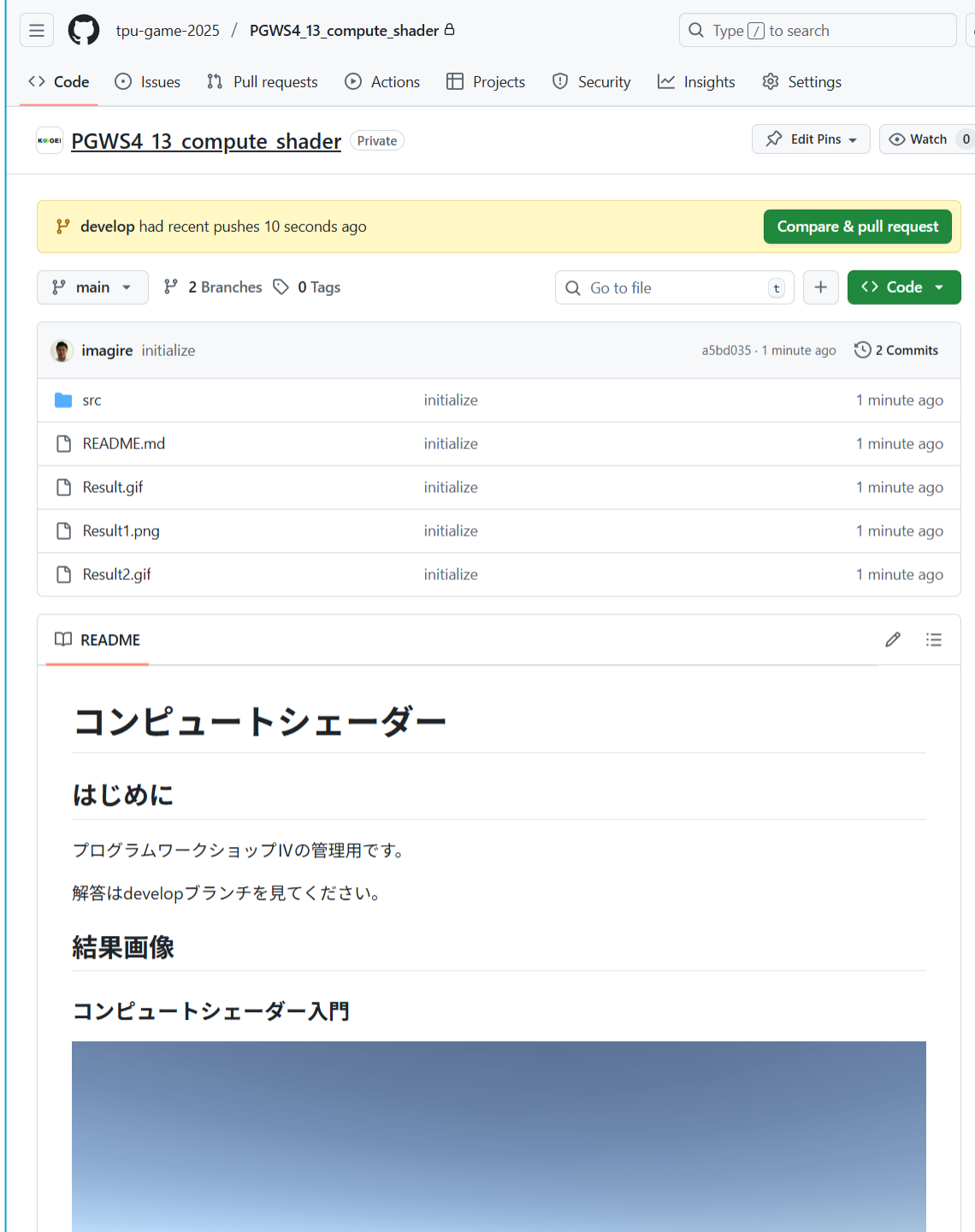
コンピュートシェーダ

2025年度 プログラムワークショップIV（13）

今回のリポジトリ

- https://github.com/tpu-game-2025/PGWS4_13_compute_shader



もくじ

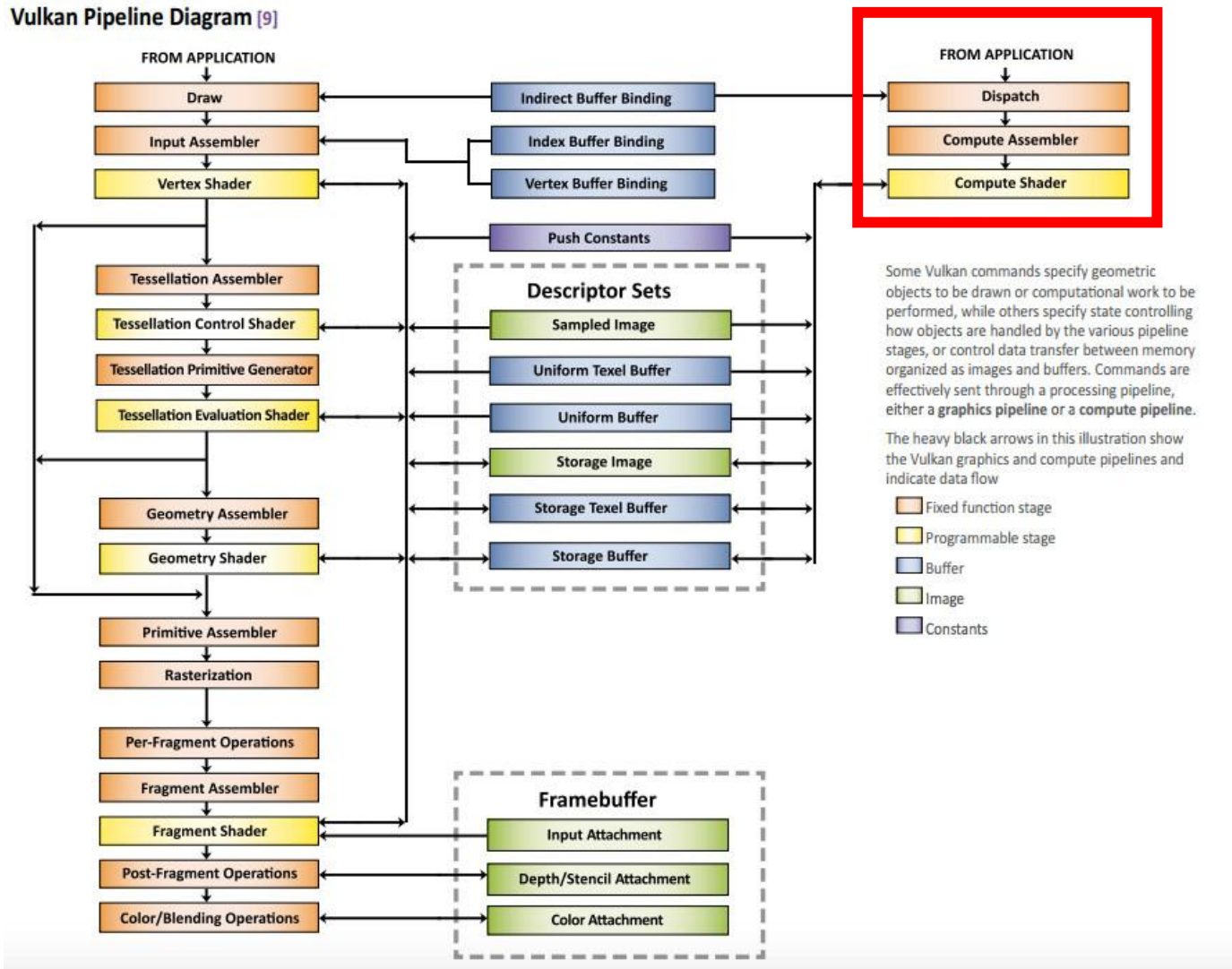
- コンピュートシェーダ概要
- 簡単なコンピュートシェーダ
- GPUパーティクル

もくじ

- コンピュートシェーダ概要
- 簡単なコンピュートシェーダ
- GPUパーティクル

コンピュートシェーダ

- 現在、自由度が高い処理に用いられているシェーダ
- 描画目的以外にもGPUの並列性を使えるようにしよう



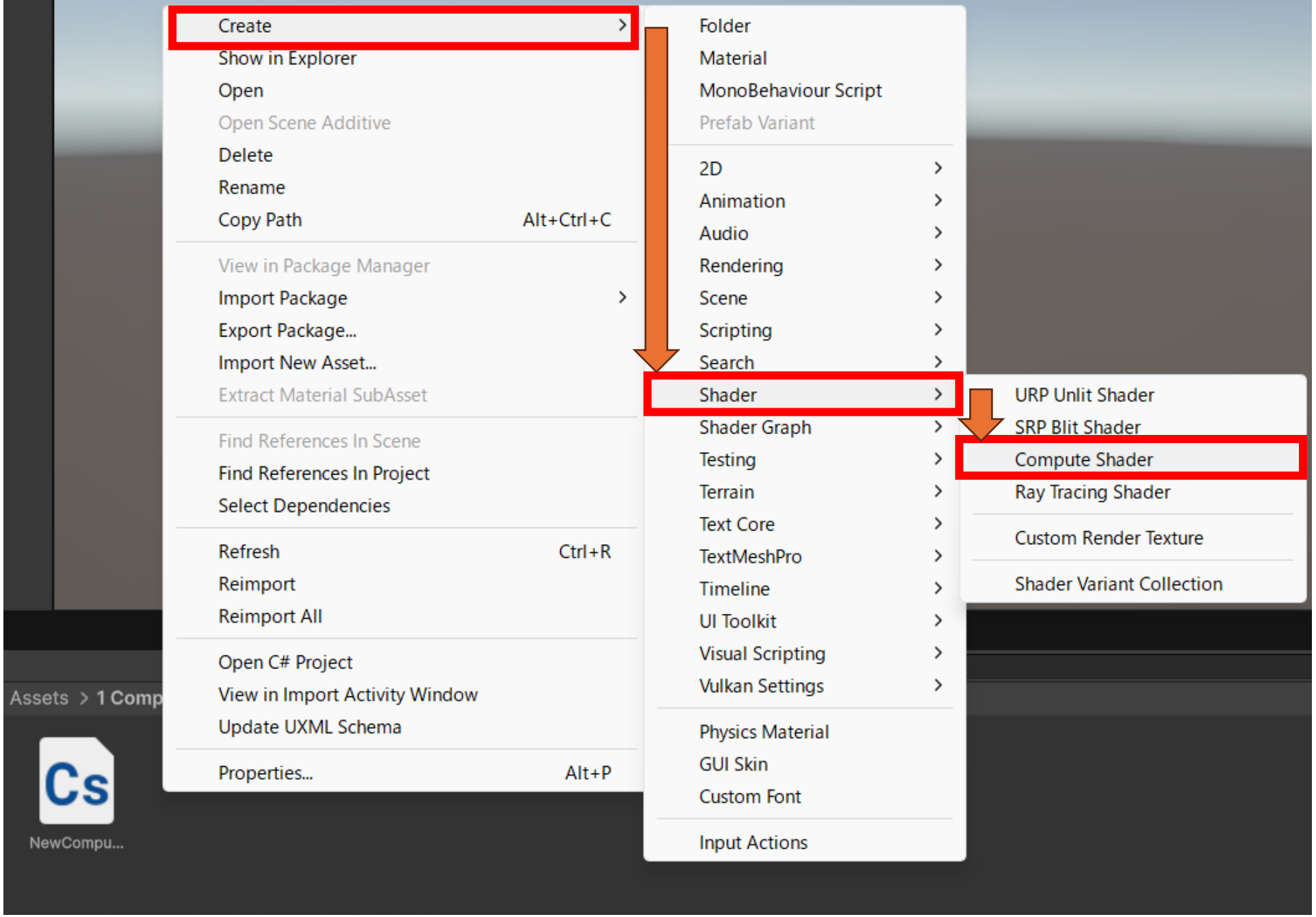
GPUに向いた計算

- 同じプログラムをたくさんのデータに対して適応する
  - 数千から数万の計算コアを有するので、何万以上の個数が向く
  - なるべく独立して、他との依存性がない計算が良い

使い道

- GPUパーティクル
  - 細かなパーティクル
  - 破片の物理演算

- Cluster Shading
  - 空間をブロックに分け、ブロックごとに描画するオブジェクト・ライトを洗い出して、大量のライトのシーンを高速に描画する


Create
Show in Explorer
Open
Open Scene Additive
Delete
Rename
Copy Path Alt+Ctrl+C
View in Package Manager
Import Package
Export Package...
Import New Asset...
Extract Material SubAsset
Find References In Scene
Find References In Project
Select Dependencies
Refresh Ctrl+R
Reimport
Reimport All
Open C# Project
View in Import Activity Window
Update UXML Schema
Properties... Alt+P
Folder
Material
MonoBehaviour Script
Prefab Variant
2D
Animation
Audio
Rendering
Scene
Scripting
Search
Shader
Shader Graph
Testing
Terrain
Text Core
TextMeshPro
Timeline
UI Toolkit
Visual Scripting
Vulkan Settings
Physics Material
GUI Skin
Custom Font
Input Actions
URP Unlit Shader
SRP Blit Shader
Compute Shader
Ray Tracing Shader
Custom Render Texture
Shader Variant Collection
Assets > 1 Comp
NewCompu...

自動で追加されるソースコードの中身

```
                // それぞれの#kernelは、どの関数をコンパイルするかを指示します; 多くのカーネルを持てます
 1              // Each #kernel tells which function to compile; you can have many kernels
 2              #pragma kernel CSMain
 3              // enableRandomWriteフラグを持つRenderTextureを作成し、cs.SetTextureで設定せよ
 4              // Create a RenderTexture with enableRandomWrite flag and set it
 5              // with cs.SetTexture
 6              RWTexture2D<float4> Result;
 7
 8              [numthreads(8,8,1)]
 9              void CSMain (uint3 id : SV_DispatchThreadID)
10              {
11                  // やること:実際のコードをここに挿入せよ！
12                  // TODO: insert actual code here!
13
14                  Result[id.xy] = float4(id.x & id.y, (id.x & 15)/15.0, (id.y & 15)/15.0, 0.0);
15              }
```

4成分floatの読み書きできるテクスチャ

8x8x1の単位で実行数(64単位で実行される)

返り値なし

全スレッドを通してユニークなIDを受けとる

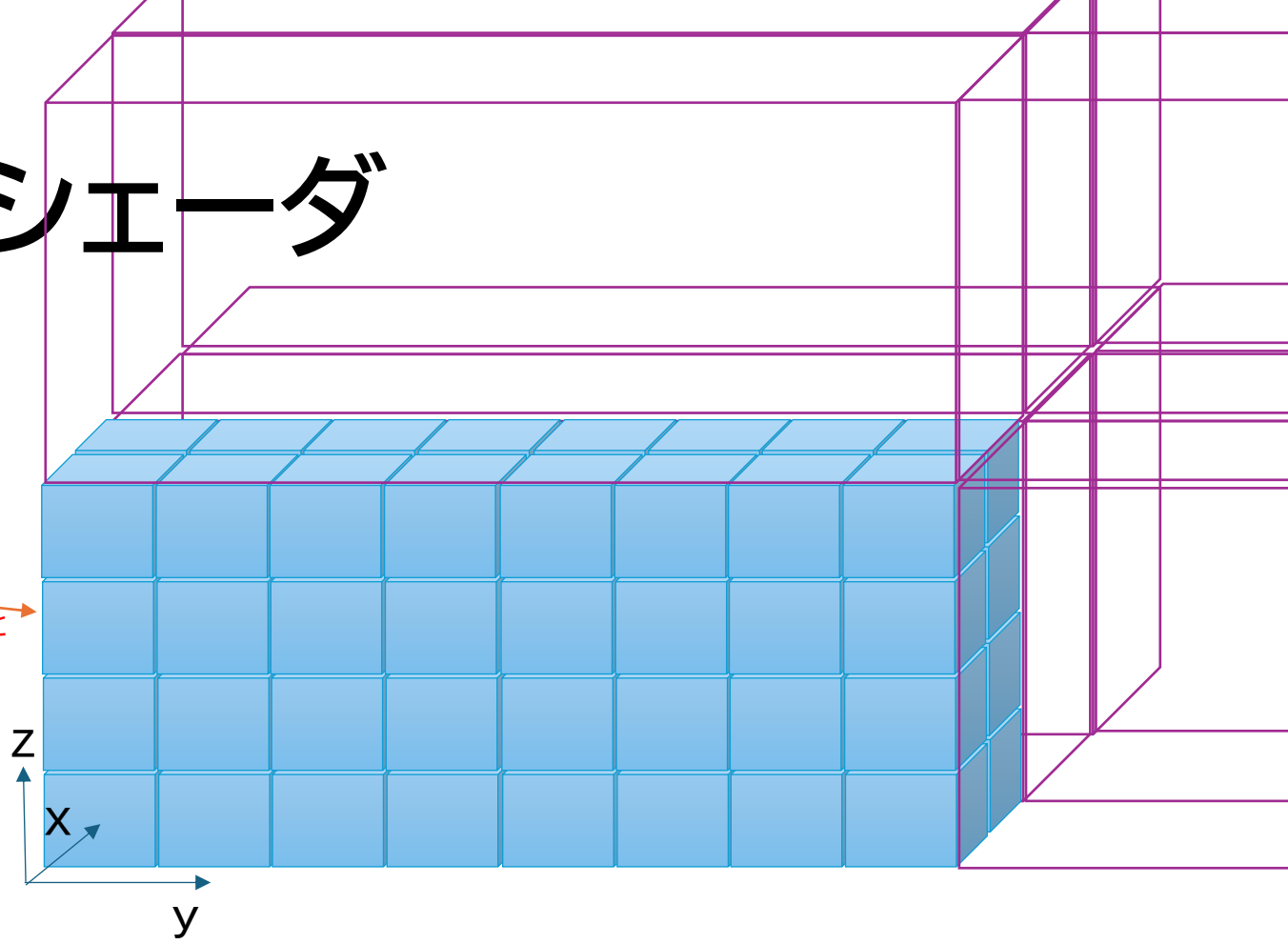
てきとうな計算

ビット計算例

X軸で16個の周期計算

Y軸で16個の周期計算

簡単なコンピュートシェーダ




```
#pragma kernel 関数名

RWTexture3D<float4> tex;

[numthreads(2, 8, 4)]
void 関数名(uint3 id : SV_DispatchTheadID)
{
    tex[id] = float4(0, 0, 0, 1);
}
```

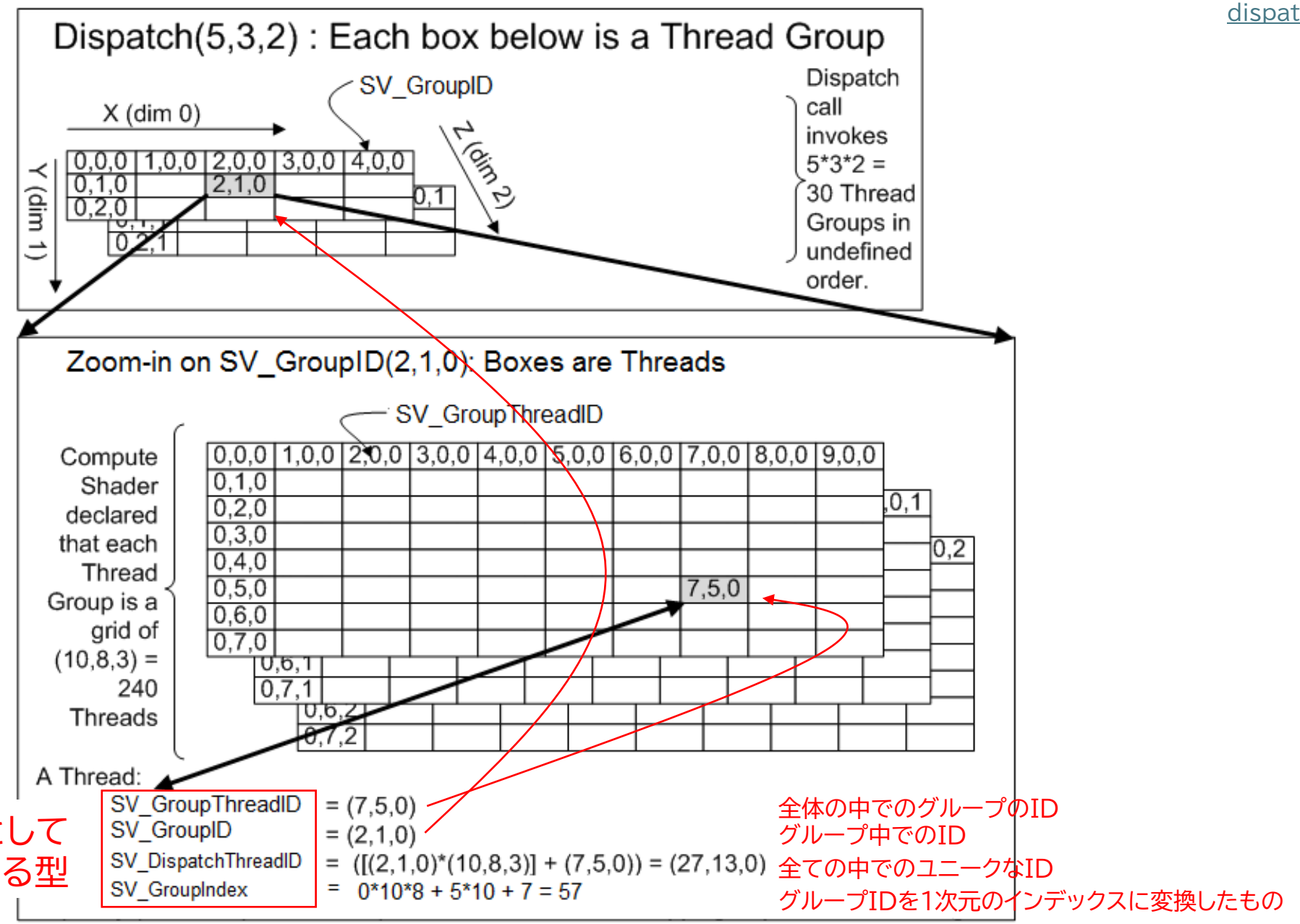
これらの積が32や64の倍数でないと
GPUで暇になるコアが発生する

C#側

```
int kernel = computeshader.FindKernel("関数名");
computeshader.Dispatch(kernel, 3, 5, 7);
```
➡(3*2, 5*8, 7*4)=(6, 40, 28)=6720個の処理が走る

https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/win32/api/d3d11/nf-d3d11-id3d11devicecontext-dispatch

3次元配列の入れ子構造



引数として取りうる型

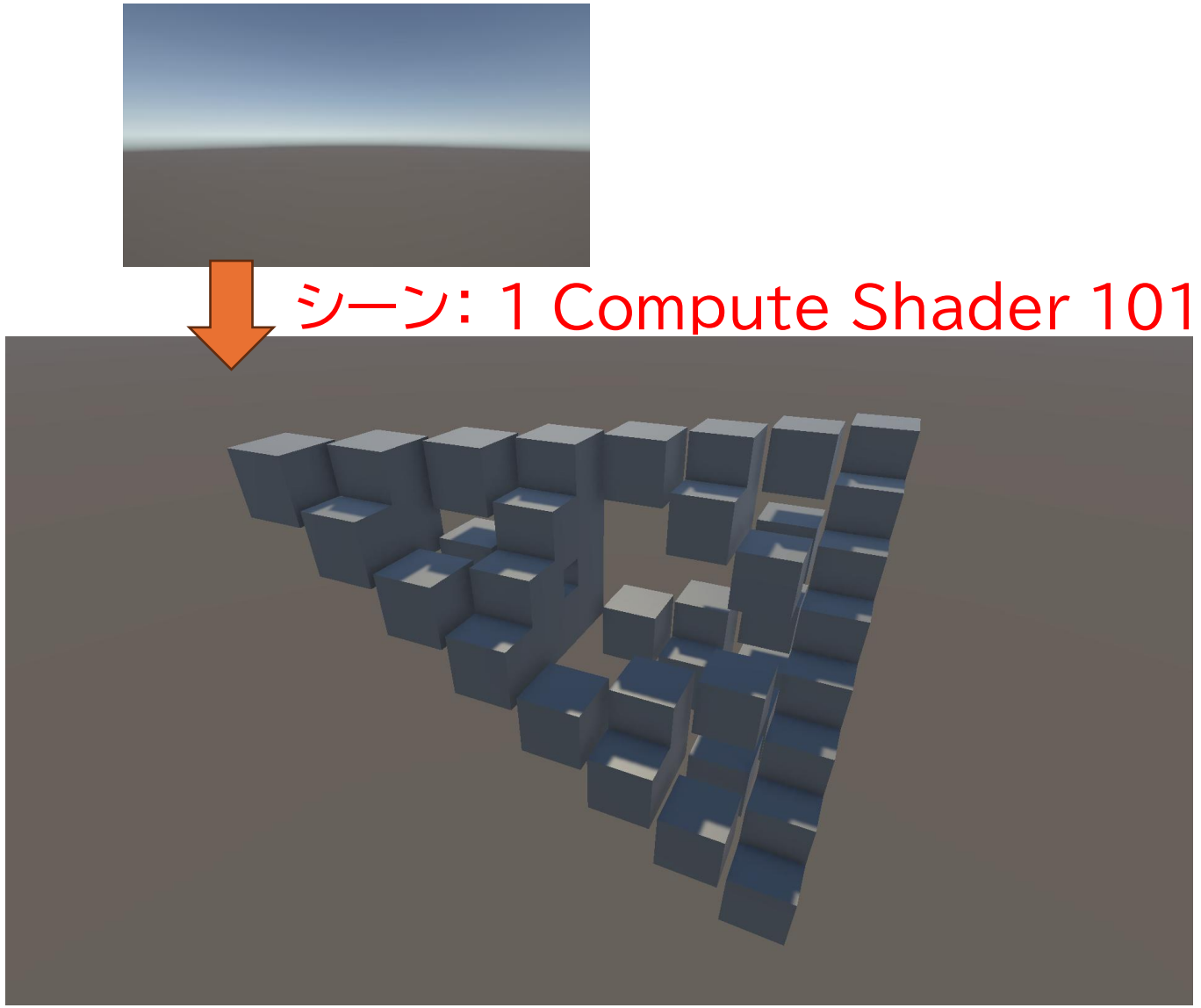
全体の中でのグループのID
グループ中でのID
全ての中でのユニークなID
グループIDを1次元のインデックスに変換したもの

グローバル変数に使えるデータ型

- 読み書き可能(非圧縮、遅い)
  - RWByteAddressBuffer:配列
  - RWStructuredBuffer:構造体配列
  - RWTexture1D
  - RWTexture1DArray:配列
  - RWTexture2D
  - RWTexture2DArray
  - RWTexture3D
- 読み込み専用(圧縮されているかも?速い)
  - StructuredBuffer
  - Texture1D
  - Texture1DArray
  - Texture2D
  - Texture2DArray
  - Texture3D
  - Texture2DMS:マルチサンプリング
  - Texture2DMSArray
  - TextureCube:キューブマップ
  - TextureCubeArray

本日の内容

- コンピュートシェーダ概要
- 簡単なコンピュートシェーダ
  - GPUの計算結果をCPUで読み込んで、オブジェクトを配置してみる
- GPUパーティクル



最低限のコード変更

- RWTexture2DをCPUで取得するのが面倒なので型を変更

```
1   // Each #kernel tells which function to compile; you can have many kernels
2   #pragma kernel CSMain
3
4   // Create a RenderTexture with enableRandomWrite flag and set it
5   // with cs.SetTexture
6   //   ↓ RWTexture2D<float4> Result;
7   RWStructuredBuffer<float4> Result;
8
9   [numthreads(8,8,1)]
10  void CSMain (uint3 id : SV_DispatchThreadID)
11  {
12      // TODO: insert actual code here!
13
14  // ↓ Result[id.xy] = float4(id.x & id.y, (id.x & 15) / 15.0, (id.y & 15) / 15.0, 0.0);
15  Result[id.y*8+id.x] = float4(id.x & id.y, (id.x & 15) / 15.0, (id.y & 15) / 15.0, 0.0);
16  }
```

インデックスを1次元に変更

オブジェクト配置

ComputeShader MonoBehaviour Scriptを追加して編集

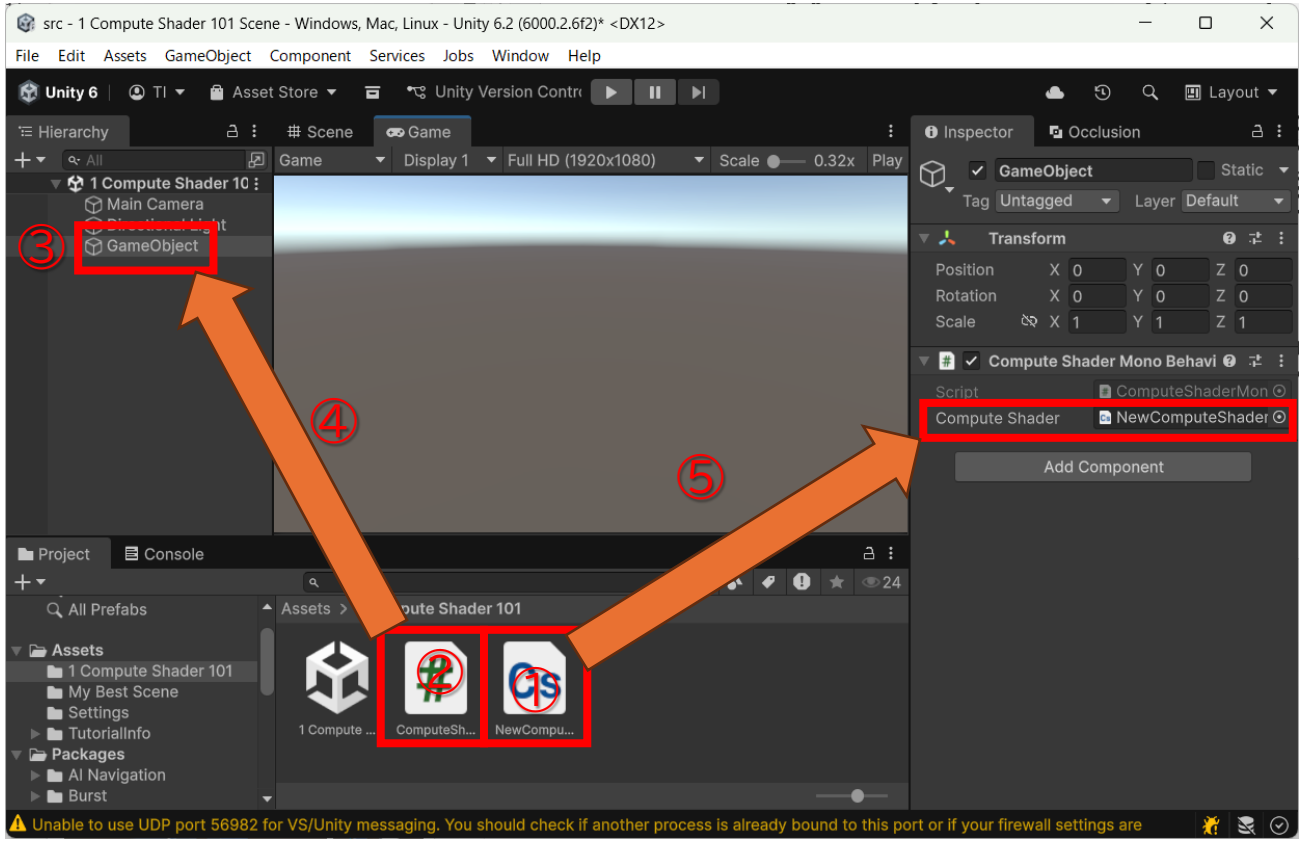
- 今回は、8x8個実行
- ComputeBuffer
  - RWStructured Buffer(シェーダ側)のコンテナ
- Dispatch:実行
- GetData
  - CPUが読めるメモリにコピー
- CreatePrimitive
  - インスタンス生成

```
1   using UnityEngine;
2
    Unity スクリプト (1 件のアセット参照) | 0 個の参照
3   public class ComputeShaderMonoBehaviourScript : MonoBehaviour
4   {
5       [SerializeField] ComputeShader computeShader = default!;
6
7       // Start is called once before the first execution of Update after the MonoBehaviour is cr
        Unity メッセージ | 0 個の参照
8       void Start()
9       {
10          int x = 8;
11          int y = 8;
12          ComputeBuffer computeBuffer = new ComputeBuffer(4 * x * y, sizeof(float));
13
14          int kernelHandle = computeShader.FindKernel("CSMain");// カーネル関数のハンドルを取得
15          computeShader.SetBuffer(kernelHandle, "Result", computeBuffer);// バッファをセット
16          computeShader.Dispatch(kernelHandle, x / 8, y / 8, 1);// カーネル関数を実行
17                                                  1      1
18          float[] result = new float[4 * x * y];
19          computeBuffer.GetData(result);// CPUからGPUへデータを転送
20          computeBuffer.Release();// バッファの解放
21
22          // 確認用に立方体を表示してみる
23          for (int i = 0; i < x; i++)
24          {
25              for (int j = 0; j < y; j++)
26              {
27                  float cs_x = result[4 * (i + j * x) + 0];
28                  float cs_y = result[4 * (i + j * x) + 1] * 10.0f;
29                  float cs_z = result[4 * (i + j * x) + 2] * 10.0f;
30                  GameObject cube = GameObject.CreatePrimitive(PrimitiveType.Cube);
31                  cube.transform.position = new Vector3(cs_x, cs_y, cs_z);
32                  cube.transform.localScale = new Vector3(0.9f, 0.9f, 0.9f);// 隙間をあける
33              }
34          }
35      }
36  }
```

やってみよう：

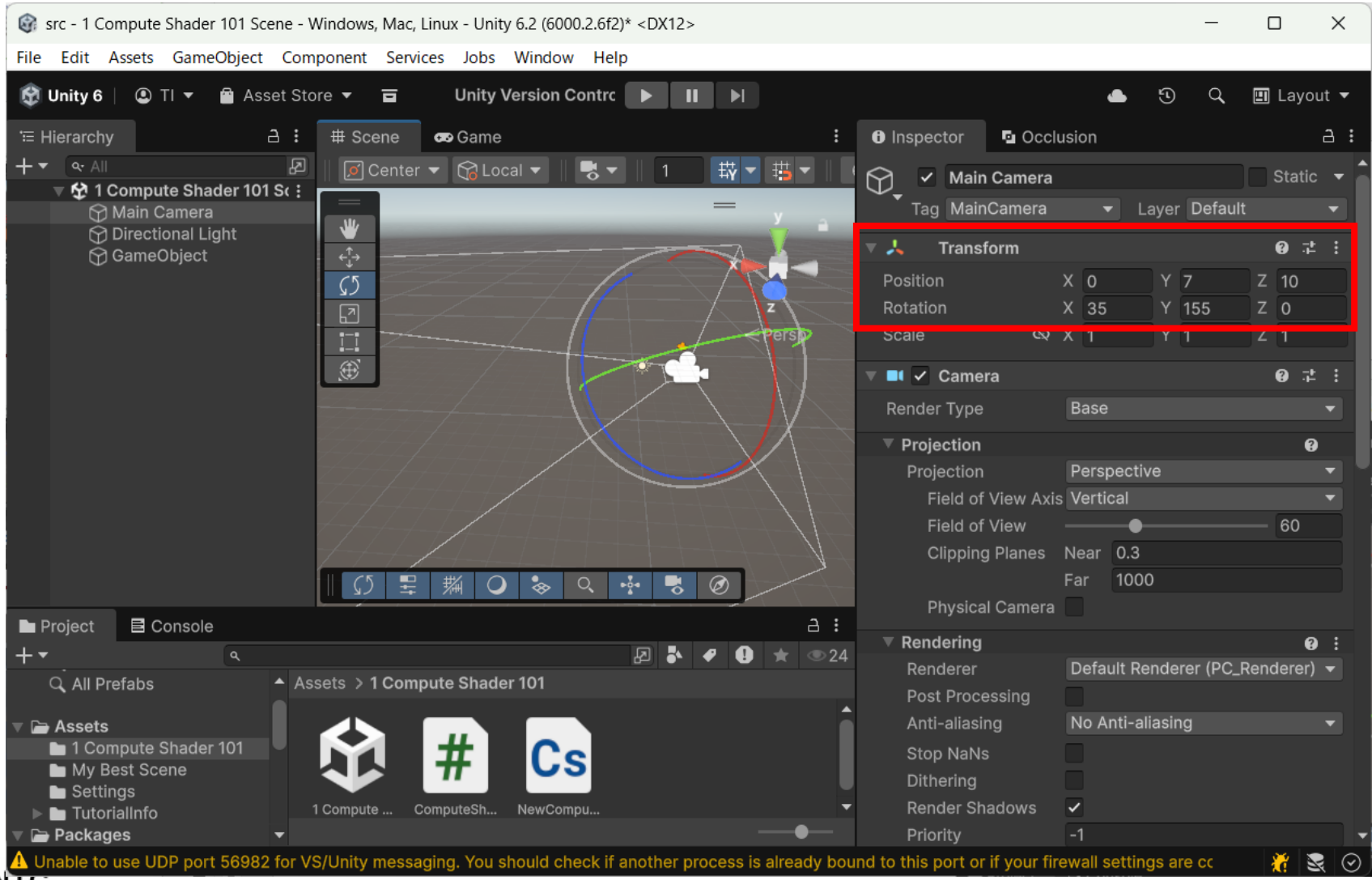
1 Compute Shader 101/1 Compute Shader 101 Scene

1. Compute Shader を追加
   - 名称例：NewComputeShader
2. C# Scriptを追加
   - 名称例：ComputeShader MonoBehaviourScript
- C# Scriptを書き換え
- Compute Shader を書き換え
3. EmptyなGameObjectを追加
   - 名称例：GameObject
4. GameObject にCompute ShaderMonoBehaviour Scriptをバインド
5. ComputeShaderMonoBehaviourScriptにNewComputeShaderを設定

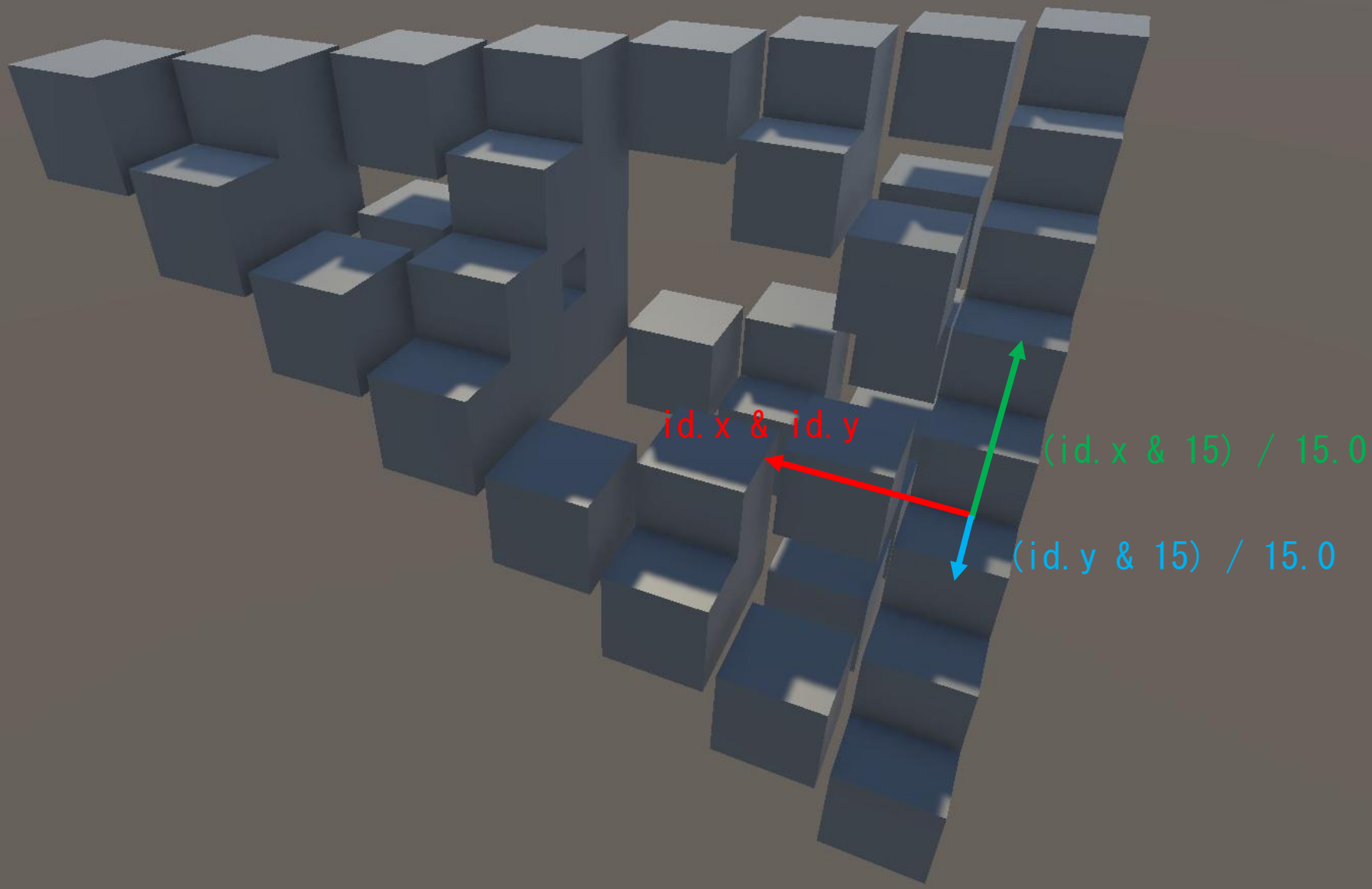


カメラを移動

- 何となく見やすい位置に

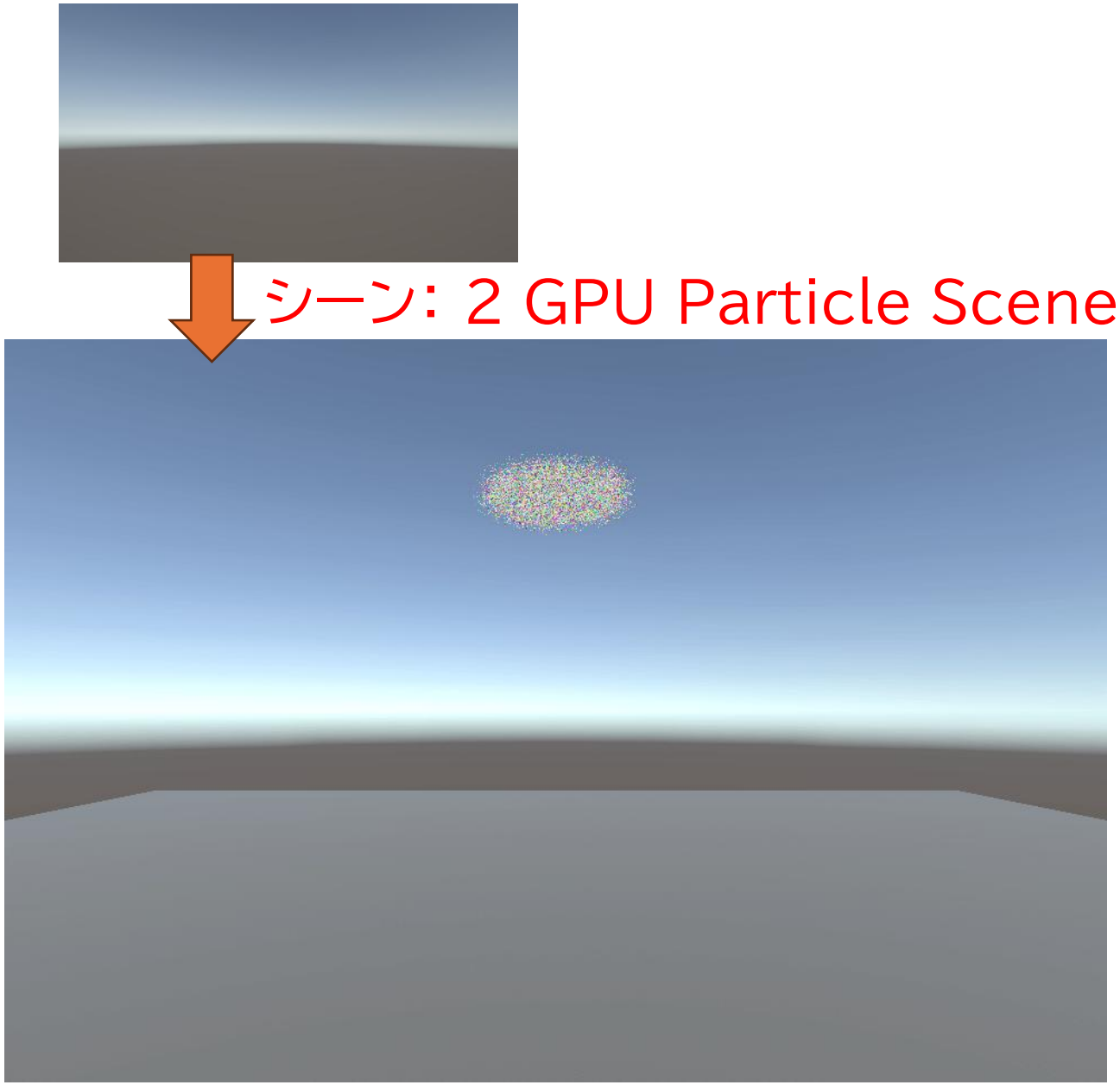


完成



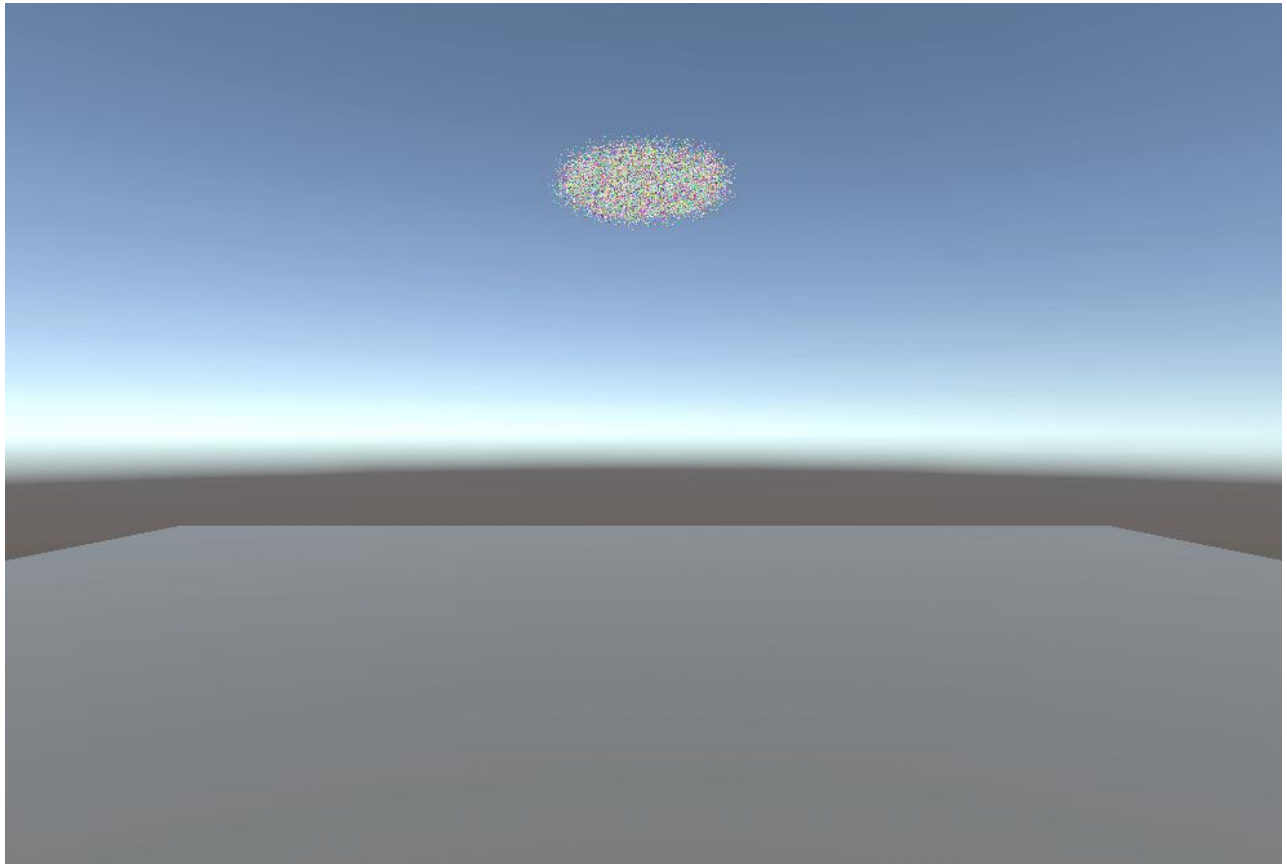
もくじ

- コンピュートシェーダ概要
- 簡単なコンピュートシェーダ
- GPUパーティクル



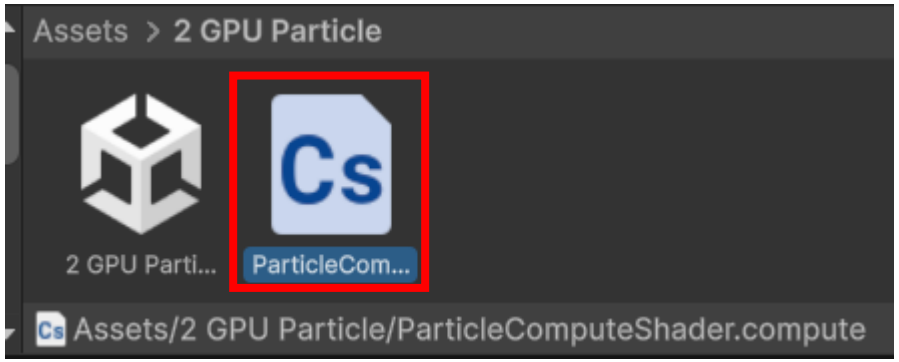
GPUパーティクルを試す

- 地面についたら反射
- 動きが止まったら吹き出し直し
- 噴水のように動く
- 色はランダム



コンピュートシェーダの追加

- 名称例:ParticleComputeShader



乱数生成

ParticleComputeShader.compute

```
15      // 乱数関数(see. https://andantesoft.hatenablog.com/entry/2024/12/19/193517)
16      float fihash_orig(float2 v)
17      {
18          uint2 u = asint(v * float2(141421356, 2718281828));
19          return float((u.x ^ u.y) * 3141592653) * 2.3283064365386962890625e-10;
20      }
21
22      float2 rand2(float2 st)
23      {
24          return float2(fihash_orig(st), fihash_orig(st + 1));
25      }
26
27      float3 rand3(float2 st)
28      {
29          return float3(fihash_orig(st), fihash_orig(st + 1), fihash_orig(st + 2));
30      }
```

構造体とオブジェクト

- 構造体配列を定義

ParticleComputeShader.compute

```
1   // Each #kernel tells which function to compile; you can have many kernels
2   #pragma kernel CSInitialize
3   #pragma kernel CSUpdate
4
5   struct Particle
6   {
7       float3 position;
8       float3 velocity;
9       float3 color;
10  };
11
12  RWStructuredBuffer<Particle> Particles;
13  float deltaTime;// 更新時にCPUから受け取る前フレームからの経過時間
```

関数の宣言

一つ一つの粒子のデータ

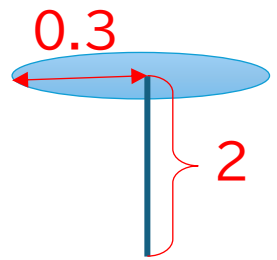
構造体配列

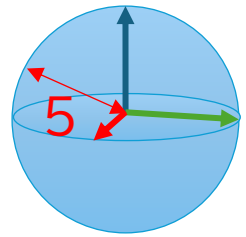
初期化

ParticleComputeShader.compute

```
32          void reset(uint id)
33          {
34              float2 seed = float2(
35                  (1.0 / 256.0) * (float) (id % 256),
36                  (1.0 / 256.0) * (float) ((id / 256) % 256));
37
38              // 高さ2の半径0.3の円盤上に生成
39              float2 r2 = rand2(seed);
40              Particles[id].position = float3(
41                  cos(r2.x * 2.0 * 3.14159265) * r2.y * 0.3,
42                  2.0,
43                  sin(r2.x * 2.0 * 3.14159265) * r2.y * 0.3
44              );
45
46              // 速度は、球的に広げる
47              float3 r3 = rand3(seed + 10);
48              Particles[id].velocity = float3(
49                  5 * (r3.x + 0.01) * sin(r3.y * 3.14159265) * cos(r3.z * 2.0 * 3.14159265),
50                  5 * (r3.x + 0.01) * sin(r3.y * 3.14159265) * sin(r3.z * 2.0 * 3.14159265),
51                  5 * (r3.x + 0.01) * cos(r3.y * 3.14159265)
52              );
53
54              // 色はランダム
55              Particles[id].color = rand3(seed + 20);
56          }
57
58          #define THREAD_NUM 64
59
60          [numthreads(THREAD_NUM, 1, 1)]
61          void CSInitialize(uint3 id : SV_DispatchThreadID)
62          {
63              reset(id.x);
64          }
```

IDごとに異なる2次元の値を生成





運動

- 速度から位置を更新
- 加速度(重力)で速度を更新
  - 空気抵抗で少しずつ遅くする
- 当たり判定
  - 床より下に来たら上向きにする
  - 跳ね返り係数を付けて勢いを落とす
- 終了判定
  - 速度が一定以下になったら再初期化

```
66          [numthreads(THREAD_NUM, 1, 1)]
67          void CSUpdate(uint3 id : SV_DispatchThreadID)
68          {
69              float3 position = Particles[id.x].position;
70              float3 velocity = Particles[id.x].velocity;
71
72              // 動かなくなったらリセット
73              if (dot(velocity, velocity) < 0.001)
74              {
75                  reset(id.x);
76                  return;
77              }
78
79              // 下に落ちたら跳ね返る
80              if (position.y < 0.0)
81              {
82                  velocity.y = -0.6 * velocity.y;
83              }
84
85              // 陽オイラー
86              position += velocity * deltaTime;
87              velocity.y -= 9.8 * deltaTime;
88              velocity *= 0.995;// 簡易空気抵抗
89
90              // 値の格納
91              Particles[id.x].position = position;
92              Particles[id.x].velocity = velocity;
93          }
```

描画用のアセットを追加

1. マテリアル
   - 名称例：2 Particle Material
2. シェーダ
   - 「Shader」-「URP Unlit Shader」
   - 2 Particle Materialに設定
   - 名称例：ParticleUnlitUniversalRenderPipelineShader

シェーダ

- URP向けのシェーダとして、ある程度自動的に記述される

ParticleUnlitUniversalRenderPipelineShader. shader

```
1   Shader "Custom/ParticleUnlitUniversalRenderPipelineShader"
2   {
3       SubShader
4       {
5           Tags { "RenderType" = "Opaque" "RenderPipeline" = "UniversalPipeline" }
6
7           Pass
8           {
9               HLSLPROGRAM
10
11              #pragma vertex vert
12              #pragma fragment frag
13
14              #include "Packages/com.unity.render-pipelines.universal/ShaderLibrary/Core.hlsl"
```

パーティクルの描画

- Id値から構造体配列を読み込み位置や色として使用する

ParticleUnlitUniversalRenderPipelineShader. shader

```
16  struct Particle
17  {
18      float3 Position;
19      float3 Velocity;
20      float3 Color;
21  };
22
23  struct Varyings
24  {
25      float4 positionHCS : SV_POSITION;
26      half3 color : COLOR0;
27  };
28
29  uniform StructuredBuffer<Particle> Particles;
30
31  Varyings vert(uint id : SV_VertexID)
32  {
33      Varyings OUT;
34
35      Particle particle = Particles[id];
36      OUT.positionHCS = TransformObjectToHClip(particle.Position);
37
38      OUT.color = particle.Color;
39      return OUT;
40  }
41
42  half4 frag(Varyings IN) : SV_Target
43  {
44      return half4(IN.color, 1);
45  }
46  ENDHLSL
```

Compute shaderと同じ構造体を定義する

構造体配列へのアクセス

IDを入力として受け取ることにする

CPU側の処理

- MonoBehaviourスクリプトの追加
  - 名称例：ParticleMonoBehaviourScript

```
1   using UnityEngine;
2   using System.Runtime.InteropServices;
3
    1 個の参照
4   struct Particle
5   {
6       public Vector3 Position;
7       public Vector3 Velocity;
8       public Vector3 Color;
9   }
10
    Unity スクリプト (1 件のアセット参照) | 0 個の参照
11  public class ParticleMonoBehaviourScript : MonoBehaviour
12  {
13      [SerializeField] Material material = default!;
14      [SerializeField] ComputeShader computeShader = default!;
15
16      private int updateKernel;
17      private ComputeBuffer buffer;
18
19      private const int THREAD_NUM = 64;// 1つのグループあたりのスレッド数
20      private const int PARTICLE_NUM = ((65536 + THREAD_NUM - 1) / THREAD_NUM) * THREAD_NUM;
```

Compute Shaderと同じメモリレイアウトの構造体
(型名は異なるが実質的に同じ型)

表示するシェーダへのアクセス

コンピュートシェーダへのアクセス

コンピュートシェーダの関数を呼び出すための対応付け

構造体配列の実体を保持

粒子数(THREAD_NUMの倍数に増やす調整)

ParticleMonoBehaviourScript.cs

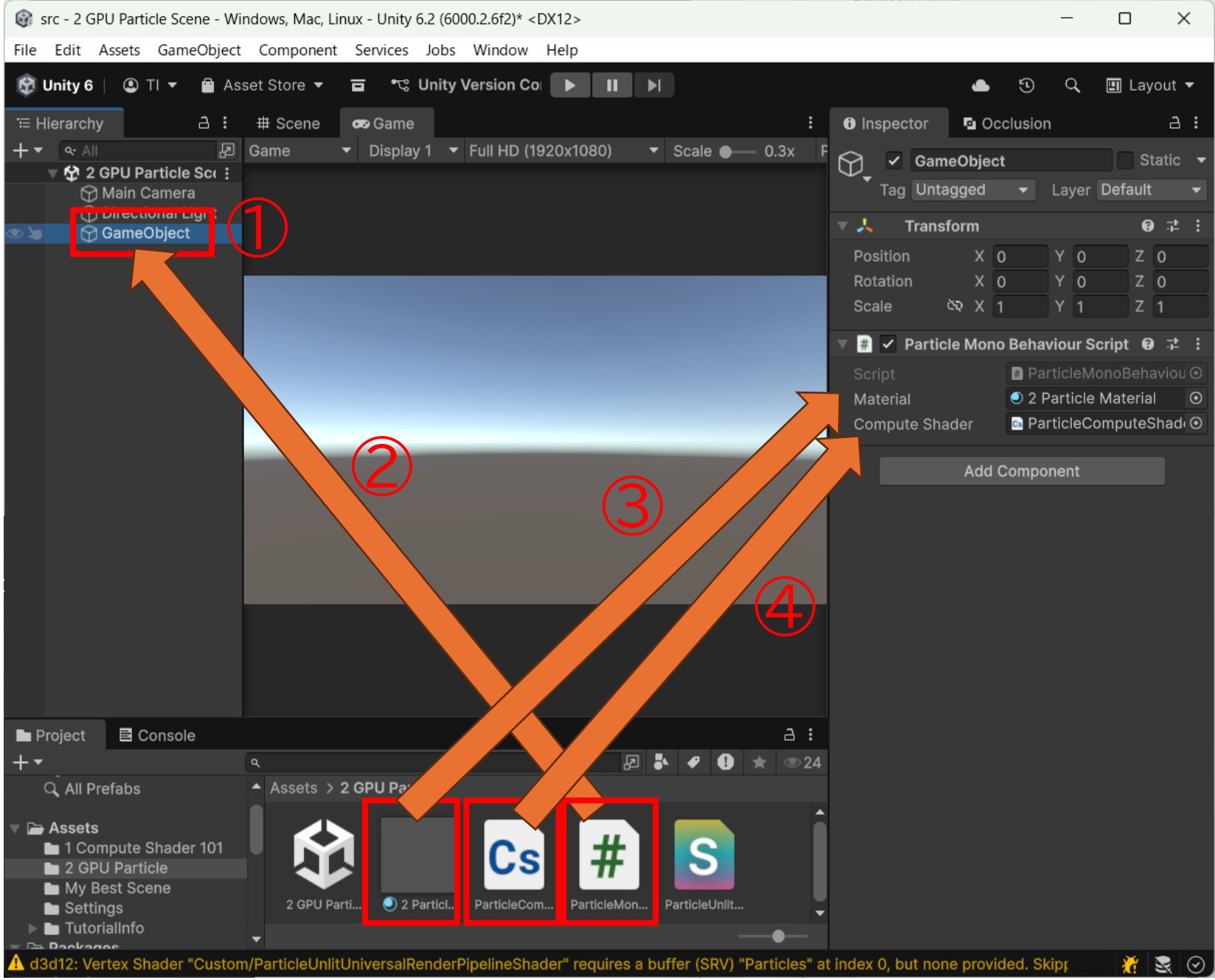
```
22          // オブジェクトが有効になった際に呼ばれる
            Unity メッセージ | 0 個の参照
23          private void OnEnable()
24          {
25              // パーティクルの情報を格納するバッファ
26              buffer = new ComputeBuffer(
27                  PARTICLE_NUM,
28                  Marshal.SizeOf(typeof(Particle)),
29                  ComputeBufferType.Default);
30
31              // 初期化                                    文字列で関数を検索
32              int initKernel = computeShader.FindKernel("CSInitialize");
33              computeShader.SetBuffer(initKernel, "Particles", buffer);
34  初期化関数の実行 computeShader.Dispatch(initKernel, PARTICLE_NUM / THREAD_NUM, 1, 1);
35
36              // 更新後の設定
37              updateKernel = computeShader.FindKernel("CSUpdate");
38  関数ごとにバッファを computeShader.SetBuffer(updateKernel, "Particles", buffer);
39  設定する必要あり
40              // 描画用のマテリアルの設定
41              material.SetBuffer("Particles", buffer);
42          }
```

```
44          // プロジェクトが無効になった際に呼ばれる
            Unity メッセージ | 0 個の参照
45          private void OnDisable()    OnEnableの対となる解放処理
46          {
47              buffer.Release();
48          }
49
50          // 動かす
            Unity メッセージ | 0 個の参照
51          void Update()
52          {
53              computeShader.SetFloat("deltaTime", Time.deltaTime);
54  更新関数の実行  computeShader.Dispatch(updateKernel, PARTICLE_NUM / THREAD_NUM, 1, 1);
55          }
56
            Unity メッセージ | 0 個の参照
57          void OnRenderObject()
58          {
59              material.SetPass(0);
60  描画処理は直接呼び出す  Graphics.DrawProceduralNow(MeshTopology.Points, PARTICLE_NUM);
61          }
```

オブジェクトの追加

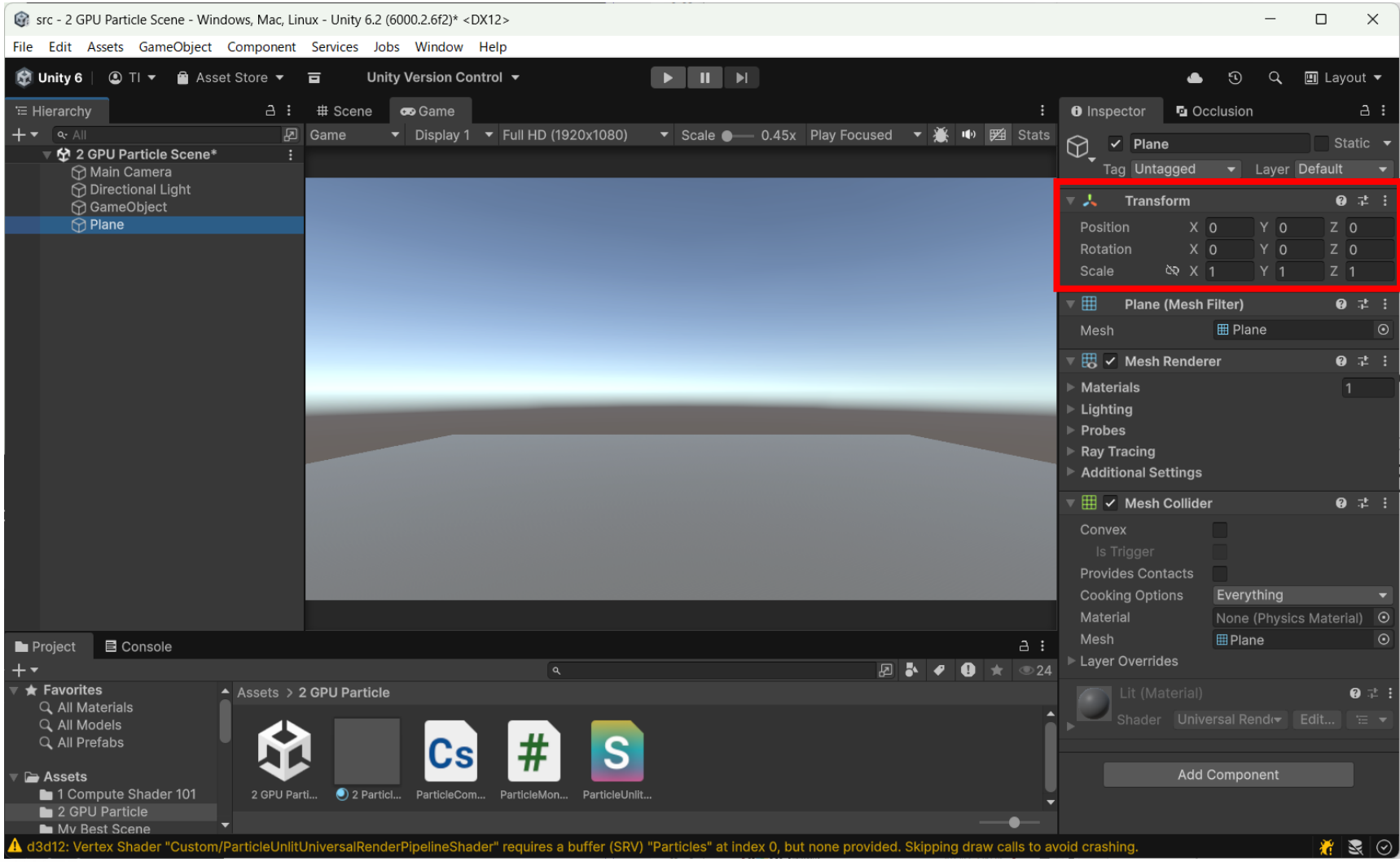
1. 「Create Empty」で空のオブジェクトを生成
   - 名称例:GameObject
2. ParticleMonoBehaviourScriptをオブジェクトに追加

- ParticleMonoBehaviourScriptのプロパティを設定
  3. Material: 2 Particle Material
  4. Compute Shader:ParticleComputeShader



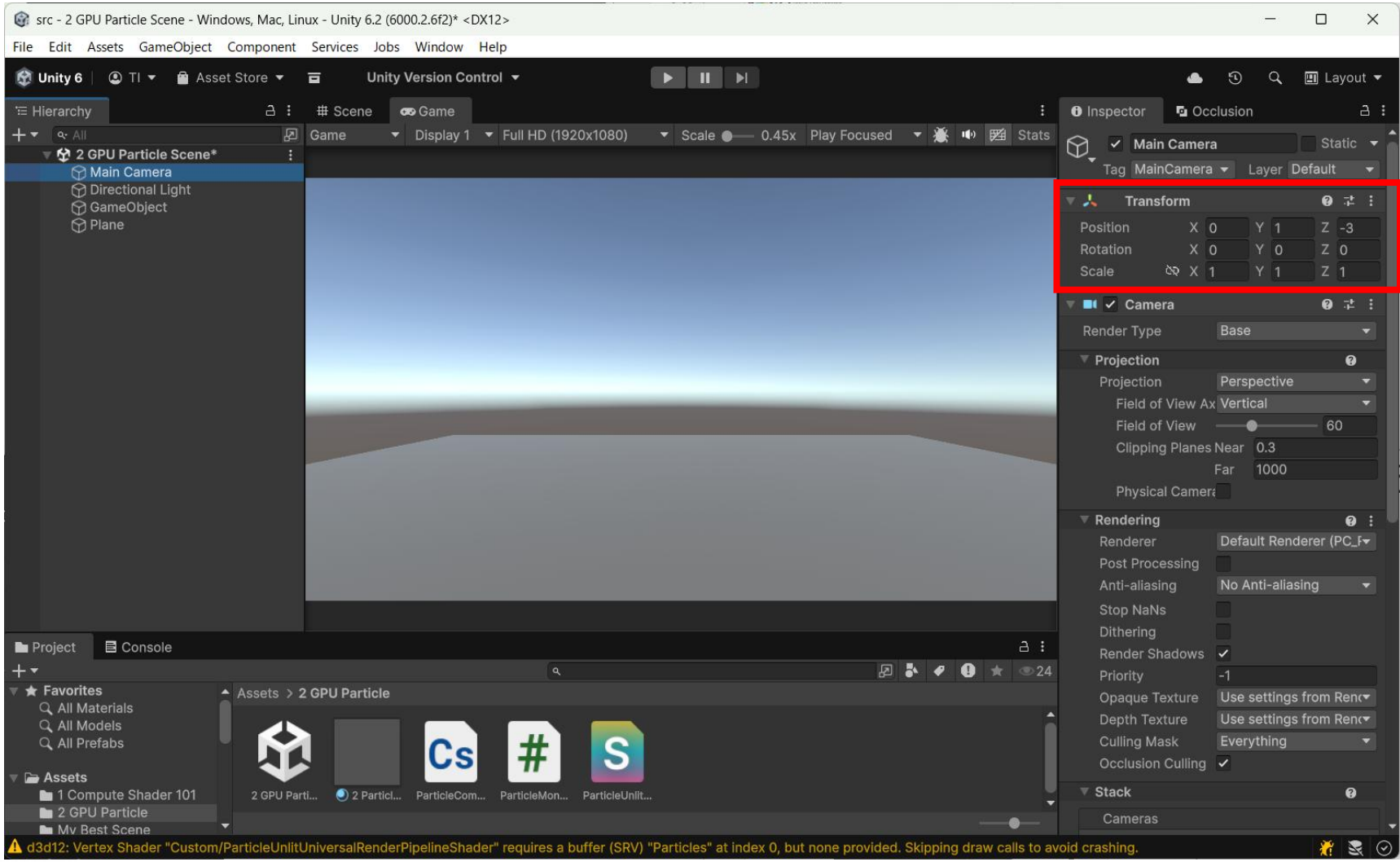
床の追加

- 何もない場所を跳ね返ると変なので床を追加
  - Planeを追加
  - 原点に配置
  - Scaleは1にしているがはみ出しているので、大きくするのも良い

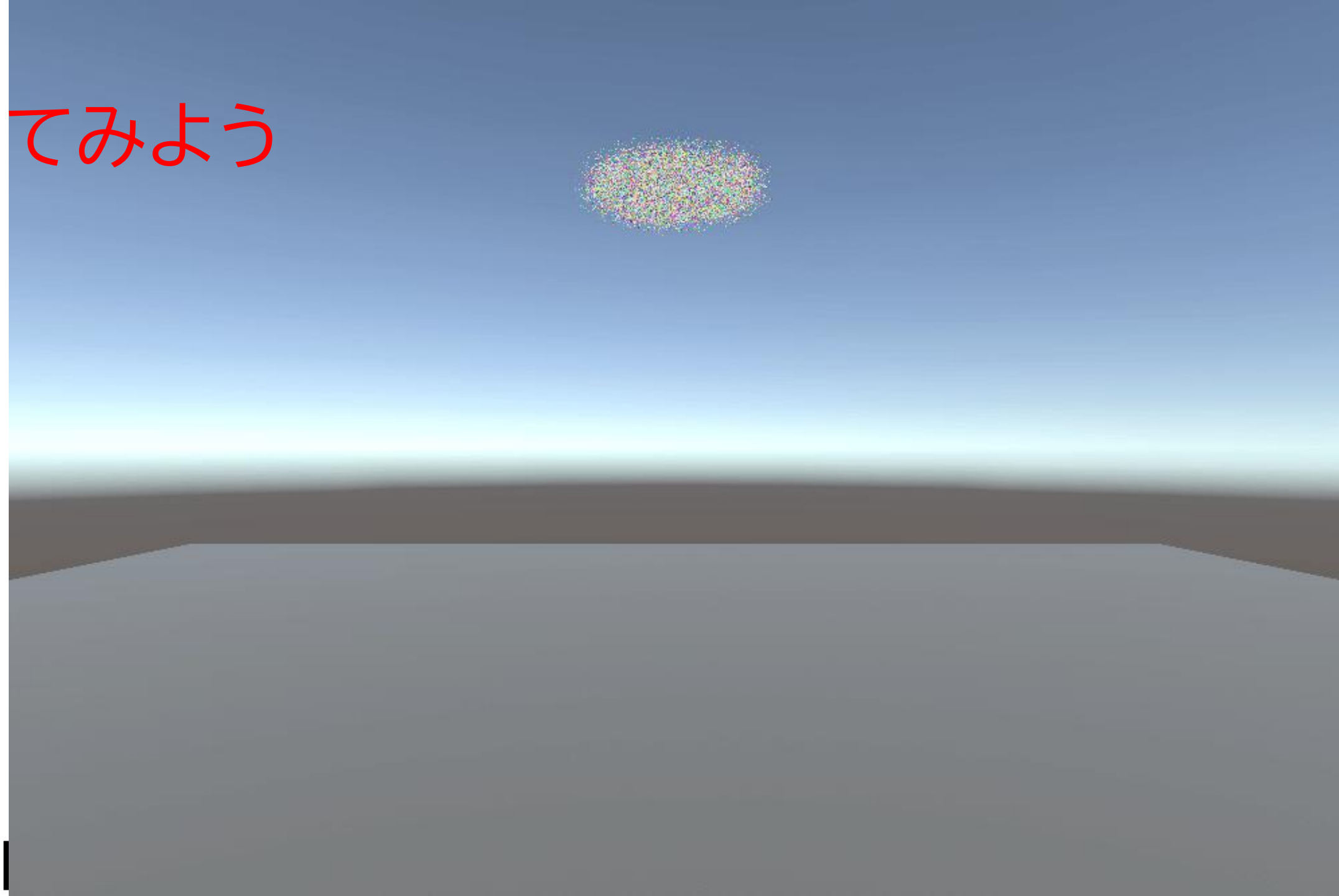


カメラ

- 見やすい位置に調整
  - ここでは-10から-3に近づけた



やってみよう



まとめ

- コンピュートシェーダ概要
- 簡単なコンピュートシェーダ
  - デフォルトで生成されるコンピュートシェーダコードを素直に表示
- GPUパーティクル
  - 大量の計算を並列に実行する