

Graphics with Processing



2018-14 プログラマブルシェーダ

<http://vilab.org>

塩澤秀和

14.1* 3DCGシステム

3DCG API(p.280)

- OpenGL (旧Silicon Graphics)
 - リアルタイムCG初期から
 - UNIX, iOS, PS3, Wii(類似)
 - オープン規格 ⇒ WebGL
- DirectX (Microsoft)
 - リアルタイムCG(特にゲーム)
 - Windows, Xbox
 - 高速性重視, 対応ハードが安い
- その他のリアルタイムAPI
 - Java3D, GNMX(PS4)
 - Mantle(AMD), Metal(iOS)
- RenderMan (Pixar)
 - 非リアルタイムCG(映像製作)
 - 映画製作で標準的

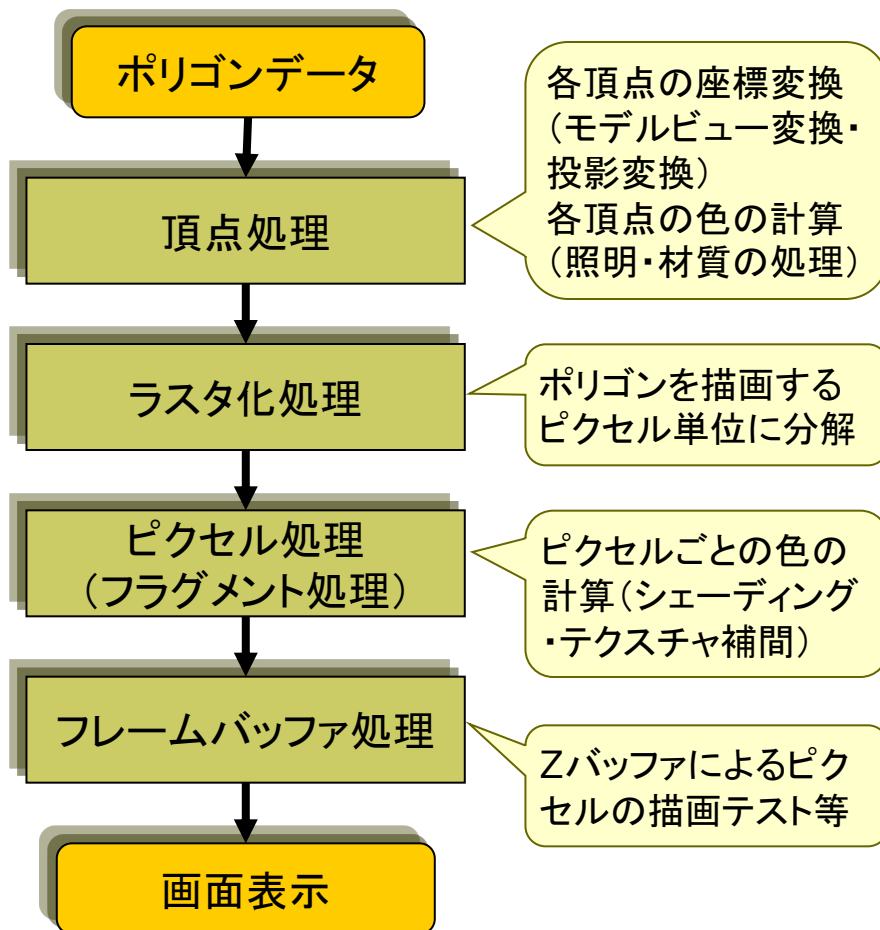
3DCGハードウェア(GPU)

- Graphics Processing Unit
 - 3DCG計算の専用プロセッサ
 - 数百以上の演算ユニットを搭載
 - 多数の頂点やピクセルに対して, 同様な処理を同時・並列に実行
- プログラマブルシェーダ
 - GPUの内部処理を用途に応じてカスタマイズできる機能
 - 固定機能だけでは対応できなくなった多様なCG技術に対応
- シェーディング言語
 - GLSL – OpenGL, WebGL
 - HLSL – DirectX, Xbox
 - Cg – NVIDIA, PS3
 - PPSL(PS4), Metal(iOS),...

14.2* シェーダプログラミング

レンダリングパイプライン(p.284)

□ 専用ハードウェアの処理手順



プログラマブルシェーダの機能

□ 頂点シェーダ

- 頂点処理(単一頂点の座標や色の処理)をプログラミング
⇒ モデルビュー変換, 投影変換, 頂点色の計算(照明・材質処理), テクスチャ座標の算出

□ ジオメトリ(プリミティブ)シェーダ

- 頂点処理後, プリミティブ(点, 線分, 三角形)単位の処理を追加
⇒ 頂点の増減, プリミティブの変更

□ ピクセル(フラグメント)シェーダ

- 頂点シェーダ等の結果を利用し, ピクセル処理をプログラミング
⇒ シェーディング・マッピング処理, 画像処理的エフェクト

14.3 GLSLによる2D描画

```
/* Processing 本体プログラム */
PShader circle; // シェーダオブジェクト

void setup() {
  size(600, 600, P2D);
  // フラグメントシェーダを読み込み有効化
  circle = loadShader("circle.glsl");
  // シェーダにfloat型変数を渡す
  circle.set("radius", 20.0);
}

void draw() {
  // シェーダにvec2型変数を渡す
  circle.set("center", (float)mouseX,
            (float)(height - mouseY));
  // シェーダを有効にして全ピクセルを描画
  shader(circle);
  rect(0, 0, width, height); // 全ピクセル
}
```

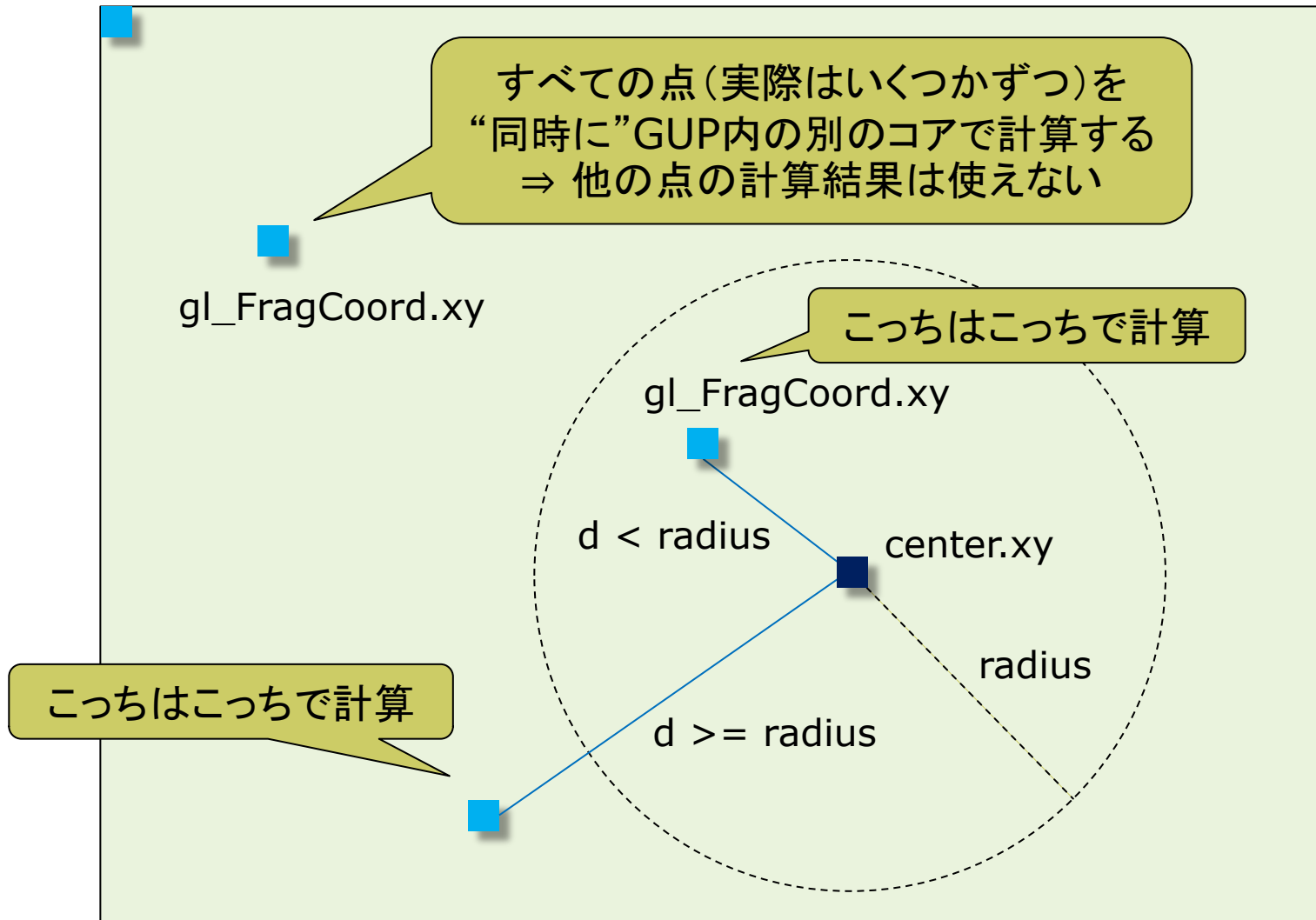
```
/* シェーダプログラム circle.glsl */
// 渡された変数を受け取る(中心と半径)
uniform vec2 center;
uniform float radius;

// 定数の定義(前景色と背景色)
const vec4 bg = vec4(1.0, 1.0, 1.0, 1.0);
const vec4 fg = vec4(0.2, 0.5, 0.2, 1.0);

// 各ピクセルで別々に実行されるメイン関数
void main() {
  // そのピクセルから中心までの距離を取得
  float d = length(gl_FragCoord.xy - center);

  // 円の内外を判定し、ピクセルの色を設定
  if (d < radius) gl_FragColor = fg;
  else             gl_FragColor = bg;
}
```

14.4 並列処理の考え方



14.5 GLSL入門

変数の種類

uniform	全画素/頂点の共通変数
in	画素/頂点ごとの入力変数
out	画素/頂点ごとの出力変数

ベクトル・座標・色

データ型	vec2, vec3, vec4 vec3 v = vec3(0.1,0.2,0.3);
要素名	xyzw または rgba
要素の参照	v.x, v.z, v.xy, v.rgb, v.a など
演算の例	a*v, v*v(対応要素同士の掛算)

行列

データ型	mat2, mat3, mat4
演算の例	a*mat, mat*mat, mat*vec

関数

スカラー	sin, cos, atan, pow, sqrt, abs, min, clamp, mix(線形補間) など
ベクトル	dot(内積), length, distance, normalize, reflect(反射方向) など

頂点シェーダの入出力

入力	uniform, in(attribute※) 変数
出力	gl_Position.xyzw (視点座標系での頂点座標) 任意の out(varying※) 変数

フラグメントシェーダの入出力

入力	gl_FragCoord.xy(ピクセル座標) uniform, in(varying※) 変数
出力	gl_FragColor.rgb(ピクセルの色)

※ 以前のバージョンでの書き方

14.6 波紋のような効果

```
/* Processing 本体プログラム */
PShader ripple; // シェーダオブジェクト

void setup() {
  size(600, 600, P2D);
  ripple = loadShader("ripple.glsl");
  ripple.set("rmax", 300.0);
}

void draw() {
  background(0, 0, 255);
  ripple.set("time", millis() / 1000.0);
  ripple.set("center", (float)mouseX,
                (float)(height - mouseY));
  // シェーダを適用した円を描画
  shader(ripple);
  ellipse(mouseX, mouseY, 600, 600);
  // 独自シェーダを解除
  resetShader();
}
```

```
/* シェーダプログラム ripple.glsl */
// 渡された変数の受け取り
uniform float time; // 経過時間(秒)
uniform float rmax; // 最大半径
uniform vec2 center; // 中心(マウス座標)

const float gap = 60.0; // 波紋の間隔

// 各ピクセルで別々に並列実行される処理
void main() {
  float d = length(gl_FragCoord.xy - center);
  float c = 0.0;
  // gap間隔で複数のリング(半径r)を生成し、
  // すべてのリング(光源)からの寄与を合計
  for (float r = gap * fract(time); r < rmax;
       r += gap) {
    c += 2.0 / abs(d - r); // 各リングからの距離
  }
  gl_FragColor = vec4(0.0, 0.0, c, 1.0);
}
```

14.7 レイキャスティング (12.6参照)

```
/* Processing 本体プログラム */
PShader sh;

void setup() {
  size(600, 600, P2D);
  sh = loadShader("raycast.glsl");
}

void draw() {
  sh.set("size", (float)width, (float)height);
  sh.set("r", sin(frameCount / 10.0) + 1.0);
  shader(sh);
  rect(0, 0, width, height);
}

/* シェーダプログラム raycast.glsl */
uniform vec2 size;
uniform float r;
vec3 kd = vec3(0.7, 1.0, 0.7);
vec3 light = normalize(vec3(1, 1, -3));
vec3 center = vec3(0, 0, -10);
```

```
void main() {
  gl_FragColor = vec4(0, 0, 0, 1);

  float scrX = (gl_FragCoord.x * 2.0
    - size.x) / size.x;
  float scrY = (gl_FragCoord.y * 2.0
    - size.y) / size.y;
  float scrZ = -2.0;
  vec3 ray = normalize(vec3(scrX, scrY, scrZ));
  vec3 nearest = ray * dot(center, ray);
  vec3 nc = nearest - center;
  float d2 = r * r - dot(nc, nc);

  if (d2 > 0) {
    vec3 p = nearest - sqrt(d2) * ray;
    vec3 n = normalize(p - center);
    vec3 color = kd * dot(n, -light);
    gl_FragColor = vec4(color, 1.0);
  }
}
```


14.8 GLSL参考サイト

- GLSLで簡単2Dエフェクト
 - <http://www.demoscene.jp/?p=1147>

- [連載]やってみれば超簡単！ WebGL と GLSL で始める、はじめてのシェーダコーディング
 - <http://qiita.com/doxas/items/b8221e92a2bfdc6fc211>

- GLSL Sandbox超活用術
 - <http://www.demoscene.jp/?p=1154>

- GLSL Editor
 - <http://jp.wgld.org/js4kintro/editor/>

- Shadertoy
 - <https://www.shadertoy.com/>

14.9 頂点シェーダの利用

頂点シェーダの役割

□ 頂点の座標変換

- 第8回～第9回の計算処理を実現
- 入力: position (ローカル座標系)
出力: gl_Position (視点座標系)
- 通常の例

$gl_Position = transform * position$

□ 頂点でのパラメータ算出

- 第10回の色計算(の一部)など
- 入力: color, normal など
- 出力: out変数 → 自動補間

□ 全頂点の共通変数

- 各種変換行列等を処理系が設定
- transform (合成変換行列)
- normalMarrix (法線変換行列)
- lightPosition (光源座標) など

□ 変数の自動補間

《3D空間》
頂点シェーダの出力
変数(out)

例: 3D空間のポリゴン
の各頂点の色

ラスタライズ
補間

《2D画面》
フラグメントシェーダの
入力変数(in)

例: 2D画面のポリゴン内の
各ピクセルの色

14.10 GLSLでフォンシェーディング

```
PShader phong; // シェーダクラス
```

```
void setup() {  
  size(600, 600, P3D);  
  noStroke();  
  // dataフォルダに入れてあるフラグメント  
  // シェーダと頂点シェーダを読み込む  
  phong = loadShader("fshader.glsl",  
                    "vshader.glsl");  
}
```

```
void draw() {  
  background(0);  
  translate(width/2, height/2, 0);  
  rotateX(radians(-30));  
  
  float angle = radians(frameCount);  
  float x = 200 * cos(angle);  
  float z = 200 * sin(angle);
```

```
  shader(phong); // シェーダの有効化
```

```
  // 簡単のため、照明は点光源1つだけとし、  
  // 環境光はシェーダに直接記述している  
  lightSpecular(50, 50, 50);  
  pointLight(200, 200, 200, x, -200, z);
```

```
  // この例では、fillとshininessにのみ対応し、  
  // specularは無視され、fillと同一色となる  
  fill(180, 180, 180); shininess(50);
```

```
  // 1枚の板で床を表示しても大丈夫
```

```
  beginShape(QUADS);  
  vertex(-300, 0, -300); vertex(300, 0, -300);  
  vertex(300, 0, 300); vertex(-300, 0, 300);  
  endShape();
```

```
  fill(220, 180, 80); shininess(100);  
  sphere(100);
```

```
}
```

14.11 (続き) 頂点シェーダ

```

/* ファイル名: vshader.glsl */
// ProcessingのLIGHTシェーダモード
#define PROCESSING_LIGHT_SHADER

// LIGHTシェーダモードで用意される共通変数
uniform mat4 modelview; // モデルビュー行列
uniform mat4 transform; // 合成変換行列
uniform mat3 normalMatrix; // 法線変換行列

// 簡単のため, 点光源1つを前提としている
uniform vec4 lightPosition; // 視点座標系

// 頂点ごとに設定される変数(ローカル座標系)
in vec4 position; // 頂点座標
in vec3 normal; // 法線ベクトル
in vec4 color; // 頂点の材質色
in float shininess; // 輝き係数

// フラグメントシェーダに渡す補間変数
out vec3 fN; // 法線ベクトル
out vec3 fV; // 視点へのベクトル
out vec3 fL; // 光源へのベクトル
// 色関係はそのまま出力
out vec4 fColor = color;
out float fShininess = shininess;

void main() {
    // 入力頂点の座標を視点座標系に変換
    gl_Position = transform * position;

    // 視点座標系での各ベクトルを求める
    fN = normalMatrix * normal;
    fV = -(modelview * position).xyz;
    fL = lightPosition.xyz + fV;
}

```

この例では, 簡単のため, 拡散・鏡面・環境反射色をすべてcolor(本来は拡散反射色)を使って計算する

14.12 (続き)フラグメントシェーダ

```

/* ファイル名: fshader.glsl */
// 入射光の拡散反射成分と鏡面反射成分
uniform vec3 lightDiffuse, lightSpecular;

// 頂点シェーダの出力を補間(視点座標系)
in vec3 fN, fL, fV;
in vec4 fColor;
in float fShininess;

void main() {
    // 各ベクトルを単位ベクトル化する
    vec3 N = normalize(fN);
    vec3 L = normalize(fL);
    vec3 V = normalize(fV);
    // 反射方向のベクトル
    vec3 R = normalize(reflect(-L, N));

    vec3 diffuse = vec3(0.0, 0.0, 0.0);
    vec3 specular = vec3(0.0, 0.0, 0.0);

    // ランバートの式
    float LdotN = dot(L, N); // 内積 = |L| |N| cosθ
    if (LdotN > 0.0) {
        // 各ピクセルにおける拡散反射光と鏡面反射光
        // (材質色 × 照明色 × 係数)を求める
        diffuse = fColor.rgb * lightDiffuse * LdotN;
        specular = fColor.rgb * lightSpecular
            * pow(max(dot(R, V), 0.0), fShininess);
    }

    // 簡単のため、環境光は(0.2, 0.2, 0.2)に固定
    vec3 ambient = fColor.rgb * vec3(0.2, 0.2,
        0.2);

    // 減衰計算(逆2乗で計算すると不自然)
    float fallOff = 1.0 / (1.0 + 0.001 * length(fL));
    gl_FragColor.rgb =
        fallOff * (diffuse + specular) + ambient;
    gl_FragColor.a = fColor.a;
}

```