

# CG制作演習

第3回 シェーダ、ライティング

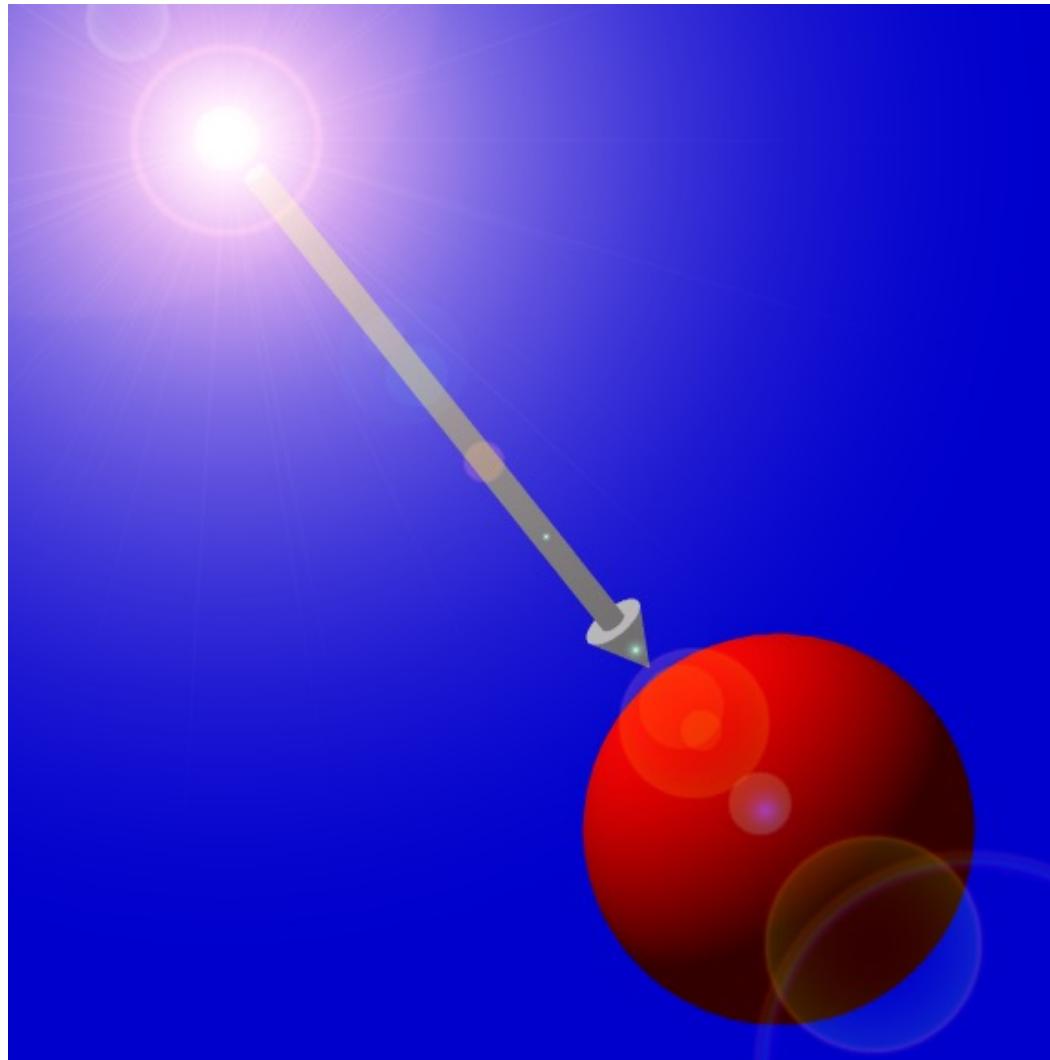
# 本日の内容

- 陰影付けの理論
- 物理ベースシェーディング
- 光源と照明
- Blender のシェーディングとライティング

# 陰影付けの理論

色の見え方はライトとマテリアルの相互作用で決まる

# 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）

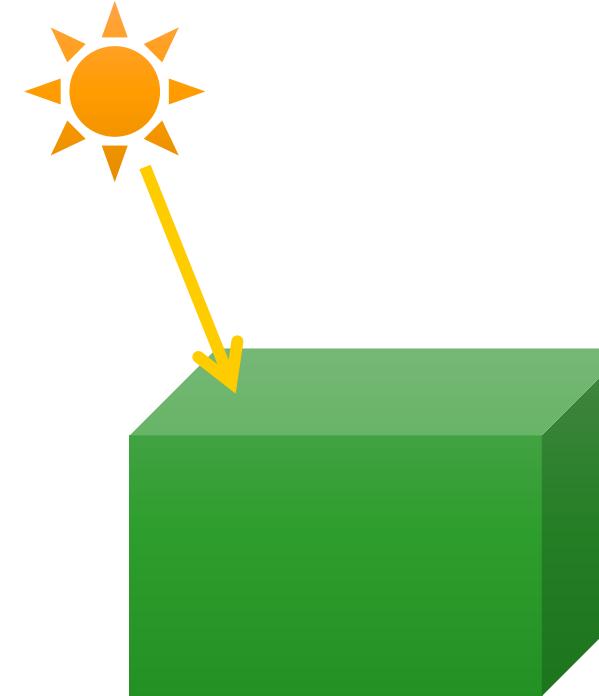
- 光が当たった物体表面上の色を求める

- 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
  - 滑らかさ

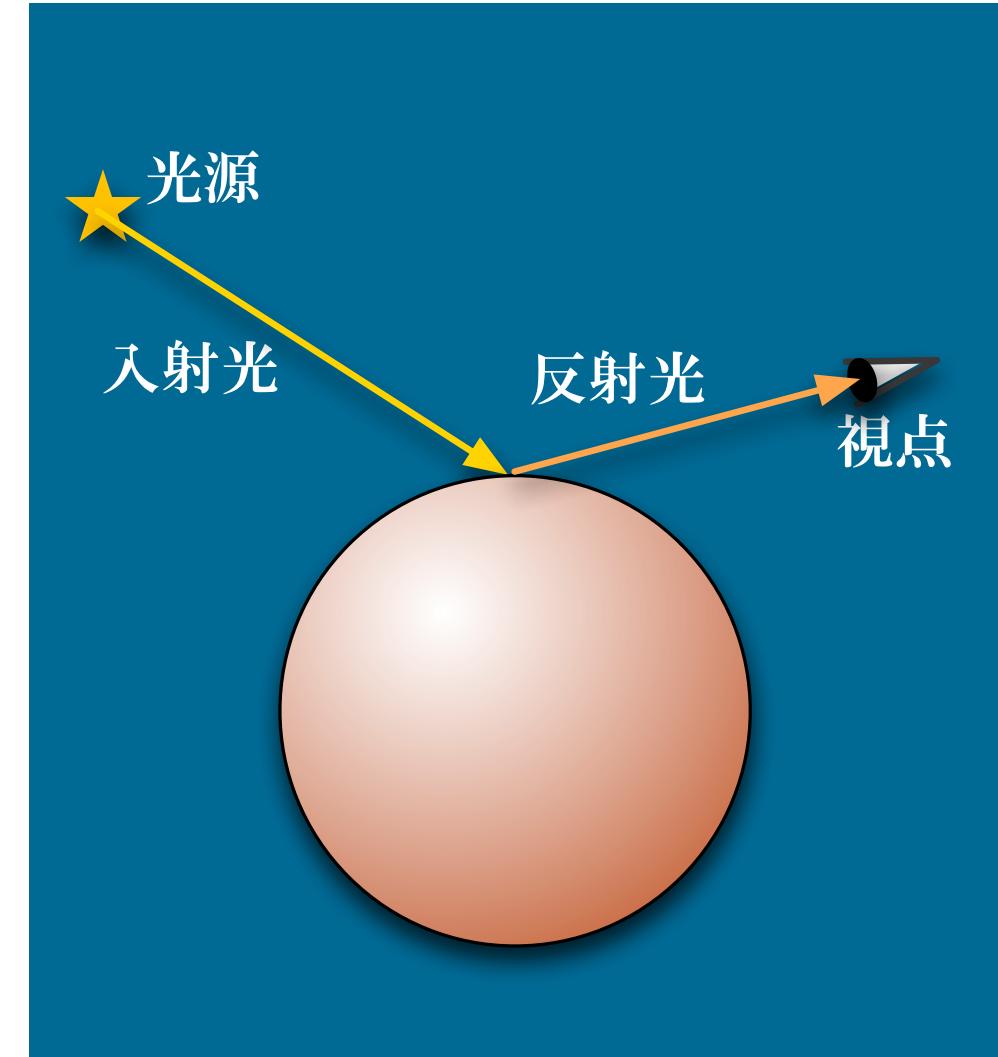


# 陰影付けモデル

- 照明と反射光の関係を記述
  - 光源の位置・強度・色
  - 表面の光の反射特性
  - 視点の位置

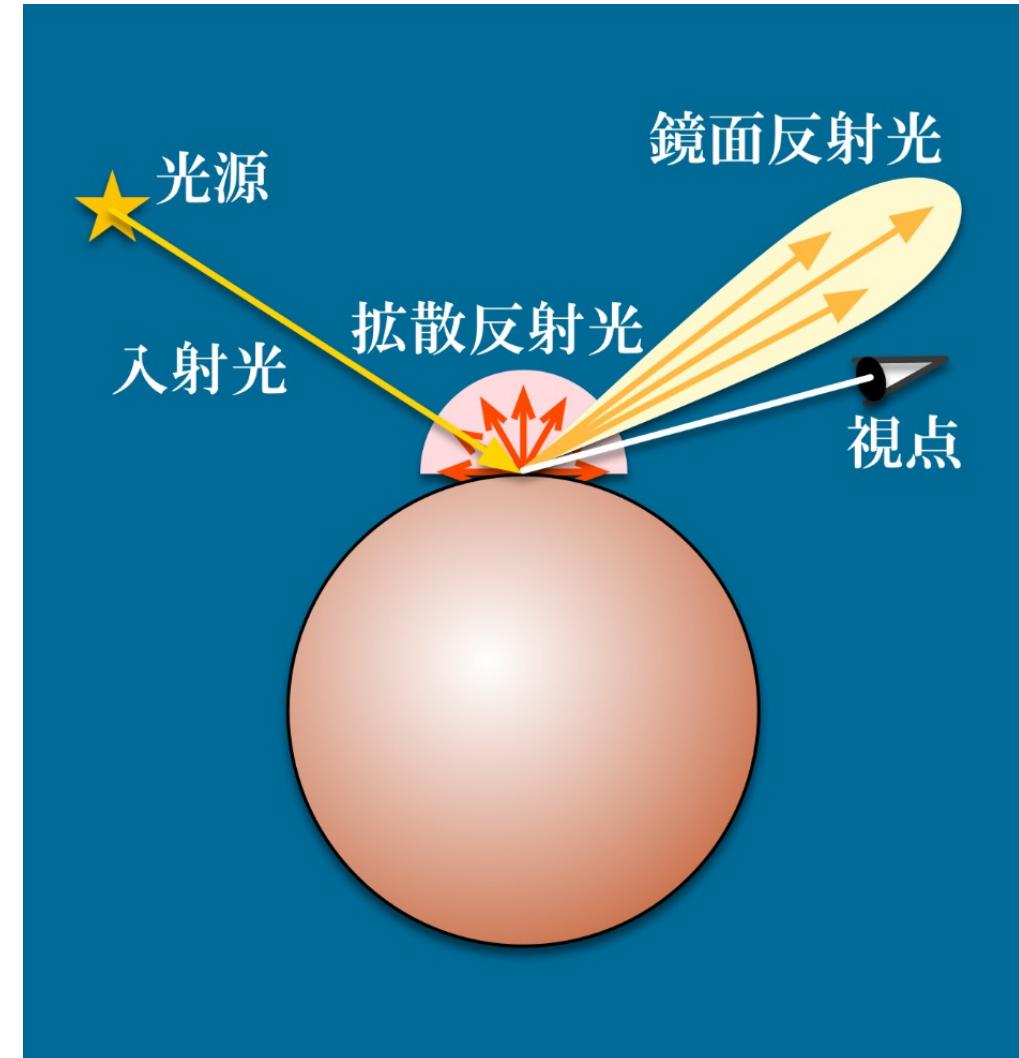


反射光



# 最も基本的な二色性反射モデル

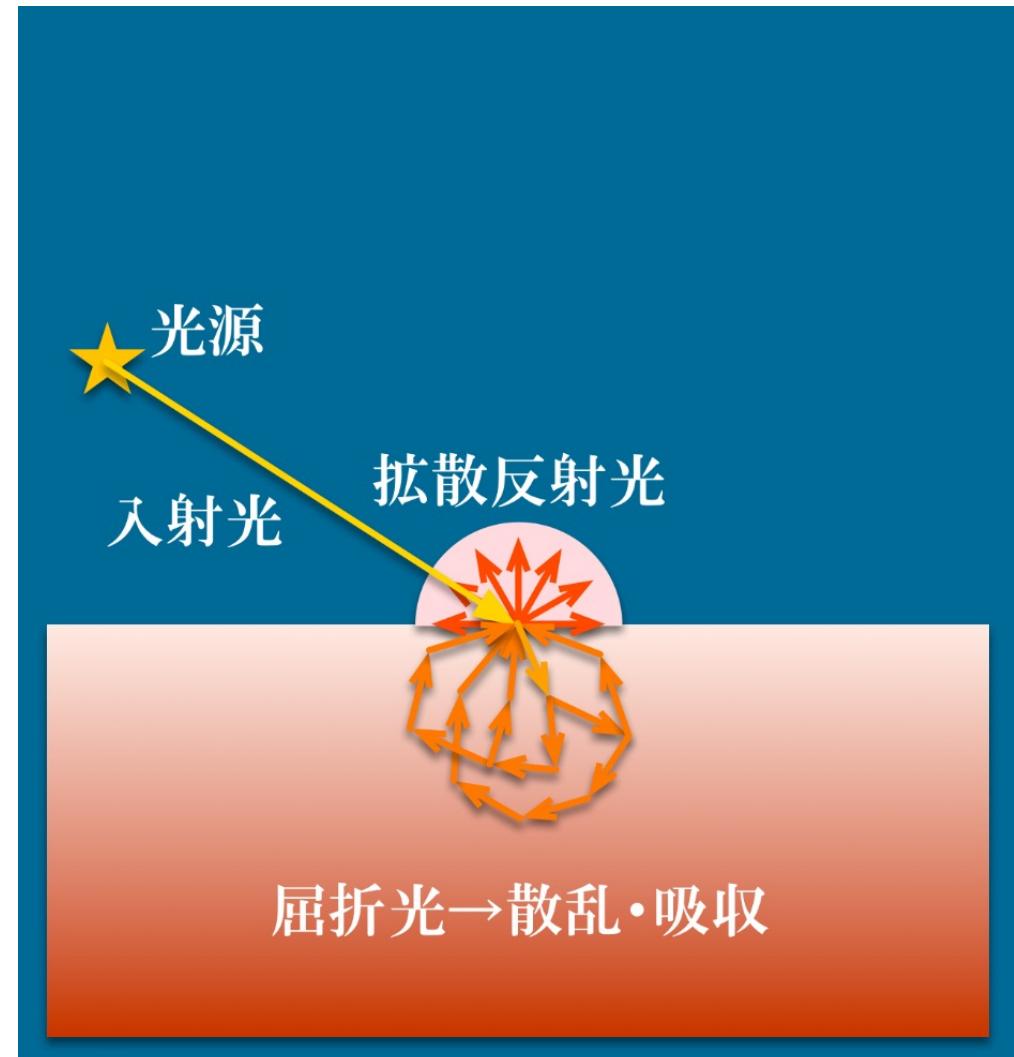
- 拡散反射光 (diffuse)
  - 入射光の入射点の周囲に均等に放射される光
- 鏡面反射光 (specular)
  - 入射光の正反射方向に放射される光
- 環境光 (ambient)
  - 間接光などの周囲の光による反射光



# 拡散反射光 (diffuse)

- 完全拡散反射面
  - 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

拡散反射光の強度は  
入射光の密度に比例する



# 拡散反射の考え方

## ■ 拡散反射光

- 入射光は屈折して物体内に進入し**散乱**と**吸収**を繰り返す
- 吸収されなかった光が**入射点から**再び外部に放射される

## ■ 散乱により指向性を失う

完全拡散反射面

- すべての方向に対して**均等に放射**される
  - 反射光強度は視線の方向に依存しない

## ■ 吸収により物体の色がつく

- 入射光の色成分のうち**吸収されなかつたもの**が放射される

# 散乱と吸収

## ■ 散乱

- 光が光学的な**不連続性**に出会うことで発生する
  - 異なる光学特性を持つ材質の境界面
- 光は向きを変えるだけで光の量は変化しない

## ■ 吸収

- 物質の内部で発生する
- 光が他の種類のエネルギーに**変換**される
  - 光が消失する

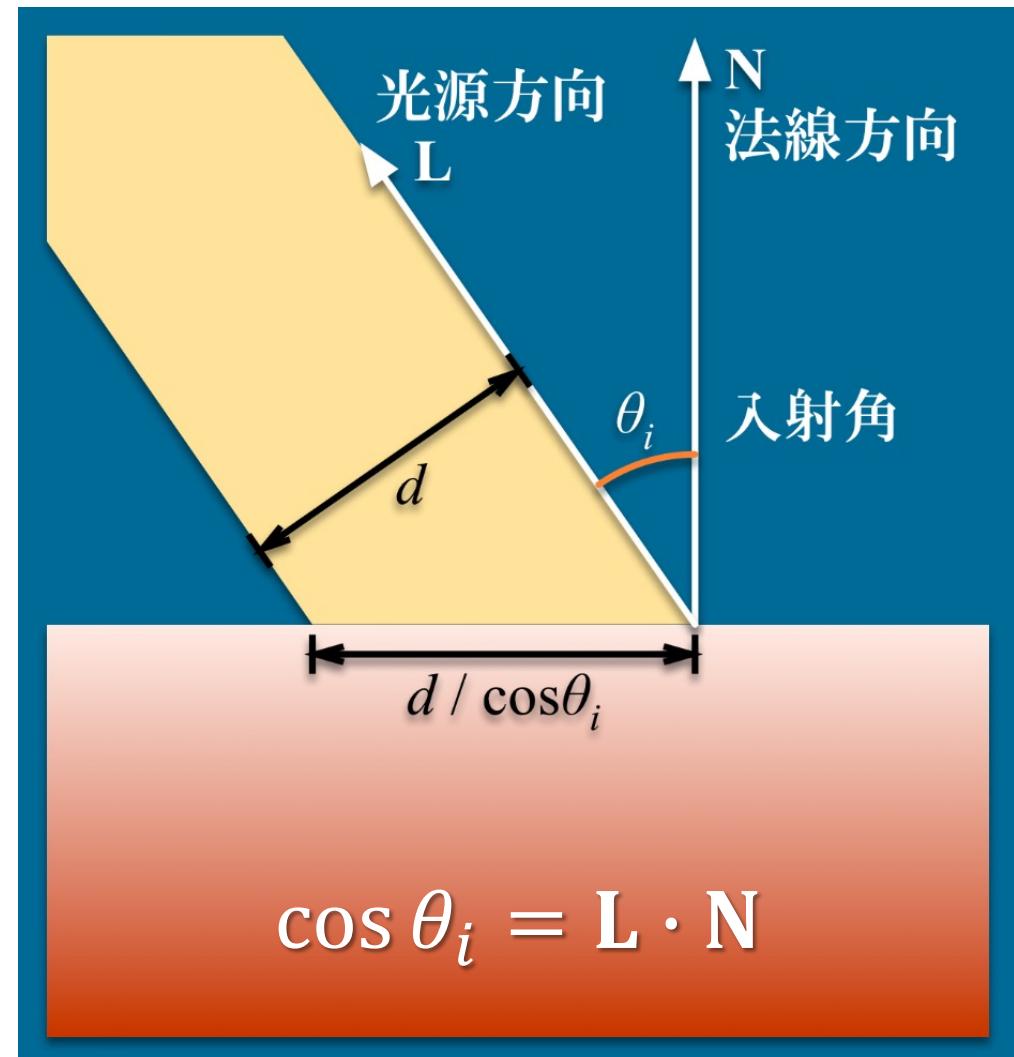
# 入射光の密度

- 照射面の面積は入射光の入射角 $\theta_i$ の余弦 $\cos \theta_i$ の逆数に比例する



- 入射光の密度は入射光の入射 $\theta_i$ の余弦 $\cos \theta_i$ に比例する

Lambert の余弦法則



# 拡散反射光強度

- $I_{diff}$ : 拡散反射光強度
- $K_{diff}$ : 材質の拡散反射係数
- $L_{diff}$ : 光源強度の拡散反射光成分  
 $\otimes$ : 要素ごとの積

$I_{diff}, K_{diff}, L_{diff}$  は  
RGB の三つの要素を持つ

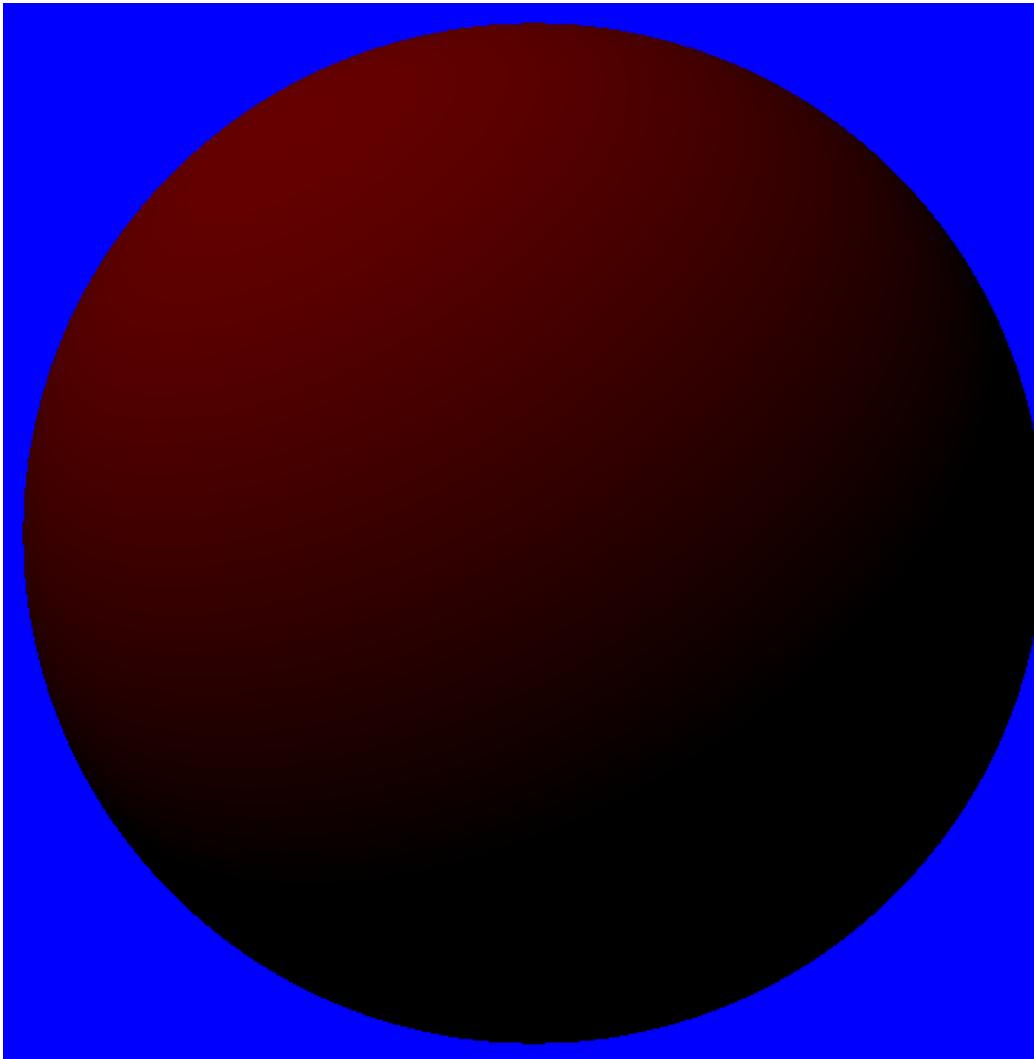
現実の光源にそんな成分はない

$$I_{diff} = \cos \theta_i K_{diff} \otimes L_{diff} = (\mathbf{L} \cdot \mathbf{N}) K_{diff} \otimes L_{diff}$$

$\mathbf{N}$  と  $\mathbf{L}$  のなす角が  $\pi/2$  以上なら拡散反射光強度は 0:

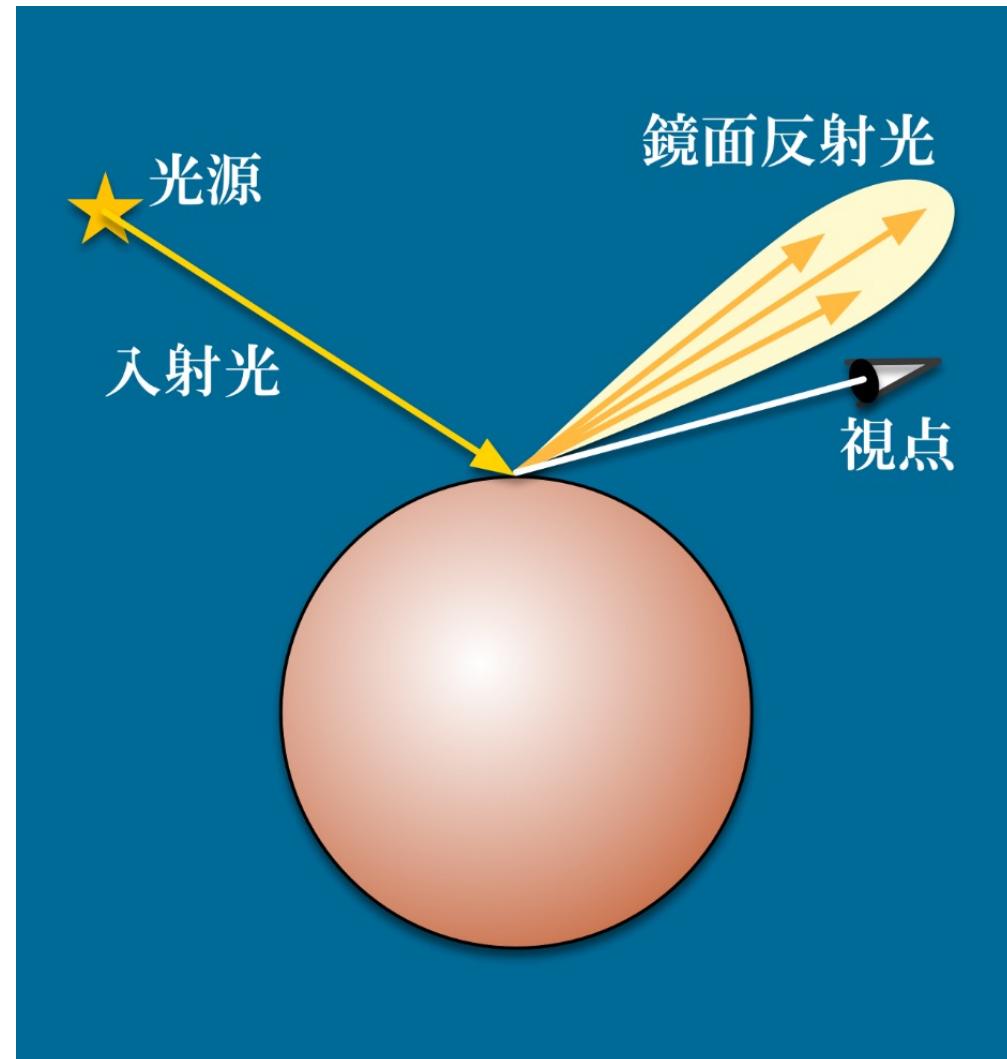
$$I_{diff} = \max(\mathbf{L} \cdot \mathbf{N}, 0) K_{diff} \otimes L_{diff}$$

# 拡散反射光による陰影



# 鏡面反射光 (specular)

- 入射光の正反射光のうち視点方向に到達する成分
  - そう仮定する
    - 光源が点だと大きさがない
- 物体表面での反射
  - 物体内部には進入しない
    - 物体の色は付かない
    - 光源の色を反映する
  - 表面の滑らかさの影響を受ける
- ハイライトを生じる
  - 物体を輝かせて見せる



# 正反射光の方向

光源方向単位ベクトル

$L$

法線方向単位ベクトル

$N$

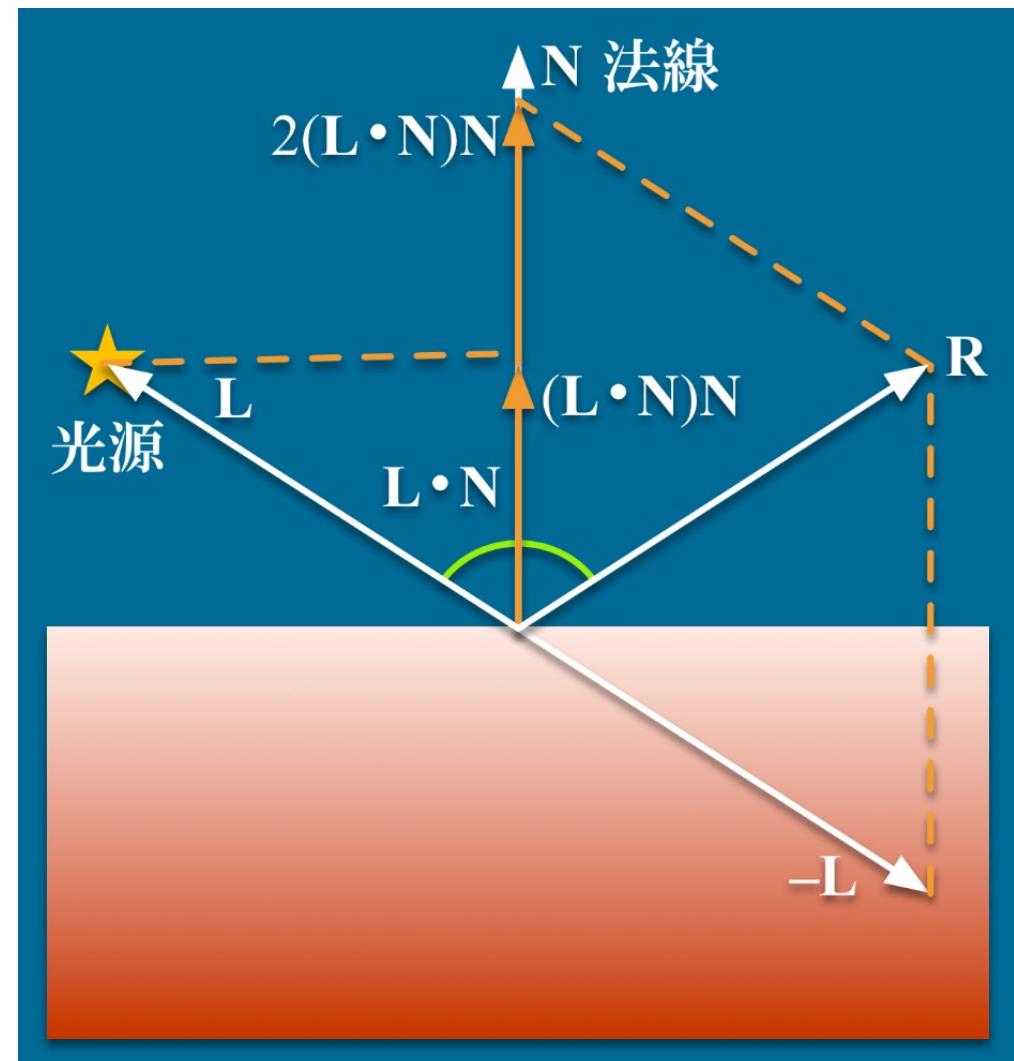
反射方向単位ベクトル

$R$



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

$\cos \theta_i$

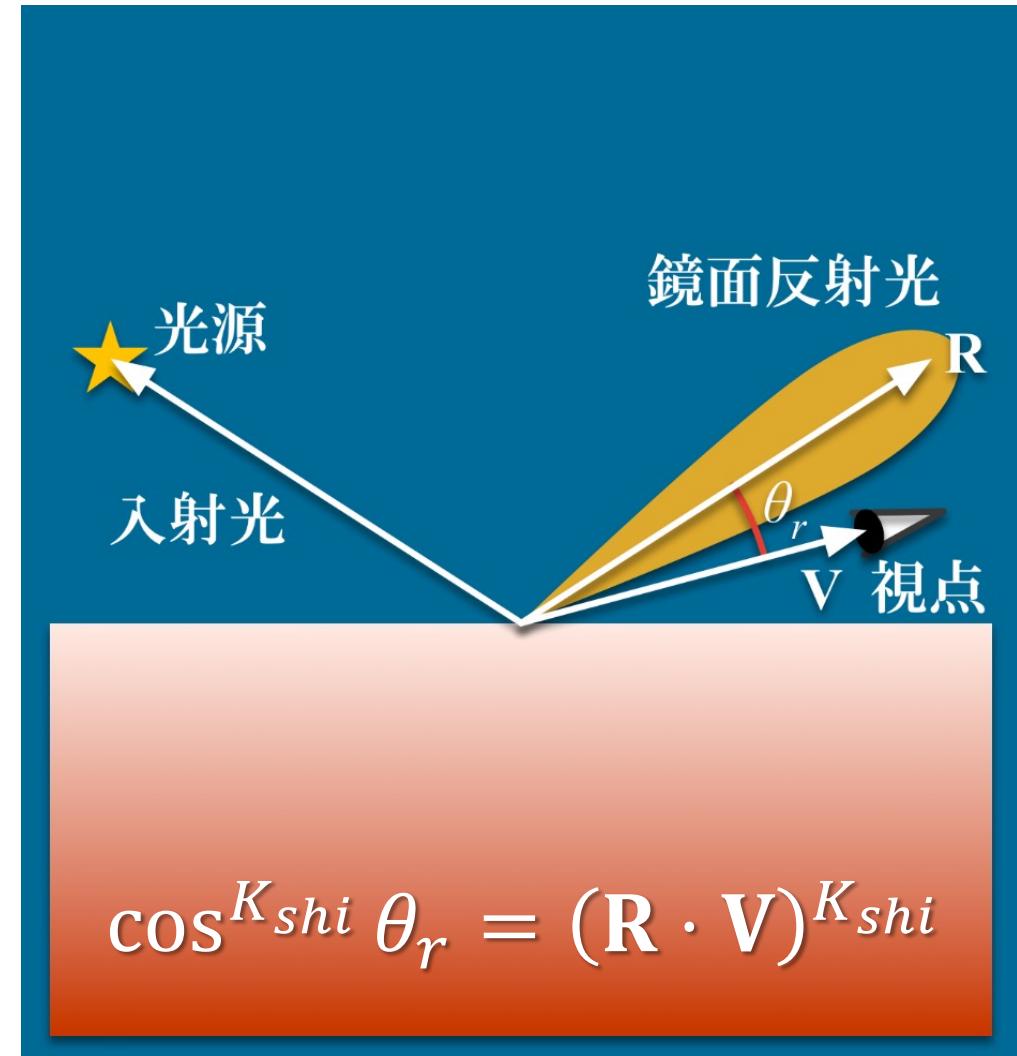


# 鏡面反射光の強度

- 鏡面反射光の強度は入射方向の正反射方向と視点方向のなす角 $\theta_r$ の余弦の $K_{shi}$ 乗 $\cos^{K_{shi}} \theta_r$ に比例する
  - (とする)

$K_{shi}$ : 輝き係数 (shininess)

Phong のモデル



# 鏡面反射光強度 (Phong のモデル)

- $I_{spec}$ : 鏡面反射光強度
- $K_{spec}$ : 材質の鏡面反射係数
- $K_{shi}$ : 輝き係数
- $L_{spec}$ : 光源強度の鏡面反射光成分

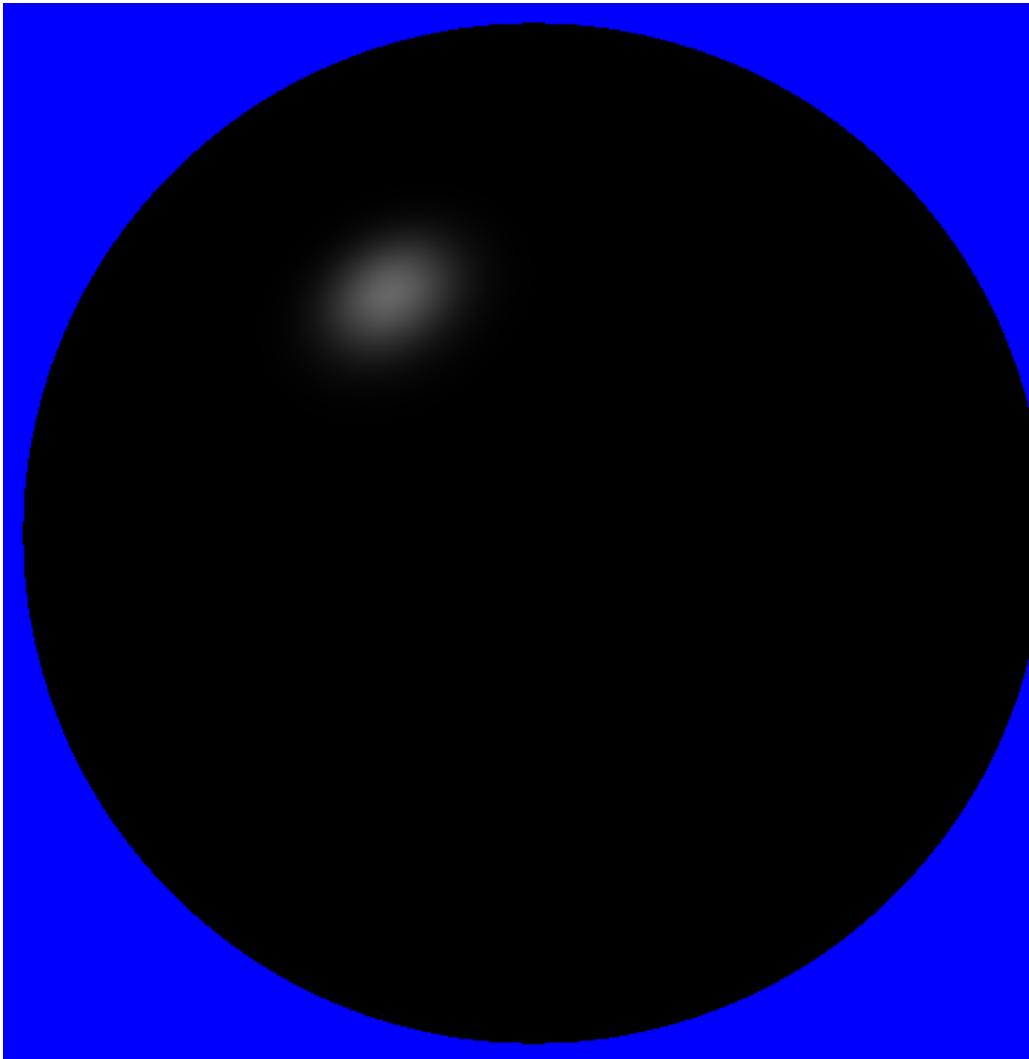
$\otimes$ : 要素ごとの積

$$I_{spec} = \cos^{K_{shi}} \theta_r K_{spec} \otimes L_{spec} = (\mathbf{R} \cdot \mathbf{V})^{K_{shi}} K_{spec} \otimes L_{spec}$$

$\mathbf{R}$  と  $\mathbf{V}$  のなす角が  $\pi/2$  以上なら拡散反射光強度は 0:

$$I_{spec} = \max(\mathbf{R} \cdot \mathbf{V}, 0)^{K_{shi}} K_{spec} \otimes L_{spec}$$

# 鏡面反射光による陰影 (Phong)

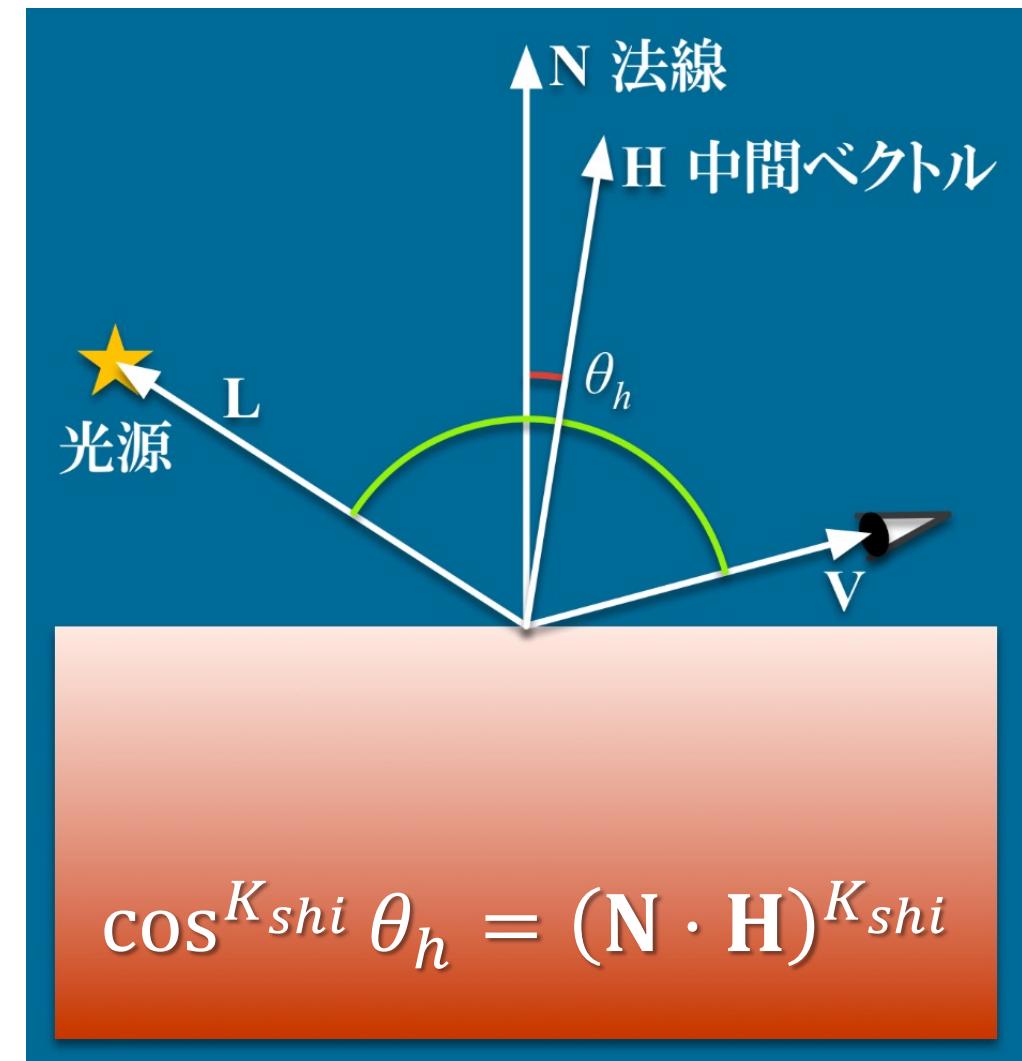


# 中間ベクトルを用いる方法

- 鏡面反射光の強度は入射方向と視点方向の中間と法線のなす角 $\theta_h$ の余弦の $K_{shi}$ 乗 $\cos^{K_{shi}} \theta_h$ に比例する
  - (とする)

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{L} + \mathbf{V}}{|\mathbf{L} + \mathbf{V}|}$$

Blinn-Phong のモデル



# 鏡面反射光強度 (Blinn のモデル)

- $I_{spec}$ : 鏡面反射光強度
- $K_{spec}$ : 材質の鏡面反射係数
- $K_{shi}$ : 輝き係数
- $L_{spec}$ : 光源強度の鏡面反射光成分

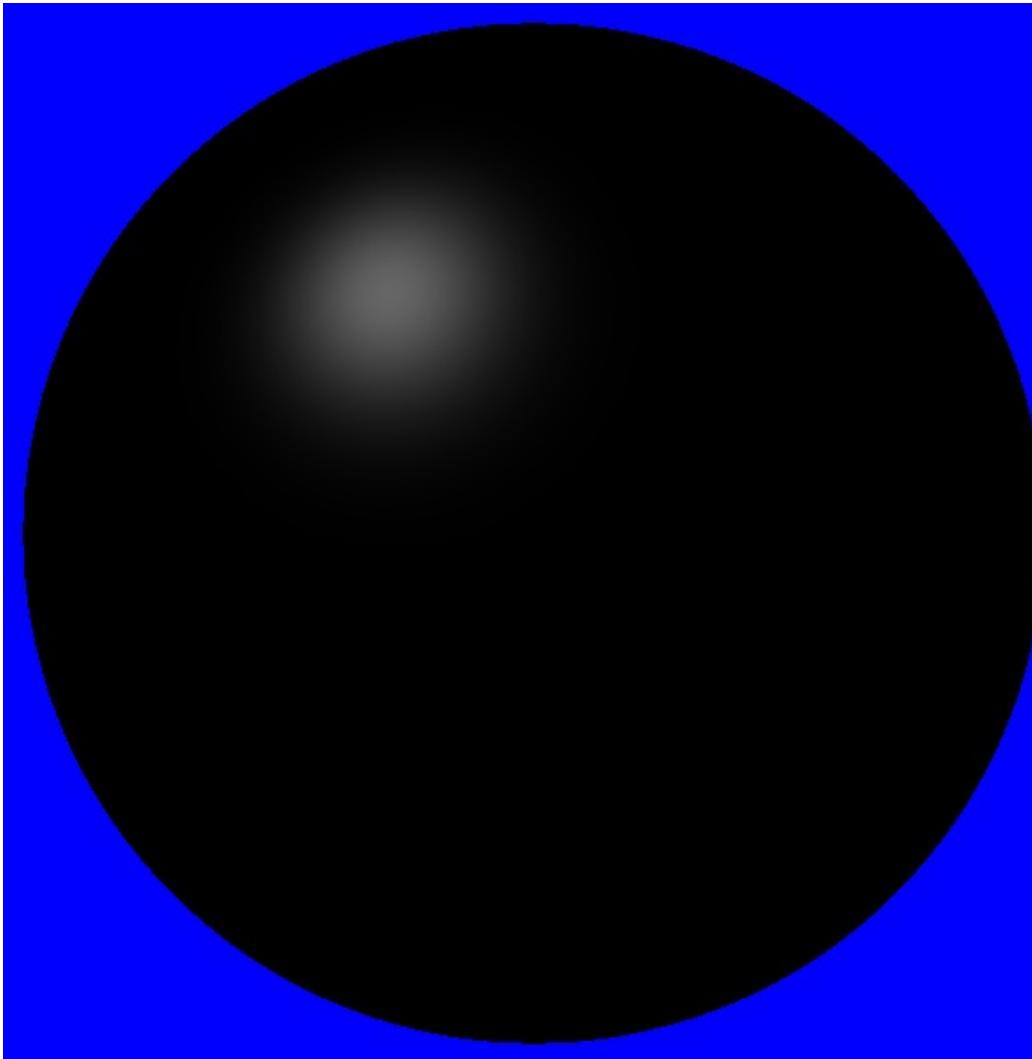
$\otimes$ : 要素ごとの積

$$I_{spec} = \cos^{K_{shi}} \theta_h K_{spec} \otimes L_{spec} = (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H})^{K_{shi}} K_{spec} \otimes L_{spec}$$

$\mathbf{N}$  と  $\mathbf{H}$  のなす角が  $\pi/2$  以上なら拡散反射光強度は 0:

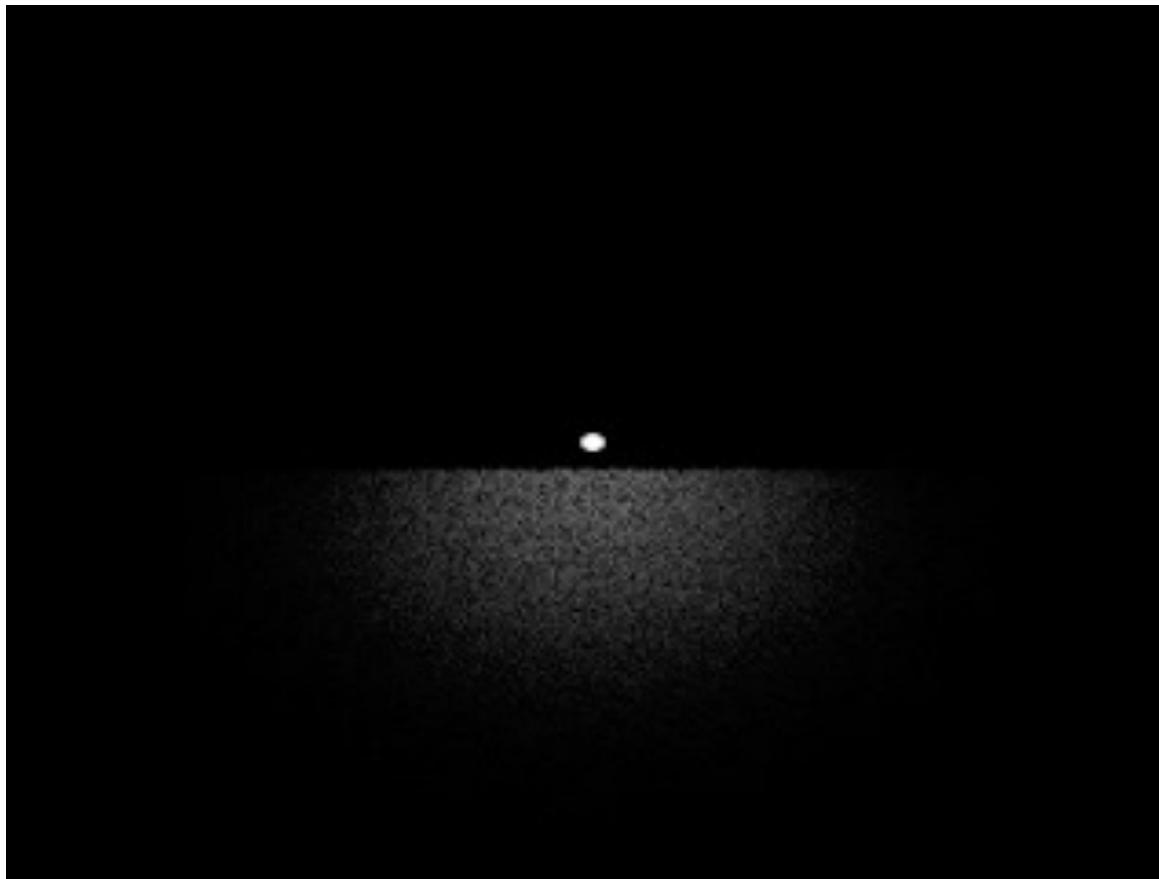
$$I_{spec} = \max(\mathbf{N} \cdot \mathbf{H}, 0)^{K_{shi}} K_{spec} \otimes L_{spec}$$

# 鏡面反射光による陰影 (Blinn)



# ハイライトの形状について

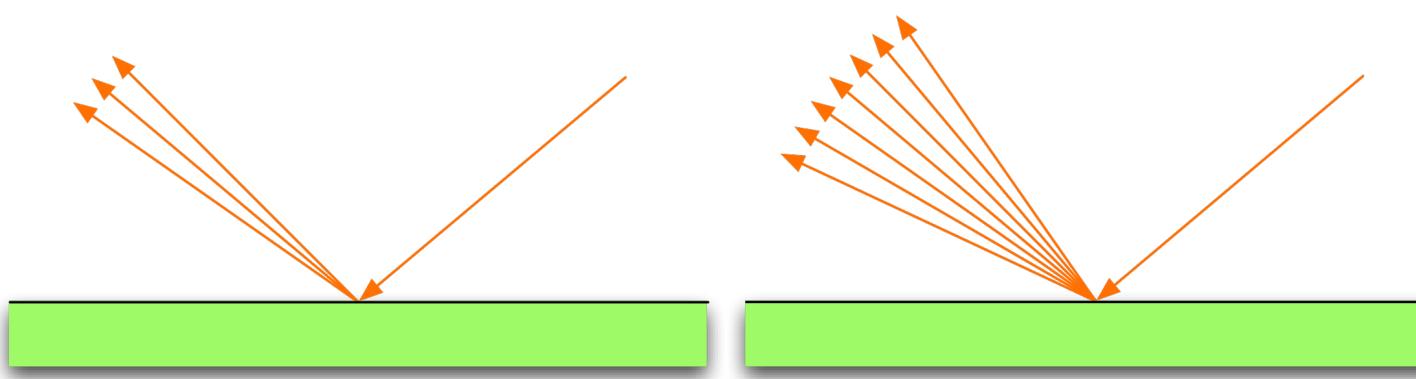
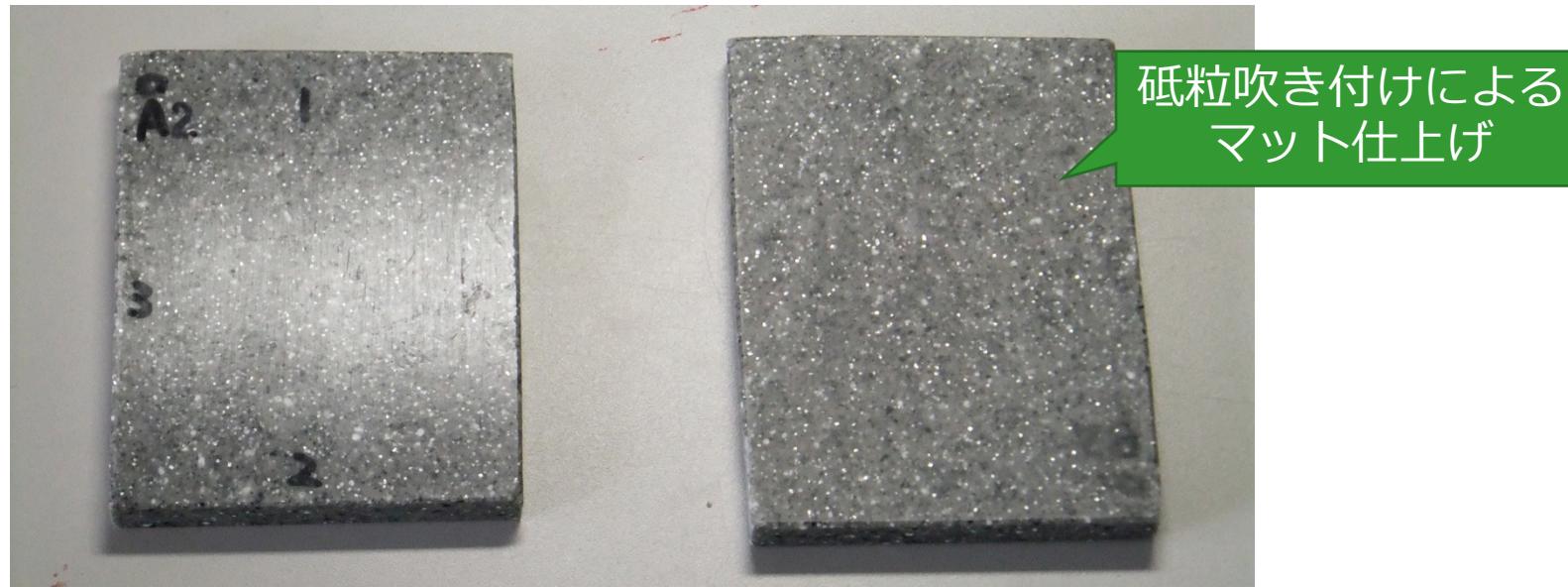
Phong



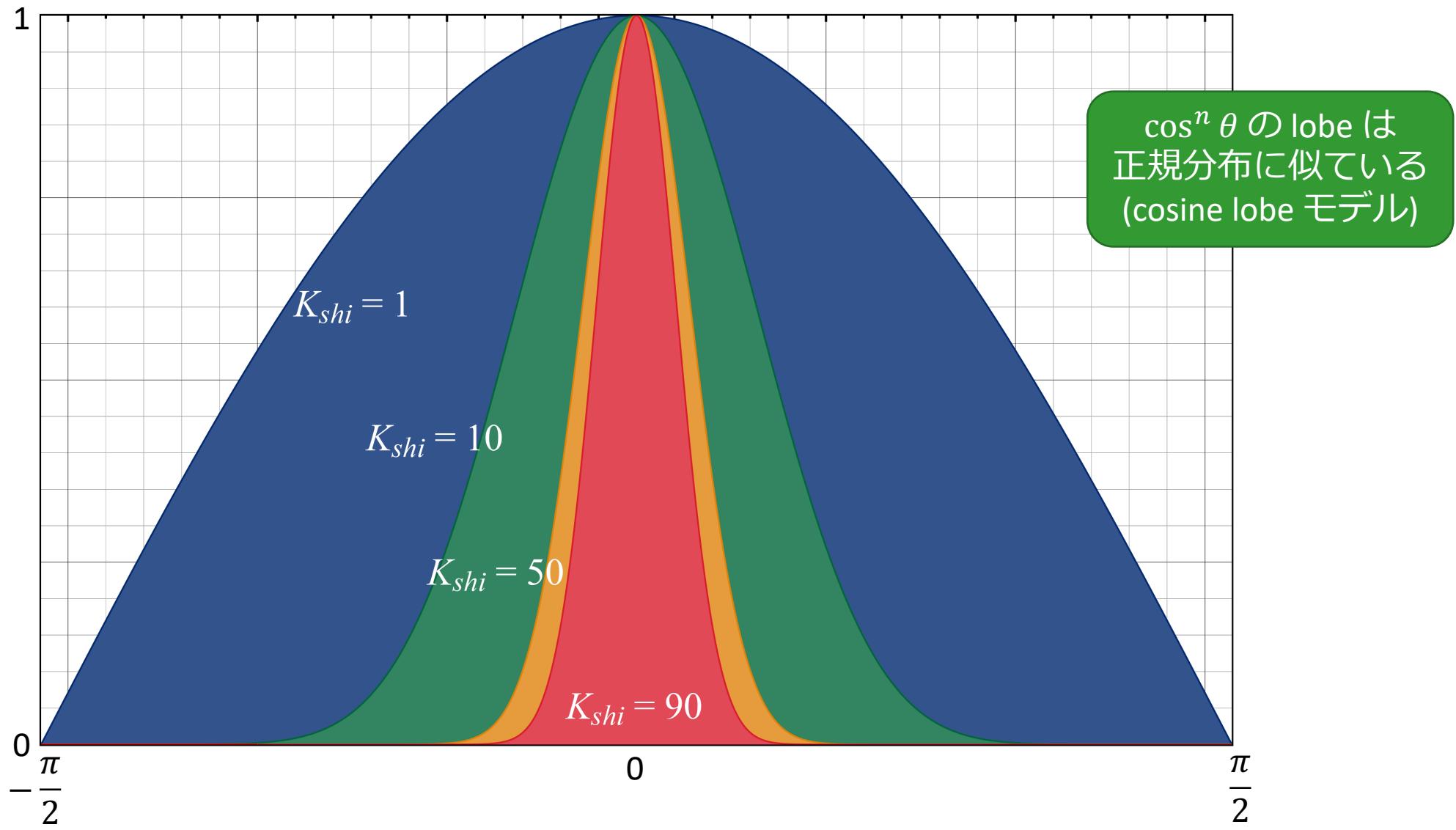
■ Blinn (BRDF)



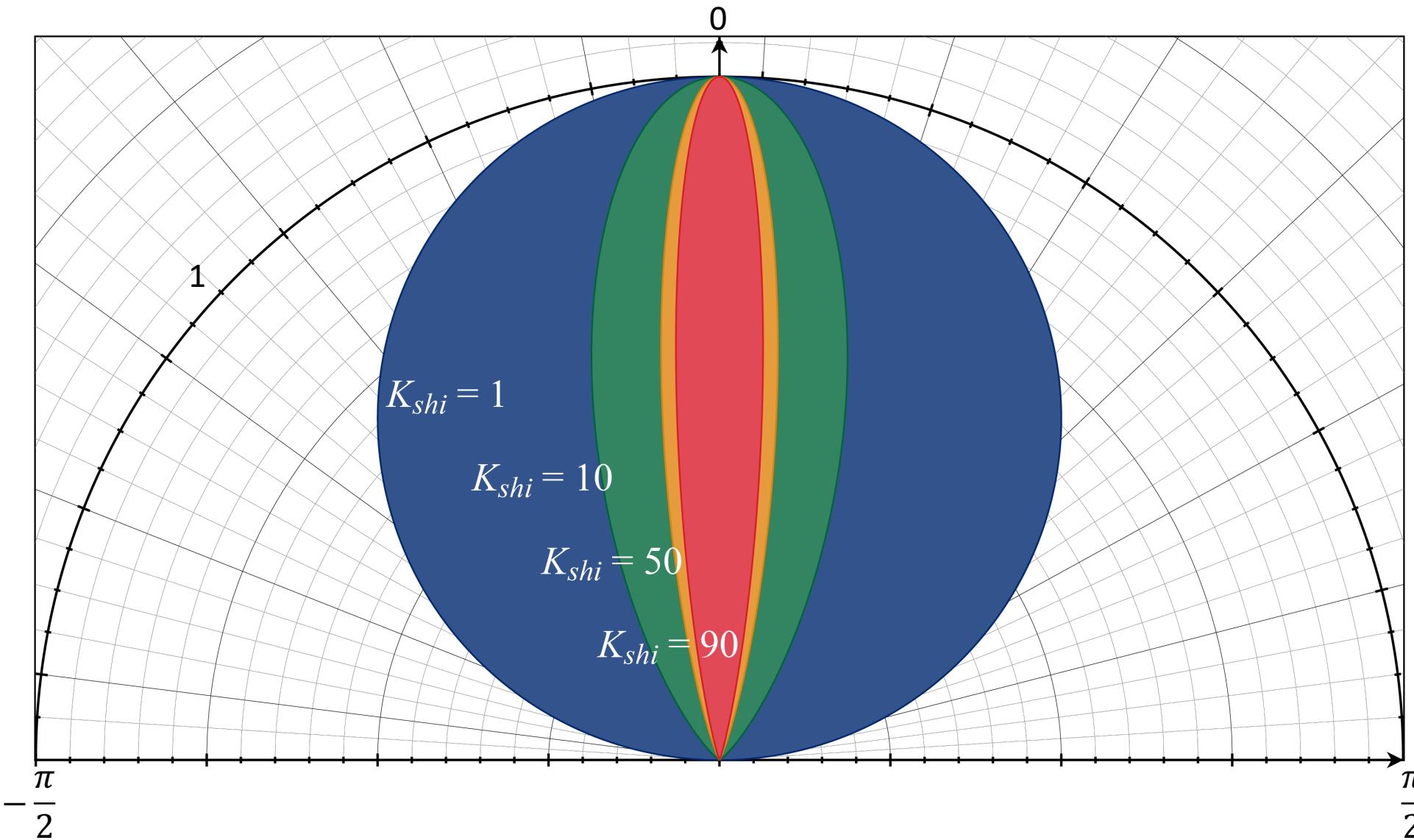
# 面の滑らかさ



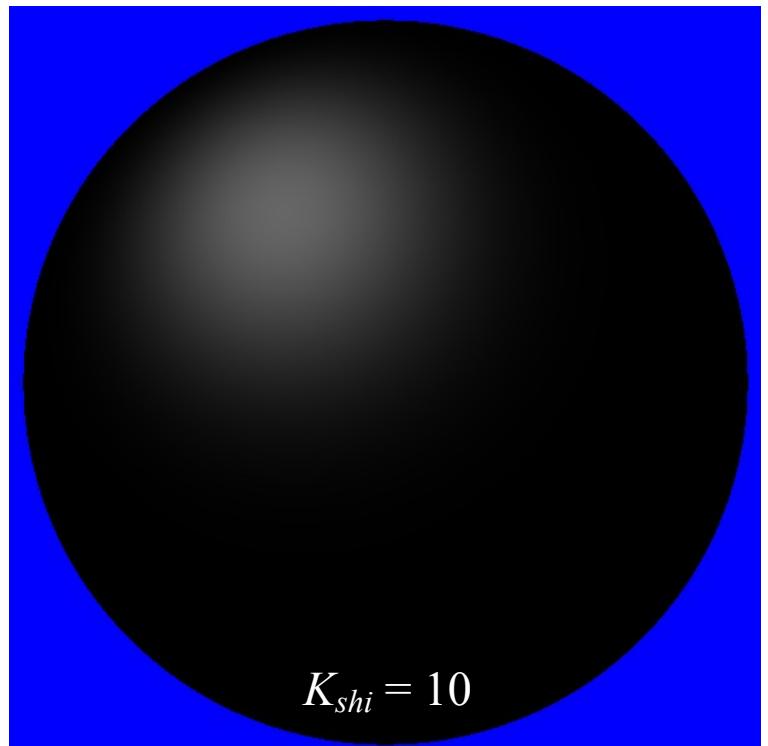
# 輝き係数



# 輝き係数（極座標表示）

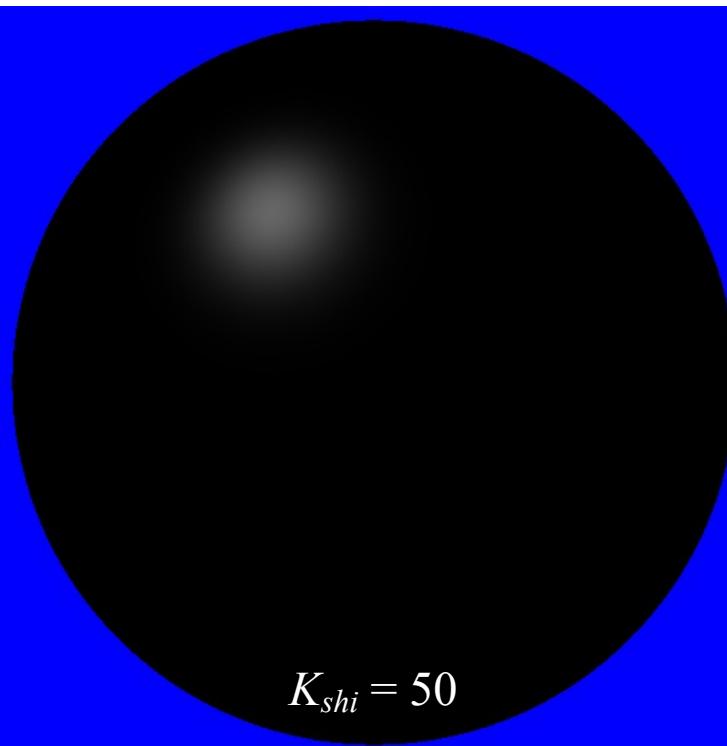


# 輝き係数によるハイライトの制御



小

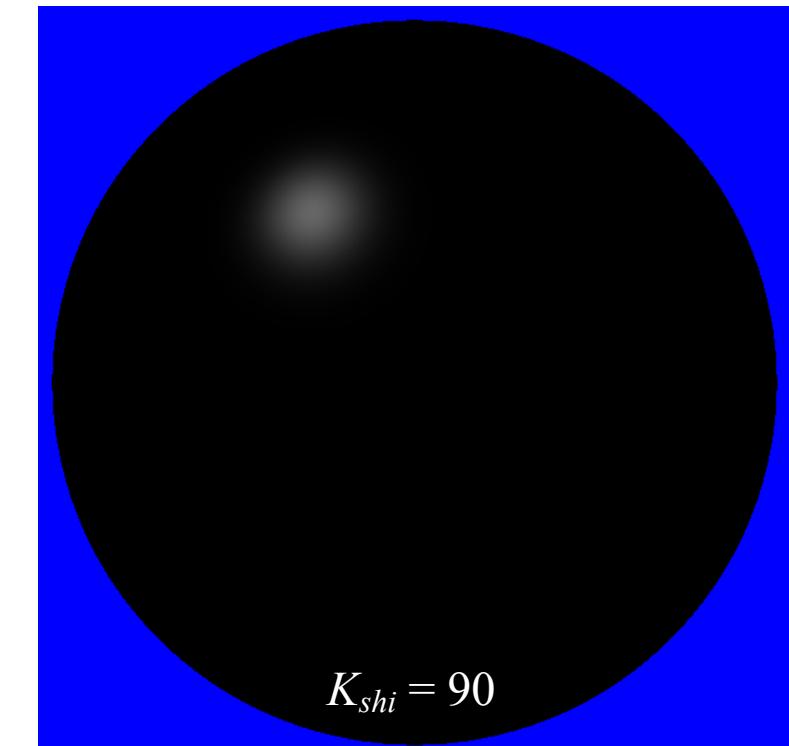
←  $K_{shi}$  →



$K_{shi} = 50$

$K_{shi} = 90$

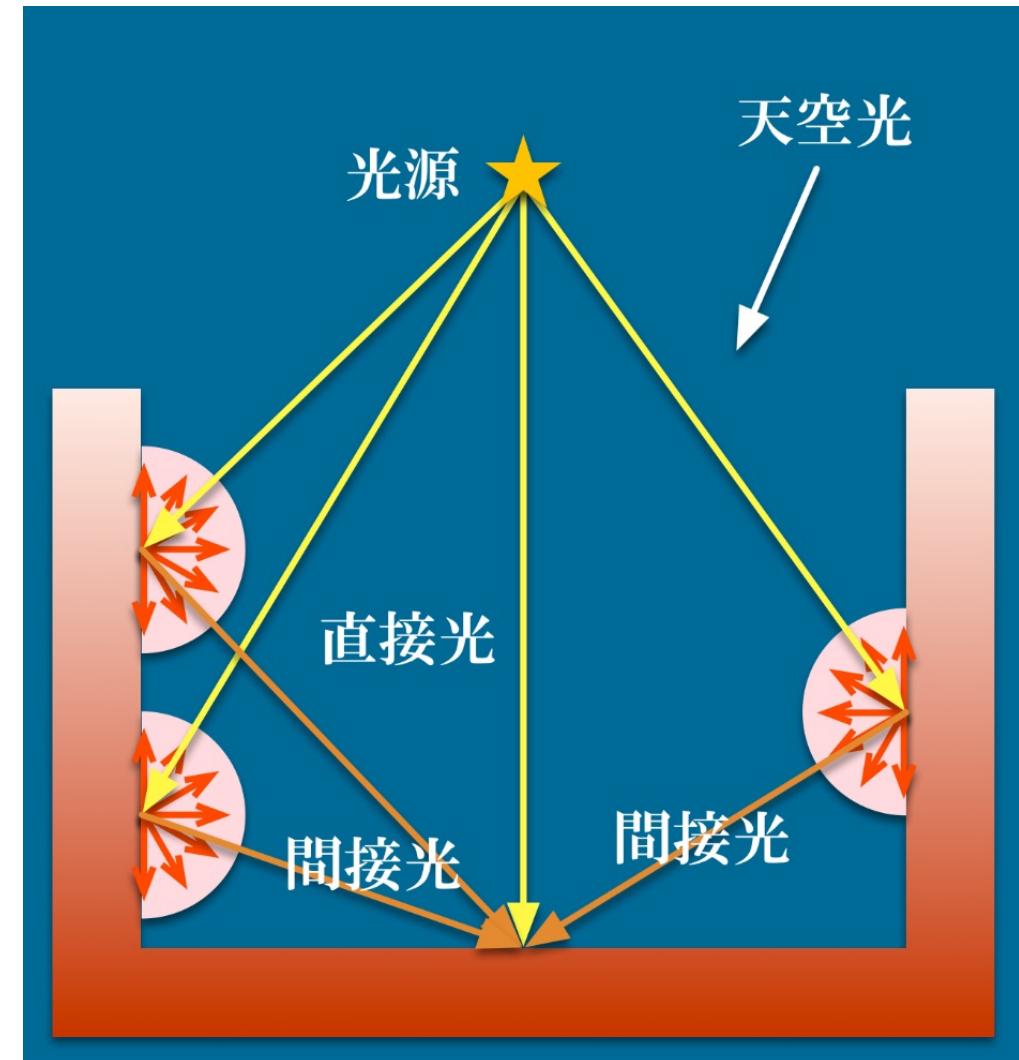
大



# 環境光 (ambient)

- 物体表面には直接光のほかに間接光も届く
- 間接光の経路は複雑
  - 放射された反射光が再び元の面に到達する場合もある
  - 正確に求めようとすると時間がかかる
- 間接光の反射光強度は入射光や視線の方向によらず一定とみなす

環境光

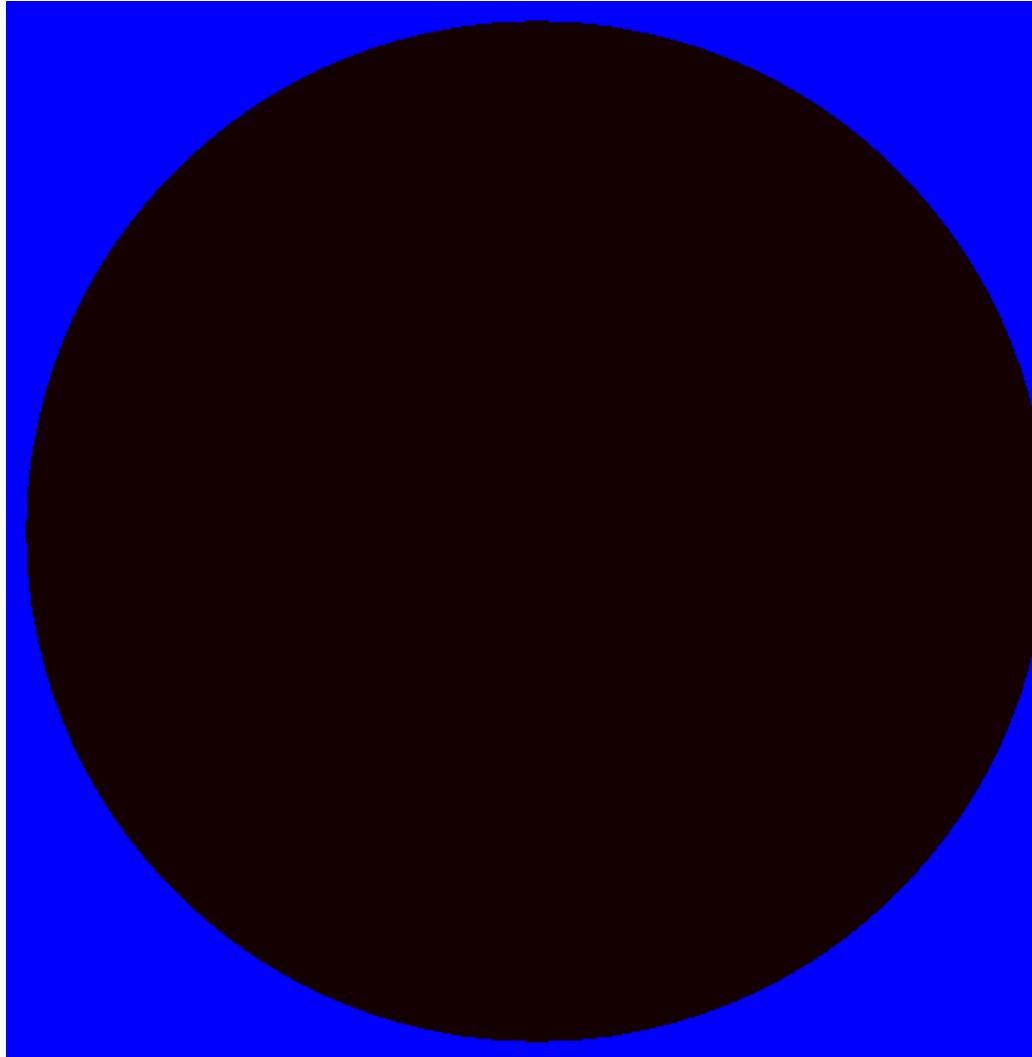


# 環境光の反射光強度

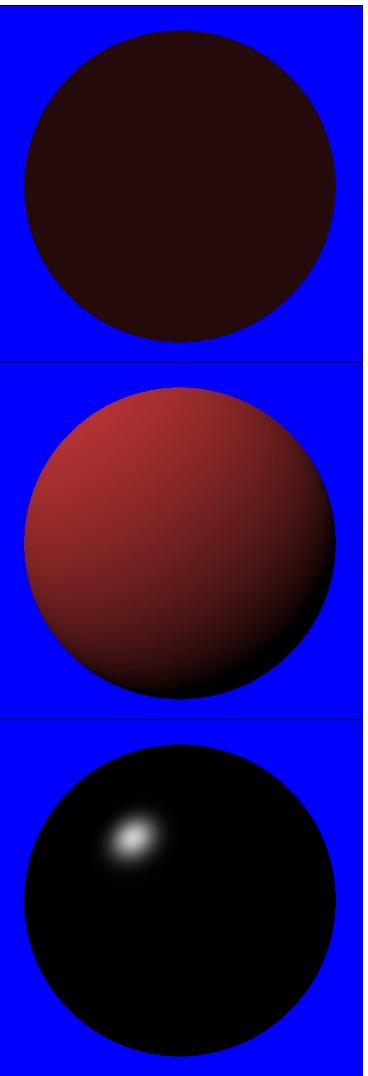
- $I_{amb}$ : 環境光の反射光強度
- $K_{amb}$ : 材質の環境光に対する反射係数
- $L_{amb}$ : 光源の環境光強度

$$I_{amb} = K_{amb} \otimes L_{amb}$$

# 環境光成分による陰影



# 照明方程式



環境光成分

$$I_{amb}$$

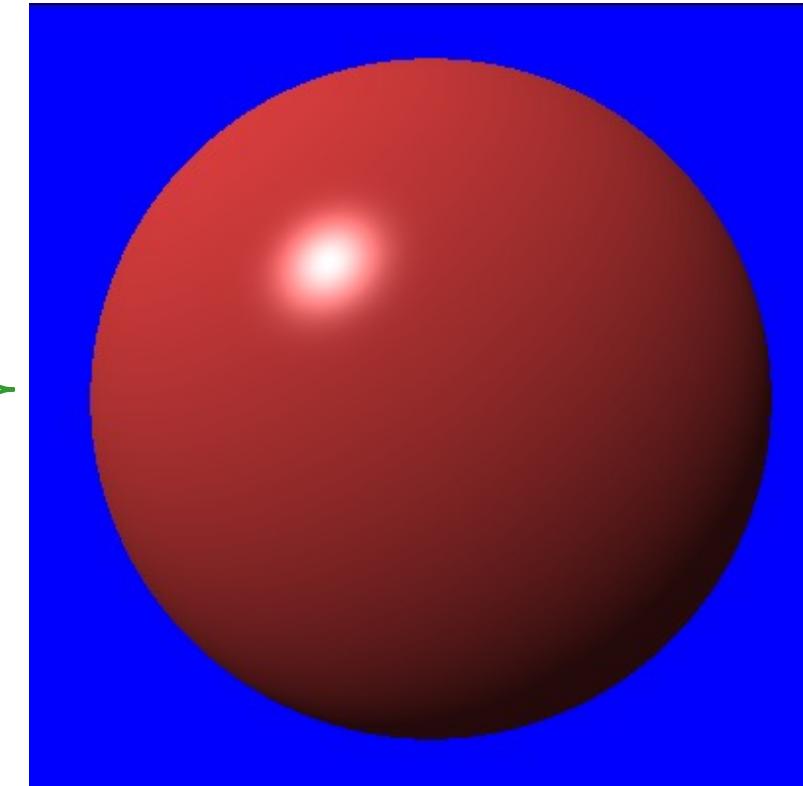
拡散反射光成分

$$I_{diff}$$

鏡面反射光成分

$$I_{spec}$$

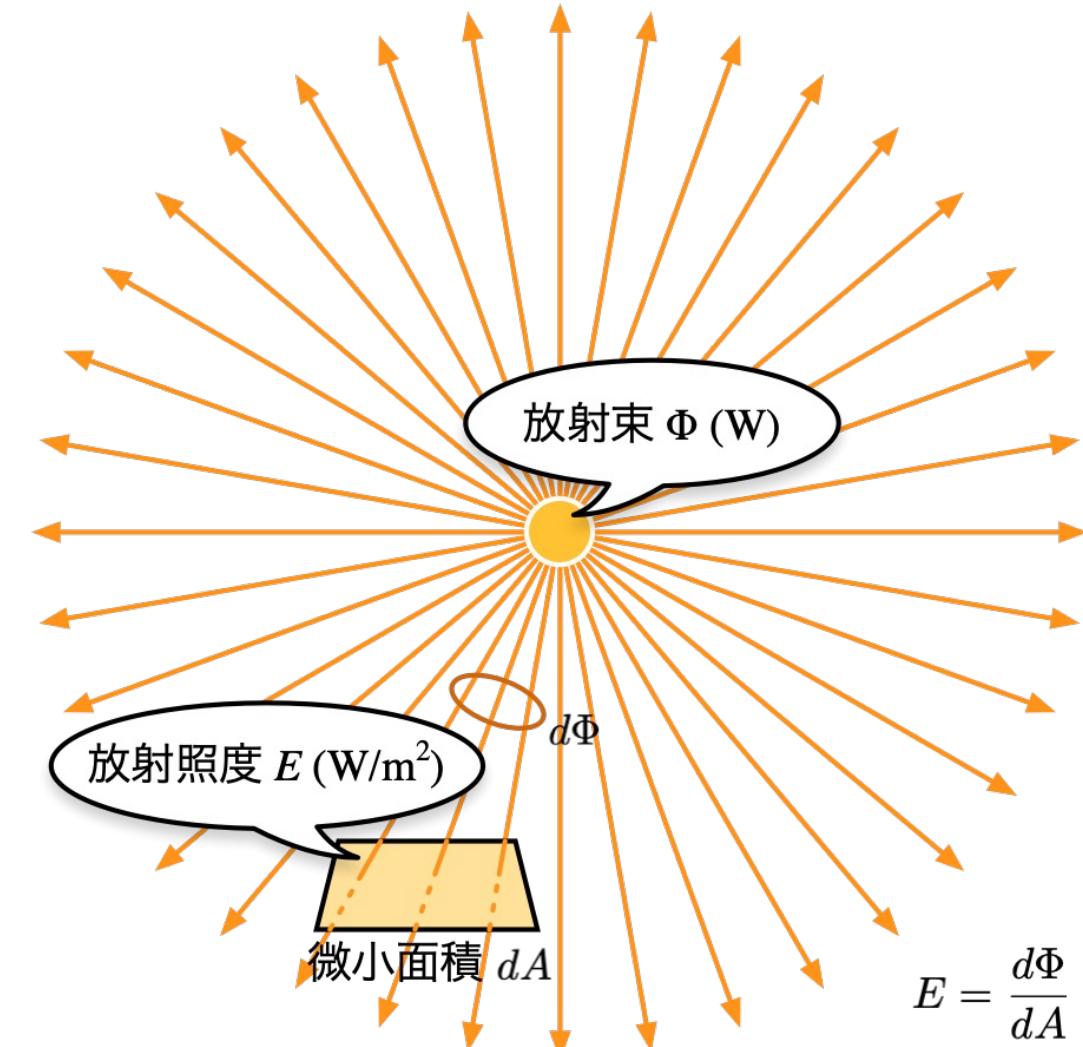
$$I_{tot} = I_{amb} + I_{diff} + I_{spec}$$



# 物理ベースシェーディング

# 放射照度 (Irradiance)

- 微小面積  $dA$  と直交する単位面積あたりの光のエネルギー
  - $d\Phi$  :  $dA$  を通過する放射束
  - 単位  $\text{W/m}^2$

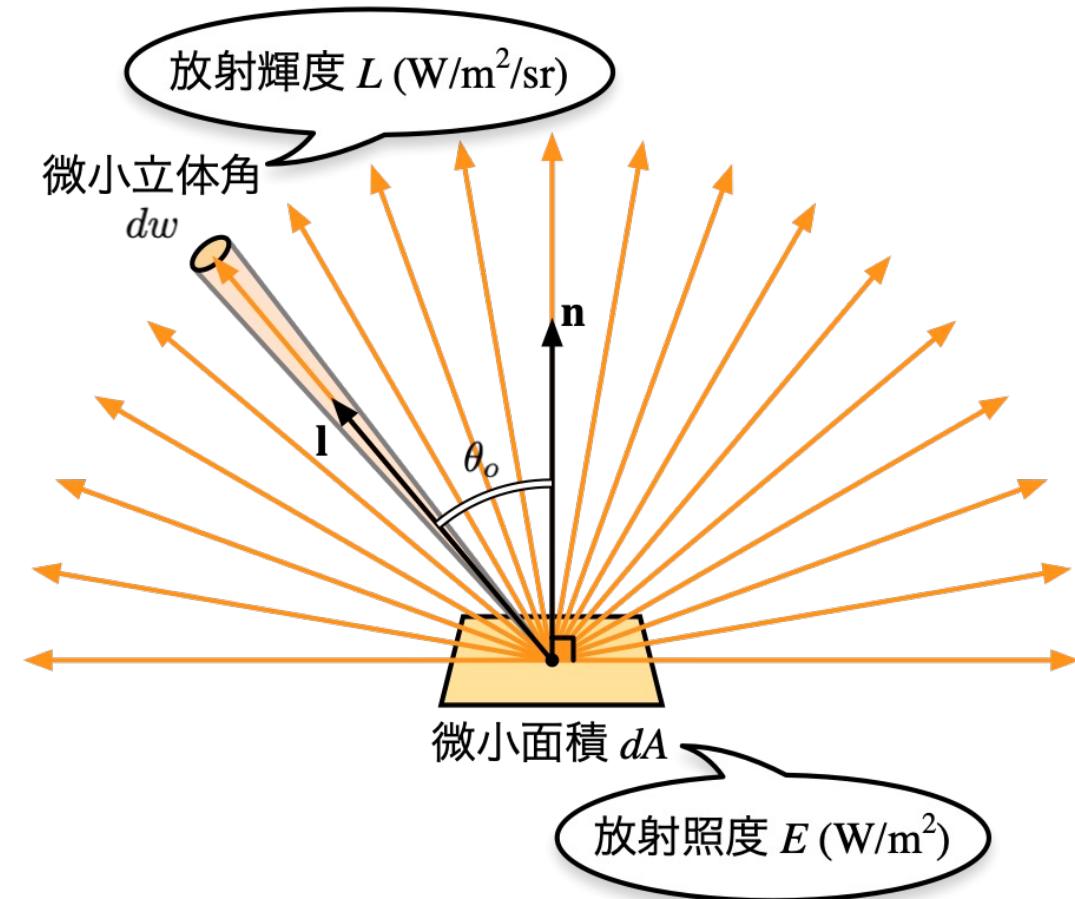


# 放射輝度 (Radiance)

- ある点からある方向に放射されるエネルギー
- 単位  $\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}$ 
  - sr : ステラジアン (立体角)
  - 単位面積あたりから発散する光の単位立体角あたりの光のエネルギー

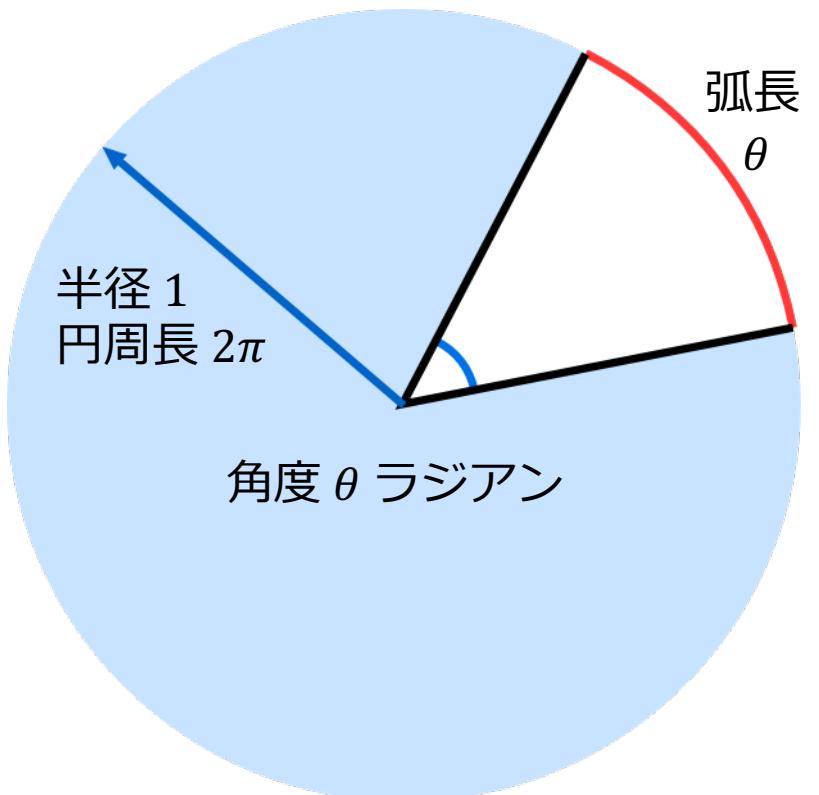


レンダリングとは放射輝度を実際の画像系と同様に計測（計算）すること

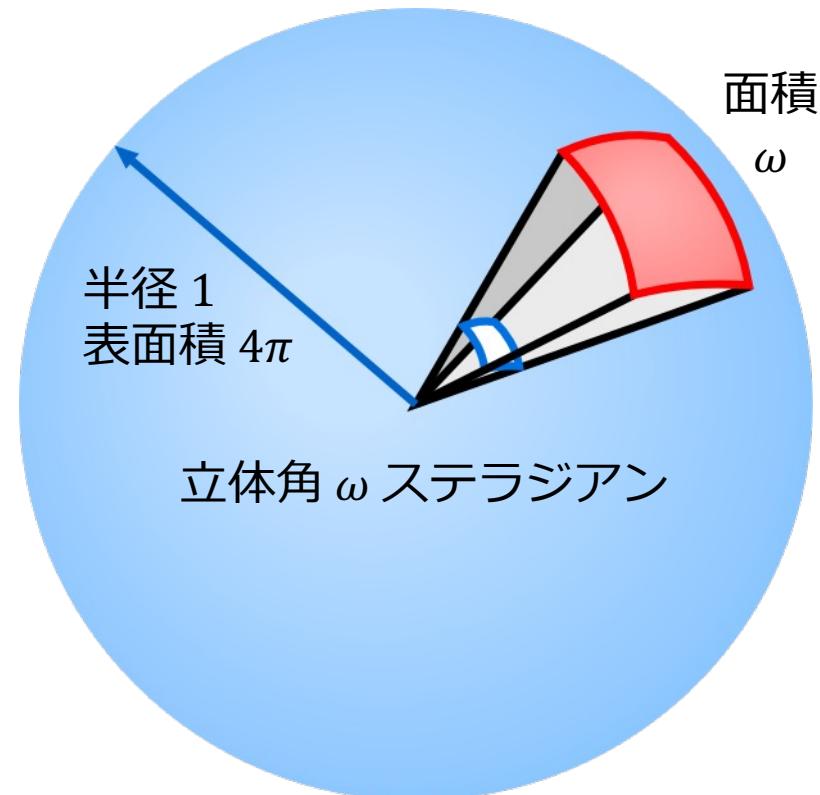


# 円周角と立体角

円周角 (radian)



立体角 (steradian)

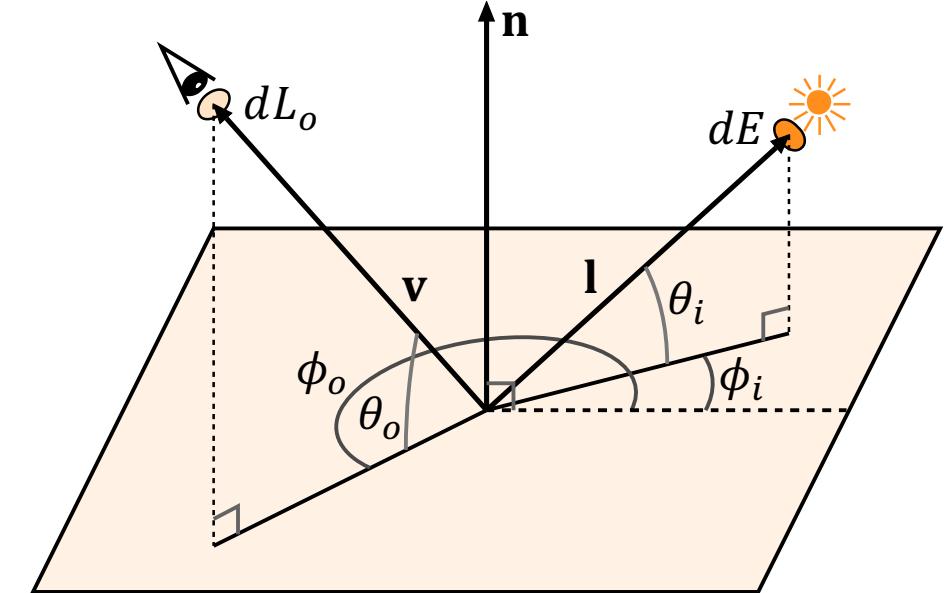


# BRDF

- Bidirectional Reflectance Distribution Function
  - 双方向反射率分布関数
- $\mathbf{l}$  方向の微小立体角から入射する光の放射照度  $dE$  に対する  $\mathbf{v}$  方向の微小立体角への反射光の放射輝度が  $dL_o$  の割合

$$f(\mathbf{l}, \mathbf{v}) = \frac{dL_o(\mathbf{v})}{dE(\mathbf{l})}$$

$$f(\theta_i, \phi_i, \theta_o, \phi_o) = \frac{dL_o(\theta_o, \phi_o)}{dE(\theta_i, \phi_i)}$$



# BRDF の性質

- 光の入射方向と放射方向はそれぞれ 2 つの自由度を持つ
  - 入射方向 : 方位角  $\phi_i$  仰角  $\theta_i$ 、 放射方向 : 方位角  $\phi_o$  仰角  $\theta_o$
  - したがって BRDF は 4 变数 の関数 (入射位置を含めれば 6 变数)
- 光の入射方向と反射方向を入れ替えても成立する
  - $f(\mathbf{l}, \mathbf{v}) = f(\mathbf{v}, \mathbf{l})$
  - ヘルムホルツの相反性 (Helmholtz reciprocity)
- エネルギー保存の法則
  - 放射されるエネルギーは入射エネルギーを超えない

# BRDF と二色性反射モデル

## ■ BRDF の拡散反射成分

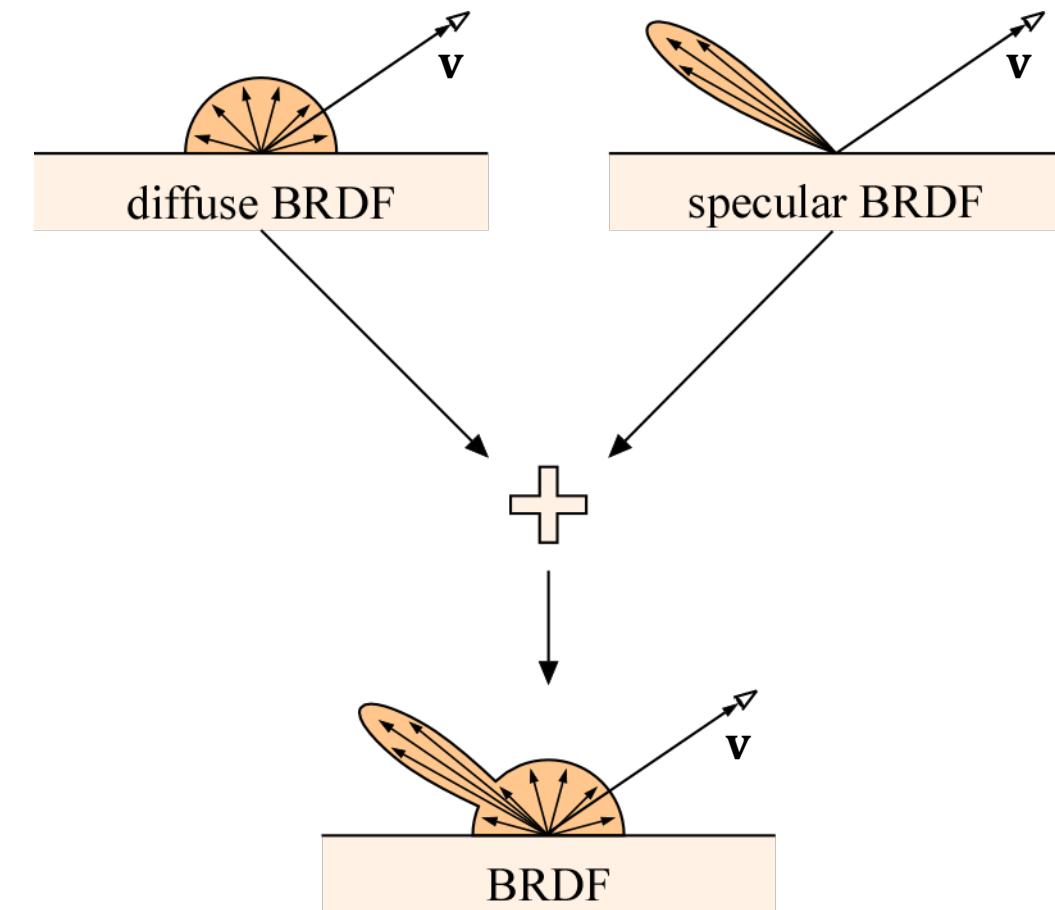
$$f_d(\mathbf{l}, \mathbf{v})$$

## ■ BRDF の鏡面反射成分

$$f_s(\mathbf{l}, \mathbf{v})$$

## ■ BRDF はこれらの和

$$f(\mathbf{l}, \mathbf{v}) = f_d(\mathbf{l}, \mathbf{v}) + f_s(\mathbf{l}, \mathbf{v})$$

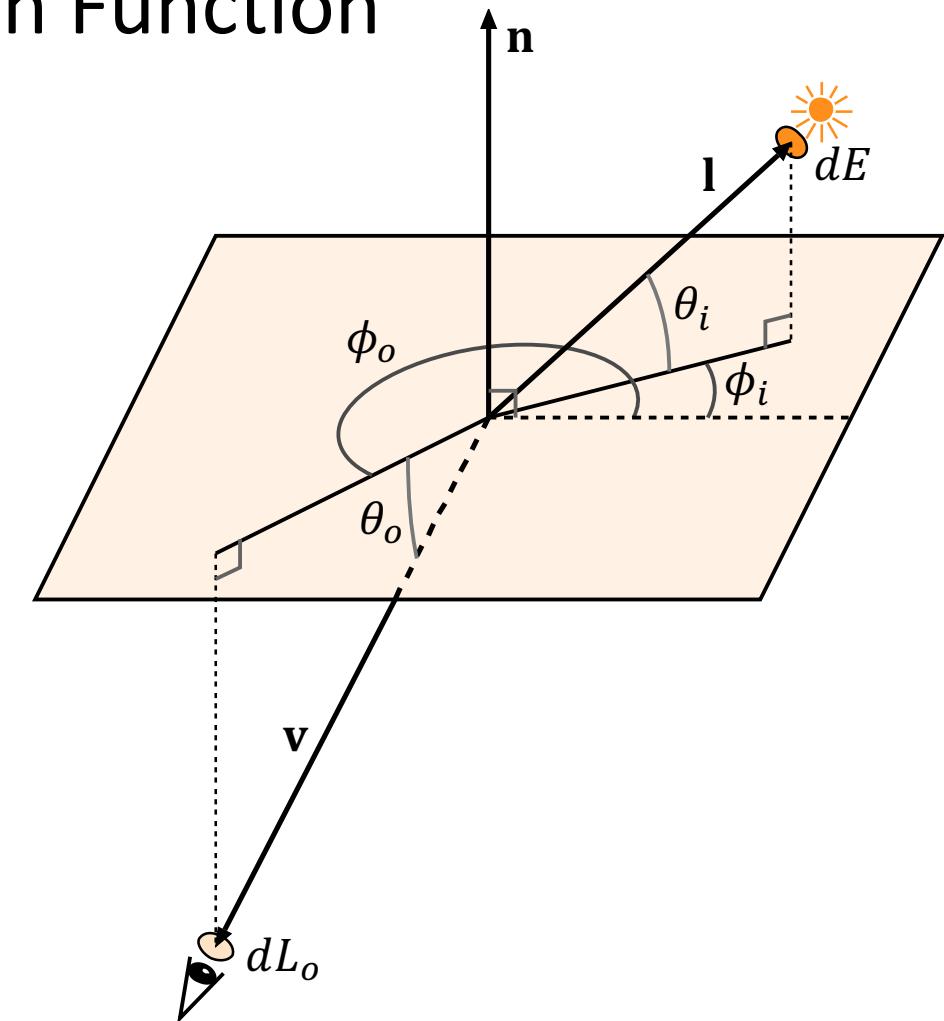


# BTDF

- Bidirectional Transmittance Distribution Function
  - 双方向透過率分布関数
- $\mathbf{l}$  方向の微小立体角から入射する光の放射照度  $dE$  に対する  $\mathbf{v}$  方向の微小立体角への反射光の放射輝度が  $dL_o$  の割合

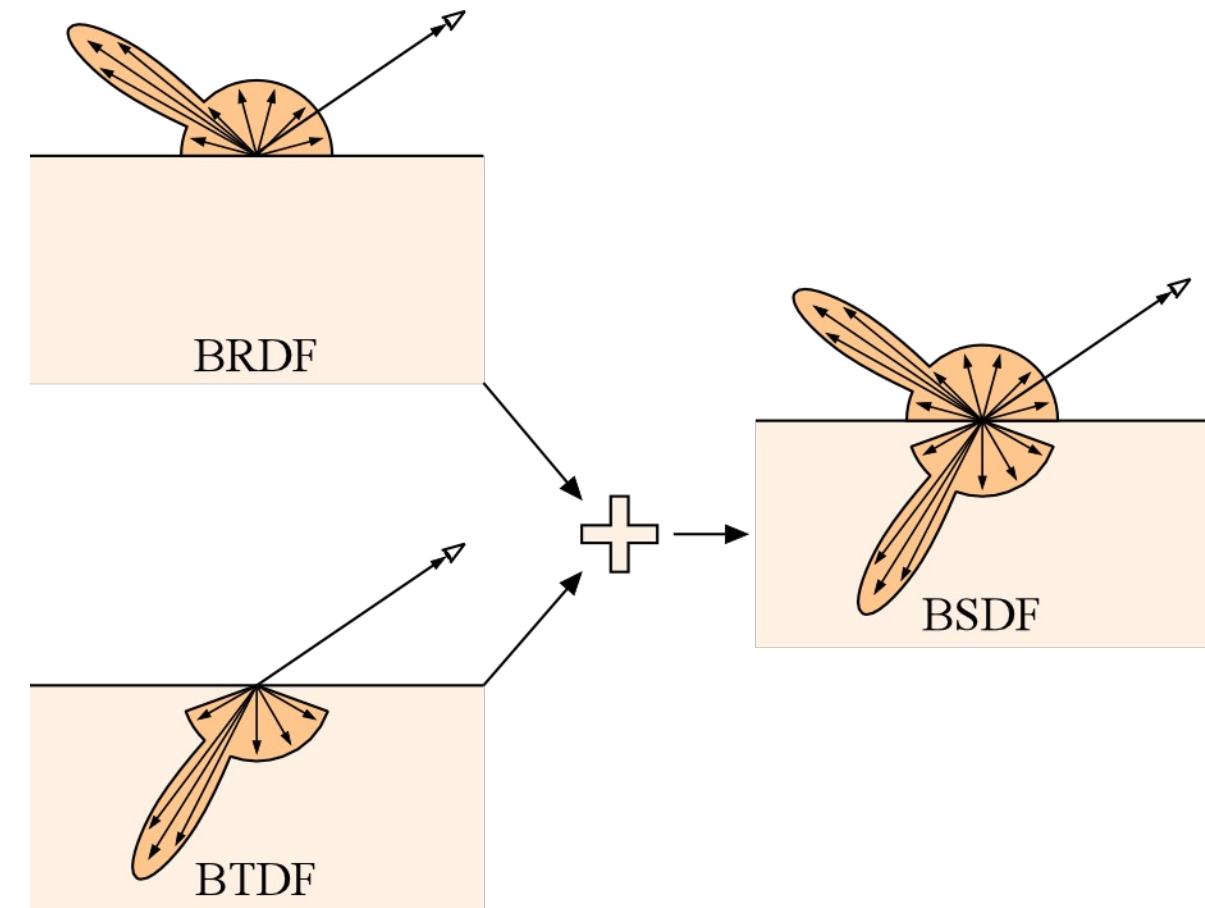
$$f(\mathbf{l}, \mathbf{v}) = \frac{dL_o(\mathbf{v})}{dE(\mathbf{l})}$$

$$f(\theta_i, \phi_i, \theta_o, \phi_o) = \frac{dL_o(\theta_o, \phi_o)}{dE(\theta_i, \phi_i)}$$

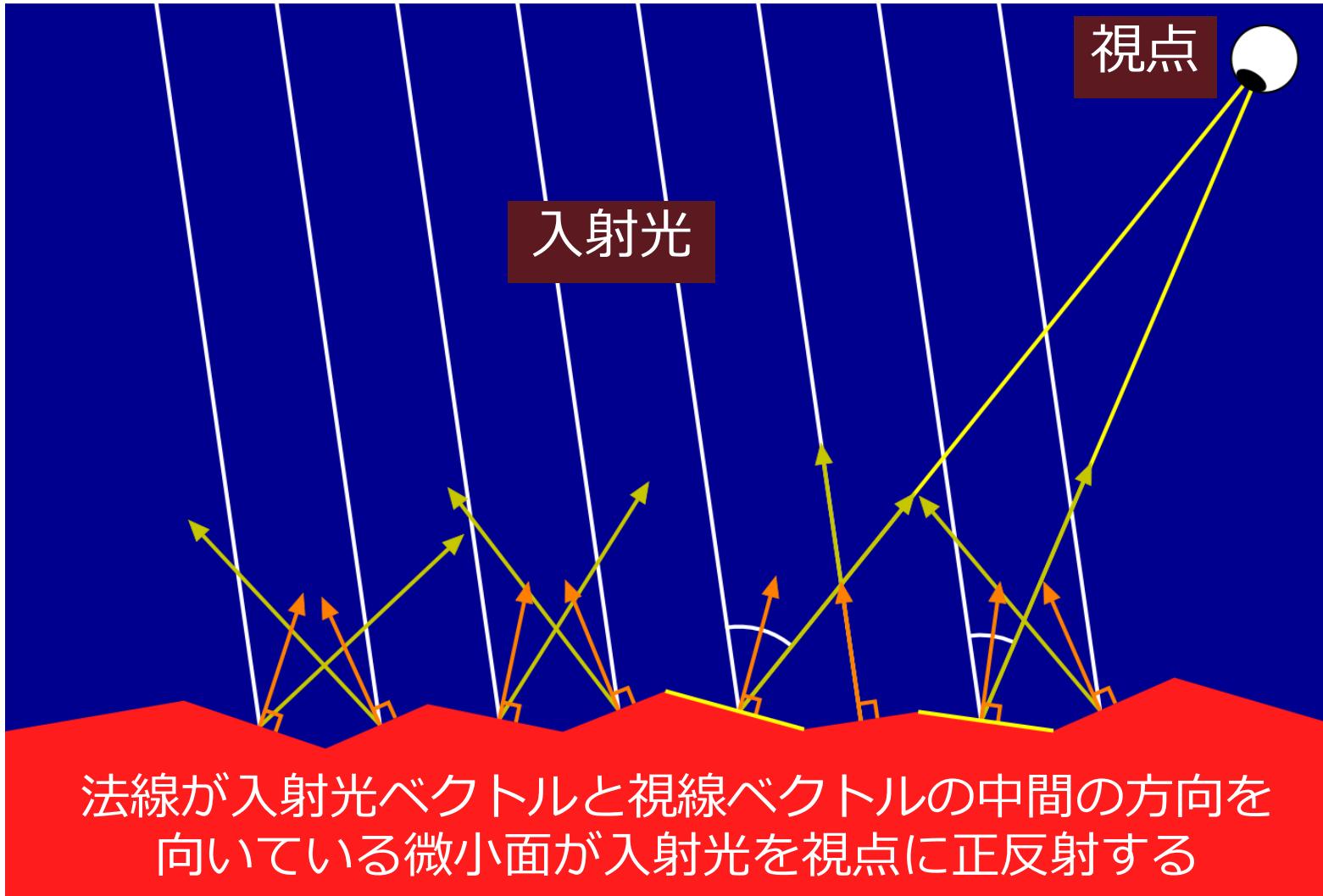


# BSDF

- Bidirectional Scattering Distribution Function
  - 双方向散乱分布関数
- BRDF
  - 物体外部から物体表面に当たる光の反射率
- BTDF
  - 物体内部から物体表面に当たる光の透過率
- BSDF
  - BRDF と BTDF を合わせたもの

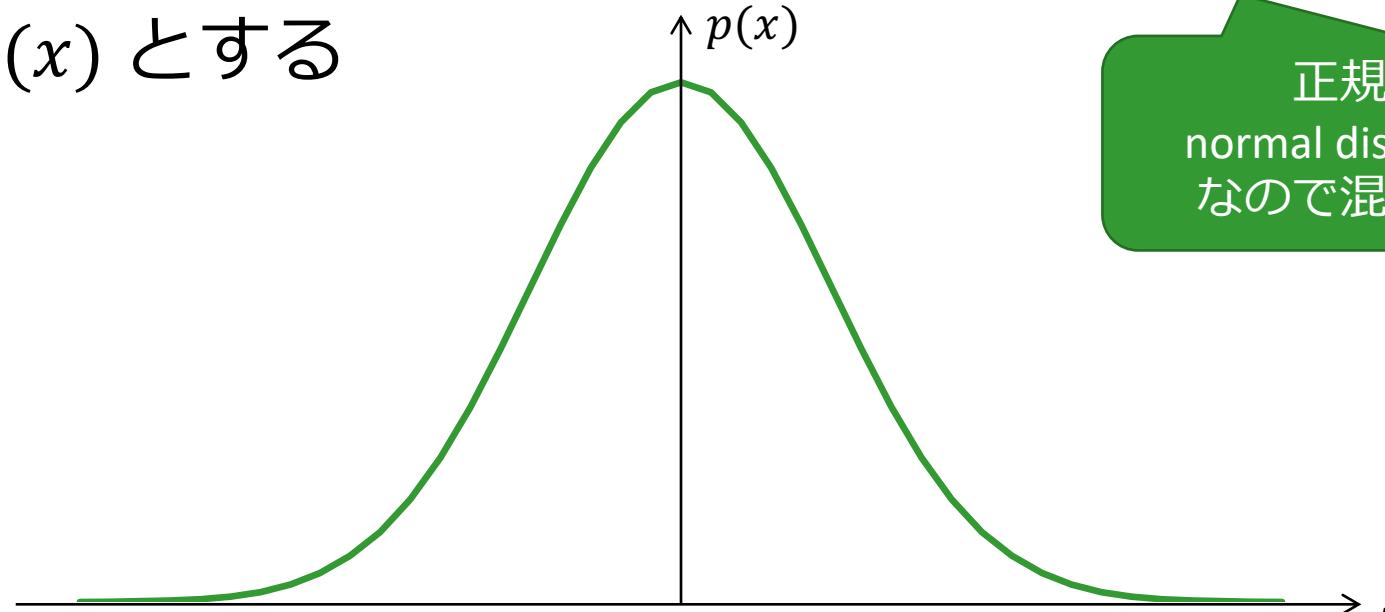


# 微小面モデル



# 表面の粗さの微小面によるモデル化

- 表面の微小形状を微小面の集合として扱う
  - 微小面は平坦なフレネル反射する鏡であるとする
  - 表面特性は微小面の法線の分布で決まる
- **法線分布関数** (normal distribution function, NDF) という
  - これを  $p(x)$  とする



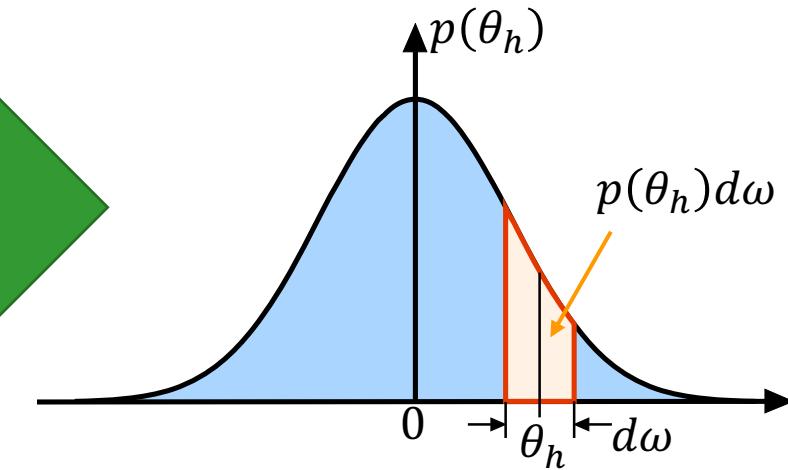
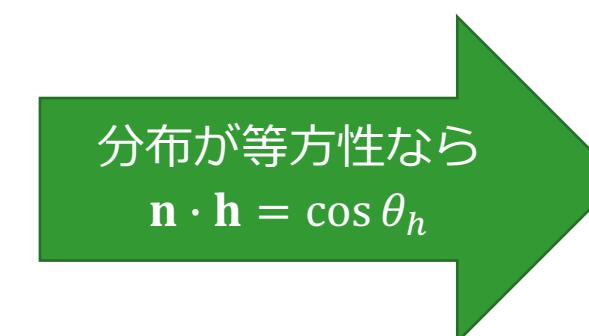
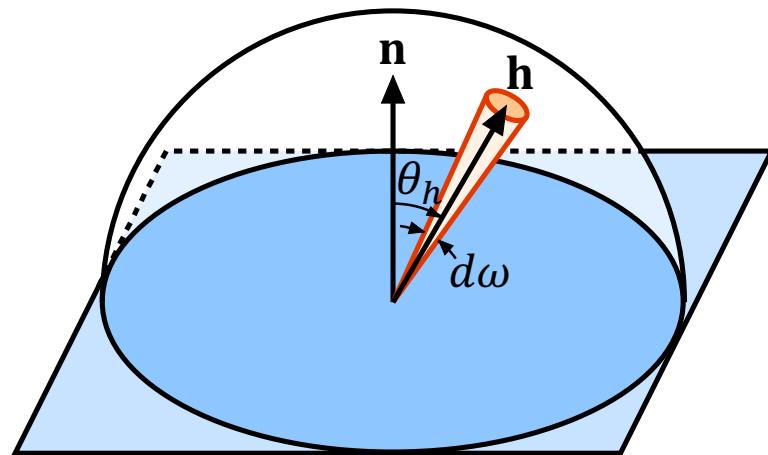
正規分布関数も  
normal distribution function  
なので混同しないように

# 微小面の法線が特定方向に向く確率

- 微小面の法線ベクトルが視線と光線の中間ベクトル  $\mathbf{h}$  方向の立体角  $d\omega$  の範囲を向いている**確率**

$$p(\mathbf{h})d\omega$$

- $\mathbf{n}$  はこの微小面が乗っている土台の面の法線ベクトル



# 法線分布関数 (Normal Distribution Function)

## ■ Blinn-Phong モデル

$$p(\theta_h) = \frac{m+2}{2\pi} \cos^m \theta_h$$

余弦のべき乗

## ■ Torrance-Sparrow モデル

$$p(\theta_h) = b e^{-c^2 \theta_h^2}$$

正規分布

## ■ Cook-Torrance モデル

$$p(\theta_h) = \frac{1}{4m^2 \cos^4 \theta_h} e^{-\frac{\tan^2 \theta_h}{m^2}} = \frac{1}{4m^2 \cos^4 \theta_h} e^{\frac{\cos^2 \theta_h - 1}{m^2 \cos^2 \theta_h}}$$

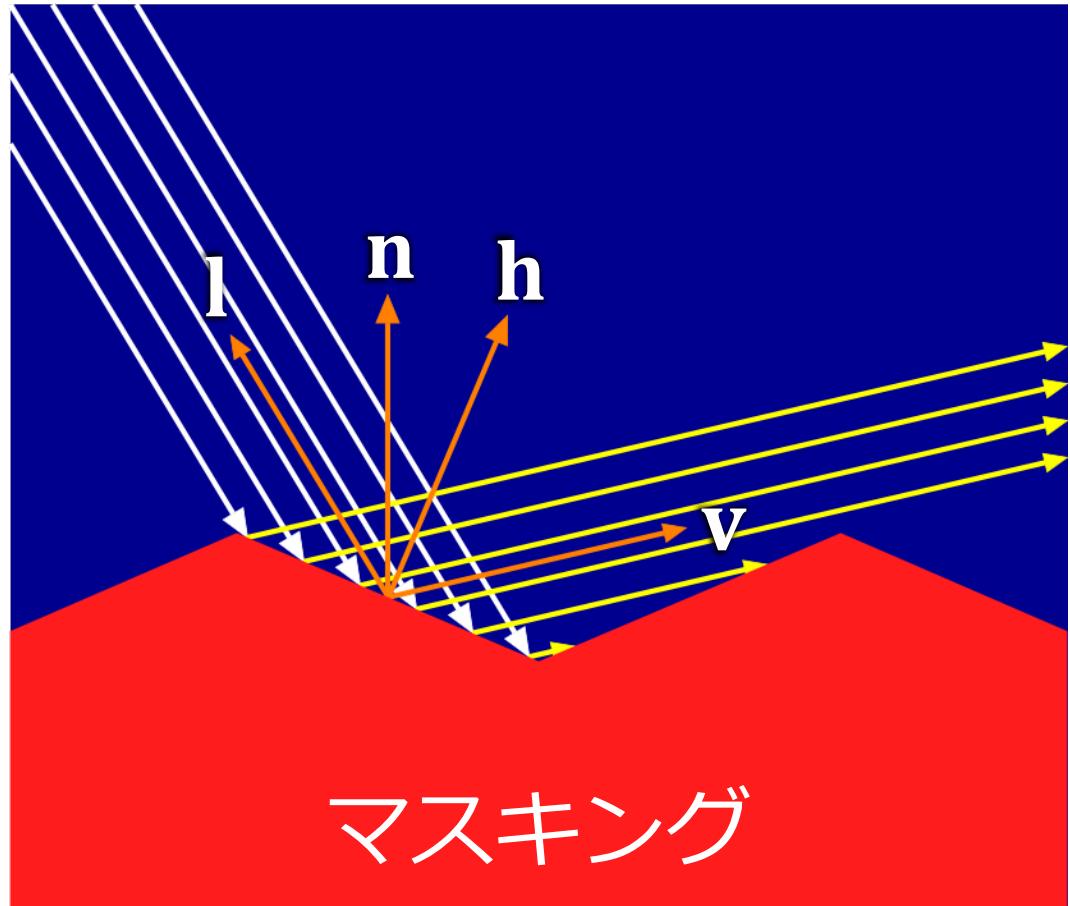
Beckmann 分布

## ■ Walter モデル

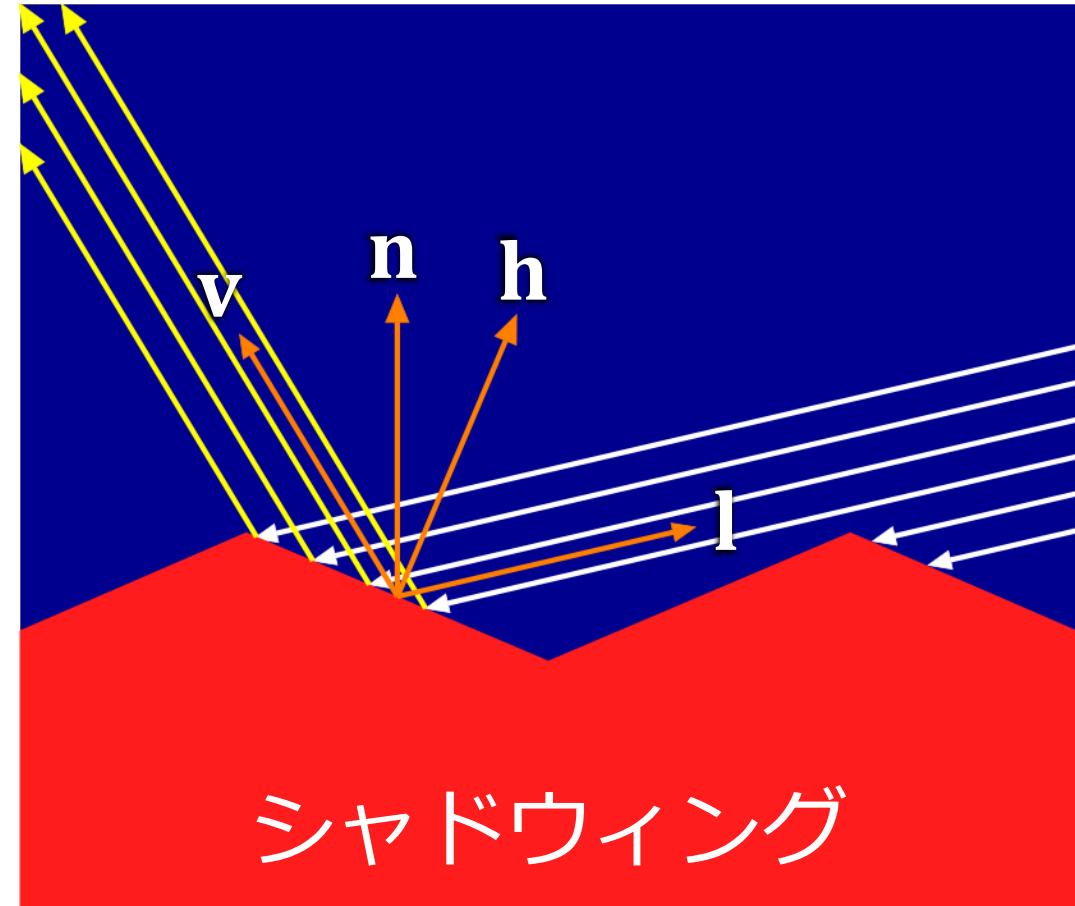
$$p(\theta_h) = \frac{m^2}{\pi \{1 + \cos^2 \theta_h (m^2 - 1)\}}$$

Trowbridge-Reitz 分布  
(GGX)

# 幾何減衰係数 (Geometric Attenuation Factor)



マスキング



シャドウリング

$$G(\mathbf{l}, \mathbf{v}) = \min \left\{ 1, \frac{2(\mathbf{n} \cdot \mathbf{h})(\mathbf{n} \cdot \mathbf{l})}{\mathbf{h} \cdot \mathbf{l}}, \frac{2(\mathbf{n} \cdot \mathbf{h})(\mathbf{n} \cdot \mathbf{v})}{\mathbf{h} \cdot \mathbf{l}} \right\}$$

# フレネル反射率

- 鏡面反射光と拡散反射光の配分比

- $\alpha_h$ : LまたはVとHのなす角

- $R_F(\theta_i)$ : フレネル反射率

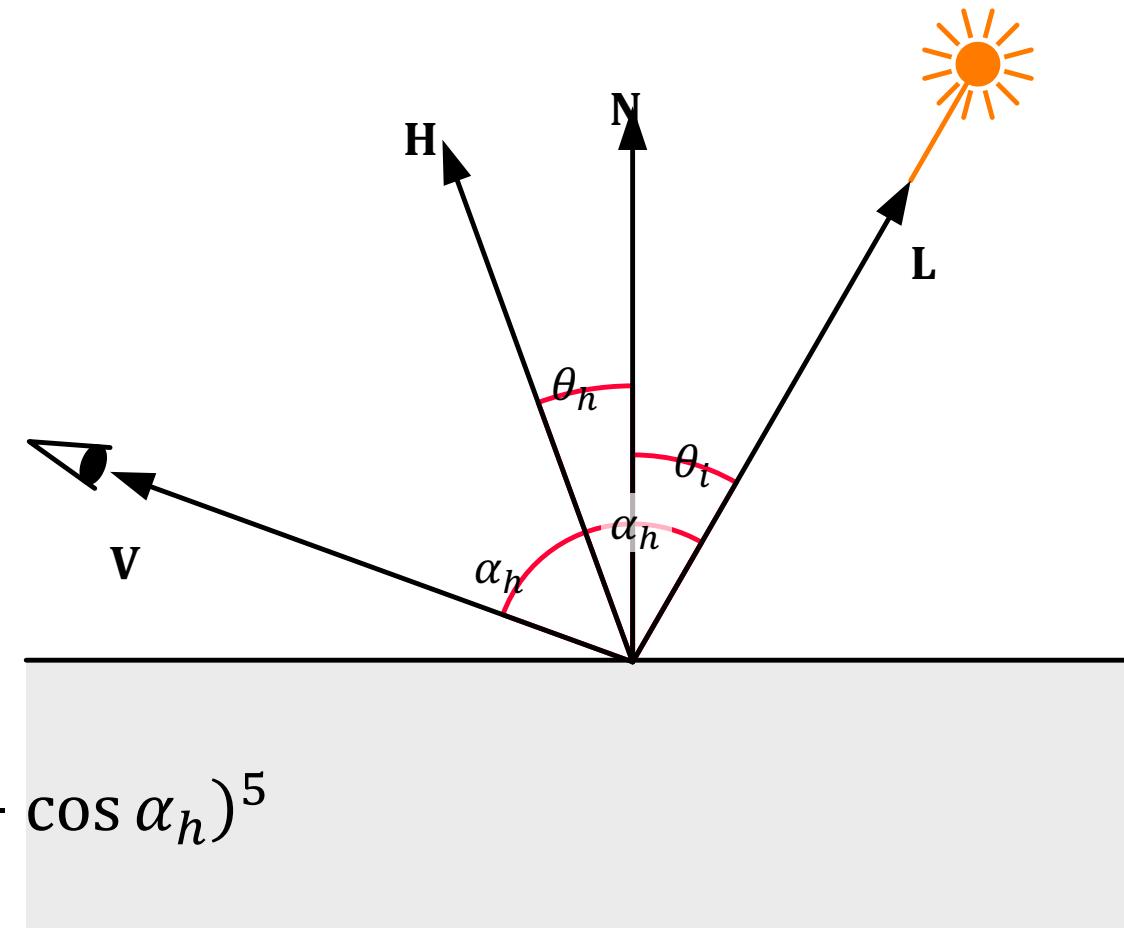
- $c = \cos \theta_i$

- $g = \sqrt{n^2 + c^2 + 1}$

- $R_F(\theta_i) = \frac{1}{2} \frac{(g-c)^2}{(g+c)^2} \left( 1 + \frac{(c(g+c)-1)^2}{(c(g-c)-1)^2} \right)$

- Schlick の近似

- $R_F(\alpha_h) \approx R_F(0^\circ) + (1 - R_F(0^\circ))(1 - \cos \alpha_h)^5$



# 微小面理論にもとづく BRDF

$$f(\mathbf{l}, \mathbf{v}) = \frac{p(\mathbf{h})G(\mathbf{l}, \mathbf{v})R_F(\alpha_h)}{4k_p \overline{\cos} \theta_i \overline{\cos} \theta_o}$$

$$k_p = \int_{\Omega} p(\mathbf{h}) \cos \theta_h d\omega_h$$

通常  $p(\mathbf{h})$  は土台の法線ベクトル  $\mathbf{n}$  に対して対称（等方性をもつ）



$$f(\mathbf{l}, \mathbf{v}) = \frac{p(\theta_h)G(\mathbf{l}, \mathbf{v})R_F(\alpha_h)}{4k_p \overline{\cos} \theta_i \overline{\cos} \theta_o}$$

# Oren-Nayer BRDF

- 拡散反射面 (Lambertian facets) に微小面理論を適用

$$f(\mathbf{L}, \mathbf{V}) = \frac{c_{diff}}{\pi} (A + B \overline{\cos\phi} \sin(\min(\theta_i, \theta_o)) \tan(\max(\theta_i, \theta_o)))$$

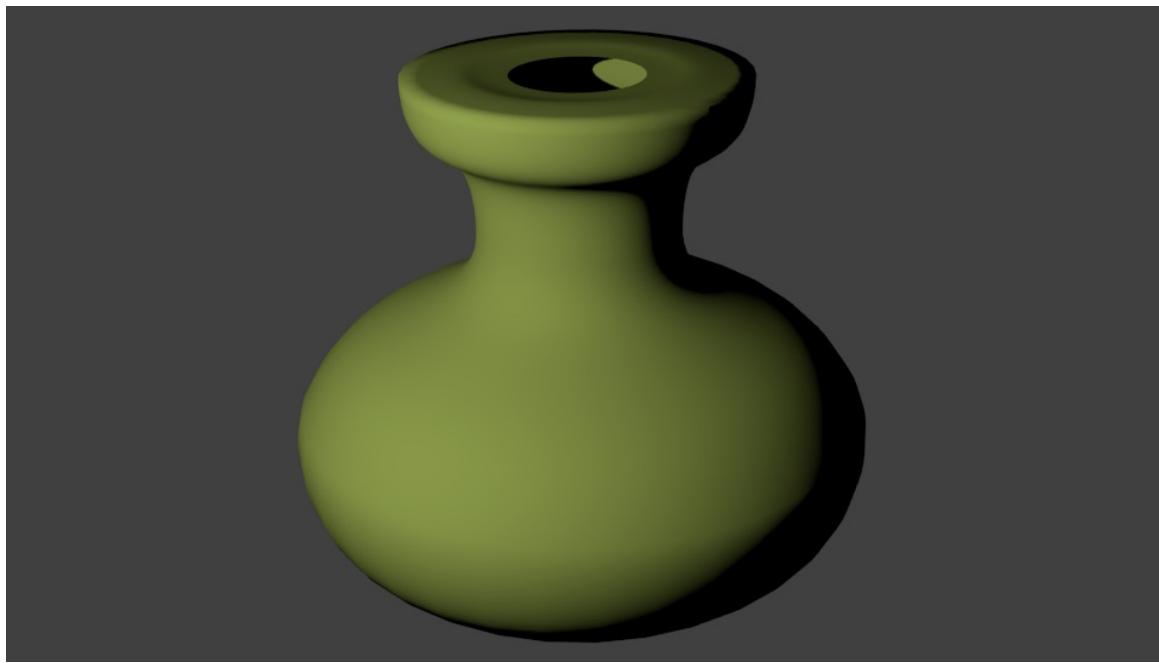
$$A = 1 - 0.5 \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + 0.33}$$

$$B = 0.45 \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + 0.09}$$

粗さ  $s$  は面全体の法線ベクトルと  
微小面の法線ベクトルのなす角の  
標準偏差

# 粗さ s

$s = 0.0$



■  $s = 3.0$



# 実装

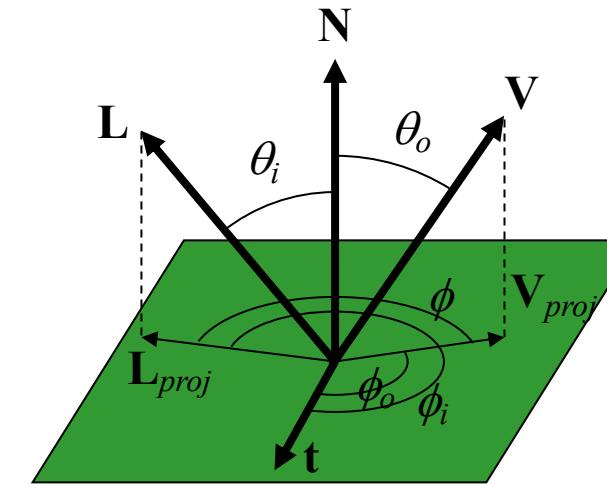
$$\mathbf{V}_{proj} = \mathbf{V} - \mathbf{N}(\mathbf{N} \cdot \mathbf{V})$$

$$\mathbf{L}_{proj} = \mathbf{L} - \mathbf{N}(\mathbf{N} \cdot \mathbf{V})$$

$$\cos \phi = \frac{\mathbf{V}_{proj}}{|\mathbf{V}_{proj}|} \cdot \frac{\mathbf{L}_{proj}}{|\mathbf{L}_{proj}|}$$

$$f(\mathbf{L}, \mathbf{V}) = \frac{c_{diff}}{\pi} (A + B \overline{\cos} \phi \sin(\min(\theta_i, \theta_o)) \tan(\max(\theta_i, \theta_o)))$$

$\sin \theta$  も  $\tan \theta$  も  $0 < \theta < \pi/2$  では単調増加

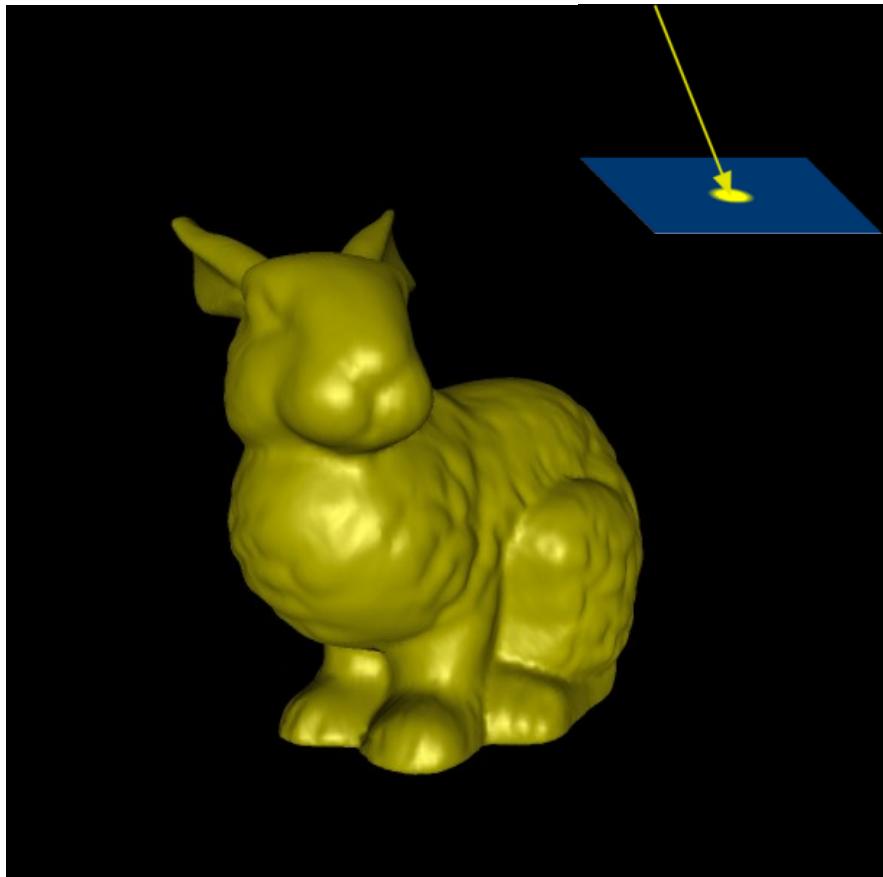


$$\sin \theta_i = \frac{|\mathbf{L}_{proj}|}{|\mathbf{L}|}, \sin \theta_o = \frac{|\mathbf{V}_{proj}|}{|\mathbf{V}|}, \tan \theta_i = \frac{|\mathbf{L}_{proj}|}{\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}}, \tan \theta_o = \frac{|\mathbf{V}_{proj}|}{\mathbf{N} \cdot \mathbf{V}}$$

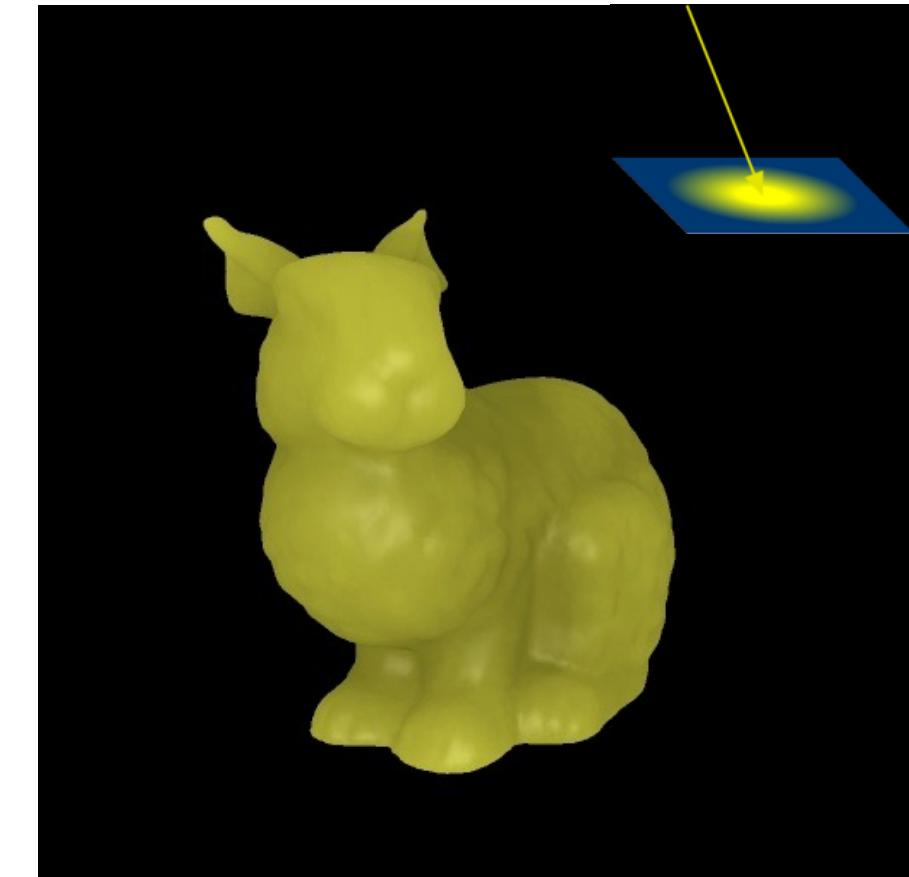
$$f(\mathbf{L}, \mathbf{V}) = \frac{c_{diff}}{\pi} (A + B \overline{\cos} \phi \min(\sin \theta_i, \sin \theta_o) \max(\tan \theta_i, \tan \theta_o))$$

# 表面下散乱

表面下散乱が少ない

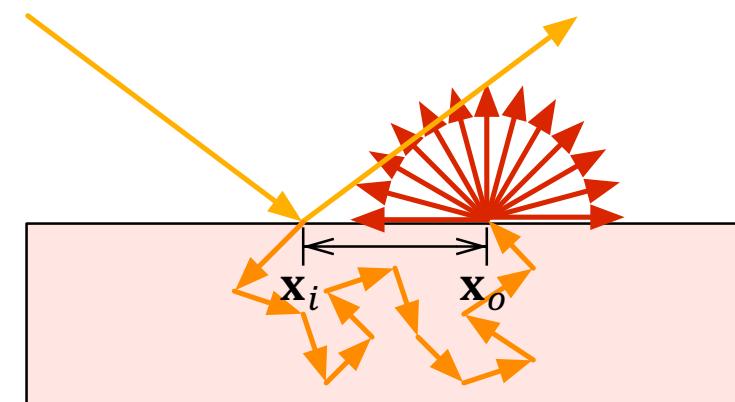
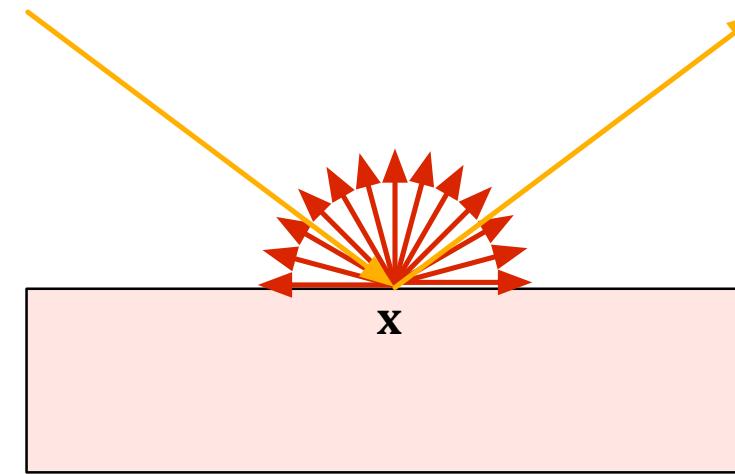


表面下散乱が多い



# 表面下散乱を考慮する場合

- BRDF は表面下散乱を考慮していない
  - 鏡面反射光も拡散反射光も入射点から放射されると考える（局所表面下散乱）
- 表面下散乱がある場合
  - 鏡面反射光は入射点で反射するが拡散反射光の放射位置は入射点と異なる
  - 入射位置から放射位置に輸送される光が存在する



# BSSRDF

- Bidirectional Surface Scattering Distribution Function
  - 双方向表面散乱分布関数
- BRDF を一般化したもの
  - 関数の入力として入射位置  $\mathbf{x}_i$  と放射位置  $\mathbf{x}_o$  を加える
    - $f(\mathbf{l}, \mathbf{v}) \rightarrow f(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_o, \mathbf{l}, \mathbf{v})$
  - 表面下散乱を含むために下記の光を考慮する
    - 入射方向に沿った光の割合
    - 表面上のある点から別の点へ移動する光の割合
    - 放射方向に沿った光の割合
- カメラが十分に遠い場合
  - 入射位置と放射位置が一致すると近似できる

# Disney Principled BRDF

- Base Color
  - 物体表面の色
- Subsurface
  - 拡散 BRDF における完全拡散光と表面下散乱光の割合
- Metallic
  - 金属感、0なら非金属（誘電体）、1なら金属（導体）
- Specular
  - 非金属の場合の鏡面反射光強度
- Specular Tint
  - 非金属の場合の鏡面反射光色に対する物体色の寄与
- Roughness
  - 物体表面の粗さ
- Anisotropic
  - 鏡面反射光の異方性
- Sheen
  - 入射角の浅い入射光における反射光強度
- Sheen Tint
  - 入射角の浅い入射光における反射光強度に対する物体色の寄与
- Clearcoat
  - クリアコートによって発生する二つ目の鏡面反射光強度
- Clearcoat Gloss
  - クリアコートの光沢

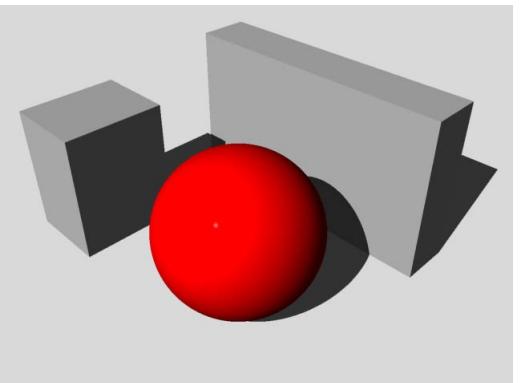
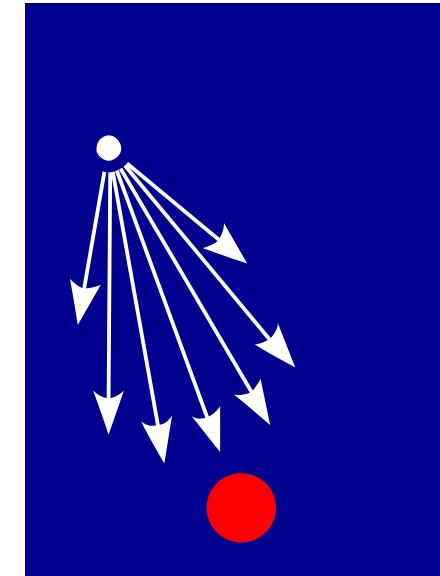
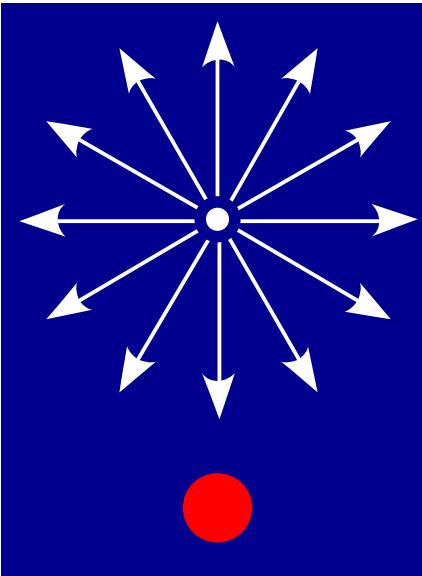
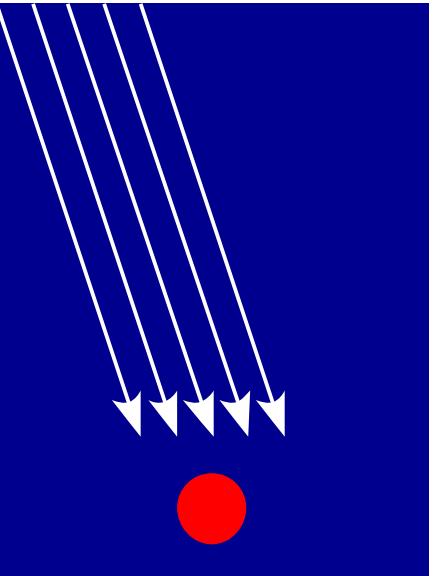
# Disney Principled BSDF で追加された要素

- Scatter Distance
  - 表面化散乱の色成分ごとの拡散半径
- Transmittance Color
  - 非金属の媒質下で伝達される光の色成分
- Transmittance Distance
  - 非金属の媒質下で伝達される光の伝達距離
- Specular Transmittance
  - 非金属の媒質下の鏡面反射光の透過率（透明度）
- Diffuse Transmittance
  - 非金属の媒質における拡散反射光と拡散透過光割合、半透明度
- Index of Refraction (IOR)
  - 屈折率

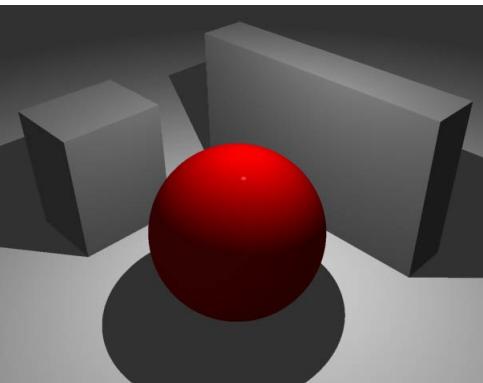
# 光源

よく使われる単純な光源

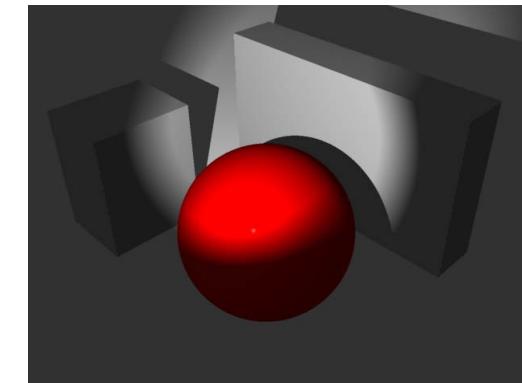
# 光源の種類 (基本的なもの)



ディレクショナルライト



ポイントライト



スポットライト

# 距離に伴う減衰

- 物理的に正しい点光源の距離減衰

$$d = \frac{1}{|\mathbf{L}_{pos} - \mathbf{P}|^2}$$

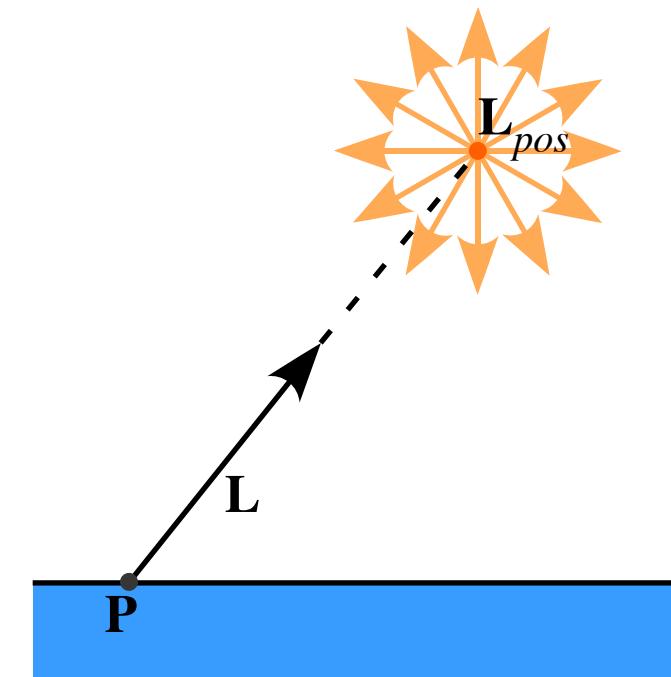
- 減衰が急すぎる（暗くなりすぎる）

- 定数(不变)や反比例も許す

$$d = \frac{1}{S_c + S_l |\mathbf{L}_{pos} - \mathbf{P}| + S_q |\mathbf{L}_{pos} - \mathbf{P}|^2}$$

- 陰影付け方程式

- $I_{tot} = I_{amb} + d(I_{diff} + I_{spec})$



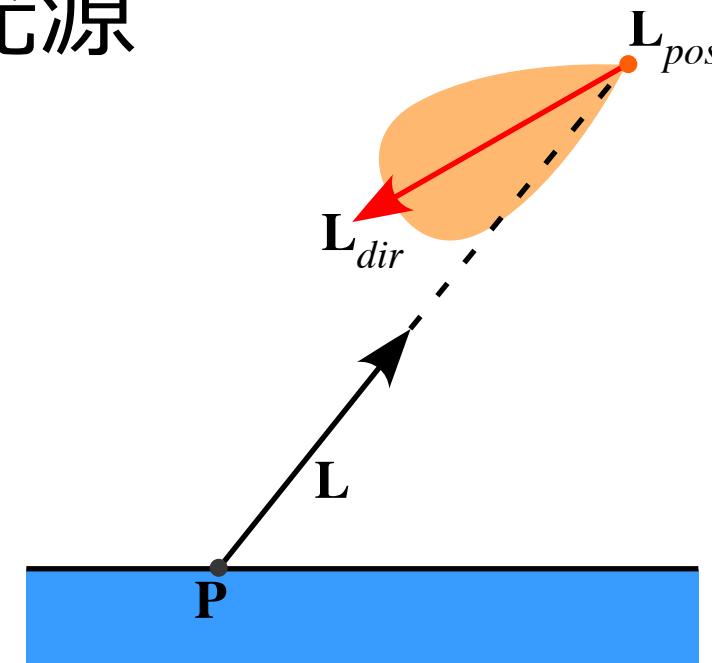
$$(S_c, S_l, S_q) = \begin{cases} (1, 0, 0) & \text{定数} \\ (0, 1, 0) & \text{反比例} \\ (0, 0, 1) & \text{物理的} \end{cases}$$

# スポットライトの場合

- 特定の方向に光を放射する点光源

- $\mathbf{L}_{dir}$ : 放射方向
- $L_{exp}$ : 広がり

$$C_{spot} = \max(-\mathbf{L} \cdot \mathbf{L}_{dir}, 0)^{L_{exp}}$$



- 照明方程式

$$I_{tot} = C_{spot} \{ I_{amb} + d(I_{diff} + I_{spec}) \}$$

# 最終的な陰影付け方程式

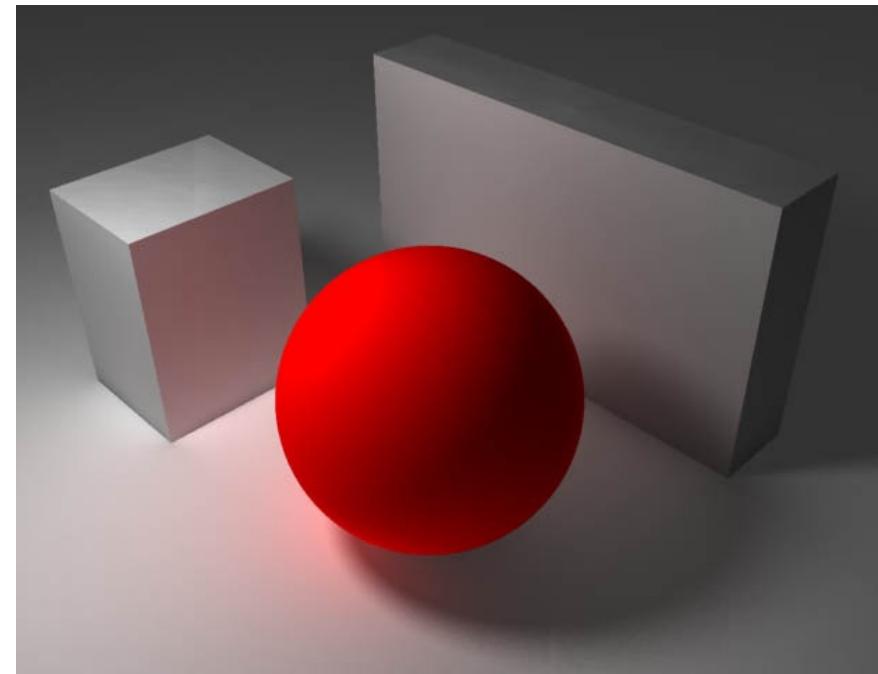
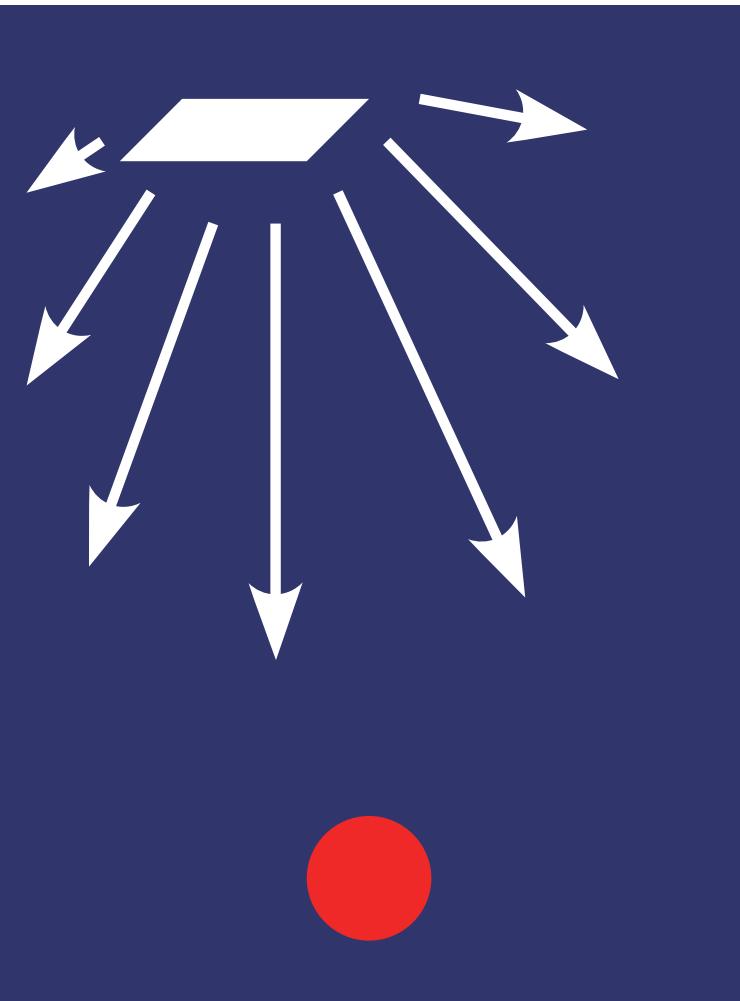
- $L_{glob}$ : 光源に依存しない環境光（背景光）
- $C_{spot}$ : スポットライトの配光分布
- $L_{emi}$ : 自己発光強度
- $d$ : 距離減衰係数

$$I_{tot} = L_{glob} \otimes K_{amb} + L_{emi} + C_{spot} \{ I_{amb} + d(I_{diff} + I_{spec}) \}$$

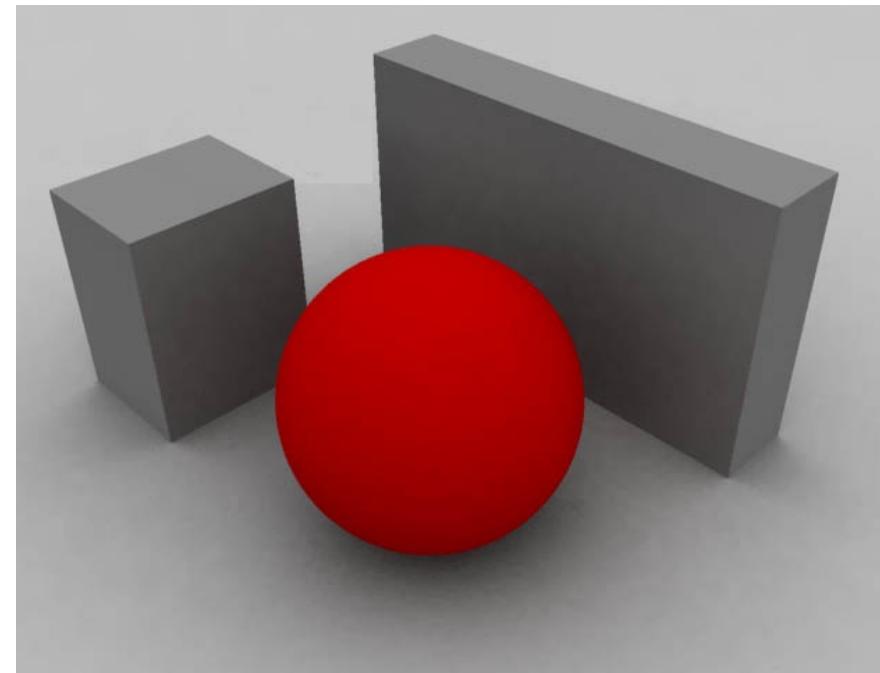
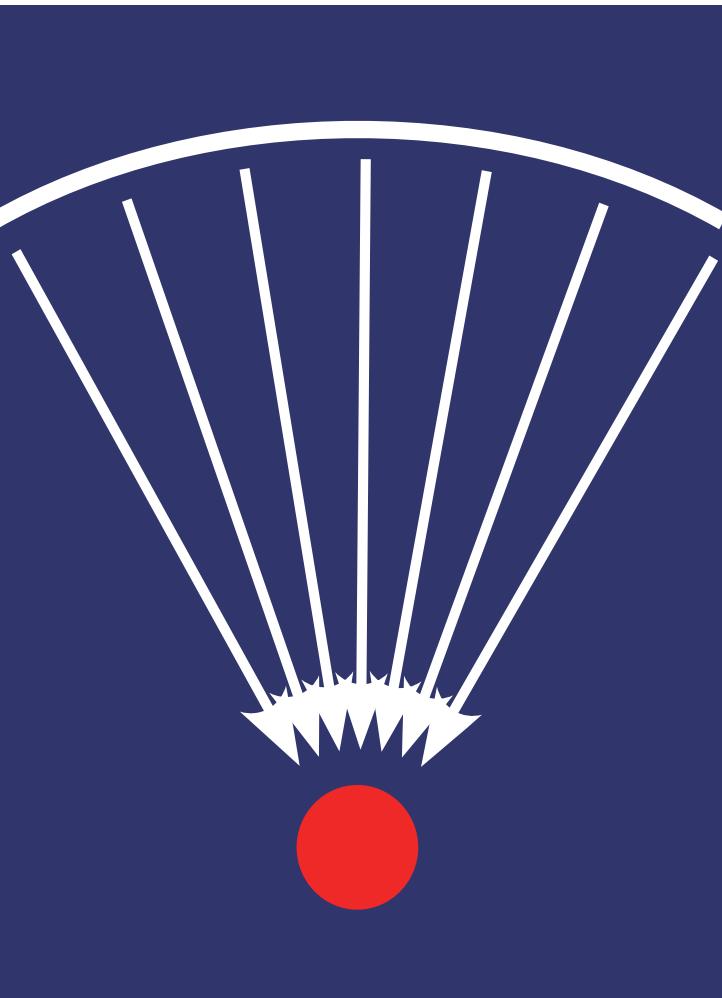
- 光源が複数 ( $n$ : 光源の数)

$$I_{tot} = L_{glob} \otimes K_{amb} + L_{emi} + \sum_{k=1}^n C_{spot}^k \{ I_{amb}^k + d_{amb}^k (I_{diff}^k + I_{spec}^k) \}$$

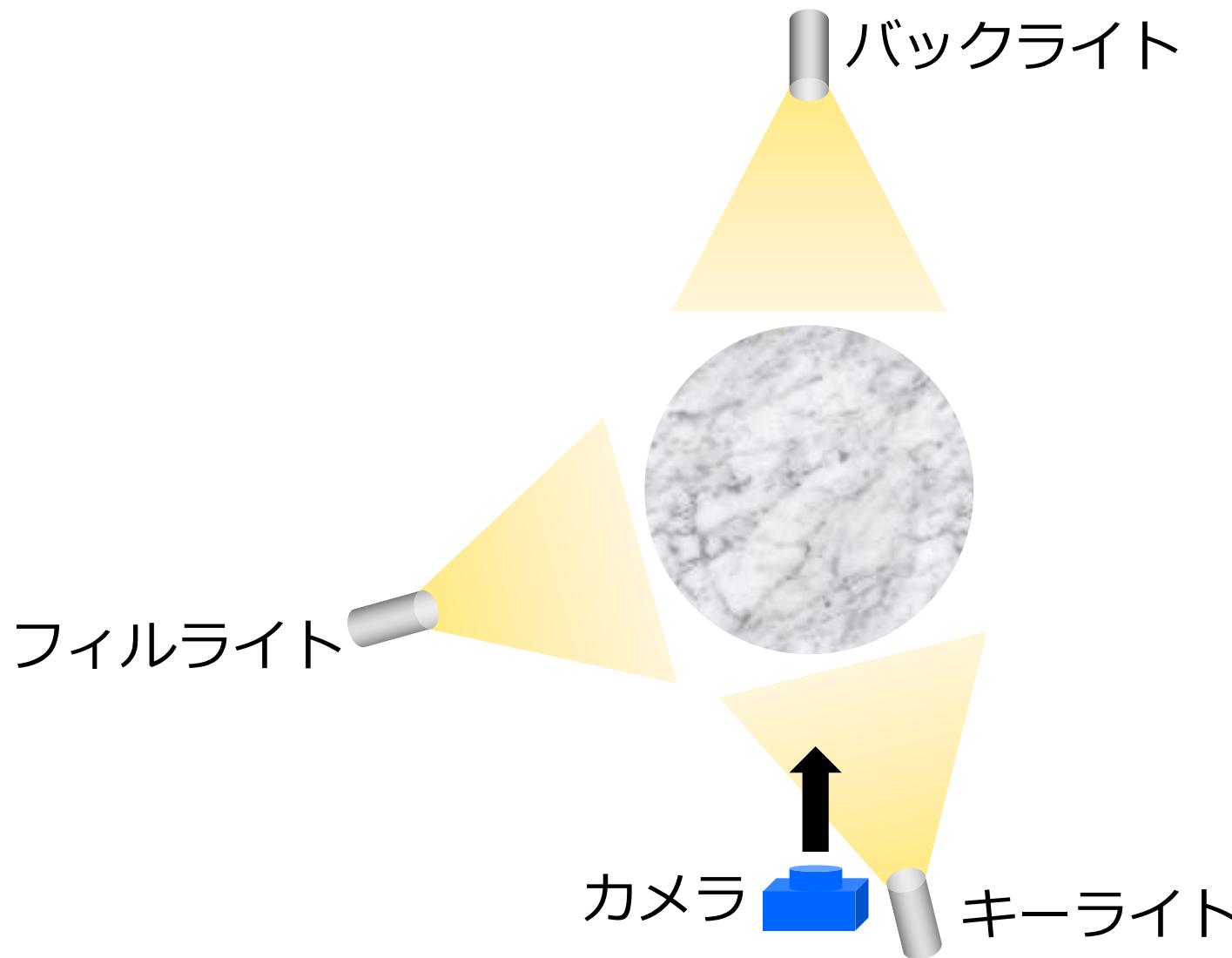
# 光源が面積を持っている場合



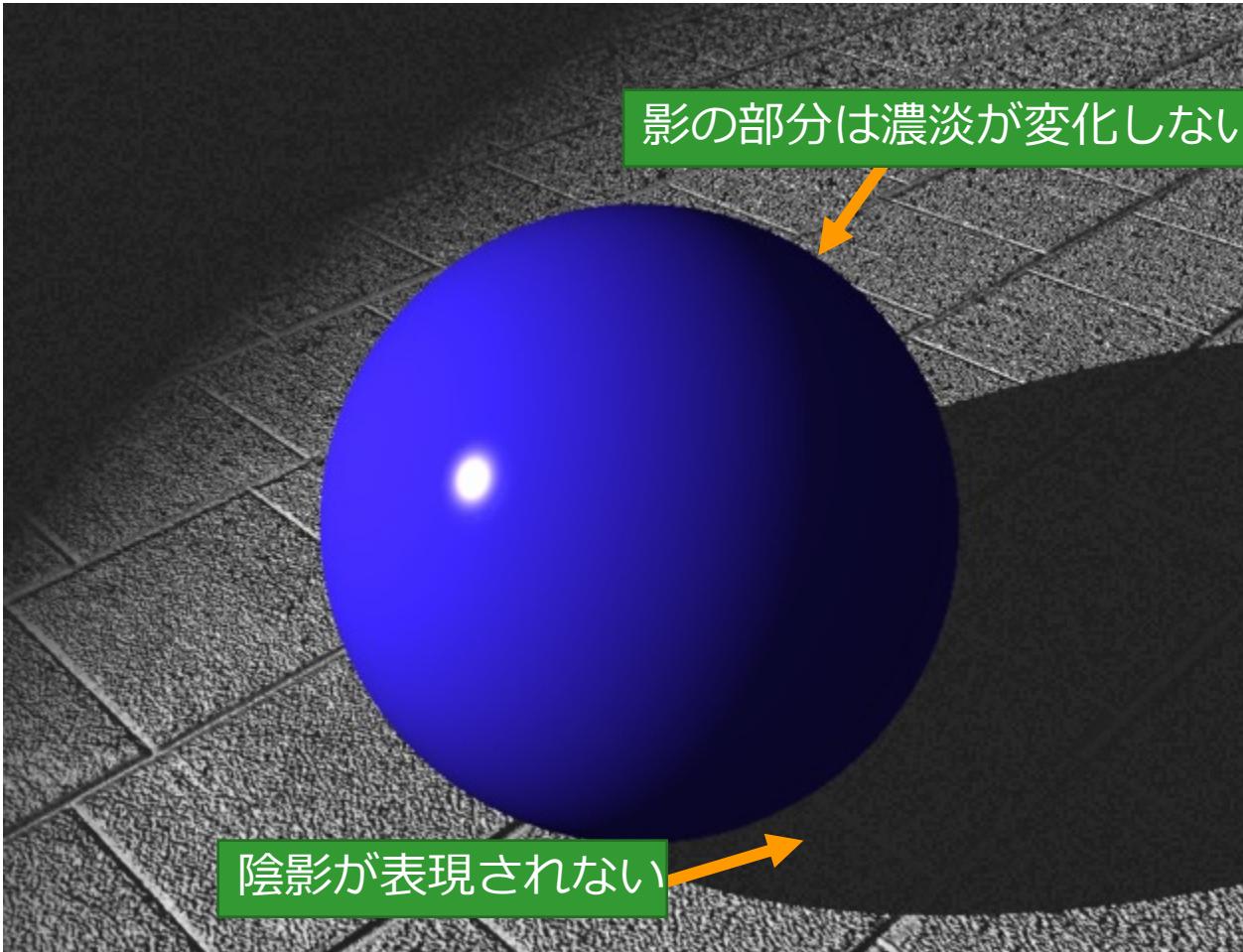
# 天空全体が光源の場合（天空光）



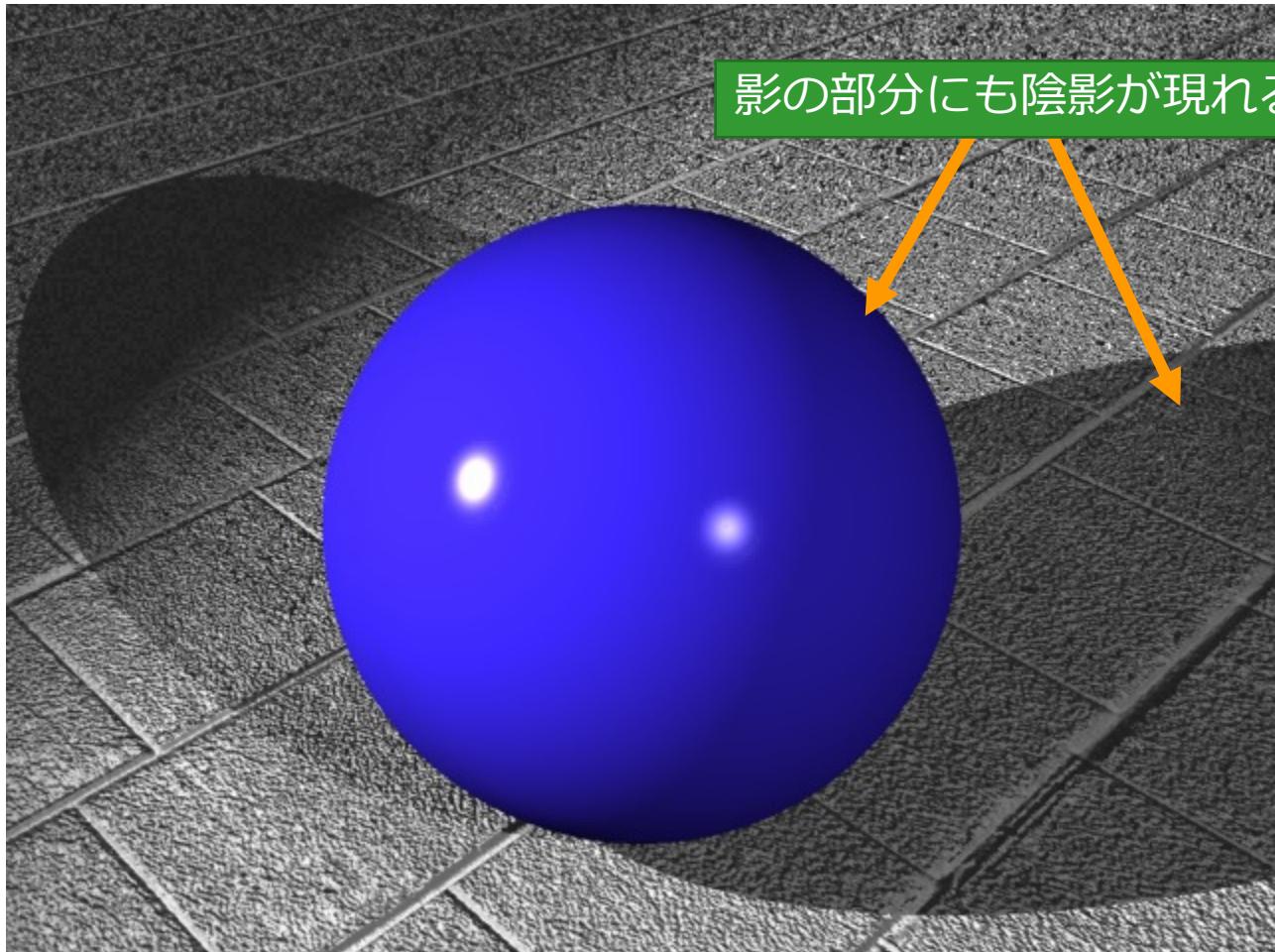
# 三点照明



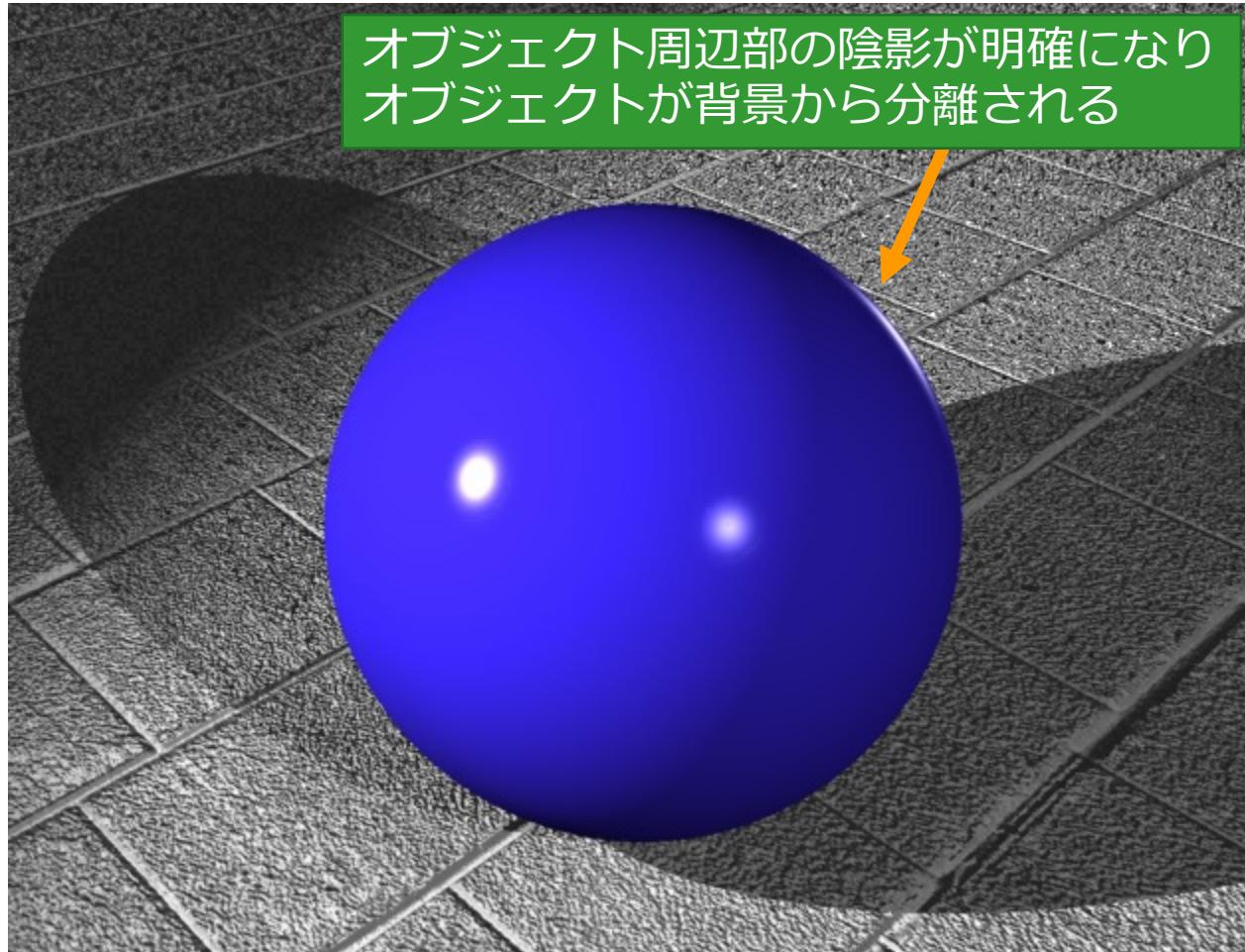
# キーライトしかない場合



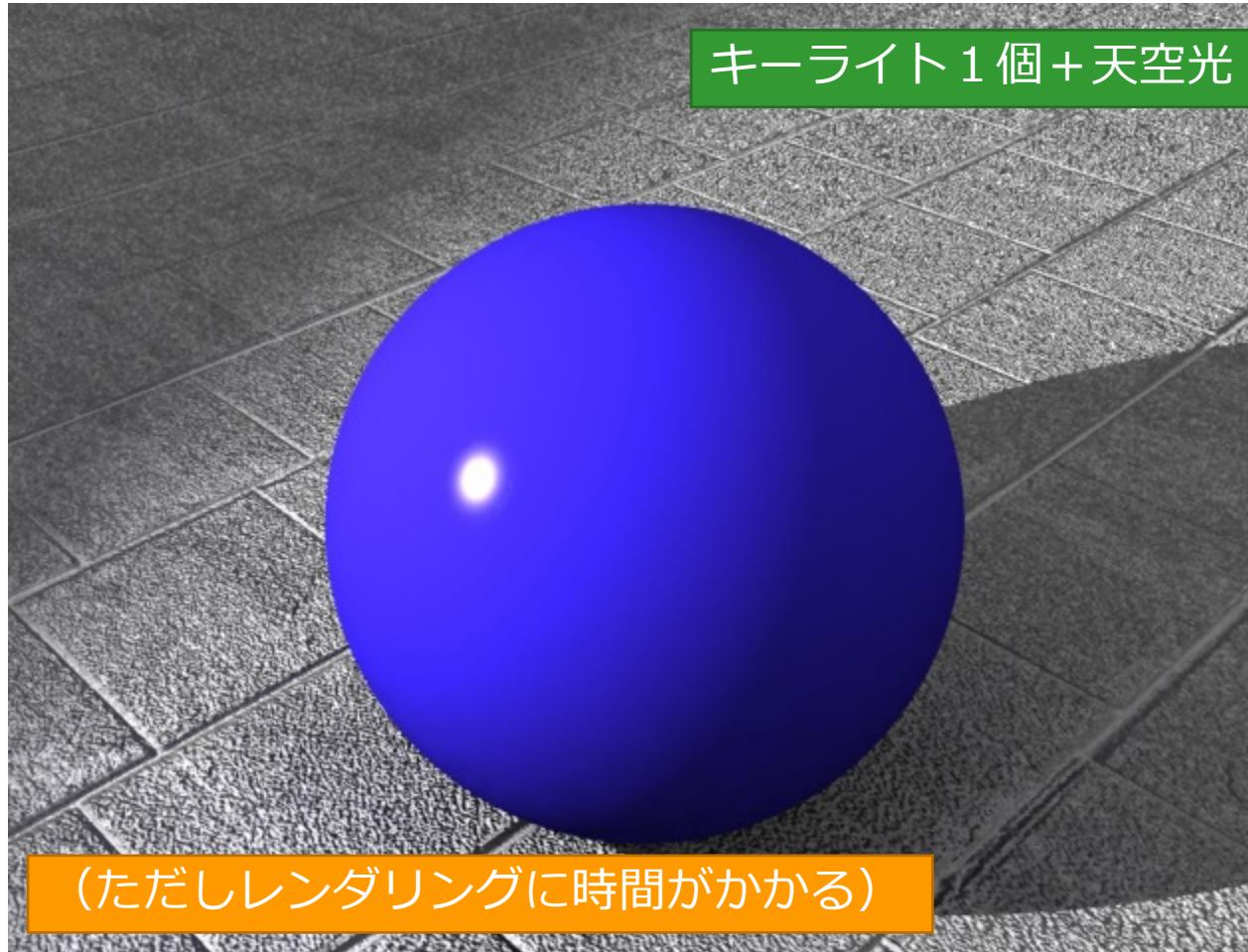
# フィルライトを入れる



# バックライトを入れる

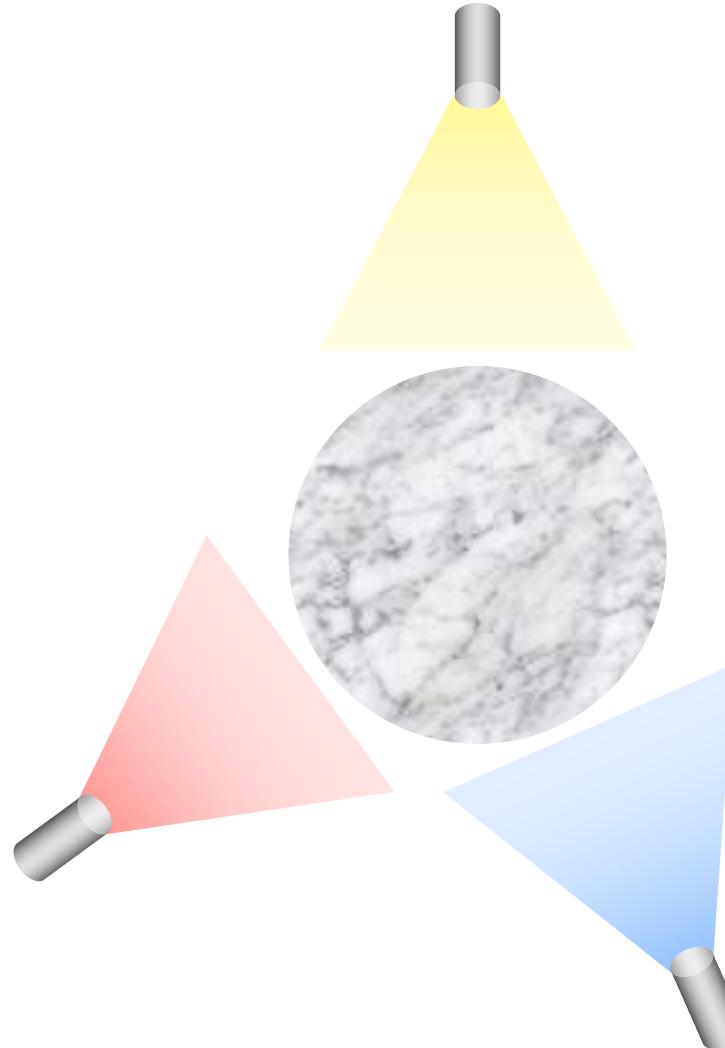


# 大域照明を使うとリアルな陰影が得られる



# 三点照明における光源の配色

- 光源ごとに色を変える
  - 雰囲気をコントロールできる



# キーライトが白色光の場合



# キーライトが暖色の場合



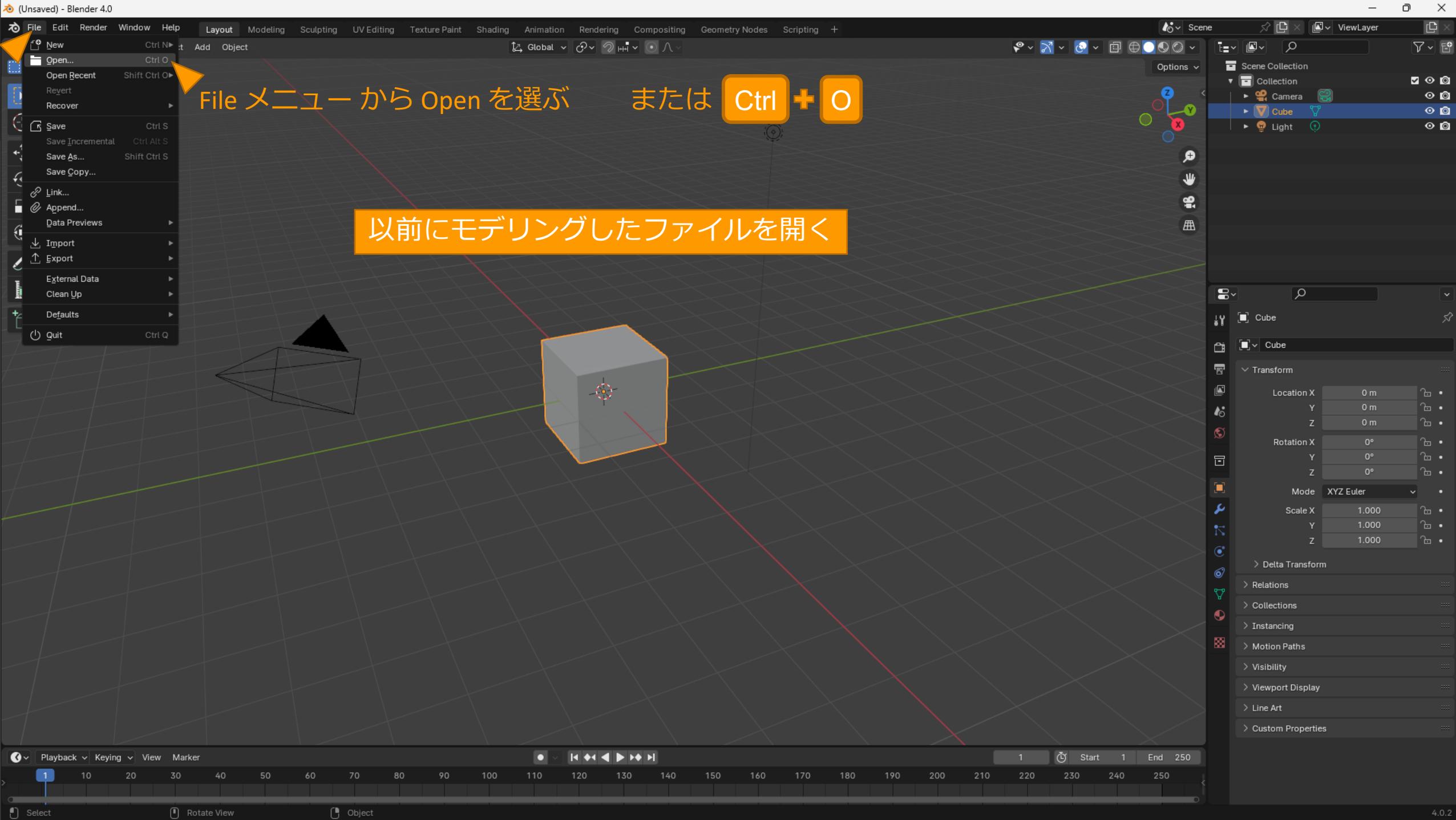
# キーライトが寒色の場合

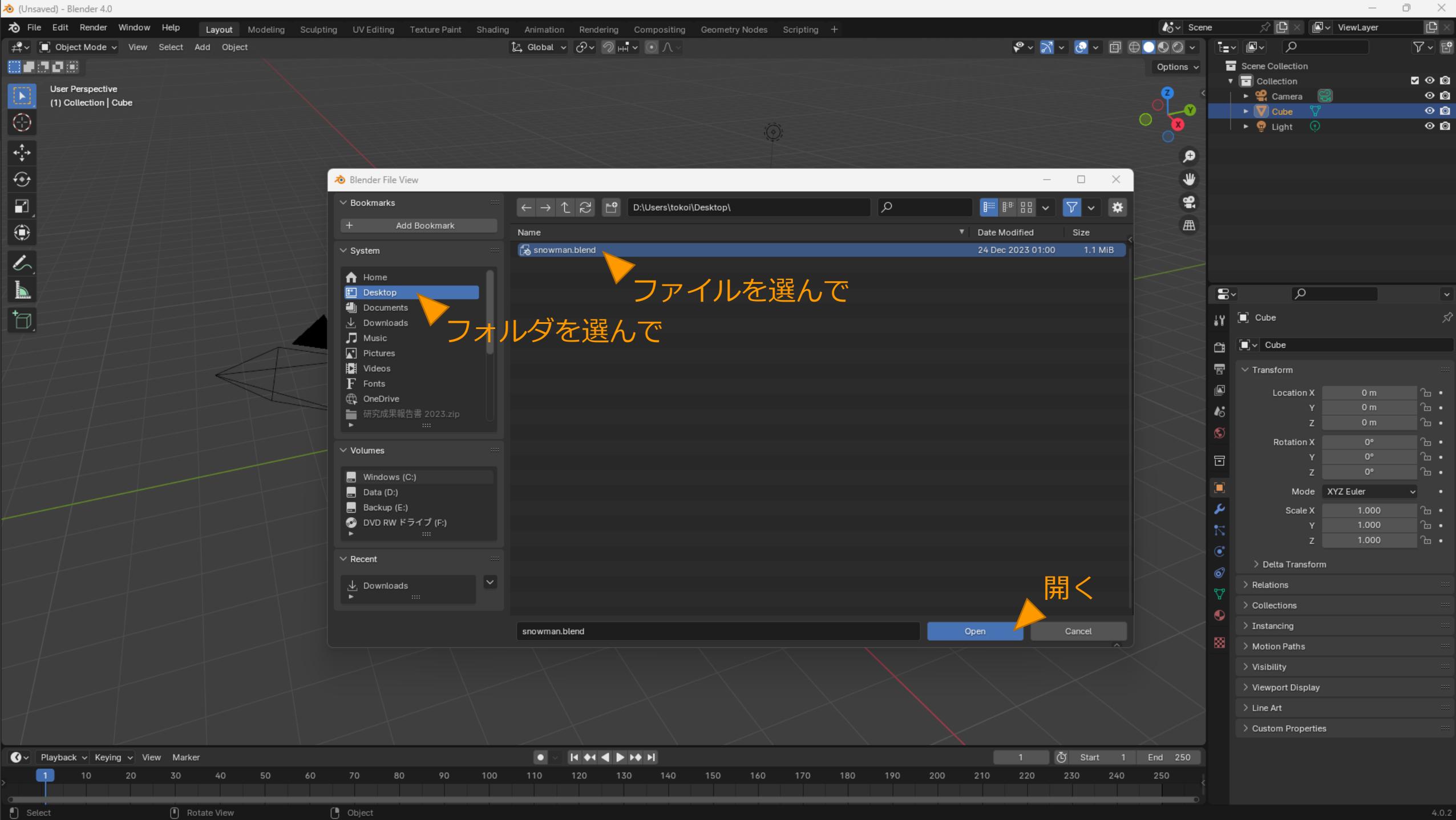


# シェーディング

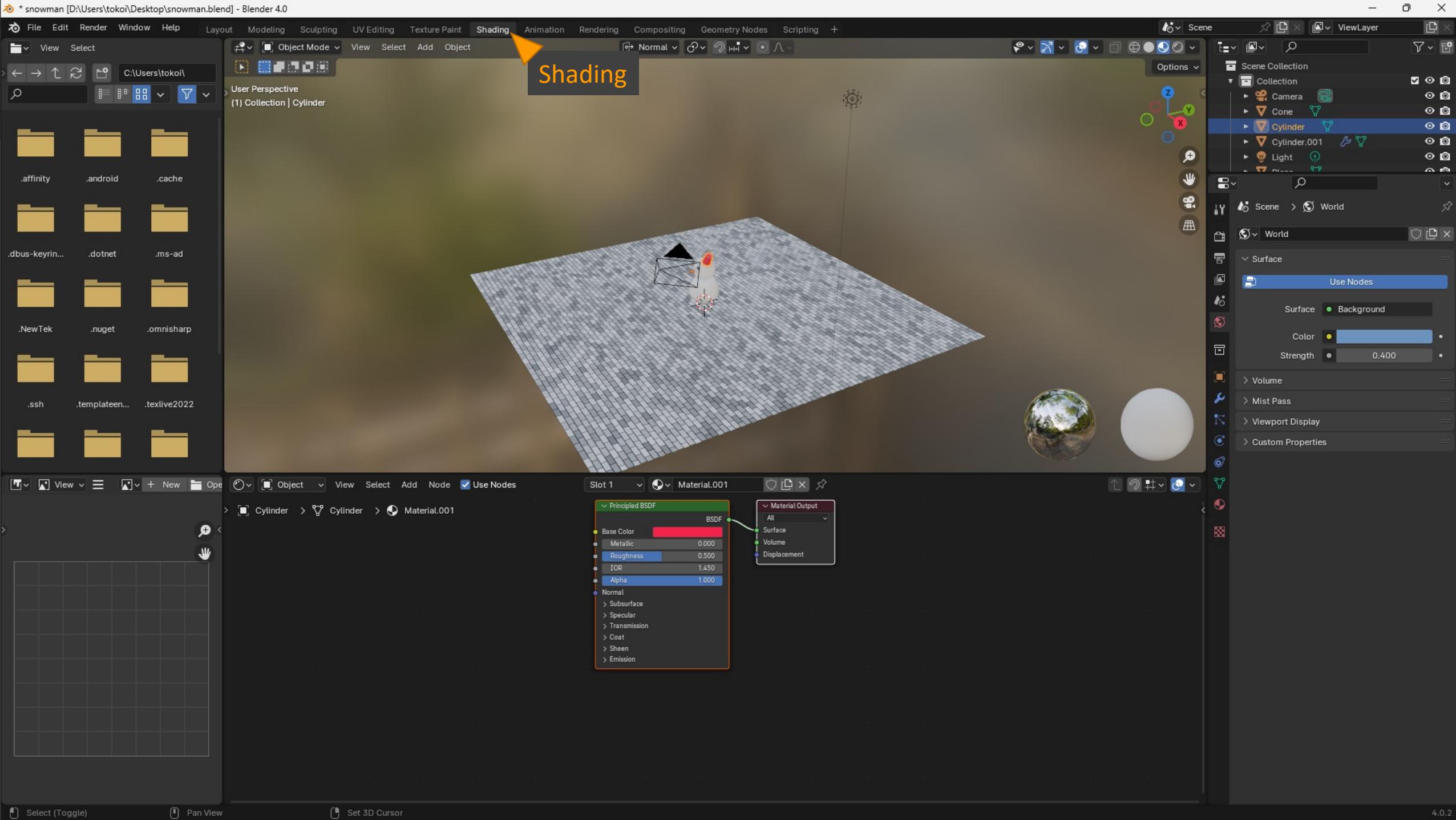
## 陰影付け

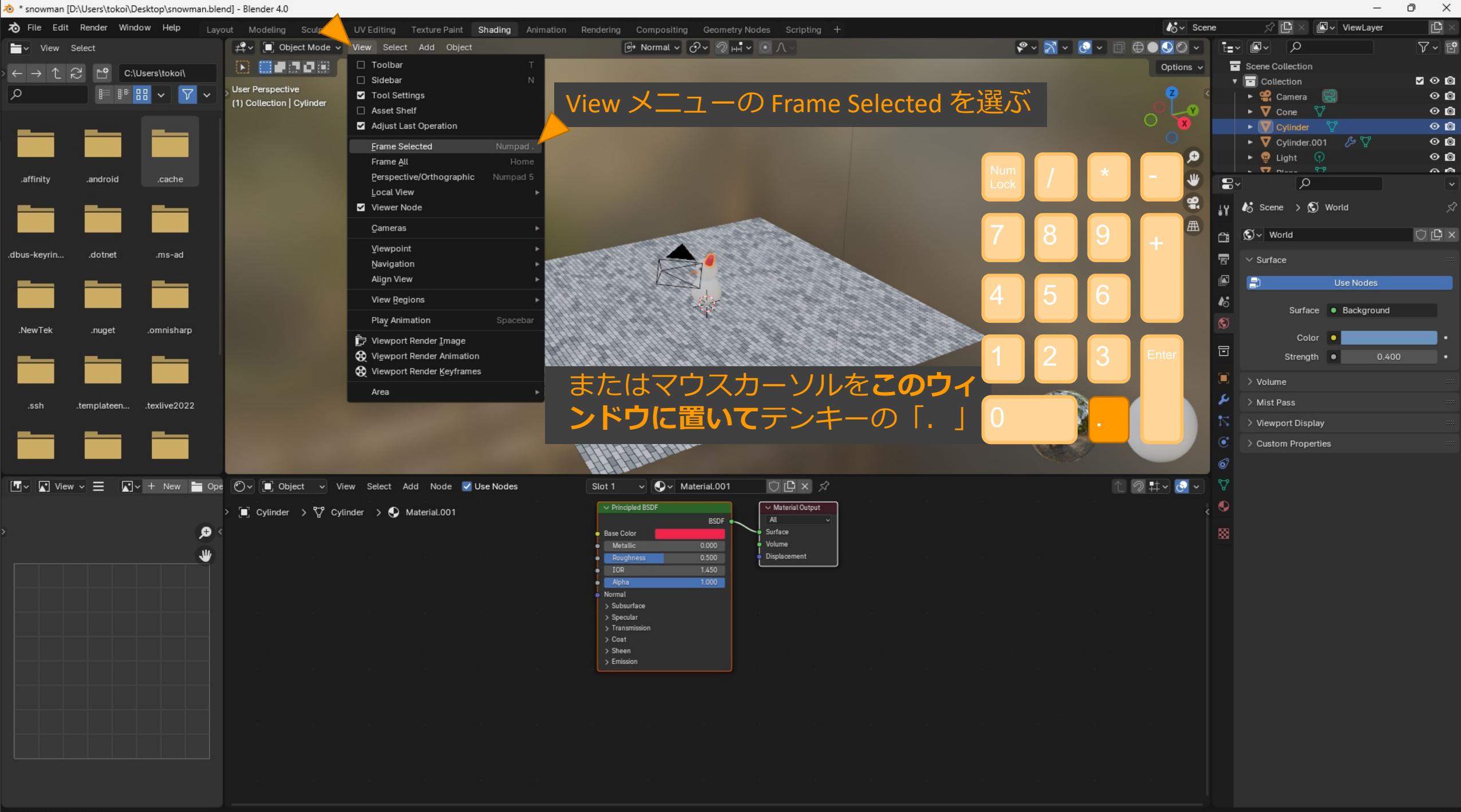


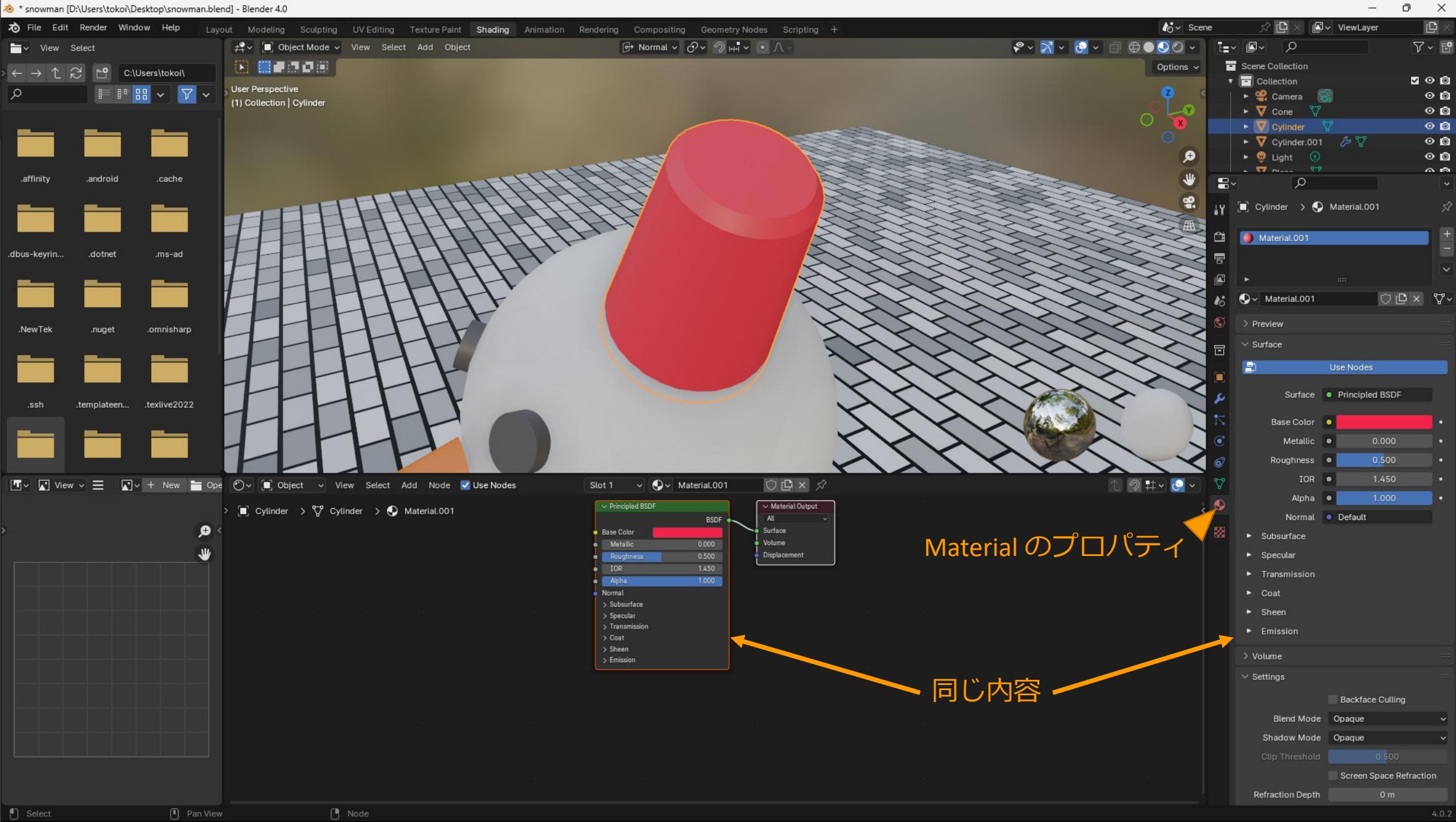


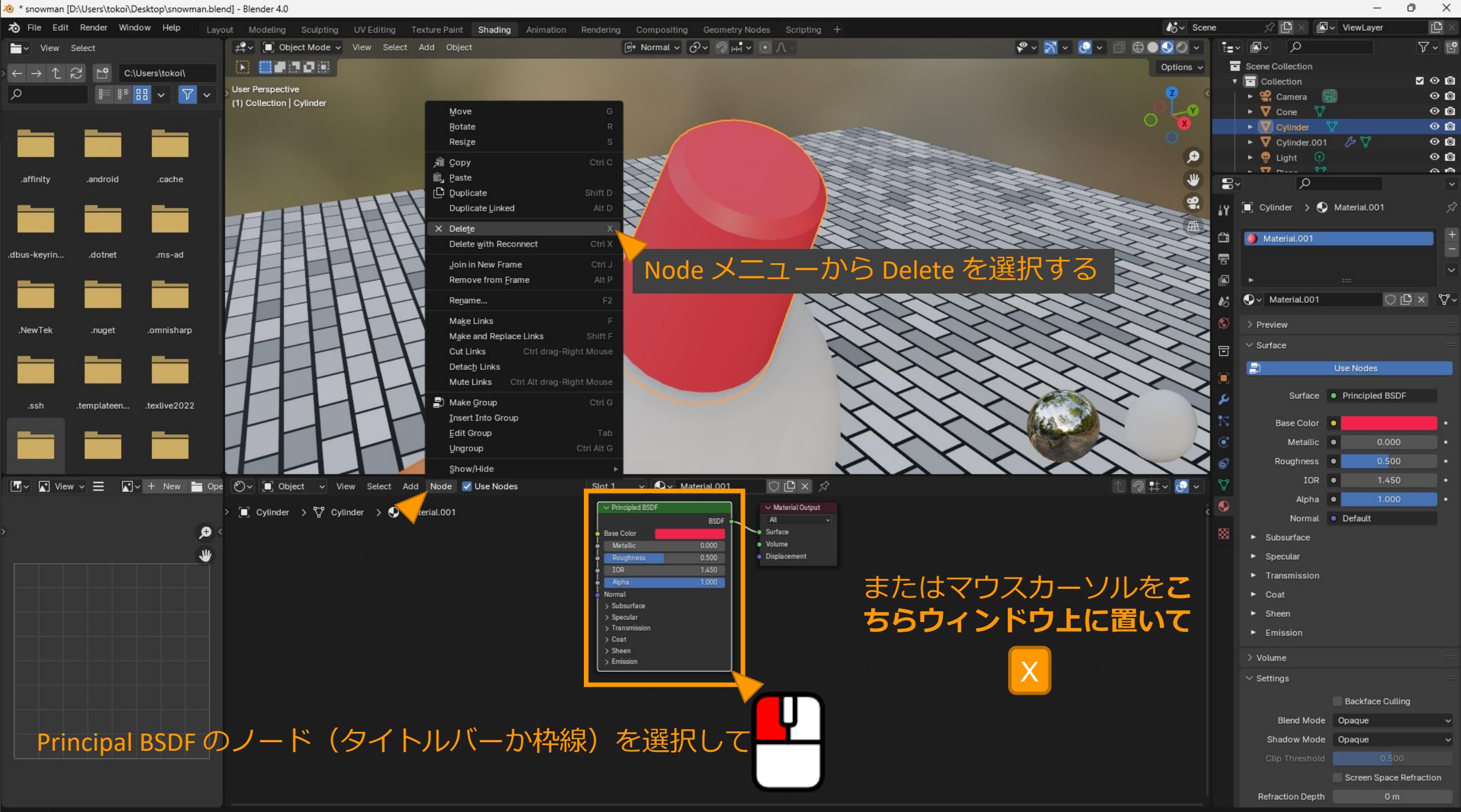


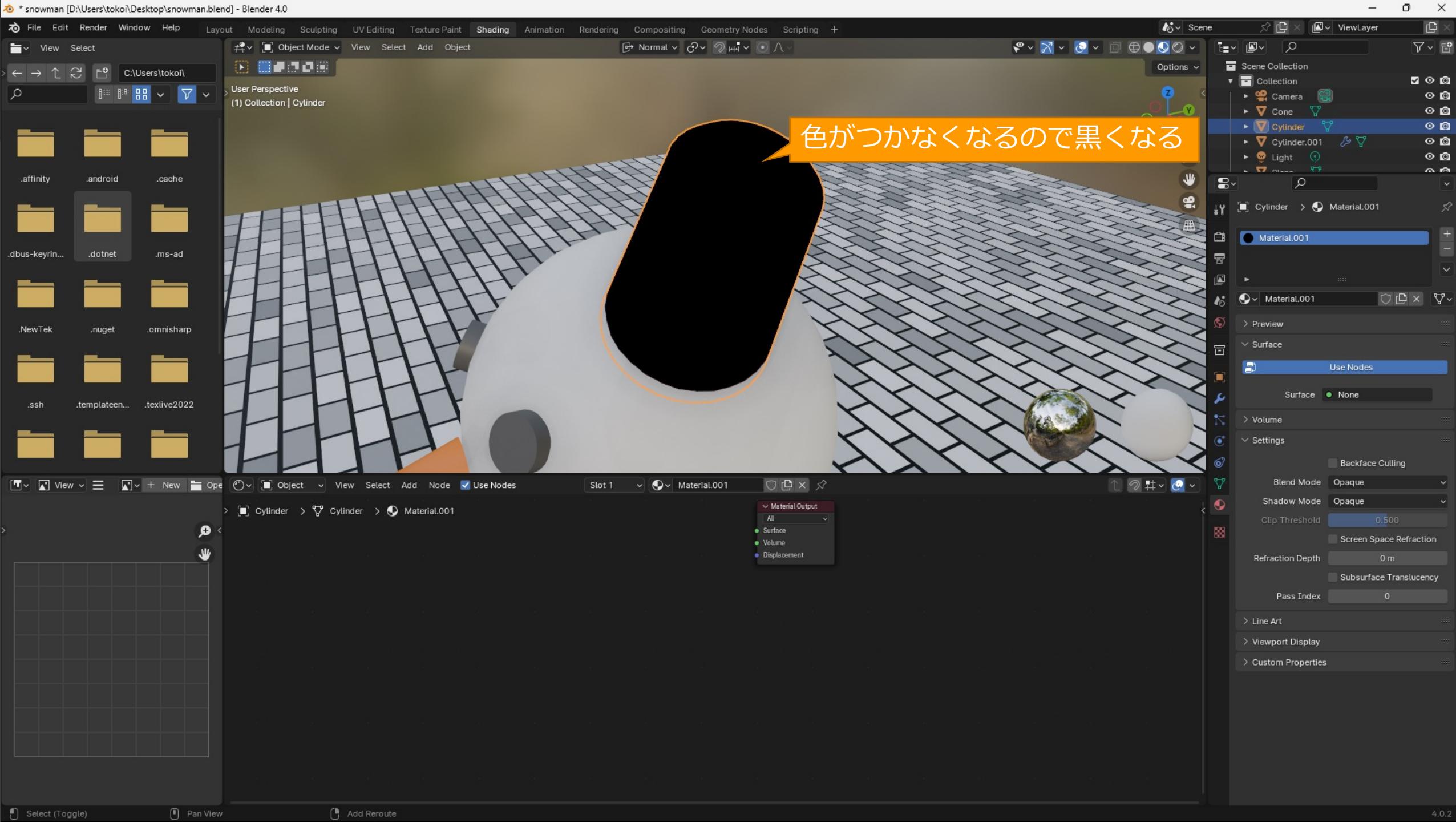


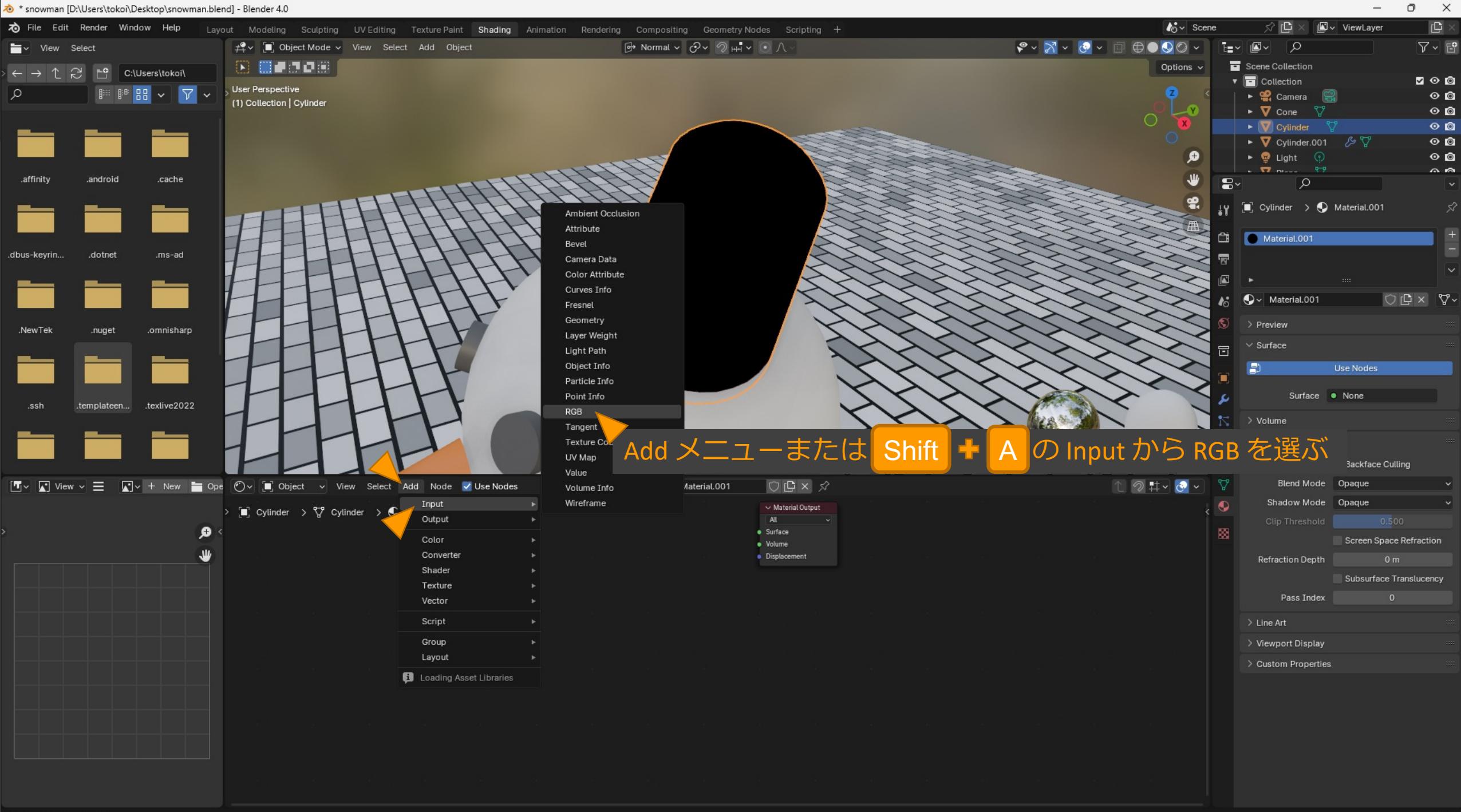


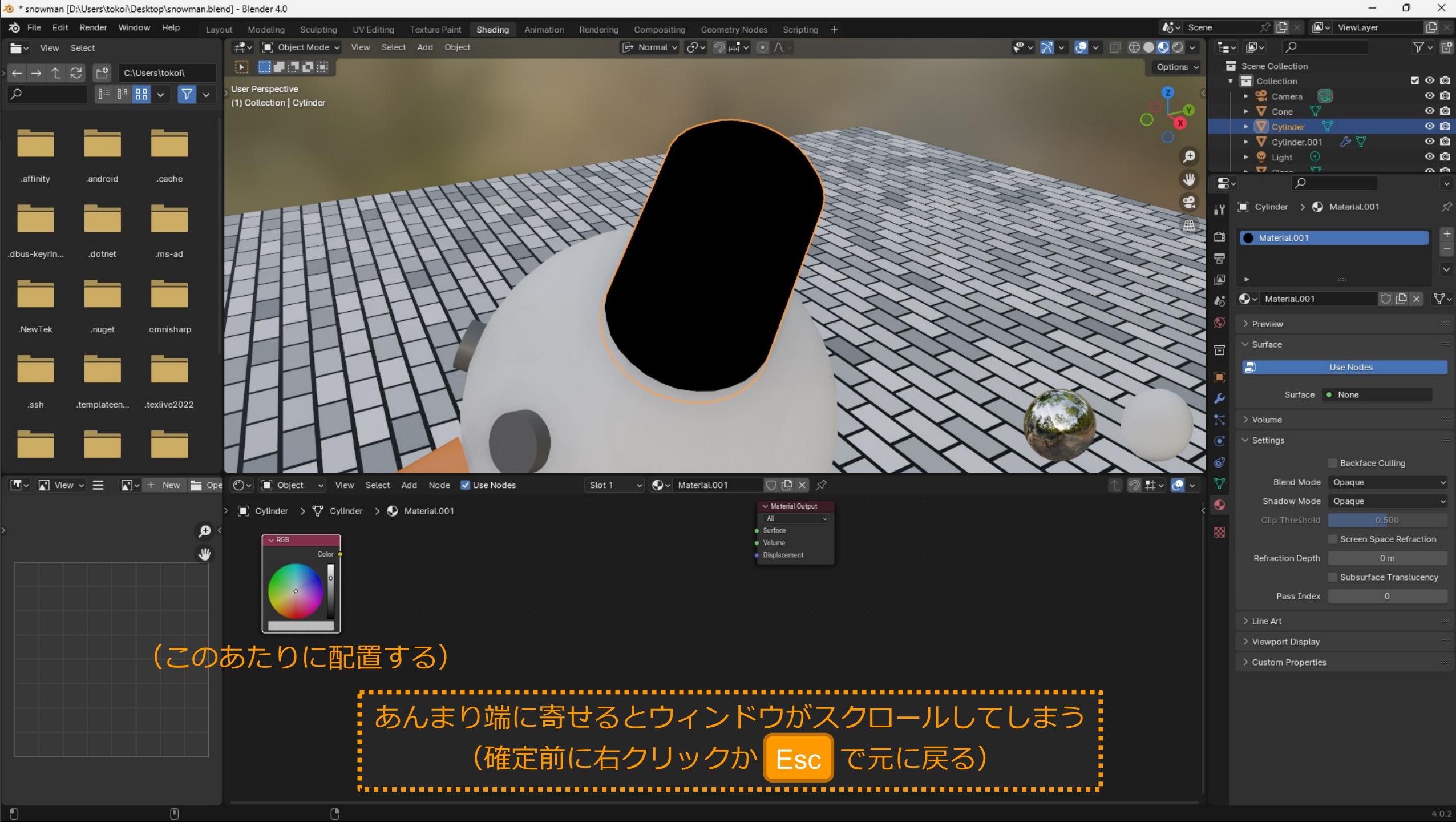


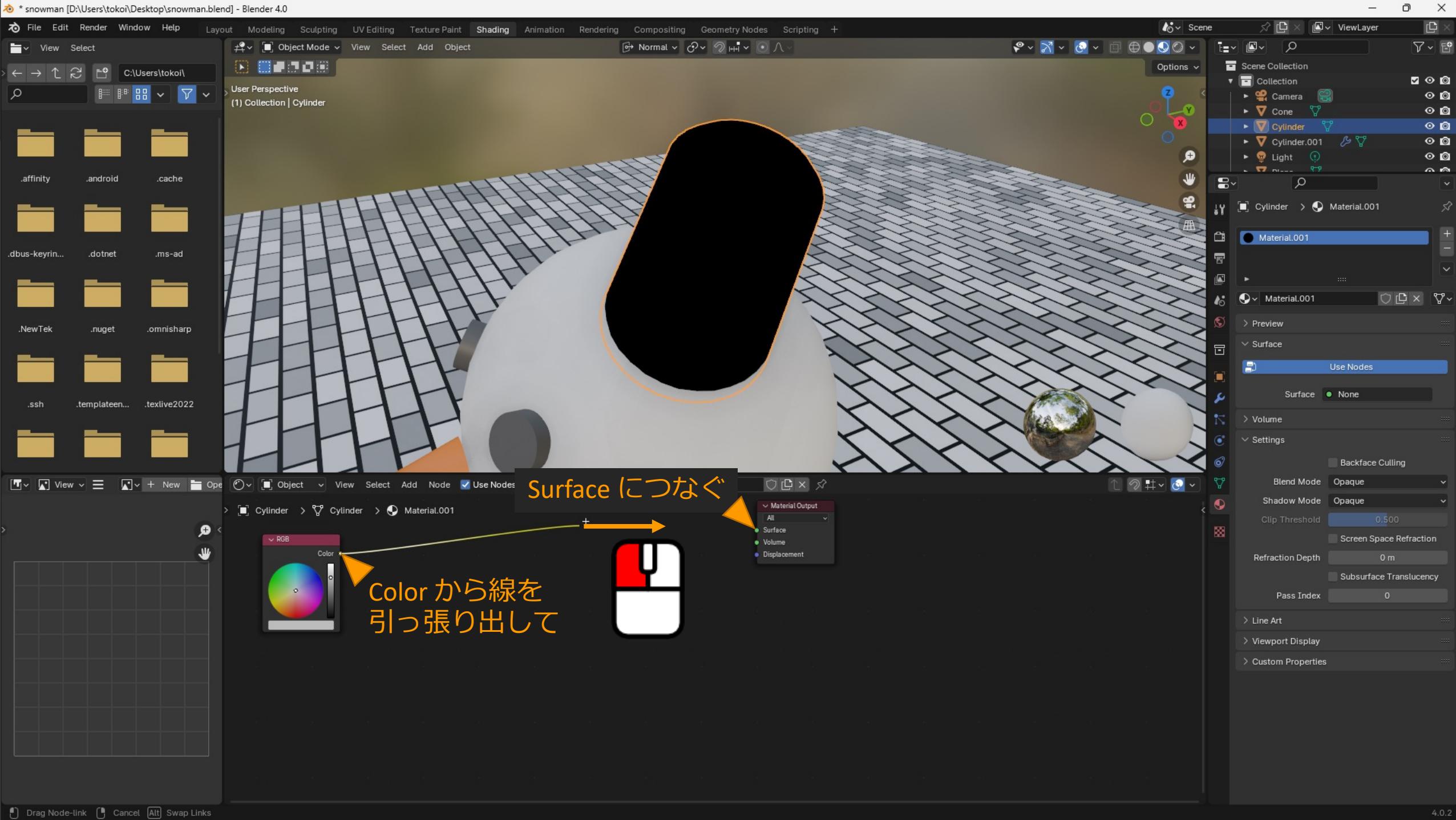


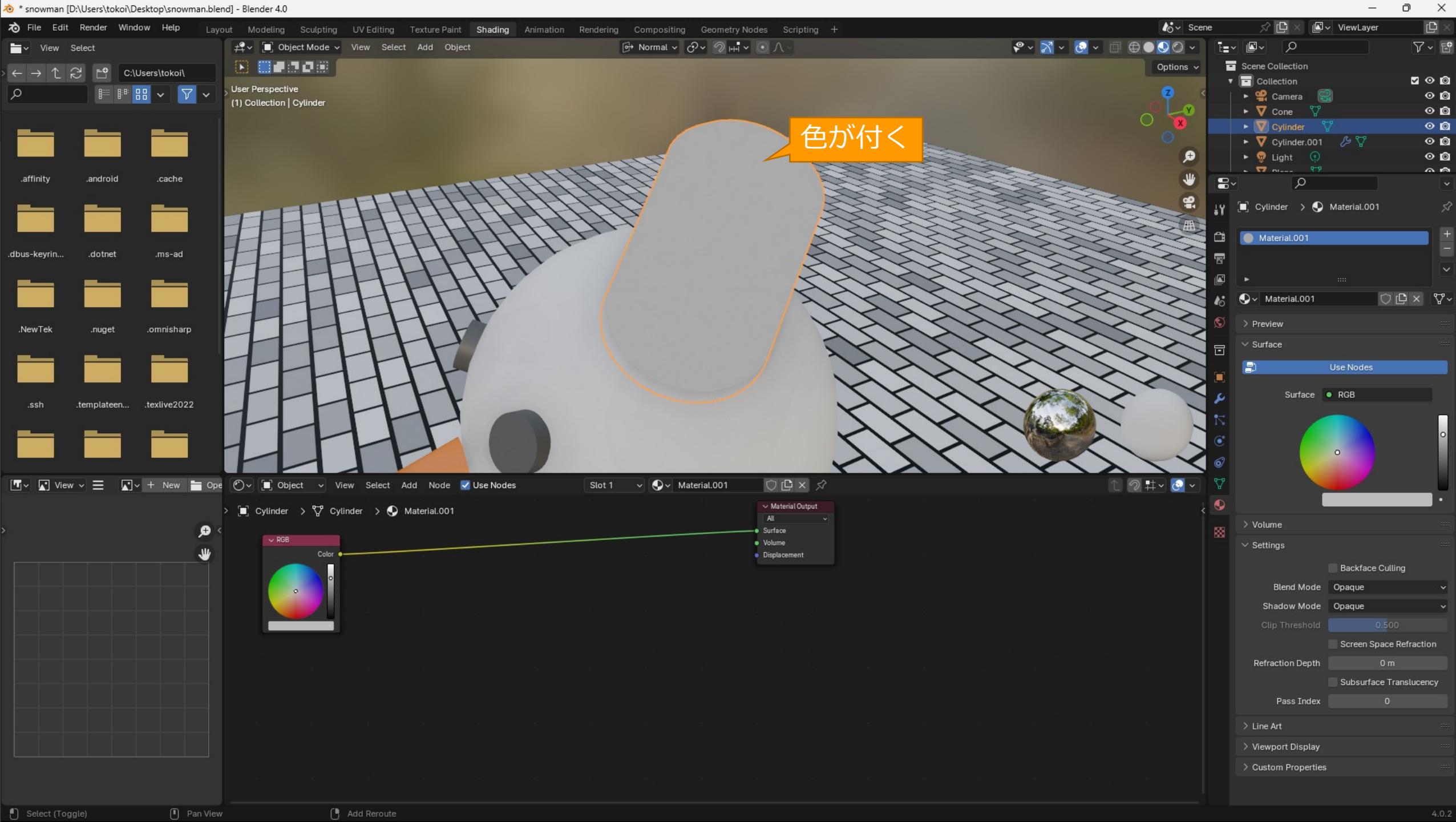


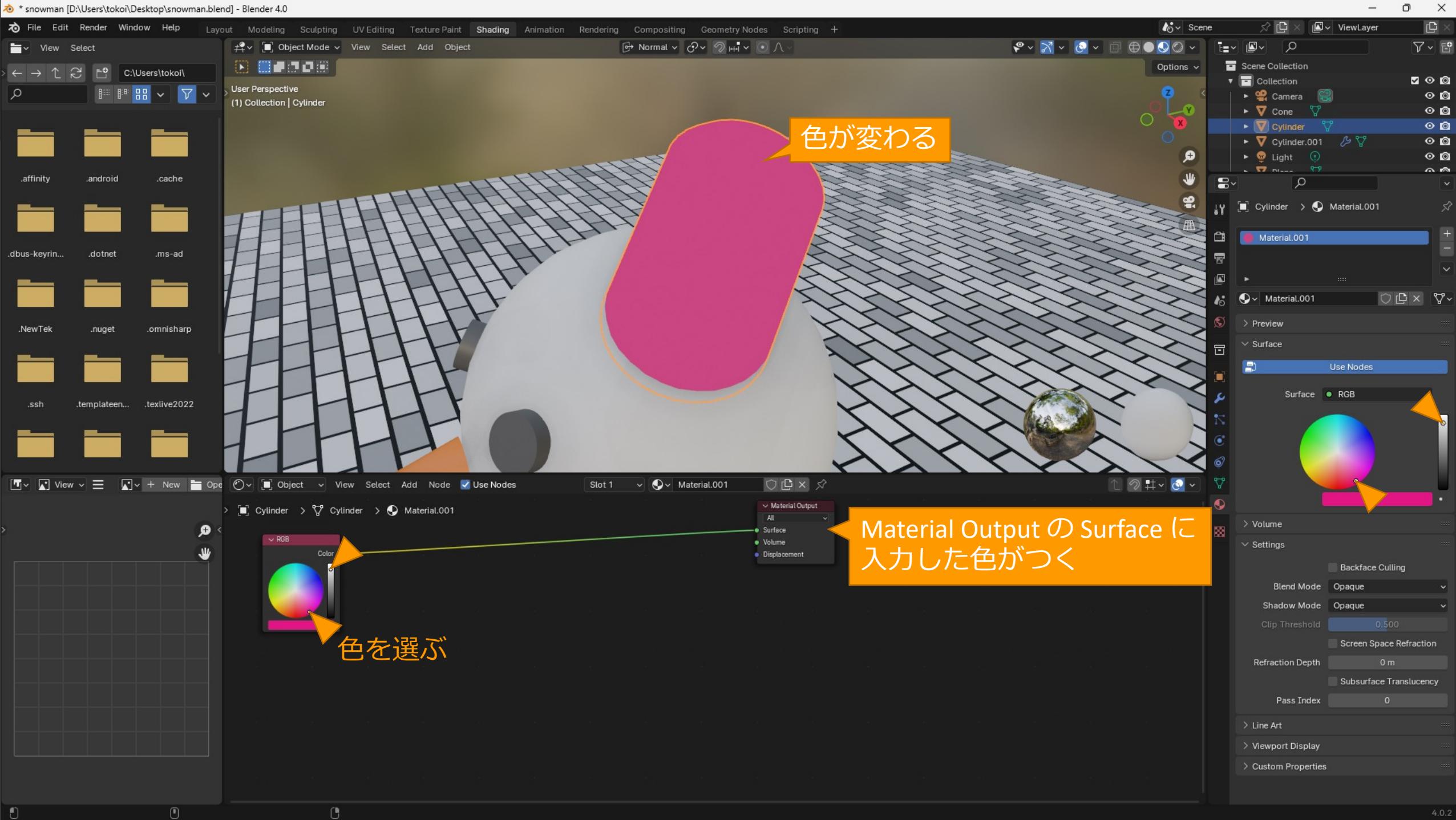


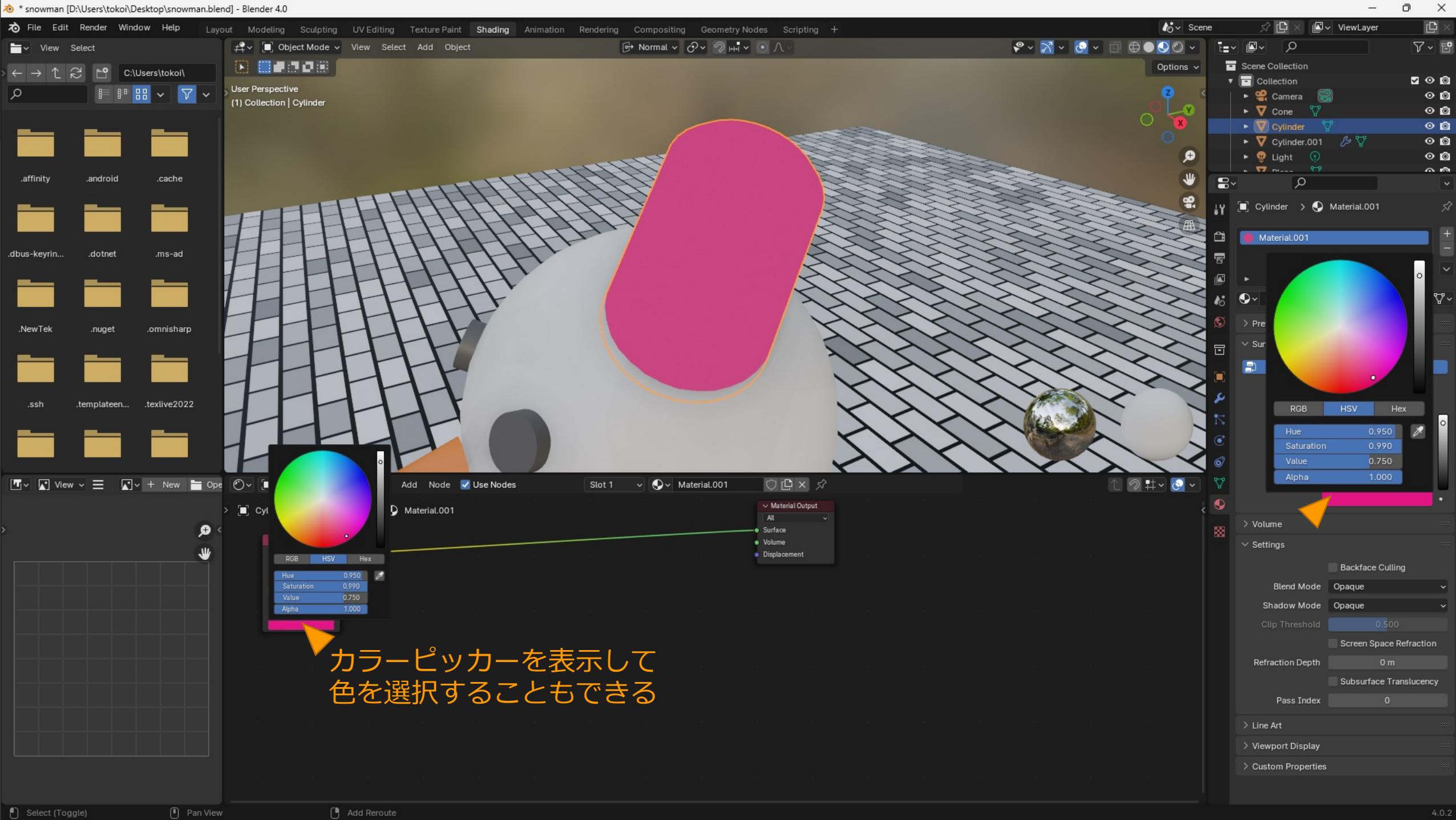


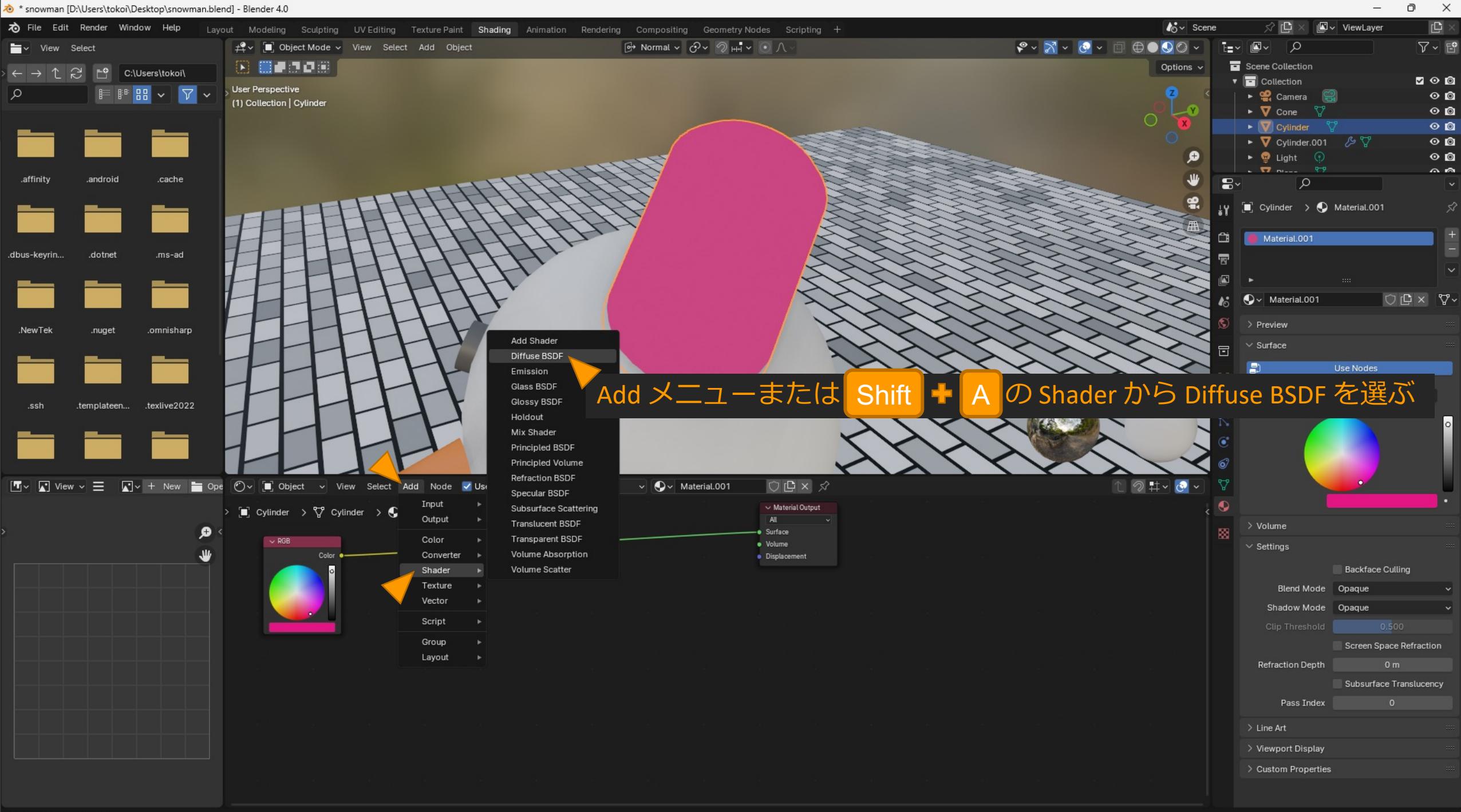


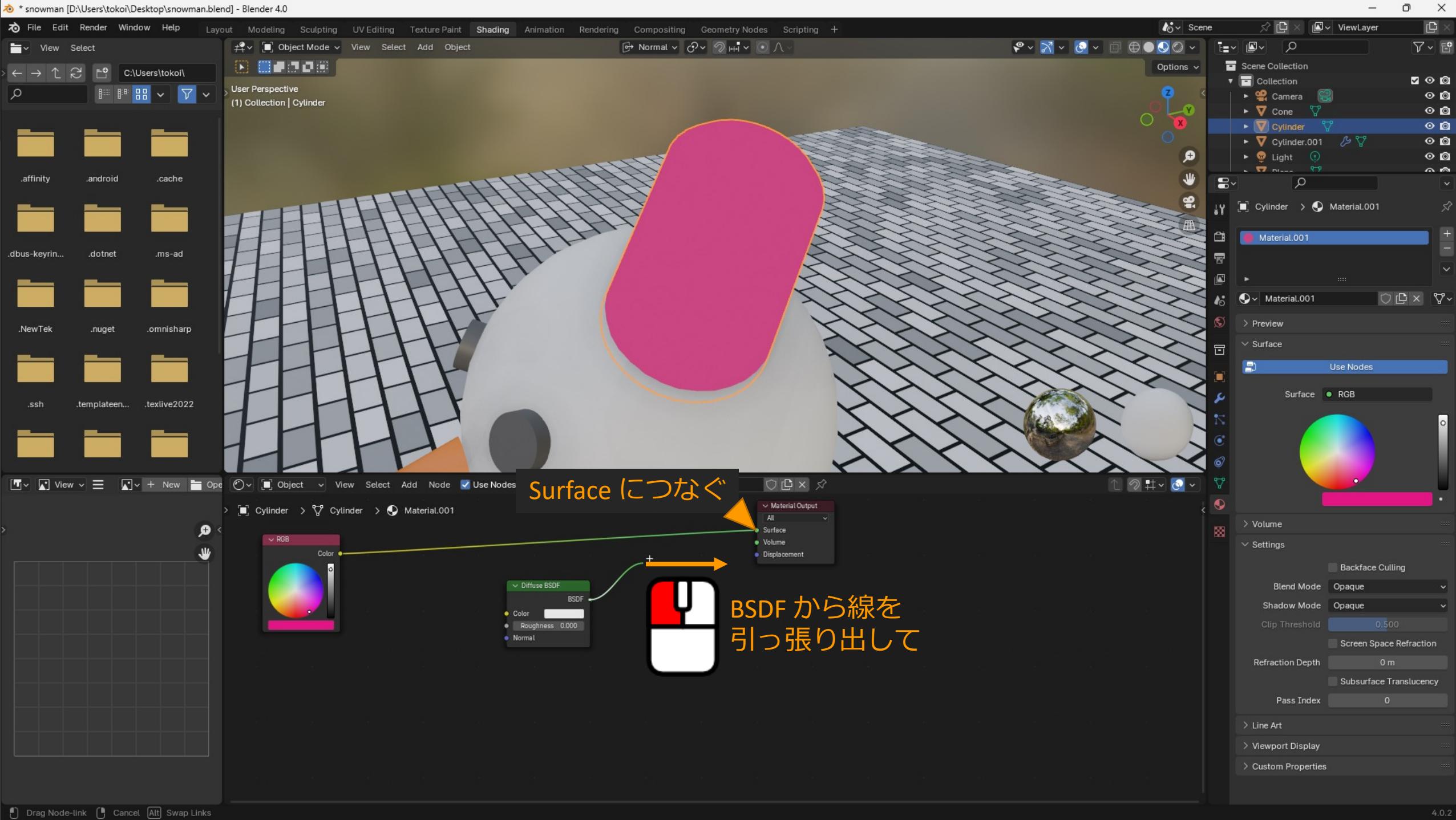


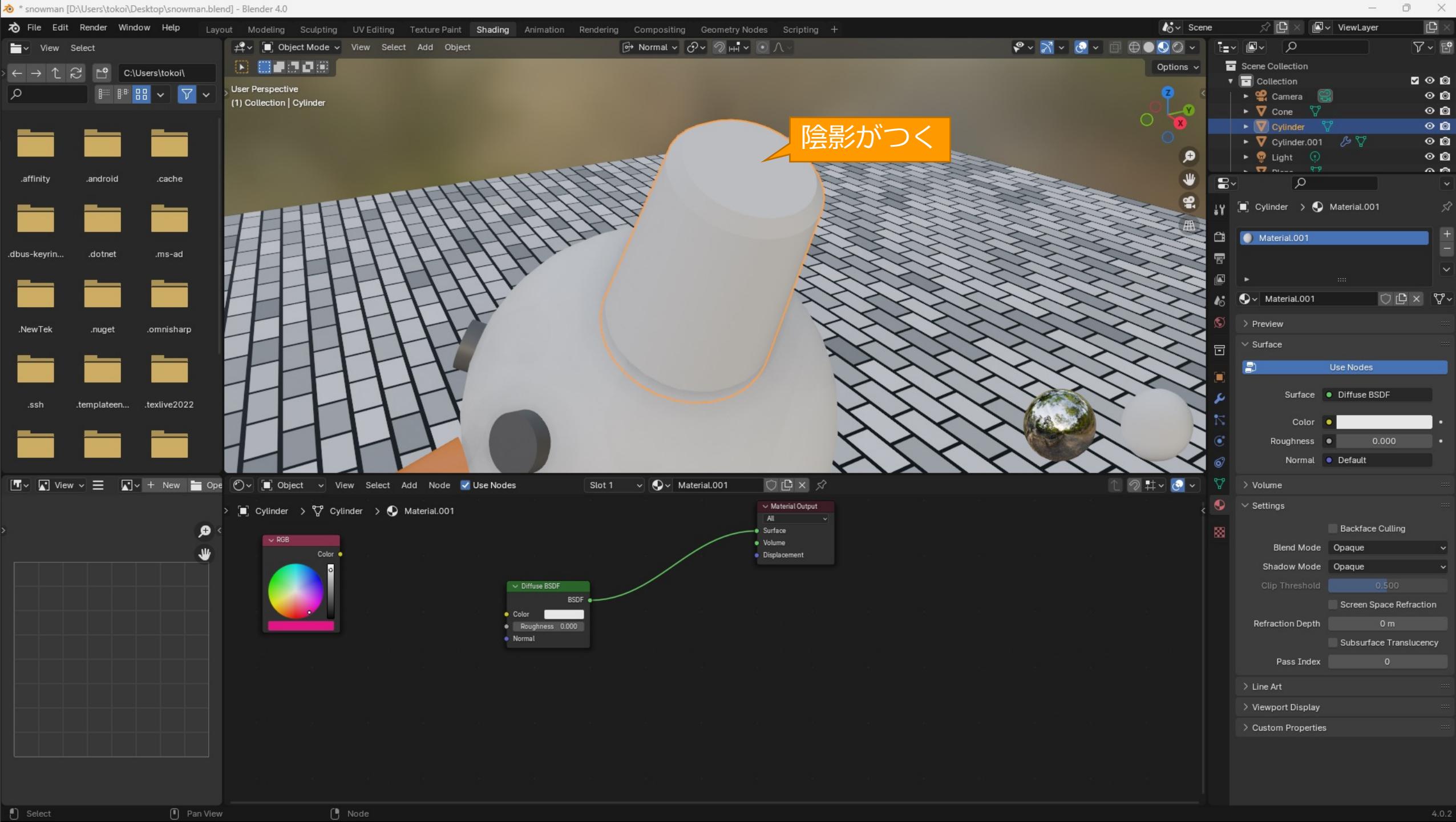


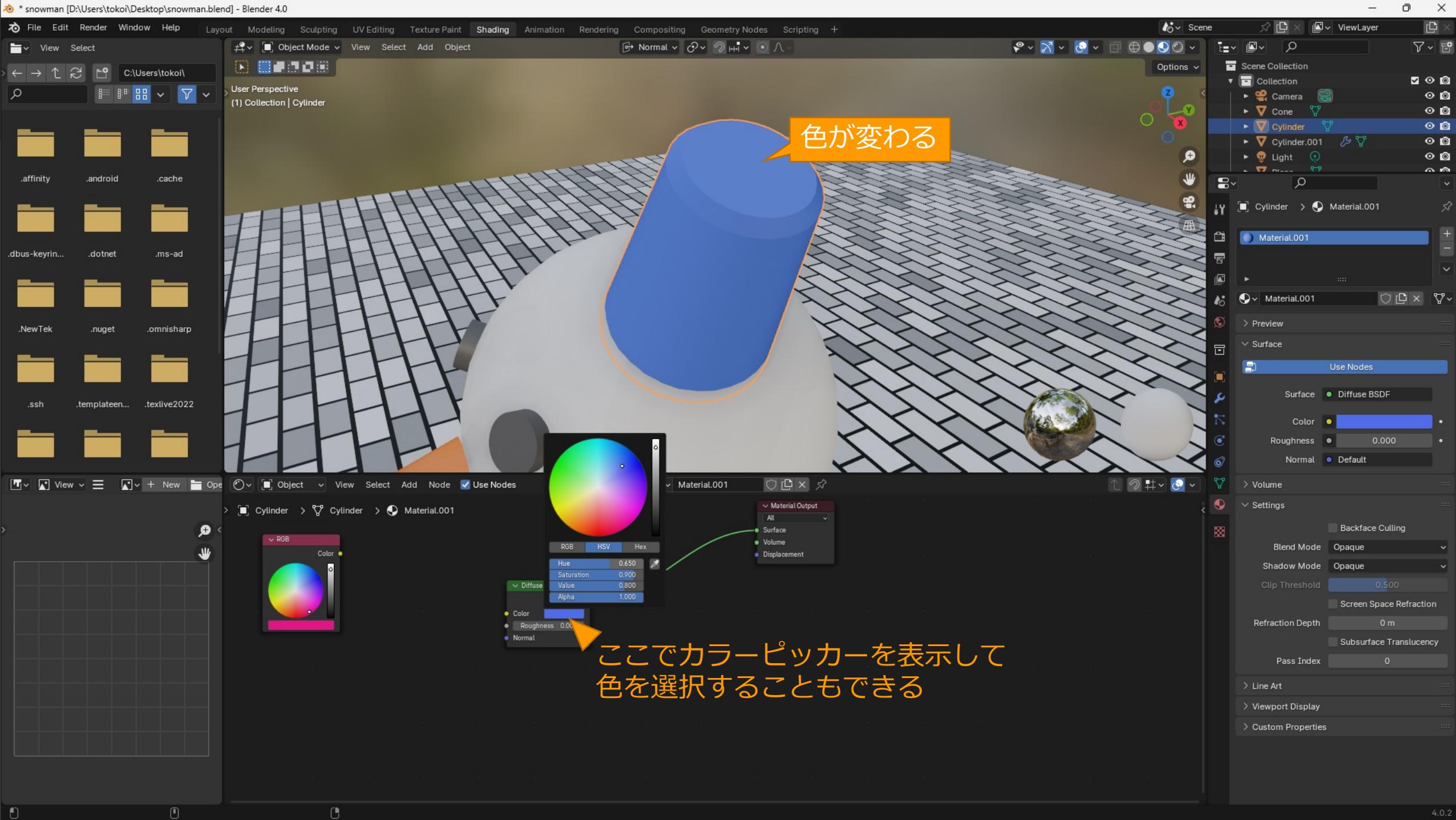


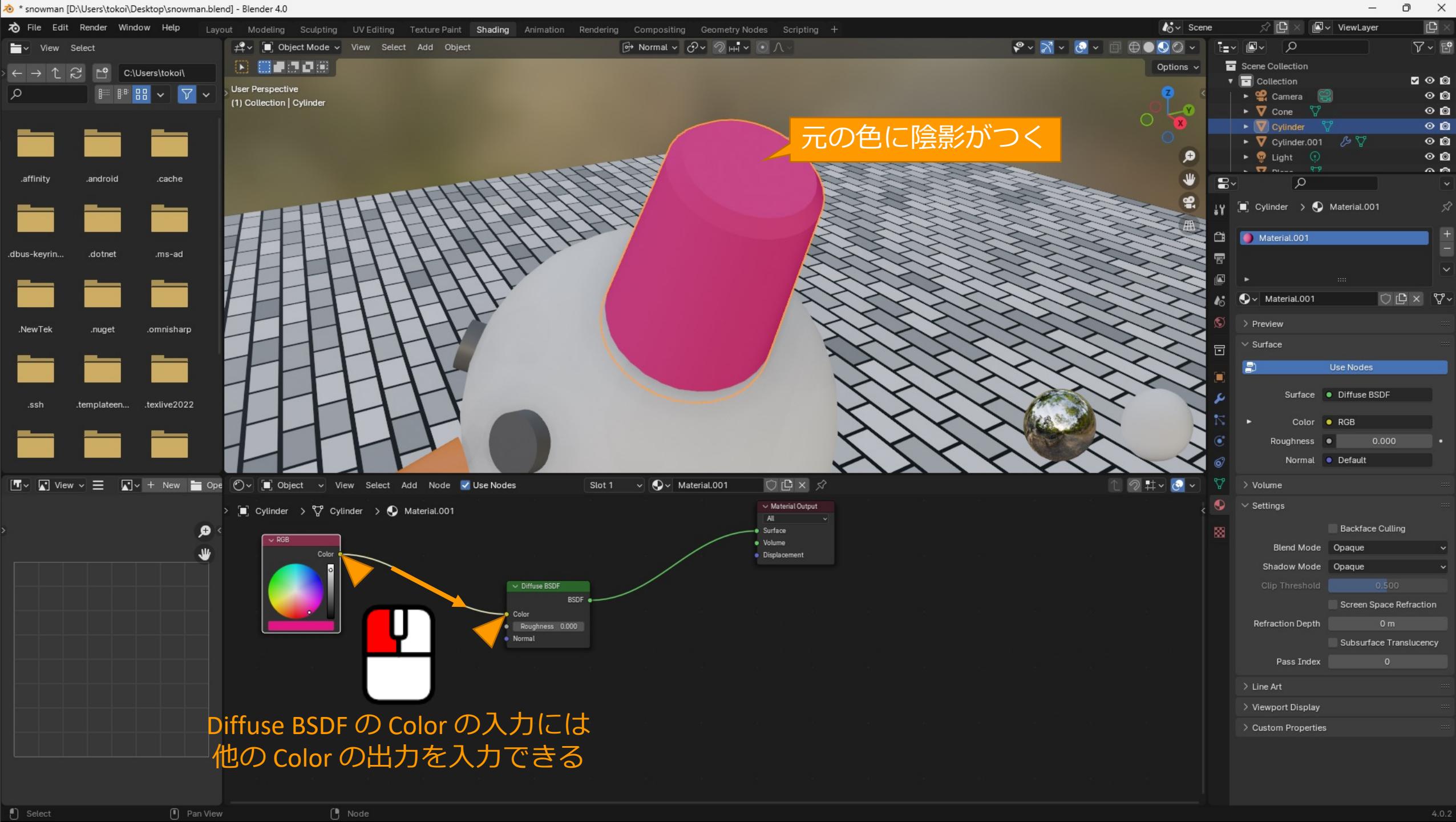


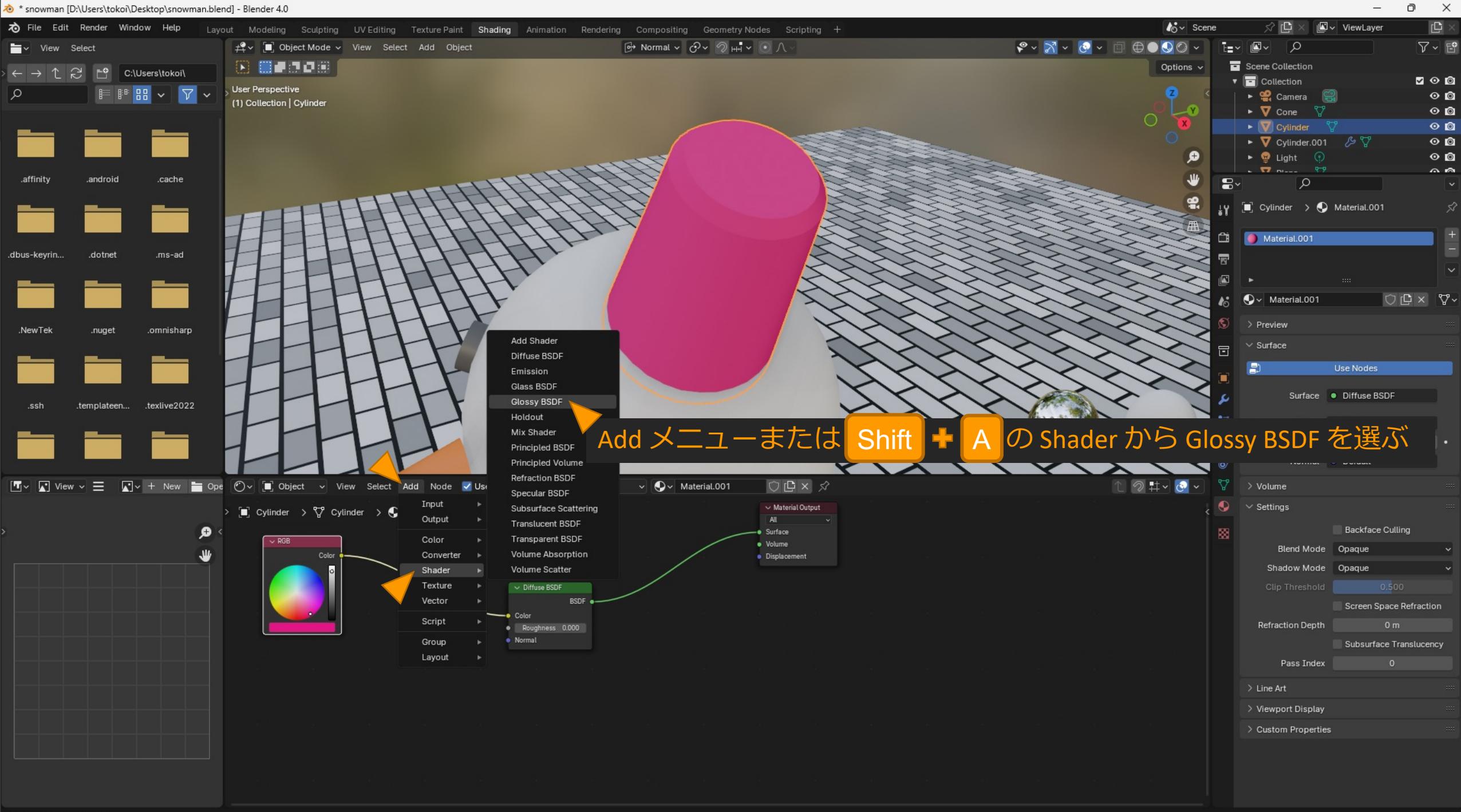


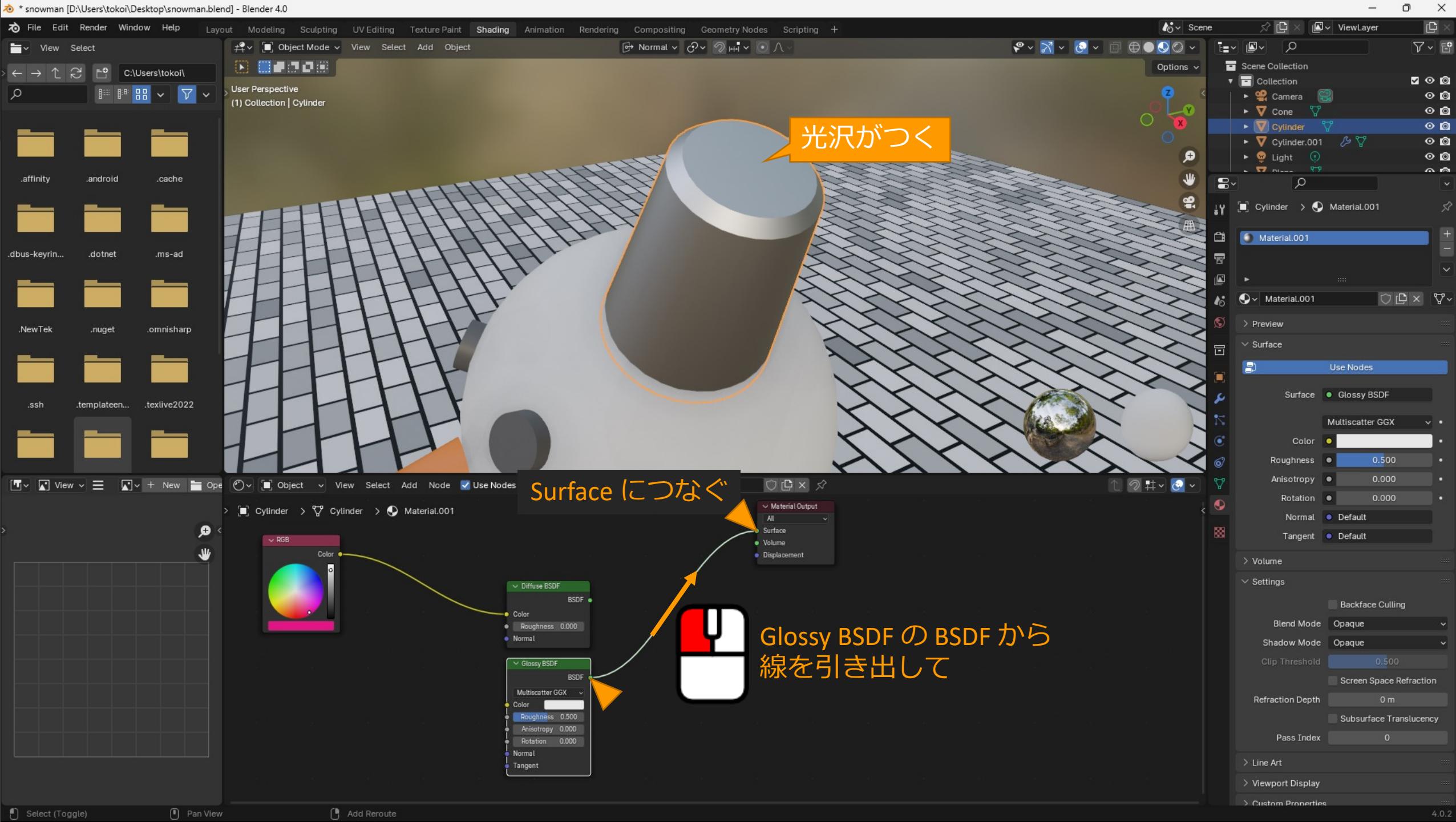


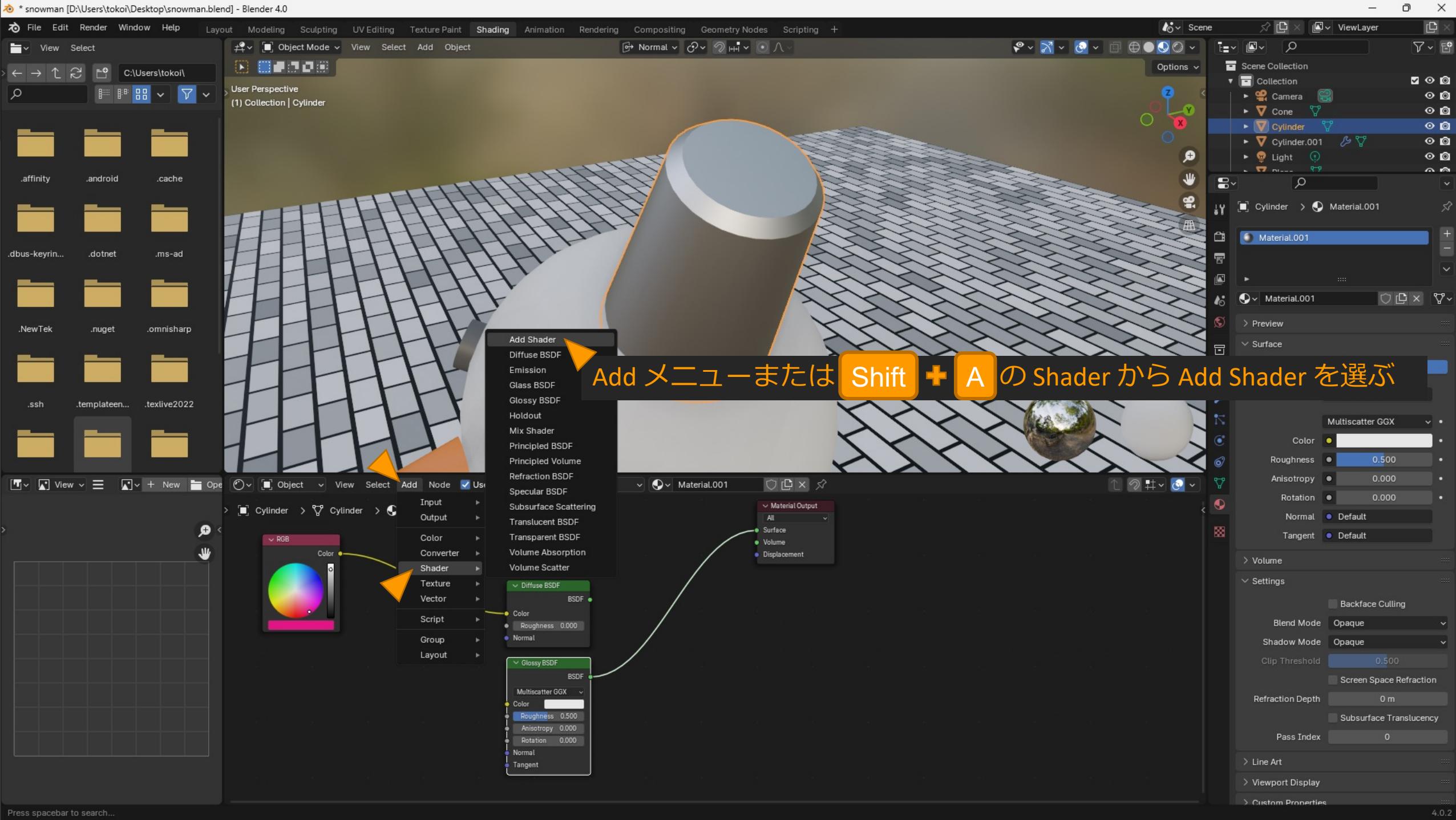


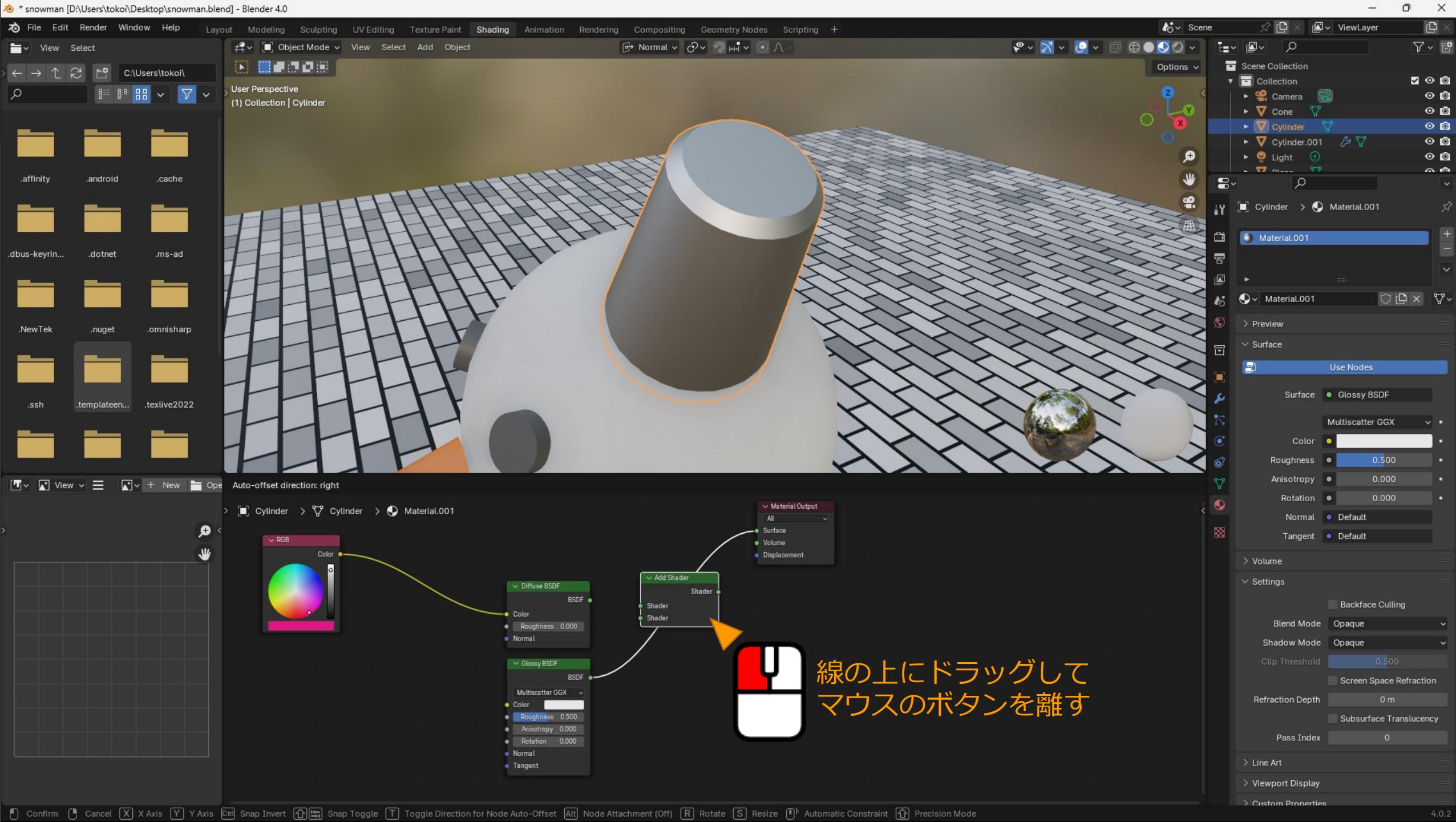


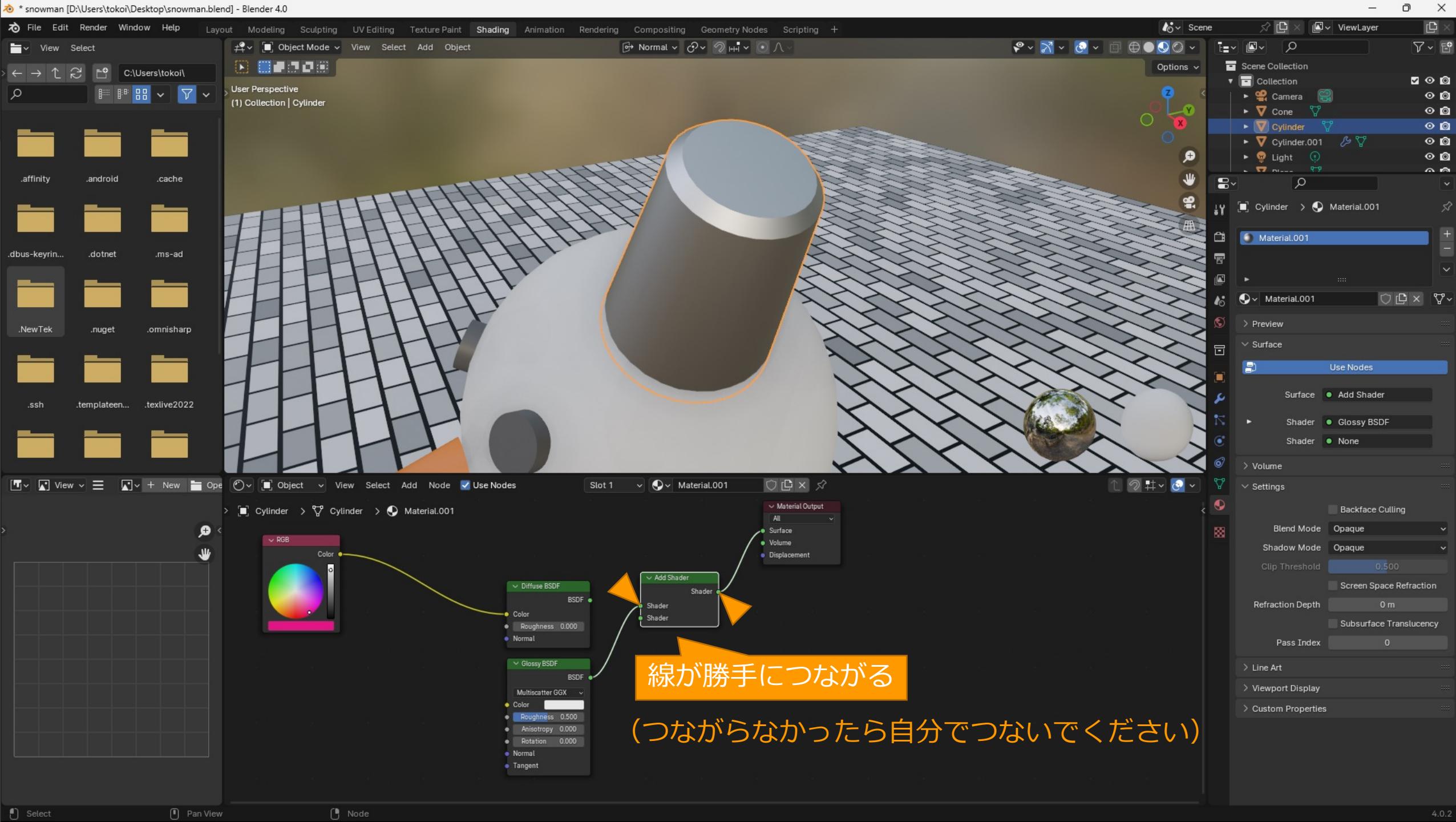




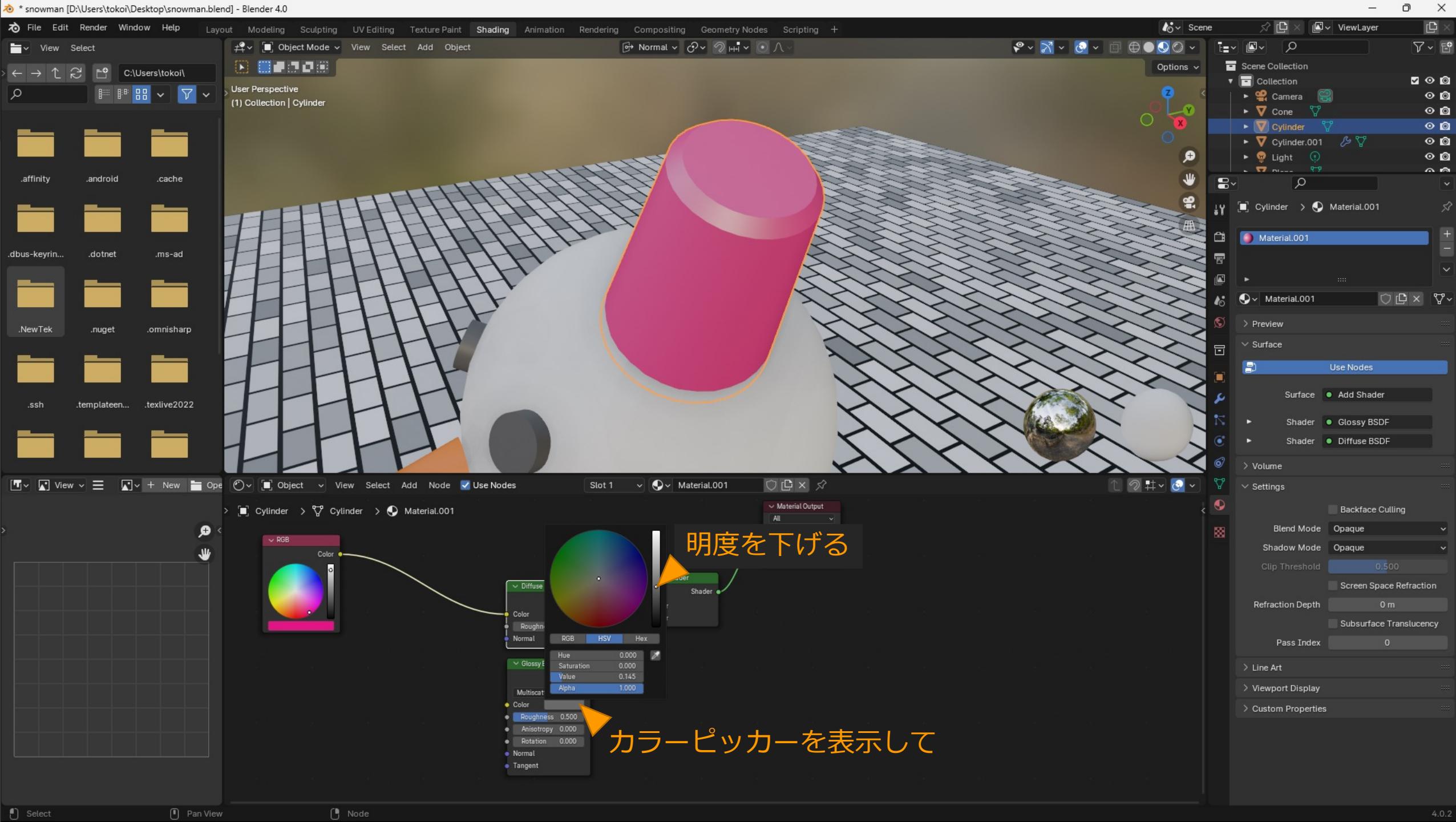


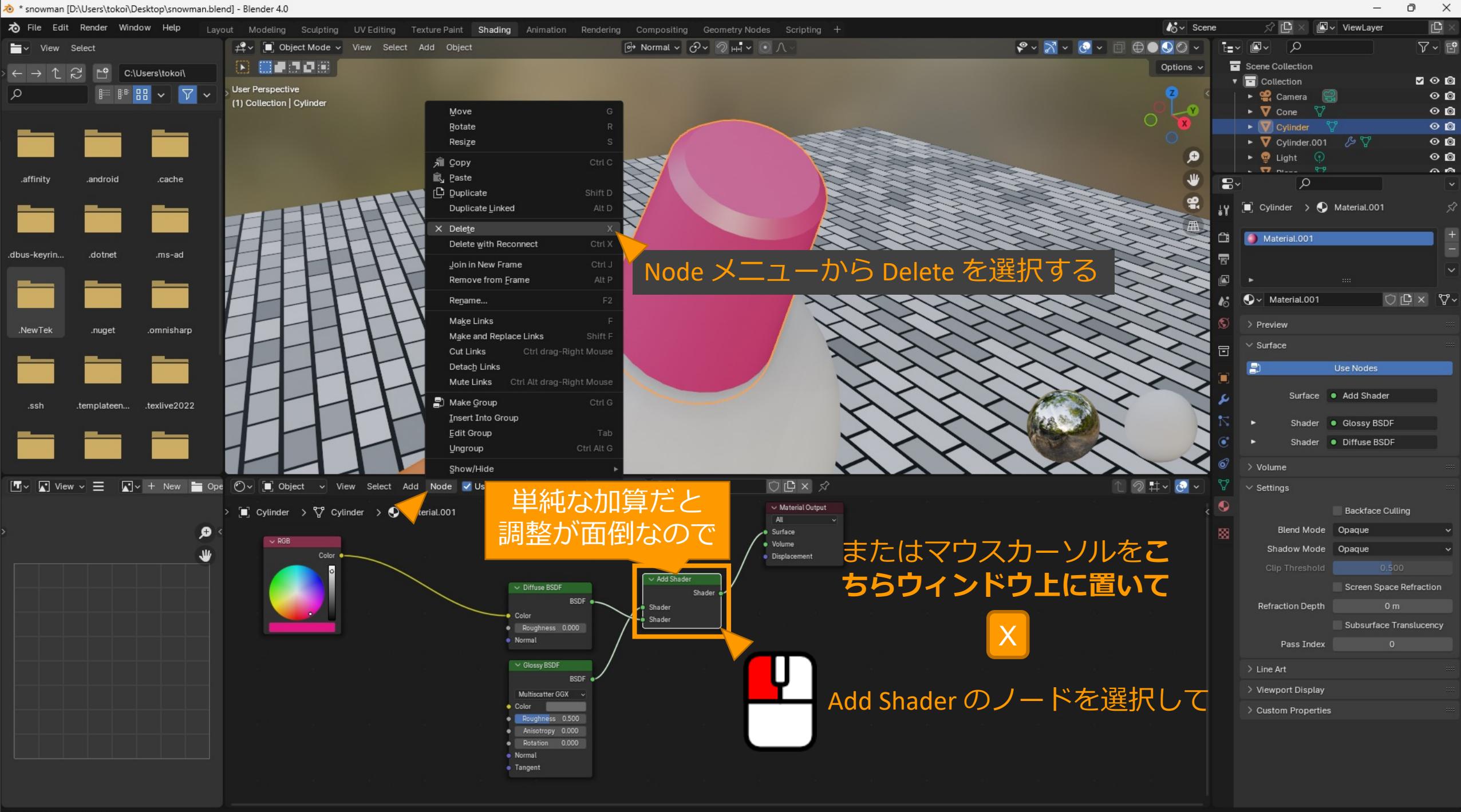


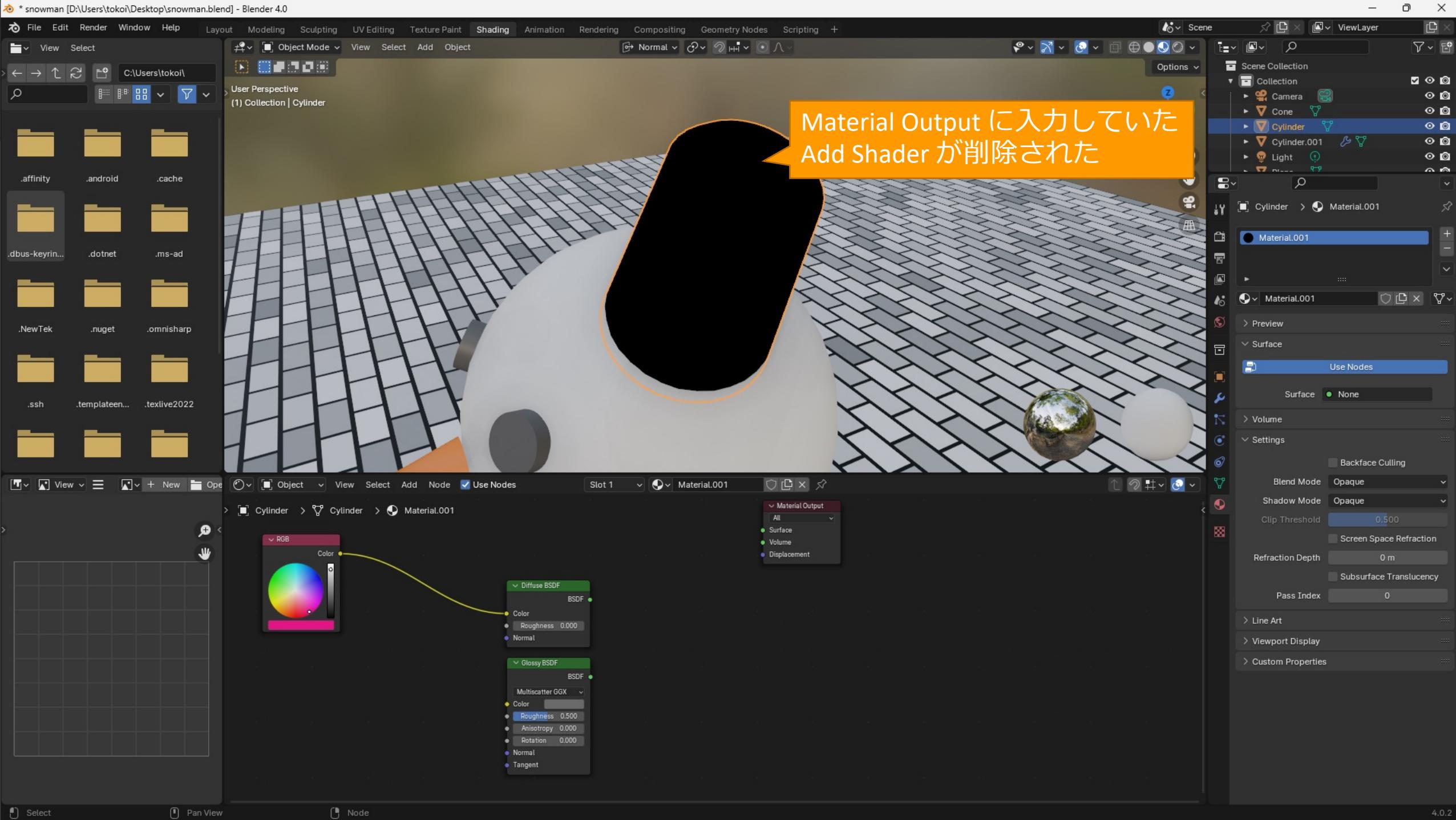


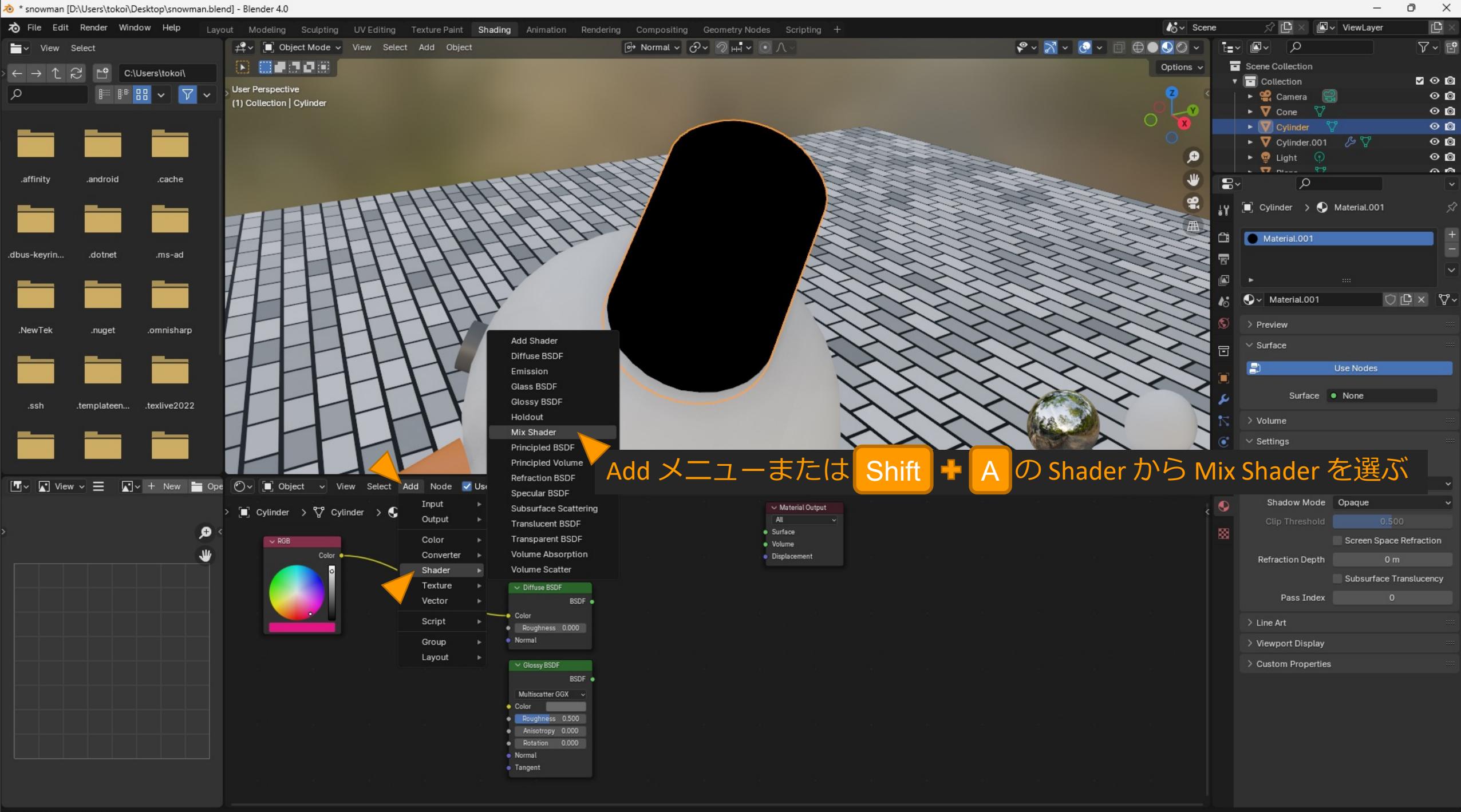


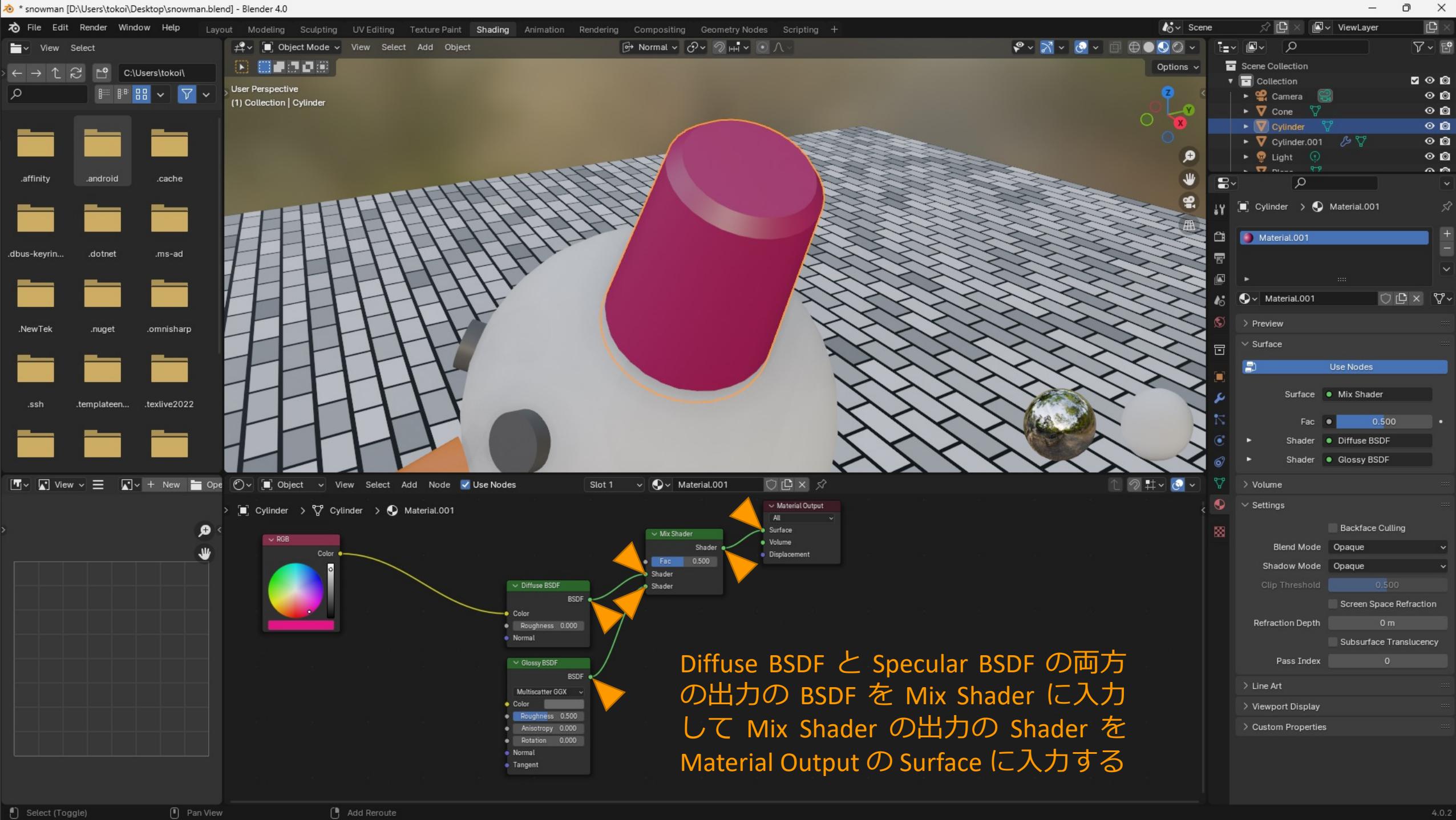


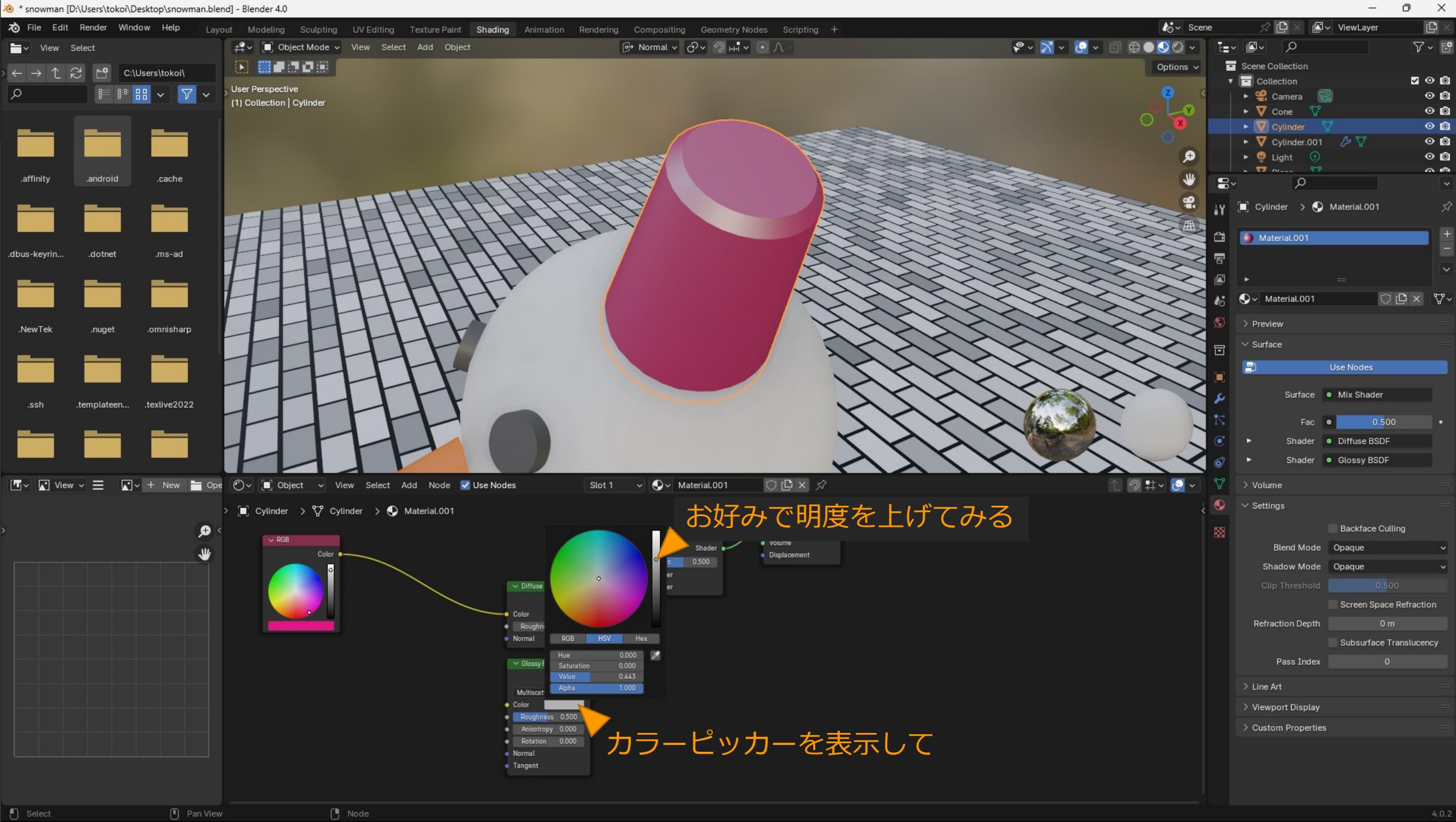


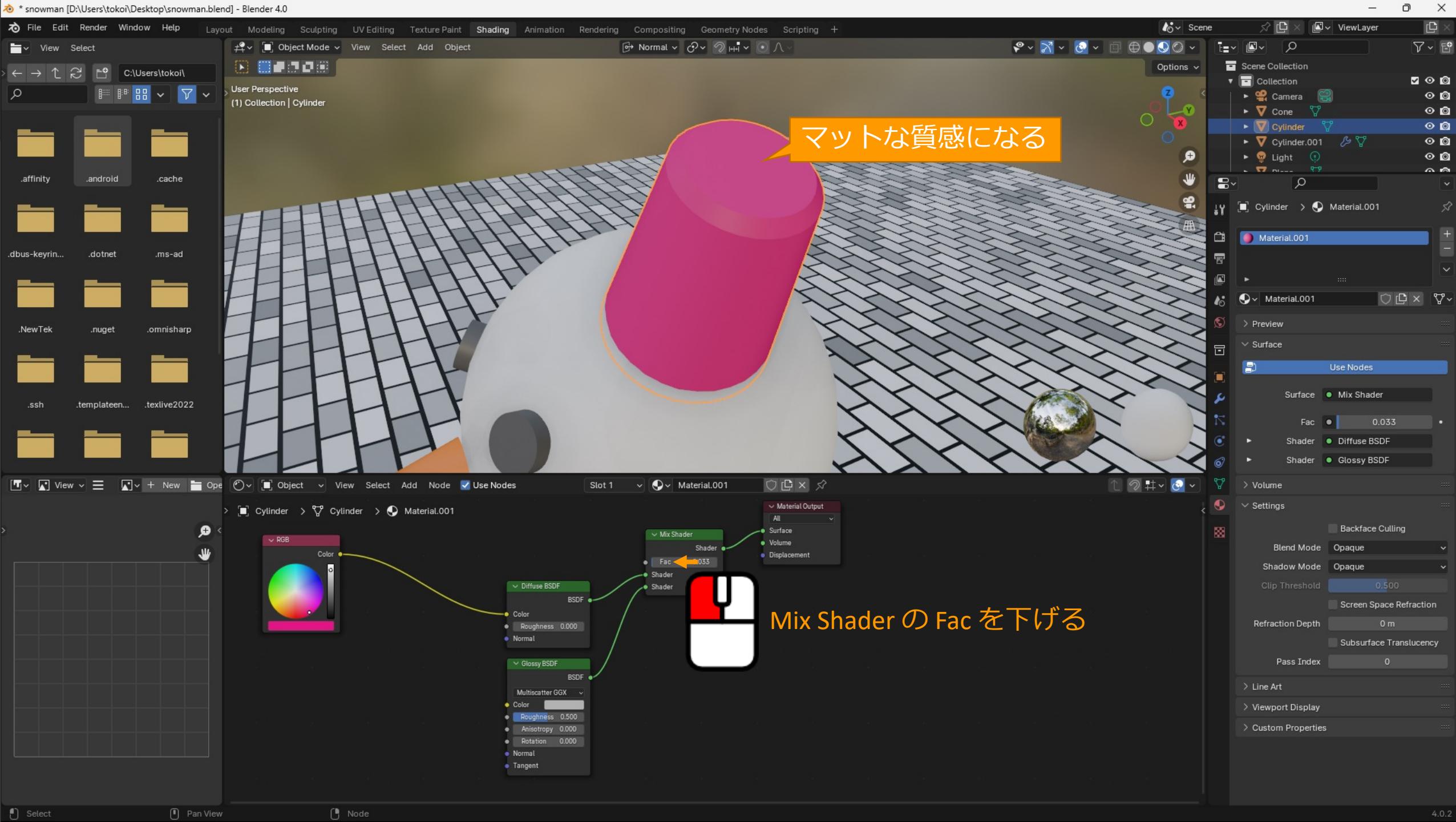


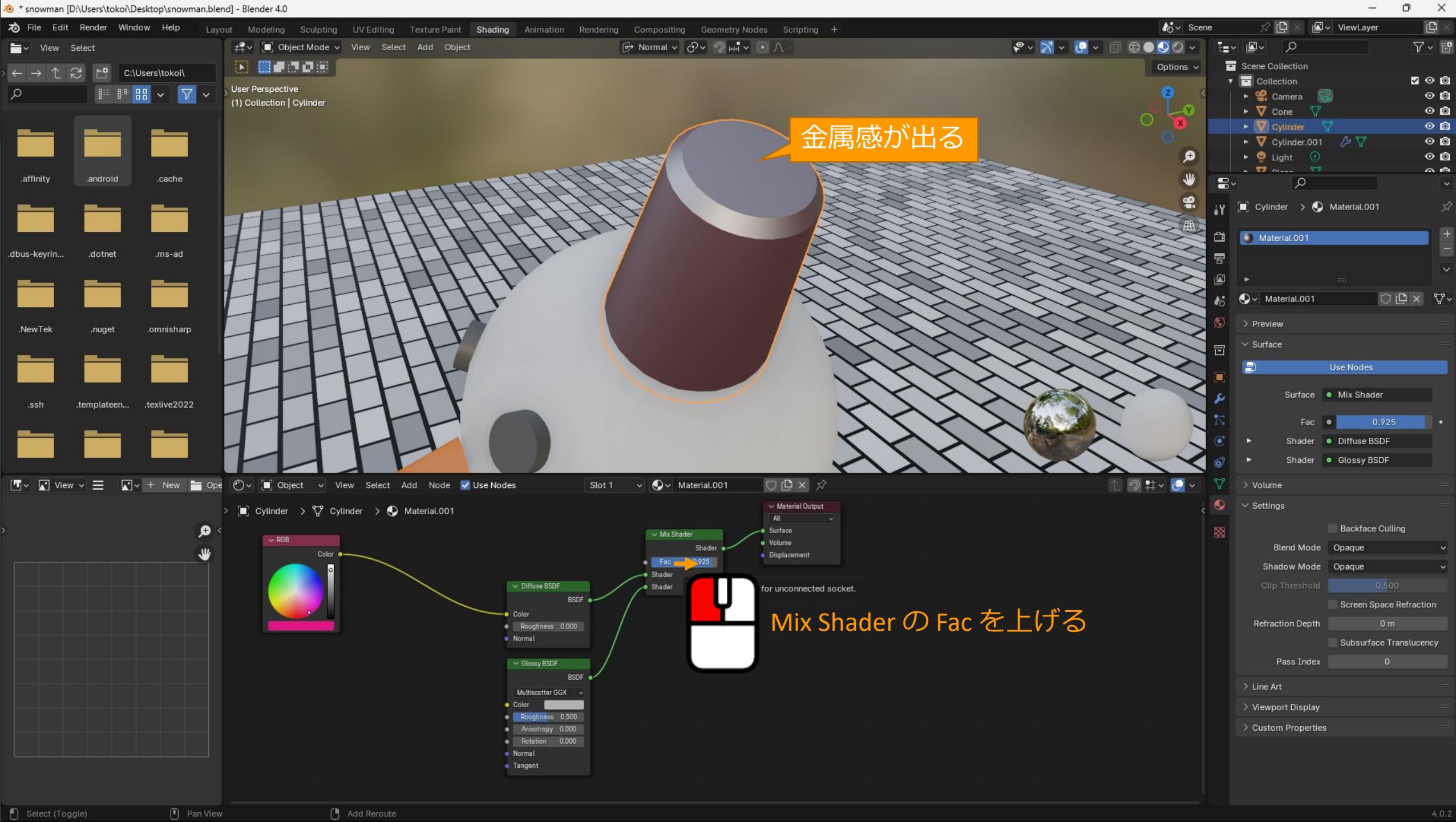


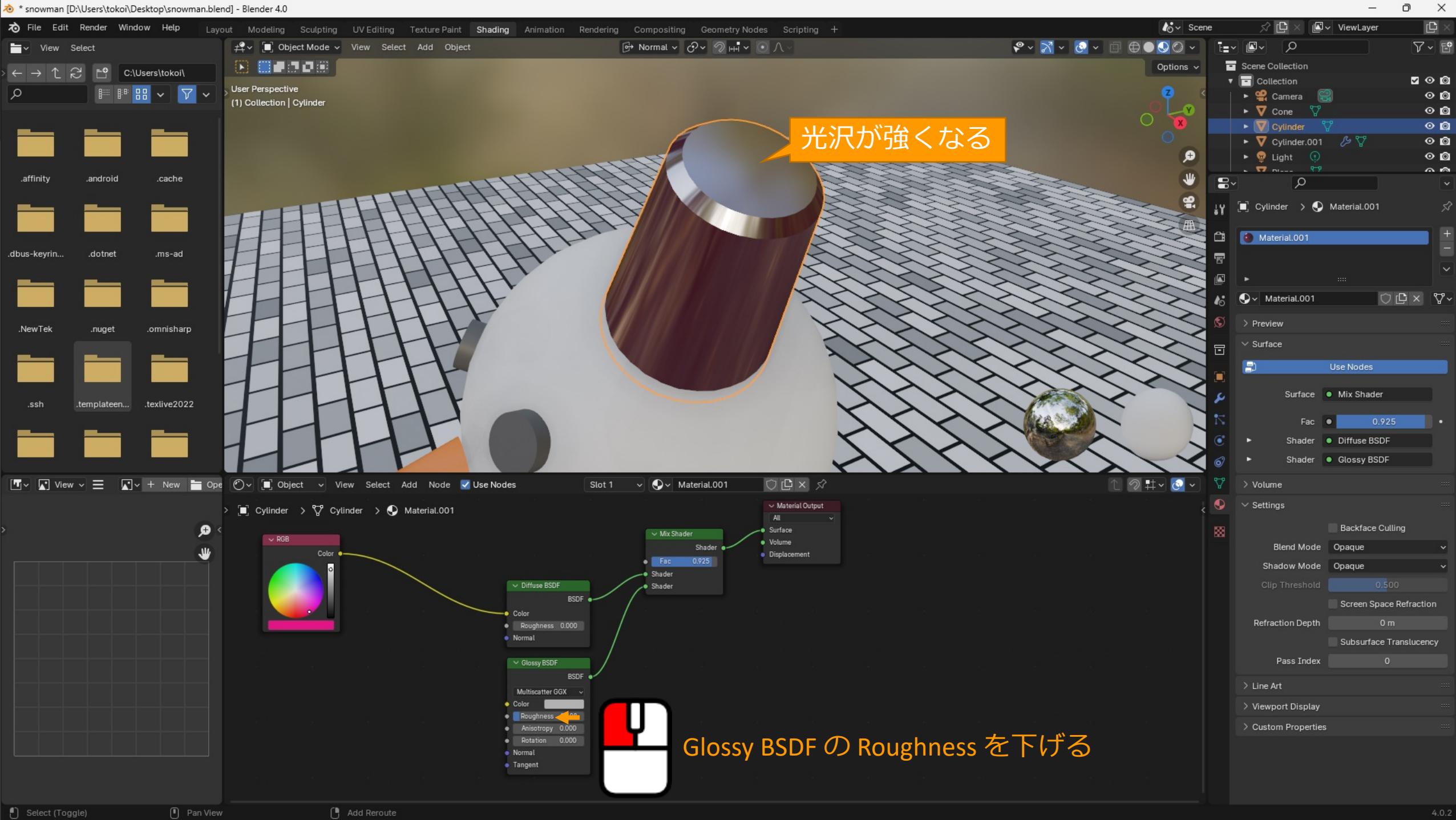


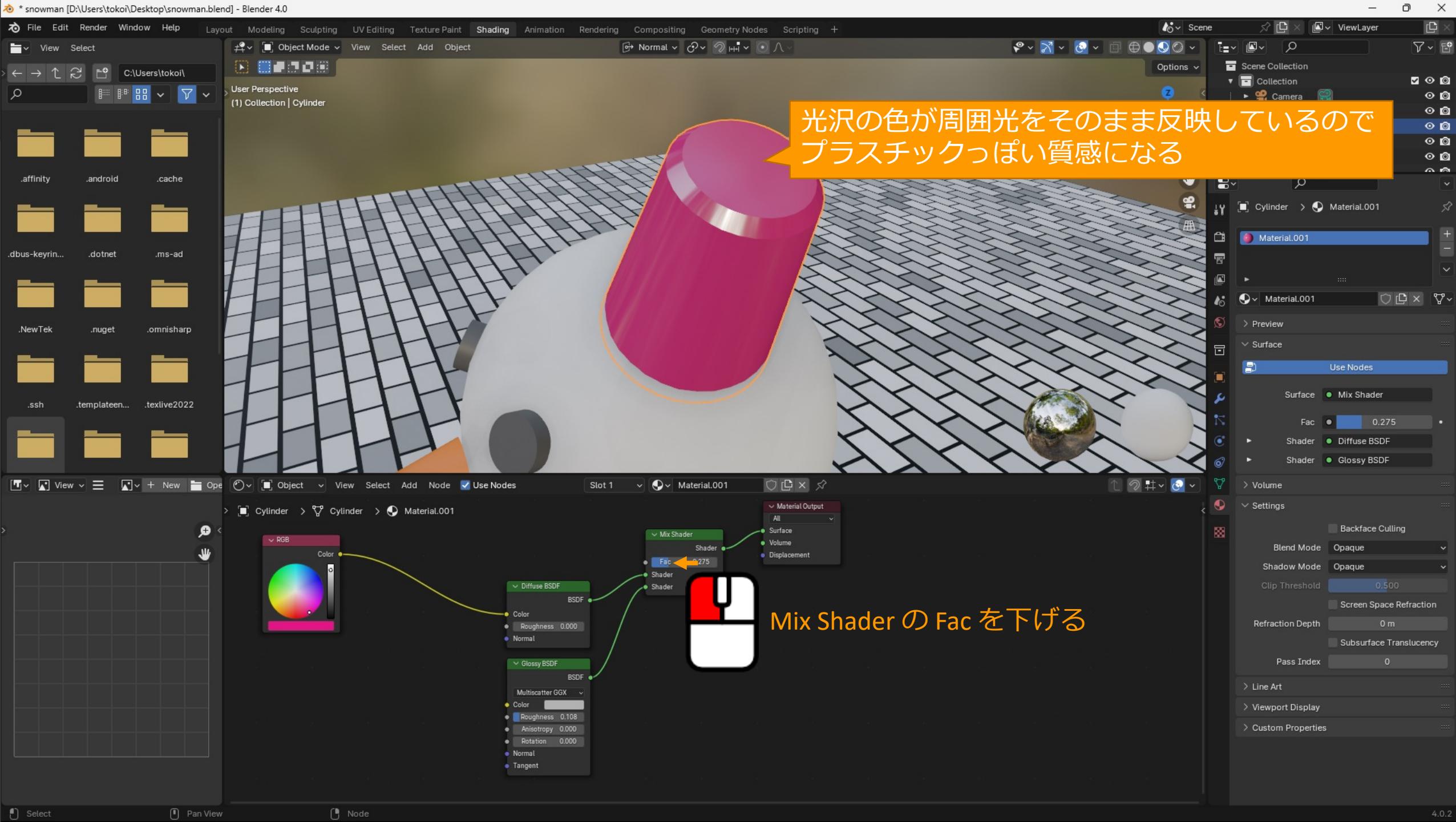


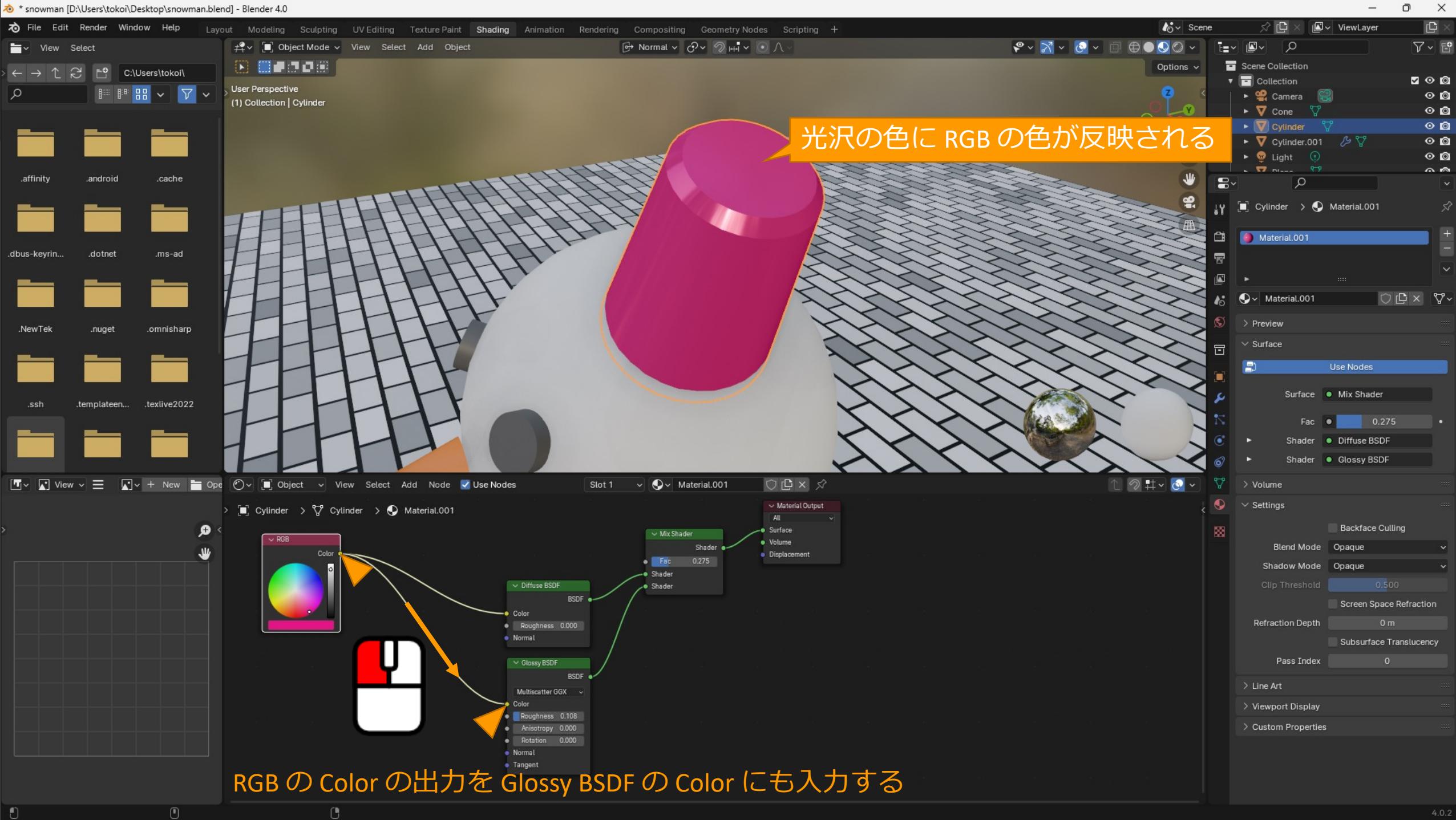


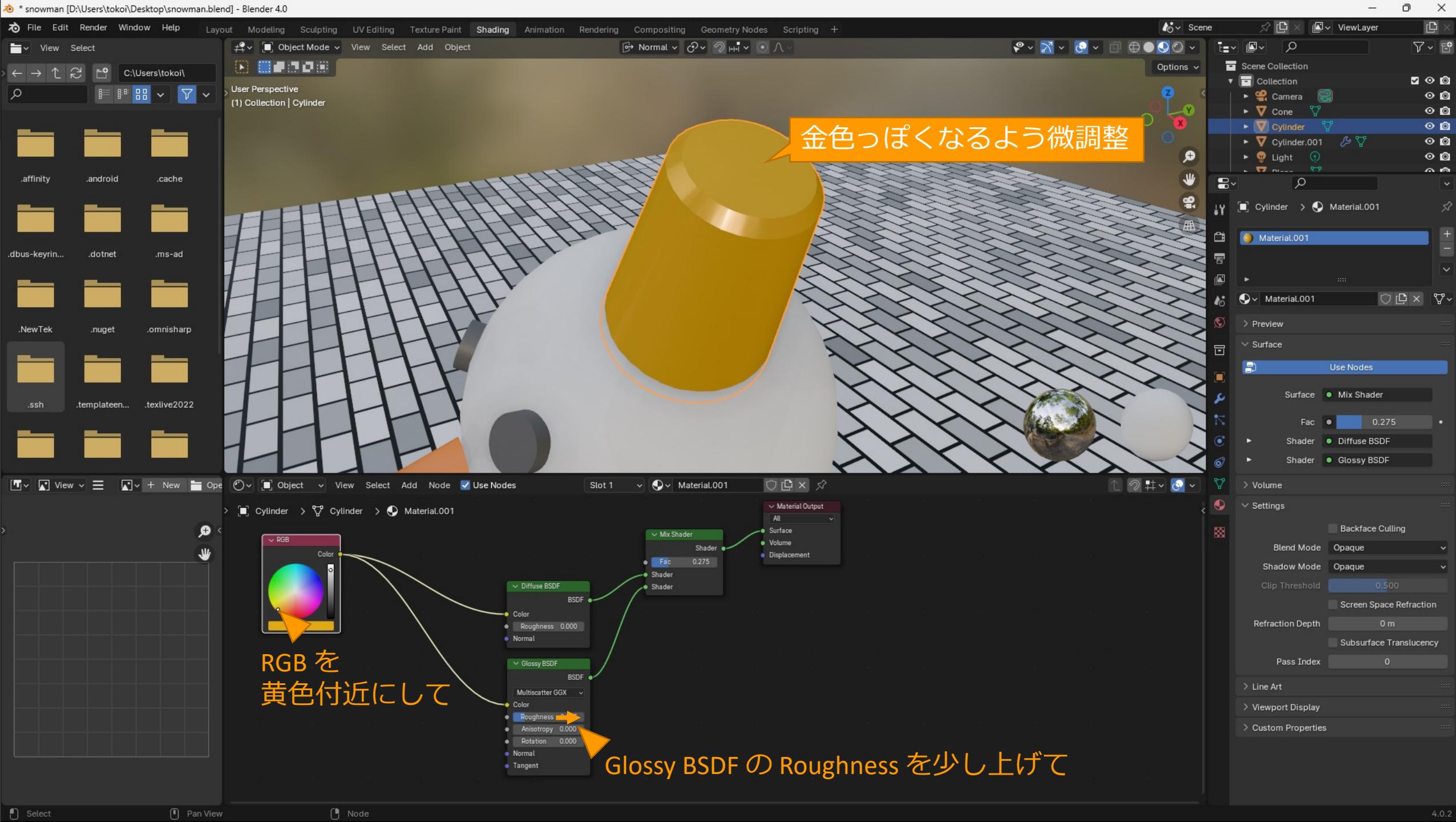


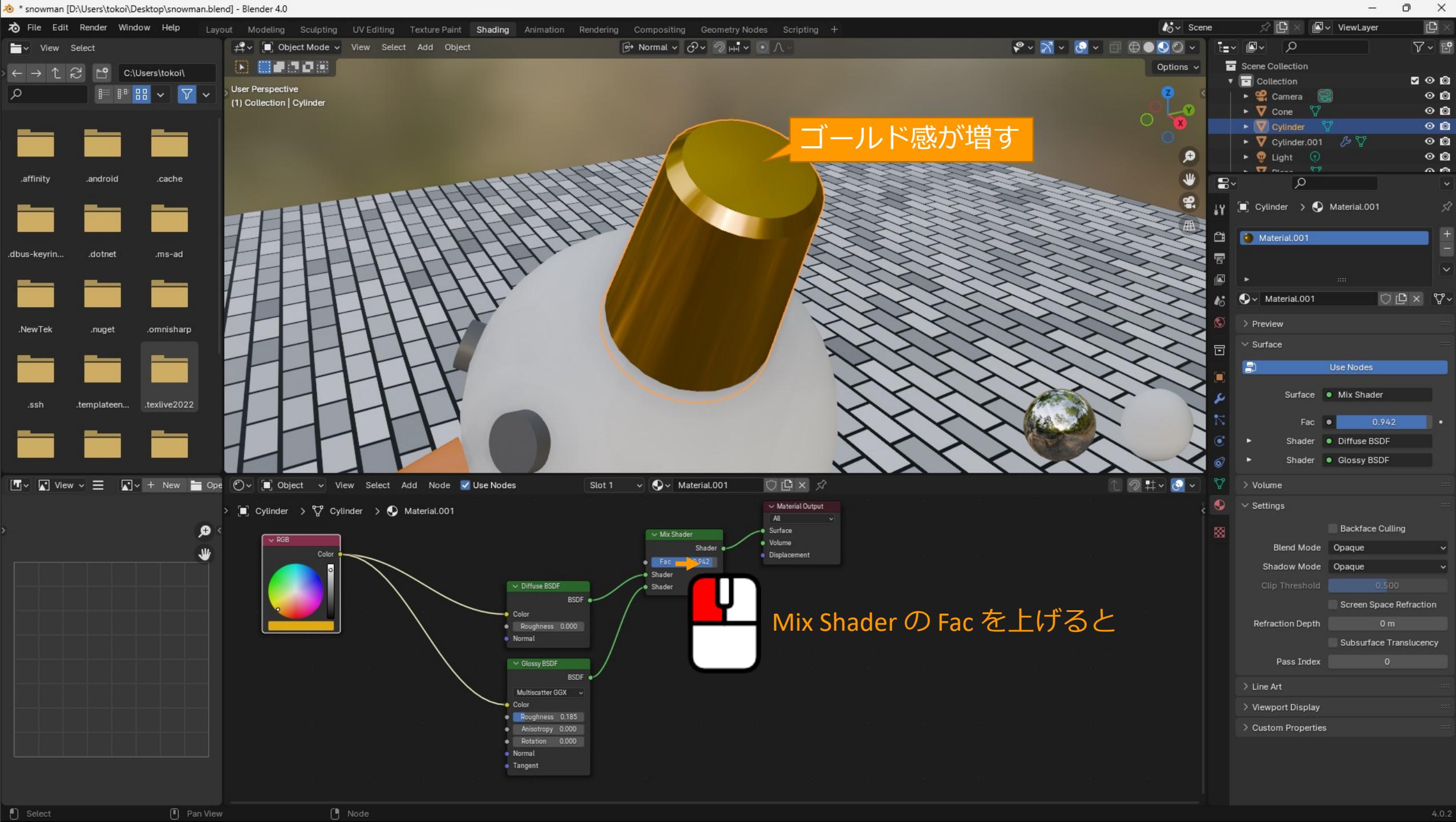


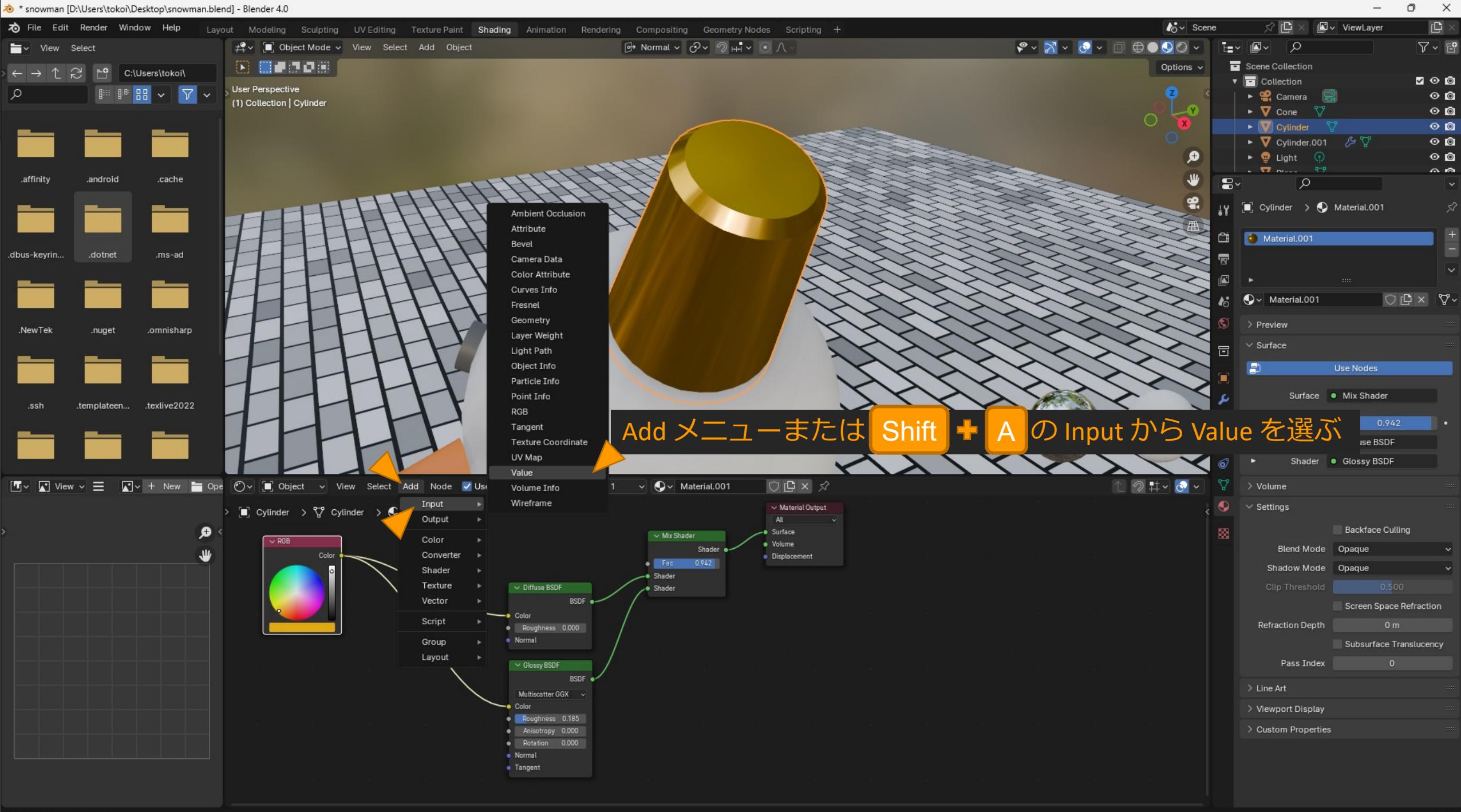


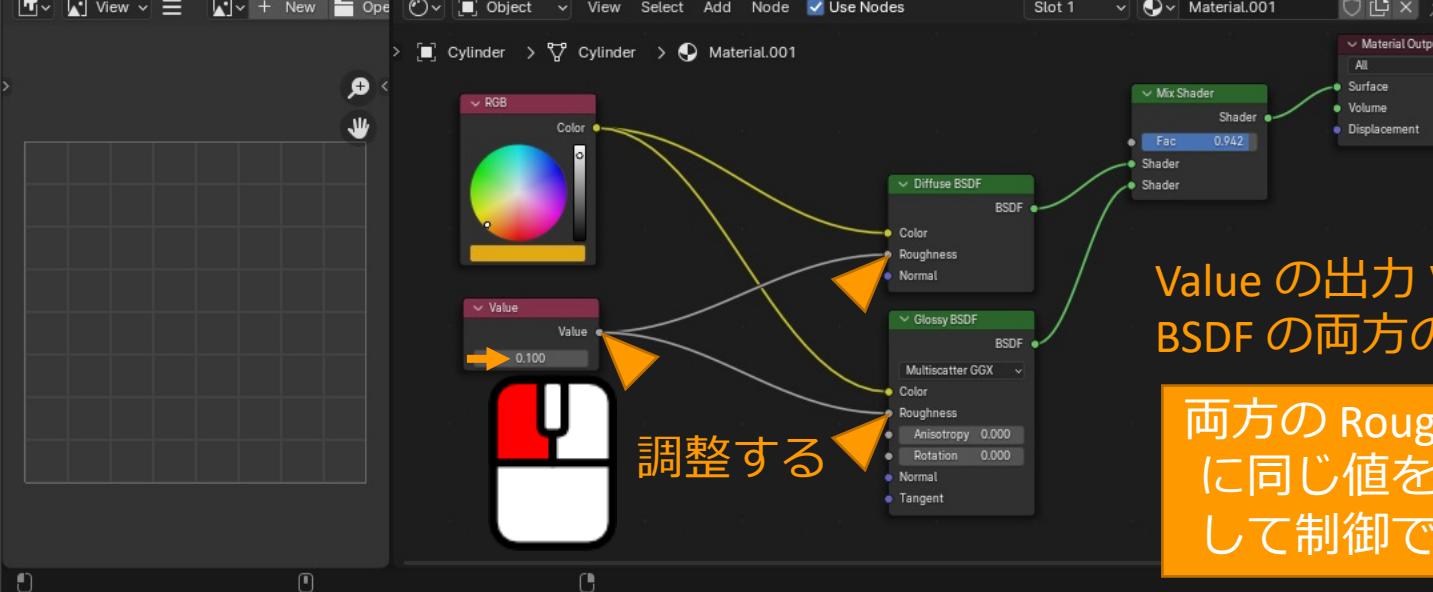
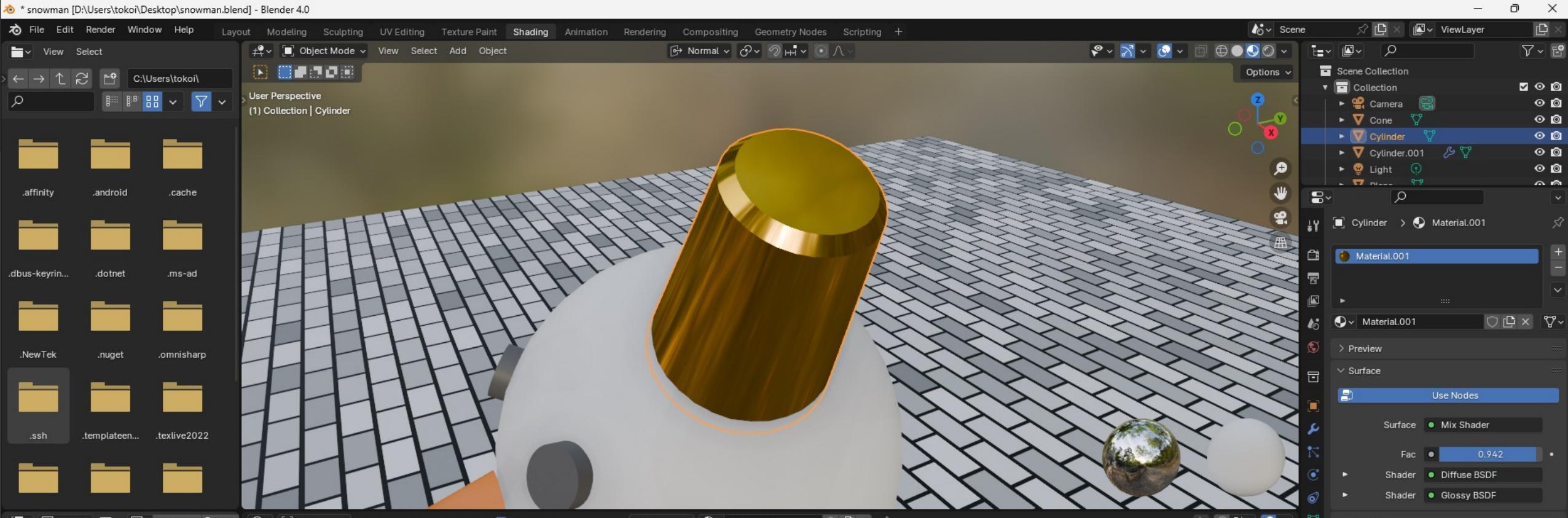








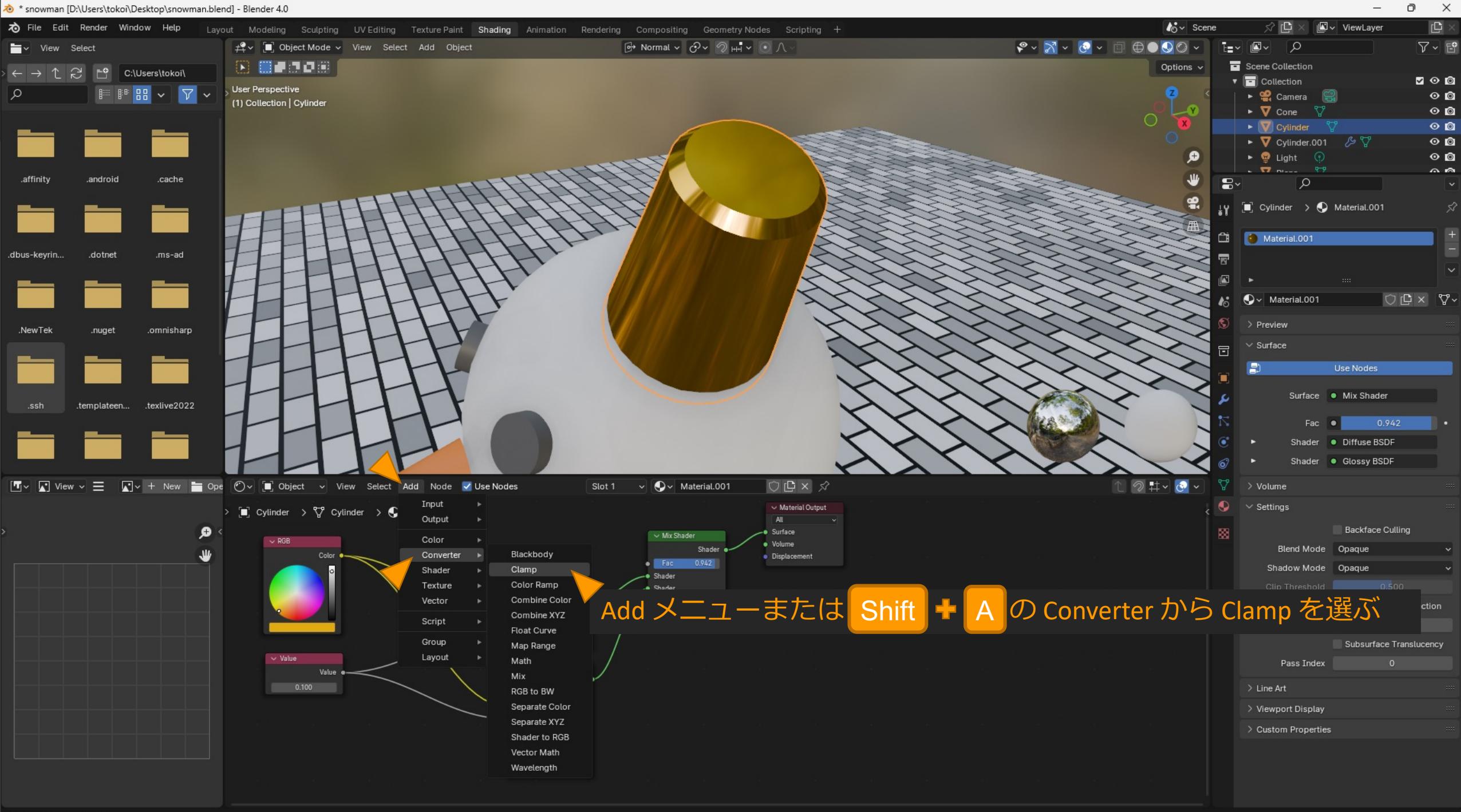


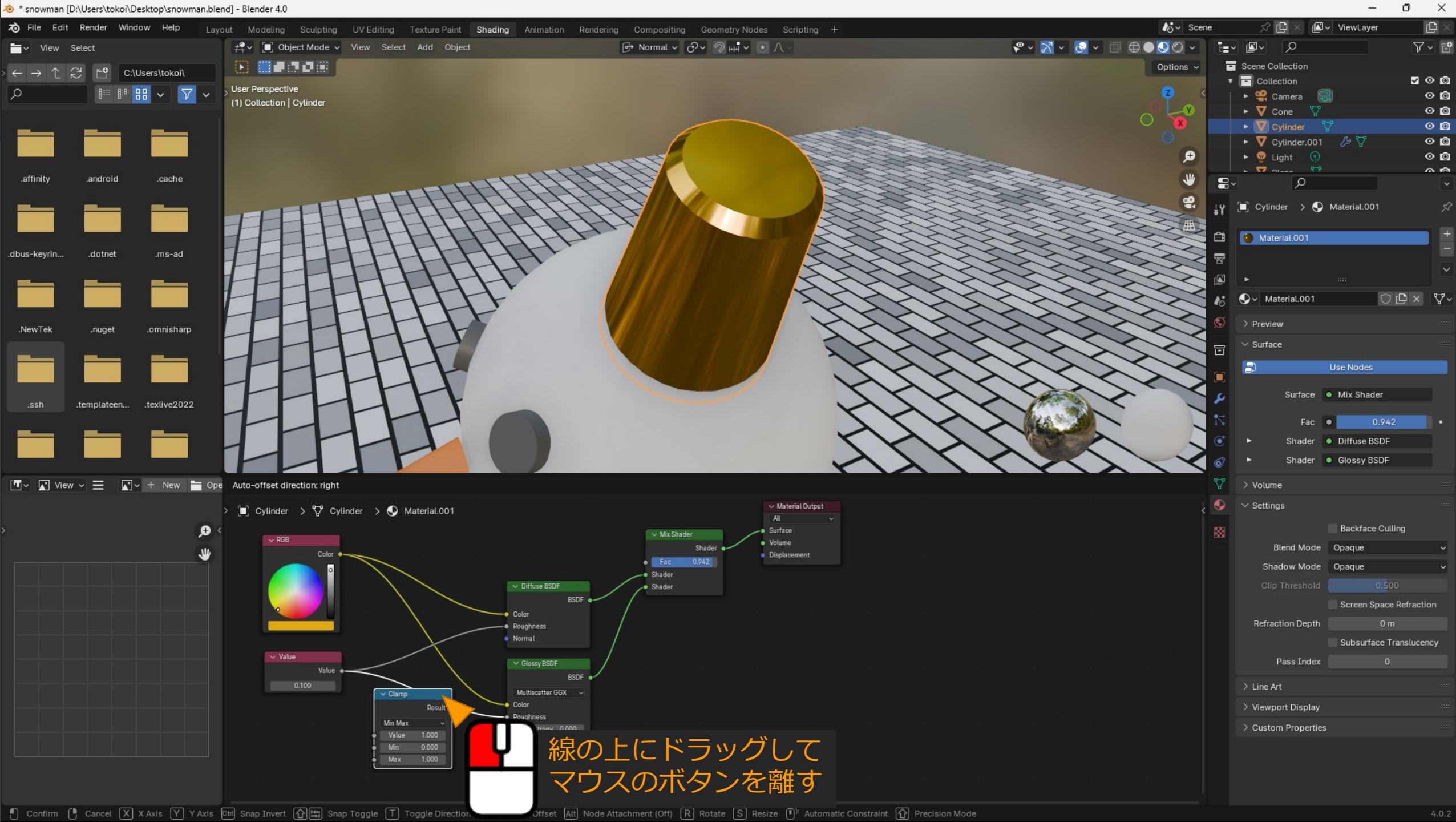


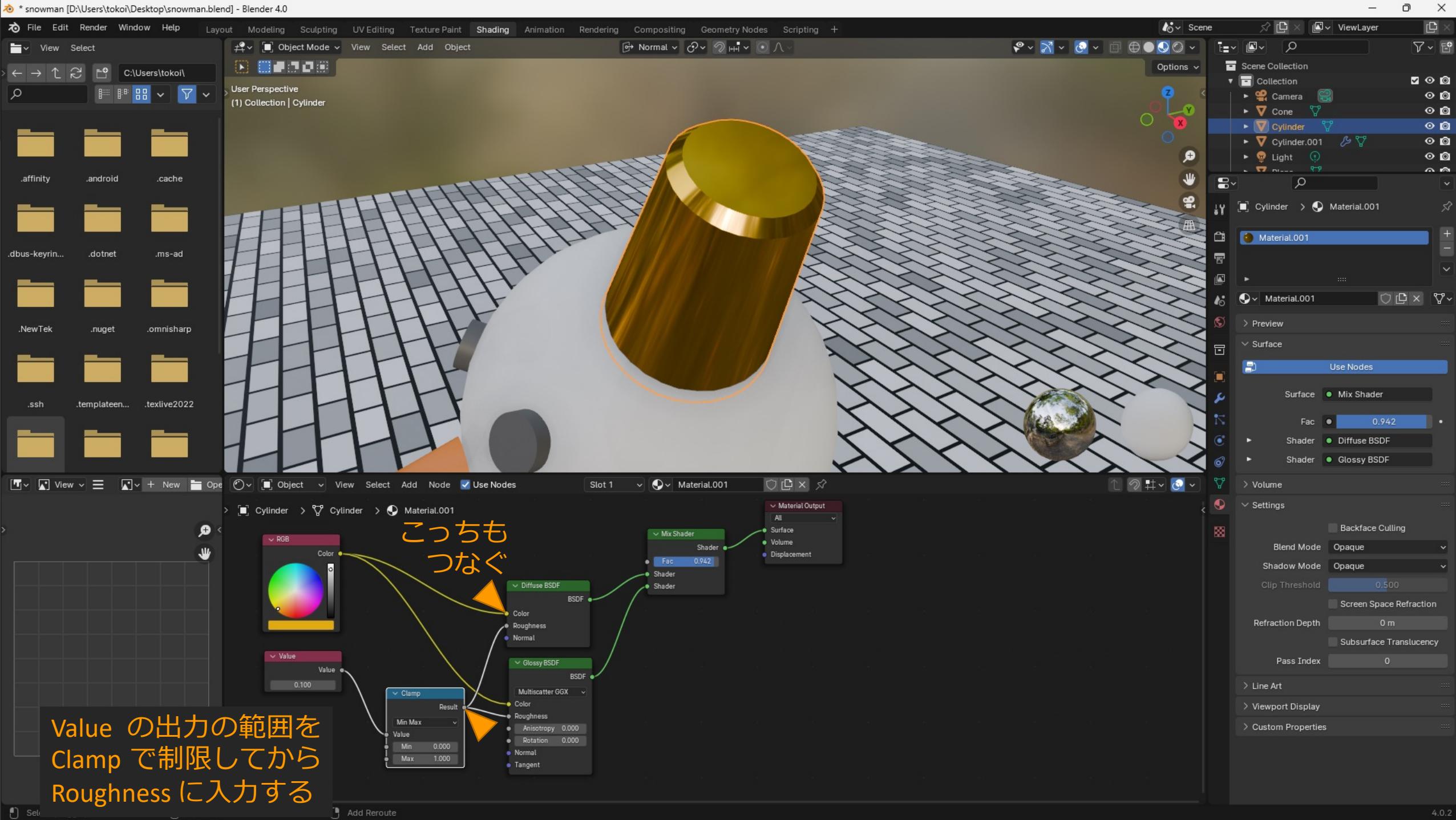
Value の出力 Value を Diffuse BSDF と Glossy BSDF の両方の Roughness に入力する

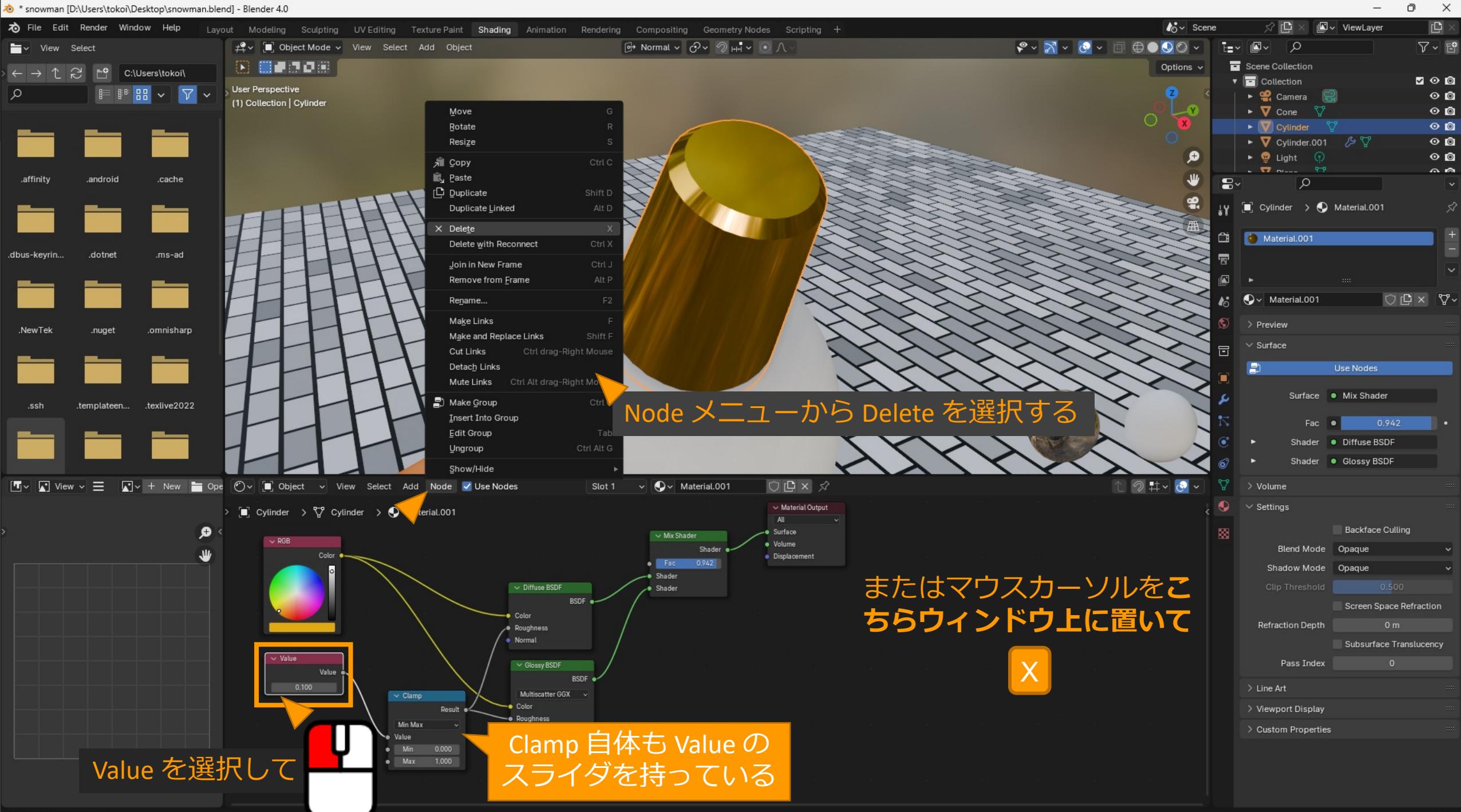
両方の Roughness  
に同じ値を設定  
して制御できる

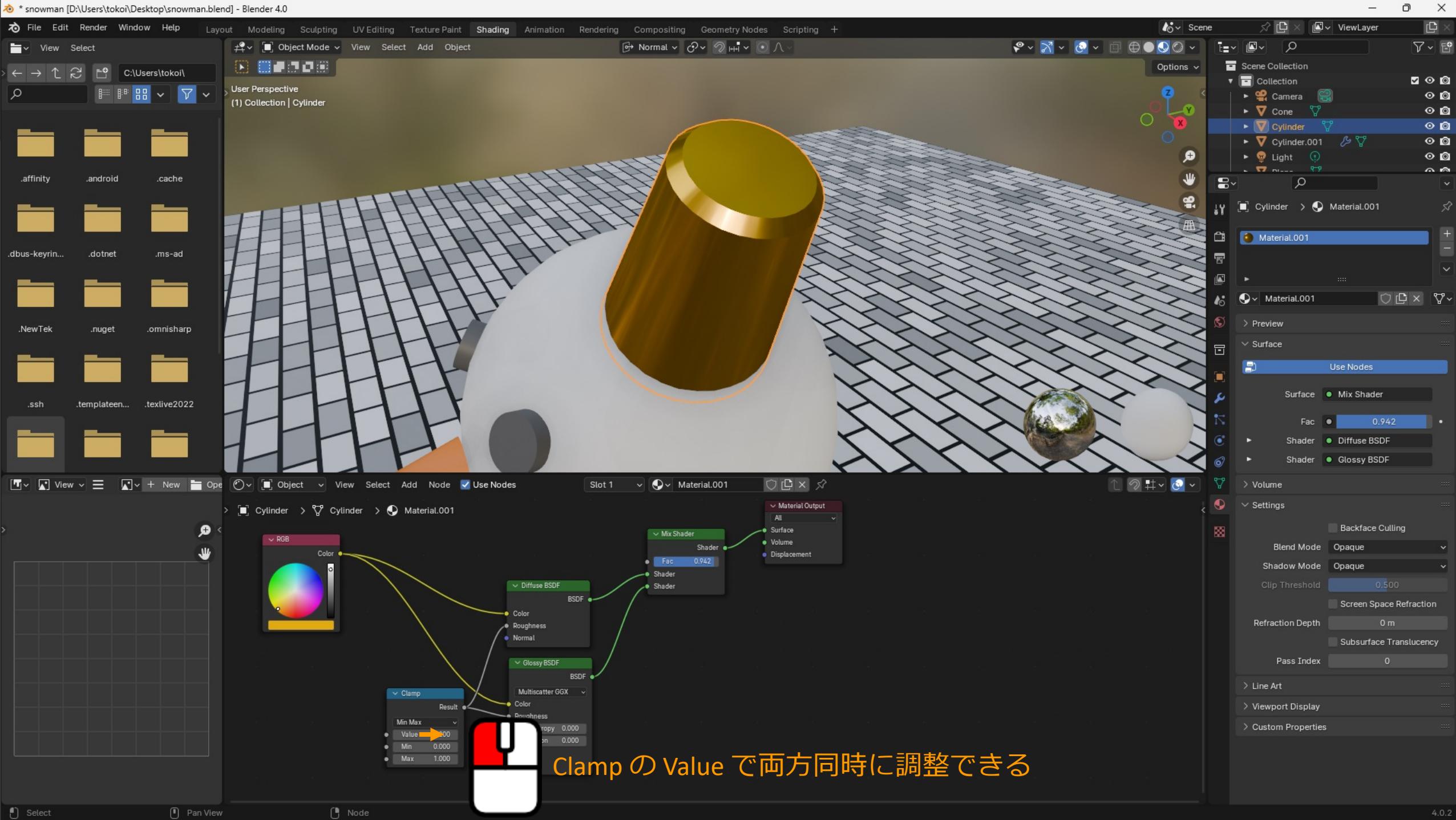
しかし Value は  
範囲外の値も設  
定できてしまう

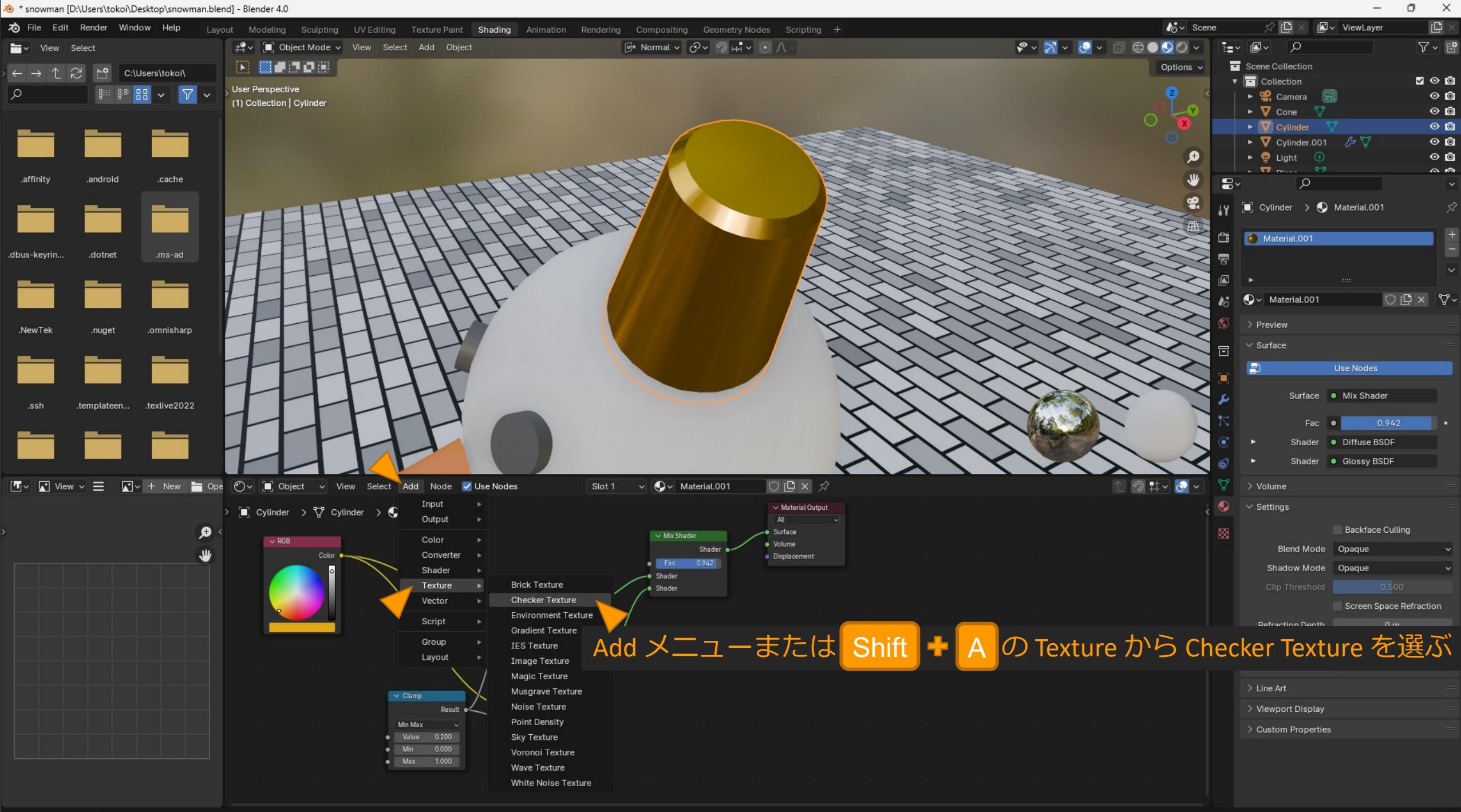


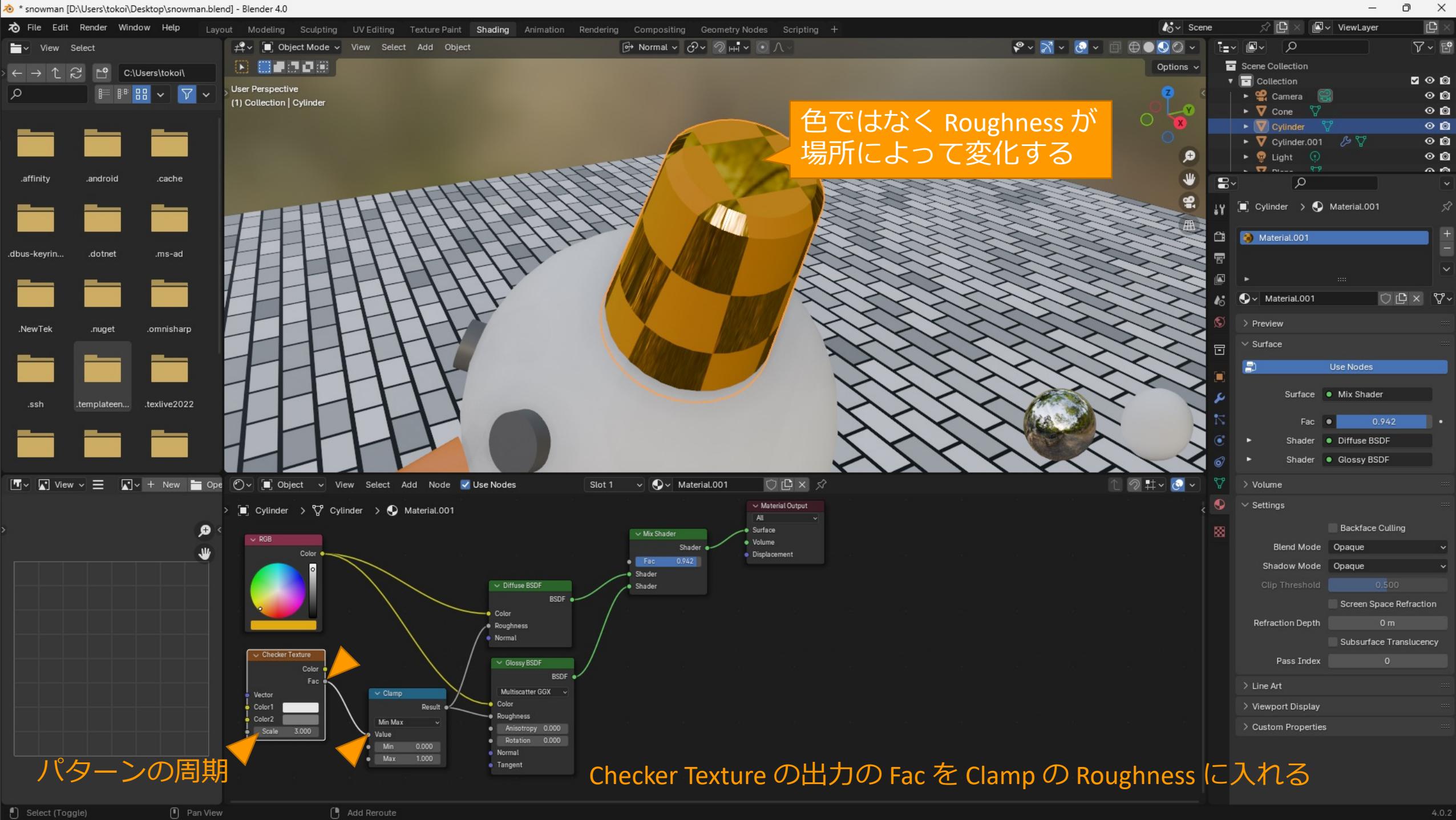


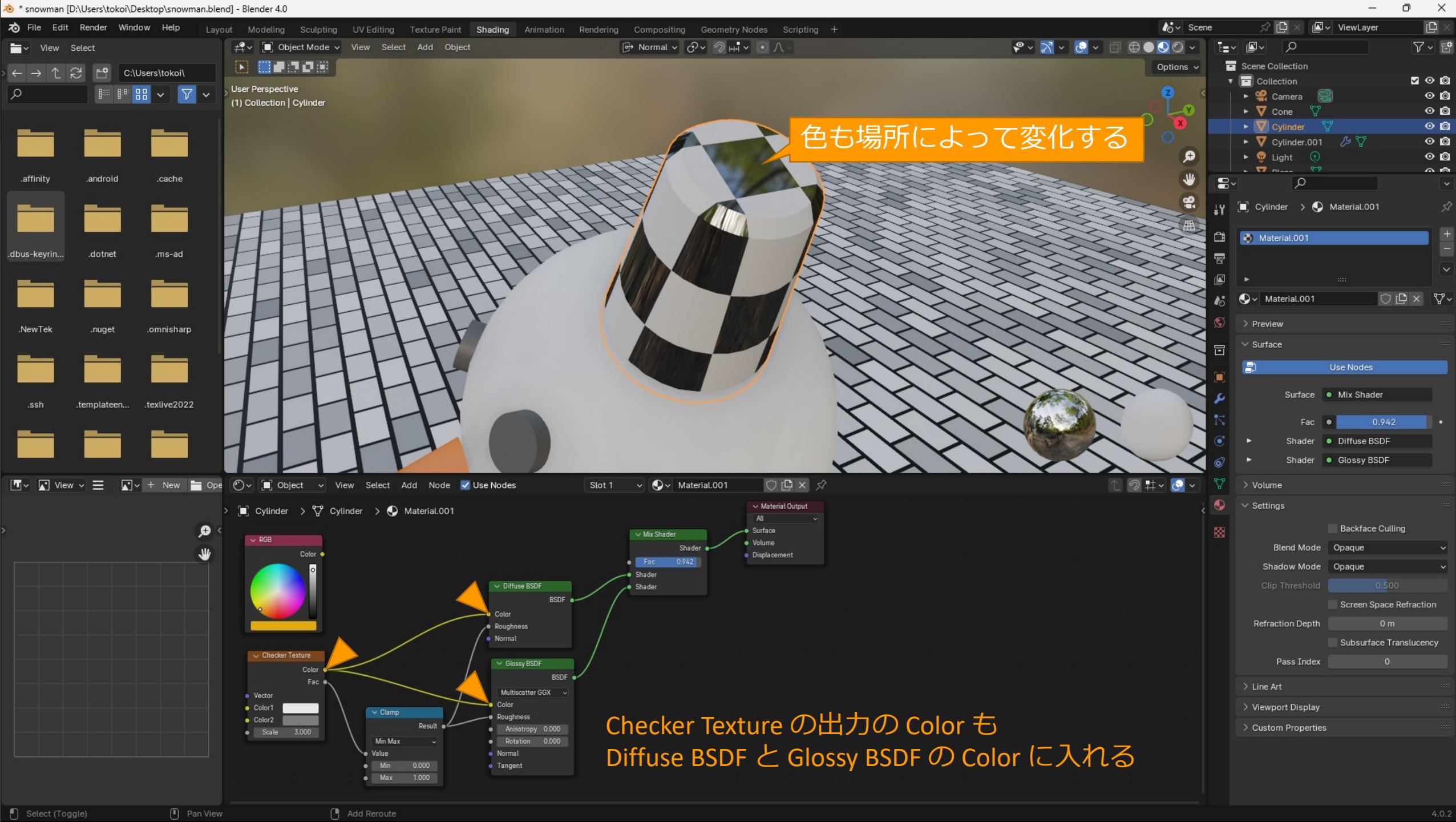


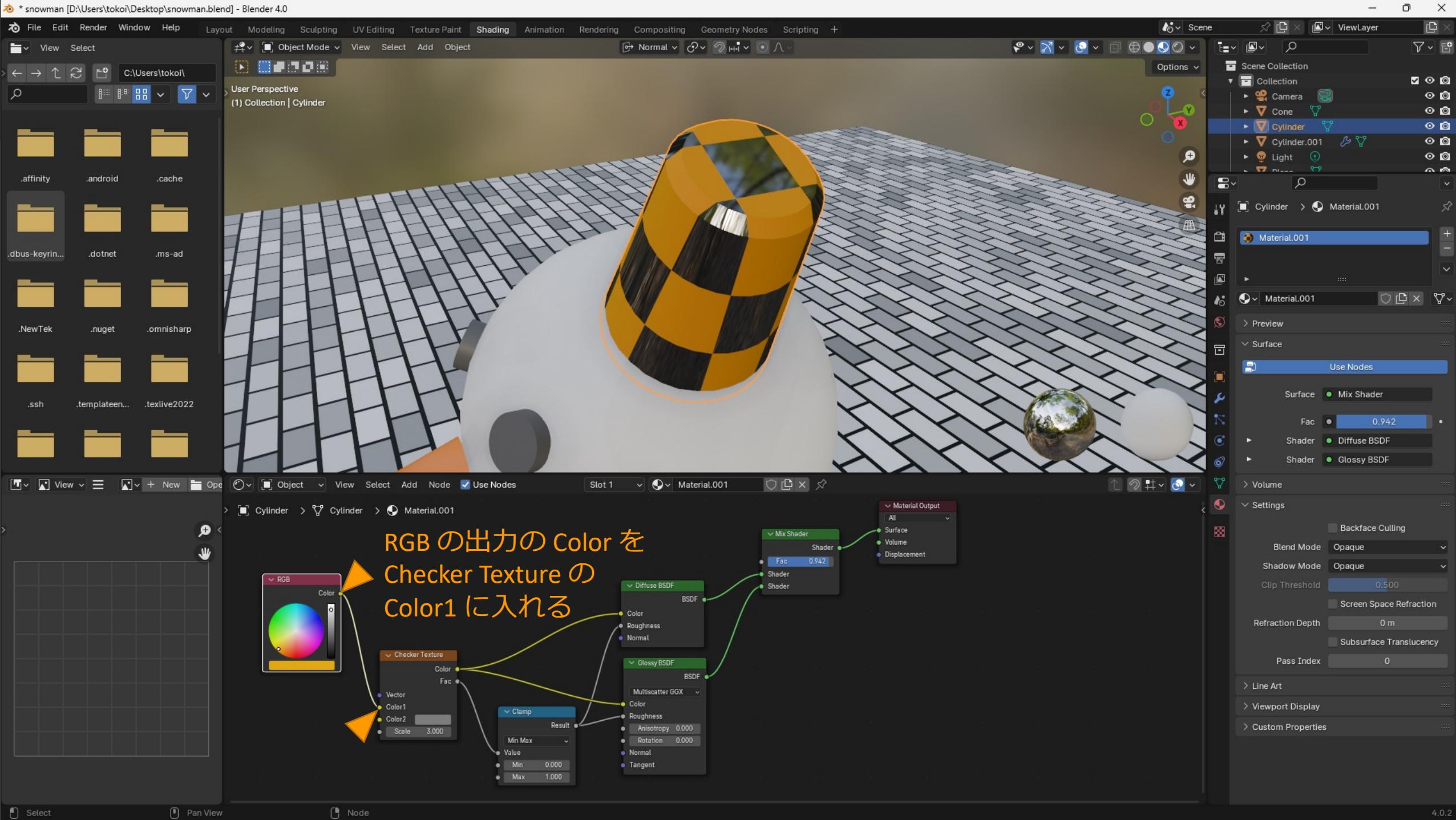




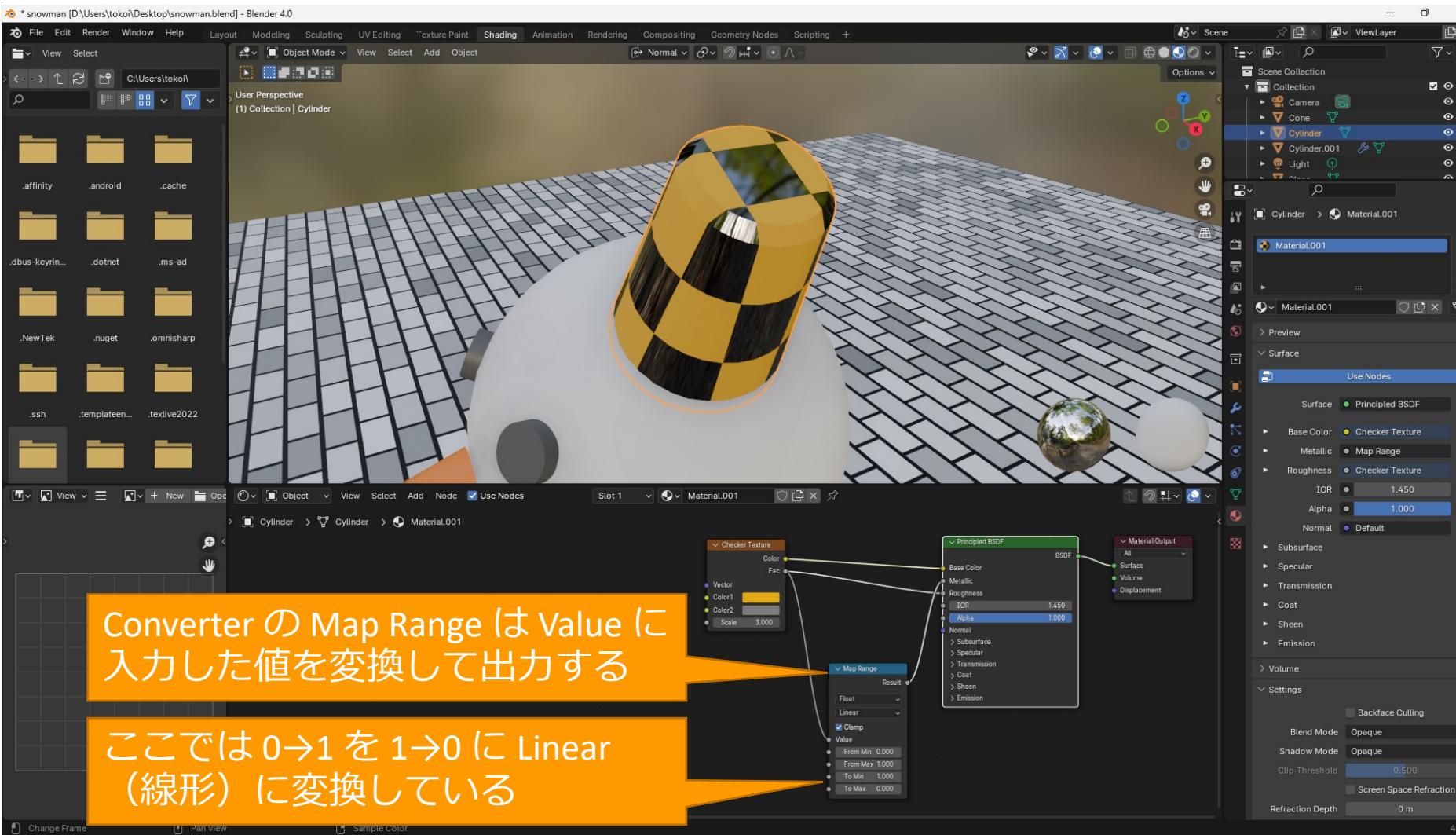




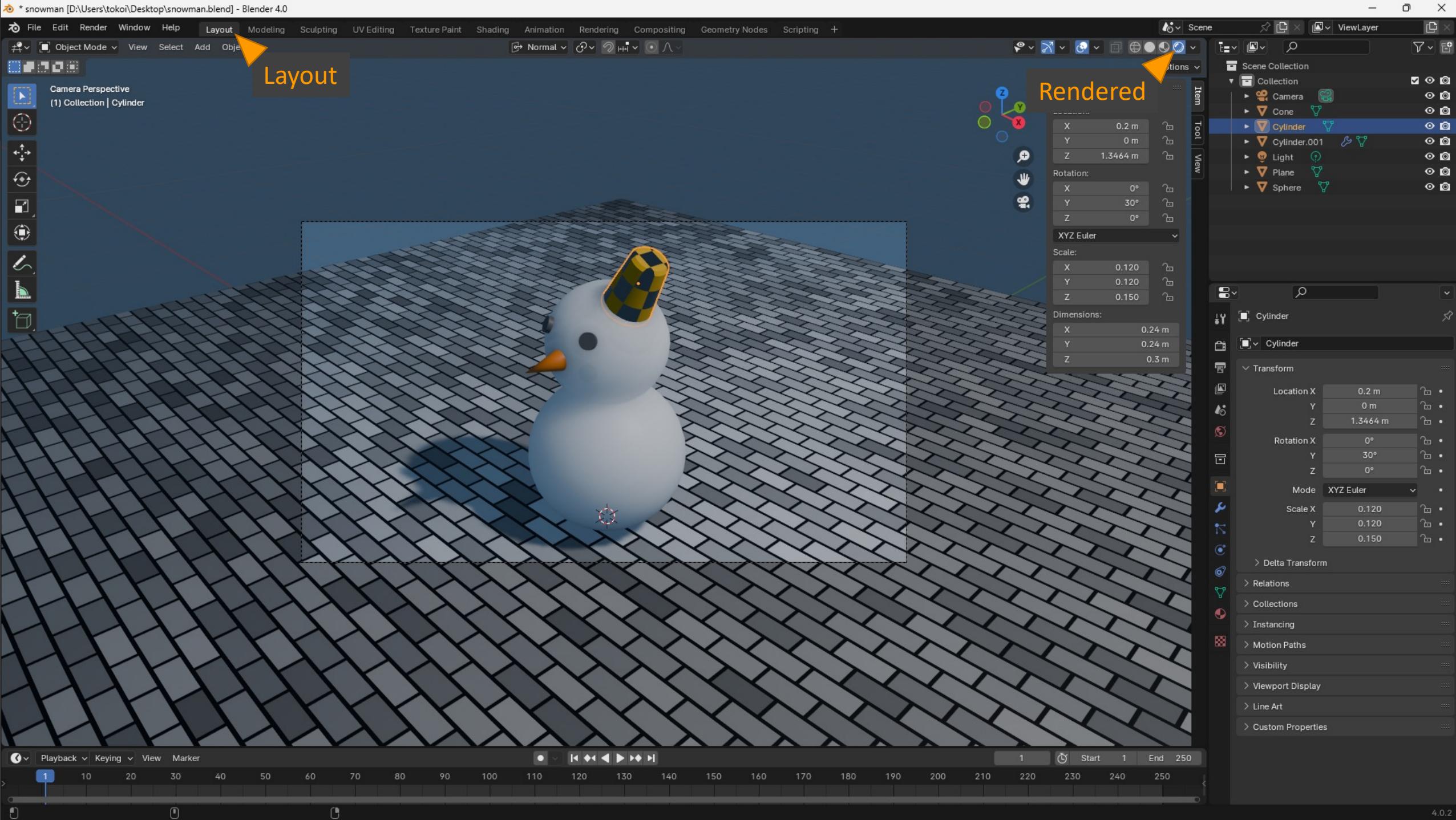


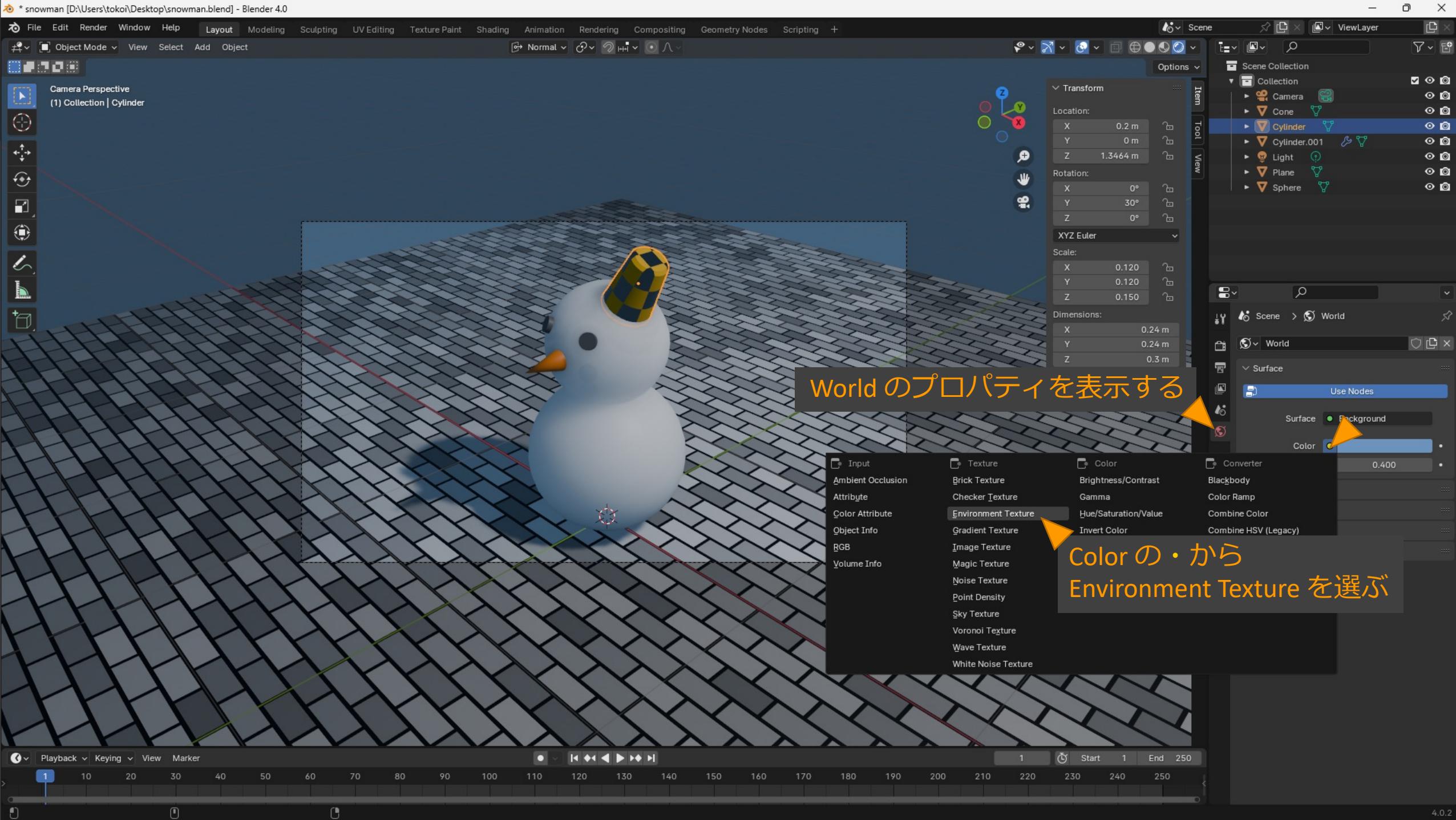


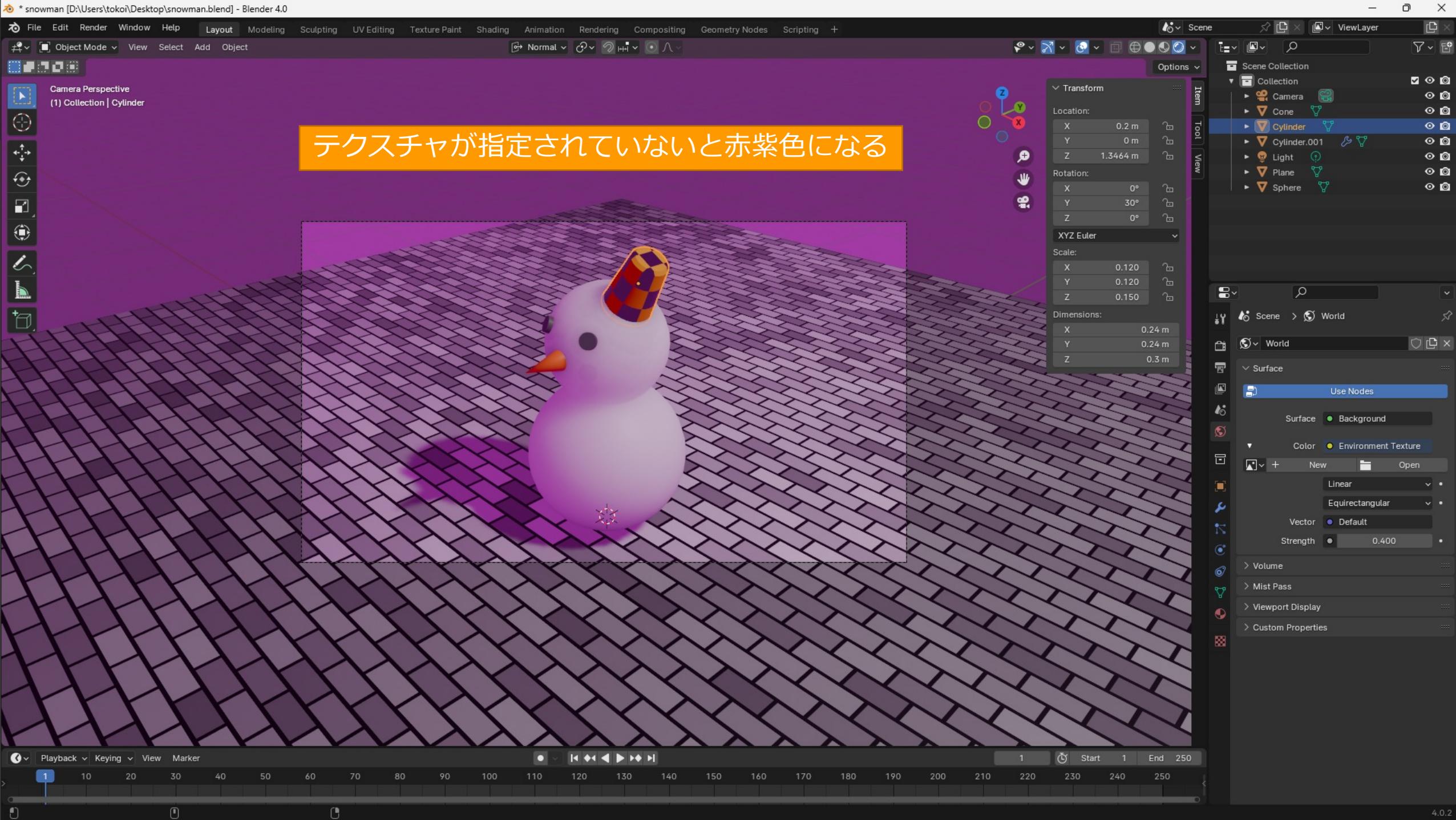
# Principled BSDF は複数のシェーダを統合

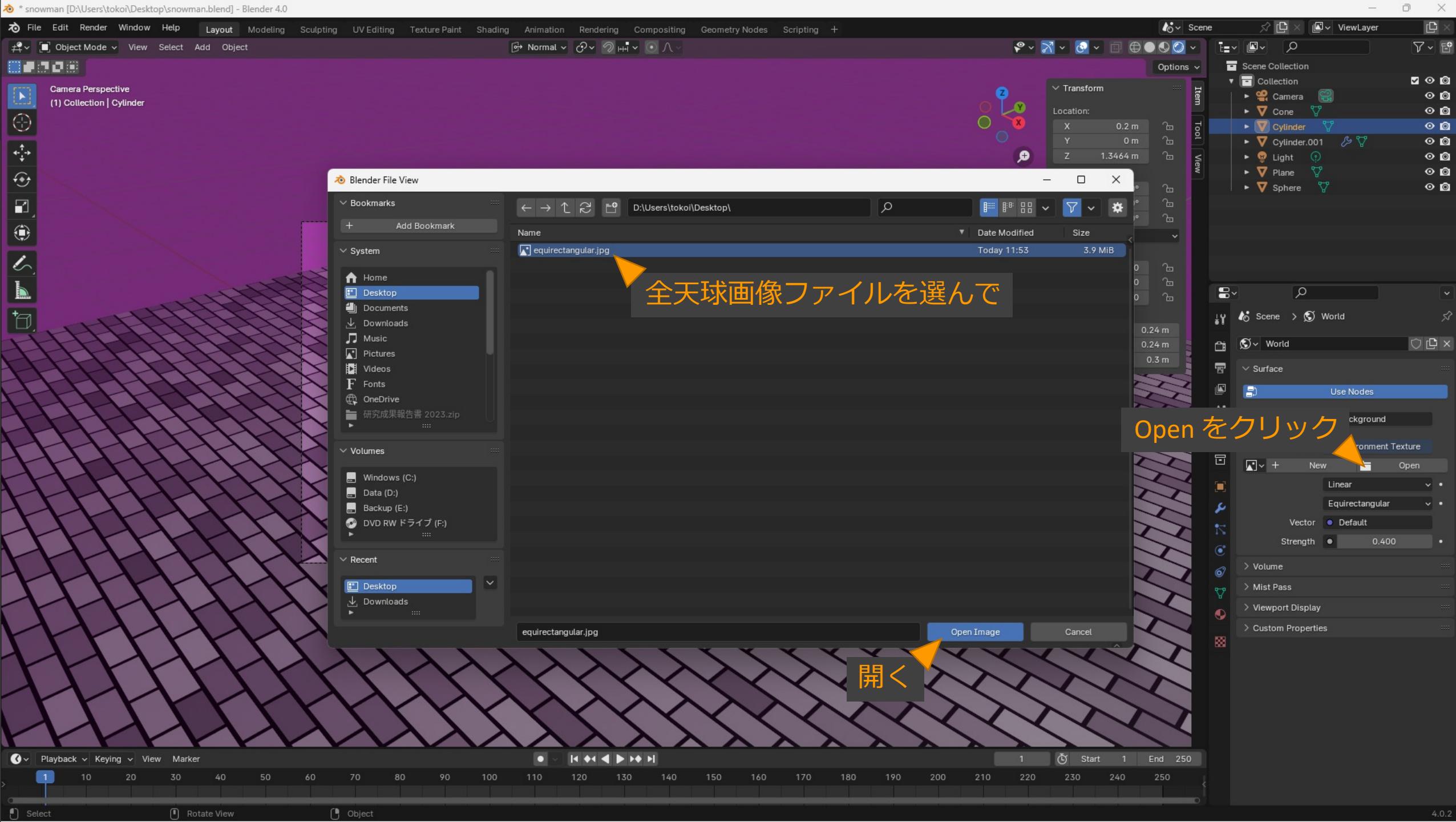


# ライティング 照明

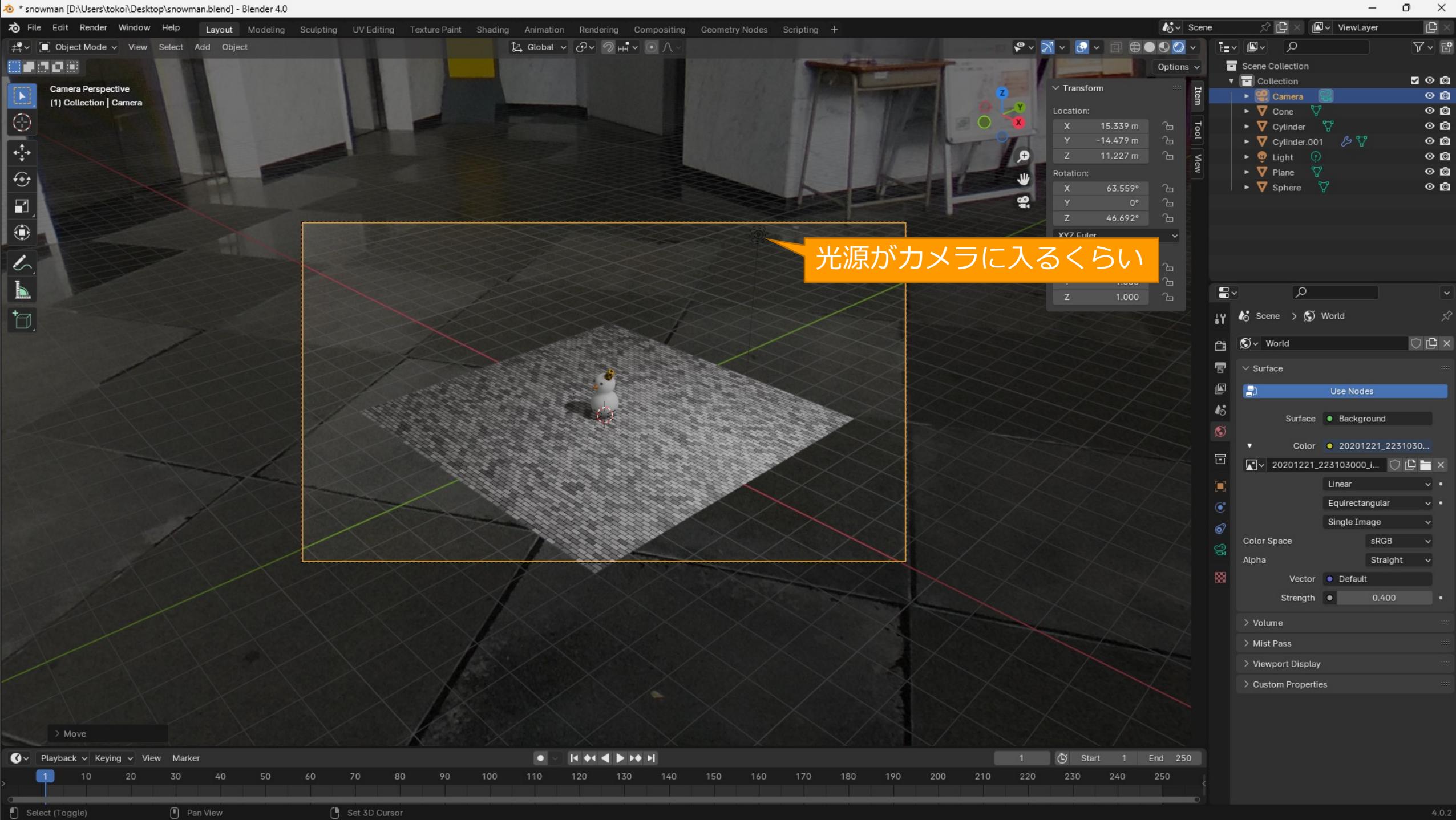


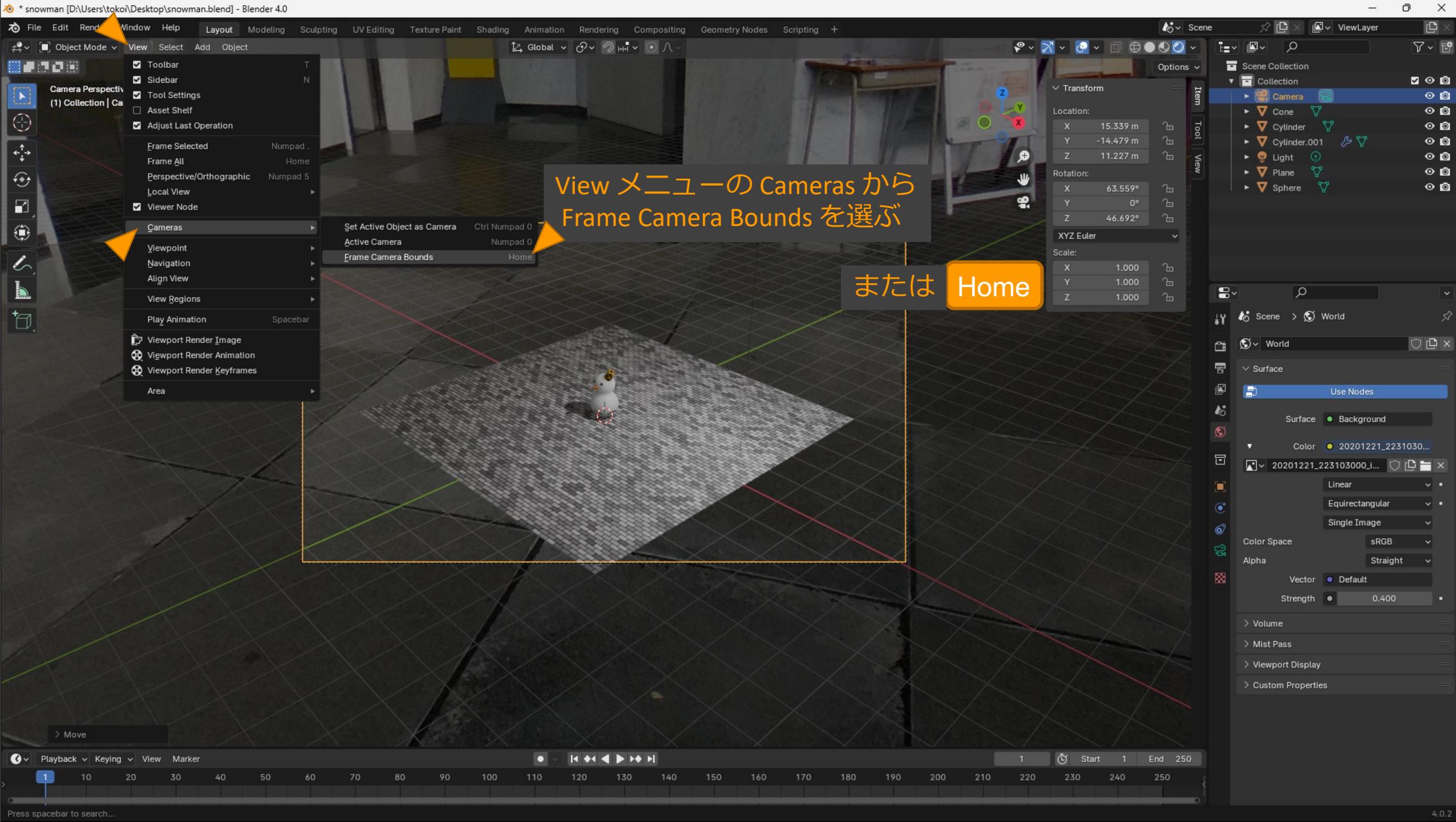


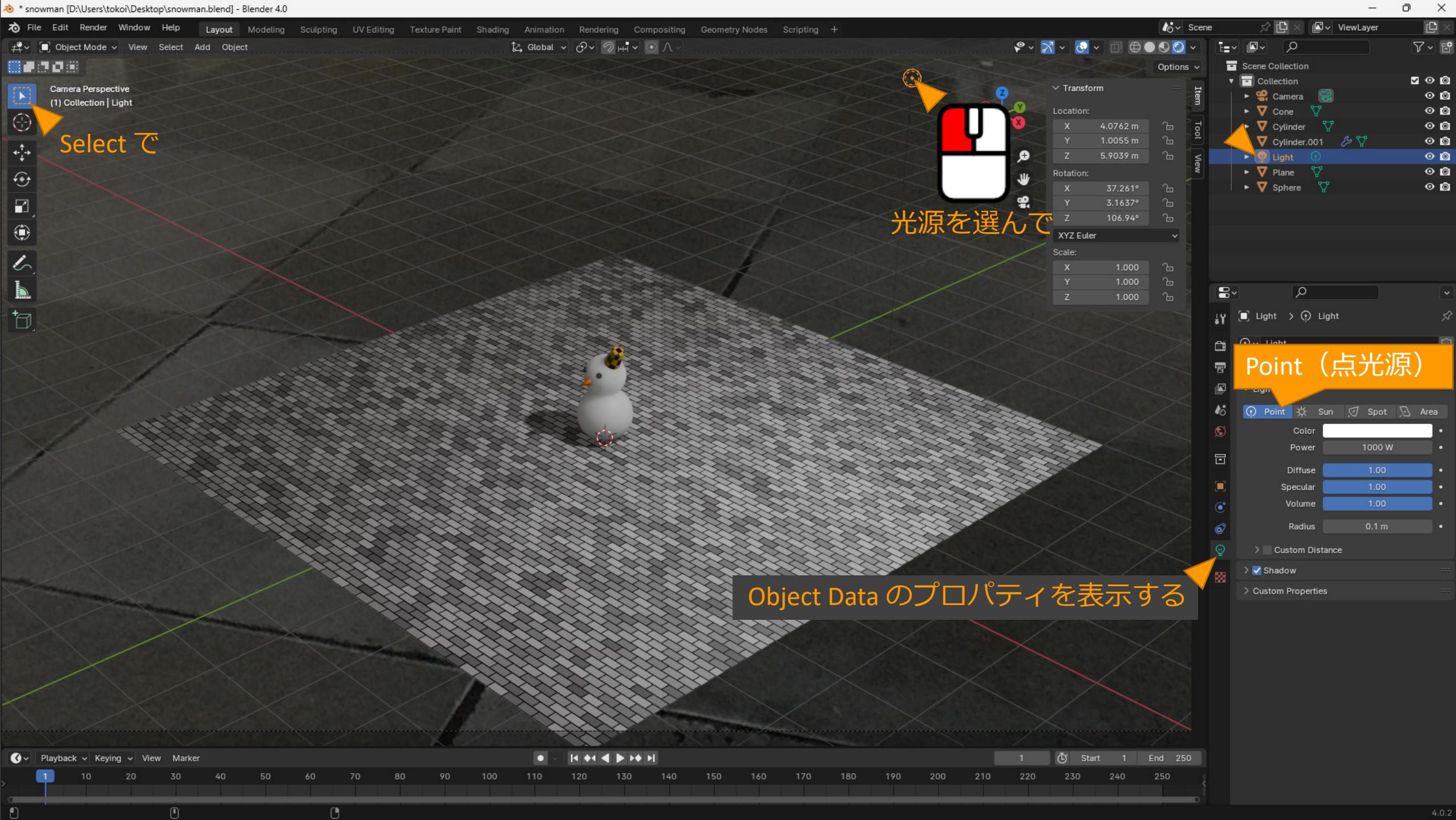


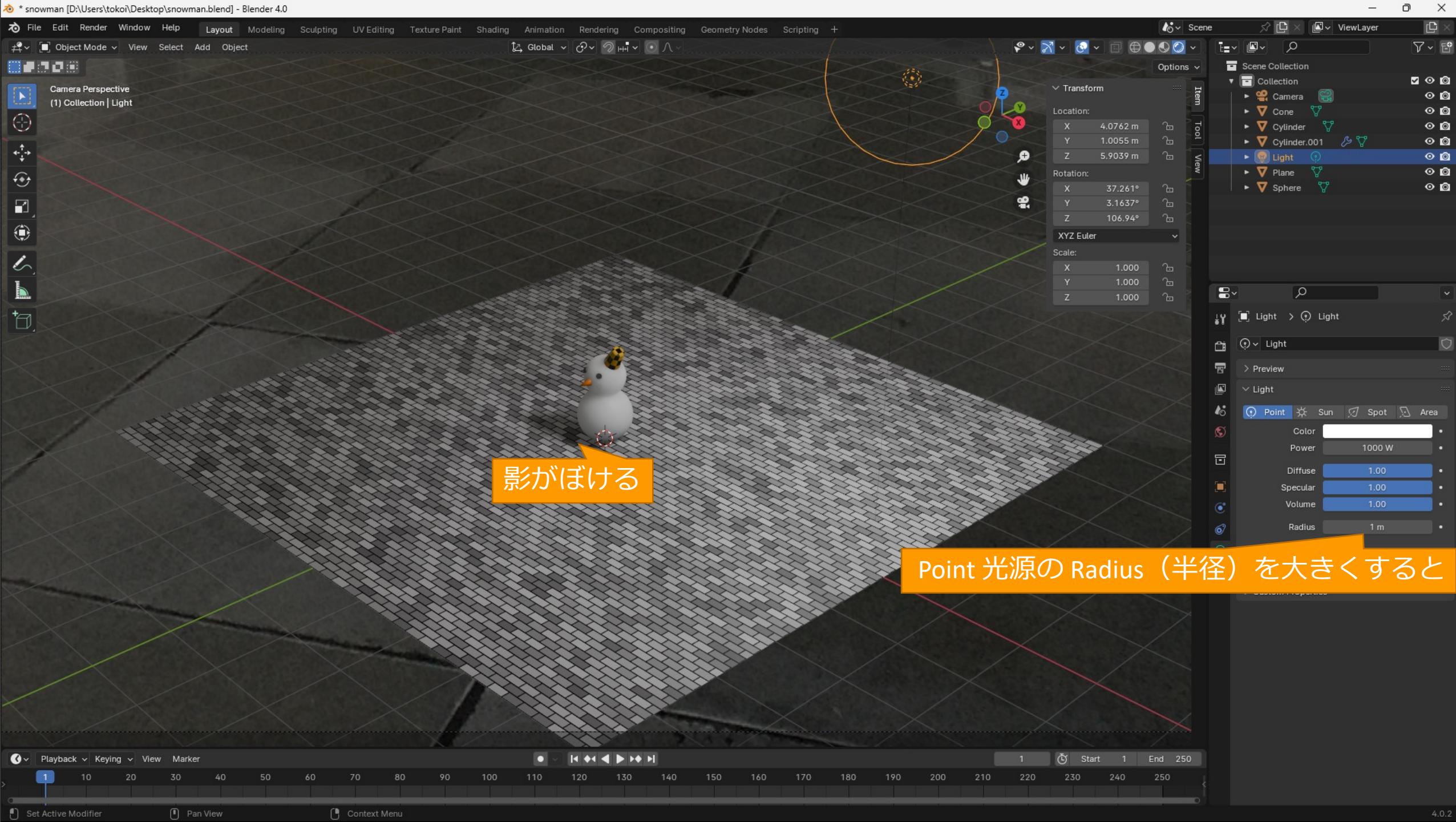




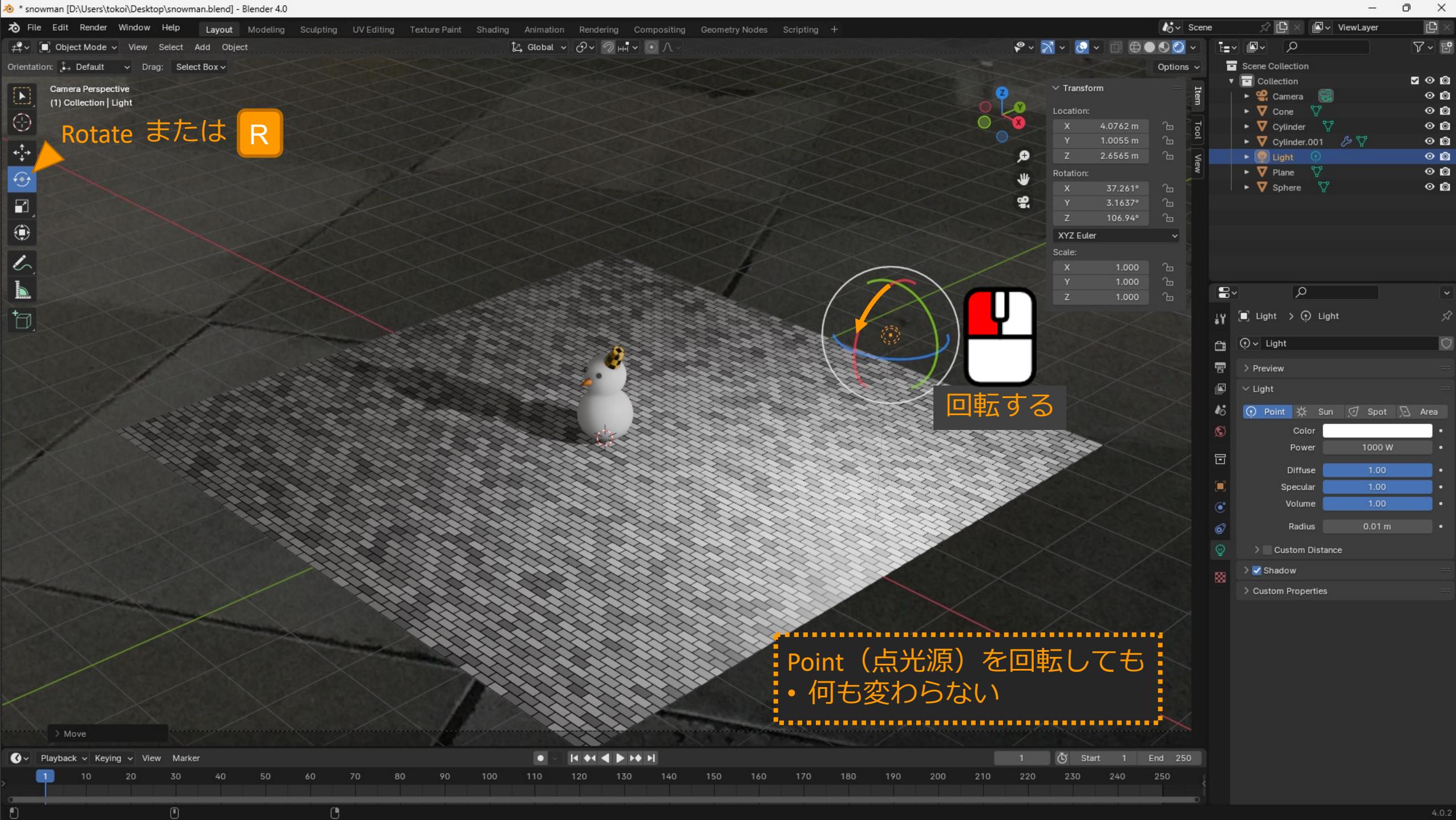


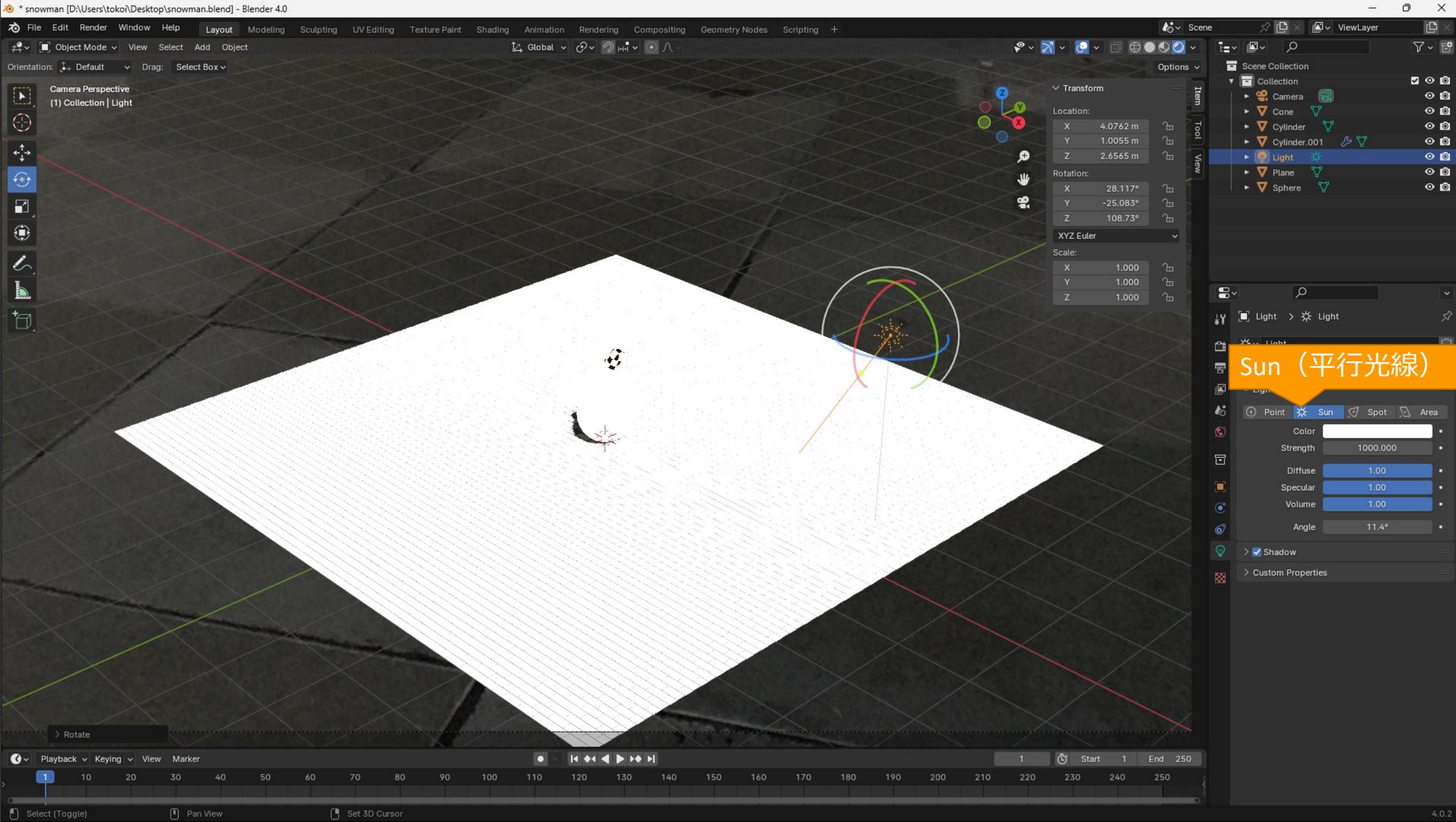


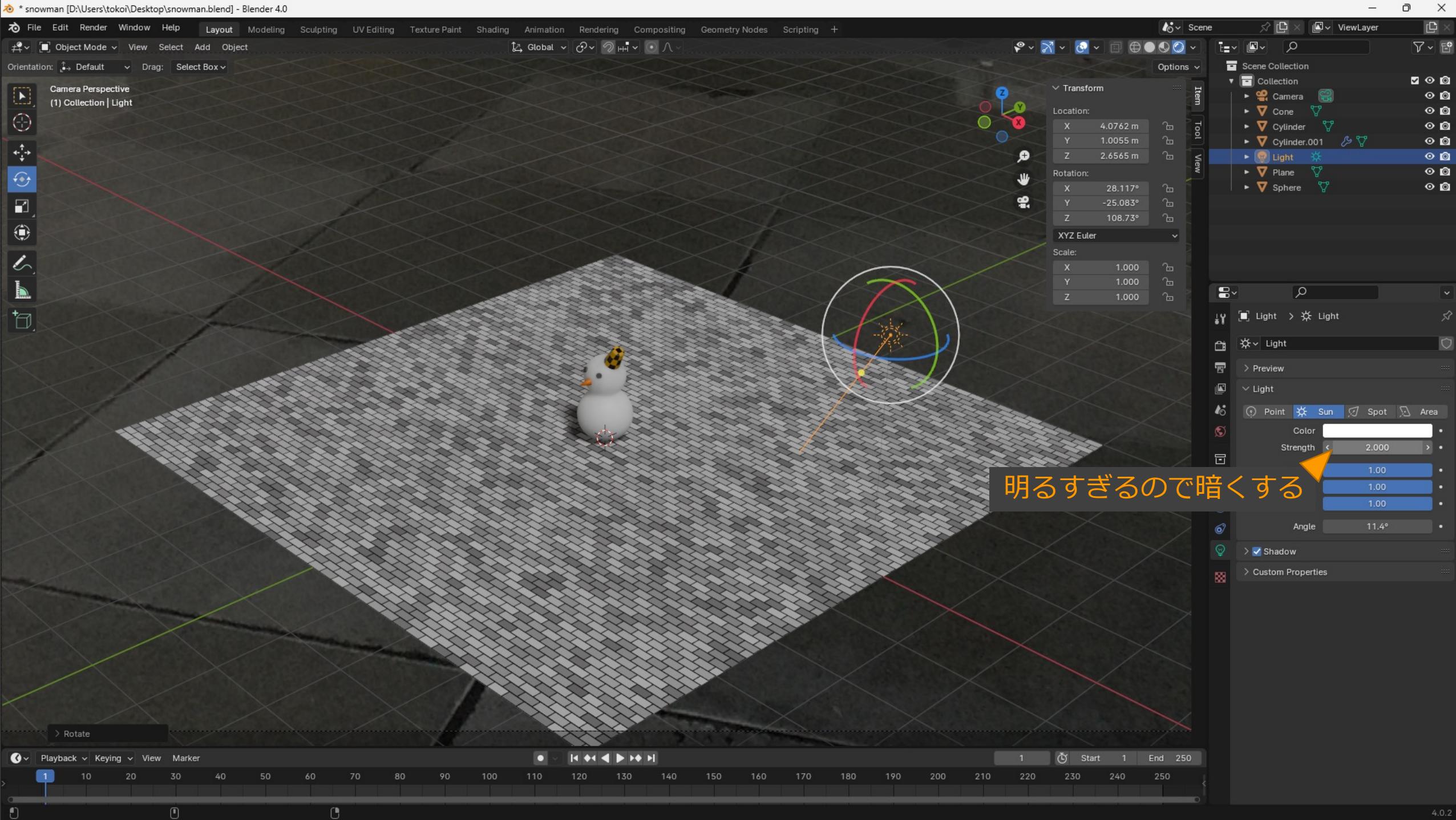




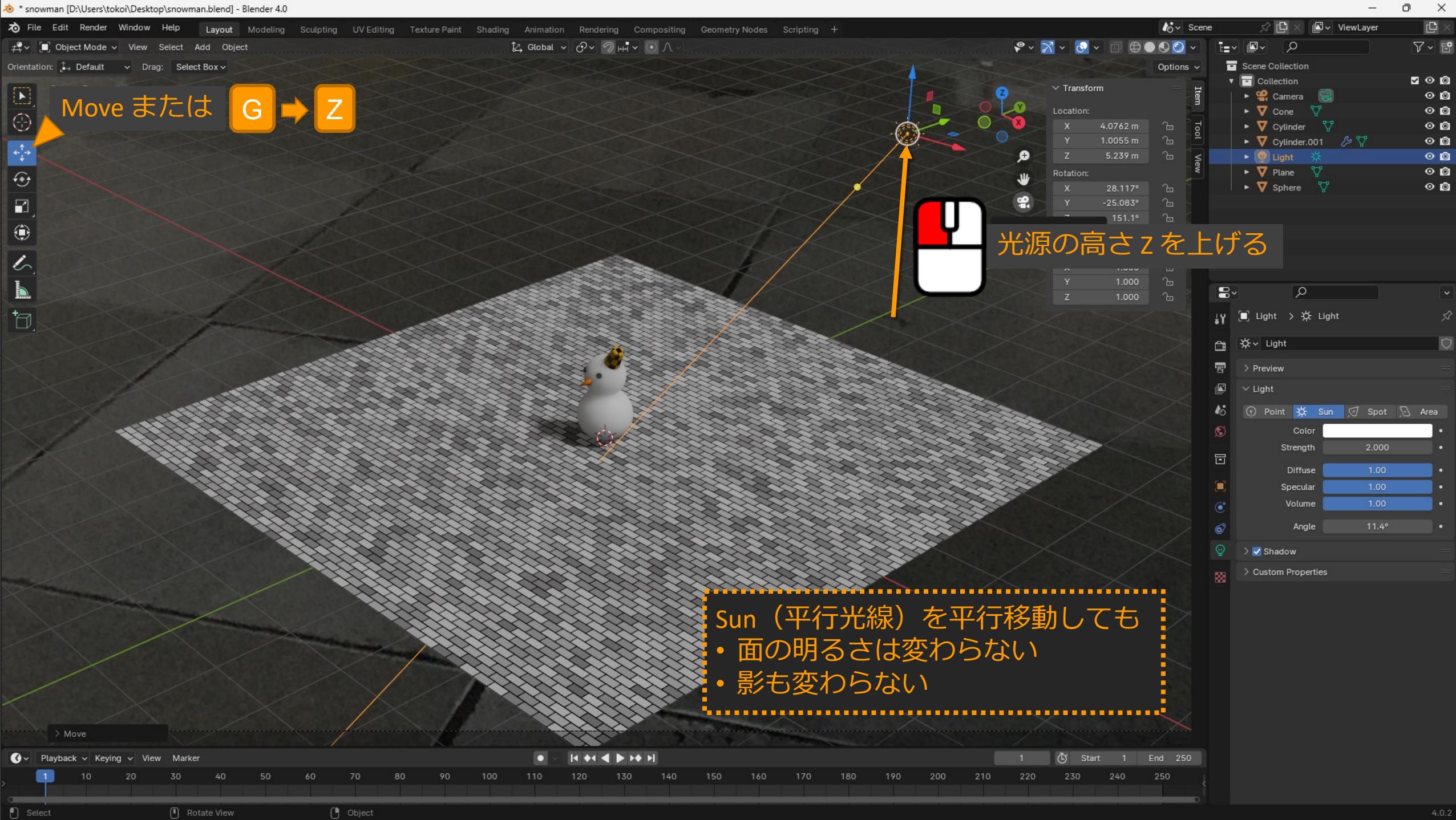


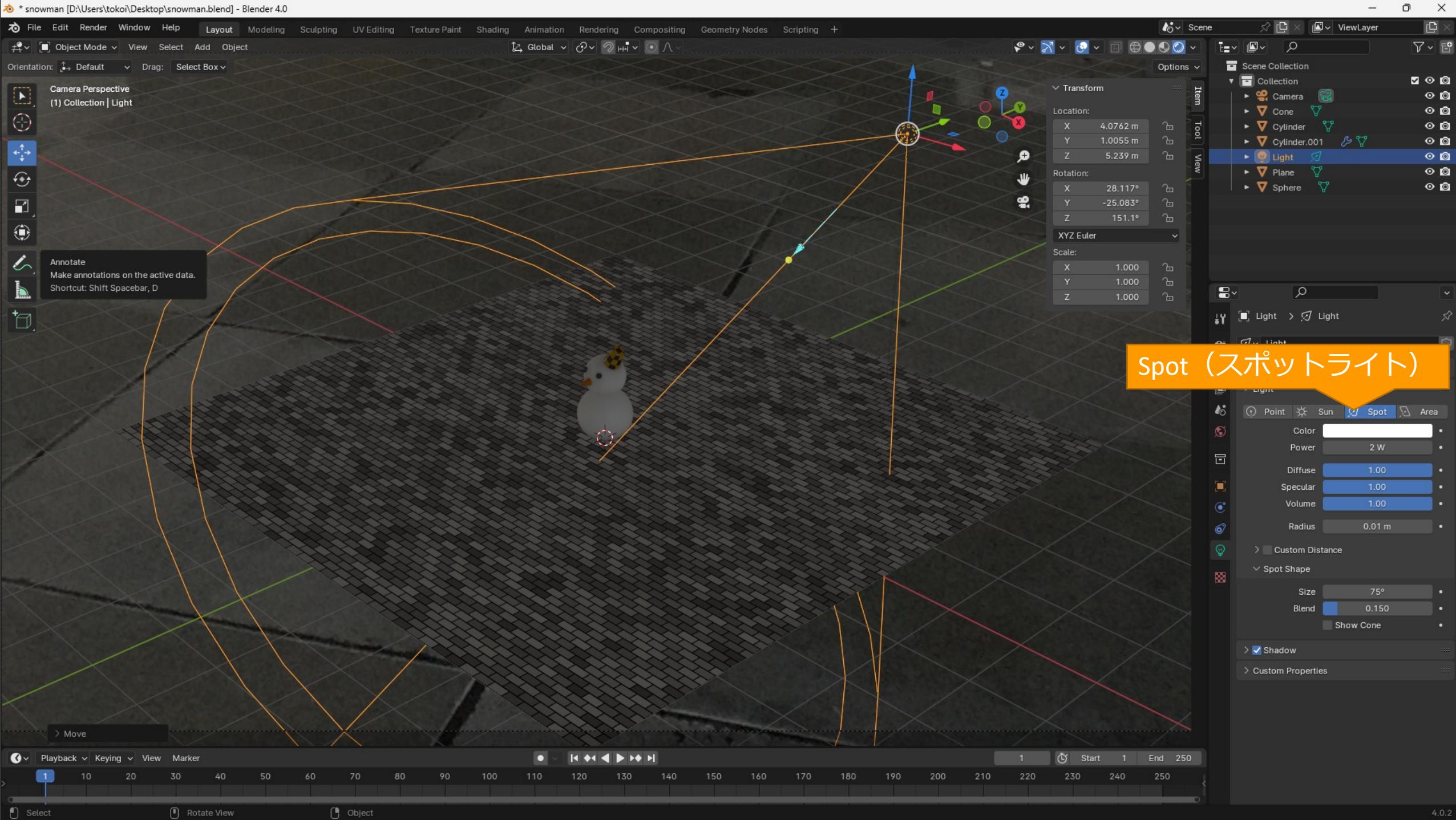


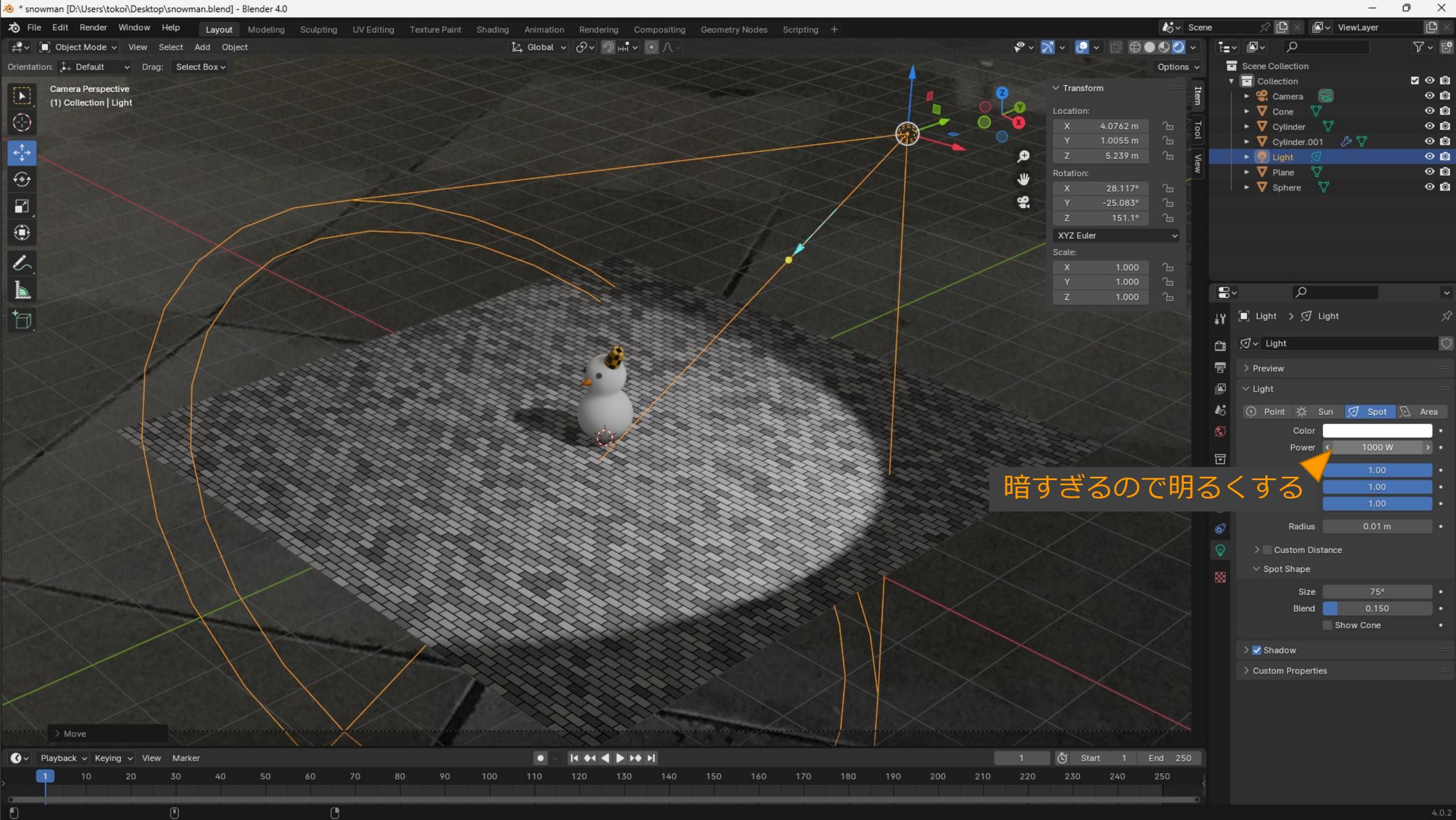


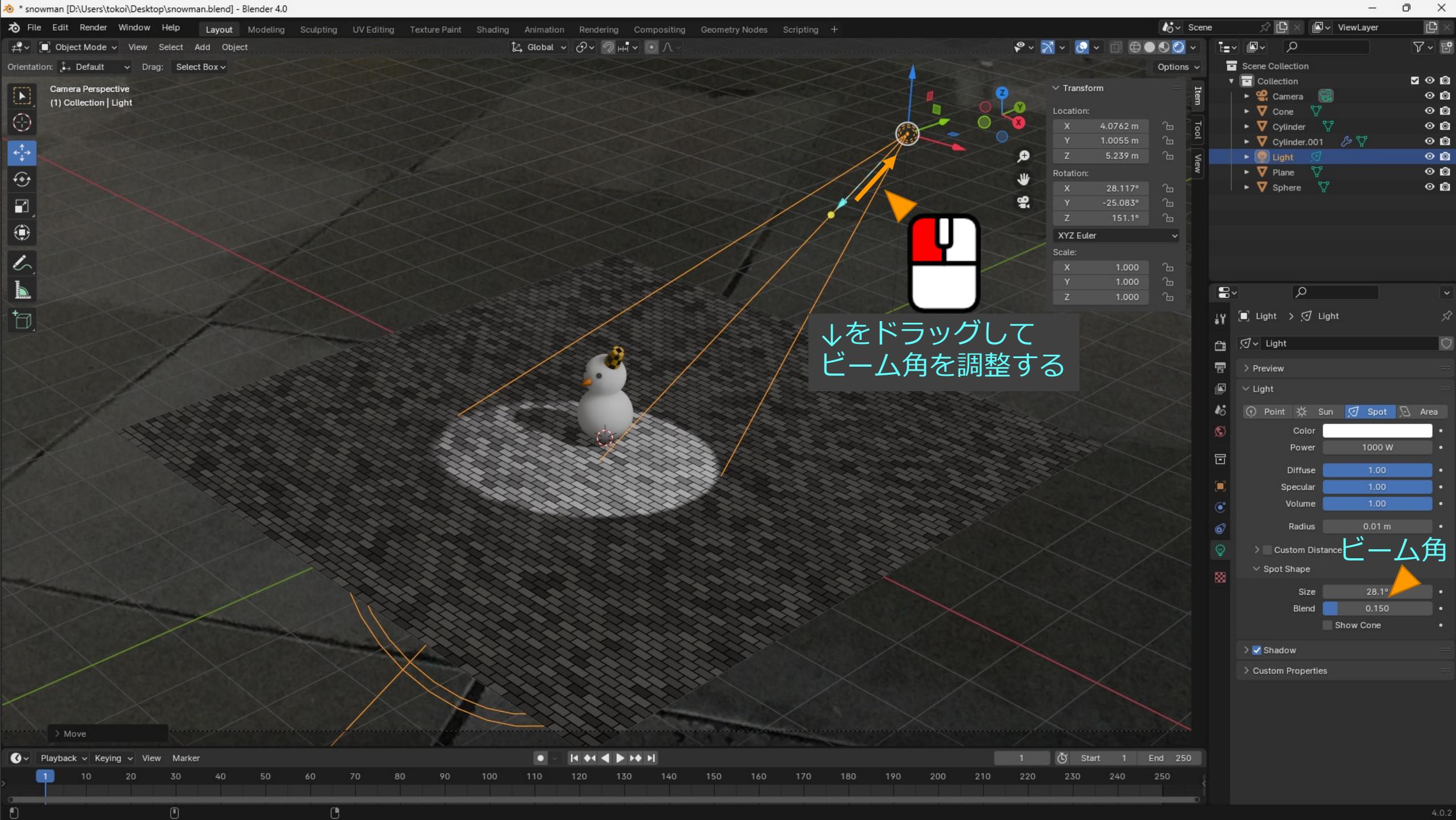




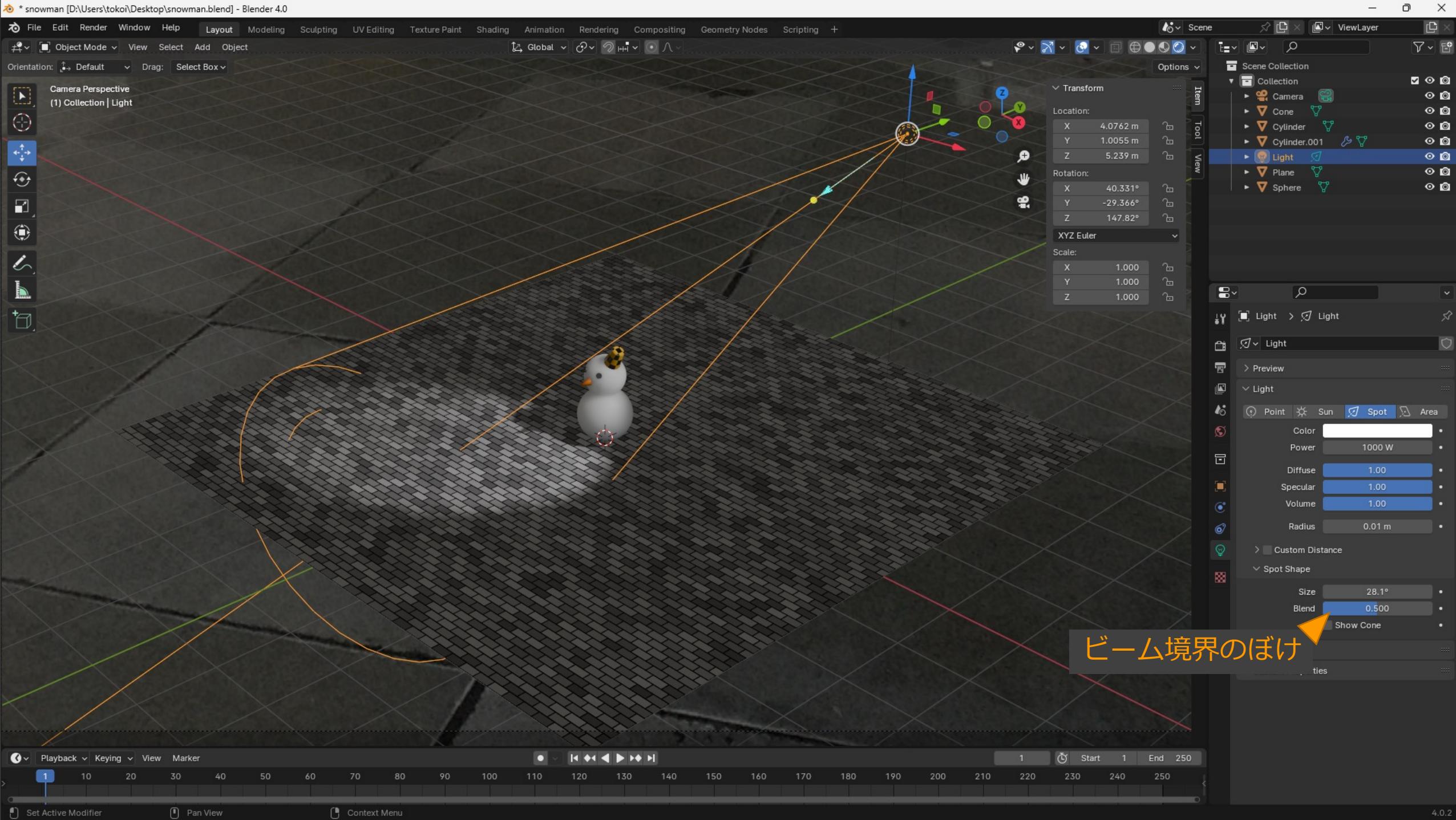


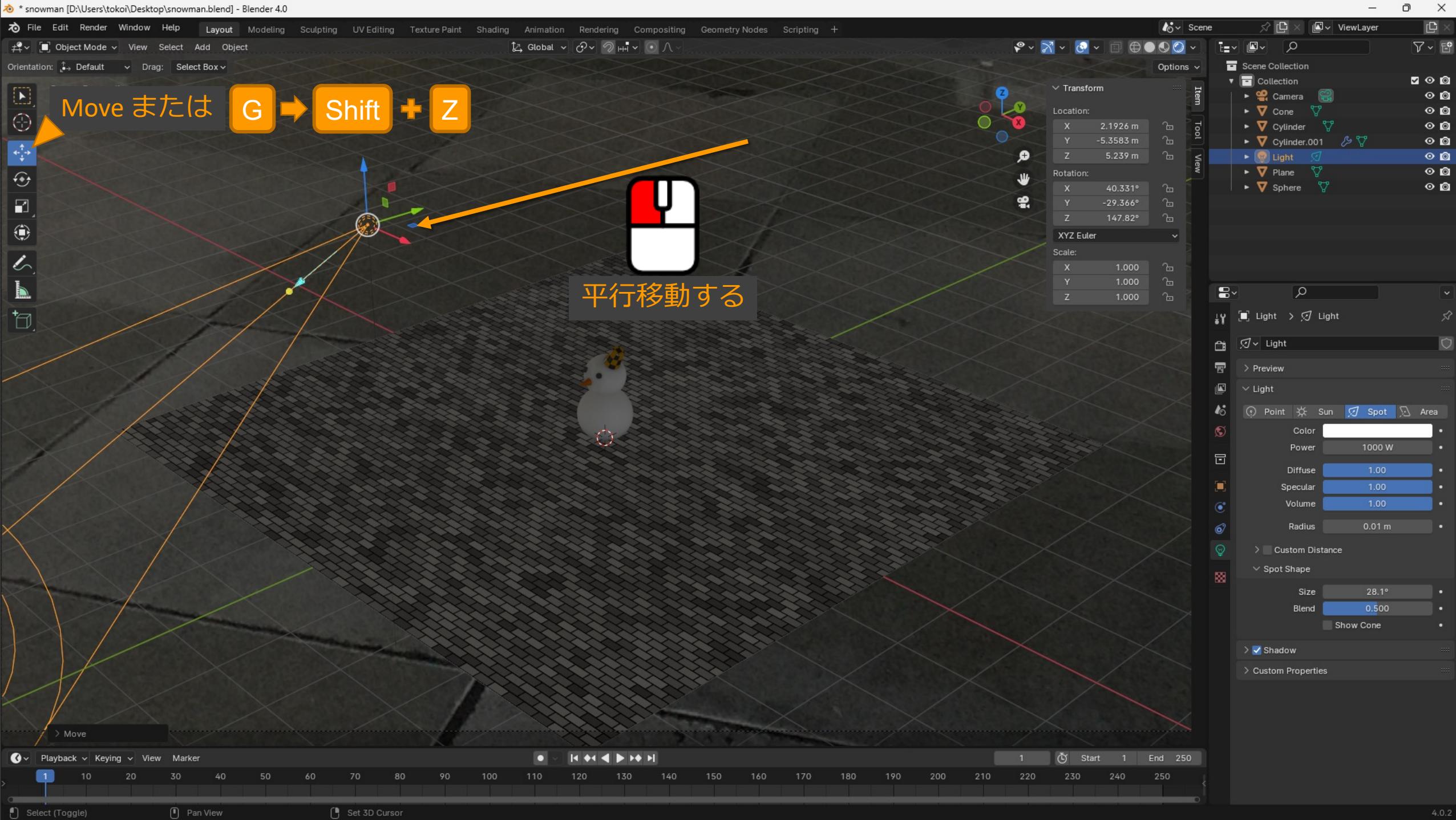


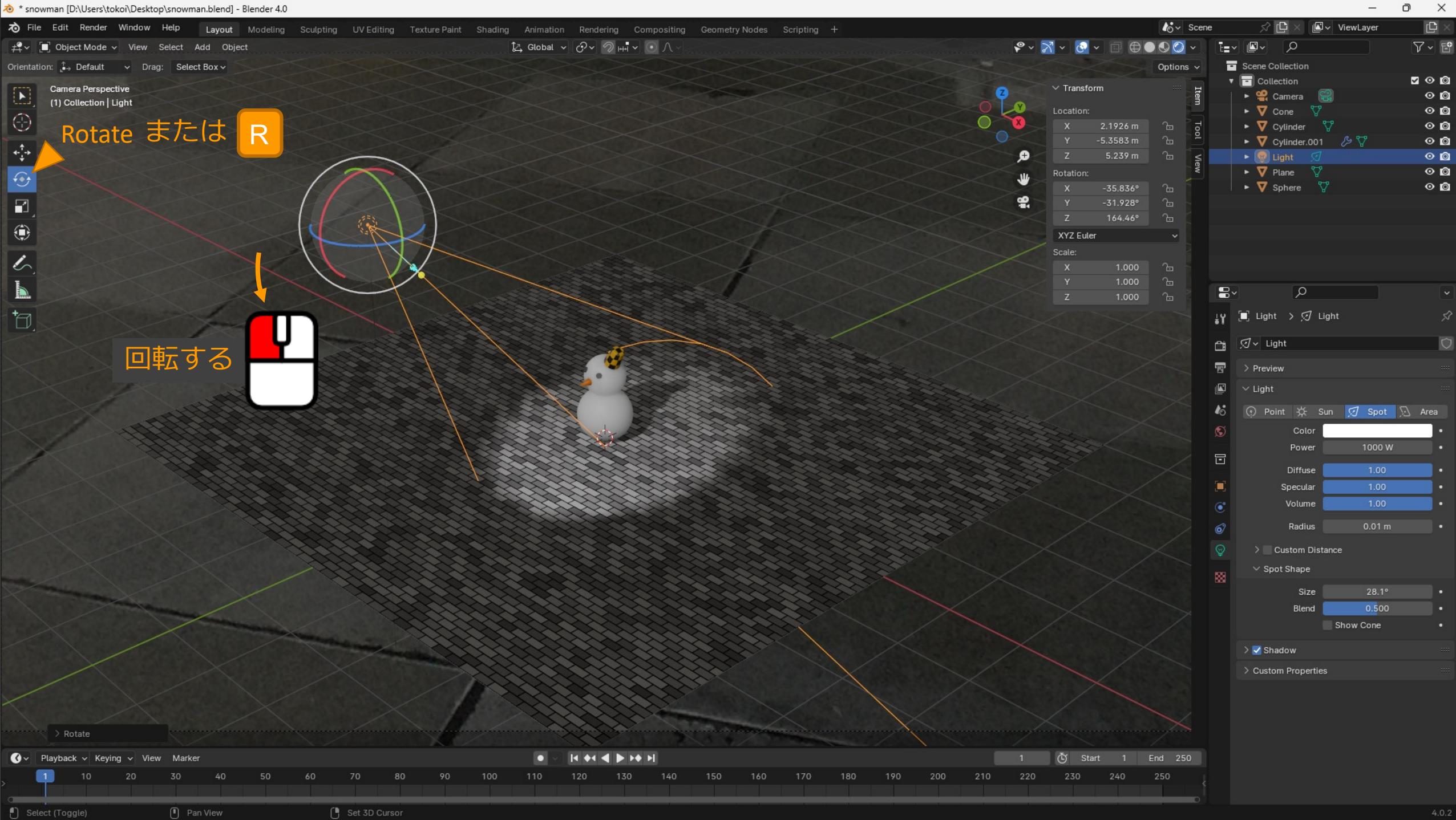


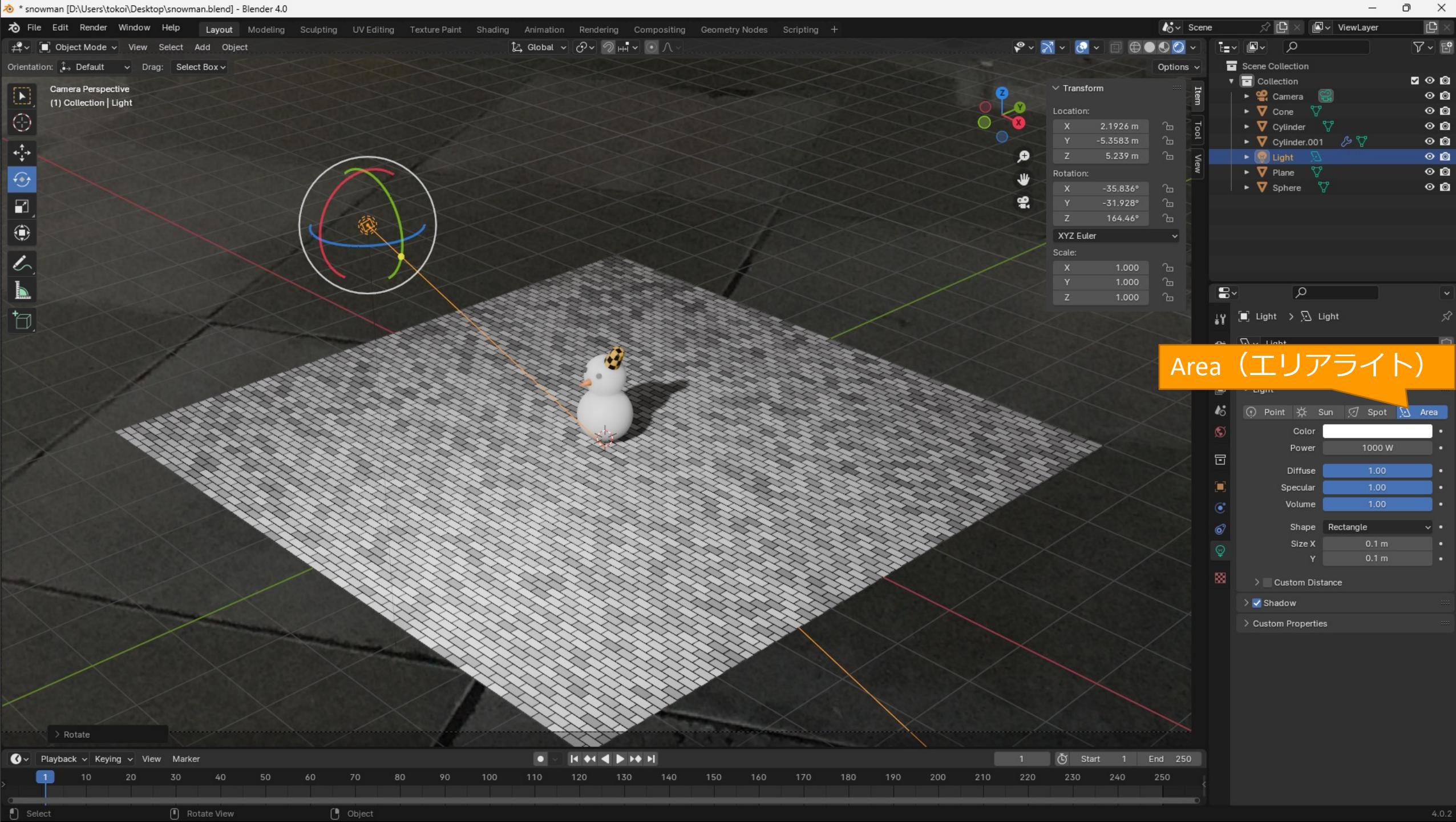


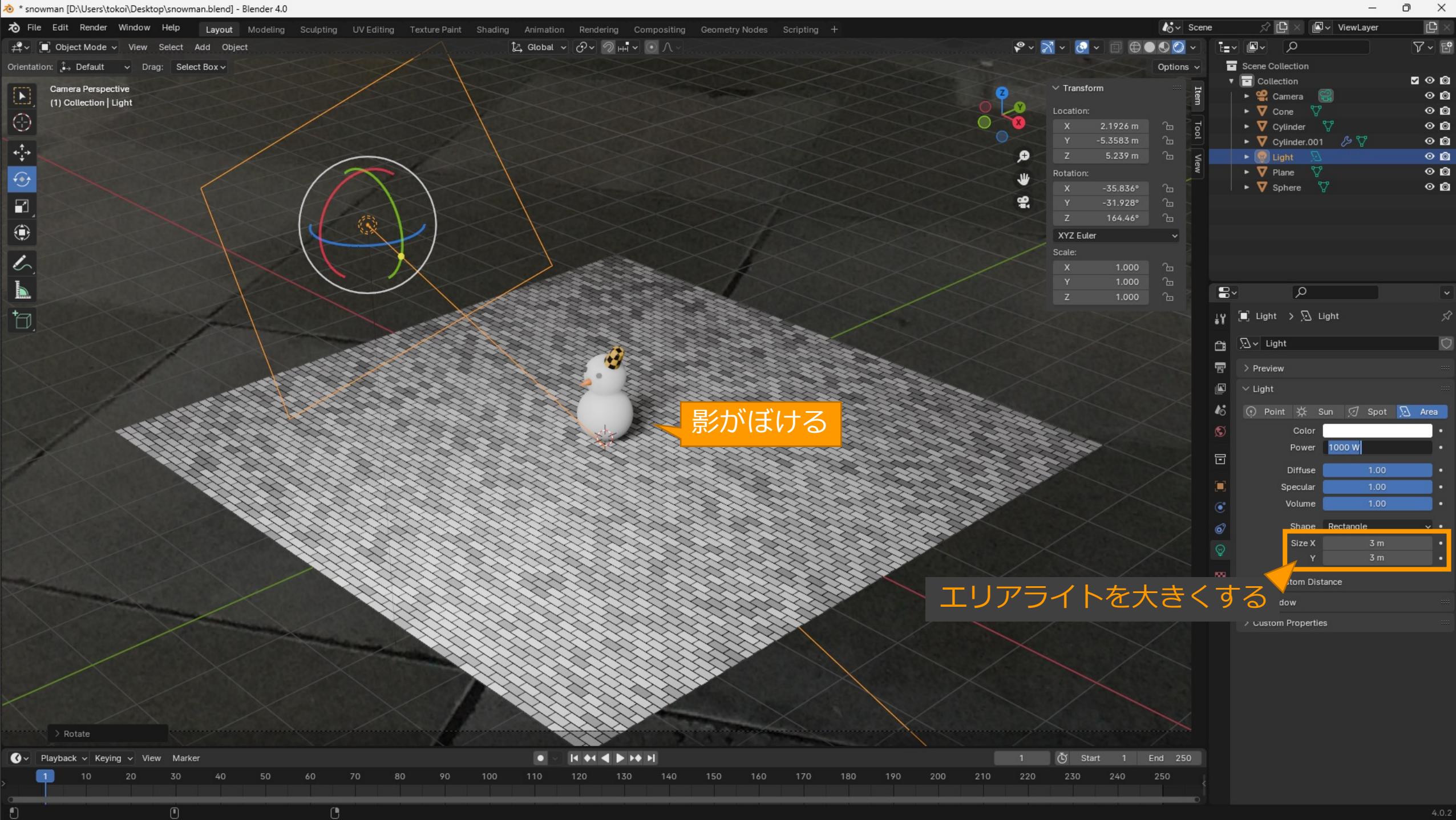


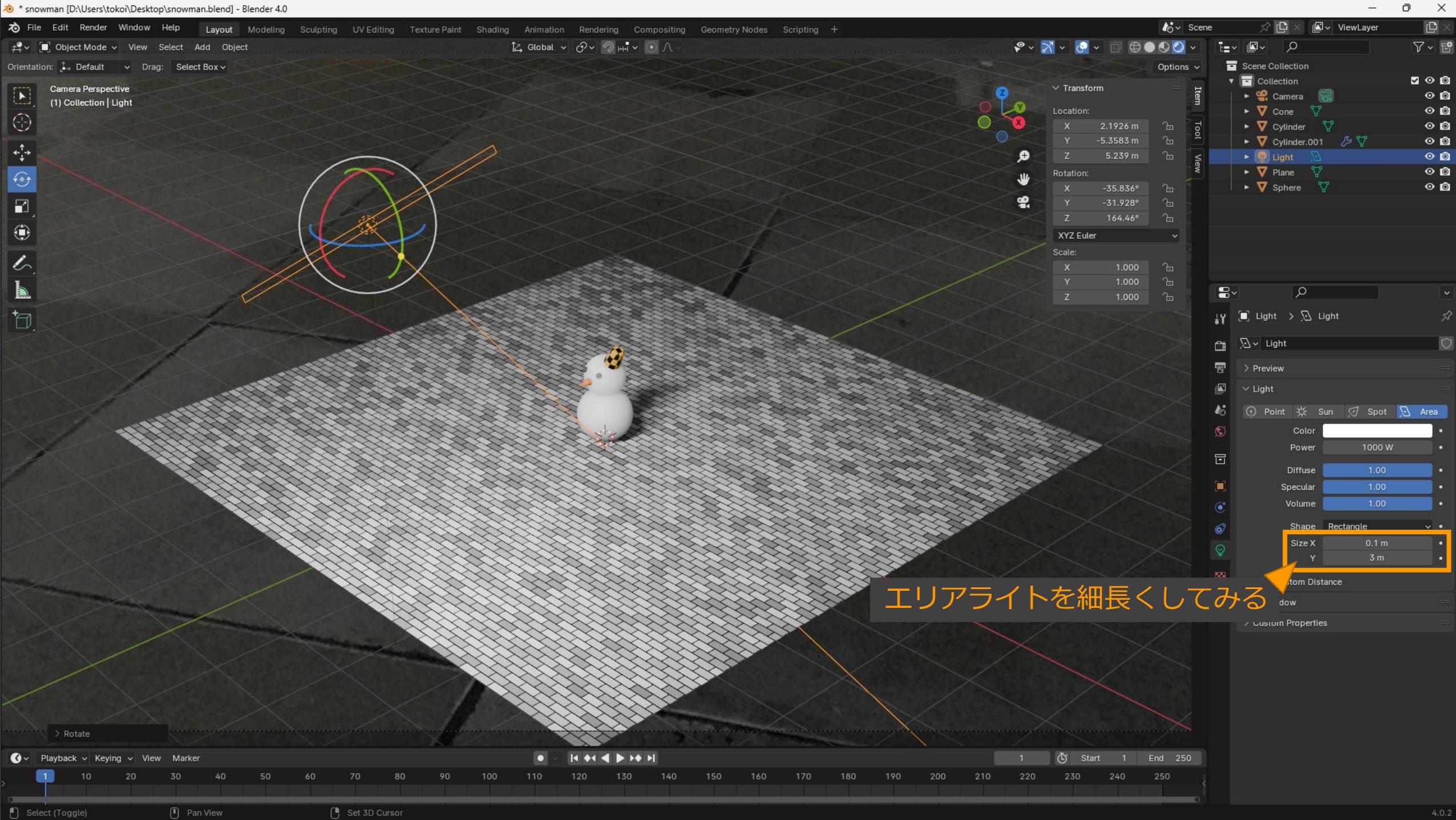


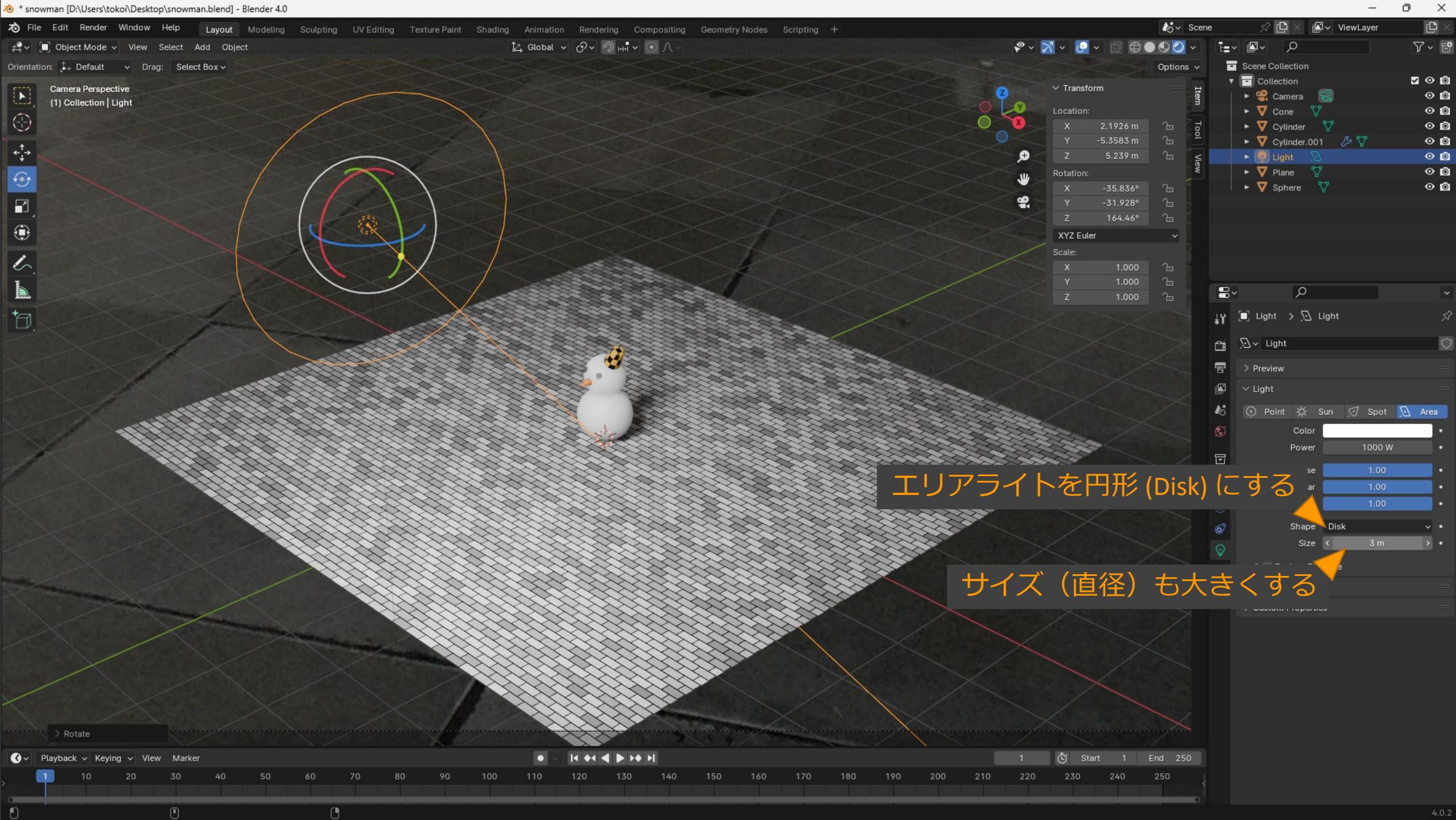


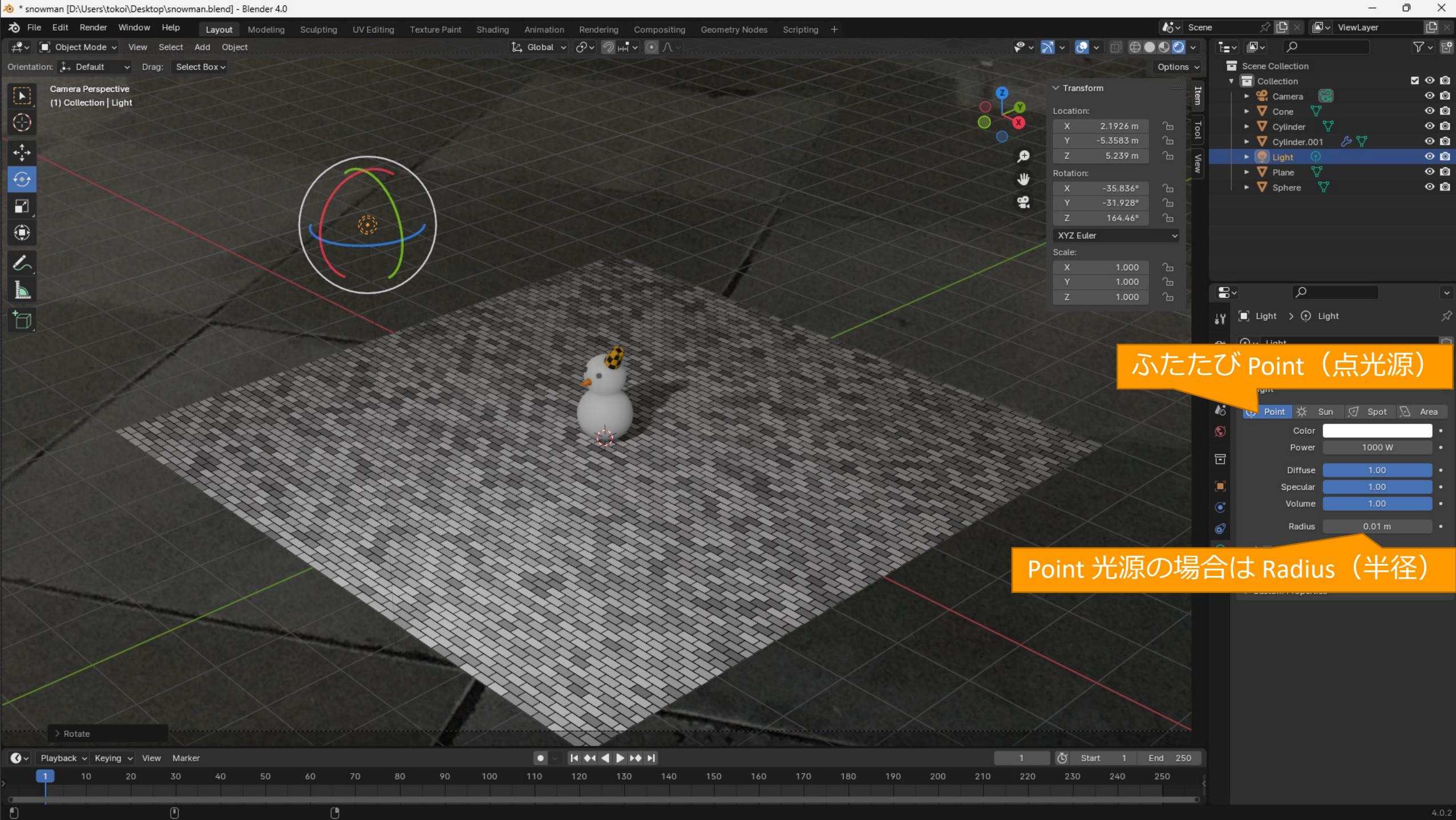






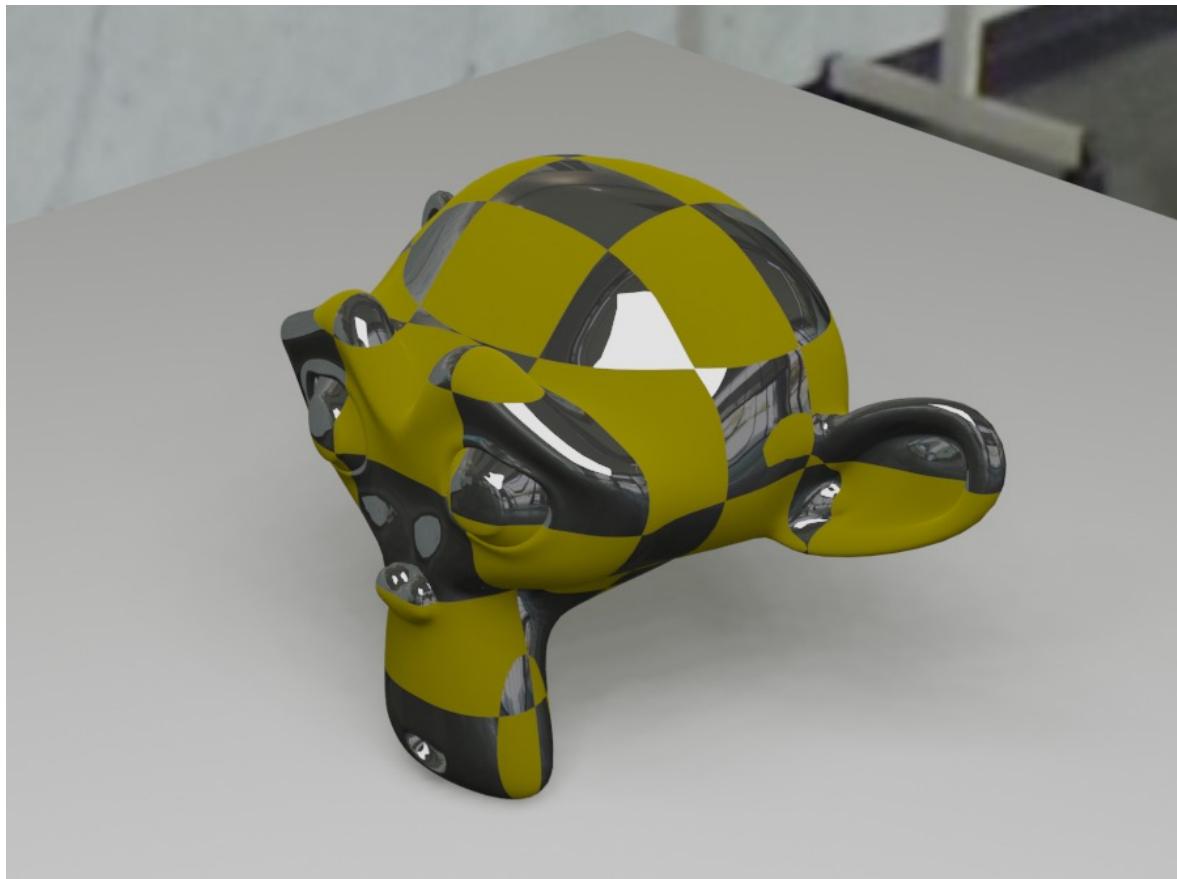




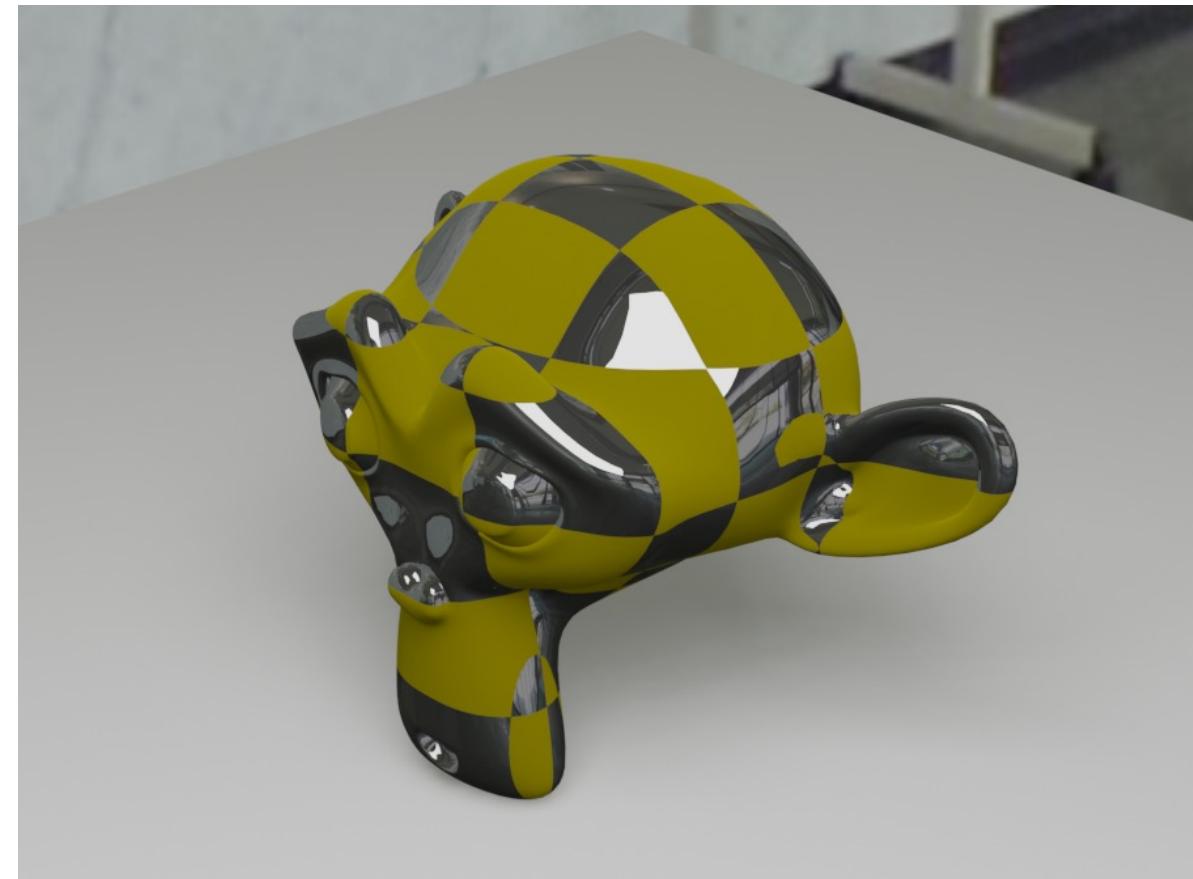


# Eevee では影に段があることがある

Samples = 64 (Default)

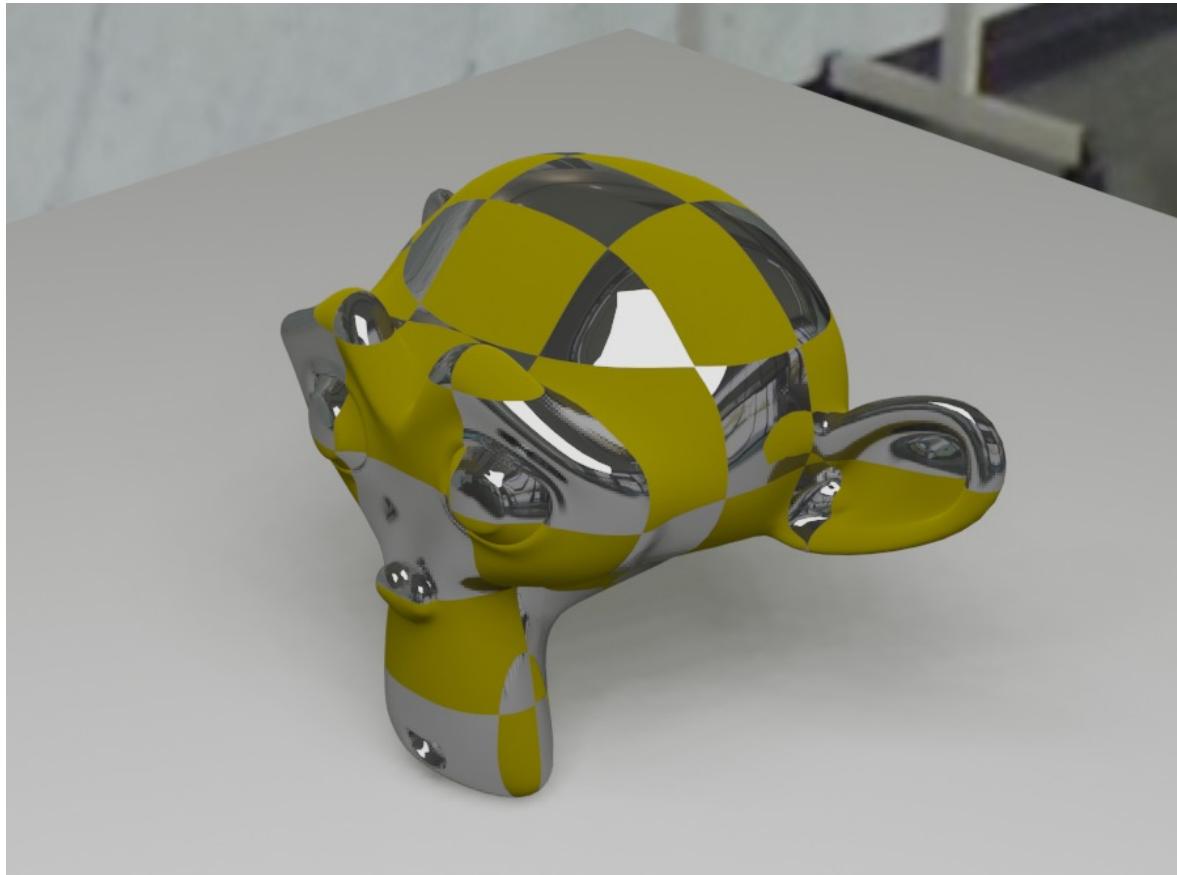


Samples = 256

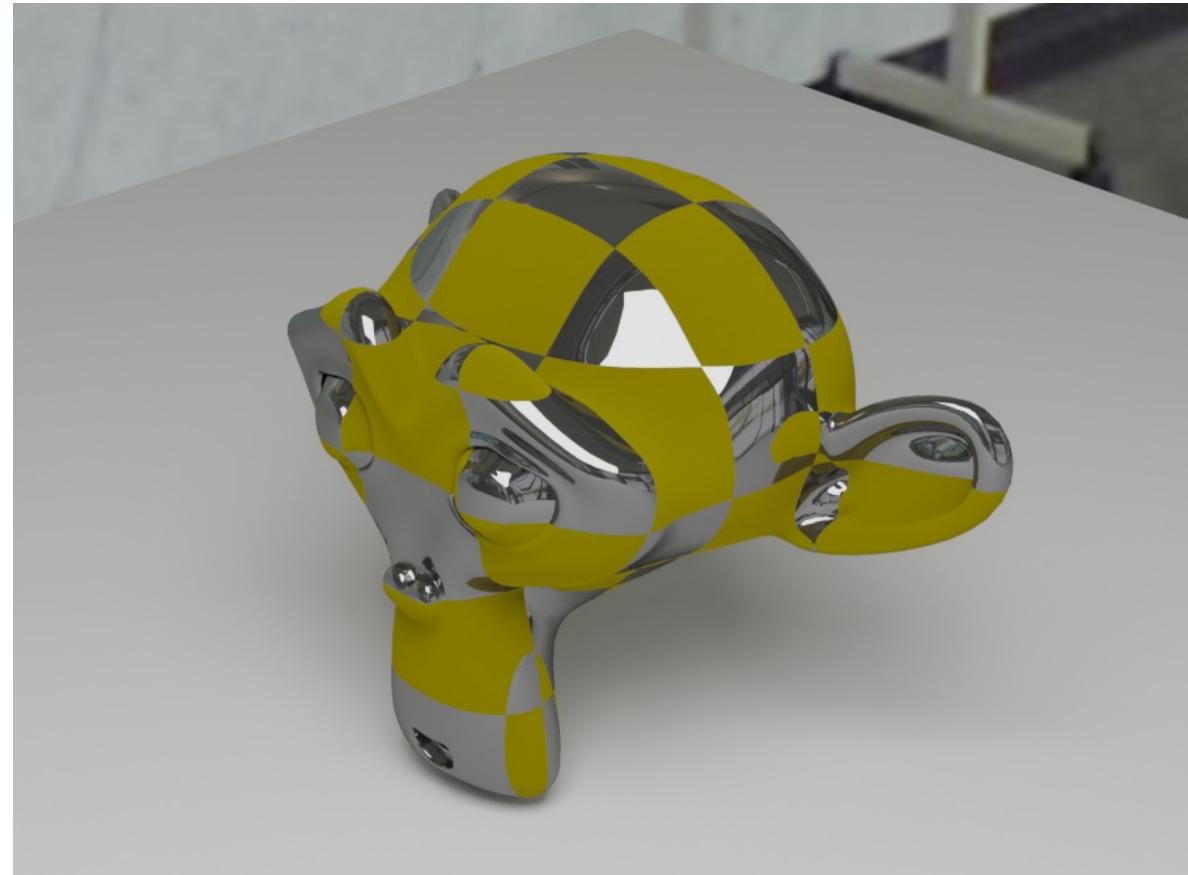


# Eevee と Cycles の比較

Eevee (Screen Space Reflection = ON)

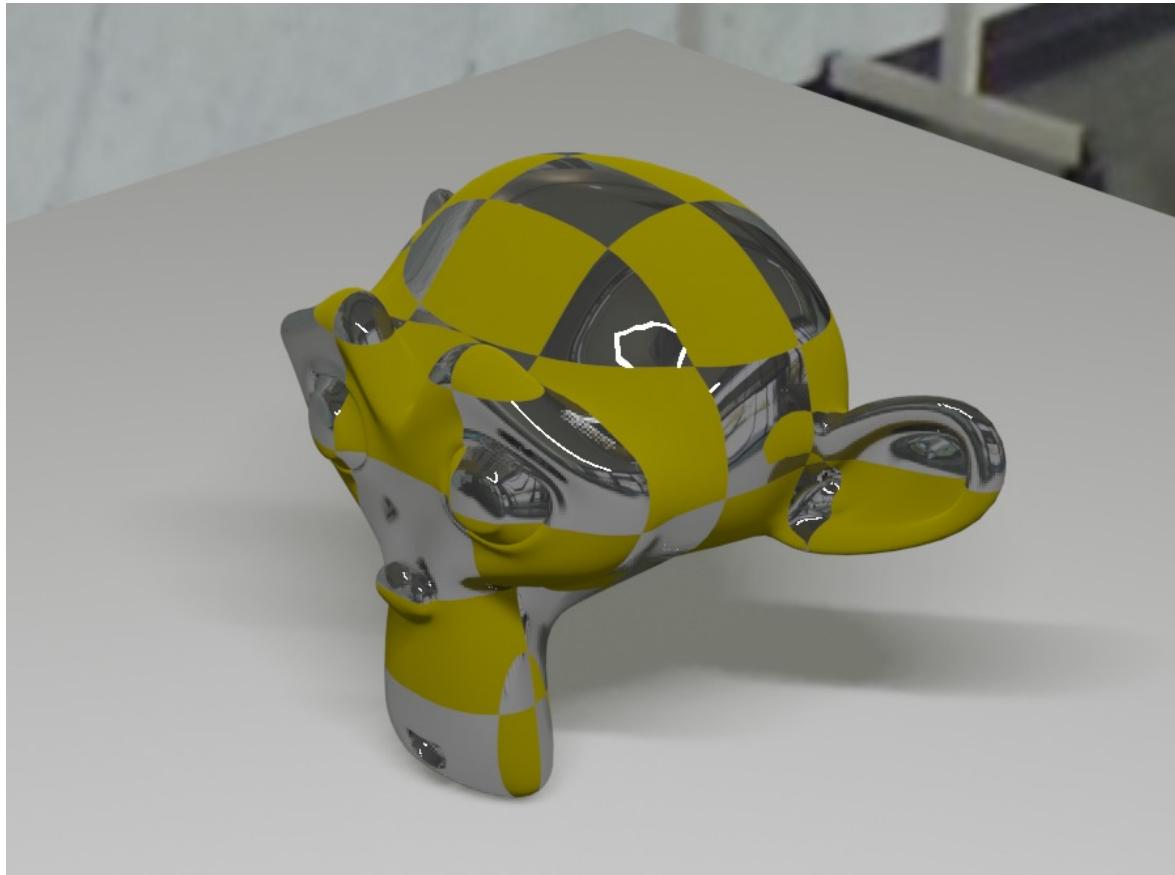


Cycles

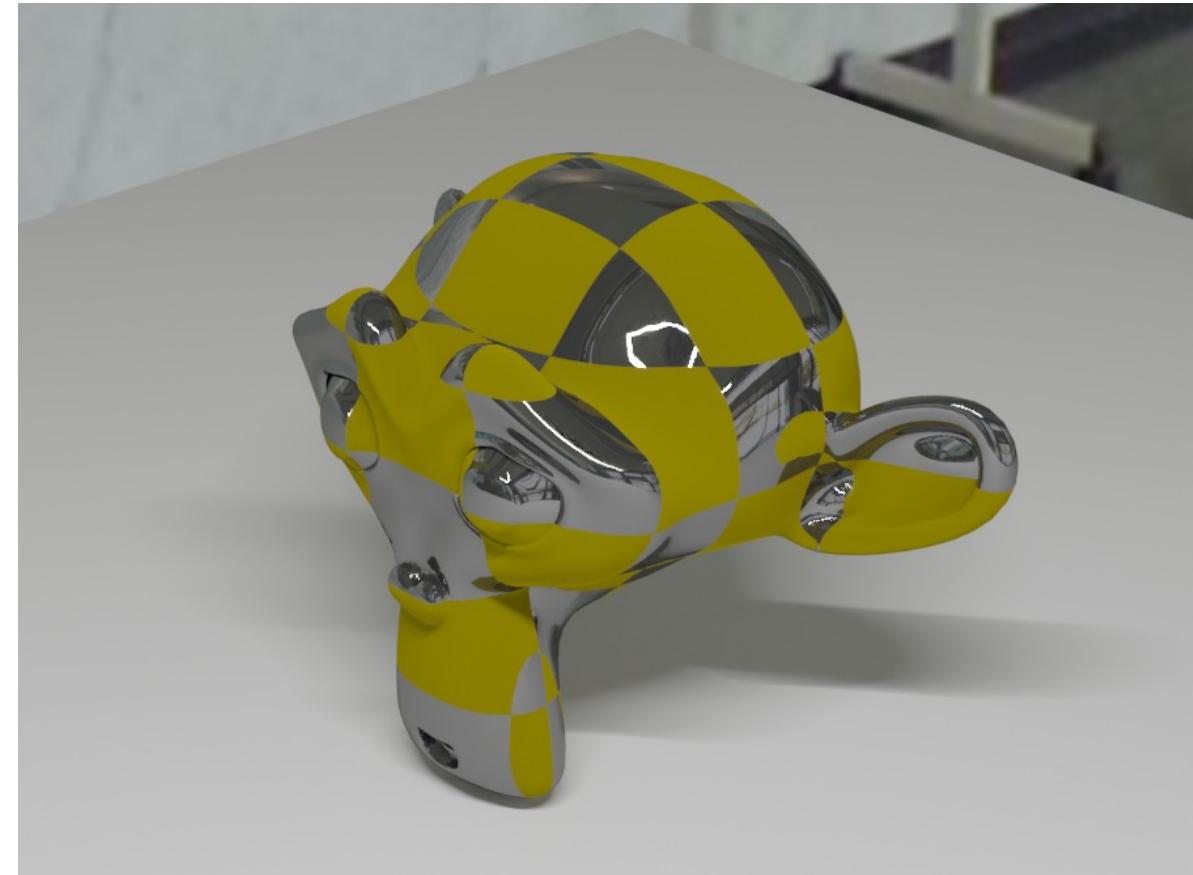


# 細長い光源の場合

Eevee (Screen Space Reflection = ON)

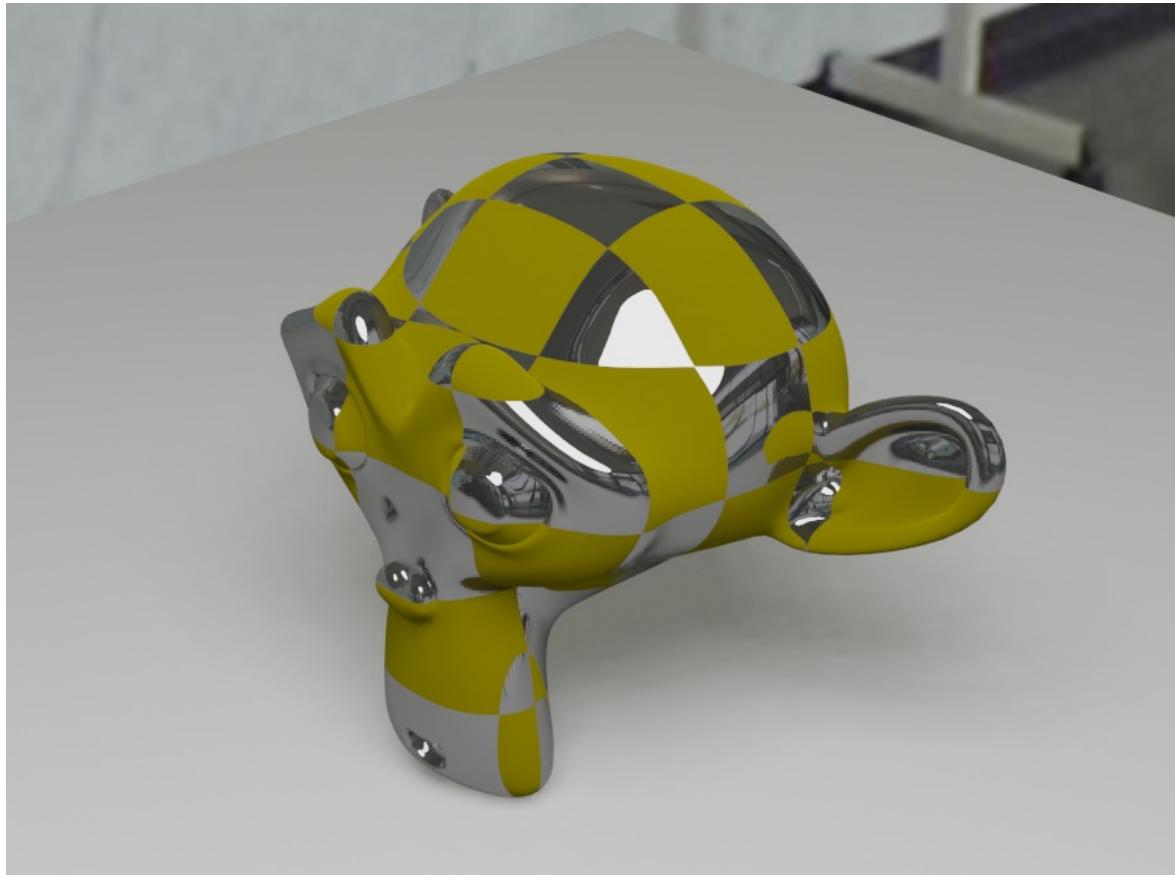


Cycles

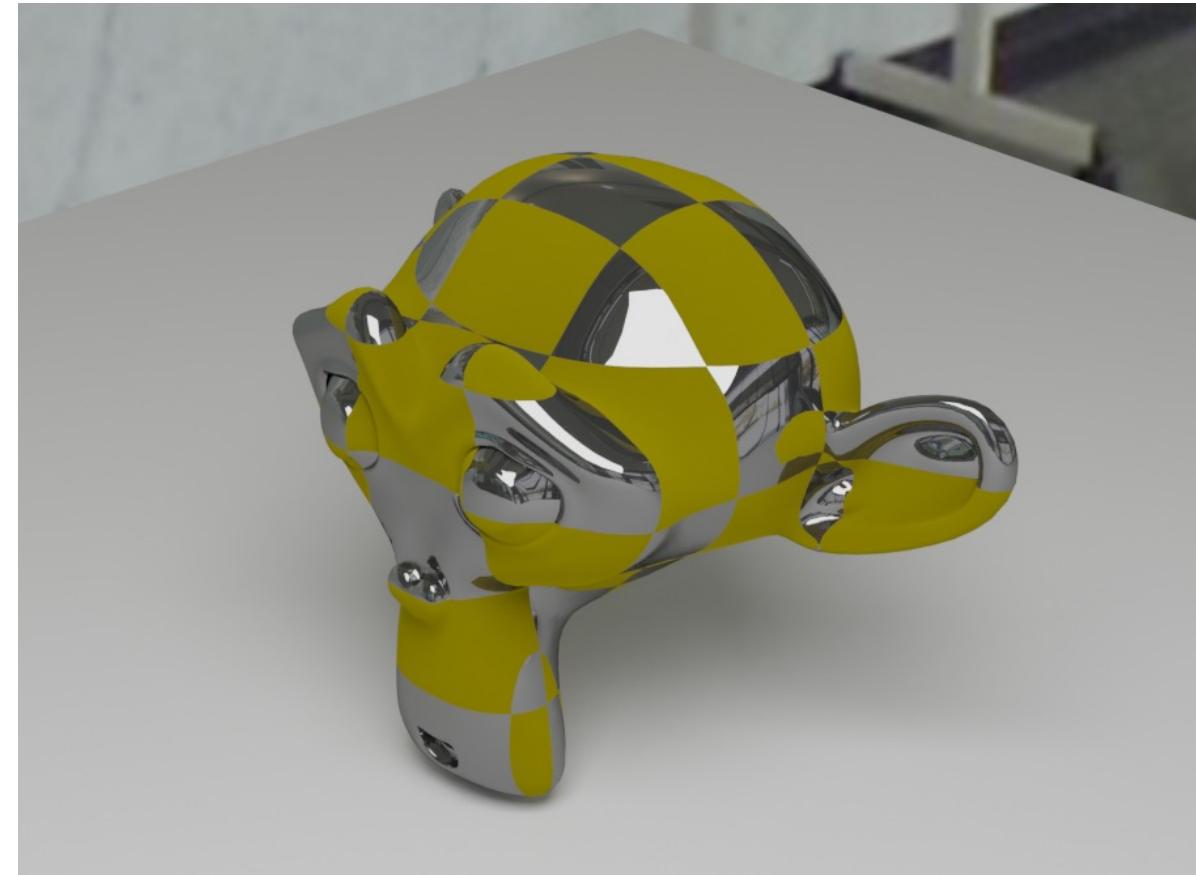


# 円形の光源の場合

Eevee (Screen Space Reflection = ON)



Cycles



# 課題

モデリングしたシーンにライトを3つ追加してください

# 宿題

- モデリングした形状をレンダリングして **3.png** というファイル名でアップロードしてください
- 複数ある時は **3\_1.png, 3\_2.png, ...** のように連番を付けてください
- アップロード先は [Moodle](#) に記載しています