

# 光ビームを用いた表面下散乱方程式の解法に関する研究

益池功 玉木徹 金田和文 広島大学 大学院工学研究科

## 研究の目的

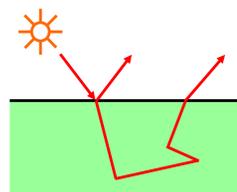
コンピュータグラフィックスによる写実的な画像生成

映画  
工業製品のデザイン

物質表面上の反射のみ考慮

物質表面で光を反射する物質の表現には有効  
内部で光が散乱する物質を写実的に表現することが困難

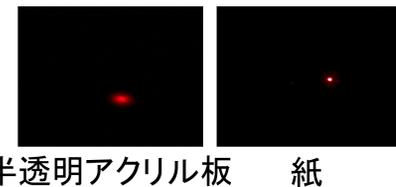
表面下散乱の考慮



- ・大理石
- ・人間の肌
- ・牛乳
- ・半透明アクリル板

表面下散乱方程式

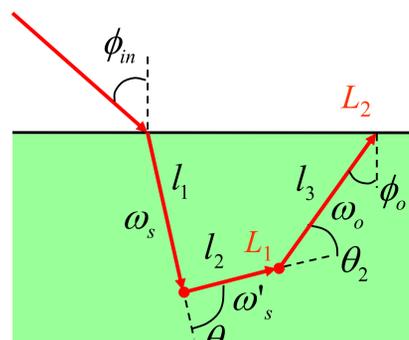
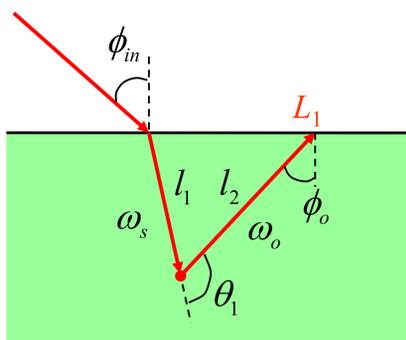
入射輝度に対する射出点での放射照度式  
解析的に解くことは困難



離散化

光ビームを用いる

## 表面下散乱方程式



- ・光の減衰の考慮:  $e^{-\sigma_t l}$
- ・散乱特性の考慮:  $p(\theta)$

単散乱光による放射照度

$$L_1 = \int_r \sigma_s e^{-\sigma_t l_2} \int_{\Omega_s} p(\theta_1) L_{in} F(\phi_{in}) e^{-\sigma_t l_1} d\omega_s dl_2$$

$$E_1 = \int_{\Omega/2} L_1 \cos \phi_o d\omega_o$$

二重散乱光による放射照度

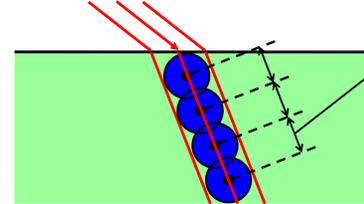
$$L_2 = \int_r \sigma_s e^{-\sigma_t l_3} \int_{\Omega} p(\theta_2) L_1 d\omega'_s dl_3$$

$$E_2 = \int_{\Omega/2} L_2 \cos \phi_o d\omega_o$$

- $\sigma_s$ : 散乱係数
- $\sigma_t$ : 消失係数
- $F(\phi_{in})$ : フレネルの透過率
- $\Omega_s$ : 光ビームの立体角
- $L_{in}$ : 入射光輝度
- $r$ : 光ビームの  $\omega_o$  方向の通過距離
- $p(\theta)$ : 位相関数(Henyey-Greenstein位相関数)

## 離散化方法

最初の散乱点...1本の光ビームの通過経路に沿った離散化



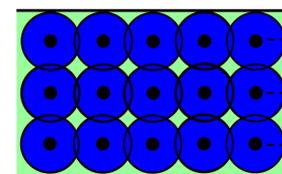
球ボリュームの配置

光ビームの体積

個々の球ボリュームの体積の和

一致

初期散乱以降の散乱点...光ビームの通過する空間全体に対して離散化

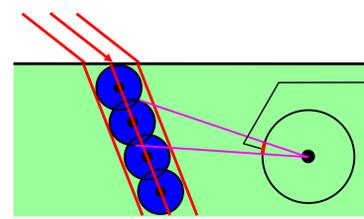


球ボリュームの配置

物質体積

個々の球ボリュームの体積の和

一致



散乱点の立体角

単位球に球ボリュームを投影することにより決定

単散乱光による離散式

$$E_1 = \sum_i \sigma_s e^{-\sigma_t l_2} p(\theta_1) L_{in} F(\phi_{in}) e^{-\sigma_t l_1} \frac{(\Delta w)^2}{16} \Delta w \cos \phi_o \frac{(\Delta w)^2}{8l_2^2}$$

二重散乱光による離散式

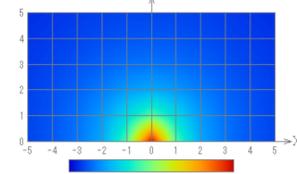
$$E_2 = \sum_j \sum_i \sigma_s e^{-\sigma_t l_2} p(\theta_2) L_{in} F(\phi_{in}) e^{-\sigma_t l_1} \frac{(\Delta w)^2}{16} \Delta w p(\theta_2) \frac{(\Delta w)^2}{16l_2^2} \sigma_s e^{-\sigma_t l_3} \Delta w \cos \phi_o \frac{(\Delta w)^2}{8l_3^2}$$

$\Delta w$ : 球ボリュームの直径  $i$ : 第1散乱点  $j$ : 第2散乱点

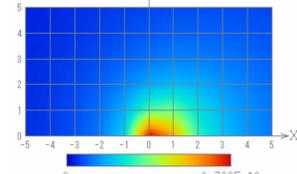
## 放射照度分布算出結果

入射角0,30,60度に対する物質表面上の放射照度分布

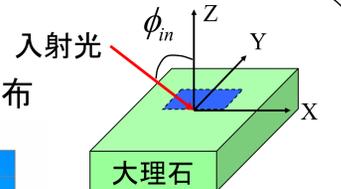
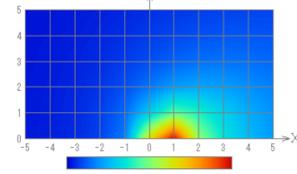
入射角0度



入射角30度



入射角60度



大理石

平面: 20cm × 20cm  
厚さ: 5cm  
表示範囲: 10mm × 5mm

- $\sigma_s$ : 2.19[mm<sup>-1</sup>]
- $\sigma_t$ : 2.1921[mm<sup>-1</sup>]
- 屈折率: 1.5
- $\Delta w$ : 1.0[mm]
- $L_{in}$ : 1.0[W/(sr·m<sup>2</sup>)]
- 位相関数パラメータ: 0.8

単散乱光による放射照度分布 二重散乱光による放射照度分布