

Graphics with Processing



2015-11 シェーディングとマッピング

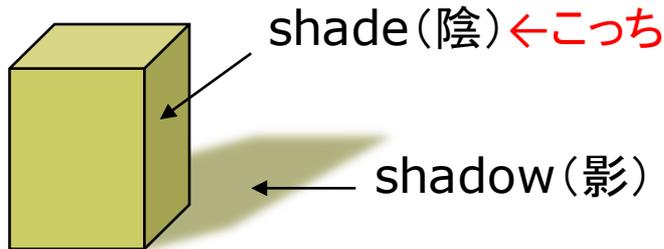
<http://vilab.org>

塩澤秀和

11.1 シェーディング

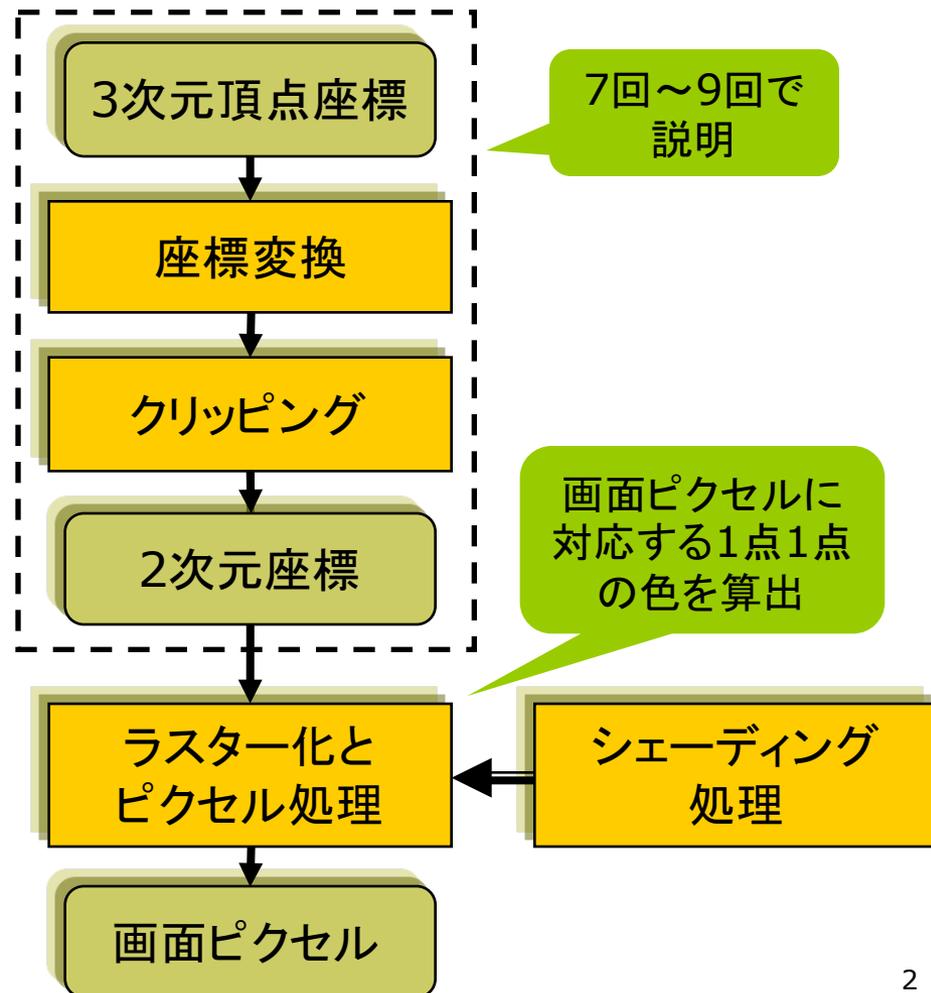
シェーディング (shading)

- 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

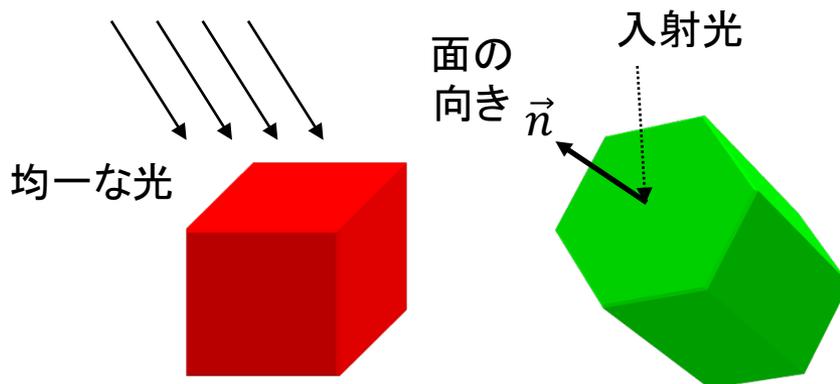
シェーディング処理のタイミング



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

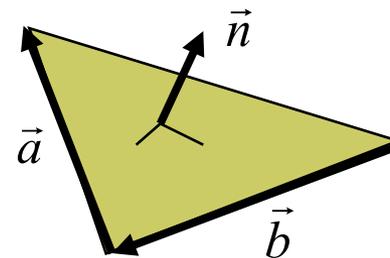


法線ベクトル (p.67)

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

$$\vec{N} = \vec{a} \times \vec{b}$$

単位法線ベクトル

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

(大きさを1にする)

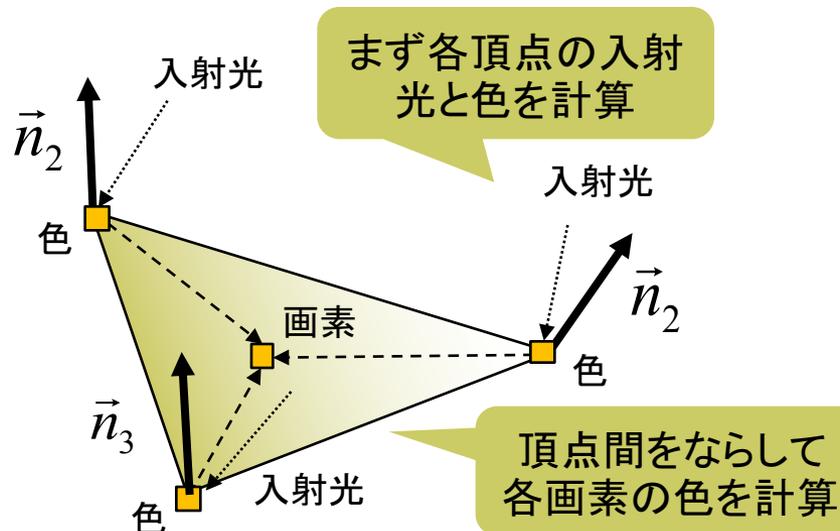
外積 (クロス積) については
教科書等参照

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)

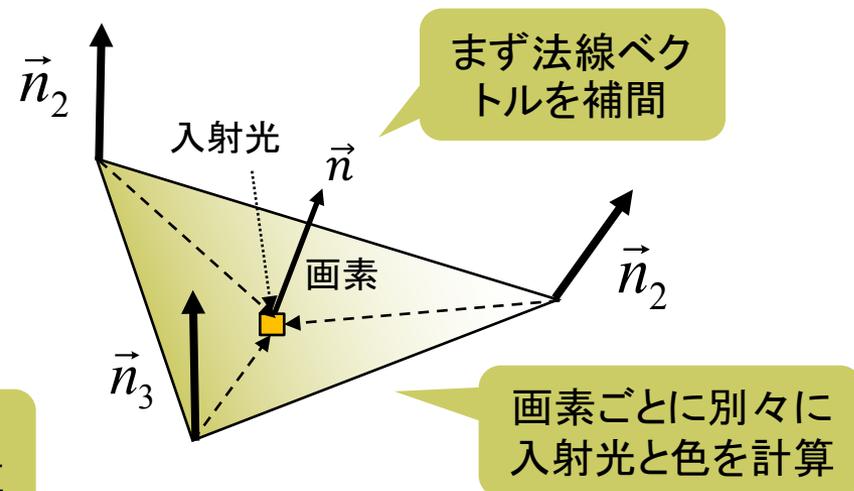
- 頂点位置の法線ベクトルを求め、光の反射を計算してポリゴンのすみの色を決定する
- ポリゴン内部は、色が滑らかにつながるように線形補間する
- 処理が高速



フォン(Phong)シェーディング

□ 法線ベクトルを補間(p.157)

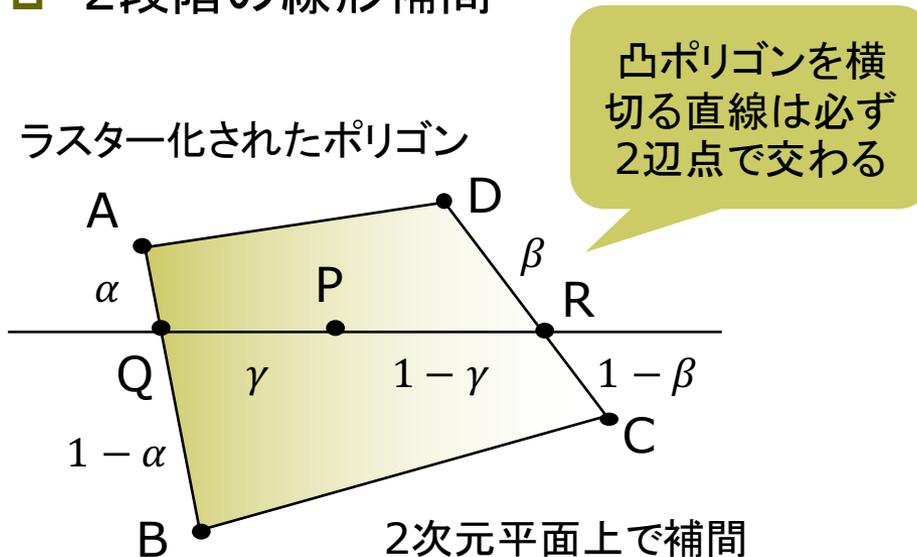
- 色を補間するのではなく、面全体の法線ベクトルを補間する
- 画面上の各ピクセルに対応する法線ベクトルを計算し、その点での光の反射から色を決定する
- 鏡面反射の光沢をリアルに表現



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

$$C_Q = (1 - \alpha)C_A + \alpha C_B$$

$$C_R = (1 - \beta)C_D + \beta C_C$$

2段階目

$$C_P = (1 - \gamma)C_Q + \gamma C_R$$

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

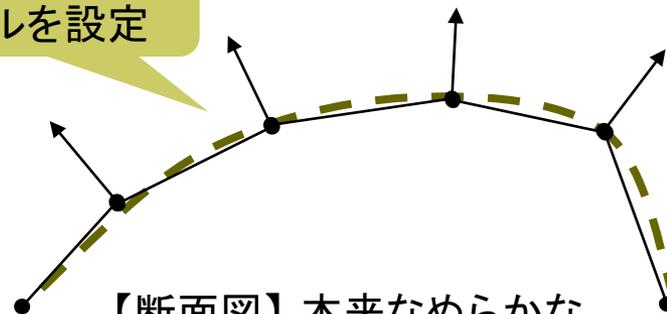
11.5 ポリゴン曲面

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

各頂点に法線ベクトルを設定



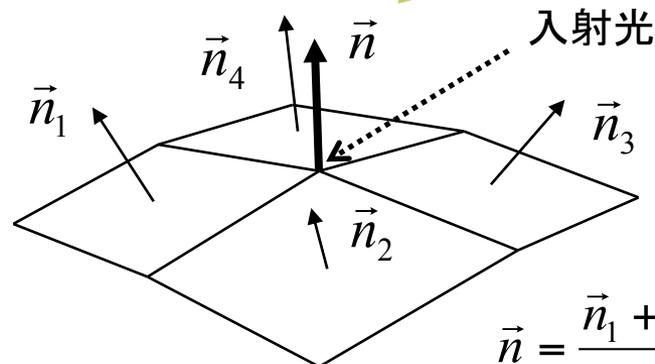
【断面図】本来なめらかな曲面を多数のポリゴンで近似

元の曲面がない場合は周囲のポリゴンの法線ベクトルを平均化

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

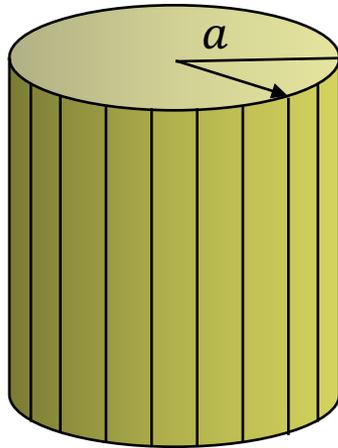


$$\vec{n} = \frac{\vec{n}_1 + \vec{n}_2 + \vec{n}_3 + \vec{n}_4}{4}$$

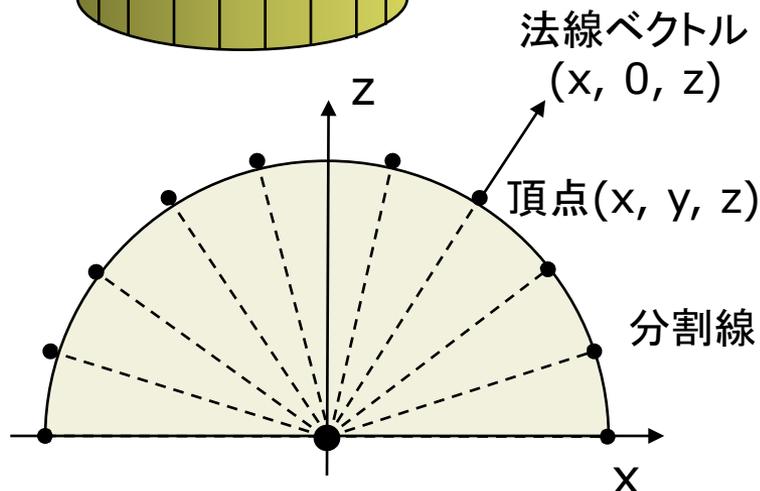
11.6 ポリゴン曲面の例

実はQUAD_STRIPで描くと
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



$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100 \cos a \\ 100 \sin a \end{bmatrix}$$



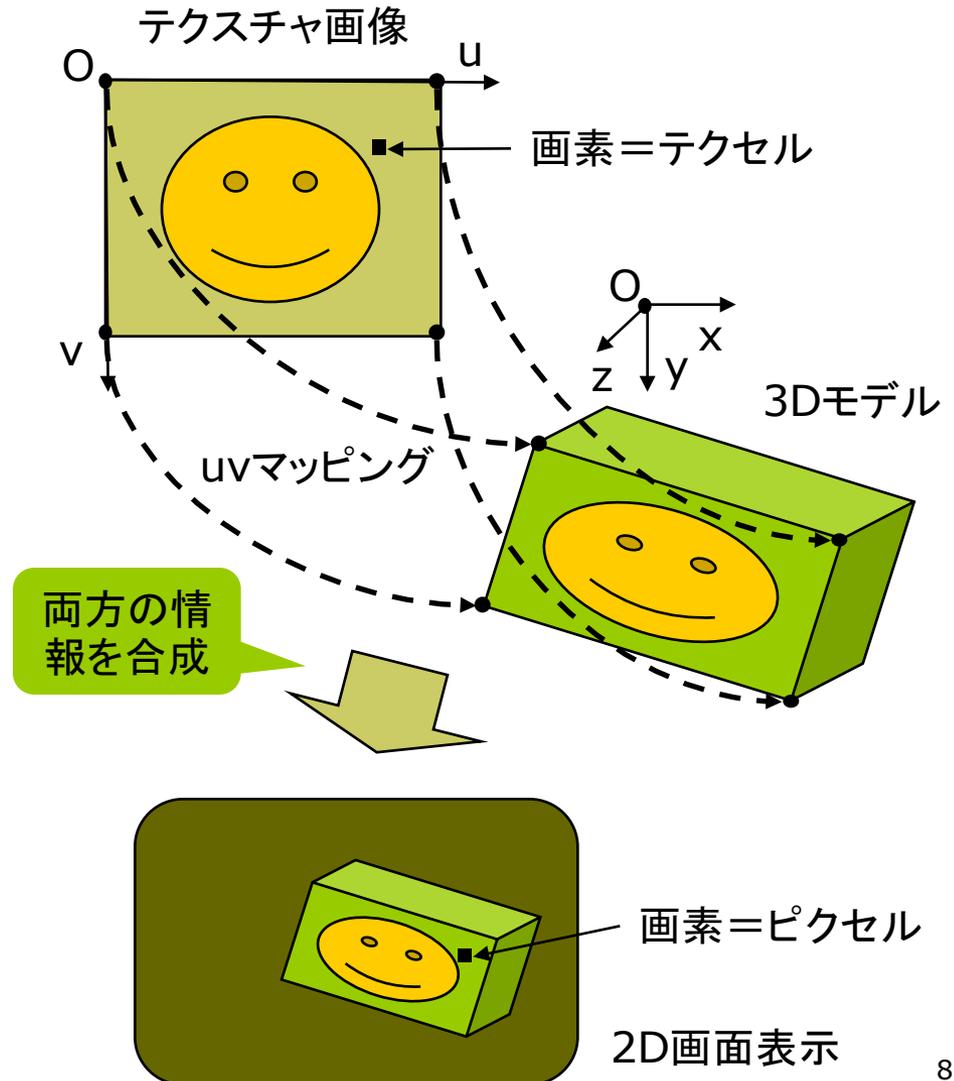
```
noStroke();
beginShape(QUADS);
float d = 1.0/18;
for (float f = 0.0; f < 1.0; f += d) {
  float a, x, z;
  a = TWO_PI * f;
  x = 100 * cos(a);
  z = 100 * sin(a);
  if (mousePressed) normal(x, 0, z);
  vertex(x, -100, z);
  vertex(x, 100, z);

  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();
```

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)
 - テクスチャ画像の2次元座標
 - 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
 - 3次元座標に2次元のテクスチャ座標を対応づけること
 - 画像 $(u, v) \rightarrow$ 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(5.3参照)
- 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)

- 通常のvertex(x, y, z)の処理に加え, その点をテクスチャ座標(u, v)に対応づける
- 2次元での画像変形にも使える
vertex(x, y, u, v)

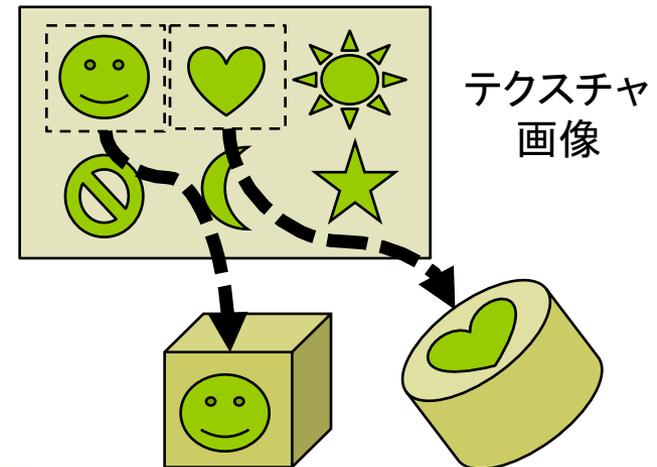
□ textureMode(モード)

- uv座標の指定モード
- NORMAL: 0.0~1.0
- IMAGE: 実際の画像の座標

旧バージョンでは
NORMALIZED

□ 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;
```

画像はグローバル変数で定義する

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

画像はsetupの中で一度だけ読み込む

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

長方形に画像texを
テクスチャマッピング

```
noStroke();
beginShape(QUADS);
texture(tex);
textureMode(NORMAL);
vertex(-20,-50, 0, 0, 0);
vertex( 20,-50, 0, 1, 0);
vertex( 20, 50, 15, 1, 1);
vertex(-20, 50, 15, 0, 1);
endShape();
```

uv座標は
0~1モード

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

半透明は必ず最後に描画
(Zバッファの問題を回避)

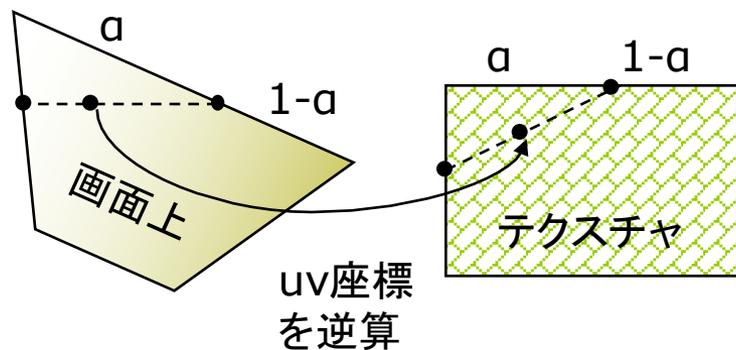
```
}
```

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に対応する uv座標を逆算して描画
- ポリゴンの頂点に設定された uv座標から補間する



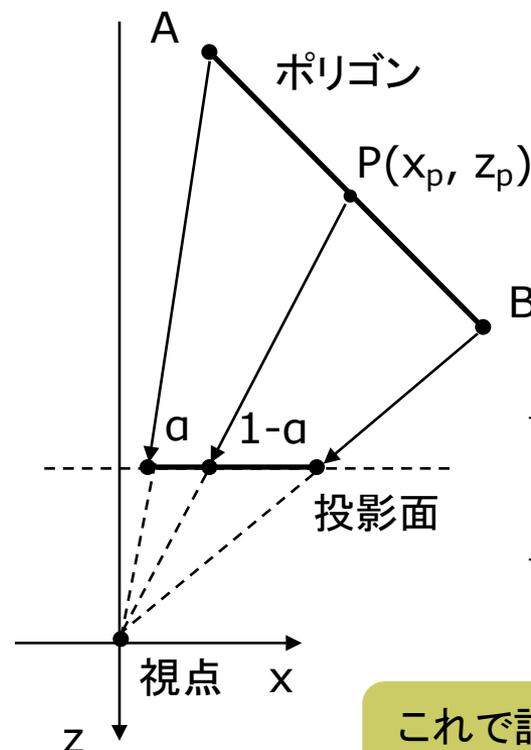
□ uv座標 → 描画色

- 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



3D→2Dの投影で
長さの比が狂う

テクスチャ座標を
 $T(u, v)$ とすると

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

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

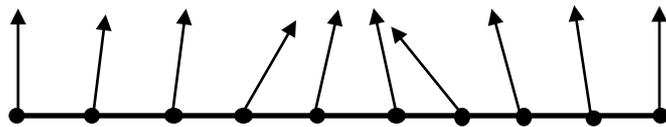
これで計算できる理由は
専門書などを参照

11.11 その他のマッピング

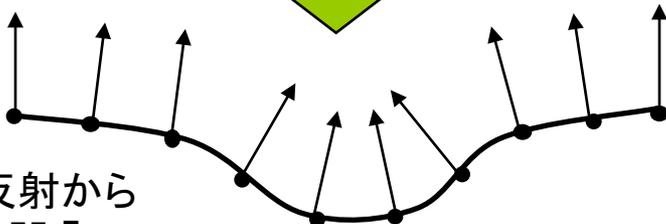
バンプマッピング (p.166)

- 凹凸を表面にマッピング
 - 法線ベクトルの分布を面に貼り付けることで、まるで凹凸があるかのように見せる
 - 表面の細かい凹凸を簡単かつ少ない計算量で表現できる

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

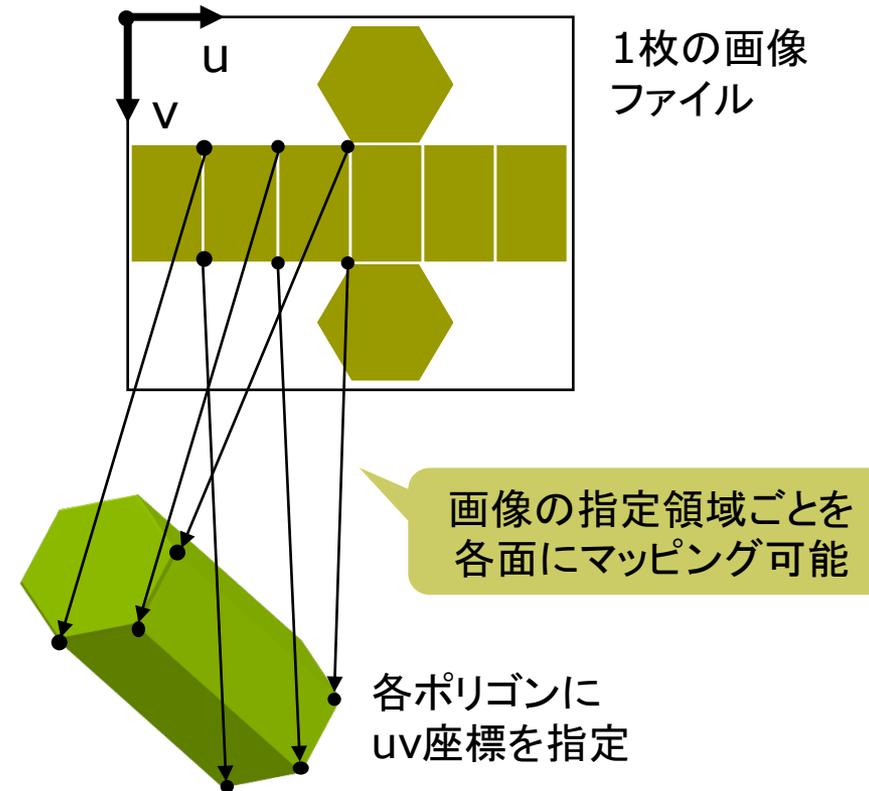
- 投影テクスチャマッピング (p.164)
 - プロジェクタで投影するように、物体にテクスチャを貼り付ける
 - 影の表現にも応用できる
- 環境マッピング (p.168)
 - 金属などへの景色の映り込みをテクスチャで表現する
 - 景色のテクスチャを作っておき、物体の表面に反射して視点から見える景色を計算して描画
- マッピングの利点
 - 頂点数(座標計算)を増やしたり、光の計算を複雑化させないで、リアリティを高めることができる
 - 多数の手法が開発されている

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
- 提出方法
 - 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ファイルを提出する
 - アップロード時に種類で「**フォルダ圧縮ZIPファイル**」を選ぶこと

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

```
//import processing.opengl.*;

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();
}
```