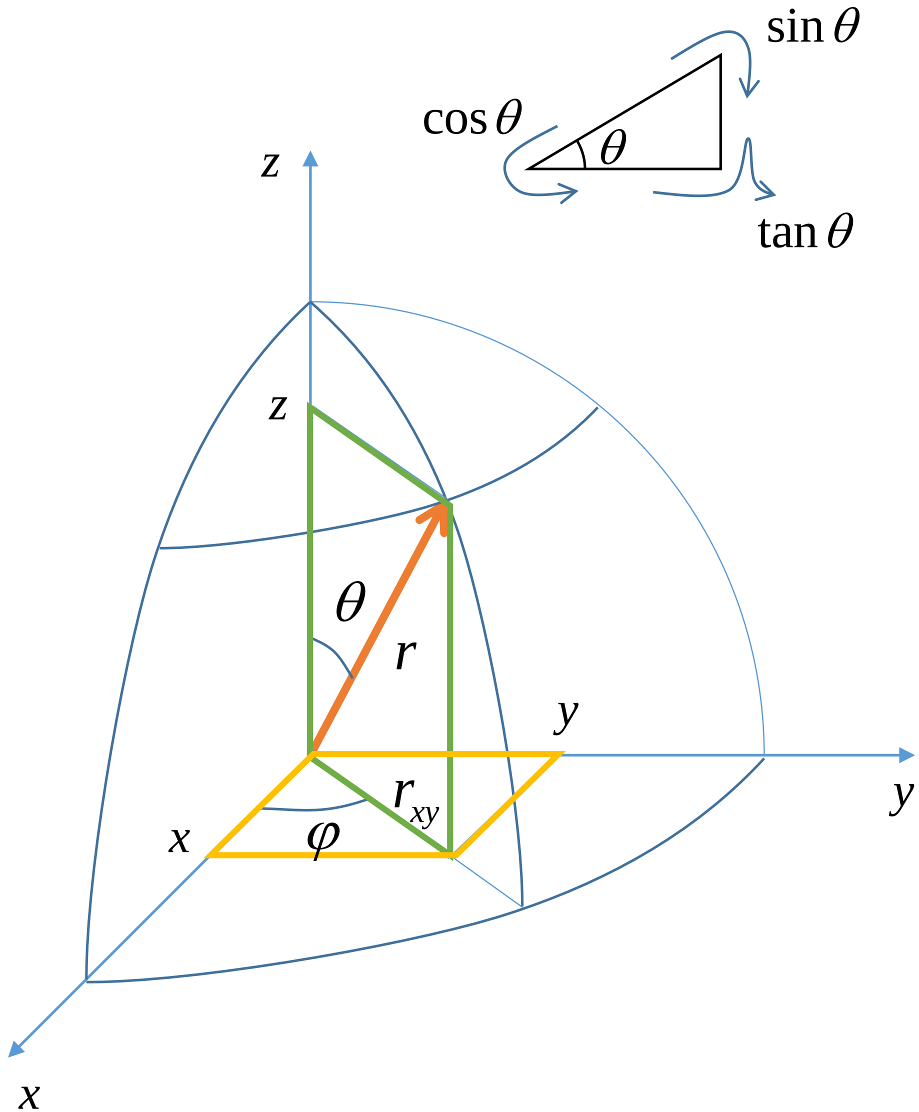
エルゴノミクスコンピューティング実習

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



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

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

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

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

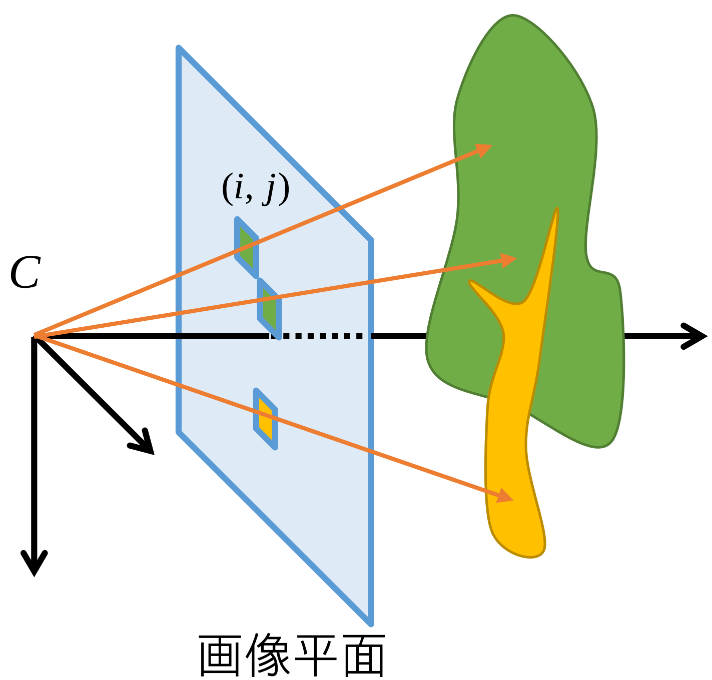
$$r = \sqrt{x^2+y^2+z^2}$$
$$r_{xy} = \sqrt{x^2+y^2}$$

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

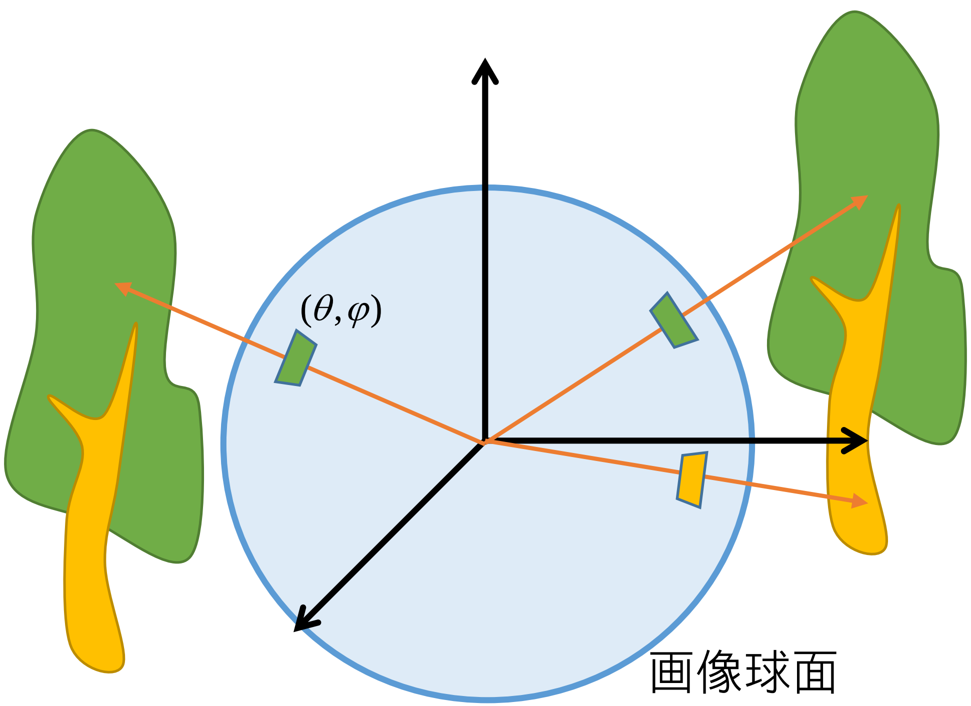
$$\tan\varphi = \frac{y}{x} \Leftrightarrow \varphi = \tan^{-1}\frac{y}{x}$$

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



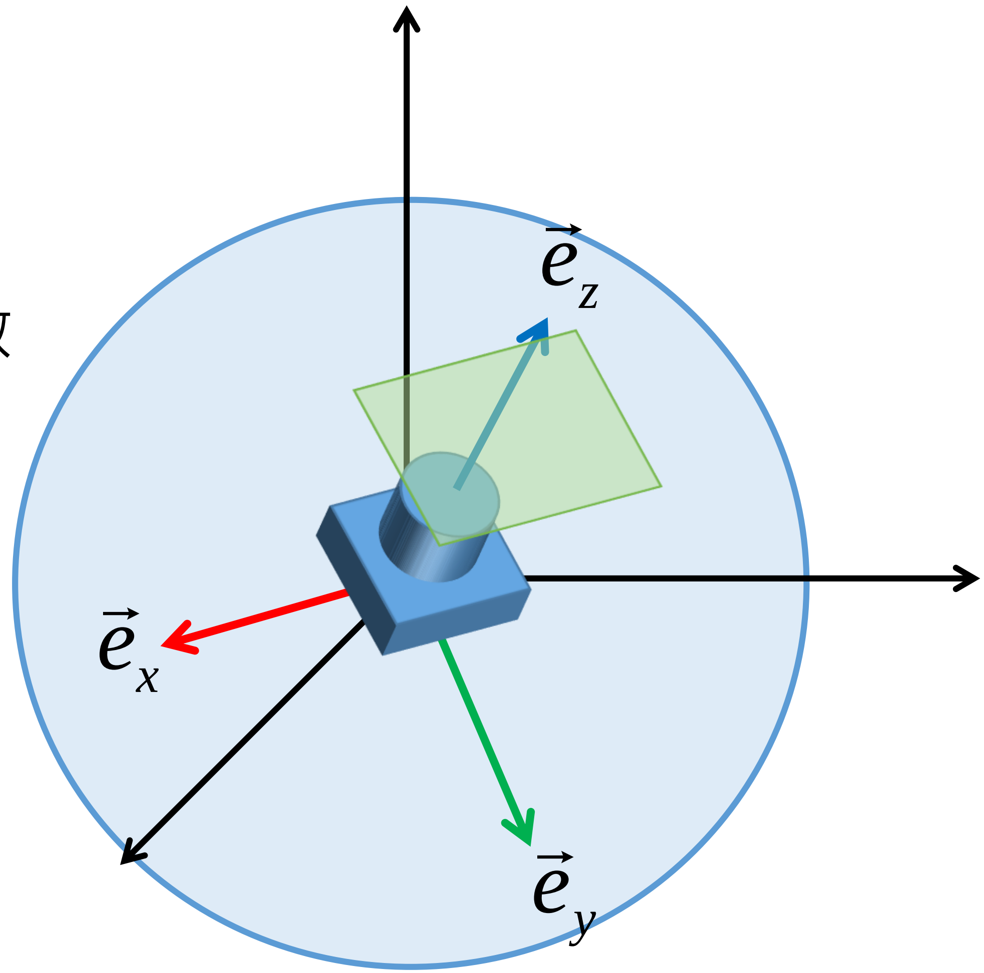
通常のカメラ



全天球カメラ

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



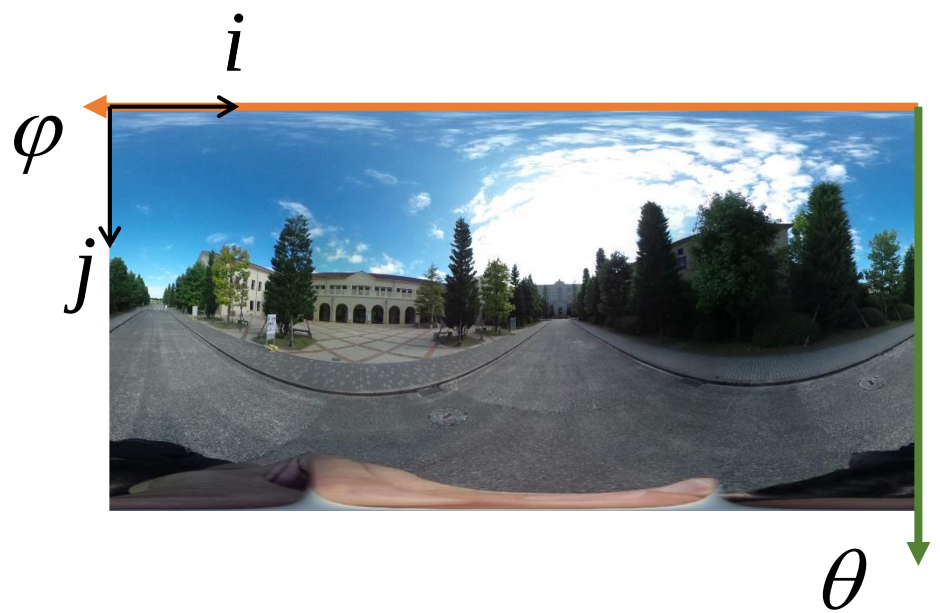
全天球座標系と全天球画像の対応

- 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

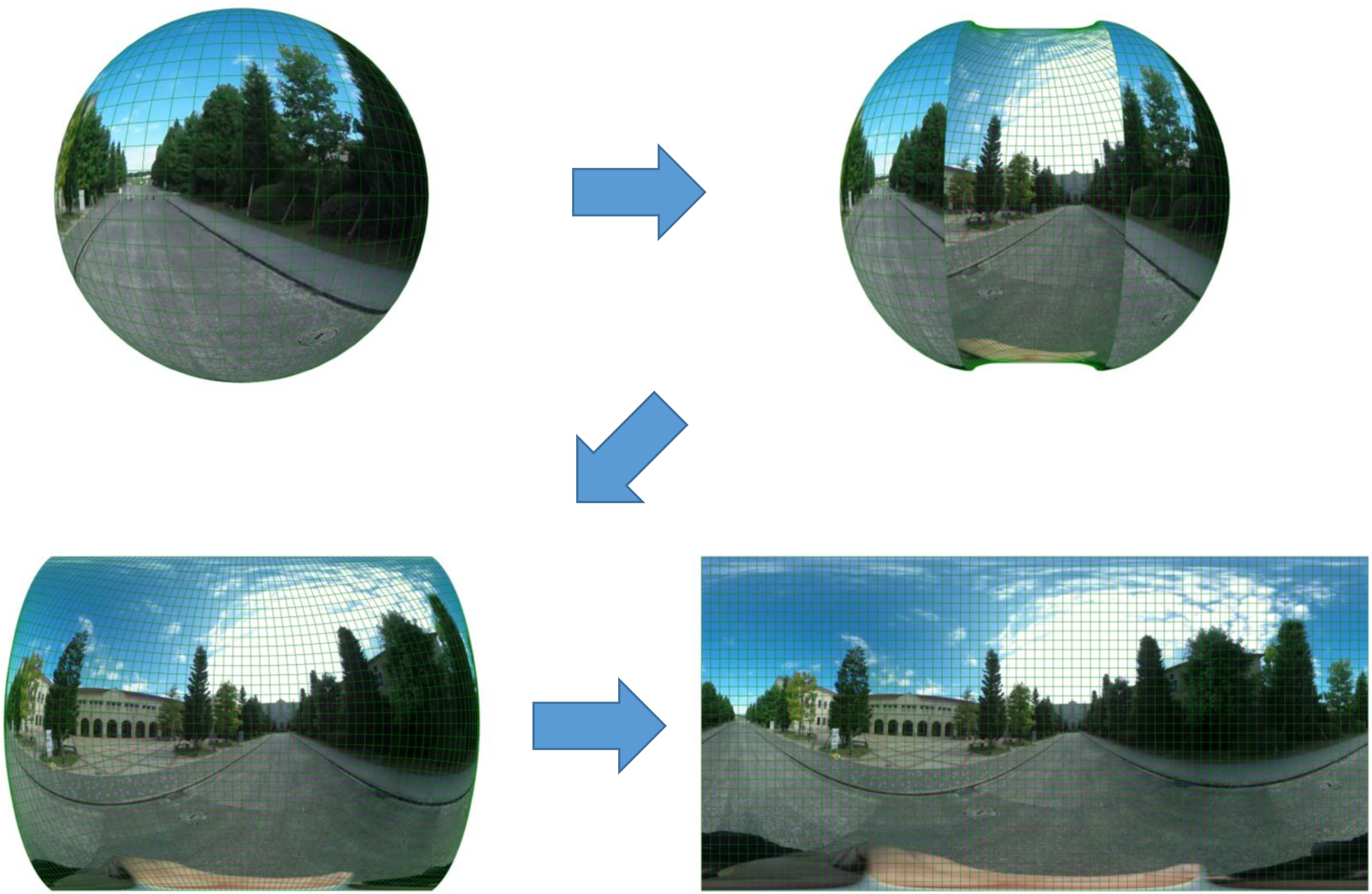
$$\varphi : 0 \to 2\pi$$
$$i : n_x \to 0$$
$$i = n_x \left(1 - \varphi / 2\pi\right)$$



- 縦方向

$$\theta : 0 \to \pi$$
$$j : 0 \to n_y$$
$$j = n_y \frac{\theta}{\pi}$$

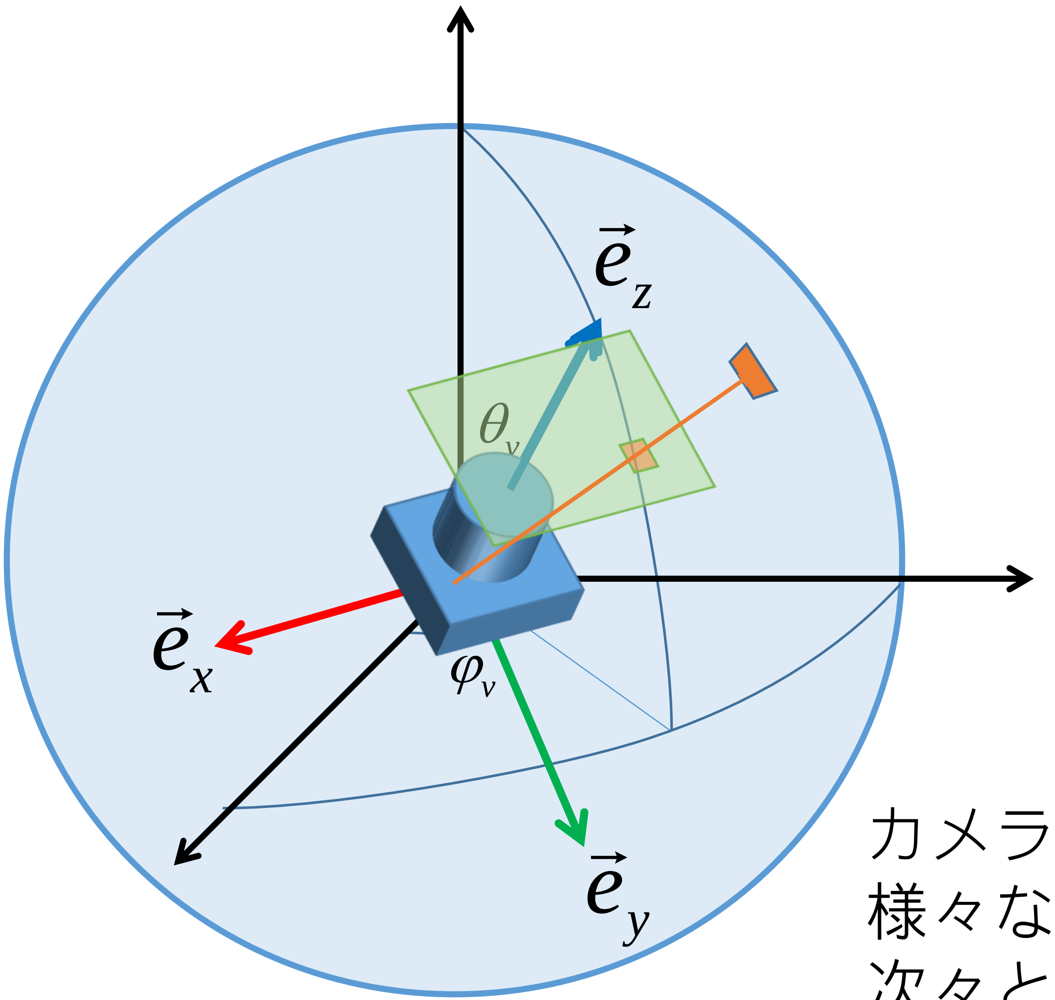
全天球画像の展開(デモ)



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次元的な位置を，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

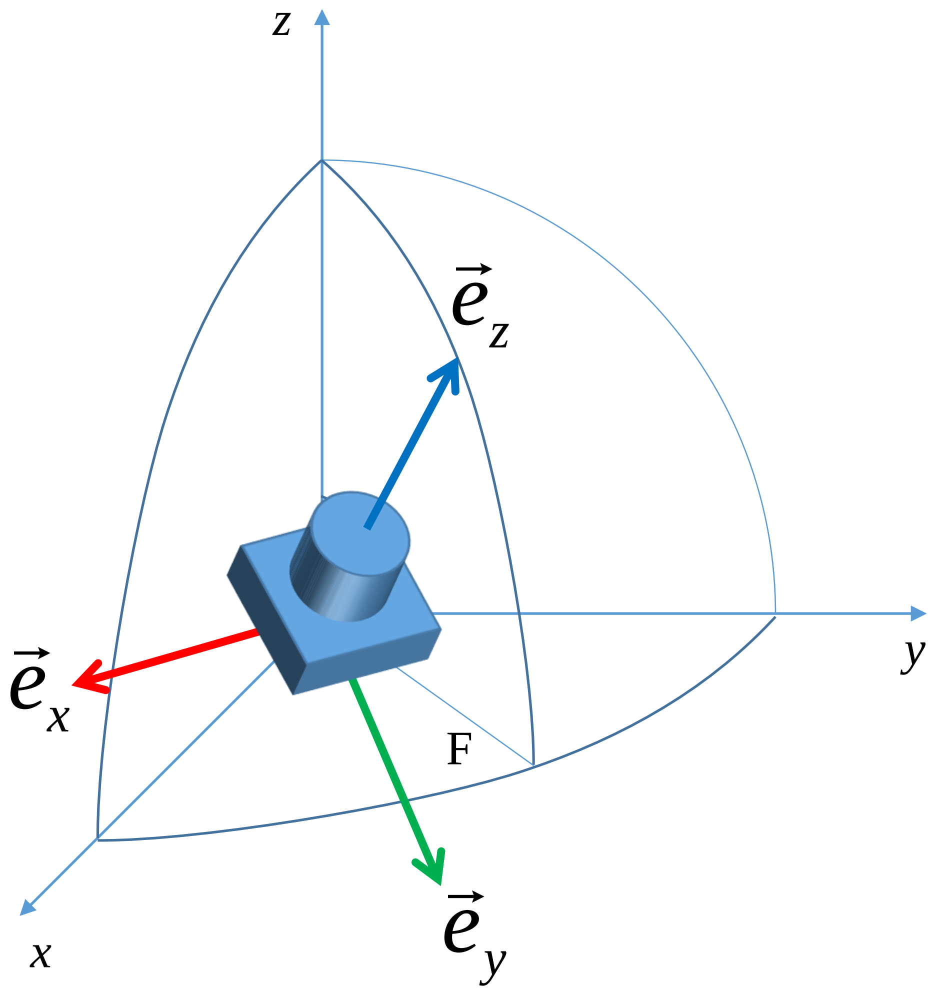
手順の図解



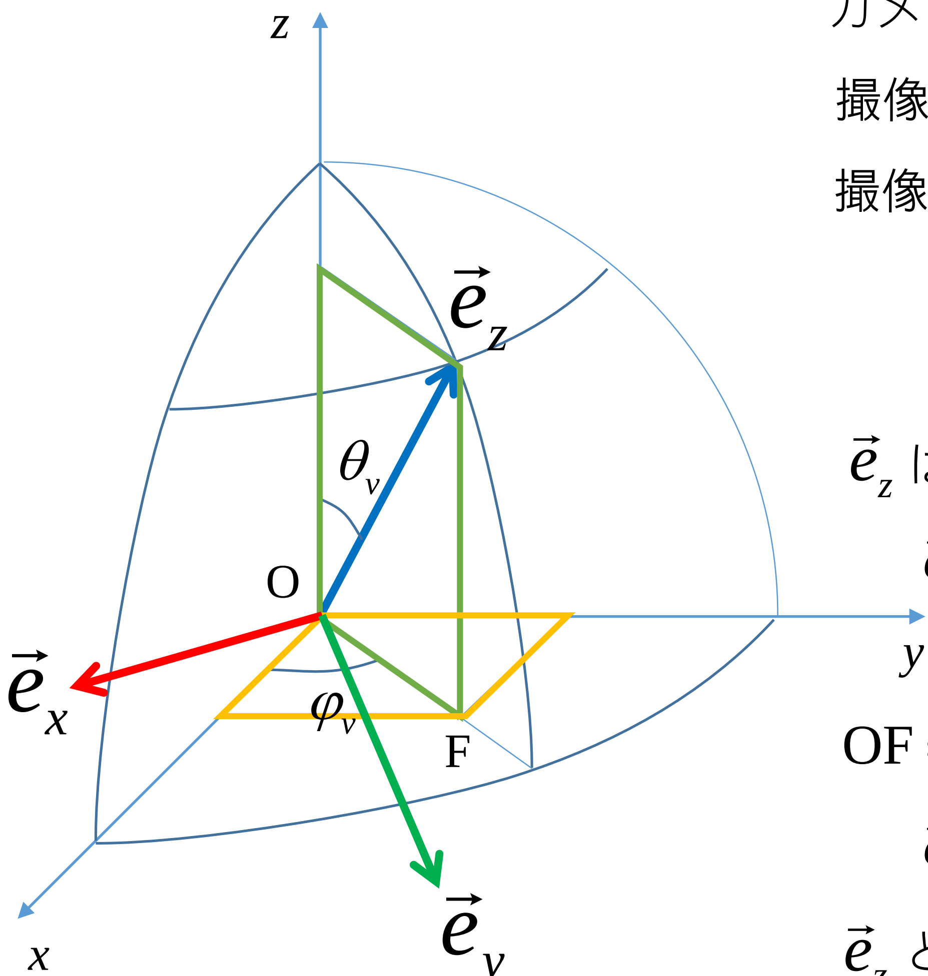
カメラ画像上の，画素の座標を，
様々な座標系での値に
次々と変換していくところが
ポイント

http://j.mp/kg-ergo-p

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

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

$\mathrm{OF} = (\cos\varphi_v, \sin\varphi_v, 0)$ 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

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

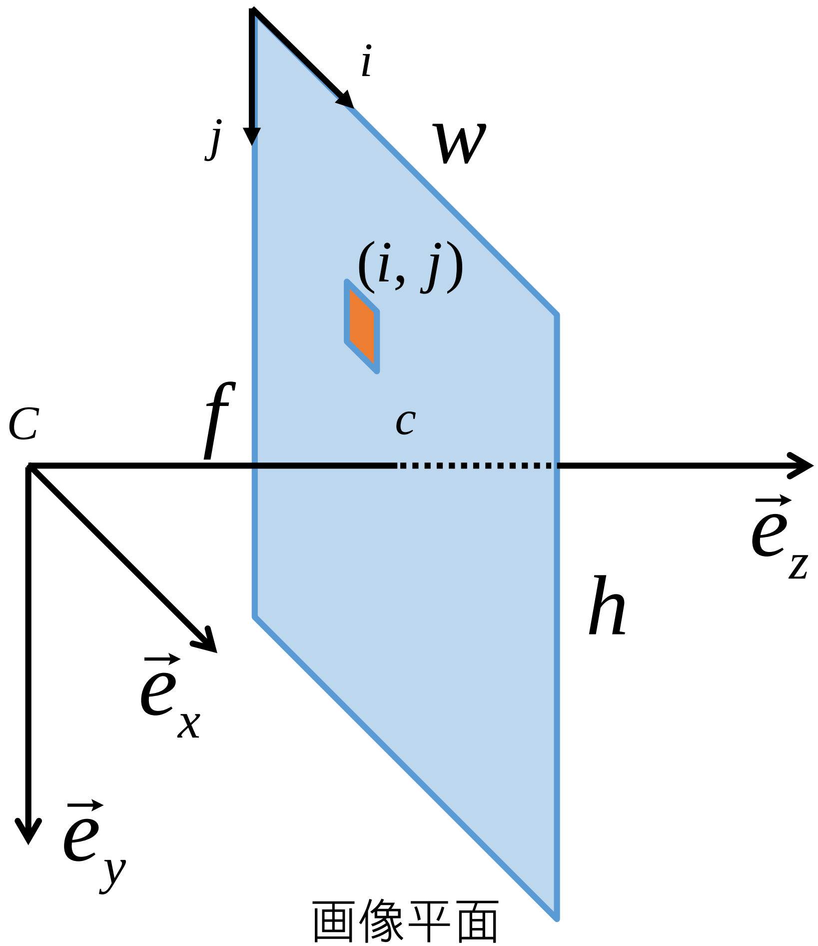
外積の求め方

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

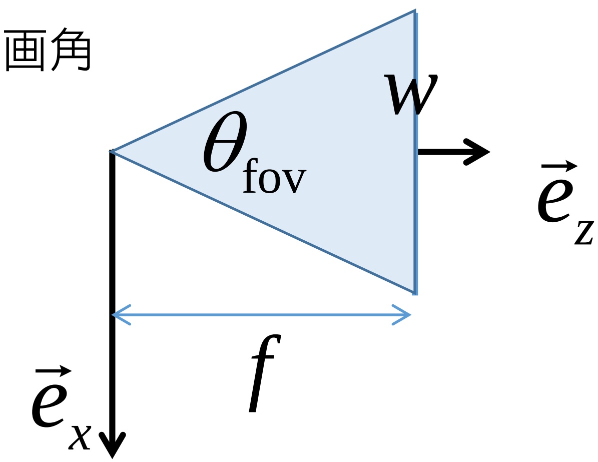
$$
\begin{vmatrix}
\mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\
\sin\theta_v \cos\varphi_v & \sin\theta_v \sin\varphi_v & \cos\theta_v \\
\sin\varphi_v & -\cos\varphi_v & 0
\end{vmatrix}
$$

焦点距離，画角，アスペクト比

カメラ座標系

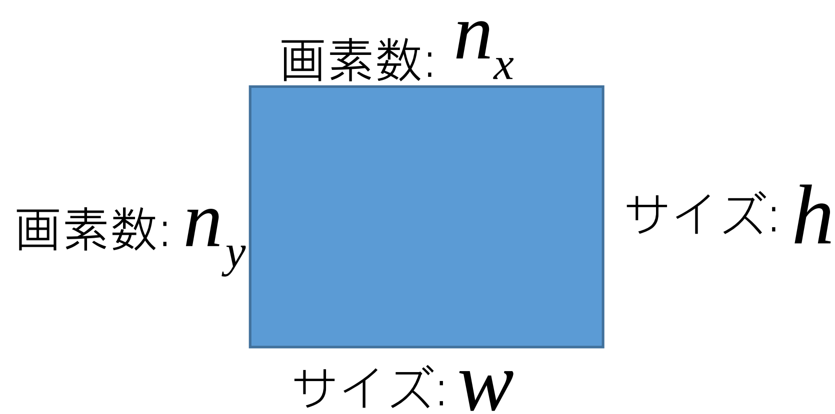


焦点距離と画角



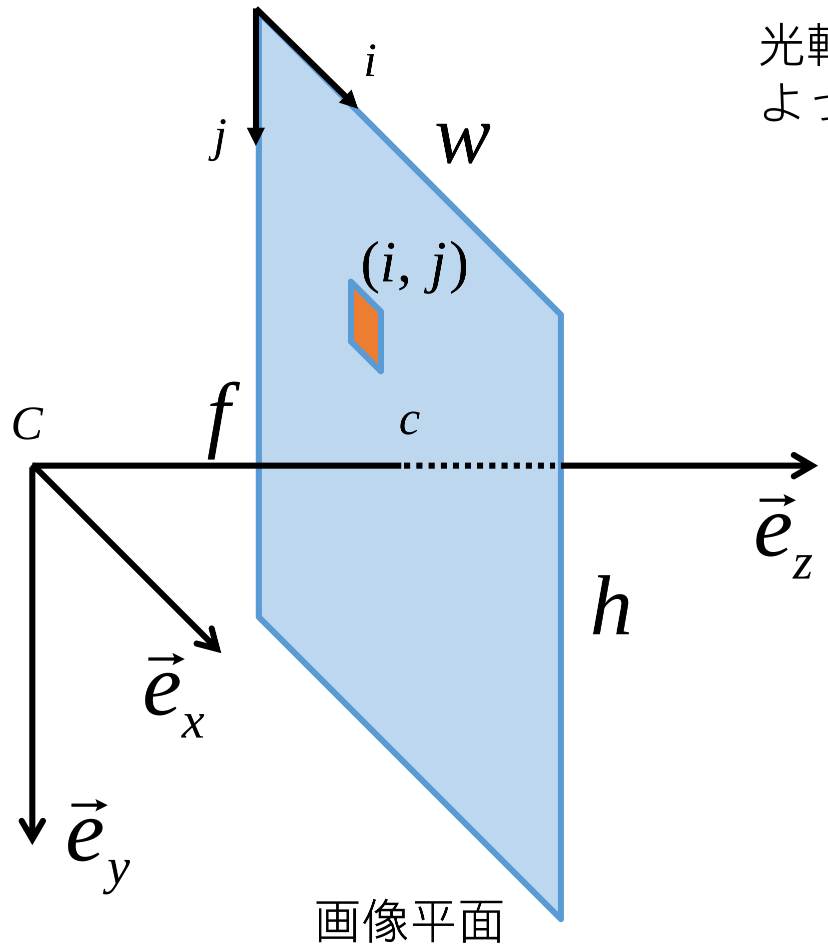
$$w = 2f\tan\frac{\theta_{\mathrm{fov}}}{2}$$

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 $\dfrac{w}{n_x}$ 縦 $\dfrac{h}{n_y}$

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)