

グレア発生原因解析のための 光のシミュレーション

広島大学大学院工学研究科
福永充吉 金田和文 玉木徹

広島鉄道病院
曾根隆志 三嶋弘

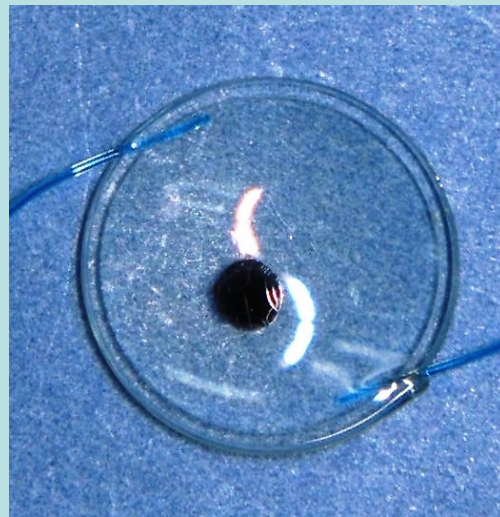
広島大学大学院医師薬学総合研究科
木内良明

背景

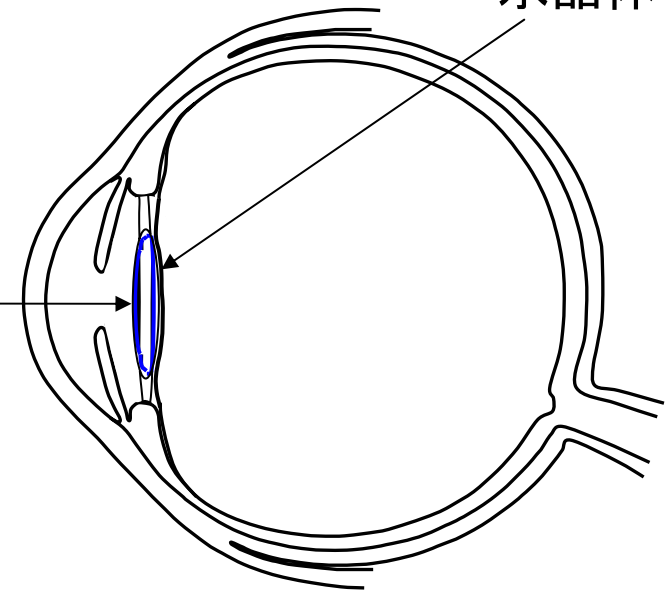
白内障・・・眼球の水晶体に濁りができる病気

治療法・・・水晶体の中身を除去し眼内レンズを挿入

・眼内レンズ



水晶体

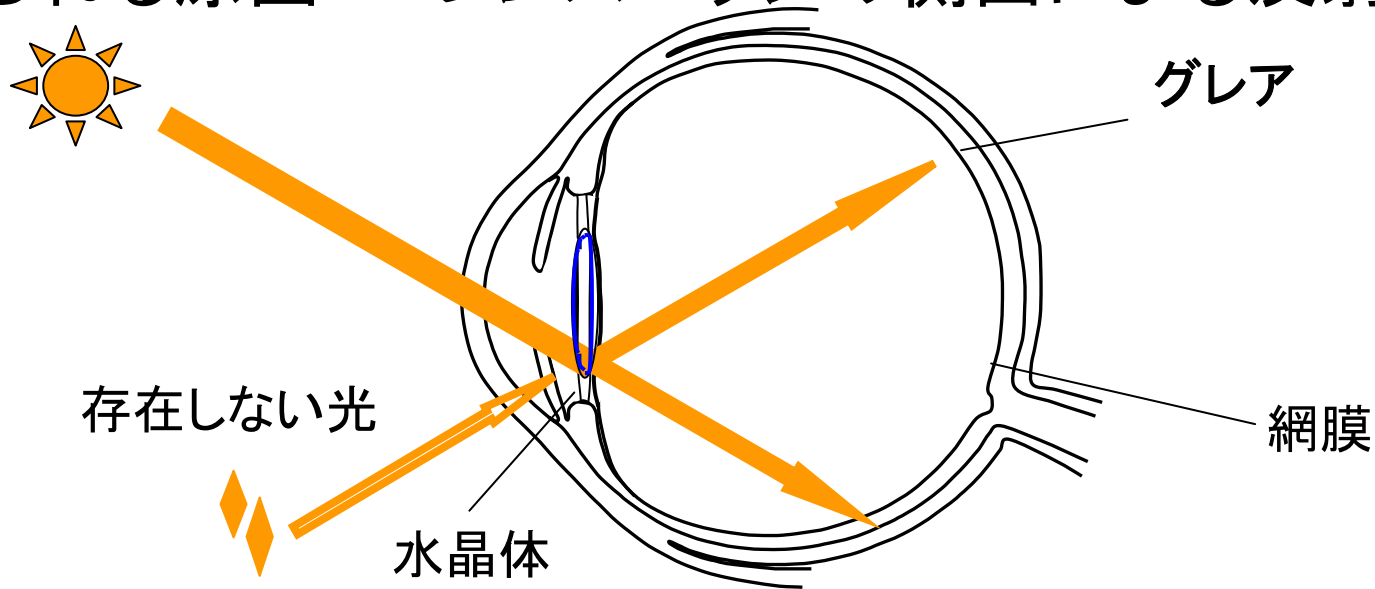


・眼球断面図

背景(術後の問題点)

グレアの知覚・・・レンズの挿入によりあるはずのない
ぎらつきを知覚してしまう

考えられる原因・・・レンズエッジの側面による反射



グレア発生原因に関する十分な解析が必要

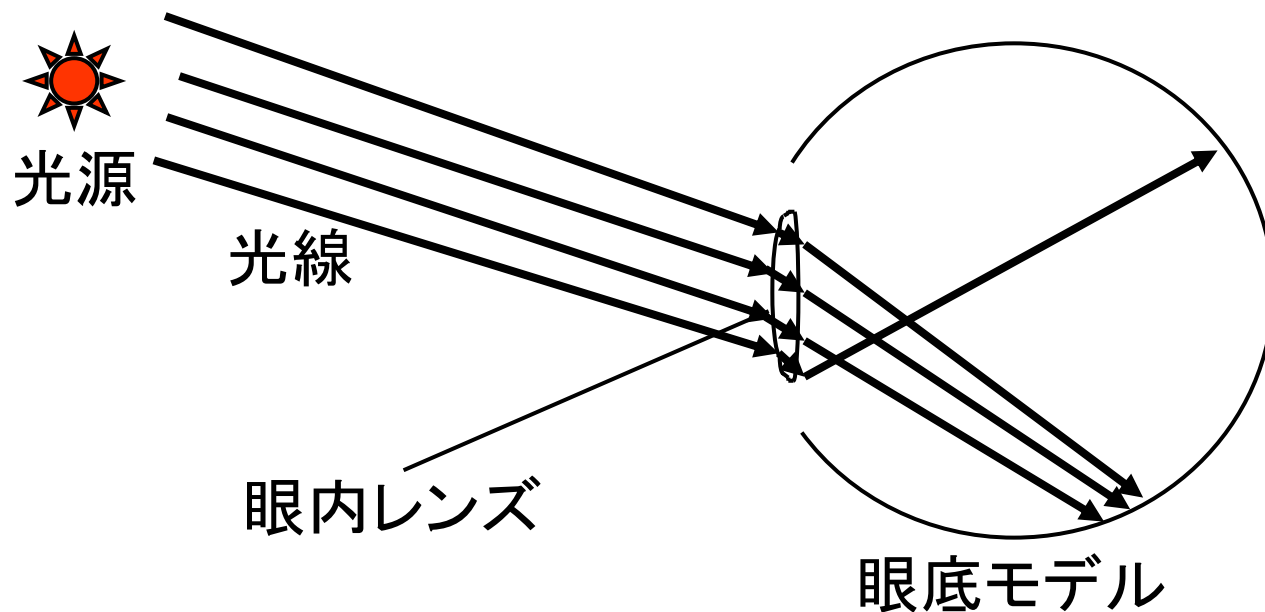
目的

グレア知覚原因の解析

- ・光源から網膜までの光の経路
- ・網膜上での照度分布

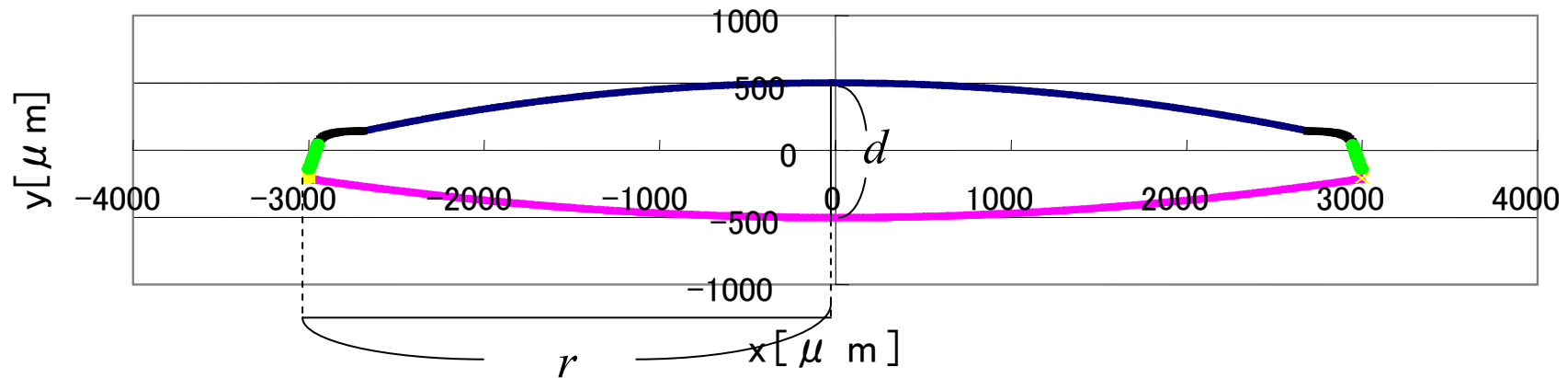
グレア知覚原因解析のため基礎研究

- ・2次元で光線追跡を用いた光のシミュレーション



レンズモデル

- ・レーザ測定器による形状測定
- ・最小自乗法により断面形状を2次曲線で近似

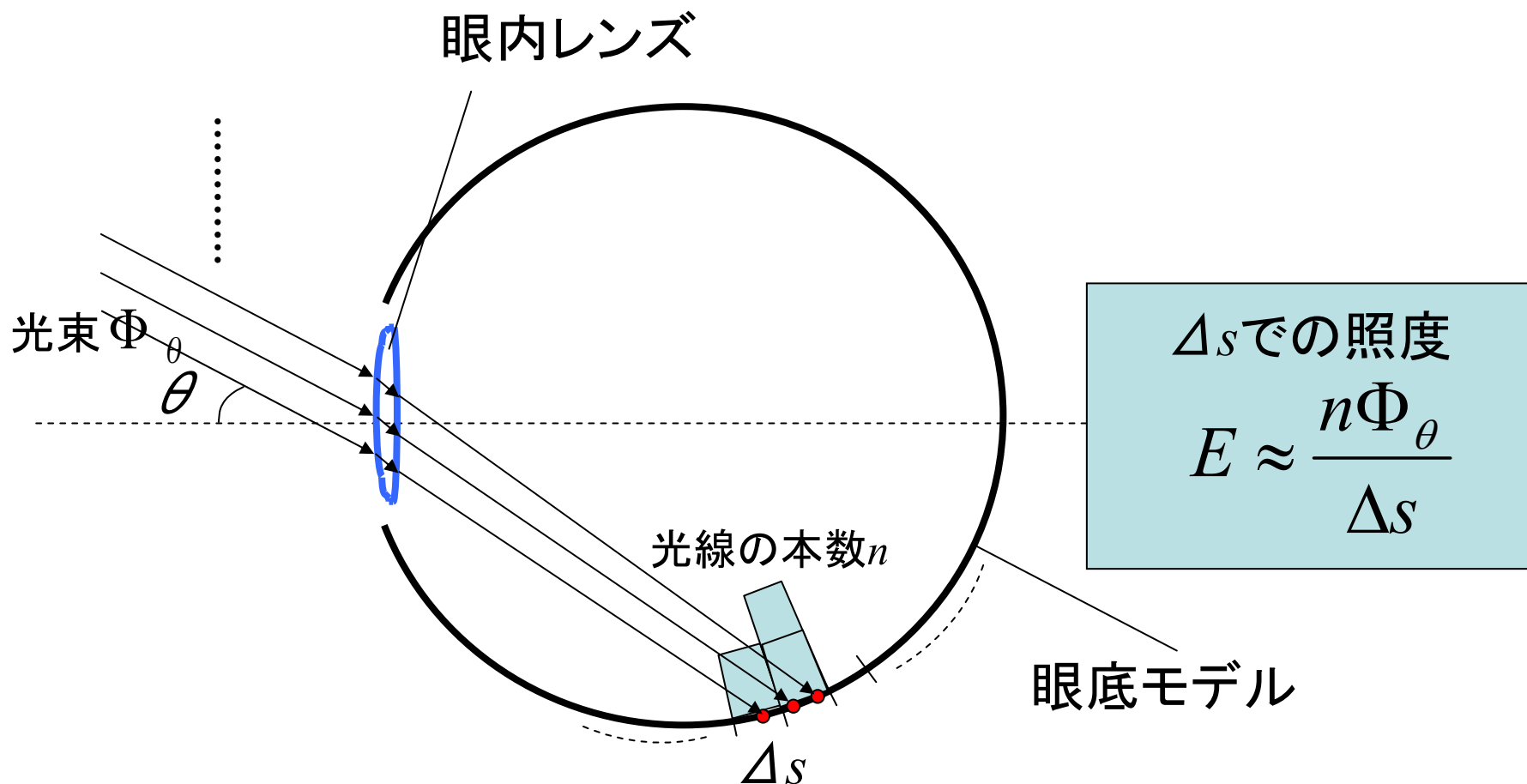


半径 r [mm]	3.0
中心厚 d [mm]	1.0
屈折率 n_{lens}	1.465

光のシミュレーション方法

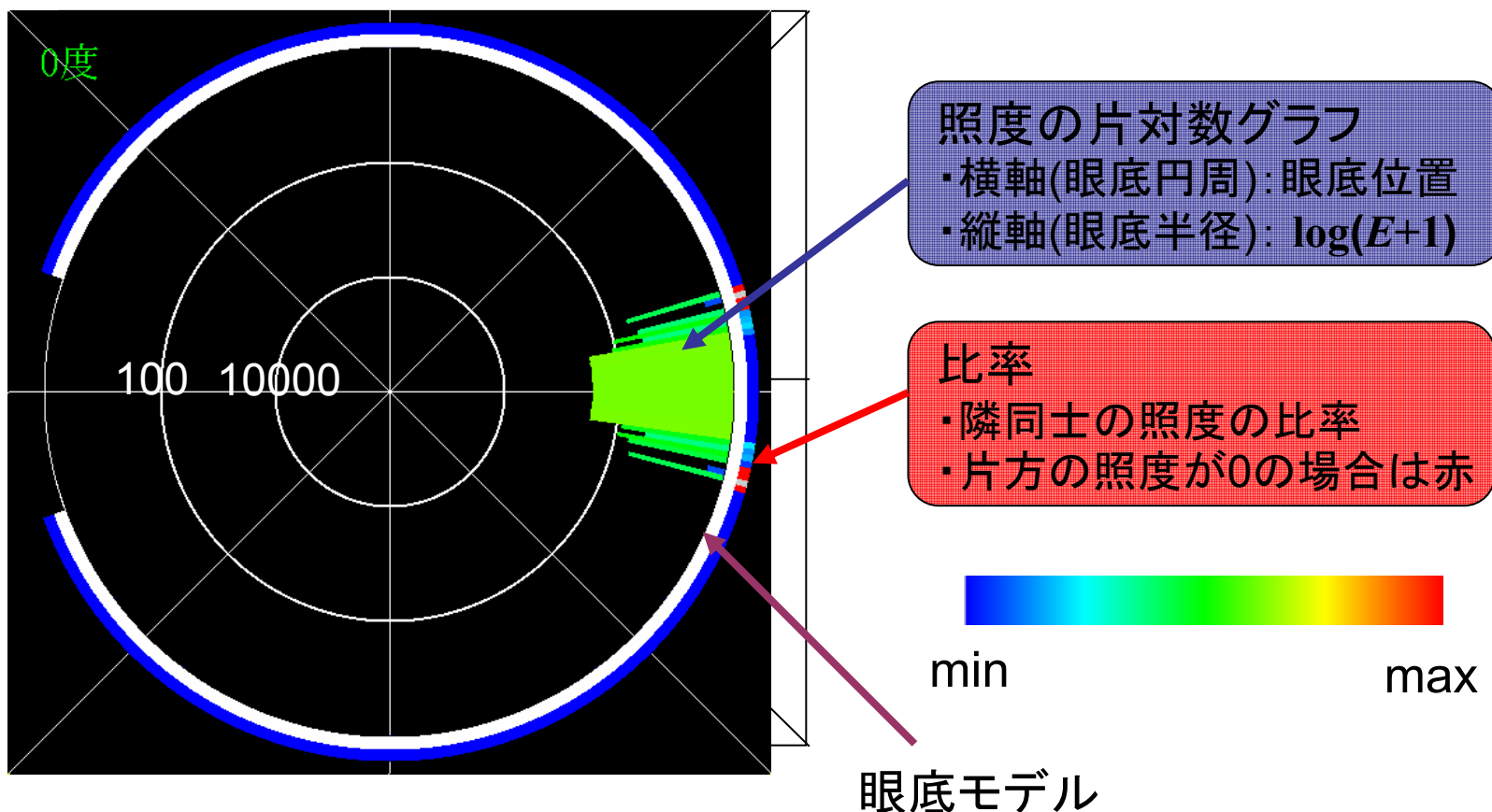
眼底での照度分布と光線経路の変化を2次元でシミュレーション

・照度算出においてPhoton mapping[Jensen 95]の原理を応用



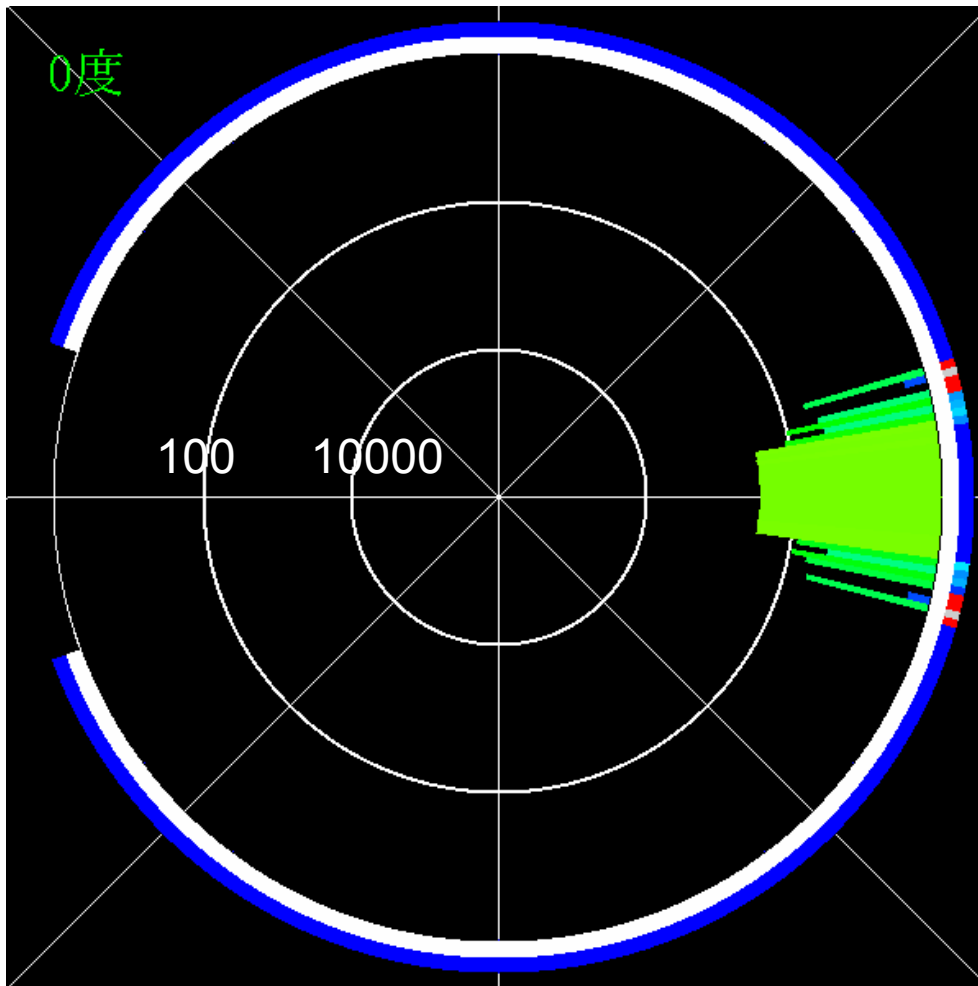
シミュレーション結果の表示方法

- ・グレアは暗い場所で知覚されやすい
- ・小さい明かりでも明暗の差が激しいためまぶしく感じる
- ・眼底の照度が低い場所も詳しく調べる必要がある



シミュレーション結果

θ を0[度]から80[度]で1度刻みでシミュレーション



照度



1

10000

比率



1

12

・ $25[\text{度}] \leq \theta \leq 62[\text{度}]$

右側で一部離れて照度が分布

・51[度]以降

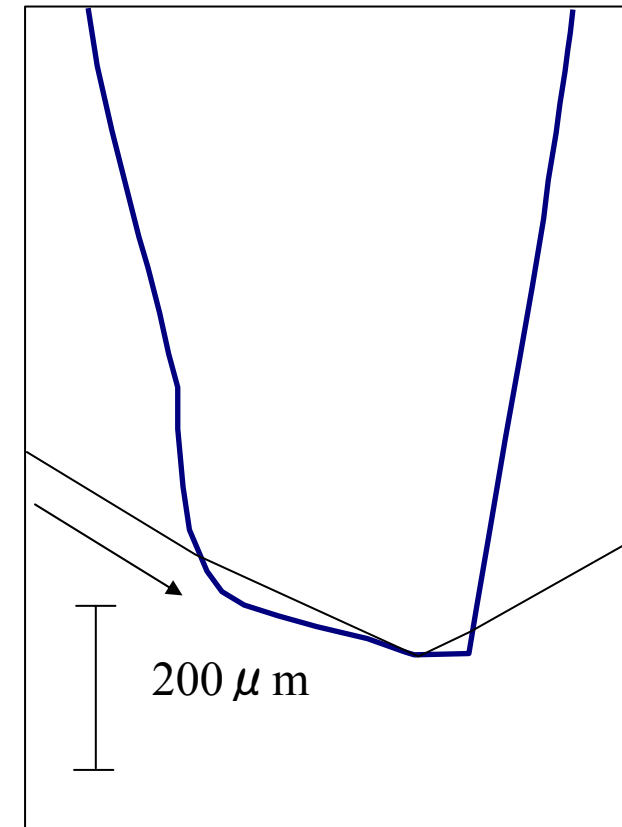
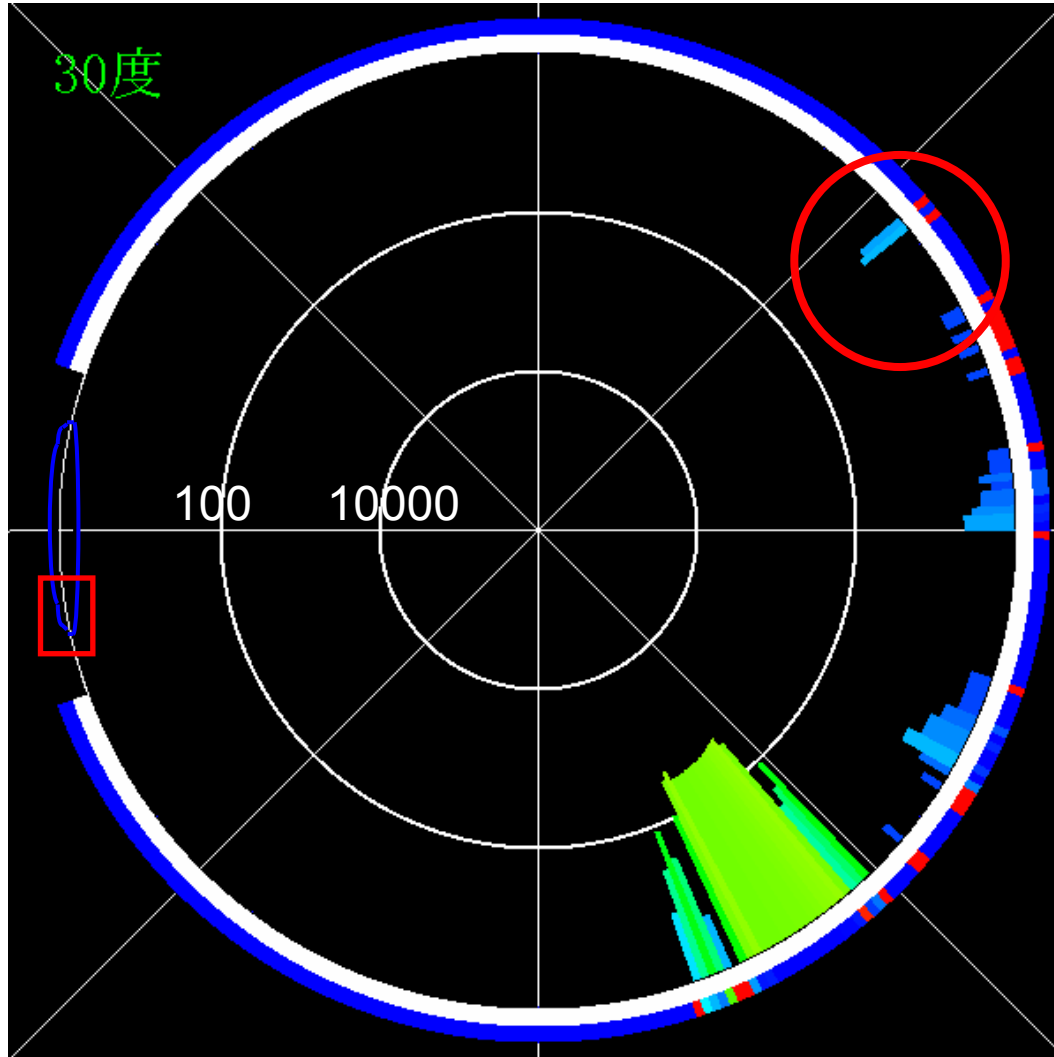
左側で一部離れて照度が分布

・予想される原因

レンズ内で全反射した光線の影響

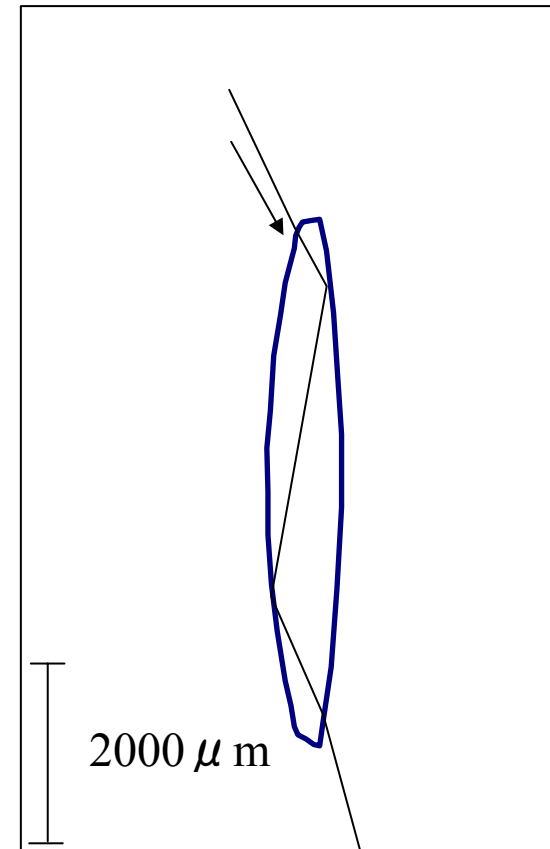
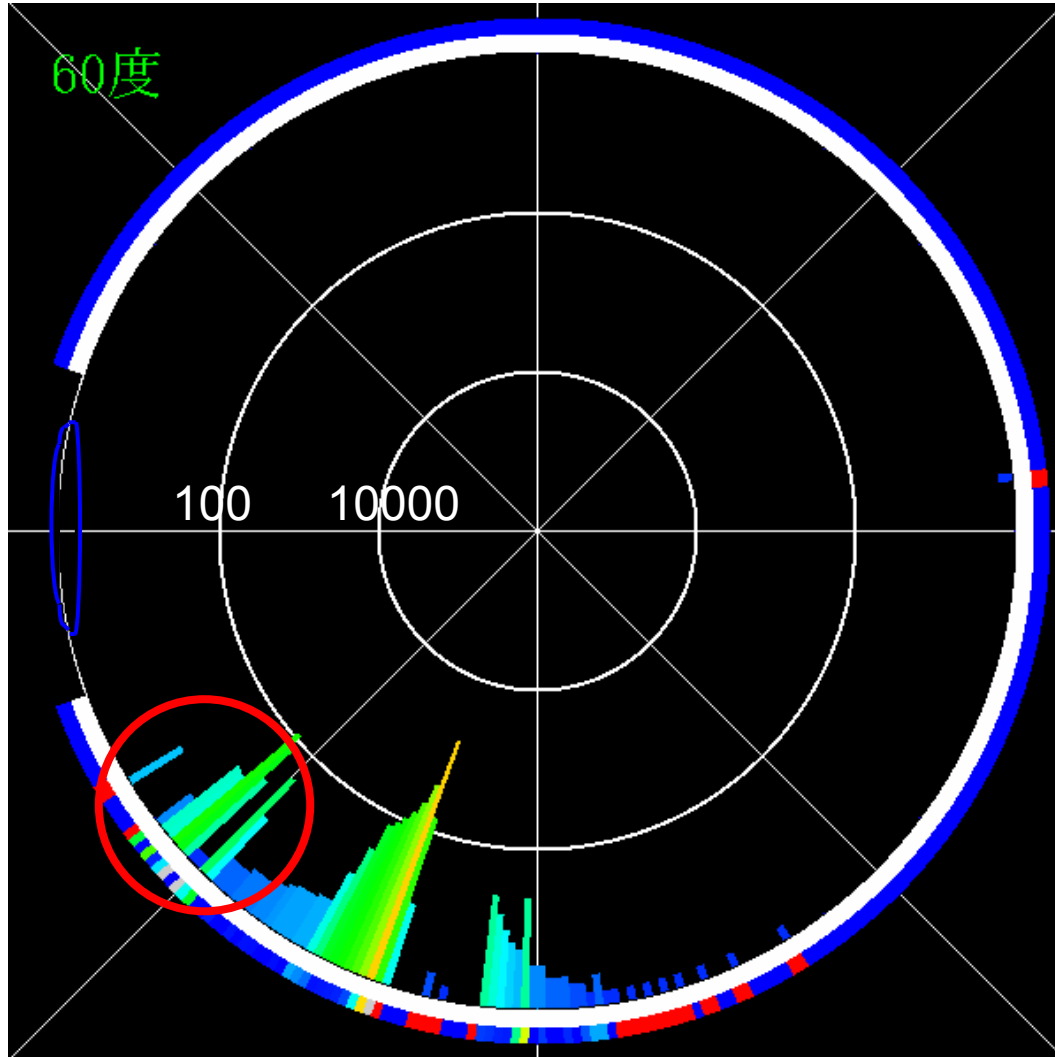
結果の考察

$\theta = 30$ 度と60度の時のレンズ内での光線経路を表示



結果の考察

$\theta = 30$ 度と60度の時のレンズ内での光線経路を表示



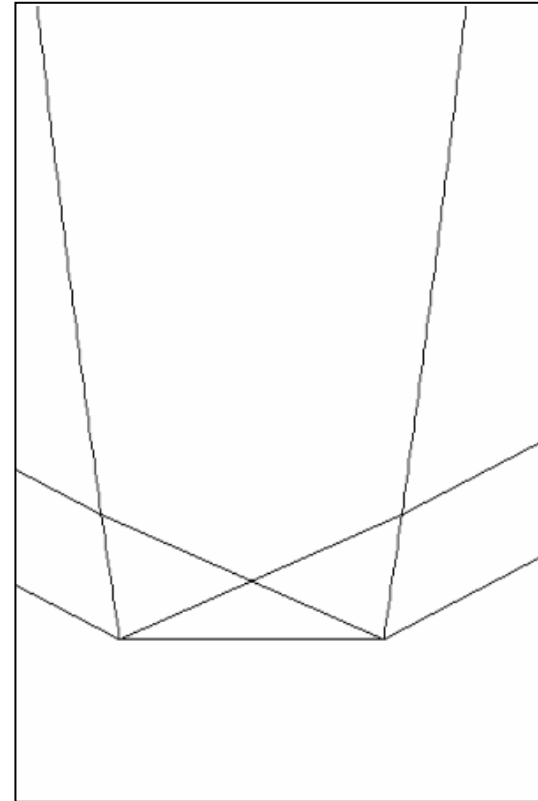
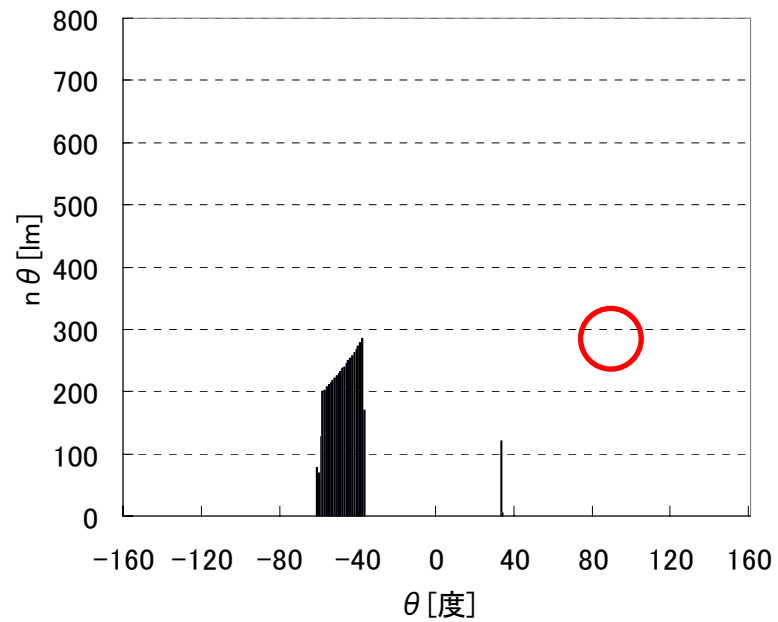
まとめ

- ・光のシミュレーションによる解析
レンズ内での全反射がグレア知覚原因の可能性

今後の課題

- ・透過による減衰を考慮
- ・眼底モデルをgullstrand模型眼に変更

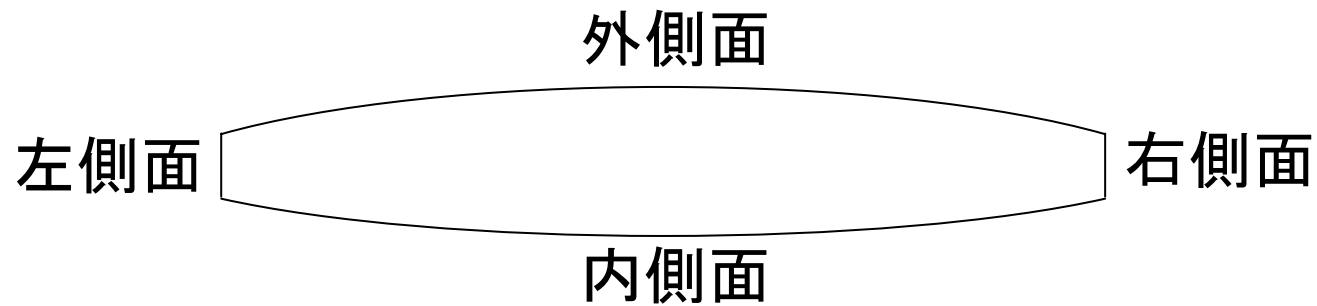
シミュレーション結果



入射角 $\theta_r = 25$ [度]

眼内レンズモデル

INDEK社 NX-1

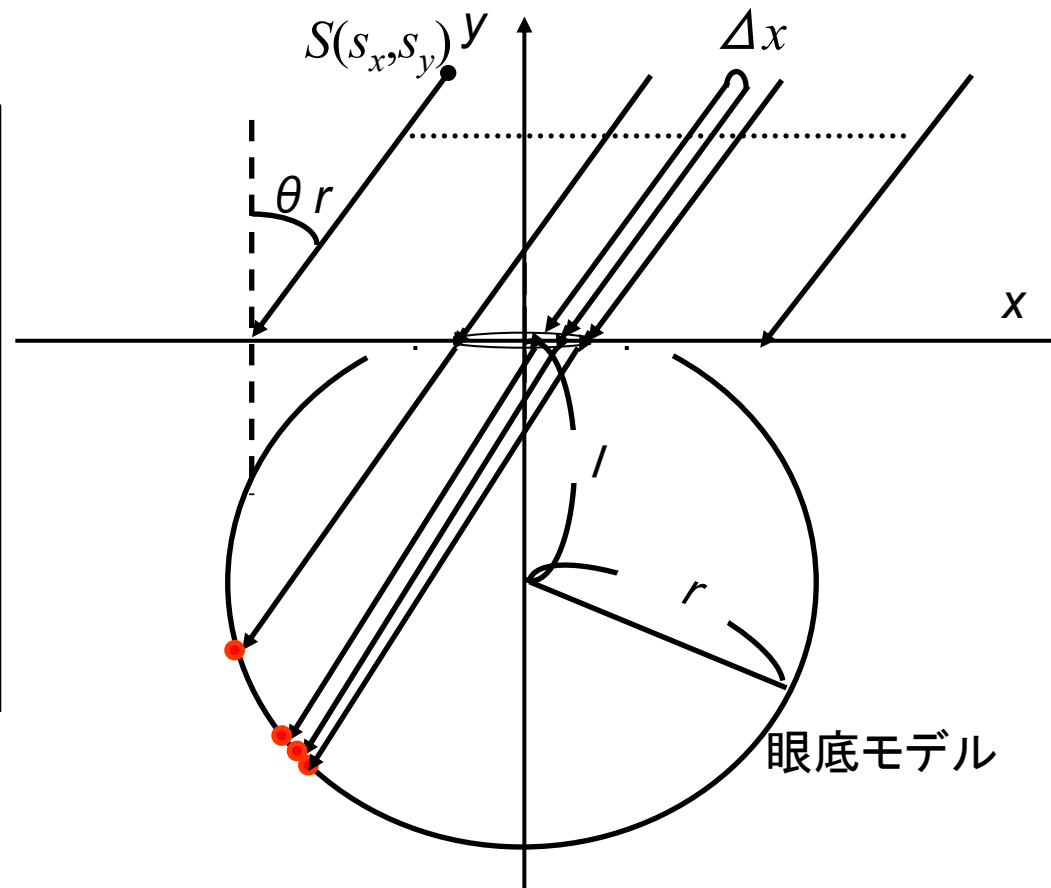


レンズの径 l	:6.0[mm]
中心厚 d	:1.0[mm]
屈折率 n	:1.52
曲率半径 r	:18.20[mm]
	:-18.20[mm]

眼内レンズを用いた光のシミュレーション

- ・平行光線を用いてレンズに対して外側面に入射したレイのみ屈折、全反射を考慮してレイトレーシング
- ・眼底に光がどのように照射されるのかシミュレーション

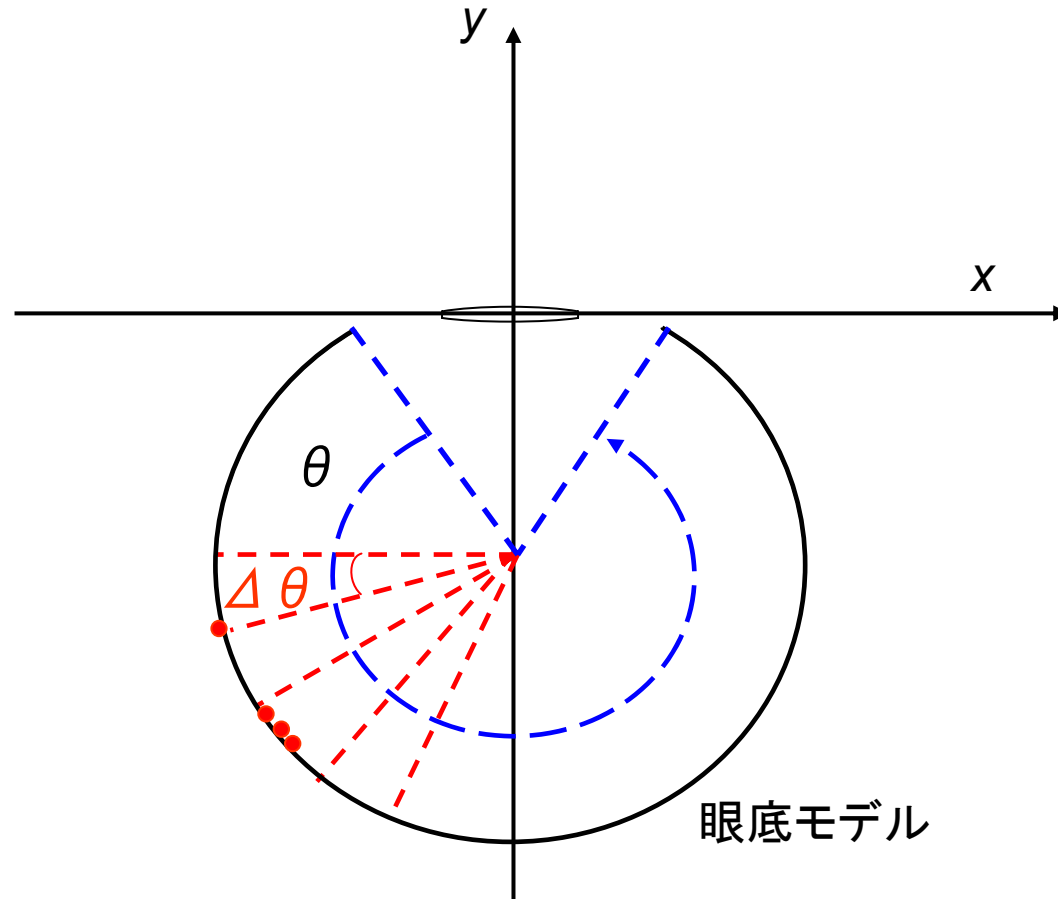
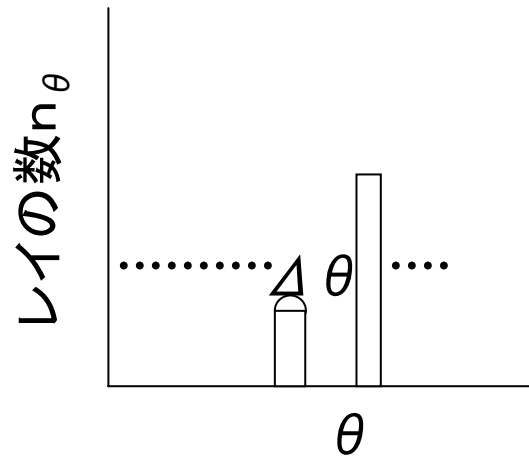
l	:眼底の中心から 原点までの距離
r	:眼底の半径
$S(s_x, s_y)$:光源位置
θ_r	:レイの入射角
n	:レイの数
Δx	:レイの間隔
n_1	:レンズ以外 の屈折率



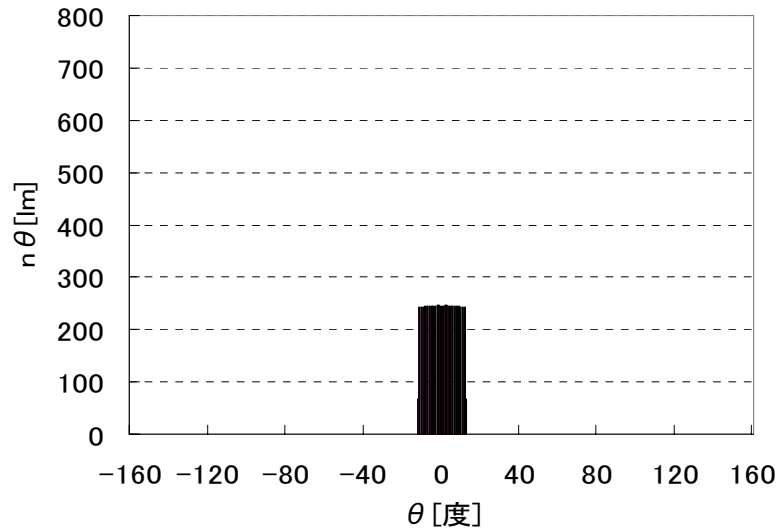
眼内レンズを用いた光のシミュレーション

- ・平行光線を用いてレンズに対して外側面に入射したレイのみ屈折、全反射を考慮してレイトレーシング
- ・眼底に光がどのように照射されるのかシミュレーション

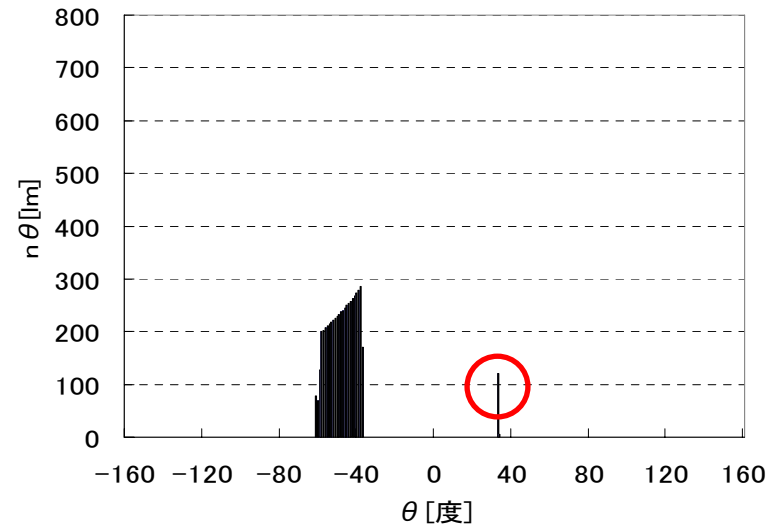
$\Delta\theta$:眼底上のサンプル幅
 $-160 \leq \theta \leq 160$ [deg]



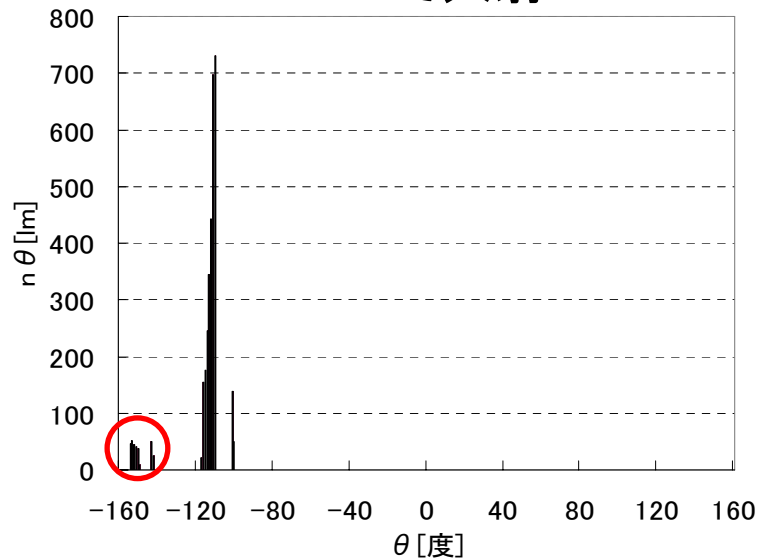
シミュレーション結果



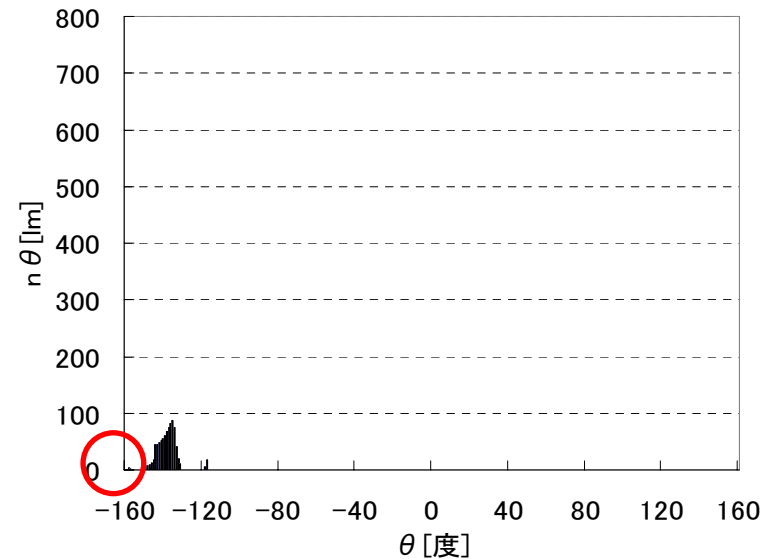
$\theta_r = 0^\circ$ で入射



$\theta_r = 25^\circ$ で入射

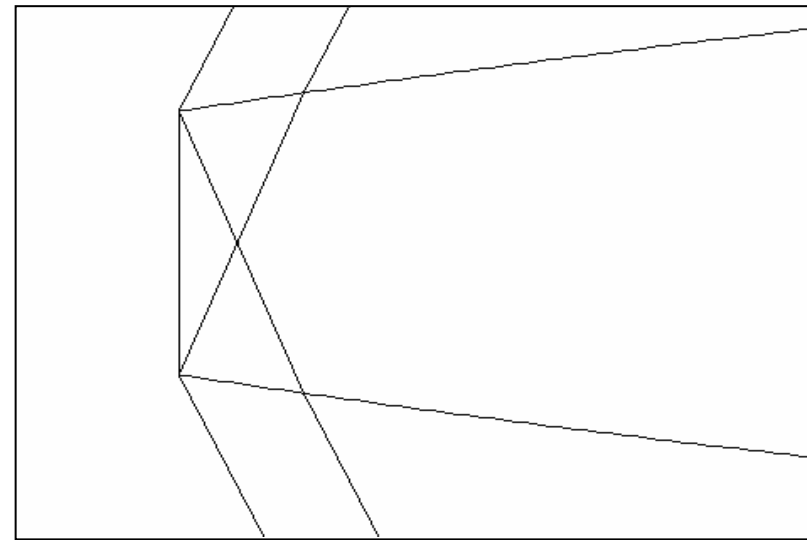
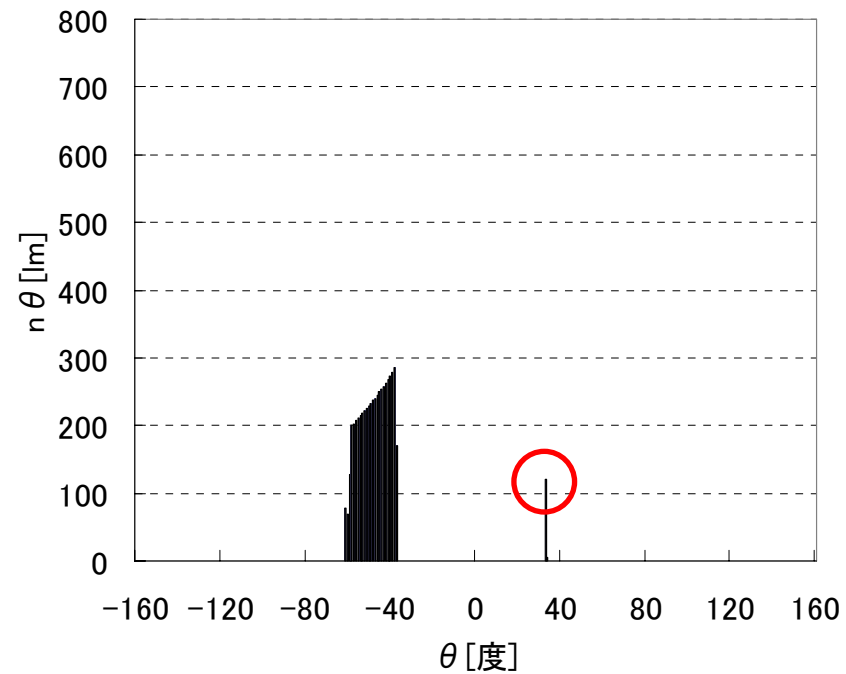


$\theta_r = 60^\circ$ で入射



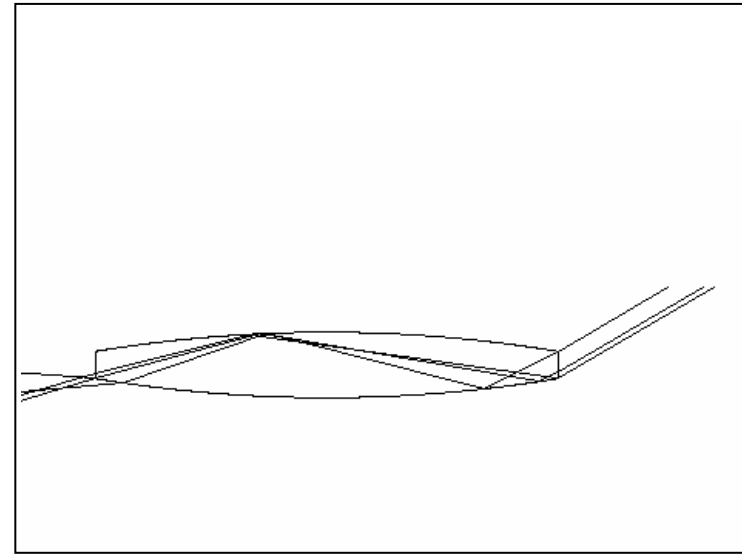
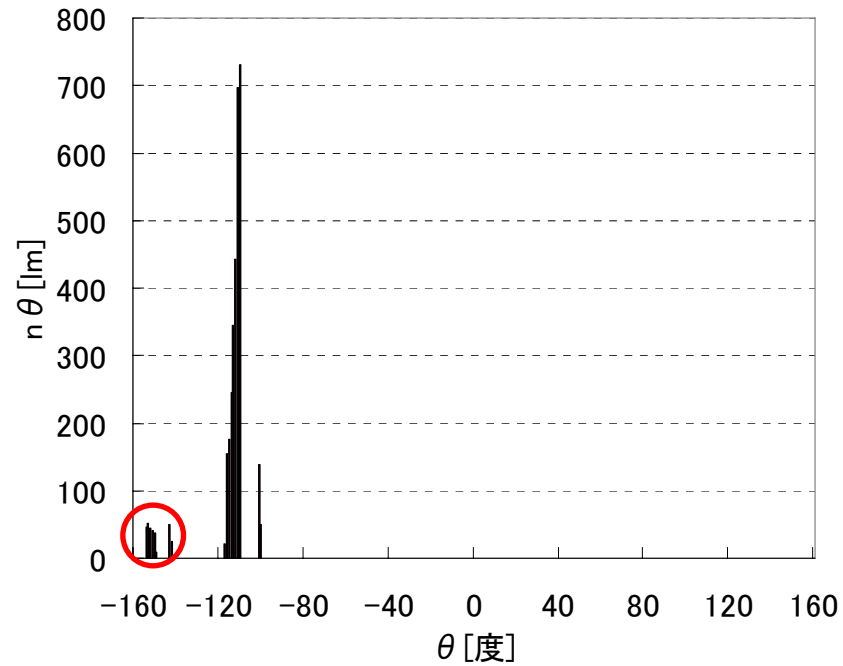
$\theta_r = 80^\circ$ で入射

全反射を生じた際のレイの軌跡



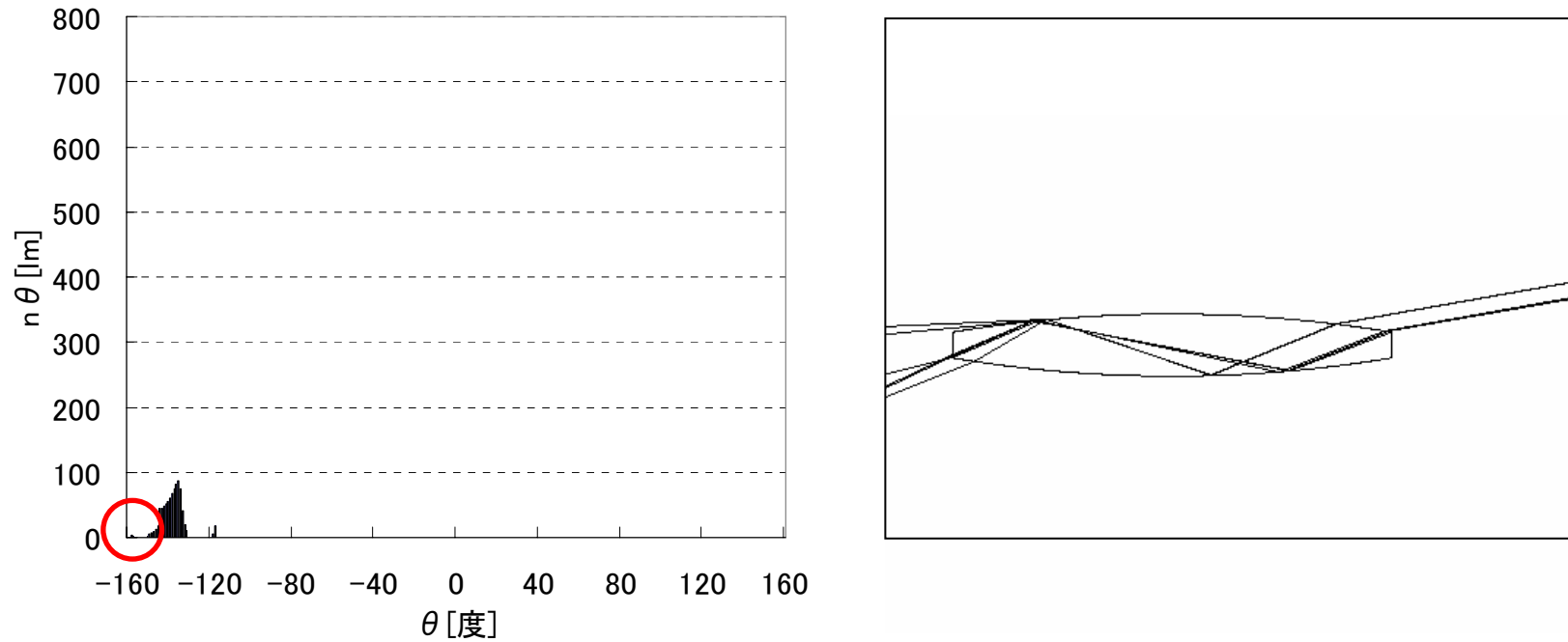
入射角 $\theta_r = 25$ [度]

全反射を生じた際のレイの軌跡



入射角 $\theta_r = 60$ [度]

全反射を生じた際のレイの軌跡



入射角 $\theta_r = 80$ [度]

まとめ

- ・レイトレーシングによりモデリングしたレンズの光のシミュレーション
- ・全反射によるグレアの可能性を確認

今後の課題

- ・三次元に拡張してシミュレーション
- ・シミュレーション条件をより実際のものに近づける

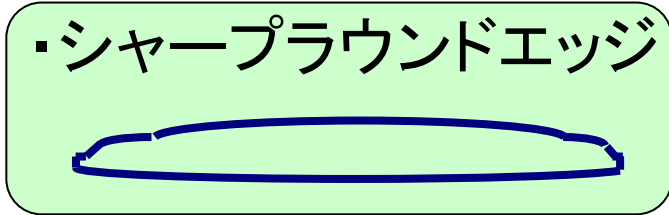
・眼内レンズエッジ形状の種類

・ラウンドエッジ



白内障の再発

・シャープラウンドエッジ



・問題点



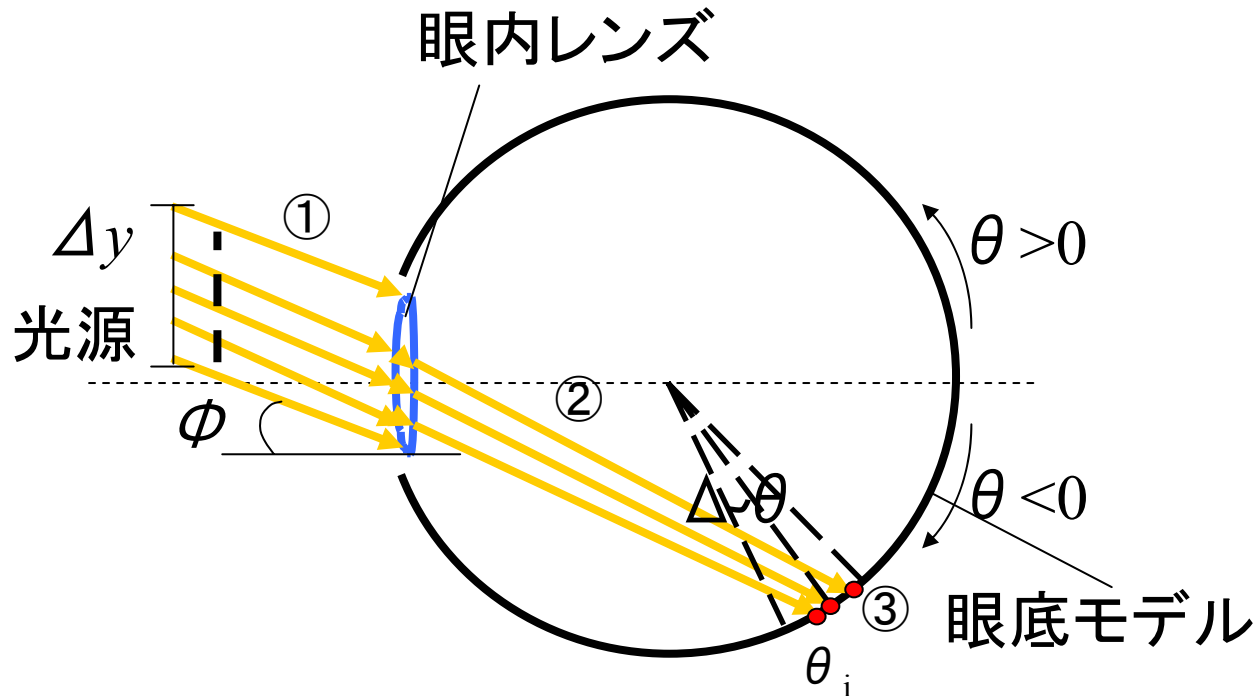
・シャープエッジ



グレアの知覚

光のシミュレーション方法

眼底での照度分布と光の経路の変化を2次元でシミュレーション



モデル

- ・レンズモデル
- ・眼底モデル

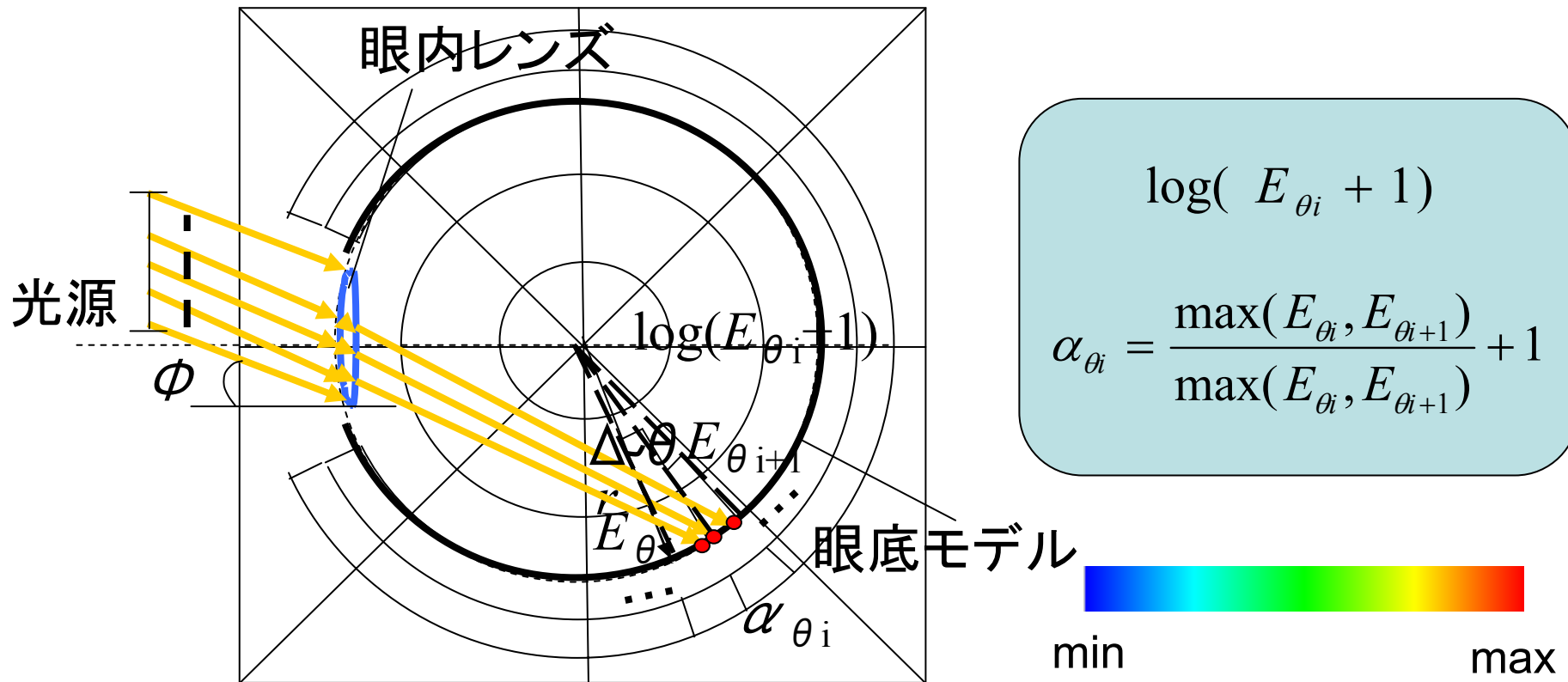
屈折率

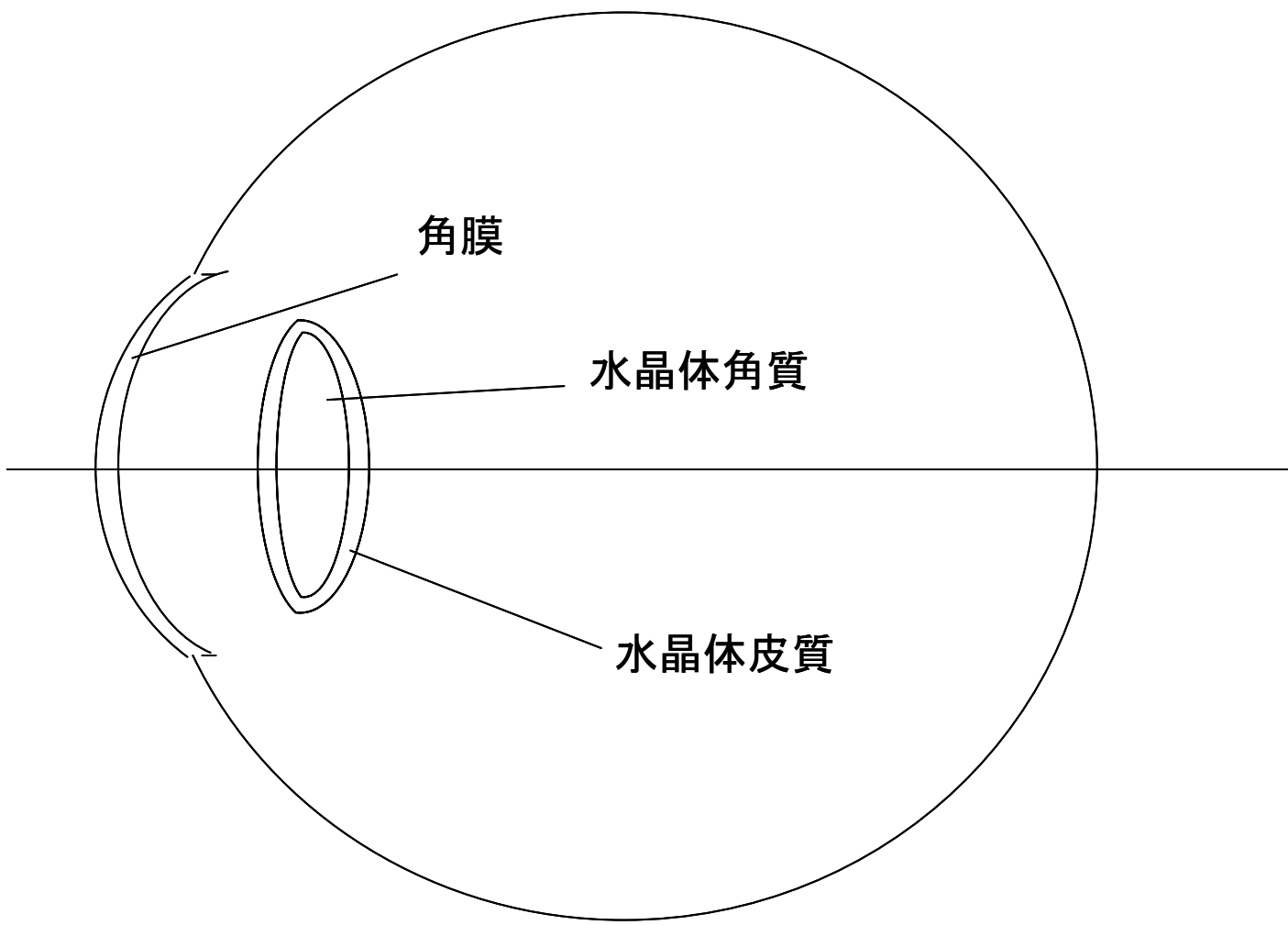
- ・レンズ: $n_{lens}=1.465$
- ・レンズ以外: $n_I=1.333$

- ① 等輝度の完全拡散光源から平行光線を 射出角 ϕ の方向に放出
- ② レンズに入射する光線の主成分方向のみ反射、屈折を考慮し経路追跡
- ③ 眼底の各微小領域 $\Delta \theta$ ごとに入射する光線の数 n_{θ_i} をカウントし θ_i における相対的な照度を $E_{\theta} = n_{\theta} \cos \phi$ より算出

シミュレーション結果の表示方法

眼底上で照度 E_{θ_i} の対数 $\ln(E_{\theta_i}+1)$ と比率 α_{θ_i} をグラフで表示





角膜

水晶体角質

水晶体皮質