

# 大気の状態を考慮した景観画像の作成

Generation of Landscape Color in Consideration of Atmospheric Effect

村井俊治\*・青島正和\*

Shunji MURAI and Masakazu AOSHIMA

近年景観評価の重要性が認識され始めている。しかしながらその評価に用いる景観モデルとしてのパースや模型、コンピューターグラフィックス等は、モデルの色や明るさを人間の感性により決めているのが現状である。これに対し本文は、各種の大気現象の客観的なモデル化をめざして、光学理論による空の青や夕焼けの赤、雨によるボケの状況等の算定方法の紹介と、その新しい利用方法について示した。

## 1. はじめに

土木分野で景観設計の重要性が叫ばれ初めてから20数年がたつ。この間その分析に用いる景観モデルの作成方法は大幅に進歩し、従来のパースや模型からフォトモンタージュ等を経て、最近ではコンピュータグラフィックス(CG)やバーチャルリアリティー(VR)と呼ばれる高度な方法も出てきた。しかしながらCGやVRは近景である人工構造物のシミュレーションを主対象とする事が多く、その背景としての任意の自然の景観を画像化する面では、まだまだ開発の余地が残されている。このうち大気の状態のシミュレーション方法は、ここ2~3年の研究により急速に発展<sup>1)~4)</sup>をとげつつあるが、計算時間が非常にかかったり、実際の雲水量との対比がないのが現状であり、今後は、実用性の追求が必要と思われる。

大気は青空や夕焼けあるいは遙青と呼ばれ、人間が見て心地よく感じる景観を作り出すファクターであり、理論的かつ実用的に取り扱えると便利である。この点より本研究では、実際的な利用のしやすさを主眼に、多少の理論的厳密性に拘泥せず、大気の状態を考慮した景観画像の簡易作成方法を検討した。本研究関連の既往の諸理論や定数は、まだ確立されているとは言えず、理論値と実測値が合わなかったり定数値が文献によりバラバラであったりしている。この面からも実用的な工夫が必要である。

## 2. 研究の目的と仮定条件

大気のない月世界は、白と黒の強烈なコントラストの世界である事からもわかるように、青空が広がった総天然色の地球は大気のお蔭なのである。景観はこの他に太

陽や物体反射率にも関係するが、大気の効果は絶大である。大気状態とあいまって景観を決定する要素の研究は、各分野にわたって多数あり非常に学際的な分野でもある。また、これらは必ずしも確立されてはいないし統一されてもいない。

景観図の作成に重要な意味を持つ大気の色に関しては、従来は感覚的に決めることが多かった。本研究では次に示す図1のような手順で、太陽と大気と物体の基本要因を対象として実用的な景観図の作成方法の検討を行う。

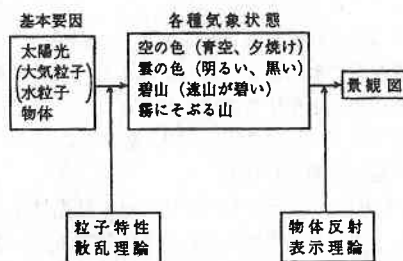


図1 大気を考慮した景観図の作成

図1における各種気象状態で発生する色は、大気粒子や水粒子による太陽光の散乱で起きる。この効果を表す粒子特性、散乱理論として、本論文では次の関数を仮定している。

$$\begin{aligned} \text{ある波長の天空光} &= J_d \text{ (太陽光, 大気粒子, 水粒子)} \\ &= J_b \text{ (太陽光, 消散係数 } \sigma(\alpha \times \text{レーリー全散乱 } \sigma_r \\ &\quad + \beta \times \text{ミー全散乱 } \sigma_m)) \end{aligned}$$

また表示理論とは、散乱理論等から得られた光の計算値を、人間が見た状態を表す感覚値に直す事である。これには後述する S. S. スチーブンスの指数則を採用した。

\*東京大学生産技術研究所 第5部

### 3. 諸定数の設定

#### 3.1 太陽に関連する定数

太陽に関する諸定数は、太陽位置と大気圏外法線照度である。

##### ア. 太陽の位置の計算

太陽位置は方位角 A と高度 h で表され、よく知られている次式<sup>5)</sup>で計算できる。

$$\begin{aligned} \sin h &= \sin \psi \sin \delta + \cos \psi \cos \delta \cos t \\ \sin A &= \cos \delta \sin t \sec h \\ \cos A &= (\sin h \sin \psi - \sin \delta) \sec h \sec \psi \end{aligned} \quad (1)$$

- ψ : 緯度
- δ : その月日の赤緯
- t : その時刻の時角

##### イ. 大気圏外法線照度

最も基本的な定数であるはずの大気圏外法線照度<sup>6)~10)</sup>は、文献により数値が異なるので、本研究では平均的な値として 134,000 lx とする。なお太陽光の色はほぼ白色 (xy 色度図で 0.314, 0.330)<sup>6)</sup>である。

#### 3.2 光のスペクトル

光の 3 原色としては、波長の短い方<sup>11)~15)</sup>から青、緑、赤であるが、これがどの程度の波長かも文献により値がバラバラである。本研究では代表波長として青を 450 nm、緑を 570 nm、赤を 700 nm と定めた。この代表波長は空の色を決めるもっとも重要な値なので、値によりどの位色が変わるか試算してみた所、その違いは結果に結構影響を与える事が分かった。今後の検討課題である。

#### 3.3 大気

大気に関する定数は大気分子の直径と個数、大気層の厚さおよび屈折率である。

##### ア. 大気分子の直径と個数

大気の大部分を占める窒素と酸素について以下の表 1 に示す。

表 1 窒素と酸素の直径と単位体積中個数

大気	直径	単位体積中個数
窒素	3.7Å	2.7×10 <sup>19</sup> ヶ/cm <sup>3</sup>
酸素	3.46Å	

##### イ. 大気層の厚さ

大気層の厚さは太陽光が通過する大気量 (散乱される量) に関係する。

鉛直方向の厚さは等密大気厚さで表され、約 8 km<sup>16)</sup>

である。

斜め方向の厚さは等密大気厚さに対する比 m (光学的空気量または大気路程)<sup>17)</sup>で表される。地表面から計った角度 θ を用いると、θ が大きい時は m = cosec θ で良いが、θ が小さい時は使えない。m の値は次に示す表 2 のようであるので、θ が 10° 以下の小さな角度の時は cosec の代わりに m を使用すればよい。

なお θ = 0 の時の計算は次式でできる。

$$L = \sqrt{2Rr + r^2} \quad (2)$$

R : 地球の半径 = 6,637 km

r : 等密大気厚さ ≈ 約 8 km

表 2 大気路程

θ	m	cosec θ
0	39.7	∞
1	26.96	57.3
2	17.79	28.65
3	15.36	19.11
4	12.44	14.34
5	10.39	11.47
7	7.77	8.21
10	5.60	5.76
20	2.90	2.92
30	2.00	2.00
40	1.55	1.56
50	1.30	1.31
70	1.06	1.06
90	1.00	1.00

##### ウ. 屈折率

屈折率は次式<sup>18)</sup>で与えられる。

大気の屈折率 n<sub>a</sub>

$$\begin{aligned} (n_a - 1) \times 10^8 &= 6432.8 + 2949810 / \left(146 - \frac{1}{\lambda^2}\right) \\ &+ 25540 / \left(41 - \frac{1}{\lambda^2}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

水の屈折率 n<sub>s</sub>

$$n_s = 1.333$$

#### 3.4 水粒子

水粒子としては、雨<sup>19)</sup>と霧および雲が考えられる。このうち霧と雲は同じ範疇に入り、これらの諸元については表 3 と表 4 が得られる。これらの表は、表の下に示す各種文献をまとめたものであるが、文献により値が異なるので、表中に矛盾のあることを指摘しておきたい。特に直径と濃度から求めた水量と一般値として書いてある水量とは一致しないことが多い。

また後ほど使用する標準的な雲の直径と濃度は、層雲相当とすると筆者が読んだ各種の文献より次のようである。この値は表 4 で示されている値の中では小さい方にはいるが、専門家に対するヒアリング結果も考慮したも

なので、このようにする。

直径 10 $\mu$  (0.01 mm)  
濃度 200個/cc

表3 雨の諸元

水粒子	直径	体積	落下速度	雨量	単位体積中 個数	単位体積中 総体積
土砂降り雨	3.0	14.1	806	60	147	2073mm <sup>3</sup> = 2.07cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
非常に強い雨	2.0	4.19	649	40	409	1.71
強雨	1.4	1.44	517	20	746	1.07
並雨	1.0	0.523	403	10	1317	0.689
小雨	0.4	0.0188	160	3	27704	0.521
細雨	0.2	0.00419	71	1.5	140060	0.587
霧雨	0.1	5.24 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	25.6	0.5	1.04 $\times$ 10 <sup>6</sup>	0.545

表4 霧と雲の諸元

種類	直径	濃度	水量	高さ
放射霧	数 $\mu$ m~数十 $\mu$ m (濡れた)30 $\mu$ m (乾いた)10 $\mu$ m	数ヶ~数百個/cm <sup>3</sup>	0.01~1g/m <sup>3</sup> (海霧)0.2~2g/m <sup>3</sup>	数十m~200m 50m~100m (移流霧)数百m
積雲 (大陸性)	10 $\mu$ m	200~300個/cm <sup>3</sup>	1~3g/m <sup>3</sup>	200~700m (時に2km)
層雲・ 高層雲	14~26 $\mu$ m 18 $\mu$ m 9 $\mu$ m	75~180個/cm <sup>3</sup> 140個/cm <sup>3</sup> 50個/cm <sup>3</sup> 260個/cm <sup>3</sup>	0.4~0.5g/m <sup>3</sup> 0.05~0.5g/m <sup>3</sup>	500~1200m 300~500m 500m
積乱雲	20 $\mu$ m	100個/cm <sup>3</sup>	1~3g/m <sup>3</sup> (時として5g/m <sup>3</sup> )	12~15km 3~10km 1~10km

生活の中の気象学  
気になる気象の話  
気象をはかる  
登文社  
成山堂  
日本規格協会  
気候学気象学辞典  
動気候学  
気象の事典  
二宮書店  
岩波書店  
平凡社

3.5 全天空照度

各種の大気状態における全天空照度<sup>20)~22)</sup>も、文献により値が異なる。ここでは表5に示す4種の文献から、右欄に示す全天空照度を決めた。この値は、景観図で最も明るい時(白地)の明るさを35,000 lxと考えるもので、他の色は明るさに応じだんだん暗くなるようにすれば各種状態の景観が書ける。天頂にある太陽を書く時等は35,000 lxを越えるが、キラキラ輝く太陽を書くことはめったにないので35,000 lxで表現する。

表5 全天空照度

建築学会設計用	CIE	建築設計資料作成	ホブキンス	本論文
特に明るい				
50000				
明るい	幾分明るい曇	モヤのある晴天	一般平均的曇	明るい
30000	25000	32000~40000	18000	35000
普通	晴い曇	普通晴天	濃い曇	普通曇
15000	15000	22000~32000	7000	20000
快晴青空		快晴晴天		快晴
10000		13000~22000		12000
晴い		幾分明るい曇		晴い
5000		23000~33000		7000
非常に晴い		晴い曇		非常に晴い
2000		12000~23000		2000

単位: lx

4. 景観図作成用日射理論の吟味

ある地表面における日射量は直達光と天空光を足したもので表される。

大気圏外に到達した太陽光は、大気層に入るにしたがって散乱され、散乱成分は天空光として、非散乱成分は直達光として地表に届く。この時大気による吸収も考えられるが、可視光線に対しては吸収が極小<sup>23)</sup>なので本研究では無視した。

4.1 日射

ア. 直達光

直達光の照度は、次節で述べる散乱理論から得られる大気透過率Pを用いて、次のブーゲの式で表される。

$$J_n = J_0 P^m \tag{4}$$

m: 光学的空気量 (= cosec h: 太陽高度)

P: e<sup>- $\sigma$</sup>

$\sigma$ : 消散係数 (次節参照)

(ブーゲの式の時  $\sigma = \sigma_r + \sigma_m$ )

イ. 天空光

天空光の計算式は多数あるが、実測値と完全に一致するものはまだない。ここでは景観図の作成に適した天空光の算定式を示す。

図2は従来用いられている代表的な4種の天空光の算定式<sup>24)</sup>を、大気透過率に応じて計算したものである。

図2と次の条件から、景観図作成に適する天空光の照度の算定式を決定する。

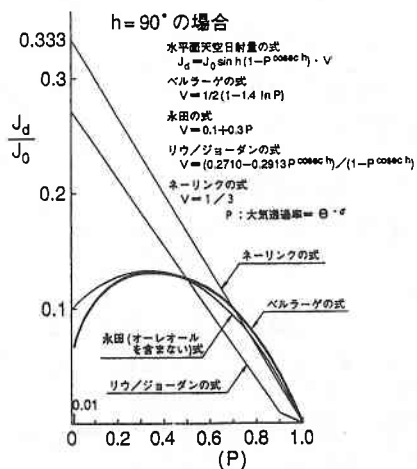


図2 天空光の算定式

条件

1 濃い曇は暗い (大気透過率が低いと天空は暗い)

2 最も明るい天空光を35,000 lx とする。

3 快晴は12,000 lx とする。

条件1を満たすのは永田の式とベルラーゲの式である。したがって両式について、条件2と条件3を満たすかどうか計算してみた所、両式<sup>25)</sup>とも2倍すれば比較的良好な結果を与えることがわかった(表8参照)。特にベルラーゲの式は小さい誤差で表すことが出来る。

表 8

式	状 態	大気透過率 P	天空光 Jd (lx)	Jd×2 (lx)
ベル ラー ゲ	最も明るい	0.37	17688	35376
	快晴	平均 0.895	平均 6089	12179
永 田	最も明るい	0.3	17822	35644
	快晴	平均 0.895	5185	10370

ベルラーゲの式<sup>26)</sup>は、レーリー散乱の2次散乱まで考慮した上で得られた理論式であり、建築関係でしばしば使われている有名な式である。これらより、ここではベルラーゲの式を2倍した次式で天空光を表すことにする。(今後本式を修正ベルラーゲの式と呼ぶ)

$$Jd = J_0 \sin h \frac{1 - P^{\cos h}}{1 - 1.41_n P} \quad (5)$$

### 4.2 散乱

散乱は大気粒子によるものと、水粒子によるものがある。前者はレーリー散乱と呼ばれ、後者はミー散乱と呼ばれる。ここでは両散乱の場合の消散係数σを求める。

#### ア. レーリー散乱

レーリー散乱の方向別散乱量の式と消散係数の算定式<sup>16), 27), 28)</sup>を示す。

$$I_\theta / I_0 = \frac{8\pi^4 a^6}{R^2 \lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 (1 + \cos^2 \theta) \quad (6)$$

- a : 粒子半径
- m : 屈折率比
- λ : 光波長
- θ : 散乱方向
- R : 粒子との距離

消散係数については、著者によって定義が異なる。たとえば光学技術ハンドブック(朝倉書店)では単位体積中の粒子の散乱量を表しているが、大気科学講座1(東京大学出版会)では等密大気厚(8 km)を掛けた鉛直方向の全散乱量を示す値となっている。ここでは、後者を採用した。前者を表わす時は特に単位体積当り散乱係

数という。

$$\sigma_r = [32\pi^3 (n_a - 1)^2 H / 3N\lambda^4] f \quad (7)$$

H : 等密大気厚さ (8 km)

n<sub>a</sub> : 空気の屈折率

N : ロシュミット数 (=2.7×10<sup>19</sup>個/cm<sup>3</sup>)

λ : 光の波長

f : 補正係数=1.18

#### イ. ミー散乱

ミー散乱についても方向別散乱量の式と消散係数の算定式<sup>23), 29)</sup>を示す。

Mie 散乱基礎式

$$I_\theta / I_0 = \frac{\lambda^2}{8\pi^2 R^2} (i_1 + i_2) \quad (8)$$

$$i_1 = \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} \{a_n \tau_n + b_n \pi_n\} \right|^2$$

$$i_2 = \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} \{b_n \tau_n + a_n \pi_n\} \right|^2$$

ここで

$$a_n = \frac{S_n(\beta) S_n(\alpha) - m S_n'(\alpha) S_n(\beta)}{S_n(\beta) \Phi_n(\alpha) - m \Phi_n(\alpha) S_n(\beta)}$$

$$b_n = \frac{m S_n'(\beta) S_n(\alpha) - S_n(\alpha) S_n(\beta)}{m S_n(\beta) \Phi_n(\alpha) - \Phi_n(\alpha) S_n(\beta)}$$

$$S_n(\alpha) = \sqrt{\frac{\pi \alpha}{2}} J_{n+1/2}(\alpha)$$

$$C_n(\alpha) = (-1)^n \sqrt{\frac{\pi \alpha}{2}} J_{-(n+1/2)}(\alpha)$$

$$\Phi_n(\alpha) = S_n(\alpha) + i C_n(\alpha)$$

$$\pi_n = \frac{1}{\sin \theta} P_n^{(1)}(\cos \theta)$$

$$\tau_n = \frac{\partial}{\partial \theta} P_n^{(1)}(\cos \theta)$$

J : Bessel 関数

P<sub>n</sub><sup>(1)</sup> Legendre の陪関数

α = 2πa/λ a : 粒子半径 λ 波長

m = μ<sub>2</sub>/μ<sub>1</sub> μ<sub>1</sub>, μ<sub>2</sub> 媒質および粒子の光の屈折率

β = mα

ミー散乱の消散係数は直径10μ程度以上の水粒子に使用可能な次式とする。

$$\sigma_m = 2\pi \cdot r^2 \cdot N \quad (9)$$

r : 水粒子半径

N : 単位面積柱当たり粒子総数

5. 空 色 の 発 生

5.1 色 の 発 生 方 法

青空や夕焼けの色は、太陽光の散乱の状況を波長毎に再現すればよい。つまり各色の大気圏外法線照度を  $134,000/3=44,667 \text{ lx}$  とし(10)式で計算する。(10)式に使う大気透過率  $P$  は 2 章で述べた消散係数の式で  $\alpha=1$ ,  $\beta=0.3166$  とすればよい。ここで  $\beta$  は普通曇時の全天空照度  $20,000 \text{ lx}$  が、厚さ  $400 \text{ m}$  の標準雲の時に得られるようにする換算係数である。

$$J_d = 44667 \times \sin h \frac{1 - P^{\cos \theta}}{1 - 1.41_n P} \quad (10)$$

$$P = e^{-(\alpha + 0.3166\sigma_m)} \quad (11)$$

$\sigma_c$  : レーリー散乱の消散係数

$\sigma_m$  : ミー散乱の消散係数

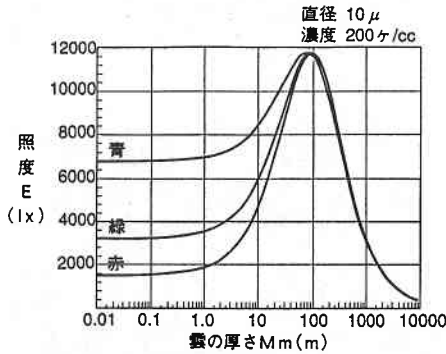


図 3 曇の状態と空の色の計算例

5.2 天 空 光 の 分 布 式 の 決 定

ア. 最大天空光

(10)式から得られる平均天空光を用いる。

イ. 天空光の照度分布

天空光は人が見る角度に応じて照度が変わる。青空の時は天頂が暗く水平線が明るい、薄曇の時は天頂が明るく水平線が暗い、濃い曇では差がない。この現象は大気に含まれる水分量を用いて次のように説明できる。

平均天空光の式より、大気のない真っ暗な空は大気が増えるに従って青空になり、そして水粒子(雲)が増えるに従って初め明るくなる。その後は曇量(水分量)が増えるに従って暗くなる。

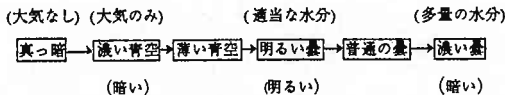


図 4 空の色の見え方

空を見る場合、天頂は見ている水分が少なく、水平線付近は多い。つまり青空では天頂は水分が少ないので暗く、水平線はやや水分が多いので明るい。かつ水分の多い水平線は白っぽくなる。明るい曇では天頂の水分が適当なので明るく、水平線では水分が多いので暗くグレーになる。曇の量が多く暗くすると差がなくなる。

これらを表す式は CIE (国際照明委員会)<sup>30)</sup> が基準を決めている。

ア. 曇の時

$$L_o = L_z \frac{1 - 2 \sin \zeta}{3} \quad (12)$$

イ. 晴の時

$$L_c(\zeta, \alpha) =$$

$$\frac{\{0.91 + 10 \exp(-3\gamma) + 0.45 \cos^2 \gamma\} \{1 - \exp(-0.32 \sec \zeta)\}}{0.27385 \{0.91 + 10 \exp(-3z_0) + 0.45 \cos^2 z_0\}} L_z \quad (13)$$

ただし、 $\zeta$  は計算点  $P$  から見た天頂と天空要素  $P_c$  のなす角、 $\alpha$  は天空要素の  $x$  軸からの方位角、 $\gamma$  は太陽と天空要素のなす角、 $z_0$  は太陽の天頂からの角、 $\theta$  は太陽高度、 $L_z$  は天頂の輝度値である。

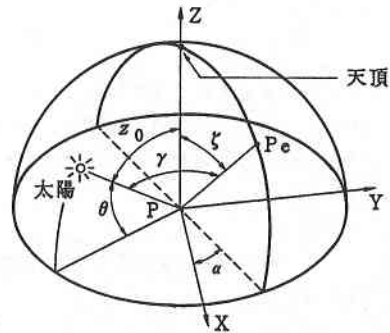


図 5 晴天時天空輝度分布の諸定数 (文献 2)

6. 遙青効果の計算

6.1 遙青とは

遙青とは景観の状態<sup>31)</sup>を表す言葉で、'遠山が雲霞たなびき朦朧と見える状態'のことをさす。絵画の分野では空気遠近法とも言われ、大気や霧、雲、雨により遠山が碧く見えたり白く霞んで見えたりすることである。遠近法と名づけられている事からもわかるように、この効果がないと遠近感のおかしい画像となり、効果を考えないで作ったモニター等では、はめ込んだ構造物が周囲の景色から浮き上がって見えることになる。

6.2 遙青効果の計算法

遙青効果の計算方法<sup>32)~35)</sup>はいくつか考えられる。最も厳密なのは4章で述べた散乱理論を直接利用し視線方向に積分する方法<sup>3)</sup>であるが、計算時間がかかる。ここでは視程の導出と同じ簡易法を提案する。

図6で観察者Aが見ている物体は、遠く離れるに従って途中の散乱効果により見え難くなり、視程距離V行った地点Bで丁度見え無くなる。この時観察者に見えるのは、照度分布を考慮した天空光の色(背景色)である。V以上はいくら離れても一定値である天空光の色しか見えない。

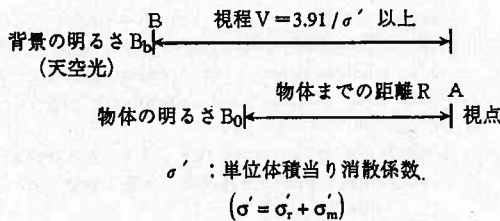


図6 遙青効果

Vまで行かない時の色は、物体と背景の両者が混じりあった色となる。その混じり具合は、視程を求める時の導出式と同様、明るさの変化量が距離と線型関係にあるとすると次式のようになる。

$$B = B_0 e^{-\sigma'R} + B_b(1 - e^{-\sigma'R}) \tag{14}$$

なお背景が青空の時は、3原色おのおのに対してBを計算する。

7. 景観の表示

7.1 計算値と感覚値

6節までで得られた色の計算値は、ルクスの単位で表される物理的な意味を持っているが、このままでは画像化できない。これは物理的計算値と感覚値が比例状態でない事から生じるもので、両者をつなぐものとしていくつかの計算式が用意されている。ここではこれらの内、古くからある対数則<sup>36)</sup>と比較的实际と一致すると思われる指数則を示す。

対数則はウエーバーフェヒナーの法則と呼ばれる理論式で、次式で示される。

$$E = K_1 \log R \tag{15}$$

R : 物理的計算値  
E : 感覚値

本検討で試用した結果指数則より明る過ぎる値を与えることがわかった。

指数則は S. S. スチーブンスの法則と言われるもので、

次のようである。

$$E = K_2(R - R_0)^\beta \tag{16}$$

R<sub>0</sub> : 物理的いき値

視覚に対しては、R >> R<sub>0</sub> と考え、かつスチーブンスの実験結果から視覚に対しては β = 0.33 なので

$$E = K_2 R^{0.33} \tag{17}$$

ここではこの指数則を用いることにする。

ただしこの指数則をそのまま RGB 座標系に適用すると色が変わってしまうので、一度 HSI 座標系に変換し、変換後の明度だけに指数則を適用する。このようにすれば、色を変えずに明るさだけを変えられる。

HSI 座標への変換は次のように行う<sup>37)</sup>。

6章までの RGB 計算値を最大の明るさ 35,000/3 = 11,667 lx で割り、HSI 算定用の R, G, B (0 ≤ 各値 ≤ 1) を出す。そこで I, S, H を次式より出す。

$$\begin{aligned} \text{明度 } I &= \max\{R, G, B\} \\ \text{彩度 } S &= (I - i) / I \\ \text{ただし } i &= \min\{R, G, B\} \end{aligned} \tag{18}$$

色相

$$\begin{aligned} R = I \text{ のとき } H &= \frac{\pi}{3} (b - g) \\ G = I \text{ のとき } H &= \frac{\pi}{3} (2 + r - b) \\ B = I \text{ のとき } H &= \frac{\pi}{3} (4 + g - r) \end{aligned}$$

$$\text{ただし } r = (I - R) / (I - i)$$

$$g = (I - G) / (I - i)$$

$$b = (I - B) / (I - i)$$

ただし H < 0 の時は H に π を加える。また I = i (白色) の時 H は不定である。

ここで感覚値に直すため S. S. スチーブンスの式を適用すると

$$\text{感覚明度 } Id = I^{0.33} \tag{19}$$

8. 計算例

次の4つのケースを本研究で提案した方法により計算し、図7に示した。

- ① 雲厚 0 m の時と雲厚 10 m の時の天空光の青空
- ② 標準雲の厚さが 0 m の時と 5 m の時の夕焼けの色
- ③ 厚さ 2,500 m の積乱雲の色
- ④ うす雲下 30 km 先の山の遙青効果

9. おわりに

以上、大気の状態を考慮した景観図の簡易作成方法を示した。本研究では、理論の上で多少の不確定なところ

①青空(上から標準雲の厚さ0m, 10m)



②夕焼け(上から標準雲の厚さ0m, 5m)



③積乱雲(厚さ2500m)



④30km 遠方の碧山

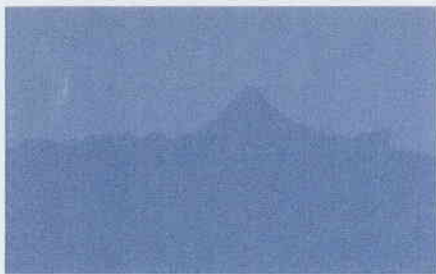


図7 計算例

や検証が十分できていないところもあったが、従来の研究では無かった、物理現象と密着した景観シミュレーションの簡単なやりかたを示すことができた。現在までの景観シミュレーションは、それらしく見せるためだけのものがほとんどであった。またごく最近でできた物理現象を考慮した研究も、コンピューターで数値積分している結果、計算の中身がブラックボックス状態であり、かつ計算時間が非常にかかるので即時に答を知ると言う

訳にはいかない。景観の色が理論的にしかも容易に出せる事は、土木にかぎらず芸術等多方面での応用が可能である。本論文を土台として、今後はリアルタイムかつ忠実に物理現象を再現できる景観シミュレーションの開発を行いたいと考える。(1993年2月1日受理)

## 参考文献

- 1) 西田友是, 中前栄八郎: スペクトルを考慮した天空光のシェーディングモデル 情報処理学会第36回 全国大会予稿集 pp 2069~2070
- 2) 馬場雅志, 金田和文, 中前栄八郎, 西田友是: 直方体受光面を用いた天空光モデル グラフィックスとCADシンポジウム pp 135~144 平成3年11月
- 3) Kazufumi Kaneda, Takashi Okamoto, Eihachiro Nakamae and Tomoyuki Nishita: Photorealistic image synthesis for outdoors scenery under various atmospheric conditions Visual Computer Vol. 7 Number 5-6 pp 247~258 Sept 91
- 4) 笹田剛史: コンピュータグラフィックスによるアニメーションの作成と都市の景観構成 建築の研究 No. 63 pp 7~11 1987.10
- 5) 蔵田憲次他: 科学パソコンシリーズ2 環境工学入門 pp 11~18 サイエンスハウス
- 6) 照明用語事典 p 92 照明学会
- 7) 建築学体系編集委員会: 建築学体系8 音・光・熱・空気・色 p 128 彰国社
- 8) 照明のデータブック p 149 照明学会
- 9) 建築学便覧I 計画 p 1112 丸善
- 10) 石川六郎著: 照明環境システム p 94 オーム社
- 11) 色の話編集委員会編: 色の話 p 8 技報堂出版
- 12) 日本色彩学会: 色彩科学ハンドブック p 7 東京大学出版会
- 13) 川上元郎著: 色の常識 p 40 日本規格協会
- 14) 今井弥生著: 暮らしの色彩学 p 15 建帛社
- 15) 原国政哲著: 色彩の使い方 p 2-3 理工学社
- 16) 竹内清秀他: 大気科学講座1 地表に近い大気 pp 72~75 東京大学出版会
- 17) 照明用語事典 p 90 照明学会
- 18) 国立天文台編: 理科年表 p 156 丸善
- 19) 日本火災学会編: 火災便覧 p 233 理科書院
- 20) 松浦邦男編集: 照明の事典 p 93 朝倉書店
- 21) 建築学体系編集委員会: 建築学体系8 音・光・熱・空気・色 p 131 彰国社
- 22) 照明用語事典 p 85 照明学会
- 23) 久保田広編: 光学技術ハンドブック pp 1112~1114 朝倉書店
- 24) 新建築学体系8 自然環境 p 85 彰国社
- 25) 永田忠彦: 天空日射に関する Berlage の式に対する疑問 日本建築学会学術講演梗概集(関東) pp 381~382 昭和50年10月
- 26) H. P. Berlage: Zur Theorie der Beleuchtung einer horizontalen Fläche durch Tageslicht Meteorologische Zeitschrift pp 174~180 Mai 1928
- 27) N. Robinson: Solar Radiation pp 47~60 Elsevier Publishing Company
- 28) 山本義一著: 気象学講座 第4巻 気象放射学 pp 13~33 地人書館

- 29) 高橋幹二著：基礎エアゾル学 pp 146~148 養賢堂
- 30) Standardization of Luminance Distribution on Clear p 1  
~ Skies CIE
- 31) 中村良夫著：風景学入門 p 30 中公新書
- 32) 河野真義, 柴本猛：アニメーションにおける霧の表現方法  
情報処理学会第32回全国大会 p 2037 昭和61年
- 33) 新井重男：視程と視距離 測候時報 Vol 32 No. 2  
pp 32~47
- 34) 高橋幹二編著：応用エアゾル学 pp 115~117 養賢堂
- 35) 篠原修：新体系土木工学59 土木景観計画 p 116 技  
報堂出版
- 36) 池田光男著：色彩工学の基礎 pp 155~157 朝倉書店
- 37) 高木幹雄, 下田陽久：画像解析ハンドブック p 489  
東京大学出版会