Graphics with Processing

2017-11 シェーディングとマッピング

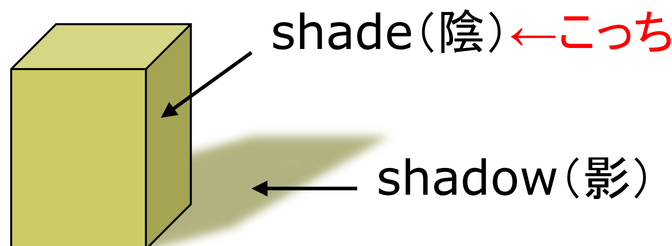
http://vilab.org

塩澤秀和

11.1* シェーディング

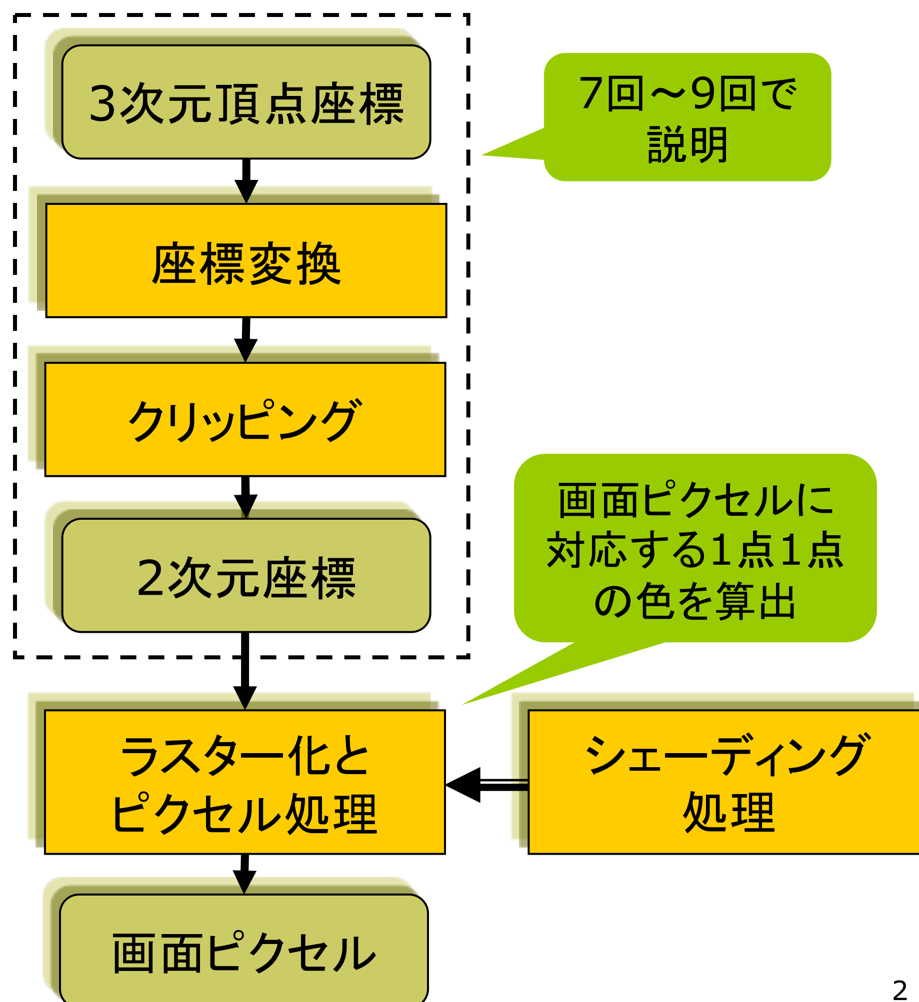
シェーディング（shading）

- シェーディングモデル（p.141）
  - 光の反射・材質のモデル（前回）
  - ポリゴンの明暗の計算モデル



- プログラマブルシェーダー
  - 最近のGPUはプログラム言語で内部処理を変更できる
  - 水面・人の肌など，対象ごとに，シェーディングを切り替えられる
  - 最終回で少し触れる予定

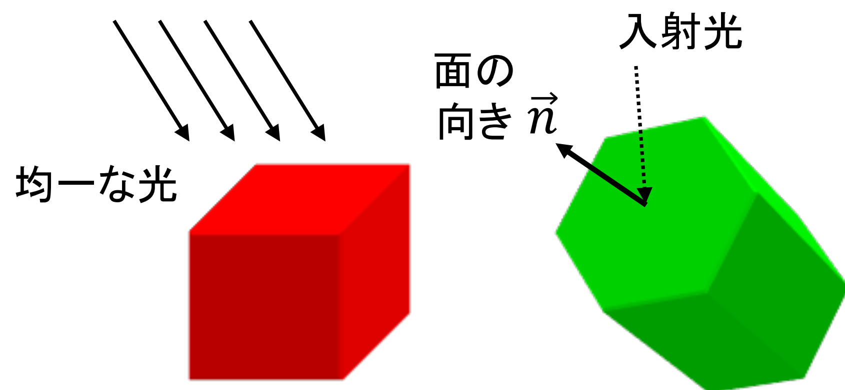
シェーディング処理のタイミング



11.2* フラットシェーディング

フラットシェーディング（p.155）

- 各ポリゴンを単一色で描画
  - ポリゴンの代表点（例：重心）の法線ベクトルを面の向きとする
  - 法線ベクトルと入射光の角度から色（反射光）を計算する
  - 面全体を同一色で描画する
  - 均一な平行光が平面に当たる場合は光学的に正しい
  - 高速だがリアリティには欠ける



法線ベクトル（p.67）

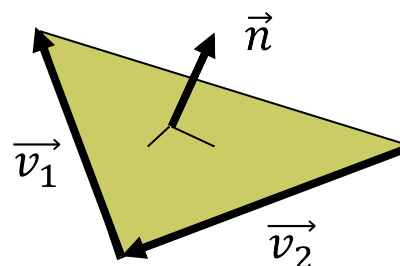
平面の方程式から

$$ax + by + cz + d = 0$$

$$\vec{N} = (a, b, c)$$

曲面の場合は？

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}, \frac{\partial F}{\partial y}, \frac{\partial F}{\partial z}\right)$$



ポリゴンの辺（ベクトル）から

$$\vec{N} = \vec{v_1} \times \vec{v_2}$$

外積（クロス積）

$$\begin{pmatrix} y_1 z_2 - z_1 y_2 \\ z_1 x_2 - x_1 z_2 \\ x_1 y_2 - y_1 x_2 \end{pmatrix}$$

単位法線ベクトル

$$\vec{n} = \vec{N} / |\vec{N}|$$

（大きさを1にする）

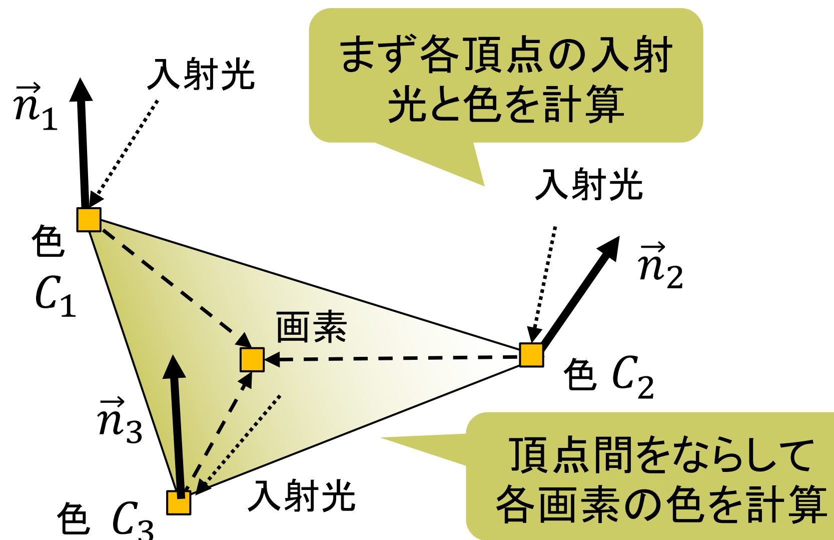
11.3* スムースシェーディング

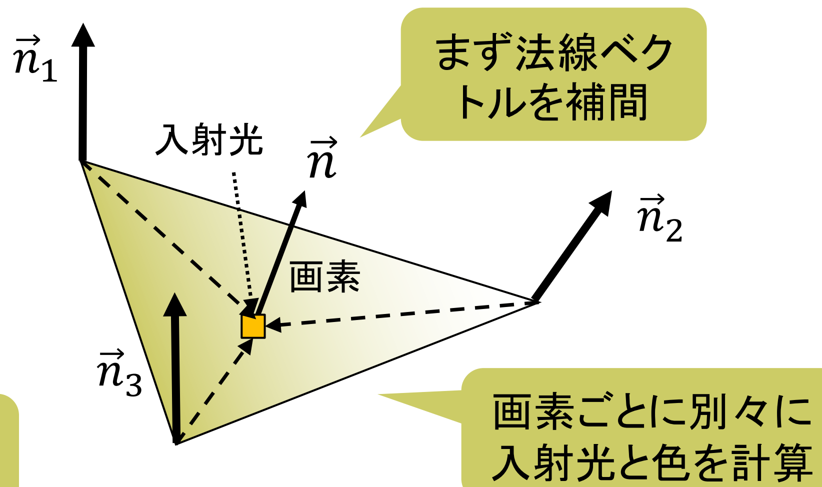
グロー（Gouraud）シェーディング

- 頂点間の色を補間（p.156）
  - まず，頂点位置の法線ベクトル→入射光→反射光と計算して，ポリゴンのすみの色を決定する
  - 次に，2D画面上で色を滑らかに補間してポリゴンを塗り潰す
  - 処理が高速

フォン（Phong）シェーディング

- 法線ベクトルを補間（p.157）
  - ポリゴン頂点における値を元に，画面上の各ピクセルに対応する法線ベクトル等の値を補間する
  - ピクセルごとに反射光を計算し，ポリゴンを塗り潰す
  - 鏡面反射の光沢をリアルに表現

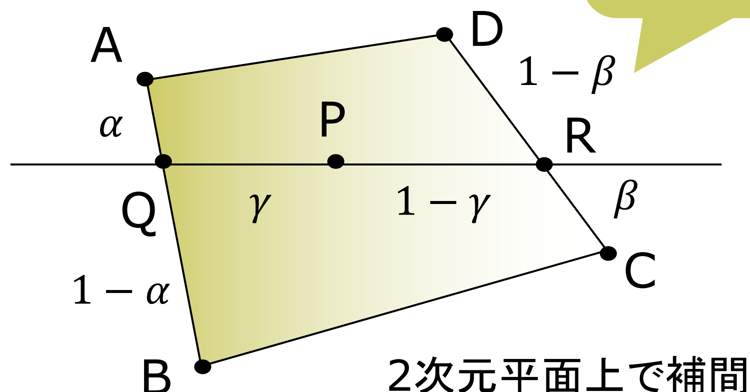




11.4 バイリニア補間

バイリニア補間（p.156）

- 2段階の線形補間



1段階目

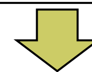
$$V_Q = (1-\alpha)V_A + \alpha V_B$$
$$V_R = (1-\beta)V_C + \beta V_D$$

2段階目

$$V_P = (1-\gamma)V_Q + \gamma V_R$$

- 各シェーディングでの補間処理
  - グローシェーディング

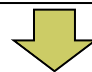
各頂点の色のRGB成分をそれぞれバイリニア補間



各ピクセルの補間色を合成

  - フォンシェーディング

各頂点の法線ベクトルのxyz成分をそれぞれバイリニア補間



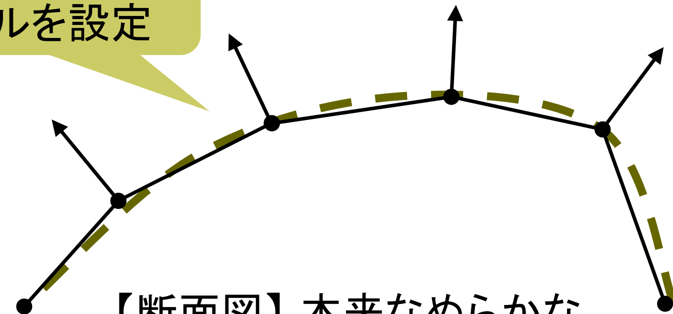
各ピクセルの法線ベクトルを合成

  - テクスチャマッピングにおける対応uv座標の計算にも使用

11.5* ポリゴン曲面

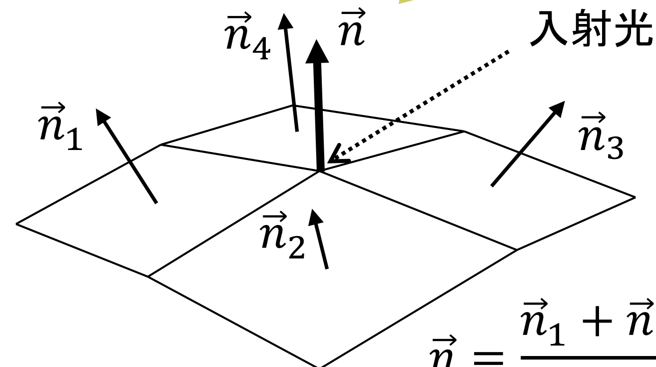
ポリゴン曲面（p.94）

- 曲面の近似
  - ポリゴンの集合で曲面を表す
  - 三角形を使うことが多い（頂点が必ず同一平面上にあるから）
  - ポリゴンをつなぐ頂点には元の曲面の法線ベクトルを設定する
  - スムースシェーディングで面の色を滑らかにつなげて描画することで，曲面に見せかける



法線ベクトルの設定

- normal(nx, ny, nz)
  - 曲面近似等のために，頂点位置の法線ベクトルを明示的に設定
  - 対応するvertexの直前で使う

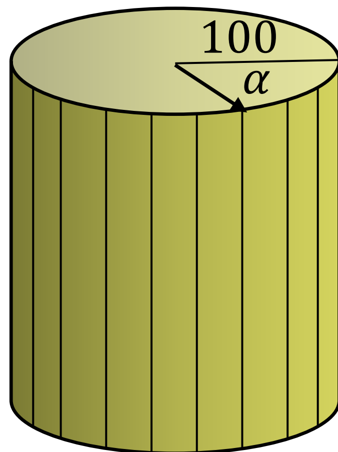


$$\vec{n} = \frac{\vec{n}_1 + \vec{n}_2 + \vec{n}_3 + \vec{n}_4}{4}$$

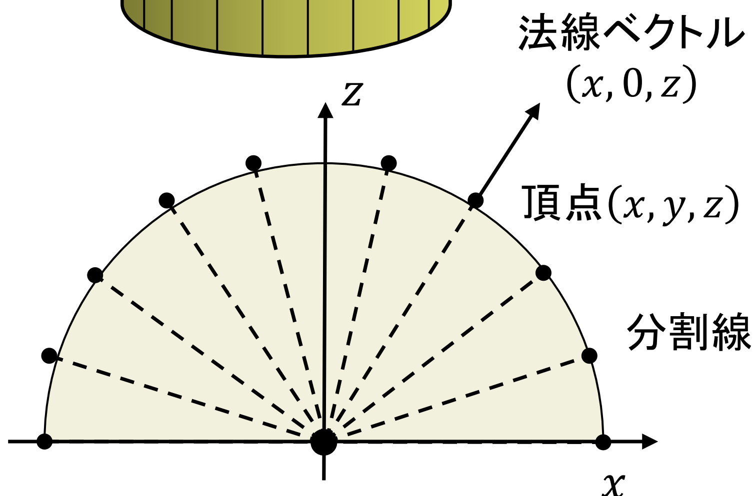
11.6 ポリゴン曲面の例

実はQUAD_STRIPで描けば
Processingが自動で滑らかに
見える法線ベクトルを設定する

長方形を貼り合わせて
円柱をモデリング



$x = 100\cos\alpha$
$z = 100\sin\alpha$




```
noStroke();
beginShape(QUADS);
float d = 1.0/18;
for (float f = 0.0; f < 1.0; f += d) {
    float a, x, z;
    a = TWO_PI * f;
    x = 100 * cos(a);
    z = 100 * sin(a);
    if (mousePressed) normal(x, 0, z);
    vertex(x, -100, z);
    vertex(x,  100, z);

    a = TWO_PI * (f + d);
    x = 100 * cos(a);
    z = 100 * sin(a);
    if (mousePressed) normal(x, 0, z);
    vertex(x,  100, z);
    vertex(x, -100, z);
}
endShape();
```

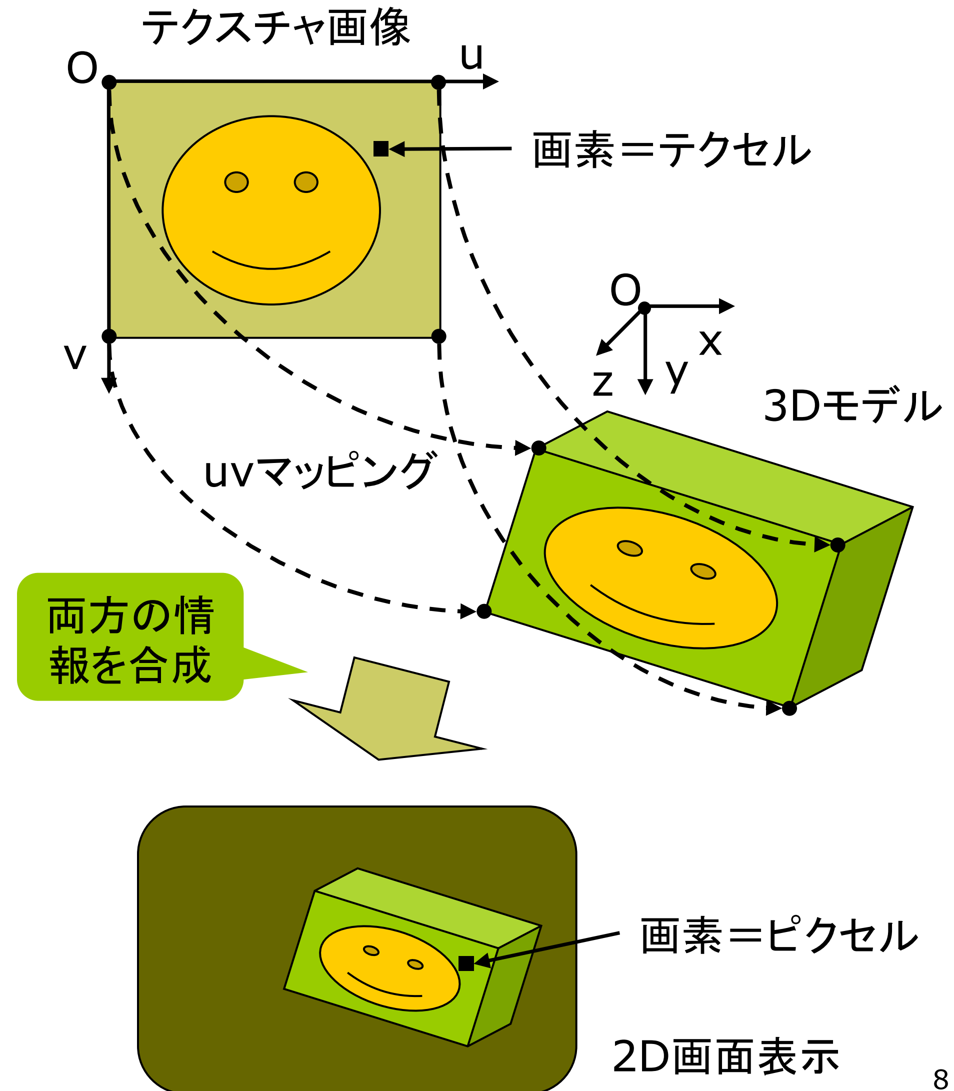
fは1周を1とした角度

11.7* テクスチャマッピング（p.162）

テクスチャマッピング

- texture＝布目・模様
  - 立体表面に画像（＝色分布）をシールのように貼りつける

    （例）球に世界地図を貼りつける
  - 質感を表すのに効果てきめん
  - テクスチャ画像を構成する画素をテクセル（texel）という
- uv座標（テクスチャ座標）
  - テクスチャ画像内の2D座標
  - モデリング座標と区別するため，(u, v) （またはs,t）で表す
- uvマッピング
  - ポリゴンの各頂点に画像の中の対応点（uv座標）を設定する
  - 画像(u, v) → 空間(x, y, z)



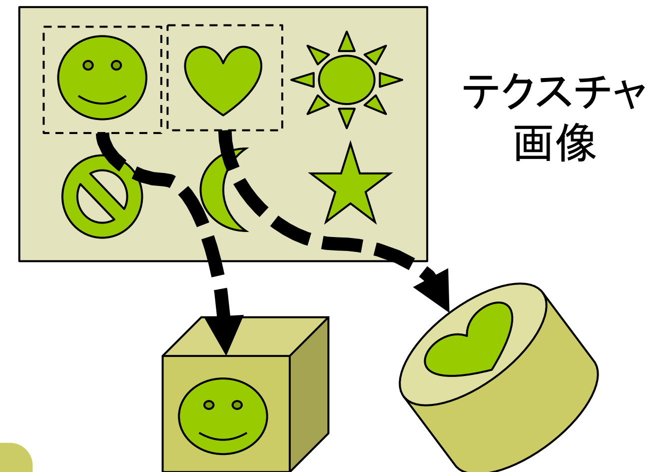
11.8 テクスチャマッピング関数

テクスチャマッピング関数

- texture(画像)
  - 画像：PImage型（第3回参照）
  - テクスチャ画像の設定
  - beginShape(), endShape()の中で指定する
- vertex(x, y, z, u, v)
  - 頂点(x, y, z)を追加し，そこにテクスチャ画像内の点(u, v)を対応づける
  - 2Dでの画像変形にも使えるvertex(x, y, u, v)
- textureMode(モード)
  - uv座標の値の範囲
  - NORMAL: 0.0～1.0に正規化
  - IMAGE: 画像のピクセル座標

画像の右下隅がu=1.0, v=1.0

- サンプルプログラム
  - Examples → Topics (3D) → Textures の下 (Examples → Libraries → OpenGL→TexturedSphere)



テクスチャとポリゴンの形状は異なってもいいし，大きな画像から一部切り出して貼り付けてもいい

11.9 テクスチャマッピングの使用例

```
// 準備: 画像ファイル(kouji50m.jpg)を
// あらかじめ講義ページからダウンロードして
// スケッチのdataフォルダに入れておく
// (メニューで Sketch → Add File...)

PImage tex;

void setup() {
  size(300, 300, P3D);
  tex = loadImage("kouji50m.jpg");
}

void draw() {
  background(0);
  translate(width/2, height/2, 0);
  rotateY(-radians(frameCount));

  noStroke();
  beginShape(QUADS);
  texture(tex);
  textureMode(NORMAL);
  vertex(-20,-50,  0,  0.0, 0.0);
  vertex( 20,-50,  0,  1.0, 0.0);
  vertex( 20, 50, 15,  1.0, 1.0);
  vertex(-20, 50, 15,  0.0, 1.0);
  endShape();

  fill(#ffffff, 128);
  stroke(#555555);
  beginShape(QUADS);
  vertex(-20,-50,   0);
  vertex( 20,-50,   0);
  vertex( 20, 50, -15);
  vertex(-20, 50, -15);
  endShape();
}
```

画像はグローバル
変数で定義する

画像はsetupの中で
一度だけ読み込む

長方形に画像texを
テクスチャマッピング

uv座標は
0～1モード

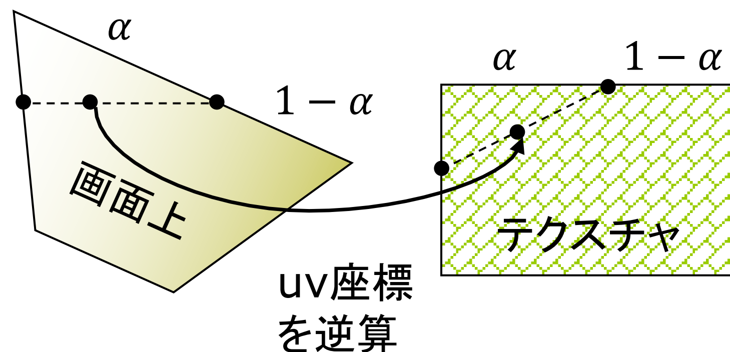
0以上1以下で数値
を色々変更してみよ

半透明や透過
テクスチャは
最後に描画

11.10 テクスチャの描画処理

テクスチャの描画処理(p.148)

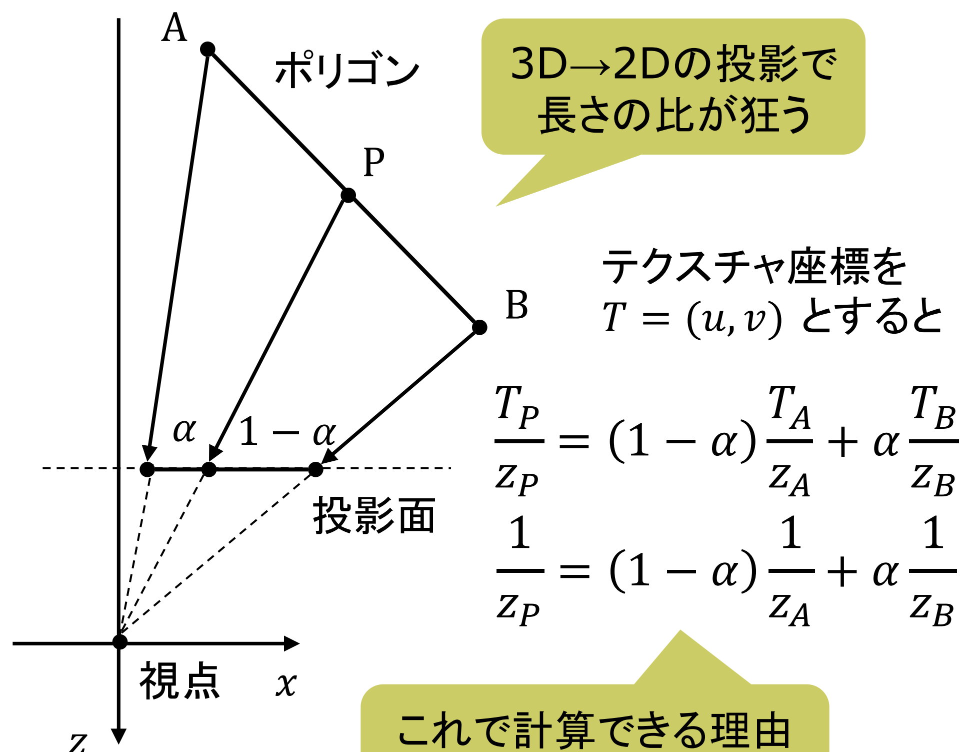
- 画面座標→uv座標
  - 画面上の各ピクセルの描画時に元のuv座標を逆算する
  - ポリゴンの頂点に設定されたuv座標値からバイリニア補間する



- uv座標→描画色
  - 求めたuv座標の周辺テクセルから補間等で描画色を決める
  - 画像の拡大・変形技術と同じ

パースペクティブ補正

- 透視投影での補正
  - 遠くにいくほどテクスチャを縮めて“ゆがみ”を防ぐ



テクスチャ座標を $T = (u, v)$ とすると

$$\frac{T_P}{z_P} = (1-\alpha)\frac{T_A}{z_A} + \alpha\frac{T_B}{z_B}$$

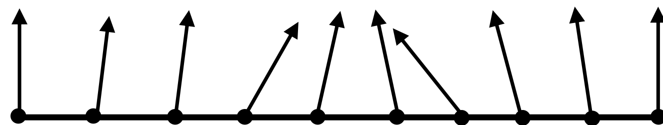
$$\frac{1}{z_P} = (1-\alpha)\frac{1}{z_A} + \alpha\frac{1}{z_B}$$

11.11* その他のマッピング技術

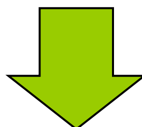
バンプマッピング（p.166）

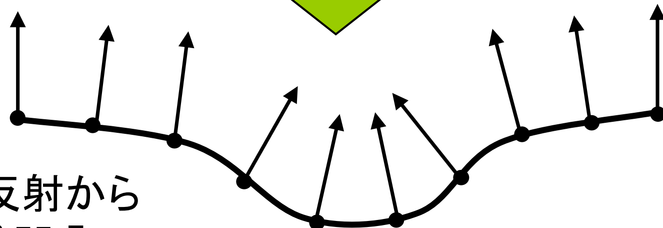
- 凹凸を表面にマッピング
  - 表面の細かい凹凸から計算した法線ベクトルの分布を貼り付け，凹凸があるような陰影をつける
  - 任意の法線分布を用意しておくものは「法線マッピング」という

法線ベクトルをマッピング



表面は平らなまま





光の反射から見える凹凸

その他のマッピング

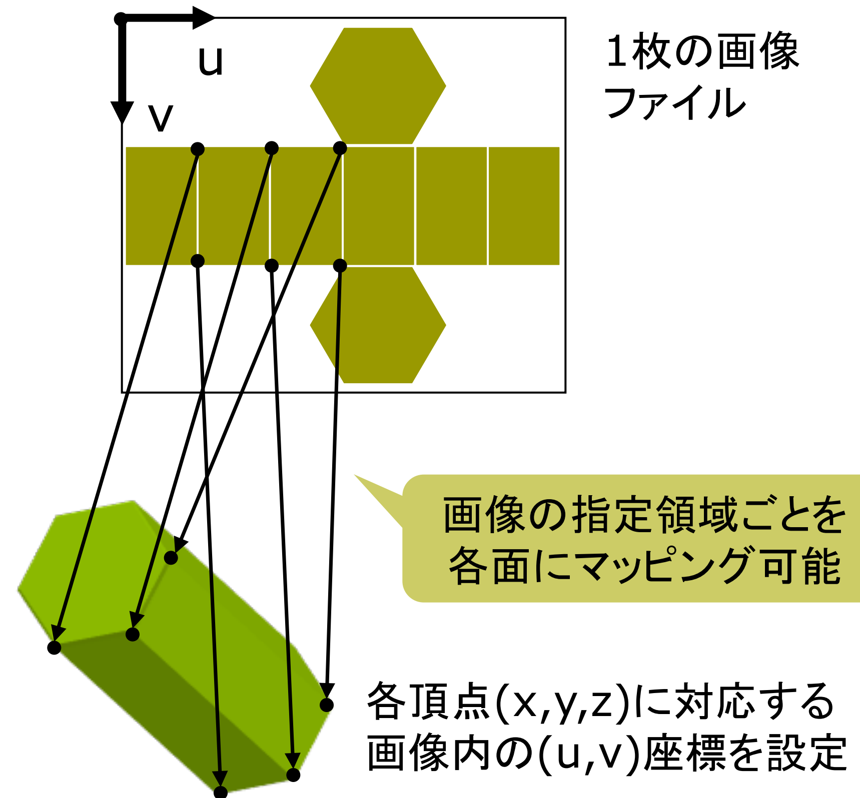
- 視差マッピング
  - 凹凸のある表面を違う方向から見ると，でっぱりの高さによって位置がずれて見える（視差）
  - 視線と高さに応じて，uv座標をずらしてマッピングする
- 投影テクスチャマッピング(p.164)
  - プロジェクタで投影するように，テクスチャを貼り付ける
  - 影の表現にも応用できる
- 環境マッピング（p.168）
  - 金属などへの景色の映り込みをテクスチャで表現する
  - 視点から物体表面で反射して見える景色をレンダリングして画像を作成し，テクスチャとして貼る

11.12 演習課題

課題

- 11.6のサンプルをもとに円筒の表面に画像をぐるりと貼り付けるプログラムを作成しなさい
  - アニメーション等によって円筒の全表面が見えるようにすること
  - さらに, PNG形式などで透過色（透明部分）がある画像を貼ってみると面白い
- 作品アップロード練習
  - プログラムを保存したら, Tools → Archive Sketch で, **画像もまとめたZIPファイルを作る**
  - ProcessingフォルダにできたZIPファイルを下記から提出する
  - http://www2.vilab.org/upload/cg-upload.html

展開図画像などの利用



1枚のテクスチャ画像から別々のオブジェクトに貼り付けることも可能 ⇒ “テクスチャアトラス”

11.13 参考：オフスクリーンレンダリング

```
// いったん“隠し画面”に描いた図形を
// 画像としてポリゴンに貼り付ける例
PGraphics pg;  // 隠し画面用変数

void setup() {
  size(400, 300, P3D);
  // 隠し画面を開く
  // 3つの引数の意味はsize関数と同じ
  pg = createGraphics(100, 100,
          JAVA2D);
}

void draw() {
  // 隠し画面上での描画処理
  pg.beginDraw();  // 開始
  pg.background(255);
  pg.translate(50, 50);
  pg.fill(240, 180, 180);
  pg.rotate(radians(frameCount));
  pg.rect(-100, -3, 200, 6);
  pg.endDraw();    // 終了

  // 表示画面での処理
  background(255);
  lights();
  translate(width / 2, height / 2, 0);
  rotateX(radians(frameCount) / 8);
  noStroke();
  scale(90);

  beginShape(QUADS);
  texture(pg);  // 隠し画面を画像として使う
  textureMode(IMAGE);
  vertex(-1, 1, 1,   0,   0);
  vertex( 0, 1, 0,  50,   0);
  vertex( 0,-1, 0,  50, 100);
  vertex(-1,-1, 1,   0, 100);
  vertex( 0, 1, 0,  50,   0);
  vertex( 1, 1, 1, 100,   0);
  vertex( 1,-1, 1, 100, 100);
  vertex( 0,-1, 0,  50, 100);
  endShape();
}
```