

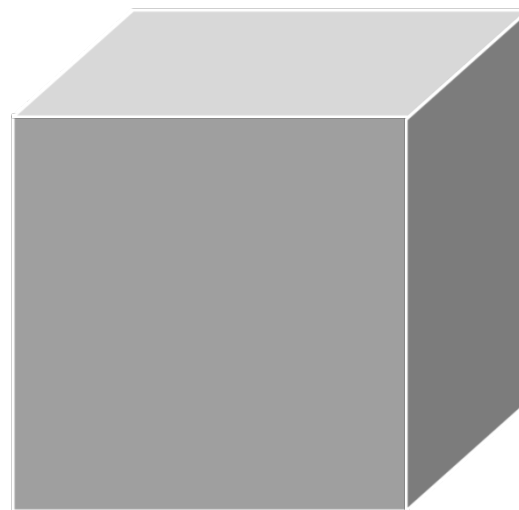
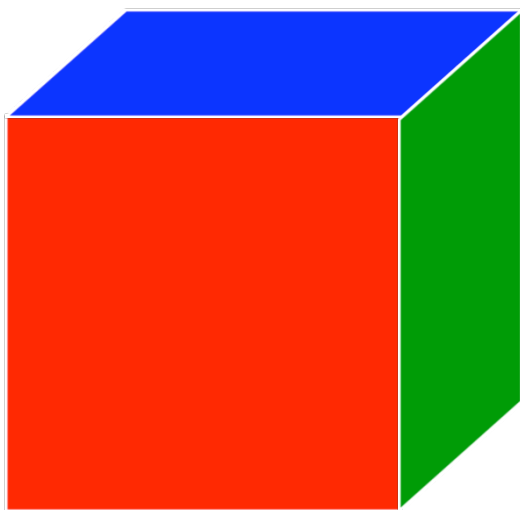
光の物理

メディアサイエンス基礎

この資料は下記にあります

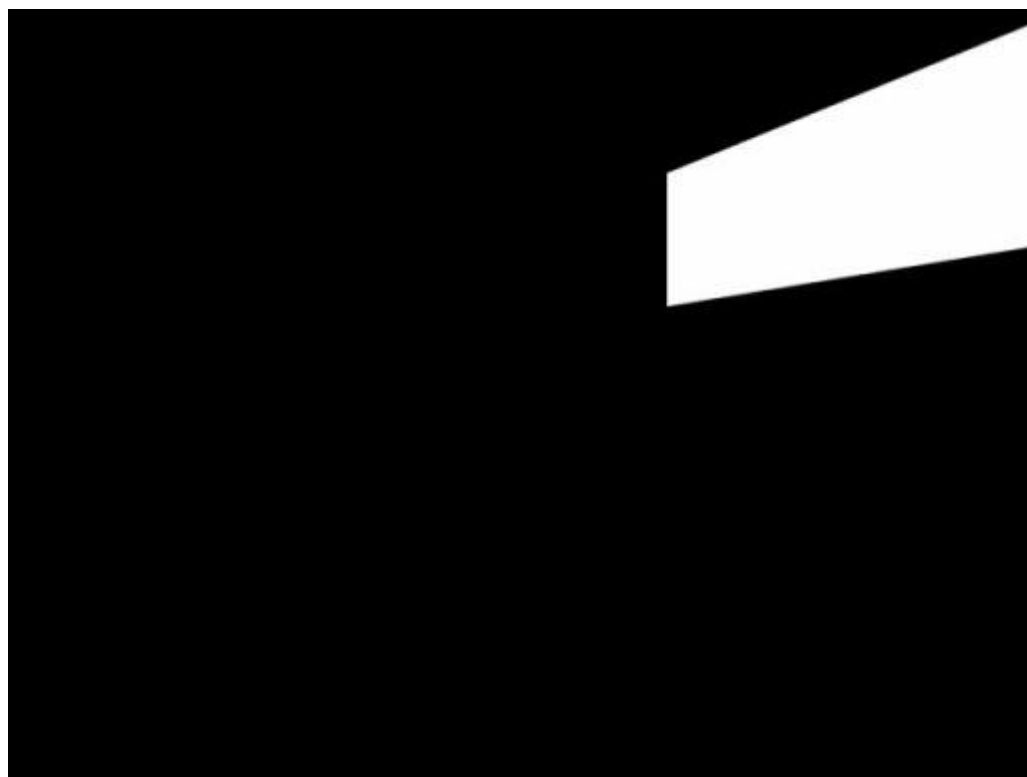
<http://www.wakayama-u.ac.jp/~tokoi/lecture/msb/>

リアリティの基本：陰影

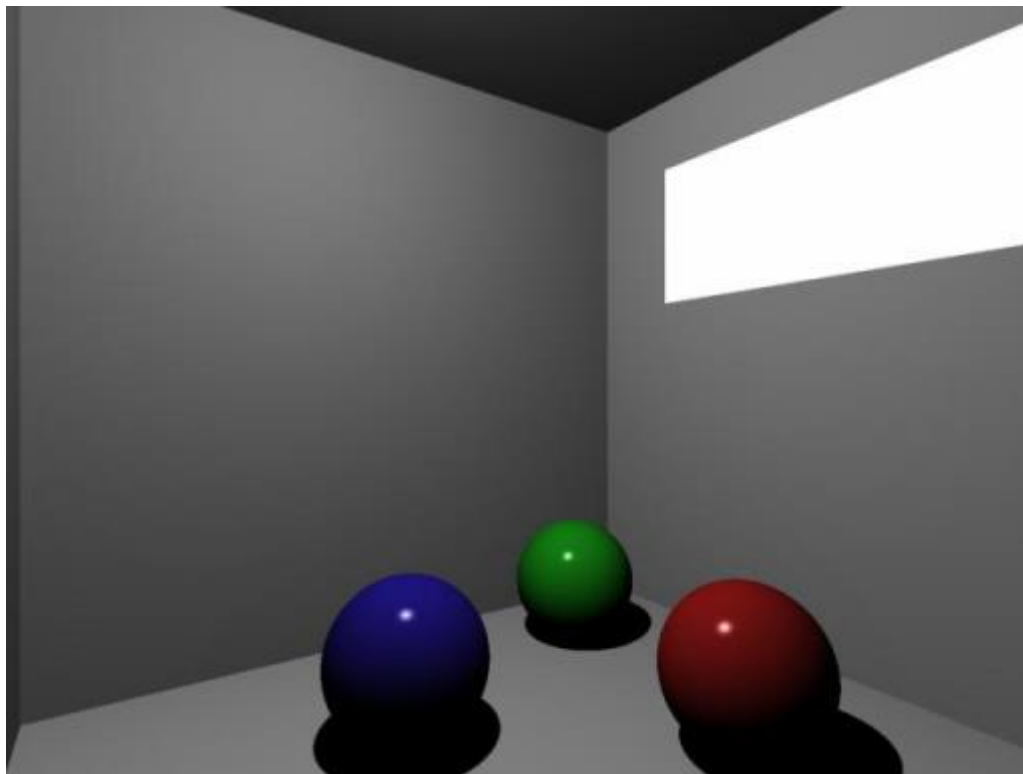


どっちが「リアル」?

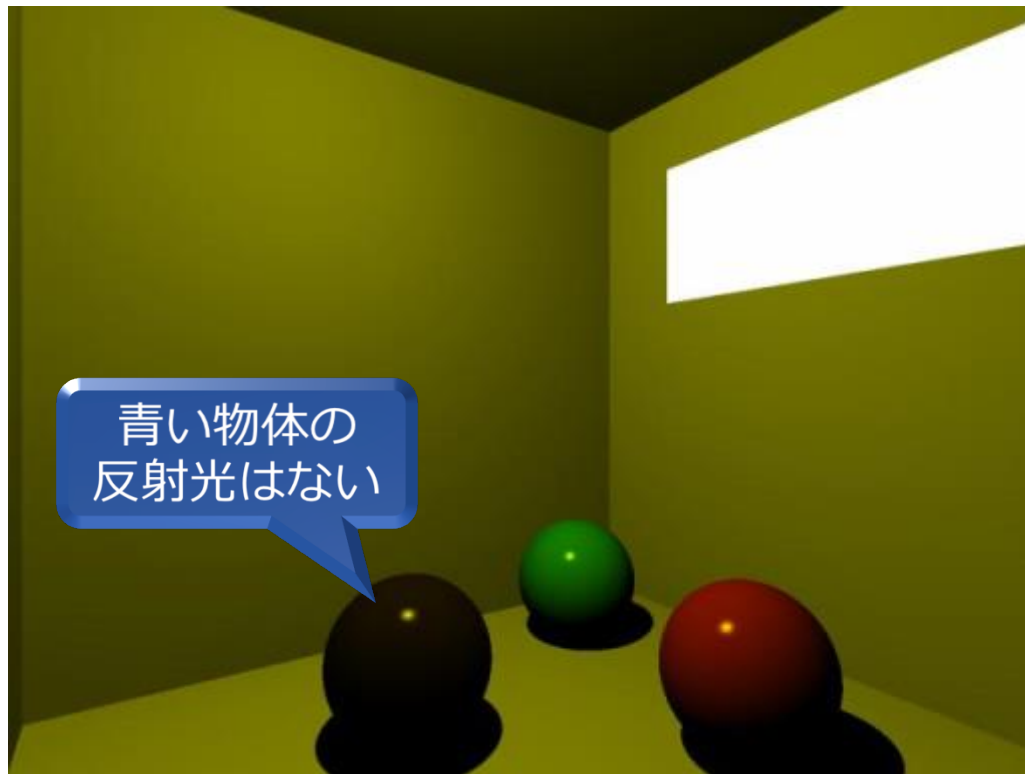
光源が無ければ色は見えない



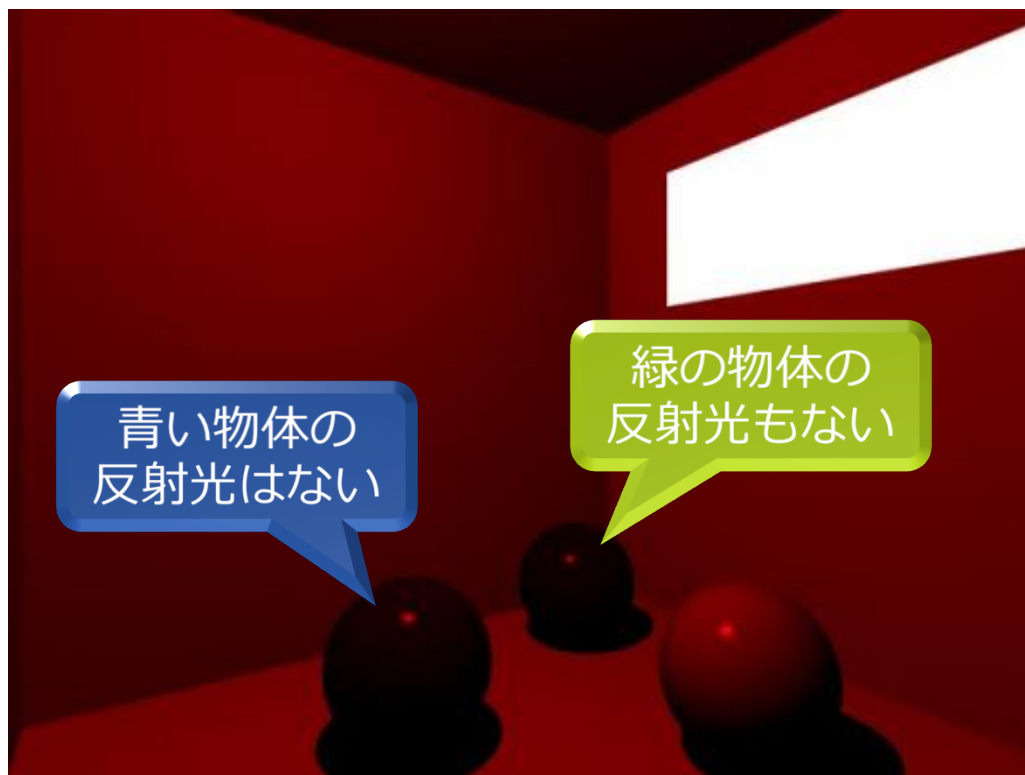
光源からの光の反射光が見える



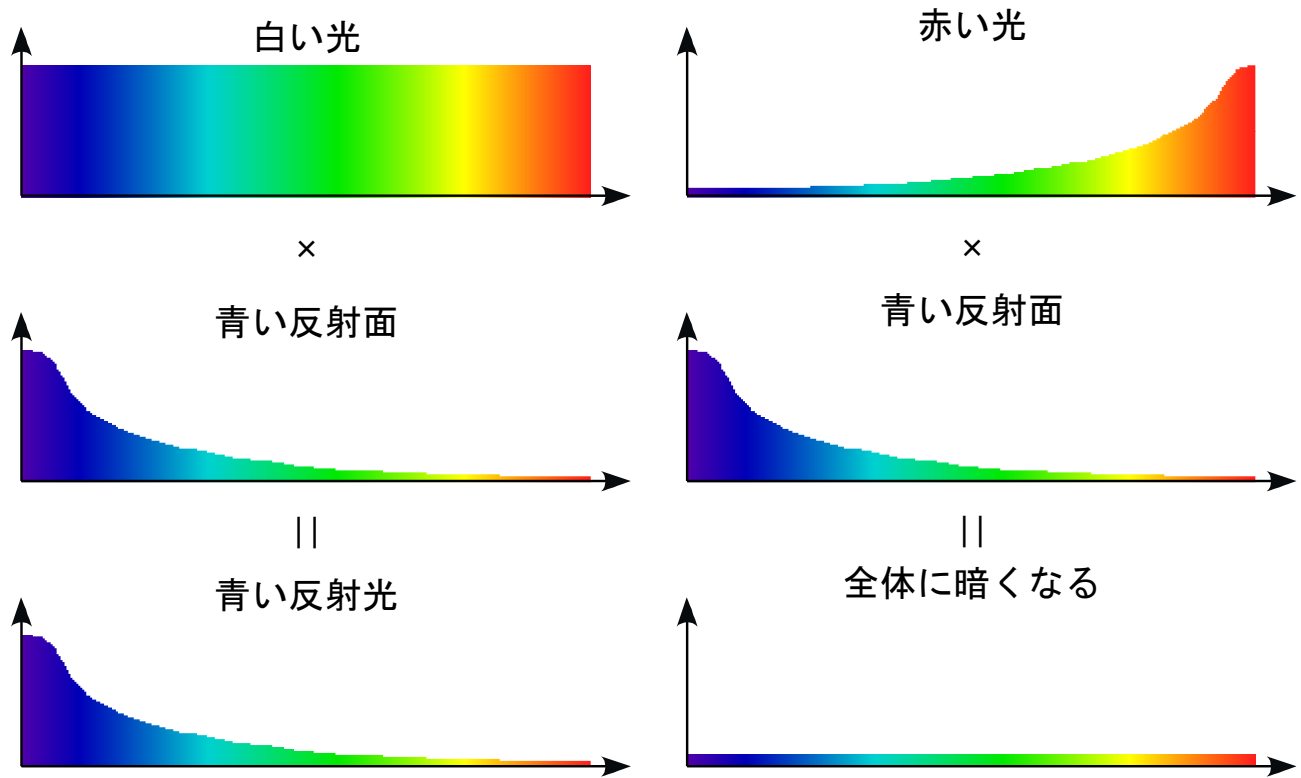
光源の光が黄色い場合



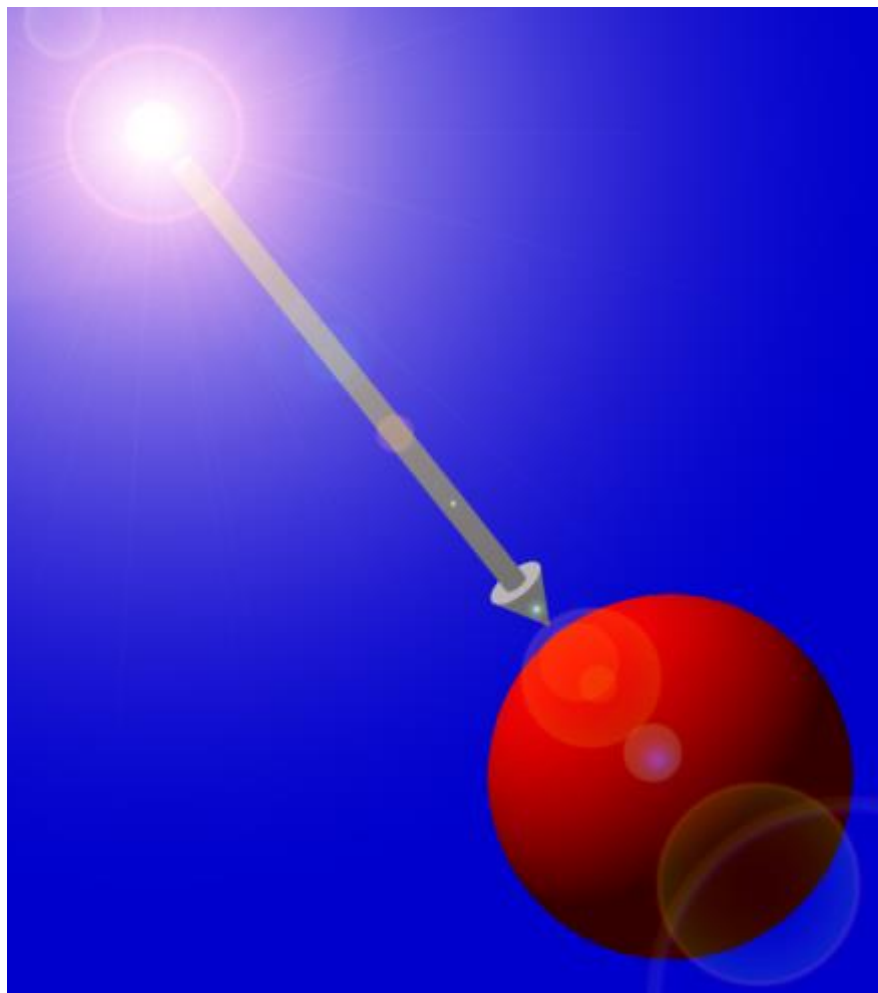
光源の光が赤い場合



反射光の色成分



照明と陰影

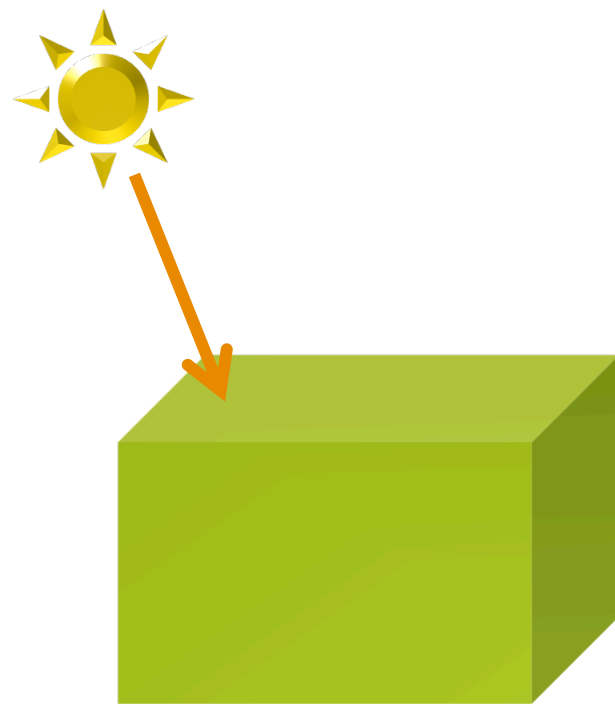


- 照明によってものが見える
 - ものの「色」は反射光
- 陰影により形が認識できる
 - 入射光の方向によって反射光強度が変化する
- 反射光は光源色と物体色の相互作用で決まる

CGでは
これを計算により求める

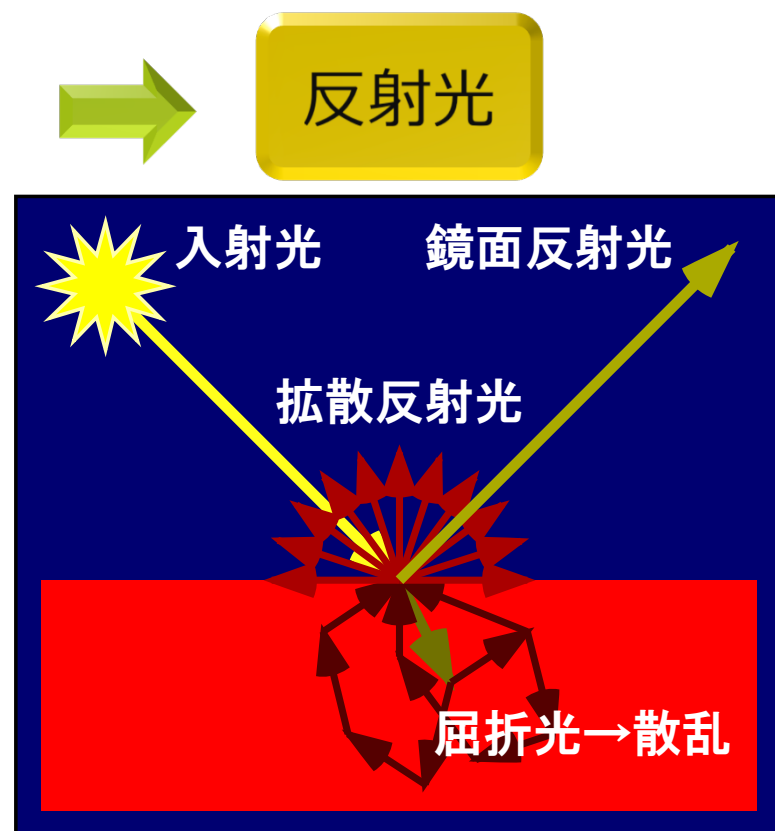
陰影付け（シェーディング）

- 光源によって照らされた物体表面上の色を求める
 - 光源の特性
 - 色（明るさ）
 - 位置や方向（入射角）
 - 距離
 - 物体表面の特性
 - 色（反射率）
 - 映り込みの反射率
 - 粗さ
 - 透明度



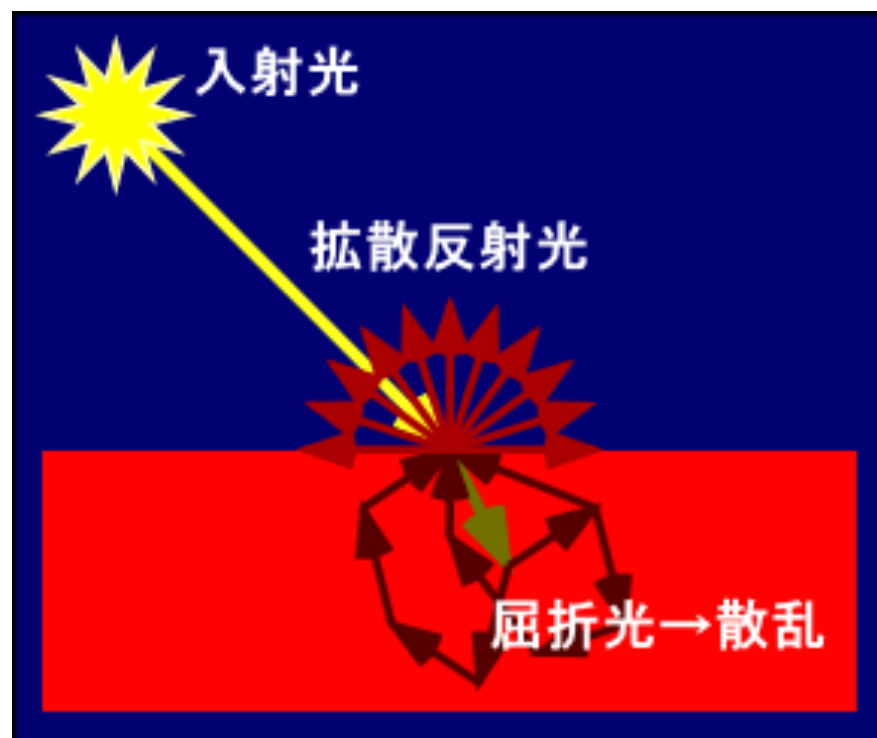
陰影付けモデル

- 光源・物体表面と反射光の関係
 - 光源の位置・特性
 - 物体表面の位置・特性
 - 視点の位置
- 二色性反射モデル
 - 拡散反射光
 - 鏡面反射光
 - (環境光)

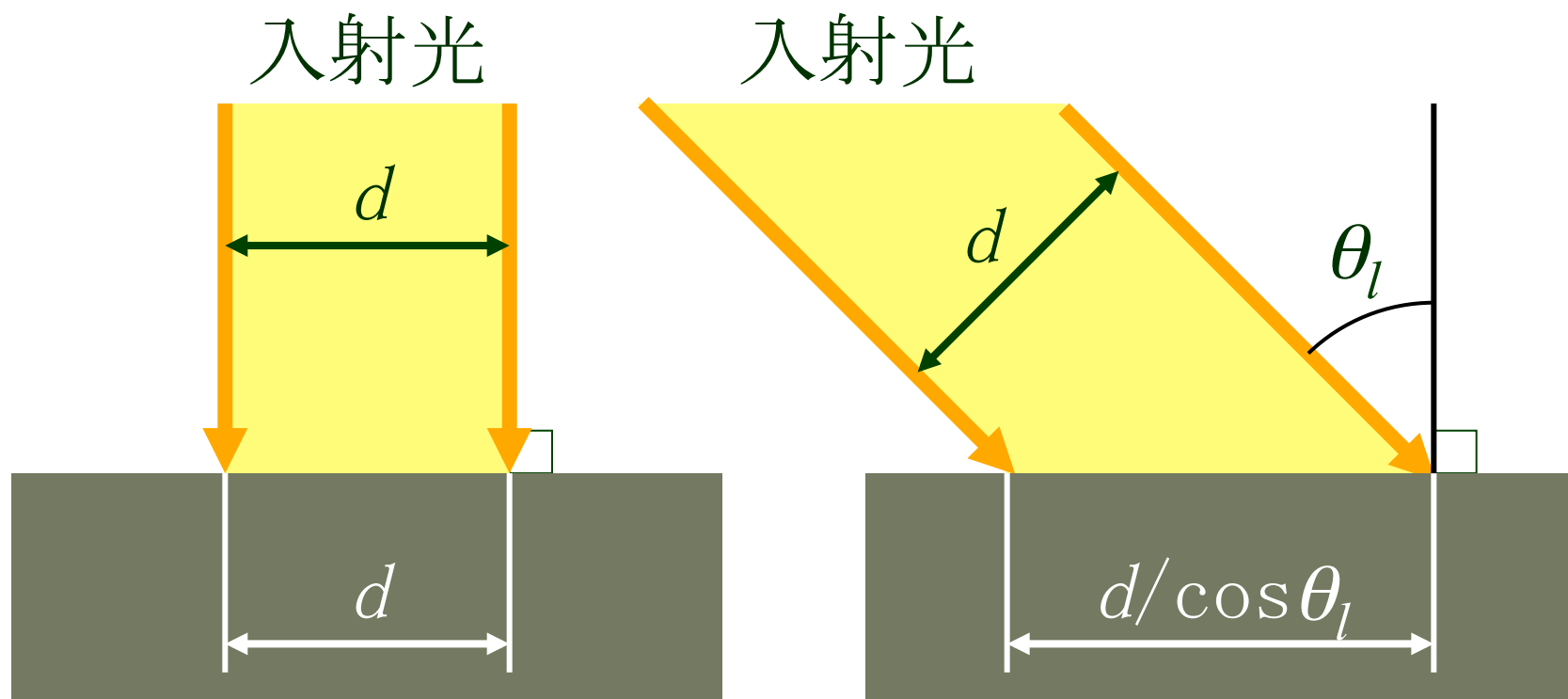


拡散反射光

- 完全拡散反射面
 - 入射光は物体内での散乱によって再び物体外に放射されると考える
 - 全方向に対して均一に光を反射する
- 反射光強度
 - 入射光強度に比例
- 入射光強度
 - 入射光密度に比例

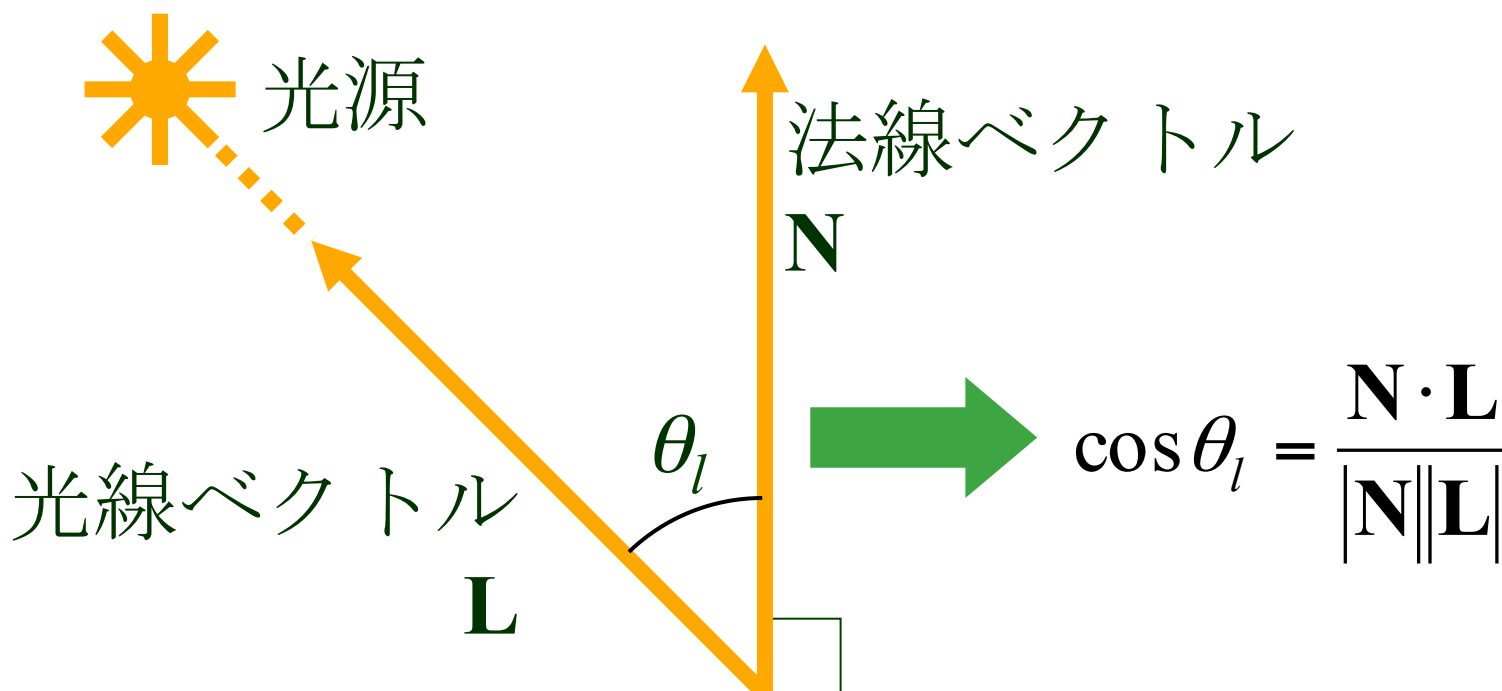


入射角と入射光密度



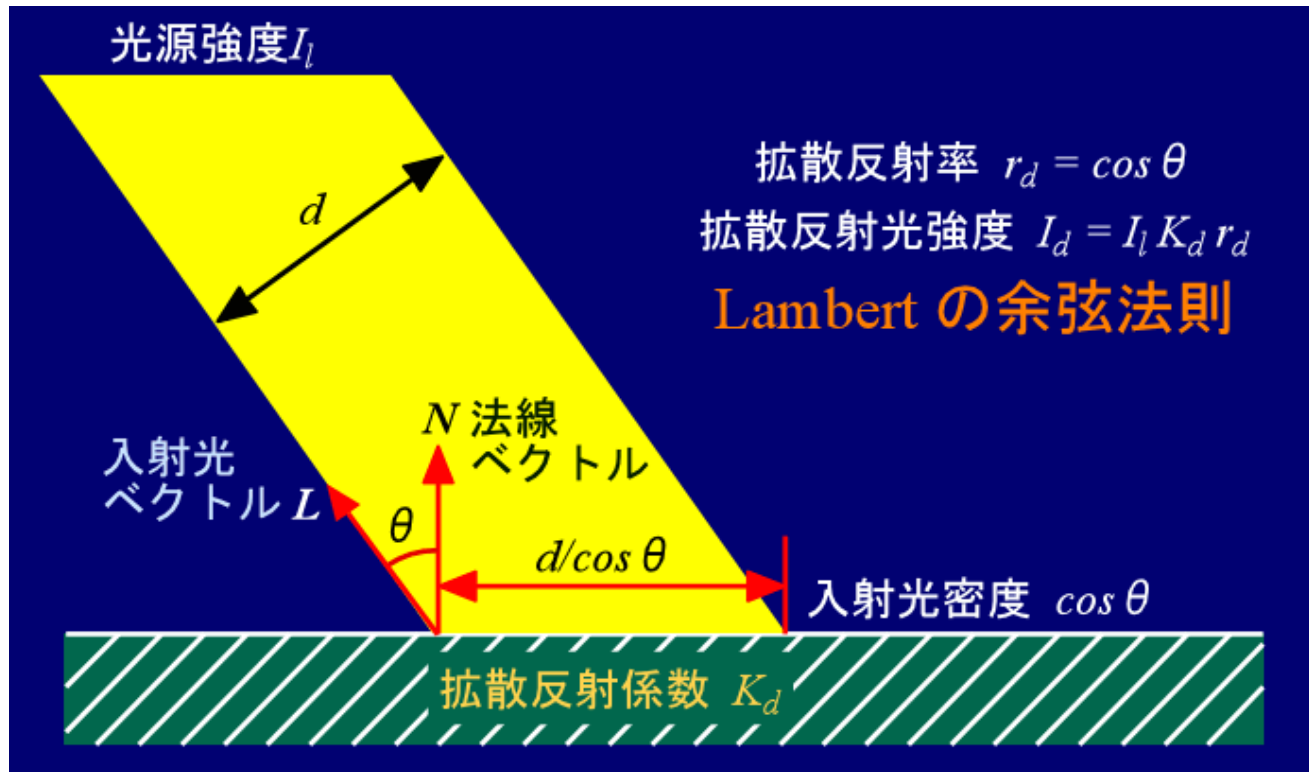
面積 $1/\cos\theta_l \rightarrow$ 密度 $\cos\theta_l$

Lambert の余弦法則

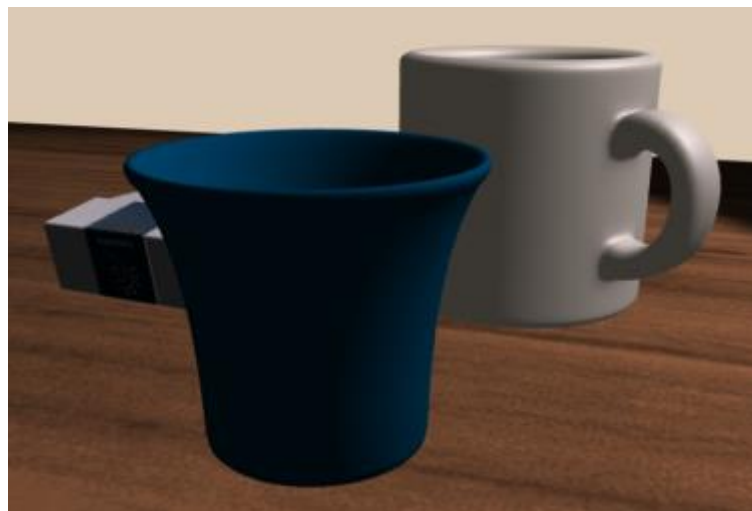
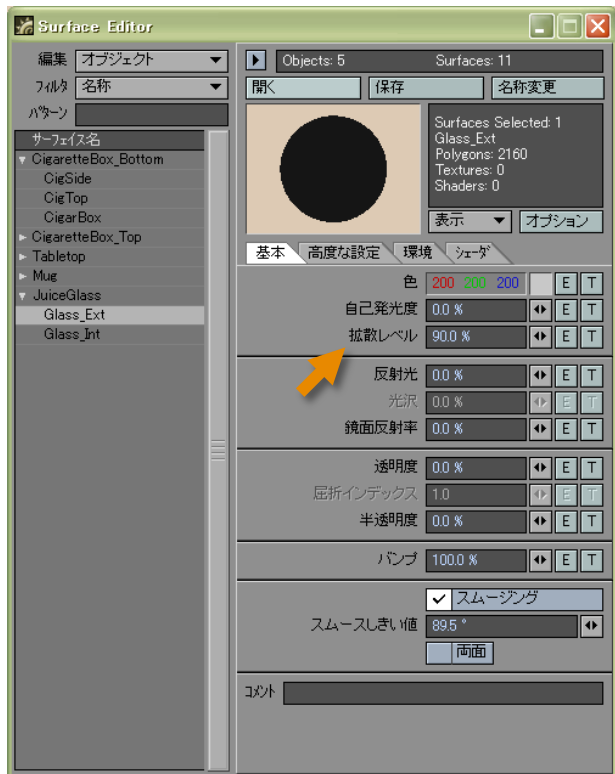


拡散反射光強度は
入射角の余弦 (cos) に比例

拡散反射光強度

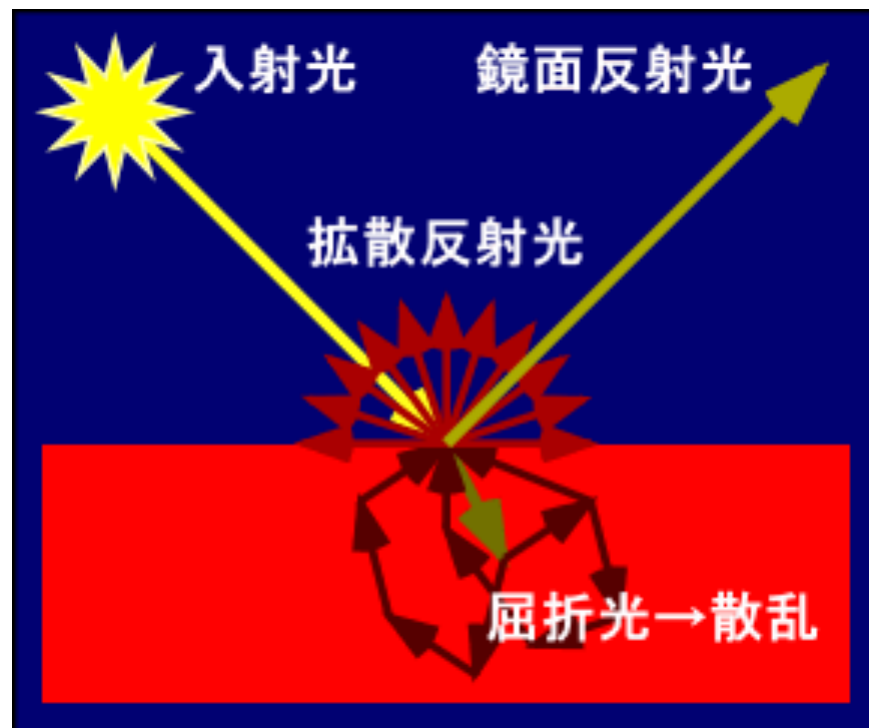


拡散反射光の反射係数を設定する



鏡面反射光

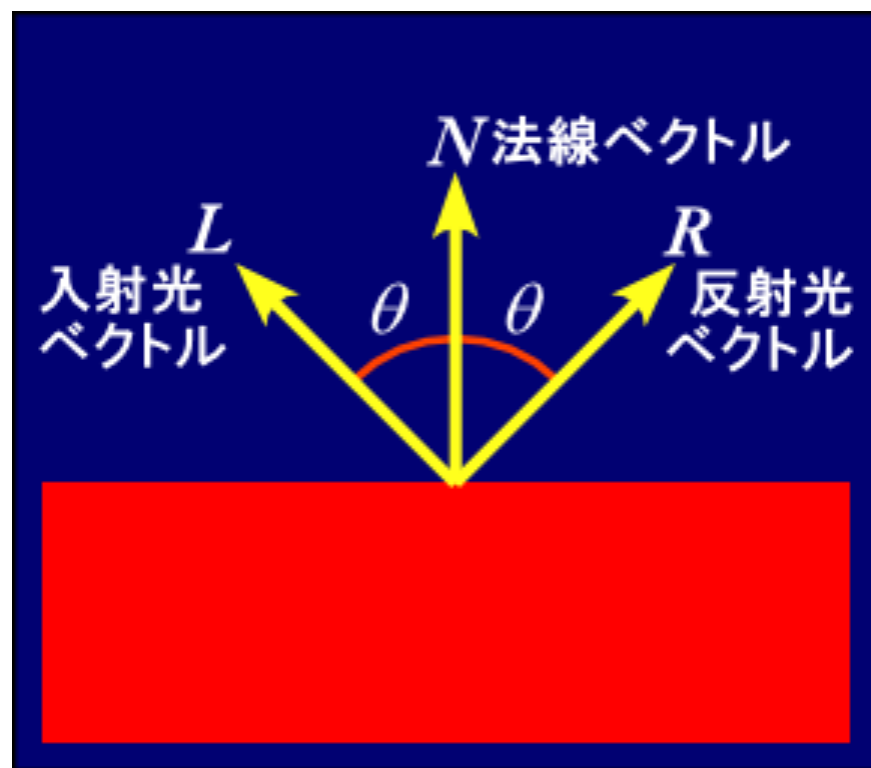
- 光源の映り込み
 - 入射光の正反射光
 - ハイライト



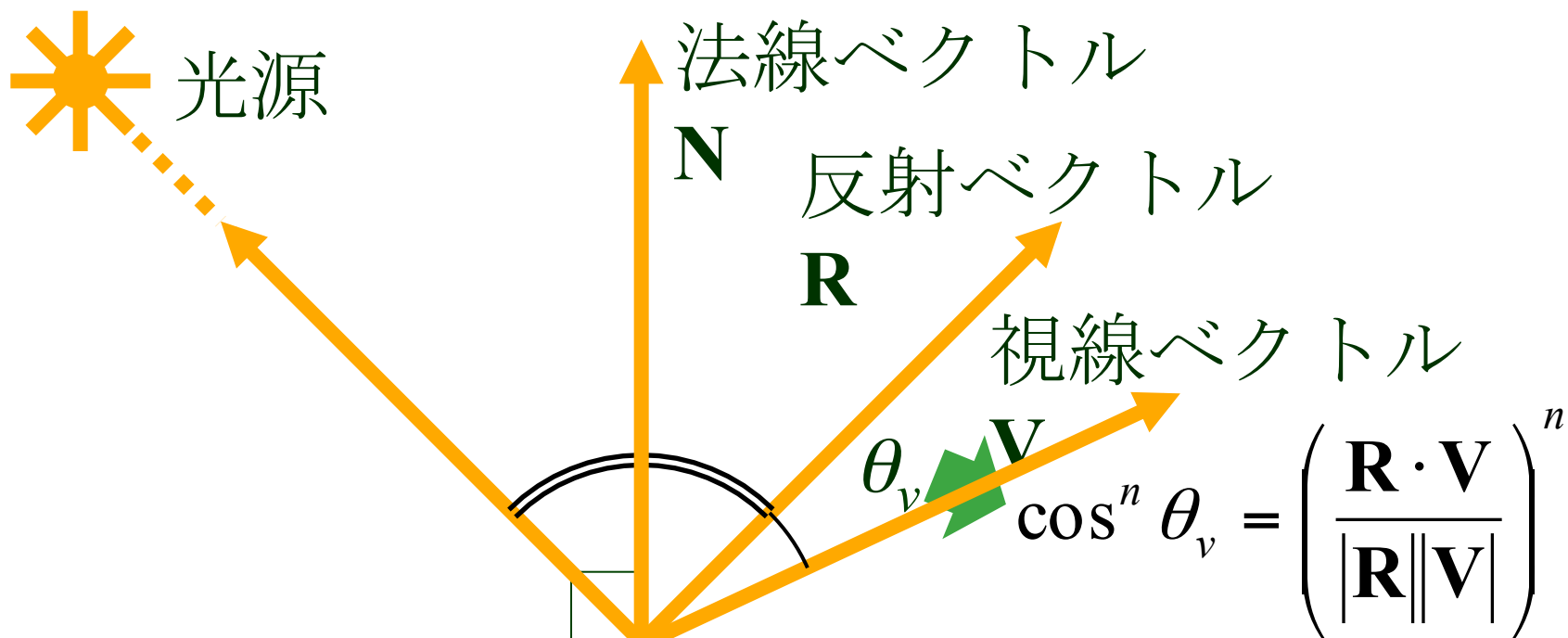
鏡面反射光の方向

- 入射光ベクトル L
- 法線ベクトル N
- 反射光ベクトル R

$$R = 2(L \cdot N)N - L$$

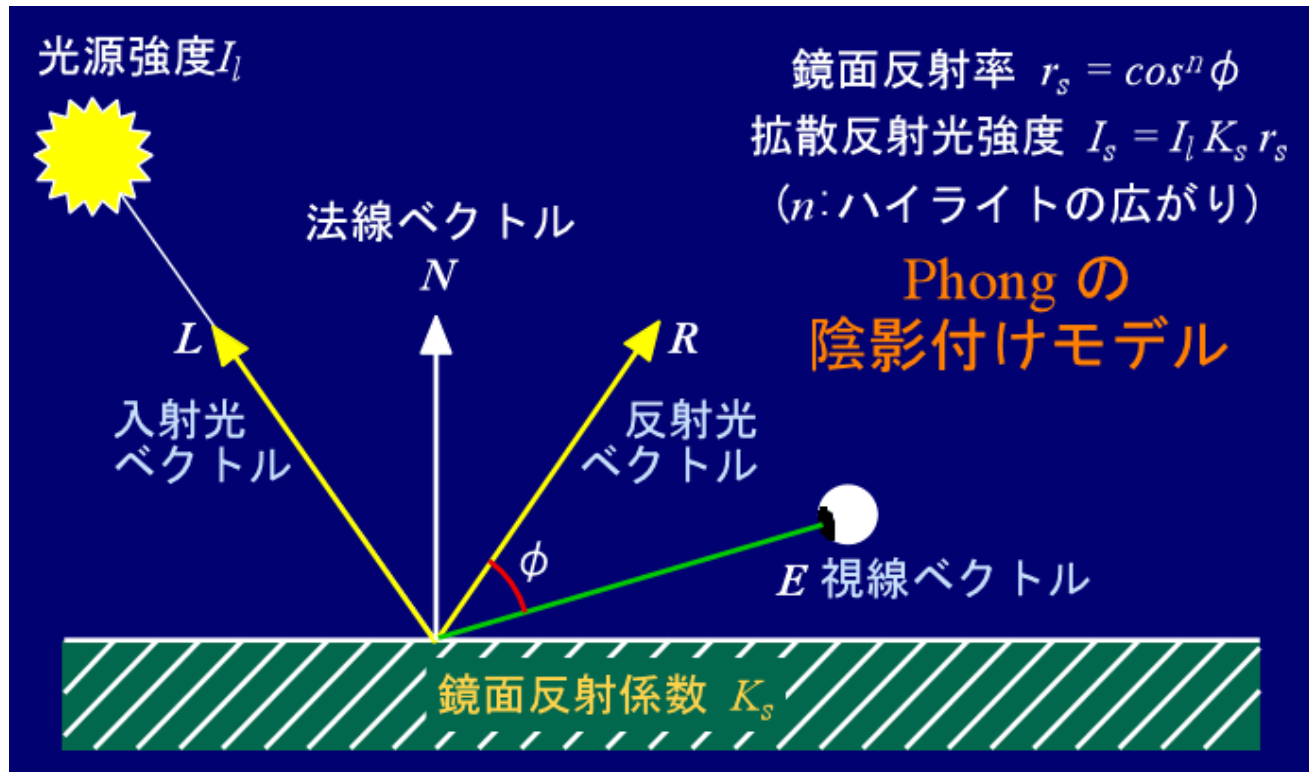


Phong の陰影付モデル

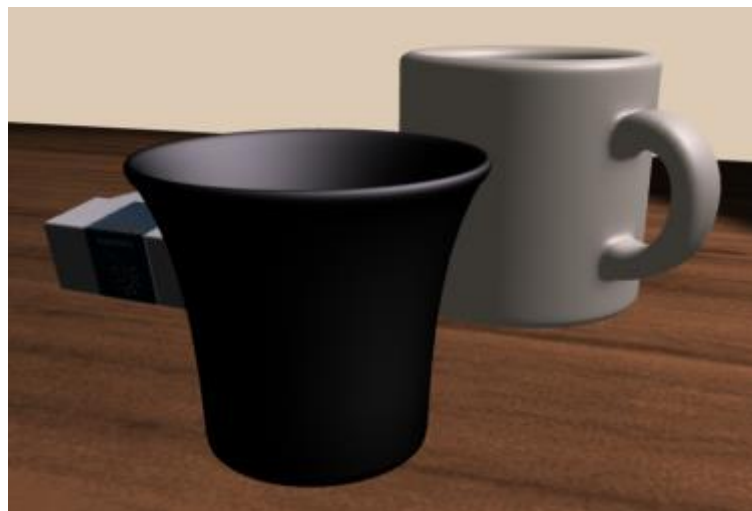
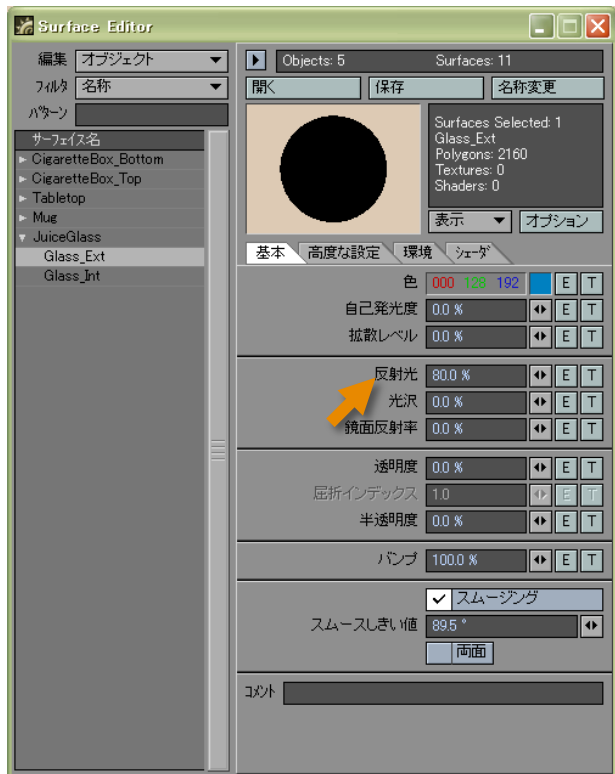


鏡面反射光強度は
反射光と視線のなす角の余弦のべき乗に比例

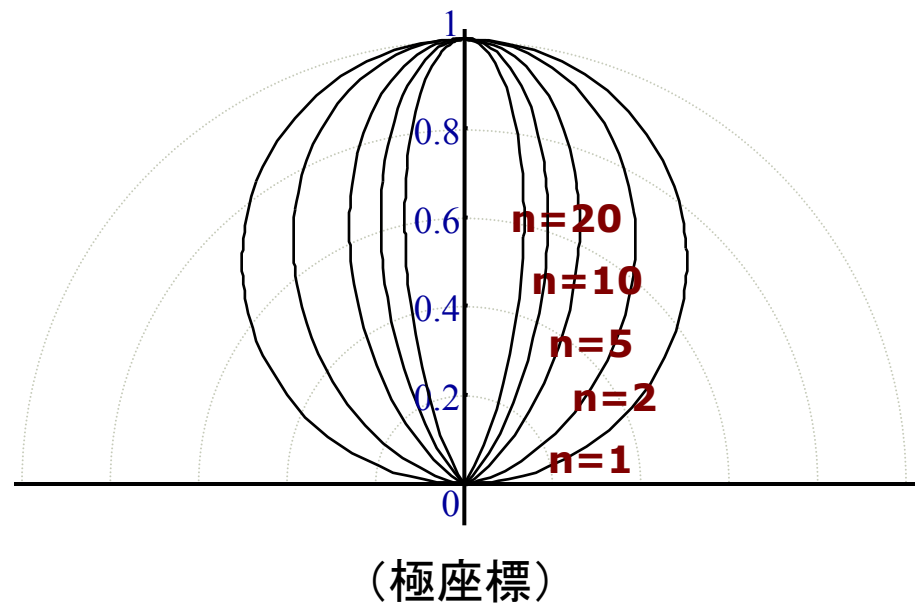
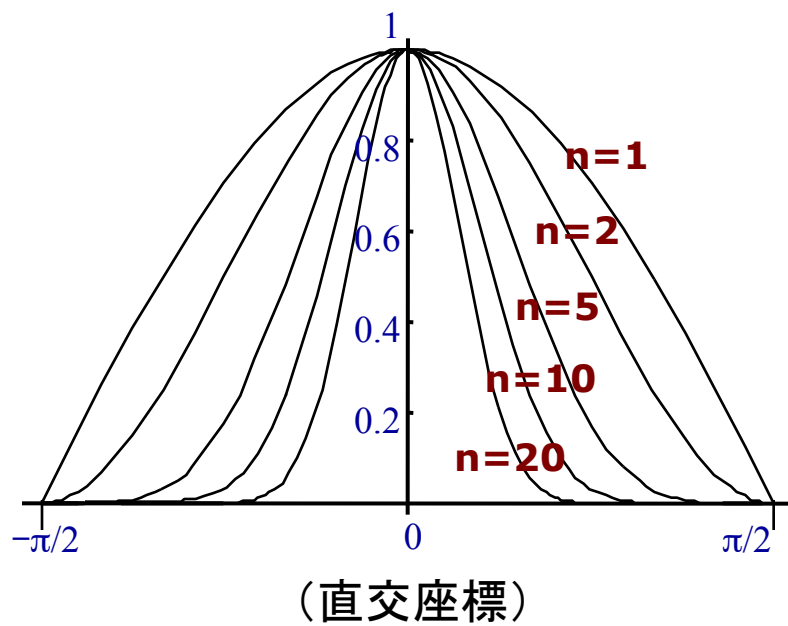
鏡面反射光強度



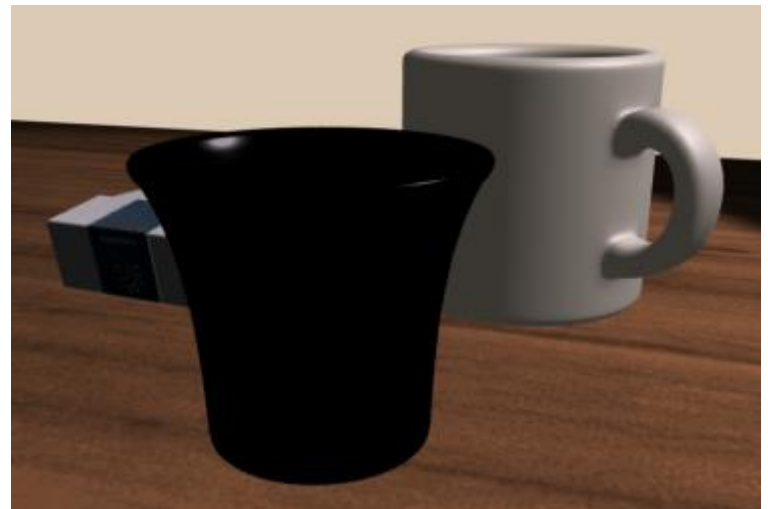
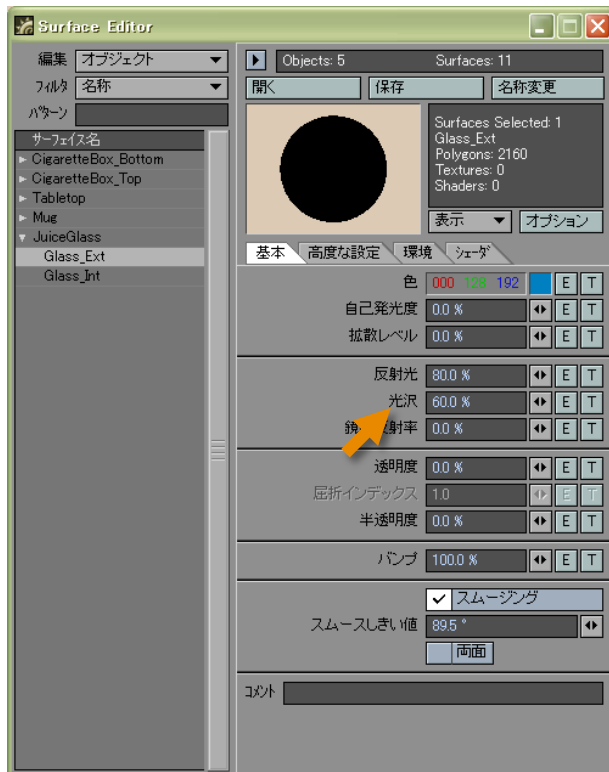
鏡面反射光の反射係数を設定する



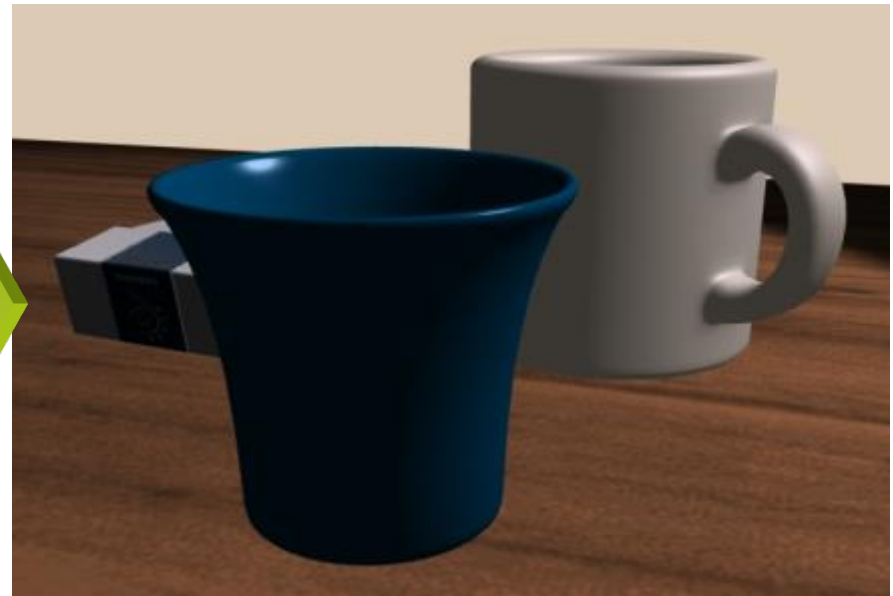
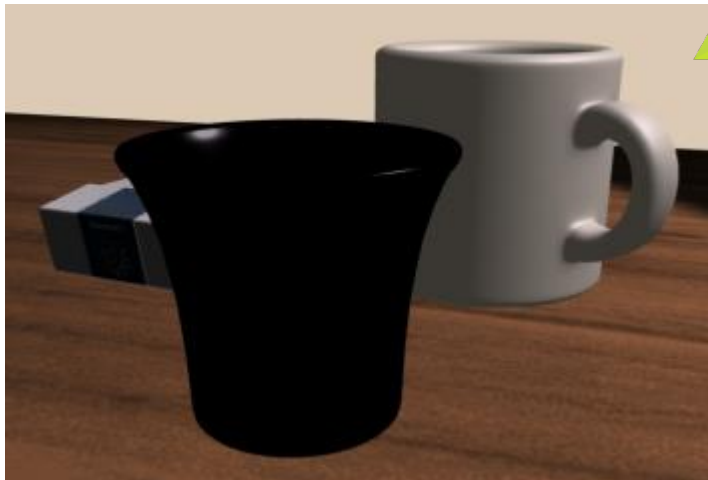
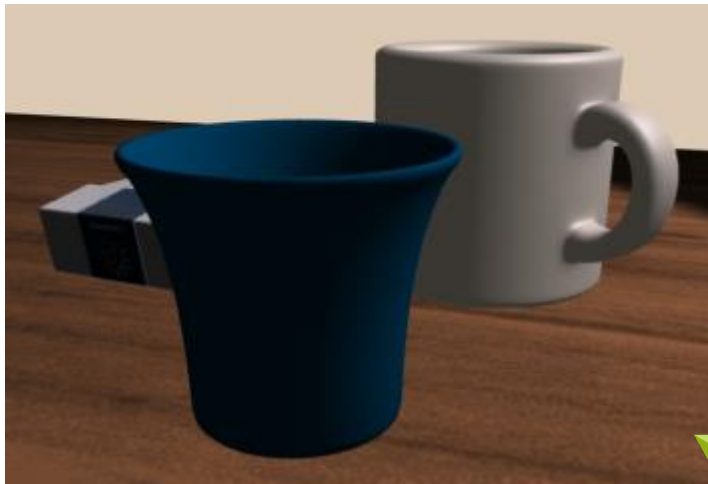
$\cos^n \phi$ の分布



ハイライトの広がりへの制御

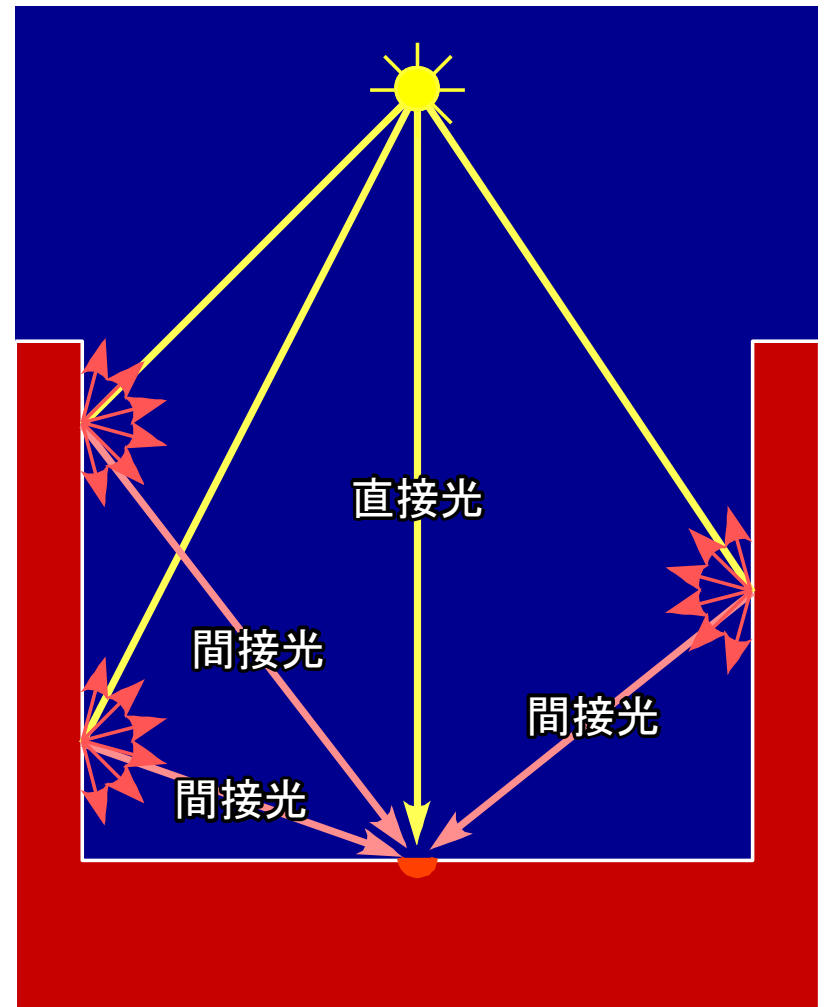


拡散反射光と鏡面反射光の和

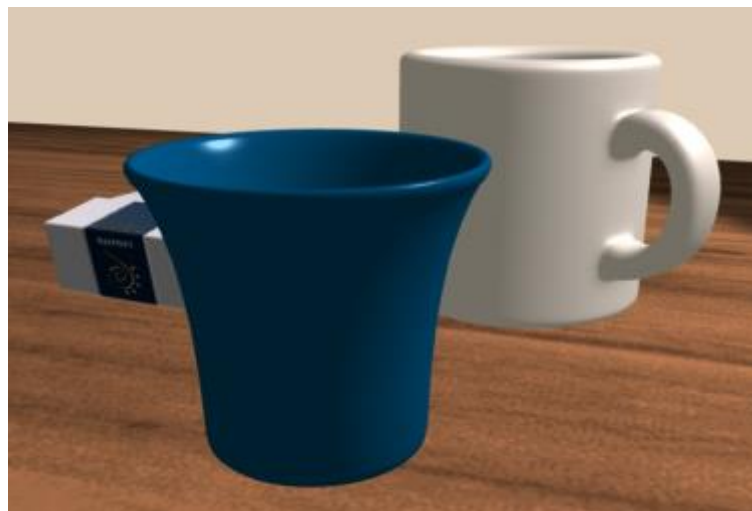
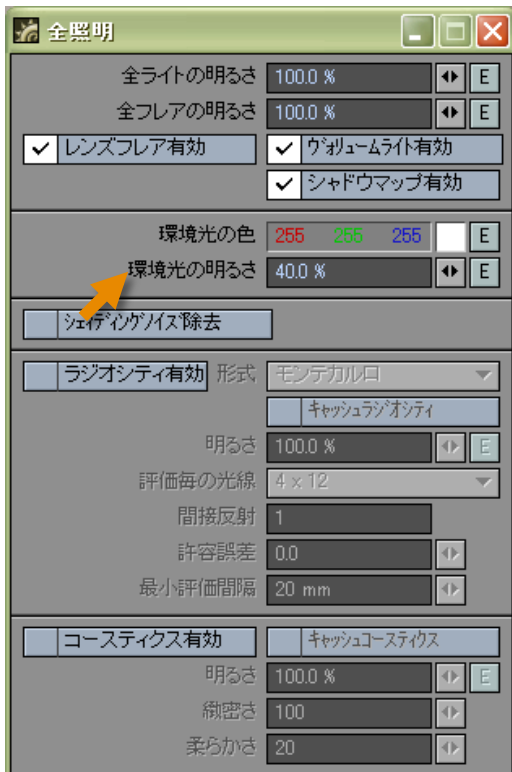


環境光

- 物体表面には**直接光**のほかに**間接光**が届く
 - 他の物体表面で反射した光も入射光になる
 - 間接光の経路は複雑
- 環境光
 - 全ての間接光をまとめて定数で表す



環境光を設定する

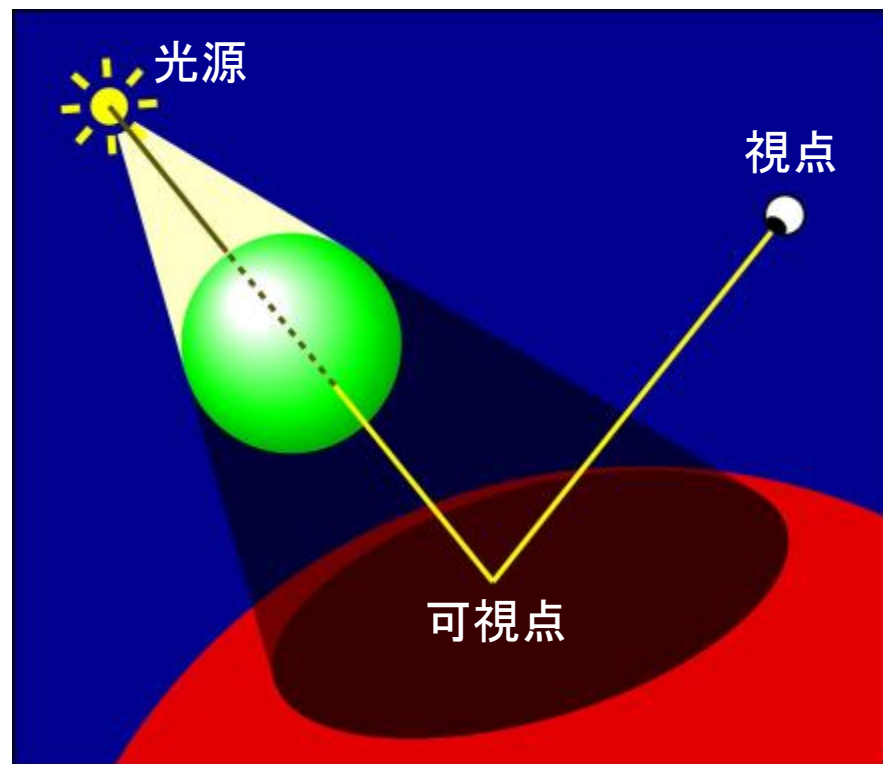


その他の光学的処理

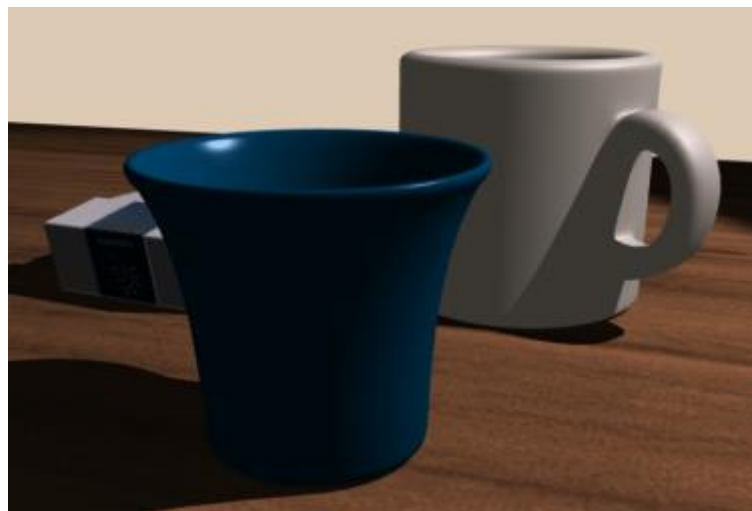
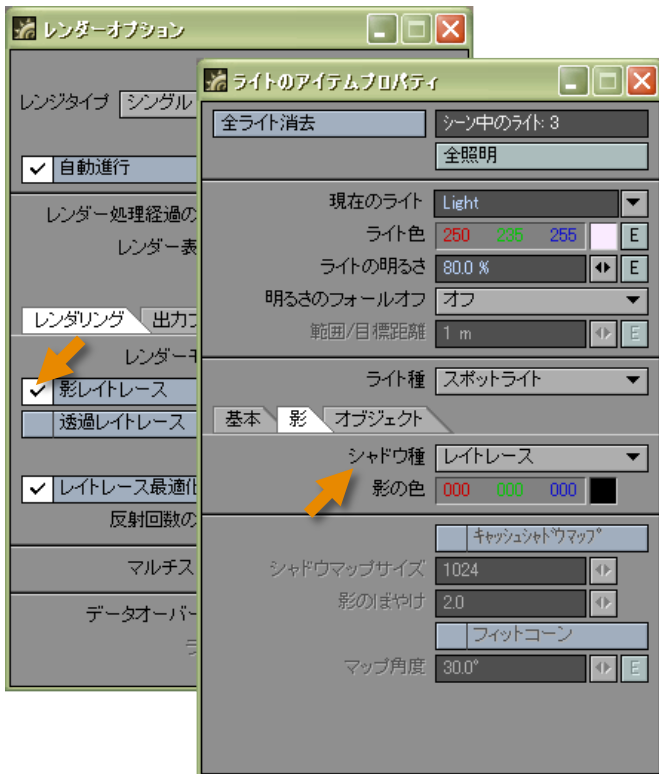
さらにリアルさを求めて

影付け処理

- 視点から見えている点（可視点）から光源方向に他の物体がないかどうか調べる
- もしあれば，その点は影

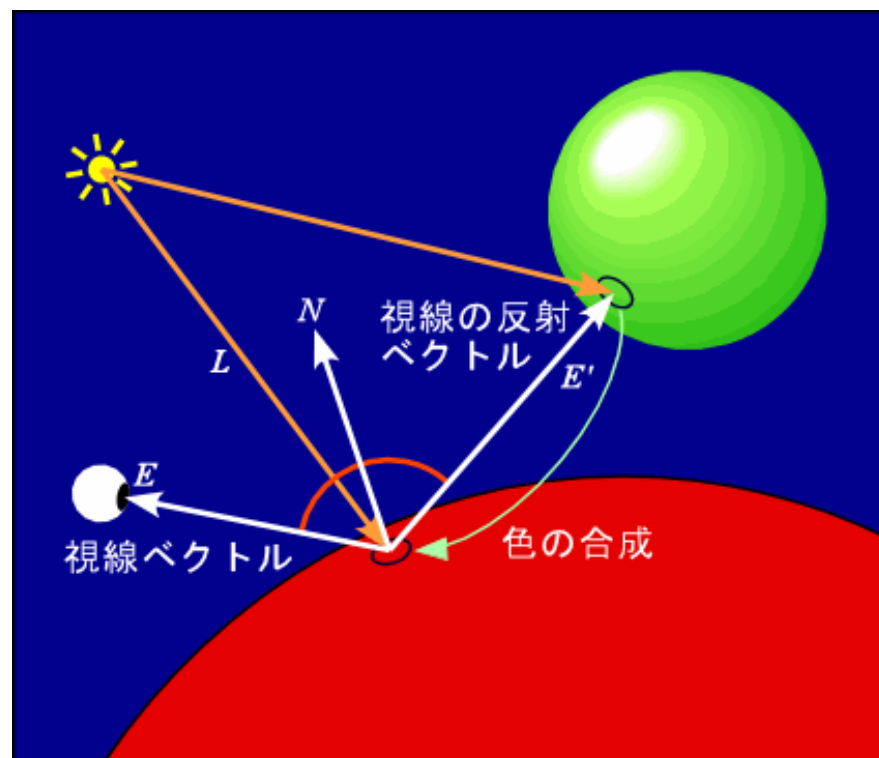


影付け処理を有効にする

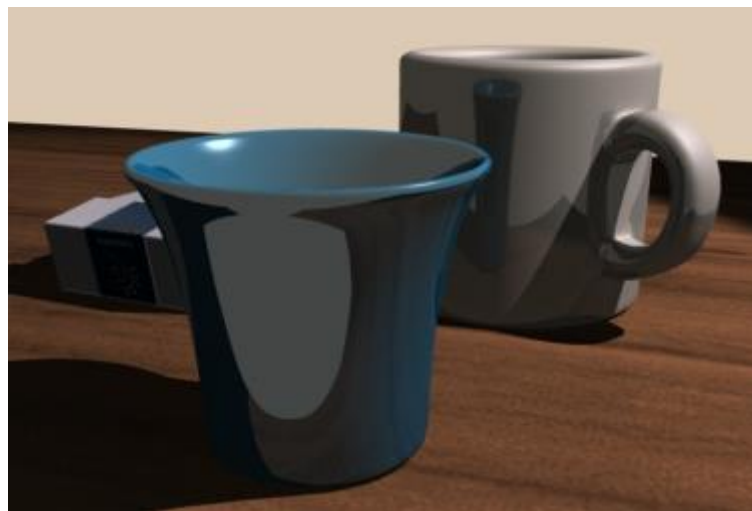
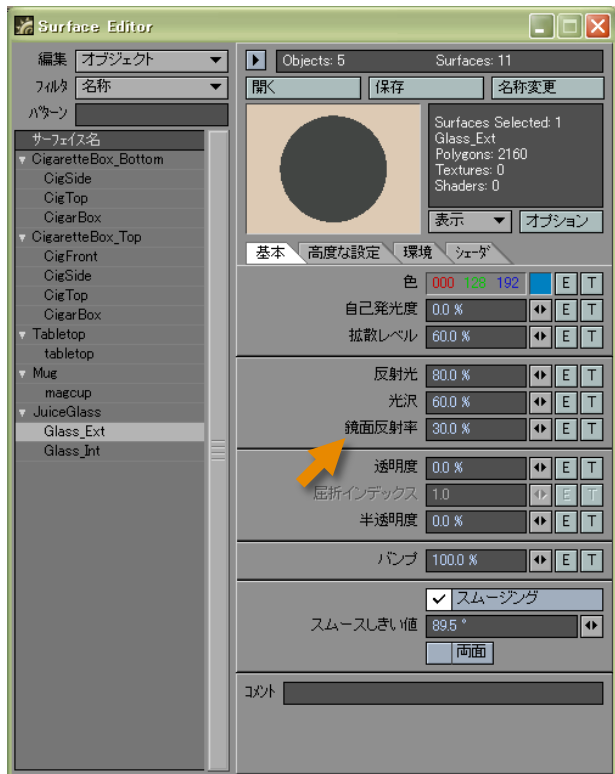


映り込み処理

- 可視点を視点として、反射方向に何が見えるか調べる
- 反射方向に見えた色を可視点の色と合成する



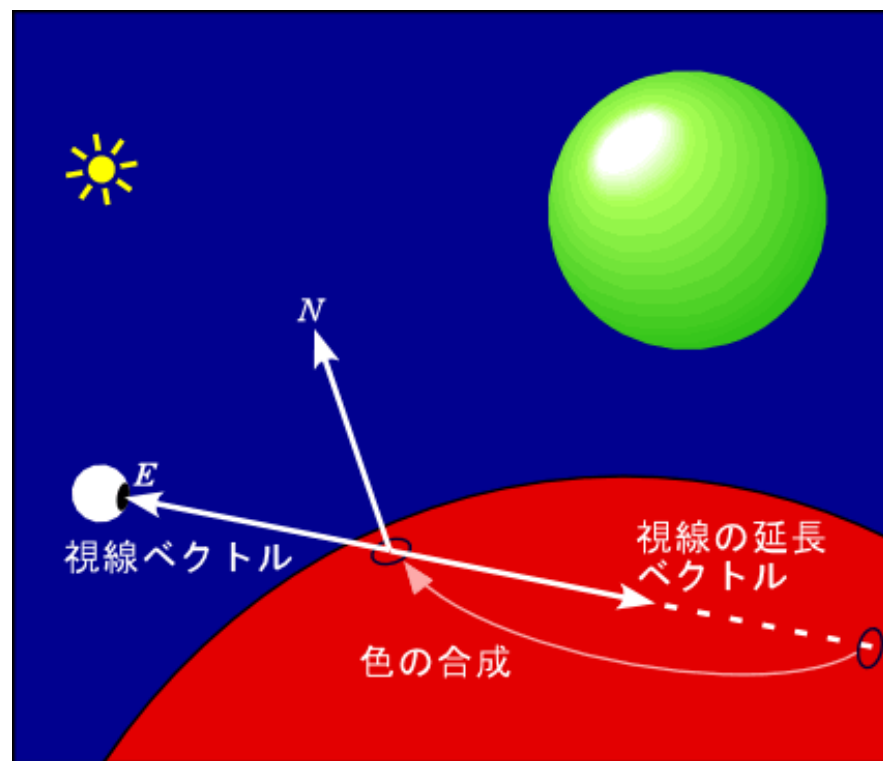
映り込み処理を有効にする



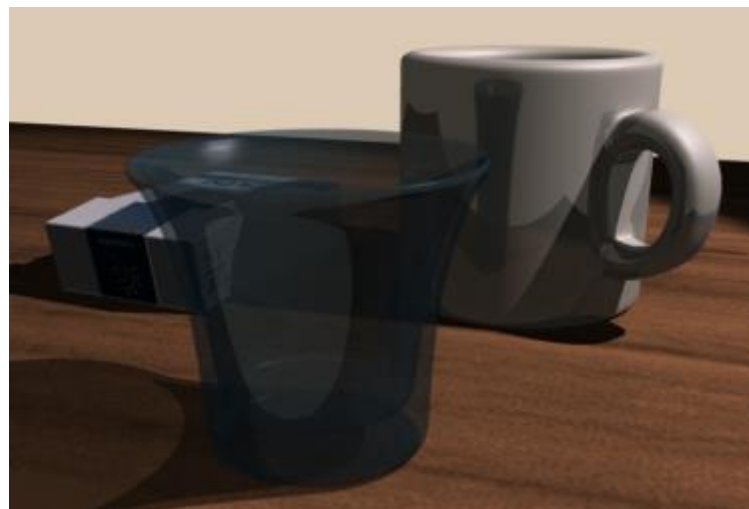
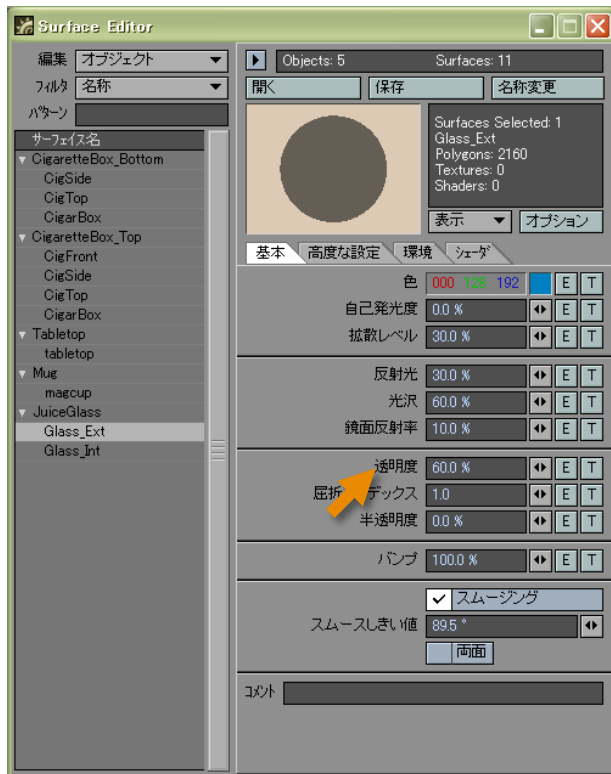
(LightWave の日本語の表記はおかしい)

透明処理

- 可視点を視点として，延長方向に何が見えるか調べる
- 延長方向に見えた色を可視点の色と合成する



透明処理を有効にする



屈折率を考慮する

- 二つの媒質の屈折率から屈折方向を求める

- スネルの法則

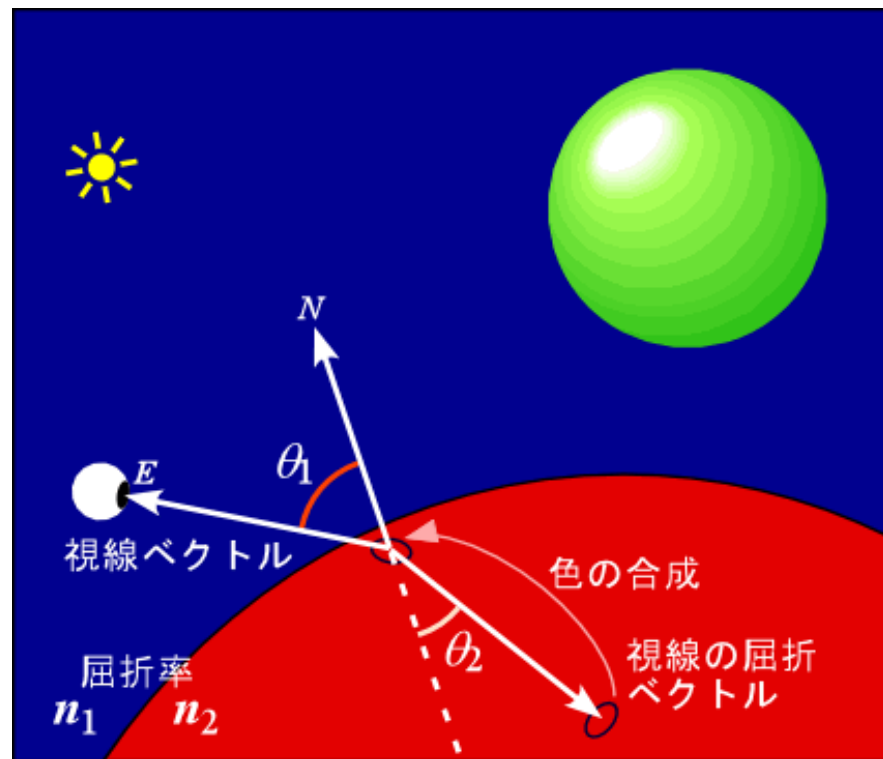
$$n_1(\lambda)\sin\theta_1 = n_2(\lambda)\sin\theta_2$$

- 屈折方向に見えた色を可視点の色と合成する

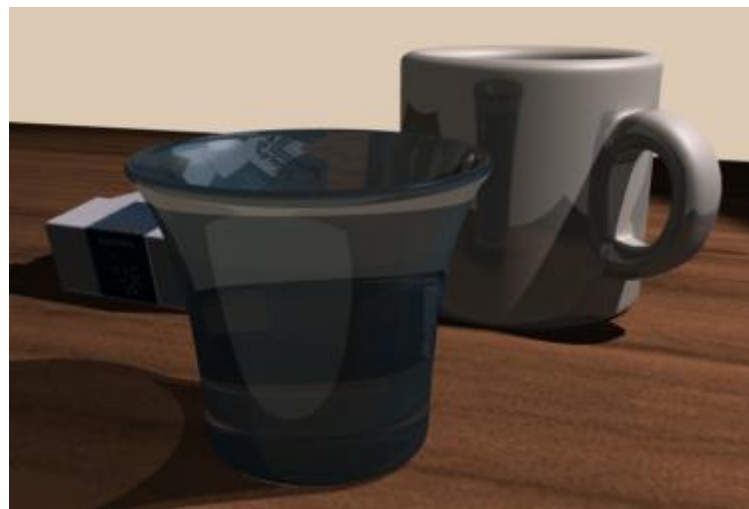
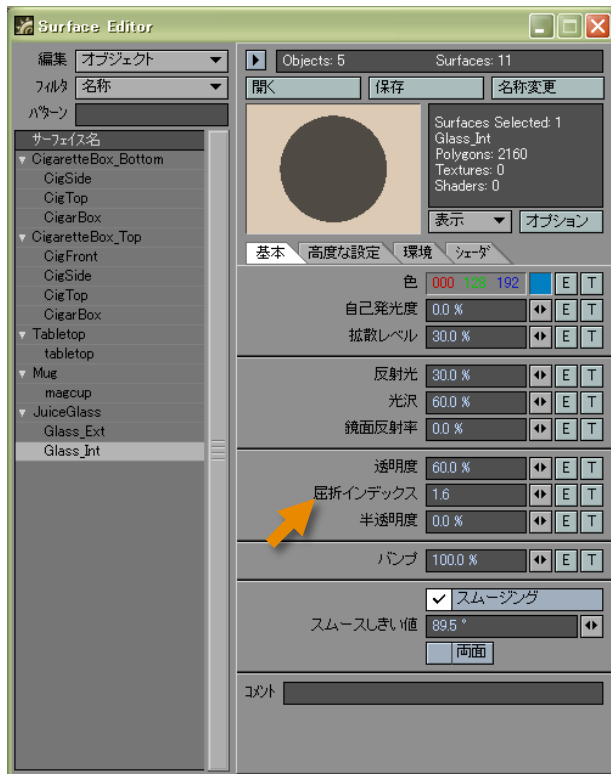
- 屈折率は（本当は）波長 λ の関数なので、波長によって屈折角が変化する

- プリズムなど

- シミュレーションは結構大変



屈折処理を有効にする



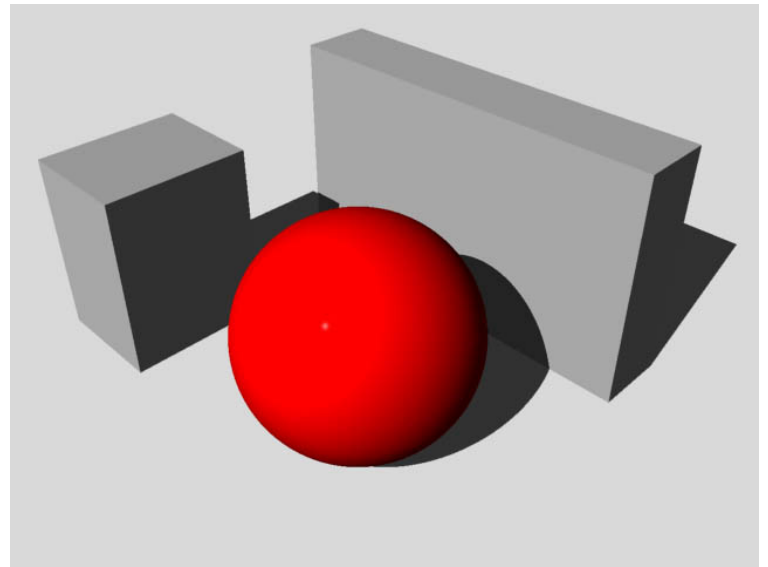
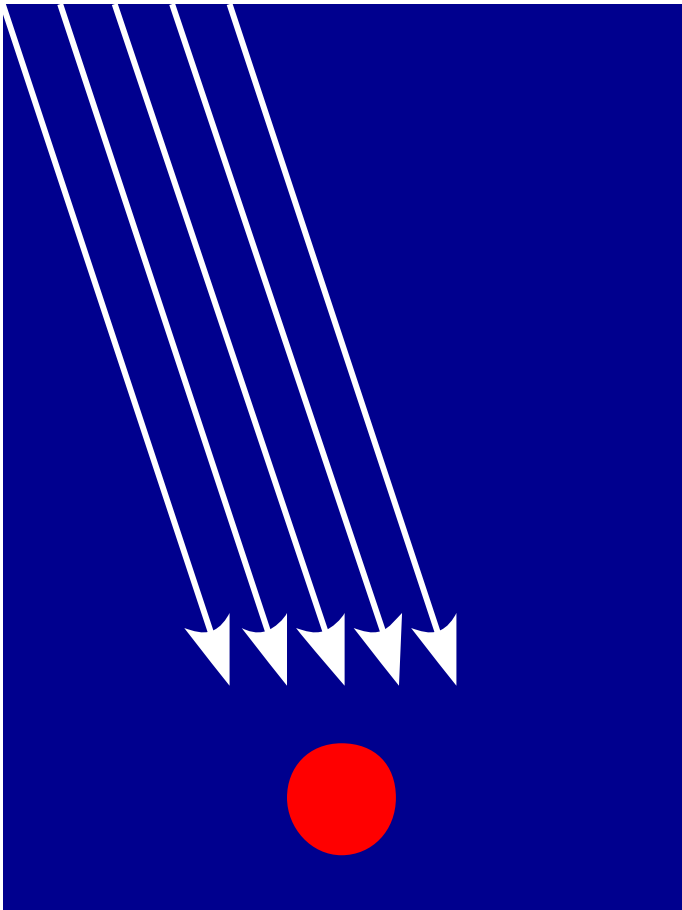
光源の形

実はごまかしていることがある

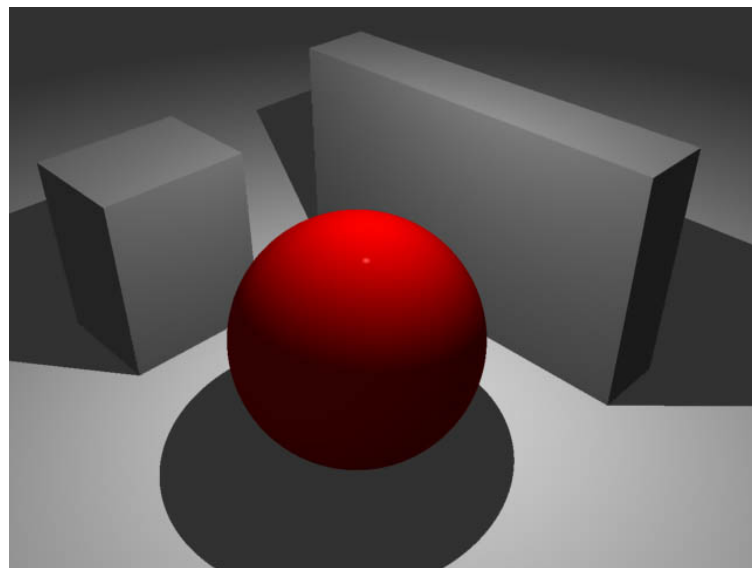
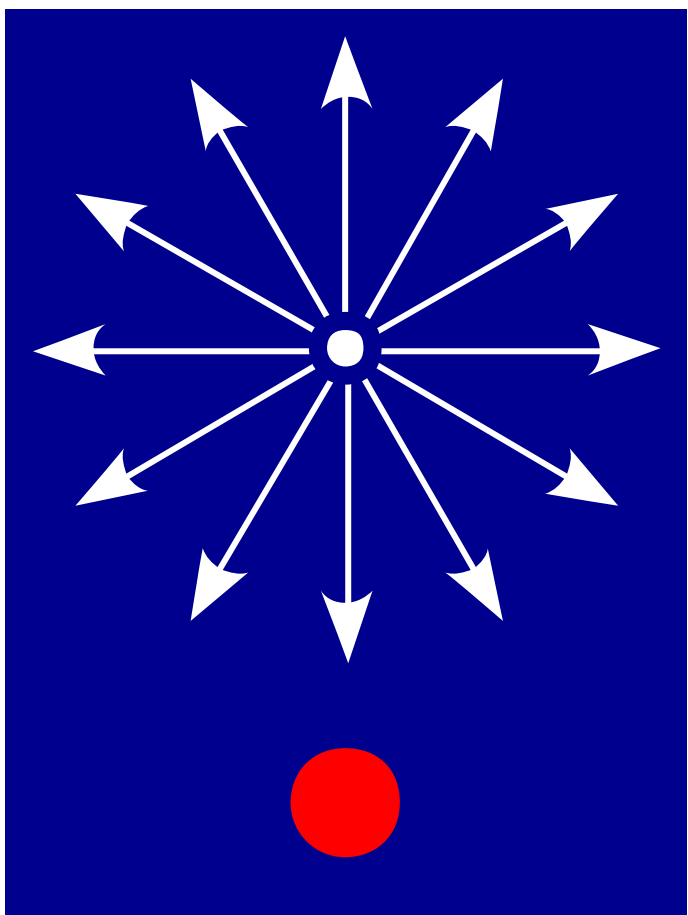
CGで使われる基本的な光源

- 平行光線
 - 太陽光のように光源が無限遠にある
 - 照度は光源からの距離に関係なく一定
- 点光源
 - 一点から周囲に均等に光を放射
 - 照度は距離の2乗に反比例
- スポットライト
 - 指向性のある点光源
 - 照度は光の放射方向を中心に分布する

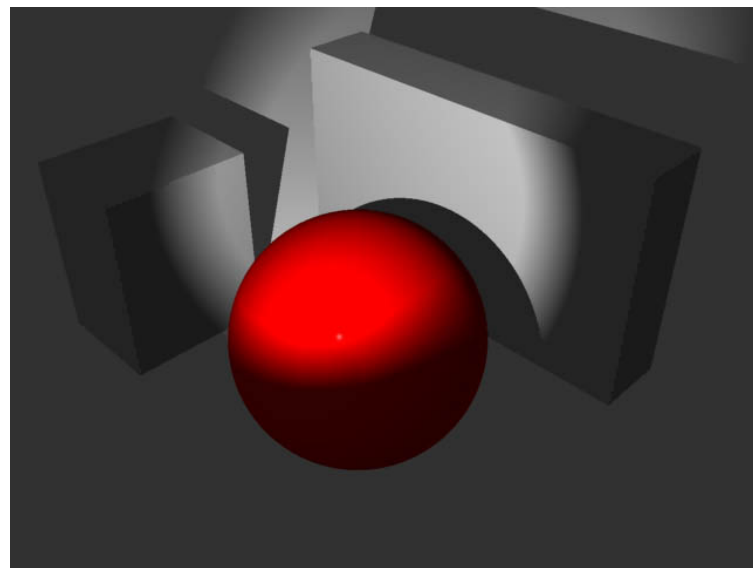
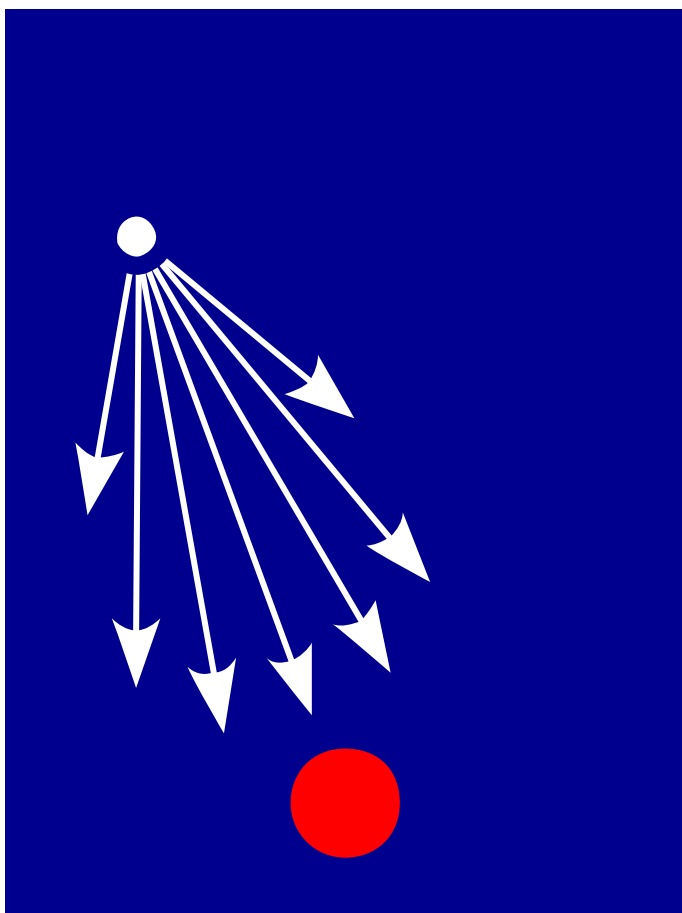
平行光線



点光源



スポットライト



基本的な光源は「点」

- いずれの光源も点から光を放出している
 - 平行光線も光源が無限の彼方にあるので点になる
- これらの光源は光の放射面積を持っていない
 - 姿が見えないのに光を放出している
 - 現実にはあり得ない
- 計算が容易
 - 光源を点だと仮定してもそれなりに見える
 - 光源が面積を持っていることを考慮すると積分計算が必要

実際の光源は光の放射面積を持つ

より現実に近い光源

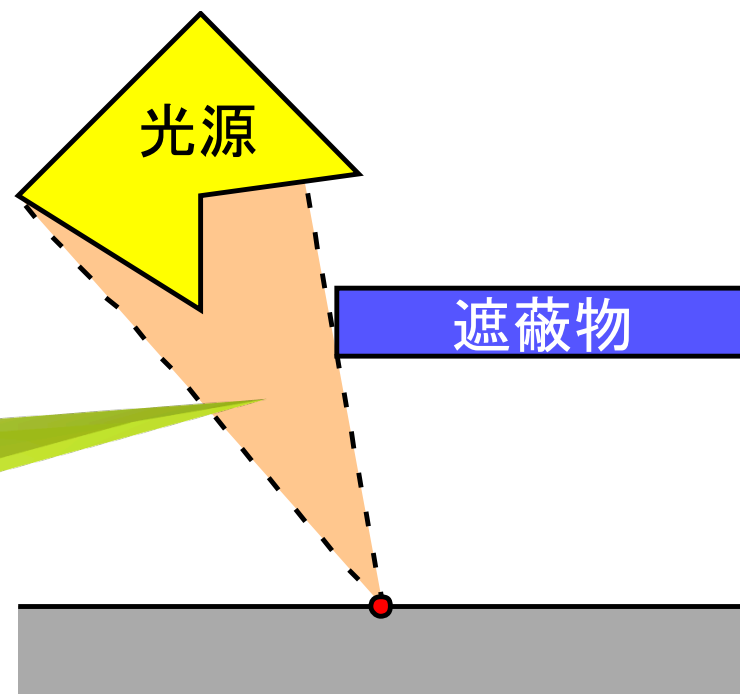
□ 線光源

- 光の放射面積は持たないが、長さはある
- 蛍光灯などを模倣できる

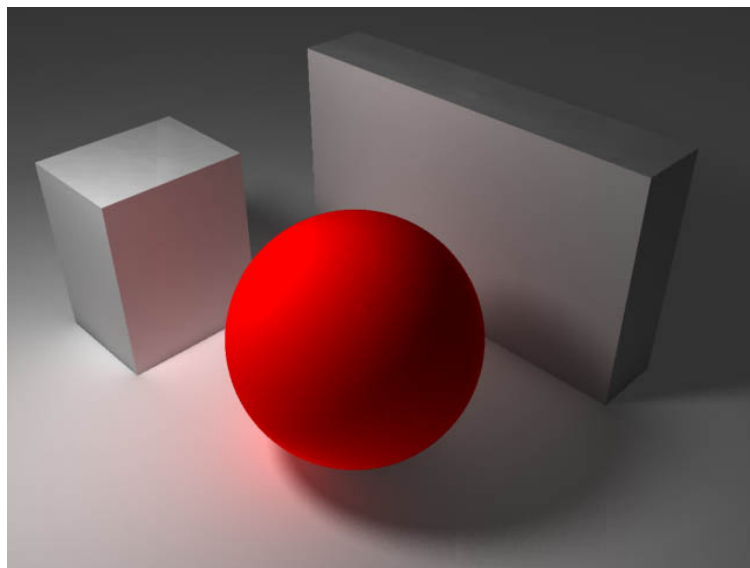
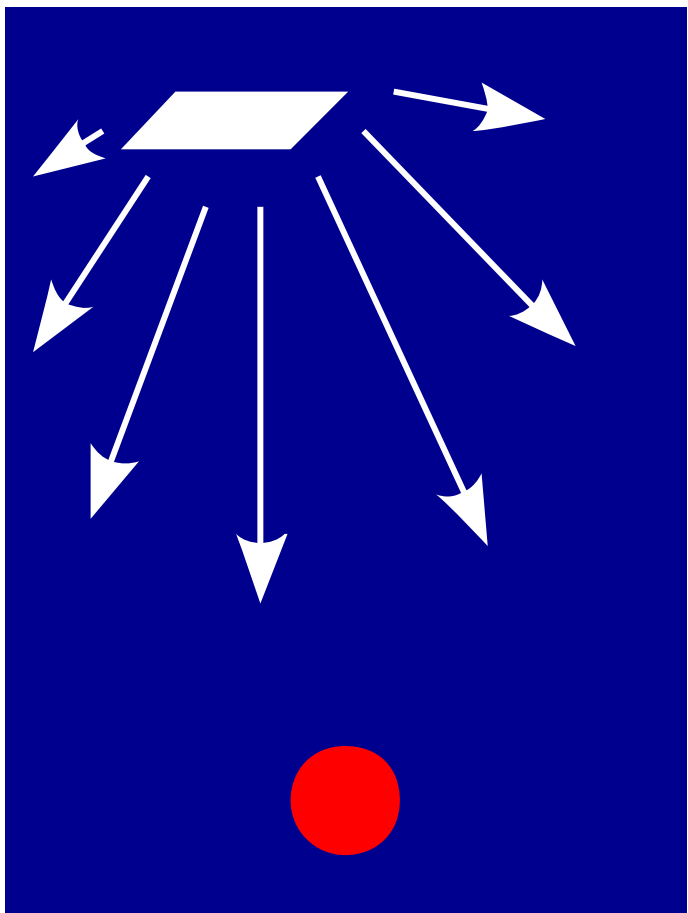
□ 面光源, 多面体光源, 天空光

- 光の放射面積を持つ
- 照度は積分によって求める

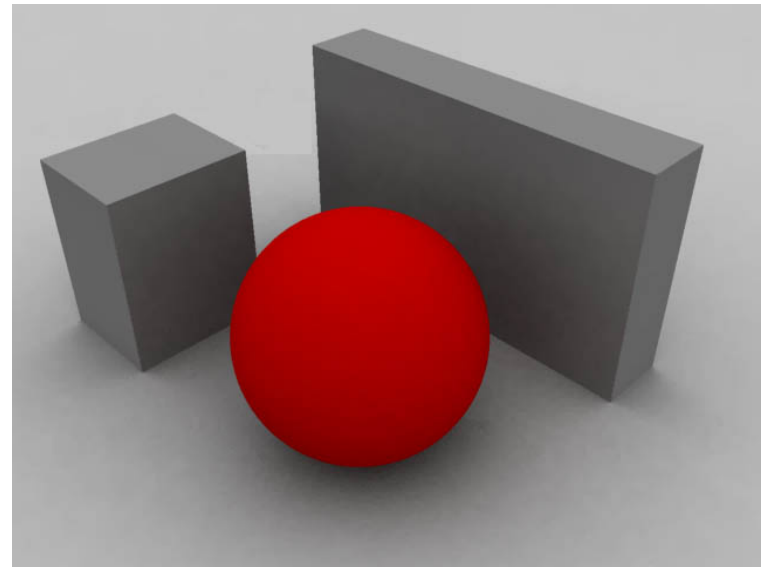
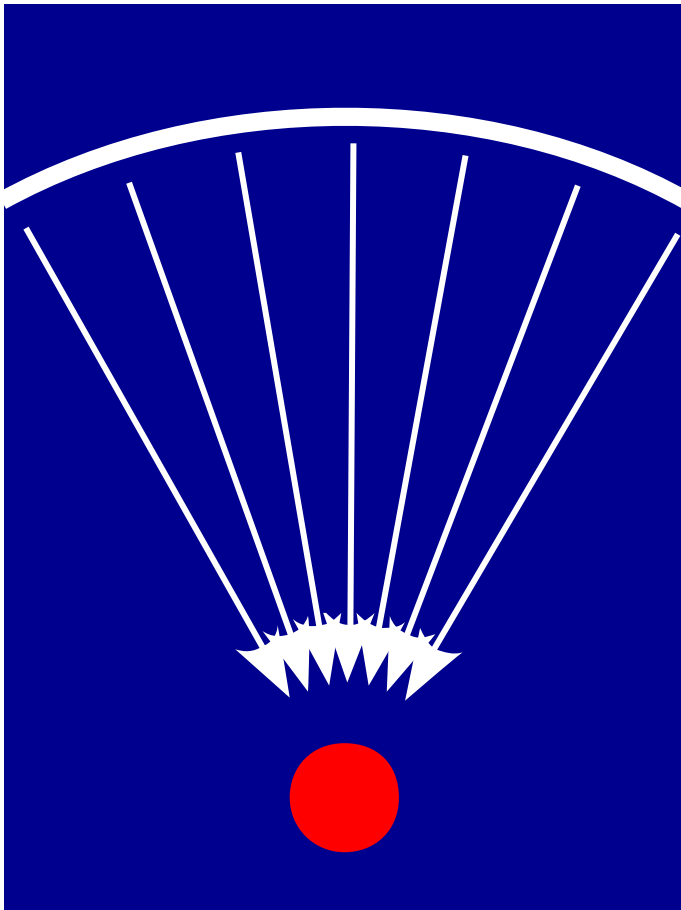
ある点に届く光の量は、
その点から見える光源の
形を積分して得られる



面光源



天空光



ハイライトについて

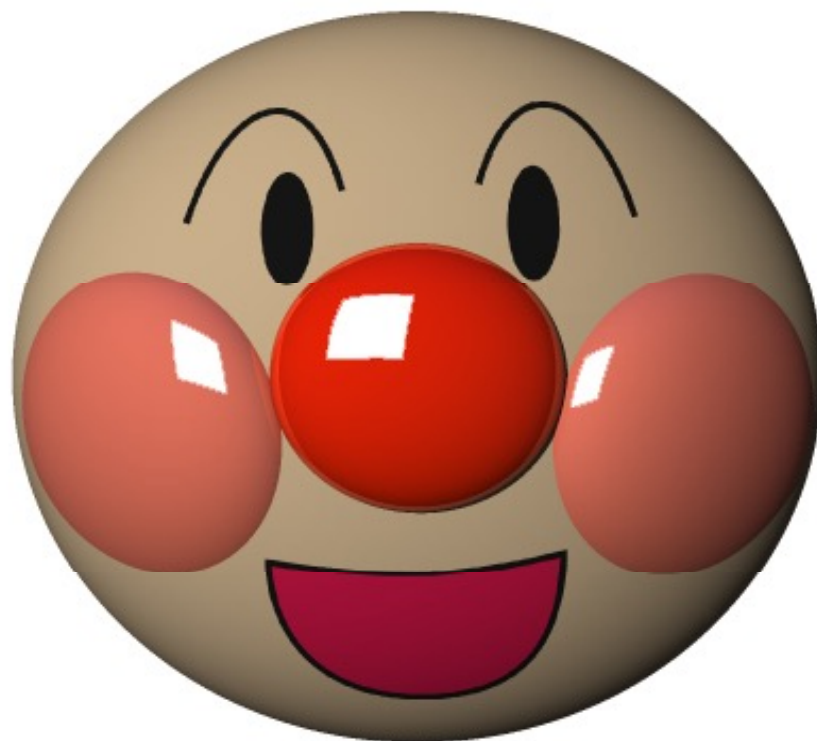
つややかさを認識する手がかり

アンパンマンを描いてみた



なんかちがう・・・

これならどうだ



まだちがう・・・というのはいいとして

マンガのアンパンマン

- 元気なアンパンマンのほっぺは「つややか」
 - ハイライトはつややかさを表現する有効な手段
- ハイライト形状は円形とは限らない



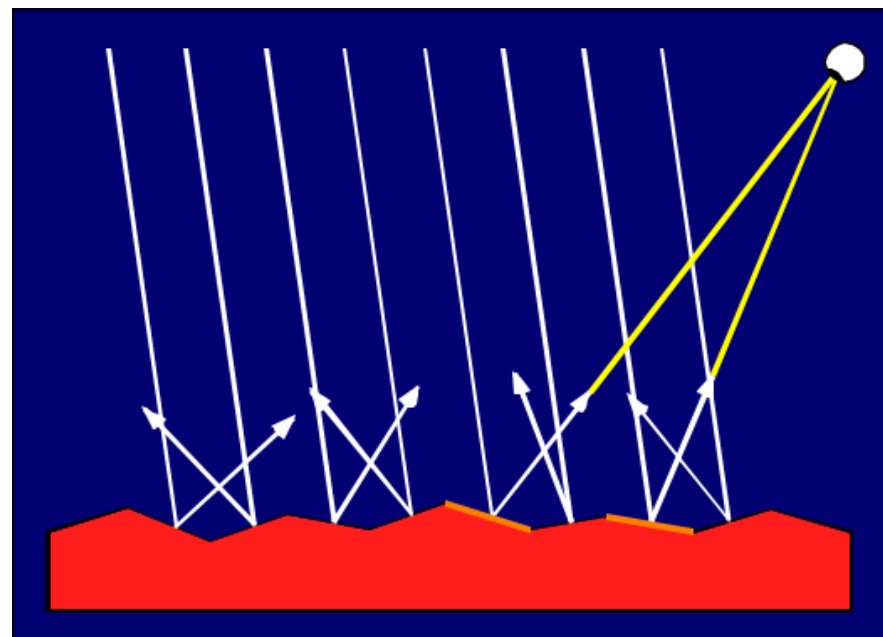
やなせたかし「アンパンマン」

ハイライトの形

- ハイライトの形を決めるもの
 - 光源の形
 - 物体の表面形状によるゆがみ
 - 物体表面の微小形状によるボケ
 - その他
 - 光の伝播路上のちり, ゆらぎ等

粗い物体表面

- 微小な凹凸がある
 - 一つ一つの微小面は入射光を正反射する（と考える）
 - 微小面の向きがばらつくからハイライトが広がる
- 微小面理論
 - 入射光を視点方向に正反射する微小面の向きの分布がハイライトの出方を決定する

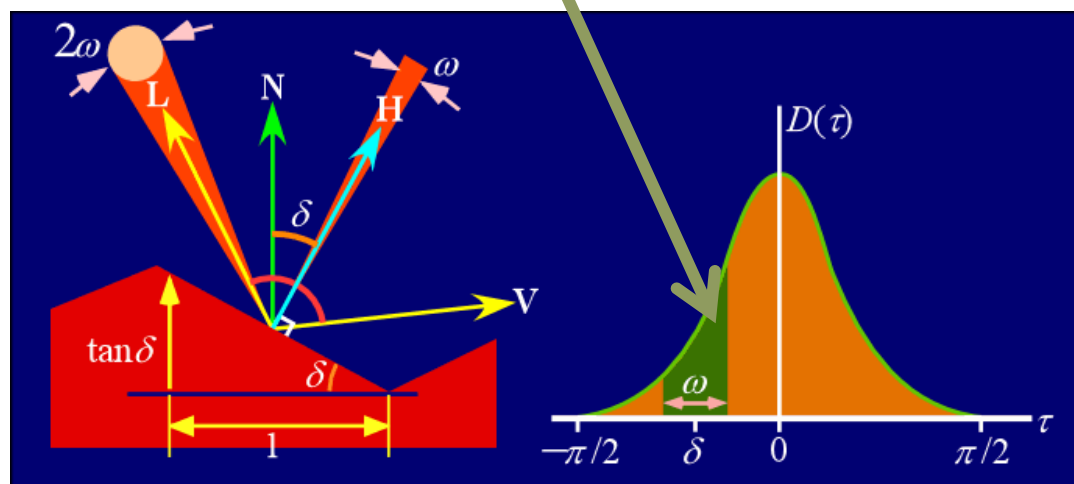


凹凸の向きの分布関数 $D(\tau)$

- 光源の視直径 2ω
- 鏡面反射率

$$r_s = \int_{\delta-\omega/2}^{\delta+\omega/2} D(\tau) d\tau$$

この部分の面積

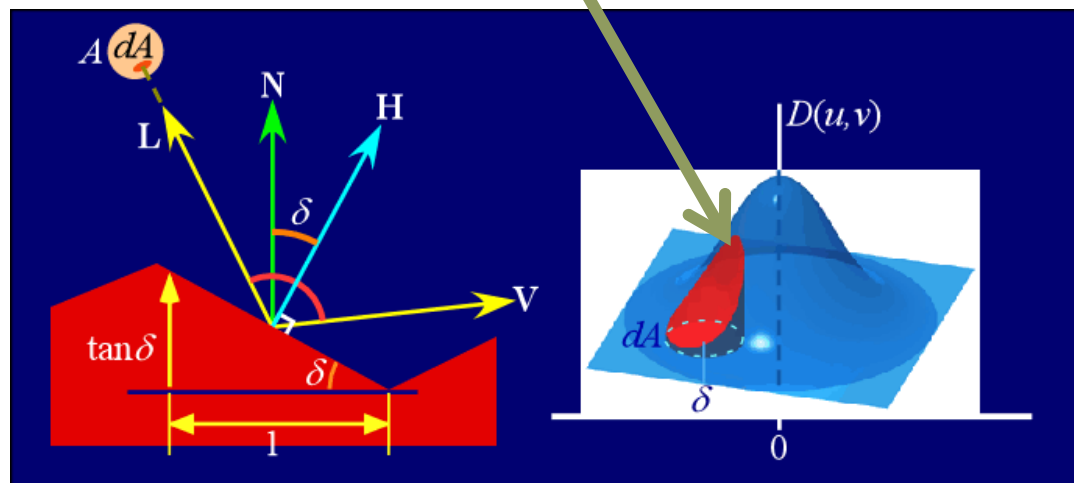


D は 2次元分布

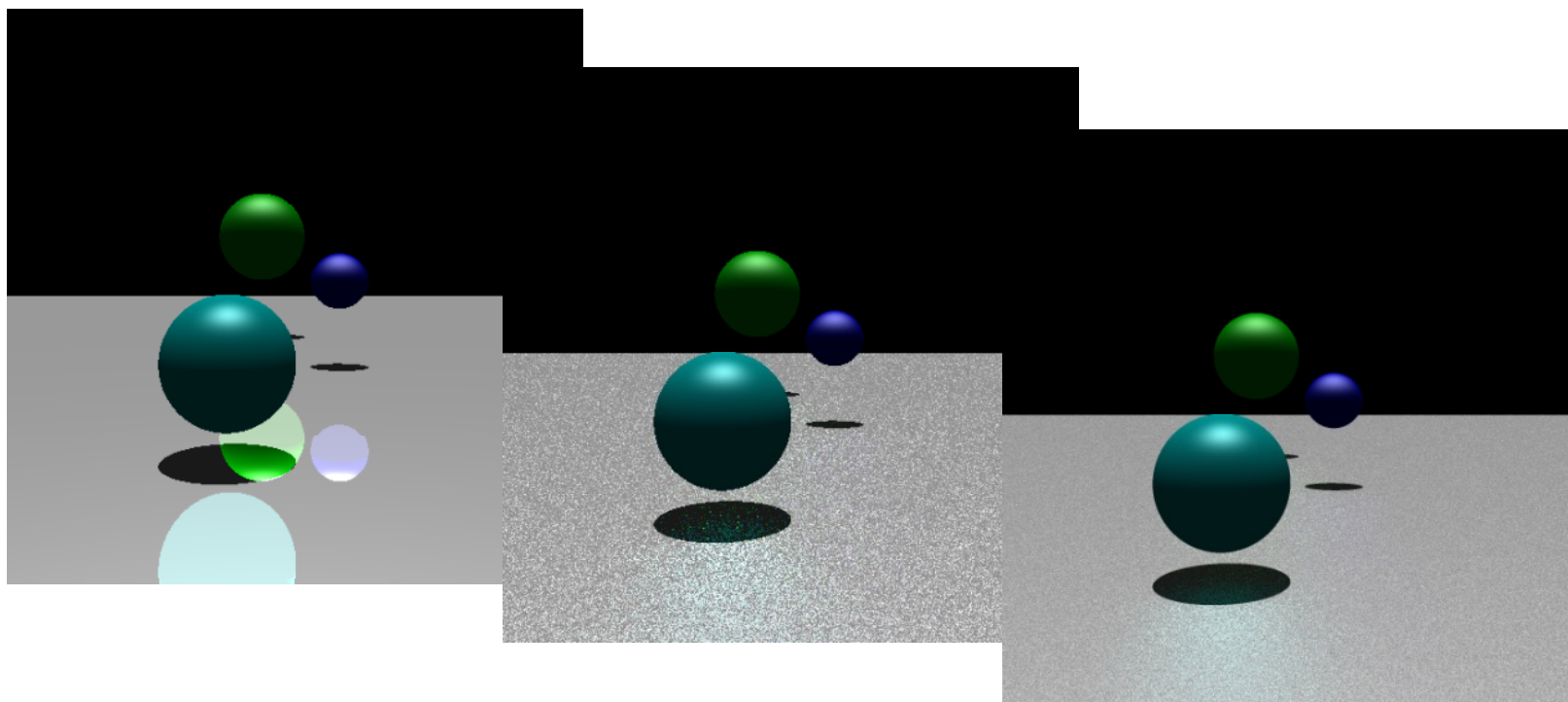
- 光源の面積 A
- 鏡面反射率

$$r_s = \int_A D(u, v) dA$$

この部分の体積



粗い表面への映り込み

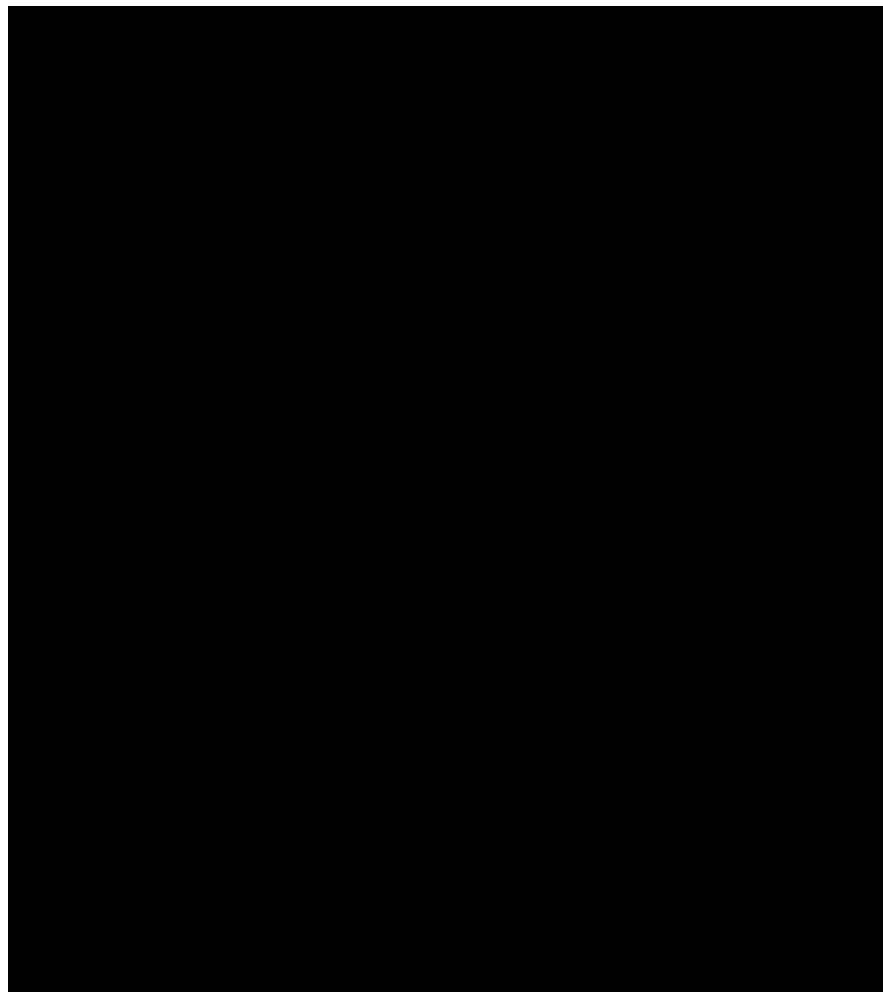


篠原 靖知:“粗い物体の表面形状計測に基づく陰影付けモデルの決定および樹脂成型物の質感設計への応用,” 和歌山大学システム工学部卒業論文 (2001)

粗い表面へのハイライト

□ Phong のモデル

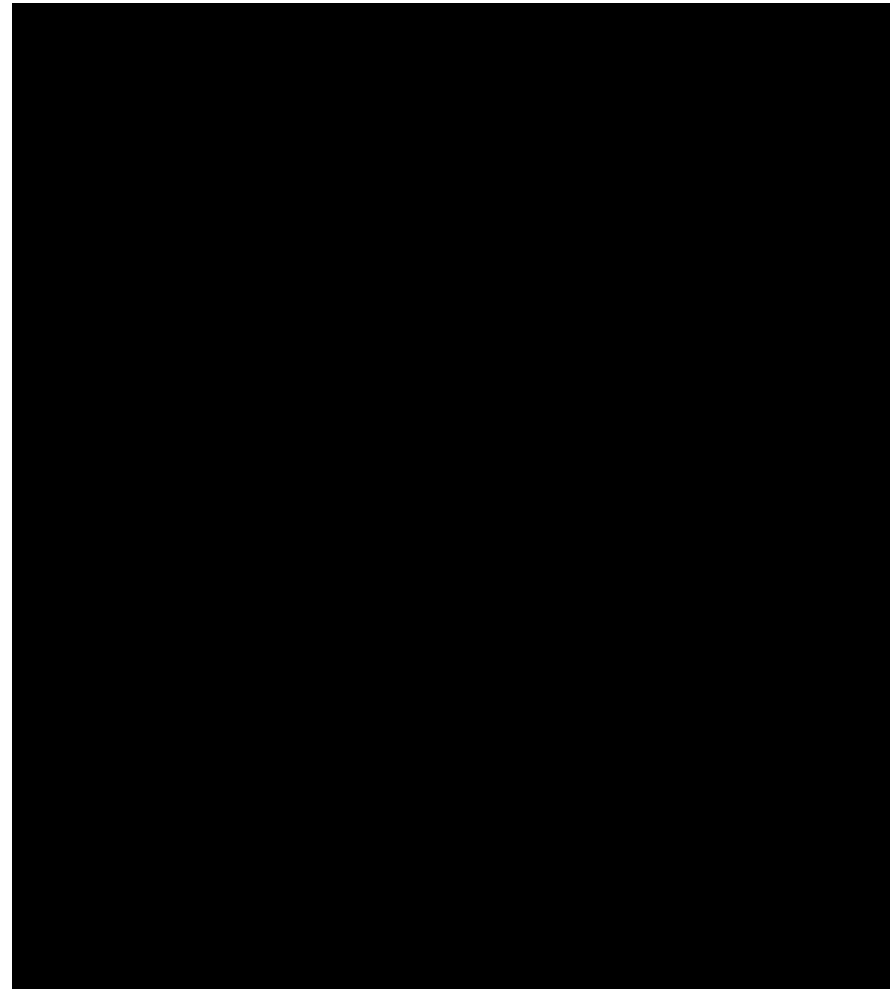
篠原 靖知:“粗い物体の表面形状計測に基づく陰影付けモデルの決定および樹脂成型物の質感設計への応用,” 和歌山大学システム工学部卒業論文 (2001)



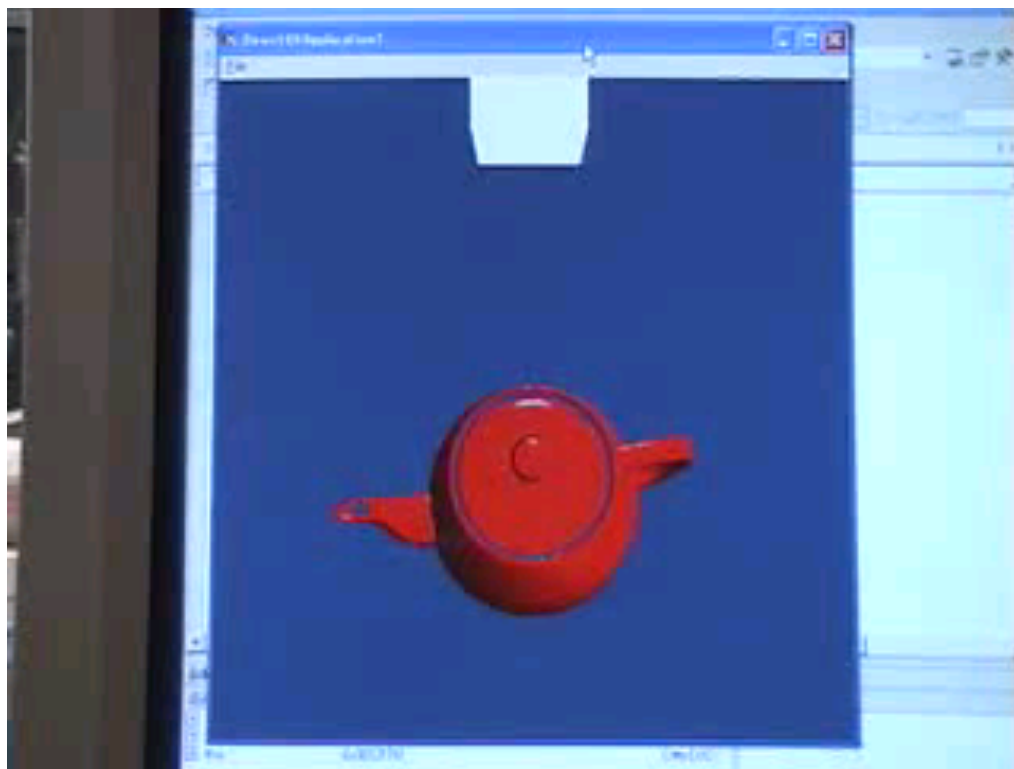
粗い表面へのハイライト

□ 分布関数のモデル

篠原 靖知:“粗い物体の表面形状計測に基づく陰影付けモデルの決定および樹脂成型物の質感設計への応用,” 和歌山大学システム工学部卒業論文 (2001)

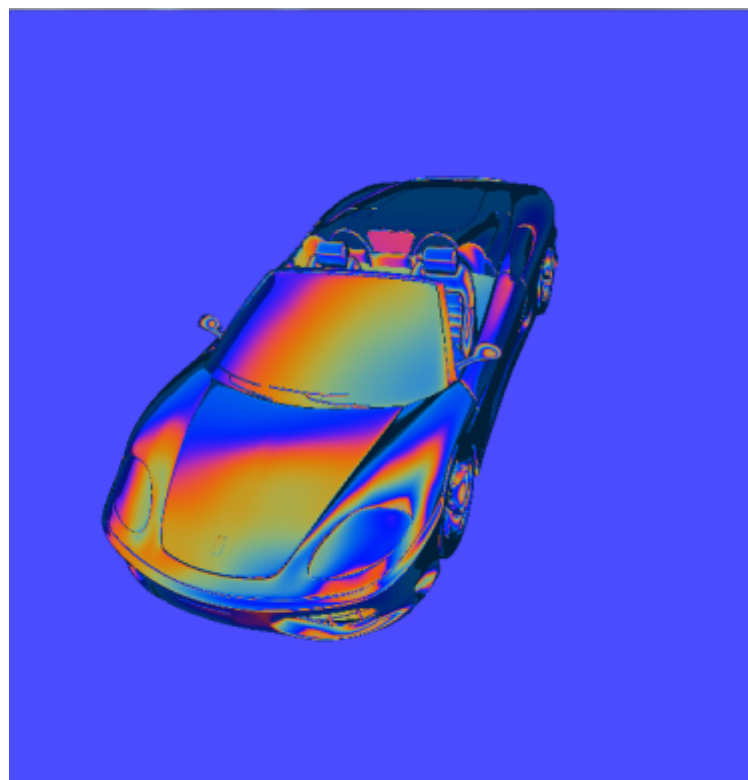
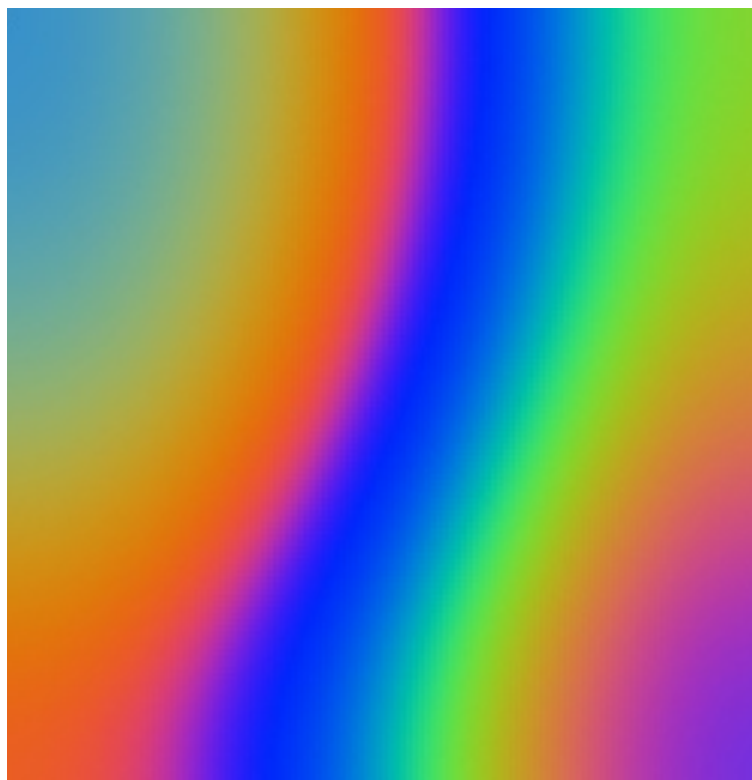


GPUを利用してリアルタイム化



木村 仁尚:“光源形状を反映したハイライトをリアルタイムに生成可能な BRDF にもとづく陰影付け手法,” 和歌山大学システム工学部研究科修士論文 (2004)

構造色



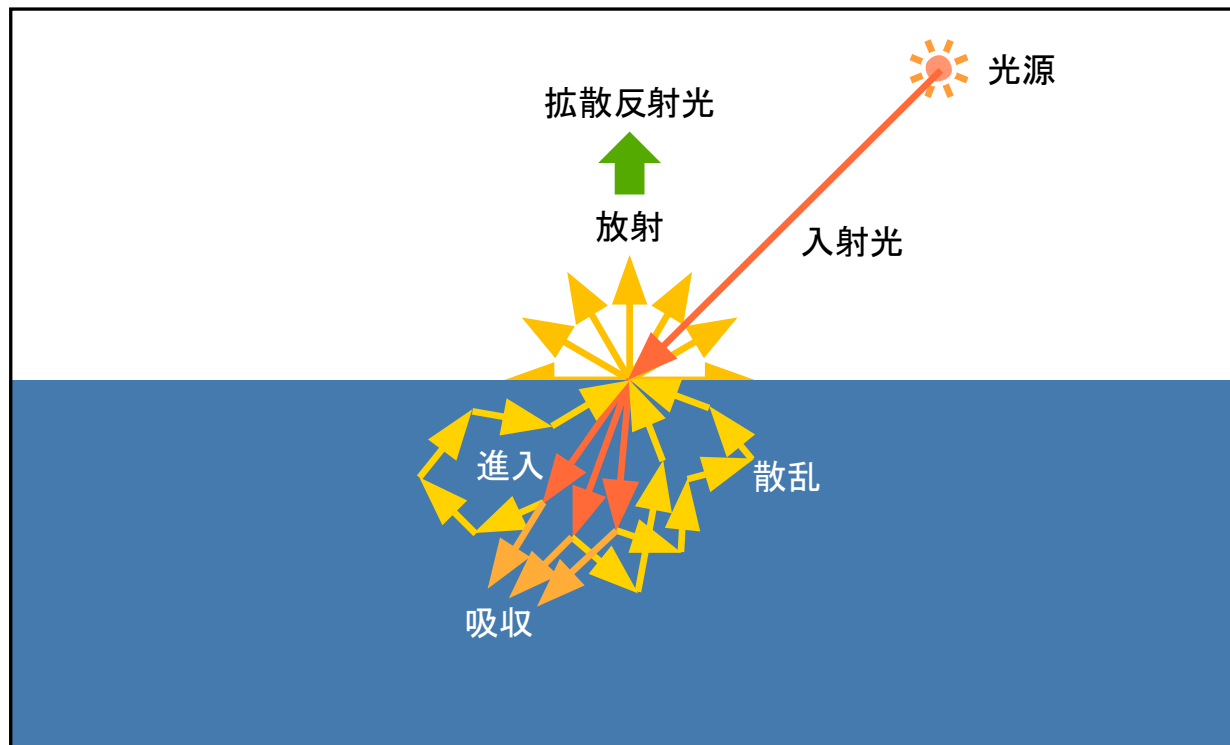
貝生 圭佑:“多層干渉薄膜構造をもつ塗料の構造色レンダリング,” 和歌山大学システム工学部研究科修士論文 (2010)

拡散反射光について

ここにもごまかしていることがある

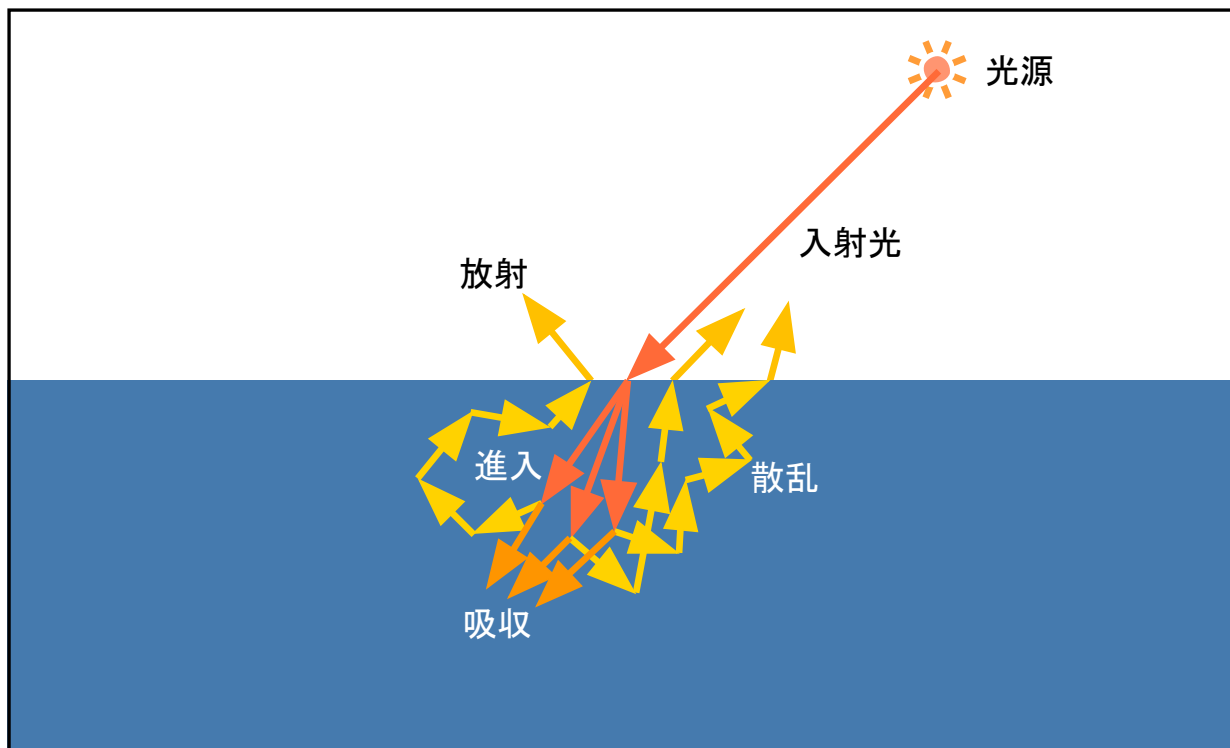
拡散反射光のモデル

- 反射光は入射位置から放射されると仮定している



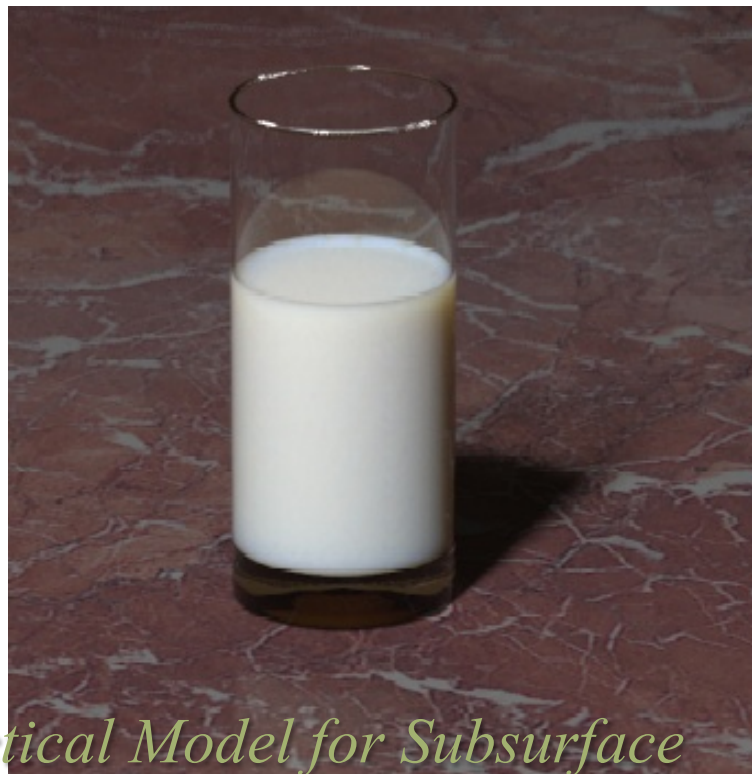
表面下散乱を考慮する

- 反射光は入射位置と異なる場所から放射される



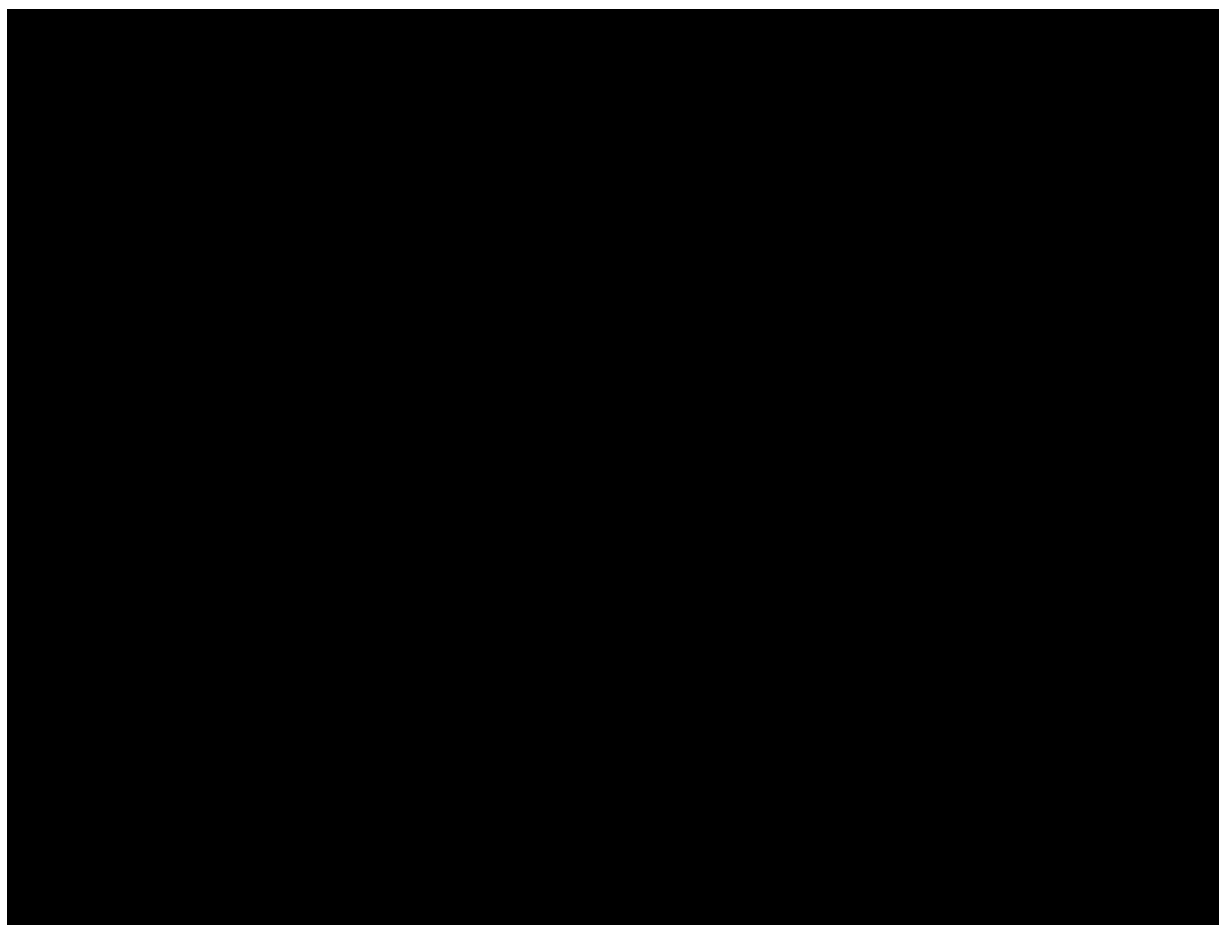
表面下散乱の有無

どっちが「牛乳（スキムミルク）」らしい？



Henrik Wann Jensen ほか: “*A Practical Model for Subsurface Light Transport,*” SIGGRAPH 2001 Conference Proceedings

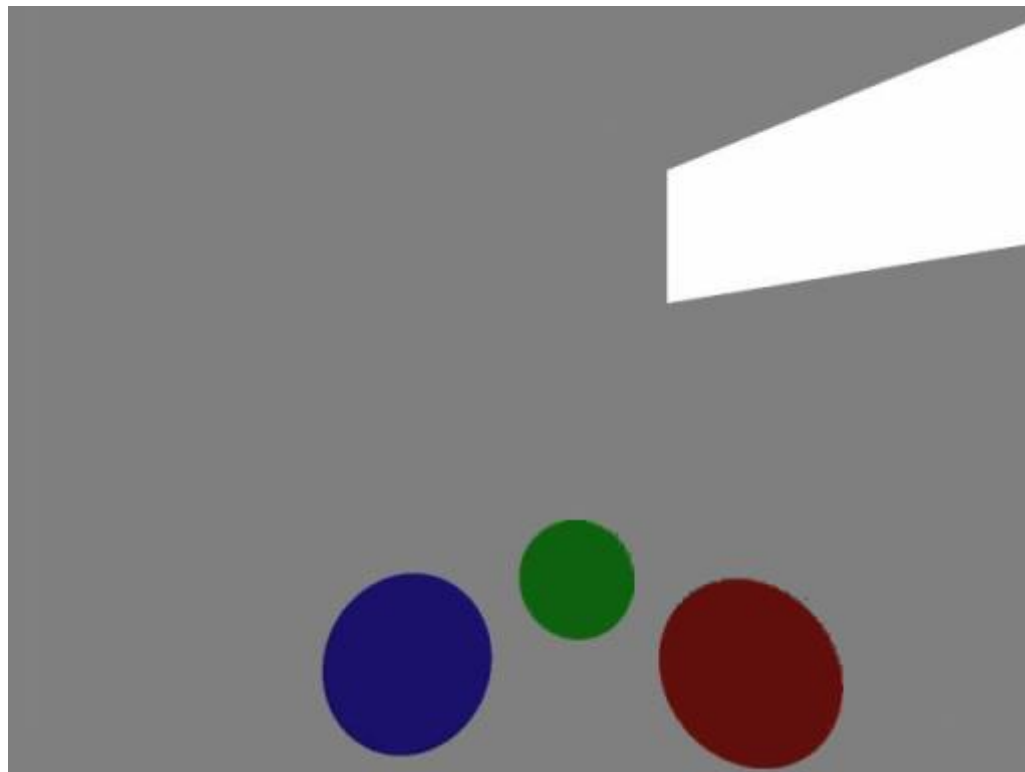
半透明の材質の表現



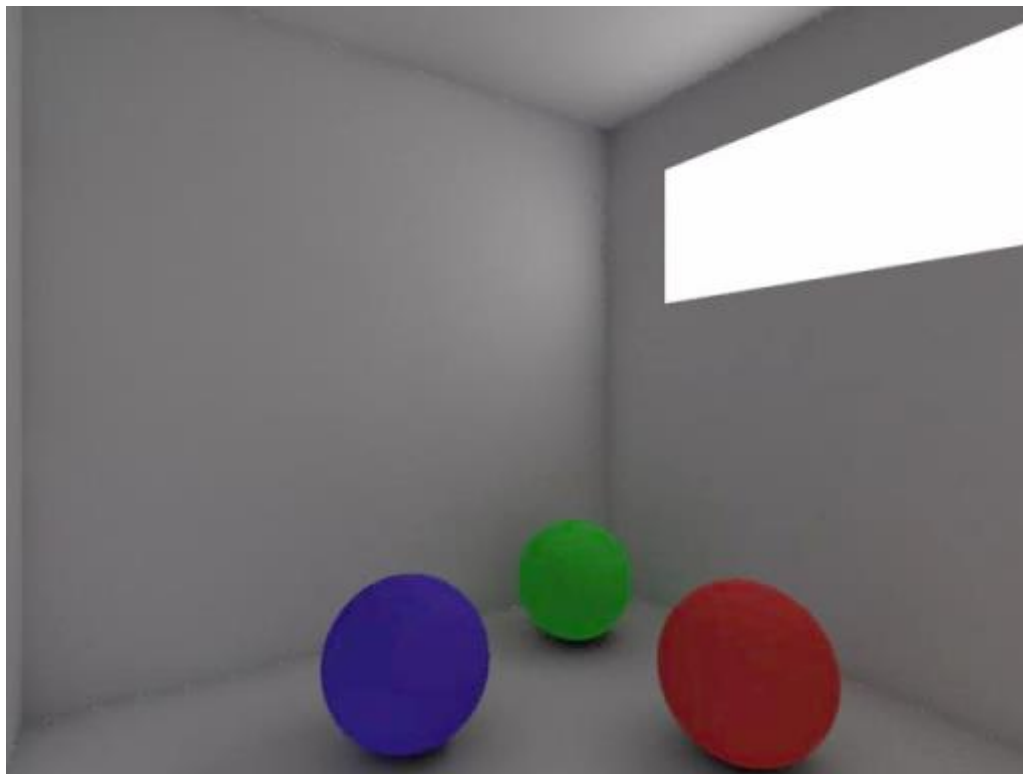
環境光について

本当は定数ではない

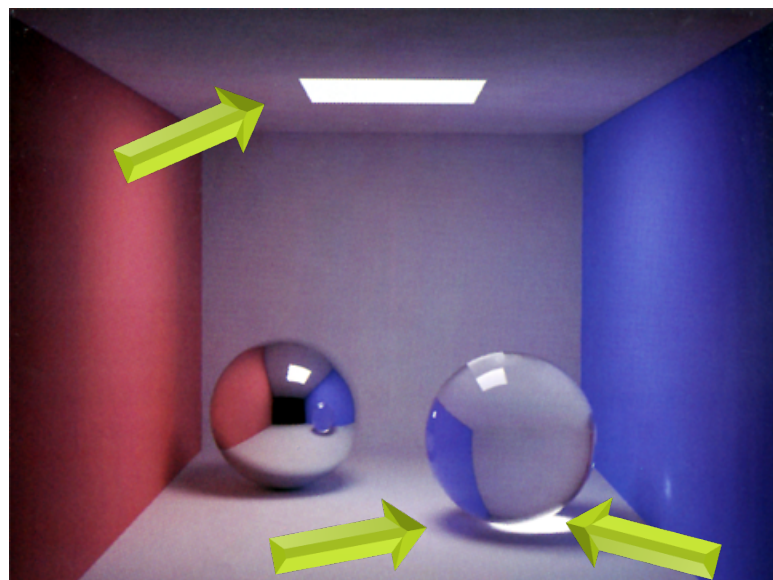
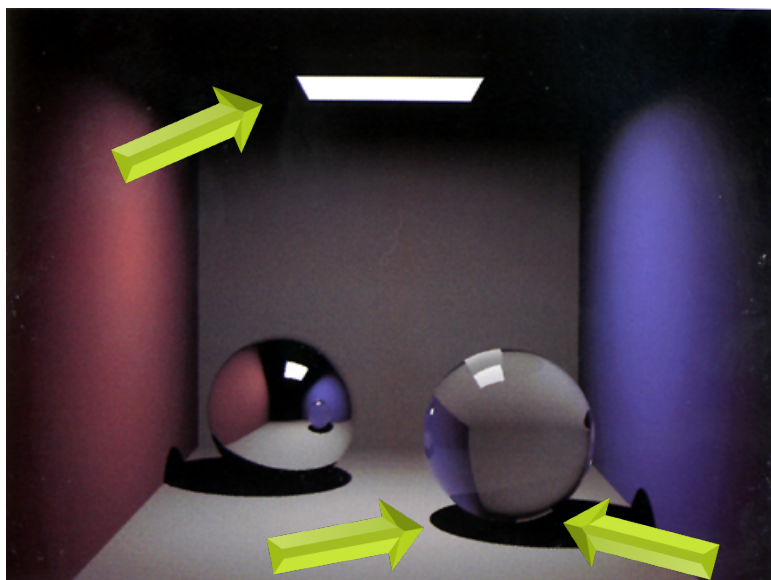
環境光のみによる陰影



間接光（相互反射）による陰影



大域照明 (GI) モデル



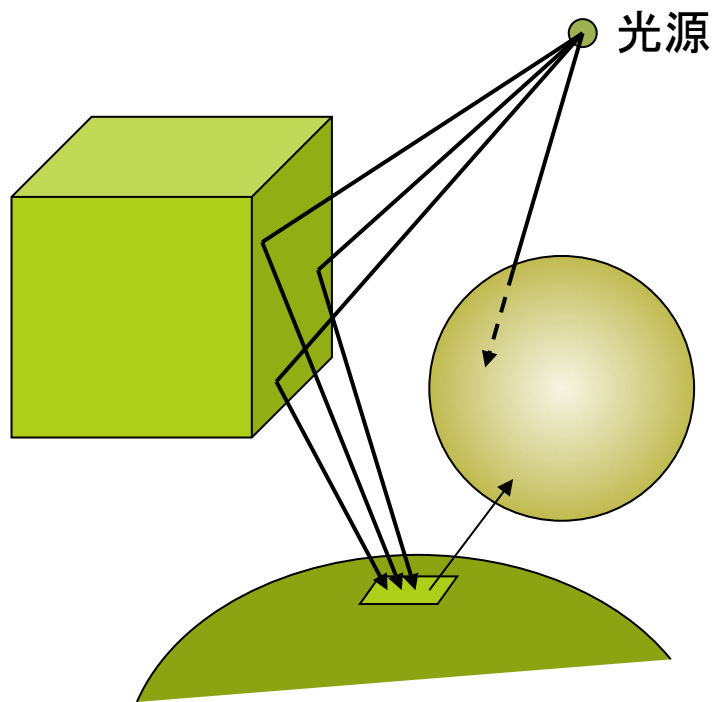
Henrik Wann Jensen 著、苗村 健 訳: “フォトンマッピング”

大域照明により実現可能になること

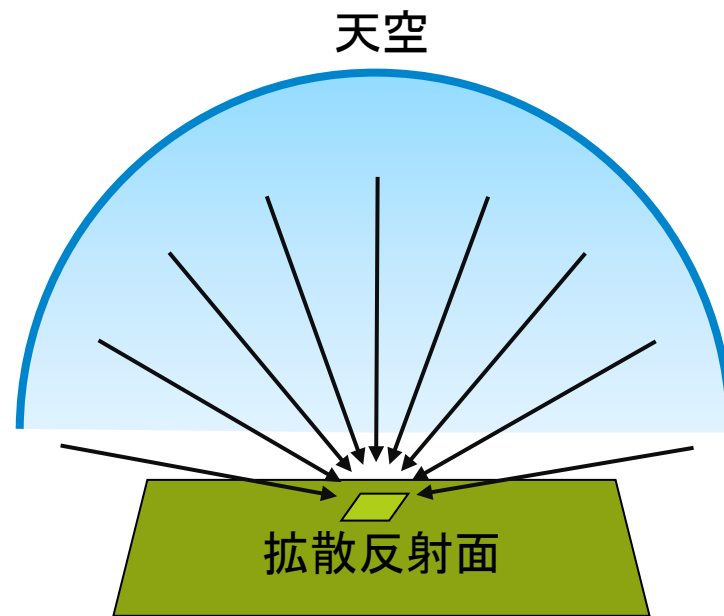
- 天井の明るさ（相互反射）
 - 天井には光源の光が直接届かない
 - 天井を照らしているのは壁などによる間接光
- 物体の影（エリアライト）
 - 天井の光源は面積をもっている
 - 半影（ぼやけた影）が生じる
- ガラスの球による集光模様(コースティクス)
 - ガラスは光を透過させる
 - ガラスは視線だけでなく光線も屈折させる

大域照明モデルの問題

- 相互反射の計算には非常に時間がかかる



光の経路は複数ある



拡散反射面の明るさは天空から降り注ぐすべての光を積分して決定する

大域照明モデルの解法

- ラジオシティ法
 - 空間を細かく分割して相互反射を計算する方法
- パストレーシング法
 - 拡散反射面の反射光を複数に分散させる方法
- フォトンマッピング法
 - パストレーシングを高速化するために空間に光の粒子（フォトン）をばら撒く方法
- 事前計算による方法
 - 時間のかかる計算をあらかじめ行っておく
 - ゲームのCGなどで利用される

大域照明モデルのリアルタイム化

- 光の分布をあらかじめ計算しておく



Precomputed Radiance Transfer for Real-Time Rendering in Dynamic, Low-Frequency Lighting Environments

物理は表現の道具

- 米岡馨氏

- <https://vimeo.com/100568414>

- http://www.cgarts.or.jp/report/rep_2014/snpa_rep/snpa_rep140901.html

- RealFlow

- <https://vimeo.com/103722344>

- <http://www.realflow.com>

Blender でもここまでできる



Cycles レンダーエンジン

