

大気による光の減衰と水滴分布を考慮した 虹のフォトリアリスティックレンダリング

Realistic Rainbow Rendering Considering Light Attenuation in the Atmosphere

藤原和也 玉木徹 金田和文
広島大学大学院工学研究科

研究背景

虹

- ・非常に美しい気象現象
- ・古くから研究対象

CGでの虹の利用

- ・ドラマや映画等の映像への合成
- ・気象条件によって変化する虹の視覚的理解



↓

フォトリアリスティックなレンダリング手法の開発

フィジカルベースなアプローチで開発

虹の原理

- ・空中に浮かぶ水滴内での光の分散や干渉、水滴による集光

幾何光学

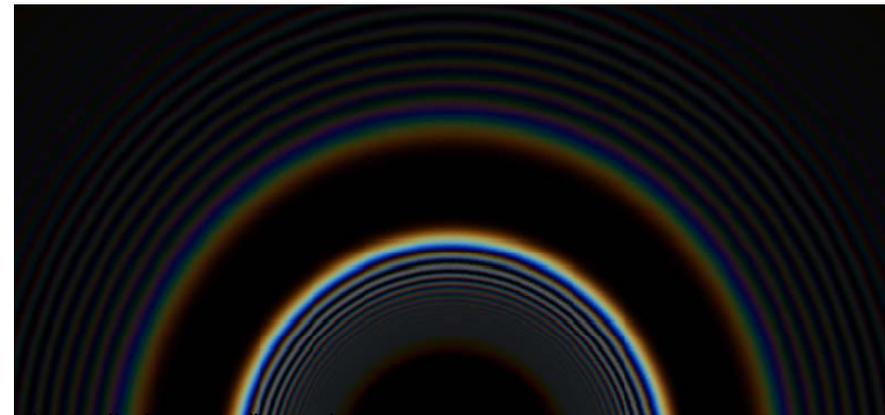
主虹 ……水滴内で一回反射した出射光

副虹 ……水滴内で二回反射した出射光

波動光学

過剰虹 ……出射光の干渉

水滴の大きさや、光の波長によって、出射光の角度や明るさが変化



副虹 主虹
過剰虹(副虹) 過剰虹(主虹)

関連研究

- 幾何光学を考慮
 - 主虹、副虹の表示[Inakage '89][Musgrave'89]

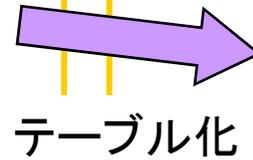
- 波動光学を考慮
- ミー散乱理論を利用
 - 主虹、副虹を含む大気現象をリアルタイム表示
[Riley '04]

- エアリーの虹積分式を利用
 - 主虹、副虹、過剰虹の表示
水滴の半径や波長によって異なる虹の表示[芳信 '05]

波動光学に基づいたレンダリング手法[芳信 '05]

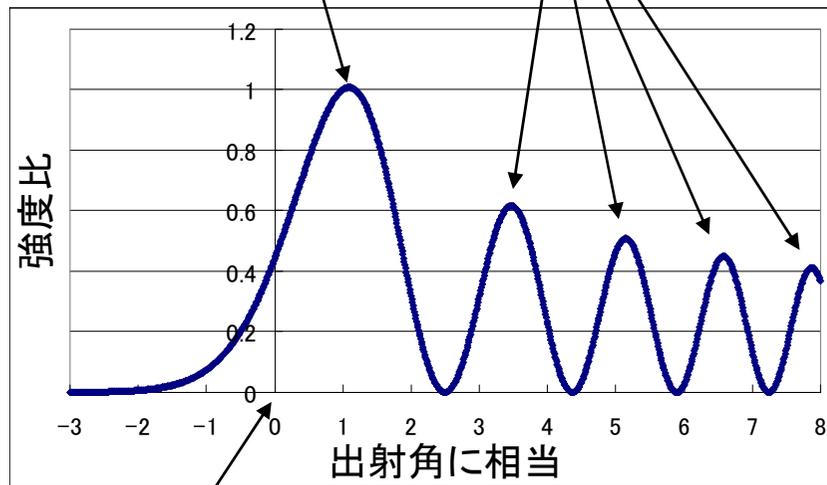
エアリーの虹積分式

$$A = 2k \int_0^{\infty} \left(\frac{3a^2 \lambda}{4h \cos \theta'} \right)^{\frac{1}{3}} \cos \frac{\pi}{2} (u^3 - zu) du$$



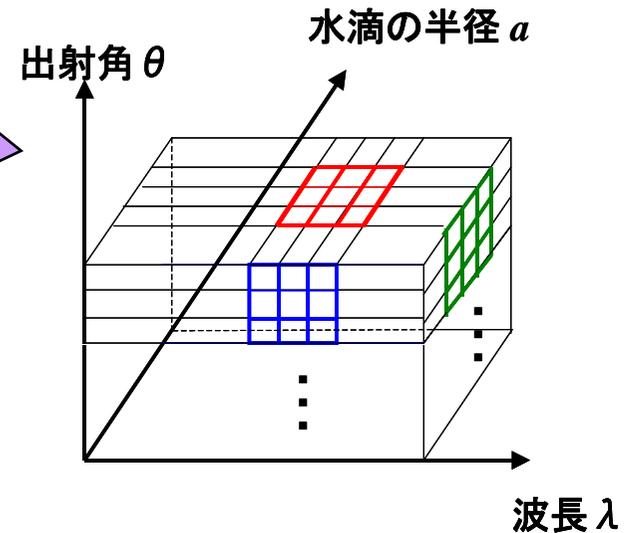
主虹・副虹

過剰虹



デカルト光の位置
(幾何光学で求まる主虹・副虹の位置)

レンダリング手法

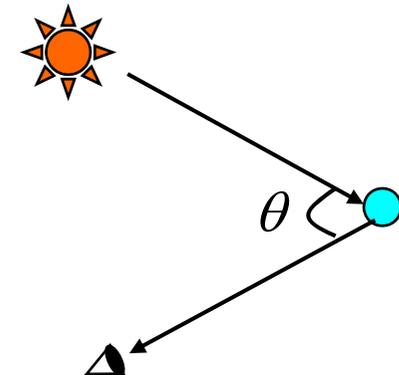


・テーブルを参照しピクセル値を決定

θ : 出射角

a : 水滴半径

λ : 波長



研究の目的

従来手法の問題点

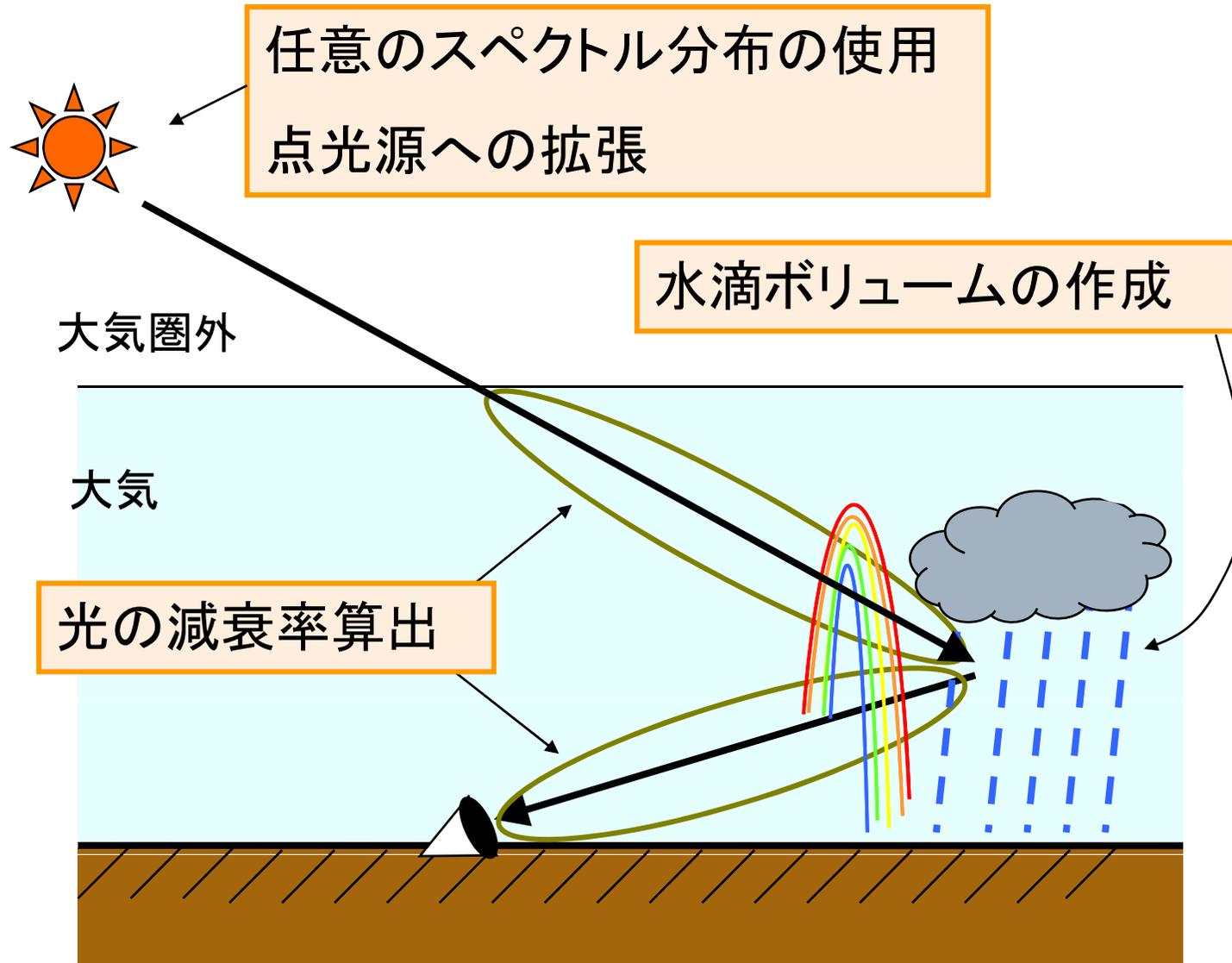
- ・大気による光の散乱を考慮していない
- ・水滴の分布を考慮していない
- ・太陽光のスペクトル分布が設定できずに均一

問題点の改善

本研究の目的

- ・気象状態によって変化するリアルな虹のレンダリング
↳ 雨の分布、昼or夕、太陽光のスペクトル

提案手法の概要

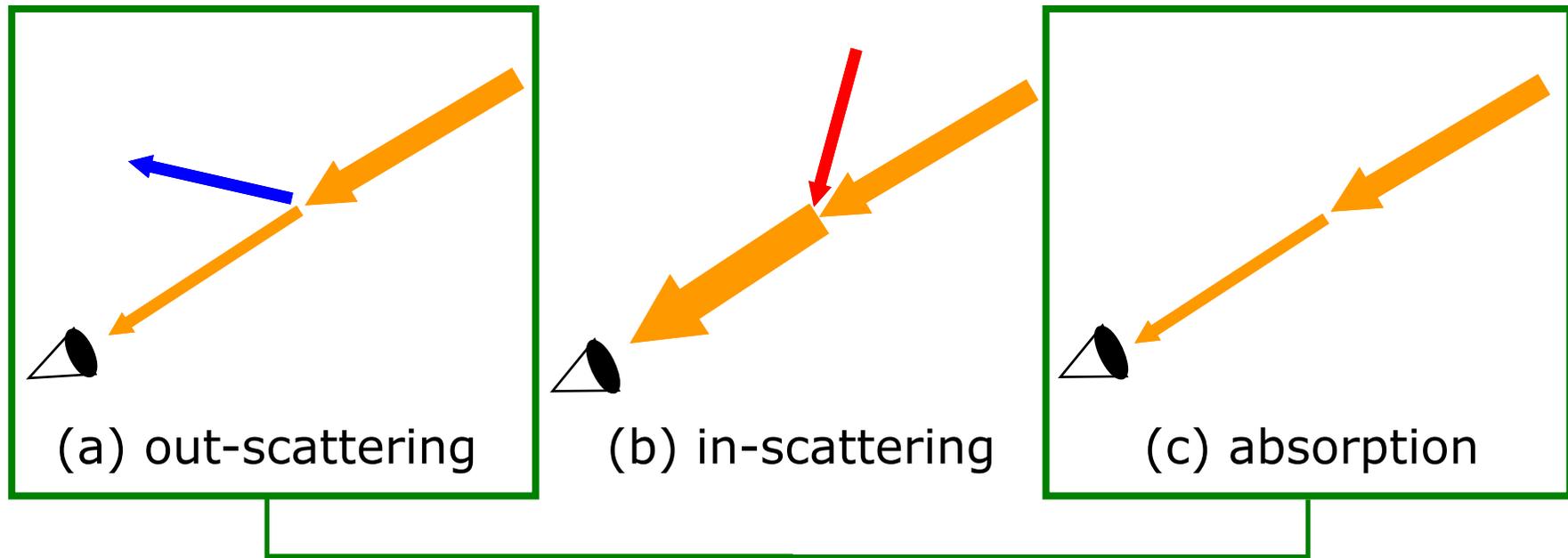


光の散乱・吸収による減衰

□ 大気中の空気分子に対する光の振る舞い

・散乱、吸収(absorption)

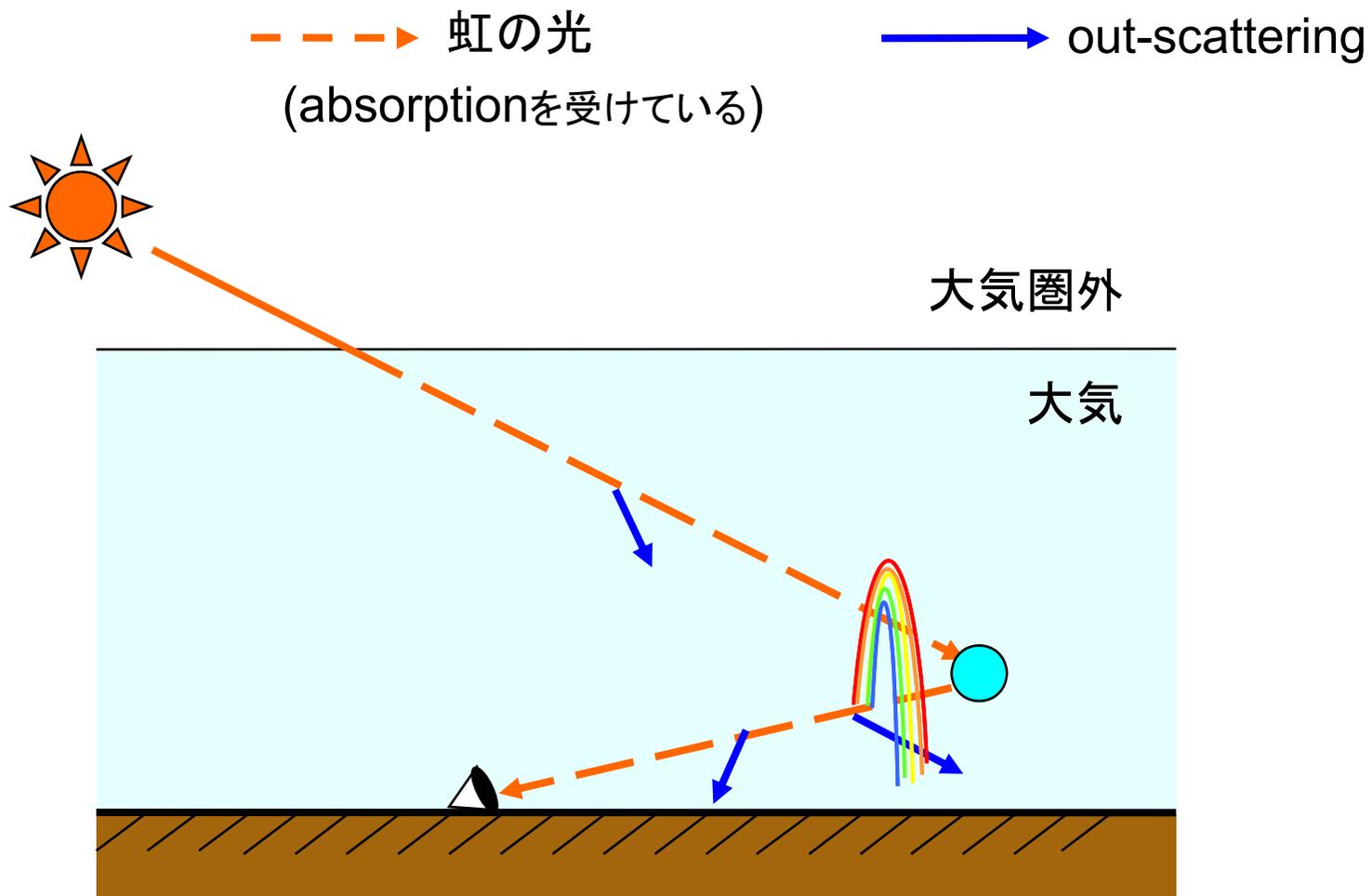
↳ out-scattering、in-scattering



absorptionとout-scatteringからなる減衰の考慮

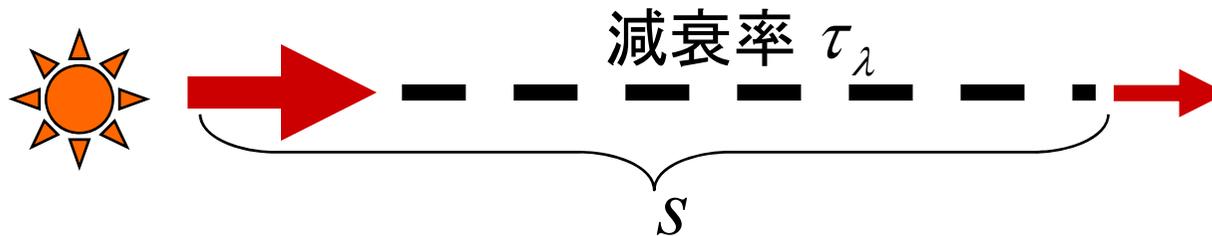
大気による光の減衰

absorptionとout-scatteringからなる減衰の考慮



減衰率の算出

- 天空光の計算法[西田 '89] 中での減衰計算を利用
- 光学的深度 $t_\lambda(s)$ から減衰率 τ_λ を算出



$$\tau_\lambda = \exp(-t_\lambda(s))$$

$$t_\lambda(s) = \int_0^s \beta_\lambda(\rho) dl$$

τ_λ : 減衰率

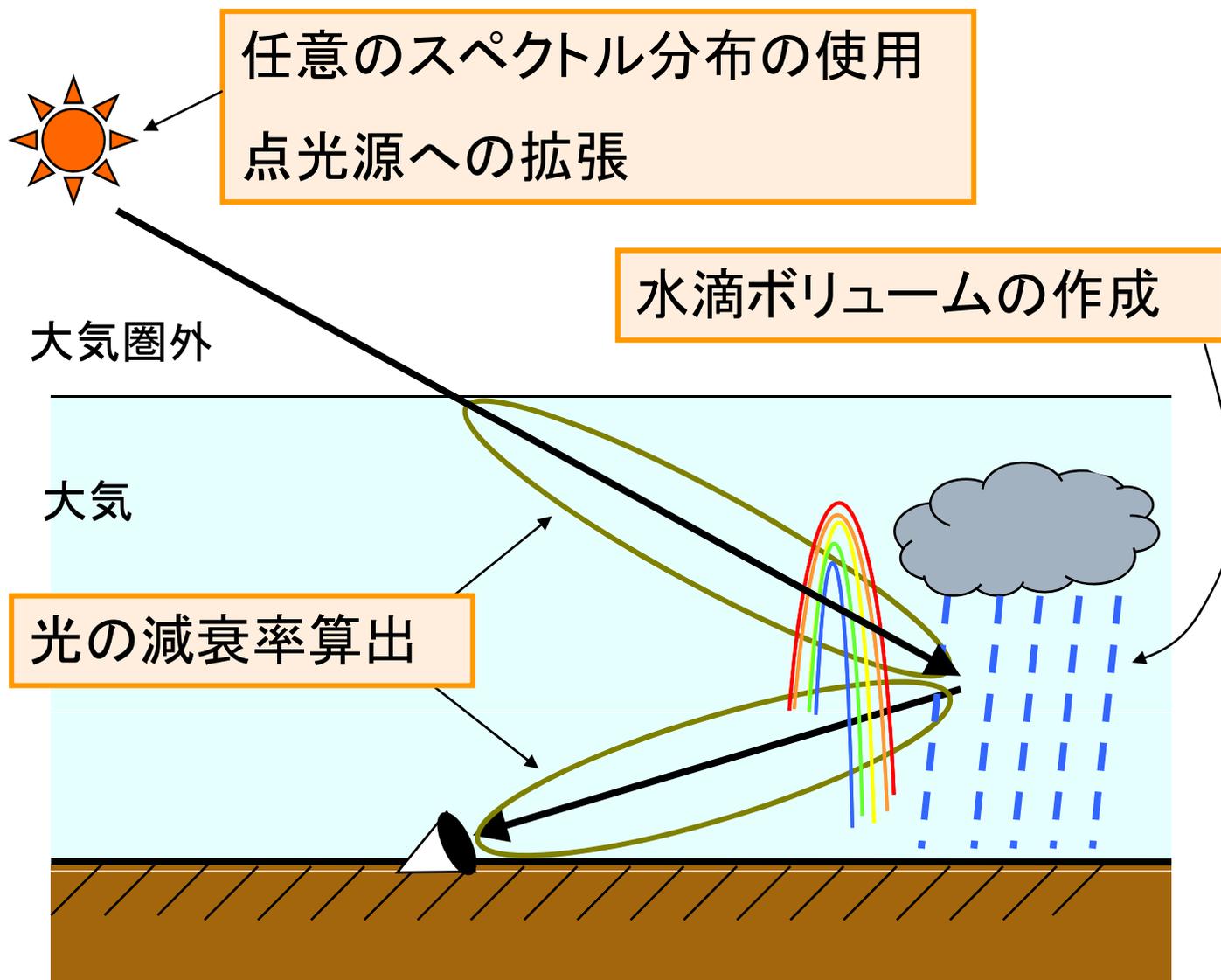
$t_\lambda(s)$: 光学的深度

s : 距離

$\beta_\lambda(h)$: 単位距離あたりの減衰の割合

ρ : 空気密度

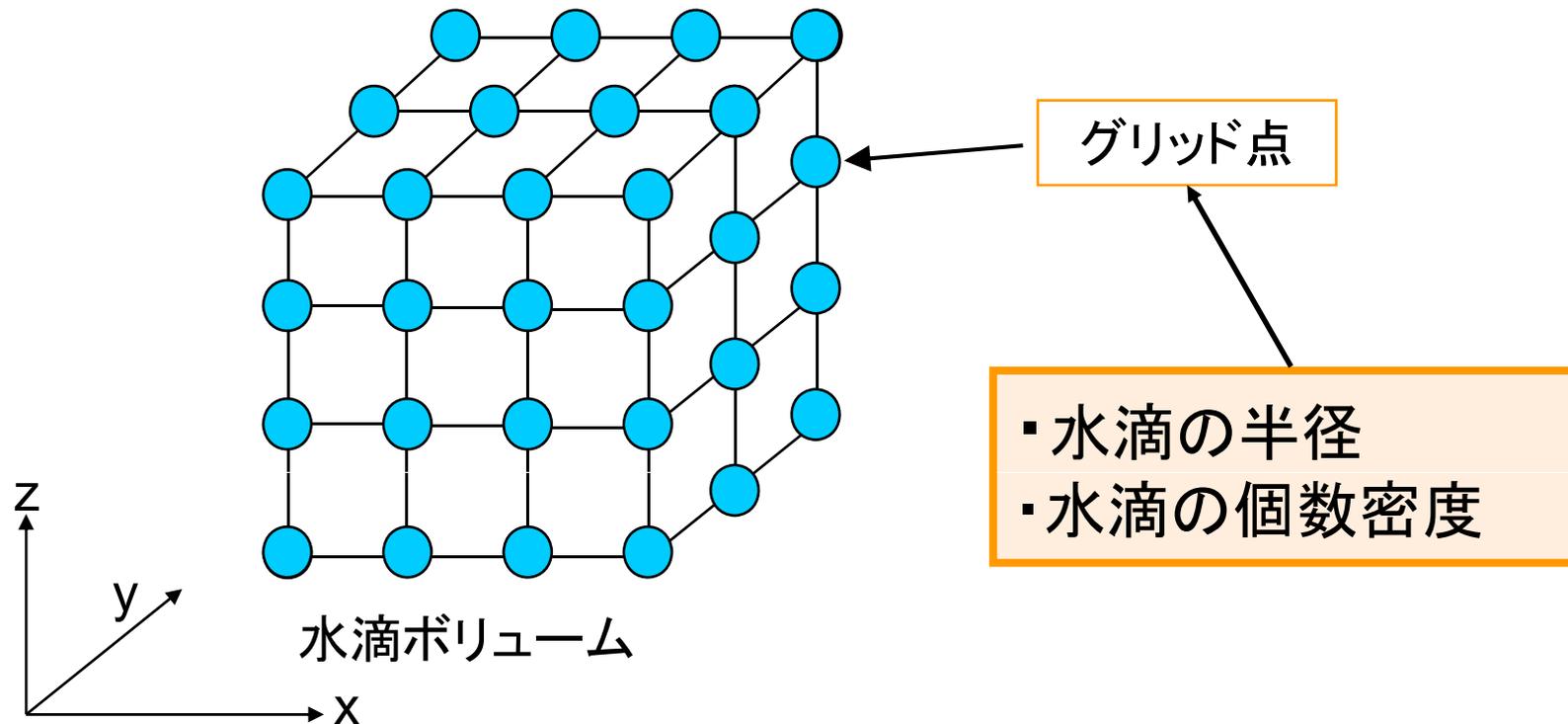
提案手法の概要



水滴ボリューム

・提案する水滴ボリューム

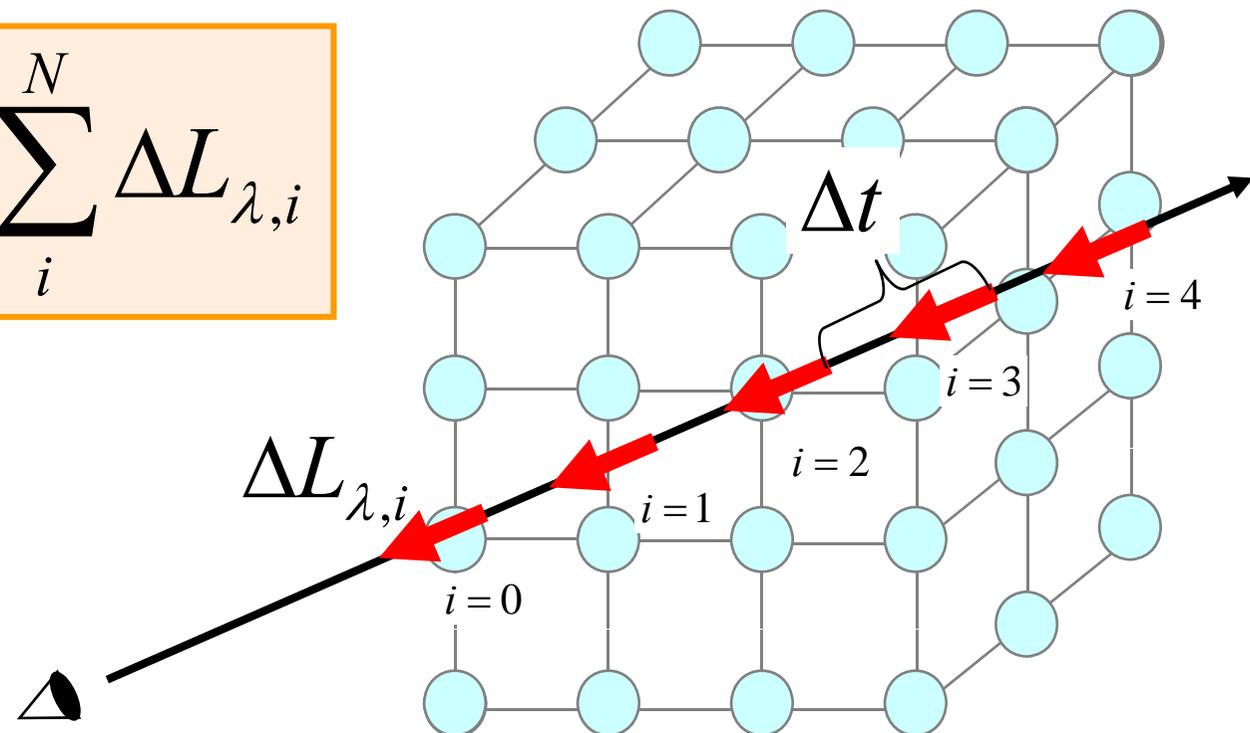
各グリッド点に水滴の半径と個数密度の**二つのデータ**を保持



輝度計算の概要

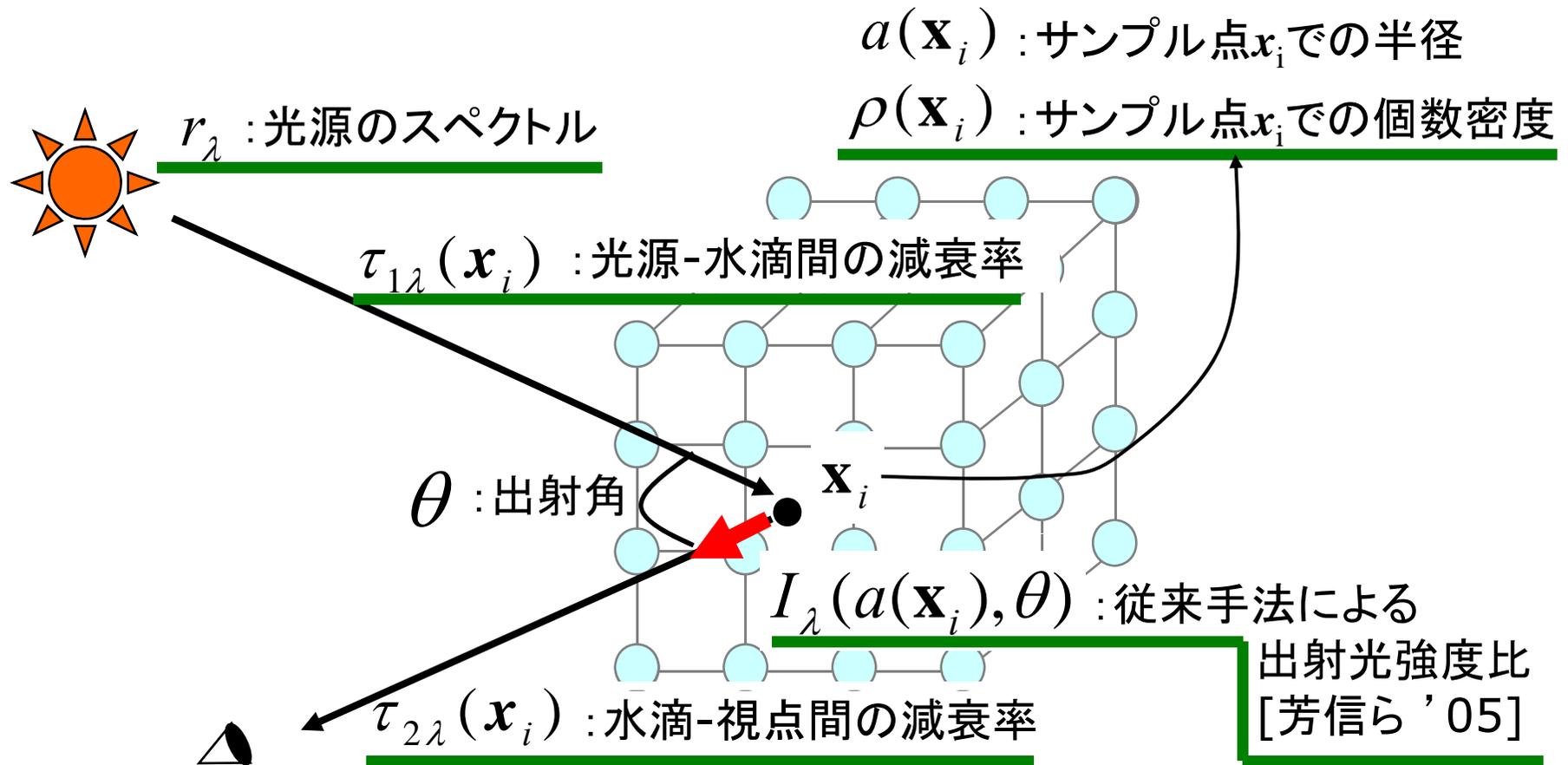
- レイキャスティングの考えに基づいて…
 - 視線上にサンプル点を取る
 - 各サンプル点で算出される輝度値 $\Delta L_{\lambda,i}$ を加算することでピクセルの輝度値とする

$$L_{\lambda} = \Delta t \sum_i^N \Delta L_{\lambda,i}$$

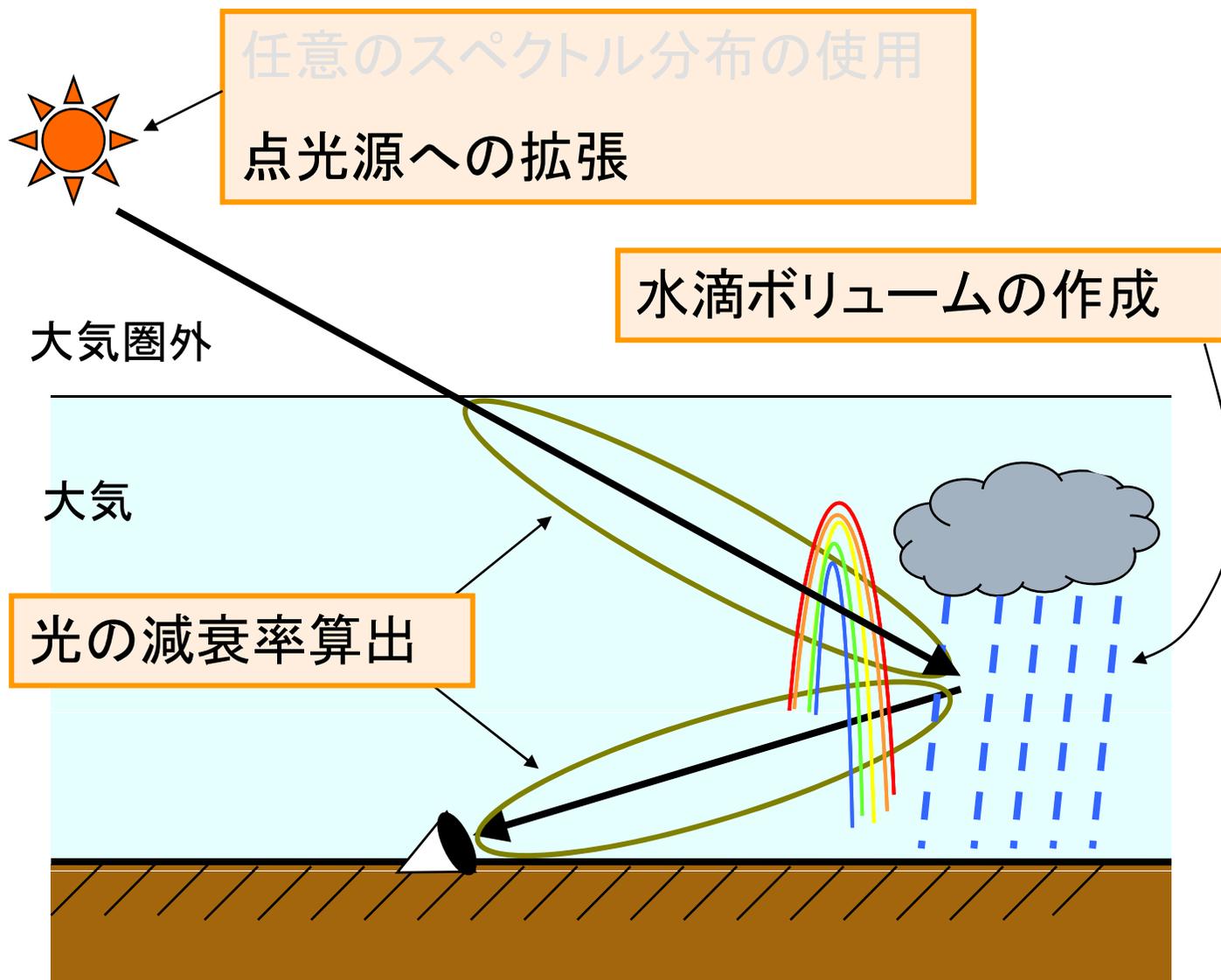


一つのサンプル点で得られる輝度値

$$\Delta L_{\lambda,i} = r_{\lambda} \tau_{1\lambda}(\mathbf{x}_i) I_{\lambda}(a(\mathbf{x}_i), \theta) \rho(\mathbf{x}_i) \tau_{2\lambda}(\mathbf{x}_i)$$

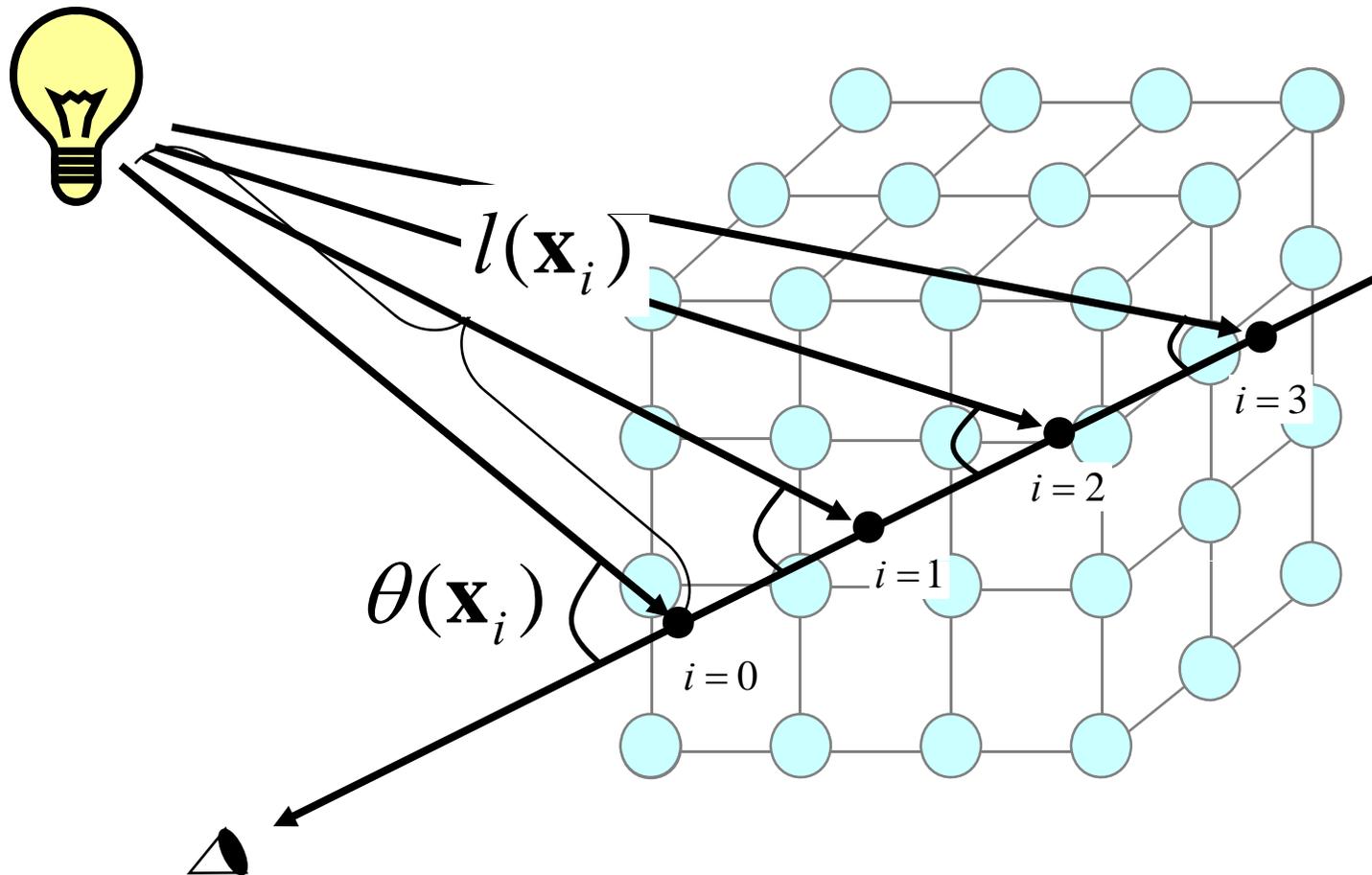


提案手法の概要

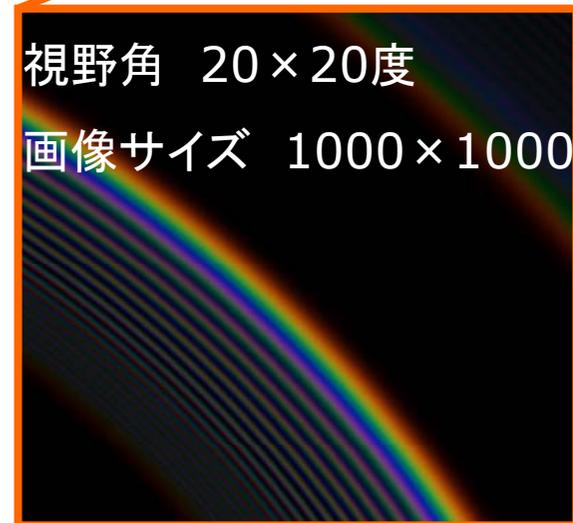
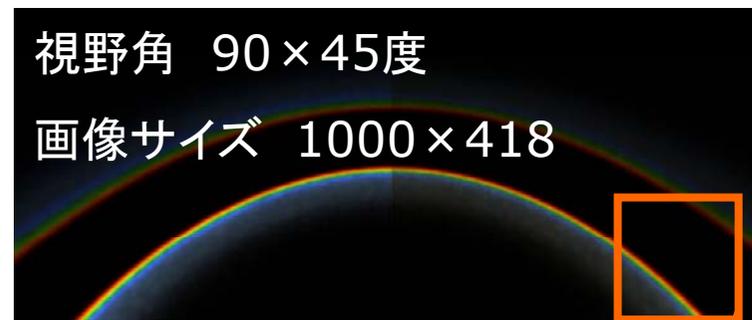
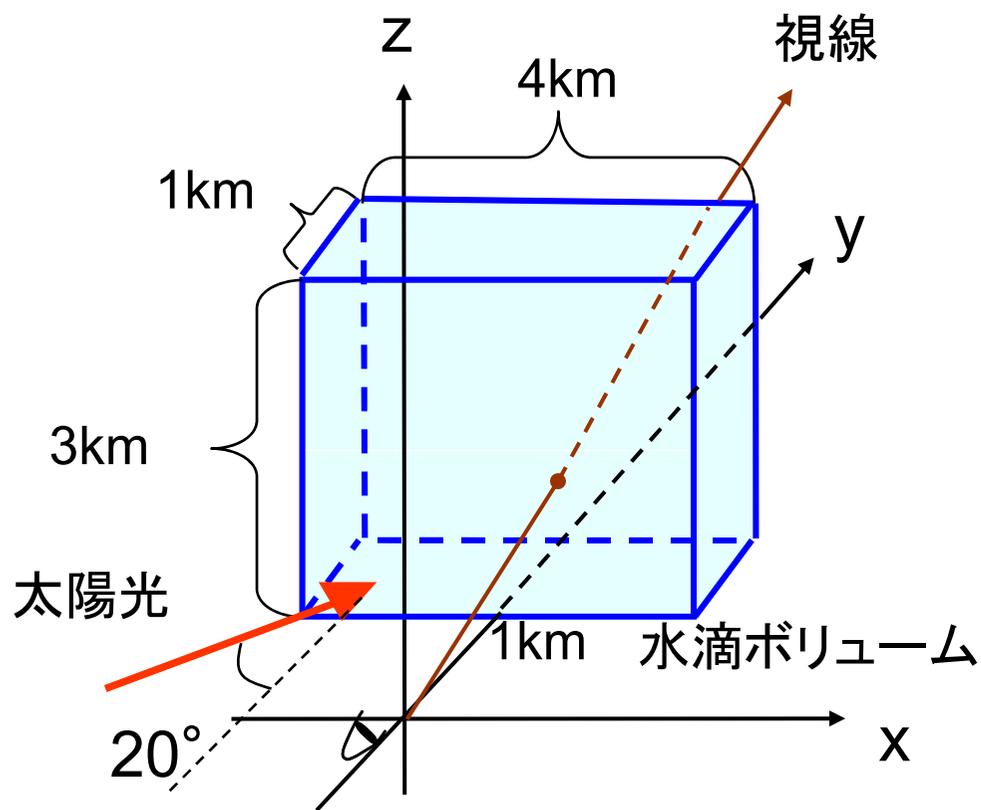


点光源への対応

- サンプル点ごとに出射角 $\theta(x_i)$ を再計算する
- 光源-水滴間で $\frac{1}{l^2(\mathbf{x}_i)}$ に比例して放射束が弱まる



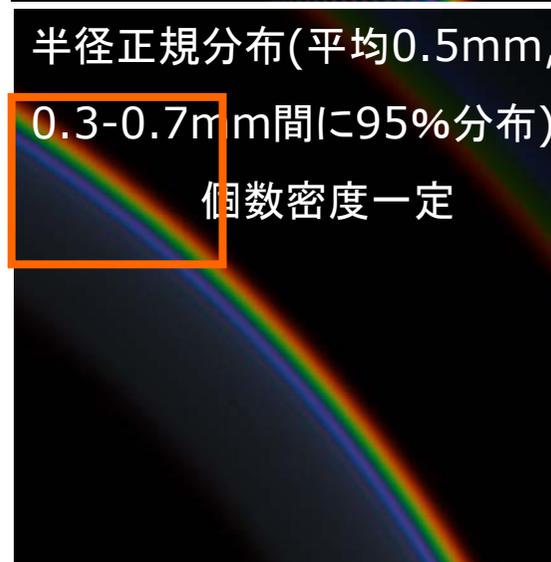
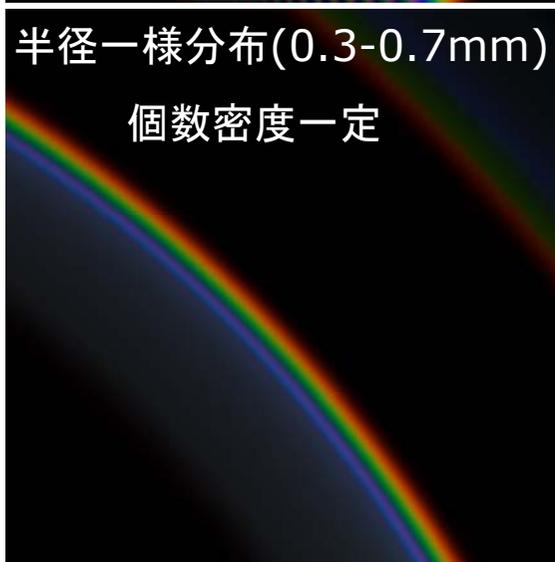
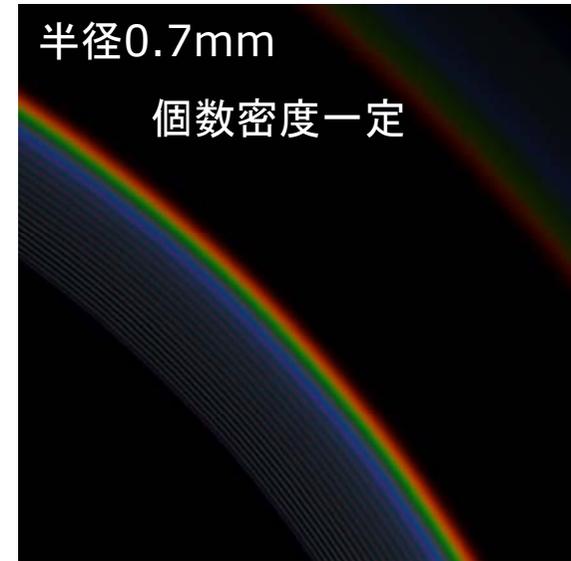
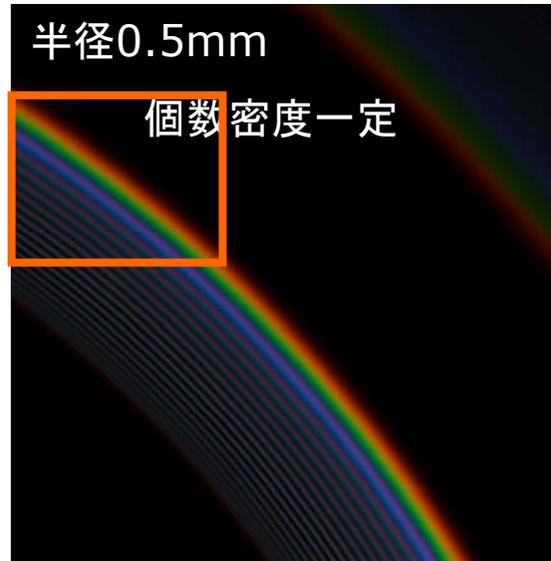
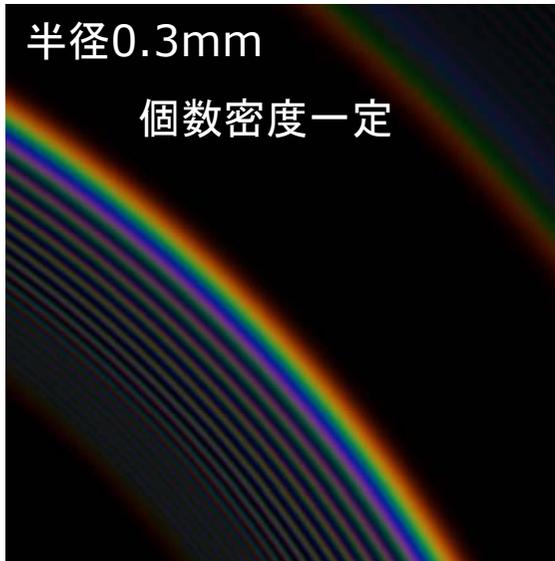
レンダリング時の視点・水滴・太陽光の配置関係



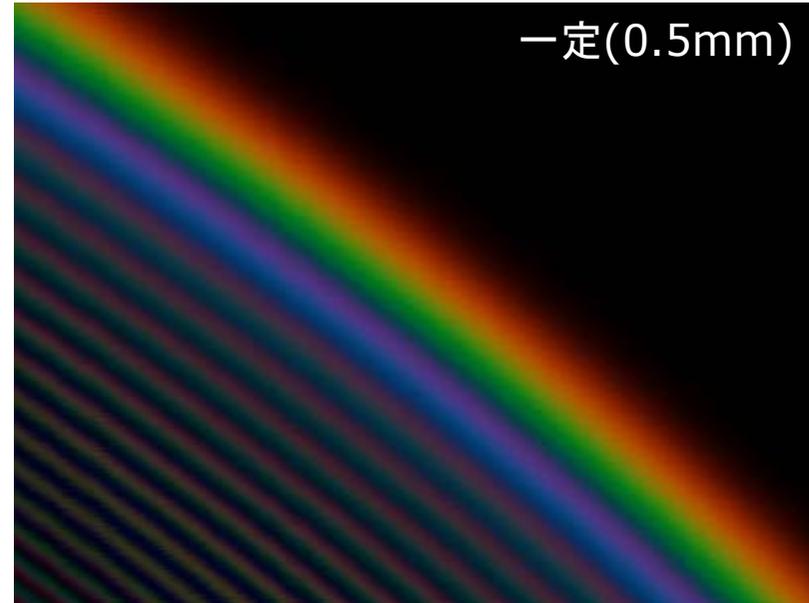
- ・水滴の半径・個数密度
- ・光源のスペクトル
- ・太陽高度

半径・個数密度による影響

- ・均一なスペクトル
- ・大気による減衰無し

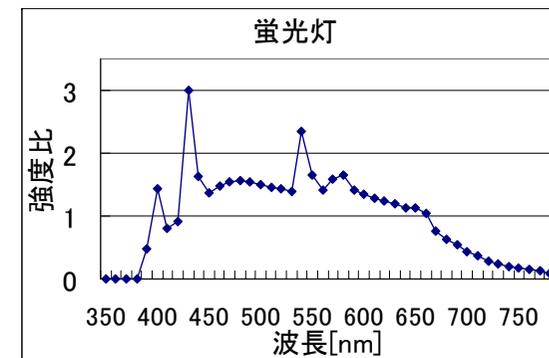
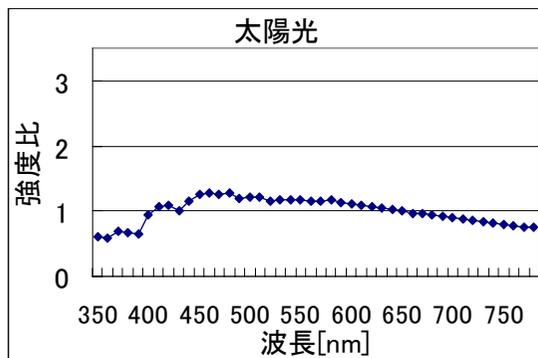
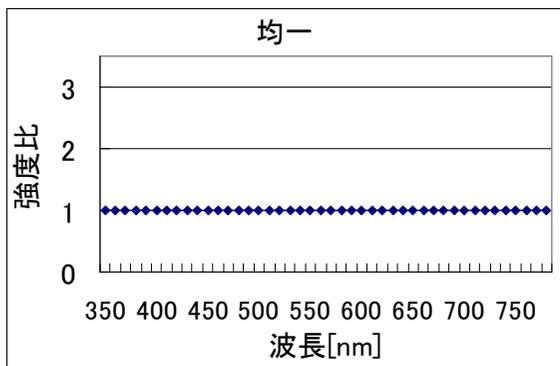
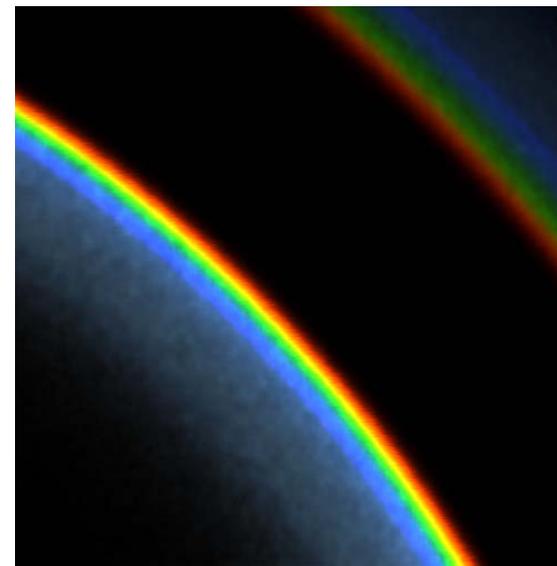
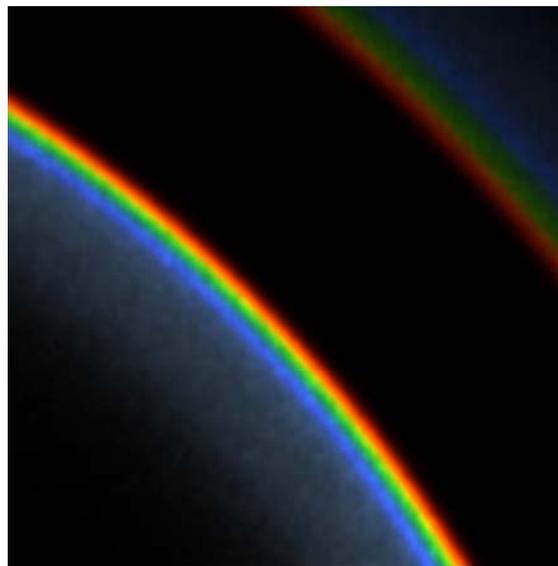
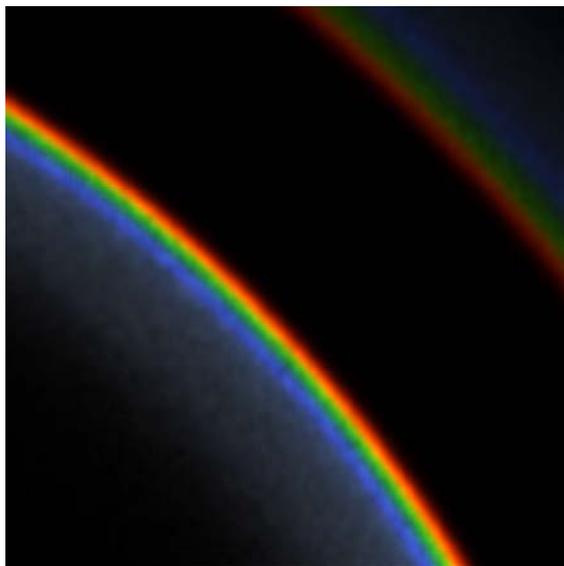


実写との比較(半径・個数密度による影響)



光源のスペクトル分布による影響

- ・Marshall Palmer粒径分布[Marshall '48]
- ・大気による減衰無し



太陽高度による影響

・Marshall Palmer粒径分布[Marshall '48] ・太陽光のスペクトル



30度



10度

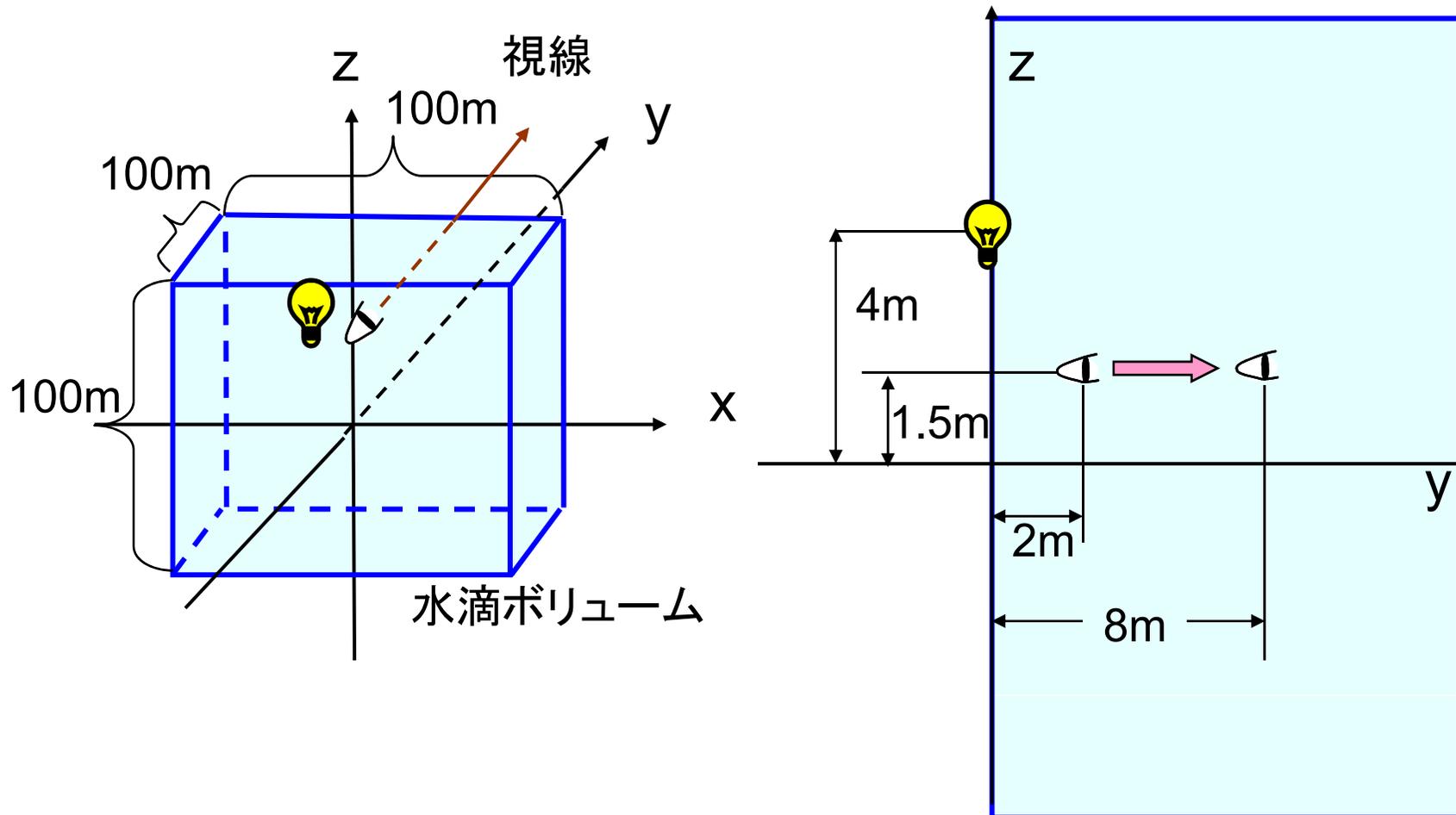


20度

光源・視点・水滴の配置関係(点光源による虹)

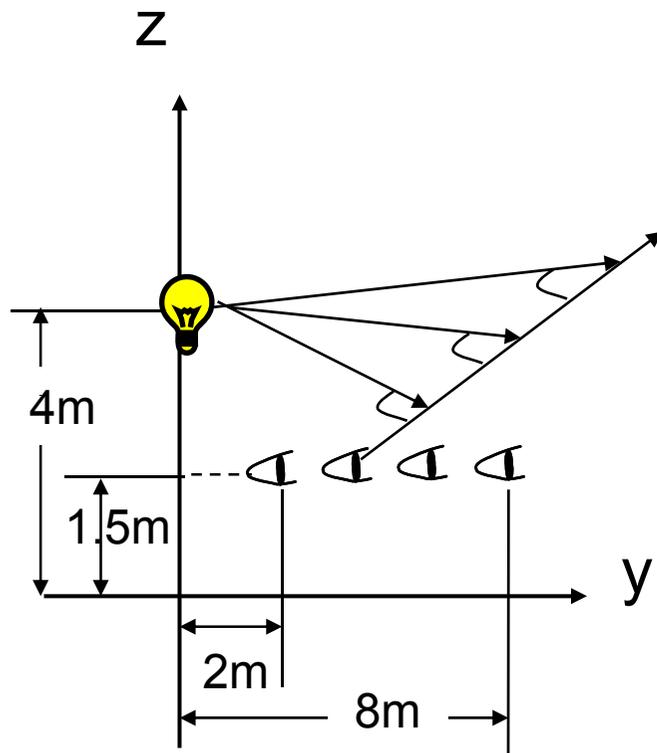
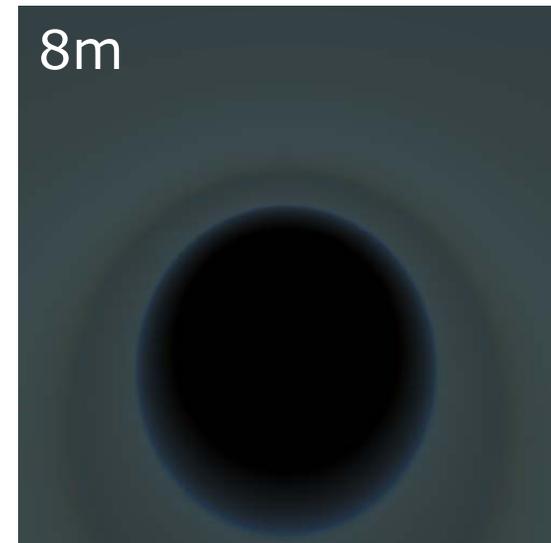
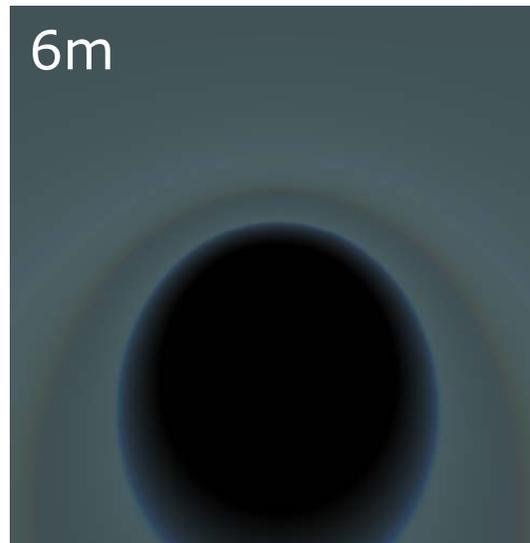
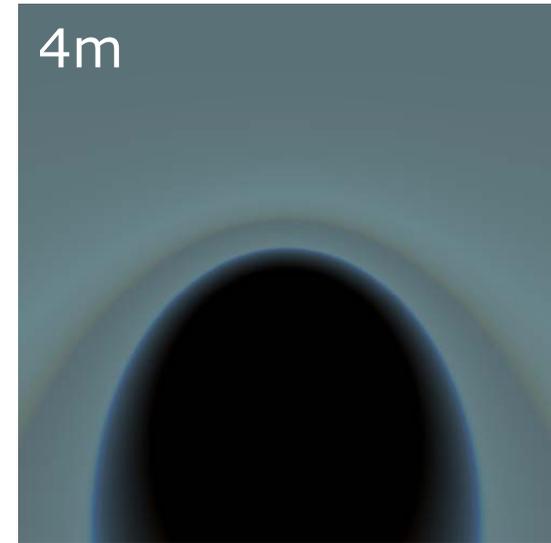
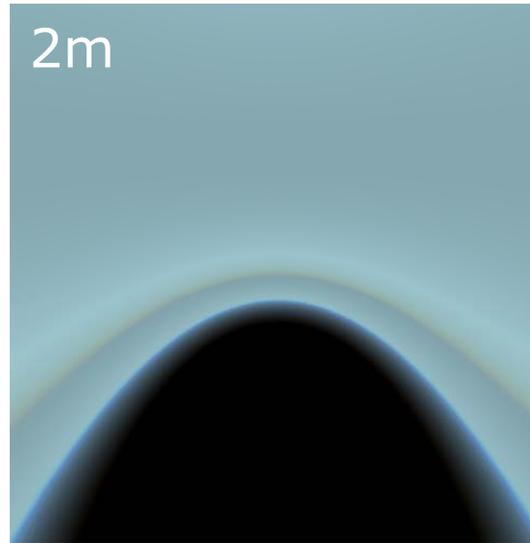
□ 街灯を想定

- 視点: 高さ1.5m 光源: 高さ4m、蛍光灯のスペクトル
- 光源を背に2m、4m、6m、8m前方に進んだ時の結果



点光源による虹

- ・半径0.3mm
- ・個数密度一定
- ・蛍光灯のスペクトル分布
- ・視野角 120×120度
- ・画像サイズ 500×500



まとめと今後の課題

□ まとめ

- 光の減衰、光源のスペクトル分布、水滴の分布を考慮したレンダリング手法を提案した
- 気象状態によって変化するリアルな虹のレンダリングが可能となった

□ 今後の課題

- 視線方向に入ってくる光の散乱(in-scattering)の考慮
- 大気中のエアロゾルや水蒸気によって起こるミー散乱の考慮