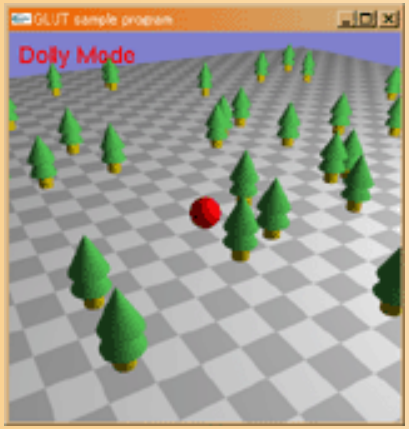
コンピュータグラフィックス特論 II

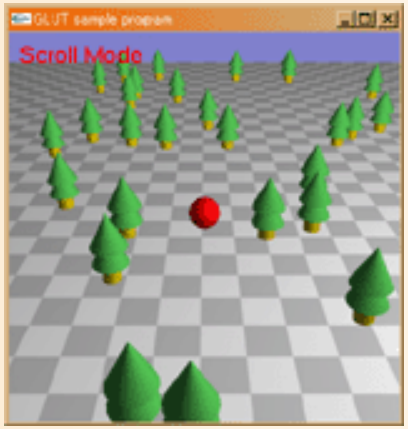
第3回　視点操作

九州工業大学　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・方向から見ることのできる機能
  - 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

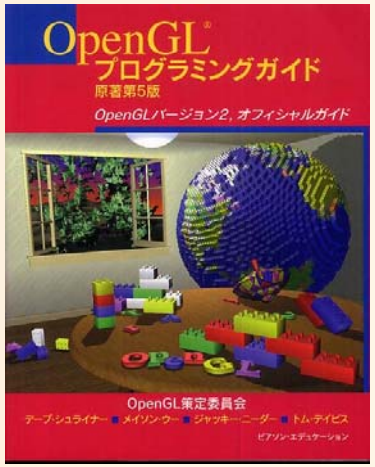




今日の内容

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

参考書



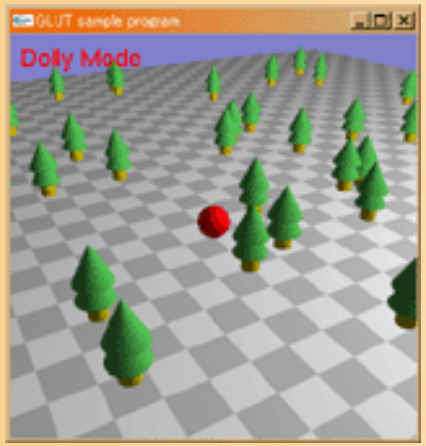
- 最低限の関数の使い方は資料を用意
- OpenGLの定番の本（高い）
  - OpenGLプログラミングガイド（赤本）, 12,000円
  - OpenGLリファレンスマニュアル（青本）, 8,300円
    - ピアソン・エデュケーション出版
- グラフィックスS（システム創成3年前期）演習資料
  - http://www.cg.ces.kyutech.ac.jp/lecture/cg/
  - OpenGLの使い方を段階的に学べるチュートリアル
  - OpenGLに不慣れな人は一通り試しておくことを推奨
- 適当な入門書
  - 他にもOpenGLの入門書は多数ある

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）
- 具体例はデモプログラムを参照

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

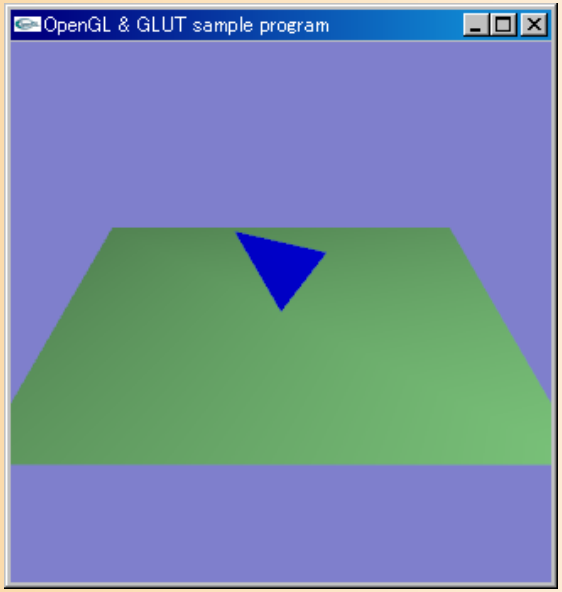


視点操作の実現方法(復習)

サンプルプログラムの視点操作

サンプルプログラム

- OpenGL＋GLUT のサンプルプログラム
  - 地面と1枚の青い三角形が表示される
  - OpenGL と GLUT の基本的な使い方を説明するためのプログラム



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

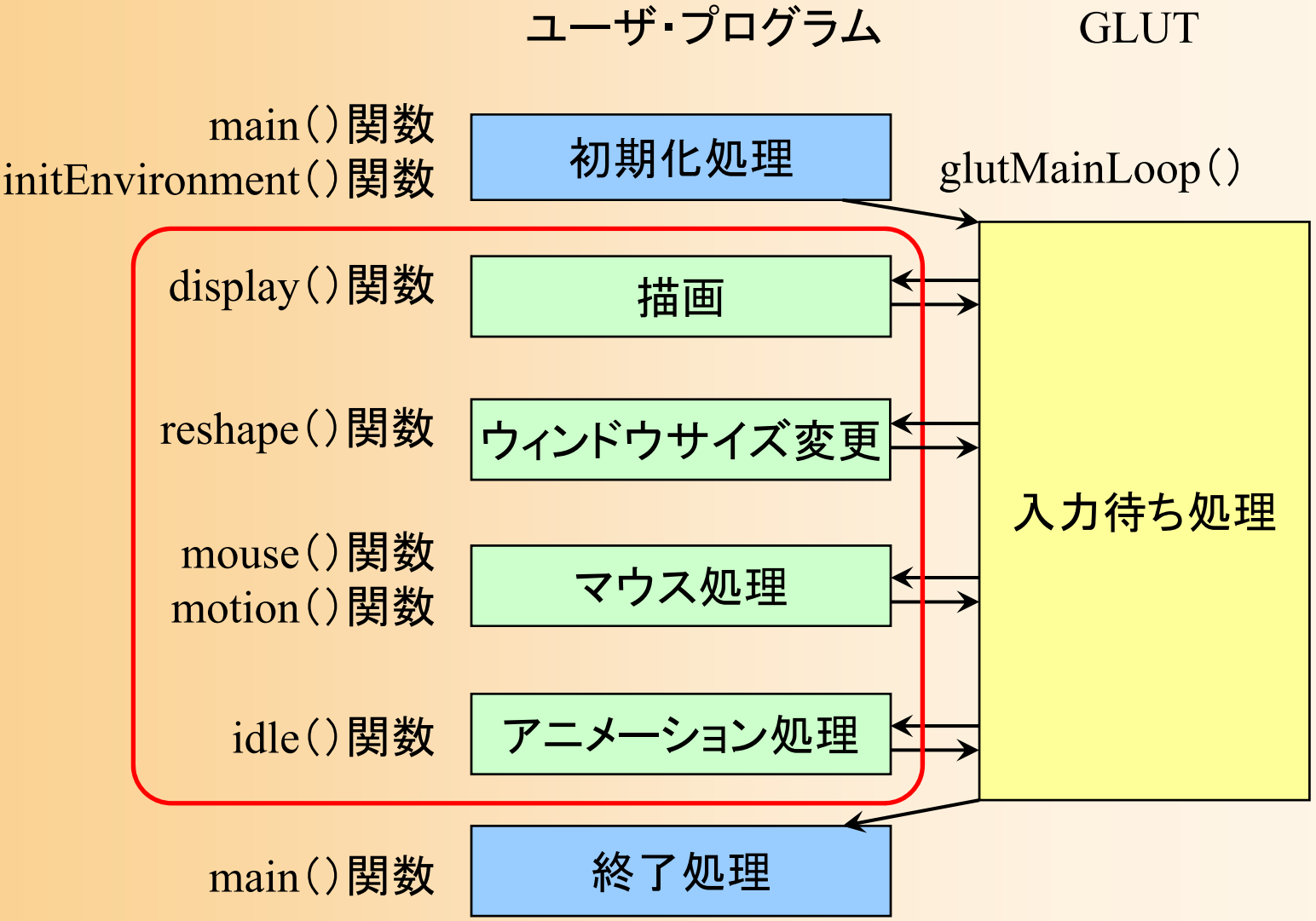
- カメラの回転角度を表す変数 camera_pitch を定義
- マウス操作に応じて、camera_pitch の値を変化
- camera_pitch に応じて、変換行列を設定

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）



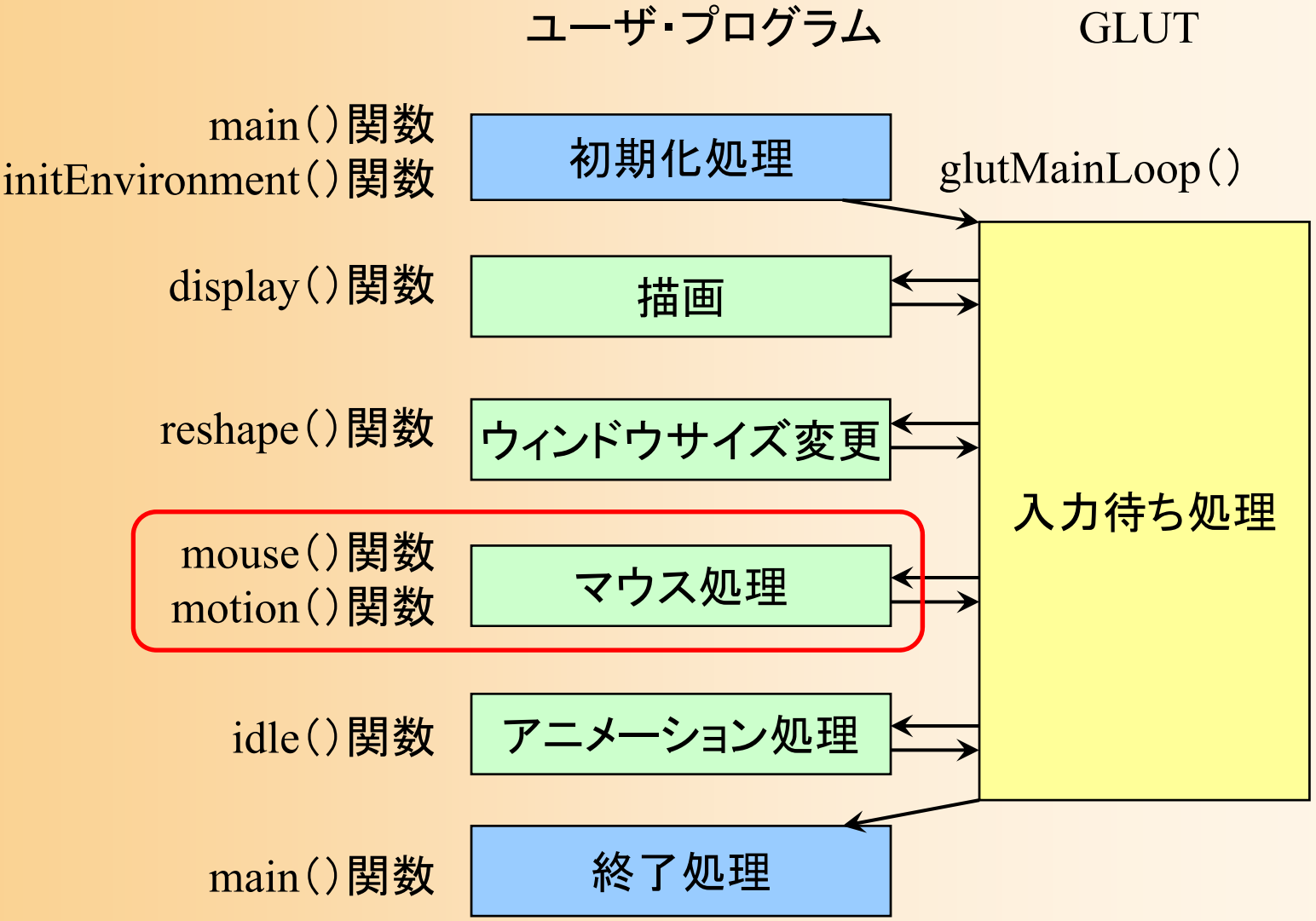
コールバック関数(1)(復習)

- 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)

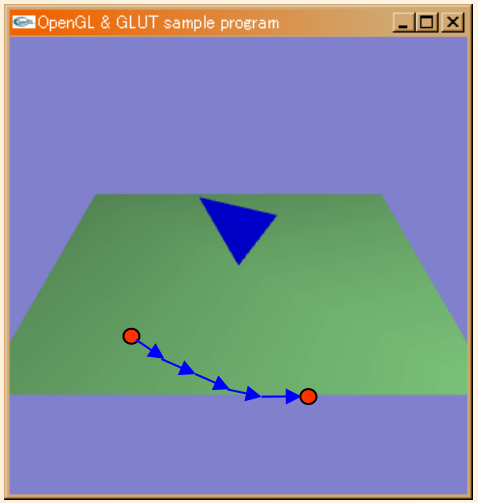
- マウスクリック・コールバック関数 mouse()
  - マウスのボタンが押されたとき、離されたときに呼ばれる
  - 本プログラムでは、右ボタンの押下状態を記録
- マウスドラッグ・コールバック関数 motion()
  - マウスがウィンドウ上でドラッグされたときに呼ばれる
  - 本プログラムでは、右ドラッグされたときに、視点の回転角度を変更
- アイドル・コールバック関数 idle()
  - 処理が空いた時に定期的に呼ばれる
  - 本プログラムでは、現在は何の処理も行っていない

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
  - 視点の方位角 camera_pitch を変化
    - 前回と今回のマウス座標の差から計算

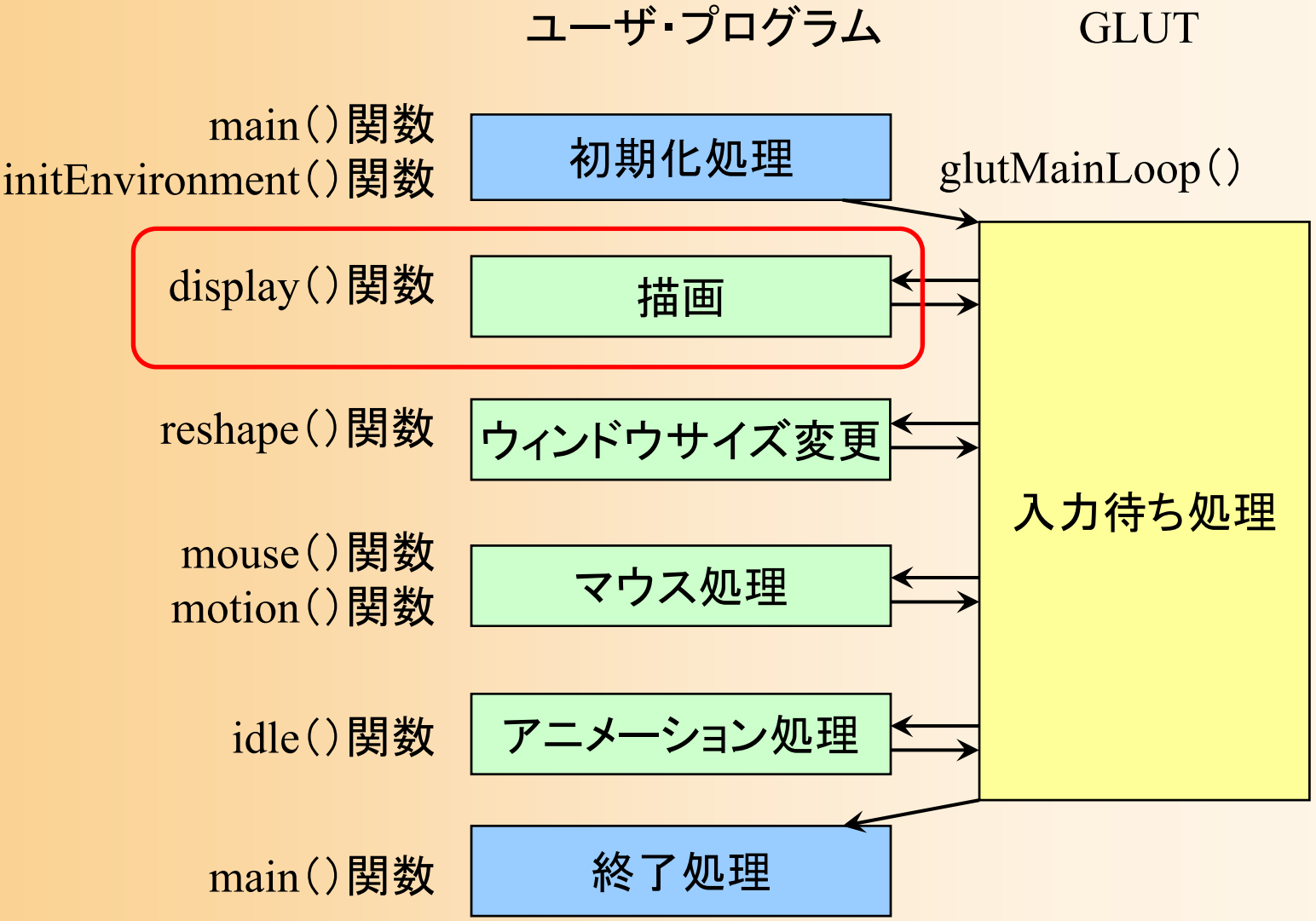
```
void  motion( int mx, int my )
{
        // 右ボタンのドラッグ中であれば、
        // マウスの移動量に応じて視点を回転する
        if ( drag_mouse_r == 1 )
        {
                // マウスの縦移動に応じてX軸を中心に回転
                camera_pitch -= ( my - last_mouse_y ) * 1.0;
                if ( camera_pitch < -90.0 )
                        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
  - 視点の方位角 camera_pitch の変化に応じて、画面を再描画するため

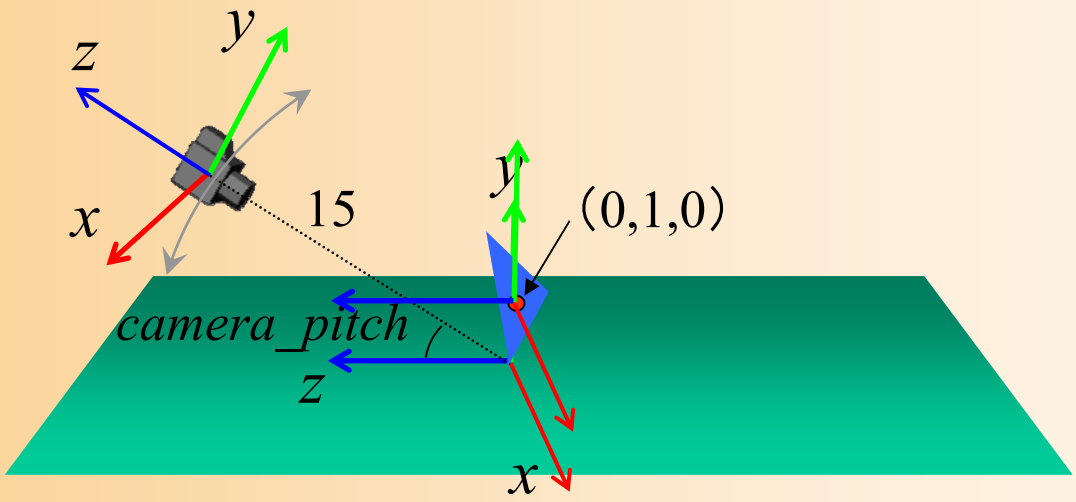
```
        // 今回のマウス座標を記録
        last_mouse_x = mx;
        last_mouse_y = my;

        // 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_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

③ ②

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-camera\_pitch) & -\sin(-camera\_pitch) & 0 \\ 0 & \sin(-camera\_pitch) & \cos(-camera\_pitch) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

① ワールド座標系→カメラ座標系　モデル座標系→ワールド座標系

  - 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

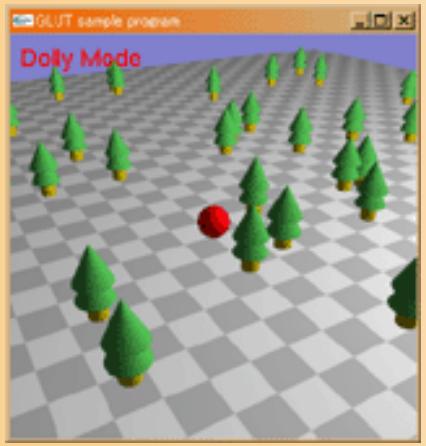
視点操作の実現方法

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）
- 具体例はサンプルプログラム参照

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ソースファイル
  - 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）

変換行列の計算方法

- 方法1：媒介変数を利用（変換行列を設定）
  - カメラ情報を媒介変数として記録しておく
  - 毎回、媒介変数にもとづいて、変換行列を設定
- 方法2：マウス操作時に変換行列を直接更新
  - カメラ情報を変換行列として記録しておく
  - 毎回、変換行列に変化分をかけて更新する

  - どちらの方法でも同じ視点移動が実現可能
  - 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()
    - 初期化時、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
- 媒介変数
  - 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）
- 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)

- 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 );
   }
}
```

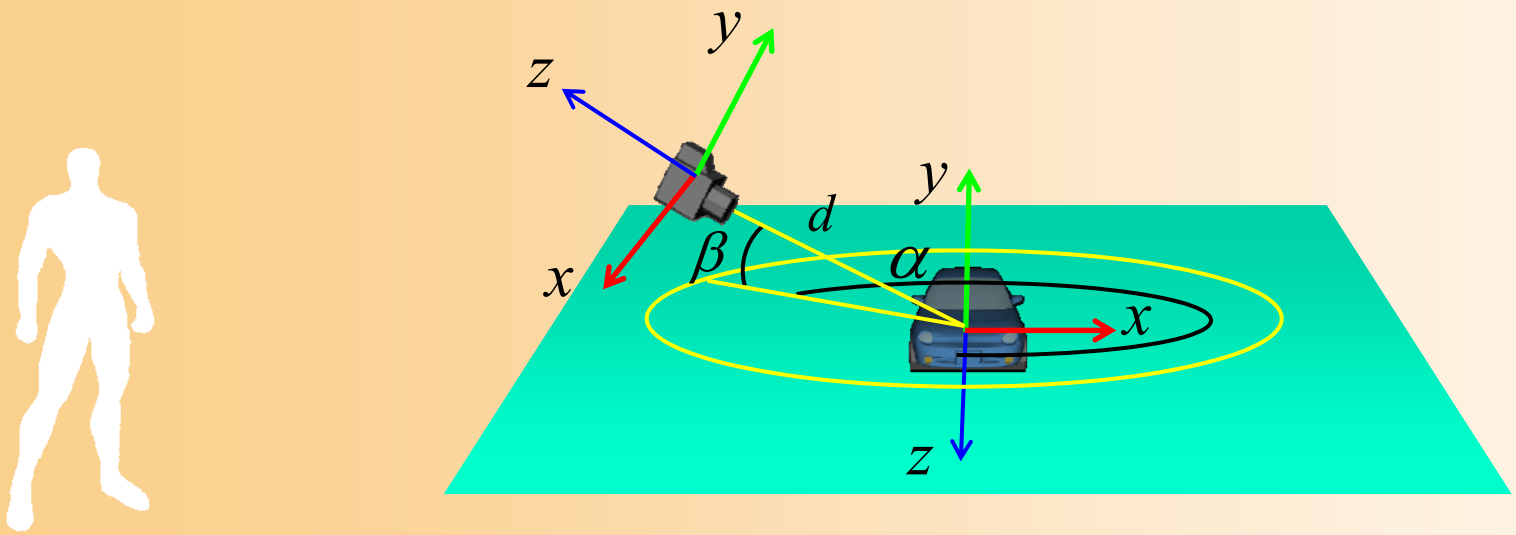
視点操作の実現方法

	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

変換行列の計算の例

- 方法1での視点操作の例での変換行列

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



媒介変数による変換行列の計算

- 媒介変数を利用した変換行列の計算
  - この視点操作方法は、こちらの方が簡単
  - 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
  - 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;
}
```

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、適切に変換行列をかける
    - 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

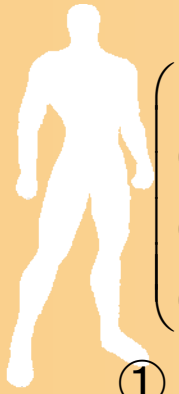
$$\underset{①}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{②}{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) & 0 \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \underset{③}{\begin{pmatrix} \cos(-\alpha)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

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(2)

- 変換行列を直接更新する方法(続き)
  - $\Delta\alpha$
    - 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）のが簡単
  - 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）のが簡単



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

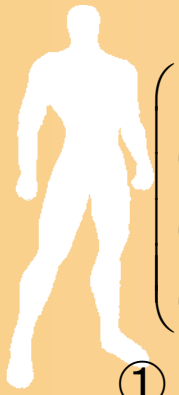
プログラム(2)

- 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(2)

- 変換行列を直接更新する方法(続き)
  - 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）のが簡単
    - 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 Δd 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



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

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 );
}
```

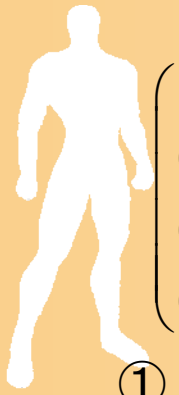
OpenGLに現在設定されている変換行列を取得

(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(3)

- 変換行列を直接更新する方法(続き)
  - Δβ(かなりややこしくなる)
    - サンプルプログラム(②の位置に回転行列を挿入)
      - まず、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)
      - 現在の変換行列から、左側の平行移動成分をキャンセル
      - 今回の回転変換(Δβ)と、最初に取得した平行移動成分を左側からかける



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

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;

    ....
```

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

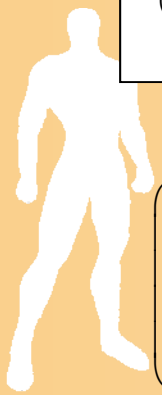
現在の変換行列から、左側の平行移動成分を取得

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)

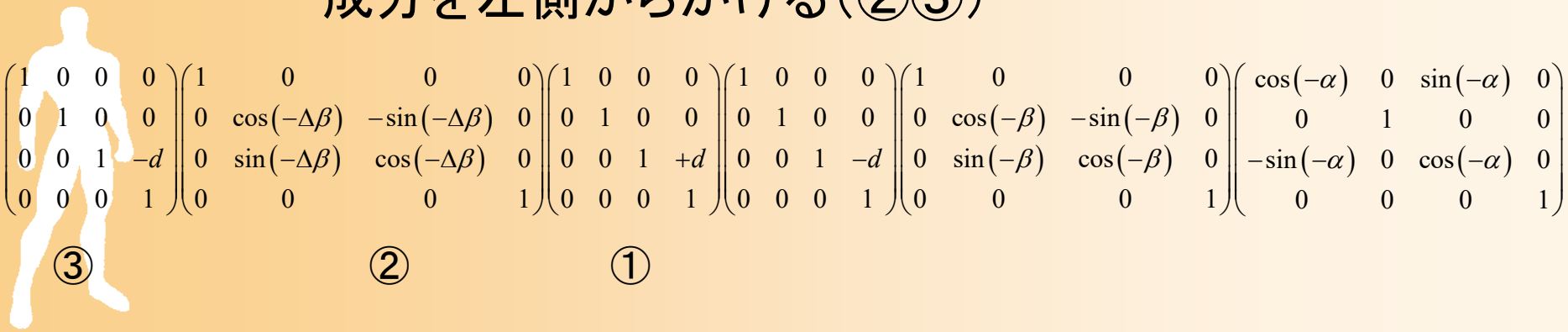
```
    // 変換行列を初期化
    glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
    glLoadIdentity();

    // 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 );
  }
```



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

変換行列を直接更新する方法(4)

- この処理を数式で表すと下記のようになる
  - まず、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)
  - 現在の変換行列から、左側の平行移動成分をキャンセル(①)
  - 今回の回転変換(Δβ)と、最初に取得した平行移動成分を左側からかける(②③)



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
    - きちんとやろうとすると、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、微少の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

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

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

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

- 以下の説明を参考に、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

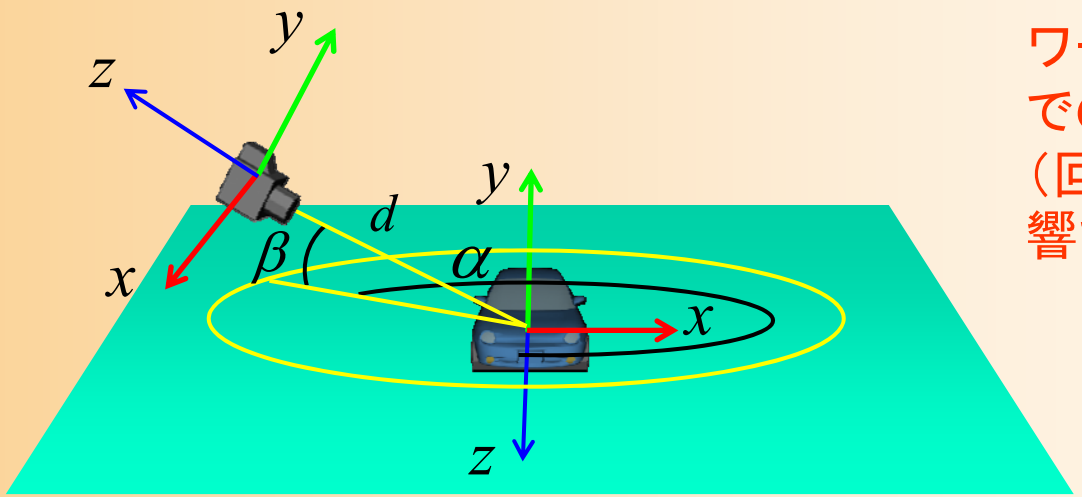
	媒介変数	直接更新
方法1: Dolly	サンプル	サンプル
方法2: Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3: Walkthrough	レポート課題	レポート課題

方法2の変換行列

- 方法2（Scroll Mode）の変換行列の例
  - 仰角 $pitch$、注視点の位置(x, y, z)、dist, y は固定

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

カメラ座標系での移動を表す（回転変換は影響しない）



ワールド座標系での移動を表す（回転変換が影響する）

媒介変数による方法

- 視点の上下方向の回転
  - 視点操作方法1（Dolly Mode）と同様、上下方向の回転角度 *pitch* を変化させれば良い
    - 範囲の制限も入れる
- 注視点の平行移動
  - 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
  - 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
    - 方位角の変化が入るときの説明は、方法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 ) )
      {
            // 左右方向の移動量、前後方向の移動量を設定
            float  dx = delta_mouse_left_x * 0.1;
            float  dz = delta_mouse_left_y * 0.1;

            // ワールド座標系でのカメラの移動量を計算
            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
      }
   }
```

視点操作の実現方法

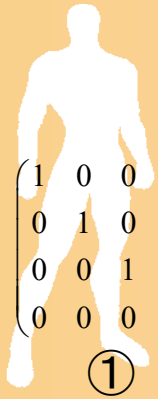
	媒介変数	直接更新
方法1: Dolly	サンプル	サンプル
方法2: Scroll	レポート課題	レポート課題
方法3: Walkthrough	レポート課題	レポート課題

変換行列を直接更新する方法(1)

- 平行移動
  - 現在の行列に、右から平行移動をかける

$$\begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&-\mathrm{dist}\\0&0&0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&\cos(-pitch)&-\sin(-pitch)&0\\0&\sin(-pitch)&\cos(-pitch)&0\\0&0&0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0&0&x\\0&1&0&y\\0&0&1&z\\0&0&0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0&0&\Delta x\\0&1&0&0\\0&0&1&\Delta z\\0&0&0&1\end{pmatrix}$$

- 回転
  - 右または左の平行移動を一旦キャンセルして、回転行列をかける(どちらでも結果は同じ)



$$\begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&-\mathrm{dist}\\0&0&0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&\cos(-\Delta pitch)&-\sin(-\Delta pitch)&0\\0&\sin(-\Delta pitch)&\cos(-\Delta pitch)&0\\0&0&0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&\mathrm{dist}\\0&0&0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&-\mathrm{dist}\\0&0&0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&\cos(-pitch)&-\sin(-pitch)&0\\0&\sin(-pitch)&\cos(-pitch)&0\\0&0&0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0&0&x\\0&1&0&y\\0&0&1&z\\0&0&0&1\end{pmatrix}$$

① ② ③

変換行列を直接更新する方法(2)

- 回転を実現するためのプログラム

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\mathrm{dist} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{①} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\Delta pitch) & -\sin(-\Delta pitch) & 0 \\ 0 & \sin(-\Delta pitch) & \cos(-\Delta pitch) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{②} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \mathrm{dist} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{③} \mathbf{M}$$

  - 現在の変換行列(M)を記録
  - 変換行列を単位行列で初期化
  - ①～③を順番にかける
    - OpenGLでは、glTranslate() や glRotate() は、現在の行列に右から行列をかけることに注意
  - 最初に記録した変換行列(M)を右からかける

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・媒介変数)
   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 = delta_mouse_left_x * 0.1f;
         float  dz = delta_mouse_left_y * 0.1f;

         // 現在の変換行列の右側に、今回の平行移動をかける
         glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
         glTranslatef(      ?      );

         // 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;
      }
```

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 );

    // 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 ];

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

    // 平行移動行列を設定(注視点から離れる方向の平行移動をかける)
    glTranslatef( 0.0f, 0.0f, -view_distance );

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

プログラム(3)

```
    // 平行移動行列を設定(注視点から離れる方向の平行移動をかける)
①   glTranslatef( 0.0f, 0.0f, -view_distance );

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

    // 平行移動行列をかける(もとの変換行列の注視点から離れる方向の平行移動をキャンセル)
③   glTranslatef( 0.0f, 0.0f, ？ );

    // さらに、右側に、もとの変換行列をかける
    glMultMatrixf( m );
  }
}
```

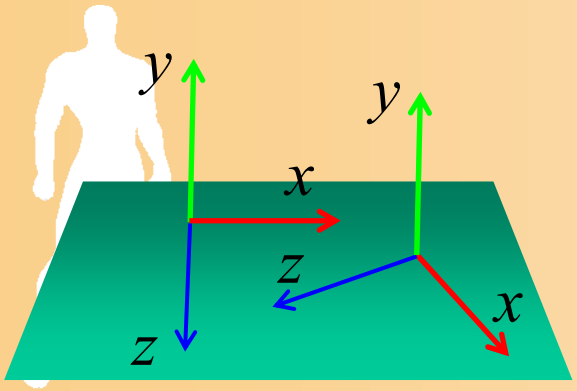

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\mathrm{dist} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{①} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\Delta pitch) & -\sin(-\Delta pitch) & 0 \\ 0 & \sin(-\Delta pitch) & \cos(-\Delta pitch) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{②} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \mathrm{dist} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{③} \mathbf{M}$$

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

方法3の変換行列

- 方法3（Walkthrough Mode）の変換行列の例
  - 方位角 yaw、注視点の位置(x, y, z)、y は固定
  - ただし、移動時に、カメラからみて前後左右に移動しなければならないことに注意
    - 例えば、右に移動するときに、単純に x を足すのではなく、ちょうど真横に移動するように x, z を修正する



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

ワールド座標系での移動を表す

方法3の変換行列

- 変換行列を直接更新する方法
  - カメラの移動・回転を考慮した変換行列は、以下のように考えられる
    - 移動・回転成分を現在の変換行列に左側からかける

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

  - カメラ座標系でみた今回の視点変化分

$$(\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta x, \Delta y, \Delta z)$$

    を現在の変換行列にかけるだけで計算できる
  - こちらの方法の方が簡単

変換行列を直接更新する方法

- 平行移動
  - 左から平行移動行列をかける

カメラ座標系での移動を表す（回転変換は影響しない）

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

- 回転
  - 左から回転変換行列をかける

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

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();

        // 今回の回転行列を設定
        glRotatef( ？ , 0.0, 1.0, 0.0 );

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

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();

        // 今回の平行移動行列を設定
        glTranslatef(      ?      );

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

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

- 回転
  - マウス操作に応じて、yaw を変化させれば良い
- 移動
  - ちょうど視点が前後・左右に動くように、x, z を修正する必要がある
  - ワールド座標系での、カメラ座標系でのx,y軸を求める必要がある
    - モデルビュー行列から求めることもできるし、
    - 三角関数を使って自分で計算することもできる

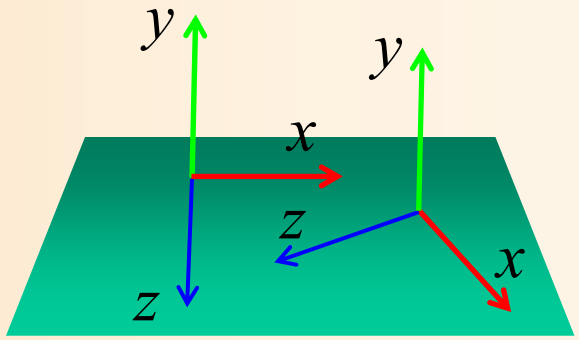
補足:カメラの向きの求め方

- モデルビュー行列から求める方法
  - 現在の変換行列を A とすると、ワールド座標系からみたカメラのZ軸(カメラの前後移動方向のベクトル)は、(Rz_x, Rz_y, Rz_z) になる

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

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_y +=  [                 ] ;
        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

	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：4月23日（月）18:00（厳守）

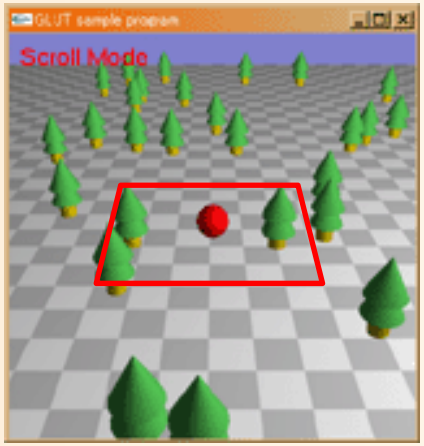
レポート課題 提出方法

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）
- 変更箇所のみを抜き出したレポート（PDF）
  - Moodle に公開している 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になるようにする

より高度な視点制御

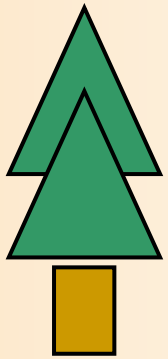
- 媒介変数の計算方法を工夫
- 例：注視点の細かい移動を防ぐ
  - 対象物が少し動くだけでも視点位置が追従して動くと見にくい
    → 対象物の位置変化が一定範囲を超えたときにのみ視点位置を変更



- 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、自動的に視線の角度を大きくする

おまけ：木の描画

- OpenGL の円柱を描画する関数を使うと、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



まとめ

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

次回予告

- 幾何形状データの読み込みと管理
  - 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