

プリントメディアの光源依存性評価方法の提案

Medium-Illuminant Dependency Evaluation

山 谷 自 広*
Yamaya, Yorihiro

洪 博 哲*
Hung, Po-Chieh

Colors in contemporary print media exhibit instability under varying light sources due to the sharp absorption of colorants in their spectral domains. In order to quantify the problem, we developed medium-illuminant dependency (MID) evaluation, a method of determining the instability of a print medium under various lighting conditions. To validate MID evaluation, we observed nine print media under 46 illuminant conditions. We found that while MID indexes have no high correlation with the size of a color gamut, MID indexes do correlate highly with fluctuation in the spectral domain in the range of 500 - 600 nm for achromatic colors.

1 はじめに

近年のプリントメディアは、より鮮やかな色を表現し、色域を拡げる目的で、シャープな分光特性を持つ色材を用いる傾向がある。そのような色材を用いて再現される色は、光源の分光分布の変化に対する安定性が、特に無彩色において低下する。例えば、ある光源下で無彩色に観察された色が別の光源下では色味がついて見える、というような現象が起こる。

この問題を解決する方法の一つに、K色材を導入し、100%GCRのような手法を用いてそれを最適化する手段があるが、実際は粒状性の劣化もあり、Y、M、C 3色を用いて無彩色を再現することが多い。

一方、従来プリンタの色再現精度は色差として評価されているのに対し、出力された色の、光源に対する安定性の問題に関しては、まだ定量的な評価方法が確立されていない。

本論文では、このような異種光源下でのプリントメディアの色の見えの安定性を定量化することを目的とした、光源依存性 (MID: Medium-Illuminant Dependency) 評価方法を提案する。本手法の特徴は、実物体をMIDの目標色として用いたこと、評価結果を人間の視覚特性に近づける目的で、色差の算出にCIE 1994色差式 (ΔE^*_{94})¹⁾を用いたことにある。

検証として、9種類のプリントメディアについて46種類の光源条件を用いて評価を行い、その結果、色域の広さとMID指標値の間の相関性は低いこと、無彩色における500～600nm付近の分光反射率の変動量がMID指標値と相関性が高いことが判った。

2 評価方法

2.1 本手法の特徴

本手法の特徴は、実物体を、光源依存性の目標色として用いることにある。すなわち、ある光源下で条件等色の関係をなす実物体の色、及びプリントメディア上の色の、異なった光源条件における条件等色の度合いを求める。つまりMIDの指標とは、いかにプリントメディア上の色が、光源変化に対する変動が小さいか、ではなく、実際の物体と比べた時の変動の程度であり、値が小さいほど、光源が変化しても実物体と同じように色が観察される、という意味である。

もう一つの特徴は、色差の算出に ΔE^*_{94} を用いたことにある。 ΔE^*_{94} は、CIELAB 1976 色差式 (ΔE^*_{ab}) に対し、(1)高クロマ領域での色差が大きな値となる欠点を修正した、(2)クロマ量に対する色相差、クロマ差の色差への寄与度がより人間の知覚に近づくよう修正した、ことが特徴である²⁾。すなわち ΔE^*_{94} を採用することで、無彩色領域での色差により高い感度を持つ人間の視覚特性に近い評価結果が得られる。

2.2 評価手順

Fig. 1 のフローチャートを用いて本手法の手順を説明する。

(1) プリンタのキャラクタライゼーション

例えばカラーチャート等を出力し、その分光測定結果を元に3次元LUT (Look Up Table) を作成する³⁾。

(2) 光源L₁下で条件等色となる分光反射率の推定

キャラクタライゼーションデータを元に、光源L₁の下で、実物体の色と条件等色の関係をなすプリントメディア上の色の分光反射率を推定する。

(3) 光源L₂下での色差算出

(2)で得られた条件等色対の、光源L₂下における色差を求める。色差の算出には ΔE^*_{94} を用いる。

(4) MID 指標値の算出

光源L₁とL₂の種々の組み合わせから得られた色差の

*技術センター 中央研究所 ISグループ

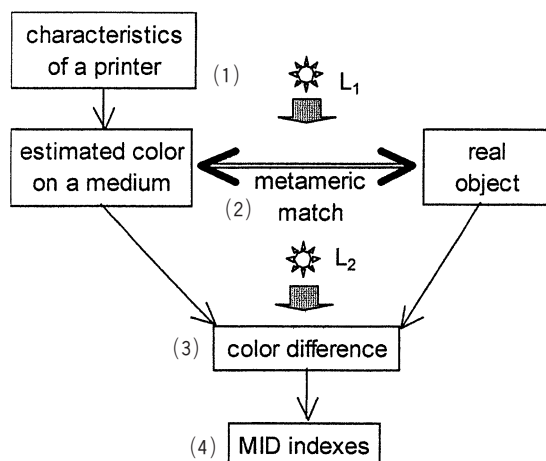


Fig.1 The flowchart of the MID evaluation.

中央値をもって、そのプリントメディアのMID指標値とする。

3 検証実験

この手法を検証するために、下記のパラメータを用いて評価を行った。実物体、プリントメディアの測定には、分光光度計SpectroLino (GretagMacbeth社製)を、光源の実測には分光放射輝度計CS-1000 (ミノルタ(株)製)を用いた。

3.1 実物体

実物体として、マクベスカラーチェックを用い、全24色のパッチを目標色とした。

3.2 光源データ

全部で46種類の光源データを用いた。その内訳は下記の通り。

(1) 標準光源^{4), 5)}

- ・ JIS 規定の標準の光：A、D₆₅、C
- ・ JIS 規定の補助標準の光：D₅₀、D₅₅、D₇₅、B
- ・ JIS 規定の代表的な蛍光灯：F1～F12

(2) 実測光源

- ・ 実際に測定した屋内外の光源、全27種。
 屋内：蛍光灯、白熱灯、ハロゲン灯、水銀灯等
 屋外：晴天下、曇天下、日陰、夕方 等

3.3 プリントメディア

一般的に使われている代表的なプリントメディアとして下記9種を選んだ。各プリンタで出力されたカラーチャートを測定した分光データから、プリンタの3次元LUTを作成しキャラライゼーションデータとした。

- a) 銀塩写真 (AGX)
- b) インクジェット-染料タイプ (IJD)
- c) インクジェット-顔料タイプ (IJP)
- d) 熱現像方式 (TDV)
- e) 昇華型熱転写方式 (DSB)

f) 昇華型熱転写方式-キレートタイプ (CSB)

g) 電子写真 (EPG)

h) オフセット印刷

- 1 ミニマムブラック法による黒生成⁶⁾ (MNK)

- 2 マキシマムブラック法による黒生成⁶⁾ (MXK)

ここで、インクジェット及び電子写真の黒生成は、プリンタのデフォルト設定を用いた。

3.4 MID指標値の算出方法

各光源の組み合わせから得られた色差の中央値を持ってMID指標値とした。目標色に、無彩色のみ6色を選んだ場合と、全24色を用いた場合について算出した。

4 結果

Fig. 2に、各プリントメディアについてのMID指標値を示す。

1次色が共通で、色再現時に用いるK色材の量のみを変えたMNKとMXKの評価結果から、K色材を多用することで特に無彩色において光源依存性が大きく改善されるという妥当性のある結論が得られ、この手法の有用性が示された。

また、全体的に、有彩色を含めた全24色に対する結果より無彩色のみの方が高い値をもつ傾向であり、本手法は実際の人間の感覚にマッチしていると思われる。

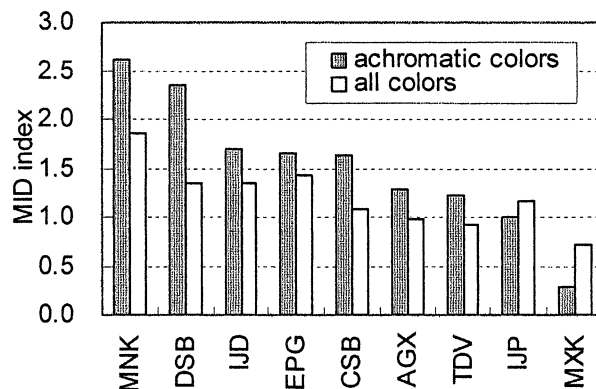


Fig.2 The MID indexes in each media. The order is rearranged from worse to better by the indexes.

5 考察

上記評価結果を元に、光源依存性を支配する要因について、下記2つの仮説を立てて検証を行った。

5.1 色域の広さ

一つの仮説は、一般に色材の分光特性がシャープであるほど光源依存性が悪くなる傾向であることから、プリントメディアの色域と光源依存性には相関がある、というものである。

まず、実験で用いたDSB方式は、同じ3色プリンタで

あるCDS、AGX、TDV方式に対して悪い結果である。仮説が正しければDSBが他に比べ色域が広い筈であるが、Fig. 3に示すように、DSBが他に対し特別広い傾向は認められなかった。

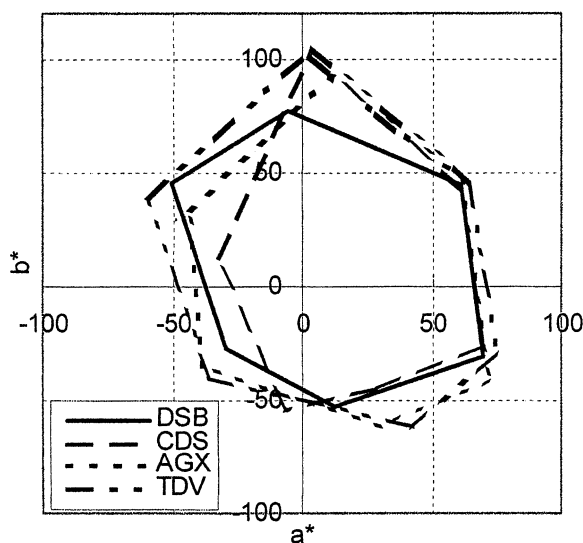


Fig.3 The color gamut of the printer using three colorants only.
[illuminant : D₅₀]

次に、各プリントメディアの、色域サイズに対するMID評価値をプロットした結果をFig. 4に示す。ここで横軸は下式で求めた色域の広さを表す値である。

$$\text{Gamut size} = \sum C_{ab}^* \quad \text{where } i = Y, M, C, R, G, B$$

Fig. 4より、色域の広さと光源依存性との相関性は低いことが判る。換言すれば、色域の広さと光源依存性は両立できる可能性があることを示唆している。

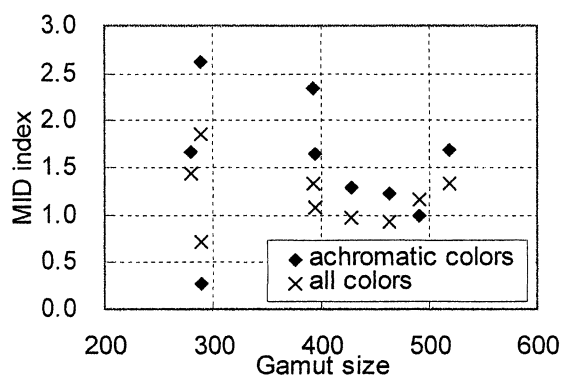


Fig.4 Gamut size vs MID index.

5. 2 無彩色の分光反射率

もう一つの仮説は、シャープな分光特性をもつ色材を用いて無彩色を再現した場合、その分光反射率は凹凸をもち、その変動量が光源依存性と相関が高い、というものである。

のである。

この仮説を検証するために、分光反射率の変動量をFig. 5のように定義した。すなわち、D₅₀光源下において、マクベスカラーチェックのNeutral 5パッチと条件等色をなすよう推定された、プリントメディアの分光反射率(1)において、ある波長領域(2)における最大、最小反射率の差(3)を変動量と定義した。

そして、その波長領域(2)の幅及び中心波長の両パラメータを様々に変化させることで得られる、各メディアの変動量とMID指標値との間の決定係数を算出することで、光源依存性と相関が高い波長領域を求めた。

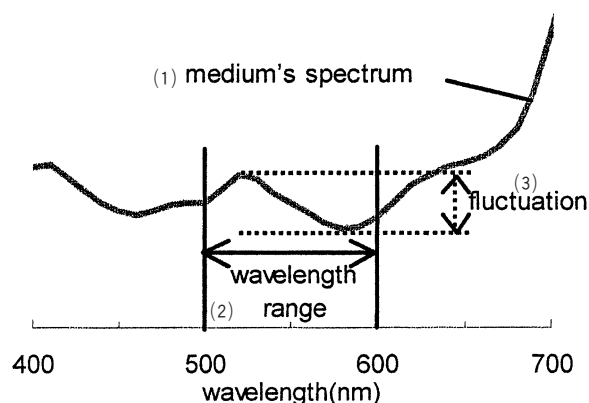


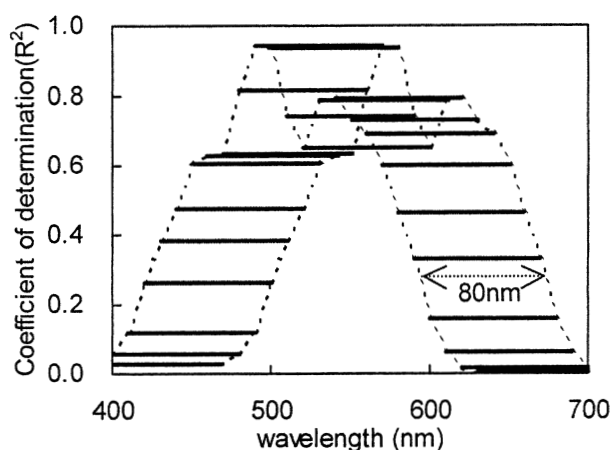
Fig.5 Definition of the fluctuation on the spectral reflectance.

目標色を無彩色にした時のMID指標値について、Fig. 6に、波長領域の幅をa) 80nm、b) 100nm、c) 120nmとした時の、中心波長に対して決定係数をプロットした結果を示す。例えばa)の場合、490～570nmの波長領域における変動量が、MID指標値と最も相関が高い、という意味である。

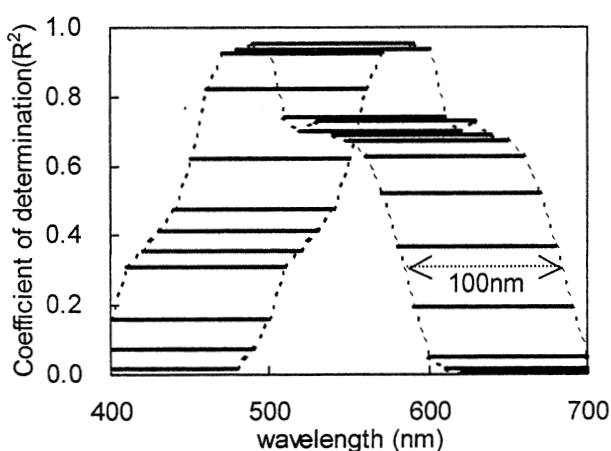
また、Fig. 7は、Fig. 6のb)で最も高い決定係数を示した、490～590nmの範囲における、各メディアの分光反射率の変動量とMID指標値の関係をプロットしたものである。すなわち、このプロットの近似式から得られる決定係数0.9523が、Fig. 6のb)におけるピークの値に相当する。

実際には、波長領域の幅は50～190nmまで変化させ、その結果、最も高い決定係数を示したのは、幅が100～140nm、いずれも短波長側が490nmの場合であった。すなわち490～630nmの範囲内での分光反射率の変動量が最も光源依存性と相関が高いことになる。

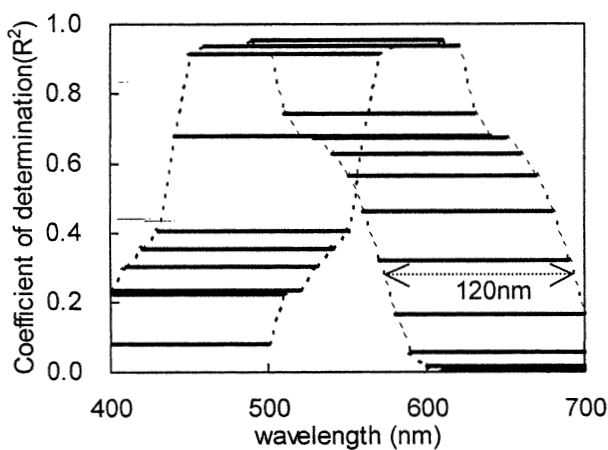
なお、決定係数は0.7～0.8に下がるが、目標色を全色とした場合も、この傾向は同じであった。また、評価に用いた光源の種類を標準光源19種のものにしても、傾向は変わらなかった。



a) width of range : 80nm



b) width of range : 100nm



c) width of range : 120nm

Fig.6 Coefficients of determination between the fluctuation and the MID indexes with regard to central wavelengths.

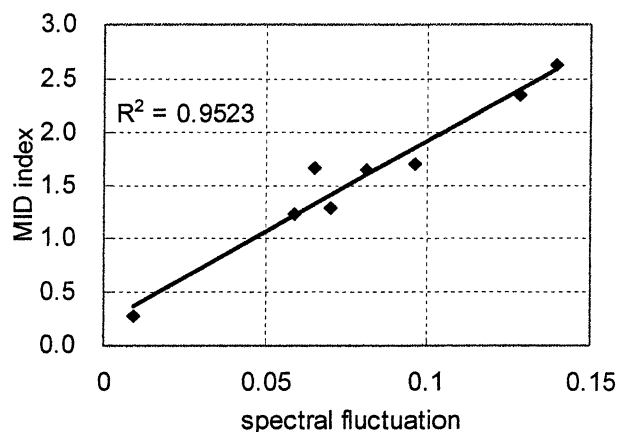


Fig.7 The relationship between the spectral fluctuation at the range of 490-590nm and MID index.

以上の結果から、実験のパラメータにより多少前後することを考慮しても、およそ500～600nm付近を中心とした範囲の無彩色の分光反射率の変動量が、光源依存性に高い相関を持つと推測される。換言すれば、この範囲の変動量を少なくすることで、光源依存性を向上させることができることを示唆している。

6 まとめ

異種光源下でのプリントメディアの色の見えの安定性を定量化することを目的とした、光源依存性評価方法を提案した。

本手法を用いて、9種類のプリントメディアについて46種類の光源条件を用いて評価を行った結果、色域の広さとMID指標値の間の相関性は低いこと、無彩色における500～600nm付近の分光反射率の変動量がMID指標値と相関性が高いことが判った。

●参考文献

- 1) CIE 116 (1995).
- 2) <http://it.jeita.or.jp/document/pcguide2001/display/sRGB.pdf>
- 3) P.C. Hung, Journal of Electronic Imaging, 2(1), 53 (1993)
- 4) JIS Z 8720 (1983).
- 5) JIS Z 8719 (1984).
- 6) P.C. Hung, Journal of Electronic Imaging, 3(4), 415 (1994).

本稿は、ICIS2002で発表された原稿に補足したものである。