

コンピュータ創成構造パースと背景写真のモンタージュ

A Montage Method of Computer-Generated Structures and A Background Photograph

中前栄八郎 岡本貴至 西田友是 梶野護 福田真典

Eihachiro Nakamae

Takashi Okamoto

Tomoyuki Nishita

Mamoru Masuno

Masanori Fukuda

広島大学

Hiroshima University

福山大学

Fukuyama University

尾道工高

Onomichi Tech. High.

広島市工高

Hiroshima City
Tech. High.

Abstract

A forecasting system for the influence of environments on building construction is proposed.

In order to fit computer-generated structures to a photograph, the following problems are solved: 1) anti-aliasing problems of the computer-generated structures, 2) shading considering the sun direction and weather conditions such as fog, 3) hidden surface problems of the computer-generated structures caused by the foreground, 4) geometric fitting of the computer-generated structures to the photograph.

1. はじめに

自然景観の中に人工的な建築物が構築されたとき、その景観がどのように変化するかを予測することは重要である。従来、大型建造物の建築による自然景観の変化に対する評価方法としては、建築予定地の現地写真を撮り、これに専門家が絵筆を加える方法があり、他の一つは、模型を作成する方法がある。コスト面からは前者が有利であるが、見る位置が限定される欠点がある。前者については、計算機を用いて写真上に線画の透視図を描き、これを人手によって彩色する方法が採用され始めた^{1,2,3)}。しかし、この方法では人意的な絵となることは免れず、科学性に欠ける。さらに近年では、計算機により創成された濃淡を伴った物体を背景写真と合成する方法も試みられている^{4,5)}。

ここでは、建築予定地の写真画像をドラムスキャナにより数値化して、カラーCRTに出力し、これに計算機により創成した建造物を重畳する方法について述べる。

CRT上の背景写真上に新建造物を極く自然な状態で表現するには次の問題を解決する必要がある。

1) 写真画像と計算機創成物体との幾何学的な整合および計算機に取り込んだ写真の撮影位置の推定。

2) 太陽の位置によって決まる建造物の陰影の付け方。

3) 計算機で創成した建造物の面の境界のざざざざ(aliasingと呼ばれる)の除去。

4) 撮影された景色の気象条件を考慮した、視点(カメラ位置)から建造物までの距離を勘案した建造物の色の算出(遠方ほど霞んでみえる現象)。

5) 前景の物体が計算機による創成建造物を隠す場合の処理。

これらの何れが欠けても、挿入した建造物だけが浮き上がり、不自然な画像となる。

なお、前述の文献^{1,2,3,4)}は1)のみを考慮しており、また、文献5)の方法は3)の問題を考慮しているが、上記問題をすべて考慮された方法は筆者らの知る

限りない。

したがって、本稿では気象条件を考慮に入れた広範な気象条件下に適用できる建築物の構造、配置および配色を含む総合的な景観評価システムを提案する。

2. 計算機創成物体と背景写真との合成法

2.1 概略手順

本システムは概略次の処理からなる。

- 1) 建造物のデータ作成
- 2) 建築予定地の写真をドラムスキャナを用いてA/D変換し、濃淡補正、雑音除去、CRT画面への整合をとるための幾何学的変換(移動、回転)等を行う。
- 3) 計算機による創成物体と背景写真を幾何学的およびコントラストの面で一致させるためのパラメータ(カメラ位置、視野角、環境の照度、霞の効果)を画像データから求める。
- 4) 背景写真をCRT上に表示し、その上に計算機による創成物体を重ねる。この際、隠面消去、エリアジングの除去、遠近処理(霞の効果)を行う。
- 5) 計算機創成物体より手前の景色を挿入する。

ここで、1)の建造物は凸多面体の集合として取り扱い、直方体等の基本図形のセットオペレーションで記述する方法を用いた⁶⁾。また、物体上の窓等の図柄(凸多角形で表現)や木目等のテクスチャーの処理も可能とした^{7,8)}。また、3)中の隠面消去は文献¹⁾の方法を用いた。

以下、本稿では3)、4)、5)の処理について説明する。

2.2 計算機創成物体と背景写真の

幾何学的整合

本システムでは、後述の(付1)、(付2)式の透視変換を用いて創成物体の透視図を得る方法を用いた。したがって、透視変換を行うには、注視点(カメラの場合、写真中央に位置する物体上の点)と視点(カメラ位置)が必要となる。ここで視点は、注視点と視点との距離 R 、方位角 θ 、仰角 φ で表わす。注視点は写真中央の物体の地図上の位置から求める。一方、カメラの位置については、空中や山中から撮影することが多く、その位置が不明確なことが多い。この場合には、写真上の教点とそれに対応する地図上の座標を用いて、文献¹⁾の最小二乗法によりカメラ位置を推定する。

透視図と写真画像のサイズを整合させるには視野角(水平角、垂直角で指定)が必要となるが、これは使用カメラのレンズの焦点距離とフィルムサイズにより推定するか、または写真の端に写っている物体の地図上の位置により推定する。ただし、ここで取り扱う写真は標準レンズまたは望遠レンズを用いたものに限定される。

なお、ドラムスキャナによる画像取り込み時、画像が傾く場合や、写真上の中心が取り込み画像の中心に一致しない場合がある。この場合は、回転、移動等の幾何学的変換を行う必要がある。

2.3 陰影表示

創成建造物が違和感なく背景写真と融合するには、建造物の構成面の濃淡(照度)や物体上の影が撮影時における太陽の方向に一致したものを表示する必要がある。

太陽の方向が不明な場合が多いが、この場合、撮影時刻、季節、経度を用いて太陽の方向を求める。すなわち、建造物を定義した座標系の x 軸と真南

とのなす角を β 、時角 τ ($\tau = 0^\circ$ のとき正午で、 $\tau = 15^\circ$ が1時間に相当)、経度 ϕ 、日赤緯 δ (季節により決まる)とすると、太陽の方向ベクトルは次式により求まる¹⁰⁾。

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\cos \delta \sin \phi & 0 & \sin \delta \cos \phi \\ 0 & \cos \delta & 0 \\ \cos \delta \cos \phi & 0 & \sin \delta \sin \phi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \tau \\ \sin \tau \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

太陽の方向が判れば、物体上の影や照度を求めることができる。影の領域の求め方には文献¹¹⁾の方法を用いた。また、照度は次のようにして求める。

物体上の照度は次式により求まる。

$$E = I \cos \alpha + E_n \quad (2)$$

ここで、 I は太陽の光度、 $\cos \alpha$ は面の法線ベクトルと太陽の方向ベクトルとの余弦、 E_n は環境の照度 (陰の部分の照度に等しい) であり、 $I \cos \alpha$ は直接照度成分である。なお、反射による成分は無視した。

I と E_n が未知であるが、背景写真中の建造物に比べ創成建造物がコントラストに関して不自然さのない画像を生成する目的からすると、絶対値が必ずしも必要ではなく、直接照度の最大値 I と環境の照度との比率が判ればよい。この比率を H とすると、 $H (= E_n/I)$ は次のように求めることができる。

背景写真中から、壁面の方向のわかっている建造物を選び、太陽に対して方向の異なる二つの面 (一面は陰の面がよい) について、その面の輝度レベル (照度と面の反射率に比例) を読み取る。これらの二面の輝度から H を求めることができる。すなわち、二面の輝度と太陽の方向と面の法線の角度を

それぞれ、 $D_1, D_2, \theta_1, \theta_2$ とすると H は次式で求まる。

$$H = \frac{D_2 \cos \theta_1 - D_1 \cos \theta_2}{D_1 - D_2} \quad (3)$$

但し $\cos \theta_i (i=1,2) \geq 0$

なお、2.4 で後述するように霞の効果により、各面の輝度は視点からの距離により変化する。したがって、(4) 式により輝度を修正した後に H を求める必要がある。

一方、背景写真中に適当な建物が無い場合もある。その場合には、測定用の箱 (できたら白色が良い) を置いた (霞の効果は無視するため近距離がよい) 写真も撮影しておけばよい。

環境の照度は周囲の物体により影響を受けることから、場所により H は若干異なり、てくるが、複数個所で H を測定し、それらの平均を採用する。ここで、 H は天候により異なり、てくる。すなわち晴天時 H は相対的に小さく、曇天時は大きくなる。

2.4 霞の効果

大型建造物のモンタージュを作成する場合、遠方からの美観を検討することが多い。この場合、次の問題を考慮する必要がある。

一般に遠方の物体ほど色彩や階調が次第に乏しくなり、その結果建造物の輪郭も曖昧となり、かすんだ感じとなる。この効果を定式化するため、次の仮定を設ける。

視点すなわちカメラ位置と物体上の各点との距離により色度は変化し、無限遠点ではある色 (一般に灰色) になるものとする。また、その色度は距離に関して指数関数的に変化するものとする (時定数に相当するものを基準距離とする)。

色は赤、緑、青の輝度成分で与えられるから、ある成分の輝度 $C_l (l=1,2,$

3; 1, 2, 3 は各々赤, 緑, 青に対応するものとする) は図1に示すように、距離に関して指数関数的に基準色 F_l に近づいていく。

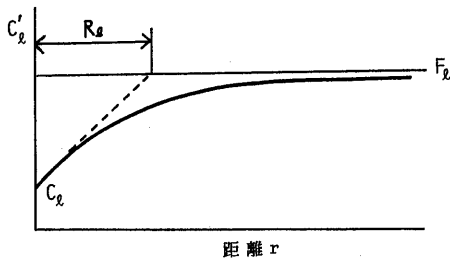


図1 距離による輝度の変化

物体上のある点 P の色を C_l 、基準距離 R_l 、基準色 F_l (無限遠点の色)、視点と点 P との距離 r とすると、視点から見える色 C'_l は次式で与えられる。

$$C'_l = (1 - \exp(-r/R_l))(F_l - C_l) + C_l \quad (4)$$

($l=1, 2, 3$)

上式を適用するには R_l 、 F_l を知る必要があるが、次の方法によりこれらを求める。

(1) 基準距離、基準色の求め方

写真画像から求める場合、実際の色 C_l も未知であるので少なくとも3点での情報が必要となる。したがって、本来同一色(例えば樹木の色)のもので視点からの距離の異なるものを3箇所以上選び、それらの輝度を写真画像から読み取る。ここで、視点からの距離は地図から読み取るものとする。これらの読み取った3組の色から R_l 、 F_l 、 C_l を求めることができる(但し、解析解は得られないのでNewton Raphson法により求める)。

簡単に求める方法として次の方法がある。すなわち、近景での色は C_l と等しいものとする方法であり、本来同一色の物体を、近景と遠景の2ヶ所の物体を選び、それらの写真画像上での色と、視点からの距離により求める。

近景で C_l 、 D_l ($l=1, 2, 3$)の色のも

のが、距離 r で C'_l 、 D'_l の色となった場合、基準距離 R_l と基準色 F_l は次式で求まる。

$$F_l = (C_l D'_l - D_l C'_l) / (C_l - C'_l - D_l + D'_l)$$

$$R_l = -r / \log_e \{(F_l - C'_l) / (F_l - C_l)\} \quad (5)$$

(2) かすみの効果の変更

写真撮影時の天候により霞の度合はかなり異なってくる。したがって、場合によっては、霞のかかった時に撮影したものから霞を取り除いた鮮明な画像に変更したいことがある。また、その逆の場合も考えられる。こうした霞の効果を変化させるための計算機処理について述べる。

霞の効果を計算するには、背景画像中の各点の三次元座標が必要となるがこれを正確に求めることは困難であるので近似的に次の方法を用いる。すなわち、背景画像中の物体を垂直平面または水平平面で近似しておいて、視点から物体までの距離を求める。例えば図2に示すように、近景や遠景の山(図中領域A, B)やビル(領域D)は垂直面で、地面は水平面で(図中領域C)近似する。

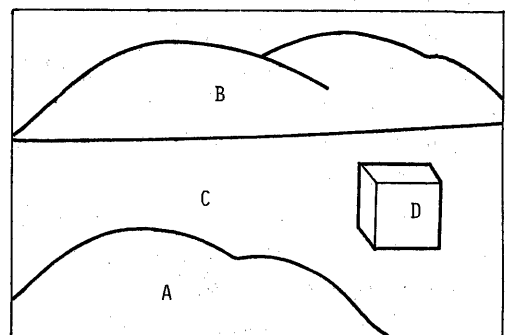


図2 霞の効果のための領域分割

カーソルまたはタブレットを用いて背景写真を複数個の領域に分割し、各分割領域に対して水平面か垂直面(視点からの距離も与える)かを指定する。

各領域は平面とみなしているの(4)式を適用して簡単に各点の色を変更できる。ここで、基準距離を大きくすると霞が除去され、反対に小さくすると霞んだ風景をシミュレートできる。

2.5 エリアジングの除去

計算機により創成された三次元物体をラスタースクリーン型ディスプレイに表示する場合、面の境界部が階段状に表示される。また、周期的に分布する図形ではモアレパターンを生じる。この現象すなわちエリアジングにより背景中の計算機による創成物体が不自然に表示されることがある。このエリアジングは図形を有限な点数(一般に画素数に対応)でサンプリングするために生じる。この解決方法として、筆者らはすでに、一画素に係る色情報を詳細に求めるために各走査線内に仮想的な走査線(サブスキャンライン)を設けて、これにフィルタを適用して画素の色を決定する方法を開発している⁴⁾。しかし、モニタージュの場合、下記条件を考慮する必要がある。

単に計算機による創成物体にエリアジングの除去を行う場合と、背景写真とのモニタージュを行う場合とでは次の点が異なる。前者では、一般に背景は同一色であるのに対して、後者の背景は各画素毎に異なった色となる。さらに後者については、画面合成を複数回行うことが多く(例えば、遠方の物体をまず合成し、次に近くの物体を合成する)、この場合画像劣化を生じさせないようにする必要がある。すなわち、一般にエリアジングの除去に用いられるフィルタはコニカルフィルタやガウシアンフィルタ⁵⁾のように処理する画素に隣接する複数の画素も考慮して色を決定するために、合成する毎に画像がぼけてしまう。

したがって、CRT画面上の各画素

の値を読み取り、各画素単位で背景の色を定義するように改良した。また文献⁴⁾の方法は画素内のみを対象とする二次元フーリエウィンド(正方形窓)を使用しているの、簡単な改良により画像劣化の問題をさけることができた。以下具体的な方法について述べる。

いま、図3に示すように画素は一辺が単位長の正方形と考え、画素を複数のサブスキャンラインで分割し、その分割数を n とする。画素の色は、各サブスキャンライン s_l ($l=1, 2, \dots, n$)上の図形の長さとその図形の輝度の積によりサブスキャンラインでの色を求め、それらを荷重積分することにより求まる。すなわち、画素 (i, j) 中に m 個の面 S_f ($f=1, 2, \dots, m$)が存在するものとし、画素 (i, j) の背景の色を $B_{i,j}$ (赤, 緑, 青の三成分で定義)とする。次に、サブスキャンライン s_l 上の面 S_f および背景の占める可視区間長をそれぞれ $L_{f,l}$ および $b_{i,j,l}$ とすると、画素 (i, j) の色 $C_{i,j}$ は次式により求まる。

$$C_{i,j} = \sum_{l=1}^n d_l (b_{i,j,l} \cdot B_{i,j} + \sum_{f=1}^m L_{f,l} C_f)$$

$$\text{但し } d_l = \begin{cases} 1/n & (0 < l < n) \\ 1/2n & (l=0, n) \end{cases} \quad (6)$$

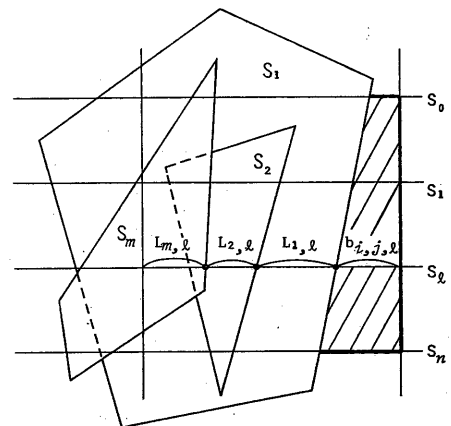


図3 一画素の色の決定

ここで、 d_i は重み係数で、 C_f は面 S_f の色である。なお、(6)式は各面の一画素内の面積を台形積分により求め、その面積比を用いて色を決定することを意味する。

前述のように、合成の際の画像劣化が生じないようにするため、処理中の画素のみで色を決定する。したがって、画素同士の境界となるサブスキャンライン s_i と s_n においては、可視区間長は上下の画素の両方について使用できる。一方、背景の色および面の色（点光源の場合あるいはテクスチャーを考慮する場合各画素で色が異なる）については上下の画素は別々に処理される（文献¹¹）の方法では、画素の境界でのサブスキャンラインにおける色は上下の画素に共用している）

2.6 コンピュータ創成画像が近景に隠される場合の処理

背景写真上に創成三次元物体を重畳させる方法では、この重畳した物体のため本来手前であるべき近景を隠してしまう場合がある。このため、近景となるべき領域をカーソルまたはタブレットで指定し、指定した領域内の画像を再度重畳する方法を用いる。この切り取る領域の境界線は直線で与える方法とスプライン曲線で与える方法を用いた。前者はビルのように直線で構成されるものに、後者は山や樹木のような曲線で表示されるものに適用する。

計算機により創成した物体上にさらに近景を重畳する場合にも、2.5で述べたエリアジングの問題が生じる。すなわち、近景の境界がぎざぎざした感じになる。特に近景が、ビルのように境界が直線の場合が問題となる。これを避けるため2.5で述べた方法を適用する。すなわち、近景の領域の境界が通過する画素においては、画素内の近景が占める面積を利用し、近景の色と

背景の色の割合を用いて画素の色を決める。したがって、領域を記述している直線またはスプライン曲線とサブスキャンラインの交点を求め、その交点を用いて画素の色を決定する。なお、スプライン曲線は3次式で記述されているので、サブスキャンラインとの交点はNewton-Raphson法を用いて求めた。

3. 適用例

図4に提案手法の適用例を示す。

(a)は背景写真で、(b)は計算機により創成したビル（図中の左の高いビル）を背景写真と合成した例である。なお、本例では創成したビルより手前の景色（左の白いビル）が存在しているので、2.6で述べた処理を施している。(c)~(e)は霞の効果を示す例である。(c)はビルを建てる位置（4箇所）を変化させた場合の霞の効果を示すもので、遠方のビル程霞んでいるのがわかる。(d)は霞を取り除いた例であり、背景写真の霞は2.4で述べた処理で取り除いた。(e)は逆に霞を深くした例である。本例は白黒で印刷されているので十分表現されてないが、背景写真と創成物体とがかなりなじんだものが得られ、また霞の変化もかなり現実感のあるものが得られた。

本適用例の計算には、TOSBAC-データシステム600、およびカラーCRTグラフィカM508(512×512画素、R、G、B各8bit)を使用した。

4. おわりに

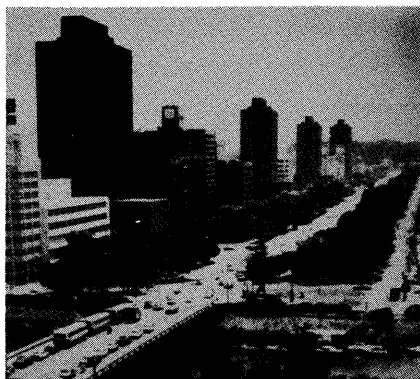
本稿では、背景写真上に計算機により創成した建造物を極く自然な形で合成する方法について論じた。

適用例から明らかなように、本手法によりかなり現実感のある画像を得ることができた。

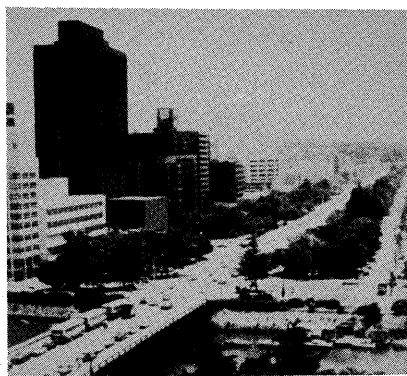
現実感のある画像が得られた要因と



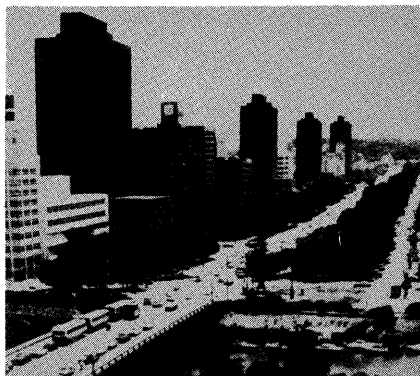
(a)



(c)



(b)



(d)

図4 適用例

しては次の処理によるものが大きい。

1) 霞の効果表現することにより、遠近感の表現、あるいは気象条件をも加味できるようになった。

2) エリアジング処理により、計算機による創成物体や近景の境界部が目立たなくなり、また、電柱や煙突等の細い物体も表示可能となった。

3) 創成構造物の日の当たる部分と陰の部分のコントラストを、背景写真中の建物と整合をとることにより、より自然な画像が得られた。

本手法は、霞の効果を変化させて広範囲な気象条件下の環境予測ができるので、環境アセスメントの評価手段として有用と思われる。

なお、今後の課題として次の問題が



(e)

あげられる。1) 新建造物による地上または背景への影の表示、2) 広角レンズ使用時等のカメラのレンズの歪補正、3) 新建造物の他に樹木が必要な場合の樹木の表現法、同様に山の表現法、4) 夜景の表現。

謝辞 画像取り込みに御協力頂いた
(株)グラフィカおよび資料(適用例の
建物)を提供頂いた鹿島建設(株)に感謝
致します。

[付録]

透視変換

三次元上の点 $P(X, Y, Z)$ の透
視面上の点 $P'(x, y)$ への透視変換
は次式で得られる。

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ -\cos\theta\sin\varphi & -\sin\theta\sin\varphi & \cos\varphi \\ \cos\theta\cos\varphi & \sin\theta\cos\varphi & \sin\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X-X_f \\ Y-Y_f \\ Z-Z_f \end{bmatrix} \quad (\text{付1})$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \frac{d}{R-Z'} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} \quad (\text{付2})$$

ここで、視点 P_v は注視点 $P_f(X_f, Y_f, Z_f)$
を基準とした際の距離 R 、 x 軸との方
位角 θ 、 xy 平面との仰角 φ で与える
ものとする。また、CRT画面は視点
から d の距離にあるものとする (d は
CRT画面の倍率を決定することを意
味する)。

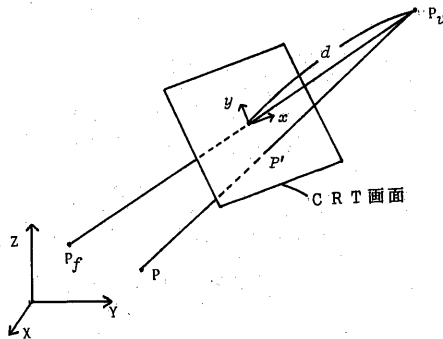


図5 透視変換

[参考文献]

- 1) 近藤、田嶋：写真と計算機による
フォトモンタージュ・パースの実験
図学研究, Vol.23 (昭53) P1-6
- 2) 近藤、田嶋：モダングラフィックス,
一技術と応用一, コロナ社(昭57)P253
- 3) 村本：コンピュータによるフォトモ

ンタージュー景観設計への適用、

図形と画像(1981夏)P44

- 4) Sakae Uno and Hideo Matsuka

A General Purpose Graphic System for
Computer Aided Design, Computer
Graphics Vol.13, No.2 (1979) PP.25-32

- 5) Feibush, E.A., Leroy, M. and

Cook, R.L., Synthetic Texturing Using
Digital Filters, SIGGRAPH'80 (1980)
PP.294-301.

- 6) 中前、西田：多面体の隠線消去の
一手法, 情報処理, Vol.13, No.4 (1972)
PP.239

- 7) 西田、中前：三次元物体の陰影表
示の方法, 情報処理, Vol.15,
No.1 (1974) P18

- 8) 西田、中前：三次元物体のカラー
陰影表示, 情報処理学会, コンピュ
タビジョン4-1 (1980)

- 9) 日本建築センター：日影規制の手
引, (1978) P10.

- 10) Nishita, T. and Nakamae, E., A
Perspective Depiction of Shaded
Time, The 4th Int. Symp. on the Use of
Comp. for Environmental Engineering
Related to Buildings, (1983) P.565

- 11) 西田、大野、中前：台形積分を用
いた三次元物体のスムーズエッジ陰
影表示、電子通信学会、画像工学研
究会, IE 82-93 (1983)