

2005年度 卒業論文

2枚のシャドウマップを基にした、
近傍画素検索によるソフトシャドウ表現の研究

指導教員：渡辺 大地講師

メディア学部 3DCG コンポーネントプロジェクト

学籍番号 M0102269

堤 靖典

2005年度 卒業論文概要

論文題目

2枚のシャドウマップを基にした、
近傍画素検索によるソフトシャドウ表現の研究

メディア学部

学籍番号：M0102269

氏名

堤 靖典

指導
教員

渡辺 大地講師

キーワード

ソフトシャドウ、シャドウマップ、半影
リアルタイムグラフィックス、シャドウアルゴリズム

3次元コンピュータグラフィックス(以下3DCG)において、影は物体の位置関係の理解を助け、画像に現実感を付与する重要な要素の一つである。リアルタイム3DCGアプリケーションにおいて、影の生成は高負荷な処理を必要とするが、近年ではコンピュータの高性能化・グラフィックス機能のハードウェア化により、3DCGの表現の幅が大きく広がり、リアルタイムに影を計算し表現するアプリケーションが見られるようになってきた。しかし、そういったアプリケーションでは、ハードシャドウと呼ばれる輪郭がハッキリとしている影や、ハードシャドウを画像処理でぼかすことにより、全体的に輪郭のぼやけたソフトシャドウを表現しているものが殆どであり、現実の影と同じような、光源の大きさや投射距離に応じて半影と呼ばれる輪郭のぼやけた領域の大きさが変化する影を表現できない。その為、光源の大きさと投射距離を考慮したソフトシャドウ表現手法の研究が盛んに行われている。従来の研究において高速な処理で投射距離を考慮したソフトシャドウが表現できる代表的な方法はParkerらによるSingleSample法と、NAMCOによるブラー式ソフトシャドウ法である。SingleSample法は、1枚のシャドウマップのみを利用し半影を表現する為、高速に処理が可能である。しかし、物体と光源の位置関係によっては正しく影を生成できない問題や、大きな半影を生成するのが困難であるという問題がある。ブラー式ソフトシャドウ法では、半影領域の大きさに関わらず、高速かつ計算量が変わらない利点があるが、半影領域のグラデーションにキザキザのムラが出てしまう問題がある。本研究ではブラー式ソフトシャドウ法の考え方に基づき半影領域を抽出し、半影領域から本影と影でない領域を検索し、領域までの距離から色を計算し描画する手法をとる事で半影のグラデーションが綺麗であり、見た目において違和感のない影、そして、高速に処理が可能である、光源の大きさと投射距離を考慮したソフトシャドウの表現手法を提案する。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	影生成のアルゴリズム	5
2.1	光源の種類	5
2.2	シャドウマップ法	7
第3章	提案するソフトシャドウ生成法	9
3.1	ソフトシャドウ生成法	9
3.2	半影領域の抽出	9
3.3	半影領域の描画	12
3.3.1	近傍画素検索	12
3.3.2	影の濃さの計算	13
3.3.3	半影領域描画の高速化	13
第4章	結果と考察	16
4.1	結果	16
4.1.1	半影の描画と処理速度	16
4.1.2	リアリティの検証	19
4.2	問題点	19
4.2.1	影画像のずれによる問題	19
4.2.2	2次元画像処理による問題	20
4.3	展望	22
第5章	まとめ	23
	参考文献	25

第 1 章

はじめに

3次元コンピュータグラフィックス(以下3DCG)において、影はシーン中に存在する物体の位置関係の理解を助け、画像に現実感を付与する重要な要素の一つである。リアルタイム3DCGアプリケーションにおいて、影の生成は高負荷な処理を必要とするが、近年ではコンピュータや Graphics Processing Unit(GPU)の高性能化により、リアルタイムグラフィックスの表現の幅が大きく広がり、リアルタイムに物体や光源に合わせて影を計算し表現するアプリケーションが見られるようになってきた [1][2]。しかし、そういったアプリケーションであってもハードシャドウと呼ばれる輪郭がはっきりとしている影であったり、ハードシャドウを均一に画像処理でぼかすことにより、輪郭のぼやけた影、ソフトシャドウを表現しているものがほとんどである [3]。

日常でよく見る影は、光源の大きさや投射距離に応じて、半影と呼ばれる輪郭のぼやけた領域の大きさが変化する影である。図 1.1 は、右側から直径 10cm 程の電球の光が当たっている物体の影を撮影した写真である。この図から、半影は影の濃い領域から日向にかけて、少しずつ薄くなっていることが解る。また、物体から投影面までが近い緑色の丸の部分と比べ、物体から投影面までが離れている赤色の丸の部分では、半影の領域が大きくなっていることが解る。ハードシャドウは非常に小さな光源や、非常に遠い位置の光源である太陽光などの影を表すのに適しているが、輪郭がぼやけた影を表現することは出来ない。また、ハードシャ

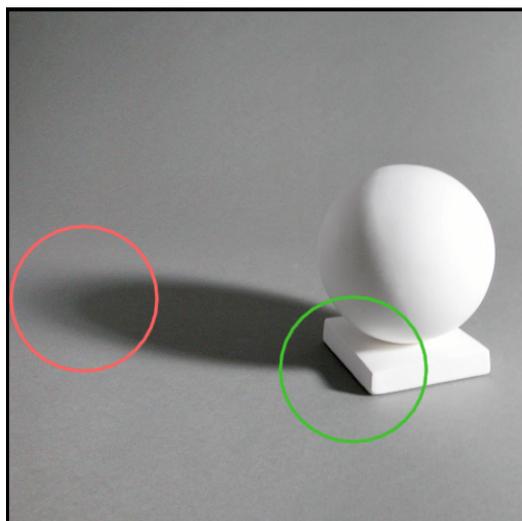


図 1.1: 影の写真

ドウを画像処理で均一にぼかす事により生成したソフトシャドウは、本来影の輪郭のぼける量の小さい、投射距離の近い部分も均一にぼけてしまう為、リアルな表現とはいえない。その為、光源の大きさと投射距離を考慮した、ソフトシャドウをリアルタイムに表現する手法の研究が盛んに行われている。

図 1.2 はオフラインレンダラーで生成した CG における影の画像である。図 (a) がハードシャドウであり、図 (b) がハードシャドウを均一にぼかすことで生成したソフトシャドウ、図 (c) が光源の大きさと投射距離を考慮したソフトシャドウである。図 1.1 と図 1.2(c) を比較すると、半影の出方が非常に近似していることが解る。また、物体と床との接地点の近くに注目し、図 (b) と図 (c) を比較すると、図 (b) では半影の大きさが全体的に均一であり、投射距離に応じて半影の大きさが変化していないのに対し、図 (c) では物体から影が離れるにつれ、半影の領域が大きくなっていることが解る。

光源の大きさと投射距離を考慮したソフトシャドウをコンピュータ上で正確にシミュレーションするには、とても多くの計算が必要であり、現在のコンピュータ性能ではリアルタイムで扱うことが難しい [4][5][6]。その為、擬似的に簡略化された方法を用いて、光源の大きさと投射距離を考慮したソフトシャドウを表現する手法

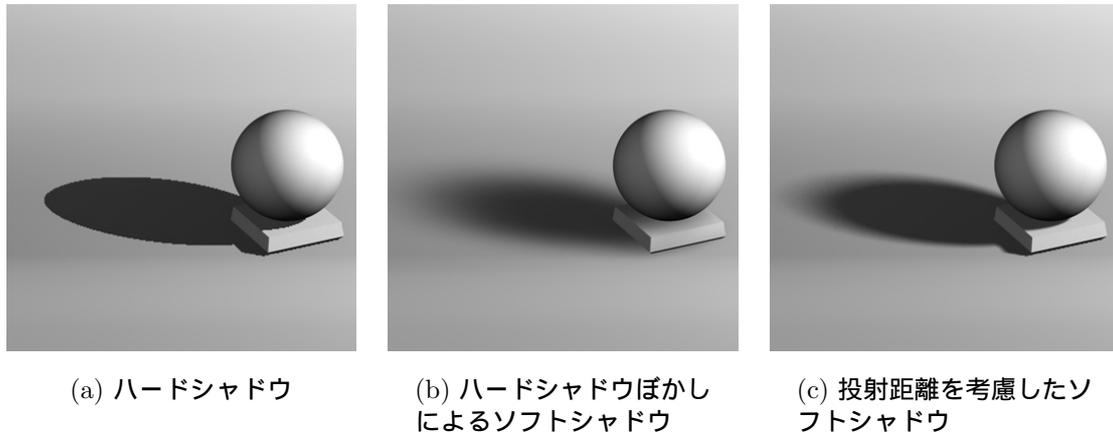


図 1.2: CG における影の種類

が数多く研究されてきた。中でも、高速な処理で光源の大きさと投射距離を考慮したソフトシャドウが表現できる代表的な手法は Parker ら [7] による SingleSample 法と、NAMCO[8] によるブラー式ソフトシャドウ法である。

Parker らが発表した SingleSample 法は、シャドウマップと呼ばれる光源から見たシーンの奥行き情報を記録した画像一つのみで半影を生成できる為、高速に処理が可能な利点がある。しかし、光源から一番近い物体までの奥行き情報しか参照できない為、半影の投影されている位置と光源との間に遮蔽物が複数ある場合、適切な半影を生成できない問題や、半影が大きい場合、シャドウマップ上での半影の領域を求める為の処理が増加してしまい、リアルタイムに処理を行う事が難しいという問題がある。

一方、NAMCO が発表したブラー式ソフトシャドウ法は、光源の上下 2 点から生成したシャドウマップの差分から本影と影でない領域の画像を抽出し、それぞれの画像を一度縮小してから拡大することにより、足りないデータを補間することでぼかし、一定の値で足し合わせることで半影を表現する手法である。この手法の利点は、半影の大きさにかかわらず、画面全体を一律に処理する為、高速かつ計算スピードが変わらない処理が行える点である。しかし、2 点のハードシャドウの差分から半影を表現する為、半影の位置が適切でない問題や、縮小・拡大で

のぼかしにより、半影に拡大したピクセル状のムラが出てしまう問題がある。

本研究では、表現する光源を電灯などの一般的に使用頻度が高い、数 cm から数十 cm 程の領域を持つ光源とし、半影のグラデーションが綺麗であり、見た目において違和感のない影、そして、高速な処理が可能である、光源の大きさと投射距離を考慮したソフトシャドウの表現手法を提案する。提案するソフトシャドウの表現手法では、ソフトシャドウの生成手順を、半影領域の抽出と半影領域の描画という2つの項目に分類した。半影領域の抽出ではブラー式ソフトシャドウ法の考え方を利用し、2枚のシャドウマップから半影領域を抽出する手法をとり、半影領域の描画では、半影領域の一点から最近隣の本影と影でない領域を検索し、その各領域までの距離から色を計算し描画する手法をとる事で、ソフトシャドウの生成を行う。

本論文の構成は次のとおりである。第2章では光源の種類の違いによる影の違いを説明した後、影生成の基本的な手法であるソフトシャドウ法について説明を行う。第3章では提案手法の半影領域の抽出方法、半影領域の描画方法、そして高速化の手順をを説明する。第4章では本手法の実装結果や、問題点について述べる。

第 2 章

影生成のアルゴリズム

2.1 光源の種類

3DCG で使用される光源には複数の種類があり、それぞれの光源によって発生する影の特徴は異なる。よって、影の生成アルゴリズムは光源の種類に大きく依存することになる。

光源はまず点光源や平行光線など領域を持たない光源と、面光源や線光源など領域によって表現する光源がある。領域を持つ光源の場合、生成される影は光源からの直接光が当たらない本影と、光源からの一部の光が当たる半影に分けられる。半影は光の遮られる量によって影の濃さが変化する為、本影から影が無い領域へと少しずつ影の薄くなるグラデーションの状態を取る。逆に領域を持たない光源の場合は半影は発生せず、本影のみが発生する為、光源からの直接光が当たる部分と全く当たらない部分がはっきり分かれ、影と影でない領域の境界線がはっきりしている。この違いを図 2.1 で示す。また、点光源と平行光線はどちらも領域を持たない光源であるが、点光源では遮蔽物から投影面までの距離が離れるほど影が広がるという性質があるのに対し、平行光線では距離が離れても影は広がらない。この違いを図 2.2 で示す。

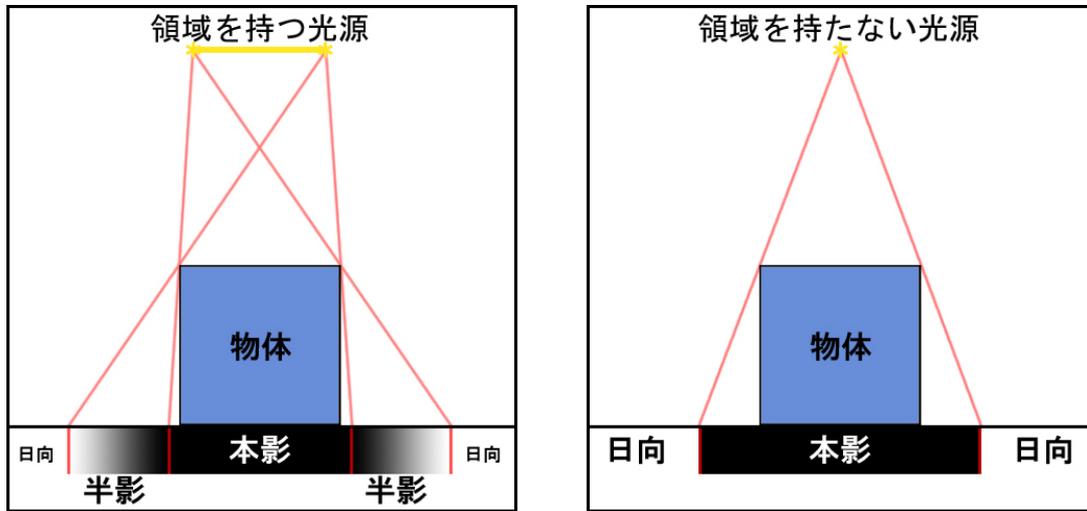


図 2.1: 本影と半影

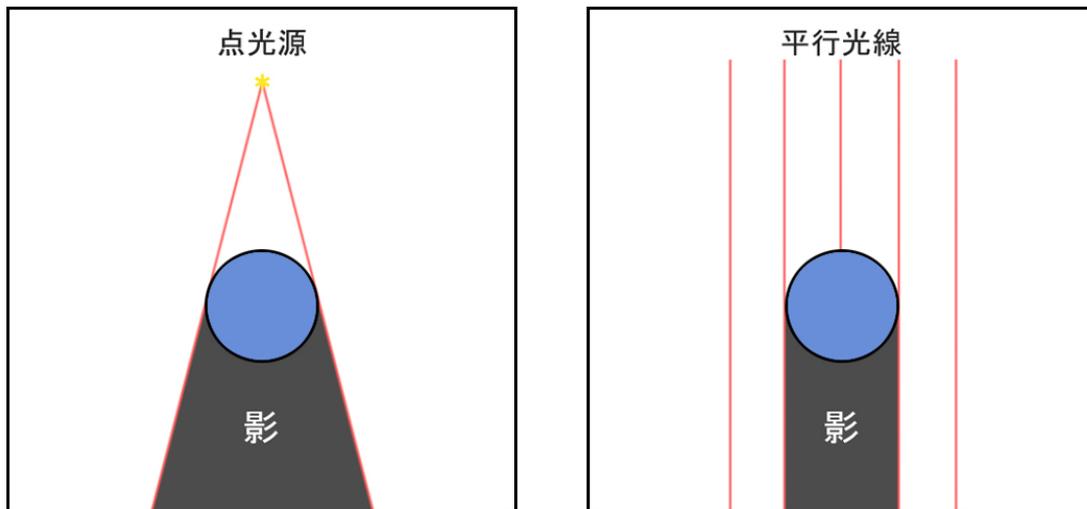


図 2.2: 点光源と平行光線

2.2 シャドウマップ法

3DCGの研究において、影の生成手法はこれまで数多くの研究がされてきた。中でも、リアルタイムアプリケーションにおいてよく利用される手法は、シャドウボリューム法 [9] とシャドウマップ法 [10] であり、両手法とも光源の大きさと投射距離を考慮したソフトシャドウ生成の研究が行われている。シャドウボリューム法のソフトシャドウ生成手法では綺麗な半影が生成できるが、処理が重い為、1章で述べたシャドウマップ法によるブラー式ソフトシャドウ法や SingleSample 法のように、高速な処理でのソフトシャドウの生成は難しい [11][12]。よって、速度性を重視する場合、影生成のアルゴリズムにシャドウマップを利用することが多い為、本提案手法でもシャドウマップ法を利用する。

シャドウマップ法は Williams によって提案された、光源からの深度情報を利用し、テクスチャとして影を生成する手法である。この手法では最初に、光源から見たシーンを描画し、光源から最も近くにある物体までの距離を求める。これを画像として記録したものを一般にシャドウマップ (シャドウバッファ) と呼ぶ。レンダリングする際に、視点から見たシーンの各点の光源からの奥行き値とシャドウマップの値とを比較する。前者の方が大きい場合、今見ている点よりも光源に近い所に他の物体があるということなので、その点は影となる。両者がほぼ等しい場合は、その点は光が当たっていて尚且つ視点からも見えるということである。これを図 2.3 で示す。この図において、左上の画像がこのシーンにおけるシャドウマップであり、黒い部分では物体が近く、白い部分では遠い事を表す。点 A は光源からの奥行き値がシャドウマップの値よりも大きいので影になり、点 B は二つの値がほぼ等しいので影にはならない。このように、影の生成に必要な計算は二つの値の大きさの比較というとても簡単なものである。

この手法の利点は、シーンの幾何学的計算を必要とせず、自身に影の付くセルフシャドウも含めた影が描画できるという点、また、シャドウマップはテクスチャと同様に扱うことができ、近年のグラフィックス機能のハードウェア化により高

速な処理が可能である点である。そのため、ゲーム等のリアルタイムアプリケーションを中心に広く利用されている。しかし、視点と光源の位置関係やシャドウマップの解像度によっては、影の境界にエイリアシングが発生するという問題がある。その為、エイリアシング問題を解決するための多くの研究 [13][14] が行われている。

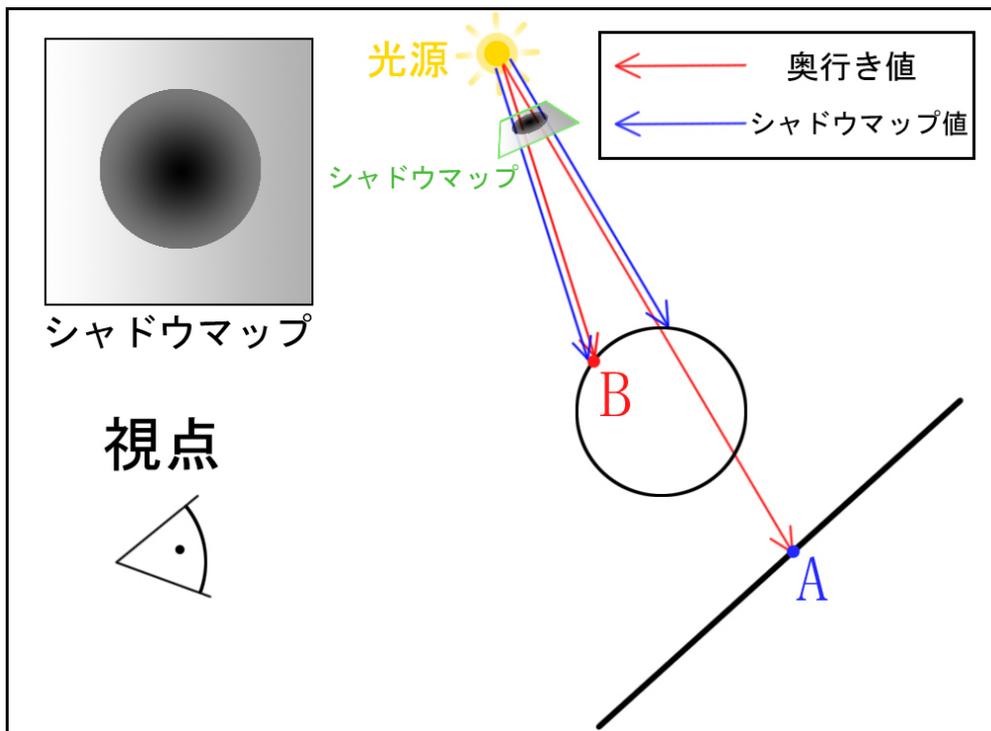


図 2.3: シャドウマップ法

第 3 章

提案するソフトシャドウ生成法

3.1 ソフトシャドウ生成法

本研究におけるソフトシャドウとは、半影を持つ影のことである。半影は主に光源の領域の大きさや光源から遮蔽物までの距離、遮蔽物から投影面までの距離に依存するが、それらの要素を一つ一つ計算し、ソフトシャドウを生成するのは非常に高コストである為、リアルタイムでの実装は難しい。よって、リアルタイムにソフトシャドウを表現するためには、高速かつ擬似的に半影を表現する手法が必要となる。本章では、提案するソフトシャドウ生成手法を、半影領域の抽出と半影領域の描画に分け説明を行う。

3.2 半影領域の抽出

本研究での提案手法では、高速な処理で半影領域の抽出が可能なブラー式ソフトシャドウ法の抽出法を利用する。この手法では、光源の位置を点対照とした 2 点からシャドウマップを取得し、生成した 2 枚の影の画像の差分から半影領域の抽出を行う。2 点のシャドウマップは、シーン中で主に影を生成したい位置と光源との直線上から取得する。主に影を生成したい位置とは、描画するシーン内で中心となる物体の位置などから任意に定める。図 3.1 でそれを示す。

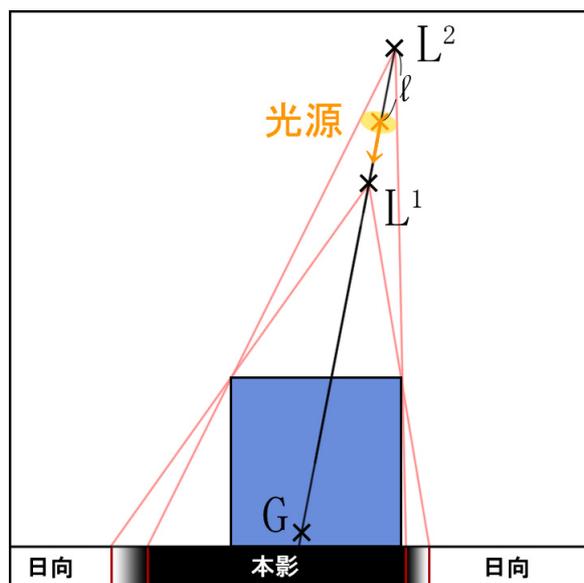


図 3.1: シャドウマップ取得位置

光源の位置を L とし、主に影を生成したい物体の位置を G とする場合、 $L - G$ で物体から光源までのベクトルを求める事ができる。物体と光源、シャドウマップを取得する 2 点の位置が一直線上にある為、単位ベクトルを基準として 2 点の取得位置を計算できる。(3.1) 式では物体から光源までのベクトルを絶対値で割る事で、光源から物体までの単位ベクトル P を表す。

$$P = \frac{L - G}{|L - G|} \quad (3.1)$$

各シャドウマップ取得位置と光源との間の距離を l とすると、(3.2) 式で光源の位置で点対照となる 2 点のシャドウマップ取得位置 L_1 、 L_2 が求まる。

$$\begin{aligned} L_1 &= L + lP \\ L_2 &= L - lP \end{aligned} \quad (3.2)$$

この手法では、各シャドウマップ取得位置と光源との間の距離 l を任意に変える事ができ、 l の値が小さいほど半影領域は小さく、値が大きいほど半影領域は大きくなる。

以上より生成した2つのシャドウマップを、それぞれ視点方向から適応させ、影のみを表す画像の抽出を行う。そして、抽出した2枚の影の画像を比較し、両方が影の場合は本影の領域、片方だけが影の場合は半影の領域、両方とも影でない場合は影でない領域を擬似的に抽出する。図3.2でそれを示す。この図において、上の二つの画像はそれぞれ異なるシャドウマップ生成位置の画像である。その下の画像は視点の方向から適応させた影のみを表す画像であり、その右の画像は2枚の影画像の差分を抽出し、シーンに適応させた画像である。右の画像の赤い領域が2枚の影画像の差分であり、半影領域を表している。

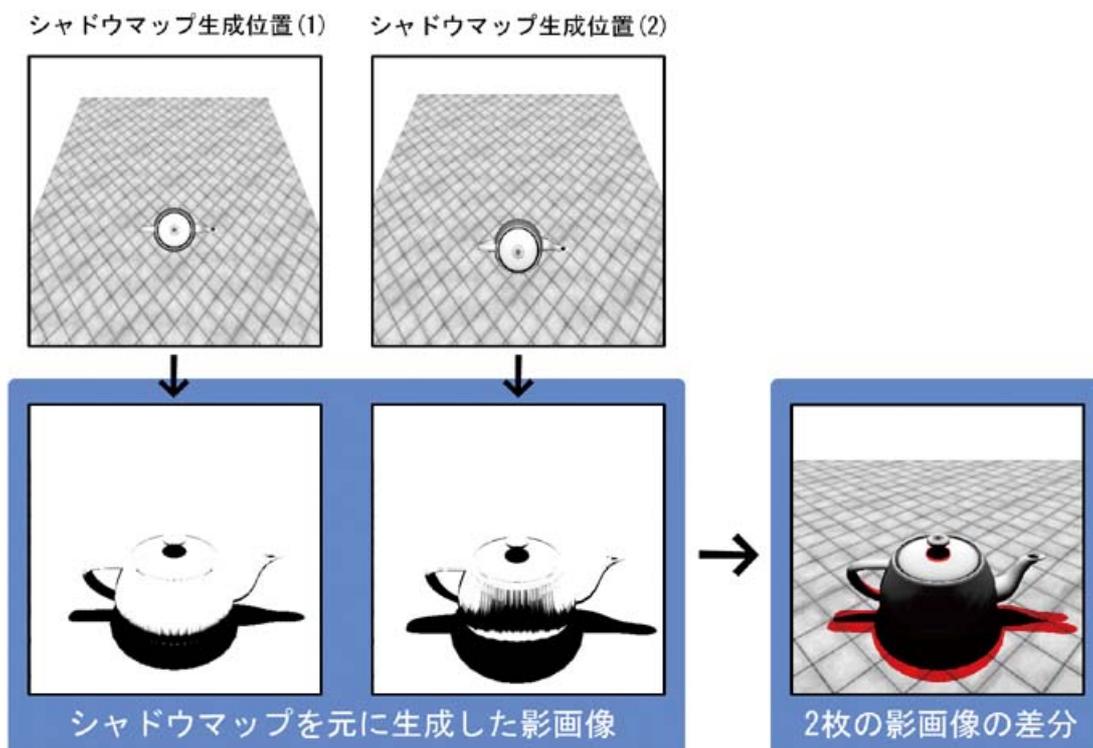


図3.2: シャドウマップ取得

3.3 半影領域の描画

3.3.1 近傍画素検索

半影は本影から影の無い場所まで少しずつ薄くなる、グラデーションの状態をとる。よって、本影領域に近いピクセルならば影は濃くなり、影の無い領域に近いピクセルならば影は薄くなるを考える。

本研究では、描画を行う半影領域の1点から一番近い本影領域と影でない領域までの距離の値を利用し、半影領域の色を計算する為、各領域までの最短距離のピクセルを検索する必要がある。図3.3では、ある半影領域の一点に対する最短の検索例を示す。この図において、白い部分が影で無い領域、灰色の部分半影領域、黒い部分が本影領域である。半影領域の中の点Aから一番近い本影領域は点Bであり、一番近い影でない領域はCとなる。

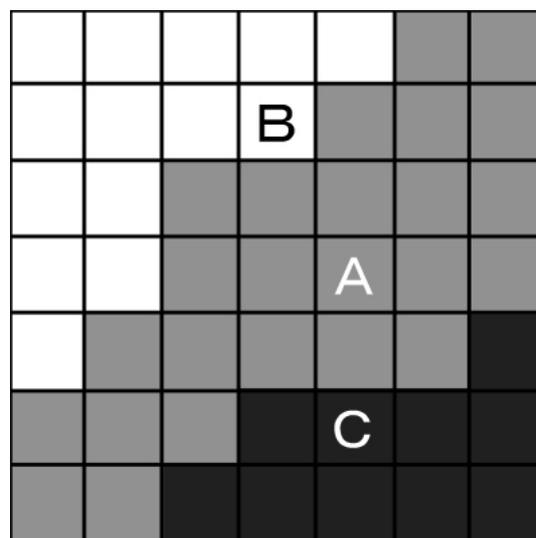


図 3.3: 本影・影で無い領域の検索

3.3.2 影の濃さの計算

本研究の手法では、半影領域の1点から一番近い本影領域と影でない領域までの距離の比率により影の濃さを算出する為、まず影画像中の半影領域の一点から各領域までの距離をそれぞれ求める必要がある。座標における各点間の距離は、三平方の定理を用いて求めることが出来る。半影領域のある一点を $P(P_x, P_y)$ とし、一番近い本影領域・影でない領域の座標を $S(S_x, S_y)$ とする場合、各点間の距離 D は (3.3) 式で求められる。

$$D = \sqrt{(S_x - P_x)^2 + (S_y - P_y)^2} \quad (3.3)$$

この式で求めた、一番近い本影領域までの距離 D_1 と一番近い影で無い領域までの距離 D_2 の比率から影の濃さ C を (3.4) 式で求める。

$$C = \frac{D_2}{D_1 + D_2} \quad (3.4)$$

(3.4) 式では、影の濃さ C に 0~1 の値が求まる。 $C \rightarrow 0$ に近い値が入る場合は黒に近い色となり、1に近い値が入る場合は白に近い色となる。

3.3.3 半影領域描画の高速化

半影領域が大きくなると、全ての半影領域のピクセルで本影・影で無い領域を検索するのは非常に高コストであり、リアルタイムでの実装は難しい。その為、検索を行うピクセルの量を減らし、検索を行わなかったピクセルでは近隣の検索を行ったピクセルから色を補間することで計算量を減らし、高速化を図る。図3.4は 3×3 ピクセル中で1ピクセルのみ検索する例を示す。左の図は実際の影処理時における、検索を行うピクセルと補間により色を決定するピクセルを表す例であり、右の図は左の画像の一部を拡大したものである。この図において、白い点は最短の本影・影でない領域を検索するピクセルであり、赤い点は近隣の白い点から色を参照し、補間して色を求めるピクセルである。

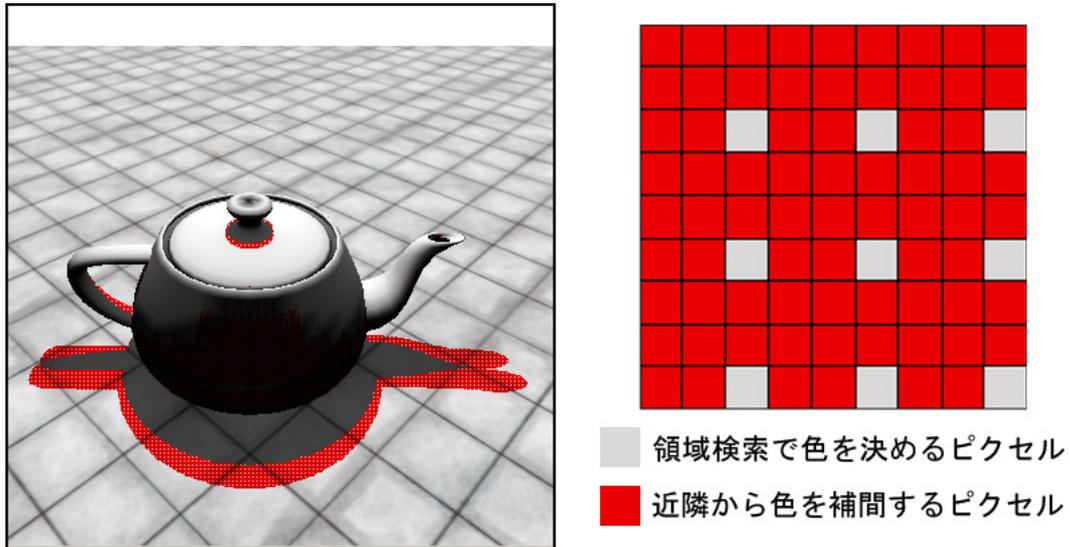


図 3.4: 半影領域描画の高速化

次に手順を説明する。高速化の手法を適応する為、まず最初に縦横 N ピクセルにつき 1 ピクセルのみ領域検索を行い、そして領域検索を行わなかったピクセルで近隣ピクセルから色の補間を行う。近隣のピクセルからの色の補間は、バイリニア法 (共 1 次内挿法)[15] と呼ばれる線形補間法を利用する。

バイリニア法を適応する際、現在の描画ピクセル E を領域検索を行うピクセルの間隔 N で割ることにより求まる値 Q を利用する。(3.5) 式を X 座標、 Y 座標それぞれ計算する。

$$Q = \frac{E}{N} \quad (3.5)$$

Q が X 座標、 Y 座標とも整数の場合、領域検索を行ったピクセルであり、小数点以下の値をもつ場合、補間を行うピクセルとなる。次に色を参照するピクセルの位置を求める。 X 座標と Y 座標で求めた Q の小数点以下を切り捨てた値 Q_{sx} 、 Q_{sy} とそれぞれを $+1$ した値を利用し、 N をかける事で、4 点の色を参照するピクセルの位置を求める事ができる。4 点の座標は以下の通りである。

$$\begin{aligned}
& I_1(NQ_{sx}, NQ_{sy}) \\
& I_2(N(Q_{sx} + 1), NQ_{sy}) \\
& I_3(NQ_{sx}, N(Q_{sy} + 1)) \\
& I_4(N(Q_{sx} + 1), N(Q_{sy} + 1))
\end{aligned}$$

以上で求めた4点から色を参照する際、X座標での Q の小数点以下の値 Q_{dx} と、Y座標での Q の小数点以下の値 Q_{dy} を利用する。横方向を Q_{dx} と $1 - Q_{dx}$ 、縦方向を Q_{dy} と $1 - Q_{dy}$ で分け、それぞれの比率により4点から色を参照し補間を行う。線形補間により得られる影の色 B は(3.6)式で得られる。

$$\begin{aligned}
B &= (I_1Q_{dx} + I_2(1 - Q_{dx})) \\
&\quad Q_{dy} + (I_3Q_{dx} + I_4(1 - Q_{dx}))(1 - Q_{dy})
\end{aligned} \tag{3.6}$$

この式を計算量が少なくなるよう変形させると、(3.7)式が得られる。

$$\begin{aligned}
B &= Q_{dx}Q_{dy}(I_1 - I_2 - I_3 + I_4) \\
&\quad + Q_{dx}(I_2 - I_1) + Q_{dy}(I_3 - I_1) + I_1
\end{aligned} \tag{3.7}$$

第 4 章

結果と考察

4.1 結果

本研究では、表現する光源を電灯などの数 cm から数十 cm 程の領域を持つ、一般的に使用頻度が高い光源とし、綺麗なグラデーション、見た目において違和感のない影、高速に処理が可能という条件の成り立つ、光源の大きさと投射距離を考慮したソフトシャドウ生成手法を提案し実装した。

4.1.1 半影の描画と処理速度

半影領域の描画は最近隣の本影領域・影で無い領域までの距離を計算し、その比率により色を決め影を描画する事により、本影から影の無い領域まで綺麗なグラデーションの形を取る為、ムラの無いリアリティのあるソフトシャドウを実現した。図 4.1 の左の図は本提案手法で生成した影であり、右の図はその半影のグラデーション部分の拡大図である。本手法で生成された画像では、半影にムラが発生しておらず、本影の領域から影でない領域まで少しずつ薄くなるグラデーションの状態を取っていることが解る。

全ての半影領域で本影領域・影で無い領域の検索をするのは非常に高コストな為、本研究では領域検索をするピクセルを減らし、その間のピクセルを線形補間により色を決め描画する手法をとった。それにより、処理の高速化を実現した。こ

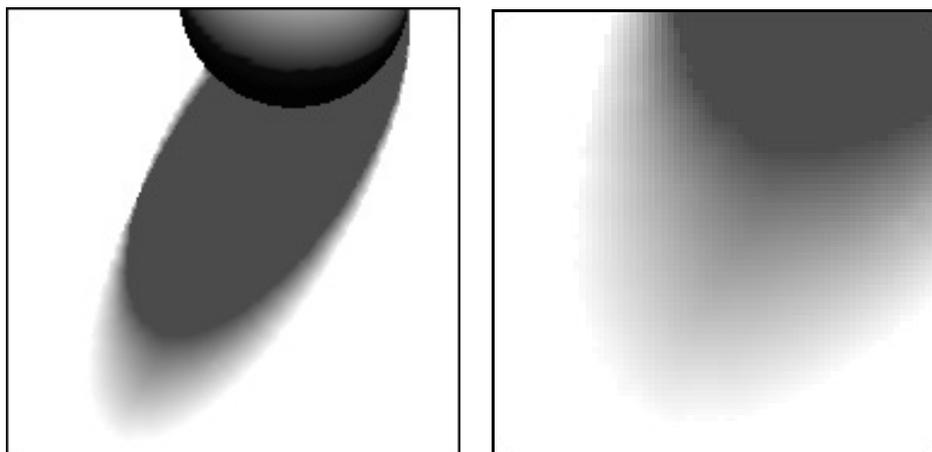


図 4.1: 影のグラデーション

の手法では領域検索をするピクセルの間隔をあけることにより高速化を図っている為、間隔をあけすぎるとブラー式ソフトシャドウ法のようにグラデーションのムラができてしまう問題や本影・影で無い領域との境界線が出てしまうことがある。

図 4.2 では検索ピクセルの間隔 N の違いによるグラデーションの違いを表し、本高速化手法の実用性と処理速度の検証を行う。図は縦横 512 ピクセルの画像であり、作成したアプリケーションの動作環境は CPU は AMD Athlon(tm) 64 Processor 3500+ 2.19GHz、メモリは 1024MB RAM である。4 つの図はそれぞれ検索を行うピクセルの間隔が異なり、図 (a) では $N=1$ 、つまり全半影領域での検索を行い、図 (b) では $N=3$ 、図 (c) では $N=5$ 、図 (d) では $N=10$ となる。図 (a) では、綺麗な半影のグラデーションが生成されているが、0.5fps と処理速度が非常に遅い。図 (b) では 2~3fps で生成し、図 (a) と殆ど影に違いは無く、綺麗な半影が生成できていることがわかる。図 (c) では 5~6fps で生成し、細い半影の部分の本影との境界線が若干出てしまっているが、見た目において違和感は少ない。図 (d) では 16~17fps と処理速度は出ているが、影にムラがあり、本影部分の境界線がハッキリでている為、見た目においても違和感が生じている。

検証の結果、速度面やグラデーションの綺麗さを考慮し、状況に応じ N の値が 3~8 で使用するのが妥当であると考え。今回の動作環境では GPU を利用せず

実装を行った為、速度面における正確な検証は出来ないが、計算処理の改良と高性能な GPU を利用し処理を行えば、より快適な動作を示すだろう。

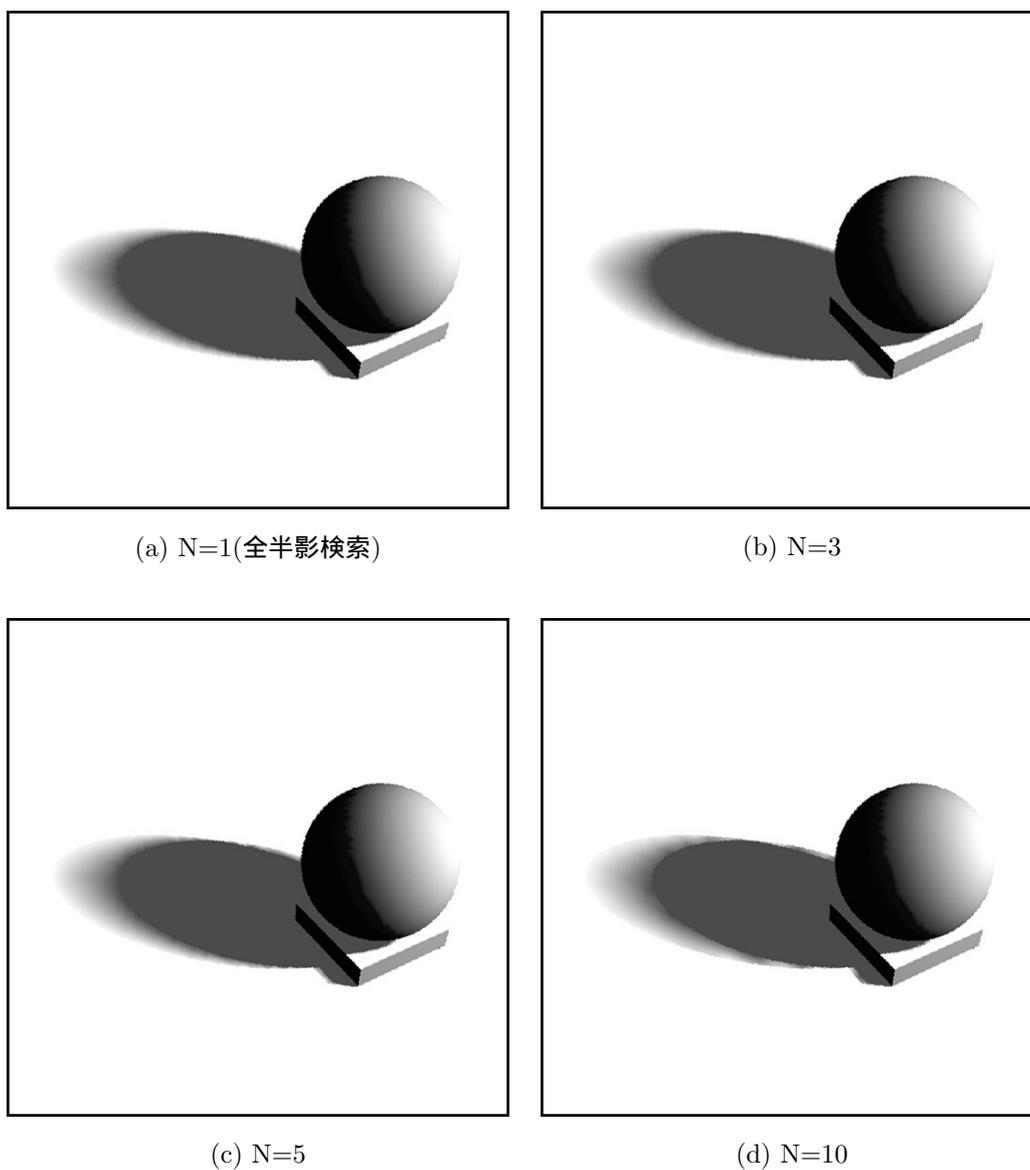


図 4.2: 領域検索量による画像の比較

4.1.2 リアリティの検証

次に、実際の写真と本手法で生成したソフトシャドウを比較し、リアリティの検証を行う。図 4.3(a) は右側から光が当たっている石膏の写真であり、図 4.3(b) が本研究の提案手法で生成したソフトシャドウである。提案手法の画像 (b) において、物体から近い影の輪郭はあまりぼやけず、遠くなるにつれぼやけている。実際の写真 (a) の半影の位置やグラデーションを比較すると、両画像の影が近似していることが解る。高速化の N の値が 5 である為、若干グラデーションにムラが感じられ、また 2 枚の影の重なりからのずれから、奥側の影の輪郭で一部半影が生成されていない部分が発生しているが、見た目において違和感は少ない。よって本研究の提案手法はリアルなソフトシャドウが表現できたと考える。

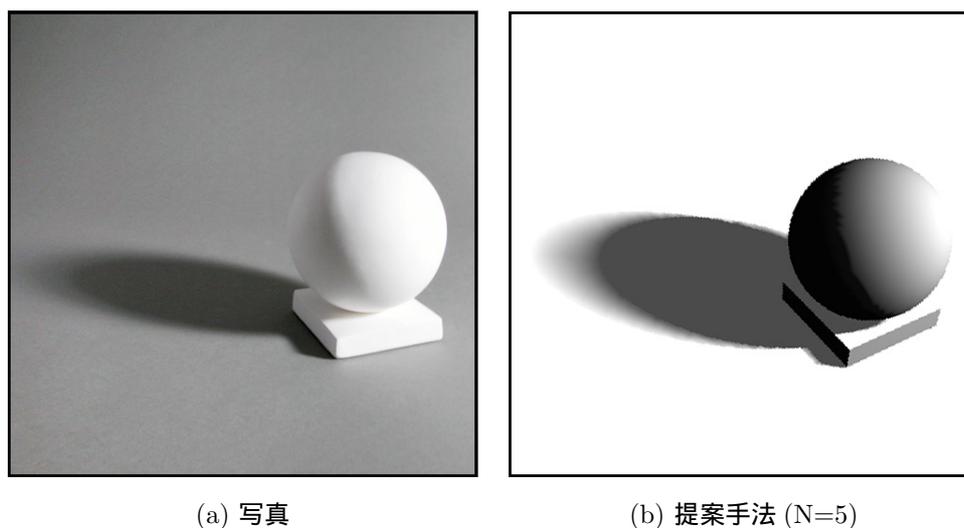


図 4.3: リアリティの検証

4.2 問題点

4.2.1 影画像のずれによる問題

本手法は半影領域の抽出にブラー式ソフトシャドウ法の考え方を基礎に持つ為、その手法の問題点も受け継いでいる。その多くは影画像の重なりからのずれから来る

問題であり、2枚の影画像が全く重なり合わない場合や、別々の遮蔽物から出る影が、対応していない影の領域と重なってしまう場合等において、その問題は顕著に現れる。

まず2枚の影画像が全く重ならない場合では、影が二つ描画されるという問題が起こる。この問題はシャドウマップ生成位置の2点間の距離が大きく、対象となる遮蔽物が非常に小さい場合、また、遮蔽物がシーン中で主に影を出したい位置と光源との直線上から離れている場合起こりやすい。これを図4.4で表す。実際の光源ならば、全体的に薄い大きな半影ができるが、この図において、2点から生成された影は全く重ならず、影が二つ描画されてしまっている。

そして別々の遮蔽物から出る影が、対応していない影の領域と重なってしまう場合では、面光源として本来出ない影が発生してしまう。これを図4.5で示す。左の図では、緑色の部分で影が重なり本影領域となっているが、実際の領域を持つ光源ならば、2点の間からも光が当たる為、本影領域は出来ず全体的にぼやけた半影となる。

これらの問題はシャドウマップ生成位置の2点間の距離を小さくする、また、シーン中で主に影を生成したい位置と光源との直線上に近づけることで回避が可能であるが、これらの解決法は、光源や物体の配置を制限することとなり、表現の幅を狭めてしまう問題がある。

4.2.2 2次元画像処理による問題

本手法では、半影領域の描画を2次元画像処理で行っている為、本来隣接していない本影領域・影でない領域も検索してしまう問題がある。隣接していない領域への距離で計算をしてしまうとグラデーションに異常が出てしまい、見た目において違和感が出てしまう。図4.6でそれを示す。この図において、物体が半影に重なっている部分の周囲で影が薄くなっており、違和感が生じている。この問題は2次元画像上で処理を行っている為、半影の手前に物体がある場合、その物体のあるピクセルの本影・影でない領域を検索してしまうことにより起きる。この

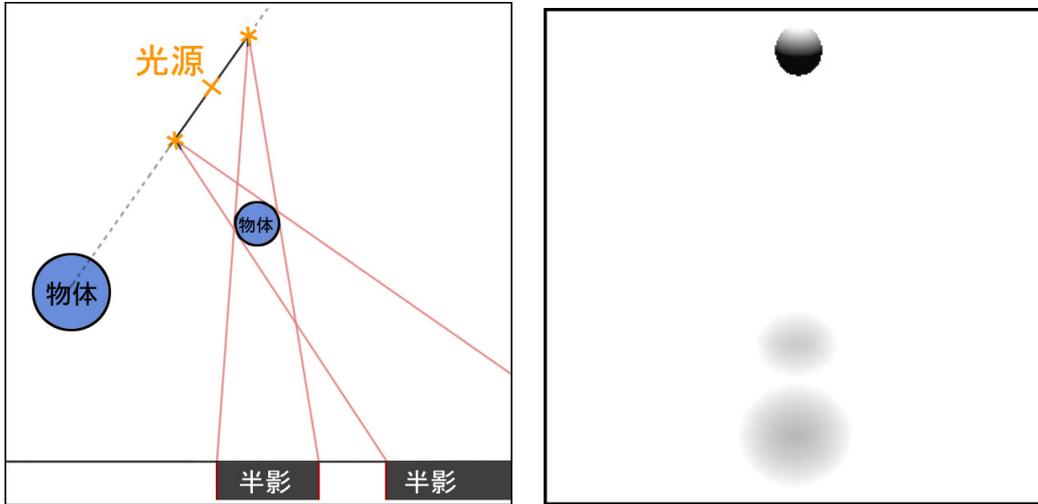


図 4.4: 影が2つ描画される

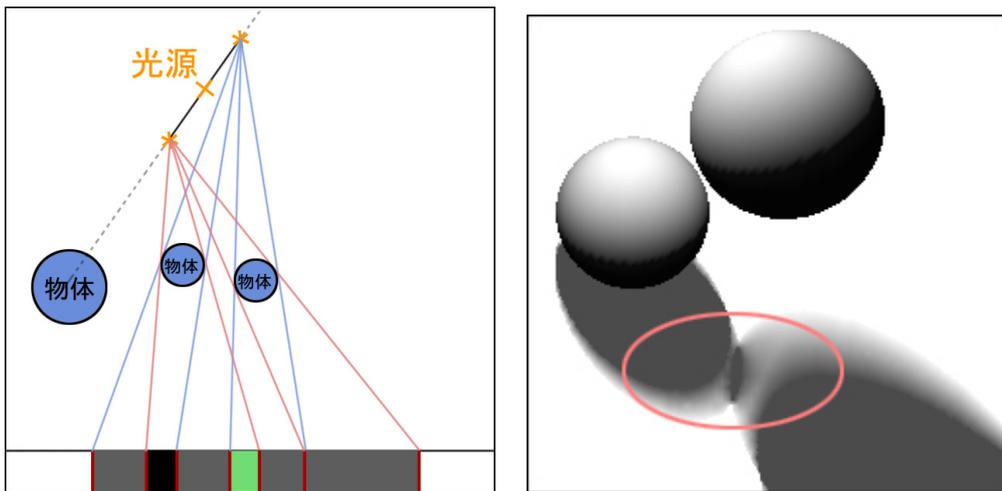


図 4.5: 別々の影の重なり

問題は、視点方向からの奥行き値を利用し、検索したピクセルと半影との奥行き値の差が大きい場合、色の計算方法を変更する事で回避が可能であると考える。

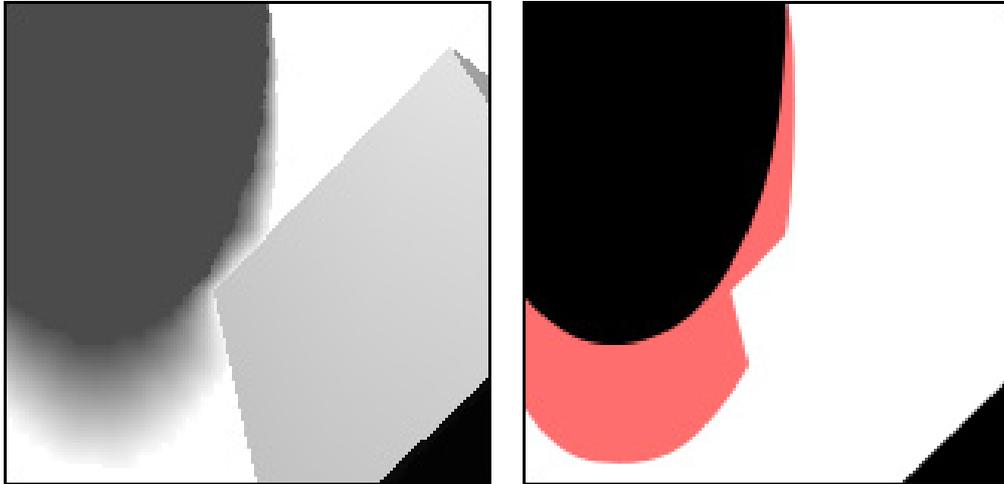


図 4.6: 2次元画像処理による問題

4.3 展望

本研究の高速化手法は、シーン全体で一律に領域検索を行うピクセルの量を決めている。よって、小さな半影の場合、領域検索を行う量が少ないとグラデーションの精度が悪くなってしまい、大きな半影の場合、領域検索を行う量が多いと計算量が増大してしまう。その為、シーン中の半影領域の大きさによって、領域検索を行うピクセルの量をインタラクティブに切り替える手法が必要であると考える。

第 5 章

まとめ

本研究では、2枚のシャドウマップを利用し、その差分から各影の領域を抽出、そして半影領域からの最近隣の本影・影で無い領域検索により、画像処理で影の濃さを決定する手法を提案し、本研究の目的である、綺麗なグラデーション・見た目において違和感の無い影・高速に処理が可能という条件を両立し、投射距離を考慮したソフトシャドウ生成手法を提案し実装した。

現状では課題も残っているが、それらの問題を解決することにより、シーンや用途により手法を使い分ける事が良いとされる影の生成技術の中で、ソフトシャドウを表現する有効な手法の一つとなるだろう。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なる助言とご指導を頂いた本校メディア学部の渡辺大地講師、電気通信大学の和田篤氏、また本研究において様々なご協力を頂いた3DCGコンポーネントプロジェクトの諸氏に熱く感謝の意を表す。

参考文献

- [1] Sony Computer Entertainment , “ ワンダと巨像 ”, 2005.
- [2] UBISOFT , “ Tom Clancy’s Splinter Cell : Chaos Theory ”, 2005.
- [3] Yury Uralsky, Anis Ahmad, “ SDK White Paper Soft Shadows ”, NVIDIA Corporation 2701 San Tomas Expressway Santa Clara, CA 95050, July 2004.
- [4] Paul S. Heckbert and Michael Herf, “ Simulating soft shadows with graphics hardware ”, Technical Report CMU-CS-97-104, Carnegie Mellon University, 1997.
- [5] Michael Herf, “ Efficient generation of soft shadow textures ”, Technical Report CMU-CS-97-138, Carnegie Mellon University, 1997.
- [6] M. Hasenfratz, M. Lapierre, N. Holzschuch and F.X. Sillion, “ A survey of real-time soft shadows algorithms ”, Computer Graphics Forum , pp753-774, 2003.
- [7] Steven Parker and Peter Shirley and Brian Smits, “ Single sample soft shadows ”, Technical Report UUCS-98-019, Computer Science Department, University of Utah, 1998.
- [8] NAMCO, “ プログラマブルシェーダーとGPU ”, CEDEC2004, MycomPCWab <http://pcweb.mycom.co.jp/articles/2004/09/14/cedec/001.html>.

- [9] F.Crow,“ Shadow algorithms for computer graphics ”, In Proceedings of ACM SIGGRAPH '77, Vol.11, No.2, pp.242-248, 1977.
- [10] L.Williams,“ Casting Curved Shadows on Curved Surfaces ”, In Proceedings of ACM SIGGRAPH '78, Vol.12, No.3, pp.270-274, 1978.
- [11] Tomas Akenine-Moller and U.Assarsson, “ Approximate soft shadows on arbitrary surfaces using penumbra wedges ”, In Rendering Techniques 2002, pp.297-306, 2002.
- [12] U.Assarsson, M.Dougherty, M.Mounier,and Tomas Akenine-Moller, “ An optimized soft shadow volume algorithm with real-time performance ”, In Graphics Hardware, 2003.
- [13] M.Stamminger and G.Drettakis,“ Perspective Shadow Maps ”, In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002, pp.557-562, 2002.
- [14] R.Fernando, S.Fernandez, K.Bala and D.P.Greenberg, “ Adaptive Shadow Maps ”, In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001, pp.387-390, 2001.
- [15] CG-ARTS 協会 , “ 画像処理標準テキストブック ”, pp.207-209, 1997.