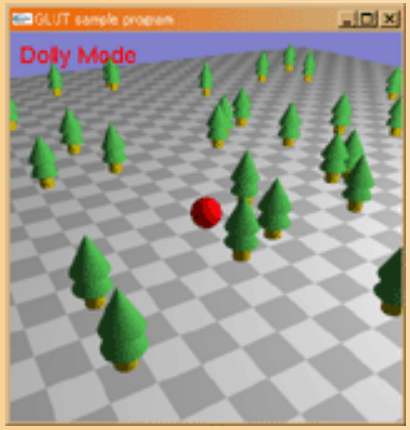
コンピュータアニメーション特論

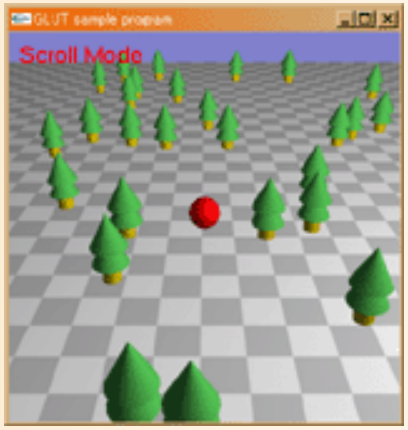
第2回　視点操作

九州工業大学 情報工学研究院　尾下真樹

視点操作

- 視点操作
  - 利用者が視点を操作して、仮想空間や物体を適切な位置・方向から見るための機能
  - 適切な視点操作のインターフェースや実現方法は、アプリケーションによっても異なる
  - 変換行列による、代表的な視点操作の実現方法





今日の内容

- 復習：座標変換
- 復習：前回のサンプルプログラムの視点処理
- 視点操作のプログラム
- 視点操作方法１（Dolly Mode）
- 視点操作方法２（Scroll Mode）
- 視点操作方法３（Walkthrough Mode）
- レポート課題

参考書

- OpenGLの定番の本
  - OpenGLプログラミングガイド（赤本），12,000円
  - OpenGLリファレンスマニュアル（青本），8,300円
    - ピアソン・エデュケーション出版
    - 中・上級者向け
- 学部の授業の演習資料
  - システム創成情報工学科 「コンピュータグラフィックスＳ」 の講義・演習資料
    http://www.cg.ces.kyutech.ac.jp/lecture/cg/
    - OpenGLの使い方を段階的に学べる演習資料
- 適当な入門書
  - 他にもOpenGLの入門書は多数ある

視点操作の方法

- 既存のアプリケーションでよく使われている代表的な視点操作方法
  - 方法１：注視点の周囲を回るように視点を回転・移動 （Dolly Mode）
  - 方法２：注視点に合わせて視点を平行移動、視点の向きは固定 （Scroll Mode）
  - 方法３：カメラを中心として視点を回転・移動 （Walkthrough Mode）

デモプログラム

- 視点操作
  - mキーで視点操作モードを切り替え
    方法１(Dolly) → 方法２(Scroll) → 方法３(Walkthrough) の順番で切り替わる
  - マウスの右ボタン・左ボタンドラッグで、各視点操作モードに応じて視点変更

View Control
Dolly Mode (Parameter)
視点操作
Camera Control

今日の内容

- 復習：座標変換
- 復習：前回のサンプルプログラムの視点処理
- 視点操作のプログラム
- 視点操作方法１（Dolly Mode）
- 視点操作方法２（Scroll Mode）
- 視点操作方法３（Walkthrough Mode）
- レポート課題

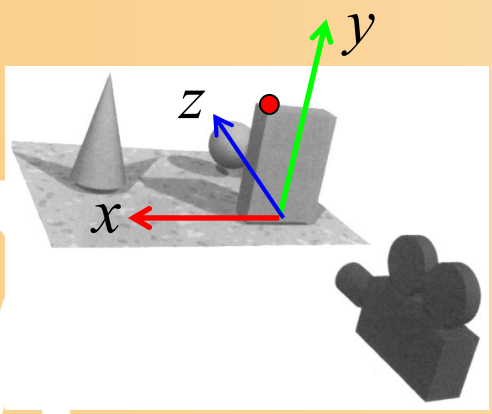
座標変換

座標変換

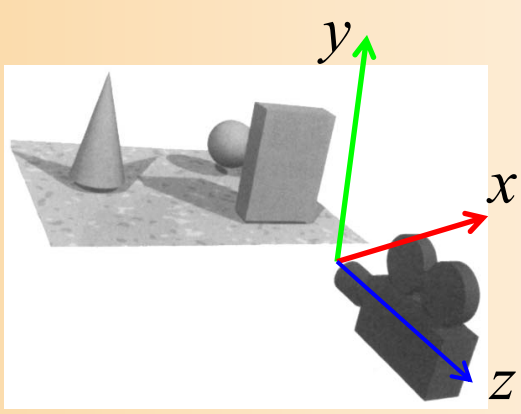
- 座標変換の概要
- 座標系
- 視野変換
- 射影変換
- 座標変換の プログラミング

座標変換

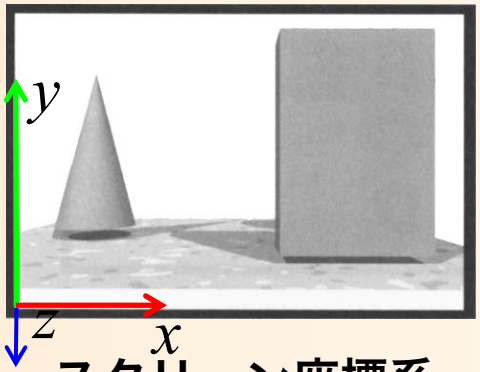
- 座標変換
  - 行列演算を用いて、ある座標系から、別の座標系に、頂点座標やベクトルを変換する技術
    - カメラから見た画面を描画するためには、モデルの頂点座標をカメラ座標系（最終的にはスクリーン座標系）に変換する必要がある



モデル座標系



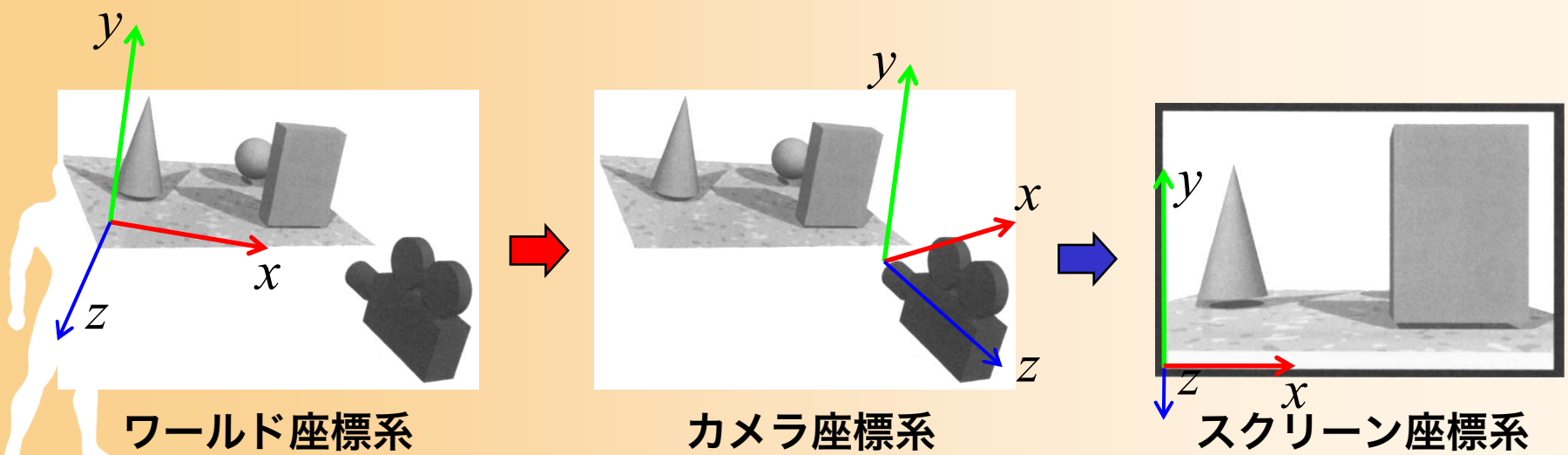
カメラ座標系



スクリーン座標系

座標変換

- 2段階の座標変換により実現
  - ワールド座標からカメラ座標系への視野変換
  - カメラ座標系からスクリーン座標系への射影変換
    - 行列計算（同次座標変換）によって、上記の２種類の変換を実現する

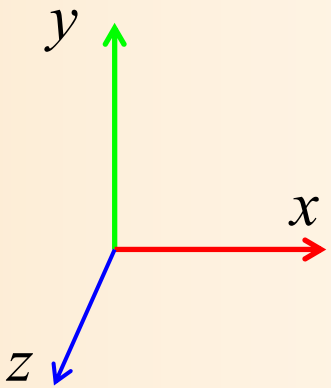


座標変換

- 座標変換の概要
- 座標系
- 視野変換
- 射影変換
- 座標変換の プログラミング

座標系の種類

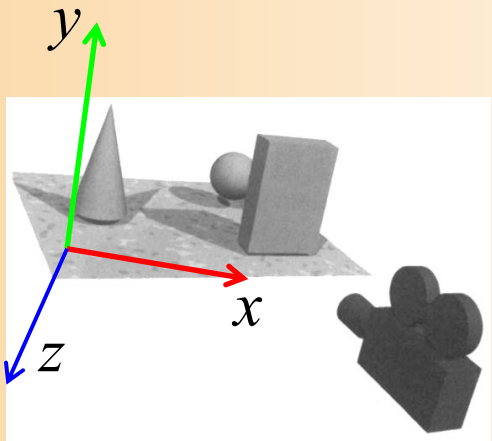
- 原点と座標軸の取り方により、さまざまな座標系がある
  - モデル座標系
  - ワールド座標系
  - カメラ座標系
  - スクリーン座標系



- 座標系の軸の取り方に違いがある
  - 右手座標系
  - 左手座標系

ワールド座標系

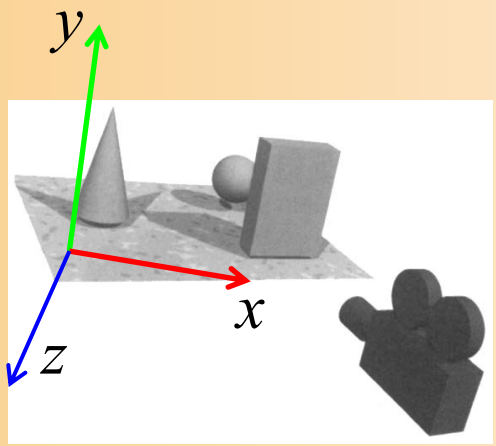
- ３次元空間の座標系
  - 物体や光源やカメラなどを配置する座標系
  - 原点や軸方向は適当にとって構わない
    - カメラと描画対象の相対位置・向きのみが重要
  - 単位も統一さえされていれば自由に設定して構わない（メートル、センチ、etc）



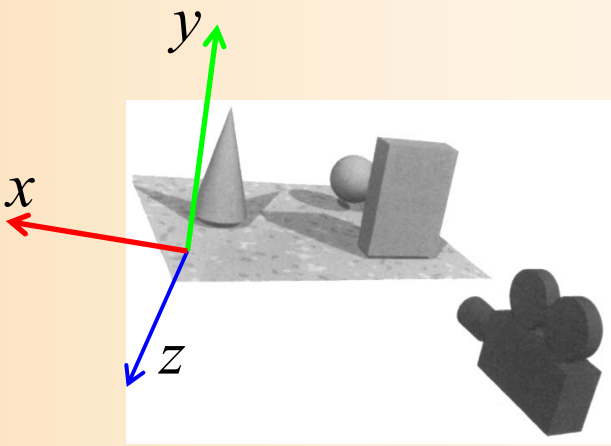
ワールド座標系

右手座標系と左手座標系

- 右手座標系と左手座標系
  - 座標系の軸の取り方の違い
  - 親指をＸ軸、人差し指をＹ軸、中指をＺ軸とすると
    - 右手の指で表されるのが右手系　（OpenGLなど）
    - 左手の指で表されるのが左手系　（DirectXなど）



右手座標系



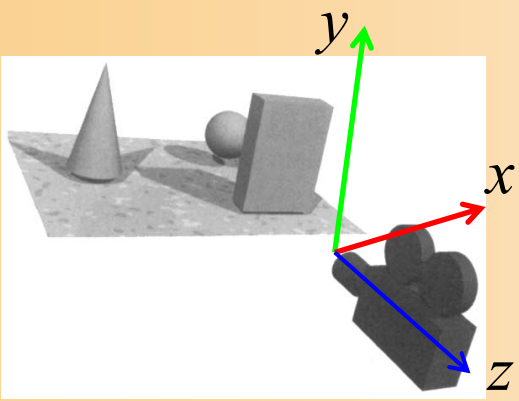
左手座標系

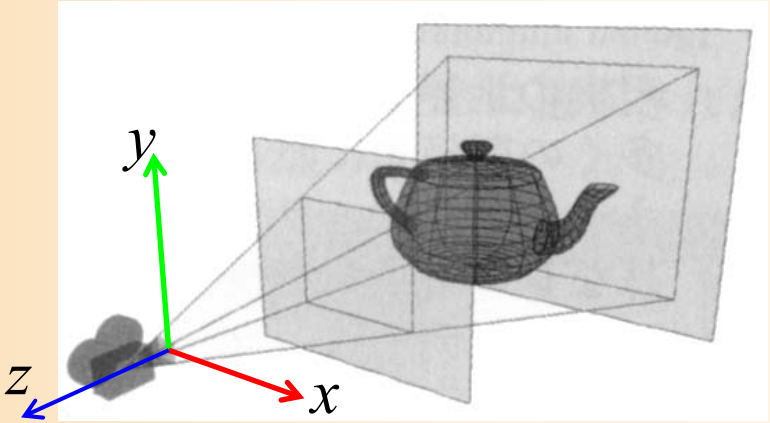
右手座標系と左手座標系（続き）

- 右手座標系と左手座標系の違い
  - 基本的にはほとんど同じ
  - 外積の定義が異なる
    - 外積の計算式は、右手座標系で定義されたもの
    - 左手座標系で外積を計算するときには、符号を反転する必要がある
      - 剛体の運動計算や電磁気などの物理計算では重要になる（この講義では扱わない）
  - 異なる座標系で定義されたモデルデータを利用する時には、変換が必要
    - 左右反転、面の方向を反転

カメラ座標系

- カメラを中心とする座標系
  - Ｘ軸・Ｙ軸がスクリーンのＸ軸・Ｙ軸に相当
  - 奥行きがＺ軸に相当

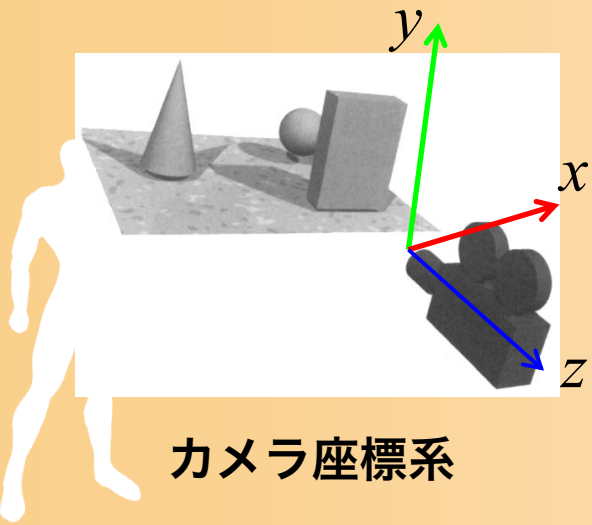




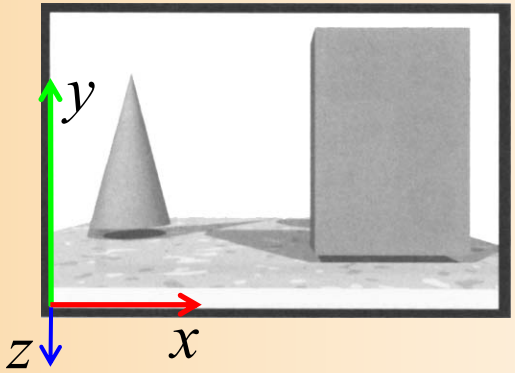
カメラ座標系

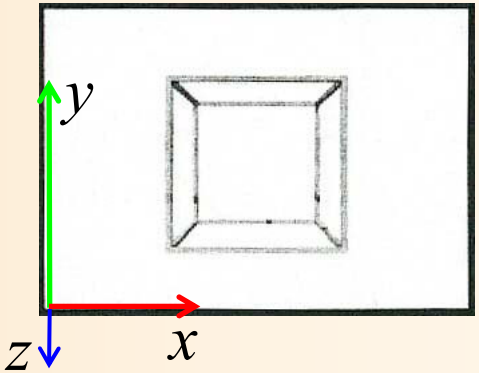
スクリーン座標系

- スクリーン上の座標
  - 射影変換（透視変換）を適用した後の座標
    - 奥にあるものほど中央に描画されるように座標計算
  - スクリーン座標も奥行き値（Ｚ座標）も持つことに注意 → Ｚバッファ法で使用



カメラ座標系

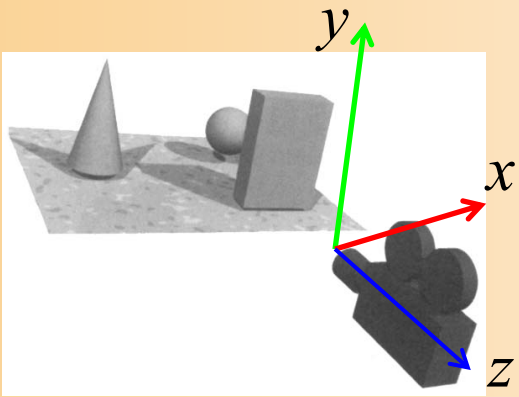




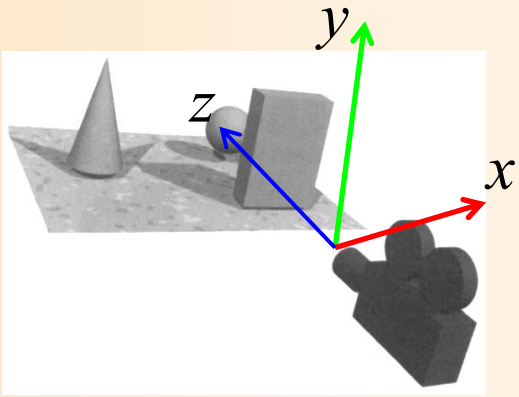
スクリーン座標系

右手座標系と左手座標系

- カメラ座標系・スクリーン座標系も、軸の取り方によって、座標系は異なる
  - 手前がＺ軸の正方向（OpenGL）
  - 奥がＺ軸の正方向（DirectX）
- こちらも基本的には大きな違いはない



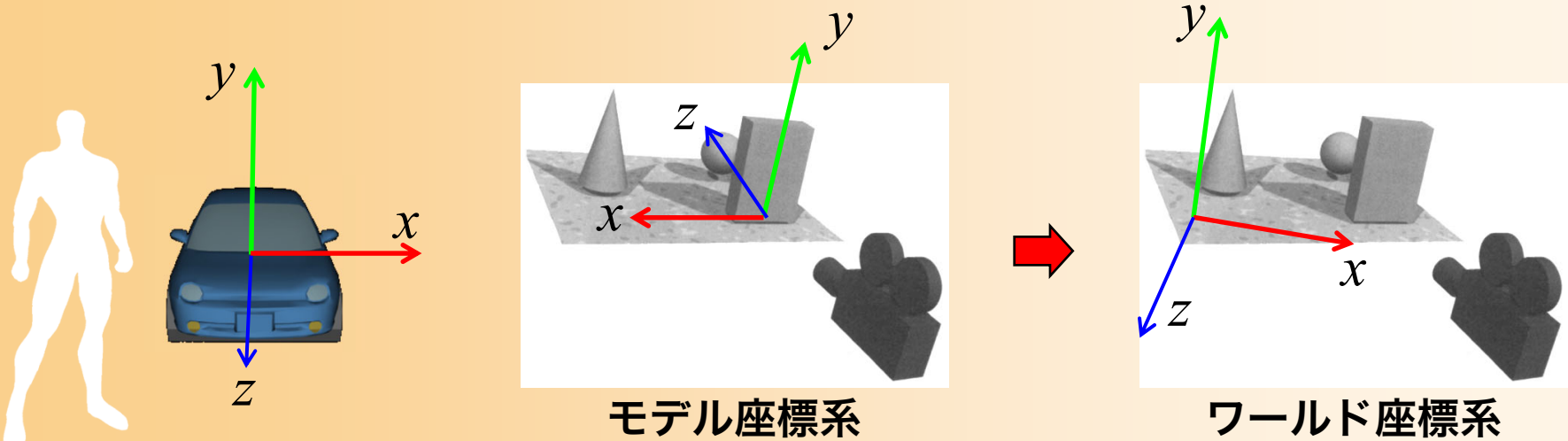
手前がＺ軸の正方向



奥がＺ軸の正方向

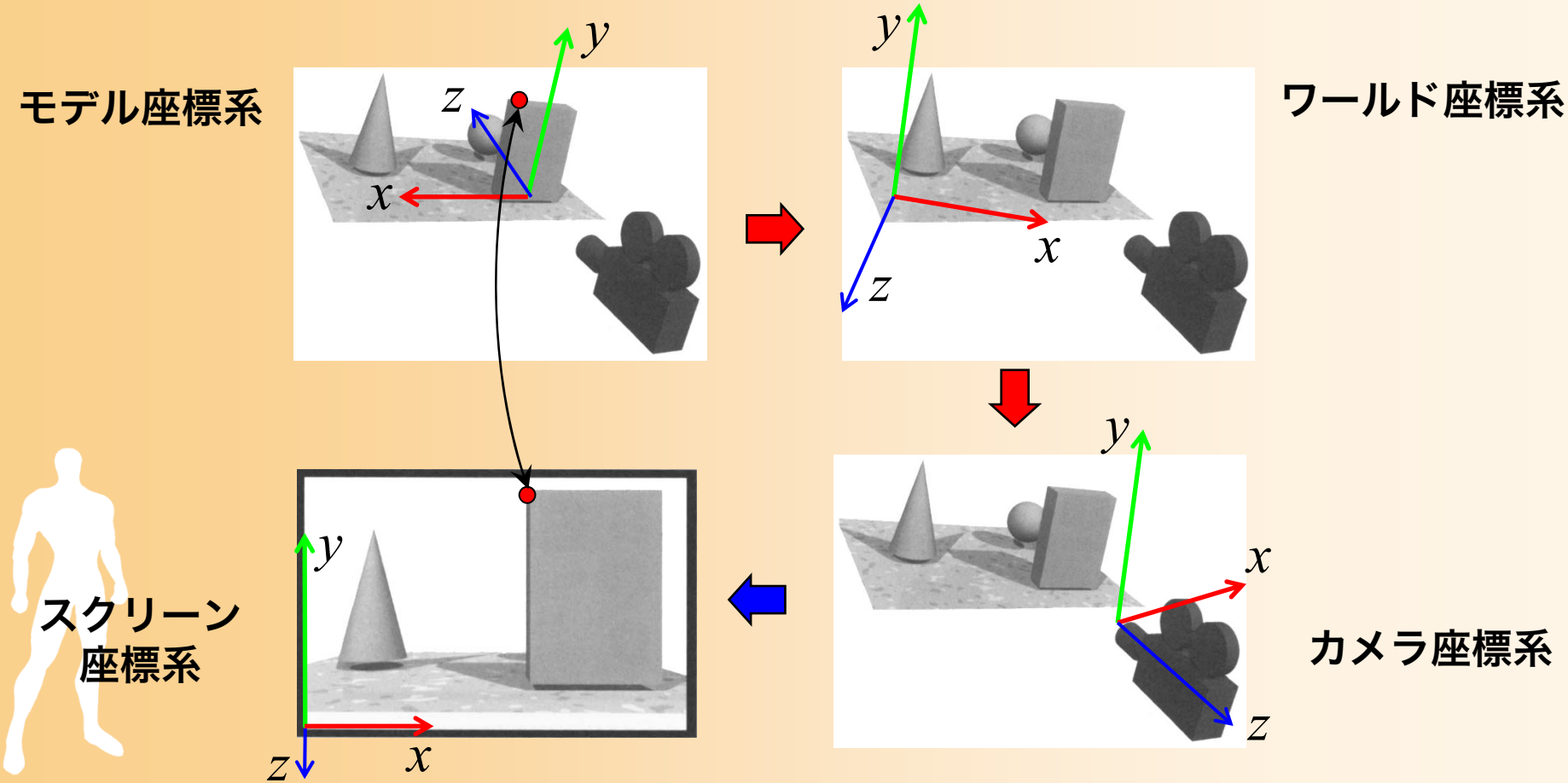
モデル座標系

- 物体のローカル座標
  - ポリゴンモデルの頂点はモデル内部の原点を基準とするモデル座標系で定義される
  - 正面方向をＺ軸にとる場合が多い
  - ワールド座標系にモデルを配置



座標変換の流れ（詳細）

・モデル座標系からスクリーン座標系に変換

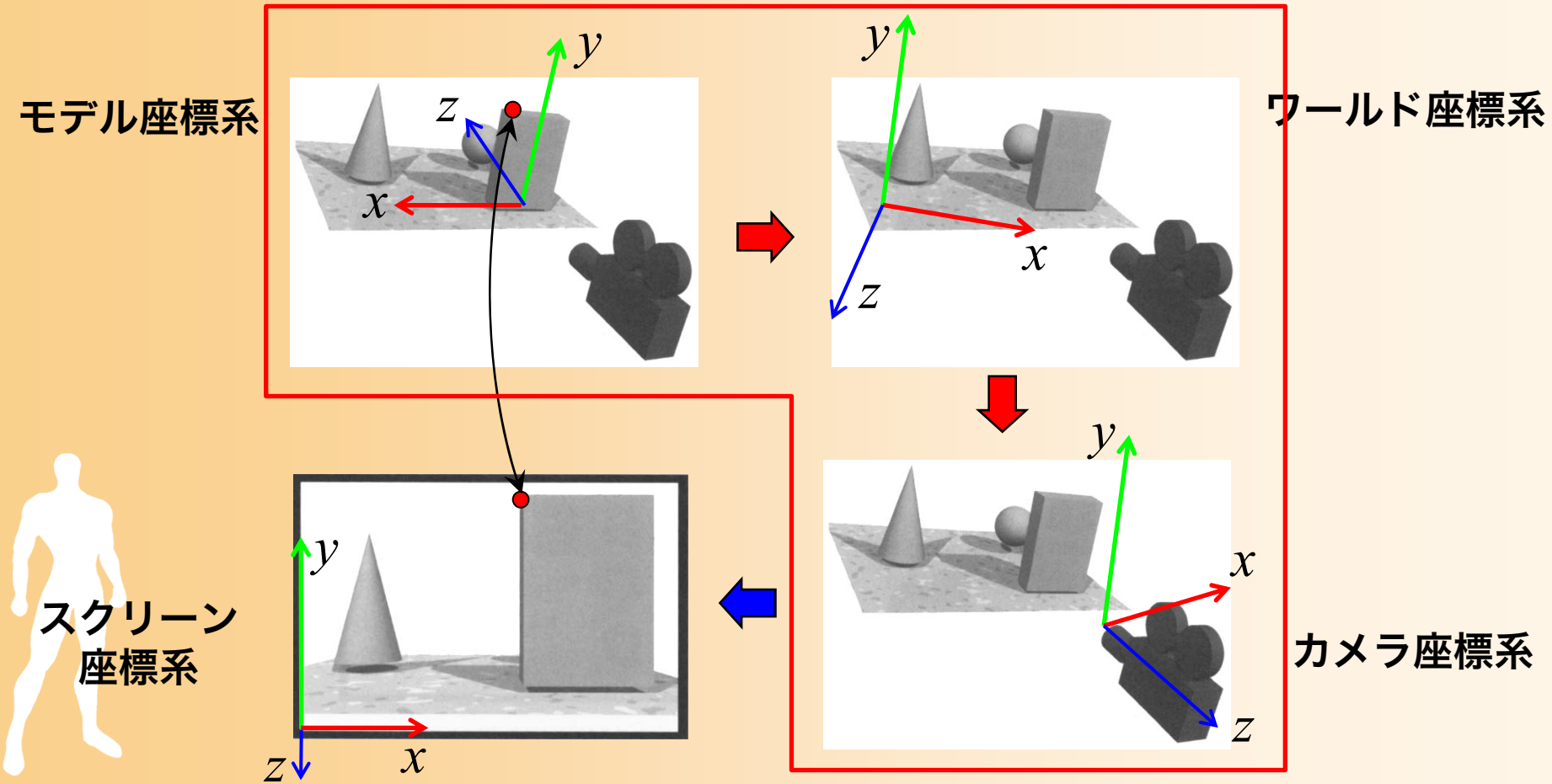


座標変換

- 座標変換の概要
- 座標系
- 視野変換
- 射影変換
- 座標変換の プログラミング

視野変換

- モデル座標系からカメラ座標系に変換



同次座標変換

- 同次座標変換
  - ４×４行列の演算により、３次元空間における平行移動・回転・拡大縮小（アフィン変換）などの操作を統一的に実現
    - （*x*, *y*, *z*, w）の４次元座標値（同次座標）を扱う
    - ３次元座標値は（x/w, y/w, z/w）で計算（通常は w = 1）

$$\begin{pmatrix} R_{00}S_x & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11}S_y & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22}S_z & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{pmatrix}$$

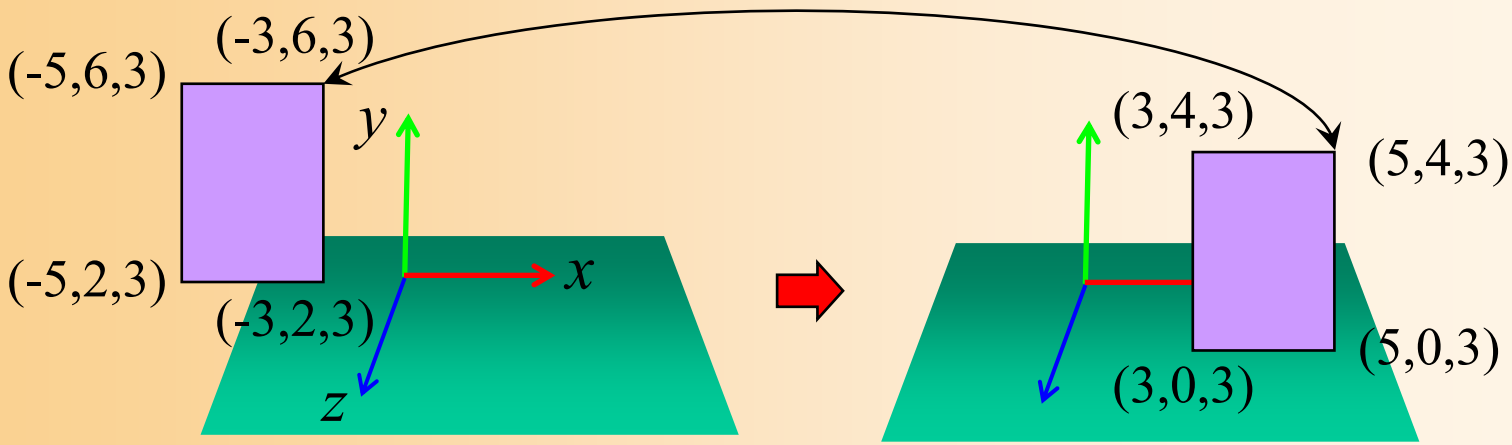
平行移動

- 平行移動
  - （*Tx*, *Ty*, *Tz*）の平行移動
    - 4×4行列を用いることで、平行移動を適用できる

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \boxed{T_x} \\ 0 & 1 & 0 & \boxed{T_y} \\ 0 & 0 & 1 & \boxed{T_z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x+T_x \\ y+T_y \\ z+T_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

平行移動の例

- （8,-2,0）平行移動



$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \boxed{8} \\ 0 & 1 & 0 & \boxed{-2} \\ 0 & 0 & 1 & \boxed{0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x+8 \\ y-2 \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

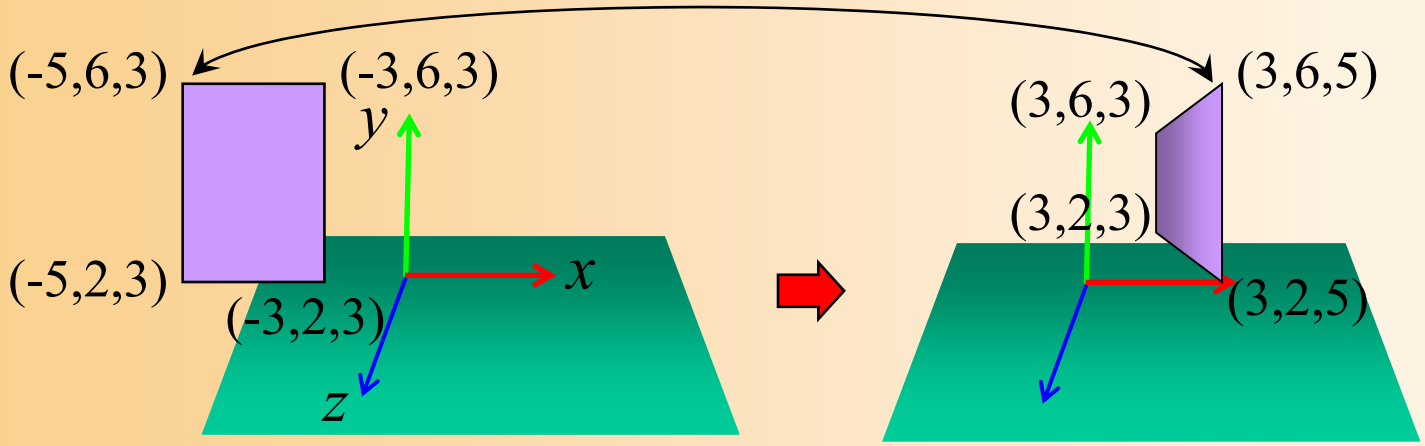
回転

- 回転
  - 原点を中心とする回転を表す

$$\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & 0 \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & 0 \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{00}x + R_{01}y + R_{02}z \\ R_{10}x + R_{11}y + R_{12}z \\ R_{20}x + R_{21}y + R_{22}z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

回転の例

- Y軸を中心として 90度回転



$$\begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z \\ y \\ -x \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

回転変換の行列

- 回転変換の行列の導出方法
  - 各軸を中心として右ねじの方向の回転（軸の元から見て反時計回り方向の回転）を通常使用
  - yz平面、xz平面、 xy平面での回転を考えれば、２次元平面での回転変換と同様に求められる
    - ２次元平面での回転行列は、高校の数学の内容

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ｘ軸を中心とする回転変換

$$\begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ｙ軸を中心とする回転変換

$$\begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

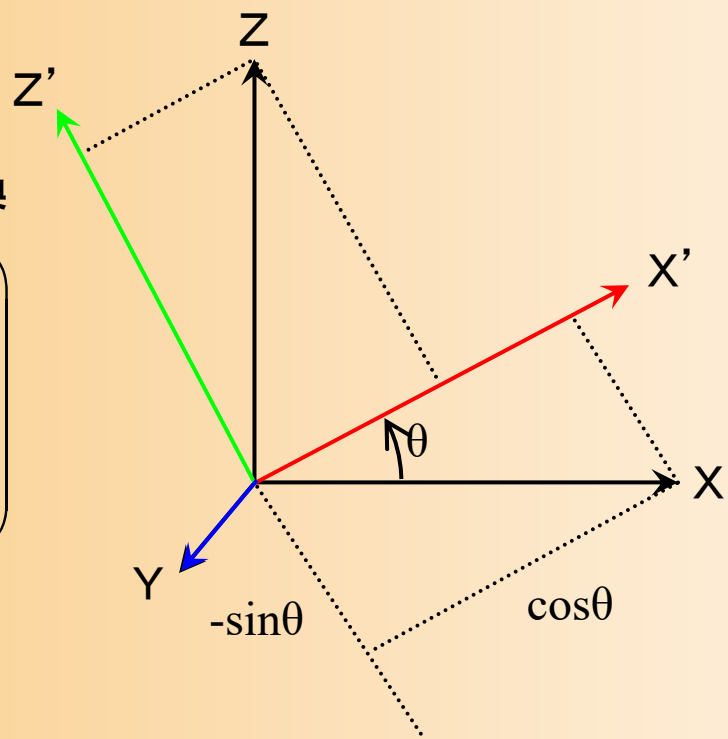
Ｚ軸を中心とする回転変換

回転変換の行列（続き）

- 回転変換の行列の導出方法の例
  - 例えば、y軸周りの回転行列は、xz平面での回転を考えれば、導出できる

Y軸を中心とする回転変換

$$\begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



変換前のＸ軸・Ｚ軸方向の単位ベクトルの、変換後の座標系での座標

$$\begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta \\ 0 \\ -\sin\theta \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin\theta \\ 0 \\ \cos\theta \\ 1 \end{pmatrix}$$

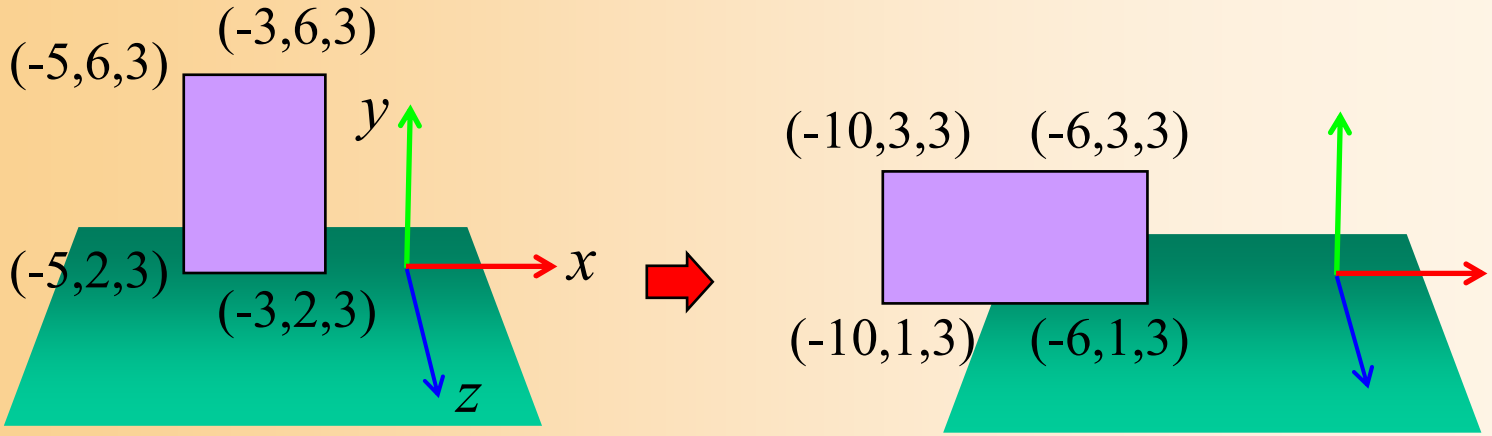
拡大縮小

- 拡大縮小
  - （*Sx*,*Sy*,*Sz*）倍のスケーリング

$$\begin{pmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x x \\ S_y y \\ S_z z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

拡大縮小の例

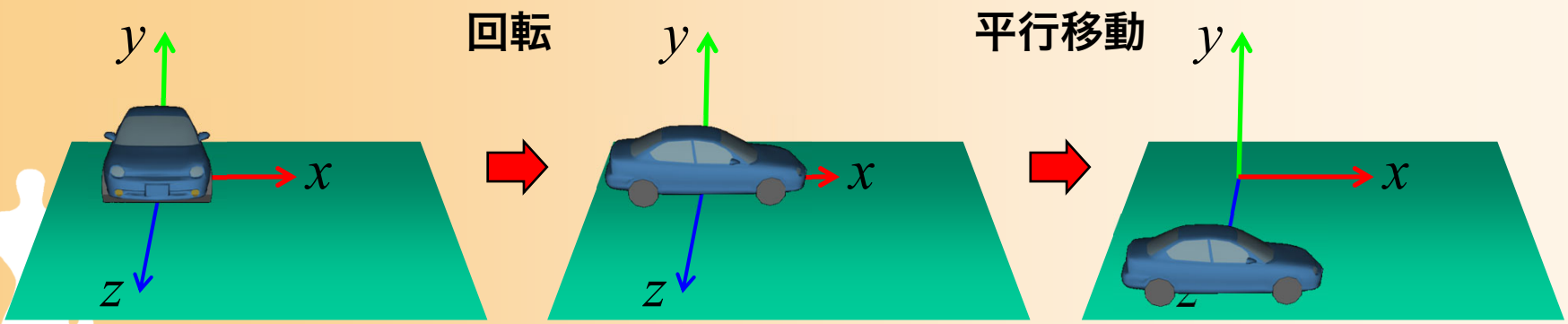
- （2, 0.5, 1）倍に拡大縮小



$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2x \\ 0.5y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

複数の変換行列の適用

- 行列演算で各種変換を統一的に適用可能
- 複数の行列を順番にかけていくことで、複数の変換を連続して適用できる
  - 回転・移動の組み合わせの例

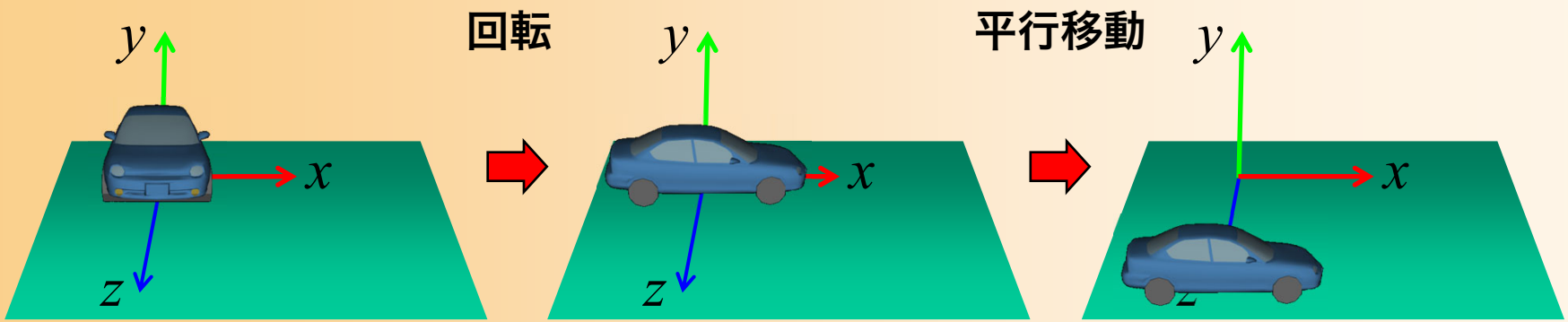


$$\begin{pmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

複数の変換行列の適用例（1）

・ 回転・移動の組み合わせの例



平行移動　　回転

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

先に適用する方が右側になることに注意！

行列計算の適用順序

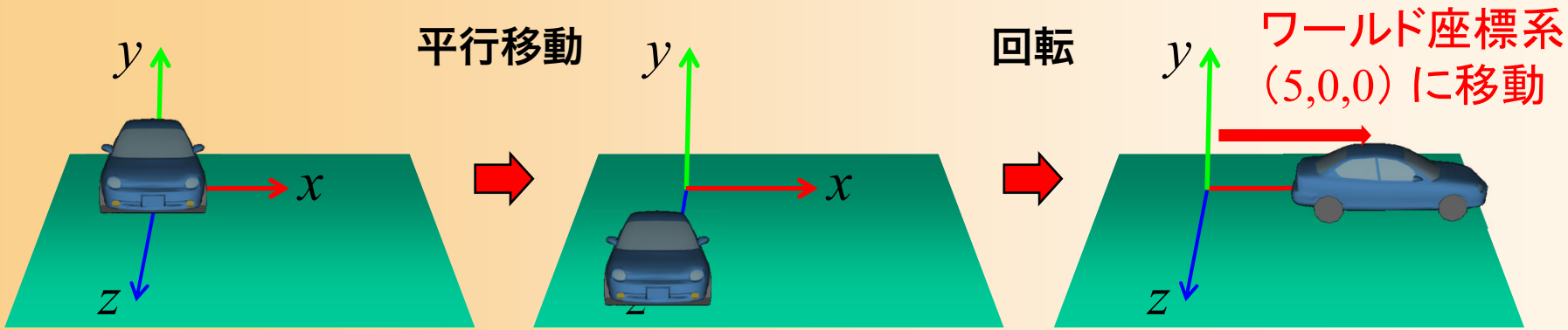
- 行列演算では可換則は成り立たないことに注意！

$$AB \neq BA$$

- 行列の適用順序によって結果が異なる
  - 例：
    - 回転 → 平行移動
    - 平行移動 → 回転

複数の変換行列の適用例（2）

- 移動→回転の順番で適用したときの例



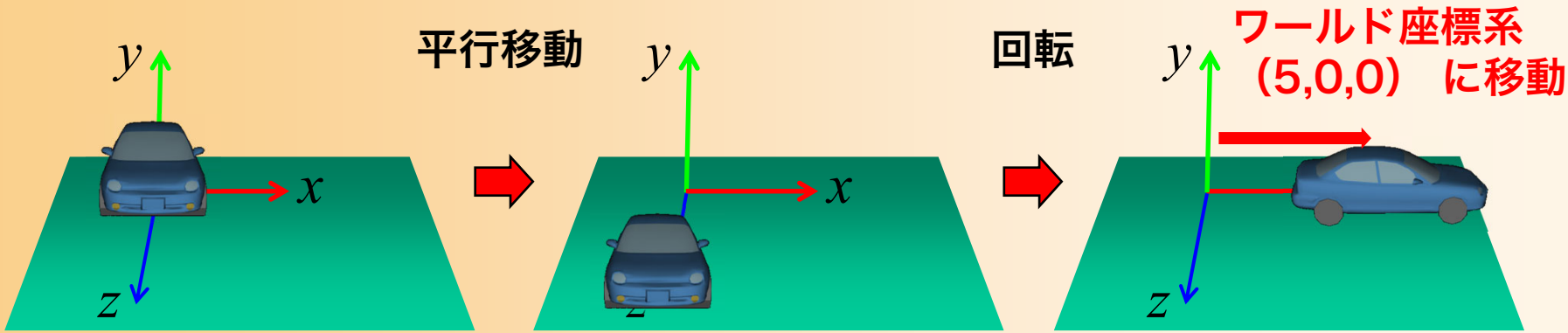
回転　　平行移動

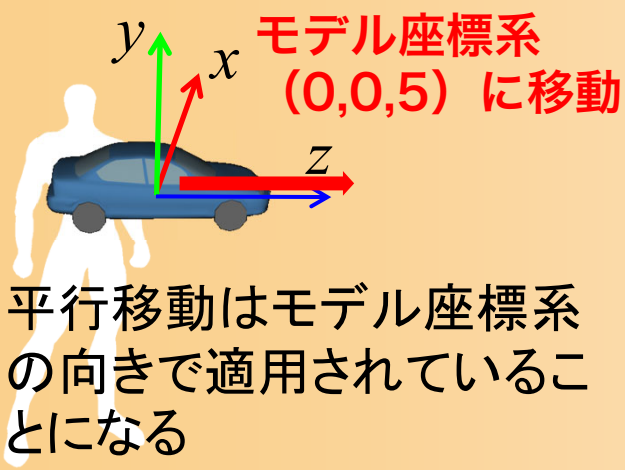
$$\begin{pmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \boxed{0} \\ 0 & 1 & 0 & \boxed{0} \\ 0 & 0 & 1 & \boxed{5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & \boxed{5} \\ 0 & 1 & 0 & \boxed{0} \\ -\sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & \boxed{0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

この場合は平行移動成分にも回転がかかる

複数の変換行列の適用例（2）

- 移動→回転の順番で適用したときの例





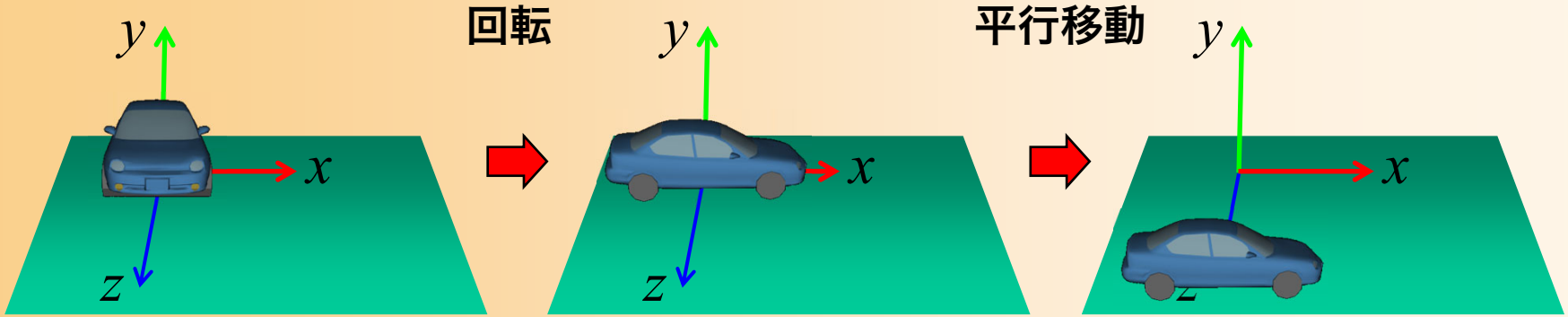
平行移動はモデル座標系の向きで適用されていることになる

回転　　平行移動

$$\begin{pmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

複数の変換行列の適用例（1）

- 回転→移動の順番で適用（さきほどの例）



平行移動　　回転

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

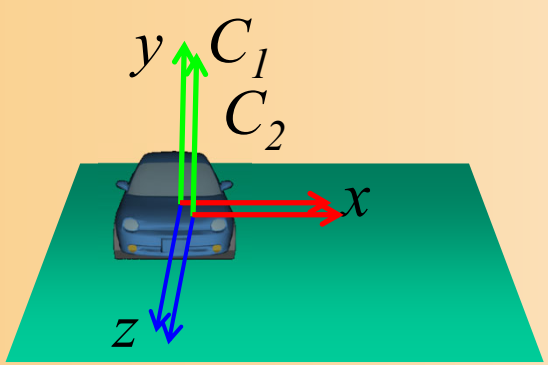
こちらの順番の方が普通に使う場合が多い

座標変換の考え方

- 座標変換の考え方
  - ある座標系内での回転・平行移動・拡大縮小の変換と考えることもできるし、
  - ある座標系から別の座標系への座標系の変換と考えることもできる

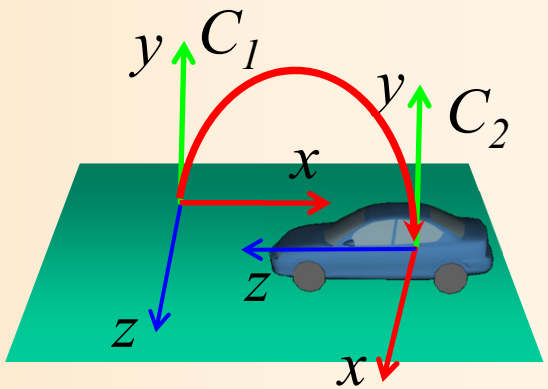
モデルをC1→C2に移動・回転 ＝
C2→C1の変換行列を求める

変換行列を適用しない状態では、
移動や回転はなし



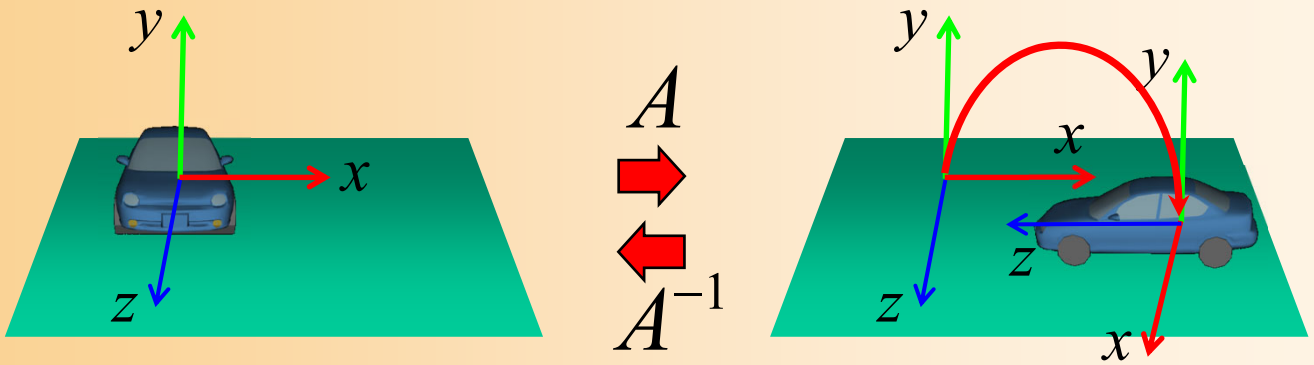
$$C_1 = A\,C_2$$

$$\xrightarrow{A}$$



座標変換の逆変換

- 逆行列を計算すれば、反対方向の変換も求まる
- アフィン変換（回転・平行移動・拡大縮小）の行列は正則であるため、常に逆行列が存在する



同次座標変換のメリット

- 行列演算だけでさまざまな処理を行える
  - 同次座標変換を使わずとも、回転・平行移動・拡大縮小など各処理に応じて計算することは可能
    - それぞれの処理だけをみればこの方が高速
  - 各種処理を統一的に扱えることに意味がある
- 複数の変換をまとめて一つの行列にできる
  - 最初に一度全行列を計算してしまえば、後は各頂点につき１回の行列演算だけで処理できる
- CG以外の分野でも広く用いられている

同次座標変換の表記方法

- ２通りの書き方がある
  - どちらの書き方で考えても良い
    - 本講義では、左から行列を掛ける表記を使用
  - 使用するライブラリによって行列データの渡し方が異なるので注意

$$\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

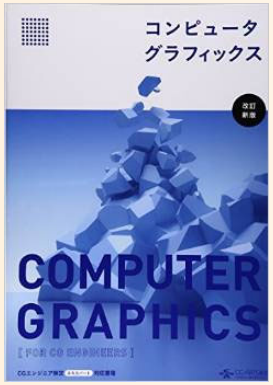
左から行列を掛けていく表記
(OpenGL)

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} R_{00} & R_{10} & R_{20} & 0 \\ R_{01} & R_{11} & R_{21} & 0 \\ R_{02} & R_{12} & R_{22} & 0 \\ T_x & T_y & T_z & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

右から行列を掛けていく表記
(DirectX)

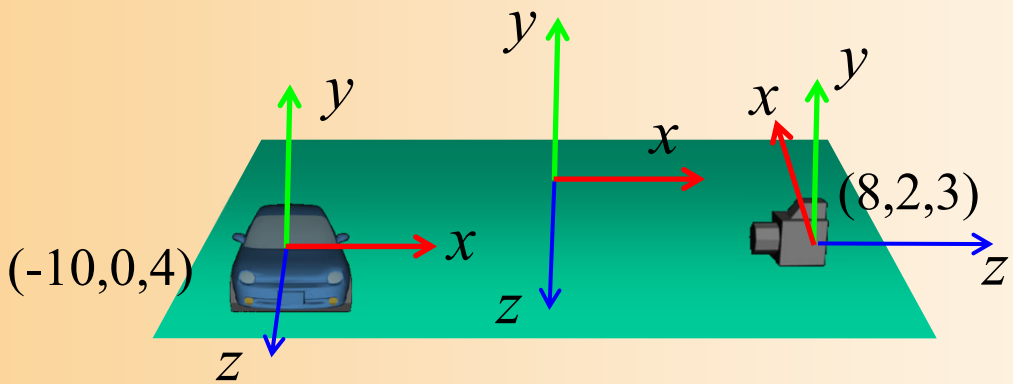
2次元空間での同次座標変換

- 2次元空間（平面）でも、同様に同次座標変換は定義される
  - 3次元空間での同次座標変換・・・4×4行列
  - 2次元空間での同次座標変換・・・3×3行列
- 2次元空間の同次座標変換については、参考書を参照
  - 「コンピュータグラフィックス 改訂新版」CG-ARTS協会 編集・出版（3,600円）



視野変換の例（1）

- 下記のシーンにおける、モデル座標系からカメラ座標系への変換行列を計算せよ
  - 物体の位置が （-10,0,4） にあり、ワールド座標系と同じ向き
  - カメラの位置が （8,2,3） にあり、ワールド座標系のＹ軸を中心として 90度回転している



視野変換の例（2）

- 座標変換の考え方
  - モデル座標系→ワールド座標系 への変換行列
  - ワールド座標系→カメラ座標系 への変換行列

  の２つの変換を求めて、順に適用することで、
  モデル座標系→カメラ座標系 への変換を実現
    - カメラやモデルの位置・向きは、ワールド座標系で表されているため、全体を一度に求めることは難しい

$$\begin{pmatrix} & ? & \end{pmatrix}\begin{pmatrix} & ? & \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

ワールド → カメラ　モデル → ワールド

視野変換の例（3）

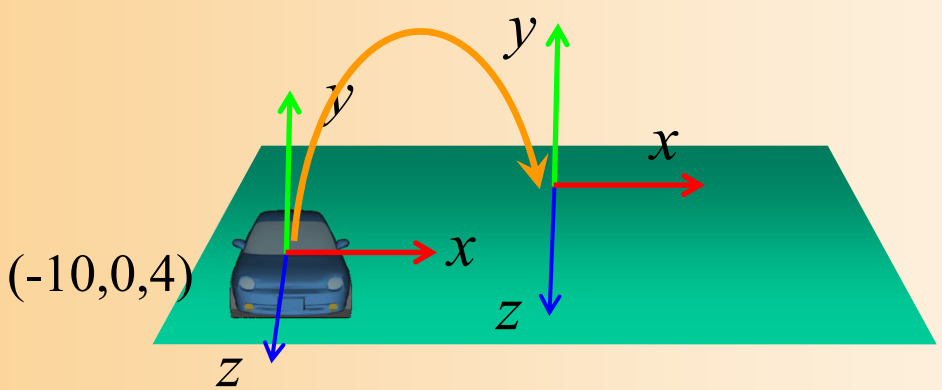
- モデル座標系 → ワールド座標系

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -10 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

平行移動のみ

回転が必要であれば、平行移動行列の前に回転行列を適用する必要がある
（今回は向きが同じなので不要）

モデル座標系の原点 (0,0,0) は
ワールド座標系の (-10,0,4) に
平行移動される



視野変換の例（4）

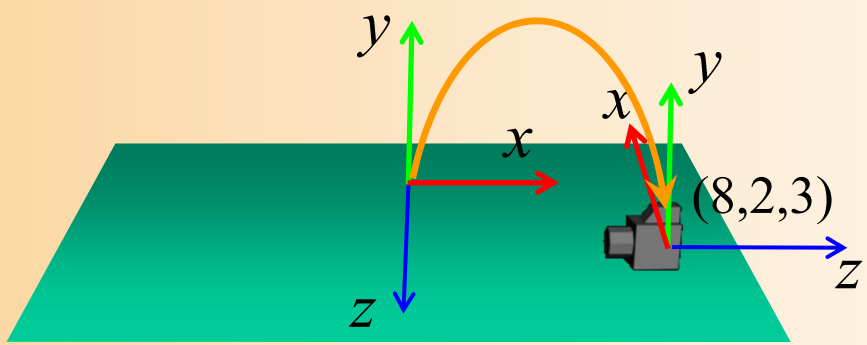
- ワールド座標系 → カメラ座標系

$$\begin{pmatrix} \cos(-90^\circ) & 0 & \sin(-90^\circ) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-90^\circ) & 0 & \cos(-90^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -8 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 1 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

カメラの座標系から見てワールド座標系は、
ワールド座標系のＹ軸を中心に -90 度回転

カメラの位置が（8,2,3）なので、
ワールド→カメラは（-8,-2,-3）

位置はワールド座標系で表されているので、先に平行移動を適用



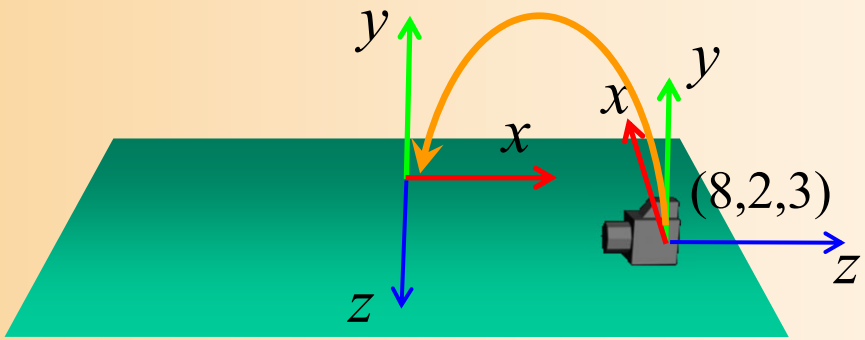
視野変換の例（5）

- カメラ座標系 → ワールド座標系（参考）

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 8 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(90^\circ) & 0 & \sin(90^\circ) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(90^\circ) & 0 & \cos(90^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

モデル座標系 → ワールド座標系と同様の行列になる

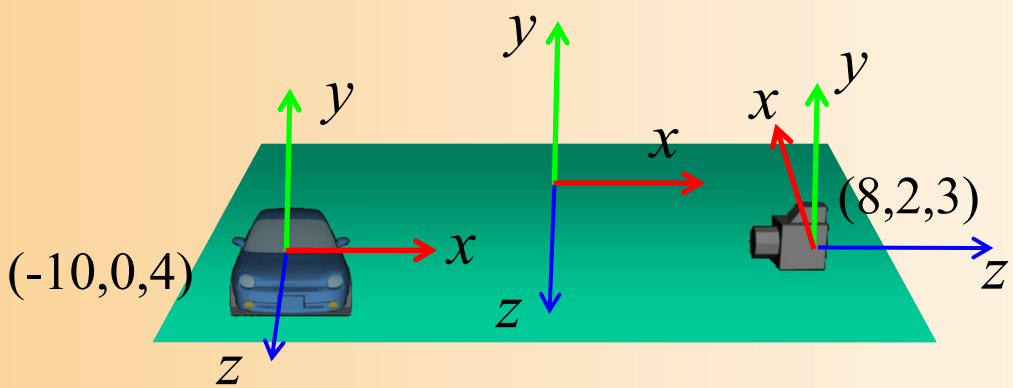
回転→平行移動の順で適用、符号は反転の必要なし



視野変換の例（6）

- モデル座標系 → カメラ座標系

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \cos(-90^\circ) & 0 & \sin(-90^\circ) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-90^\circ) & 0 & \cos(-90^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -8 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 1 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{ワールド} \to \text{カメラ}}\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -10 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{モデル} \to \text{ワールド}}\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

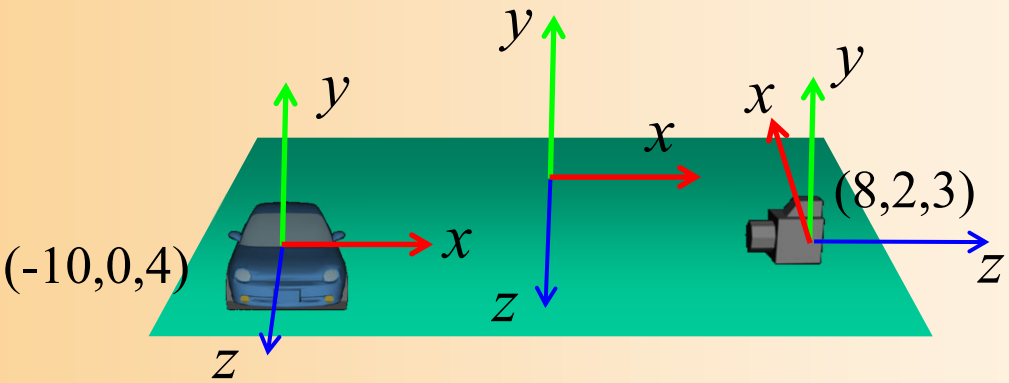


座標変換の順序に注意

- 回転と平行移動を適用する順序に注意！

カメラ座標での平行移動 | ワールド→カメラの回転 | ワールド座標での平行移動 | モデル→ワールドの回転 | モデル座標での平行移動

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

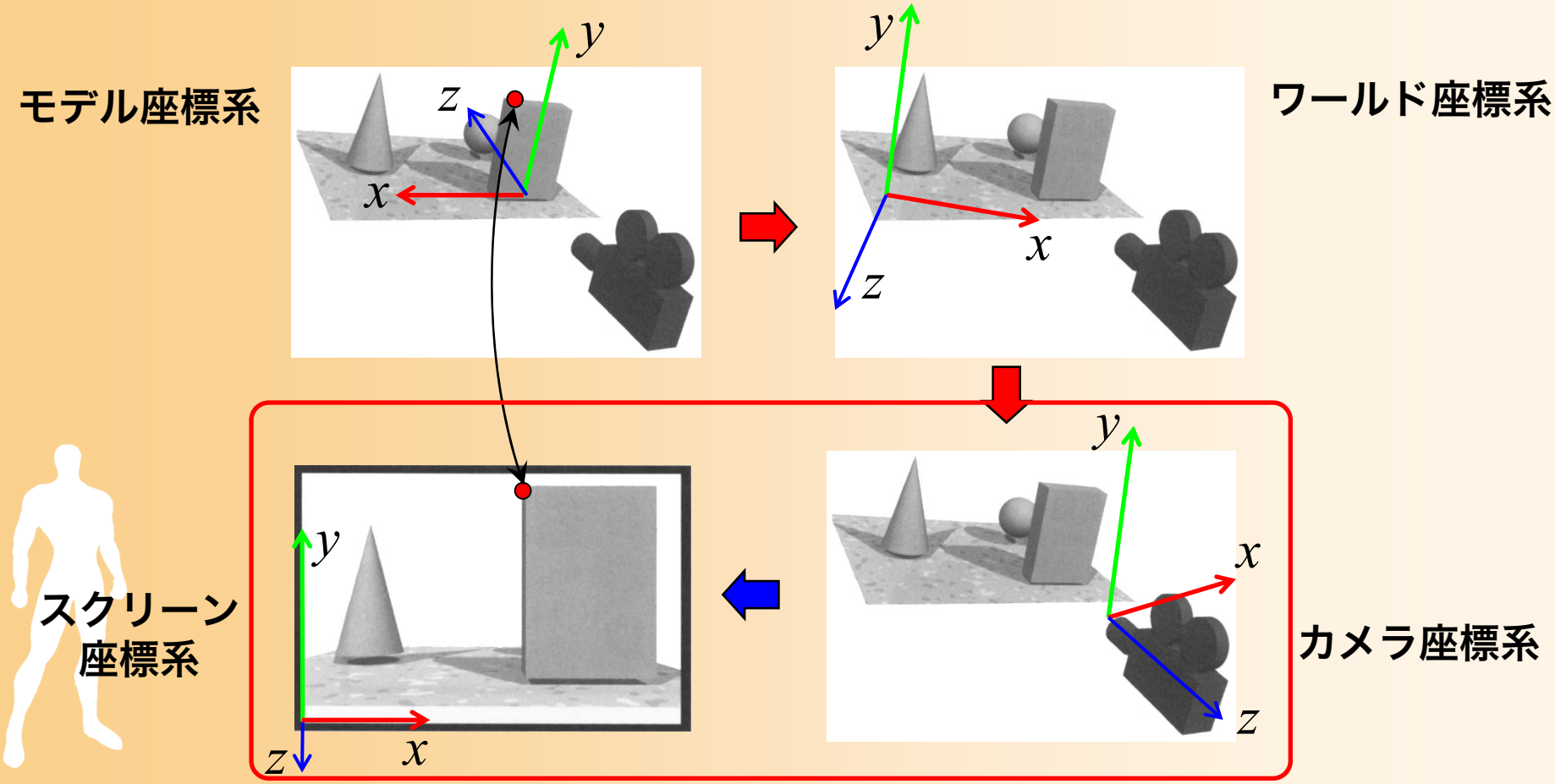


座標変換

- 座標変換の概要
- 座標系
- 視野変換
- 射影変換
- 座標変換の プログラミング

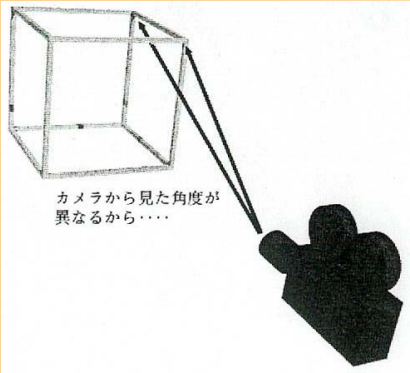
射影変換

・カメラ座標系からスクリーン座標系に変換

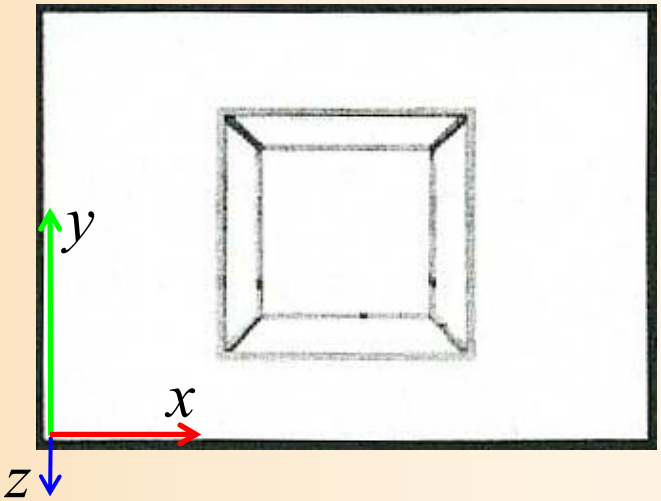


射影変換

- カメラ座標からスクリーン座標への射影変換
- 透視射影変換
  - 一般的な射影変換の方法
  - 奥にあるものほど中央に描画されるように計算

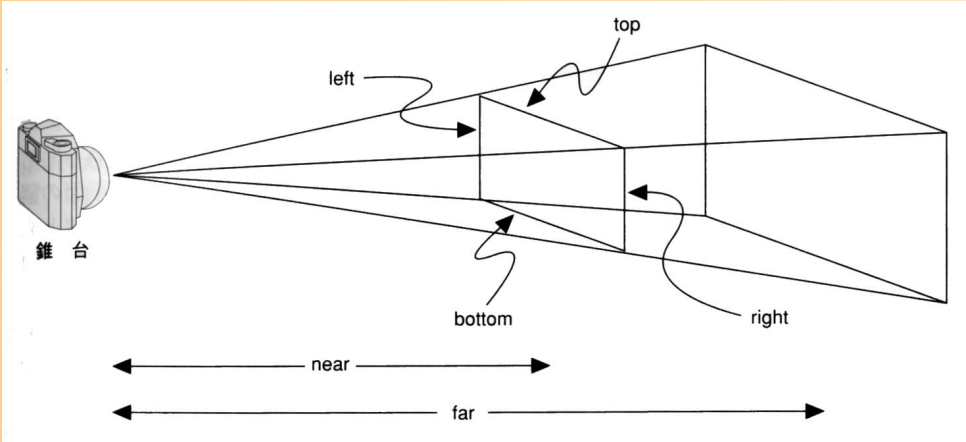


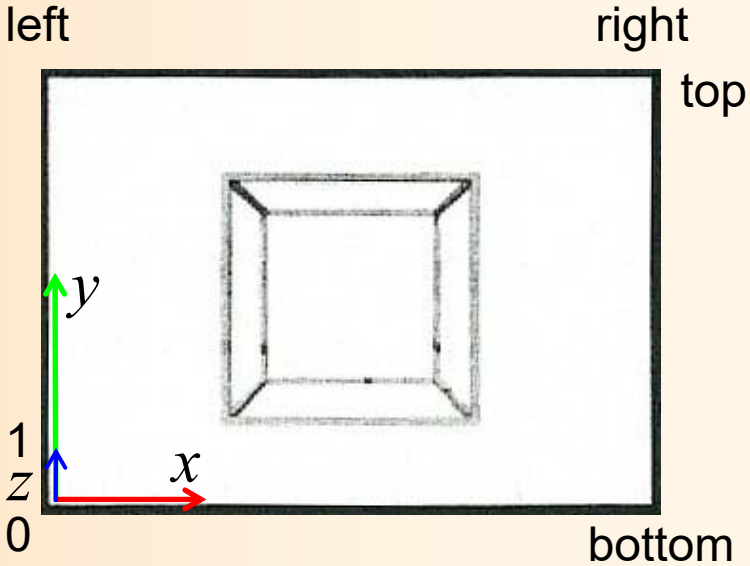
教科書 基礎知識 図2-28



透視射影変換

- 透視射影変換行列



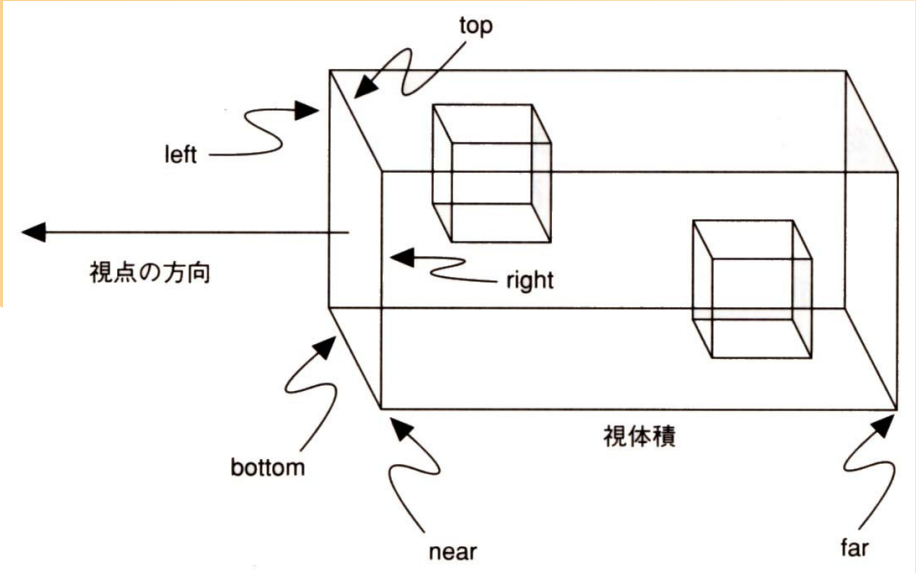


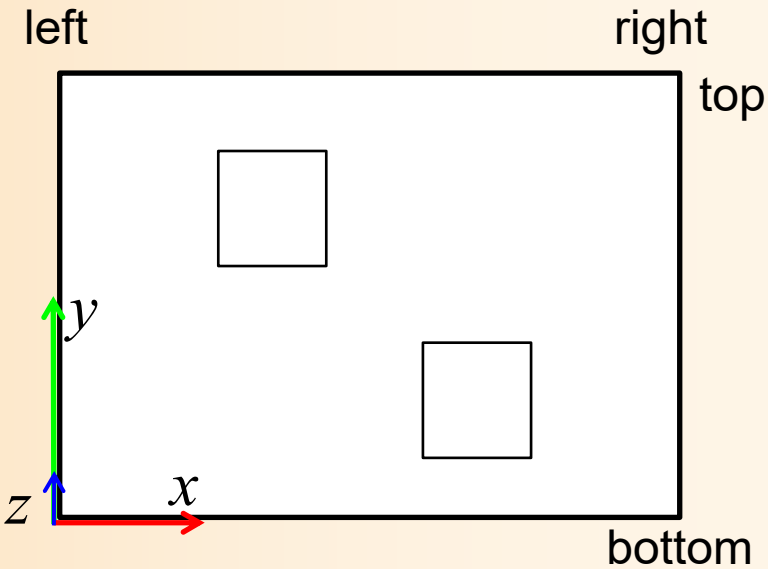
$$\begin{pmatrix} \frac{2n}{r-l} & 0 & \frac{r+l}{r-l} & 0 \\ 0 & \frac{2n}{t-b} & \frac{t+b}{t-b} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-(f+n)}{f-n} & \frac{-2fn}{f-n} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x'/w' \\ y'/w' \\ z'/w' \end{pmatrix}$$

W'=−Z となり、Zで割ることになる
（Z値が大きくなるほど中央になる）

平行射影変換

- 平行射影変換
  - スクリーン対して平行に射影
  - ３面図などを描画するときに用いられる



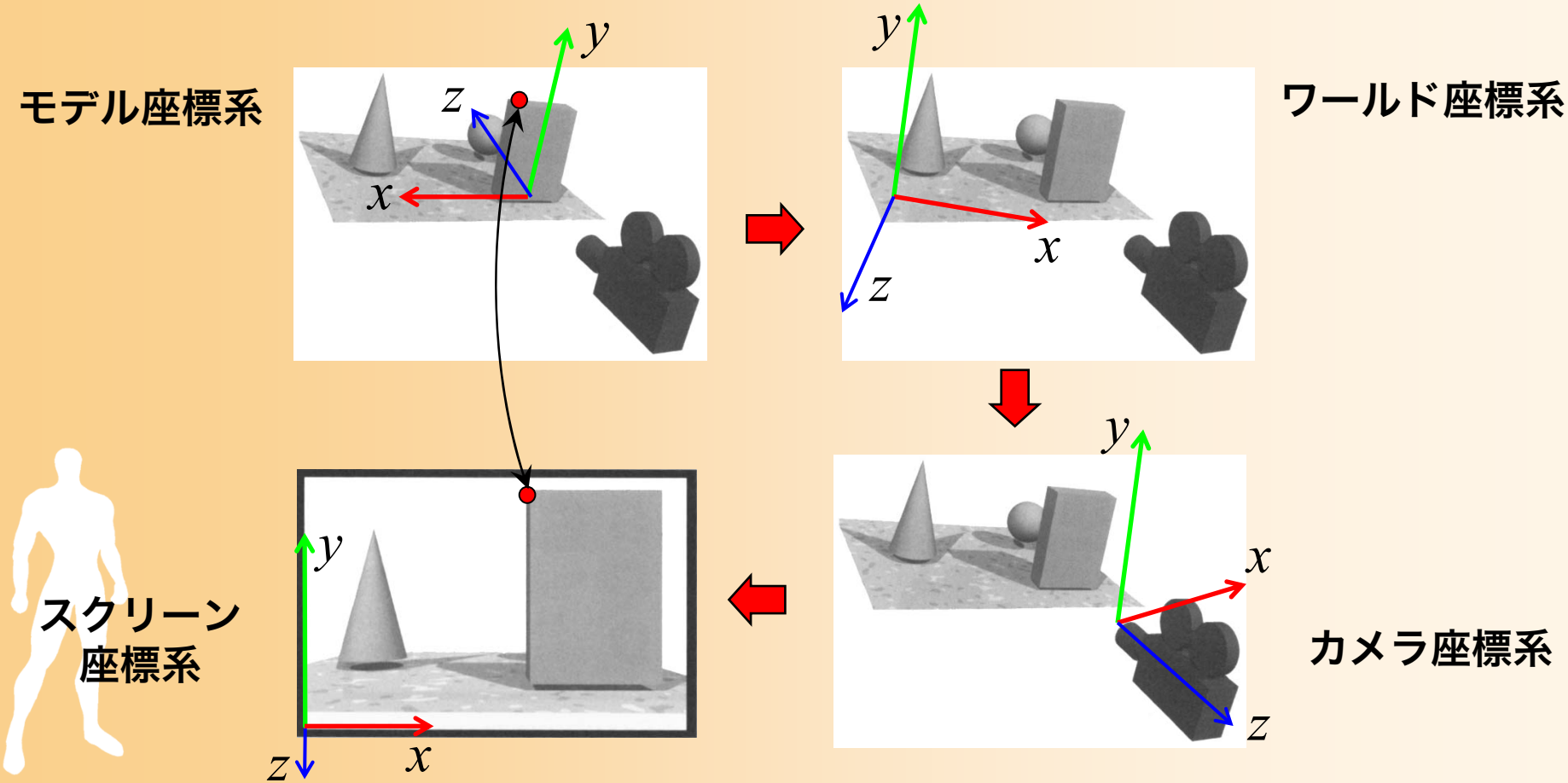


座標変換

- 座標変換の概要
- 座標系
- 視野変換
- 射影変換
- 座標変換の プログラミング

座標変換の流れのまとめ

- モデル座標系からスクリーン座標系に変換



変換行列による座標変換の実現

- 視野変換＋射影変換
  - アフィン変換（視野変換）＋透視変換（射影変換）
  - 最終的なスクリーン座標は $(x'/w' \quad y/w' \quad z/w')$ となる

モデル座標系での頂点座標

$$\begin{pmatrix} \frac{2n}{r-l} & 0 & \frac{r+l}{r-l} & 0 \\ 0 & \frac{2n}{t-b} & \frac{t+b}{t-b} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-(f+n)}{f-n} & \frac{-2fn}{f-n} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{00}S_x & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11}S_y & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22}S_z & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{pmatrix}$$

射影変換
（カメラ→スクリーン）

視野変換
（モデル→カメラ）

スクリーン座標系での頂点座標

座標変換の設定

- 自分のプログラムから OpenGL に、２つの変換行列を設定する
  - ワールド座標からカメラ座標系への視野変換
    - カメラの位置・向きや、物体の位置・向きに応じて、適切な変換行列（の積）を設定
    - さまざまな状況で、適切な変換行列を設定できるように、十分に理解しておく必要がある
  - カメラ座標系からスクリーン座標系への射影変換
    - 透視変換行列は、通常、固定なので、最初に一度だけ設定
    - 視野角やスクリーンサイズなどを適切に設定

変換行列の設定のための関数

- 設定を行う変換行列の指定
  - glMatrixMode（）
    - どの変換行列を変更するのかを指定する
- 変換行列の設定
  - 主に視野変換の設定に使われる関数
    - glLoadIdentity（）、glTranslate（）、glRotate（）、他
  - 射影変換行列の設定に使われる関数
    - gluPerspective（）, glFrustrum（）, glOrth（）、他

変換行列の指定

- glMatrixMode（ *mode* ）
  - 設定する変換行列を指定する
  - GL_MODELVIE
    - モデルビュー変換（視野変換）
      （モデル座標系からカメラ座標系への変換）
  - GL_PROJECTION
    - 射影変換（投影変換）
      （カメラ座標系からスクリーン座標系への変換）

変換行列の設定のための関数

- 設定を行う変換行列の指定
  - glMatrixMode（）
    - どの変換行列を変更するのかを指定する
- 変換行列の設定
  - 主に視野変換の設定に使われる関数
    - glLoadIdentity（）、glTranslate（）、glRotate（）、他
  - 射影変換行列の設定に使われる関数
    - gluPerspective（）, glFrustrum（）, glOrth（）、他

変換行列の変更

- glLoadIdentity（）
  - 単位行列で初期化
- glTranslate（ *x, y, z* ）
  - 平行移動変換をかける
- glRotate（ *angle, x, y, z* ）
  - 指定した軸周りの回転変換をかける
  - angle は、1回転を360として指定

変換行列の変更

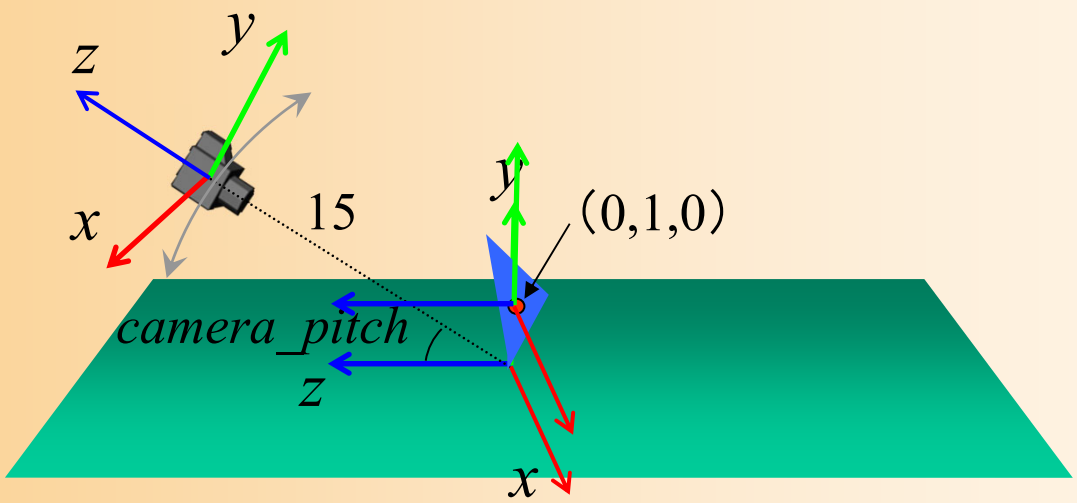
- 変換行列は順番に右側にかけられていく
  - プログラムで後から記述した変換行列の方が、実際には先に計算される

$$\begin{pmatrix} & & & \\ & \mathbf{A} & & \\ & & & \\ & & & \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_1\mathbf{A}_2\mathbf{A}_3\cdots\mathbf{A}_n$$

サンプルプログラムの視野変換行列

- サンプルプログラムのシーン設定
  - カメラと水平面の角度（仰角）は camera_ptich
  - カメラと中心の間の距離は 15
  - ポリゴンを（0,1,0）の位置に描画



サンプルプログラムの視野変換行列

- モデル座標系 → カメラ座標系 への変換行列

$$
\underbrace{\overset{③}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \overset{②}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-camera_pitch) & -\sin(-camera_pitch) & 0 \\ 0 & \sin(-camera_pitch) & \cos(-camera_pitch) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{ワールド座標系→カメラ座標系}} \underbrace{\overset{①}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}}_{\text{モデル座標系→ワールド座標系}} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}
$$

  - x軸周りの回転
  - ２つの平行移動変換の位置に注意
    - 中心から15離れるということは、回転後の座標系でカメラを後方（z軸）に15下げることと同じ

サンプルプログラムの変換行列の設定

- 描画処理（display（）関数）

```
// 変換行列を設定（ワールド座標系→カメラ座標系）
glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
glLoadIdentity();
③ glTranslatef( 0.0,  0.0, - 15.0 );
② glRotatef( - camera_pitch, 1.0, 0.0, 0.0 );

// 地面を描画（ワールド座標系で頂点位置を指定）
……

// 変換行列を設定（モデル座標系→カメラ座標系）
① glTranslatef( 0.0, 1.0, 0.0 );

// ポリゴンを描画（モデル座標系で頂点位置を指定）
……
```

以降、視野変換行列を変更することを指定

単位行列で初期化

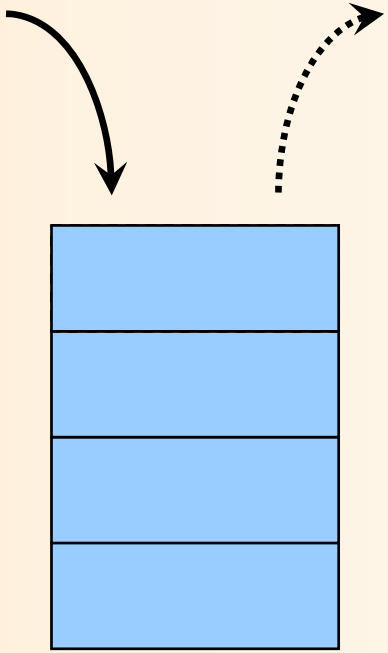
平行移動行列・回転行列を順にかけることで、変換行列を設定

その他の変換行列の設定関数

- glLookAt（ カメラ位置, 目標位置, 上方ベクトル ）
  - カメラと目標の位置で指定
  - 回転角度で向きを表す場合には向かない
- glLoadMatrix（ 配列 ）, glMultMatrix（ 配列 ）
  - 配列を使って行列を直接設定 or かける
  - GL_double m[4][4];
    - m[i][j] が 行列の j行 i 列の要素を表す
  - 本講義の視点操作のプログラミング演習で使用

変換行列の退避・復元

- 現在の変換行列を別の領域（スタック）に記録しておき、後から復元して利用できる
- glPushMatrix()
  - 現在の変換行列の退避
  - スタックに積む
- glPopMatrix()
  - 最後に退避した変換行列の回復
  - スタックから取り出す

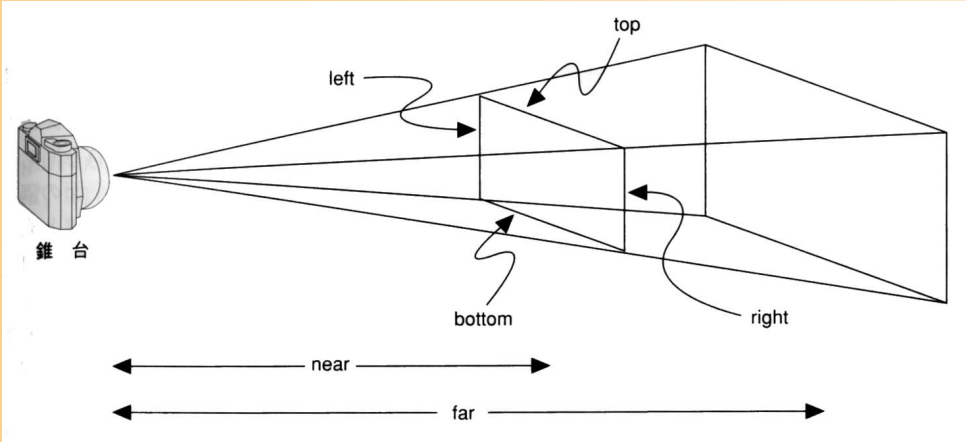


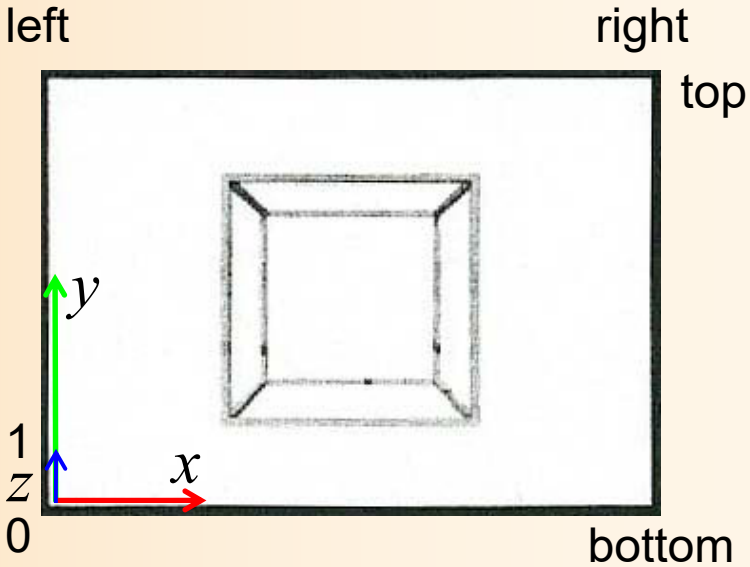
変換行列の設定のための関数

- 設定を行う変換行列の指定
  - glMatrixMode（）
    - どの変換行列を変更するのかを指定する
- 変換行列の設定
  - 主に視野変換の設定に使われる関数
    - glLoadIdentity（）、glTranslate（）、glRotate（）、他
  - 射影変換行列の設定に使われる関数
    - gluPerspective（）, glFrustrum（）, glOrth（）、他

透視変換（復習）

- 透視射影変換行列



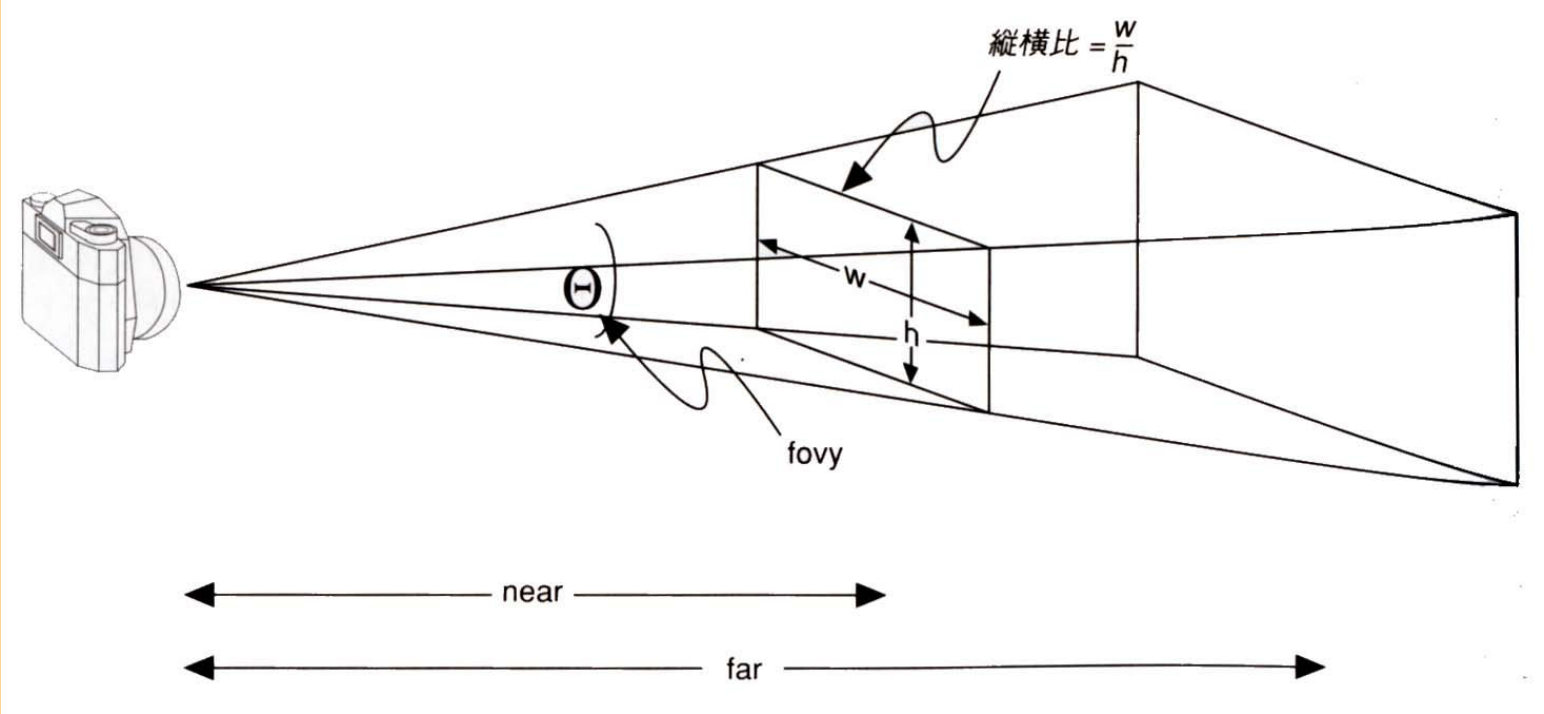


$$\begin{pmatrix} \frac{2n}{r-l} & 0 & \frac{r+l}{r-l} & 0 \\ 0 & \frac{2n}{t-b} & \frac{t+b}{t-b} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-(f+n)}{f-n} & \frac{-2fn}{f-n} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x'/w' \\ y'/w' \\ z'/w' \end{pmatrix}$$

W'=−Z となり、Zで割ることになる
（Z値が大きくなるほど中央になる）

透視射影変換

- gluPerspective（視野角, 手前面の距離, 奥面の距離）
  - 視界領域が左右対称であるという前提で、より少ない引数で透視射影変換を設定する関数



射影変換の設定（サンプルプログラム）

- ウィンドウサイズから変更された時に設定
  - 透視射影変換行列の設定（視野角を45度とする）

```
void  reshape( int w, int h )
{
        // ウィンドウ内の描画を行う範囲を設定（ウィンドウ全体に描画）
        glViewport(0, 0, w, h);

        // カメラ座標系→スクリーン座標系への変換行列を設
        glMatrixMode( GL_PROJECTION );
        glLoadIdentity();
        gluPerspective( 45, (double)w/h, 1, 500 );
}
```

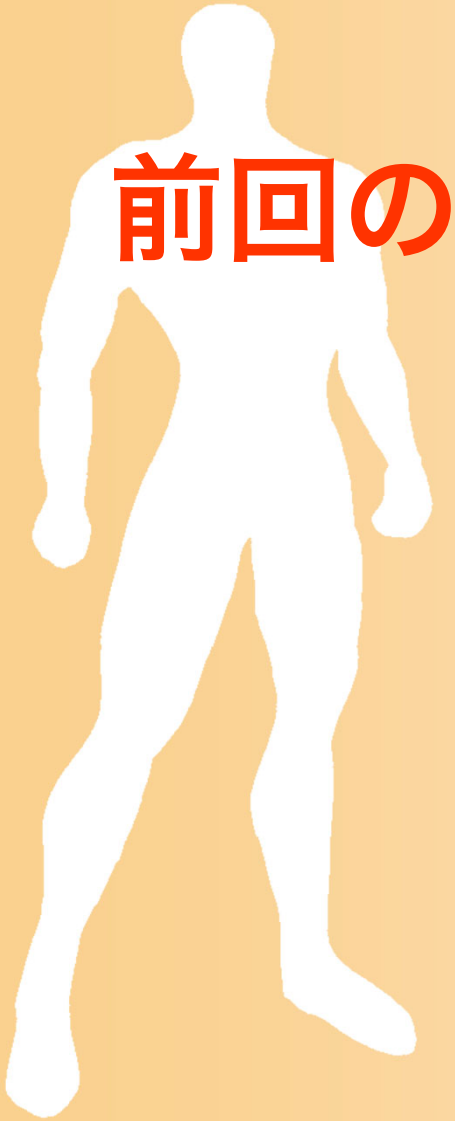
以降、射影変換行列を変更することを指定

単位行列で初期化

透視射影変換を設定

今日の内容

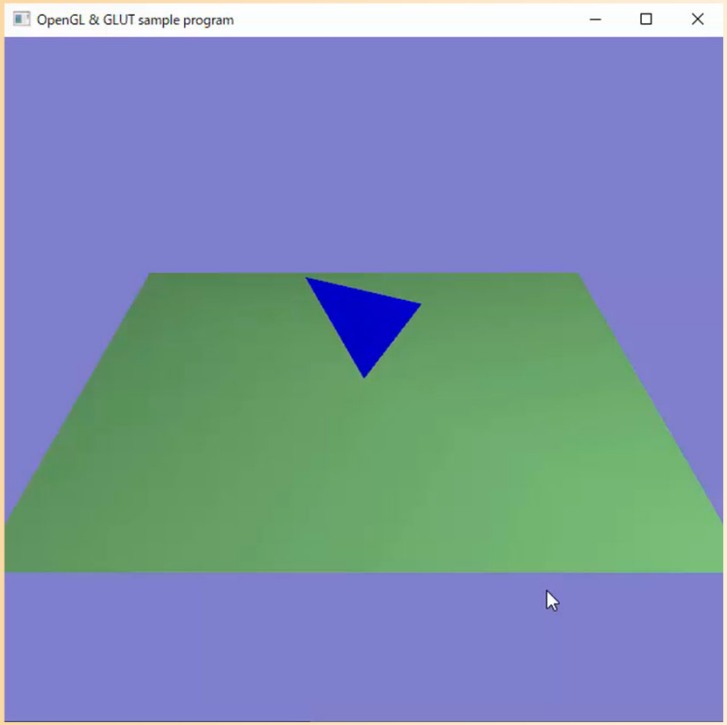
- 復習：座標変換
- 復習：前回のサンプルプログラムの視点処理
- 視点操作のプログラム
- 視点操作方法１（Dolly Mode）
- 視点操作方法２（Scroll Mode）
- 視点操作方法３（Walkthrough Mode）
- レポート課題



前回のサンプルプログラムの視点操作処理

サンプルプログラム

- opengl_sample.cpp
  - 地面と１枚の青い三角形が表示される
  - マウスの右ボタンドラッグで、視点を上下に回転



サンプルプログラム

- opengl_sample.cpp

```
 1 //
 2 //  コンピュータグラフィックスＳ
 3 //  OpenGLによる３次元グラフィックス演習 サンプルプログラム
 4 //
 5
 6
 7 // 基本的なヘッダファイルのインクルード
 8 #ifdef _WIN32
 9     #include <windows.h>
10 #endif
11 #include <stdio.h>
12 #include <math.h>
13
14 // GLUTヘッダファイルのインクルード
15 #include <GL/glut.h>
16
17
18 // 視点操作のための変数
19 float  camera_pitch = -30.0;  // Ｘ軸を軸とするカメラの回転角度
20
21 // マウスのドラッグのための変数
22 int  drag_mouse_r = 0;  // 右ボタンをドラッグ中かどうかのフラグ（0:非ドラッグ中,1:ドラッグ中）
23 int  last_mouse_x;      // 最後に記録されたマウスカーソルのＸ座標
24 int  last_mouse_y;      // 最後に記録されたマウスカーソルのＹ座標
25
26
27 //
28 //  画面描画時に呼ばれるコールバック関数
29 //
30 void  display( void )
31 {
32     // 画面をクリア（ピクセルデータとＺバッファの両方をクリア）
33     glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT );
34
35     // 変換行列を設定（ワールド座標系→カメラ座標系）
36     glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
37     glLoadIdentity();
38     glTranslatef( 0.0,  0.0, - 15.0 );
39     glRotatef( - camera_pitch, 1.0, 0.0, 0.0 );
40
41     // 光源位置を設定（モデルビュー行列の変更にあわせて再設定）
42     float  light0_position[] = { 10.0, 10.0, 10.0, 1.0 };
43     glLightfv( GL_LIGHT0, GL_POSITION, light0_position );
44
```

現在の視点操作の実現方法

- マウスの右ボタンを押しながら、上下にドラッグすると、カメラの回転角度（仰角）が変化

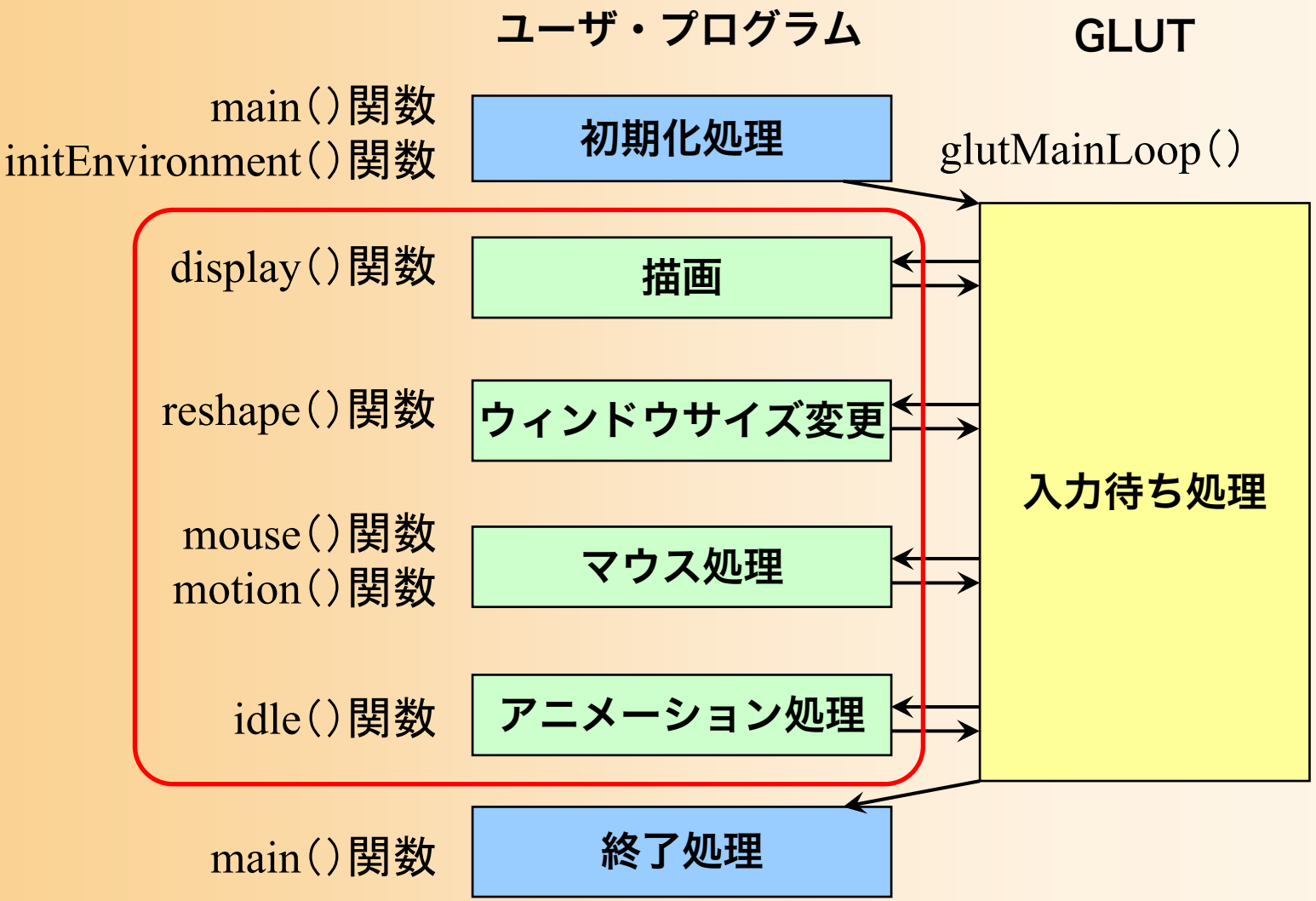
- カメラの回転角度を表す変数 camera_pitch を定義
- マウス操作に応じて、camera_pitch の値を変化
- camera_pitch に応じて、変換行列を設定

視点操作のための変数

- 視点操作のための変数の定義
  - グローバル変数（全ての関数からアクセス可能な変数）として定義

```
// 視点操作のための変数
float  camera_pitch = -30.0;  // X軸を軸とするカメラの回転角度

// マウスのドラッグのための変数
int  drag_mouse_r = 0;  // 右ボタンをドラッグ中かどうかのフラグ
（0:非ドラッグ中,1:ドラッグ中）
int  last_mouse_x;      // 最後に記録されたマウスカーソルのX座標
int  last_mouse_y;      // 最後に記録されたマウスカーソルのY座標
```

サンプルプログラムの構成（復習）



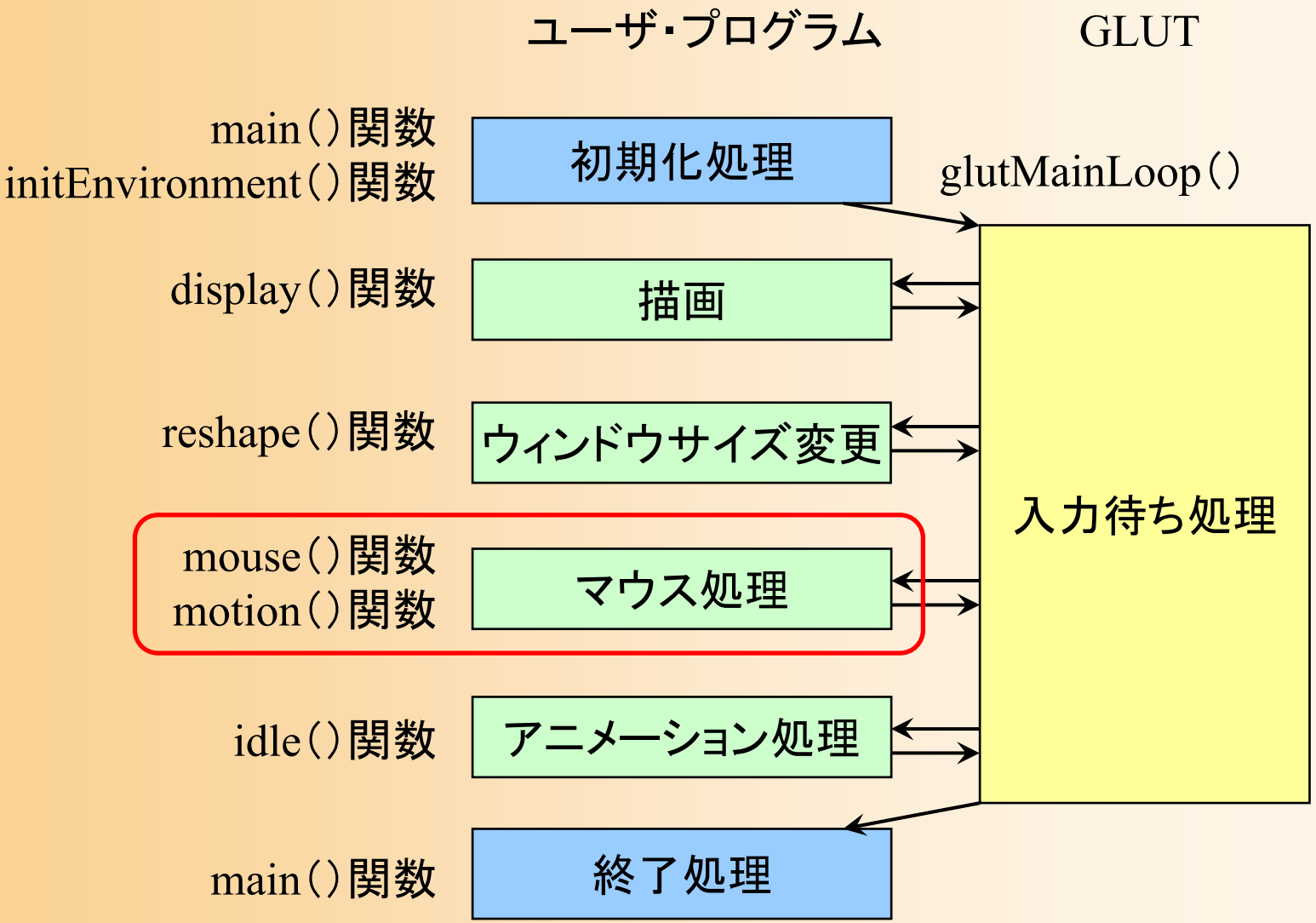
コールバック関数（1）（復習）

- 描画コールバック関数 display()
  - 再描画が必要な時に呼ばれる
  - 本プログラムでは、変換行列の設定、地面と 1枚のポリゴンの描画、を行っている
- サイズ変更コールバック関数 reshape()
  - ウィンドウサイズ変更時に呼ばれる
  - 本プログラムでは、視界の設定、ビューポート変換の設定、を行っている

コールバック関数（2）（復習）

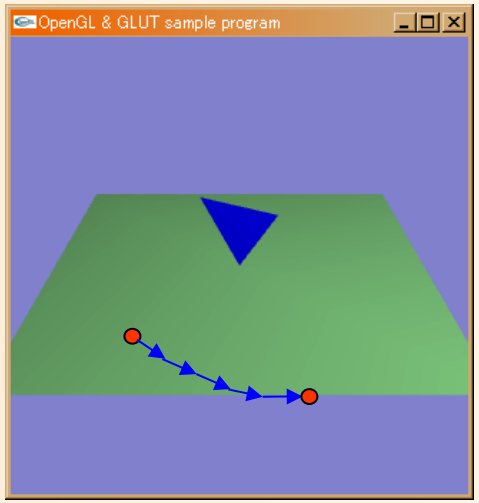
- マウスクリック・コールバック関数 mouse()
  - マウスのボタンが押されたとき、離されたときに呼ばれる
  - 本プログラムでは、右ボタンの押下状態を記録
- マウスドラッグ・コールバック関数 motion（）
  - マウスがウィンドウ上でドラッグされたときに呼ばれる
  - 本プログラムでは、右ドラッグされたときに、視点の回転角度を変更
- アイドル・コールバック関数 idle()
  - 処理が空いた時に定期的に呼ばれる
  - 本プログラムでは、現在は何の処理も行っていない

マウス操作時の処理


ユーザ・プログラム
GLUT
main()関数
initEnvironment()関数
初期化処理
glutMainLoop()
display()関数
描画
reshape()関数
ウィンドウサイズ変更
入力待ち処理
mouse()関数
motion()関数
マウス処理
idle()関数
アニメーション処理
main()関数
終了処理

マウス操作時の処理

- マウス操作のコールバック関数
  - mouse（）関数
    - マウスのボタンが、押されたとき、または、離されたときに呼ばれる
  - motion（）関数
    - マウスのボタンが押された状態で、マウスが動かされたとき（ドラッグ時）に定期的に呼ばれる
    - ボタンが押されない状態で、マウスが動かされたときに呼ばれる関数もある（今回は使用しない）



マウス操作時の処理（クリック処理関数）

- 右ボタンがクリックされたことを記録
  - 変数 drag_mouse_r に状態を格納

```
// マウスクリック時に呼ばれるコールバック関数
void  mouse( int button, int state, int mx, int my )
{
    // 右ボタンが押されたらドラッグ開始のフラグを設定
    if ( ( button == GLUT_RIGHT_BUTTON ) && ( state == GLUT_DOWN ) )
        drag_mouse_r = 1;
    // 右ボタンが離されたらドラッグ終了のフラグを設定
    else if ( ( button == GLUT_RIGHT_BUTTON ) && ( state == GLUT_UP ) )
        drag_mouse_r = 0;

    // 現在のマウス座標を記録
    last_mouse_x = mx;
    last_mouse_y = my;
}
```

マウス操作時の処理（ドラッグ処理関数1）

- ドラッグされた距離に応じて視点を変更
  - 視点の仰角 camera_pitch を変化
    - 前回と今回のマウス座標の差から計算

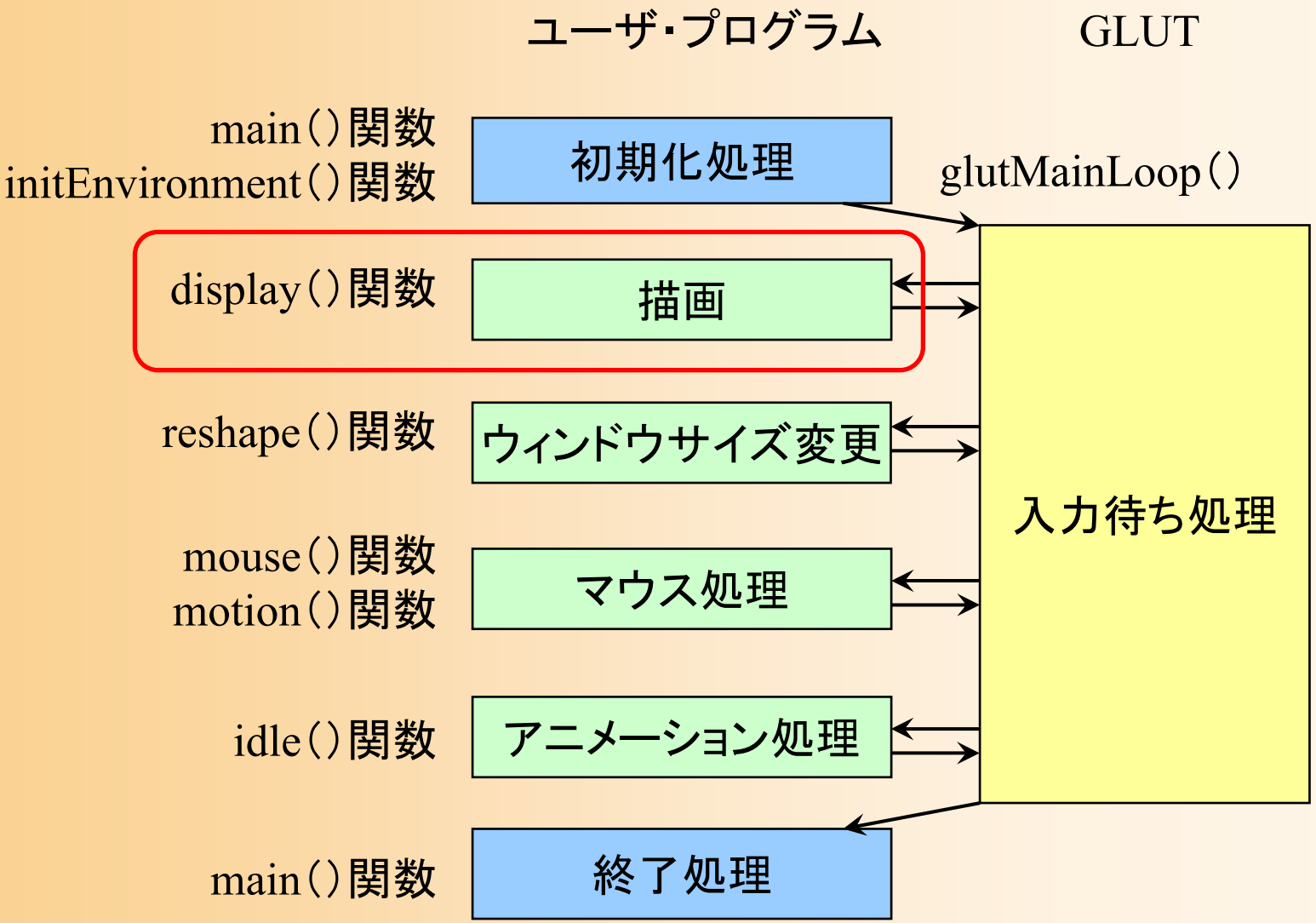
```
void  motion( int mx, int my )
{
    // 右ボタンのドラッグ中であれば、
    // マウスの移動量に応じて視点を回転する
    if ( drag_mouse_r == 1 )
    {
        // マウスの縦移動に応じてX軸を中心に回転
        camera_pitch -= ( my - last_mouse_y ) * 1.0;
        if ( camera_pitch < -90.0 )
            camera_pitch = -90.0;
        else if ( camera_pitch > 0.0 )
            camera_pitch = 0.0;
    }
    ......
```

マウス操作時の処理（ドラッグ処理関数2）

- 再描画の指示を行う
  - 視点の仰角camera_pitch の変化に応じて、画面を再描画するため

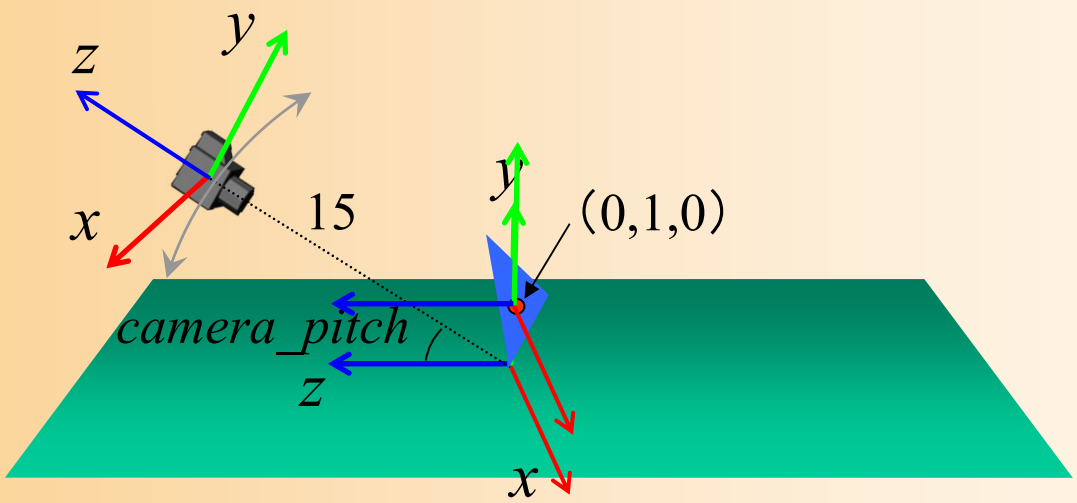
```
    // 今回のマウス座標を記録
    last_mouse_x = mx;
    last_mouse_y = my;

    // 再描画の指示を出す
    glutPostRedisplay();
}
```

サンプルプログラムの構成



サンプルプログラムの視野変換行列

- サンプルプログラムのシーン設定
  - カメラと水平面の角度（仰角）は camera_pitch
  - カメラと原点の間の距離は 15
  - ポリゴンを（0,1,0）の位置に描画



サンプルプログラムの視野変換行列

- モデル座標系 → カメラ座標系 への変換行列

$$
\underbrace{\overset{③}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \overset{②}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-camera_pitch) & -\sin(-camera_pitch) & 0 \\ 0 & \sin(-camera_pitch) & \cos(-camera_pitch) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{ワールド座標系→カメラ座標系}} \underbrace{\overset{①}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}}_{\text{モデル座標系→ワールド座標系}} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}
$$

  - x軸周りの回転
  - ２つの平行移動変換の位置に注意
    - 原点から15離れるということは、回転後の座標系でカメラを後方（z軸）に15下げることと同じ

サンプルプログラムの変換行列の設定

- 描画処理（display（）関数）

```
// 変換行列を設定（ワールド座標系→カメラ座標系）
glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
glLoadIdentity();
③ glTranslatef( 0.0,  0.0, - 15.0 );
② glRotatef( - camera_pitch, 1.0, 0.0, 0.0 );

// 地面を描画（ワールド座標系で頂点位置を指定）
……

// 変換行列を設定（モデル座標系→カメラ座標系）
① glTranslatef( 0.0, 1.0, 0.0 );

// ポリゴンを描画（モデル座標系で頂点位置を指定）
……
```

以降、視野変換行列を変更することを指定

単位行列で初期化

平行移動行列・回転行列を順にかけることで、変換行列を設定

今日の内容

- 復習：座標変換
- 復習：前回のサンプルプログラムの視点処理
- 視点操作のプログラム
- 視点操作方法１（Dolly Mode）
- 視点操作方法２（Scroll Mode）
- 視点操作方法３（Walkthrough Mode）
- レポート課題

視点操作のプログラム

視点操作の方法

- 既存のアプリケーションでよく使われている、代表的な視点操作の方法を実現
  - 方法１：注視点の周囲を回るように視点が回転・移動 （Dolly Mode）
  - 方法２：注視点に合わせて視点が平行移動、視点の向きは固定 （Scroll Mode）
  - 方法３：カメラを中心に回るように視点が回転・移動 （Walkthrough Mode）

デモプログラム

- 視点操作のデモプログラム
  - mキーで視点操作モードを切り替え
    方法１(Dolly) → 方法２(Scroll) → 方法３(Walkthrough) の順番で切り替わる
  - マウスの右ボタン・左ボタンドラッグで、各視点操作モードに応じて視点変更

サンプルプログラム

- view_sample.cpp
  - デモプログラムのもとになるプログラム
  - 全体の枠組みや一部の視点操作のみ実装済み
  - 残りの視点操作は、各自で実装する
    （レポート課題）
- プログラムの解説は、講義のウェブページの演習資料を参照
- 開発環境は、第1回の講義の説明や、講義のウェブページの資料を参照

視野変換行列の変更方法

- 方法1：媒介変数を利用（変換行列を設定）
  - 視点情報を媒介変数で管理する
  - 描画時に、媒介変数にもとづき、変換行列を設定
- 方法2：変換行列を直接更新
  - 視点情報を変換行列で管理する
  - 操作時に、変化分を適用し、変換行列を更新

  - どちらの方法でも、同じ視点移動を実現可能
  - 視点操作方法によってやりやすい方法が異なる

視点操作の実現方法

	媒介変数	直接更新
方法1：Dolly	サンプル	サンプル
方法2：Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3：Walkthrough	レポート課題	レポート課題

サンプルプログラム（1）

- グローバル変数（視点操作パラメタ）
  - 全視点操作方法に使用する共通のパラメタ
    - 視点操作方法によっては変更しないパラメタもある

```
// 視点操作パラメタ
float  view_center_x;  // 注視点の位置 x
float  view_center_y;  // 注視点の位置 y
float  view_center_z;  // 注視点の位置 z
float  view_yaw;       // 視点の方位角 α
float  view_pitch;     // 視点の仰角 β
float  view_distance;  // 視点と注視点の距離 d
```


$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & cos(-\beta) & -sin(-\beta) & 0 \\ 0 & sin(-\beta) & cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} cos(-\alpha) & 0 & sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -sin(-\alpha) & 0 & cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

サンプルプログラム（2）

- グローバル変数（視点操作モード）

```
// 視点操作モード
enum  ViewControlModeEnum
{
    VIEW_DOLLY_PARAM,              // Dollyモード（媒介変数）
    VIEW_DOLLY_DIRECT,             // Dollyモード（直接更新）
    VIEW_SCROLL_PARAM,             // Scrollモード（媒介変数）
    VIEW_SCROLL_DIRECT,            // Scrollモード（直接更新）
    VIEW_WALKTHROUGH_PARAM,        // Walkthroughモード（媒介変数）
    VIEW_WALKTHROUGH_DIRECT,       // Walkthroughモード（直接更新）
    NUM_VIEW_CONTROL_MODES         // 視点操作モードの種類数
};

// 現在の視点操作モード
ViewControlModeEnum  mode = VIEW_DOLLY_PARAM;
```

サンプルプログラム（3）

- 視点操作関連の関数
  - 視点の初期化
    - void InitView()
    - プログラム開始時、モード切替時に呼ばれる
  - 視点パラメタに応じて変換行列を更新
    - void UpdateViewMatrix()
    - 描画処理の最初に呼ばれる
  - 操作に応じて視点パラメタ or 変換行列を更新
    - void UpdateView(…)
    - マウス操作時に呼ばれる

サンプルプログラム（4）

- 各視点操作の実現方法
- 方法1：媒介変数を利用（変換行列を設定）
  - UpdateView（）関数で、マウス操作に応じて媒介変数を更新
  - UpdateViewMatrix（）関数で、媒介変数にもとづいて変換行列を設定 （描画時に行列を設定）
- 方法2：変換行列を直接更新
  - UpdateView（）関数で、マウス操作に応じて変換行列を直接更新 （マウス操作時に行列を設定）

サンプルプログラム（5）

- 操作に応じて視点パラメタ or 変換行列を更新
  - void UpdateView(int delta_mouse_right_x, int delta_mouse_right_y, int delta_mouse_left_x, int delta_mouse_left_y)
    - マウス操作を引数として受け取る
      - 右ドラッグ中の左右のマウス移動量
      - 右ドラッグ中の上下のマウス移動量
      - 左ドラッグ中の左右のマウス移動量
      - 左ドラッグ中の上下のマウス移動量
    - 媒介変数を使ったモード中は、視点操作パラメタを更新
    - 直接更新を使ったモード中は、変換行列を更新

サンプルプログラム（6）

- ６通りの各操作方法に対応する処理を記述

```
void  UpdateView( int delta_mouse_right_x, int delta_mouse_right_y,
                  int delta_mouse_left_x, int delta_mouse_left_y )
{
   // 視点パラメタを更新（Dollyモード・媒介変数）
   if ( mode == VIEW_DOLLY_PARAM )
   {
      ・・・・・・（視点操作パラメタを更新）
   }
   // 視点パラメタを更新（Scrollモード・媒介変数）
   if ( mode == VIEW_SCROLL_PARAM )
   {
      ・・・・・・（視点操作パラメタを更新）
   }
   ・・・・・・

   // 変換行列を更新（Walkthroughモード・直接更新）
   if ( mode == VIEW_WALKTHROUGH_DIRECT )
   {
      ・・・・・・（変換行列を更新）
   }
};
```

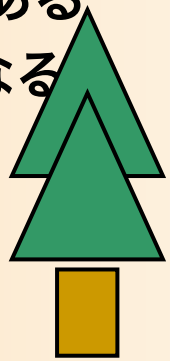
サンプルプログラム（7）

- 視点パラメタに応じて変換行列を更新
  - 決まった処理なので、変更の必要はない

```
void  UpdateViewMatrix()
{
    // 視点パラメタを使った操作時のみ変換行列を更新
    if ( ( mode == VIEW_DOLLY_PARAM ) ||
         ( mode == VIEW_SCROLL_PARAM ) ||
         ( mode == VIEW_WALKTHROUGH_PARAM ) )
    {
        glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
        glLoadIdentity();
        glTranslatef( 0.0,  0.0, -view_distance );
        glRotatef( -view_pitch, 1.0, 0.0, 0.0 );
        glRotatef( -view_yaw, 0.0, 1.0, 0.0 );
        glTranslatef( -view_center_x, -view_center_y, -view_center_z );
    }
}
```

シーン描画

- 視点の変化が分かりやいすように、ランダムに配置した木を描画
- OpenGL の円柱を描画する関数を使うことで、木のような物体を簡単に描画できる
  - gluCylinder（ quad, 上の半径, 下の半径, 長さ, 横方向分割数, 縦方向分割数 ）
    - あらかじめ gluNewQuadric（） 関数を使って、二次曲面情報（quad）を作成する必要がある
    - 片方の半径を 0 にすると円すいになる
  - 3つの円柱+円すいとして描画
- 詳細はプログラムを参照



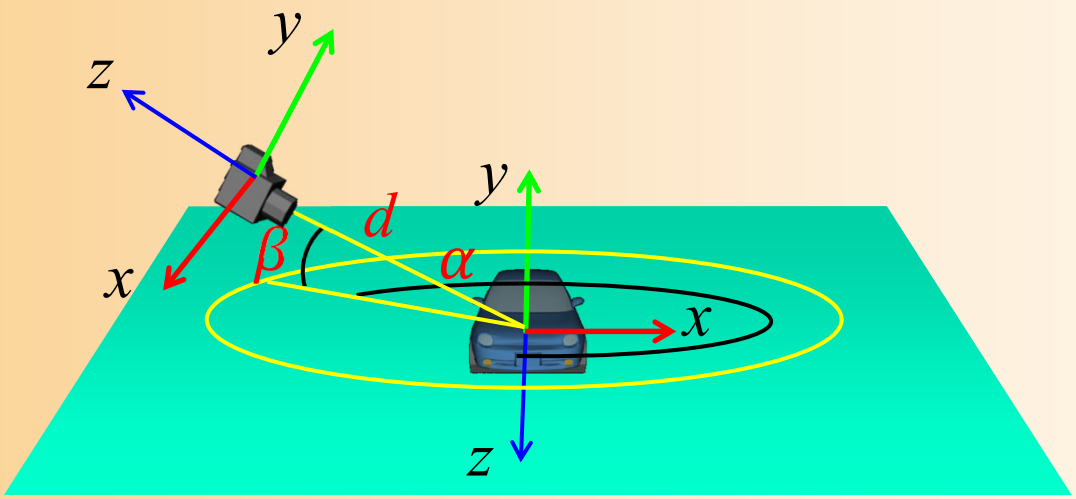
視点操作方法 1
(Dolly Mode)

視点操作の実現方法

	媒介変数	直接更新
方法1：Dolly	サンプル	サンプル
方法2：Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3：Walkthrough	レポート課題	レポート課題

視野変換行列

- Dolly Mode での視野変換行列
  - 視点操作パラメタ
    - 視点の方位角（view_yaw）　α
    - 視点の仰角（view_pitch）　β
    - 視点と注視点の距離（view_distance）　d



視野変換行列

- Dolly Mode での視野変換行列
  - 視点操作パラメタ
    - 視点の方位角（view_yaw）　α
    - 視点の仰角（view_pitch）　β
    - 視点と注視点の距離（view_distance）　d

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- Ｙ軸周りの回転の後に、X軸周りの回転をかける
- ２つの回転の後に、Z軸方向の平行移動をかける

媒介変数による変換行列の設定

- 媒介変数を利用した変換行列の設定
  - Dolly Mode は、こちらの方が簡単

1. マウス操作に応じて、視点操作パラメタを更新
   - 視点の方位角（view_yaw）　α
   - 視点の仰角（view_pitch）　β
   - 視点と注視点の距離（view_distance）　d
2. 視点操作パラメタにもとづき、変換行列を設定

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

プログラム（1）

```
void  UpdateView( int delta_mouse_right_x, int delta_mouse_right_y,
                  int delta_mouse_left_x, int delta_mouse_left_y )
{
   // 視点パラメタを更新（Dorryモード・媒介変数）
   if ( mode == VIEW_DOLLY_PARAM )
   {
      // 横方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を水平方向に回転
      if ( delta_mouse_right_x != 0 )
      {
         ・・・・・・ ①
      }
      // 縦方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を上下方向に回転
      if ( delta_mouse_right_y != 0 )
      {
         ・・・・・・ ②
      }
      // 縦方向の左ボタンドラッグに応じて、視点と注視点の距離を変更
      if ( delta_mouse_left_y != 0 )
      {
         ・・・・・・ ③
      }
   }
   ・・・・・・
};
```

プログラム（2）

```
// 横方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を水平方向に回転
if ( delta_mouse_right_x != 0 )
{
    view_yaw -= delta_mouse_right_x * 1.0;

    // パラメタの値が所定の範囲を超えないように修正
    if ( view_yaw < 0.0 )
        view_yaw += 360.0;
    else if ( view_yaw > 360.0 )
        view_yaw -= 360.0;
}

// 縦方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を上下方向に回転
if ( delta_mouse_right_y != 0 )
{
    view_pitch -= delta_mouse_right_y * 1.0;

    // パラメタの値が所定の範囲を超えないように修正
    if ( view_pitch < -90.0 )
        view_pitch = -90.0;
    else if ( view_pitch > -2.0 )
        view_pitch = -2.0;
}
```

水平方向の角度の範囲に関しては、0～360 の範囲で連続するように修正する
例えば、角度変更の結果、値が -15 になったときには、 0～360 の範囲で同じ向きを表す 345 になるようにする

上下方向の角度の範囲に関しては、-90 ～-2 の範囲で止まるように修正する

プログラム（3）

```
// 縦方向の左ボタンドラッグに応じて、視点と注視点の距離を変更
if ( delta_mouse_left_y != 0 )
{
    view_distance += delta_mouse_left_y * 0.2;

    // パラメタの値が所定の範囲を超えないように修正
    if ( view_distance < 5.0 )
        view_distance = 5.0;
}
```

視点操作の実現方法

	媒介変数	直接更新
方法1：Dolly	サンプル	サンプル
方法2：Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3：Walkthrough	レポート課題	レポート課題

変換行列を直接更新する方法（1）

- 変換行列を直接更新する方法
  - 起動時に初期状態で変換行列を初期化
  - マウス操作に応じて、適切な変換行列をかける

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

変換行列を直接更新する方法（2）

- 変換行列を直接更新する方法
  - 起動時に初期状態で変換行列を初期化
  - マウス操作に応じて、適切な変換行列をかける
    - 元の計算式の適切な箇所に変換行列を加える
    - Δα・・・③④のどちらかに、回転行列を挿入
    - Δβ・・・②③のどちらかに、回転行列を挿入
    - Δd・・・①②のどちらかに、平行行列を挿入

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

① ② ③ ④

プログラム（1）

```
void  UpdateView( int delta_mouse_right_x, int delta_mouse_right_y,
                  int delta_mouse_left_x, int delta_mouse_left_y )
{
   ･･････
   // 変換行列を更新（Dollyモード・直接更新）
   if ( mode == VIEW_DOLLY_DIRECT )
   {
      // 横方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を水平方向に回転
      if ( delta_mouse_right_x != 0 )
      {
         ･･････ Δα を適用
      }
      // 縦方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を上下方向に回転
      if ( delta_mouse_right_y != 0 )
      {
         ･･････ Δβ を適用
      }
      // 縦方向の左ボタンドラッグに応じて、視点と注視点の距離を変更
      if ( delta_mouse_left_y != 0 )
      {
         ･･････ Δd を適用
      }
   }
   ･･････
```

変換行列を直接更新する方法（3）

- 視点の仰角の変化 Δα
  - 現在の変換行列に右側から回転変換をかける（④の位置に回転行列を挿入）

$$\underset{①}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{②}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{③}{\begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{④}{}$$

$$\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\Delta\alpha) & 0 & \sin(-\Delta\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\Delta\alpha) & 0 & \cos(-\Delta\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

プログラム（2）

- 視点を水平方向に回転（Δα）

```
// 横方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を水平方向に回転
if ( delta_mouse_right_x != 0 )
{
    // 視点の水平方向の回転量を計算
    float  delta_yaw = delta_mouse_right_x * 1.0;

    // 現在の変換行列の右側に、今回の回転変換をかける
    glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
    glRotatef( delta_yaw, 0.0, 1.0, 0.0 );
}
```

変換行列を直接更新する方法（4）

- 視点と注視点の距離の変化 Δd
  - 現在の変換行列に左側から平行移動をかける（①の位置に平行移動行列を挿入）

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

① ② ③ ④

変換行列を直接更新する方法（5）

- 視点と注視点の距離の変化 Δ d
  - 現在の変換行列に左側から平行移動をかける（①の位置に平行移動行列を挿入）
  - 現在の変換行列に左からかけることはできないため、
    - 現在の変換行列 M を記録した上で、単位行列に初期化
    - ①の位置に Δ d の変換行列をかける
    - その右から、記録しておいた変換行列 M をかける

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\Delta d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \underbrace{\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{M}}$$

プログラム（3）

- 視点と注視点の距離を変更（Δd）

```
// 縦方向の左ボタンドラッグに応じて、視点と注視点の距離を変更
if ( delta_mouse_left_y )
{
    // 視点と注視点の距離の変化量を計算
    float  delta_dist = delta_mouse_left_y * 1.0;

    // 現在の変換行列（カメラの向き）を取得
    float  m[ 16 ];
    glGetFloatv( GL_MODELVIEW_MATRIX, m );

    // 変換行列を初期化して、カメラ移動分の
    // 平行移動行列を設定
    glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
    glLoadIdentity();
    glTranslatef( 0.0,  0.0, - delta_dist );

    // 右からこれまでの変換行列をかける
    glMultMatrixf( m );
}
```

OpenGLに現在設定されている変換行列を取得

（16次元の配列に 4×4行列の各要素が格納される）

$$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 8 & 12 \\ 1 & 5 & 9 & 13 \\ 2 & 6 & 10 & 14 \\ 3 & 7 & 11 & 15 \end{pmatrix}$$

変換行列を直接更新する方法（6）

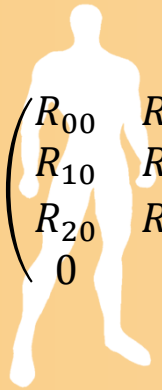
- 視点の方位角の変化 $\Delta\beta$
  - やや複雑になる
  - ②の位置に回転行列を挿入

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

① ② ③ ④

変換行列を直接更新する方法（7）

- 視点の方位角の変化 Δβ
  - 現在の変換行列から左側の平行移動成分を取得
    - 行列全体で平行移動はここだけなので、簡単に取得可
  - 現在の変換行列の左側の平行移動成分をキャンセル（X）
  - 左から、最初に取得した平行移動成分（Z）、今回の回転変換（Y）と、元の変換行列の平行移動成分をキャンセルしたもの（X）を順番にかける



$$\underbrace{\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{M}} \Rightarrow \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{Z}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\Delta\beta) & -\sin(-\Delta\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\Delta\beta) & \cos(-\Delta\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{Y}} \underbrace{\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & 0 \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & 0 \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{X}}$$

プログラム（4）

- 視点を上下方向に回転（Δβ）

```
// 縦方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を上下方向に回転
if ( delta_mouse_right_y != 0 )
{
    // 視点の上下方向の回転量を計算
    float  delta_pitch = delta_mouse_right_y * 1.0;

    // 現在の変換行列を取得
    float  m[ 16 ];
    glGetFloatv( GL_MODELVIEW_MATRIX, m );

    // 現在の変換行列の平行移動成分を記録
    float  tx, ty, tz;
    tx = m[ 12 ];    ty = m[ 13 ];    tz = m[ 14 ];

    // 現在の変換行列の平行移動成分を0にする
    m[ 12 ] = 0.0f;    m[ 13 ] = 0.0f;    m[ 14 ] = 0.0f;

    ....
```

$$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 8 & 12 \\ 1 & 5 & 9 & 13 \\ 2 & 6 & 10 & 14 \\ 3 & 7 & 11 & 15 \end{pmatrix}$$

現在の変換行列から、左側の平行移動成分を取得

現在の変換行列から、左側の平行移動成分をキャンセル

プログラム（5）

- 視点を上下方向に回転（Δβ）（続き）

```
    // 変換行列を初期化
    glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
    glLoadIdentity();

    // カメラの平行移動行列を設定
①   glTranslatef( tx, ty, tz );

    // 右側に、今回の回転変換をかける
②   glRotatef( delta_pitch, 1.0, 0.0, 0.0 );

    // さらに、右側に、もとの変換行列から平行移動成分をとり除いたものをかける
③   glMultMatrixf( m );
}
```

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{①}\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\Delta\beta) & -\sin(-\Delta\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\Delta\beta) & \cos(-\Delta\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{②}\underbrace{\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & 0 \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & 0 \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{③}$$

注意点１

- 変換行列を直接更新する方法の注意点
  - そのままでは、回転可能範囲や移動可能範囲などを制限するのは困難
    - これらの範囲の制限を加えるためには、変換行列から媒介変数を計算し、媒介変数を使って範囲を制限する必要がある

注意点２

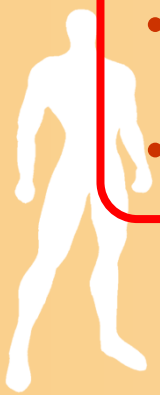
- 変換行列を直接更新する方法の注意点
  - 毎回、微少な回転行列をかけていくと、計算誤差の蓄積により、行列が歪んでくることがある
    - 回転成分の各ベクトルの長さが 1、互いに直交している状態にならなくなる

$$\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

  - 定期的に回転成分の正規化が必要
    - 長さ 1に正規化、外積計算により直交ベクトルを計算

今日の内容

- 復習：座標変換
- 復習：前回のサンプルプログラムの視点処理
- 視点操作のプログラム
- 視点操作方法１（Dolly Mode）
- 視点操作方法２（Scroll Mode）
- 視点操作方法３（Walkthrough Mode）
- レポート課題



視点操作の実現方法

	媒介変数	直接更新
方法1：Dolly	サンプル	サンプル
方法2：Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3：Walkthrough	レポート課題	レポート課題

レポートの視点操作の実装

- 方法２（Scroll Mode）の変換行列
  - 媒介変数による方法の方が簡単
- 方法３（Walkthrough Mode）の変換行列
  - 変換行列を直接更新する方法の方が簡単

- 以降の説明を参考に、これらの視点操作方法を実装して、レポート課題として提出すること

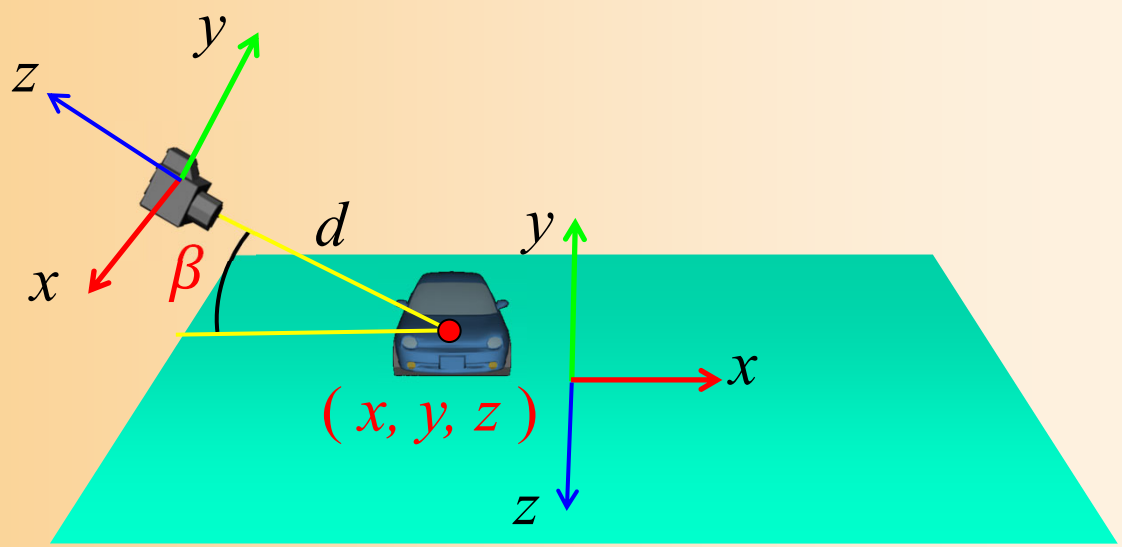
視点操作方法２
(Scroll Mode)

視点操作の実現方法

	媒介変数	直接更新
方法1：Dolly	サンプル	サンプル
方法2：Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3：Walkthrough	レポート課題	レポート課題

視野変換行列

- Scroll Mode の視野変換行列
  - 視点操作パラメタ
    - 視点の仰角（view_pitch）　β
    - 注視点の水平位置（view_center_x/z）　x, z
    - 視点と注視点の距離 d, 注視点の垂直位置 y は固定値



視野変換行列

- Scroll Mode の視野変換行列
  - 視点操作パラメタ
    - 視点の仰角（view_pitch）　β
    - 注視点の水平位置（view_center_*x*/*z*）　x, z
    - 視点と注視点の距離 d, 注視点の垂直位置 y は固定値

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

カメラ座標系での移動
（回転変換は影響しない）

ワールド座標系での移動
（回転変換が影響する）

媒介変数による方法

- 視点の仰角 β
  - 視点操作方法1（Dolly Mode）と同様、上下方向の回転角度 β を変化させれば良い
    - 範囲の制限も適用する
- 注視点の水平位置 x, z
  - 方位角が変化しないと仮定すると（ワールド座標系とカメラ座標系の水平方向の向きが一致すると仮定すると）、簡単に実現できる
  - 横方向のマウス移動量に応じて x を、前後方向のマウス移動量に応じて z を変化させる
    - 方位角の変化も考慮する場合は、視点操作３を参照

プログラム

```
void  UpdateView( int delta_mouse_right_x, int delta_mouse_right_y,
                  int delta_mouse_left_x, int delta_mouse_left_y )
{
   // 視点パラメタを更新(Scrollモード・媒介変数)
   if ( mode == VIEW_SCROLL_PARAM )
   {
      // 縦方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を上下方向に回転
      if ( delta_mouse_right_y != 0 )
      {
            // 視点操作方法1(Dolly Mode)と同じ
      }

      // 左ボタンドラッグに応じて、視点を前後左右に移動(ワールド座標系を基準とした前後左右)
      if ( ( delta_mouse_left_x != 0 ) || ( delta_mouse_left_y != 0 ) )
      {
            view_center_x += [ ? ] ;    // 左右方向の移動を加算
            view_center_z += [ ? ] ;    // 前後方向の移動を加算
      }
   }
```

前の説明を参考に、どのような処理を記述すれば良いかを考える

視点操作の実現方法

	媒介変数	直接更新
方法1：Dolly	サンプル	サンプル
方法2：Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3：Walkthrough	レポート課題	レポート課題

変換行列を直接更新する方法（1）

- 注視点の水平位置 $\Delta x,\ \Delta z$
  - 現在の変換行列に右側から平行移動をかける
    （④の位置に平行移動行列を挿入）
- 視点の仰角 $\Delta\beta$
  - 右または左の平行移動成分をキャンセルして、回転行列をかける
    （②または③の位置に回転移動行列を挿入）

$$\underset{①}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{②}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{③}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{④}{}$$

変換行列を直接更新する方法 (2)

- 注視点の水平位置 Δx, Δz
  - 現在の変換行列に右側から平行移動をかける（④の位置に平行移動行列を挿入）

$$\underset{①}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{②}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{③}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{④}{}$$

$$\underset{\mathbf{M}}{\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

変換行列を直接更新する方法 (3)

- 視点の仰角 $\Delta\beta$
  - 右または左の平行移動成分をキャンセルして、回転行列をかける
    （②または③の位置に平行移動行列を挿入）
  - 左の平行移動成分をキャンセルする方法（②の位置に平行移動行列を挿入）を用いる場合
    - 今回は視点と注視点の距離 d は固定値であるため、左の平行移動成分を容易にキャンセネルできる

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

① ② ③ ④

変換行列を直接更新する方法 (4)

- 視点の仰角 Δβ
  - 現在の変換行列（M）を取得
  - 視点と注視点の距離を離す平行移動（Z）
  - 今回の回転変換（Δβ）（Y）
  - 元の変換行列の視点と注視点を離す平行移動を打ち消すための平行移動（X）
  - 元の変換行列（M）

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{Z}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\Delta\beta) & -\sin(-\Delta\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\Delta\beta) & \cos(-\Delta\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{Y}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & +d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{X}} \underbrace{\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{M}}$$

プログラム（1）

```
void  UpdateView( int delta_mouse_right_x, int delta_mouse_right_y,
                  int delta_mouse_left_x, int delta_mouse_left_y )
{
    // 視点パラメタを更新（Scrollモード・直接更新）
    if ( mode == VIEW_SCROLL_DIRECT )
    {
        // 左ボタンドラッグに応じて、視点を前後左右に移動（ワールド座標系を基準として前後左右に移動）
        if ( ( delta_mouse_left_x != 0 ) || ( delta_mouse_left_y != 0 ) )
        {
            // 左右の移動量、前後の移動量を設定
            float  dx =
            float  dz =        ？

            // 現在の変換行列の右側に、今回の平行移動をかける
            ？

            // 変換行列とは別に、注視点の位置を表すパラメタも更新する
            //（注視点の位置にオブジェクトを描画するため）
            view_center_x += dx;
            view_center_z += dz;
        }
```

前の説明を参考に、どのような処理を記述すれば良いかを考える

変換行列の設定には媒介変数は用いないが、本プログラムでは、注視点位置を表す媒介変数を使って、注視点位置に赤い球を描画するため、媒介変数も更新する

プログラム（2）

```
    // 縦方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を上下方向に回転
    if ( delta_mouse_right_y != 0 )
    {
        // 視点の上下方向の回転量を計算
        float  delta_pitch = delta_mouse_right_y * 1.0;

        // 現在の変換行列を取得
        float  m[ 16 ];
        glGetFloatv( GL_MODELVIEW_MATRIX, m );

        // 変換行列を初期化
        glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
        glLoadIdentity();

        // 変換行列を更新
        ？
    }
}
```

前の説明を参考に、どのような処理を記述すれば良いかを考える

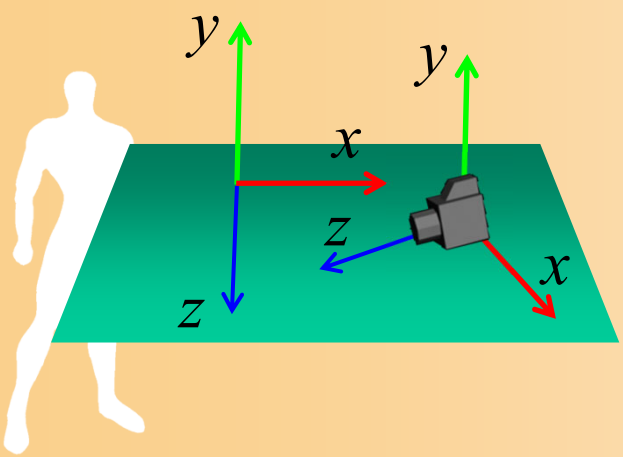
視点操作方法３
(Walkthrough Mode)

視点操作の実現方法

	媒介変数	直接更新
方法1：Dolly	サンプル	サンプル
方法2：Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3：Walkthrough	レポート課題	レポート課題

視野変換行列

- Walkthrough Mode の変換行列
  - 視点操作パラメタ
    - 視点の方位角（view_yaw） α
    - 視点の水平位置（view_center_*x*/*z*） *x, z*
    - 視点の垂直位置 *y* は固定値



$$\begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

変換行列を直接更新する方法（1）

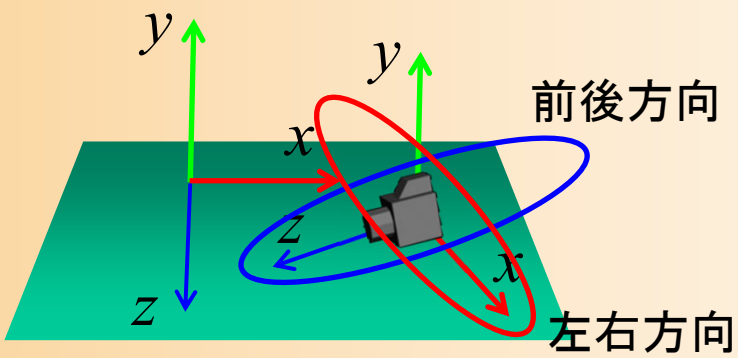
- 視点の方位角 $\Delta\alpha$
  - 現在の変換行列に左側から回転をかける（①の位置に回転行列を挿入）

$$\underset{①}{\begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{②}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{③}{}$$

$$\begin{pmatrix} \cos(-\Delta\alpha) & 0 & \sin(-\Delta\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\Delta\alpha) & 0 & \cos(-\Delta\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \underset{\mathbf{M}}{\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}$$

変換行列を直接更新する方法（2）

- 視点の水平位置 Δx, Δz
  - ワールド座標系ではなく、視点（カメラ座標系）から見て前後左右に移動する必要がある



変換行列を直接更新する方法（3）

- 視点の水平位置 Δx, Δz
  - ワールド座標系ではなく、視点（カメラ座標系）から見て前後左右に移動する必要がある
  - 現在の変換行列に左側から平行移動をかける（①の位置に平行移動行列を挿入）

$$\underset{①}{\begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & 0 & \sin(-\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\alpha) & 0 & \cos(-\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{②}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{③}{\begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_x \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_y \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}$$

カメラ座標系での移動
（回転変換は影響しない）

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

プログラム（1）

```
// 変換行列を更新（Walkthroughモード・直接更新）
if ( mode == VIEW_WALKTHROUGH_DIRECT )
{
    // 横方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を水平方向に回転
    if ( delta_mouse_right_x != 0 )
    {
        // 視点の水平方向の回転量を計算
        float  delta_yaw = delta_mouse_right_x * 1.0;

        // 現在の変換行列（カメラの向き）を取得
        float  m[ 16 ];
        glGetFloatv( GL_MODELVIEW_MATRIX, m );

        // 変換行列を初期化
        glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
        glLoadIdentity();

        // 変換行列を更新
        ？
    }
```

プログラム（2）

```
    // 左ボタンドラッグに応じて、視点を前後左右に移動（カメラの向きを基準として前後左右に移動）
    if ( ( delta_mouse_left_x != 0 ) || ( delta_mouse_left_y != 0 ) )
    {
        // 左右の移動量、前後の移動量を設定
        float  dx = delta_mouse_left_x * 0.1f;
        float  dz = delta_mouse_left_y * 0.1f;

        // 現在の変換行列（カメラの向き）を取得
        float  m[ 16 ];
        glGetFloatv( GL_MODELVIEW_MATRIX, m );

        // 変換行列を初期化
        glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
        glLoadIdentity();

        // 変換行列を更新
        ？
    }
}
```

視点操作の実現方法

	媒介変数	直接更新
方法1：Dolly	サンプル	サンプル
方法2：Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3：Walkthrough	レポート課題	レポート課題

媒介変数による方法

- 視点の方位角 α
  - マウス操作に応じて、α を変化させる
- 視点の水平位置 x, z
  - 視点（カメラ）から見て前後・左右に移動するように、x, z を変化させる必要がある
  - ワールド座標系で見た、カメラ座標系の x, z 軸の方向ベクトルを求める必要がある
    - 現在の視野変換行列から取得することもできるし、
    - 三角関数を使って自分で計算することもできる

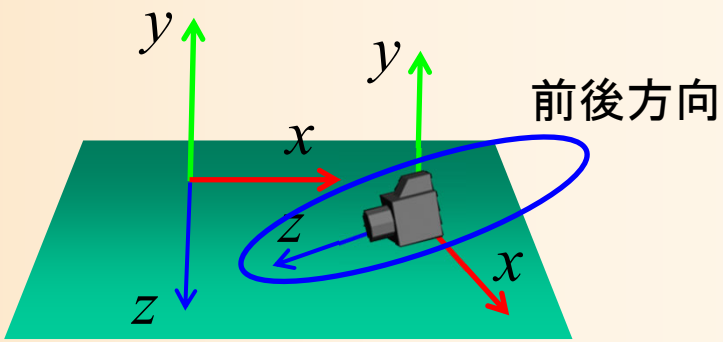
カメラの方向の求め方

- 現在の視野変換行列から取得する方法
  - 現在の視野変換行列を M とすると、ワールド座標系からみたカメラ座標系のZ軸（視点の前後方向のベクトル）は、 (Rz_x, Rz_y, Rz_z) になる
    - X軸（左右方向）も、同様の考え方で取得できる

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} Rx_x & Rx_y & Rx_z & x \\ Ry_x & Ry_y & Ry_z & y \\ Rz_x & Rz_y & Rz_z & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ワールド座標系の Z軸がカメラ座標系でどのようなベクトルになるか

カメラ座標系の Z軸がワールド座標系でどのようなベクトルになるか



プログラム

```
// 視点パラメタを更新（Walkthroughモード・媒介変数）
if ( mode == VIEW_WALKTHROUGH_PARAM )
{
    // 横方向の右ボタンドラッグに応じて、視点を水平方向に回転
    if ( delta_mouse_right_x != 0 )
    {
        // 視点操作1（Dolly Mode）と同じ
    }
    // 左ボタンドラッグに応じて、視点を前後左右に移動（カメラの向きを基準とした前後左右）
    if ( ( delta_mouse_left_x != 0 ) || ( delta_mouse_left_y != 0 ) )
    {
        // 左右の移動量、前後の移動量を設定
        float  dx = delta_mouse_left_x * 0.1;
        float  dz = delta_mouse_left_y * 0.1;

        // 現在の変換行列（カメラの向き）を取得
        float  m[ 16 ];
        glGetFloatv( GL_MODELVIEW_MATRIX, m );

        // ワールド座標系でのカメラの移動量を計算
        view_center_x +=  [      ?      ] ;
        view_center_z +=  [      ?      ] ;
    }
}
```

カメラの左右方向

$$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 8 & 12 \\ 1 & 5 & 9 & 13 \\ 2 & 6 & 10 & 14 \\ 3 & 7 & 11 & 15 \end{pmatrix}$$

カメラの前後方向

レポート課題

レポート課題

	媒介変数	直接更新
方法1：Dolly	サンプル	サンプル
方法2：Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3：Walkthrough	レポート課題	レポート課題

レポート課題

- 視点操作方法２・方法３を実現するプログラムを作成せよ
  1. 視点操作方法2（Scroll）・媒介変数
  2. 視点操作方法3（Walkthrough ）・直接更新
  3. 視点操作方法2（Scroll）・直接更新
  4. 視点操作方法3（Walkthrough）・媒介変数
  - サンプルプログラム（view_sample.cpp）をもとに作成したプログラムを提出
  - Moodleの本講義のコースから提出
  - 締切：Moodleの提出ページを参照

レポート課題 提出方法

Moodleから、以下の２つのファイルを提出

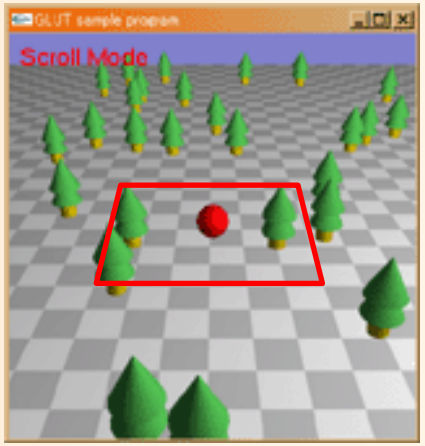
- 作成したプログラム（テキスト形式）
  - view_sample.cpp
- 変更箇所のみを書き出したレポート（PDF）
  - 本講義のウェブサイトで公開している LaTeX のテンプレートをもとに、作成する
    - LaTeX の環境設定方法は、Moodleの説明を参照
    - LaTeX が使えない場合は、別のソフトウェアを使って作成しても構わないが、テンプレートと同様の様式・内容になるようにする

レポート課題 演習問題

- レポート課題の提出に加えて、レポート課題の理解度を確認するための Moodle 演習問題にも解答する
  - 解答締切は、レポート提出と同じ
  - レポート課題のヒントにもなっているので、レポート課題で分からない箇所があれば、演習問題の説明・選択肢を参考にして考えても良い
  - 締切後に解答が表示されるので確認する
    - レポート課題では、正しく動作するプログラムが提出されていれば、演習問題の正答の通りのプログラムが作成されていなくとも構わない

より高度な視点制御

- 媒介変数の計算方法を工夫
- 例：注視点の細かい移動を防ぐ
  - 対象物が少し動くだけでも、視点が追従して動くため、見にくい
    → 対象物の位置変化が一定範囲を超えたときにのみ視点位置を変更



- 例：視点の角度を自動調節
  - 視点を注視点から離すと、全体を俯瞰して見られるように、自動的に視点の仰角を大きくする

まとめ

- 前回のサンプルプログラムの視点処理（復習）
- 視点操作のプログラム
- 視点操作方法１（Dolly Mode）
  - 媒介変数を使う方法
  - 変換行列を直接更新する方法
- 視点操作方法２（Scroll Mode）
- 視点操作方法３（Walkthrough Mode）
- レポート課題

次回予告

- 幾何形状データの読み込み
  - 幾何形状データ
  - ファイル形式
  - データ構造と描画処理
  - ファイル読み込み処理の作成
    - Cによる実装
    - C++による実装
    - 頂点配列の利用