

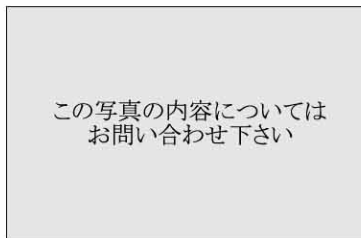
カラー写真画像の露光制御と色補正アルゴリズム

Exposure Control of Color Photographic Image and Color Correction Algorithm

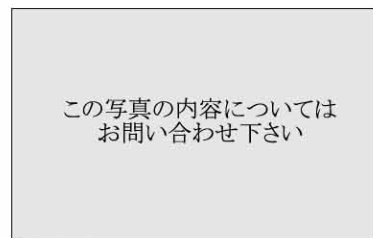
佐藤恭彰

画像システム機器事業部

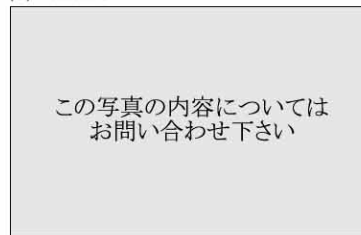
開発設計部



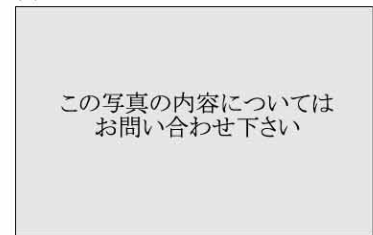
(a) FILM A



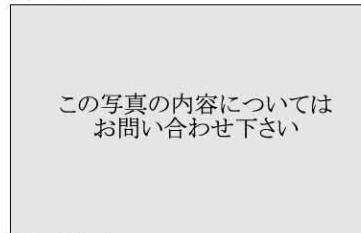
(a) FILM A



(b) FILM B

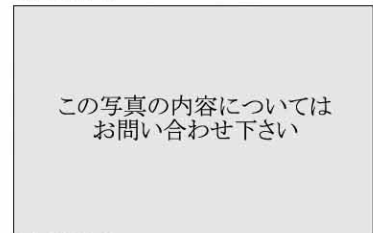


(b) FILM B



(c) FILM C.

Examples of color prints obtained from images on the three types of color negative film by lowered correction method



(c) FILM C.

Examples of color prints obtained from images on the three types of color negative film by new color correction method using density cumulative distribution function

Abstract:

In the photographic color printing process, a method which operates to suppress color subject failure and to correct film variability simultaneously is required. To correct film variability, it is necessary to know the tone reproduction characteristics of the color negative film in advance of printing. On the other hand, it is known that density cumulative distribution function of photographic color image is concerned with the photographic characteristic curve of the film. In this paper, a new color correction method using density cumulative distribution function is described and the experimental results are discussed.

Satoh, Yasuaki

Design Department

Imaging Systems Division

1

はじめに

カラー写真市場において最大の需要をもつネガポジシステム、特にカラーネガフィルムでは各感材メーカーによる性能改良、新製品展開が相次いでいる。当社においても、総合的な画質の改良あるいは様々なユーザーニーズへの対応が積極的に行なわれている¹⁾²⁾。

さらに、自動露出、自動焦点あるいはストロボ内蔵等々のカメラの変革が次々にもたらされた結果、カラー写真は、より広範なユーザが多様な被写体をしかも簡単に記録できるシステムとして発展し続けている。

こうした中で、プリント処理工程の自動化、特に、個々のカラーネガに対して最適な露光条件を導いてカラープリントを作成するための技術は、高品質のカラープリントを安定してユーザに提供する上で重要な位置付けにある。

先の報告³⁾では、このような技術の一環として、大規模ラボ用カラースキャナに採用したシステムアーキテクチャと高速化の技法について述べた。本稿ではこのシステムにおいて実現された露光制御と色補正アルゴリズムについて述べる。

2

開発の背景

カラーネガフィルムからカラープリントを作成する場合、そのカラーバランスと濃度に影響を与える要因として、写真感光材料の諸特性に加え、撮影、潜像保存、現像処理、プリント処理等の条件が挙げられる⁴⁾。

カラープリンタでは、これらの要因の変動がカラープリントの品質に与える影響を抑制するアプローチとして、LATD(Large Area Transmission Density：全面積平均透過濃度)制御と呼ばれる露光制御方式が広く用いられてきた。これは、カラーネガ画像の全面積からのB、G、R各色に関する透過光量を一定値に制御することによって、大多数のカラーネガ画像からカラーバランスおよび濃度レベルが適正なカラープリントを得ようとするものである⁵⁾。

しかしながらこの方式では、被写体において輝度や色の分布に偏りがある場合に適正なプリントが得られないという問題がある。これらのカラーネガ画像はサブジェクトフェリアと呼ばれ、特に色の分布の偏りを原因とする場合はカラーフェリアと呼ばれる。

カラーフェリアに対しては、カラーネガ画像のB、G、R各色のLATDのバランスに応じて補正するロワードコレクションが有効とされる⁶⁾が、例えば同一の被写体を同一の条件下で撮影したカラーネガ画像であっても、カラーネガフィルムの特性、特に調子再現特性によってLATDのバランスは異なるため、その特性に応じて露光条件を調整する必要がある。しかし、カラーネガフィルムの調

子再現特性は品種毎に異なり、さらに同一の品種のカラーネガフィルムであっても保存環境が劣悪な場合には変動する。

近年カラーネガフィルムの品種は著しい増加傾向にあることから、多種多様なカラーネガフィルムの調子再現特性に適応し、同時にカラーフェリアに対して適正な補正を自動的に行なう露光制御システムの開発が強く望まれていた。

3

カラー写真画像の濃度累積密度関数

所定のカラーチャートを異なる露出によって撮影したカラー写真画像を色分解し、走査することによって得られる画像の濃度累積密度関数は、そのカラーフィルムの調子再現特性を推定する上で有効な統計量であることが知られている⁷⁾。ここで濃度累積密度関数とは、各色の画像濃度の頻度を濃度に沿って積算することによって得られる画像濃度の関数であり、任意の点において連続な単調増加関数である。

本研究では、複数のカラーネガ画像のB、G、R各色の濃度累積密度関数を用いてカラーネガフィルムの調子再現特性を推定し、この推定から写真焼付における色補正の基準とすべき中性色の濃度を求める方法について検討した。

Fig.1にセンチメートルによって得たISOスピード100の35mm昼光用カラーネガフィルム3種(FILM A, FILM B, FILM C)の特性曲線を示す。

これらのカラーネガフィルムを用いて昼光下で人物を含む8種類の被写体を3段階の露出(適正、 $\pm 2\text{EV}$)で撮影した各カラーネガフィルム毎に24枚の画像を、先の報告³⁾において示した専用画像処理システムによってB、G、R各色に色分解して走査し、各色毎に 16×16 画素、量子化数10ビットで量子化し、その結果、得られた濃度累積密度関数をFig.2に示す。図において横軸は本システムで測定した濃度レベルであり、縦軸は総画素数6344を1.0に正規化した濃度累積密度関数である。

Fig.1に示した特性曲線との比較から濃度累積密度関数はそれぞれのカラーネガフィルムの調子再現特性を反映していることが伺える。例えばFILM BのG濃度成分はB、R濃度成分に比し相対的に軟調傾向であるが、濃度累積密度関数においては急峻な曲線となる。このような考察から、複数のカラーネガ画像をB、G、R各色に色分解して走査して得られた濃度累積密度関数に所定の値を与える濃度レベルをもってカラーネガフィルムの調子再現特性に基づく中性色の濃度と仮定し、この濃度を基準として色補正を行なうアルゴリズムを開発した。

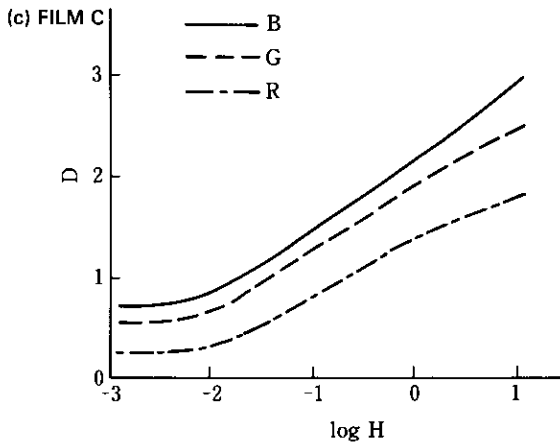
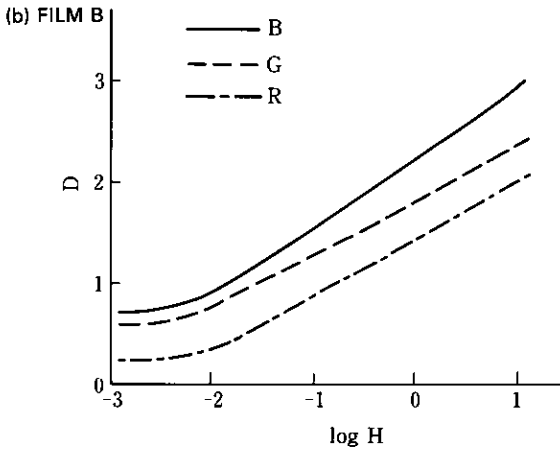
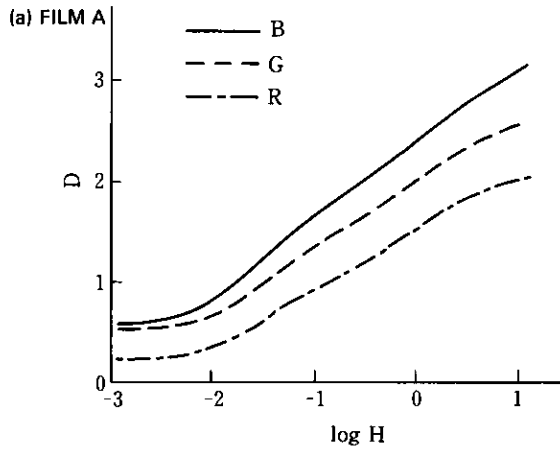


Fig.1 Photographic characteristic curves of the three types of color negative film used in this experiment.

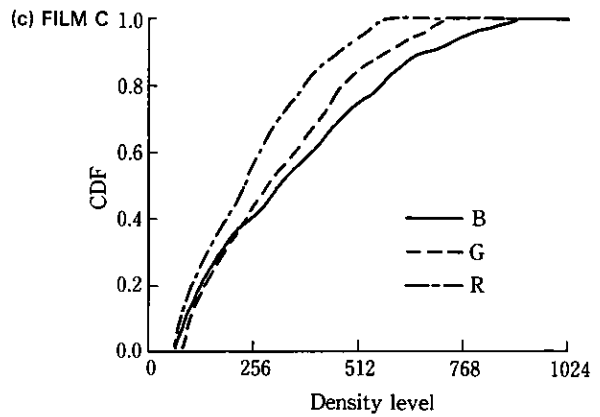
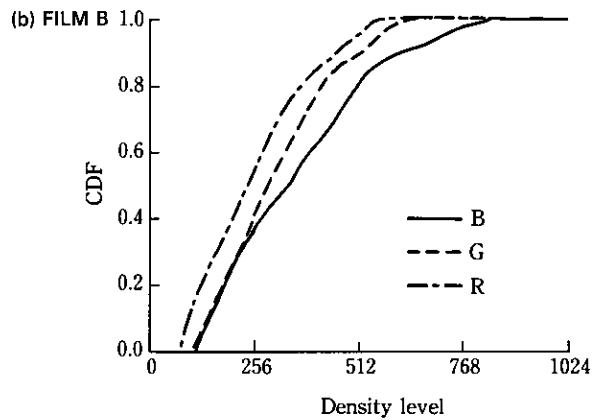
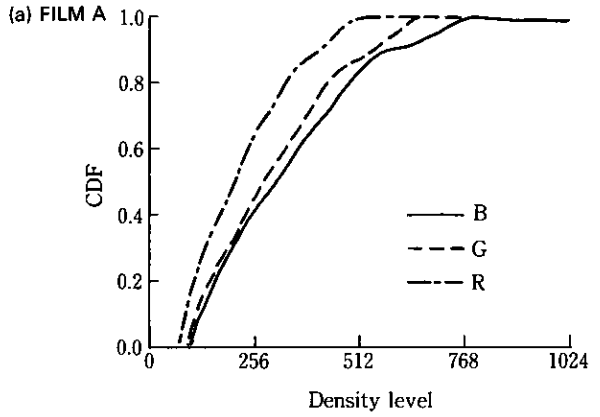


Fig.2 Examples of density cumulative distribution function obtained from images on the three types of color negative film.

4 色補正アルゴリズム

従来の露光制御方式との比較のため、1)フルコレクション、2)ロワードコレクション、3)濃度累積密度関数に基づく色補正の各方式について述べ、それぞれについてプリントの結果を示す。

カラープリントの焼付露光量は基本的に次式に従って

決定した。

$$E = D - D_0 + C + E_0 \quad (1)$$

ここで、EはB、G、R各色の露光量を要素とする露光量ベクトル(対数)、Dはカラーネガ画像の平均濃度、D₀は標準カラーネガ画像の平均濃度、Cは写真焼付における色補正量(対数)、E₀は標準カラーネガ画像に対して設定され

た露光量（対数）のベクトルを示す。実験では、FILM Aを用いてグレーチャートを適正露出で撮影した画像を標準カラーネガ画像とした。ここで、フルコレクションとはLATDに応じて露光を調節することによってカラーペーパーの各感光層に一定値の露光量を与える制御方式であり、これは (1) 式において、

$$C = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

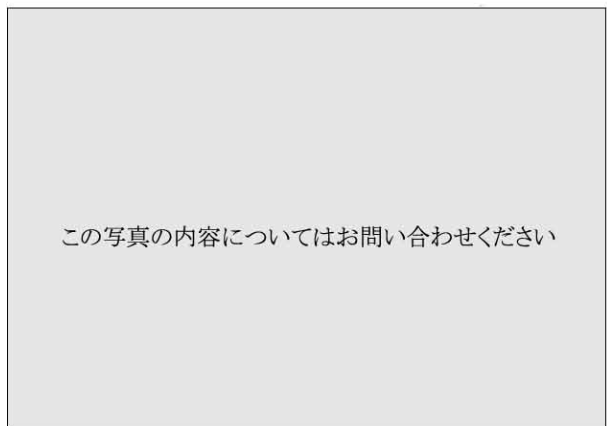
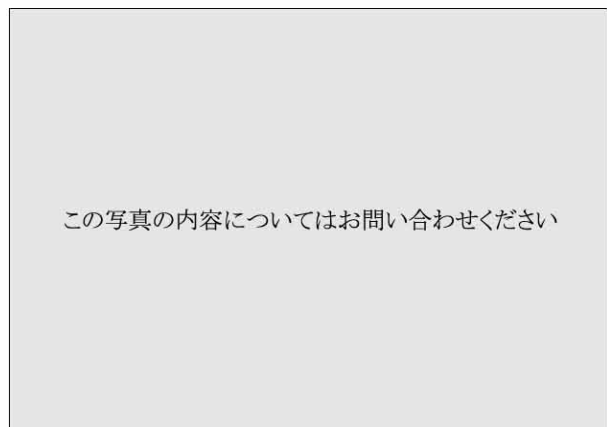
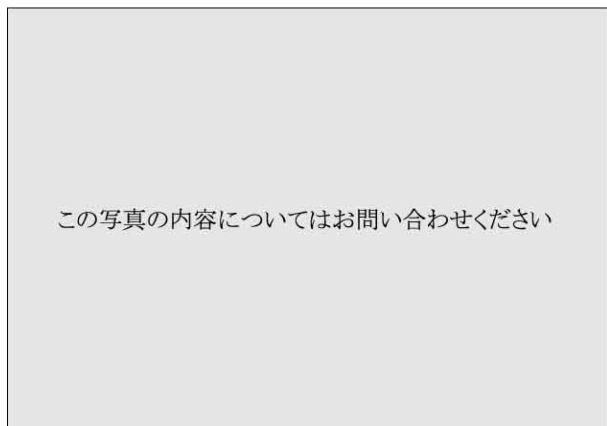


Fig.3 Examples of color prints obtained from images on FILM A by full correction method.

と置くことに対応する。この方式によって露光して得たFILM Aの画像に対するカラープリントの例をFig.3に示す。これらのプリントから、フルコレクションでは被写体の色の分布に偏りがあるカラーフェリアの場合にカラーバランスの適正なプリントが得られないことがわかる。

これに対してロワードコレクションとは、高い濃度成分に対して低い露光量を与える制御方式であり、(1) 式における色補正量が次の式で表現されたものに対応する。

$$C = k \cdot (D - D_0 + a \cdot U) \quad (4)$$

ただし、

$$a = (D_b + D_g + D_r) / 3 - (D_{0b} + D_{0g} + D_{0r}) / 3 \quad (5)$$

$$U = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

である。また、色補正の程度を調整する係数kは-0.5とした。(4) 式のごとくロワードコレクションにおける色補正量は標準カラーネガ画像の濃度ベクトルD₀に依存するベクトルである。色補正の基準となるこの濃度ベクトルは、本来個々のカラーネガフィルムの調子再現特性に応じて定義される必要があり、これを一定にした場合には、カラーネガフィルムの調子再現特性に起因する濃度差と被写体の色の分布に起因する濃度差が加算されるため、色補正の結果、プリントにおいてフィルムの種別により色調の差が生じる。このことはカラーネガフィルムの種別のみならず、潜像の保存状態によって生じる調子再現特性の劣化に対しても同様である。この方式によって得た、FILM A、B、Cに対するカラープリントをそれぞれFigs.4(a)、4(b)、4(c)に示す。

次に、濃度累積密度関数を用いた色補正について結果を示す。ここで濃度累積密度関数は、前述の24枚の画像からカラーネガフィルム毎に得たもの(Fig.2)を用い、色補正量は下記の式に従って求めた。

$$C = k \cdot (D - Y + a \cdot U) \quad (7)$$

ただし、

$$a = (D_b + D_g + D_r) / 3 - (Y_b + Y_g + Y_r) / 3 \quad (8)$$

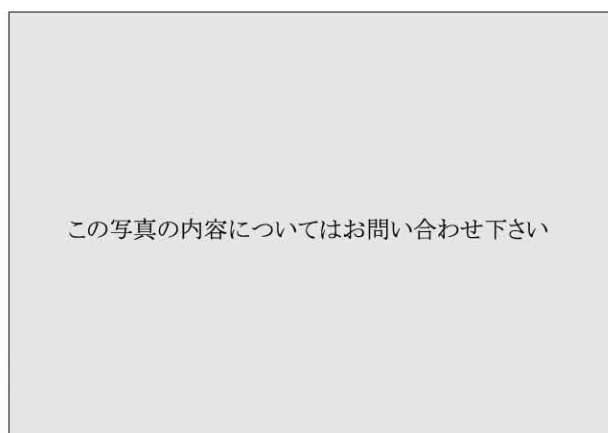
$$Y = \begin{pmatrix} CDF_b^{-1}(X_g) \\ CDF_g^{-1}(X_g) \\ CDF_r^{-1}(X_g) \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$X_g = \text{CDF}_g(D_g) \quad (10)$$

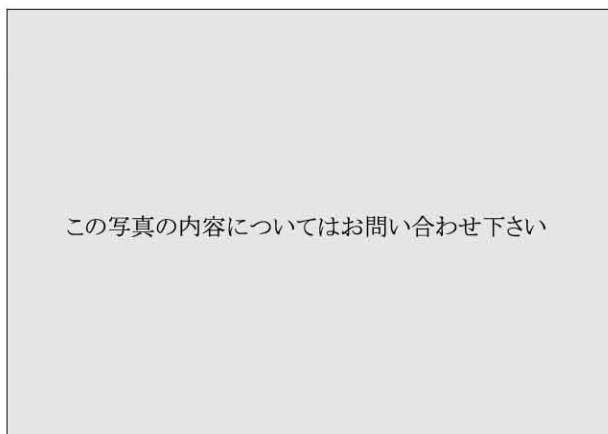
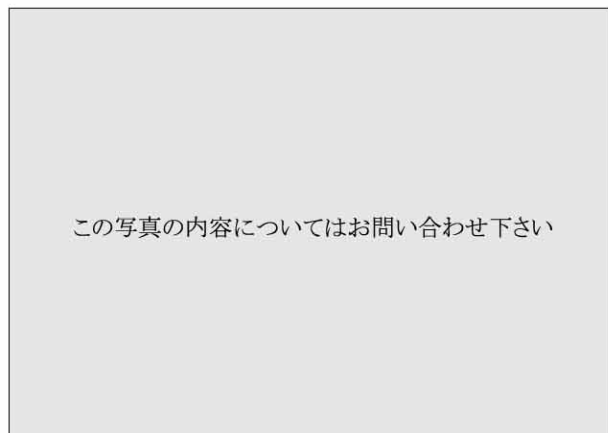
である。また、色補正の程度を調整する係数 k は -0.5 とした。式から明らかなように、この方式では色補正の基準 Y はカラーネガフィルムの調子再現特性の推定に基づいて求められる。従って、被写体における色の分布に起因する濃度差がカラーネガフィルムの調子再現特性に起因する濃度差と分離されて求められ、色補正の結果、プリントにおいてフィルム種別による色調の差を軽減させるこ

とができる。この方式によってFILM A、B、Cから得たカラープリントをそれぞれFigs.5 (a)、5 (b)、5 (c)に示す。

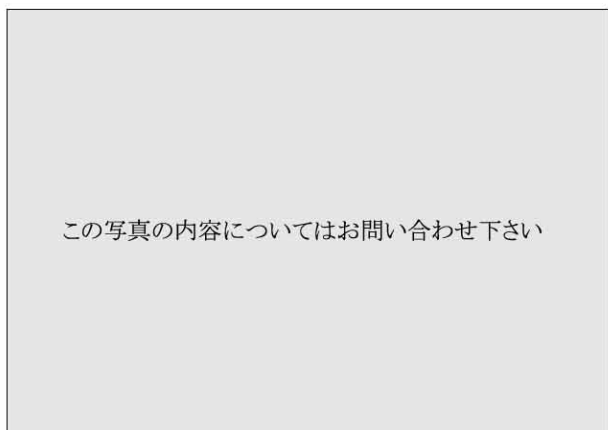
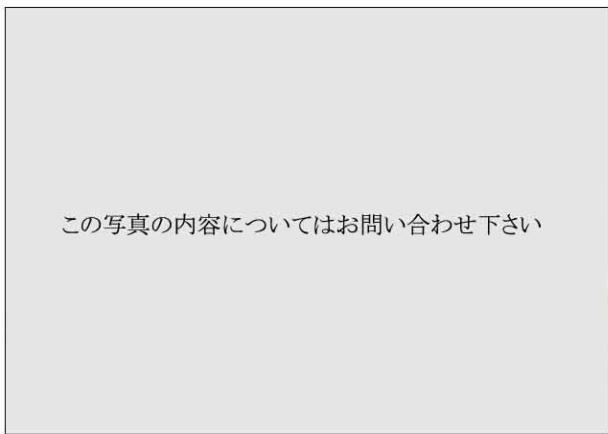
Figs.4 (a)、4 (b)、4 (c)に示されたプリントとの比較から、ロワードコレクションでは被写体における色の分布の偏りに対してほぼ良好な色補正がなされている反面カラーネガフィルムの種別によってプリントの色調は異なっているが、本アルゴリズムではフィルムの種別によるプリントの色調の差が減少し、また、被写体の色の分布の偏りがあるカラーフェリアの場合にも色調が改善されてい



(a) FILM A



(b) FILM B



(c) FILM C

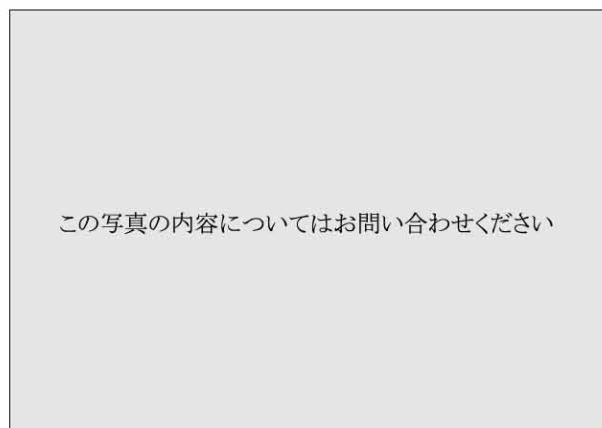
Fig.4 Examples of color prints obtained from images on the three types of color negative film by lowered correction method.

ることがわかる。

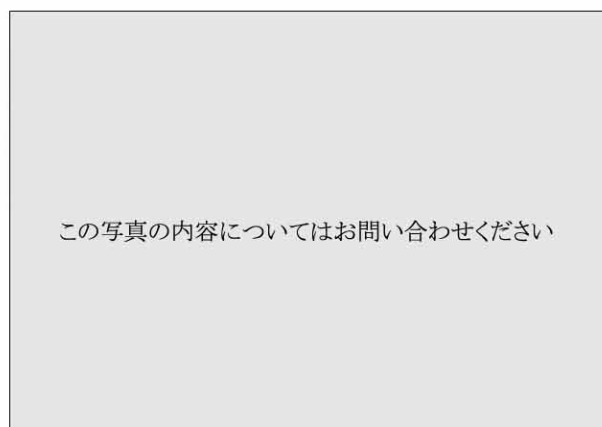
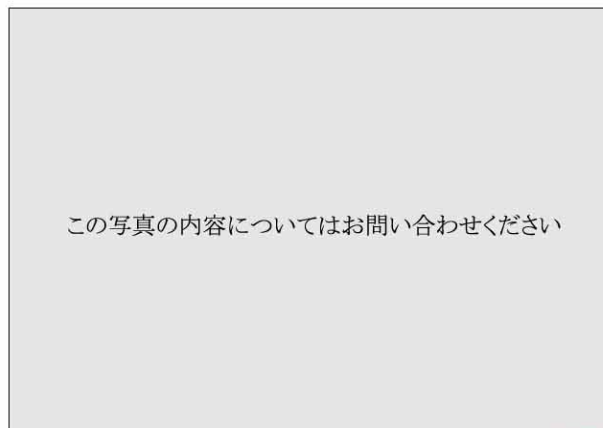
さらに、フィルムの種別によるカラープリントの色調の差を評価するため、これらのカラープリントをドラムスキャナ（阿部設計製2605型）により、B、G、R各色毎に100×70画素（サンプリングアパーチャ：1mm×1mm）、量子化数8ビットでデジタル化し、得られた画像情報を濃度（status A）に換算した後、反射率に変換し、その平均値から平均反射濃度を求めた。この平均反射濃度をこれまで示したカラープリントそれぞれについて求め、

フィルムの品種毎にその平均値を求めた。結果をロワードコレクションと本アルゴリズムのそれぞれについてTable.1とTable.2に示す。これらの表から、本アルゴリズムによって得たカラープリントではロワードコレクションに比べてフィルムの種別によるプリントの色調の差が減少していることが明らかである。

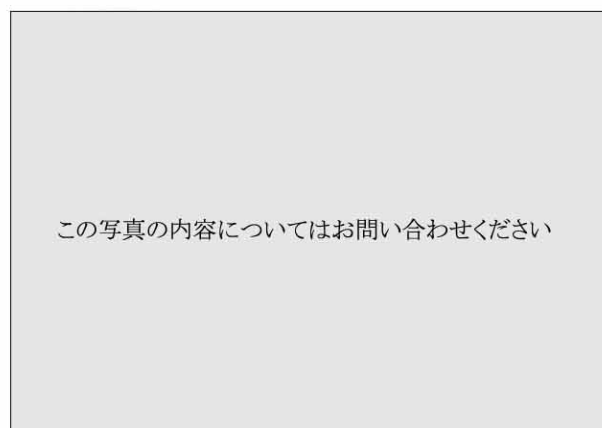
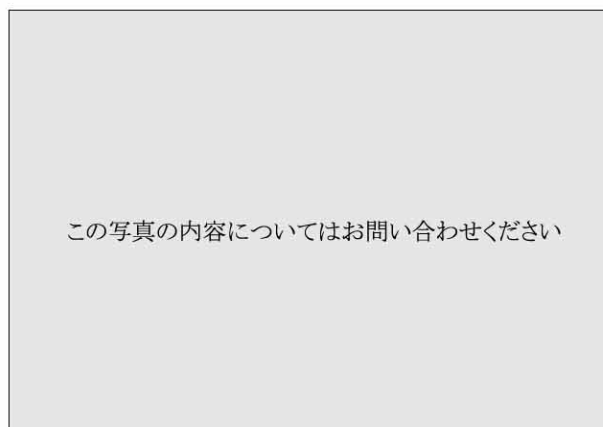
従って、カラーネガ画像の濃度累積密度関数によってカラーネガフィルムの調子再現特性を推定し、この推定に基づいて写真焼付における色補正を行なう本アルゴリ



(a) FILM A



(b) FILM B



(c) FILM C

Fig.5 Examples of color prints obtained from images on the three types of color negative film by new color correction method using density cumulative distribution function.

Table.1 Average reflection densities of color prints obtained by lowered correction method.

FILM	B	G	R	B-R	G-R
A	0.50	0.54	0.49	0.01	0.05
B	0.55	0.59	0.50	0.05	0.09
C	0.55	0.57	0.55	0.00	0.02

ズムはカラープリントにおいてフィルムの種別によらず一定の色調を得る上で有効と考えられる。

Table.2 Average reflection densities of color prints obtained by new color correction method.

FILM	B	G	R	B-R	G-R
A	0.49	0.54	0.46	0.03	0.08
B	0.55	0.57	0.48	0.07	0.09
C	0.55	0.58	0.51	0.04	0.07

●参考文献

- 1) 榛葉 悟, 山田良隆: "GX200プロフェッショナルの開発", Konica Tech. Rep., 2, 132-137 (1989)
- 2) 鳴崎 博, 岩室正雄, 江崎敦雄: "コニカカラーSuperDD400の開発", Konica Tech. Rep., 4, 28-34 (1991)
- 3) 紀太 章, 佐藤恭彰, 今村潤一: "大規模ラボ用カラスキャナの開発", Konica Tech. Rep., 4, 57-64 (1991)
- 4) R.W.G.Hunt: "Printing Colour Negatives", J. Photogr. Sci., 11, 109-120 (1963)
- 5) R.M.Evans: USP2, 571, 697 (1951)
- 6) C.J.Bartleson, R.W.Huboi: "Exposure Determination Methods for Color Printing: The concept of Optimum Correction Level", SMPTE J., 65, 205-215 (1956)
- 7) 三宅洋一: "ヒストグラム変換によるカラー写真像のトーン補正", 日写誌, 43, 94-101 (1980)

5

まとめ

本論文では、カラーネガ画像の濃度累積密度関数によって個々のカラーネガフィルムの調子再現特性を推定し、この推定に基づいて写真焼付における色補正を適正に行なうアルゴリズムについて報告した。

このアルゴリズムでは、個々のカラーネガフィルムの調子再現特性に応じて写真焼付における色補正の基準となる濃度が決定されるため、カラーネガフィルムの種別によらず一定のカラーバランスを示すカラープリントが得られた。

この結果、多種多様なカラーネガフィルムの調子再現特性に適應し、同時にカラーフェリアに対して適正な補正を自動的に行なう露光制御システムの開発が可能となった。

最後に本研究を行なうにあたって、ご指導いただいた千葉大学・三宅洋一教授に感謝申し上げます。