

## 屋外シーンにおける自然な影の簡易生成の試み

林 豪樹      齋藤 隆文†

東京農工大学 工学研究科

†東京農工大学 工学部 情報コミュニケーション工学科

〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16

E-mail : [hayashi@vc.cs.tuat.ac.jp](mailto:hayashi@vc.cs.tuat.ac.jp)

屋外のリアルなシーンをCGで作成する場合、天空光による柔らかい陰影を付加しないと不自然な画像になるが、天空光を正しく計算するには手間がかかる。しかし、フォトリアリスティックな画像生成と言えども、映画をはじめとする多くの応用分野においては、見かけの自然さが重要であり、手間をかけてまで光学的厳密性を追求することは必ずしも必要ではない。そこで本研究では、光学的厳密性を追求せずに、自然に見える陰影を簡易生成することを試みる。

提案手法では、高さ方向からのデプスバッファを一つ作成することにより天空の可視領域を簡易計算し、陰影を生成する。その結果、地面や建物の壁において、まだ不完全ではあるが、自然なグラデュエーションが得られた。

## Simple Synthesis of Outdoor Scene Images

with Soft Shadows

Gouki HAYASHI      Takafumi SAITO†

Graduate School of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

†Department of Computer, Information and Communication Sciences,

Tokyo University of Agriculture and Technology

Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

For image synthesis of photorealistic outdoor scene, it is necessary to add natural soft shadows by skylight. However, correct calculation of skylight effects is costly.

In many application fields of photorealistic rendering, such as cinema, it is important to generate images which looks naturally, but optical exactness is not always necessary. Therefore, we try to synthesize natural soft shadows with simple calculation without optical exactness.

In proposed method, we simply calculate the visibility of the sky by using a depth buffer from the height direction, and create soft shadows. Although it is not perfect, we can generate natural graduation on the ground and the walls of the buildings.

## 1 はじめに

3次元コンピュータグラフィックス(CG)において、フォトリアルスティックレンダリングは最も重要な課題の一つであり、応用範囲も広いことから、以前から盛んに研究されてきた。レイトレーシングやラジオシティをはじめとする従来の多くの研究では、光学的厳密性を高めることで、リアリティを追究したり、それをできるだけ保つたうえで、計算の簡略化や高速化を行ってきた。

しかしながら実際には、光学的厳密性が真に必要なとされるのは、照明シミュレーション、景観シミュレーションなど、一部の応用分野に限られる。映画やTV番組のための映像生成をはじめ、多くの応用分野では、たとえ実際とは違った画像であっても、その違いが人間の目にわからなければ十分実用になる。逆に、光学的な誤差量が小さくても、例えばジャギーなどが見えてしまうと、人間の目には非常に不自然な画像となってしまう。したがって、これらの応用分野では、正確でなくても人間の目に自然に見える画像を効率良く生成することこそが、真の要求である。

建物など人工物を主体とした屋外シーンを対象とした場合、リアルな画像を生成するには、太陽の直射光による強い影だけでなく、地面や建物の壁にできる微妙な陰影をも表現することが必要である。このような陰影は、空全体から来る天空光が主要因となることができる。そこで、天空光による照明効果を計算する手法が、これまでいくつか提案されている[1],[2],[3]。これらの研究では、天空光による陰影をできるだけ正確かつ効率良く計算することを主目的としている。しかし、人間が見て自然に見える、という観点から考えると、建物の壁面や周囲の地面に、それらしいグラデュエーションの影がついていることが重要であり、その輝度の絶対量が正確である必要はない。

本研究では、屋外シーンをCGで作成する際に、光学的厳密さを追究せずに、人間が見て自然に見える陰影を簡易生成することを試みる。

## 2. 従来手法による天空光計算

### 2.1 西田らの手法

西田らが提案した天空光照明モデル[1]では、屋外のシーンにおいて天空を大きな半球と考え、一定の間隔で空を帯状に細分化する。そして、空と空を遮る物体との遮蔽関係を調べた結果を利用して計算されたそれぞれの帯光源による被照面での照度を加算することで、天空光による被照面の照度計算を行った。この手法は、高精度な輝度計算を行っており、その結果影の境界がぼんやりと現れ、リアルな画像を生成することができる。しかし、天空光による照度計算は、半球状の曲面光源による照度計算と等価であるため、極めて計算コストを要するという問題があった。

この手法を高速化した手法として、土橋らの手法と富田らの手法がある。

### 2.2 高速化手法

#### 2.2.1 土橋らの手法

土橋らは、天空光による計算時間の短縮をはかるために、天空光による照度を級数展開することによって、高速に天空光による照度を計算する手法を提案した[2]。この手法では、前処理において各基底関数に対応する基本照度データを算出し、記憶しておくことにより、太陽位置が定まると計算点での天空光による照度を高速に求めることができる。しかし、基本照度データの計算を画像の各画素ごとに行うため、視点位置を変更した場合は前処理からやり直さなければならないという問題がある。

#### 2.2.2 富田らの手法

富田らの提案した手法[3]は、土橋らの手法[2]をさらに拡張したものである。この手法では、前処理において物体を構成する面を微少なパッチ分割し、そのパッチ頂点ごとに基本照度データを算出し記憶する。面同士が近接している境界部分では面をサブフェイスに分割し、状態に応じてサブフェイスをアダプティブにパッチ分割する。これ

によって、視点変更された場合でも高速に画像を生成することができて、精度のよい画像を生成できる。さらに、土橋らの手法[2]では天空の輝度分布は晴天天空と曇天空に限られていたが、富田らの手法では様々な状態での天空の輝度分布を表現できるように拡張した。

これにより、視点変更はほぼリアルタイムで計算できるほか、天空の輝度分布の変更もかなり高速化される。ただし、形状データを変更した場合は前処理から計算が必要であるため、車などの移動物体には適用できない。

### 2.3 従来法への問題提起

従来の天空光を用いた手法は、高精度な輝度計算によって極めてリアルな画像を生成できることが分かった。しかし、前述したように、人間の目に自然に見せるという観点では、複雑な処理によって精度を上げることは、必ずしも必要ない。そこで、本研究では、かなり簡略化した計算で、見た目には自然に見える影を生成する方法について注目した。

## 3. 高さバッファを用いた簡易計算法

### 3.1 前提

屋外でのシーンを想定し、天空光によって直接できる陰影のみを考える。光源は半径を無限遠と考えた半球で、陰影計算を行うべき物体上の各点（注目点と呼ぶ）は半球の中心にあるものとする。なお、地面や建物の壁での相互反射は考慮しないものとする。

### 3.2 高さバッファによる遮蔽物体の表現：

天空光では、天空の可視領域から被照面の照度を計算する必要があるため、遮蔽関係を求めなければならない。従来法では、物体の3次元形状をそのまま使用して遮蔽関係を算出するので、手間がかかっていた。ところで、注目点から空を見上げたときに、ある方向に空を遮る物体が存在している場合、その方向にはその物体よりも地面側の

空が見えることは少ない。このことを用いると、物体の上面の形状だけから、遮蔽関係を近似的に計算することができる。そこで、前処理として高さ方向（上方向無限遠）から見たデプスバッファを作成し、これを用いて簡略化する。このデプスバッファを「高さバッファ」と呼ぶ（図1）。

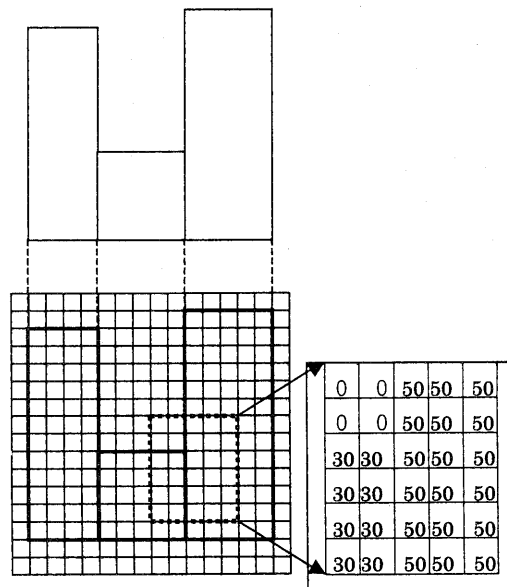


図1 真上方向無限遠からの投影図と高さバッファ

### 3.3 空の可視領域の求め方：

高さバッファを用いて、各方向で地面から天空の可視領域までの角度が求められる。本来はバッファのすべての画素を調べる必要があるが、簡略化のため水平方向で45°ごとの8方向だけを調べる（図2）。各方向を直線的に探索し、注目点との高低差から見えている空の角度を調べて、天空の可視領域を算出する。

各方向において、空が遮蔽される最大角度 $\theta$ を、以下の探索により求める。まず、角度の初期値を0に設定する。注目点から直線的に探索を行い、1画素ごとに高さバッファの値を参照する（図2）。注目点の高さより高さバッファの値が大きければ、注目点と高さバッファに示された点を結ぶ直線と地面との間は空が見えないことが分かる。そこで、

これらのなすの角度を計算する(図 3)。求めた角度を最大角度 $\theta$ と比較し、 $\theta$ より大きい場合は $\theta$ の値を更新する。この処理を高さバッファの端の画素まで行う。

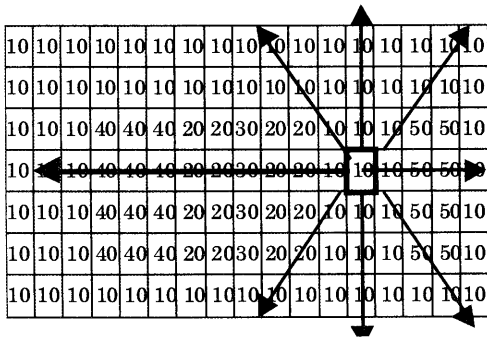


図 2 : 高さバッファにおける探索方向

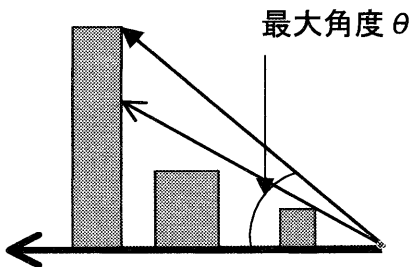


図 3 地面から天空の可視領域までの角度

### 3.4 空の明るさの計算

空の明るさを計算するには、注目点から見える空の部分について、天空光強度を積分計算すればよい。

ここでは、単純化のため、天空光強度地面は空全体で一様と考える。その場合、空の可視部分を半球面上の面積として求めればよい(図 4)。探索した 8 方向について、一つの方向には、最大角度の $\theta$ より上の空が見えている。そこで、図 4 の斜線の部分の面積が計算できれば空の見える範囲を近似したこととなる。

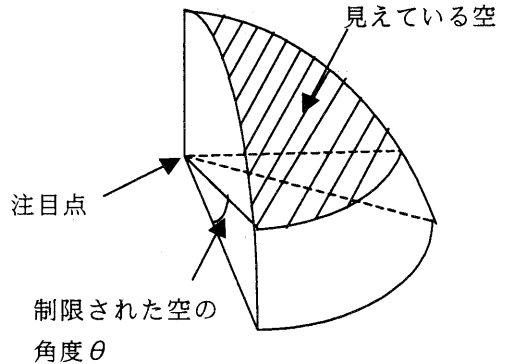


図 4 一方向での空の見えている範囲

図 4 の斜線部分の面積を与える式は次のようになる。

$$A = \frac{1}{4} \pi \int_0^{r \cos \theta} x \sqrt{1 + \left( \frac{d}{dx} \sqrt{r^2 - x^2} \right)^2} dx$$

A: 面積 r: 半球の半径  $\theta$ : 最大角度

これを 8 方向について計算し、その和を求めればよい。

## 4 実験結果

L 字型の建物について本手法を用いた天空光による照度計算を行った(図 6)。真上からの平行光源のみで生成した画像(図 7)と比較すると、建物の L 字の内側の壁および建物近くの地面において、自然に見えるグラデュエーションの影を生成できていることが分かる。

しかし、地面や壁において、不連続な線がでてしまう。これは、高さバッファ上の探索を 8 方向に限定したためである。

## 5. 考察

### 5.1 本手法の限界

本手法を用いてある点の明るさを計算する場合、原理的に対処できない場合が 2 つある。

まず、高さバッファでは、物体上面の形や高さの情報だけしか反映されない。このため、側面に窪みのある建物やアーチ型の物体、ひさしのある建物、上方向で広がっている物体（図5）など、物体の外側でかつ真上の空が見えない部分に、不都合が生ずる。このような部分では、たとえ空のごく一部が遮られただけであっても天空光がまったく当たらないものとして扱われてしまう。

もう一つの問題として、高さバッファを作成する場合、その対象範囲を限定しなければならない。その範囲から外れた場所にある建物や山などは、実際には光源からの光の一部を遮る可能性があるが、明るさの計算では無視されてしまう。

## 5.2 計算量

提案手法において、天空光による陰影を付加したことによる計算コストの増加は以下のとおりである。

### (1) 高さバッファの作成

Zバッファによる隠面処理と同等のことを行う。計算量は対象物体面の数と、高さバッファの画素数に依存する。物体がすべて静止していれば、シーンごとに再計算の必要はない。

### (2) 高さバッファの探索と明るさの計算

作成する画像の各画素ごとに探索と明るさの計算を行うため、(表示画素数) × (高さバッファの一辺の画素数) に比例する手間がかかる。計算する上で、物体面の数には依存しない。

## 6. 今後の課題

今後の課題として、次のことがあげられる。

まず、面の照度が不連続になってしまう現象の改善を検討する。この原因は、探索を8方向に制限したためであり、高さバッファのすべての画素を用いれば改善される。しかしこれでは時間がかかるので、高さバッファを階層的に表現するなどの工夫が必要である。

次に、アーチ型や、ひさしのある建物についても、天空から来る光を何らかの簡略化手法によ

て求め、不自然さを軽減したい。

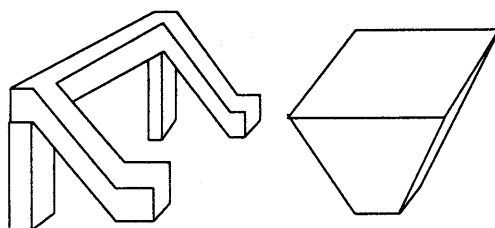


図5 提案手法で不都合を生ずる例

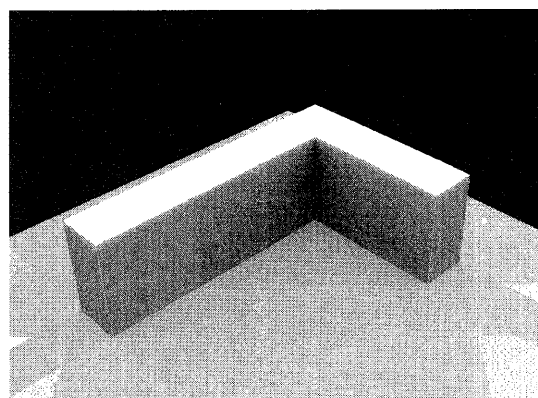


図6 本手法を用いて照度計算を行った結果画像

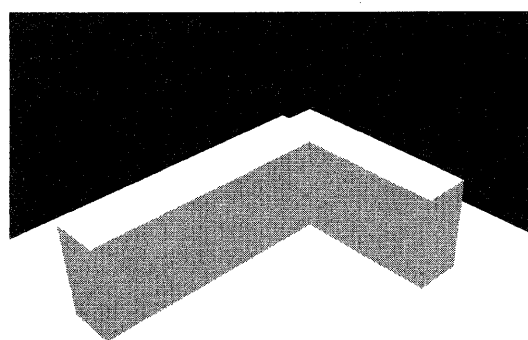


図7 真上からの平行光源のみの画像

[参考文献]

- [1] T.Nishita, and E.Nakamae: "Continuous Tone Representation of Three Dimentional Objects Illuminated by Sky Light", Computer Graphics, Vol.20, No.4, pp.125-132(1986).
- [2] 土橋, 金田, 山下, 西田: "天空光照度の基底関数表現を用いた屋外環境下における高速レンダリング手法", 画像電子学会誌, Vol.24, No.3, pp.196-205(1995).
- [3] 富田, 金田, 山下, 土橋: "天空光を考慮した全天候屋外景観画像の高精度高速表示法", Visual Computing / グラフィックスと CAD 合同シンポジウム '98 予稿集, pp.61-66(1998).