



大気光学現象に基づく虹のフォトリアリ スティックレンダリング

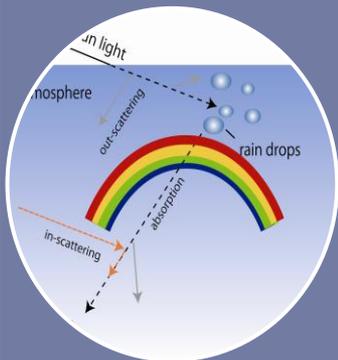
Photo-realistic Rendering of Rainbows Based on Atmospheric
optical phenomena

金森祥太 † 藤原和也 ‡ 玉木徹 ‡ 金田和文 ‡
† 広島大学工学部
‡ 広島大学大学院工学研究科

目次

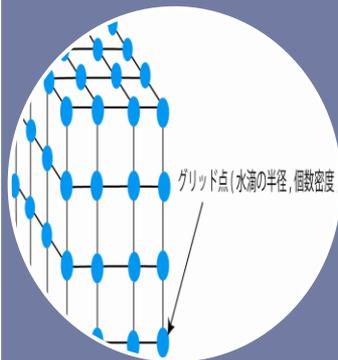


1. 研究背景



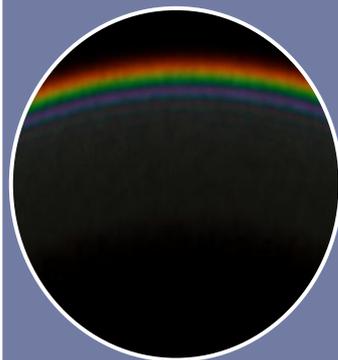
2. 虹の原理

- 虹の種類
- 発生原理



3. レンダリング手法

- 従来手法
- 提案手法



4. 結果画像

- 水滴分布による変化
- 太陽高度による変化
- 空の色による変化

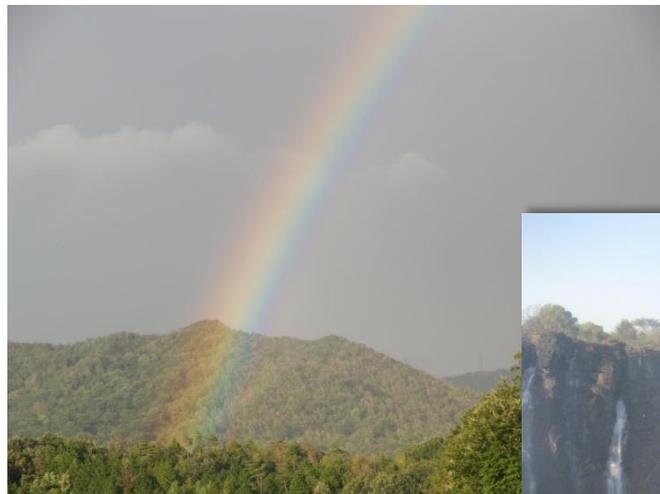
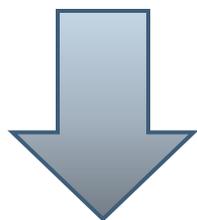


5. まとめと今後の課題

1. 研究背景

▶ 虹

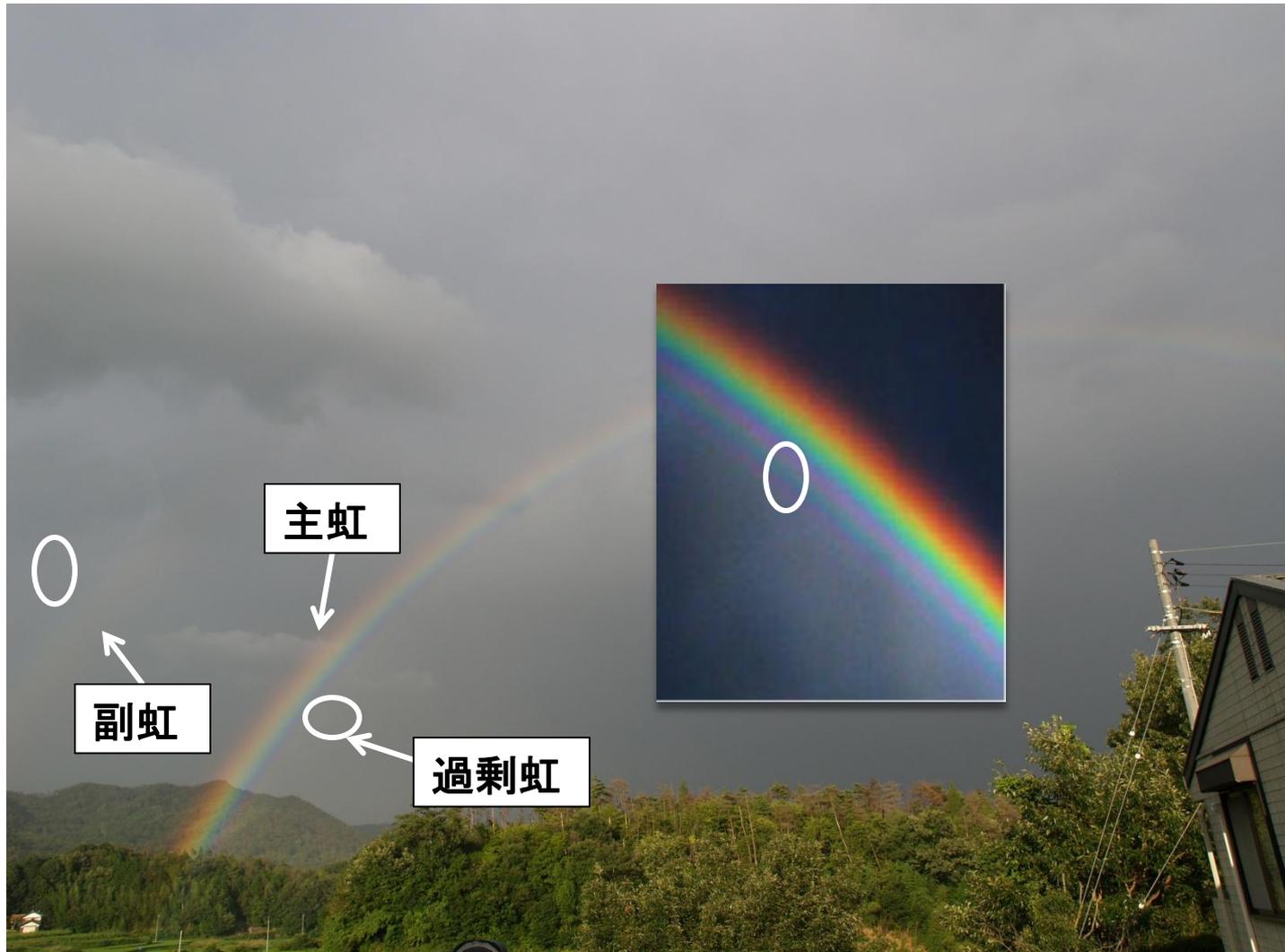
- ・美しく神秘的な現象
- ・長く続く発生原理研究



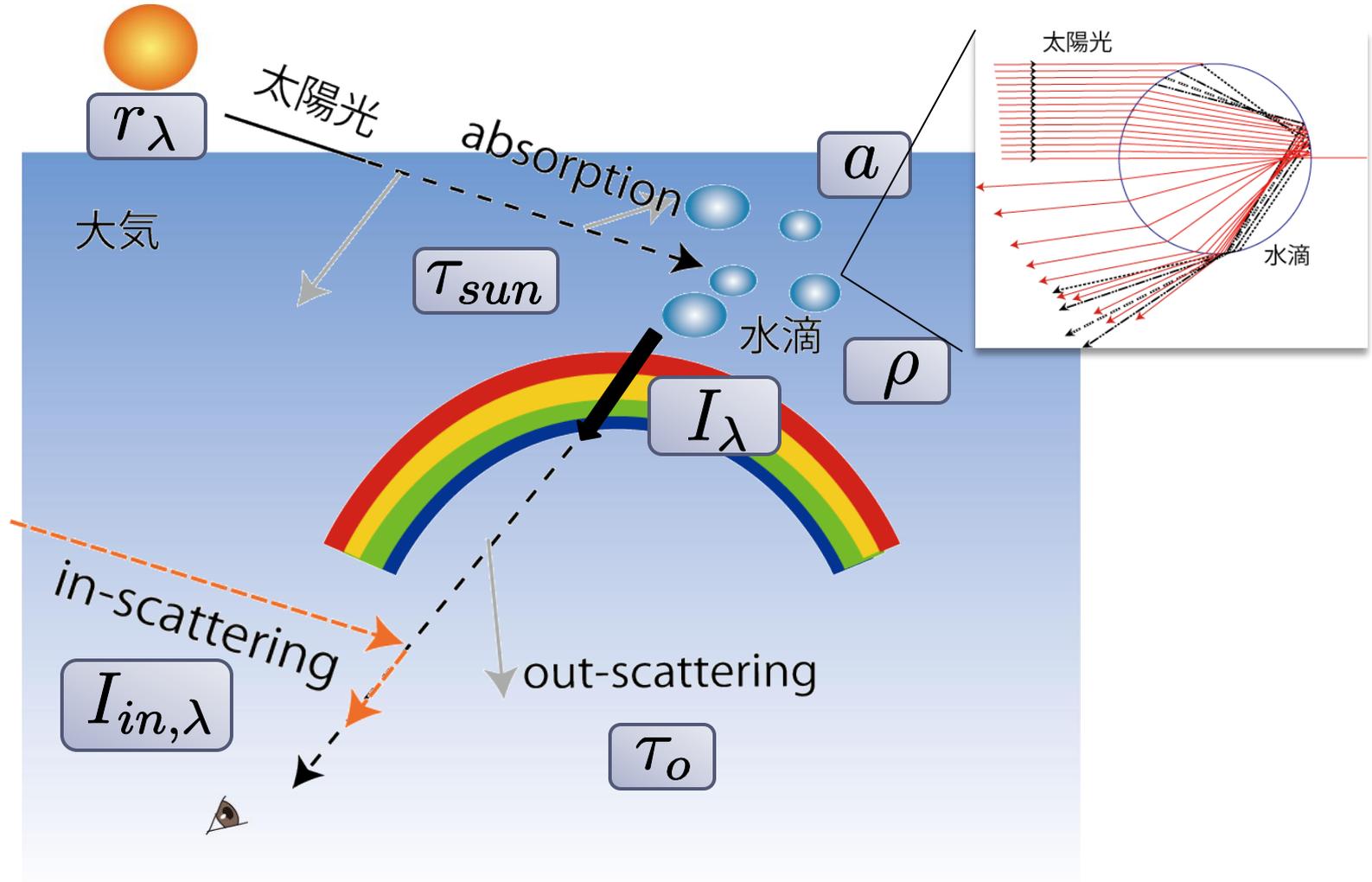
▶ CGでの虹

- ・映画などといった映像への合成
- ・他の光学現象、気象現象のレンダリングへの応用

2. 虹の原理 – 虹の種類

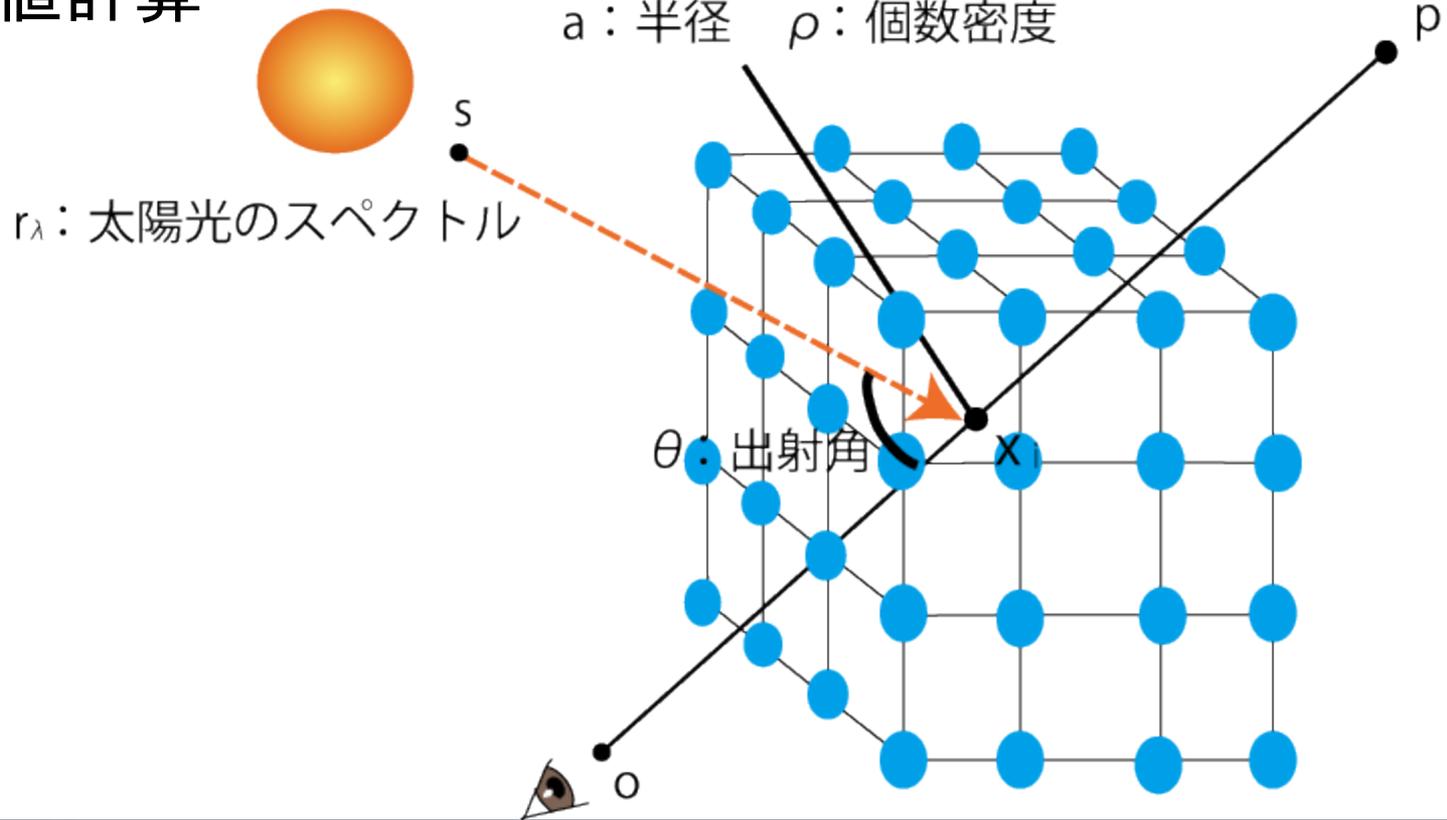


2. 虹の原理 – 発生原理



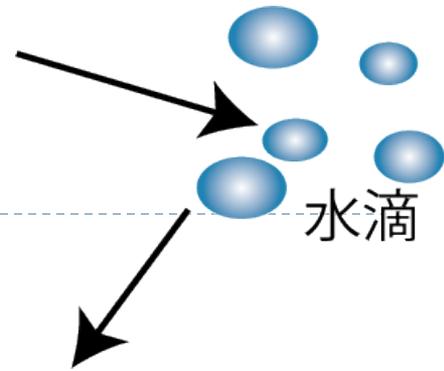
3. レンダリング手法-輝度値計算

▶ 輝度値計算



$$L_\lambda = \Delta t \sum_{i=0}^N \left\{ \underbrace{(r_\lambda I_\lambda(a(x_i), \theta) \rho(x_i) \tau_{sun}(x_i) \tau_o(x_i))}_{\text{虹の輝度値}} + \underbrace{I_{in,\lambda}(x_i)}_{\text{空の輝度値}} \right\}$$

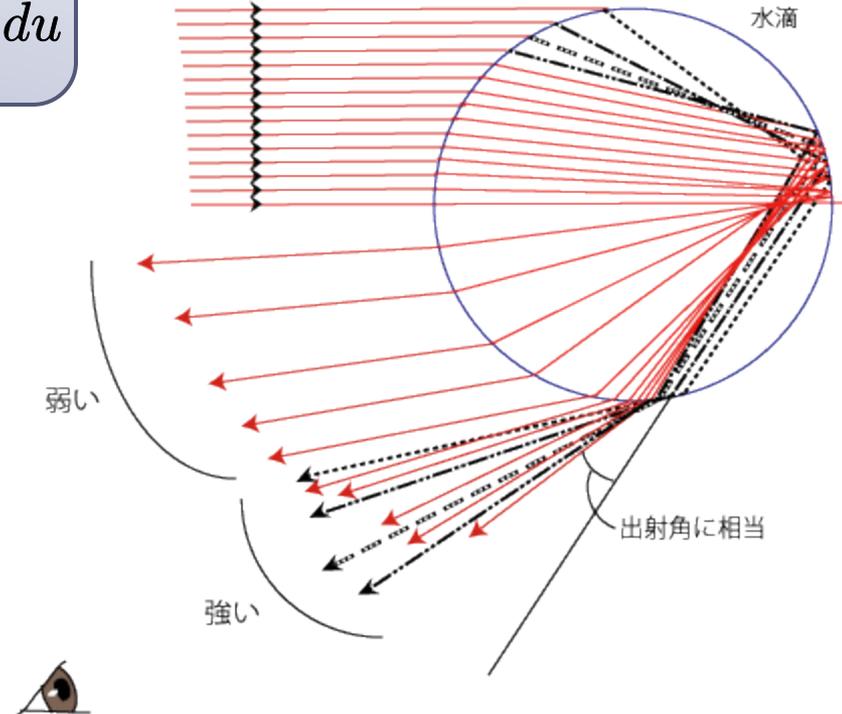
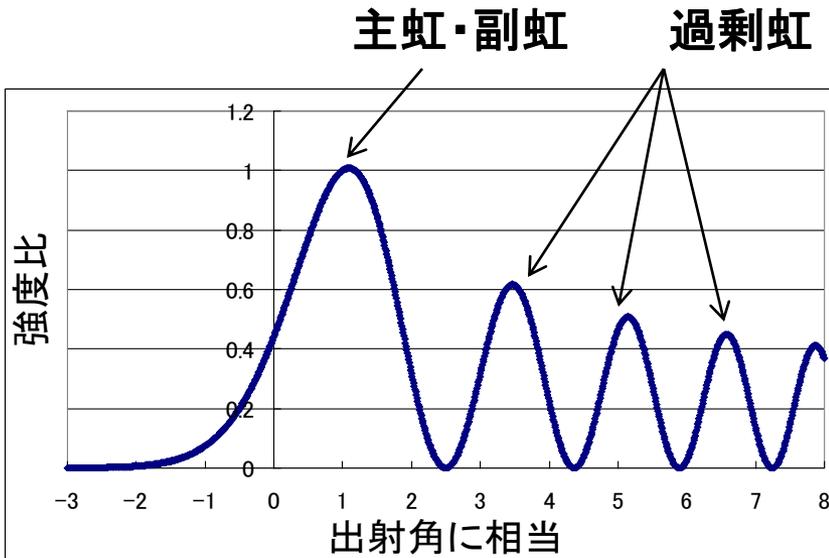
3. レンダリング手法-虹の輝度値



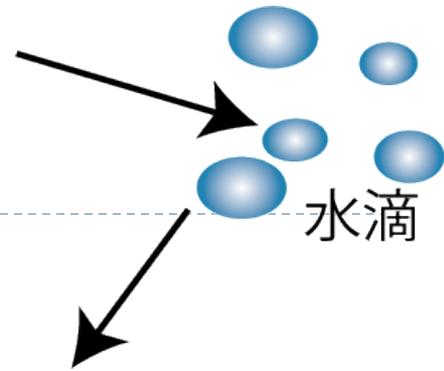
▶ 水滴からの出射光の振幅 A

エアリーの虹積分

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



3. レンダリング手法-虹の輝度値



▶ 出射光強度テーブル [芳信 '05]

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

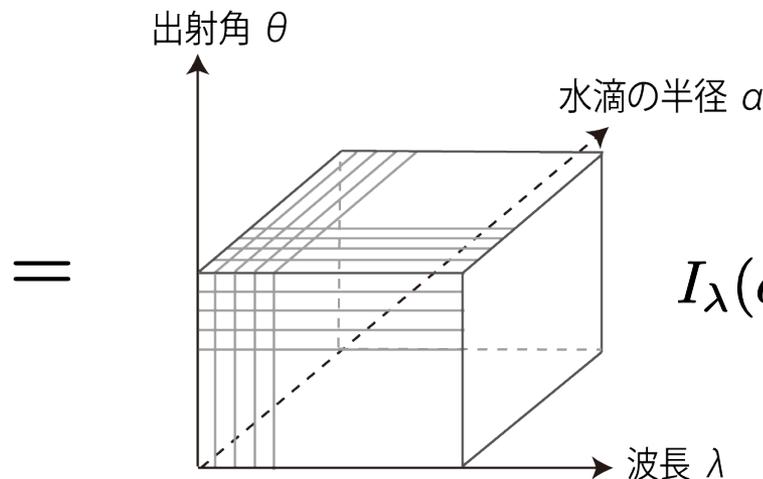
$$f(z) = \int_0^\infty \cos \frac{\pi}{2} (u^3 - zu) du$$

事前に計算しておく

*

$$M(a, \lambda, \theta) = 2k \left(\frac{3a^2 \lambda}{4h \cos \theta} \right)^{\frac{1}{3}}$$

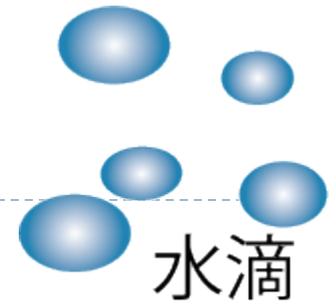
レンダリング時に計算



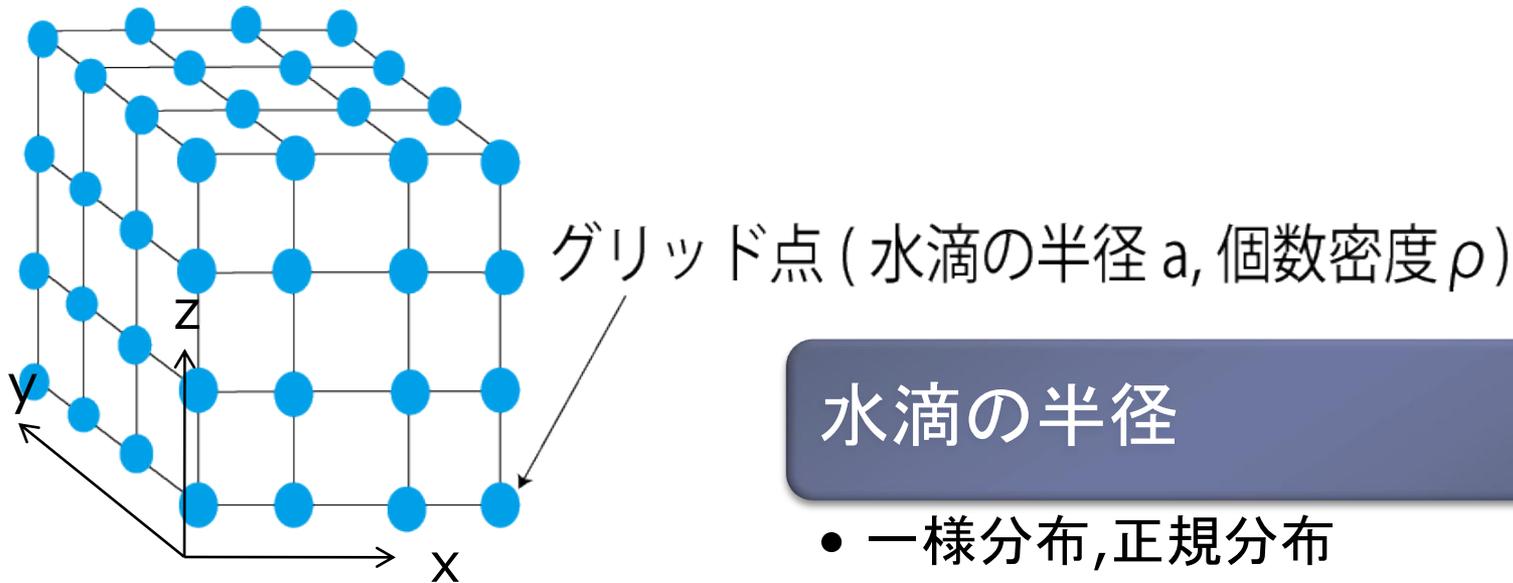
$$I_\lambda(a, \theta) = f(z)^2 M(a, \lambda, \theta)^2$$

▶ 8p / 21p
$$L_\lambda = \Delta t \sum \{ (r_\lambda I_\lambda(a(x_i), \theta) \rho(x_i) \tau_{sun}(x_i) \tau_o(x_i)) + I_{in, \lambda}(x_i)) \}$$

3. レンダリング手法-水滴の分布



▶ 水滴ボリューム - 提案手法



水滴の半径

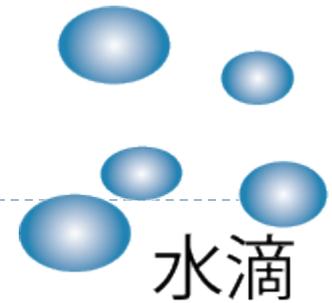
- 一様分布, 正規分布

個数密度

- 気象状態によって変化させたい

▶ 9p / 21p
$$L_\lambda = \Delta t \sum \{ (r_\lambda I_\lambda(a(x_i), \theta) \rho(x_i) \tau_{sun}(x_i) \tau_o(x_i)) + I_{in,\lambda}(x_i)) \}$$

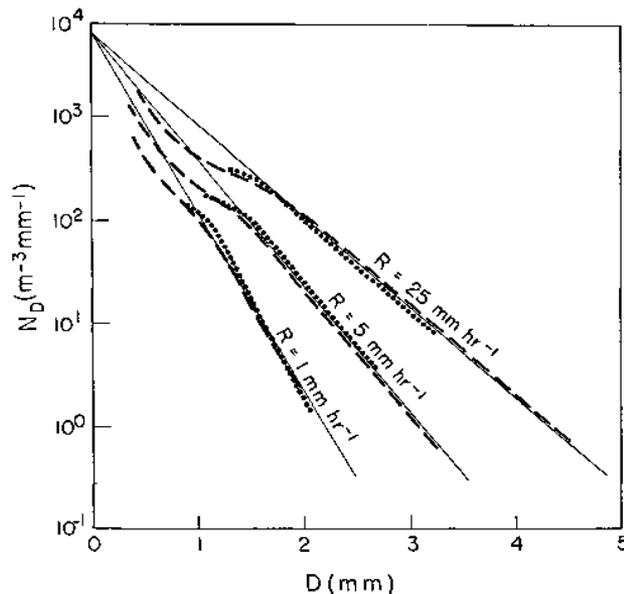
3. レンダリング手法-水滴の分布



▶ 水滴ボリューム - 個数密度

Marshall - Palmer の粒径分布

$$\rho = \rho_0 \exp(-\Lambda 2a), \Lambda = 41R^{-0.21}$$



2a: 水滴の直径

R: 降雨強度

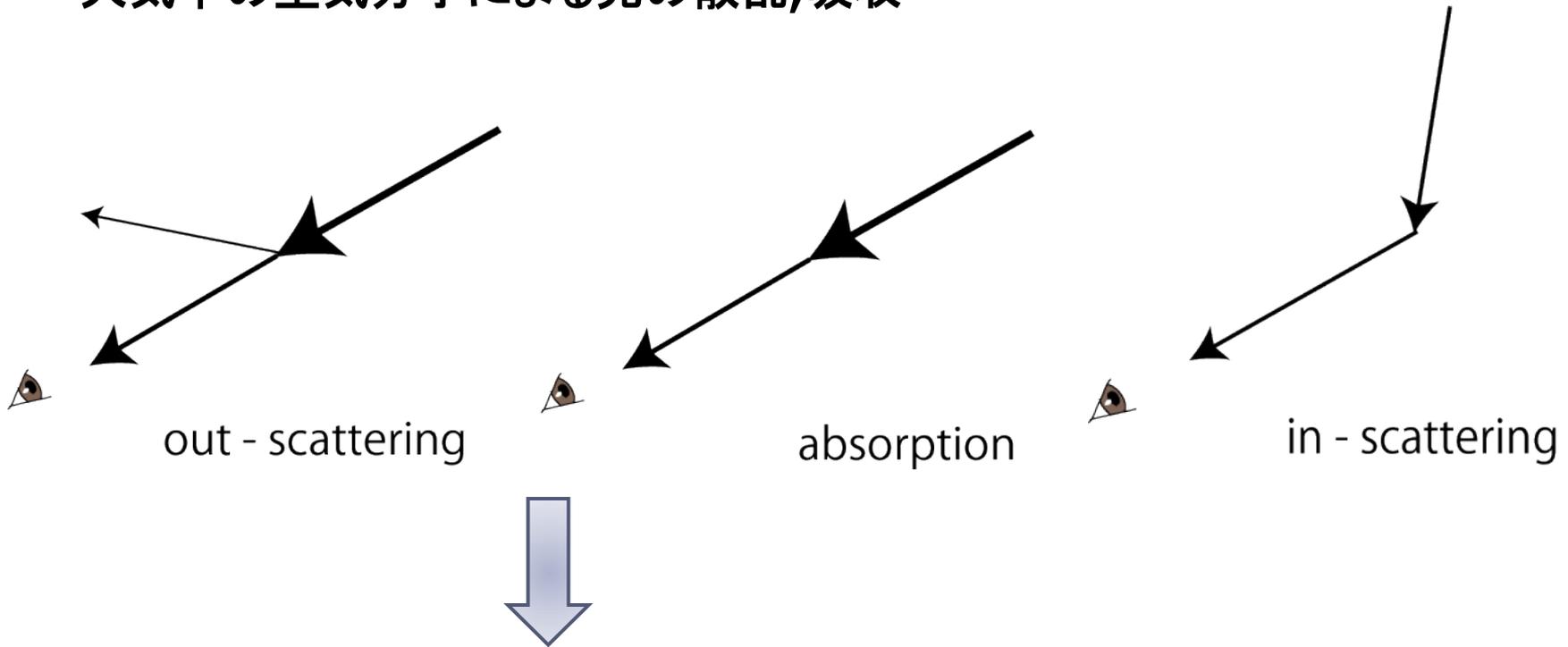
ρ_0 : 直径0の水滴の個数密度

[J. S. Marshall and W. McK. Palmer 1948]

▶ 10p / 21p $L_\lambda = \Delta t \sum \{ (r_\lambda I_\lambda(a(x_i), \theta) \rho(x_i) \tau_{sun}(x_i) \tau_o(x_i)) + I_{in,\lambda}(x_i) \}$

3. レンダリング手法-光の散乱

- ▶ 大気による散乱, 吸収
大気中の空気分子による光の散乱, 吸収



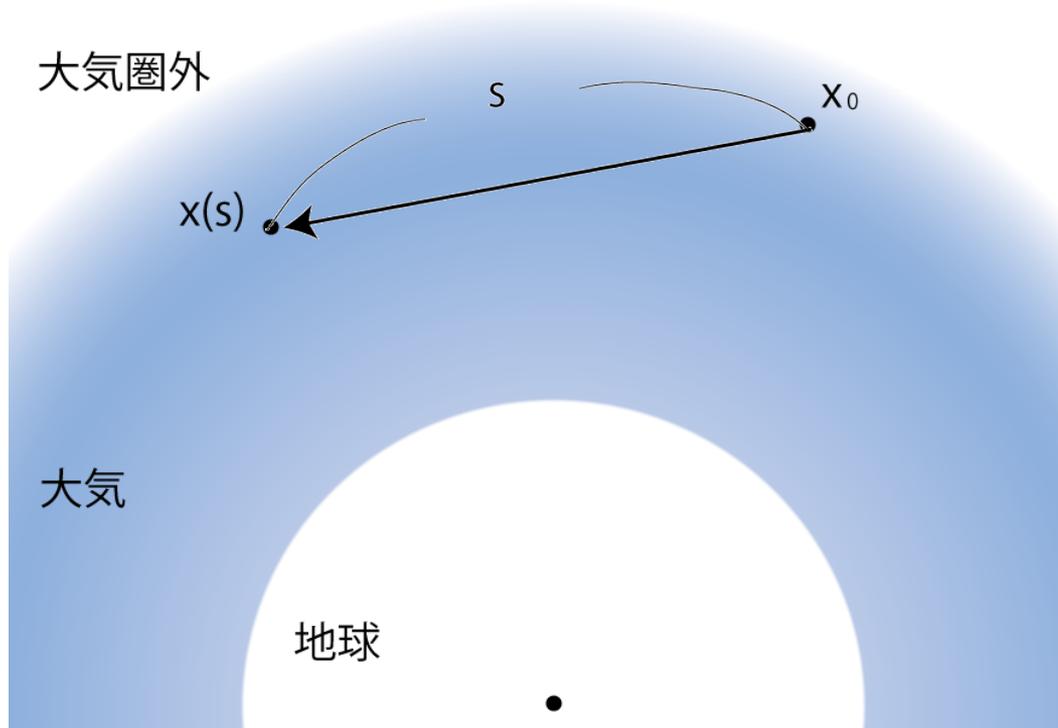
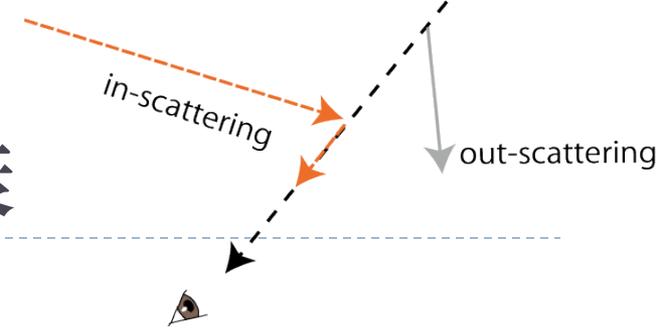
out-scattering とabsorptionからなる減衰を考慮

▶ 11p / 21p $L_\lambda = \Delta t \sum \{ (r_\lambda I_\lambda(a(x_i), \theta) \rho(x_i) \tau_{sun}(x_i) \tau_o(x_i)) + I_{in,\lambda}(x_i)) \}$

3. レンダリング手法-光の減衰

▶ 大気による減衰

天空光の計算法 [西田 '88]の減衰計算法を利用



光が大気中を距離 s 進むことによる減衰率

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

光学的深度 $t_\lambda(s)$



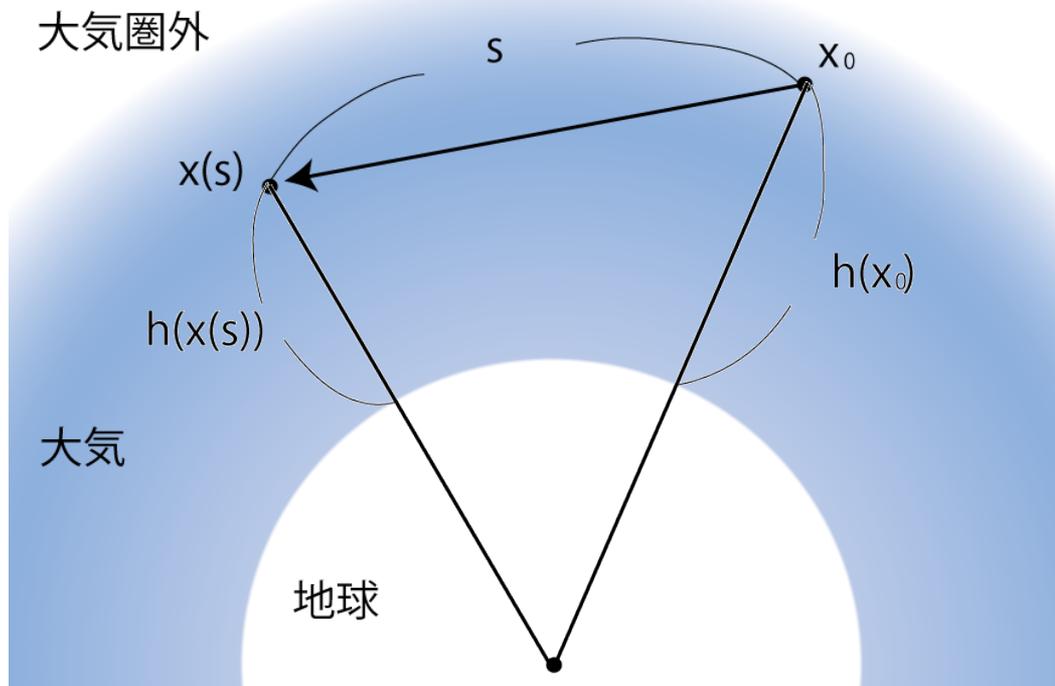
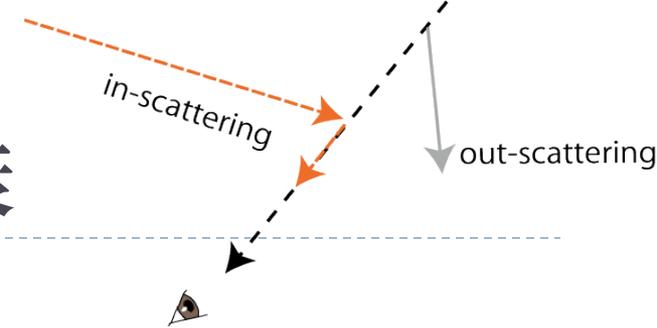
▶ 12p / 21p
$$L_\lambda = \Delta t \sum \{ (r_\lambda I_\lambda(a(x_i), \theta) \rho(x_i) \tau_{sun}(x_i) \tau_o(x_i)) + I_{in,\lambda}(x_i) \}$$

3. レンダリング手法-光の減衰

▶ 大気による減衰

光学的深度

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



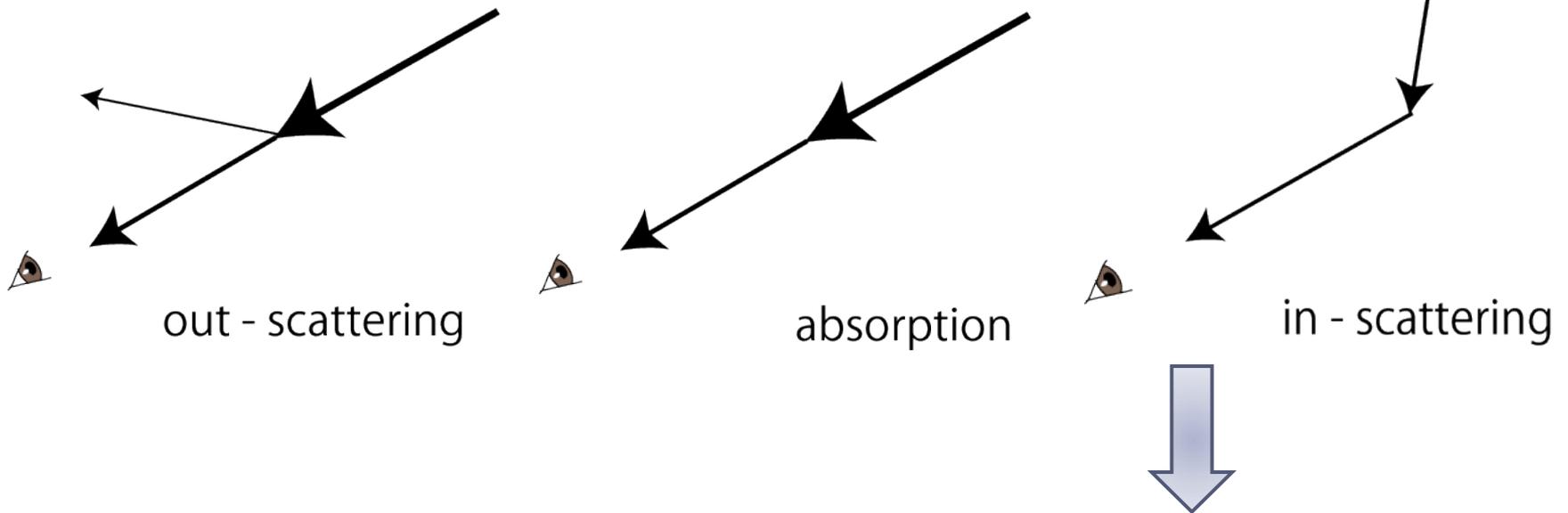
$$\beta_\lambda = \frac{4\pi k}{\lambda^4} \exp\left(-\frac{h}{H_0}\right)$$

H_0 : スケールハイト
(7994[m])

3. レンダリング手法-光の増幅

▶ 大気による散乱,吸収

大気中の空気分子による光の散乱,吸収

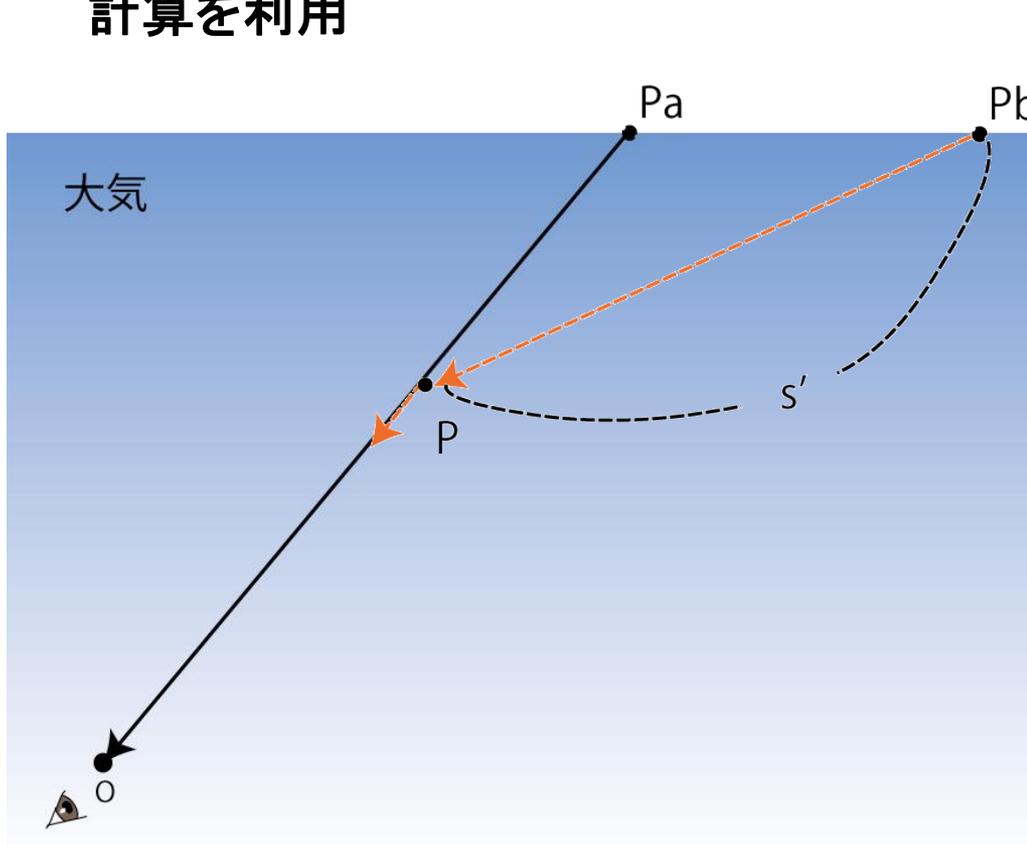


▶ 14p / 21p $L_\lambda = \Delta t \sum \{ (r_\lambda I_\lambda(a(x_i), \theta) \rho(x_i) \tau_{sun}(x_i) \tau_o(x_i)) + I_{in,\lambda}(x_i)) \}$

3. レンダリング手法-光の増幅

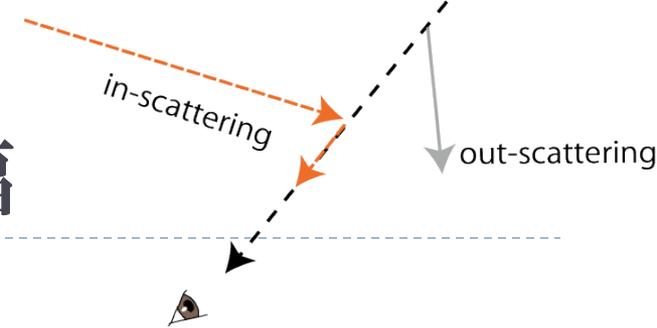
▶ in - scattering

天空光の計算法 [西田 '88]の in - scattering 計算を利用



点Pbから点Pに入射する光の強さ

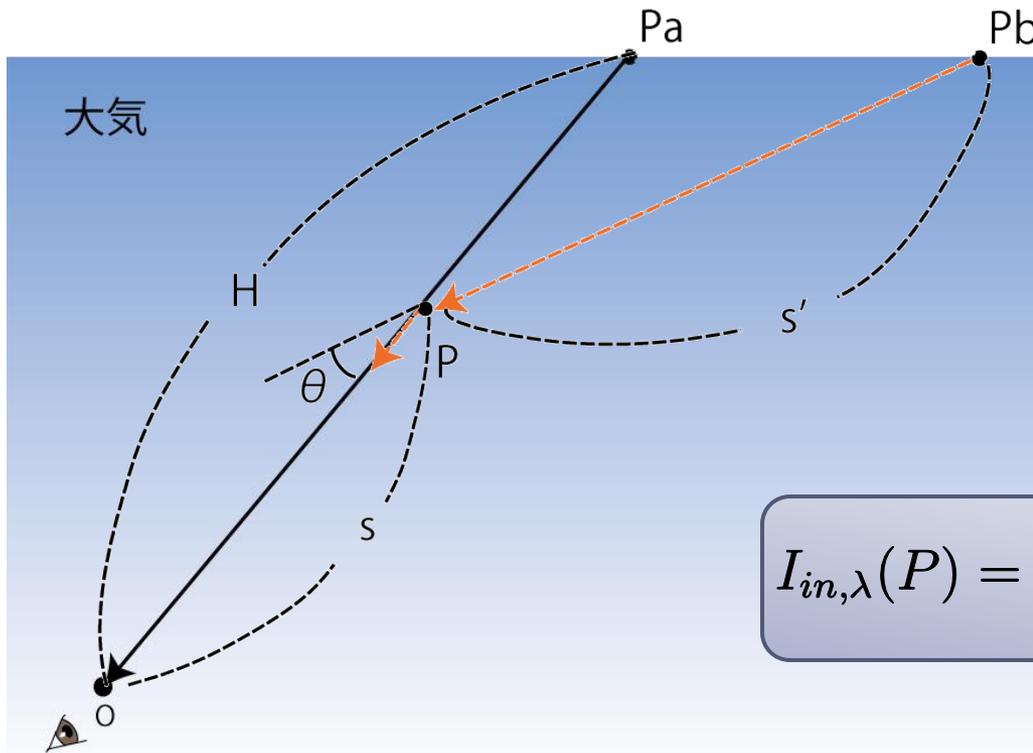
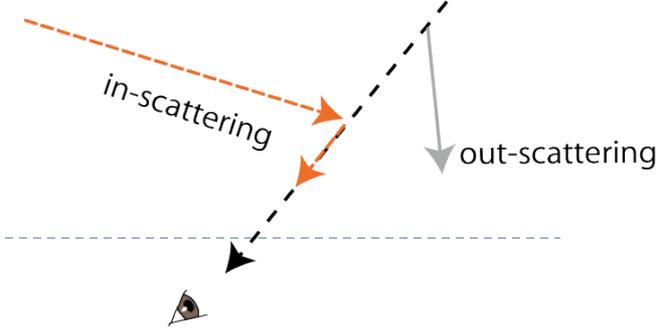
$$I_P(\lambda) = I_{sun}(\lambda) \exp(-t_\lambda(s'))$$



3. レンダリング手法-増幅

▶ in - scattering

$$I_P(\lambda) = I_{sun}(\lambda) \exp(-t_\lambda(s'))$$



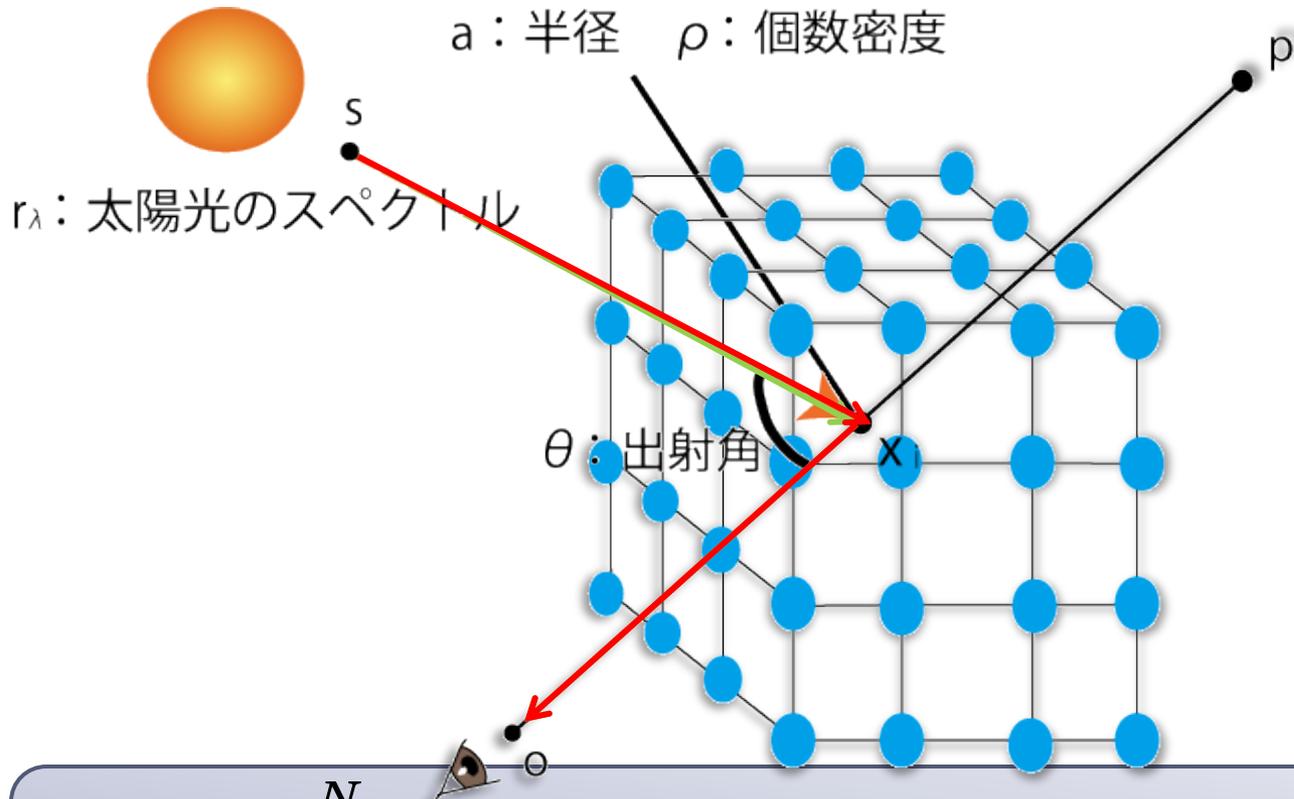
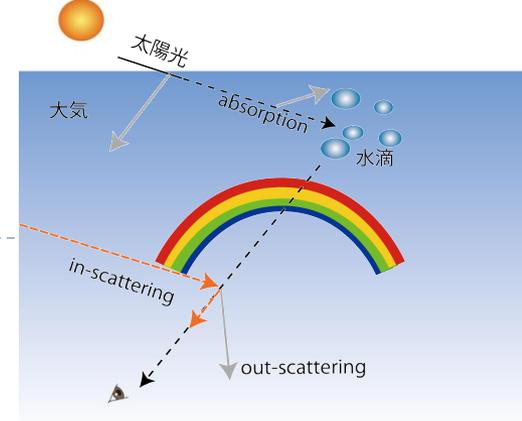
点Pに入射し視点oに届くin-scatteringの強さ

$$I_{in,\lambda}(P) = I_P(\lambda) \frac{\rho_{atm} k}{\lambda^4} F_r(\theta) \exp(-t(s, \lambda))$$

▶ 16p / 21p $L_\lambda = \Delta t \sum \{ (r_\lambda I_\lambda(a(x_i), \theta) \rho(x_i) \tau_{sun}(x_i) \tau_o(x_i)) + I_{in,\lambda}(x_i)) \}$

3. レンダリング手法-まとめ

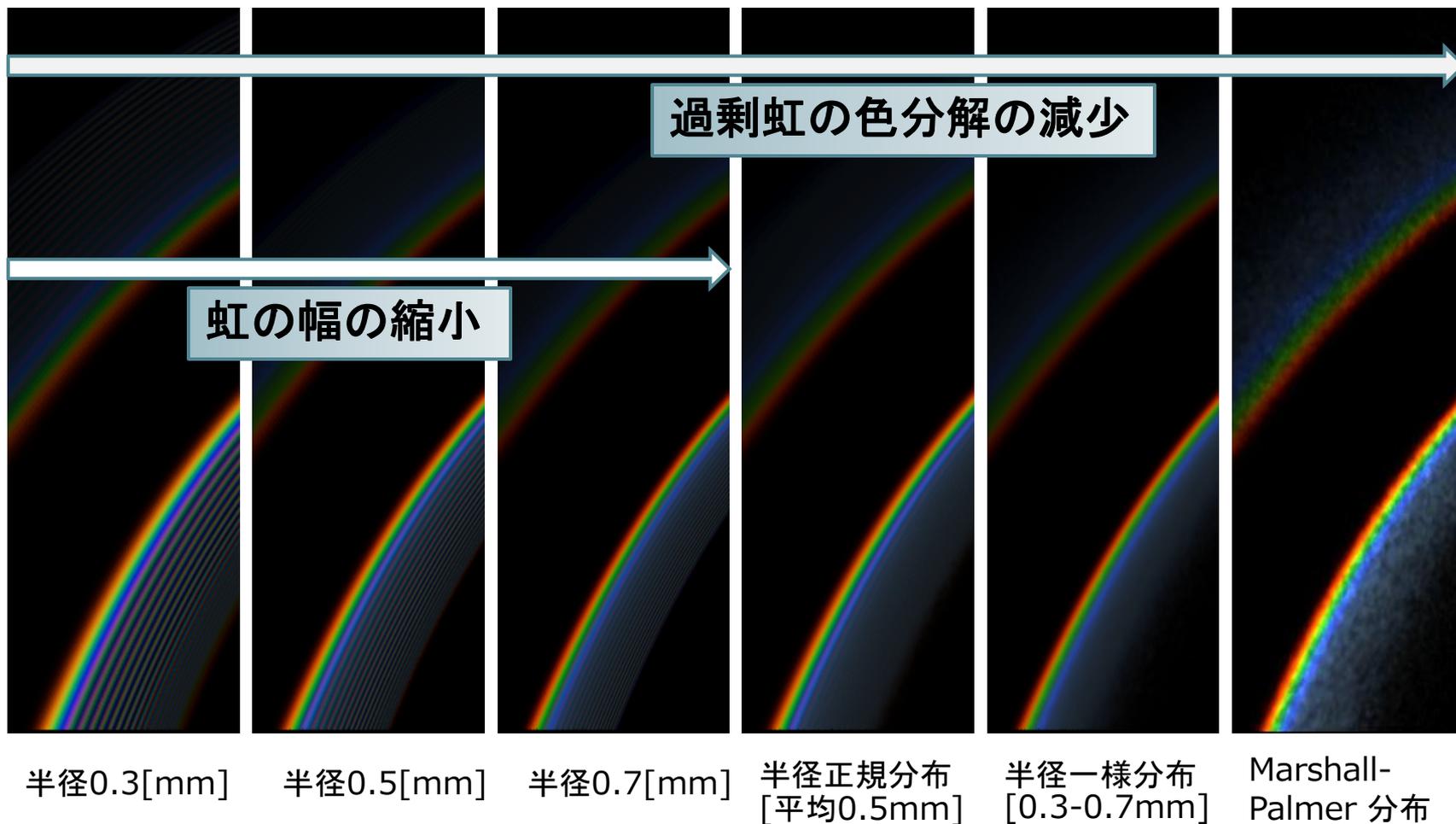
▶ 視点に届く輝度値の算出



$$L_\lambda = \Delta t \sum_{i=0}^N \{ \underline{(r_\lambda I_\lambda(a(x_i), \theta) \rho(x_i) \tau_{sun}(x_i) \tau_o(x_i))} + \underline{I_{in,\lambda}(x_i)} \}$$

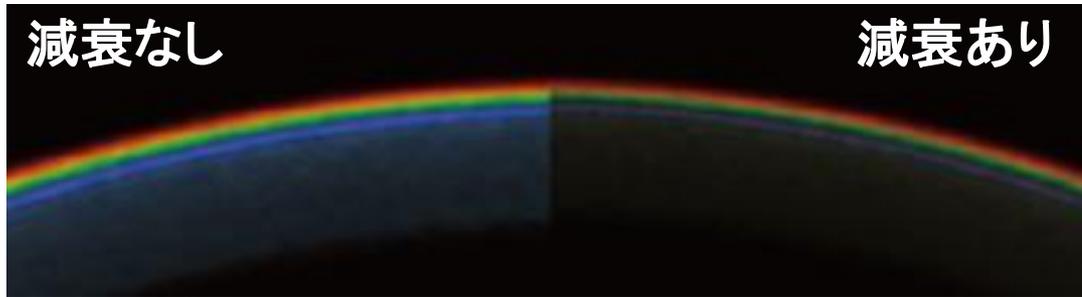
4. 結果画像-水滴ボリュームの設定法による変化

▶ 水滴分布による変化



4. 結果画像-光の減衰の効果

▶ 太陽高度による変化



太陽高度10度



太陽高度20度



太陽高度30度

虹全体の青成分の減少
= 光の移動距離の増加

5. 結果画像- in-scattering の効果

▶ 空の色による変化

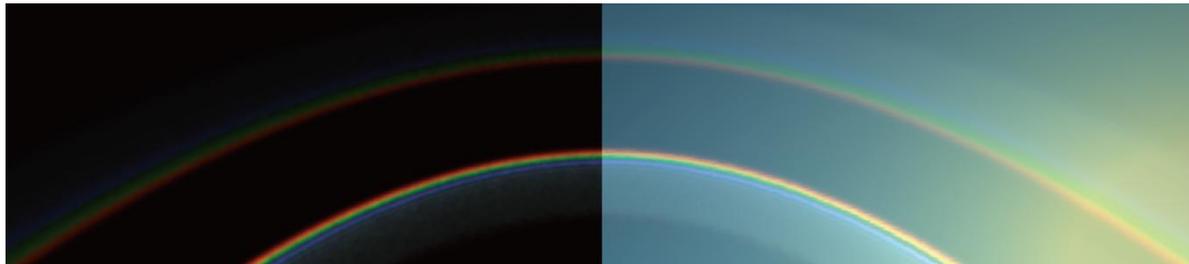
太陽高度10度



太陽高度20度

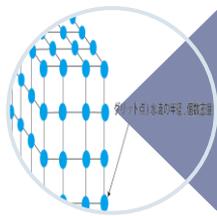


太陽高度30度

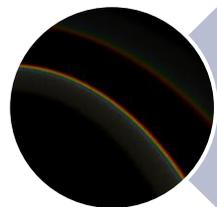


5. まとめと今後の課題

▶ まとめ



水滴の分布を考慮した虹のレンダリング手法を提案した。



空気分子による散乱を考慮したレンダリング手法を提案した。

▶ 今後の課題



エアロゾルや水蒸気などによるミー散乱の考慮。