刷, レーザ熱転写方式網点生成型 DDCP においては, 実用上許容できると考えられる精度で予測が可能であることが示された. その他のデバイスでは, 何らかの補正や改良, または, 基本モデルの変更が必要と考えられる.

オフセット印刷において, AM, FM, AM/FM ハイブリッド方式のスクリーニングについて検討を加えた. AM 方式においては 100 から 350lpi までの 8 条件の線数を対象としモデル精度を検証し, 280lpi 以下においては許容限界以下での色予測が可能であることが示された. FM や AM/FM ハイブリッド方式では, 許容限界以下での色予測精度は得られなかった.

さらに, オフセット印刷において種々の印刷用紙を対象にモデル精度の検討を加えた. 用紙カテゴリーと予測精度の間には相関関係は認められなかったが, 実験に用いた塗工紙, 微塗工紙においては, 許容限界以下の精度で色予測が可能であった. しかし, 非塗工紙においては許容限界以下の精度が得られない場合があった. また, 従来方法である Yule-Nielsen 補正による分光 Neugebauer モデルとの予測精度の比較を行い, 従来モデル以上にオフセット印刷の再現色予測ができることを確認した.

分光 Neugebauer モデルは, オフセット印刷において一般的な条件 (AM, 線数 175lpi, および, 塗工紙・微塗工紙への印刷) では, 実用上許容できると考えられる精度で色予測が可能であることが示された. このことは, 一次色ステップと Neugebauer 原色である 16 色 (一次色ステップとの重複分を除くと 11 色) を測定することによって,

Table 6 Color prediction accuracy of the Yule-Nielsen modified spectral Neugebauer model for printed color of offset printing on different papers. Statistics of color differences between predicted and measured colors and the acceptability for a practical use are shown.

Category			No.	Accuracy of prediction ( $\Delta E^*ab$ )			Acceptability
				Ave.	Max.	Std. Dev.	
Coated	Art	Gloss	1	2.20	8.33	1.212	0.85
		Matte	2	2.31	8.39	1.227	0.87
	Coated	Gloss	4	1.96	7.21	1.015	0.75
		Matte	9	2.62	9.07	1.385	0.98
	Light Weight	Gloss	18	1.78	5.89	0.905	0.69
		Matte	20	1.42	3.84	0.704	0.64
	Others	Cast coated	21	1.84	6.33	0.912	0.71
Fancy coated		23	1.46	4.38	0.717	0.62	
Bitokoshi	Super	25	1.71	5.67	0.860	0.69	
	No Super	31	1.93	8.35	1.166	0.77	
Uncoated	Fine	36	2.31	7.19	1.251	0.95	

リーズナブルな精度でオフセット印刷の色予測ができることを意味している。印刷の余白部分等にこれら少数パッチを配し、日常的な印刷色の取得も可能となる。また、モデルを用いているため、連続性が保たれた滑らかな階調変化を示す色予測が可能となり、カラーマネジメント用プロファイルにおいても偽輪郭やトーンジャンプのない好ましい特性が得られることが期待できる。

上記のオフセット印刷の条件下では実用上許容できると考えられる精度で色予測が可能であることが示されたが、多次色になるほどモデルからの乖離が生じ<sup>6)</sup>、また、高精細網点やFMスクリーン等でモデル誤差が増大している。モデル自体は単純であるので、予測分光反射率と実測の分光反射率との差を最小とする網点面積率を最適化手法により求め、それらの相互関係より補正を加え、予測精度を向上させること等が容易に考えられるが、これらの検討は今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) International Color Consortium Profile Format Specification, <http://www.color.org/>.
- 2) ANSI IT8.7/3-1993.
- 3) 洪博哲：ワークショップ・エレクトロニックフォトグラフィー '91 論文集, 日本写真学会 (1991).
- 4) H. E. J. Neugebauer: *Zeitschrift für Wissenschaftliche Photographie Photohysik und Photochemie*, **36:4**, 73(1937).
- 5) D. R. Wyble and R. S. Berns: *Color Research and Application*, **25**, 4 (2000).
- 6) K. Jongpil, J. Yamashita, T. Murakata, N. Tsumura, and Y. Miyake: *Proc. International Congress of Imaging Science*, p.459 (2002).
- 7) ASTM: E 308, Philadelphia, Pennsylvania.
- 8) (社) 日本印刷学会・(社) 日本印産業機械工業会 ISO/TC130 国内委員会, ISO/Japan Color オフセット枚葉印刷色標準, Japan Color 色再現印刷 2001.
- 9) (社) 日本印刷学会・(社) 日本印産業機械工業会 ISO/TC130 国内委員会, ISO/Japan Color 商業オフ輪用ジャパンカラー, JCW2003/Ver. 1.
- 10) Digital Konsensus Pro カタログ, コニカミノルタグラフィックイメージング (2003).
- 11) 蛭谷賢治, 池田周穂, 福原政昭: 日本画像学会誌, **40**, 345 (2001).
- 12) 原朋士: 日本画像学会誌, **40**, 231 (2001).
- 13) 蒔田剛: 日本画像学会誌, **40**, 237 (2001).
- 14) 大西勝: 日本印刷学会第 112 回春期研究発表会講演予稿集, p.90 (2004).
- 15) 飯野浩一, 田中貴也: 日本印刷学会誌, **38**, 18 (2001).
- 16) 松谷哲平: 日本印刷学会第 1 回新・基礎講座デジタル時代のオフセット技術講習会, p.27 (2004).
- 17) J. R. Huntsman: 日本印刷学会誌, **24**, 189 (1987).
- 18) Staccato Screening catalogue, Creo Inc. (2002).
- 19) G. G. Field: "Color and its Reproduction," Second Ed., GATF Press, (1999).
- 20) L. A. Wilson: "What the printer should know about paper," Third Ed., GATF Press (1998).
- 21) J. A. S. Viggiano: *TAGA Proc.*, p.647 (1985).