コンピュータグラフィックス特論 Ⅱ

第4回　幾何形状データの読み込み

システム創成情報工学科　尾下 真樹

幾何形状データの読み込み

- 幾何形状データ
  - 多くのソフトウェアでは、幾何形状データ(モデルデータ)が必要となる
  - 通常、幾何形状データはあらかじめ作成されて、ファイルに格納されている
    - ソース中に直接モデルデータを記述するのは現実的ではない
  - ファイルからの読み込み処理が必要となる
  - 幾何形状データの描画も必要

今日の内容

- 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

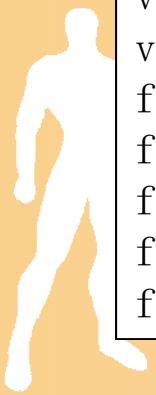
幾何形状データファイルの例

```
# Sample Obj Data (Pyramid)

mtllib pyramid.mtl
usemtl green
v    0.0    1.0    0.0
v    1.0   -0.8    1.0
v    1.0   -0.8   -1.0
v   -1.0   -0.8   -1.0
v   -1.0   -0.8    1.0
vn   0.9    0.4    0.0
vn   0.0    0.4   -0.9
vn  -0.9    0.4    0.0
vn   0.0    0.4    0.9
vn   0.0   -1.0    0.0
f   1//1   2//1   3//1
f   1//2   3//2   4//2
f   1//3   4//3   5//3
f   1//4   5//4   2//4
f   5//5   4//5   3//5   2//5
```

```
# Sample Obj Data (Pyramid)

newmtl green
Ka 0 0 0
Kd 0.3 0.8 0.3
Ks 0.9 0.9 0.9
Ns 20
```

四角すいの形状データファイル
(pyramid.obj)(左)

四角すいの材質データファイル
(pyramid.mtl)(上)



デモプログラム

- 幾何形状データ･ビュアー
  - 幾何形状データ(obj形式ファイル)を読み込んで描画
  - マウスドラッグによる視点操作も可能
    (前回の講義で扱った内容)

幾何形状データ

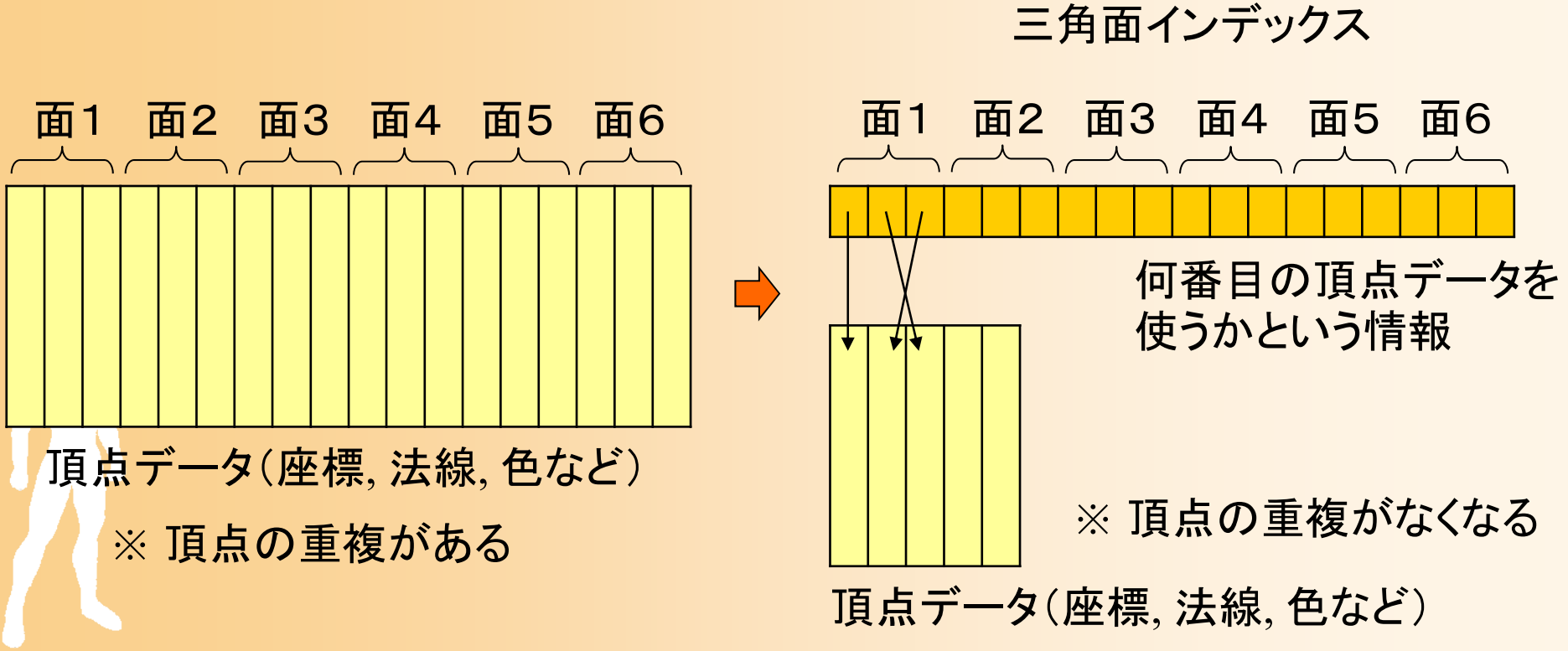
幾何形状データ

- 一般的なポリゴンモデルデータ
  - 頂点データ
    - 頂点座標、頂点の法線ベクトル、頂点の色
  - ポリゴンデータ
    - 各ポリゴンを構成する頂点
    - 頂点の順序により面のどちらが表側かを示す

※ 効率化のために、頂点データとポリゴンデータを分けて記録するのが一般的

形状データの描画方法（復習）

- 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

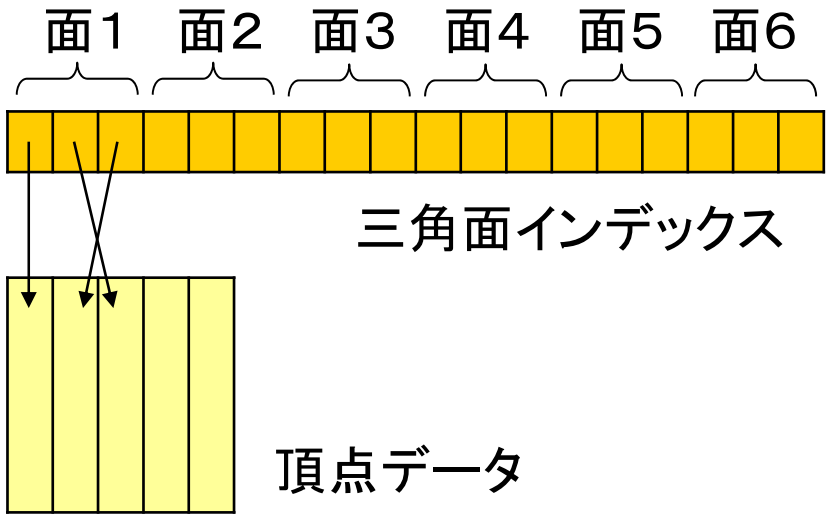


形状データの表現例

```
// ベクトルデータ
struct  Vector
{
        float   x, y, z;
};

// 幾何形状データ
struct  Geometry
{
        int         num_vertices;   // 頂点数
        Vector *    vertices;       // 頂点座標配列
        Vector *    normals;        // 法線ベクトル配列
        Vector *    colors;         // カラー配列

        int         num_triangles;  // 三角面数
        int *       triangles;      // 三角面の頂点番号配列
};
```

形状データの表現例

```
// ベクトルデータ
struct  Vector
{
        float   x, y, z;
};

// 幾何形状データ
struct  Geometry
{
        int         num_vertices;   // 頂点数
        Vector *    vertices;       // 頂点座標配列
        Vector *    normals;        // 法線ベクトル配列
        Vector *    colors;         // カラー配列

        int         num_triangles;  // 三角面数
        int *       triangles;      // 三角面の頂点番号配列
};
```



幾何形状データ

- 頂点データ
  - 頂点座標（x, y, z）、法線ベクトル（nx, ny, nz）
  - 頂点カラー（r, g, b）、テクスチャ座標（u, v）
- ポリゴンの種類
  - 三角形のみ or 四角形のみ or 三角形と四角形 or 一般の多角形（四角形・多角形は三角面に分割可能、ただしデータ量は増える）
- マテリアル情報
  - テクスチャ画像（ファイル名）、各種反射特性

ファイル形式

ファイル入出力機能作成のポイント

- 採用するファイル形式の決定
  - 既存のファイル形式 or 独自ファイル形式
- 幾何形状のデータ構造の決定
  - 頂点配列を使った描画に対応するかどうか
  - 対応するポリゴンの種類（三角形のみ or 四角形のみ or 三角形と四角形 or 多角形）
- 読み込み処理の実装
  - 何らかの補助ライブラリを利用 or C/C++の標準関数のみを用いて実装

ファイル形式の種類

- アニメーションソフト（モデリングソフト）ごとに独自の形式がある
- 多くのアニメーションソフトは、他の一般的な形式でも インポート / エクスポート 可能
  - 各ソフトのデータをフルに保存するためには専用の形式を使う必要がある
  - 基本的な形状データであればどの形式でも大体表現可能
  - ただし、実際のデータ表現の仕方はファイル形式によってかなり異なる

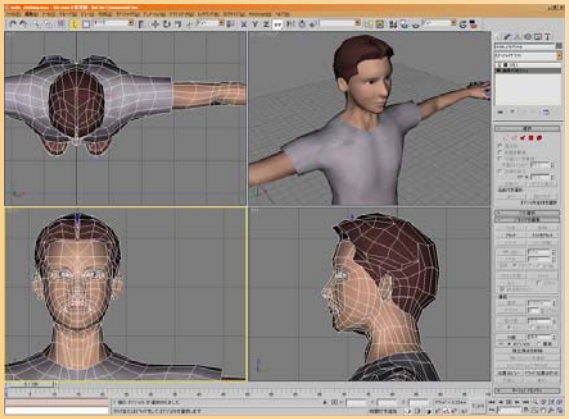
ファイル形式の選択

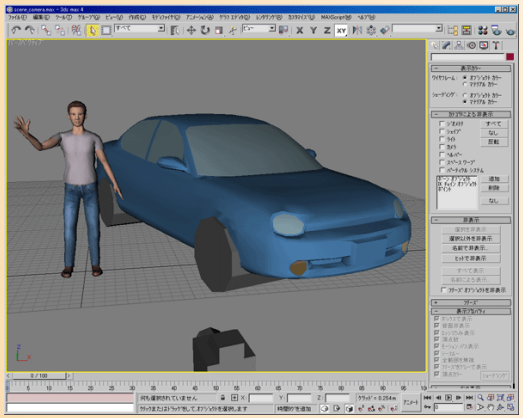
- 既存のファイル形式を利用
  - 読み込み関数を作成するだけで良い
  - ソフトがサポートしていない機能は使えない
  - ファイルサイズや読み込み速度などの点では、効率が悪くなる
- 独自のファイル形式を定義
  - 読み込み関数に加えて、アニメーションソフト用の書き出しプラグインを作成する必要がある
  - 同じく編集用プラグインを追加することで、特別な機能にも対応可能

市販ソフトウェアの利用（復習）

- 既存ソフトウェアと組み合わせたプログラミング

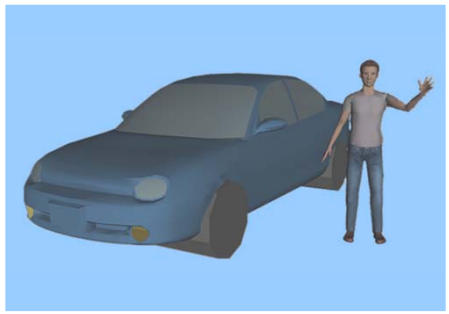
モデリング　　レイアウト　　レンダリング





高品質な描画

高速な描画



形状データ

シーンデータ
動作データ

プログラム

ファイルからデータを読み込み、必要に応じて動きを生成しながら、リアルタイムにレンダリング

市販ソフトウェアの利用（復習）

- プラグインによる拡張が可能

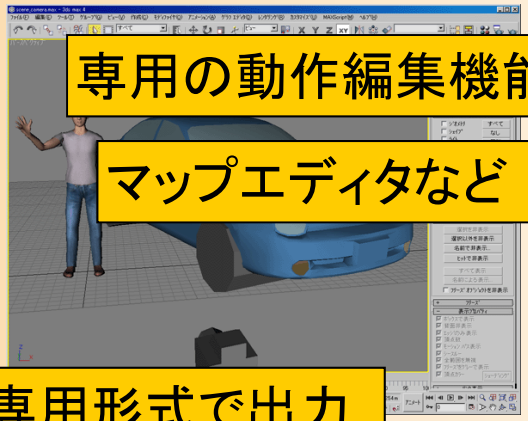
モデリング

専用のモデリング機能

専用形式で出力

形状データ

レイアウト



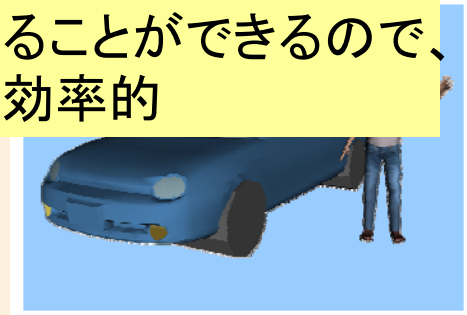
専用の動作編集機能

マップエディタなど

専用形式で出力

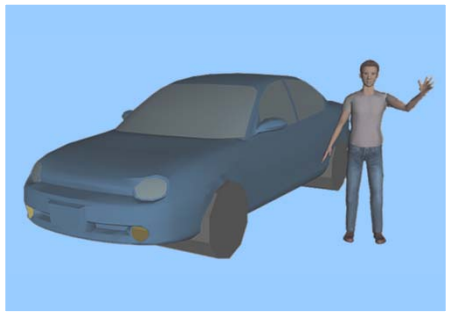
シーンデータ
動作データ

使い慣れたソフトウェアに、必要な機能だけを追加することができるので、効率的



高品質な描画

高速な描画



プログラム

映画制作・ゲーム制作などでは、各プロダクションごとに、独自のプラグインを多数使用

既存のファイル形式の読み込み

- ファイル形式の選択基準
  - 自分の使うソフトからエクスポートしやすいか
  - バイナリ形式 or アスキー形式（テキスト形式）
    - 一般にファイルフォーマットは公開されていないので、バイナリ形式は対応が困難
    - ファイルフォーマットが分かっていれば、バイナリ形式の方が読み込み処理の実現は容易な場合もある
  - 階層構造をサポートするかどうか
    - 一つの物体のデータだけではなく、多関節体・シーン情報・カメラ情報などを格納できるが、データ形式は複雑になる
  - ファイルフォーマットの情報があるかどうか

- データ構造の定義、読み込み・描画処理の実装

よく使われるファイル形式（1）

- obj
  - Wavefront|Alias Maya、アスキー
- DXF
  - AutoCAD、アスキー
- VRML（Virtual Reality Modeling Language）
  - アスキー、シーンの階層構造も表現可能
- max
  - 3ds max、バイナリ、シーンの階層構造も表現可能
- lwo
  - LightWave 3D、バイナリ

よく使われるファイル形式（2）

- x
  - Direct X、バイナリ
  - Direct X を使えば 容易に読み込み・描画可能
- dea
  - COLLADA、アスキー
  - XMLベースのファイル交換用フォーマット、COLLDA ライブラリを使うことで読み書き可能
- fbx
  - Autodesk MotionBuilder（旧FilmBox）、バイナリ
  - 交換用フォーマットとして広く普及

ファイル読み込み処理の作成

- 本講義では、obj 形式を使用することにする
  - 元々は Alias|Wavefront Maya のデータ形式
  - テキスト形式、比較的単純
  - マテリアル情報を表す mtl 形式と組で使われる
- ファイルの例
  - 四角すい（pyramid.obj）
  - 車（car.obj）
  - 人間（man.obj）

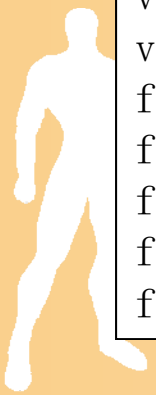
Obj形式のファイルの例

```
# Sample Obj Data (Pyramid)

mtllib pyramid.mtl
usemtl green
v    0.0    1.0    0.0
v    1.0   -0.8    1.0
v    1.0   -0.8   -1.0
v   -1.0   -0.8   -1.0
v   -1.0   -0.8    1.0
vn   0.9    0.4    0.0
vn   0.0    0.4   -0.9
vn  -0.9    0.4    0.0
vn   0.0    0.4    0.9
vn   0.0   -1.0    0.0
f   1//1   2//1   3//1
f   1//2   3//2   4//2
f   1//3   4//3   5//3
f   1//4   5//4   2//4
f   5//5   4//5   3//5   2//5
```

```
# Sample Obj Data (Pyramid)

newmtl green
Ka 0 0 0
Kd 0.3 0.8 0.3
Ks 0.9 0.9 0.9
Ns 20
```

四角すいの形状データファイル
(pyramid.obj)(左)

四角すいの材質データファイル
(pyramid.mtl)(上)



Obj形式（1）

- 詳しい定義はウェブなどにある情報を参照
  - 3D Format などのキーワードでウェブ検索すると、各種フォーマットの情報が見つかる（以下は例）
    - http://www.dcs.ed.ac.uk/home/mxr/gfx/3d-hi.html
  - 非公式な情報や古い情報も混じっている可能性があるので注意

Obj形式(2)

- 形状データ
  - 1行が1つのデータ(頂点・法線・面など)を表す
  - 各行の先頭の文字によって、何のデータを表しているかが決まる
  - # で始まる行はコメント
  - v x y z　頂点座標
  - nv nx ny nz　法線ベクトル
  - tv tx ty tz　テクスチャ座標

Obj形式（2）

- 形状データ
  - f　*v1/t1/n1　v2/t2/n2　v3/t3/n3　…*
    ポリゴン（各頂点ごとの頂点座標番号/ 法線ベクトル番号/テクスチャ座標番号）
    - テクスチャ座標や法線ベクトルは空の場合もある
    - Obj形式では、各番号は1から始まるので注意

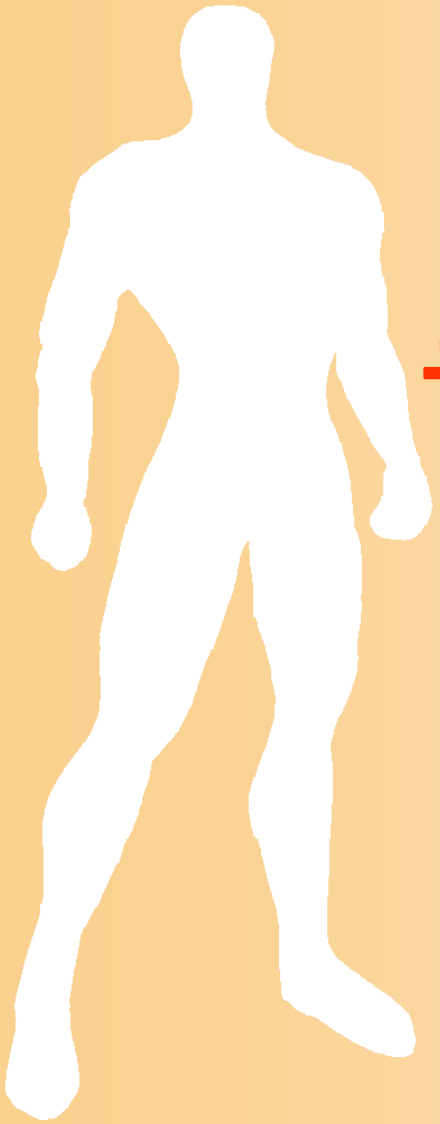
Obj形式(3)

- 形状データ(続き)
  - mtllib *ファイル名*
    マテリアル情報をファイルから読み込む
  - usemtl *マテリアル名*
    後に続くポリゴンのマテリアルを指定する
  - g *グループ名*
    後に続くポリゴンのグループ名を指定する
    (ポリゴンをグループ分けするときに使用)

Obj形式(4)

- 材質データ(.mtl ファイル)
  - newmtl　*マテリアル名*
    新しいマテリアルの定義を開始する
  - Ka $r\ g\ b$　環境光に対する反射特性
  - Kd $r\ g\ b$　拡散反射光に対する反射特性
  - Ks $r\ g\ b$　鏡面反射光に対する反射特性
  - Ns s　鏡面反射光の働く角度
  - map_Kd　反射光に使用するテクスチャ画像名

- OpenGL の glColor 関数を呼ぶと、デフォルトでは、ka kd に相当するパラメタが変更される

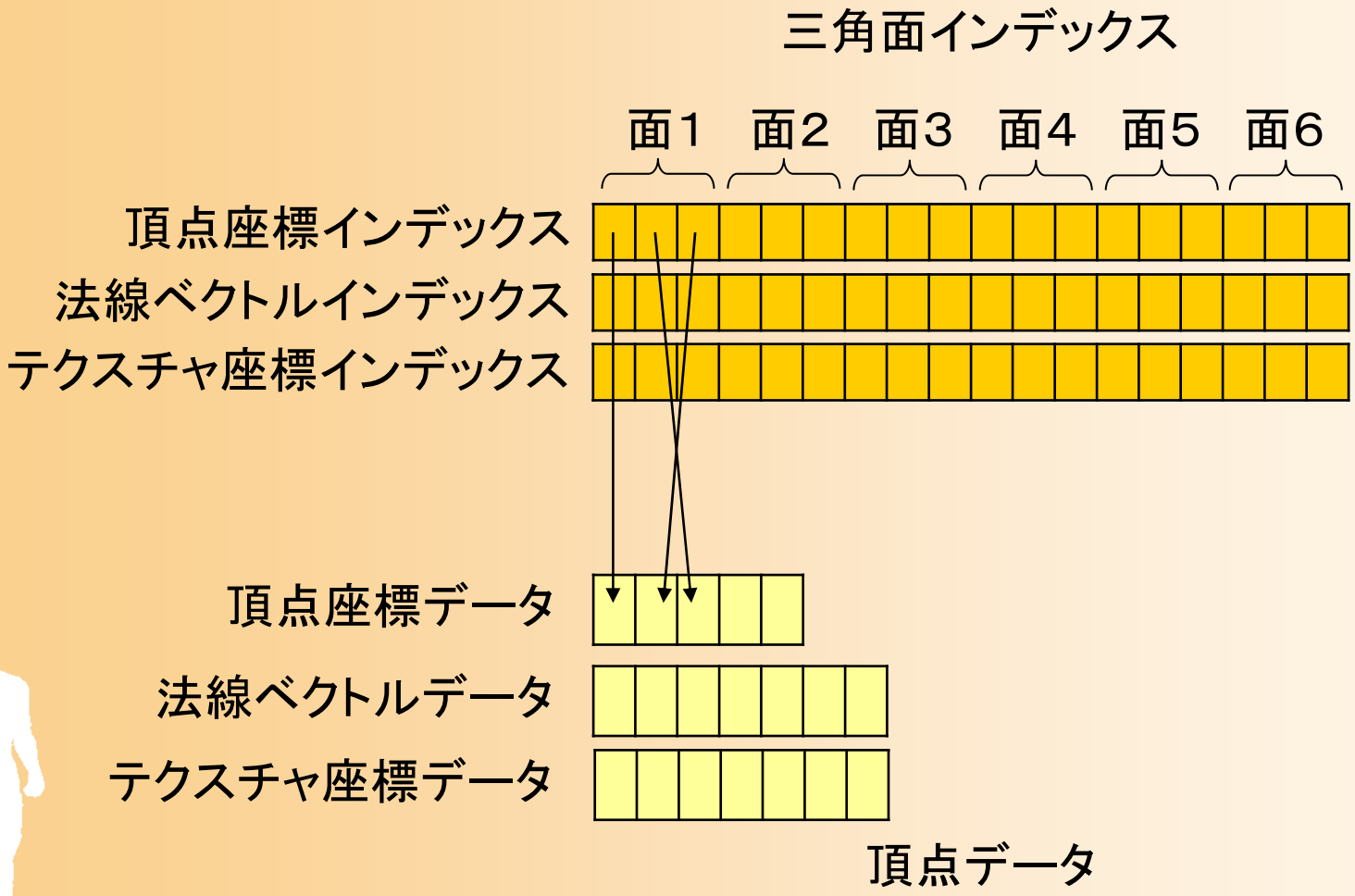


データ構造の定義

データ構造の定義例

```
// 幾何形状データ(Obj形式用)
struct  Obj
{
        int         num_vertices;   // 頂点数
        Vector *    vertices;       // 頂点座標配列

        int         num_normals;    // 法線ベクトル数
        Vector *    normals;        // 法線ベクトル配列

        int         num_textures;   // テクスチャ座標数
        Vector *    textures;       // テクスチャ座標配列

        int         num_triangles;  // 三角面数
        int *       tri_v_no;       // 三角面の頂点座標番号の配列
        int *       tri_vn_no;      // 三角面の法線ベクトル番号の配列
        int *       tri_vt_no;      // 三角面のテクスチャ座標番号の配列
        Mtl *       tri_material;   // 三角面の素材の配列
};
```

データ構造の定義例


三角面インデックス
面1
面2
面3
面4
面5
面6
頂点座標インデックス
法線ベクトルインデックス
テクスチャ座標インデックス
頂点座標データ
法線ベクトルデータ
テクスチャ座標データ
頂点データ

データ構造の定義例

- Obj形式では任意のポリゴンを表現できるが、ここでは三角面のみを扱うことにする
  - 四角形以上の面が入力された場合は、複数の三角面に分割する
  - データ量は増えるが、全て三角面として処理できるので、プログラムを単純にできる

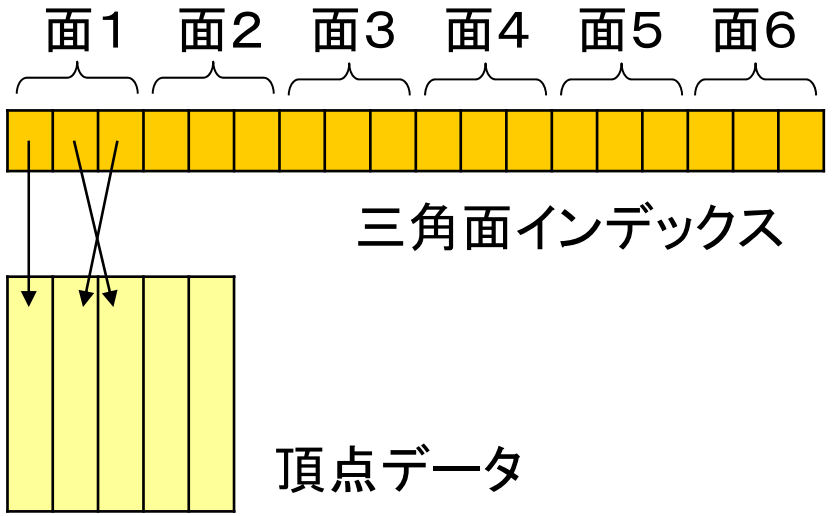
頂点配列の利用

- 今回の定義例の問題点
  - そのままではOpenGLの頂点配列の機能を利用できない
  - OpenGLの頂点配列を使うためには、各頂点ごとに頂点座標・法線ベクトル・テクスチャ座標をまとめる必要があるため

  - このように、既存のファイル形式が自分の望む形式と異なることはよくあるので、必要に応じて変換が必要になる

形状データの表現例（比較用）

```
// ベクトルデータ
struct  Vector
{
        float   x, y, z;
};

// 幾何形状データ
struct  Geometry
{
        int         num_vertices;   // 頂点数
        Vector *    vertices;       // 頂点座標配列
        Vector *    normals;        // 法線ベクトル配列
        Vector *    colors;         // カラー配列
        int         num_triangles;  // 三角面数
        int *       triangles;      // 三角面の頂点番号配列
};
```



頂点配列の利用

- 解決方法
  - 頂点配列を使うのをあきらめる
  - 頂点配列に適したデータ構造に変換する
    - 最初はObj形式のデータ構造で読み込み、後で変換
    - 最初から頂点配列に適したデータ構造で読み込み
- 本講義では
  - ひとまず、頂点配列を使わない単純なデータ構造を使用
  - 頂点配列を使用する場合に、どのような改良が必要になるかどうかを説明

幾何形状データの描画

- 描画の手順
  - GL_TRIANGLES
  - 各面ごとに描画（num_triangles枚）
    - マテリアルが変更になっていれば、カラーの変更（glColor3f）などを実行
      - 毎回行うと無駄なので、前の面と異なる場合のみ実行
    - 面の各頂点データを OpenGL に渡す
      - tri_v_no, tri_vn_no, tri_vt_no からデータ番号を取得
      - glVector3f, glNormal3f などの関数を呼び出す

描画プログラム

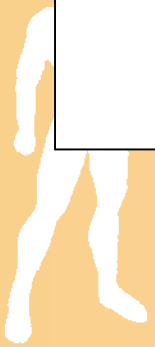
```
void  RenderObj( Obj * obj )
{
      int  i, j, no;
      Mtl *  curr_mtl = NULL;

      glBegin( GL_TRIANGLES );
      for ( i=0; i<obj->num_triangles; i++ )
      {
            // マテリアルの切り替え
            if ( ( obj->num_materials > 0 ) && ( obj->tri_material[ i ] != curr_mtl ) )
            {
                  curr_mtl = obj->tri_material[ i ];
                  glColor3f( curr_mtl->kd.r, curr_mtl->kd.g, curr_mtl->kd.b );
            }
```

最後に描画した三角面の素材情報

各三角面ごとに繰り返し

現在の素材と異なる場合のみ設定

ここでは、環境光・拡散反射光の特性のみを変更



描画プログラム

```
        // 三角面の各頂点データの指定
        for ( j=0; j<3; j++ )
        {
                // 法線ベクトル
                no = obj->tri_vn_no[ i*3 + j ];
                const Vector &  vn = obj->normals[ no ];
                glNormal3f( vn.x, vn.y, vn.z );

                // 頂点座標
                no = obj->tri_v_no[ i*3 + j ];
                const Vector &  v = obj->vertices[ no ];
                glVertex3f( v.x, v.y, v.z );
        }
    }
    glEnd();
}
```

ファイル読み込み処理の作成

読み込み処理の作成

- C/C++ でのファイル読み込み
  - プログラミングが結構難しいので慣れが必要
- ファイル読み込みの方法
  - stdio を使用（C標準関数、C++からも使える）
  - iostream を使用（C++標準関数、>> 演算子）
- 読み込んだ文字列の解析の方法
  - 自分で文字列を解析
  - scanf 系の関数を使用（書式付き読み込み）
  - tokenizer を使用（単語の切り分けの標準関数）

読み込み処理の作成（続き）

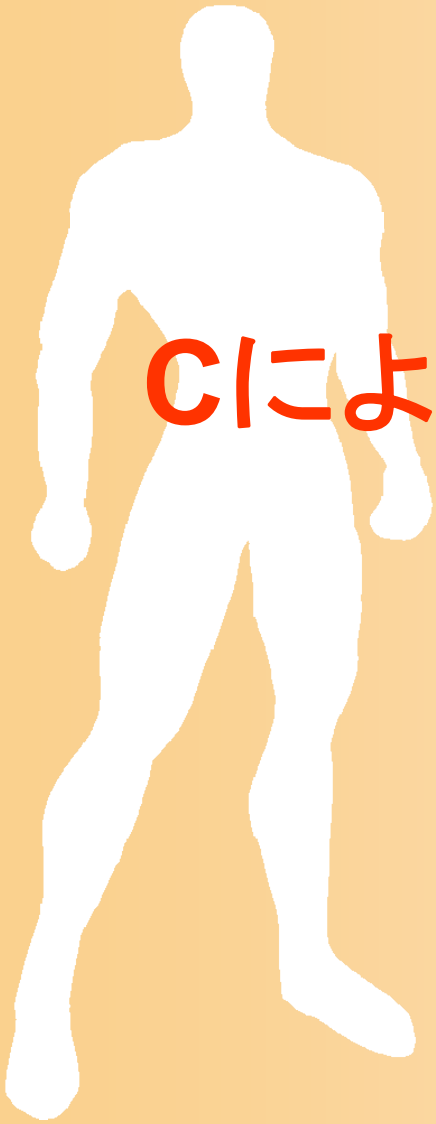
- 可変長のデータの読み込みの必要性
  - 頂点データ・ポリゴン数があらかじめ分かる場合
    - 最初に必要なデータ領域を確保すれば良いので、可変長データの扱いは必要ない
  - 最後まで読み込まないと分からない場合
    - 可変長データの扱いを考慮する必要がある
- 可変長のデータの扱い方
  - あらかじめかなり大きめの領域を確保しておき、領域が足りなくなったらあきらめる
    - 任意ファイルに対応できず、効率も悪いので良くない
  - データを読み込みながら領域を動的に広げる

一般的なファイル読み込みの方法

- アニメーションに限らず一般にデータ入出力は必須
- 自分で独自のファイル形式を定義
  - 機能を限定することで読み込みの行いやすい形式、または、効率の良い形式を定義できる
- yacc の利用
  - LR文法を使ってファイルの文法を定義すると、解析用のプログラムを出力してくれるコンパイラ・コンパイラ
  - メンテナンスが大変、今はあまり使われていない
- XMLの利用
  - 書き出し、読み込みのライブラリが多数存在
  - 階層構造を持った複雑なデータにも対応可能

読み込み処理の例

- サンプルプログラム
  - 頂点の読み込み、一部のポリゴン・マテリアルの読み込みのみ
    → 完全版は各自作成してみること
- C/C++ での読み込み処理のサンプル
  - studio を使ったファイルの読み込み
  - tokenizer を使った文字列の解析
  - STL（Standard Template Library）を使った可変長データの扱い



Cによる読み込み処理の実装

読み込み処理のサンプル

- C での読み込み処理のサンプル
  - stdio を使ったファイルの読み込み
  - scanf系関数を使った文字列の解析
  - 可変長ファイルの読み込み
    - あらかじめ十分大きな配列を確保しておくことにより対応

  - C/C++ 標準関数の使い方については、この講義では説明しないので、各自調べること
    - Visual Studio のヘルプでかなり詳しい説明がある

サンプルプログラム解説(1)

- obj.cpp
  - 28～181行が、読み込み処理を行う関数
    - ファイル名を引数として受け取り、読み込んだオブジェクトのポインタを返す
  - 45～58行で、オブジェクトを初期化し、読み込み結果の格納に使うデータ領域を大きめに確保している
  - 40行で、ファイルを開く
    - アスキー形式、読み込みモード
  - 61行以降、ファイルから1行ずつ読み込みながら、処理

サンプルプログラム解説(2)

```
// バッファ長(サイズは適当)
#define  BUFFER_LENGTH      1024
#define  MAX_VECTOR_SIZE    4096
#define  MAX_TRIANGLE_SIZE  4096
#define  MAX_MTL_SIZE       32

// Objファイルの読み込み
Obj *  LoadObj( const char * filename )
{
        FILE *  fp;
        char    line[ BUFFER_LENGTH ];
        char    name[ BUFFER_LENGTH ];
        int  i, j;
        Vector  vec;
        int  v_no[4], vt_no[4], vn_no[4];
        int  count;
        Mtl *  curr_mtl = NULL;
```

メモリを確保する頂点数・三角面数をあらかじめ定数として指定

ファイル名を引数として受け取り、読み込んだオブジェクトを返す

サンプルプログラム解説(3)

```
// ファイルを開く
fp = fopen( filename, "r" );
if ( fp == NULL )    return  NULL;

// Obj構造体を初期化(ひとまず固定サイズの配列を割り当てる)
Obj *  obj = new Obj();
obj->num_vertices = 0;
obj->num_normals = 0;
obj->num_tex_coords = 0;
obj->vertices = new Vector[ MAX_VECTOR_SIZE ];
obj->normals = new Vector[ MAX_VECTOR_SIZE ];
obj->tex_coords = new Vector[ MAX_VECTOR_SIZE ];
obj->num_triangles = 0;
obj->tri_v_no = new int[ MAX_TRIANGLE_SIZE * 3 ];
obj->tri_vn_no = new int[ MAX_TRIANGLE_SIZE * 3 ];
obj->tri_vt_no = new int[ MAX_TRIANGLE_SIZE * 3 ];
obj->tri_material = new Mtl*[ MAX_TRIANGLE_SIZE * 3 ];
obj->num_materials = 0;
obj->materials = NULL;
```

アスキー形式、読み込みモード
以降、fp を使ってファイルにアクセス

頂点に関する配列を確保
(頂点座標、法線ベクトル、テクスチャ座標)

三角面に関する配列を確保
(頂点番号、法線ベクトル番号、
テクスチャ座標番号、素材番号)

サンプルプログラム解説(4)

- obj.cpp
  - 64行以降の if 文では、strncmp()関数を使って、読み込んだ行の先頭が、Obj形式の各コマンドかどうかを判定
    - 頂点データ(92行以降)に関しては、1文字目と2文字目を見て判定
  - 頂点データやポリゴンデータの解析は、sscanf()関数を使用
    - 今回のプログラムでは、以下の形式のみ対応
      f *v0//n0 v1//n1 v2//n2*
      (*v0~v1*には頂点番号、*n0~n2*には法線番号が入る)

サンプルプログラム解説(5)

```
// ファイルから1行ずつ読み込み
while ( fgets( line, BUFFER_LENGTH, fp ) != NULL )
{
	// マテリアルの読み込み
	if ( strncmp( line, "mtllib", 6 ) == 0 )
	{
		// テキストを解析
		sscanf( line, "mtllib %s", name );

		// 指定されたファイル名のマテリアルデータを読み込み
		if ( strlen( name ) > 0 )
			LoadMtl( name, obj );
	}

	// マテリアルの変更
	if ( strncmp( line, "usemtl", 6 ) == 0 )
	{
		.......
```

ファイルから一行読み込み、line に格納
ファイルの末端まで到達したら終了

行の先頭の6文字が「mtllib」であれば、対応した解析処理を実行
以下、obj形式の各コマンドごとに、同様の判定と処理を行う

scanf関数を使って解析

マテリアルファイル(mtl形式)の読み込みは、別の関数を作成しておき、呼び出し
LoadMtl関数の実装方法は、基本的にLoadObje関数と同様なので、説明は省略

サンプルプログラム解説(6)

```
// 頂点データの読み込み
if ( line[0] == 'v' )
{
    // 法線ベクトル(vn)
    if ( line[1] == 'n' )
    {
        // テキストを解析
        sscanf( line, "vn %f %f %f", &vec.x, &vec.y, &vec.z );

        // 法線ベクトル配列の末尾に格納
        obj->normals[ obj->num_normals ] = vec;
        obj->num_normals ++;
    }
    // テクスチャ座標(vt)
    else if ( line[1] == 't' )
    {
        .......
```

ここでは vn, vt, v をまとめて処理

scanf関数を使って解析
(入力がフォーマットに従っていると仮定)

読み込んだデータを配列に格納

サンプルプログラム解説(7)

scanf関数を使って解析
(入力が想定したフォーマットに従っていると仮定)

```
// ポリゴンデータの読み込み
if ( line[0] == 'f' )
{
    // テキストを解析(三角形・テクスチャ座標なしの場合)
    count = sscanf( line, "f %i//%i %i//%i %i//%i", &v_no[0], &vn_no[0],
                    &v_no[1], &vn_no[1], &v_no[2], &vn_no[2] );
    // 解析に成功したらポリゴンデータを記録
    if ( count == 6 )
    {
        i = obj->num_triangles * 3;
        for ( j=0; j<3; j++ )
        {
            obj->tri_v_no[ i+j ] = v_no[ j ] - 1;
            obj->tri_vn_no[ i+j ] = vn_no[ j ] - 1;
            obj->tri_vt_no[ i+j ] = vt_no[ j ] - 1;
        }
        obj->tri_material[ obj->num_triangles ] = curr_mtl;
        obj->num_triangles ++;
    }
```

今回の三角面の先頭インデックス番号

サンプルプログラム解説(8)

- obj.cpp
  - 218行以降、読み込んだデータサイズに合わせて、新しい配列を確保(本来は、全配列に対して、同様の処理が必要)

サンプルプログラム解説(9)

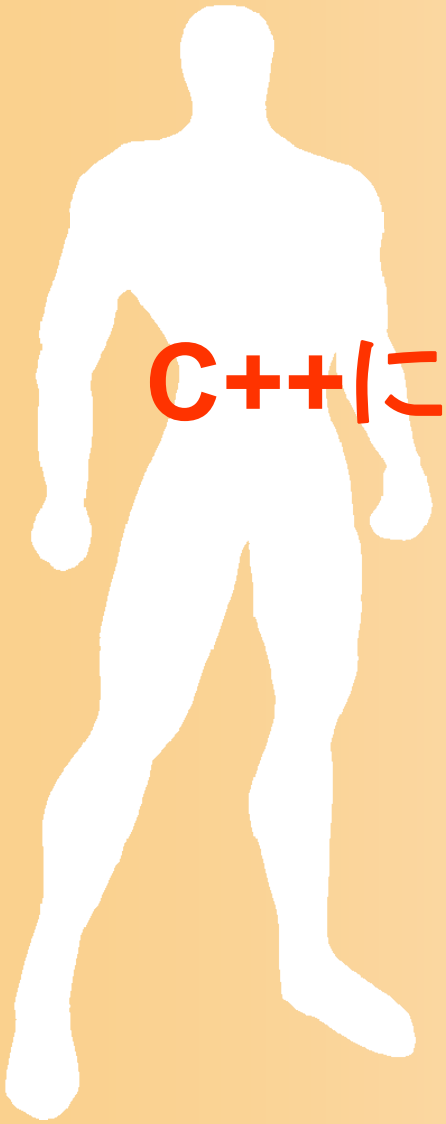
```
        .......
    };
    // ここまでで、ファイルの全行の解析が終了

    // 必要な配列を確保しなおす(とりあえず頂点座標配列のみ、後は各自追加)
    Vector *  new_array;
    new_array = new Vector[ obj->num_vertices ];
    memcpy( new_array, obj->vertices, sizeof( Vector ) * obj->num_vertices );
    delete[]  obj->vertices;
    obj->vertices = new_array;

    // ファイルを閉じる
    fclose( fp );

    // 読み込んだオブジェクトデータを返す
    return  obj;
}
```

サンプルプログラム解説(10)

- メインプログラム(obj_view.cpp)
  - 基本的に、前回の視点操作のプログラムと同じ
  - オブジェクトを格納する変数を追加
  - キーボードが押されたときの処理に、ファイル読み込みの処理を追加
    - キーが押されたときに呼ばれるGLUTのコールバック関数を追加
    - ファイル選択ダイアログの表示は、Windows API を使用
  - 描画処理で、読み込んだオブジェクトを描画

サンプルプログラムの問題点

- scanf 系関数では、ファイル形式のゆらぎに対応できない
  - 特にポリゴンデータの解析が苦しい
- 可変長データの読み込みにきちんと対応していない
  - 今のプログラムできちんと対応しようとすると、かなり複雑になってしまう



C++による読み込み処理の実装

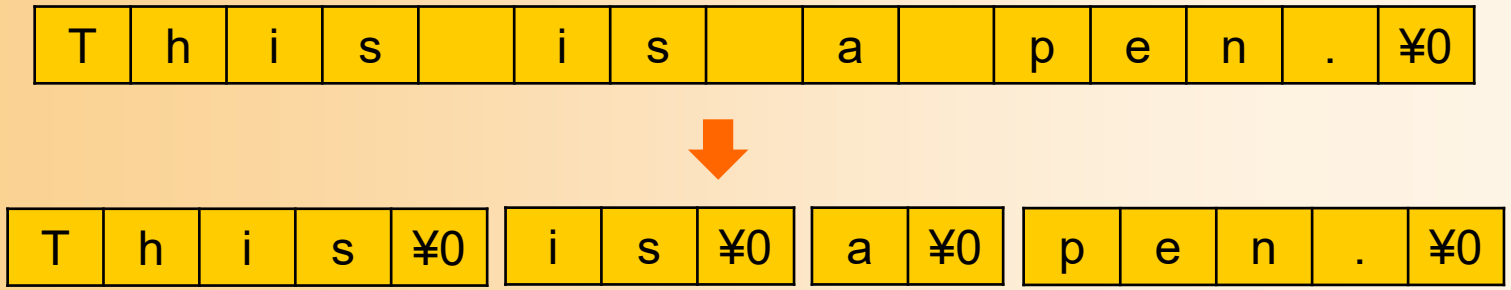
読み込み処理の改良

- C++ での読み込み処理のサンプル
  - ファイルの読み込み
    - iostream を使った方法
  - 文字列の解析
    - tokenizer を使う方法
  - 可変長データの読み込み
    - STL（Standard Template Library）を使う方法
- 必ずしも C++ を使う必要はない
  - C でも同じような工夫は可能
- もっと良い方法もあるかも

tokenizer

- Tokenizer()
  - 文字列切り出し関数
  - 1回目　tokenizer(文字列, 区切り文字列);
    2回目以降　tokenizer(NULL, 区切り文字列);
  - もとの文字列を破壊するので注意

例:



STL

- STL（Standard Template Library）
  - 可変長配列、リスト、２分木によるセットやインデックスなどのコンテナを扱うライブラリ
  - テンプレートライブラリ
    - vector< float > array; のように使え、あらゆる型に対応できる
    - array[i] などのように使える（オペレータ・オーバーロード）
    - メモリ管理（確保・解放）も自動的に行ってくれる

STLの例

- 可変長配列　vector
  - [], push_back(), front(), resize() などのメソッド
  - string クラス（vector< char >）も便利
- インデックス　map，multimap
  - map< string, Object * >　index; などとすると
    - index[“car”] = car_object;
      iterator　i = index.find(“car”);
      などのインデックス的な使い方ができる

サンプルプログラム解説(1)

- WavefrontObj.h
  - Obje形式のデータ構造を定義
    - ここでは、各要素をオブジェクトとしている
- WavefrontObj.cpp
  - 18行以降が、読み込み処理を行うコンストラクタ
    - 読み込んだ結果はメンバ変数に格納
  - 29行で、ファイルを開く
    - iostreamを使用、アスキー形式での読み込みモード
  - 33行以降、ファイルから1行ずつ読み込みながら、処理

サンプルプログラム解説(2)

```
WavefrontObj::WavefrontObj( const char * file_name )
{
    ifstream  file;
    char      line[ BUFFER_LENGTH ];
    char *    token;    char *    data;
    Group *     curr_group = NULL;    Material *  curr_mtl = NULL;
    vector< int >   face_data;

    // ファイルのオープン
    file.open( file_name, ios::in );
    if ( file.is_open() == 0 )  return; // ファイルが開けなかったら終了

    // ファイルを先頭から1行ずつ順に読み込み
    while ( ! file.eof() )
    {
        // 1行読み込み、先頭の単語を取得
        file.getline( line, BUFFER_LENGTH );
        token = strtok( line, " " );
```

コンストラクタ
指定されたファイルから幾何形状データを読み込み、初期化

読み込んだ単語(解析する単語)のアドレスを格納する変数

ファイルの末端に到達するまで繰り返し

最初の呼び出しなので、引数には行の先頭のアドレスを指定

サンプルプログラム解説(3)

- WavefrontObje.cpp
  - 37行で、tokenizer を使用し、読み込んだ行の先頭の単語(最初の空白までの文字列)を取得
  - 44行以降では、取得した単語に応じて処理
  - 頂点データやポリゴンデータの解析は、引き続き tokenizer を使用し、以降の数字を取得
    - 区切り文字として、空白や / を使用(65行など)
    - ポリゴンデータは、テクスチャ頂点番号が省略されることがあるので、特別な判定を追加(68行)
  - 読み込んだデータは、STLの可変長配列(vector)に順次格納(push_back()関数)

サンプルプログラム解説(4)

```
// 点データの読み込み
if ( *token == 'v' )
{
        Vertex  v;
        data = strtok( NULL, " " );  v.x = data ? atof( data ) : 0.0;
        data = strtok( NULL, " " );  v.y = data ? atof( data ) : 0.0;
        data = strtok( NULL, " " );  v.z = data ? atof( data ) : 0.0;

        token ++;
        if ( *token == 't' )
                t_coords.push_back( v );
        else if ( *token == 'n' )
                normals.push_back( v );
        else
                vertices.push_back( v );
        continue;
}
.........
```

二つ目以降の単語なので、引数にはNULLを指定
（前回指定した文字列が引き続き解析される）

dataがNULLでなければ、文字列を数値に変換して記録

配列にデータを追加
（もとのタグの2文字目に応じて、
どの配列に追加するかを決定）

サンプルプログラム解説(5)

```
// 面データの読み込み
if ( *token == 'f' )
{
    face_data.clear();
    while ( (data = strtok( NULL, " /" )) != NULL )
    {
        // テクスチャ番号が省略された時('/' が続いた時)は -1 を設定
        if ( *(data - 1) == '/' )
            face_data.push_back( -1 );

        // Obj形式では頂点番号は1から始まるので -1して0からの番号に変換
        face_data.push_back( atoi( data ) - 1 );
    }
    Face *  face = new Face();
    face->group = curr_group;     face->material = curr_mtl;
    face->data = face_data;
    faces.push_back( face );
    ・・・・・・・・
```

二つ目以降の単語なので、引数にはNULLを指定
(前回指定した文字列が引き続き解析される)

区切り(最後のスペースor/)の前も
/ であれば、/ が続いていると判定

配列にデータを追加

頂点配列の利用

頂点配列を使った描画（復習）

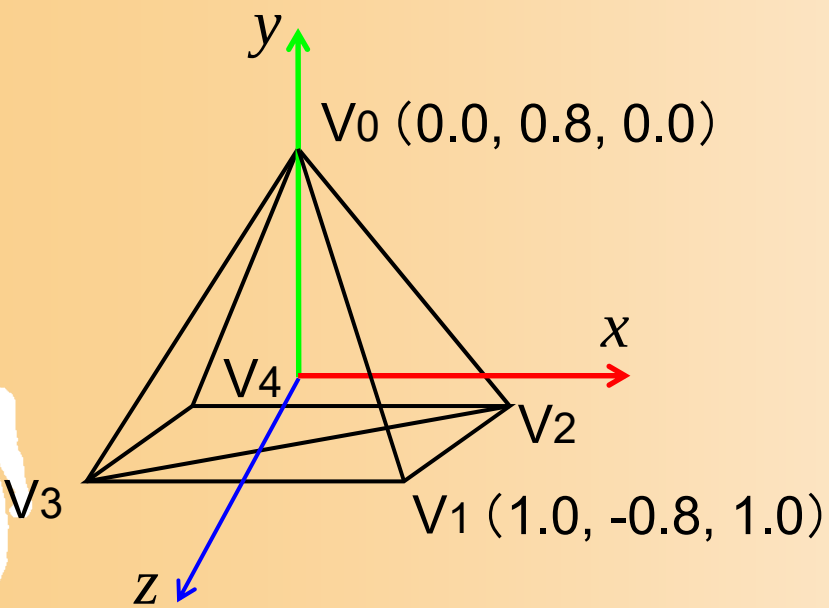
- 頂点配列
  - 配列データを一度に全部 OpenGL に渡して描画を行う機能
  - 頂点ごとに OpenGL の関数を呼び出して、個別にデータを渡す必要がなくなる
    - 処理を高速化できる
    - 渡すデータの量は同じでも、頂点配列を利用することで、処理を高速化できる

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 に渡して描画する機能
- 頂点配列を使った描画の手順
  1. 頂点の座標・法線などの配列データを用意
  2. OpenGLに配列データを指定（配列の先頭アドレス）
     - glVertexPointer()関数、glNormalPointer()関数、等
  3. どの配列データを使用するかを設定
     - 頂点の座標、色、法線ベクトル、テクスチャ座標など
     - glEnableClientState()関数
  4. 配列の使用する範囲を指定して一気に描画
     - 配列データをレンダリング・パイプラインに転送
     - glDrawArrays()関数

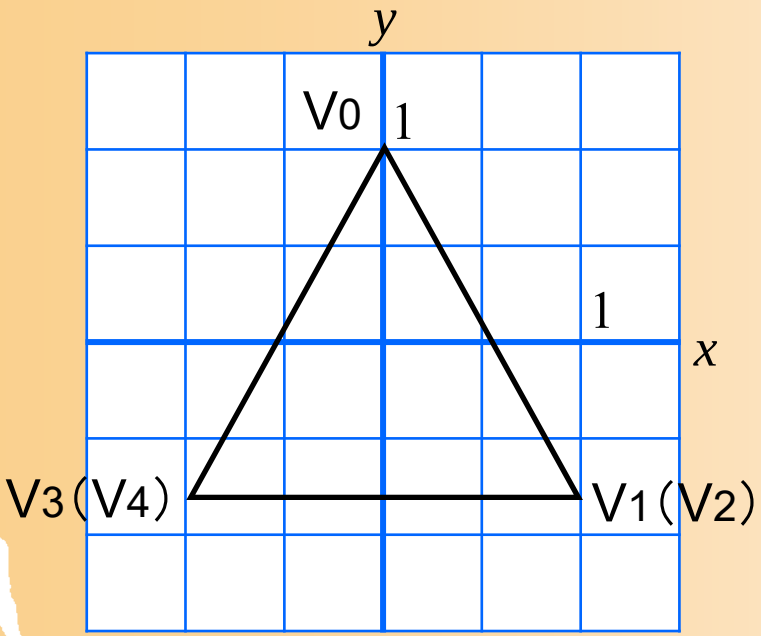
四角すいの描画

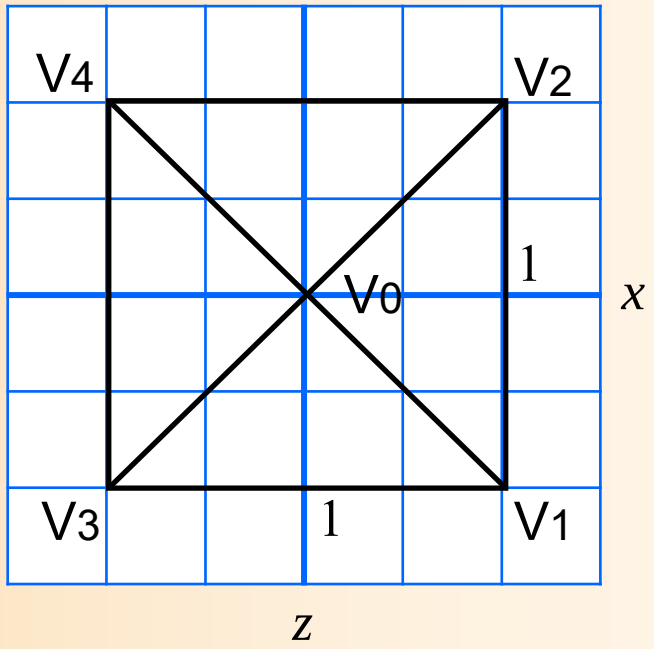
- 四角すいを構成する頂点と三角面



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

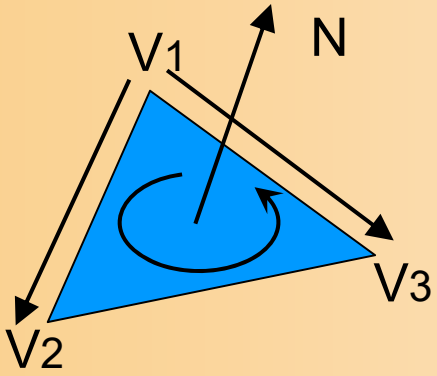




※ *yz*平面は省略

面の法線の計算方法

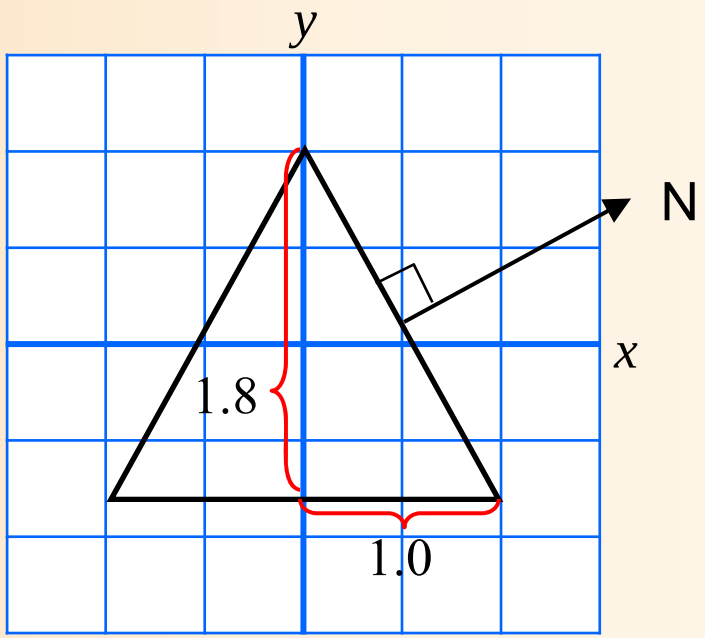
- ポリゴンの2辺の外積から計算できる



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

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



頂点配列を使用した描画(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 } };
```

頂点配列を使用した描画(2)

- 頂点配列の機能を利用して描画

```
void  renderPyramid()
{
        glVertexPointer( 3, GL_FLOAT, 0, pyramid_full_vertices );
        glNormalPointer( GL_FLOAT, 0, pyramid_full_normals );

        glEnableClientState( GL_VERTEX_ARRAY );
        glEnableClientState( GL_NORMAL_ARRAY );

        glDrawArrays( GL_TRIANGLES, 0, num_full_vertices );
}
```

配列の先頭アドレスを
OpenGLに渡す

設定した配列を
有効化

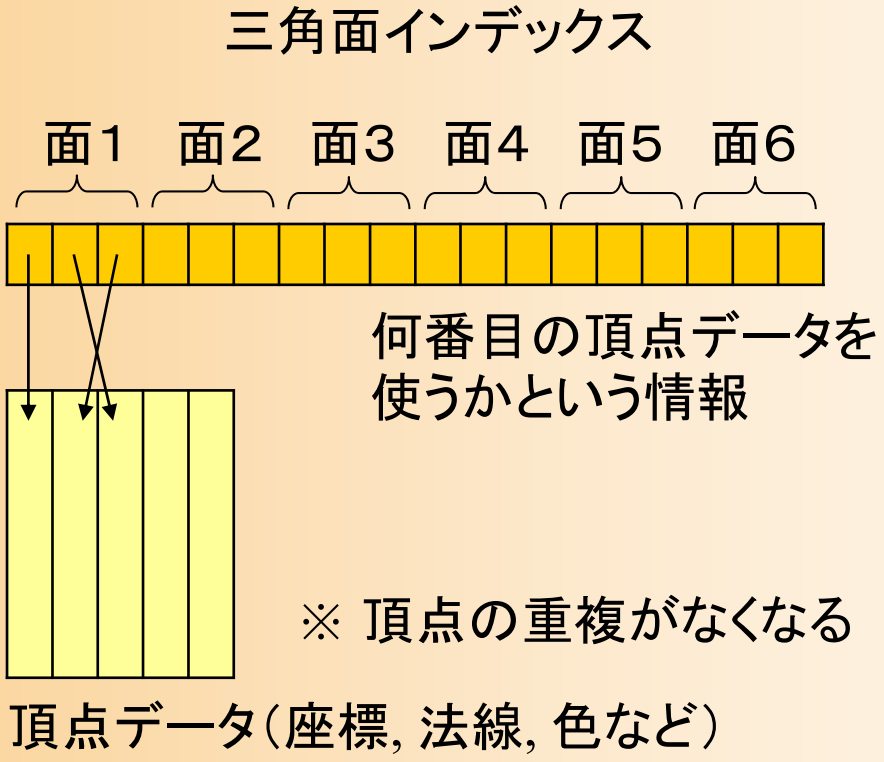
設定した配列を使って
複数のポリゴンを描画

頂点配列の利用

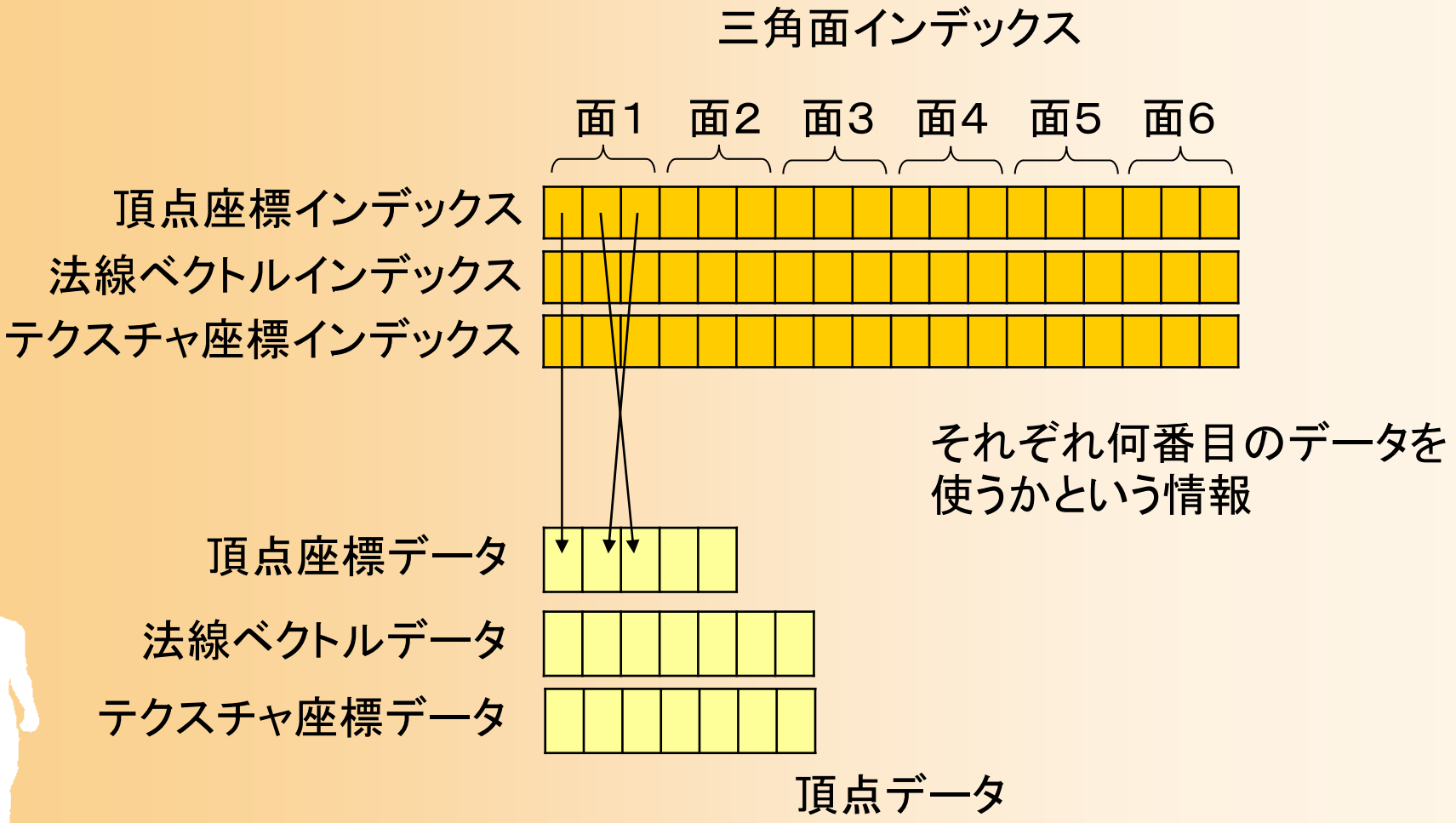
- OpenGL の頂点配列を使うためには、各頂点ごとに頂点座標・法線ベクトル・テクスチャ座標をまとめる必要がある
- データ構造の変換が必要
  - 以下、変換方法の例を説明

頂点配列の利用(1):
頂点配列を使うためのデータ構造

- 頂点配列の機能を利用するためには、頂点ごとにデータをまとめる必要がある

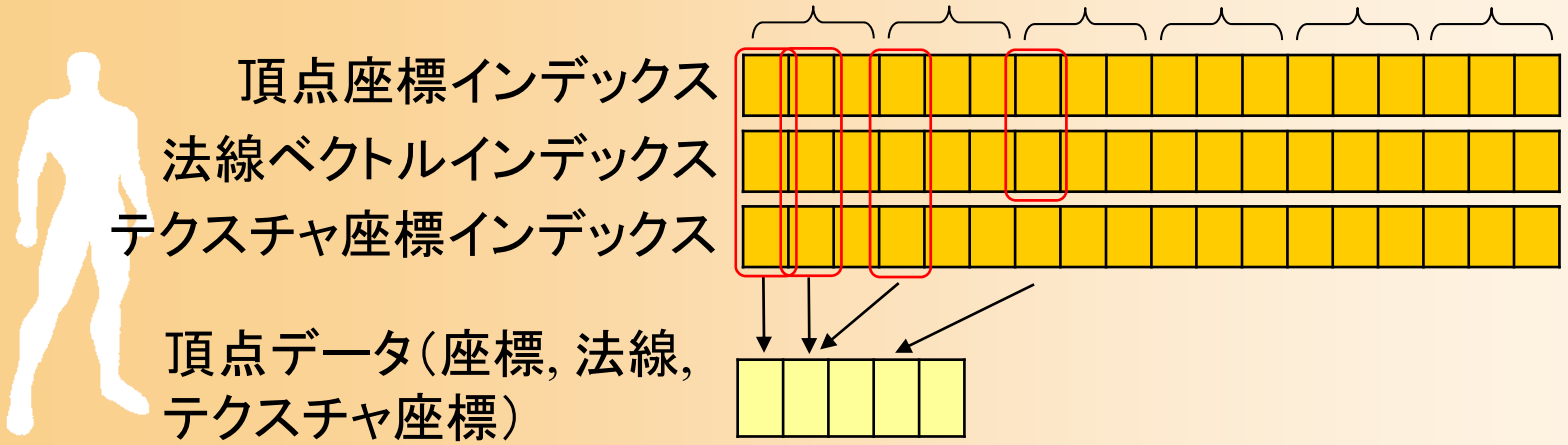


頂点配列の利用(2):
Obj形式のデータ構造



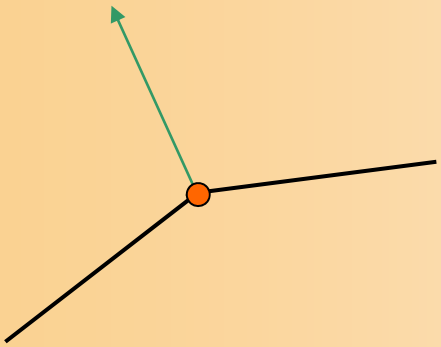
頂点配列の利用(3):データ構造の変換

- 共通の頂点座標・法線・テクスチャ座標を利用している頂点があれば共通化して利用
  - 頂点座標が同じでも、法線・テクスチャ座標が異なれば、別の頂点データとして扱う
  - 再構成された頂点番号に応じて、三角面インデックスを作成

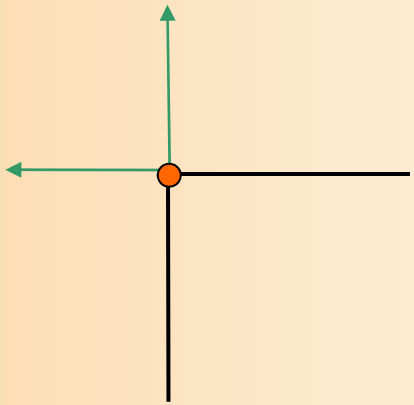


頂点の共通化

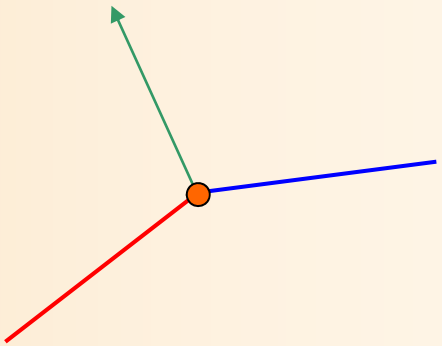
- 共通の頂点座標･法線･テクスチャ座標
  - なめらかな面の場合は、通常、これらの情報は共通になる
  - 角にあたる頂点では法線ベクトルが異なる
  - 模様が変わる頂点ではテクスチャ座標が異なる



なめらかな面では、隣接面で共通の頂点データを使用



角にあたる頂点



左右の面同士で模様が変わる頂点

幾何形状データ処理

幾何形状データ処理(1)

- 今回は、最も基本(必須)となる、ファイルからの幾何形状データ読み込みについて学習
- 幾何形状データ処理に関しては、他にも多くの技術がある
  - 本授業では扱わない
- 形状データの生成・編集に使われるオフライン処理の一部は、モデリングソフトウェアに組み込まれているため、自分でプログラムを作成しなくとも、利用可能

幾何形状データ処理(3)

- サブディビジョンサーフェス(Subdivision Surface、細分割曲面)
  - ポリゴンモデルを繰り返し細分割していき、曲面に近いポリゴンモデルを生成
    - ポリゴン枚数が極端に増えるため、リアルタイム処理用のポリゴンモデルの生成に使うのは難しい？
- 幾何形状の簡略化
  - 粗いポリゴンモデルに変換
  - LOD(Level of Detail) : 視点からの距離に応じて離れているモデルは簡略化して描画

幾何形状データ処理(3)

- 点群からの幾何形状モデル生成
  - レーザセンサ等により計測した、実物体の表面の点データの集合から、ポリゴンモデルを生成
    - 穴への対応、複数の計測データの統合、モデルの簡略化などの課題
- 幾何形状モデルの作成・変形
  - 制作者が意図する形状を直観的に作成できるモデリングシステム
  - 初心者でも容易にモデリングが行えるシステム
  - 自然な形状の生成・変形

まとめ

- 幾何形状データの読み込み
  - 幾何形状データ
    - 三角面インデックス
  - ファイル形式
    - 使用する形式の選択のポイント、Obj形式の利用
  - データ構造と描画処理
    - Obj形式に応じたデータ構造、頂点配列は使えない
  - 読み込み処理の実装
    - Cによる実装（studio＋scanf）
    - C++による実装（可変長のデータに対応）
    - 頂点配列の利用（データ構造の変換）

レポート課題

- 次回の内容と合わせたレポート課題
（詳細は次回説明）
- 幾何形状モデルの描画処理を変更

次回予告

- 影の描画
  - 影の表現方法
    - テクスチャ・マッピング、ポリゴン投影、シャドウ・ヴォリューム、シャドウ・マッピング
  - 高度な描画技術
    - アルファブレンディング、ステンシルバッファ