

街路景観の定量的分析に関する研究

明嵐政司

非会員 工博 土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6, E-mail:mei@pwri.go.jp)

著者は、古い町並みが保存されている埼玉県川越市の街路景観を分析対象として景観モデルの有効性を検証した。

キーワード: 景観, 定量分析, 眼球, 光学的モデル, 相対的色視差, 差分量

1. はじめに

これまでに提案されている景観の定量的分析手法は、大別すると2通りになる。一つは、心理学的手法から発展したアンケート調査に基づくSD法を代表とする統計分析手法¹⁾³⁾であり、もう一方は、数学的分析手法であるフラクタル次元⁴⁾や1/f揺らぎ⁵⁾などの手法である。前者は、帰納的手法、後者は演繹的手法である。しかし、両者にはいくつかの共通点を見いだすことが出来る。第一に、それらの分析手法による既存の研究論文では、景観を映し出した写真やスライドなどの二次元データを分析対象としている点である。景観とは、人間が視覚を通じて知覚することが出来る三次元空間であるので、このような二次元データに基づいたアンケート調査や数学的手法による画像解析手法では、景観から人間が受ける印象に対する正確な情報を再現しているとは言い難い。第二に、分析結果を景観の改善に反映させることが困難である意味では、これらの分析方法はともに不可逆的分析手法である。したがって、景観を評論する意味においては有効であっても、よりよい景観を創造するための工学的手法とは成り得ない。

著者は、人間の眼球を模倣することが出来る眼球モデルによって、古い町並みが保存されている埼玉県川越市を分析対象として三次元街路景観評価を行ったので、その結果を報告する。

2. 川越市におけるデータ収集

(1) 検証箇所

本研究では検証箇所として埼玉県川越市の一番街「蔵の町」(図-1)を選定した。当箇所には、1893年(明治26年)の川越大火の後、耐火性のある蔵が多数建築され、明治末期に、今のような蔵作りの町並みが

出来上がった。

また、対照箇所として同市中原町の商店街(図-2)を選定した。



図-1 検証箇所位置図 (川越市・一番街「蔵の町」)



図-2 検証箇所位置図 (川越市・中原町)

(2) 三次元モデルの作成

航空写真から建物の外形を起こし、地上から撮影したデジタルカメラ画像(図-3)を基に形状およびテクスチャーの作成(図-4)を行った。また、東京電機大学で作成された、中原町の3次元CGモデルをキャプチャーして作成した。(図-5)



図-3 デジタルカメラ画像(川越市・一番街「蔵の町」)



図-4 検証箇所のCGモデル(川越市・一番街「蔵の町」)



図-5 東京電気大学の3次元モデル(川越市・中原町)

3. 景観評価のためのレンズモデルの概要

本研究で用いたレンズモデルは、基本となるレンズモデルであるGullstrandの模型眼⁶⁾について、近軸光線追跡法⁷⁾により眼球の合焦点距離を求める手法で作成し、

それに水晶体モデル(調節休止時と極度調節時まで連続して計算できるようにした水晶体を二枚の球面レンズが組み合わさった構造と仮定したモデル)を組み込んだ(図-6)。さらに、波長ごとの屈折率を代入して、色視差(焦点距離)を連続値として算出する評価用のレンズモデルとした。

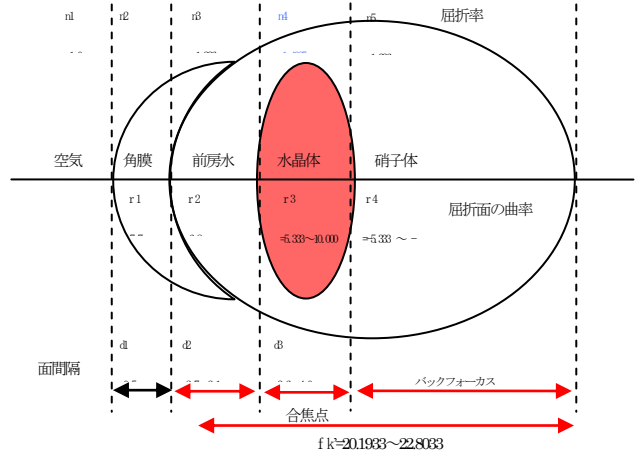


図-6 水晶体モデルを考慮したレンズモデル

4. 視覚特性評価値の算出

人間の眼は対象物の発する波長(=色)に依存して焦点距離が変わるという前提より、代表波長を算出した。評価用レンズモデルは写真の各画素に波長と距離が必要である。一般的に写真(デジタル画像を想定)は、RGBの3原色から構成されている。従って、RGBの値から代表波長 λ を算出することが必要となる。

(1) RGB色座標とXYZ色座標

RGB表示系は混色系を代表する表色系である。ただし、RGB表色系では等色関数が波長によって負になるため、計算が誤りやすいなど不便がある。そこで、便宜上等色関数がすべて正の値になるような座標変換を行いRGBに対応する新しい仮想的な3原色XYZが標準表色系となっている。RGBとXYZの変換については、行列式で変換される。式(1)は、光学特性S(3×3)や照明光E(3×3)を考慮したRGB→XYZの変換式(Hは3×3の変換行列)である。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = E \cdot S \cdot H \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

変換パラメータについては、光学特性S(3×3)や照明光E(3×3)の違いにより、いくつかの種類がある。式(2)は、色彩科学ハンドブック⁸⁾の変換行列式である。

$$E \cdot S \cdot H = \begin{bmatrix} 0.10816 & 0.068426 & 0.044148 \\ 0.039063 & 0.179324 & 0.002348 \\ 0.0 & 0.002207 & 0.218527 \end{bmatrix} \quad (2)$$

(2) XYZ色座標系と分光反射率

XYZ色座標系での表色値(XYZ)は、標準光源の相対分光分布 $S_d(\lambda)$ と測定した分光反射率 $\rho(\lambda)$ の積である反射光の相対分光分布 $P(\lambda)$ と、XYZ表示系の 2° 視野の等色関数 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ (図-7) から計算することができる。式(3)は、XYZの表色値の算出式である。

$$\begin{aligned} X &= k \int P(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda = \sum_{i=1}^n P(\lambda_i) \cdot \bar{x}(\lambda_i) \Delta\lambda \\ Y &= k \int P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda = \sum_{i=1}^n P(\lambda_i) \cdot \bar{y}(\lambda_i) \Delta\lambda \\ Z &= k \int P(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda = \sum_{i=1}^n P(\lambda_i) \cdot \bar{z}(\lambda_i) \Delta\lambda \end{aligned} \quad (3)$$

$$k = 100 / \frac{\int S_d(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda}{380} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n S_d(\lambda_i) \cdot \bar{y}(\lambda_i) \Delta\lambda}$$

$P(\lambda)$: 反射光の相対分光分布

$S_d(\lambda)$: 標準光源の相対分光分布

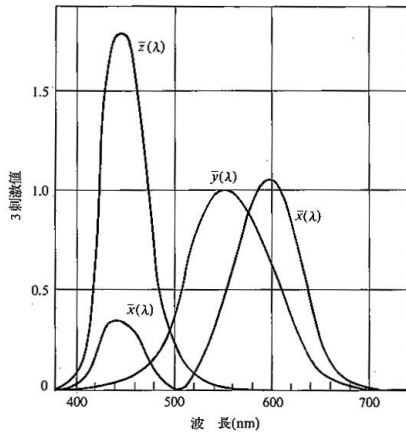


図-7 XYZ表色値の算出式⁹⁾

(3) 代表波長の推定

a) 標準色表

XYZ色座標系と代表波長の関係を抽出するために、標準色票 (図-8) を用いた検討をした。標準色票とは、XYZの測定値や相対分光分布が明示されている色紙である。



図-8 使用した標準色表

b) 分光反射率を正規分布とするモデル

本研究では、XYZ色座標系の表色値から代表波長 μ を算出する。そこで、各色の相対分光分布 $P(\lambda)$ が正規分布 $\alpha N(\mu, \sigma^2)$ すると仮定したモデルを用いた。このモデルでは、物体の反射率分布を、そのピーク波長を中心とした正規分布にフィッティングさせる為、反射率分布に複数のピークがある場合、妥当な結果が得られない。この為、ピークが2つある場合は、その平均値をピークと仮定した。XYZ色座標系の推定表色値 $(\hat{X}_{10}, \hat{Y}_{10}, \hat{Z}_{10})$ は、代表波長 μ による正規分布と仮定すると次式で示すことができる。

$$\begin{aligned} \hat{X}_{10} &= \int P(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) d\lambda = \alpha \int N(\mu, \sigma^2) \bar{x}_{10}(\lambda) d\lambda \\ \hat{Y}_{10} &= \int P(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda = \alpha \int N(\mu, \sigma^2) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda \\ \hat{Z}_{10} &= \int P(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) d\lambda = \alpha \int N(\mu, \sigma^2) \bar{z}_{10}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (4)$$

XYZデータの実測値と推定値の自乗差 (S_X, S_Y, S_Z) は、次式で定義される。

$$\begin{aligned} S_X &= (X_{10} - \hat{X}_{10})^2 \\ S_Y &= (Y_{10} - \hat{Y}_{10})^2 \\ S_Z &= (Z_{10} - \hat{Z}_{10})^2 \end{aligned}$$

$$S_x = (Z_{10} - \hat{Z}_{10})^2 \quad (5)$$

最適な推定値の条件は、

$$\frac{\partial S_x}{\partial \mu} = \frac{\partial S_y}{\partial \mu} = \frac{\partial S_z}{\partial \mu} = 0, \quad \frac{\partial S_x}{\partial \sigma^2} = \frac{\partial S_y}{\partial \sigma^2} = \frac{\partial S_z}{\partial \sigma^2} = 0 \quad (6)$$

である。

式(6)を用いて図-8で示した各標準色表に対して代表波長 μ の算出を行った。その結果を表-1に示す。

表-1 色指標を用いた代表波長の算出

標準色指標	X	Y	Z	α	$\mu =$ 代表値 (nm)	σ	備考
5R	21.511	11.711	4.291	0.843	665.889	44.815	
5YR	52.482	43.777	8.988	1.000	605.831	57.218	
5Y	55.750	59.015	8.333	1.000	582.518	50.105	
5GY	25.337	34.936	6.941	0.526	559.225	48.217	
5G	5.628	12.130	8.779	0.211	516.374	41.432	
5BG	6.109	11.068	16.240	0.259	496.823	48.552	
5B	7.833	11.069	26.449	0.376	472.199	58.534	
5PB	10.903	10.906	34.912	0.800	409.411	89.999	
5P	15.667	11.297	27.822	0.568	453.641	89.930	
5RP	18.835	10.723	15.044	0.395	527.208	90.000	

(4) RGB値からXYZ値への変換⁹⁾

本研究では、カメラの種類が判っている場合には、算出した変換行列を、そうでない場合には、色彩科学ハンドブック⁹⁾の変換行列を用いた。

a) 川越市一番街「蔵の町」のモデルについて

川越市一番街「蔵の町」のモデルにおけるRGB値(信号値)からXYZ値(表色値)への変換は、検証箇所をデジタルカメラで撮影した画像を用いたため、外光での変換式を用いた。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = E \cdot S \cdot H \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$E \cdot S \cdot H = \begin{bmatrix} 0.175 & 0.118 & -0.0631 \\ 0.0996 & 0.221 & -0.103 \\ -0.00103 & 0.0181 & 0.207 \end{bmatrix}$$

b) 川越市中原町のモデルについて

東京電機大学が作成した川越市中原町の3次元モデルのテクスチャ画像は、撮影に用いたカメラの諸元が不明である。そこで、

RGBからXYZへの変換式は、色彩科学ハンドブック⁹⁾の変換式(ただし、8bit値で使用できるように、行列値の調整を行った)を用いた。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = E \cdot S \cdot H \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$E \cdot S \cdot H = \begin{bmatrix} 0.10816 & 0.068426 & 0.044148 \\ 0.039063 & 0.179324 & 0.002348 \\ 0.0 & 0.002207 & 0.218527 \end{bmatrix}$$

(5) XYZ値から代表波長の算出

(3)b)では、色指標のXYZ値から非線形最小近似で代表波長を算出したが、写真を用いた評価など多色の場合は算出に時間を要するため、(3)b)の表-1のXYZ値と非線形最小自乗近似で算出した代表波長を用い、XYZ値の各値と代表値との相関解析を行った。相関解析の結果を図-9に示す。図-9より、Z値と代表波長の相関が高いことが判った。したがって、図-9の「Z値-代表波長」の回帰式を用いてZ値から代表波長を算出した。

$$\mu(x, y) = -6.5766z(x, y) + 632.69 \quad (9)$$

μ : 代表波長

$z(x, y)$: Z値 (x, y)は画像内での位置を示す。

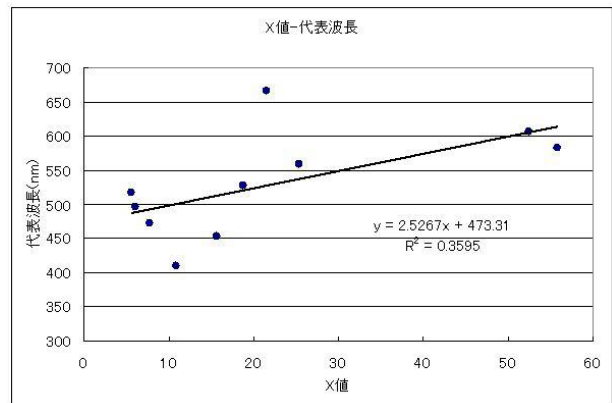


図-9(1) 相関解析結果 (X値と代表波長)

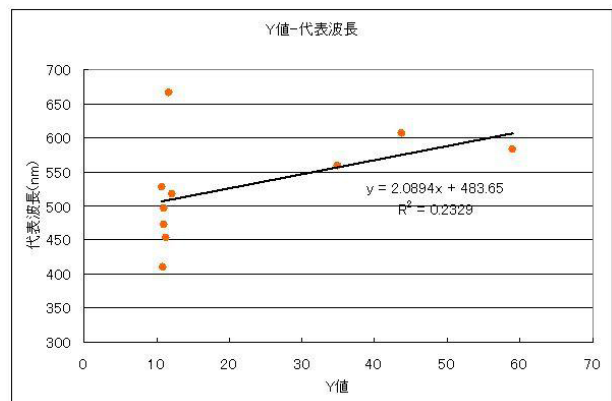


図-9(2) Y値と代表波長

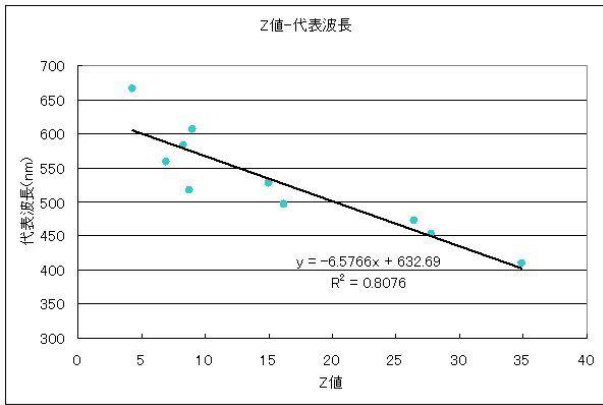


図-9 (3) Z値と代表波長 (相関が0.8と高い)

(6) 代表波長と実距離から色視差(焦点距離)の算出
評価用レンズモデルの式

$$I(x, y) = a(x, y) \times \ln(L0(x, y)) + b(x, y) \quad (10)$$

$I(x, y)$: 焦点距離(mm)

$L0(x, y)$: 視距離(mm) = 対象物までの距離 (m)

$a(x, y)$: LN項 $b(x, y)$: 定数項

(x, y) : 画像内での位置

a) レンズモデルへ波長ごとの屈折率の代入

表-2に示す部位ごとの屈折率から、これを近似する式(表-3)を求めた。次いで、この式から算出した波長毎の屈折率を図-6のレンズモデルに代入し、波長毎の視距離の違いによる焦点距離(mm)を算出した。算出結果を図-10に示す。

表-2 Herzberger formula¹⁰⁾での各部位ごとの波長に対する屈折率

波長	0.365 μ m	0.4861 μ m	0.563 μ m	1.014 μ m
角膜	1.3975	1.3807	1.3744	1.3668
前房水	1.3593	1.3422	1.3354	1.3668
水晶体	1.4492	1.4263	1.4175	1.4097
硝子体	1.3565	1.3407	1.3341	1.3273

表-3 各部位ごとの近似曲線

	近似式 (屈折率 n 波長 λ)
角膜	$n = 1.3647\lambda^{-0.0206}$
前房水	$n = 1.3256\lambda^{-0.0218}$
水晶体	$n = 1.4062\lambda^{-0.0256}$
硝子体	$n = 1.3252\lambda^{-0.0203}$

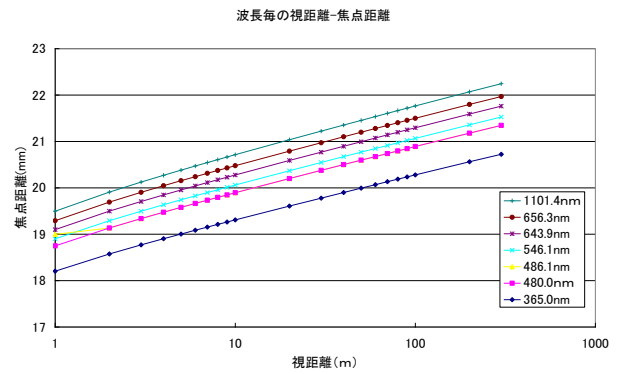


図-10 波長毎の視距離と焦点距離

b) 波長毎の屈折率を考慮した近似式の作成

図-10をもとに、波長毎に視距離-焦点距離の近似式を作成した。視距離と焦点距離間は、対数近似による相関が高いことから、波長毎に対数近似式を作成した(図-11)。

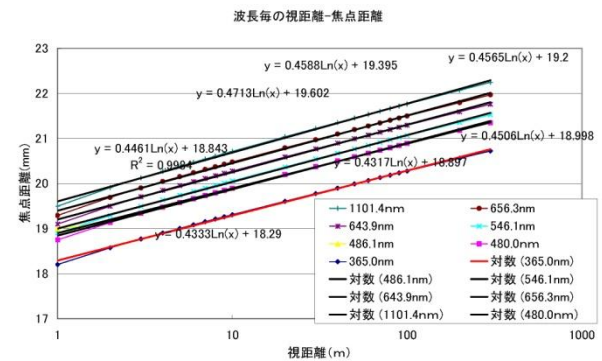


図-11 波長毎の対数近似式

c) 波長-視距離-焦点距離を推定する為の近似式

波長-視距離-焦点距離は、図-11に示す視距離-焦点距離間の対数近似式におけるLN項 $a \cdot$ 定数項 b と波長間で対数近似による相関が高いことから、波長からLN項 a と定数項 b を算出し(表-4)、波長-視距離-焦点距離の近似式を作成した(図-12)

表-4 各波長のLN項aと定数項b

波長	a LN項	b 定数項	備考
365.0	0.4333	18.29	
480.0	0.4461	18.843	
486.1	0.4317	18.897	
546.1	0.4506	18.998	
643.9	0.4565	19.2	
656.3	0.4588	19.395	
1101.4	0.4713	19.602	

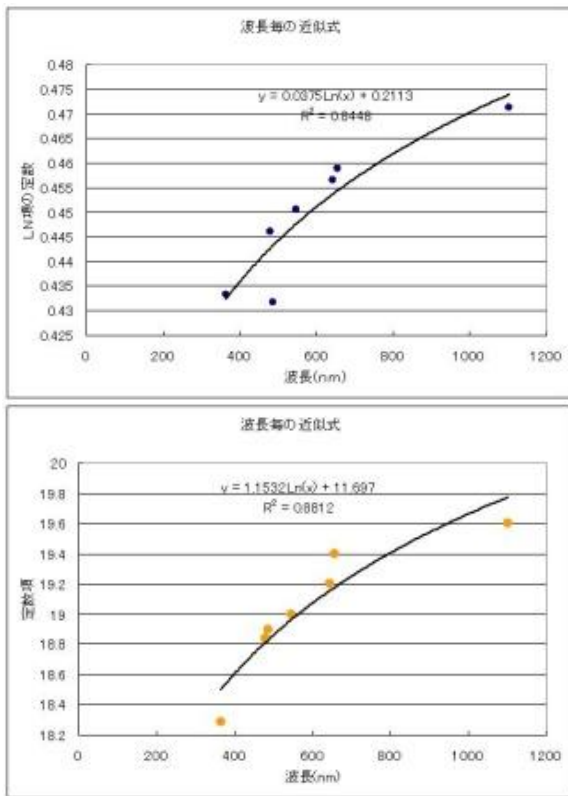


図-12 波長ごとのLn項aと定数項bの対数近似式

d) 評価用レンズモデルの作成

画像を用いた評価を考えた場合画像は多色であるため色視差も連続値となると考えられる。そのため、写真の各画像(x, y)の波長 $\mu(x, y)$ と対象物までの距離 $L0(x, y)$ を基に、焦点距離 $L1(x, y)$ を連続値として算出する評価用のレンズモデルを次のようにとりまとめた。

$I1(x, y) = \alpha(x, y) \times Ln(L0(x, y)) + b(x, y)$ (10)(再掲)
図-12より

$$a(x, y) = 0.0375Ln(\mu(x, y)) + 0.2113 \quad (11)$$

$\mu(x, y)$: 波長(nm)

$$b(x, y) = 1.1532Ln(\mu(x, y)) + 11.697 \quad (12)$$

$\mu(x, y)$: 波長(nm)

(7) 色視差(焦点距離)を基にした実距離との差分量の算出

算出した焦点距離 $I1$ と、3次元モデルを焦点距離 $I0$ でレンダリングしたカメラ中心からの距離画像を基に、実距離 $L0$ との差分量を算出した。

差分量 S は補正距離 $L1$ を考え、 $I1 : L1 = I0 : L0$ より下式を用いて算出した。

$$S(x, y) = L0(x, y) - I1(x, y) * L0(x, y) / I0 \quad (13)$$

$L0(x, y)$: 実距離

$I1(x, y)$: 色視差を考慮した焦点距離

$I0$: レンダリング時の焦点距離

5. 3次元モデルを用いた評価値の算出と評価

第4章で検討した評価値を基に、3次元モデルの距離画像とRGB画像から評価値を算出した。以下に手順を示す。

- ① 3次元モデルから基準の焦点距離による距離画像(=Z要素)の作成。
- ② 距離画像とRGB値を基に、代表波長の算出。
- ③ 代表波長ごとの焦点距離を基に、修正距離の算出。
- ④ 差分量から統計値の算出(最大, 最小, 平均値, 標準偏差など)。

差分量は算出後に、画像1枚での値にするために、無限遠の箇所を除いた、最小値, 最大値, 平均値, 標準偏差等の統計値を算出した(表-5)。綺麗な町並みである川越市一番街の方が、比較対象となった、川越市中原町よりも差分量の平均値が小さかった。

これは、両眼の像のずれから、認知される対象物までの距離と単眼での焦点を合わせたときに得られる対象物までの距離の差が小さかったことを示している。あるものを2通りの方法で測るときに結果が一致している方が望ましい。ゆえに、綺麗な町並みとされる川越市一番街の方が、より評価が高いと思われる。

今後は、古い町並みが保存されている他の場所でも、データを収集したい。

6. 結論



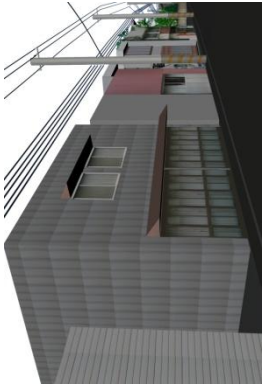

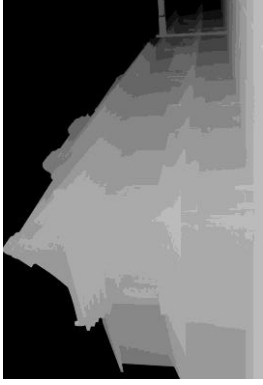

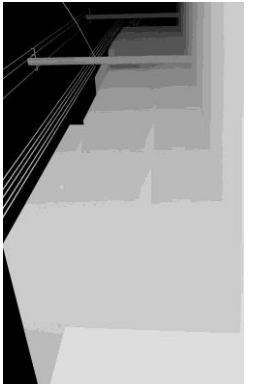
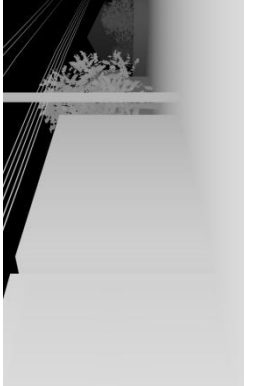
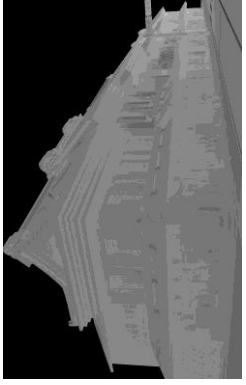
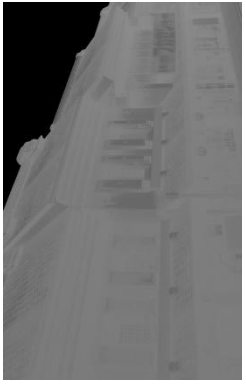
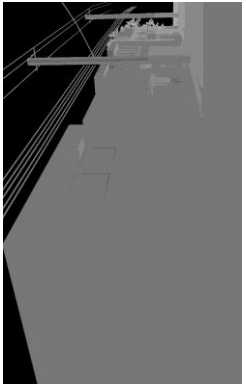
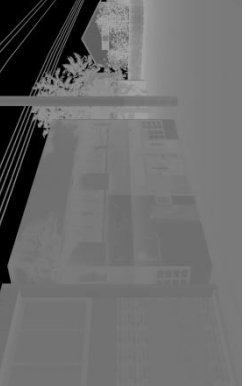
- ・波長ごとの焦点距離(色視差)を求めるレンズモデルを作成した。
- ・デジタル画像のRGBデータから、XYZ色座標を経て、代表波長を求める手法を提示した。
- ・町並みの3次元モデルのついて、実距離と色視差を基に算出した修正距離の差を求めたところ、綺麗な町並みといわれているところの差分量が小さく、本モデルによる景観評価の可能性が示された。

参考文献

- 1) Osgood, C.E. Semantic differential technique in the comparative study of cultures, Amer. Anthropologist, Vol.66, pp171-200
- 2) Osgood, C.E. Studies on the generality of affective meaning systems, Amer. Psycho., Vol.17, pp10-28, 1964
- 3) Thayer R.L, Freeman C.M. Altamont. Public perceptions of a wind energy landscape, Landscape Urban Planning Vol. 14 No. 5, pp379-398, 1987
- 4) Pentland A.P. Fractal-based description of natural scenes, IEEE Trans Pattern Anal Mach Intel, Vol.6 No.6, pp661-674, 1984
- 5) Yan L, Sato S. Quantitative method for evaluation and analysis of canals, Computer-Aided Civil Infrastructure Engineering, Vol.17 No. 3, pp203-210, 2002

- 6) A. Gullstrand, appendix in H. von Helmholtz. Handbuch der Physiologische Optik, 3rd ed., Voss Hamburg, 1909, Bd. 1, p299
- 7) 高橋 友刀 (2005) レンズ設計第3章 P39-45 東海大学出版
- 8) 日本色彩学会編 色彩科学ハンドブック 第2版 P1141 東京大学出版
- 9) 高木 幹雄・下田 陽久 (1991) 画像解析ハンドブック Handbook of image analysis 東京大学出版会
- 10) R. Navarro, J. Santamaria, and J. Bescos. Accomodation-dependent model of the human eye with asphrics, Vol 12, No. 81, August 1985 / J. Opt. Soc. Am. A, pp1275

表一5 川越市一番街「蔵の町」と川越市中原町の差分量

地区	川越市一番街「蔵の町」・遠景	川越市一番街「蔵の町」・車線の反対から	川越市中原町・遠景	川越市中原町・車線の反対から
RGB画像				
距離画像				
差分画像				
最大値	2.026(m)	2.296(m)	2.027(m)	2.027(m)
最小値	-1.744(m)	-0.996(m)	-1.897(m)	-1.873(m)
平均値	0.043(m)	0.167(m)	0.255(m)	0.180(m)
標準偏差	0.342(m)	0.223(m)	0.243(m)	0.348(m)