

多重散乱を考慮した海面の高速レンダリング

角田 賢亮†

岩崎 慶‡

吉本 富士市‡

†和歌山大学大学院システム工学研究科

‡和歌山大学システム工学部

1 はじめに

自然現象のビジュアルシミュレーションは、CGの分野において重要な研究課題の一つとして、今までに様々な研究がなされてきた。様々な自然現象の中で、海は景観表現には欠かせない重要な要素であり、海のレンダリングは景観シミュレーション等に応用されている。景観シミュレーションでは、視点を変えても高速に高精細な海の画像を生成することを要求されることが多い。高精細な海のレンダリングには、水中における光の多重散乱を考慮する必要がある。しかし、多重散乱を考慮すれば計算コストが高くなり、インタラクティブに視点を変えながらレンダリングすることは困難である。本研究では、多重散乱を経て海面に到達する透過光の輝度分布を前計算し、球面調和関数で表現する。これにより、視点を変えても高速に海面からの輝度を計算することができる。

本稿の構成は以下のとおりである。2節では関連研究を紹介し、3節では、海面のレンダリング手法を述べる。4節では提案法を述べ、5節でその結果を示す。最後に6節でまとめと課題について述べる。

2 関連研究

Nishitaらは太陽光による海中の散乱光の計算法[1]を提案した。この論文では、大気圏外の非常に高い視点から、大気中の散乱を含む水底までの地表のレンダリングを行っている。Premožeらは物理則に従い、水面の色の正確な計算手法[2]を提案した。この論文では、Jerlov[3]による海のタイプの分類法のほか、水中から視点に到達する光を、拡散成分と視線に沿った光の成分に分けている。これらの手法では、水中で複雑に散乱している光を簡単に表現して計算している。また、Gutierrezらは海洋学分野のデータから水中の複雑な光の散乱をモデル化し[4]、水中シーンを視覚化しているが、インタラクティブに視点を変えたり、海の色に関するパラメータの変えながらの高速なレンダリングは困難である。そこで、本研究では、多重散乱を考慮した高速なレンダリング手法を提案する。

Interactive Rendering Method for Sea Surfaces Taking into Account Multiple Scattering

†Kensuke KAKUTA ‡Kei IWASAKI ‡Fujiiichi YOSHIMOTO

†Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

‡Faculty School of Systems Engineering, Wakayama University

3 海面のレンダリング

海面から視点に到達する光 L_v は、海面での反射光成分 L_R と水中からの透過光成分 L_T からなる。

$$L_v = RL_R + TL_T \quad (1)$$

ここで、 R 、 T は海面上の点における反射率と透過率であり、フレネルの法則により計算される。反射光 L_R は太陽光の入射方向、視線方向 ω の水面上での反射方向を用いて計算される。

視線の屈折方向 ω' に沿って海面上の点 x に向かう水中の透過光の輝度 $L_T(x, \omega')$ は以下の式で求められる。

$$L_T(x, \omega') = \int_{x_b}^x L_s(p, \omega') \exp(-\sigma_t l) dp \quad (2)$$

ここで、 $L_s(p, \omega')$ は屈折した視線上の点 p における ω' 方向の輝度、 σ_t は水中での減衰係数、 l は海面上の点 x から点 p までの距離とする (図1参照)。点 p における輝度 $L_s(p, \omega')$ の計算には多重散乱を考慮するため計算コストが高い。また、透過光の計算には水中の点での輝度を屈折した視線に沿って積分する必要があるため、視点を変更した場合には積分処理を再度する必要がある。

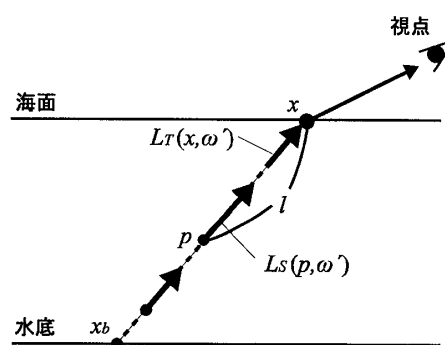


図1: 透過光 L_T の計算

4 提案法

本稿では、海面より上の任意視点からの景観画像の生成を効率的に行う手法を提案する。海面は水平と仮定し、海面上の点における透過光の輝度分布を前計算する。輝度分布を球面調和関数で表現して、式(2)の積分計算を効率的に処理する。

前計算処理では、海面での透過光を計算する。多重散乱を考慮した透過光の計算には、フォトンマップ法[5]

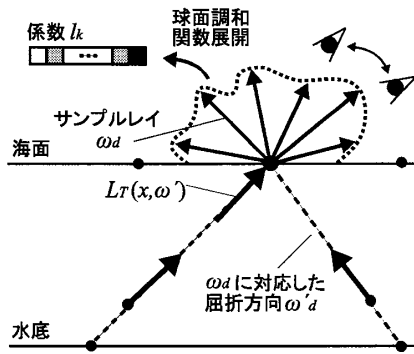


図 2: 透過光の球面調和関数展開

を用いる。海面に入射する光としては太陽光を考慮する。海面に対して太陽の入射方向に光子を射出し、海面での多重散乱を考慮して光子マップを構築する。図 2 のように、海面上の各点 x において、上半球上から海面に対して n 個のサンプルレイ $\omega_d (1 \leq d \leq n)$ を生成する。 ω_d に対応した屈折方向 ω'_d 上にサンプル点を設定する。各サンプル点において、 ω'_d 方向の輝度 L_s を光子マップから求める。海面での透過光 L_T は L_s を用いて式 (2) から計算する。透過光 L_T を球面調和関数展開した係数 l_k を海面上の各点 x で保存しておく。

$$l_k(x) = \int L_T(x, \omega') y_k(\omega) d\omega$$

$$\approx \sum_{d=1}^n L_T(x, \omega'_d) y_k(\omega_d) \Delta(\omega_d) \quad (3)$$

ここで、 $y_k(\omega)$ は k 番目の球面調和関数とする。レンダリング時の処理において、任意の視線方向 ω の透過光 $L_T(x, \omega)$ は、以下の式から計算される。

$$L_T(x, \omega) \approx \sum_{k=1}^N l_k(x) \cdot y_k(\omega) \quad (4)$$

5 結果

本手法による画像例を図 3 に示す。水深 10 m、海面の格子点数は 32×32 、散乱光の積分経路の分割数は 20、格納光子数は約 1,700,000、輝度推定光子数は 300、水中での減衰係数 σ_t は [3] を参考に設定した。計算環境は、CPU Intel Core2 Duo 3.0 GHz、メモリ 2.0 GB RAM、GPU ATI Radeon HD 3870 を搭載した PC を用いた。

本手法の描画速度を表 1 に示す。サンプルレイの数 n は $32 \times 32 \times 3$ とした。前計算時間（透過光の輝度分布の計算と球面調和関数展開）は $N = 400$ では 62 分であった。表 1 より、輝度推定を積分した透過光とそれを球面調和関数で近似した誤差は、 N を増やせば小さくなる。また、描画速度は、本手法を用いない場合 (0.5 fps) に比べて最大で約 1700 倍高速化することができた。

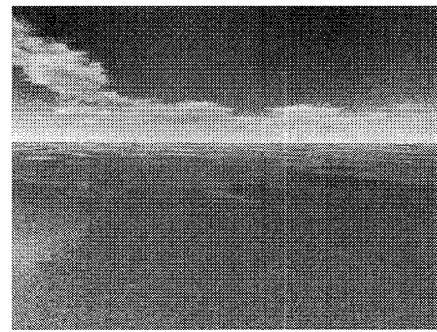


図 3: 本手法による画像例

表 1: 本手法の描画速度

係数 l_k の個数 N	RMS 誤差	描画速度 [fps]
16	0.246	832
64	0.154	62
100	0.108	32
200	0.075	13
400	0.059	5

6 まとめ

本稿では、多重散乱を考慮した海面の高速レンダリング手法を提案した。海面での透過光の輝度分布を前計算し、球面調和関数で表現した結果、描画速度を最大で約 1700 倍高速化することができた。

今後の課題として、前計算処理の高速化、および様々な方向の太陽光について透過光の輝度分布を前計算することにより、太陽光の高度の変更に対応することが挙げられる。

参考文献

- [1] T. Nishita, T. Shirai, K. Tadamura, and E. Nakamae, "Display of the earth taking into account atmospheric scattering", Proc. SIGGRAPH'93, pp. 175-182, 1993.
- [2] S. Premoze and M. Ashikhmin, "Rendering natural waters", Computer Graphics Forum, Vol. 20, No.4, pp. 189-199, 2001.
- [3] N.G. Jerlov, "Marine optics", Elsevier, Amsterdam, 1976.
- [4] D. Gutierrez, F. Seron, O. Anson, and A. Munoz, "Visualizing underwater ocean optics", Computer Graphics Forum (Eurographics 2008), Vol. 27, No.2, pp. 547-556, 2008.
- [5] H. W. Jensen, "Realistic image synthesis using photon mapping", A. K. Peters, Ltd., 2001.