

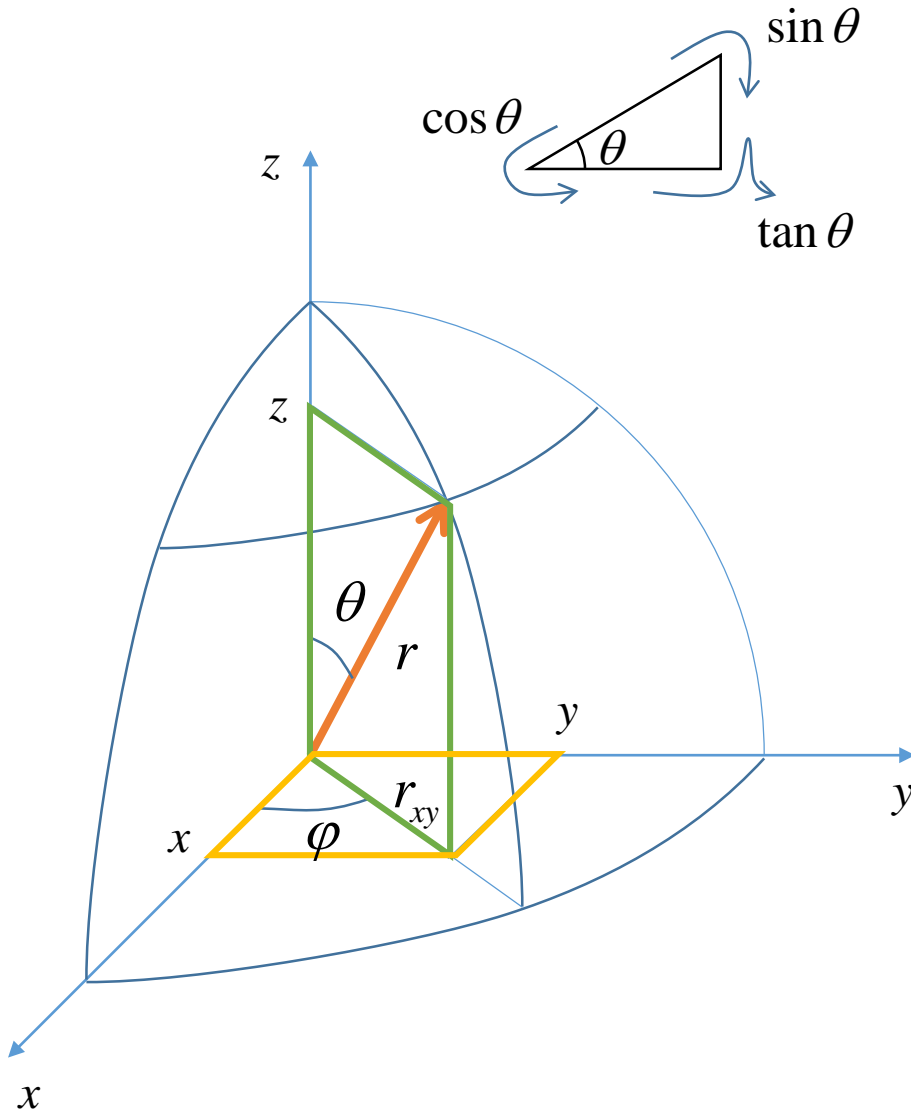
エルゴノミクスコンピューティング実習

全天球画像

人間システム工学科 井村 誠孝

m.imura@kwansei.ac.jp

基礎知識: 直交座標と極座標の変換



$$(r, \theta, \varphi) \rightarrow (x, y, z)$$

$$z = r \cos \theta$$

$$r_{xy} = r \sin \theta$$

$$x = r_{xy} \cos \varphi = r \sin \theta \cos \varphi$$

$$y = r_{xy} \sin \varphi = r \sin \theta \sin \varphi$$

$$(x, y, z) \rightarrow (r, \theta, \varphi)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

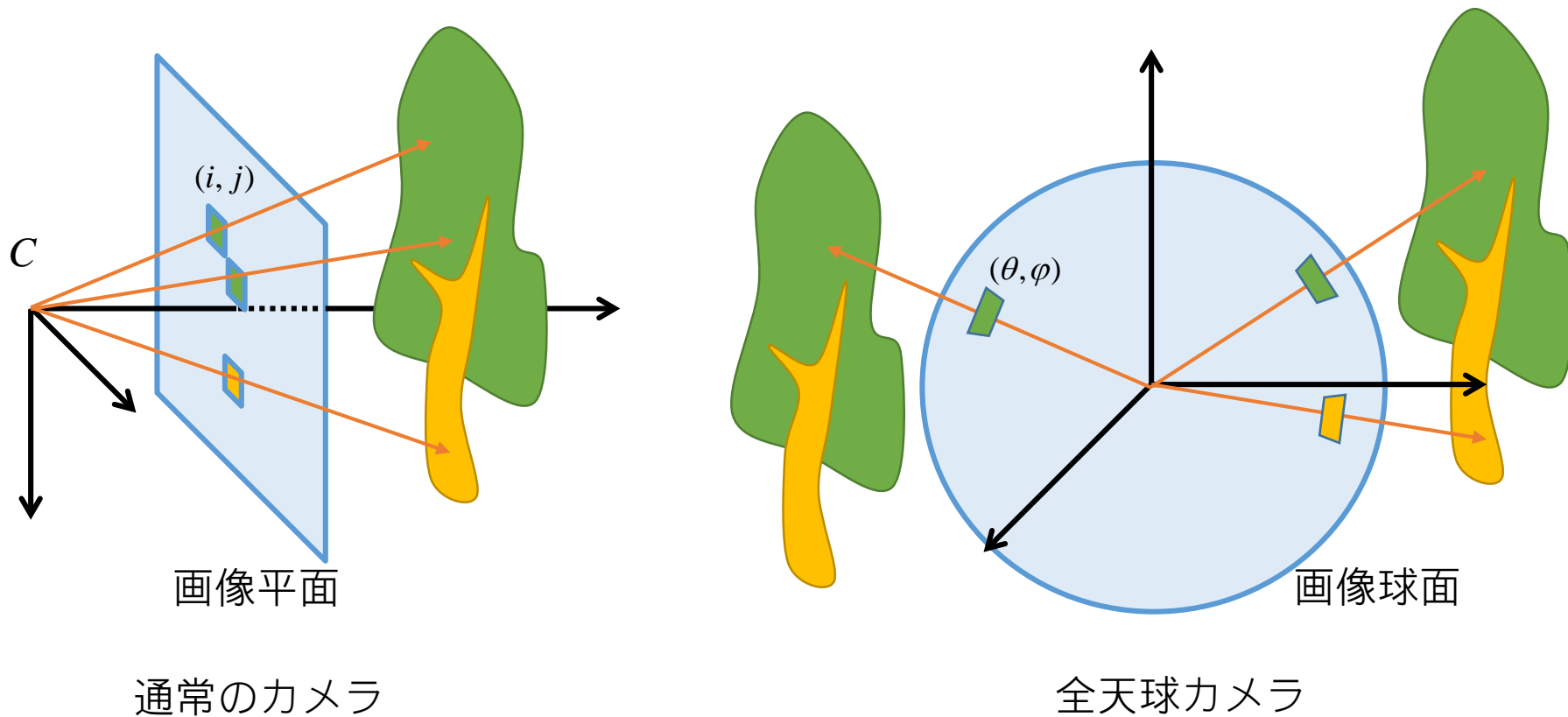
$$r_{xy} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{r_{xy}}{z} \Leftrightarrow \theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}$$

$$\tan \varphi = \frac{y}{x} \Leftrightarrow \varphi = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

全天球画像

- 全天球画像は、ある点を中心とした全方向の画像情報を、(任意の半径の)球面に貼り付けたもの
- 撮像面が球面状のカメラで撮った写真、と言ってもよい



登場する座標系

■ 3次元座標

- 全天球座標系

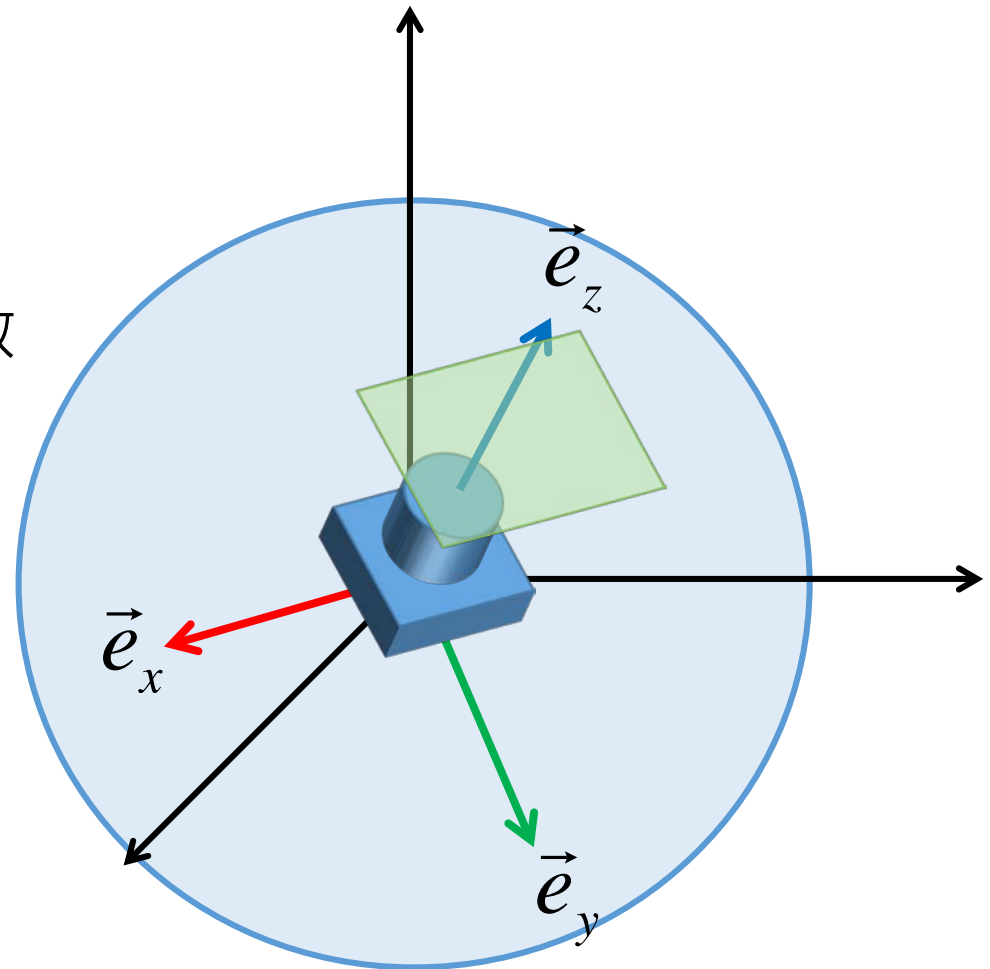
- カメラ座標系

※両座標系の原点は一致

■ 2次元座標(画像)

- 全天球画像

- カメラ画像



全天球座標系と全天球画像の対応

- 全天球座標系の原点から，あるベクトル \vec{v} の方向を見たときに，全天球画像のどの画素が見えるか？
- 球面上の1点を示すためには，極座標での θ と φ を用いるのが簡単.
 - 地球儀で言えば，緯度が θ ，経度が φ に対応.
- ベクトル \vec{v} を極座標で表したときの， θ と φ によって，全天球画像上の座標が決まる.
- θ と φ に対応する全天球画像の画素の座標は？

全天球画像は二つの座標系を持つ

- 全天球画像の画素数を，横方向 n_x ，縦方向 n_y とする。
- 極座標は右上原点なのに対して，画素は左上原点
- 横方向

$$\varphi : 0 \rightarrow 2\pi$$

$$i : n_x \rightarrow 0$$

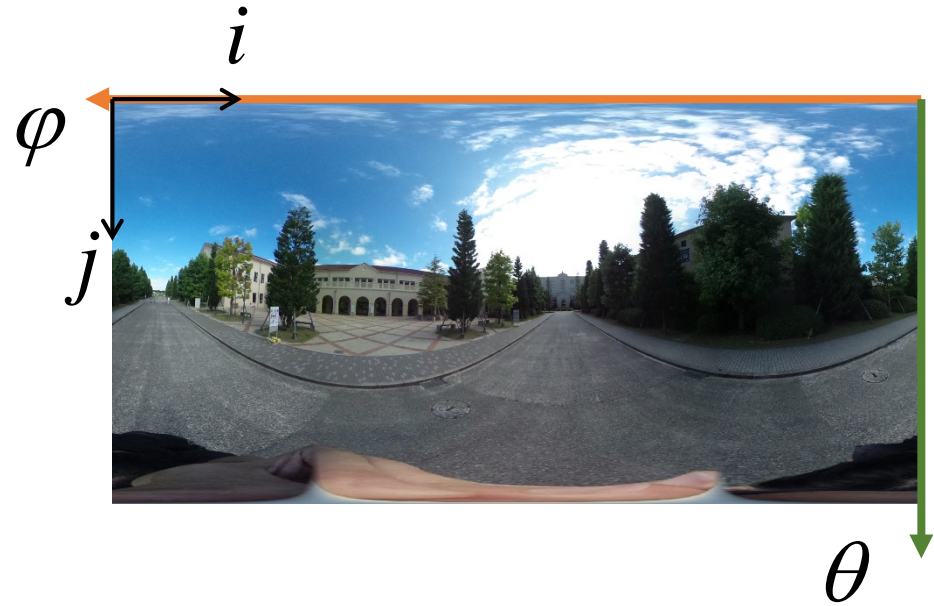
$$i = n_x (1 - \varphi / 2\pi)$$

- 縦方向

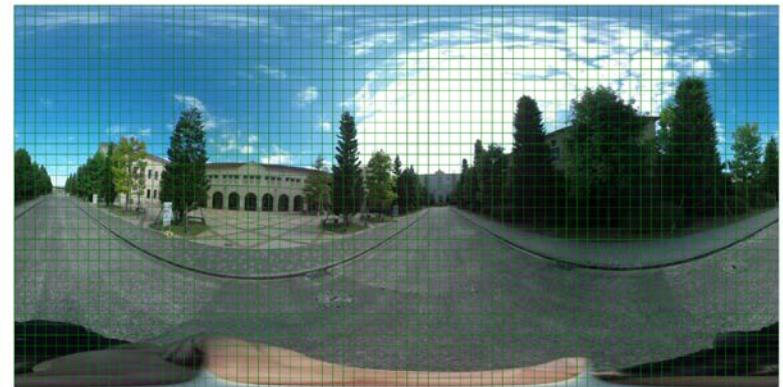
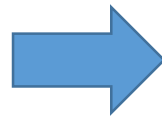
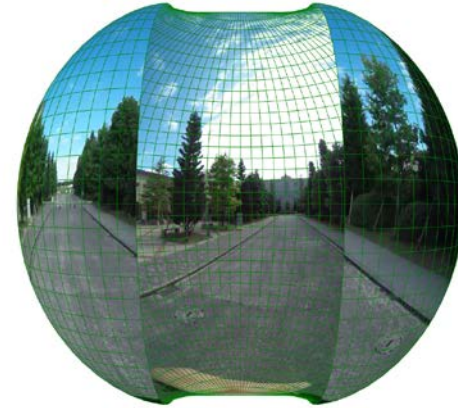
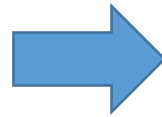
$$\theta : 0 \rightarrow \pi$$

$$j : 0 \rightarrow n_y$$

$$j = n_y \frac{\theta}{\pi}$$



全天球画像の展開(デモ)



処理の手順

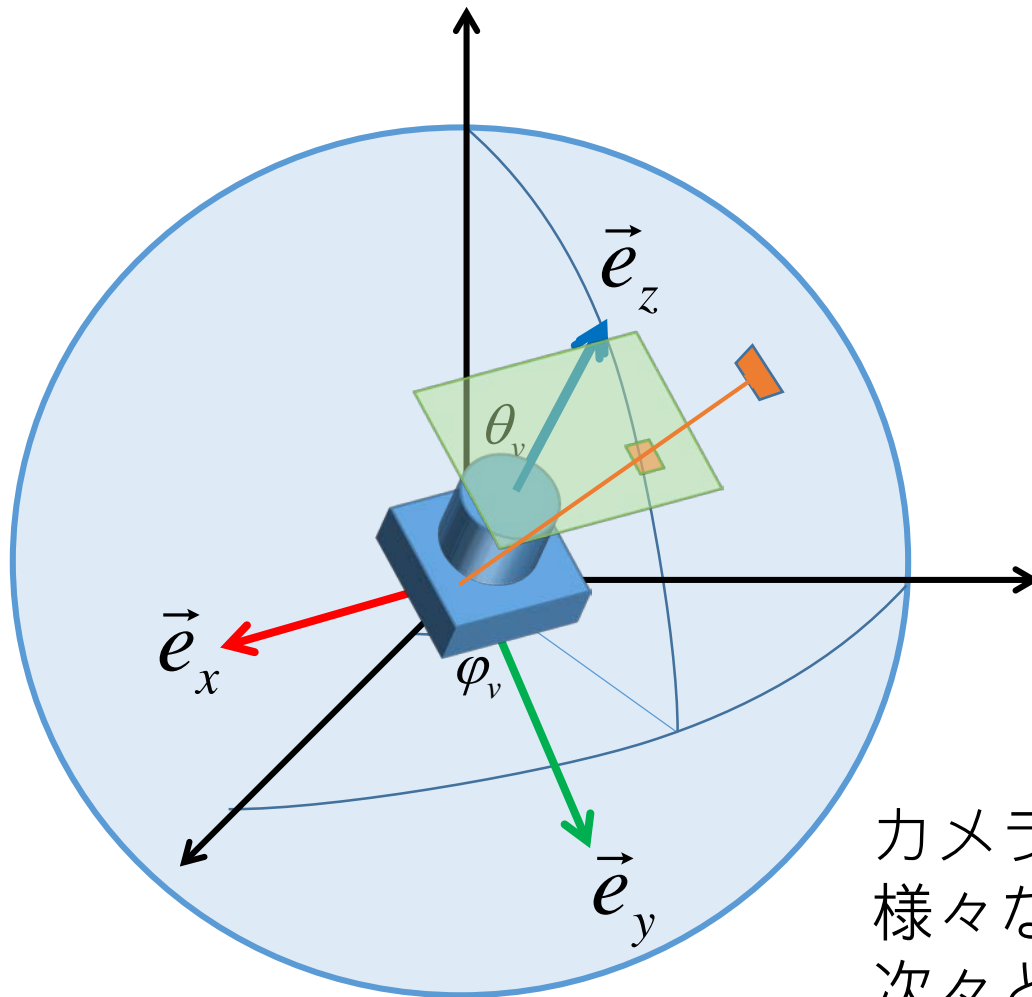
■ 基本方針

- カメラを原点に置き，カメラ画像上の各画素が，全天球画像のどの画素と対応するかを，全ての画像上の画素について求めればよい。

■ 具体的な手順

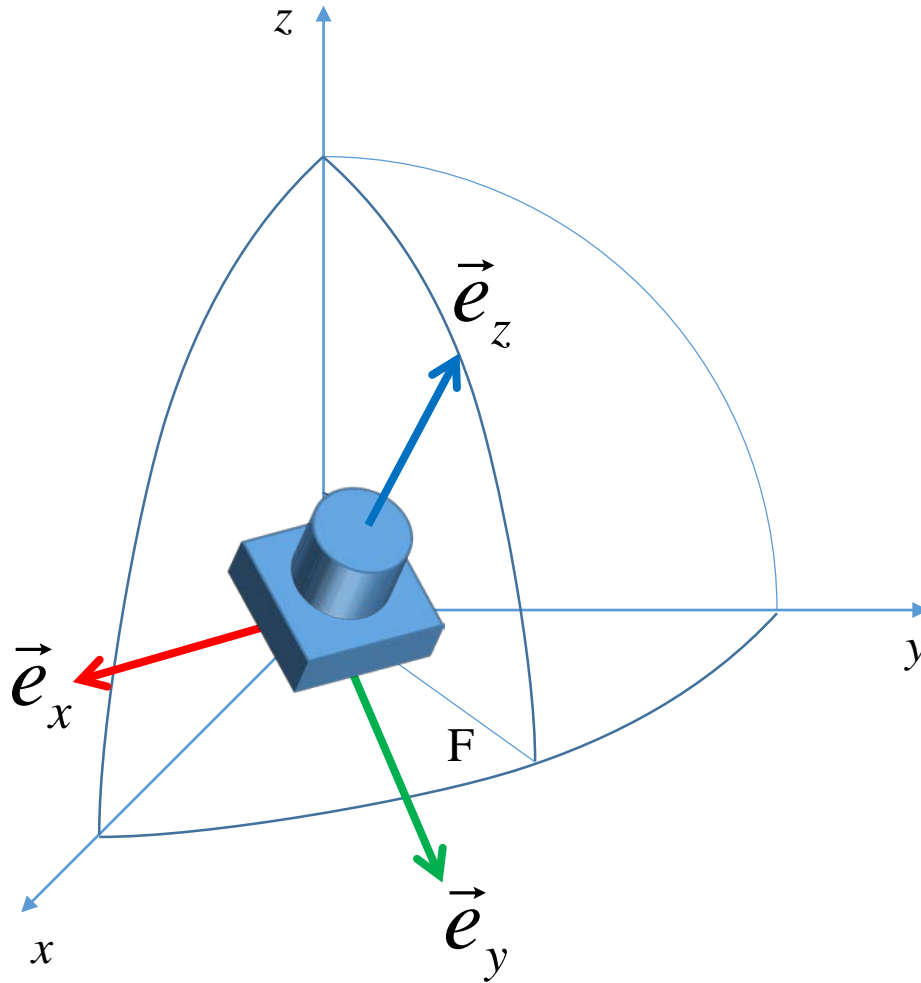
- カメラ(の光軸)の向きは，極座標 θ_v, ϕ_v で与える
- カメラ座標系(カメラの光軸，画像平面に固定された座標系)が決まる
 - =カメラ座標系の基底ベクトルの成分を，全天球座標系で表す。
- 以下をカメラ画像上の各画素に対して行う
 - カメラ画像上の各画素の3次元的位置を，カメラ座標系で表す。
 - カメラ画像上の各画素の位置を，全天球座標系に変換し，極座標で表す
 - 全天球画像上の対応する点がわかるので，その点の色を取得し，カメラ画像にセットする

手順の図解

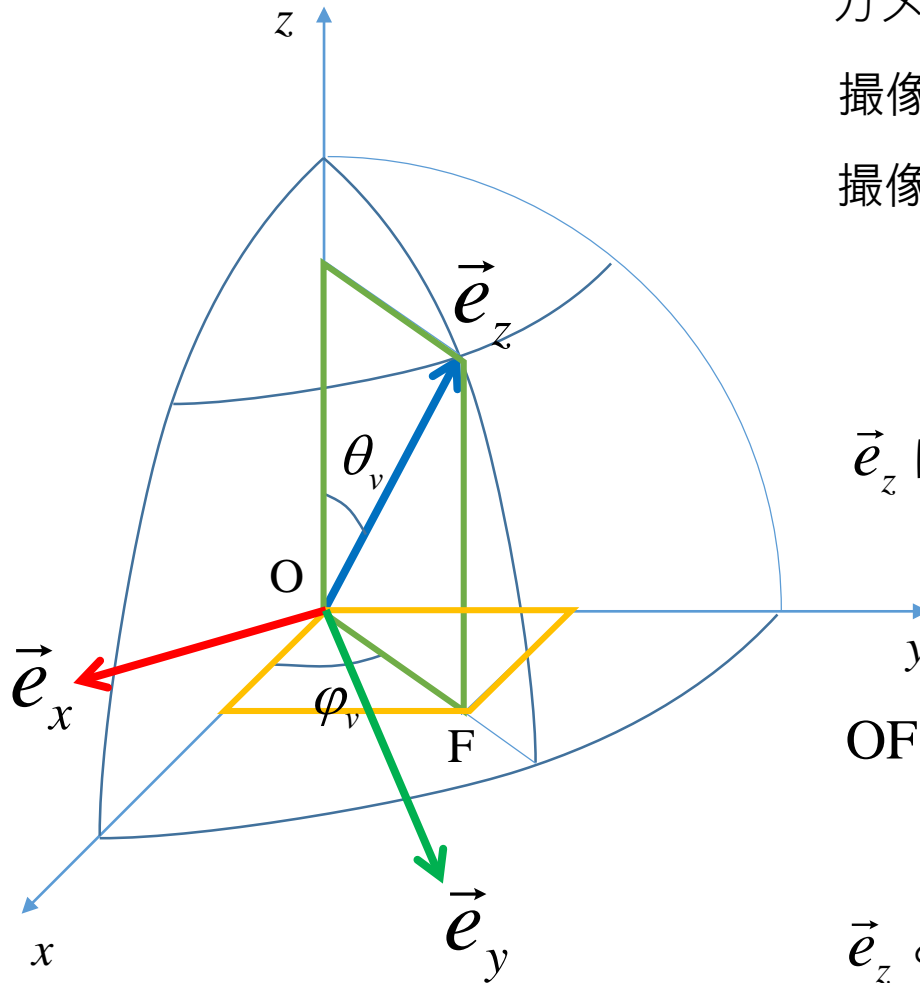


カメラ画像上の、画素の座標を、
様々な座標系での値に
次々と変換していくところが
ポイント

カメラ座標系の基底ベクトルとカメラ



カメラ座標系の基底ベクトルの成分



カメラの向き(光軸)は \vec{e}_z

撮像面横方向 \vec{e}_x は xy 平面上.

撮像面縦方向 \vec{e}_y は \vec{e}_z と z 軸を含む平面上.

正規直交基底

→基底ベクトルの長さは1で互いに直交

\vec{e}_z は光軸の向きの極座標表現

$$\vec{e}_z = (\sin \theta_v \cos \varphi_v, \sin \theta_v \sin \varphi_v, \cos \theta_v)$$

$OF = (\cos \varphi_v, \sin \varphi_v, 0)$ を z 軸中心に $-\pi/2$ 回転

$$\vec{e}_x = (\sin \varphi_v, -\cos \varphi_v, 0)$$

\vec{e}_z と \vec{e}_x に直交するベクトル: 外積で求める

$$\vec{e}_y = (\cos \theta_v \cos \varphi_v, \cos \theta_v \sin \varphi_v - \sin \theta_v)$$

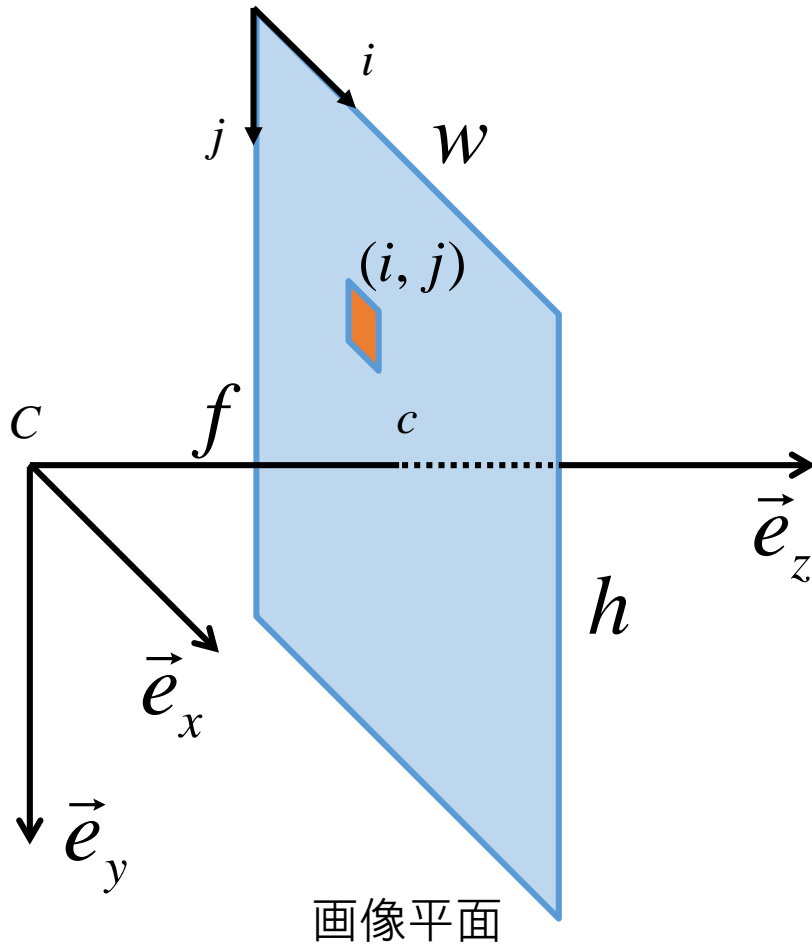
外積の求め方

$$\vec{e}_z = (\sin \theta_v \cos \varphi_v, \sin \theta_v \sin \varphi_v, \cos \theta_v) \quad \vec{e}_x = (\sin \varphi_v, -\cos \varphi_v, 0)$$

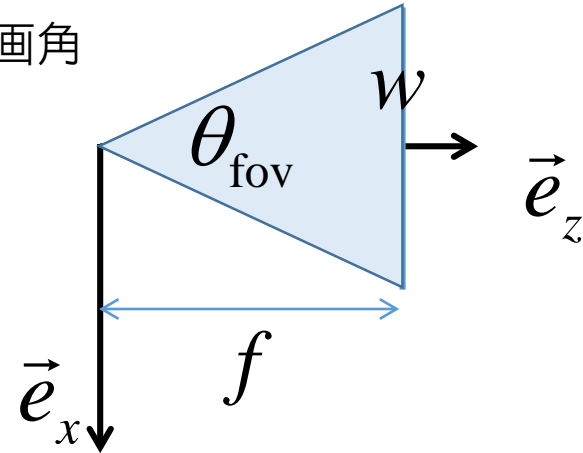
$$\begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \sin \theta_v \cos \varphi_v & \sin \theta_v \sin \varphi_v & \cos \theta_v \\ \sin \varphi_v & -\cos \varphi_v & 0 \end{vmatrix}$$

焦点距離, 画角, アスペクト比

カメラ座標系

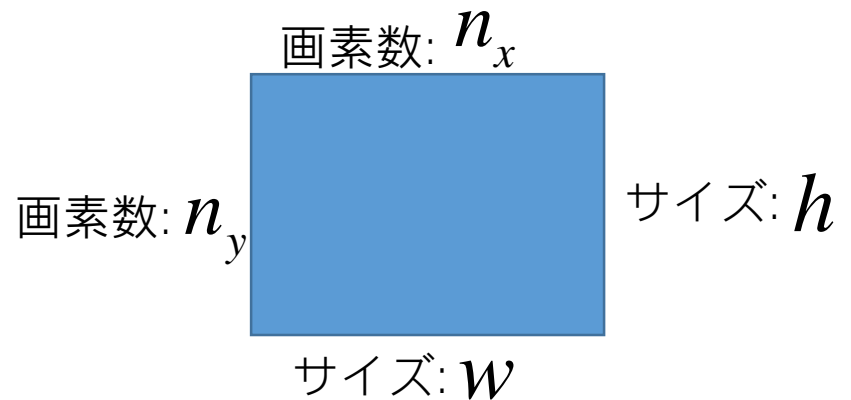


焦点距離と画角



$$w = 2f \tan \frac{\theta_{fov}}{2}$$

アスペクト比=画面の縦横比



カメラ画像上の画素→カメラ座標系での座標

カメラ座標系

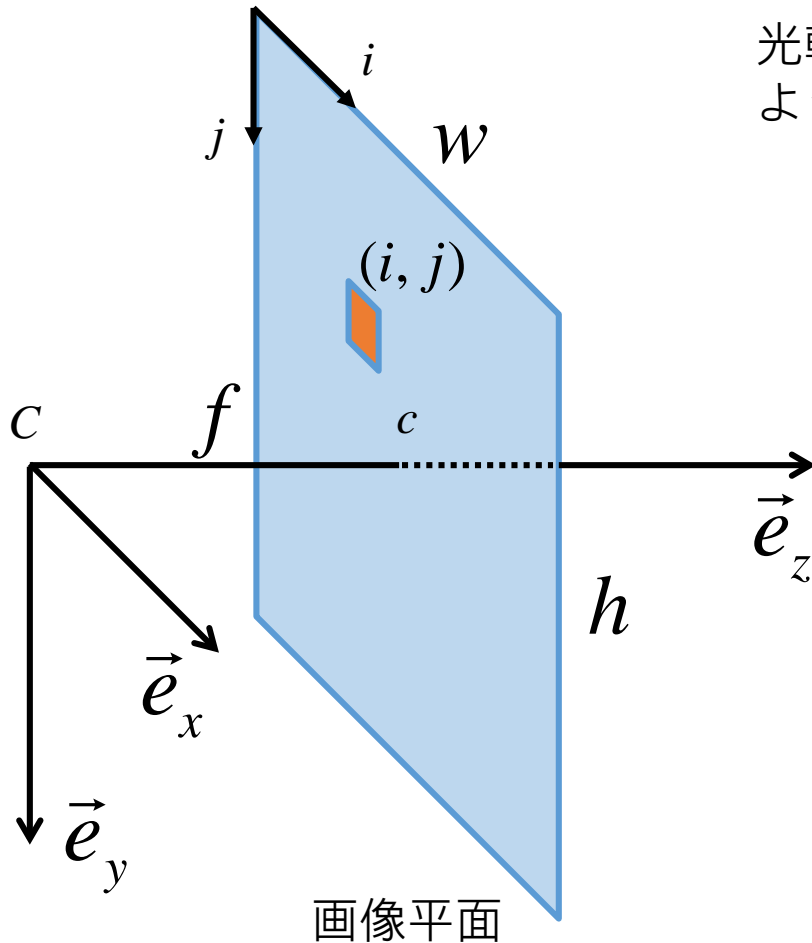
各画素のサイズは、横 $\frac{w}{n_x}$ 縦 $\frac{h}{n_y}$

光軸($x=0, y=0$)は、カメラ画像の中心を通る。
よって画素(i, j)のカメラ座標系での座標は、

$$x_c = \left(i - \frac{n_x}{2} \right) \frac{w}{n_x}$$

$$y_c = \left(j - \frac{n_y}{2} \right) \frac{h}{n_y}$$

$$z_c = f$$



カメラ座標系から全天球座標系への変換

- カメラ座標系での基底ベクトルが，全天球座標系でどのような成分を持つかは，既にわかっている。
- よって以下の式を，全天球座標系の成分を使って具体的な成分で表せば，カメラ画像上のある点の全天球座標系での座標値がわかる。

$$x_c \vec{e}_x + y_c \vec{e}_y + z_c \vec{e}_z$$

- 極座標への変換方法: 解説済み(スライド2枚目)
- 全天球画像上の座標への変換方法: 解説済み(スライド6枚目)