

大域照明モデルの二段階解法

5 V-9

西谷 敦 能野 謙介

九州芸術工科大学

1 はじめに

フォトリアリスティックな CG 画像を生成するには、光の伝達をシミュレートすることが重要である。本稿では、光の伝達をシミュレートするためそのモデル化を行い、またそれを解くため二段階手法のアルゴリズム研究を行った。

2 光伝達モデル

物体表面に達した光は、反射もしくは透過する。また反射と透過それぞれに指向性のものと拡散性のものがあり、これら全てを満たす全体照明モデルの式は以下ようになる。

$$I_{out\ j \rightarrow m} = \sum_{\substack{e \\ e \neq j}} KS(e, j, m) \cos^{\alpha_j} \gamma(e, j, m) I_{out\ e \rightarrow j} + \sum_{\substack{e \\ e \neq j}} KD(e, j, m) \cos \theta(j, e) I_{out\ e \rightarrow j} + KE(j, m) \xi_j \quad (1)$$

$I_{out\ j \rightarrow m}$: 点 j から点 m へ伝達する光の放射強度

$KS(e, j, m)$: 点 e と点 j と点 m の幾何関係から指向性伝達率を求める関数

$KD(e, j, m)$: 点 e と点 j と点 m の幾何関係から拡散性伝達率を求める関数

$KE(j, m)$: 点 j と点 m の幾何関係から自発光伝達率を求める関数

$\gamma(e, j, m)$: 点 e と点 j と点 m の幾何関係から α_e か β_e を選択する関数 (図 1)

$\theta(j, e)$: 点 j での面法線と点 j と点 e を結ぶベクトルとの成す角

第1項は Phong のモデルを、第2項は Lambert の法則を、第3項は自発光を表している。

3 二段階解法

二段階解法は2回に分けて画像を得る方法である。第1段階（プリプロセス）は、視点に依存しない環境内の各面の拡散反射強度を計算する段階である。第2段階（ポストプロセス）は、視点に依存した環境内の各面の指向性放射強度と最終的な画像を得る段階である。

3.1 プリプロセス

環境内のある点の明るさは、視点を m 注視点 j として式 (1) を計算すればよい。式 (1) の第2項は拡散性放射強度を示す。だから点 j から点 m に伝達される拡散性放射強度 $I_{diff\ j \rightarrow m}$ は、

$$I_{diff\ j \rightarrow m} = \sum_{\substack{e \\ e \neq j}} KD(e, j, m) \cos \theta(j, e) I_{out\ e \rightarrow j} \quad (2)$$

である。図 1 の点 j を点 m から見た場合、点 j の属する面の裏から入射する光は拡散透過、表から入射する光は拡散反射で視点に光を伝達し、どちらも面の表側に対して一様な分布を持つ。点 j を点 m' から見た場合も、拡散性反射と拡散性透過の合計は、一様な分布である。だから、点 j の表に対する拡散放射強度と裏に対する拡散放射強度は違う値を持つが、視点の位置に依存していない。

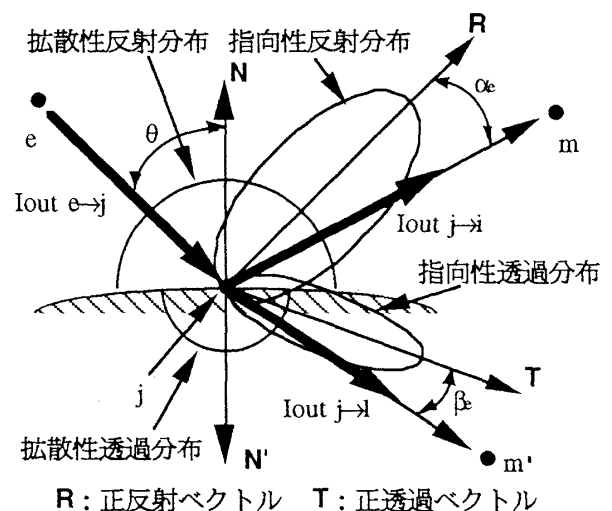


図 1 : 光伝達のモデル

A Two-Pass Solution to the Global Illumination Model
Atushi Nishitani and Kensuke Nono
Kyushu Institute of Design
9-1 Shiobaru 4-chome, Minami-ku, Fukuoka-shi, 815
Japan

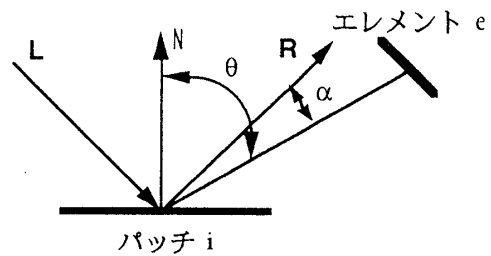
プリプロセスでは環境中の各面の式 (2) で表される拡散性伝達による放射強度を視点決定前に計算する。この式には $I_{oute \rightarrow j}$ が含まれているので、計算される拡散性放射強度を導くまでの光伝達は指向性伝達と拡散性伝達と自発光伝達を含んでいる。この全ての伝達を含む計算を行うため、ラジオシティ法に拡散性透過と指向性伝達を取り扱えるように改造する。

3.2 改造ラジオシティ法

通常のラジオシティ法では拡散性反射のみ取り扱うため、未放射ラジオシティがどの方向から入射してきたか記憶しておく必要がない。しかしプリプロセスでは拡散性透過と指向性伝達も取り扱うので、パッチが受け取ったラジオシティはどの方向から入射したか記憶する必要がある。このためパッチの未放射ラジオシティを、環境中の総パッチ数の配列で保持することにした。

パッチの要素に対する放射量は、放射パッチと受け取る要素と未放射ラジオシティの入射方向、この3つの幾何関係から求める。拡散性の放射に関しては、ヘミキューブをパッチの表と裏の両方にかぶせてフォームファクタを求め、あらゆる方向の要素に放射できるようにする。このときパッチの表から入射したラジオシティをパッチの裏にある要素に伝達させることと、パッチの裏から入射したラジオシティをパッチの表にある要素に伝達させることが拡散性透過である。

指向性伝達も、放射パッチと受け取る要素と未放射ラジオシティの入射方向、3つの幾何関係が分かるので、計算可能である。指向性伝達は、 $\cos^3\gamma$ という分布を持つフォームファクタを使用して光エネルギーを放射する。この指向性伝達を取り扱うフォームファクタを指向性フォームファクタと呼ぶ。指向性フォームファクタは未放射ラジオシティの入射方向に依存するので、例えばあるパッチから受け取ったラジオシティを放射するとき、別のパッチから受け取ったラジオシティを放射するときでは、別の分布を持つ。環境中に n_p 個のパッチがあるならば指向性の放射に関して n_p 回放射することになり、実用に耐えられない時間がかかる。そこで指向性フォームファクタは既に求めている拡散性フォームファクタの考え方を拡張して、図2のような場合の指向性フォームファクタを求めると次のようになる。



L: 未放射ラジオシティの入射ベクトル
R: 正反射ベクトル

図2: 指向性フォームファクタ

$$G'_{i \rightarrow e} = \frac{\cos^3 \alpha}{\cos \theta} F_{i \rightarrow e}$$

$$G_{i \rightarrow e} = G'_{i \rightarrow e} / \sum_e G'_{i \rightarrow e} \quad (3)$$

$G_{i \rightarrow e}$: パッチ i から要素 e への指向性フォームファクタ

$F_{i \rightarrow e}$: パッチ i から要素 e へのフォームファクタ

フォームファクタが $\cos \theta$ の分布を持つのでそれを除し $\cos^3 \alpha$ を乗じただけであるが、十分良好な結果を得た。

3.2 ポストプロセス

ポストプロセスでは、視点に依存した環境内の各面の指向性放射強度と最終的な画像を計算する。視点とスクリーン上の画素 (Pixel) を結んだベクトルが点 j に当たったとする。スクリーン上の画素の明るさは、点 j から視点に伝達される光の放射強度であるから、式 (1) のを視点を点 m にすると求められる。このうち第2項が表す拡散性伝達はプリプロセスで計算済みである。また第3項も点の自発光であるから環境定義するときに設定している。だから第1項について計算すれば、スクリーン上の画素の明るさが決定できる。しかしこれは全方向からの入射光を計算せねばならず、計算にコストがかかりすぎる。指向性放射強度に最も影響を与える正反射 (透過) 方向のみ考慮しレイトレーシングと同様に視点から光線を追跡して画像を得た。

4 おわりに

本稿では、拡散及び指向性反射 (透過) の大域照明モデルの式を導き、それを二段階解法によりリアルな CG 画像を得ることができた。