コンピューターグラフィックスS

第7回　演習(2):ポリゴンモデルの描画

システム創成情報工学科　尾下 真樹

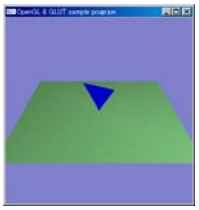
今日の内容

- 前回の演習の復習
- 前回の復習
- ポリゴンの描画方法(復習)
- 基本オブジェクトの描画
- ポリゴンモデルの描画
- 演習課題

前回の演習の復習

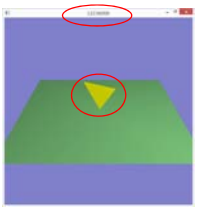
サンプルプログラム

- opengl_sample.c
  - 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



前回の演習課題

1. コンパイル・実行できることを確認する
2. プログラムを修正して、以下の修正を行う
   - ウィンドウのタイトルに、自分の学生番号が表示されるようにする
   - 三角形の色を、青から黄に変更する
3. 修正が終わったら、Moodleからプログラムを提出

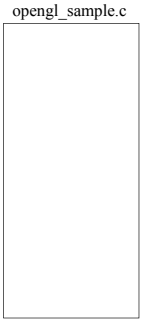


演習資料(3種類)(確認)

- 演習資料(OpenGL演習)
  - この資料に従って、プログラムを拡張していく
  - 次回以降の分の説明は、逐次追加する
- コンパイル方法の説明資料
  - コンパイル方法の詳しい説明
  - CL端末や自宅での方法も一応説明
- OpenGL関数 簡易リファレンス
  - OpenGLの関数を簡単に説明した資料

サンプルプログラムの構成

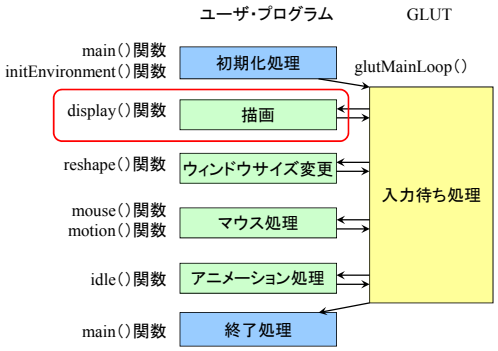
- グローバル変数の定義
- コールバック関数
  - display()
  - reshape()
  - mouse()
  - motion()
  - idle()
- initEnvironment()
- main()



OpenGLの関数

- gl～ で始まる関数
  - OpenGLの標準関数
- glu～ で始まる関数
  - OpenGL Utility Library の関数
  - OpenGLの関数を内部で呼んだり、引数を変換したりすることで、使いやすくした補助関数
- glut～ で始まる関数
  - GLUT(OpenGL Utility Toolkit)の関数
  - 正式にはOpenGL標準ではない

サンプルプログラムの構成

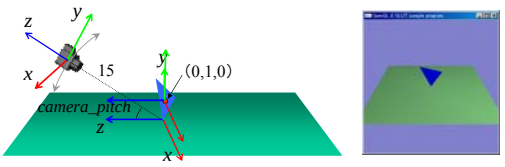


描画関数の流れ

```
//
//  ウィンドウ再描画時に呼ばれるコールバック関数
//
void  display( void )
{
        // 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)
        // 変換行列を設定(ワールド座標系→カメラ座標系)
        // 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)
        // 地面を描画
        // 変換行列を設定(物体のモデル座標系→カメラ座標系)
        // 物体(1枚のポリゴン)を描画
        // バックバッファに描画した画面をフロントバッファに表示
}
```

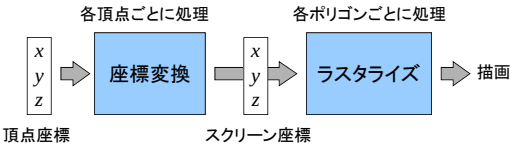
今回の演習

- 前回のプログラムの描画処理を、1枚のポリゴンの代わりに、ポリゴンモデルを描画するように変更
- 変換行列については、基本的に変更しない（詳しくは後日の講義で勉強してから）



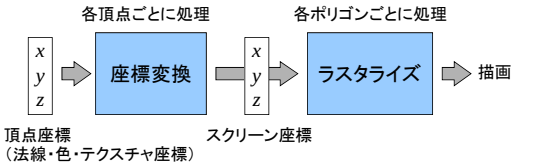
前回の復習

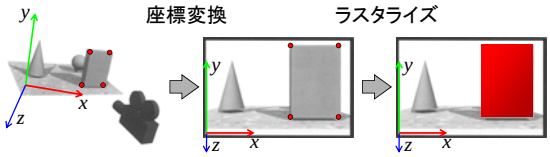
レンダリング・パイプライン



- レンダリング・パイプライン
  - 入力されたデータを、流れ作業（パイプライン）で処理し、順次、画面に描画
  - 3次元空間のポリゴンのデータ（頂点データの配列）を入力
  - いくつかの処理を経て、画面上に描画される

処理の流れ





教科書 基礎知識 図2-21

レンダリング

- Zバッファ法によるレンダリング
  - 基本的には、OpenGLが自動的にZバッファ法を用いたレンダリングを行うので、自分のプログラムでは特別な処理は必要ない
  - 最初に、Zテストを有効にするように、設定する必要がある

```
void  initEnvironment( void )
{
        ……
        // Zテストを有効にする
        glEnable( GL_DEPTH_TEST );
        ……
}
```

ポリゴンの描画

- glBegin() ～ glEnd() 関数を使用

```
glBegin( 図形の種類 );
        この間に図形を構成する頂点データを指定
glEnd();
```

※ 頂点データの指定では、一つの関数で、図形を構成する頂点の座標・色・法線などの情報の一つを指定

- 図形の種類（各種の点・線・面が指定可能）
  - GL_POINTS（点）、GL_LINES（線分）、GL_TRIANGLES（三角面）、GL_QUADS（四角面）、GL_POLYGON（ポリゴン）、他

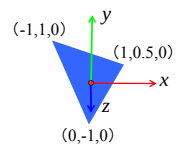
頂点データの指定

- glColor3f(r, g, b)
  - これ以降の頂点の色を設定
- glNormal3f(nx, ny, nz)
  - これ以降の頂点の法線を設定
- glVertex3f(x, y, z)
  - 頂点座標を指定
  - 色・法線は、最後に指定したものが使用される

ポリゴンの描画の例（1）

- 1枚の三角形を描画
  - 各頂点の頂点座標、法線、色を指定して描画
  - ポリゴンを基準とする座標系（モデル座標系）で頂点位置・法線を指定

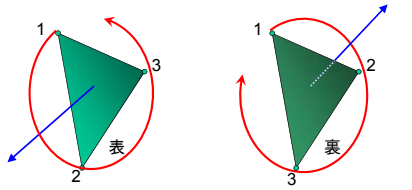
```
glBegin( GL_TRIANGLES );
        glColor3f( 0.0, 0.0, 1.0 );
        glNormal3f( 0.0, 0.0, 1.0 );
        glVertex3f(-1.0, 1.0, 0.0 );
        glVertex3f( 0.0,-1.0, 0.0 );
        glVertex3f( 1.0, 0.5, 0.0 );
glEnd();
```



GL_TRIANGLES が指定されているので、3つの頂点をもとに、1枚の三角面を描画（6つの頂点が指定されたら、2枚描画）

ポリゴンの向き

- 頂点の順番により、ポリゴンの向きを決定
  - 表から見て反時計回りの順序で頂点を与える
  - 視点と反対の向きでなら描画しない（背面除去）
    - 頂点の順序を間違えると、描画されないので、注意



基本オブジェクトの描画

基本オブジェクトの描画

- GLUTには、基本的なポリゴンモデルを描画する関数が用意されている
  - 立方体、球、円すい、16面体、円環体、ティーポット、等
  - あらかじめ用意されたポリゴンモデルを描画
- 例：glutWireCube()，glutSolidCube()
  - それぞれ、ワイヤーフレームとポリゴンモデルで立方体を描画する関数

立方体の描画

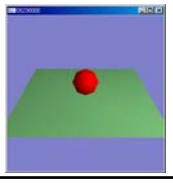
- glutSolidCube(*size*)を使って立方体を描画

```
void  display( void )
{
        ……
        // 変換行列を設定（物体のモデル座標系→カメラ座標系）
        //（物体が (0.0, 1.0, 0.0) の位置にあり、静止しているとする）
        glTranslatef( 0.0, 1.0, 0.0 );
/*
        ポリゴンの描画はコメントアウト
*/
        // 立方体を描画
        glColor3f( 1.0, 0.0, 0.0 );
        glutSolidCube( 1.5f );
        ……
}
```

球の描画

- glutSolidSphere(*radius*, *slices*, *stacks*)
  - 球をポリゴンモデルで近似して描画
  - どれだけ細かいポリゴンで近似するかを、引数 *slices*, *stacks* で指定可能
    - 引数の値を変えて、ポリゴンモデルの変化を確認

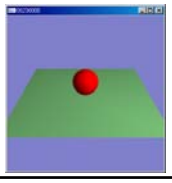
```
void  display( void )
{
        ……
        // 球を描画
        glColor3f( 1.0, 0.0, 0.0 );
        glutSolidSphere( 1.0, 8, 8 );
        ……
}
```



球の描画

- glutSolidSphere(*radius*, *slices*, *stacks*)
  - 球をポリゴンモデルで近似して描画
  - どれだけ細かいポリゴンで近似するかを、引数 *slices*, *stacks* で指定可能
    - 引数の値を変えて、ポリゴンモデルの変化を確認

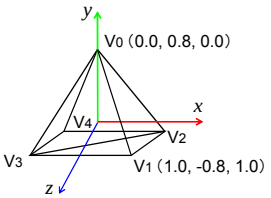
```
void  display( void )
{
        ……
        // 球を描画
        glColor3f( 1.0, 0.0, 0.0 );
        glutSolidSphere( 1.0, 16, 16 );
        ……
}
```



ポリゴンモデルの描画

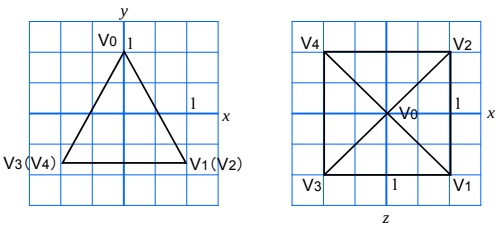
四角すいの描画

- 四角すいを構成する頂点と三角面
  - 頂点座標
  - 面の頂点、面の法線



三角面	法線
{ V0, V3, V1 }	{ 0.0, 0.53, 0.85 }
{ V0, V2, V4 }	{ 0.0, 0.53, -0.85 }
{ V0, V1, V2 }	{ 0.85, 0.53, 0.0 }
{ V0, V4, V3 }	{ -0.85, 0.53, 0.0 }
{ V1, V3, V2 }	{ 0.0, -1.0, 0.0 }
{ V4, V2, V3 }	{ 0.0, -1.0, 0.0 }

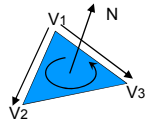
三面図



※ yz平面は省略

面の法線の計算方法

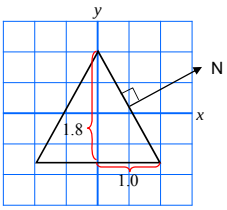
- ポリゴンの2辺の外積から計算できる



$N = (V_3 - V_1) \times (V_2 - V_1)$

長さが 1 になるよう正規化

- 断面で考えれば、もっと簡単に法線は求まる



ポリゴンモデルの描画方法

- いくつかの描画方法がある
  - プログラムからOpenGLに頂点データを与える方法として、いろいろなやり方がある
- 形状データの表現方法の違い
  - 頂点データのみを使う方法と、頂点データ＋面インデックスデータを使う方法がある
  - 後者の方が、データをコンパクトにできる
- OpenGLへのデータの渡し方の違い
  - OpenGLの頂点配列の機能を使うことで、より高速に描画できる

ポリゴンモデルの描画方法

- 方法1: glVertex() 関数に直接頂点座標を記述
  - 頂点データ(直接記述)、頂点ごとに渡す
- 方法2: 頂点データの配列を使用
  - 頂点データ、頂点ごとに渡す
- 方法3: 頂点データと面インデックスの配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、頂点ごとに渡す
- 方法4: 頂点配列を使用
  - 頂点データ、OpenGLにまとめて渡す
- 方法5: 頂点配列と面インデックス配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、OpenGLにまとめて渡す

ポリゴンモデルの描画方法

- 方法1: glVertex() 関数に直接頂点座標を記述
  - 頂点データ(直接記述)、頂点ごとに渡す
- 方法2: 頂点データの配列を使用
  - 頂点データ、頂点ごとに渡す
- 方法3: 頂点データと面インデックスの配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、頂点ごとに渡す
- 方法4: 頂点配列を使用
  - 頂点データ、OpenGLにまとめて渡す
- 方法5: 頂点配列と面インデックス配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、OpenGLにまとめて渡す

方法1 最も基本的な描画方法

- サンプルプログラムと同様の描画方法
  - glVertex() 関数の引数に直接頂点座標を記述
  - ポリゴン数×各ポリゴンの頂点数の数だけglVertex()関数を呼び出す

四角すいの描画(1)

- 四角すいを描画する新たな関数を追加

```
void  renderPyramid1()
{
        glBegin( GL_TRIANGLES );
                // +Z方向の面
                glNormal3f( 0.0, 0.53, 0.85 );
                glVertex3f( 0.0, 1.0, 0.0 );
                glVertex3f(-1.0,-0.8, 1.0 );
                glVertex3f( 1.0,-0.8, 1.0 );

                ……
                以下、残りの7枚分のデータを記述
                ……
        glEnd();
}
```

四角すいの描画(2)

- 描画関数から四角すいの描画関数を呼び出し
  - 修正の場所を間違えないように注意
  - renderPyramid()関数では色は指定されていないので、呼び出す前に色を設定している

```
void  display( void )
{
        ……
        // 角すいの描画
        glColor3f( 1.0, 0.0, 0.0 );
        renderPyramid1();
        ……
}
```

ポリゴンモデルの描画方法

- 方法1: glVertex() 関数に直接頂点座標を記述
  - 頂点データ(直接記述)、頂点ごとに渡す
- 方法2: 頂点データの配列を使用
  - 頂点データ、頂点ごとに渡す
- 方法3: 頂点データと面インデックスの配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、頂点ごとに渡す
- 方法4: 頂点配列を使用
  - 頂点データ、OpenGLにまとめて渡す
- 方法5: 頂点配列と面インデックス配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、OpenGLにまとめて渡す

方法2 頂点データの配列を使用

- 配列を使う方法
  - 頂点データを配列として定義しておく
  - glVertex() 関数の引数として配列データを順番に与える
- 利点
  - モデルデータが配列になってるので扱いやすい

頂点データの配列を使用(1)

- 配列データの定義

```
// 全頂点数
const int  num_full_vertices = 18;

// 全頂点の頂点座標
static float  pyramid_full_vertices[][ 3 ] = {
   { 0.0, 1.0, 0.0 }, {-1.0,-0.8, 1.0 }, { 1.0,-0.8, 1.0 },
   ・・・・
   {-1.0,-0.8,-1.0 }, { 1.0,-0.8,-1.0 }, {-1.0,-0.8, 1.0 } };

// 全頂点の法線ベクトル
static float  pyramid_full_normals[][ 3 ] = {
   { 0.00, 0.53, 0.85 }, { 0.00, 0.53, 0.85 }, { 0.00, 0.53, 0.85 },
   ・・・・
   { 0.00,-1.00, 0.00 }, { 0.00,-1.00, 0.00 }, { 0.00,-1.00, 0.00 } };
```

頂点データの配列を使用(2)

- 各頂点の配列データを呼び出す

```
void  renderPyramid2()
{
        int  i;
        glBegin( GL_TRIANGLES );
        for ( i=0; i<num_full_vertices; i++ )
        {
                glNormal3f( pyramid_full_normals[i][0],
                            pyramid_full_normals[i][1],
                            pyramid_full_normals[i][2] );
                glVertex3f( pyramid_full_vertices[i][0],
                            pyramid_full_vertices[i][1],
                            pyramid_full_vertices[i][2] );
        }
        glEnd();
}
```

各頂点ごとに繰り返し

法線・頂点を指定（i番目の頂点のデータを指定）

頂点データの配列を使用(3)

- 描画関数から描画関数を呼び出し
  - 新しく追加した方の関数を使って描画するように修正
  - 実行結果の画像は変化しないことを確認

```
void  display( void )
{
        ・・・・・・
        // 角すいの描画
        glColor3f( 1.0, 0.0, 0.0 );
//      renderPyramid1();
        renderPyramid2();
        ・・・・・・
}
```

ポリゴンモデルの描画方法

- 方法1: glVertex() 関数に直接頂点座標を記述
  - 頂点データ(直接記述)、頂点ごとに渡す
- 方法2: 頂点データの配列を使用
  - 頂点データ、頂点ごとに渡す
- 方法3: 頂点データと面インデックスの配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、頂点ごとに渡す
- 方法4: 頂点配列を使用
  - 頂点データ、OpenGLにまとめて渡す
- 方法5: 頂点配列と面インデックス配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、OpenGLにまとめて渡す

ここまでの方法の問題点

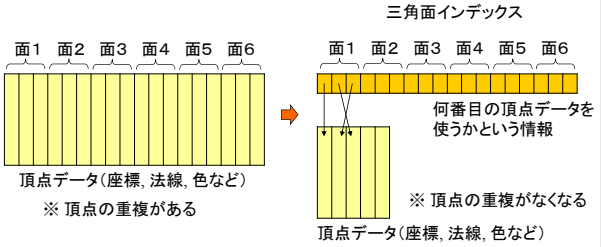
- 別の問題点
  - ある頂点を複数のポリゴンが共有している時、各ポリゴンごとに同じ頂点のデータを何度も記述する必要がある
    - 例：四角すいの頂点数は5個だが、これまでの方法では、三角面数6×3個＝18個の頂点を記述する必要がある
  - OpenGLは、与えられた全ての頂点に座標変換などの処理を適用するので、同じモデルを描画する時でも、なるべく頂点数が少ない方が高速

方法3 三角面インデックスを使用

- 頂点とポリゴンの情報を別々の配列に格納
  - 頂点データの数を最小限にできる
- 描画関数では、配列のデータを順に参照しながら描画
- 必要な配列(サンプルプログラムの例)
  - 頂点座標(x,y,z)×頂点数
  - 三角面を構成する頂点番号(v0,v1,v2)×三角面数
  - 三角面の法線(x,y,z)×三角面数

三角面インデックス

- 頂点データの配列と、三角面インデックスの配列に分けて管理する



配列を使った四角すいの描画(1)

- 配列データの定義

```
const int  num_pyramid_vertices = 5;    // 頂点数
const int  num_pyramid_triangles = 6;   // 三角面数

// 角すいの頂点座標の配列
float  pyramid_vertices[ num_pyramid_vertices ][ 3 ] = {
        { 0.0, 1.0, 0.0 }, { 1.0,-0.8, 1.0 }, { 1.0,-0.8,-1.0 }, ・・・・・・
};

// 三角面インデックス(各三角面を構成する頂点の頂点番号)の配列
int  pyramid_tri_index[ num_pyramid_triangles ][ 3 ] = {
        { 0,3,1 }, { 0,2,4 }, { 0,1,2 }, { 0,4,3 }, { 1,3,2 }, { 4,2,3 }
};

// 三角面の法線ベクトルの配列(三角面を構成する頂点座標から計算)
float  pyramid_tri_normals[ num_pyramid_triangles ][ 3 ] = {
        { 0.00, 0.53, 0.85 }, // +Z方向の面
        ・・・・・・
```

配列を使った四角すいの描画(2)

- 配列データを参照しながら三角面を描画

```
void  renderPyramid3()
{
    int  i, j, v_no;
    glBegin( GL_TRIANGLES );
    for ( i=0; i<num_pyramid_triangles; i++ )
    {
        glNormal3f( pyramid_tri_normals[i][0],・・[i][1],・・ [i][2] );
        for ( j=0; j<3; j++ )
        {
            v_no = pyramid_tri_index[ i ][ j ];
            glVertex3f( pyramid_vertices[ v_no ][0], ・・・[ v_no ][1], ・・・
        }
    }
    glEnd();
}
```

各三角面ごとに繰り返し
三角面の各頂点ごとに繰り返し
面の法線を指定(i番目の面のデータを指定)
頂点番号を取得(i番目の面のj番目の頂点が、何番目の頂点を使うかを取得)
頂点座標を指定(v_no番目の頂点のデータを指定)

配列を使った四角すいの描画(3)

- 描画関数から描画関数を呼び出し
  - 新しく追加した方の関数を使って描画するように修正
  - 実行結果の画像は変化しないことを確認

```
void  display( void )
{
        ・・・・・・
        // 角すいの描画
        glColor3f( 1.0, 0.0, 0.0 );
//      ・・・・・・
        renderPyramid3();
        ・・・・・・
}
```

ポリゴンモデルの描画方法

- 方法1: glVertex() 関数に直接頂点座標を記述
  - 頂点データ(直接記述)、頂点ごとに渡す
- 方法2: 頂点データの配列を使用
  - 頂点データ、頂点ごとに渡す
- 方法3: 頂点データと面インデックスの配列を使用
  - 頂点データ+面インデックス、頂点ごとに渡す
- 方法4: 頂点配列を使用
  - 頂点データ、OpenGLにまとめて渡す
- 方法5: 頂点配列と面インデックス配列を使用
  - 頂点データ+面インデックス、OpenGLにまとめて渡す

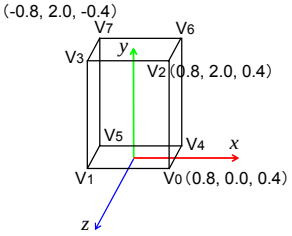
頂点配列を使った描画方法

- 頂点配列
  - 配列データを一度に全部 OpenGL に渡して描画を行う機能
  - 頂点ごとに OpenGL の関数を呼び出して、個別にデータを渡す必要がなくなる
    - 渡すデータの量は同じでも、余分なオーバーヘッドを省けるため、処理を高速化できる
    - モバイル端末用の OpenGL ES では、この頂点配列を使った描画しかできない(glVertex()は使えない)
- 詳細は、本日の演習では省略

別のポリゴンモデルの描画

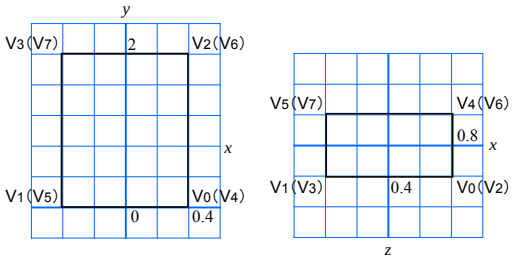
直方体の描画

- 別のポリゴンモデル（直方体）の描画
  - 1枚は空欄にしているので、各自、適切な頂点番号を考えて追加する



四角面	法線
{ V2, V3, V1 , V0 }	{ 0.0, 0.0, 1.0 }
{ V7, V6, V4 , V5 }	{ 0.0, 0.0, -1.0 }
{ V2, V0, V4 , V6 }	{ 1.0, 0.0, 0.0 }
{ V3, V7, V5 , V1 }	{ -1.0, 0.0, 0.0 }
{ ? }	{ ? }
{ V0, V1, V5 , V4 }	{ 0.0, -1.0, 0.0 }

三面図



※ yz平面は省略

配列を使った直方体の描画（1）

- 描画方法
  - 方法3を使用
  - 法線や色の情報は、面ごとに指定
  - 三角面の代わりに、四角面を使用する

ポリゴンモデルの描画方法（確認）

- 方法1: glVertex() 関数に直接頂点座標を記述
  - 頂点データ（直接記述）、頂点ごとに渡す
- 方法2: 頂点データの配列を使用
  - 頂点データ、頂点ごとに渡す
- 方法3: 頂点データと面インデックスの配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、頂点ごとに渡す
- 方法4: 頂点配列を使用
  - 頂点データ、OpenGLにまとめて渡す
- 方法5: 頂点配列と面インデックス配列を使用
  - 頂点データ＋面インデックス、OpenGLにまとめて渡す

配列を使った直方体の描画（2）

- 配列データの定義
  - 四角面を使うので、各面の頂点数が4個になる

```
const int  num_cube_vertices = 8;    // 頂点数
const int  num_cube_quads = 6;       // 四角面数

// 頂点座標の配列
float  cube_vertices[ num_cube_vertices ][ 3 ] = {
        { 0.8, 0.0, 0.4 }, // 0
        ・・・・・・
        {-0.8, 2.0,-0.4 }, // 7
};

// 四角面インデックス（各四角面を構成する頂点の頂点番号）の配列
int  cube_index[ num_cube_quads ][ 4 ] = {
        { 2,3,1,0 }, { 7,6,4,5 }, { 2,0,4,6 }, { 3,7,5,1 },
        { ? }, { 0,1,5,4 }
};
```

配列を使った直方体の描画(3)

- 配列データの定義(続き)
  - 今回は各面の色も指定する

```
// 四角面の法線ベクトルの配列(四角面を構成する頂点座標から計算)
float  cube_normals[ num_cube_quads ][ 3 ] = {
        { 0.00, 0.00, 1.00 },
        { 0.00, 0.00,-1.00 },
        ・・・・・・
        { 0.00,-1.00, 0.00 } };

// 四角面のカラーの配列
float  cube_colors[ num_cube_quads ][ 3 ] = {
        { 0.00, 1.00, 0.00 },
        { 1.00, 0.00, 1.00 },
        ・・・・・・
        { 1.00, 1.00, 0.00 } };
```

配列を使った直方体の描画(4)

- 配列データを参照しながら四角面を描画

```
void  renderCube()
{
   int  i, j, v_no;
   glBegin( GL_QUADS );
   for ( i=0; i<num_cube_quads; i++ )
   {
      glNormal3f( cube_normals[i][0],・・[i][1],・・ [i][2] );
      glColor3f( cube_colors[i][0], ・・・[i][1], ・・・[i][2] );
      for ( j=0; j<4; j++ )
      {
         v_no = cube_index[ i ][ j ];
         glVertex3f( cube_vertices[v_no][0], ・・[v_no][1], ・・[v_no][2] );
      }
   }
   glEnd();
}
```

配列を使った直方体の描画(5)

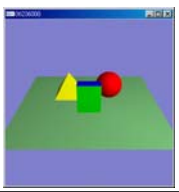
- 描画関数から直方体の描画関数を呼び出し
  - 色の指定は不要

```
void  display( void )
{
        ・・・・・・
        // 直方体を描画
        renderCube();
        ・・・・・・
}
```

演習課題

ポリゴンモデルの描画

- ここまでのポリゴンモデルをまとめて描画
  - 変換行列を利用して、3つのポリゴンモデルを同時に描画
    - 変換行列については、後日学習するので、今回は、サンプルプログラムをそのまま使用しておく
  - 右のスクリーンショットと同じ画面になるように、プログラムの空欄を埋める
- 前回の演習課題のプログラムをもとに変更を加える



ポリゴンモデルの描画

- ここまでのポリゴンモデルをまとめて描画
  - 変換行列を利用して、3つのポリゴンモデルを同時に描画

```
void  display( void )
{
        ・・・・・・
/*
        // 変換行列を設定(物体のモデル座標系→カメラ座標系)
        //(物体が (0.0, 1.0, 0.0) の位置にあり、静止しているとする)
        glTranslatef( 0.0, 1.0, 0.0 );

        これまでのポリゴンの描画はコメントアウト
*/
        ・・・・・・
```

```
        ……
        // 球を描画
        glPushMatrix();
                glTranslatef( 1.5, 1.0, -1.0 );
                glColor3f( 1.0, 0.0, 0.0 );
                ？
        glPopMatrix();

        // 角すいの描画
        glPushMatrix();
                glTranslatef( -1.5, 1.0, -1.0 );
                glColor3f( ？ );
                renderPyramid3();
        glPopMatrix();

        // 直方体の描画
        glPushMatrix();
                glTranslatef( 0.0, 0.0, 1.0 );
                renderCube();
        glPopMatrix();
        ……
}
```

演習課題の提出

- 前回と同じく、Moodleからプログラムを提出
  - ファイル名は、前回同様、学生番号.c とする
    - 間違えて前回のファイルを提出しないように注意する
- 講義時間中に提出できなかった人は、6月1日（月）18:00 までに提出
  - 演習問題と同様、成績に加える
    - 未完成のプログラムが提出されていれば、減点
  - 今回の演習課題ができていないと、次回以降の演習もできないため、必ず演習を行っておくこと

文字化けについての注意

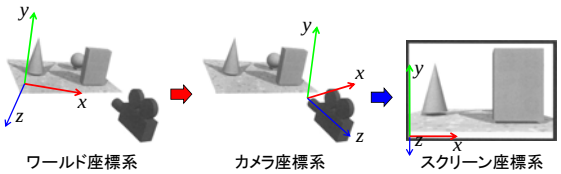
- 日本語の文字化けが生じることがある
  - プログラムのコメント中の日本語の文字化け
    - Moodleに提出したプログラムをダウンロードして編集
    - Windowsでファイルを編集
    - 文字コードの異なる他のソフトからコピー&ペーストなどのことを行うと生じる可能性がある
  - 文字化けした状態で保存すると、復元は不可能
- 文字化けのないプログラムを提出すること
  - 万一、文字化けが生じたら、途中で保存したファイルや最初のファイルまで戻って、やり直す

まとめ

- 前回の復習
- 前回の演習の復習
- ポリゴンの描画方法
- 基本オブジェクトの描画
- ポリゴンモデルの描画
- 演習課題

次回予告

- 座標変換
  - ワールド座標系（モデル座標系）で表された頂点座標を、スクリーン座標系での頂点座標に変換する



ワールド座標系　カメラ座標系　スクリーン座標系

演習問題

- プログラム演習を始める前に、Moodleの演習問題に回答すること
  - 本講義時間中しか回答できない
  - 回答は、講義終了後に表示される