
重点的サンプリングを用いた
光の表面下散乱シミュレーションに
関する研究

広島大学大学院工学研究科

益池 功 玉木 徹 金田 和文

研究の背景

コンピュータグラフィックスによる
フォトリアリスティックな画像生成

要求

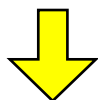
- ・映画
- ・工業製品のデザイン

リアルな表現

物質面での光の反射・透過分布

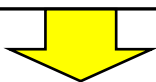
従来

物質表面上の反射のみ考慮

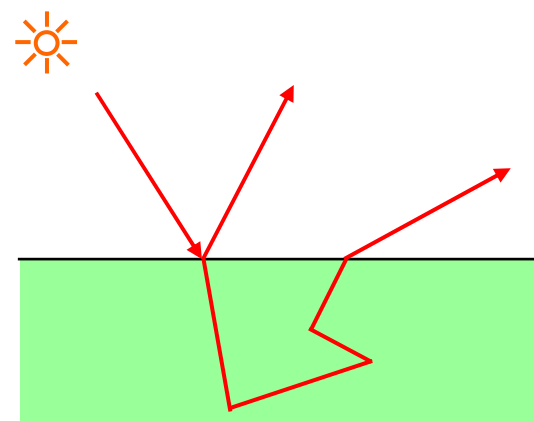


物質表面で光を反射する物質の表現
には有効

内部で光が散乱する物質を
フォトリアリスティックに表現することが困難



表面下散乱の考慮



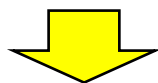
表面下散乱を起こす物質

- ・人間の肌
- ・大理石
- ・牛乳

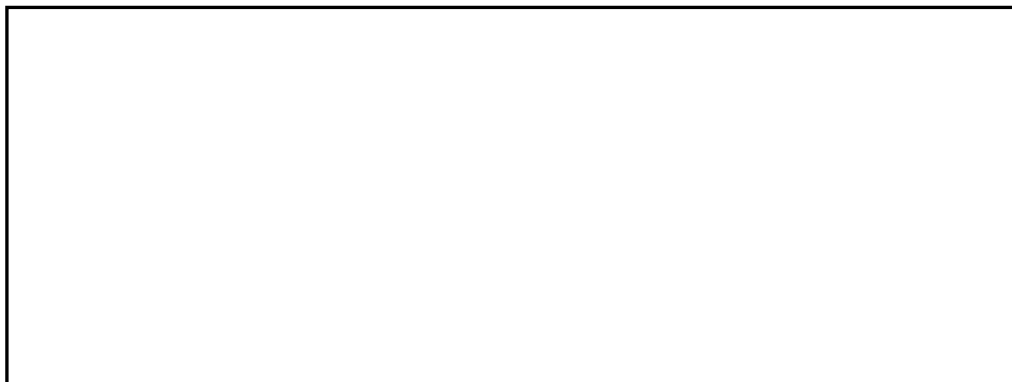
研究の背景

表面下散乱の考慮

物質をフォトリリスティックな表現が可能



物質内部での光の伝達を考慮

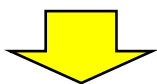


[1]H.W.Jensen,et al. “A practical model for subsurface Light transport”,Proc.SIGGRAPH’01

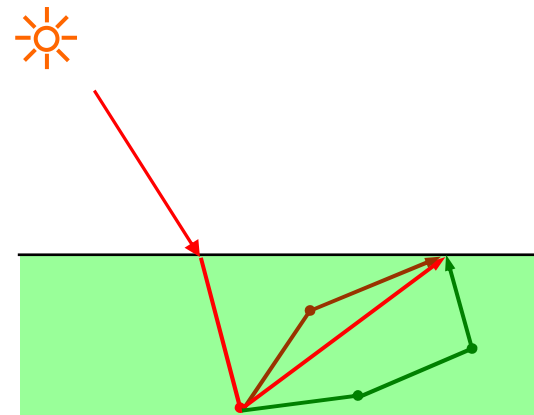
レイトレーシングで光の経路を追跡

経路の数が多いと計算時間が多くなる

物質内部での散乱光の経路追跡を行うのは計算コストが膨大



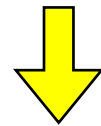
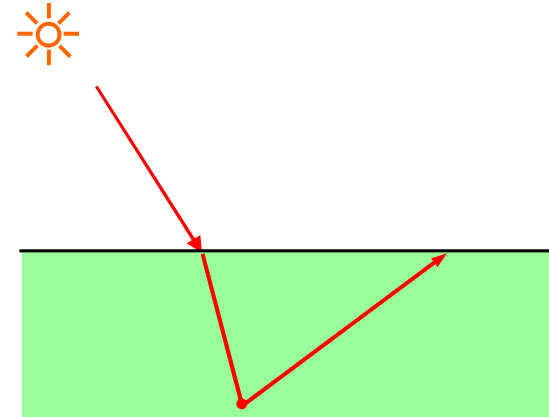
計算の効率化



研究の目的

表面下散乱の積分式

入射輝度に対する
射出点での放射照度式
解析的に解くのは困難

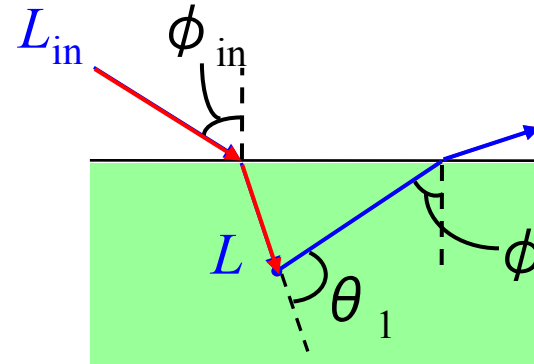
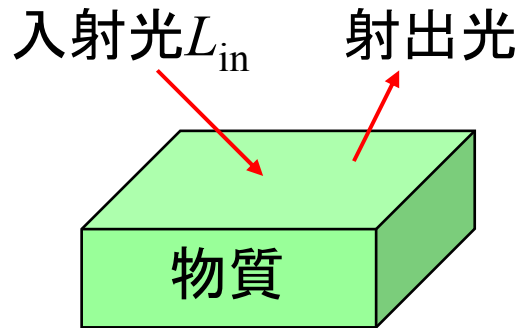


効率的に離散化
計算コストの削減

重点的サンプリング導入

射出点に与える影響が大きい散乱点を
より重点的にサンプリングする方法

表面下散乱方程式



[単散乱成分] [Jensen '01]

$$L = F(\phi_{in}) e^{-\sigma_t l_1} L_{in}$$

$$E = \sigma_s e^{-\sigma_t l_2} p(\theta_1) L \cos \phi$$



σ_t : 消散係数 s : 物質内部を通過する距離

$$E = \int \sigma_s F(\phi_{in}) p(\theta_1) e^{-\sigma_t s} L_{in} \cos \phi ds$$

重点的サンプリング法

重点的サンプリングとは

射出点に与える影響が大きい散乱点をより重点的にサンプリングする方法
重要度は密度関数によって決定

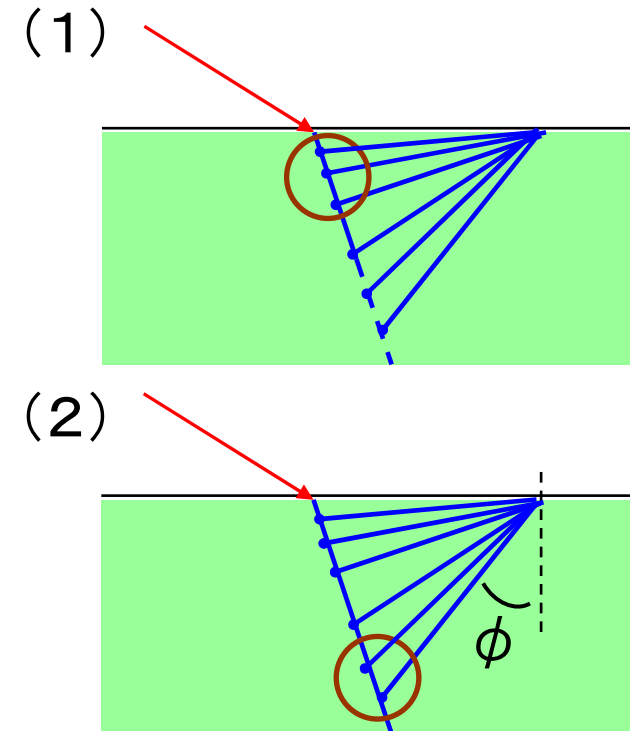
$$E = \int \sigma_s F(\phi_{in}) p(\theta_1) e^{-\sigma_t s} L_{in} \cos \phi ds$$

密度関数の設計

- (1) 内部を通過する距離が短い \longrightarrow 光の減衰が小さい
- (2) 射出角が小さい \longrightarrow 与える影響が大きい

密度関数

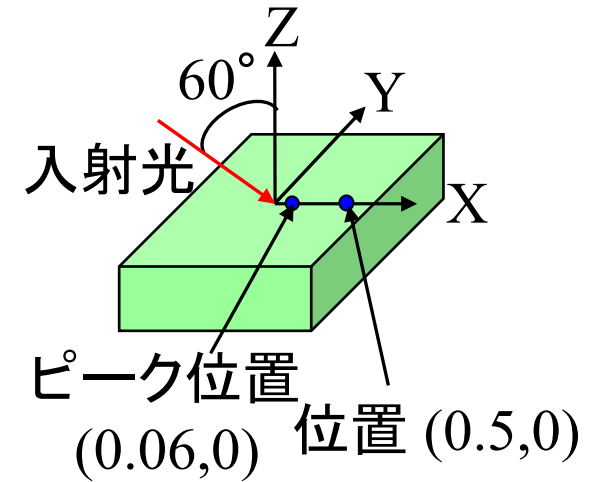
$$\frac{e^{-\sigma_t s}}{(1)} \frac{\cos \phi}{(2)}$$



実験

実験

入射角0、30、60度に対して、ピーク位置、位置(0.5,0)でのサンプル数-放射照度の収束過程



比較対象

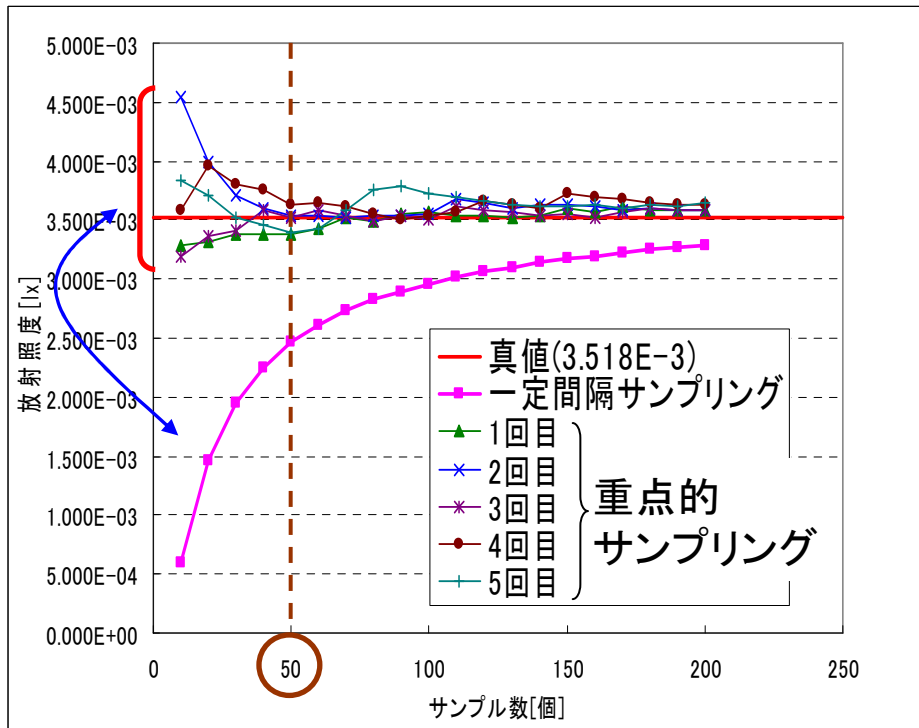
一定間隔サンプリング法

物質内部を通過する距離を一定間隔で離散化

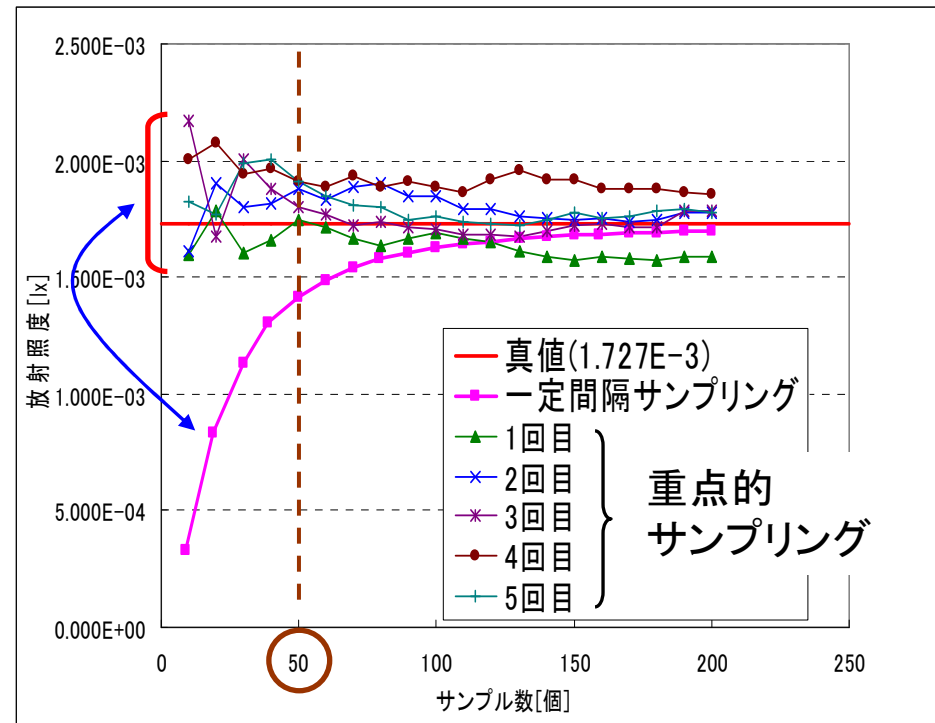
真値

入射点-散乱点-射出点の距離を一定間隔で十分細かく離散化

結果(入射角60度)



ピーク位置での収束過程

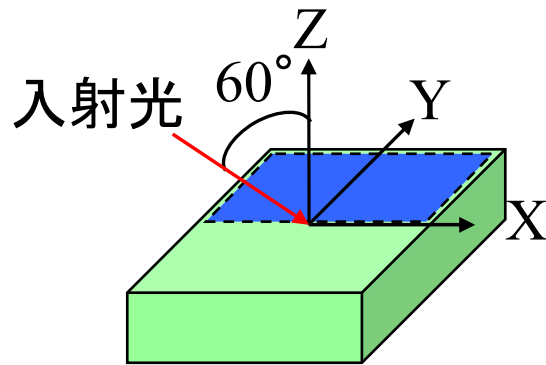


位置(0.5,0)での収束過程

一定間隔サンプリングとの比較

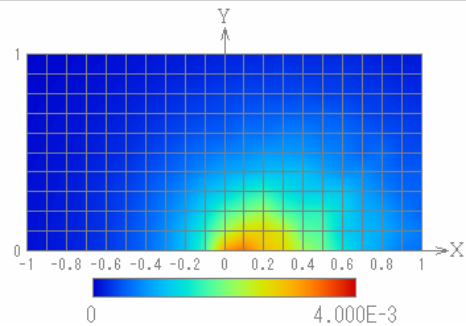
- ・ピーク位置付近では真値への収束が速い
- ・ピーク位置から離れるにつれて収束速度が落ちる

放射照度分布図での比較

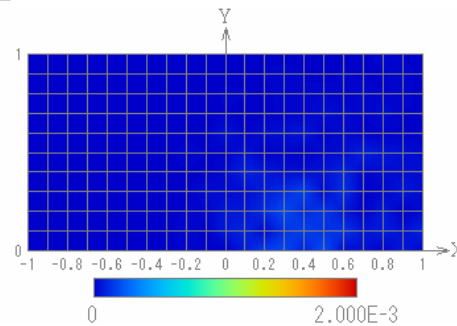


- ・平面: 2[cm] × 1[cm]
- ・厚さ: 5[mm]
- ・サンプル数: 50

重点的サンプリング法



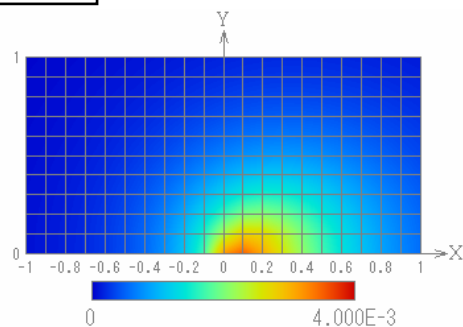
放射照度分布



誤差分布

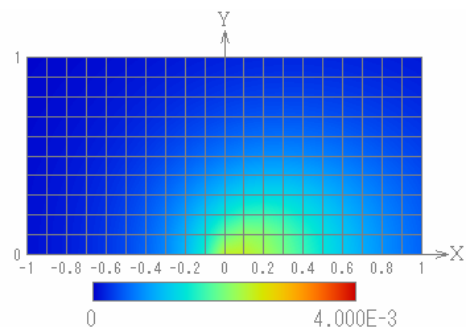
ピーク位置
での誤差
2.1%

真値

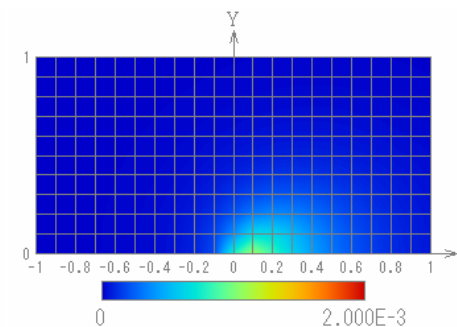


放射照度分布

一定間隔サンプリング法



放射照度分布



誤差分布

ピーク位置
での誤差
31%

まとめ

- ・重点的サンプリングを単散乱シミュレーションに導入

→ より少ないサンプル数で真値に近い結果を得ることができた

今後の課題

- ・密度関数の設計に関する検討
- ・多重散乱シミュレーションへの適用