

# 水滴の分布を考慮した虹のレン ダリング手法の開発

広島大学大学院工学研究科  
藤原和也 金田和文 玉木徹

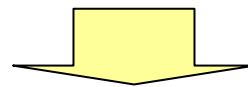
凸版印刷株式会社  
青山桂子

# 研究の背景

光の干渉や散乱によって  
起こる気象現象に虹がある



エンターテイメント・・・CGによる虹などの気象現象の表現  
気象学・・・気象現象の解明のためのシミュレーション



リアリティのあるレンダリング手法の開発が要求されている

# 虹の原理

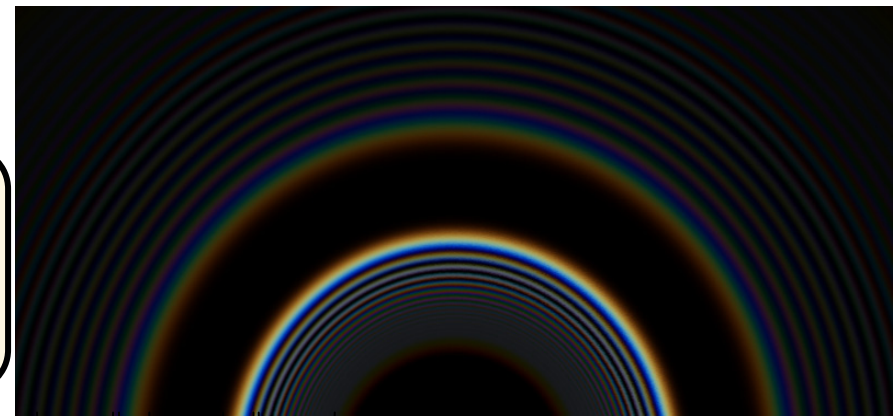
虹：波動光学に基づいた現象

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

過剰虹 ……出射光の干渉

水滴の大きさや波長によって、  
出射光の角度や明るさが変化

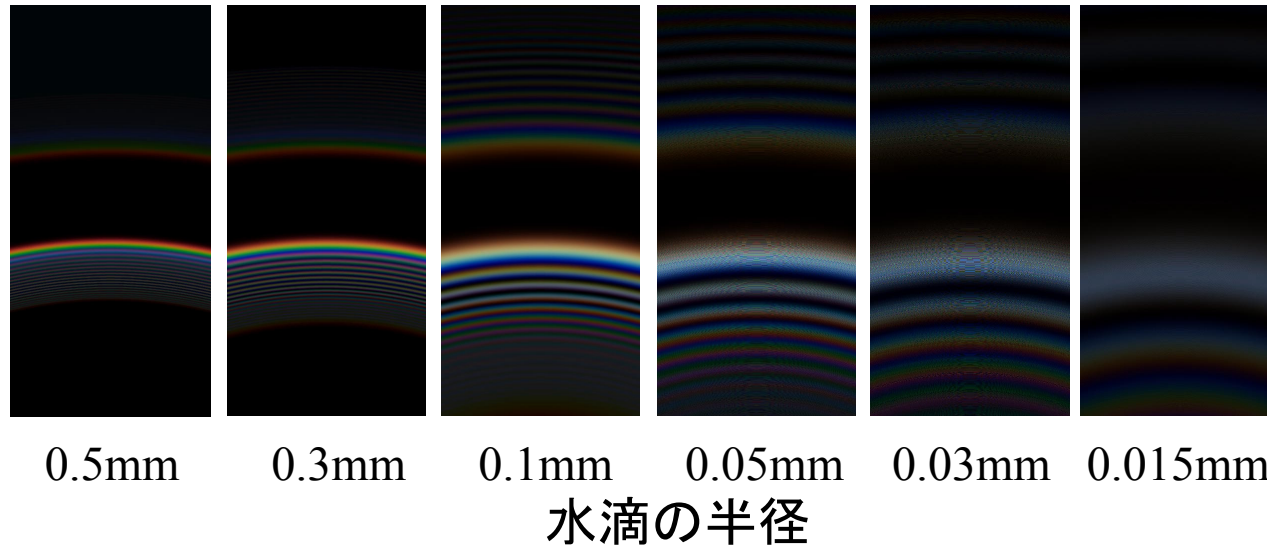


副虹 主虹  
過剰虹(副虹) 過剰虹(主虹)

# 関連研究

従来手法

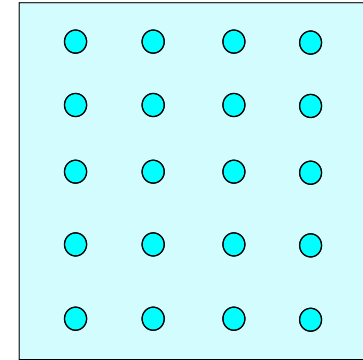
波動光学に基づいて虹をレンダリング[芳信 '05]



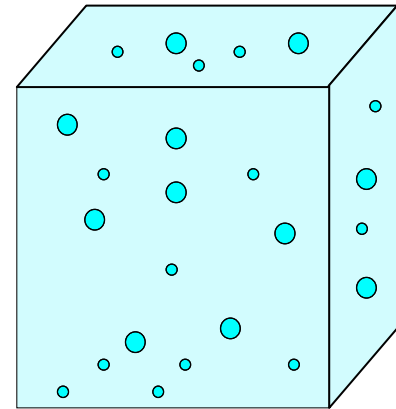
- ・主虹、副虹、過剰虹の表示
- ・水滴の半径によって異なる虹の表示

# 問題点

- 従来手法
- ・水滴がスクリーン状
  - ・水滴の半径と個数の分布を一様にしか設定できない



- 実世界
- ・水滴は3次元的に分布
  - ・水滴の半径と個数にばらつきがある



水滴の分布を考慮したレンダリングが行えない

# 目的

水滴の分布を考慮したレンダリング手法の開発

- ・3次元での水滴の半径と個数密度の設定

  - 水滴ボリュームの作成

(個数密度: 単位体積あたりの水滴の個数)

- ・水滴の半径と個数密度の分布を考慮した輝度計算

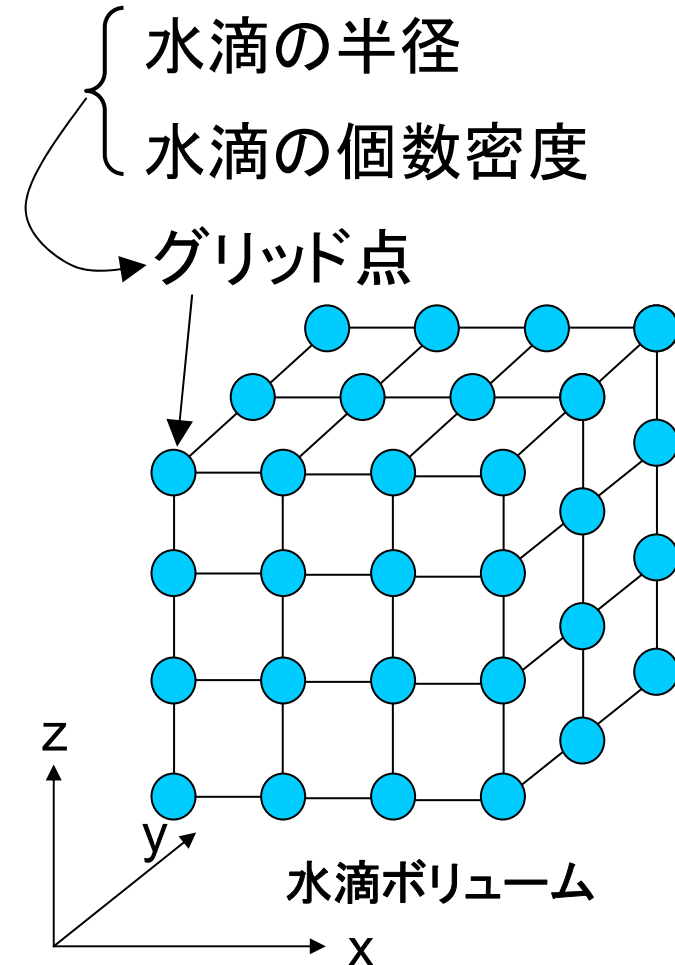
  - サンプル点ごとの輝度値の加算

# 水滴ボリュームの設定

水滴ボリューム・・・各グリッド点に水滴の半径と個数密度  
の二つのデータを持ったボリュームデータ

## 水滴ボリュームの設定法

- ・xyz空間の軸上に沿って格子状のボリュームを作る
- ・ボリュームの格子点(グリッド)にその場所での水滴の半径と個数密度の情報を持たせる

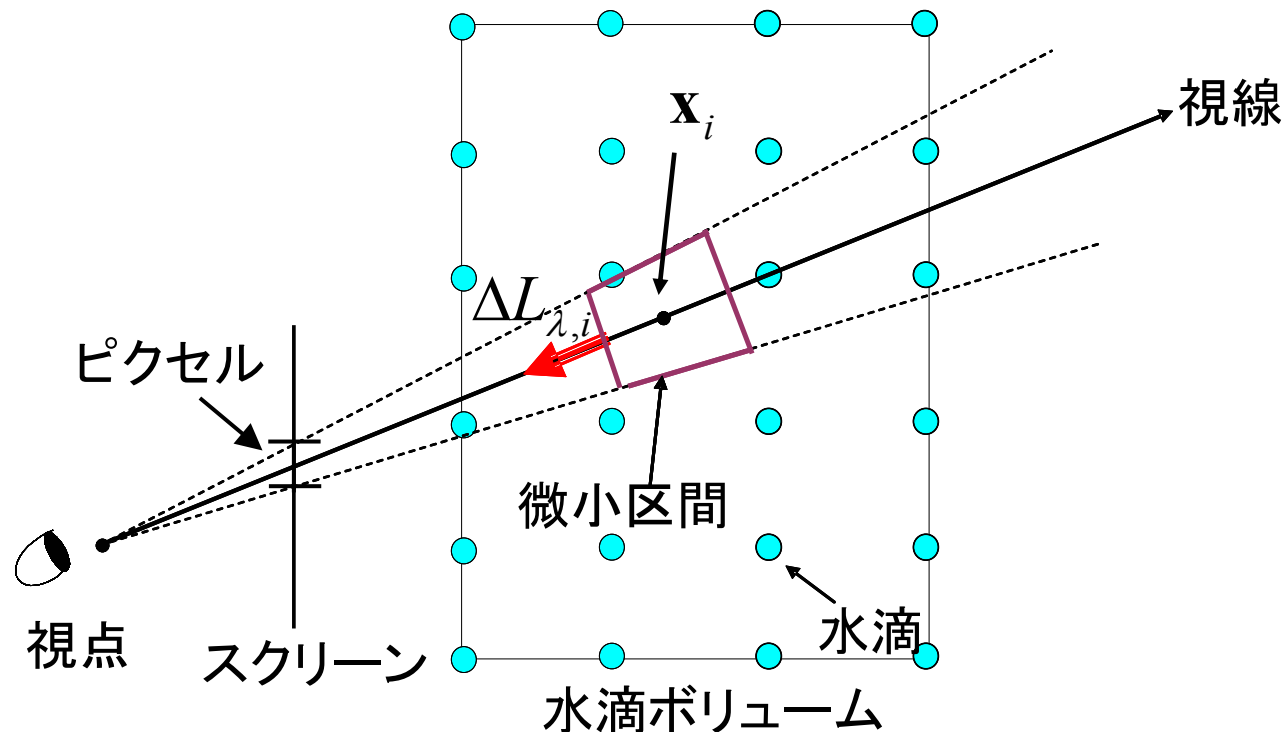


# 水滴の分布を考慮した輝度計算

## ピクセルの輝度計算の概念

(1)位置  $\mathbf{x}_i$  を含む微小区間から得られる輝度値を  $\Delta L_{\lambda,i}$  とする

(2)  $\Delta L_{\lambda,i}$  を視線上の全区間で加算する

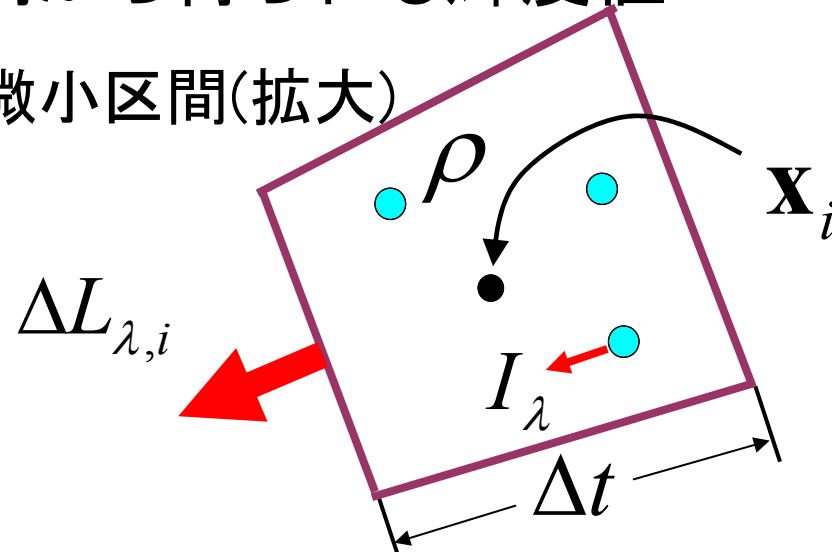




# 水滴の分布を考慮した輝度計算

## (1) 微小区間から得られる輝度値

微小区間(拡大)



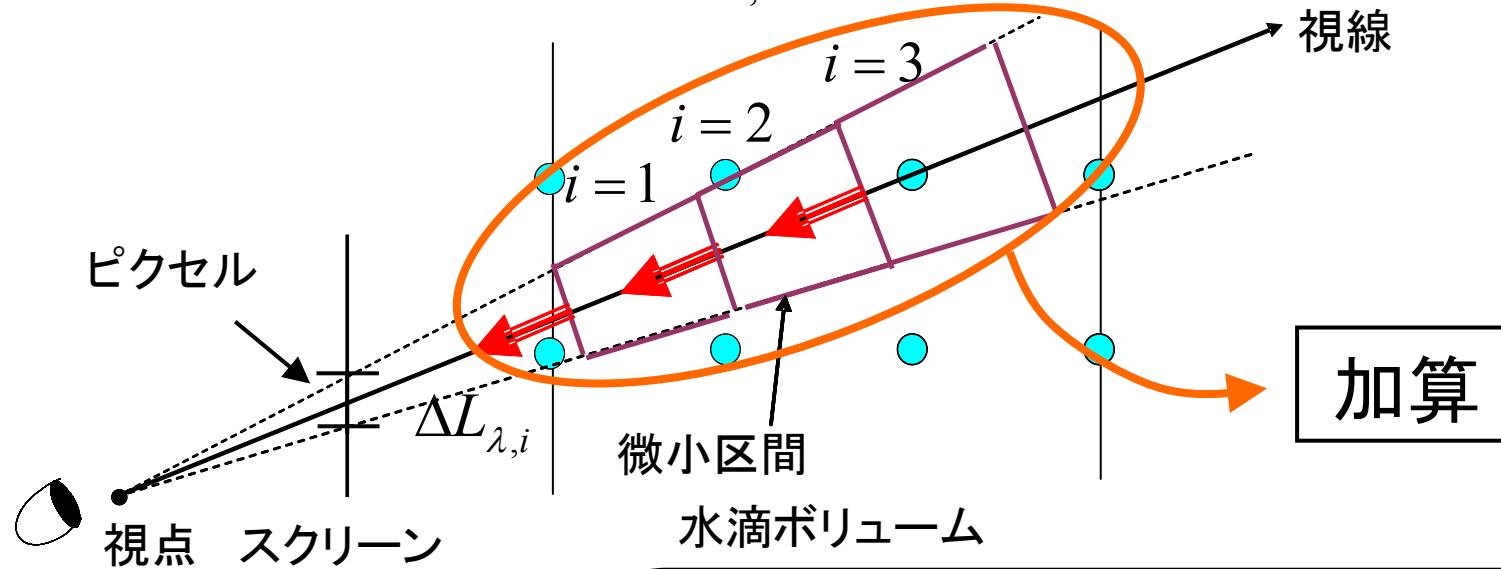
$I$ : 出射光強度  
 $L$ : 放射輝度  
 $\mathbf{x}$ : 位置ベクトル  
 $\rho$ : 水滴の個数密度  
 $\theta$ : 出射角

微小区間から得られる輝度値

$$\Delta L_{\lambda,i} = \rho(\mathbf{x}_i) I_\lambda(a(\mathbf{x}_i), \theta) \Delta t$$

# 水滴の分布を考慮した輝度計算

(2)ピクセルの輝度値 =  $\Delta L_{\lambda,i}$  の全区間での加算



$I$ : 出射光強度  
 $L$ : 放射輝度  
 $\mathbf{x}$ : 位置ベクトル  
 $\rho$ : 水滴の個数密度  
 $\theta$ : 出射角

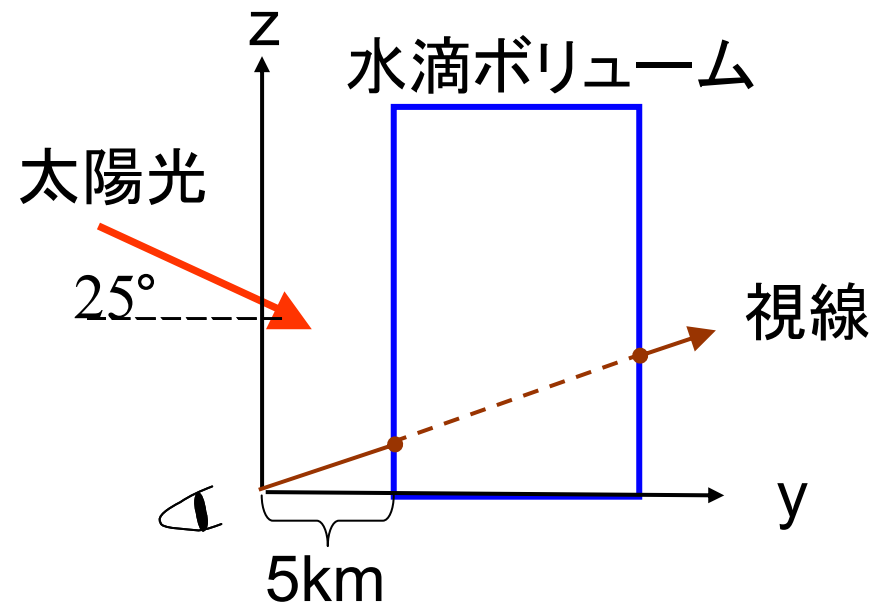
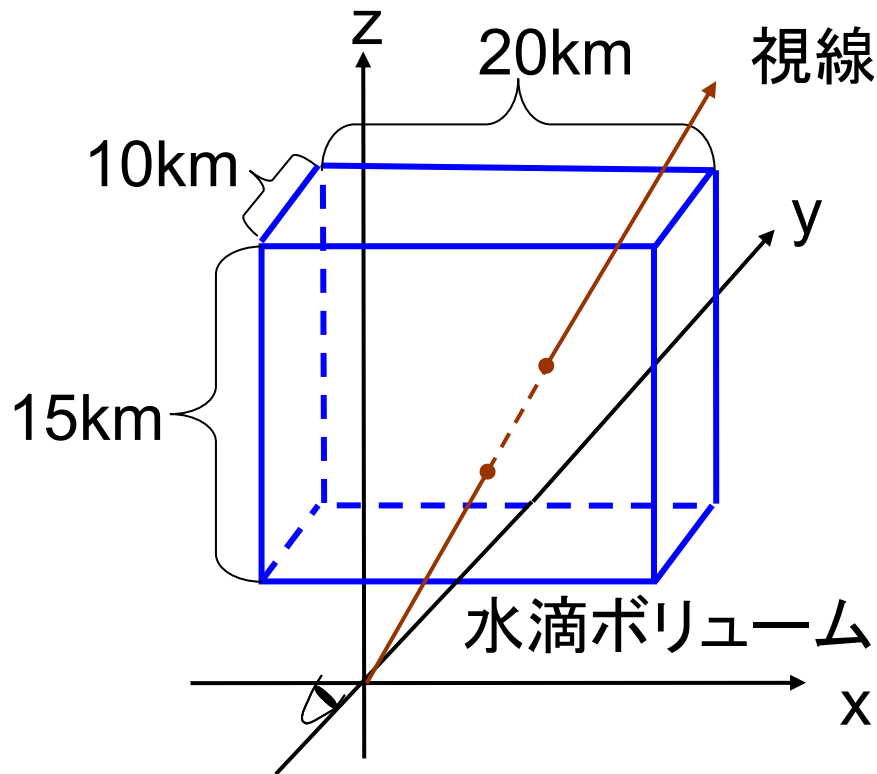
微小区間から得られる輝度値

$$\Delta L_{\lambda,i} = \rho(\mathbf{x}_i) I_{\lambda}(a(\mathbf{x}_i), \theta) \Delta t$$

ピクセルの輝度値 = 全区間での加算

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

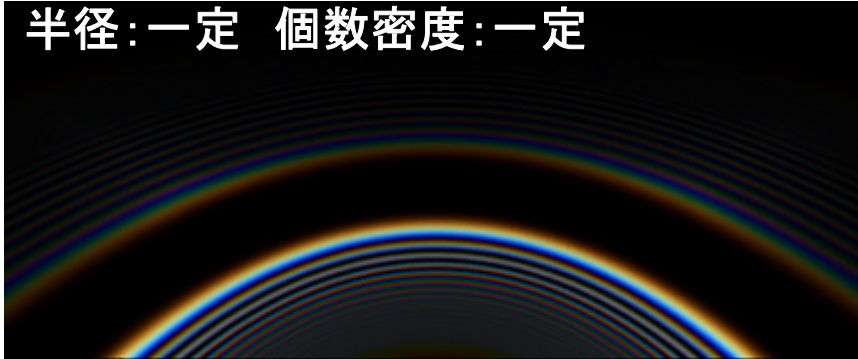
# 位置関係



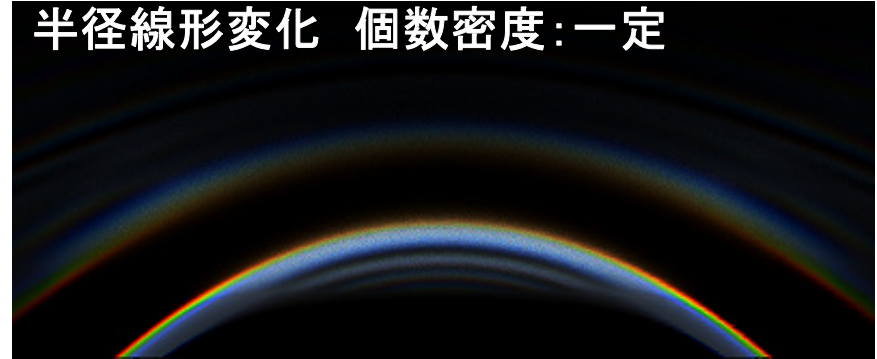
画像サイズ	800 × 331
水滴ボリューム のグリッド間隔	100 × 100 × 100 [m]

# 出力結果

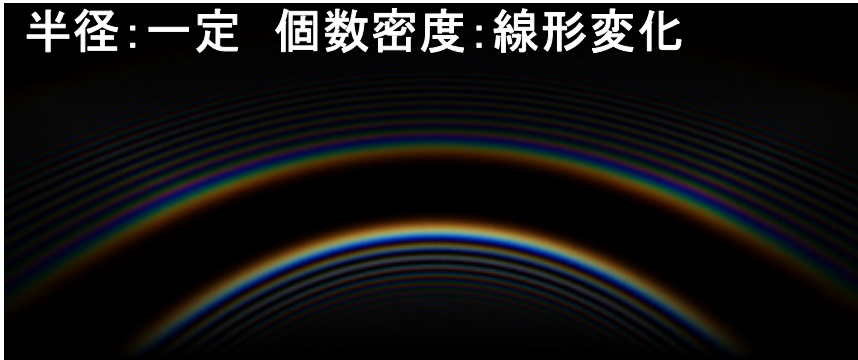
半径:一定 個数密度:一定



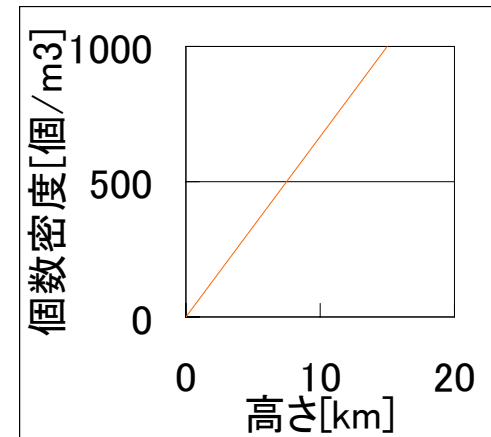
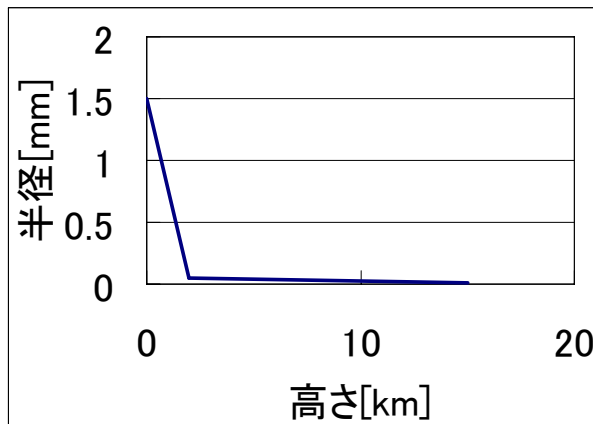
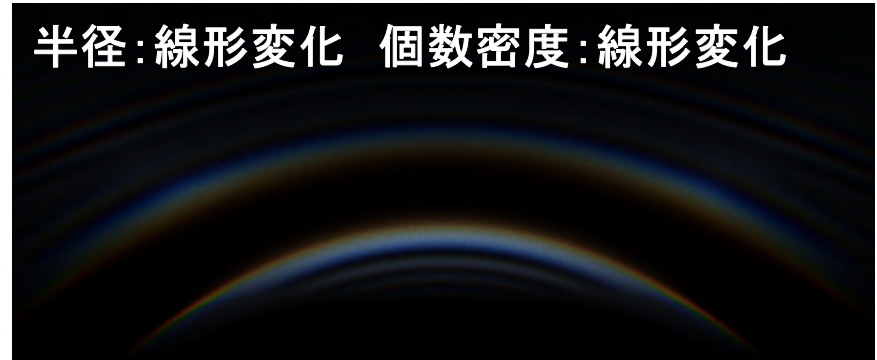
半径線形変化 個数密度:一定



半径:一定 個数密度:線形変化



半径:線形変化 個数密度:線形変化



# まとめ

- 水滴の半径と個数密度の分布を考慮したレンダリング手法の開発
- 例として半径と個数密度を線形に変化させた場合の出力結果の表示

# 今後の課題

- 大気中での光の散乱、減衰を考慮したレンダリング手法の開発

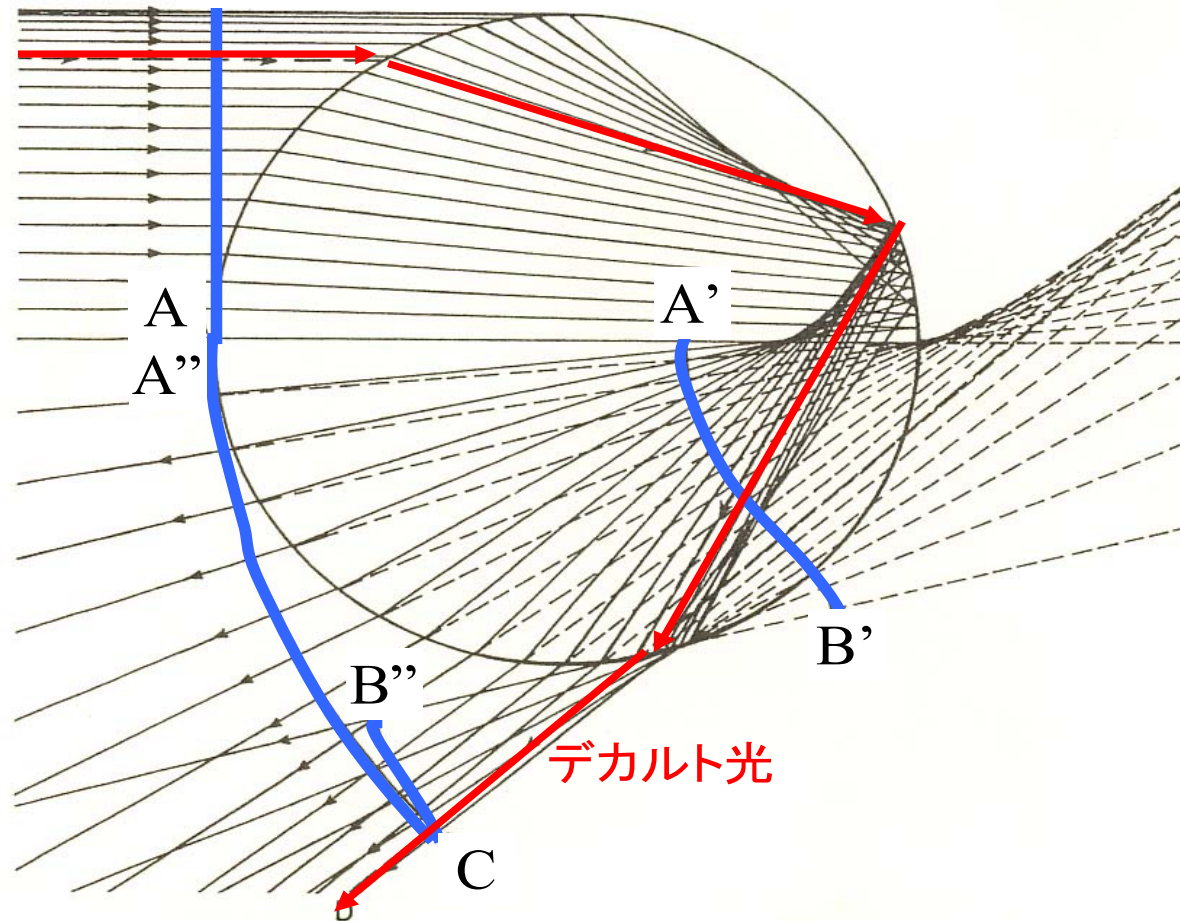






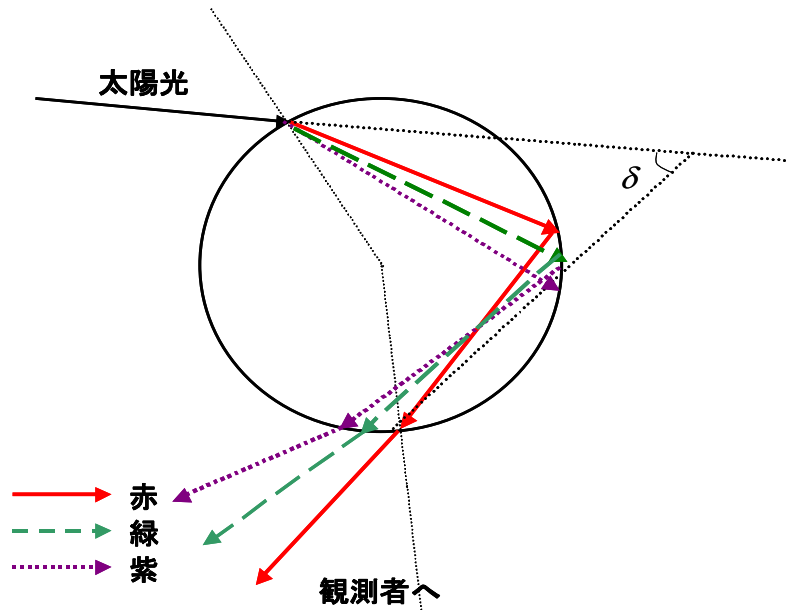


# 虹の原理(過剰虹)



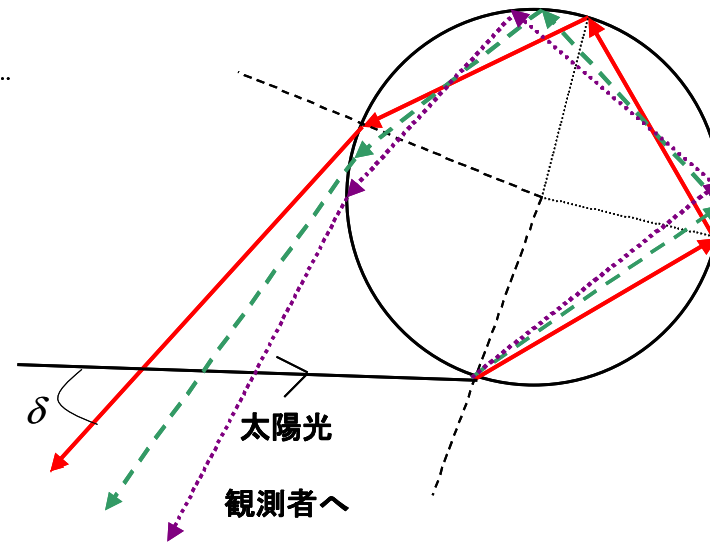
B''-Cでの光の重なり部分で光の干渉現象によって起こる

# 虹の原理(主虹、副虹)



主虹

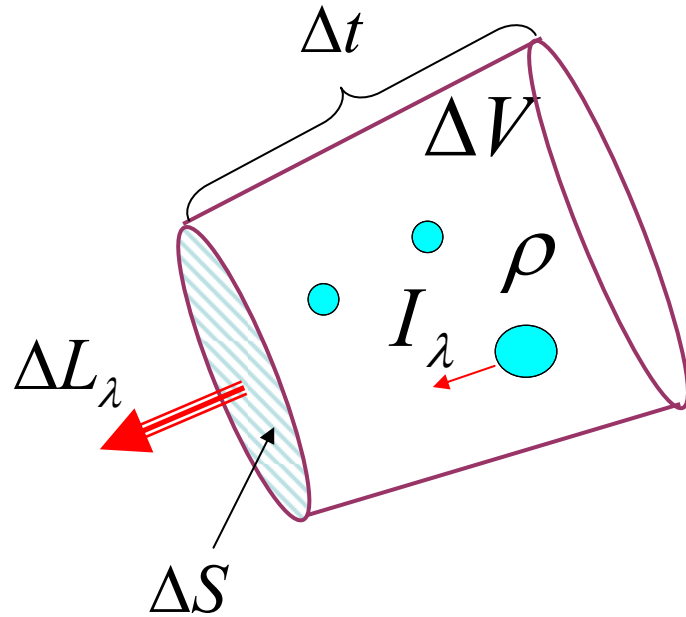
水滴内で1回反射して出てきた光



副虹

水滴内で2回反射して出てきた光

# 輝度値の計算式



$$\Delta V = \Delta S \Delta t$$

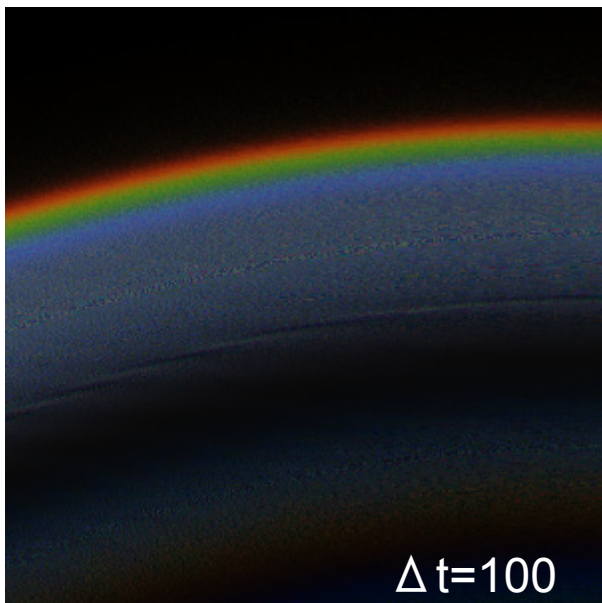
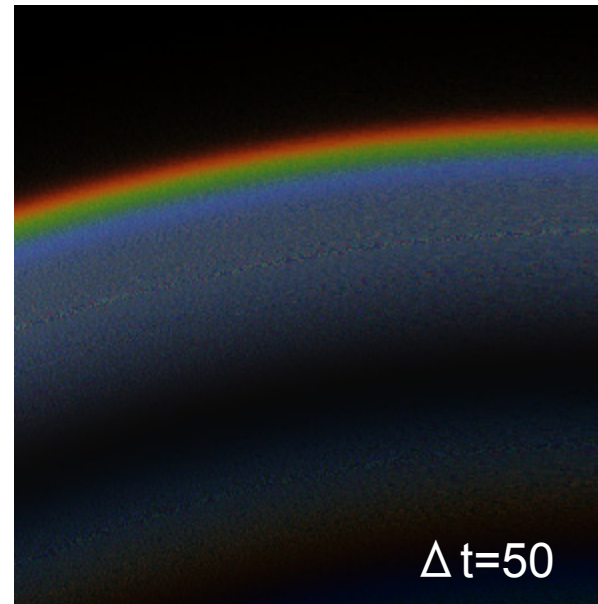
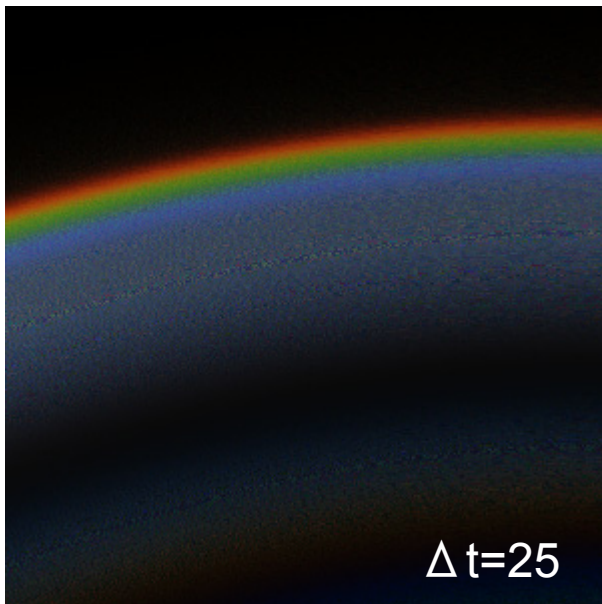
$$\Delta I_\lambda = \underbrace{\Delta V \rho(\mathbf{x}) I_\lambda(\mathbf{x}, \theta)}_{\text{個数}}$$

$$\Delta L_\lambda = \frac{\Delta I_\lambda}{\Delta S} = \Delta t \rho(\mathbf{x}) I_\lambda(\mathbf{x}, \theta)$$

$$L_\lambda = \int_0^\infty \Delta L_\lambda dt$$

$$= \int_0^\infty \rho(\mathbf{x}) I_\lambda(\mathbf{x}, \theta) dt$$

# サンプル幅とエリアシング

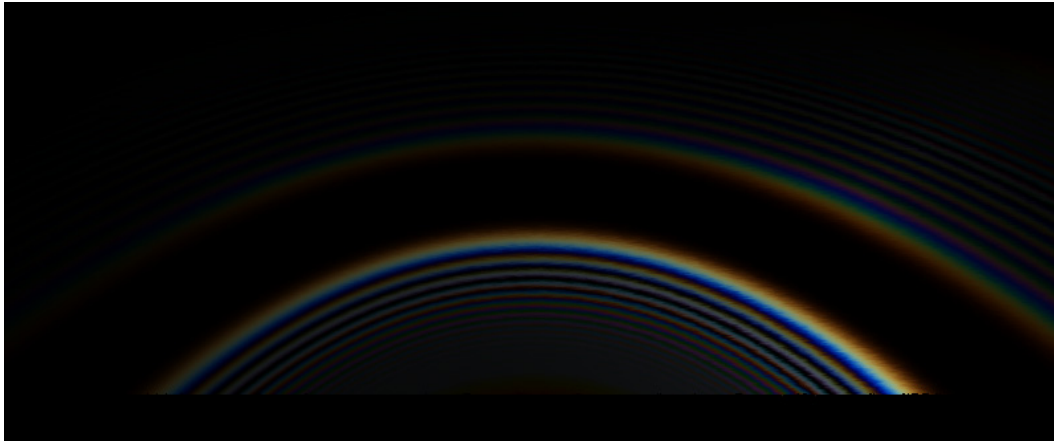


サンプル幅 $\Delta t$	計算時間[s]
25	348
50	204
100	121

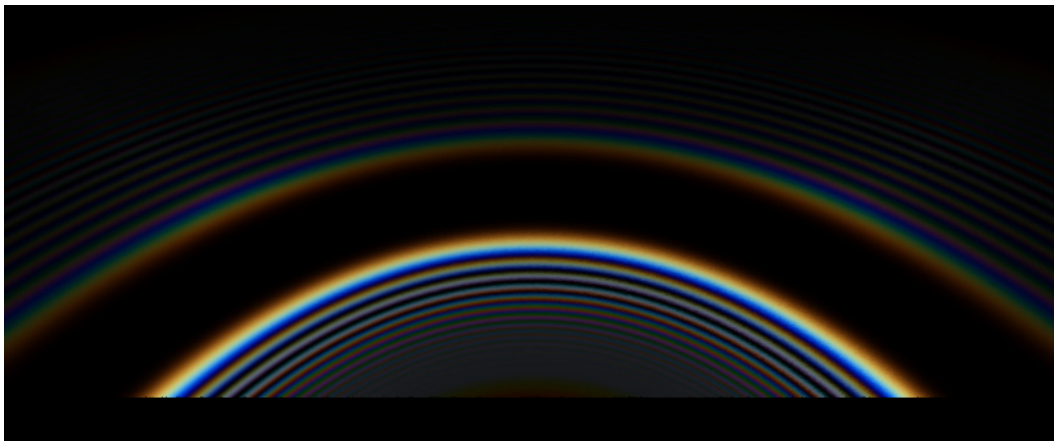
CPU:Pentium4 2.0GHz メモリ:2048MB

# 個数密度の影響

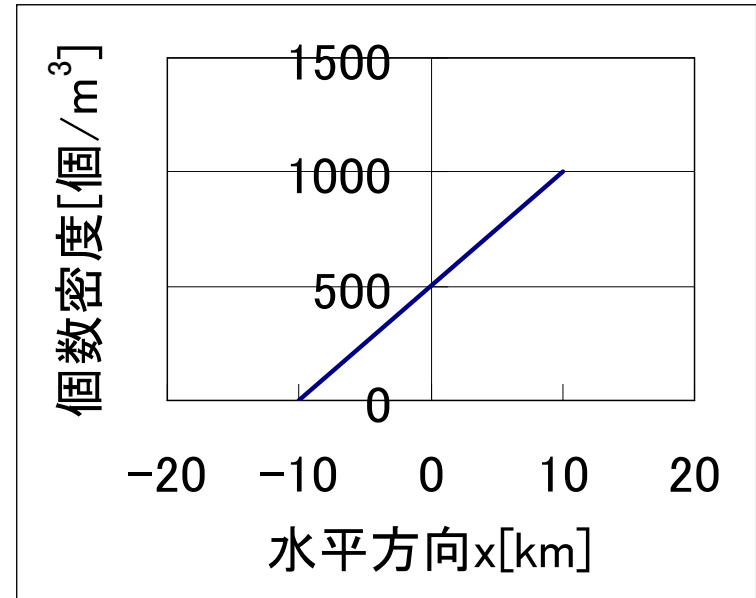
個数密度変化



個数密度一定( $\rho = 1000$ [個/ $m^3$ ])



個数密度



(共通: 水滴半径0.1[mm])