

任意形状の光源による大気散乱光の高速レンダリング

福井 洋平*1 岩崎 慶*2 高木 佐恵子*2 吉本 富士市*2

和歌山大学大学院システム工学研究科*1 和歌山大学システム工学部*2

1 はじめに

霧や霏がかかった景観の画像を生成するためには、大気中の微粒子による散乱光を考慮する必要がある。大気散乱光を表現するためには、散乱光の輝度を視線に沿って積分計算する必要がある。大気散乱光を高速に計算する手法として土橋ら[1]や Sun ら[2]の手法がある。これらの従来手法では、光源として点光源か平行光線しか考慮されていなかった。しかし実世界では大きさを持つ光源が多く存在する。そこで本稿では、任意形状の光源のための大気散乱光の高速計算法を提案する。

2 提案手法

提案手法は、前計算処理とレンダリング処理の二つの処理で構成される。光源から放射した光が散乱して視点 x_v に到達する光の輝度 $L(x_v, \vec{\omega})$ は以下の式で計算される。

$$L(x_v, \vec{\omega}') = \int L(x, \vec{\omega}') \exp(-\kappa |x - x_v|) dx \quad (1)$$

$$L(x, \vec{\omega}') = \int S(x, \vec{\omega}) \rho(\vec{\omega}, \vec{\omega}') d\vec{\omega}$$

ここで $\vec{\omega}'$ は視線方向、 κ は減衰係数である。 $L(x, \vec{\omega}')$ は視線上の点 x で散乱し、視線に向かう光の輝度、 $S(x, \vec{\omega})$ は光源から点 x への放射輝度、 $\rho(\vec{\omega}, \vec{\omega}')$ は光源から点 x への放射方向 $\vec{\omega}$ から視線方向 $\vec{\omega}'$ への位相関数である。

任意形状の光源を考慮する場合、視線上から光源へレイを追跡し輝度を計算する必要がある。しかしながらこの計算はレイと光源との交点計算が必要なため計算コストが高い。そこで提案手法では、光源の周囲の点において、減衰を考慮した放射輝度を前計算して記憶する。周囲の点をサンプル点と呼ぶ(図 1 参照)。光源周囲のサンプル点での放射輝度分布を Source Radiance Field(SRF)と呼ぶ。また、物体による光の遮蔽を高速に計算するために、物体の周囲のサンプル

点において、物体による遮蔽情報を前計算する。この遮蔽情報の場を Object Occlusion Field(OOF)と呼ぶ。さらに、位相関数についても離散化した散乱方向ごとに位相関数を前計算しておく。視線上の各点において SRF から取得した放射輝度情報と、OOF から取得した遮蔽情報、及び位相関数を掛け合わせたものがその点での視線方向の散乱光となる。その点での散乱光を視線に沿って積分することで視点に到達する散乱光の輝度を計算する。また、SRF、OOF 及び位相関数はそれぞれ球面調和関数展開しておくことで視線上の点での散乱光の輝度を高速に計算することができる。

3 前計算処理

前計算では、光源ごとに SRF、物体ごとに OOF を計算する。また、位相関数についても離散化した散乱方向ごとに前計算する。

3.1 SRF の計算

SRF の計算は以下のように行う。(1)光源の重心を中心とした仮想的な同心球を設定する。(2)同心球上に離散的なサンプル点を設定し、光源からサンプル点 x への減衰を考慮した放射輝度分布 $S(x, \vec{\omega})$ を計算する。(3)放射輝度分布を以下の式により球面調和関数展開し、各球面調和関数 $y_i(\vec{\omega})$ に対応する係数 $S_i(x)$ を各サンプル点で保存する。

$$S(x, \vec{\omega}) = \sum_i S_i(x) y_i(\vec{\omega}) \quad (2)$$

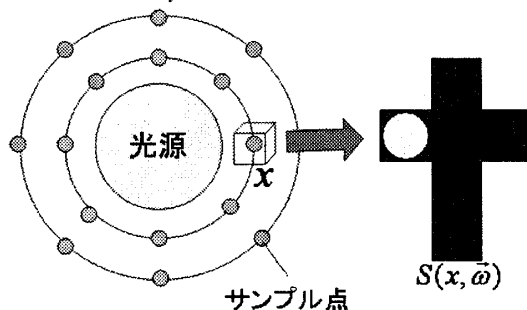


図 1 : サンプル点での放射輝度分布

3.2 遮蔽情報

遮蔽情報はシーン内に存在する物体ごとに計

Fast Rendering of Atmospheric Scattering Taking into Account arbitrary shapes light source

*1 Yohei Fukui, Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

*2 Kei Iwasaki, Saeko Takagi and Fujiichi Yoshimoto, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

算しておく[3]。物体の重心を中心とした同心球上の各サンプル点 x での遮蔽情報 $O(x, \vec{\omega})$ を計算する。遮蔽情報 $O(x, \vec{\omega})$ は点 x からのレイ $\vec{\omega}$ が物体と交差する場合 0, それ以外は 1 を返す関数である。遮蔽情報を以下の式により球面調和関数展開し, 各球面調和関数 $y_i(\vec{\omega})$ に対応する係数 $O_i(x)$ を各サンプル点で保存する。

$$O(x, \vec{\omega}) = \sum_i O_i(x) y_i(\vec{\omega}) \quad (3)$$

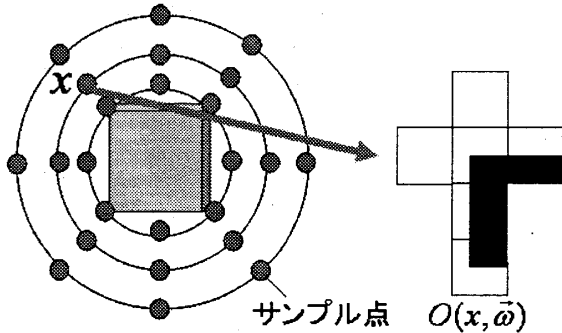


図2：サンプル点での遮蔽情報

3.3 位相関数

位相関数 $\rho(\vec{\omega}, \vec{\omega}')$ はある点に $\vec{\omega}$ 方向から入射した光が $\vec{\omega}'$ 方向へ散乱する割合を表す関数である。位相関数 $\rho(\vec{\omega}, \vec{\omega}')$ は以下の式で表される。

$$\rho(\vec{\omega}, \vec{\omega}') = \frac{1-g^2}{4\pi(1+g^2-2g(\vec{\omega} \cdot \vec{\omega}'))^{1.5}} \quad (4)$$

g は散乱の度合いを決めるパラメータである。離散化した散乱方向 $\vec{\omega}'$ について $\rho(\vec{\omega}, \vec{\omega}')$ を計算する。以下の式により球面調和関数展開し, 各球面調和関数に対応する係数を保存する。

$$\rho(\vec{\omega}, \vec{\omega}') = \sum_i \rho_i(\vec{\omega}') y_i(\vec{\omega}) \quad (5)$$

4 レンダリング処理

レンダリング処理では前計算によって求めたデータを用いて, 視点からスクリーンの各ピクセルに向けた視線上の散乱光の輝度を視線に沿って数値積分することによって算出する。これをスクリーンの全ピクセルについて積分計算をするのは計算コストが高いため, 次の方法で計算する。まず, スクリーンに平行なサンプル面を用意し, 格子状に分割する(図3参照)。次にサンプル面上の各格子点での輝度を計算する。サンプル面上の各格子点に最も近い8つのサンプル点での球面調和係数を SRF, OOF からそれぞれ取得する。SRF, OOF ごとに球面調和係数を線形補間し, 位相関数とともにトリプルプロダクト[3]を用いて掛け合わせ, サンプル面上の

各格子点での散乱光の輝度を計算する。この輝度を用いてサンプル面を描画する。全サンプル面を視点から遠い順にレンダリングすることでレンダリングを行う。

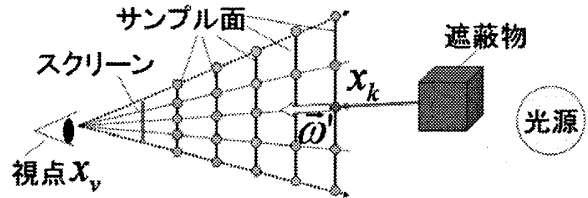


図3：サンプル面上の点での輝度計算

5 結果とまとめ

結果画像を図4に示す。シーン上部に面光源を配置し, テーブルへ光を照射させた。SRF, OOF とともに同心球の数は 32, 球面調和係数の数 N は 16 とし, 同心球上のサンプル点数は方位角, 仰角ともに 32 である。ファイルサイズは SRF, OOF は 12MB, 位相関数は 128KB である。サンプル面数は 32, 描画時間は 4.7 秒であった。計算環境は CPU Pentium4 3.40GHz である。

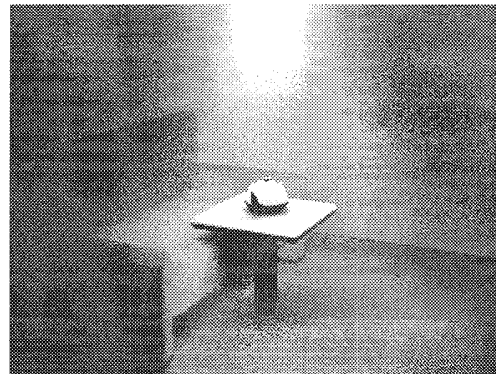


図4：結果画像例

減衰を考慮した SRF を使うことにより, 従来法では取り扱えなかった大きさをもつ光源による大気散乱光のレンダリングを実現した。今後の課題として GPU による高速化が挙げられる。

参考文献

- [1]Yoshinori Dobashi et al., An Accurate, Fast Method Using Graphics Hardware for Rendering Shafts of Light, The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers, Vol. 55, No. 7, pp.362-370, 2001.
- [2]Bo Sun et al., A Practical Analytic Single Scattering Model for Real Time Rendering, SIGGRAPH'05, pp.1040-1049, 2005.
- [3]Kun Zhou et al., Precomputed Shadow Fields for Dynamic Scenes, SIGGRAPH'05, pp.1196-1201, 2005.