

ビデオ測色法による景観の色彩測定に関する研究

正会員 ○新屋泰平*1 同 上谷芳昭*2

4.環境工学—6.j.色彩

色彩, 測色, 景観, デジタルカメラ, マンセル

1. 序章

2005年に施行された景観法に従い、各地で景観計画の策定が進んでいる。色彩基準では、マンセル値を用いた数値規制が増加している。マンセル値の測色方法には、視感測色が多く用いられる。視感測色は、手軽に行える反面、現地で逐一色彩を測色するため、手間と時間がかかる。また、評価段階において、色彩分布や傾向を把握するには効率的な方法ではない。そこで、景観色彩の測色において、広範囲を十分な精度で簡便にマンセル値の測色可能な測色法の開発が求められている。

本研究の目的は、ビデオ測色法¹⁾を応用し、魚眼レンズ付きデジタルカメラの撮影画像から、景観色彩のマンセル値を算出する、屋外での広範囲を対象とする測色法の開発である。色彩較正実験を行い、撮影画像のビデオ信号値 RGB から三刺激値の絶対値 XYZ を算出し、均等性の良好な NC-III C 均等色空間に変換後、JIS Z 8721 のマンセル値データを用いてマンセル値を決定する。屋外で検証実験を行い、測定精度の把握を行う。

また、本測色の応用として、景観条例を組み込んだ景観色彩評価アルゴリズムの開発を行う。

2. 三刺激値(X,Y,Z)の算出

2.1 色彩較正

デジタルカメラと分光色彩計を用いて、色彩較正関数を作成する。デジタルカメラの色域として、色再現性に優れた AdobeRGB(1998)色域を用いた。

2.1.1 色彩較正関数の作成

分光色彩計で測定した三刺激値(X_s, Y_s, Z_s)を(2.1)式を用いて、三刺激値(R_s, G_s, B_s)に変換する。

$$\begin{aligned} R_s &= 2.04159X_s - 0.56501Y_s - 0.34473Z_s \\ G_s &= -0.96924X_s + 1.87597Y_s + 0.04156Z_s \\ B_s &= 0.01344X_s - 0.11836Y_s + 1.01517Z_s \end{aligned} \quad (2.1)$$

(2.2)式を用いて、基準値(R'_s, G'_s, B'_s)を算出する。

ここで $\gamma = 2.19921875$ である。

$$R'_s = R_s^{1/\gamma}, G'_s = G_s^{1/\gamma}, B'_s = B_s^{1/\gamma} \quad (2.2)$$

デジタルカメラの撮影画像のビデオ信号値(R_{vN}, G_{vN}, B_{vN})について、(2.3)式を用い、正規化ビデオ信号値(R'_v, G'_v, B'_v)に変換する。(2.4)式でガンマ補正済みビデオ信号値(R_v, G_v, B_v)に変換する。添え字 N は、分解能 N[bit]を示す。

$$R'_v = \frac{R'_{vN}}{(2^N - 1)}, G'_v = \frac{G'_{vN}}{(2^N - 1)}, B'_v = \frac{B'_{vN}}{(2^N - 1)} \quad (2.3)$$

$$R_v = R_v'^{\gamma}, G_v = G_v'^{\gamma}, B_v = B_v'^{\gamma} \quad (2.4)$$

基準値(R'_s, G'_s, B'_s)とガンマ補正済みビデオ信号値(R_v, G_v, B_v)について最小二乗法を適用し、回帰式の係数(f_r, f_g, f_b)を求め、色彩較正関数を決定する。

2.1.2 三刺激値の絶対値(X_{vs}, Y_{vs}, Z_{vs})の算出

較正関数にガンマ補正済みビデオ信号値(R_v, G_v, B_v)を代入し、算出値(R_{vs}, G_{vs}, B_{vs})を得る(2.5)。

$$R'_{vs} = f_r(R_v), G'_{vs} = f_g(G_v), B'_{vs} = f_b(B_v) \quad (2.5)$$

(2.6)式を用いて、RGB 表色系の三刺激値の絶対値(R_{vs}, G_{vs}, B_{vs})を算出する。

$$R_{vs} = R'_{vs}{}^{\gamma}, G_{vs} = G'_{vs}{}^{\gamma}, B_{vs} = B'_{vs}{}^{\gamma} \quad (2.6)$$

AdobeRGB(1998)の変換式である(2.7)式より XYZ 表色系の三刺激値の絶対値(X_{vs}, Y_{vs}, Z_{vs})を得る。

$$\begin{aligned} X_{vs} &= 0.57667R_{vs} + 0.18556G_{vs} + 0.18823B_{vs} \\ Y_{vs} &= 0.29734R_{vs} + 0.62736G_{vs} + 0.07529B_{vs} \\ Z_{vs} &= 0.02703R_{vs} + 0.07069G_{vs} + 0.99134B_{vs} \end{aligned} \quad (2.7)$$

2.2 色彩較正実験

等立体角射影魚眼レンズ(SIGMA CIRCULAR FISHEYE, 4.5mm, 1:2.8)を装着したデジタルカメラ(Nikon D60)について色彩較正をおこなった。12bit NEF 形式画像は 16bit TIFF 形式に変換した。ホワイトバランスは「曇天」、絞り値 F は F22、シャッタースピードは 1/30、色域は AdobeRGB とした。暗室に

て基準となる 24 色色票(Macbeth ColorChecker)にキセノンランプの直接光を正面から照射し、デジタルカメラと分光色彩計(Photo Research 製 PR650)で同時に撮影した。色票において分光色彩計の測定範囲のビデオ信号値の平均値を画像のビデオ信号値とした。

2.3 色彩校正実験結果

2.3.1 色彩校正関数

ガンマ補正済みビデオ信号値(R_v, G_v, B_v)と基準値(R_s', G_s', B_s')を回帰し、校正関数の係数を決定し、算出値($R_{vs}', G_{vs}', B_{vs}'$)を得る(表 2.1)。

表 2.1 色彩校正関数

	色彩校正関数	R ² 値
$R_v - R_s'$	$R_{vs}' = -375.3673 R_v^6 + 1425.2273 R_v^5 - 2011.8334 R_v^4 + 1362.1437 R_v^3 - 466.2136 R_v^2 + 123.0320 R_v + 9.6996$	0.9849
$G_v - G_s'$	$G_{vs}' = 70.5053 G_v^5 - 464.0455 G_v^4 + 659.5509 G_v^3 - 348.9570 G_v^2 + 120.6237 G_v + 8.4624$	0.9648
$B_v - B_s'$	$B_{vs}' = 497.5636 B_v^5 - 1235.1323 B_v^4 + 1104.9433 B_v^3 - 434.4841 B_v^2 + 115.5027 B_v + 10.1258$	0.9863

2.3.2 色票の色相分類

色相ごとに考察するため、ISCC-NBS の系統色名区分を参考に、Red:1R-3YR, Green:4GY-10BG, Blue:5PB-3P, Yellow:3YR-4GY, Magenta:3P-1R, Cyan:10BG-5PB, Neutral の 7 色相群に分類する。

2.3.3 色彩校正の精度

統計指標 Mean Bias Error (MBE)、%MBE、Root Mean Square Error (RMSE)、%RMSE を用いる。全データの統計指標を表 2.2 に、色相群別の統計指標を図 2.1-a と図 2.1-b に示す。%MBE が 0.3%、-0.4%、-0.3%および%RMSE が 8.7%、11.8%、10.9%であり、概ね良い精度を示している。色相群別では、色相群 Blue の三刺激値 Z の%RMSE が 24.0%と、他の色相群よりやや大きい。これは、校正関数で色相群 Blue のばらつきがやや大きいためと考えられる。

表 2.2 全データ統計指標

	X	Y	Z	n
MBE	-4.7	-5.9	-5.1	121
RMSE	128.2	173.2	194.3	
%MBE	-0.3%	-0.4%	-0.3%	
%RMSE	8.6%	11.8%	10.9%	

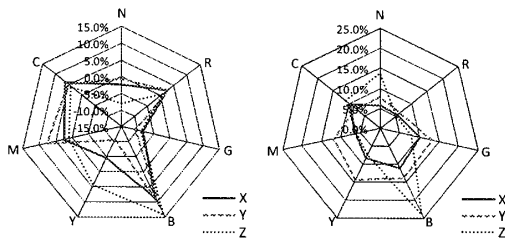


図 2.1-a 色相群別%MBE 図 2.1-b 色相群別%RMSE

2.4 無彩色を対象とした色彩校正関数

均等色空間への変換において、基準白色面の三

刺激値(X_0, Y_0, Z_0)が必要となる。この時、無彩色のみを対象とした校正関数を用いて無彩色色票の三刺激値(X_w, Y_w, Z_w)を算出し、測色精度向上を図る。

2.5 基準白色面の三刺激値(X_0, Y_0, Z_0)の算出

無彩色色票を分光反射率が一定の均等拡散反射面と仮定し、三刺激値(X_w, Y_w, Z_w)に反射率 ρ_w [%]を対応させ、(2.8)式より基準白色面の三刺激値(X_0, Y_0, Z_0)を算出する。

$$X_0 = 100 \left(\frac{X_w}{\rho_w} \right), Y_0 = 100 \left(\frac{Y_w}{\rho_w} \right), Z_0 = 100 \left(\frac{Z_w}{\rho_w} \right) \quad (2.8)$$

3. マンセル表色系への変換

色空間の均等性が良好で、基準白色面の三刺激値(X_0, Y_0, Z_0)に対応した均等色空間を用いて、屋外環境に適応可能なマンセル値の算出方法を述べる。

3.1 NC-III C 均等色空間からマンセル値への変換

池田らにより、開発された色空間であり、反対色応答過程における非線形性を式に取り入れ、均等性を向上させた均等色空間である²⁾。

JIS Z 8721 の「標準の光 D65 の照明下における三属性による表色系の基準」のマンセル値のデータを、明度 V_n ($n=1$ から 9) ごとの NC-III C 均等色空間の色度座標データ(a_i^+, b_i^+)_nに変換する。マンセル値を求める点(試料点 P)の色度座標を(a_p^+, b_p^+)とし、色度座標データ上で試料点 P の色度座標(a_p^+, b_p^+)のマンセル値(H_p, V_p, C_p)を決定する。明度 V と心理計測明度 L^* は(3.1)式で近似する。

$$V = L^* / 10 \quad (3.1)$$

3.1.1 探索

探索とは、色度座標データ(a_i^+, b_i^+)_nにおいて、試料点 P の色度座標(a_p^+, b_p^+)を囲む 4 点を決定することである。探索は、試料点 P の明度 V_p を挟む 2 つの色度座標データ(a_i^+, b_i^+)_k と(a_i^+, b_i^+)_{k+1} について行う。それぞれの明度 V_n を V_k および V_{k+1} とする。位置関係を図 3.1 に示す。まず、色度座標データ上で、試料点 P との距離が最小となる点 A を求める。次に、隣り合う 4 点 BDEF において、試料点 P が、直線 AB、AD、AE、AF に対して左右どちら側にあるかを判定する。

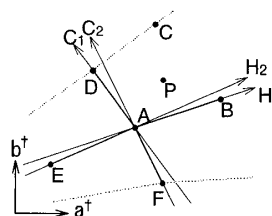


図 3.1 探索の座標位置

3.1.2 色相・彩度の補間

試料点 P を囲む 4 点に対し、内分比法を用いた補間を行い、マンセル値の色相、彩度を決定する(図 3.2)。色相 H は、 $10RP=0 \sim 7.5RP=39$ とする通し番号を用いる。

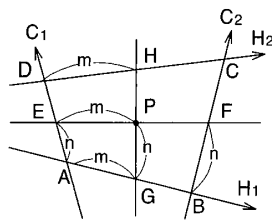


図 3.2 補間の座標位置

3.1.3 明度 V による補間

試料点 P の明度 V_p を挟む V_k と V_{k+1} の内分比を用いて最終的なマンセル値(H_p, V_p, C_p)を決定する。色相は、通し番号からマンセル色相に変換する。

3.2 三刺激値(X,Y,Z)からマンセル値への変換

色彩校正実験のデータを、NC-III C 均等色空間(L^*, a^*, b^*)に変換し、マンセル値を決定する。

3.3 マンセル値への変換結果

分光色彩計とビデオ測色法の色相 H、明度 V、彩度 C の統計指標を表 3.1 に示す。色相 H は RMSE が 1.9、MBE が -0.9、明度 V は RMSE が 0.3、MBE が 0.0 であり、良い精度を示している。

彩度 C は、RMSE が 0.9(11.0%)であり、MBE が -0.9(-6.5%)と彩度がやや下がる傾向にある。

表 3.1 統計指標

	H	V	C
n	95	121	95
MBE	-0.6	0.0	-0.5
RMSE	1.9	0.3	0.9
%MBE	-1.3%	0.8%	-6.5%
%RMSE	4.3%	5.5%	11.0%

4. 屋外での検証実験

4.1 撮影手法

対象地点を均一照度と仮定するため、天候は曇天とし、時間帯は昼間とする。データ読取の解像度を考慮し、今回の最大撮影距離を 10m とする。屋外での測色において、

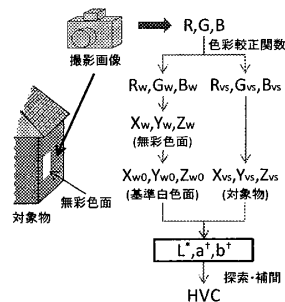


図 4.1 本測色法の概要

基準白色面の三刺激値(X_0, Y_0, Z_0)を算出するため、基準となる無彩色面を写し込み撮影を行う。測色対象の測色値(X_{vs}, Y_{vs}, Z_{vs})と基準白色面の三刺激値(X_{w0}, Y_{w0}, Z_{w0})より、NC-III C 均等色空間に変換し、マンセル値を決定する。

4.2 屋外検証実験の概要

4.2.1 検証試料

表面が平滑で、無光沢の四つ切サイズの色ケン

ト紙を色彩に偏りなく選定した(表 4.1)。

表 4.1 検証試料のマンセル値

No.	マンセル値 (HV/C)	No.	マンセル値 (HV/C)	No.	マンセル値 (HV/C)	No.	マンセル値 (HV/C)
1	5.2R 5.0 / 11.6	8	2.7R 8.6 / 4.2	15	9.7YR 4.9 / 2.7	22	2.3P 7.1 / 5.5
2	2.5YR 8.2 / 6.3	9	9.1YR 8.7 / 5.4	16	1.7Y 7.9 / 2.5	23	10.0B 5.8 / 3.5
3	3.5BG 8.9 / 2.4	10	4.0PB 6.7 / 4.5	17	7.9G 6.6 / 1.4	24	5.6PB 4.9 / 6.0
4	5.6GY 9.0 / 3.6	11	2.5Y 7.3 / 8.1	18	8.8GY 4.8 / 2.4	25	0.3PB 5.9 / 8.6
5	0.5GY 6.3 / 5.7	12	1.4B 8.4 / 4.5	19	5.8G 6.0 / 5.7	26	4.7PB 4.2 / 3.0
6	8.3GY 8.1 / 6.0	13	5.6YR 9.0 / 3.8	20	8.0GY 7.3 / 9.7	27	N4.4
7	7.0RP 7.9 / 7.3	14	8.5R 5.0 / 6.9	21	8.0P 5.4 / 7.2	28	N3.3

4.2.2 検証実験方法

京都大学桂キャンパス屋上で 2010 年 12 月 12 日、12 時～13 時、曇りに実験を行った。図 4.2 のように、壁面に検証試料と無彩色面(白色ケント紙 N9.5)を張り付け撮影した。

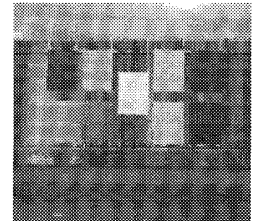


図 4.2 検証試料の配置

4.3 検証実験結果

持ち運び容易な簡易型分光色差計(NDK 製 NF333、測定径 8mm ϕ)の測色値(H_{ss}, V_{ss}, C_{ss})を測色の基準とする。ビデオ測色法のマンセル値(H_{vs}, V_{vs}, C_{vs})と簡易型分光色差計のマンセル値(H_{ss}, V_{ss}, C_{ss})の散布図を図 4.3-a から図 4.3-c に示す。色相 H は、0R(10RP)を 0、9.9RP を 99 とする通し番号である。色相 H、明度 V、彩度 C の統計指標を表 4.2 に示す。変換精度は、屋内実験の結果(表 3.1)と同程度の概ね良い精度であった。

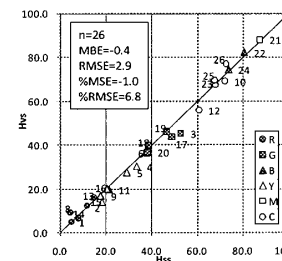


図 4.3-a 色相 H

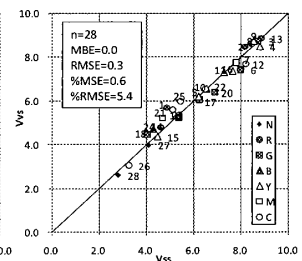


図 4.3-b 明度 V

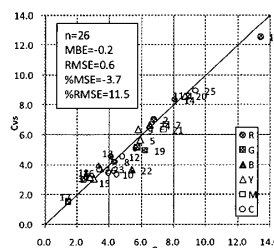


図 4.3-c 彩度 C

表 4.2 統計指標

	H	V	C
n	26	28	26
MBE	-0.4	0.0	-0.2
RMSE	2.9	0.3	0.6
%MBE	-1.0%	0.6%	-3.7%
%RMSE	6.8%	5.4%	11.5%

5. 景観色彩の測定への応用

5.1 測色方法の概要

撮影画像を画像処理ソフト ImageJ に取り込む。撮影画像を 25%縮小し、518×518Pixel の画像とした。2.および 3.の計算式を組み込んだ Fortran を用いて、1Pixel ごとのマンセル値を算出する。

5.1.1 マンセル値の算出例

撮影日は2011年1月15日、12時～13時、天候は曇り、撮影距離は約5mであった。検証のため、簡易型分光色差計でマンセル値を測定した。

5.1.2 マンセル値算出結果

図5.1の点の部分の測色結果を表5.1に示す。測色点No.2は、外壁面に凹凸加工が施されており、簡易型分光色彩計にも測色誤差が生じたと考えられる。また、測色点No.3は、

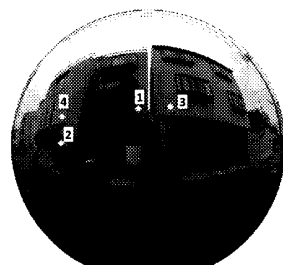


図5.1 マンセル値算出例

光沢のあるタイル面であり、色彩輝度計などの測色機器での測定と同様に、測色誤差が生じた。

表5.1 測色精度

No.	材質	光沢	ビデオ測色法			簡易型分光色差計			誤差		
			Hvs	Vvs	Cvs	Hss	Vss	Css	Hvs-Hss	Vvs-Vss	Cvs-Css
1	塗装	無	7.3R	7.1	10.1	3.7YR	6.6	9.9	-3.6	0.5	0.2
2	塗装	無	4.6R	5.2	3.4	5.2YR	4.9	3.4	-9.4	0.3	0.0
3	タイル	有	2.5P	7.6	0.7	9.3G	7.8	0.9	23.2	-0.2	-0.2
4	塗装	無	7.5YR	9.4	1.2	9.6YR	9.1	1.3	-2.1	0.3	-0.1

5.2 画像変換による色彩基準の表示

5.2.1 画像変換アルゴリズムの概要

色彩基準の禁止色データをエラーコード(EC)表として読み込み(表5.2)、本測色法で測色したマンセル値において、禁止色に該当する部分を他の色彩に変換して表示する。

各自自治体の色彩基準について、EC表を作成しておけば、各自自治体の色彩基準に対応した表

表5.2 エラーコード表

	Hmin	Hmax	Cmin	Cmax	EC
1	2	18	5.5	7	Y(警戒色)
2	18	20.5	1.5	5	Y
3	20.5	28	3.5	5	Y
4	28	30.5	1.5	5	Y
5	30.5	99.5	1.5	3	Y
6	99.5	100	1.5	7	Y
7	0	2	1.5	7	Y
8	99.5	100	7	13	R(注意色)
9	0	20.5	7	13	R
10	20.5	30.5	5	13	R
11	30.5	99.5	3	13	R

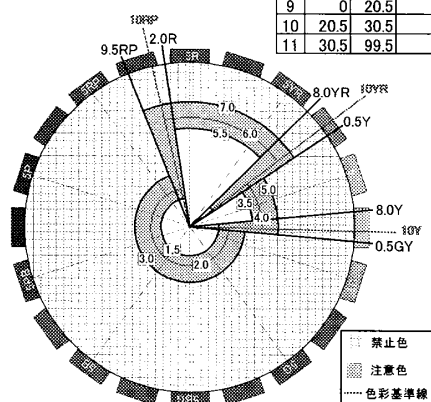


図5.2 禁止色・注意色

示が可能である。また、本測色の測色誤差を考慮し、禁止色前後の色彩を「注意色」とする。注意色の部分は、必要に応じて異なる方法で測色しないことを想定している。図5.2に京都市の色彩基準の禁止色と注意色の場合分けを示す。

5.2.2 画像変換例

実験日は2011年1月1日、13時～13時30分、天候は曇りであった。撮影地点は、京都市内の幹線道路沿いであり、京都市市街地景観整備条例によって「市街地型美観形成地区」に指定されている。撮影距離は約7mであった。

5.2.3 画像変換結果

図5.3に変換前の撮影画像と変換後の撮影画像を示す。変換後の画像では、中心の建物の外壁が禁止色であったため、赤色に変換された。

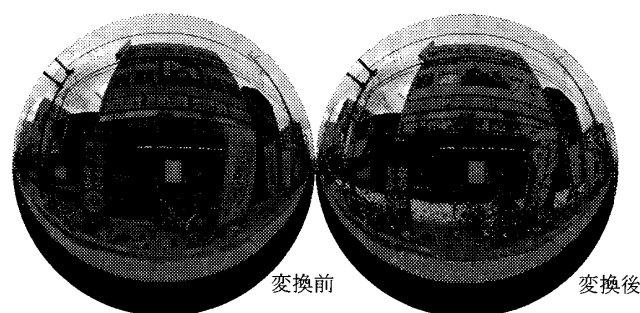


図5.3 画像変換結果

6. 結論

ビデオ測色法を応用し、魚眼レンズ付きデジタルカメラの撮影画像から、景観色彩のマンセル値を算出する、屋外での広範囲を対象とする測色法を開発した。精度検証を行い、一定の測色精度を確保した。また、景観基準を組み込んだアルゴリズムを開発し、景観評価への応用例を示した。

謝辞 本研究は科学研究費補助金（課題番号：20560548）による。

参考文献

- 1) 上谷芳昭：Measurement of CIE tristimulus values XYZ by color video images、日本建築学会計画系論文、No.543, pp25-31, 2001.5
- 2) Koichi IKEDA：Non-linear Uniform Colour Space Considering Non-linearity and Non-symmetry in Opponent Colour Response Mechanisms、Light & Vis.Env. Vol.25、No.2、pp51-63、2001

*1 京都大学工学研究科都市環境工学専攻修士課程

*2 京都大学工学研究科建築学専攻 准教授 工博

Graduate student, Kyoto University

Assoc. Prof., Kyoto University, Dr. Eng.