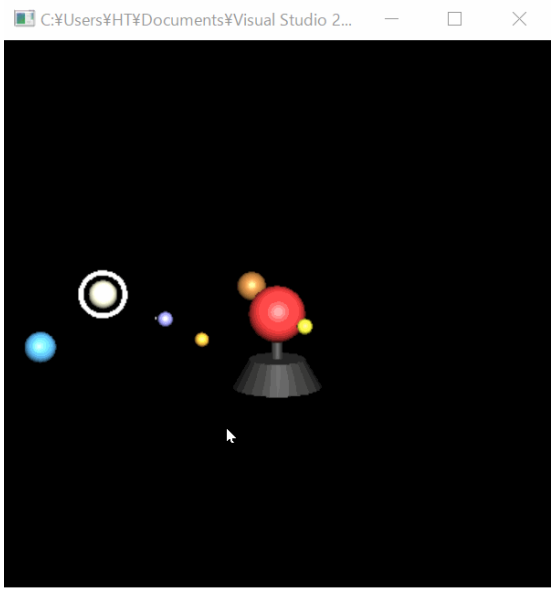
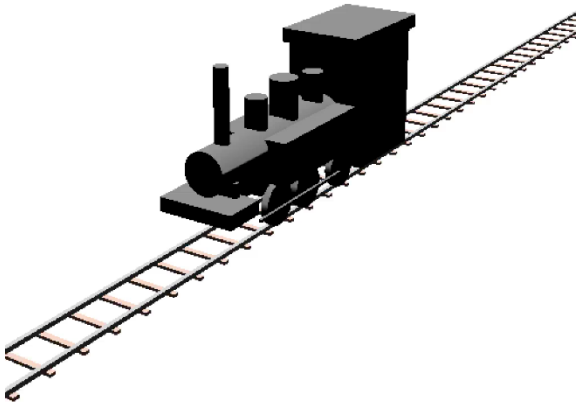
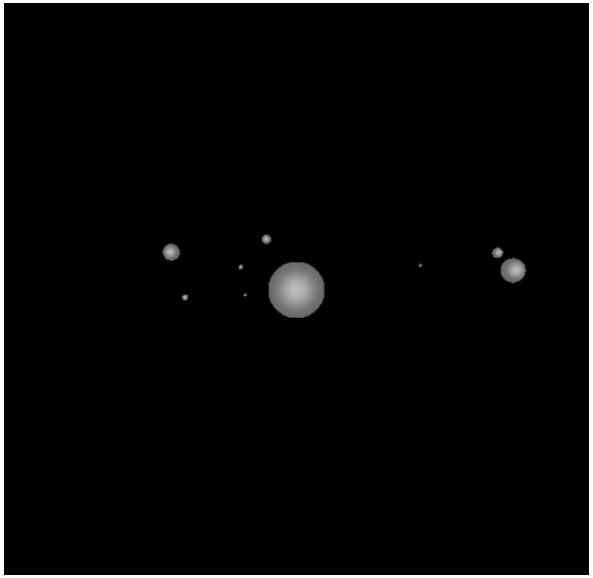
コンピュータグラフィックス基礎

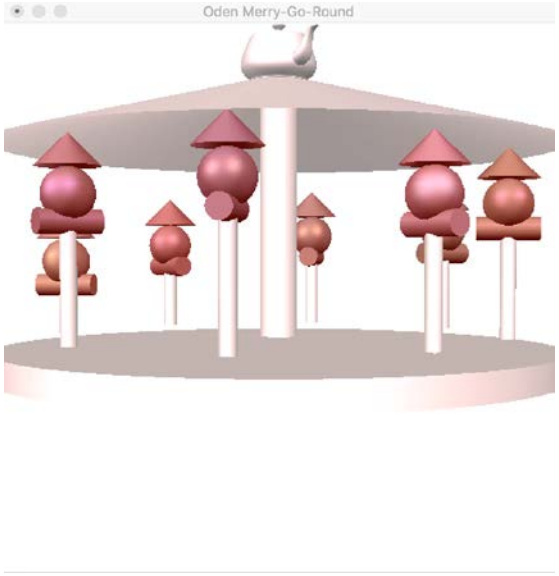
第 4 回 GLUT を使ったアプリケーション開発

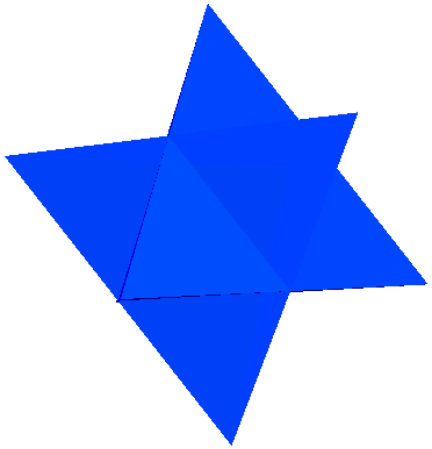
金森 由博

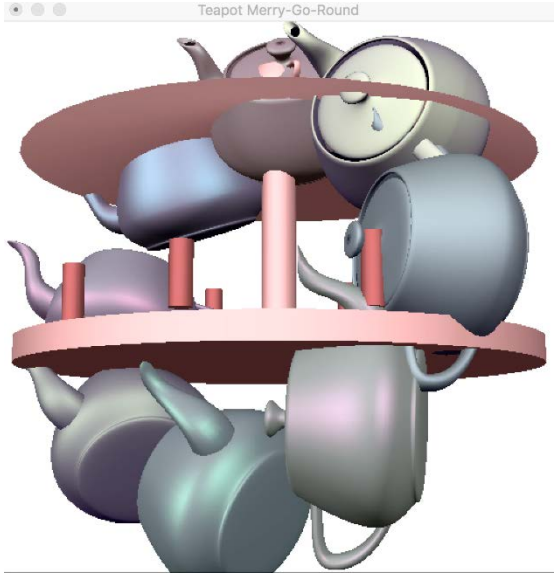

C:¥Users¥HT¥Documents¥Visual Studio 2...

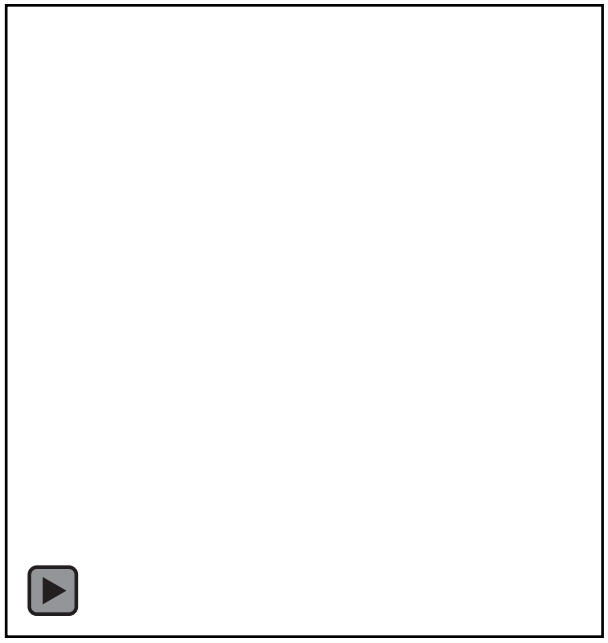


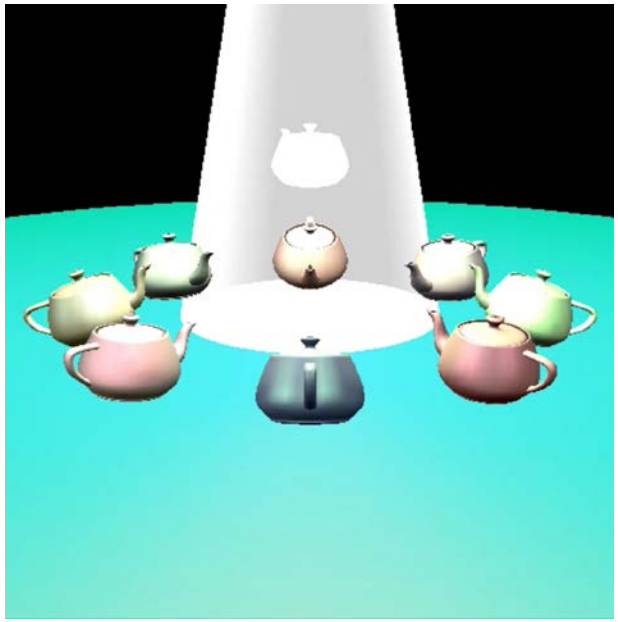


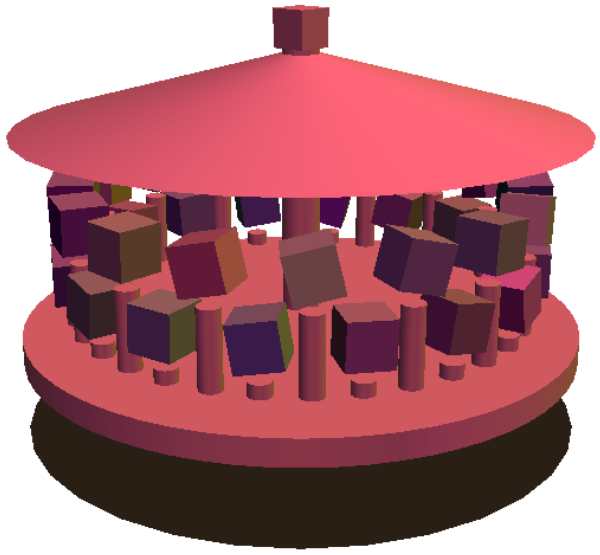

Oden Merry-Go-Round

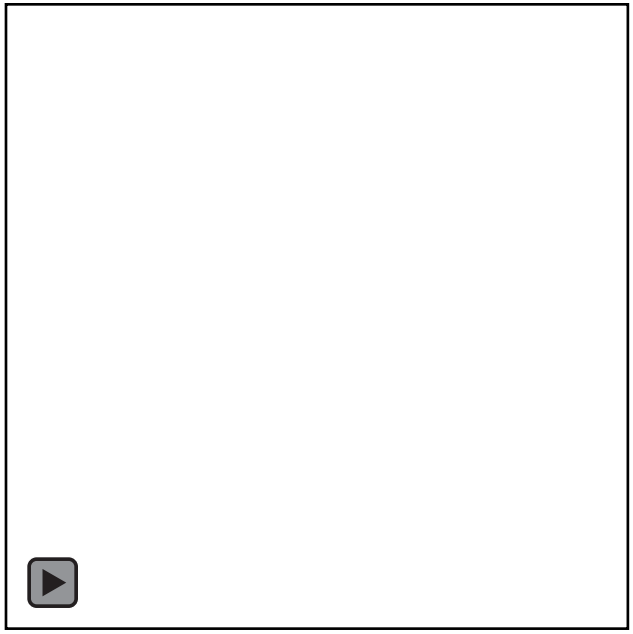


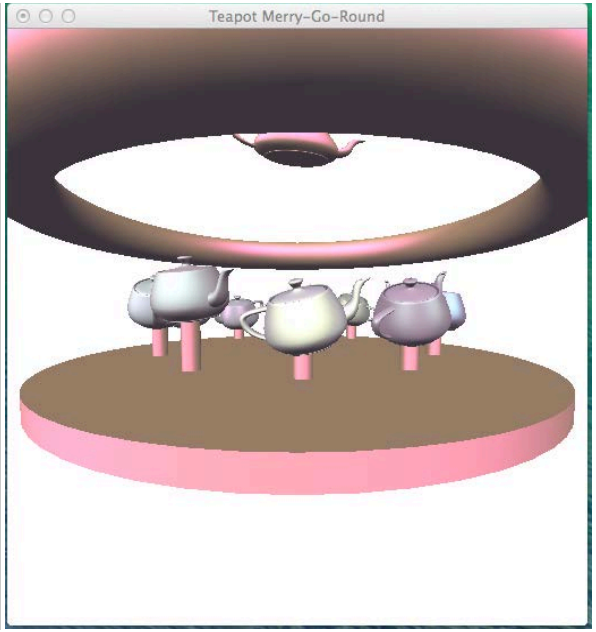

Teapot Merry-Go-Round









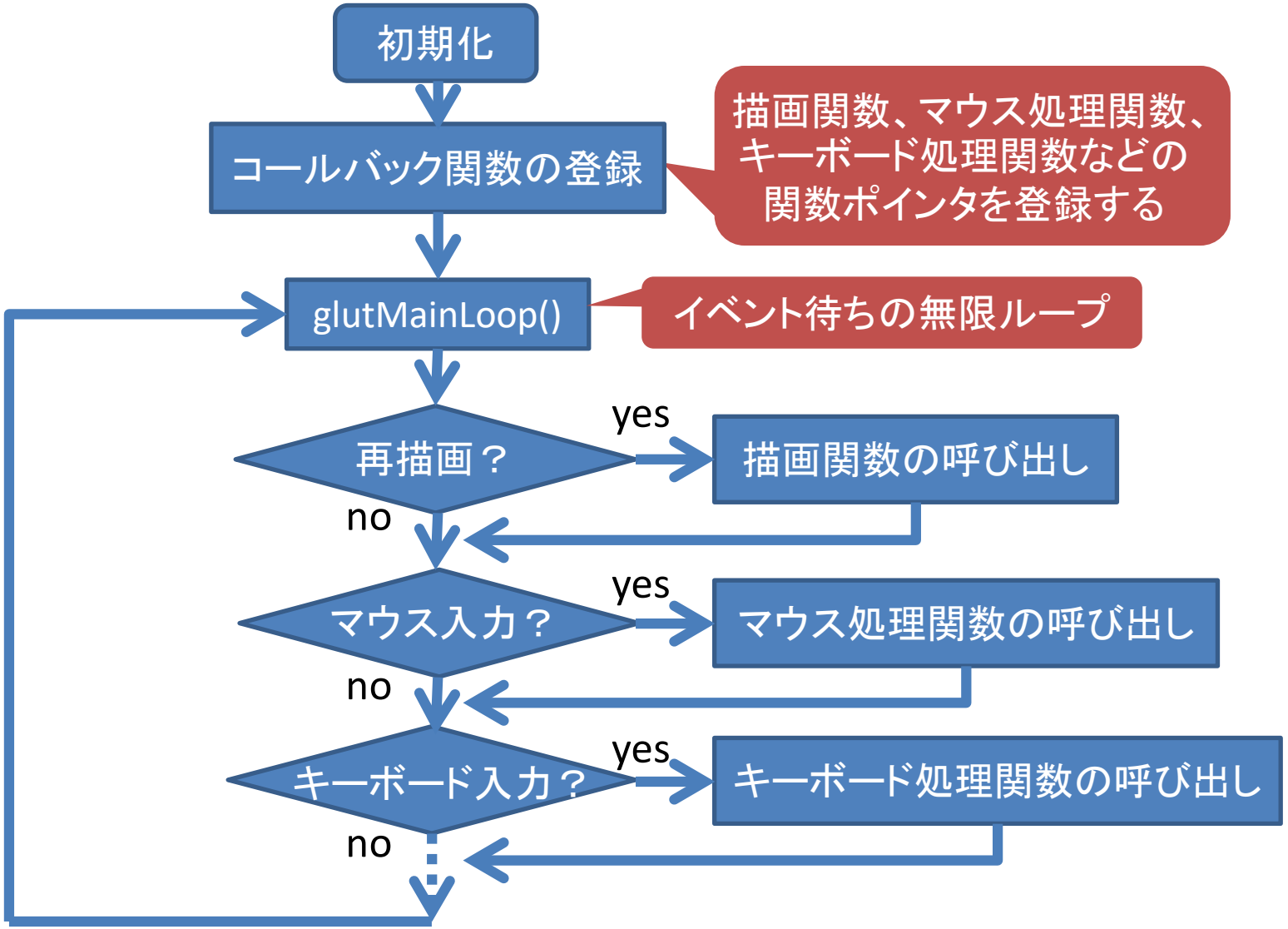

Teapot Merry-Go-Round

学習の目標

- GLUT のより高度な機能について理解する
- GLUT を用いた対話的なアプリケーションを作成できるようになる
- C++ の初歩的な機能について理解する

キーボードとマウスイベント

GLUT のイベント処理の仕組み



主なコールバック関数の登録関数

- glutDisplayFunc　　// 描画処理
- glutReshapFunc　　// 画面サイズ変更時の処理
- glutKeyboardFunc　// キーボード処理
- glutSpecialFunc　　// 特殊キー押下時の処理
- glutMouseFunc　　// マウスクリック時の処理
- glutMotionFunc　　// マウスドラッグ時の処理
- glutTimerFunc　　// タイマー処理

- その他は http://opengl.jp/glut/section07.html 参照

glutKeyboardFunc (キーボード処理)

```
void keyboard(unsigned char key, int x, int y){
 switch (key) {
   case ‘A’:
   case ‘a’:
     // キーボードの[A]が押されたときの処理
   break;
   case ‘B’:
   case ‘b’:
     // キーボードの[B]が押されたときの処理
   break;
     // 以下同様の case 文
    }
}
```

※ x,yの値はキーが押されたときのマウスカーソルの座標

```
glutKeyboardFunc(keyboard); // 関数ポインタの登録
```

glutSpecialFunc (特殊キー押下時の処理)

```
void special(int key, int x, int y)
// 中身は keyboard とほぼ同じ

glutSpecialFunc(special); // 関数ポインタの登録
```

引数 key で与えられる特殊キー

- GLUT_KEY_F1 ～ GLUT_KEY_F12　ファンクションキー
- GLUT_KEY_LEFT ～ GLUT_KEY_DOWN　カーソルキー
- GLUT_KEY_PAGE_UP, GLUT_KEY_PAGE_DOWN　Page Up/Down
- GLUT_KEY_HOME, GLUT_KEY_END　Home, End
- GLUT_KEY_INSERT　Insert

※Esc キー、Backspace キー、Delete キーは keyboard 関数で処理

Shift, Alt, Ctrl キーの押下チェック

```
if(glutGetModifiers() & GLUT_ACTIVE_SHIFT) {
	// Shift キーが押されている
}

if(glutGetModifiers() & GLUT_ACTIVE_ALT) {
	// Alt キーが押されている
}

if(glutGetModifiers() & GLUT_ACTIVE_CTRL) {
	// Ctrl キーが押されている
}
```

glutMouseFunc (マウスクリック時の処理)

```
void mouse(int button, int state, int x, int y)
// ※ (x,y) はクリックされた位置
// 画面の左上が原点、ピクセル数単位

glutMouseFunc(mouse); // 関数ポインタの登録
```

引数 button の種類

- GLUT_LEFT_BUTTON　　左ボタン
- GLUT_MIDDLE_BUTTON　　中央ボタン (3 ボタンマウスの場合)
- GLUT_RIGHT_BUTTON　　右ボタン

引数 state の種類

- GLUT_DOWN　　マウスのボタンが押された
- GLUT_UP　　マウスのボタンが離された

glutMotionFunc (マウスドラッグ時の処理)

```
void motion(int x, int y)
// ※ (x,y) はクリックされた位置で、
// 画面の左上が原点、ピクセル数単位

glutMotionFunc(motion); // 関数ポインタの登録
```

文字列の表示

文字列の表示

- フォントとサイズの 7 つの組み合わせから選ぶ
  GLUT_BITMAP_8_BY_13
  GLUT_BITMAP_9_BY_15
  GLUT_BITMAP_TIMES_ROMAN_10
  GLUT_BITMAP_TIMES_ROMAN_24
  GLUT_BITMAP_HELVETICA_10
  GLUT_BITMAP_HELVETICA_12
  GLUT_BITMAP_HELVETICA_18

例

```
glColor3f(1,0,0);   // 文字列の色の指定 ※照明計算は無効にする必要あり
char str[64];       // 描画したい文字列
sprintf(str, “(%03f, %03f, %03f)”, 10.f, 10.f, 10.f);
glRasterPos3f(10.f, 10.f, 10.f);   // 3 次元の描画開始位置
                                   // モデルビュー･透視投影行列の影響を受ける
for (unsigned i = 0; str[i] != '¥0'; i++)
   glutBitmapCharacter(GLUT_BITMAP_HELVETICA_12, str[i]);
```

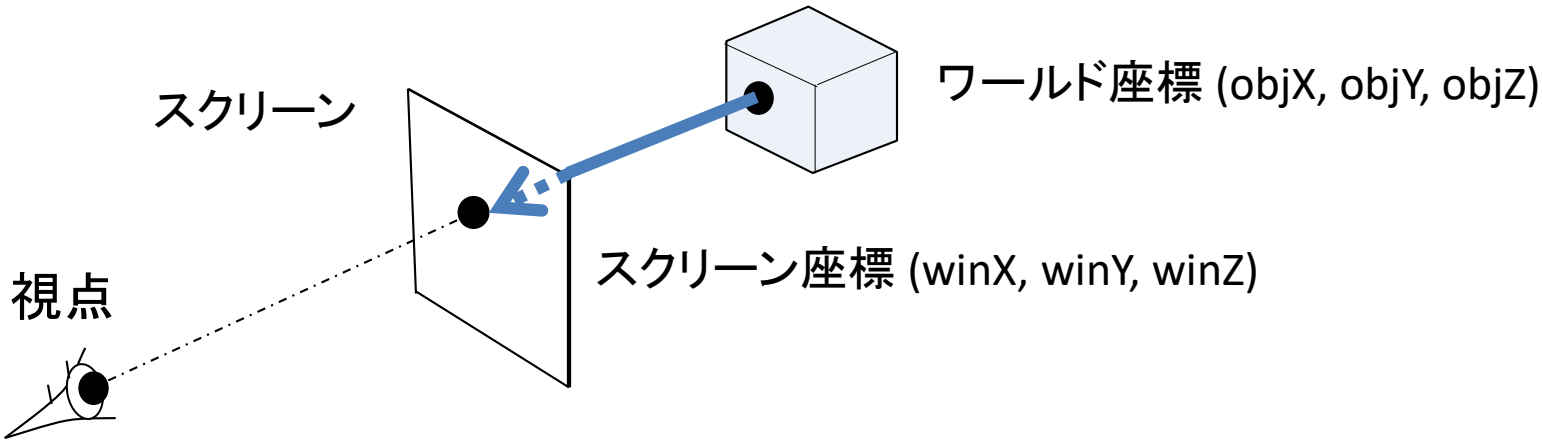
透視変換・逆透視変換とピッキング処理

gluProject

ワールド座標をスクリーン座標に変換

OpenGL の座標変換を特定の点に関して計算

```
gluProject(objX, objY, objZ,    // ワールド座標
           model,               // モデルビュー行列
           proj,                // 透視投影行列
           view,                // ビューポート
           winX, winY, winZ)    // スクリーン座標
```



gluProject の使用例

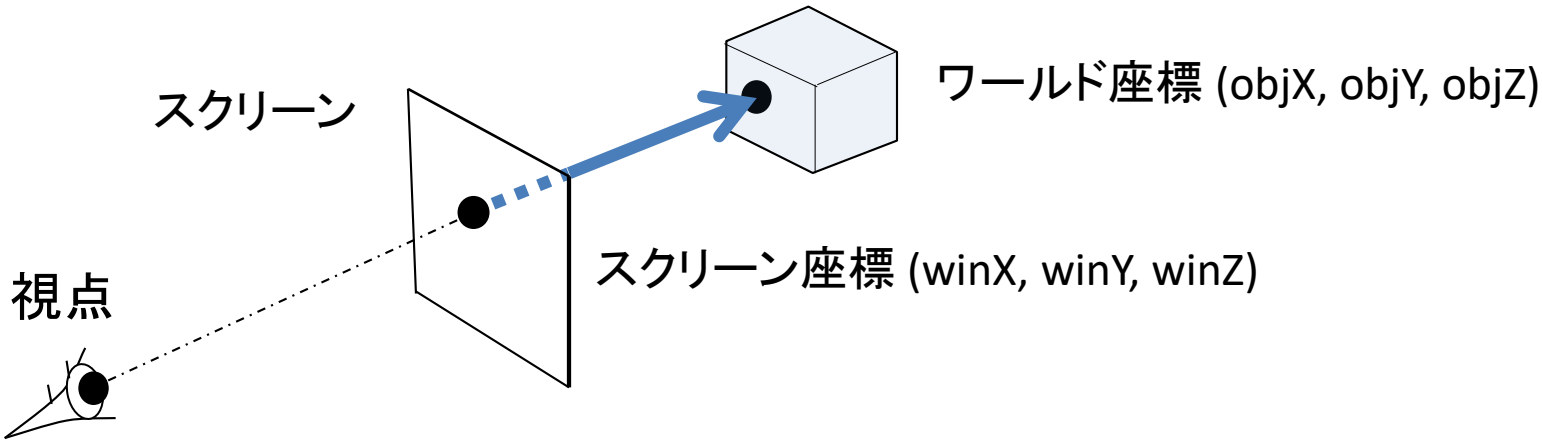
```
// ワールド座標 (x,y,z) について計算
double x = 10, y = 20, z = 30;

double M[16];  // モデルビュー行列の取得
glGetDoublev(GL_MODELVIEW_MATRIX, M);

double P[16]; // 透視投影行列の取得
glGetDoublev(GL_PROJECTION_MATRIX, P);

int V[4];     // ビューポートの情報を取得
glGetIntegerv(GL_VIEWPORT, V);

double winX, winY, winZ;  // スクリーン座標を計算
gluProject(x, y, z, M, P, V, &winX, &winY, &winZ);
```

gluUnProject

スクリーン座標をワールド座標に変換

マウスでクリックした点の 3 次元位置を計算できる

```
gluUnProject(winX, winY, winZ,    // スクリーン座標
             model,               // モデルビュー行列
             proj,                // 透視投影行列
             view,                // ビューポート
             objX, objY, objZ)    // ワールド座標
```

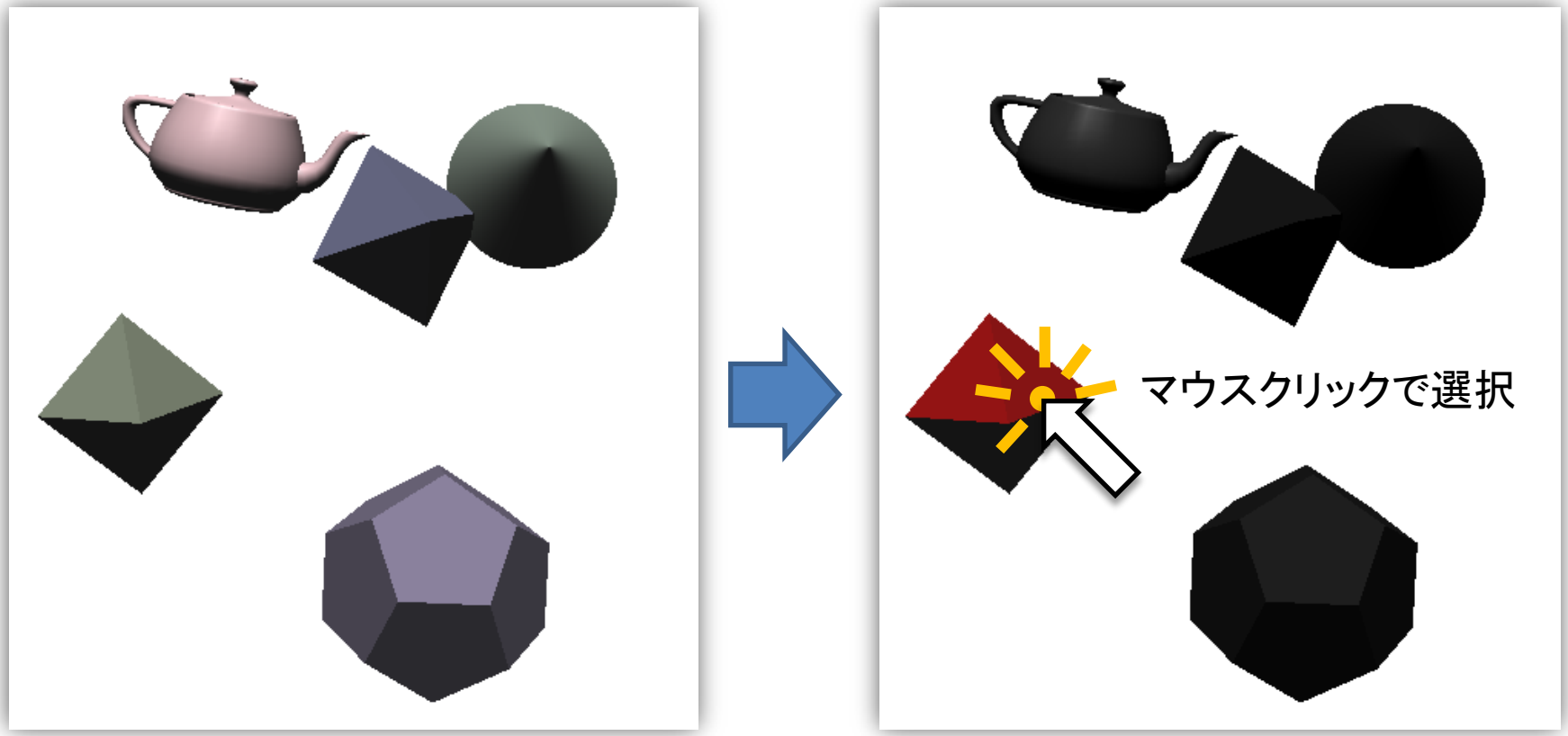


gluUnProject の使用例

```
double M[16];  // モデルビュー行列の取得
glGetDoublev(GL_MODELVIEW_MATRIX, M);
double P[16]; // 透視投影行列の取得
glGetDoublev(GL_PROJECTION_MATRIX, P);
int V[4];     // ビューポートの情報を取得
glGetIntegerv(GL_VIEWPORT, V);

int x = 30, y = 30; // スクリーン座標 (x, y) について計算

float z;      // (x, y) の奥行き値 (デプス) を取得
glReadPixels(x, y, 1, 1, GL_DEPTH_COMPONENT, GL_FLOAT, &z);

double objX, objY, objZ;  // ワールド座標を計算
gluUnProject(x, y, z, M, P, V, &objX, &objY, &objZ);

// ※初期化の際に GLUT_DEPTH を指定する必要あり
// glutInitDisplayMode(GLUT_RGB|GLUT_DOUBLE|GLUT_DEPTH);
```

マウスピッキング

- 画面上の物体をマウスクリックで選択したい



- やり方は何通りかある

マウスピッキングの実現方法

1. gluProject で物体上の点をスクリーン座標に変換しクリックした点と最も近い点を持つ物体を選ぶ
2. gluUnProject でクリックした点のワールド座標を計算し、その座標と最も近い点を持つ物体を選ぶ

   物体上の点の座標が必要 (GLUT の立体形状では不可)

   物体の数や、各物体上の点の数が多いと時間がかかる

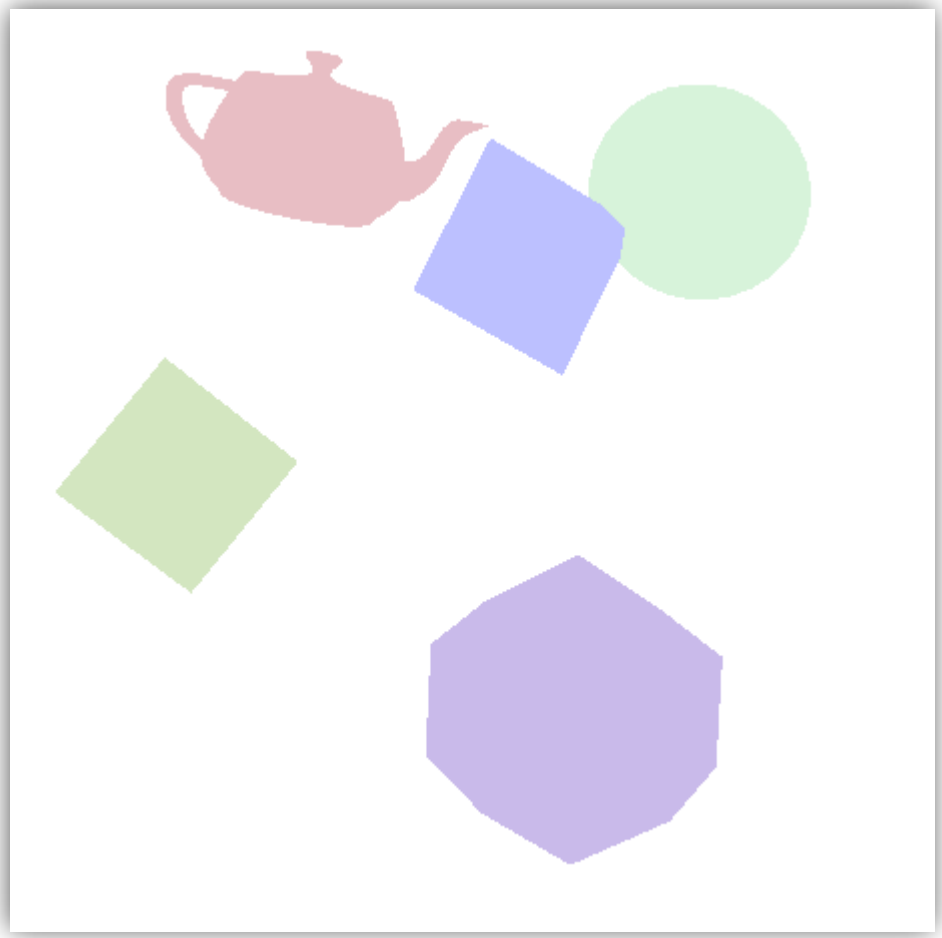
3. OpenGL のセレクションモードを使う

   機構が複雑

4. 各物体に ID 色を割り当てて描画

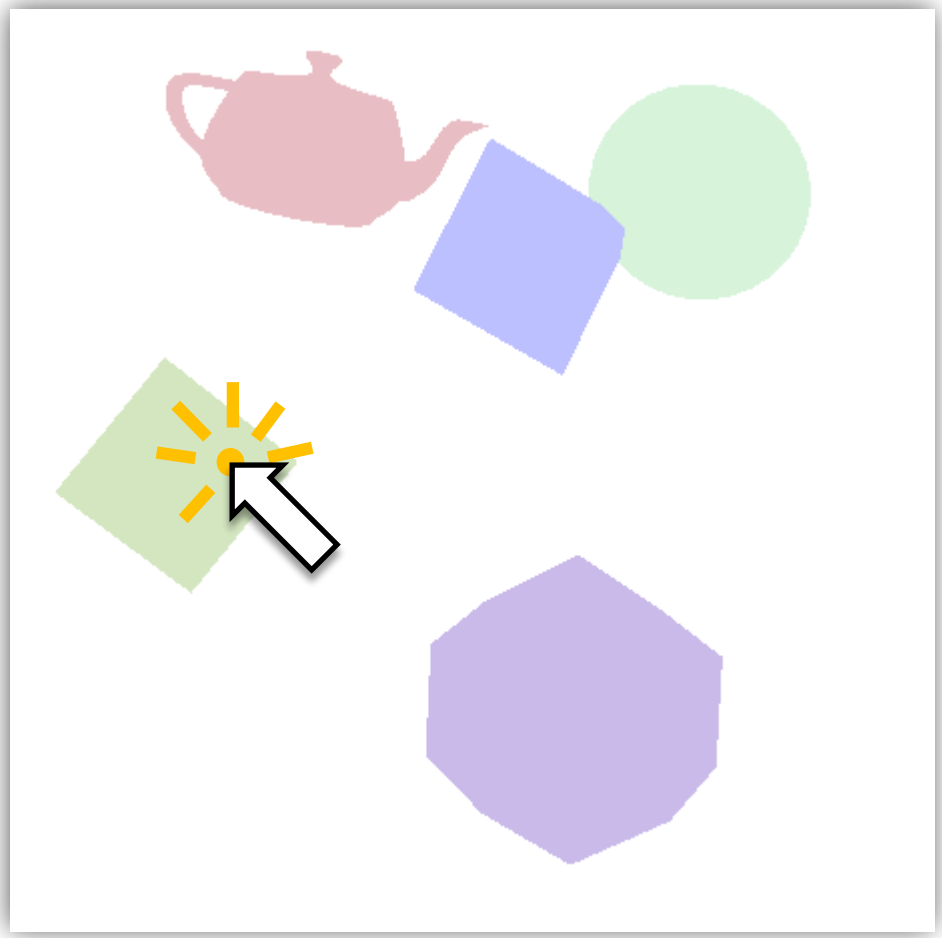
ID 色によるマウスピッキングの実現

① 物体ごとに異なる色で描画する



ID 色によるマウスピッキングの実現

② クリックした点の色を調べてどの物体か判定



ID 色によるマウスピッキングの実現

```
// モデルビュー行列と透視投影行列はすでにセットされているものとする
int pickObject(int x, int y) {
    glClearColor(1,1,1,1);    // 背景色を白に設定
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

    glEnable(GL_DEPTH_TEST);  // デプステストは有効化
    glDisable(GL_LIGHTING);   // 照明は無効化

    for (int i=0; i<NUM_OBJECTS; i++) {
        // Red だけで 0 から 254 までを区別できる (255 は背景)
        glColor3ub(i, 0, 0); drawObject(i);
    }

     GLubyte c[3]; // 座標 (x,y) の色を取得
    glReadPixels(x,y,1,1,GL_RGB,GL_UNSIGNED_BYTE,c);

    return (c[0] == 255) ? -1 : (int)c[0];
} // glutSwapBuffers() がなければ物体は画面には表示されない
```

C++言語による幾何プログラムの基礎

3 次元ベクトルの表現

- 3 要素の配列を使った表現

```
// 変数の宣言
double a[3], b[3], c[3];

// 初期化
a[0] = 1; a[1] = 2; a[2] = 3;
b[0] = 2; b[1] = 3; b[2] = 4;

// ベクトルの加算
c[0] = a[0] + b[0];
c[1] = a[1] + b[1];
c[2] = a[2] + b[2];
```

```
// 内積
double d =
   a[0]*b[0] + a[1]*b[1] + a[2]*b[2];

// 外積
c[0] = a[1] * b[2] – a[2] * b[1];
c[1] = a[2] * b[0] – a[0] * b[2];
c[2] = a[0] * b[1] – a[1] * b[0];

// 表示
printf(“(%lf,%lf,%lf)”, a[0], a[1], a[2]);
```

- これを毎回書くのは面倒･･･

3 次元ベクトルの表現

- 構造体を使った表現

```
struct Vector3d
{ double x, y, z; };

// 変数の宣言
Vector3d a, b, c;
```

C 言語なら struct Vector3d と書く

```
// 初期化
a.x = 1; a.y = 2; a.z = 3;
b.x = 2; b.y = 3; b.z = 4;

// ベクトルの加算 (省略)
```

```
// 内積
double d =
   a.x*b.x + a.y*b.y + a.z*b.z;

// 外積
c.x = a.y * b.z – a.z * b.y;
c.y = a.z * b.x – a.x * b.z;
c.z = a.x * b.y – a.y * b.x;

// 表示
printf(“(%lf,%lf,%lf)”, a.x, a.y, a.z);
```

- 配列とあまり変わらない…毎回書きたくない…

3 次元ベクトルの表現

- 関数を使ったら楽になる？

```
struct Vector3d
{ double x, y, z; };

// 変数の宣言
Vector3d a, b, c;

// 初期化
Vector3dInit(a, 1, 2, 3);
Vector3dInit(b, 2, 3, 4);

// ベクトルの加算
Vector3dAdd(c, a, b);

// 内積
double d = Vector3dDot(a, b);

// 外積
c = Vector3dCross(a, b);

// 表示
Vector3dPrint(a);
```

直感的でない…
例えば加算なら c = a + b; と書きたい

3 次元ベクトルの表現

- C++ の機能を使うと…

```
class Vector3d {
public:
  double x, y, z; // メンバ変数
  // メンバ関数を実装
 };

// 変数の宣言と初期化
Vector3d a(1,2,3), b(2,3,4), c;

// ベクトルの加算
c = a + b;

// 内積
double d = a * b;

// 外積 (% の演算は自分で定義)
c = a % b;

// 表示
a.print();
```

- より直感的に書ける！

  （演算子と演算の内容を自分で定義できる）

クラスの定義

- C++ はオブジェクト指向型言語。クラスの定義で、コンストラクタ（初期化処理）と、メンバ変数を定義できる。

```
class Vector3d {
public:
  double x, y, z; // メンバ変数

  // コンストラクタ…構造体名と同じで返り値のない関数、初期化方法を記述
  Vector3d() {}   // 引数のない関数は「デフォルトコンストラクタ」
  Vector3d(double _x, double _y, double _z) { x = _x; y = _y; z = _z; }

  void print() { printf("(%lf,%lf,%lf)", x, y, z); } // メンバ関数のひとつ

  // 他の関数については後述
};
```

コンストラクタとメンバ関数

- コンストラクタ

  Vector3d(double _x, double _y, double _z) { x = _x; y = _y; z = _z; }
を定義しておくと
  Vector3d a(1,2,3);
のように初期化ができる。

  void print() { printf(“(%lf,%lf,%lf)”, x, y, z); }
を定義しておくと
  a.print();
という風に呼び出せる。

演算子のオーバーロード

- 既存の演算子 (+, - など) を上書きして新しい処理を定義できる
- operator というキーワードを使って定義する

```
Vector3d operator+(Vector3d v)
{
   Vector3d tmp;
   tmp.x = x + v.x;   tmp.y = y + v.y;    tmp.z = z + v.z; // x, y, z はメンバ変数
   return tmp;  // 新しい構造体を作って返す
}
```

というメンバ関数を用意すると

```
 c = a.operator+(b);
```

という風に呼び出せるが、operator と ( ) は省略できるので

```
 c = a + b;
```

と書ける！

効率性の問題

- 先ほどの定義では変数の余計なコピーが発生する

```
Vector3d operator+(Vector3d v)
{
   Vector3d tmp;
   tmp.x = x + v.x;   tmp.y = y + v.y;    tmp.z = z + v.z; // x, y, z はメンバ変数
   return tmp; // 新しい構造体を作って返す
}
```

① 引数をコピーしている

② 計算結果をあとでコピーする必要がある

参考：c = a + b; を計算するために実際に行われること

```
Vector3d tmp1;
tmp1.x = b.x;    tmp1.y = b.y;    tmp1.z = b.z;    // ① 引数のコピー
Vector3d tmp2;
tmp2.x = a.x + tmp1.x;   tmp2.y = a.y + tmp1.y;   tmp2.z = a.z + tmp1.z;
c.x = tmp2.x;     c.y = tmp2.y;    c.z = tmp2.z;    // ② 計算結果のコピー
// ※ コンパイラが賢ければ無駄な処理は省略されるかもしれない
```

効率性の問題

- 「①引数のコピー」は解消できる

Vector3d operator+(Vector3d v)

Vector3d operator+(**const** Vector3d **&**v)

  - & は「参照 (reference)」を表し、ポインタを使ったときのように値のコピーではなくアドレス渡しになる
  - 引数名に const を付けると「引数の値は変更しない」という意味になりコンパイラが最適化できるようになる

- 「②計算結果のコピー」はこのやり方だとダメ
  - operator+= を実装して c = a;　c += b; とすれば計算結果の余計なコピーはなくなる
  - あるいは C++11 の std::move を使う

線形代数ライブラリ

- 3 次元ベクトルと同様に、
  - 2 次元ベクトル
  - 4 次元ベクトル
  - 2x2 行列
  - 3x3 行列
  - 4x4 行列

  などの演算やそれらとの相互の演算も用意すると便利

- 世の中にはたくさんの線形代数ライブラリがある
  - 有名な例: Eigen http://eigen.tuxfamily.org/

本日の課題

- 複数の物体を表示して、クリックした物体の識別と、クリックした点の座標を取得する
  - オプションとして、物体が空間を動き回るようにし、クリックすることで得点が得られるゲームを作成