

# N体シミュレーションの可視化

国立天文台 4次元デジタル宇宙プロジェクト

中山 弘敬



An abstract, colorful graphic on the left side of the page, featuring swirling patterns of red, orange, yellow, green, and blue, resembling a digital or liquid effect.

# 4次元デジタル宇宙プロジェクト



## 4次元デジタル宇宙プロジェクト

---

# 4-Dimensional Digital Universe

4D2U

国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト

4-D to you (4次元をあなたへ) という意味も込められている  
空間3次元 + 時間1次元

※)このページで使っている画像は、法律で認められている引用目的の利用としてウェブ上から勝手に拝借したものです。

# 4次元デジタル宇宙プロジェクト

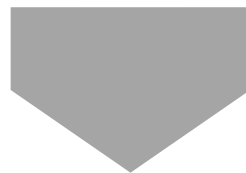
最新の天文学における成果を可視化するプロジェクト



観測の成果



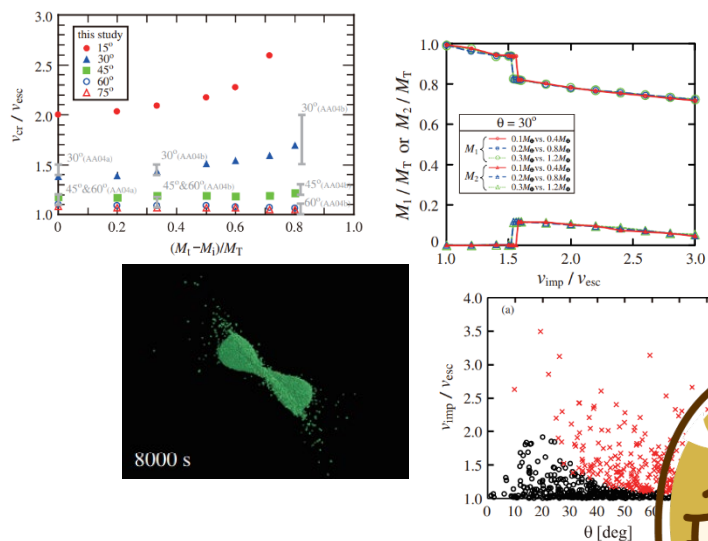
シミュレーション結果



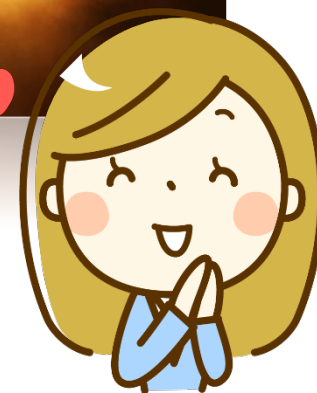
宇宙を「目の当たり」に

# 4D2Uにおける可視化の目的

- 1 : 研究者に新たな視点を提供し、研究に役立てる
- 2 : 最新の天文学の成果を分かりやすく楽しく、一般の人々に伝える



一般の人



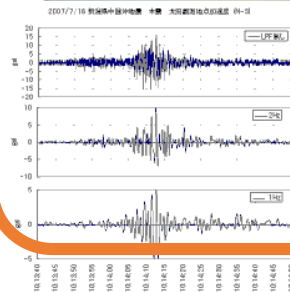
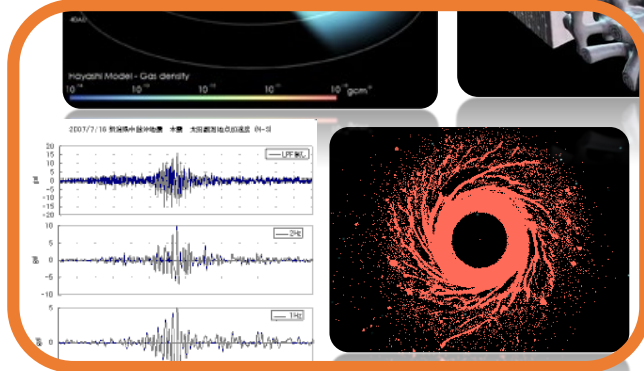
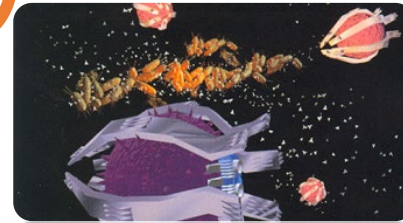
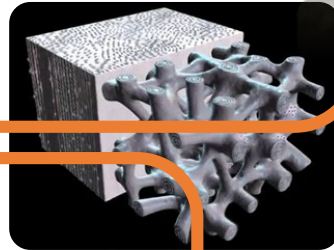
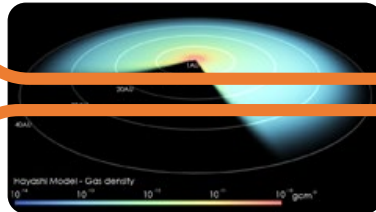
※)このページで使っている画像は、法律で認められている引用目的の利用としてウェブ上から拝借したものです。

# 4D2Uにおける科学データの可視化

作りこんだクオリティ

SF映画

4D2U



研究には重要

速さが勝負

実データそのもの

理解促進のためなら多少の嘘もOK

嘘

# 4D2Uコンテンツの公開

- 1 : WEBによる公開配信
- 2 : 4D2Uドームシアターでの公開





完成した動画を見てみましょう

天の川銀河紀行:

<https://www.youtube.com/watch?v=8-Nhgyv-NBk&t=13s>

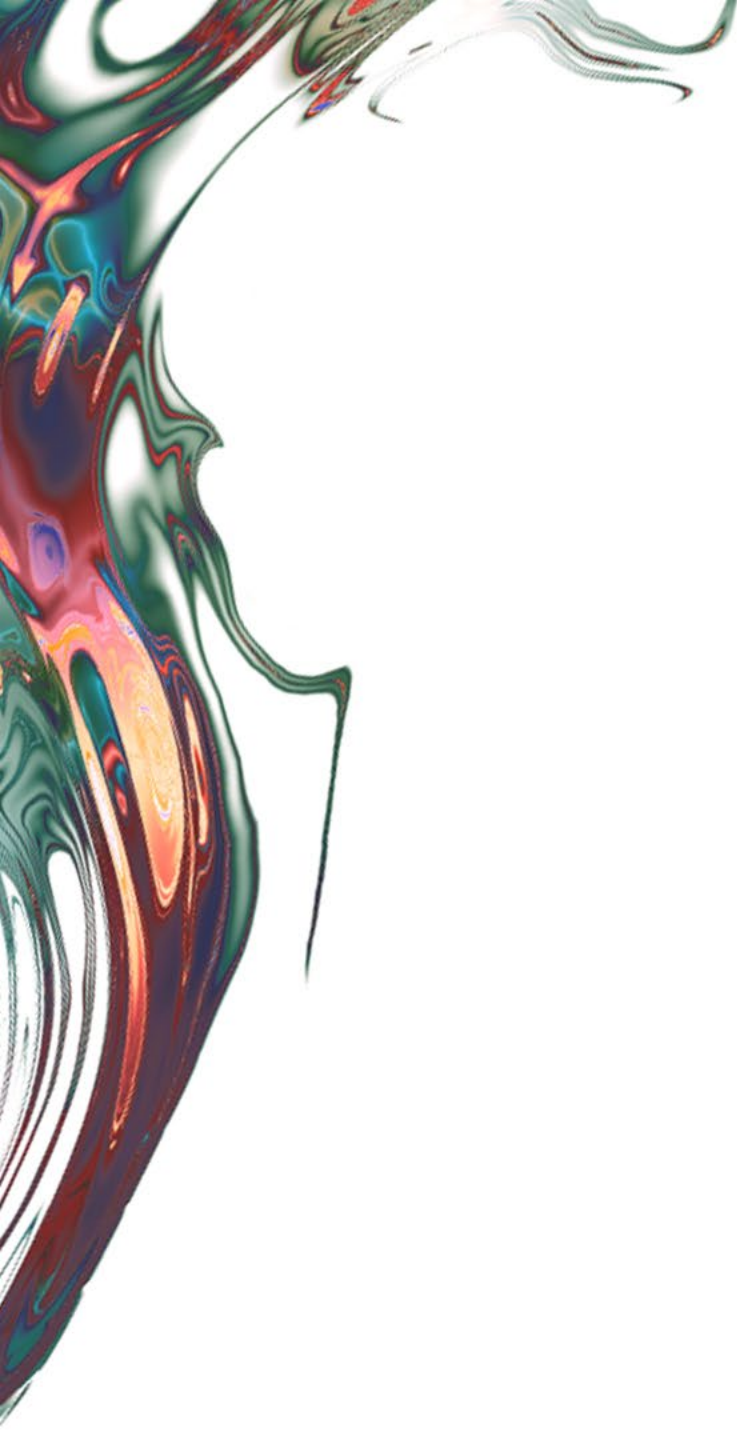
小惑星カリクローの二重リング:

<https://www.youtube.com/watch?v=pyUUUrrQInA>



An abstract, colorful graphic on the left side of the slide, featuring swirling patterns of red, orange, yellow, green, and blue, resembling a stylized flame or a liquid splash.

# 可視化ムービーの作り方：準備編



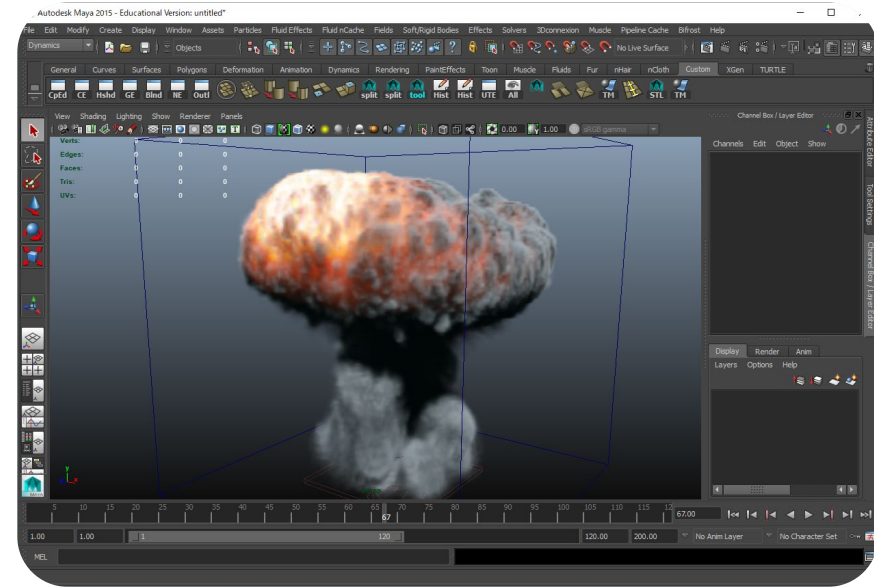
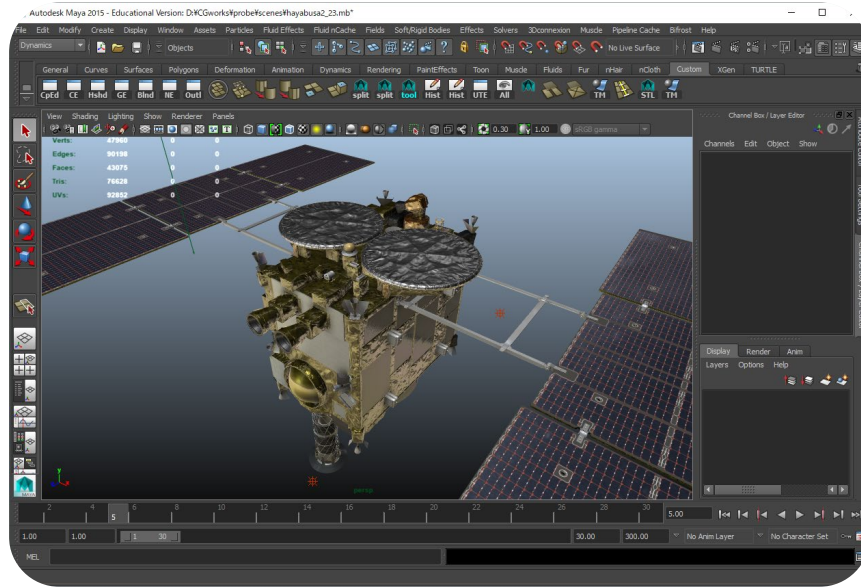
**使用するツールは？**

## 仕事に必要なツール :

3DCG	ゲームエンジン	画像編集	映像編集
			

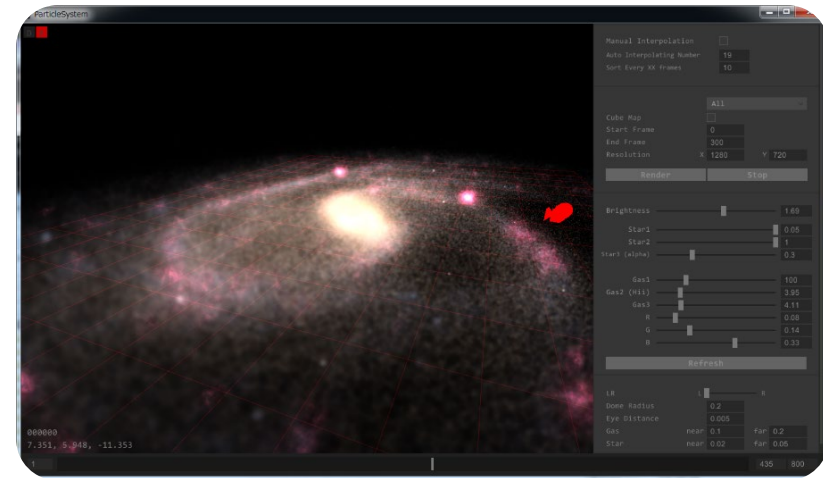
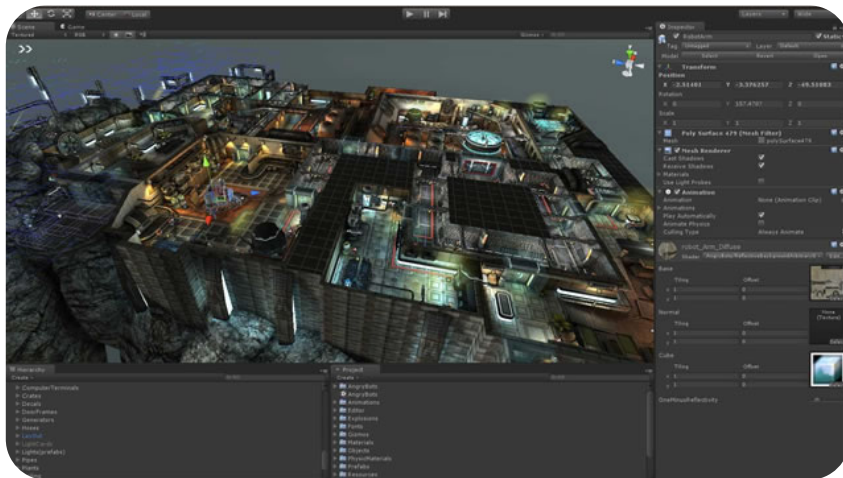
# Maya : 3DCGソフトウェア

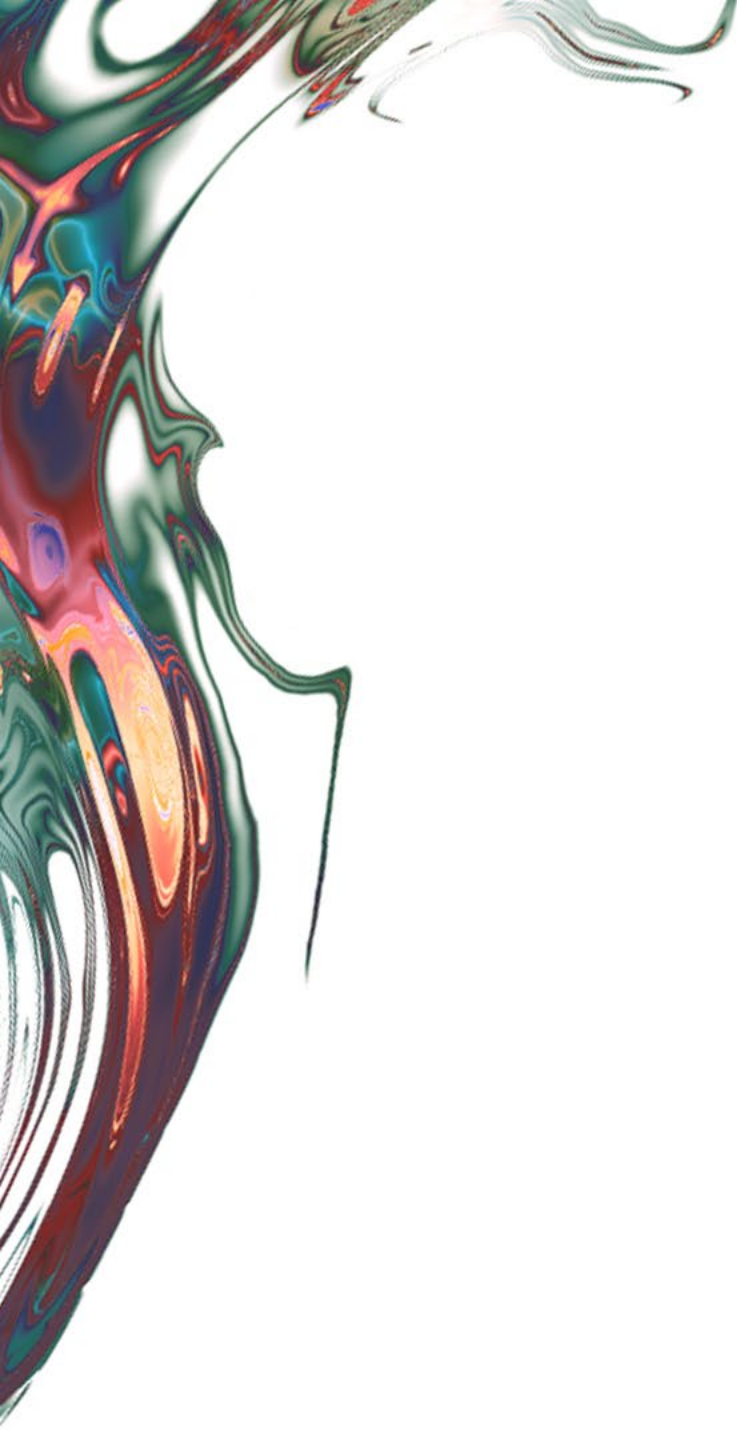
- ・モデリング、アニメーション、レンダリングなど、CG映像制作に必要な機能が備わったツール
- ・4D2Uにおける可視化映像制作では、カメラワークの設定やプロトタイプ制作に使用  
(モデリング作業が必要な際にも使用)



# Unity : ゲームエンジン

- 3DCGモデルや音声、映像などを処理し、幅広いリアルタイムコンテンツの制作に使用される
- 4D2Uにおける可視化映像制作では、主に描画（レンダリング）のために使用





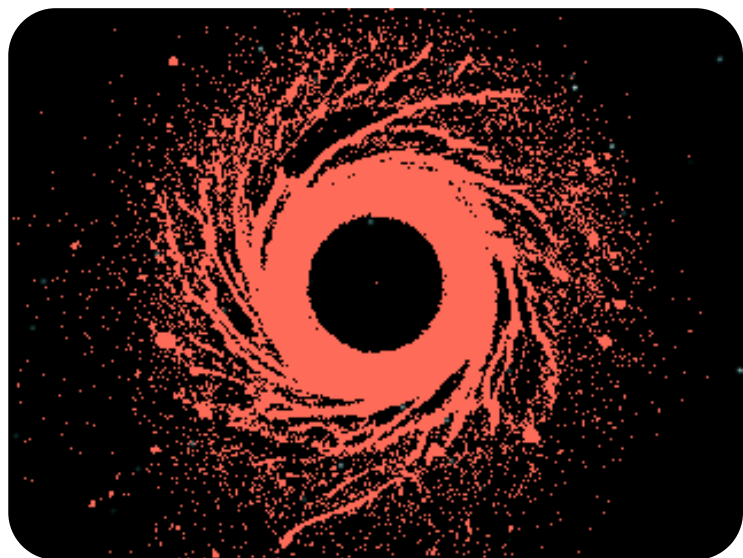
## 提供されたデータについて

# 提供されたデータについて

## 天文系でよく使用されるシミュレーションデータ

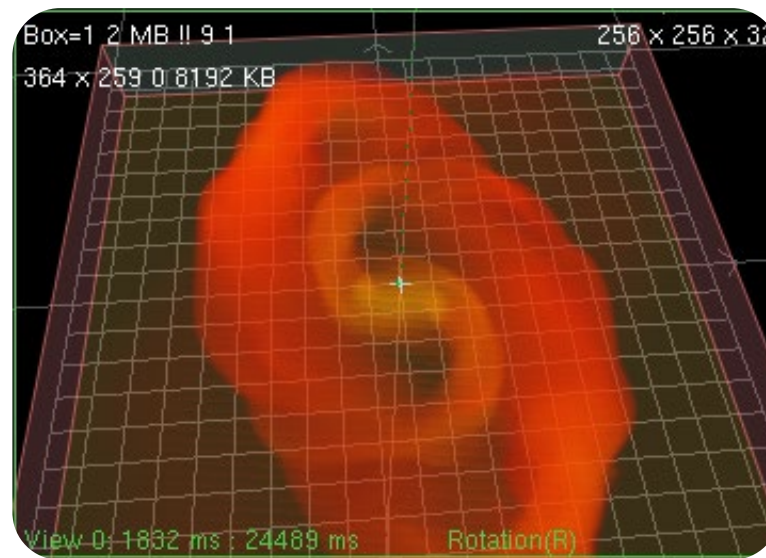
### 粒子系データ

沢山の物体の中で一つ一つの物体の位置や速度、重さなどのデータを順番に出したもの  
(天文だと星団とかを扱うのでよく出てくる)



### 流体系データ

液体やガスの流れなど、空間をメッシュに切ってメッシュの1つ1つについて、密度や温度、圧力などを計算して出力したデータ

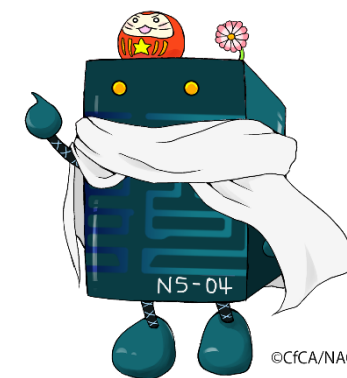


# 提供されたデータについて

データ提供者： 馬場 淳一（国立天文台）

数値計算の目的： 天の川銀河の様々な構造におけるガスや星の運動、分子雲進化の違いを明らかにすること

使用した計算機： Cray XC30「アテルイ」  
(国立天文台天文シミュレーションプロジェクト)

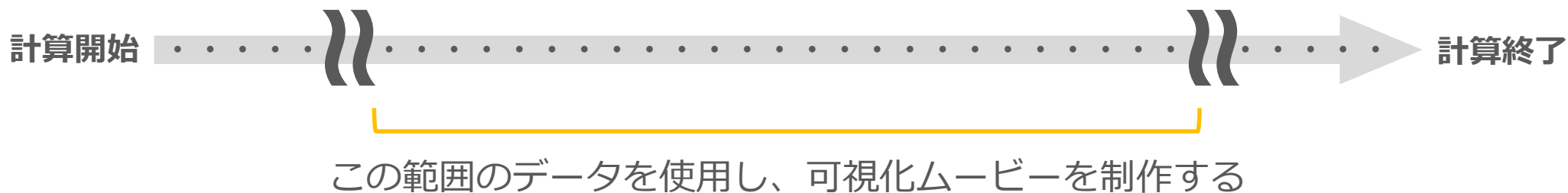




## 提供されたデータについて

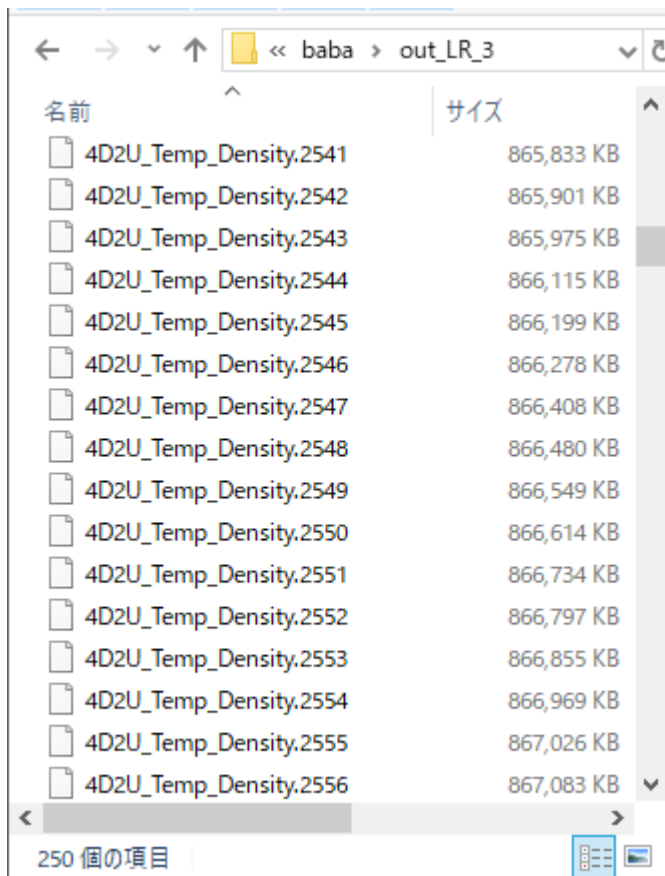
数十億年 程度の宇宙の進化をシミュレーションする

- ▶ 計算結果は飛び飛びで保存される  
(今回のデータは100万年おきに保存されていた)



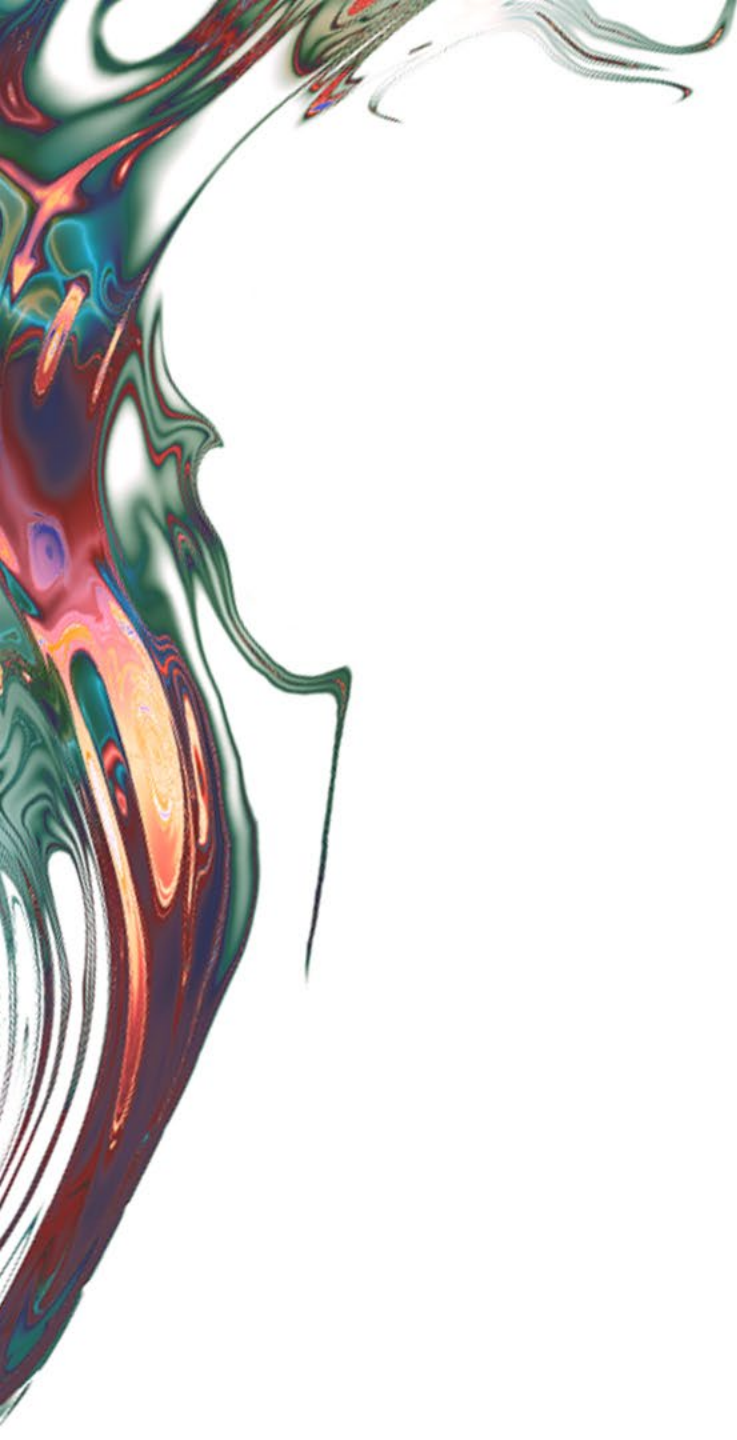
- ▶ ムービーを滑らかに仕上げるため、データとデータの間は補間

# 提供されたデータについて



## 一つの粒子に含まれる情報

Type	粒子が「SPH」であるか、「Star」であるか	
ID	粒子固有の番号	
Mass	粒子の質量	
Position	粒子の座標	
Velocity	粒子の速度	
Data 1	半径	星の明るさ
Data 2	温度	星の色
Data 3	分子ガスの割合	-----
Data 4	原子ガスの割合	-----
Data 5	電離ガスの割合	-----



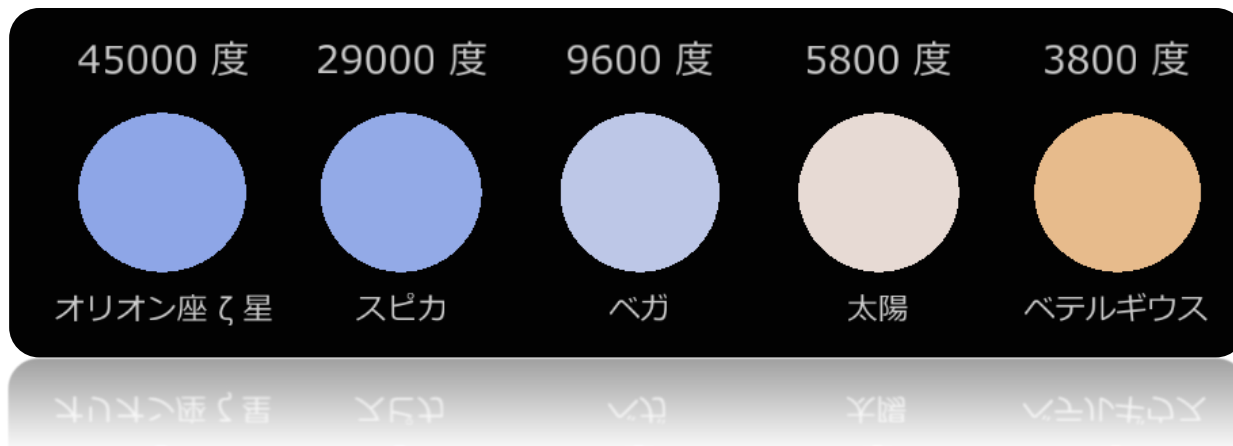
## 制作の方針：色付けについて

## 制作の方針：色付けについて



### 星

温度によって色が変わる  
(黒体放射としてとらえることができる)



▶ データに色情報が含まれるため、再現可能！

## 制作の方針：色付けについて



### 暗黒星雲

暗黒星雲：  
周囲よりも高密度の星間ガスや宇宙塵によって、背後の星の光を隠し、影として浮かび上がったもの



オリオン座の馬頭星雲

▶ 分子ガスの割合・密度から、なんとか再現可能！

# 制作の方針：色付けについて



## H II 領域

H II 領域：

電離された水素が赤く光を放っている領域。

内部で星形成が行われており、生まれた若い高温の青い星が多量の紫外線を放出し、星の周囲にある星雲を電離することで光っている。



H II 領域の例（ガム15星雲）

▶ 電離ガスの割合・温度から、なんとか再現可能！

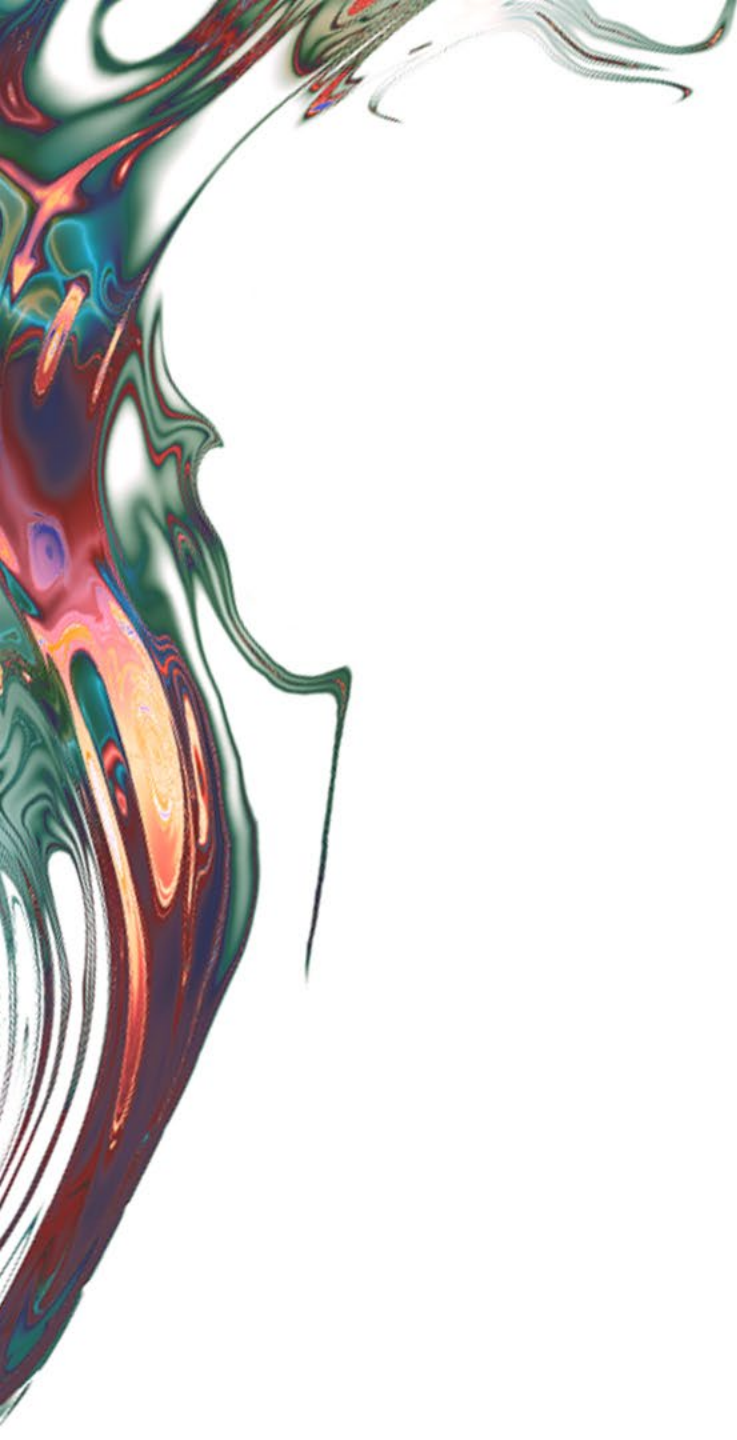
## 制作の方針：色付けについて

---



**「星の色」「暗黒星雲」「H II 領域」を描き、  
実際の見た目に近い可視化を行う**

※データによっては実際には見えないもの（ダークマターなど）に任意の色付けを行うケースも



## 制作の方針：映像スタイル

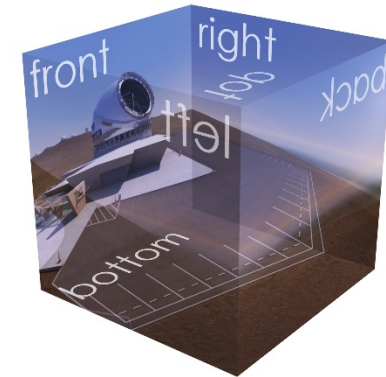
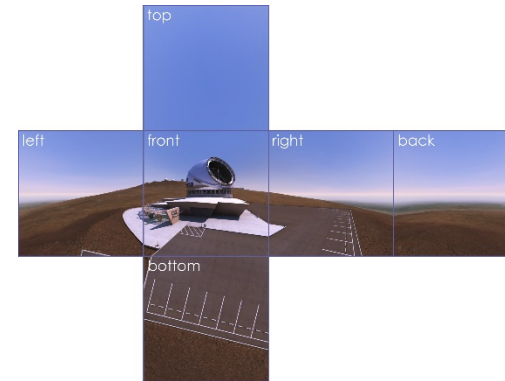
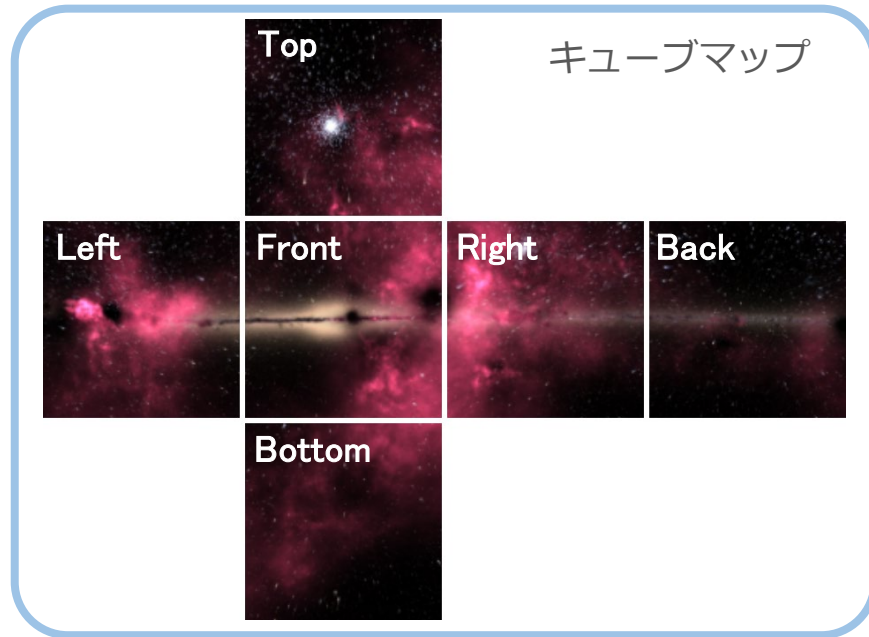


※)このページで使っている画像は、法律で認められている引用目的の利用としてウェブ上から拝借したものです。

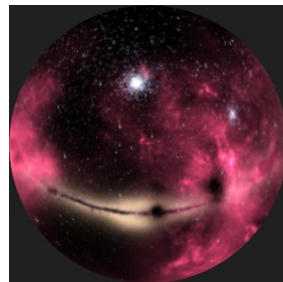
## 制作の方針：映像スタイル

TVなど (2D/3D)	ドーム (2D/3D)	VR (2D/3D)
		
Full HD (1920x1080)以上	ドームマスター形式 4K (4096x4096)	エクイレクタングラー形式 4K×2K (4096x2048) 以上
		

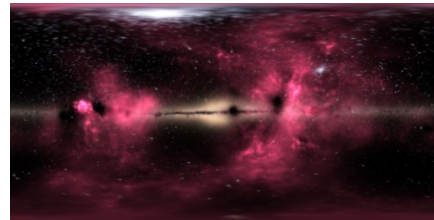
# 制作の方針：映像スタイル



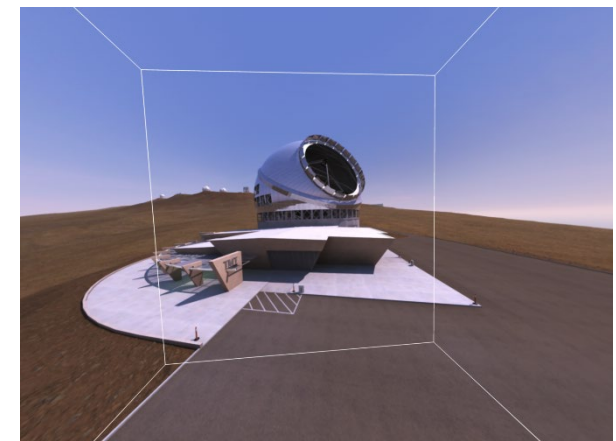
Full HD

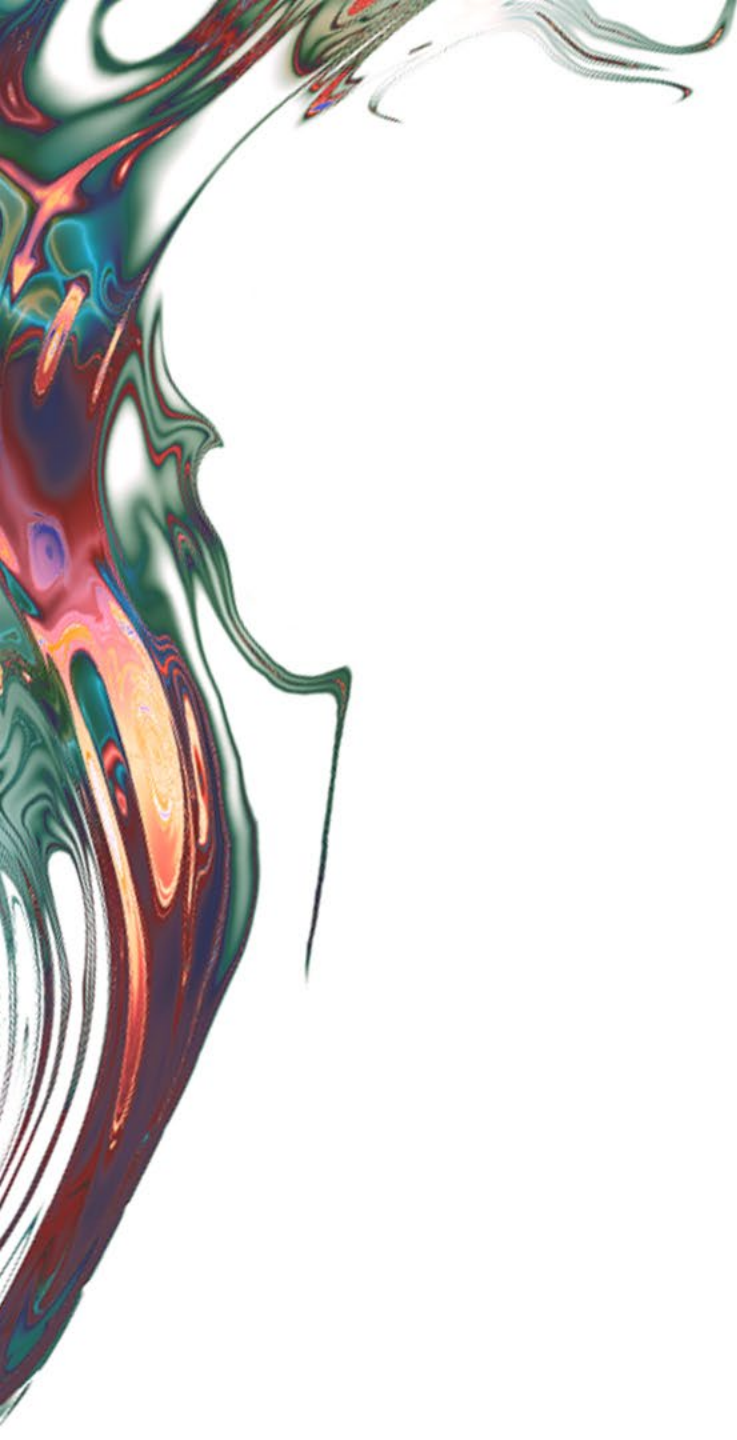


ドームマスター



エクイレクタン グラー



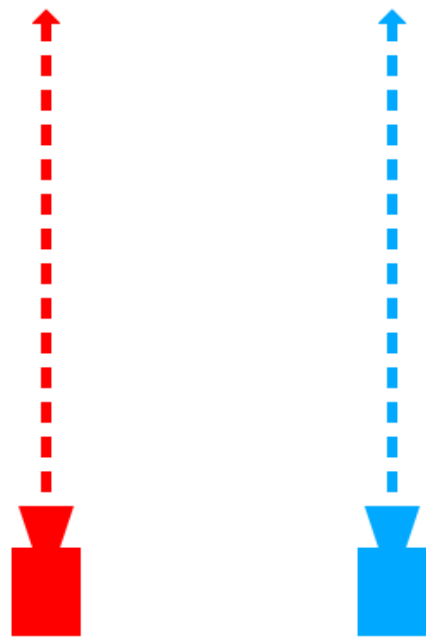


## 制作の方針：立体視

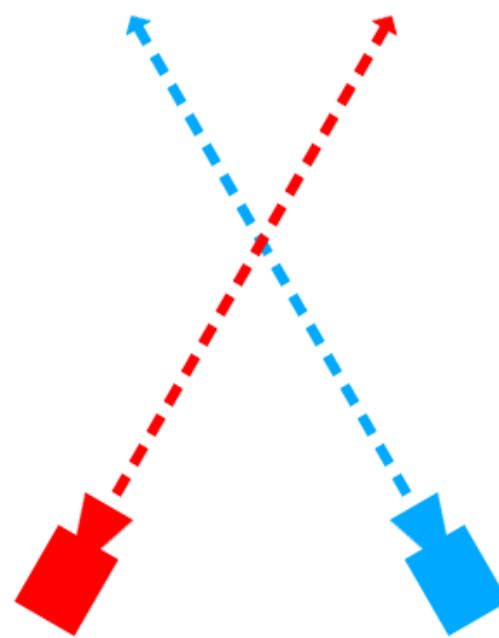
# 制作の方針：立体視

## 一般的な立体視映像の撮影方法

左右に位置をずらして配置した2台のカメラを使用する



平行法

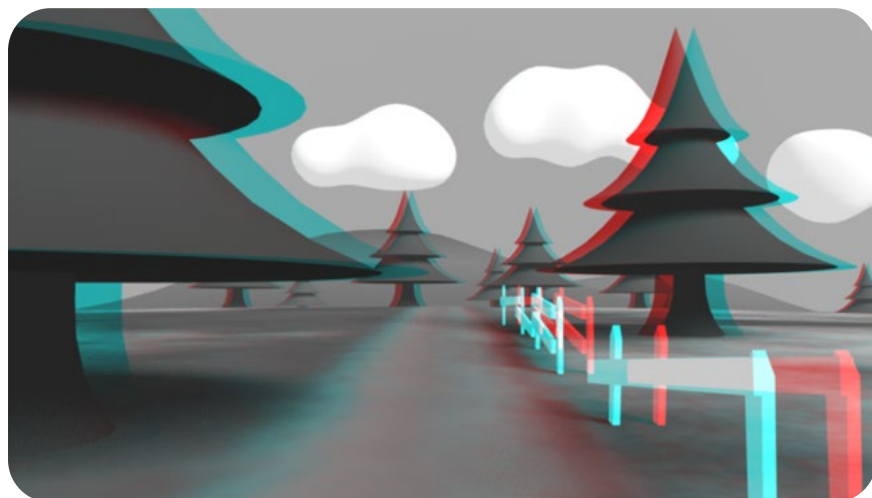


交差法

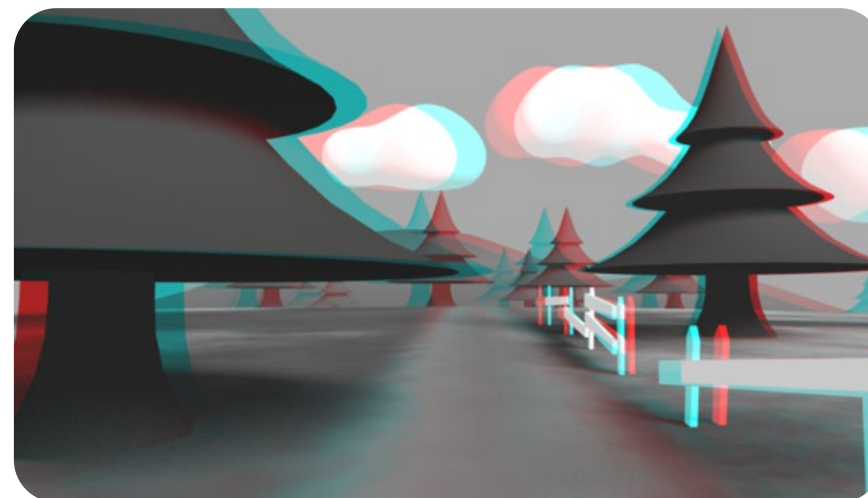
# 制作の方針：立体視

## 一般的な立体視映像の撮影方法

左右に位置をずらして配置した2台のカメラを使用する



平行法

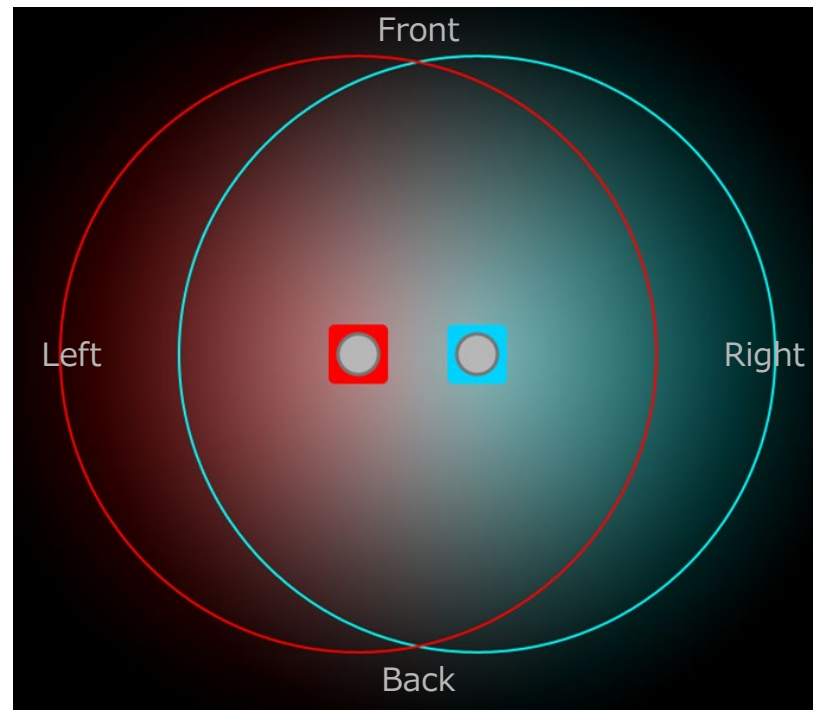


交差法

## 制作の方針：立体視

### 360度映像の立体視を考える

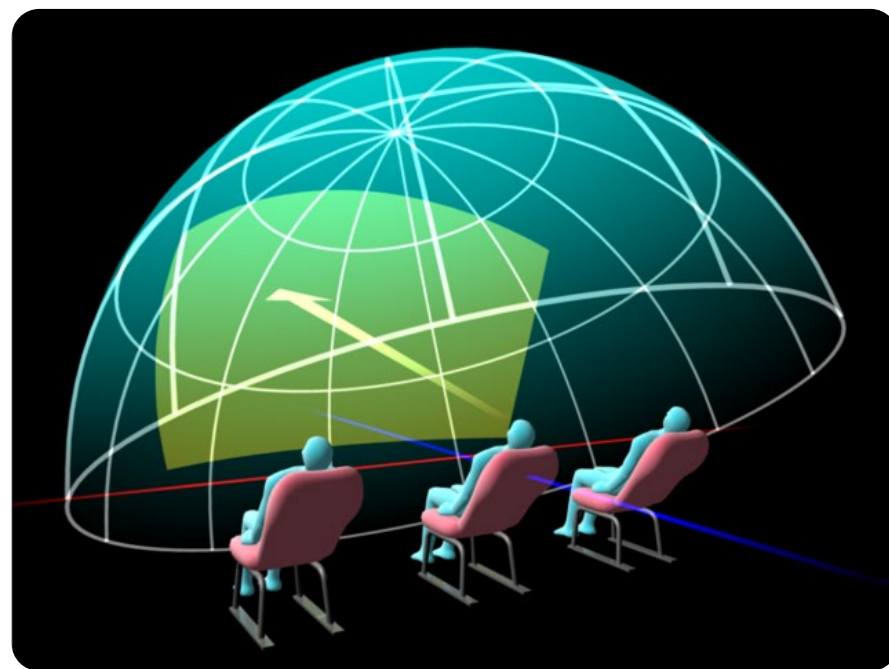
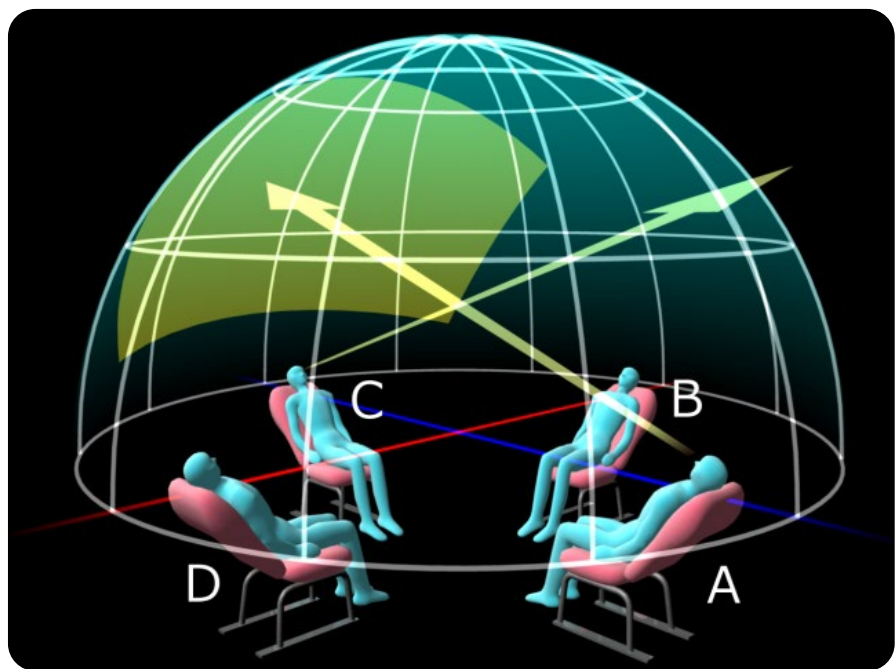
左右に位置をずらして配置した360度カメラ 2 台を使用すると…



正面以外は正しい立体視を行うことが出来ない

## 制作の方針：立体視

360度映像の立体視を考える



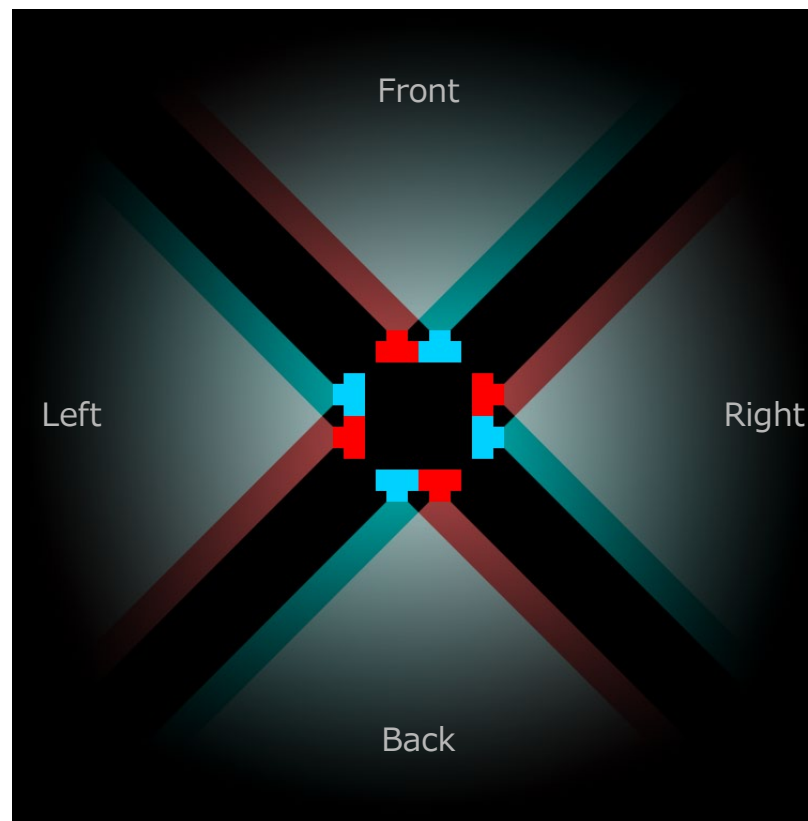
黄色い領域から離れるほど、正しい立体視はできなくなっていく

# 制作の方針：立体視

## 360度の立体視映像を撮影するには…その1

カメラの配置の工夫

90度カメラ × 4セット



※分かりやすさ優先の図となっています

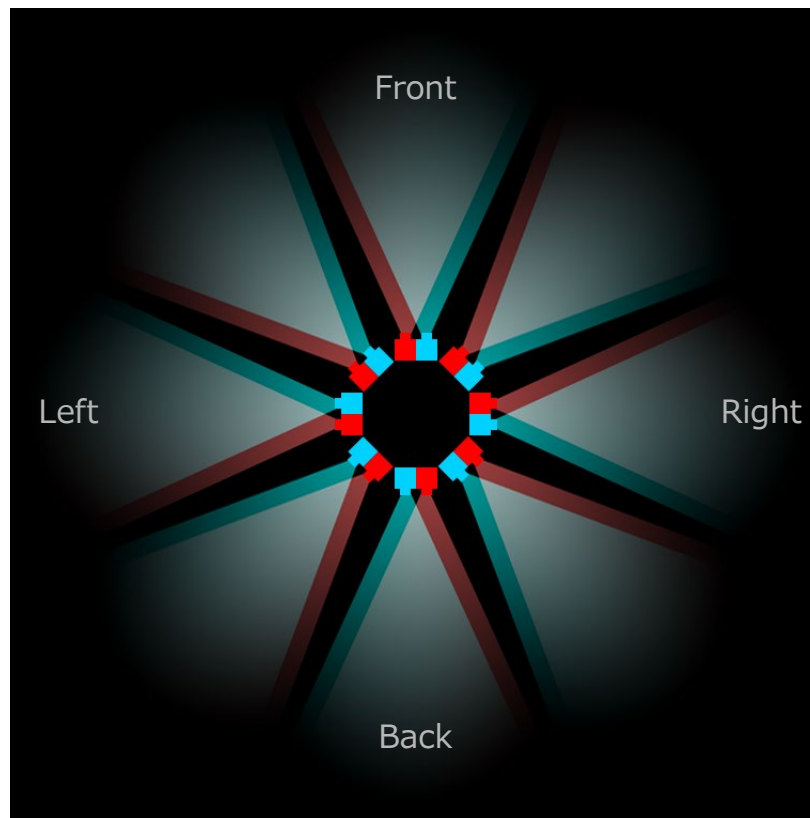
前後左右ともに正しい立体視が可能だが、カメラの継ぎ目が見えてしまう



# 制作の方針：立体視

## 360度の立体視映像を撮影するには…その1

カメラの配置の工夫  
45度カメラ × 8セット



※分かりやすさ優先の図となっています

カメラの継ぎ目は見えるが、カメラが4セットの場合と比べると目立たなくなる

# 制作の方針：立体視

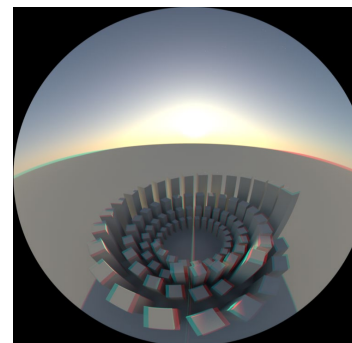
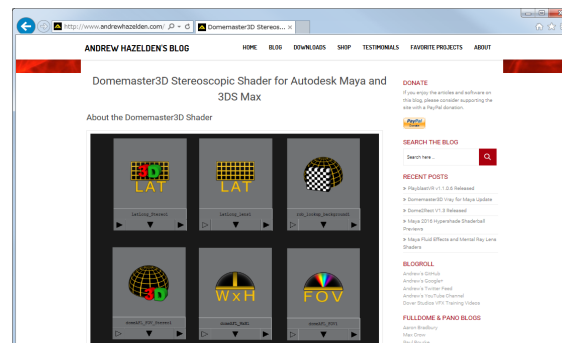
## 360度の立体視映像を撮影するには…その1

カメラの配置の工夫

(360/∞) 度カメラ × ∞セット

▶ 前後左右ともに正しく立体視可能 かつ、カメラの継ぎ目が分からない

代表的なプラグイン：Domemaster 3D



<http://www.andrewhazelden.com/blog/2012/04/domemaster3d-stereoscopic-shader-for-autodesk-maya/>

ただし、**レイトレースレンダラー**にしか対応していない…

## 制作の方針：立体視

4D2Uで制作する映像の多くは、レイトレースレンダリングが出来ない



代表的なレイトレースレンダラー：

- Mental Ray
- Arnold Renderer
- V-ray

最大粒子数：8000万粒子以上



GPUで高速にレンダリング



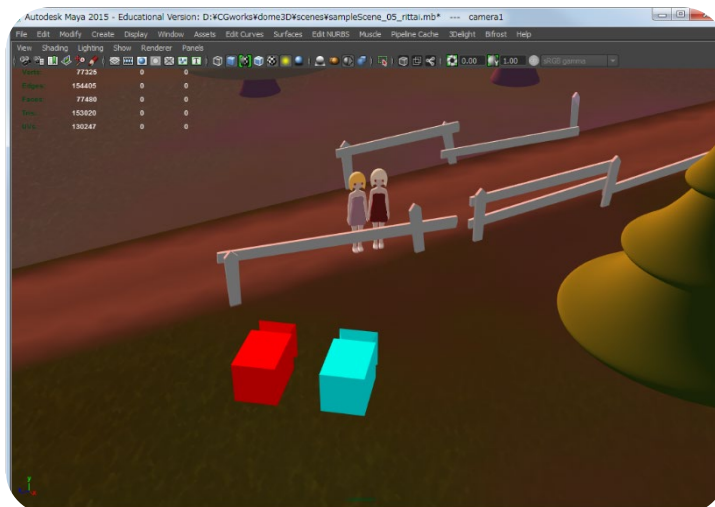
立体視させるには…？

## 制作の方針：立体視

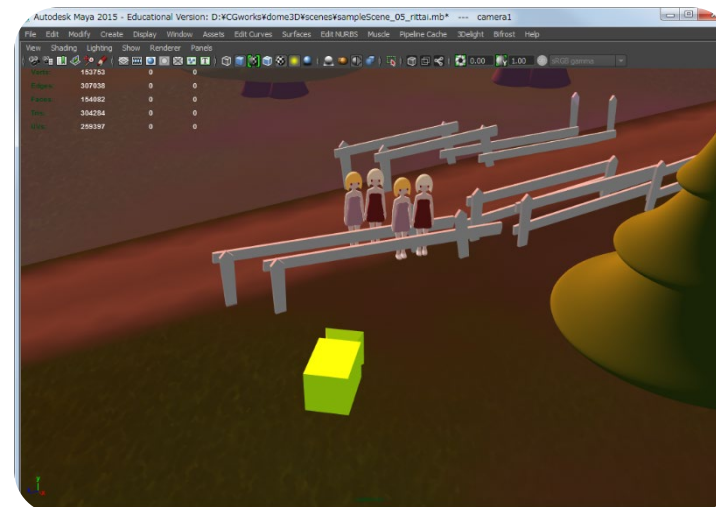
360度の立体視映像を撮影するには…その2

カメラを2台用意するのではなく、**被写体を2つ用意する**

→ 被写体を左目用と右目用の被写体にそれぞれ **歪める**



同一の被写体に対し、2台のカメラを用意



2つの被写体を同一のカメラを用いて撮影



# 可視化ムービーの作り方：制作編

# 制作の工程

データの整理

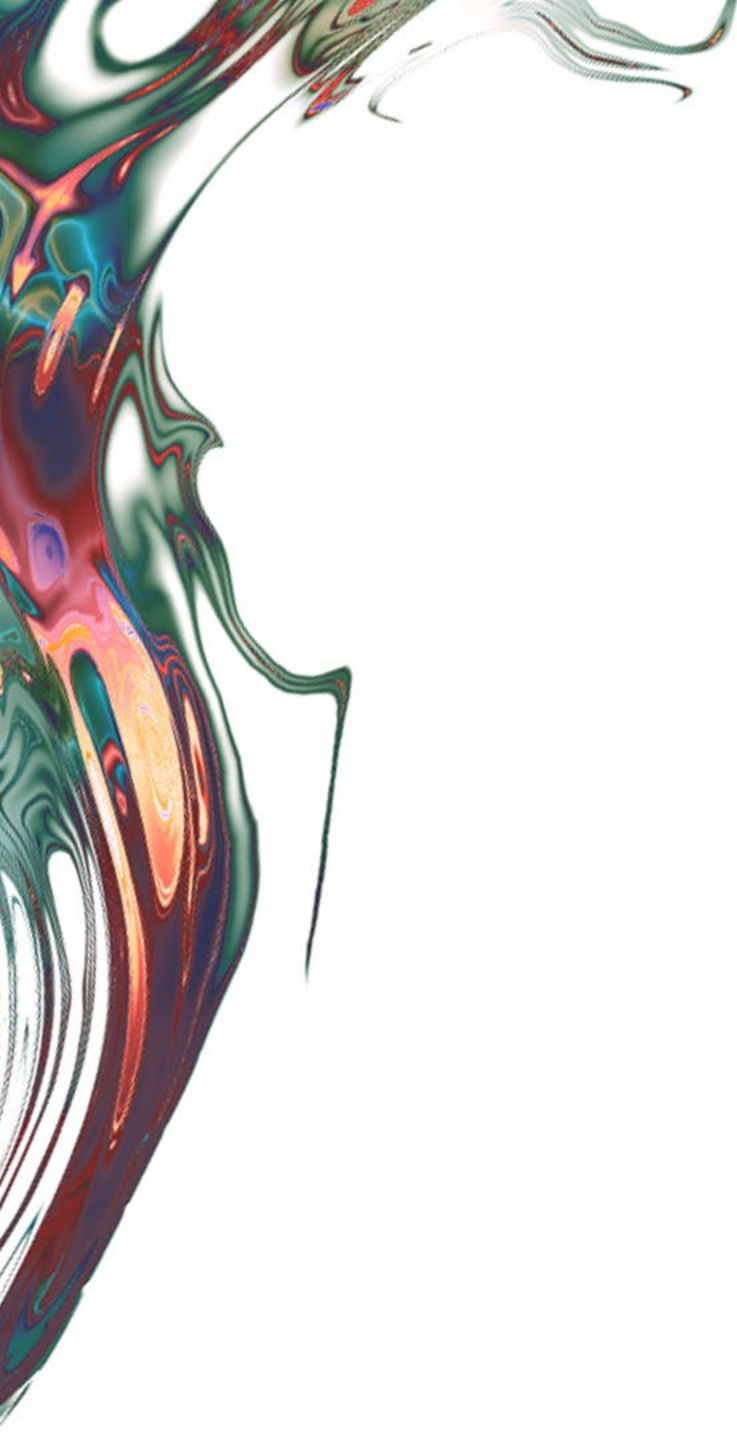
カメラワークの決定

レンダリング

編集

各フォーマットへ切り出し



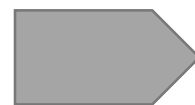


# 工程 1 : データの整理

# 制作：データの整理

## 元データ

Type	「SPH」であるか、「Star」であるか	
ID	粒子固有の番号	
Mass	粒子の質量	
Position	粒子の座標	
Velocity	粒子の速度	
Data 1	半径	星の明るさ
Data 2	温度	星の色
Data 3	分子ガスの割合	-----
Data 4	原子ガスの割合	-----
Data 5	電離ガスの割合	-----



- Python
- C#
- ...

## レンダリング用

Type
ID
Position
Data 1
Data 2
Data 3
Data 5

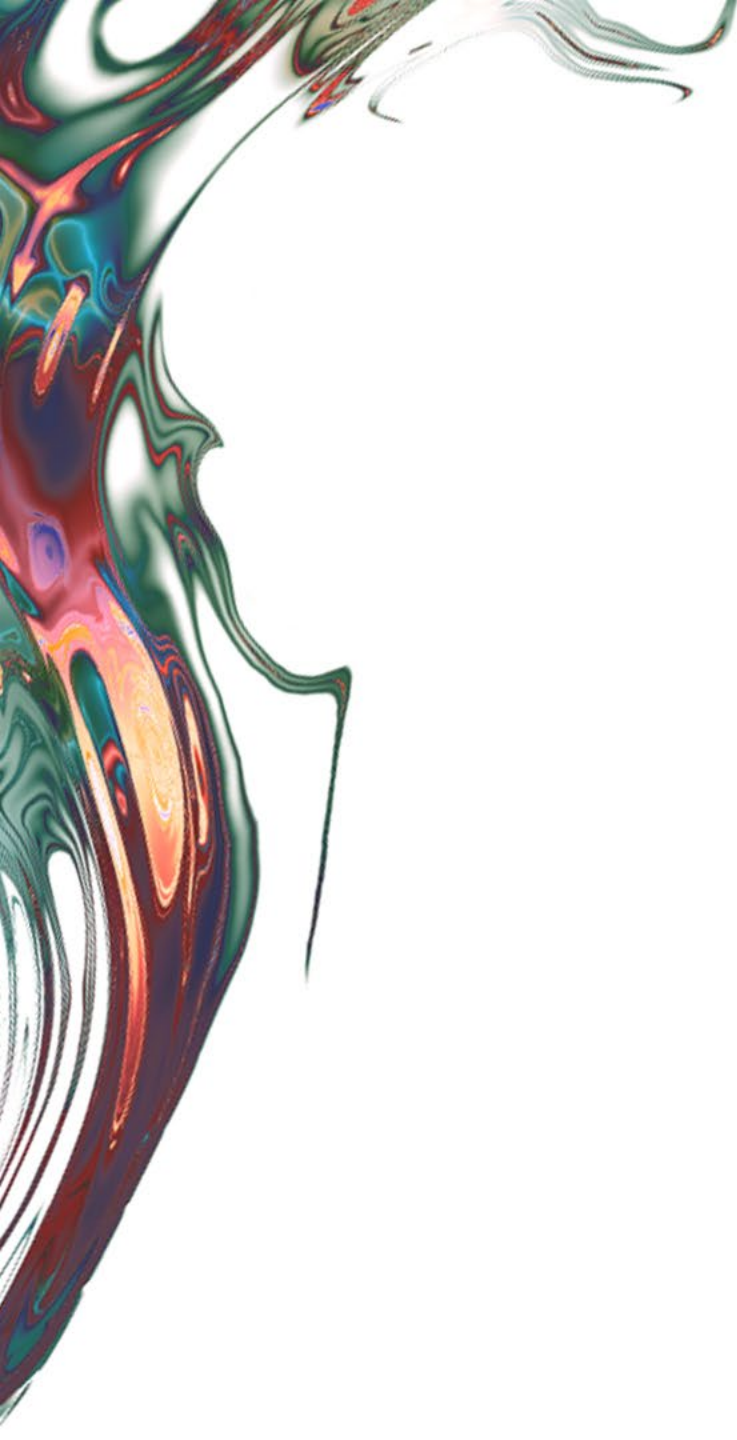
## カメラワーク用

Position



- 粒子数を間引く
- Mayaで読める形式で用意





## 工程 2 : カメラワーク

# 制作：カメラワークの決定

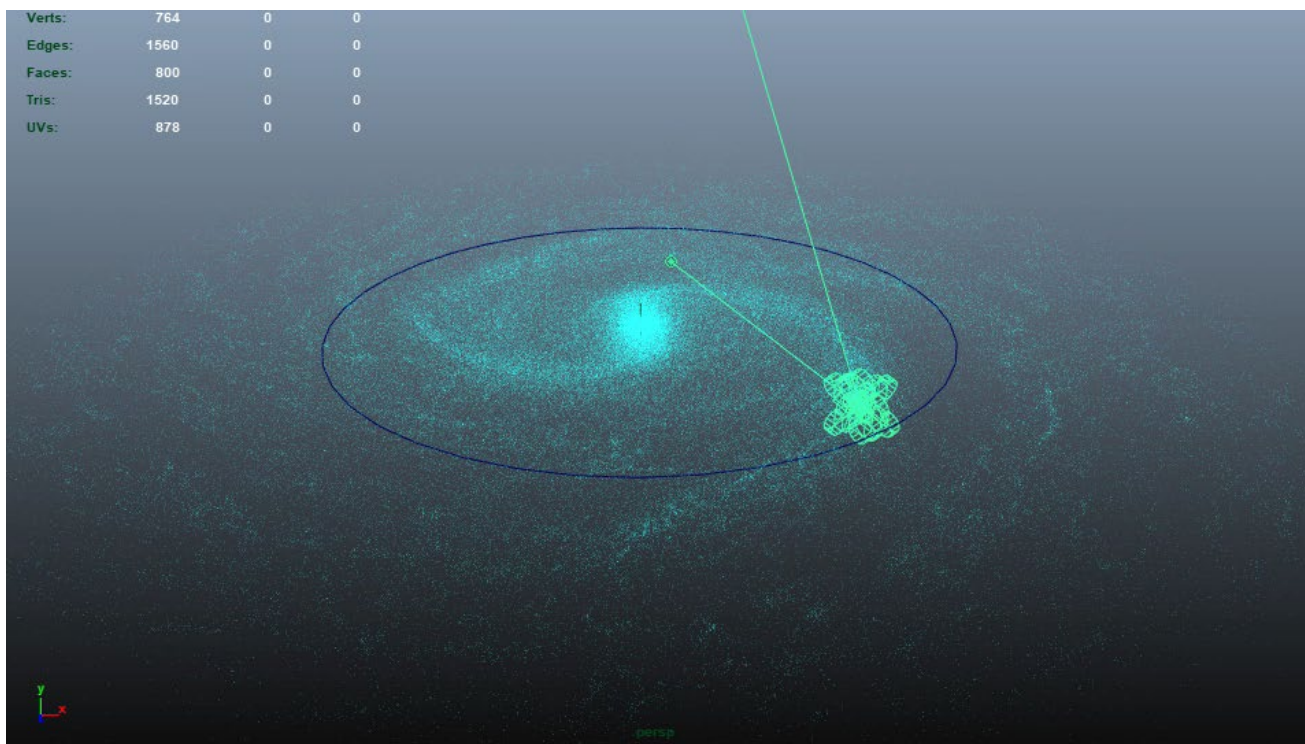
簡単な絵コンテを作成



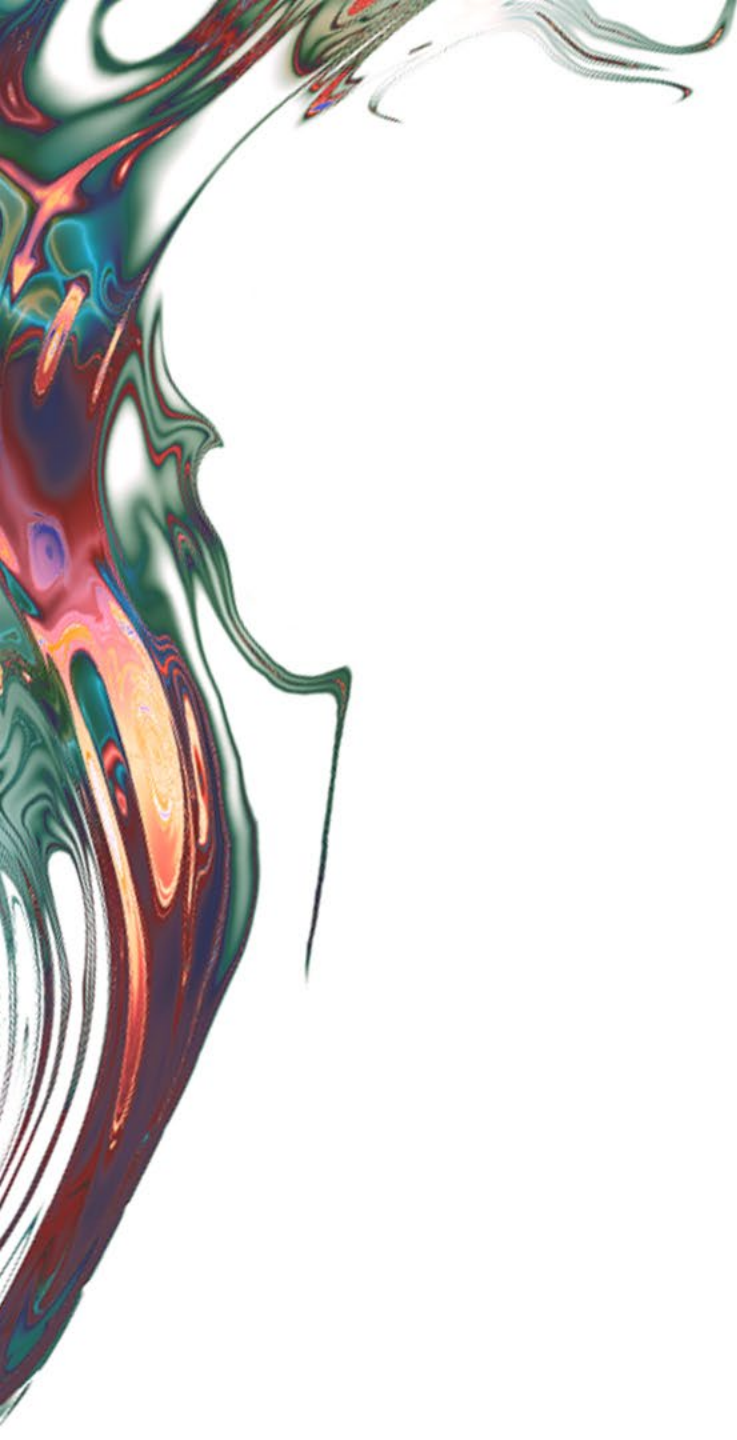
粒子数を減らしたデータをMayaで読める形式に変換し、カメラワークを付ける



仮レンダリングし、何度もドームでチェック（場合によっては何十回も）



3DCGソフト「Maya」でカメラワーク付け



## 工程 3 : レンダリング

# 制作：レンダリング

## レンダリング用データ

- particleShape1.8400.pdc
- particleShape1.8600.pdc
- particleShape1.8800.pdc
- particleShape1.9000.pdc
- particleShape1.9200.pdc
- particleShape1.9400.pdc
- particleShape1.9600.pdc
- particleShape1.9800.pdc

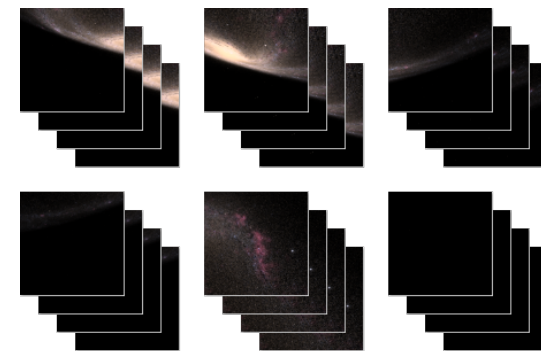
## カメラパスデータ (Position, Rotate)

## Unityで制作したオリジナルのレンダラー



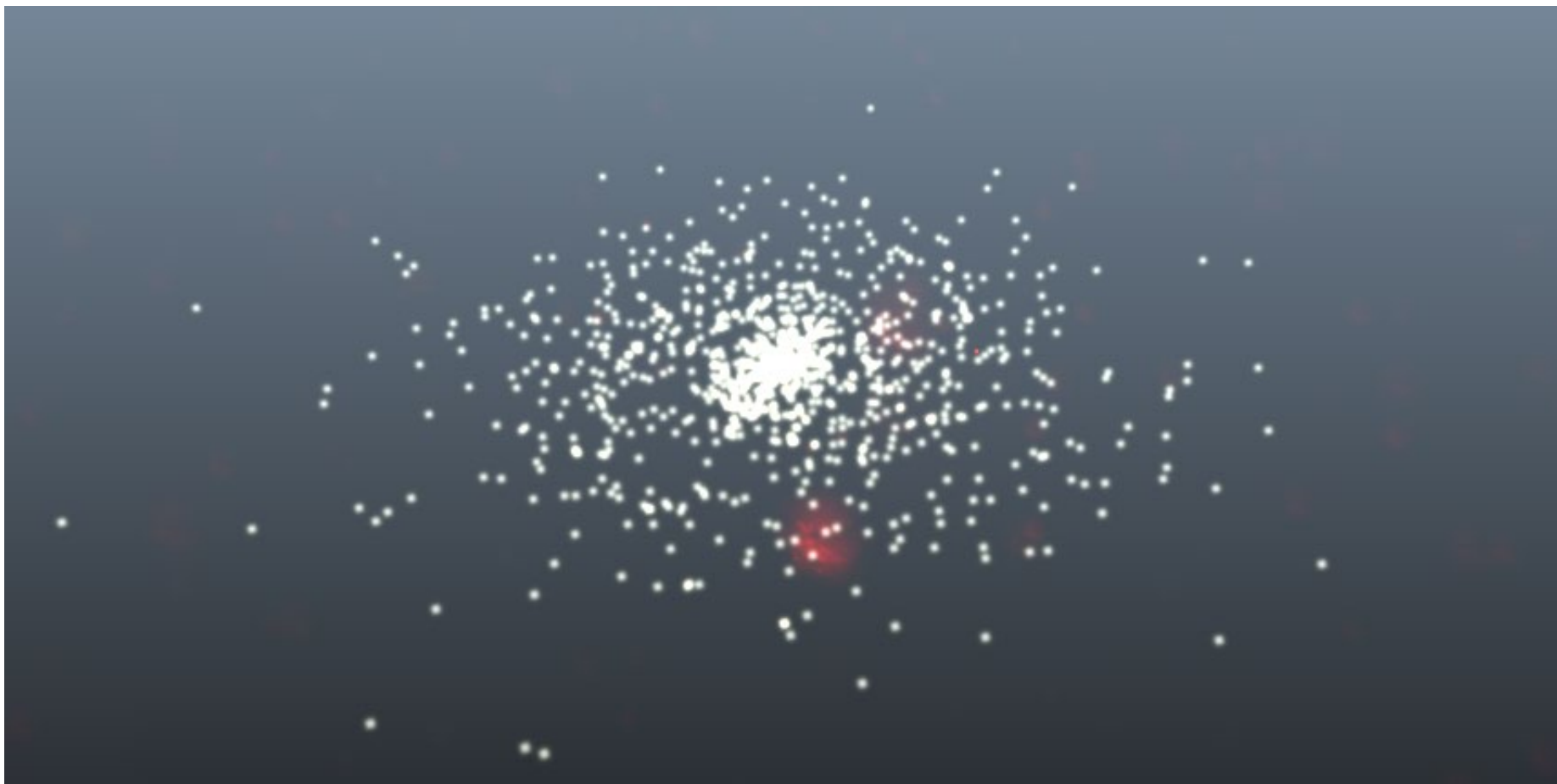
- データの読み込みと補間
- カメラパスデータ (Mayaから出力) 読み込み
- 立体視用に読み込んだデータ位置を歪める
- 陰面処理
- カメラ位置に近すぎる粒子を削除
- 色付け (星、暗黒星雲、H II 領域)
- 16bit画像でのキューブマップレンダリング
- モーションブレンダー追加
- 連番画像を出力

GPU



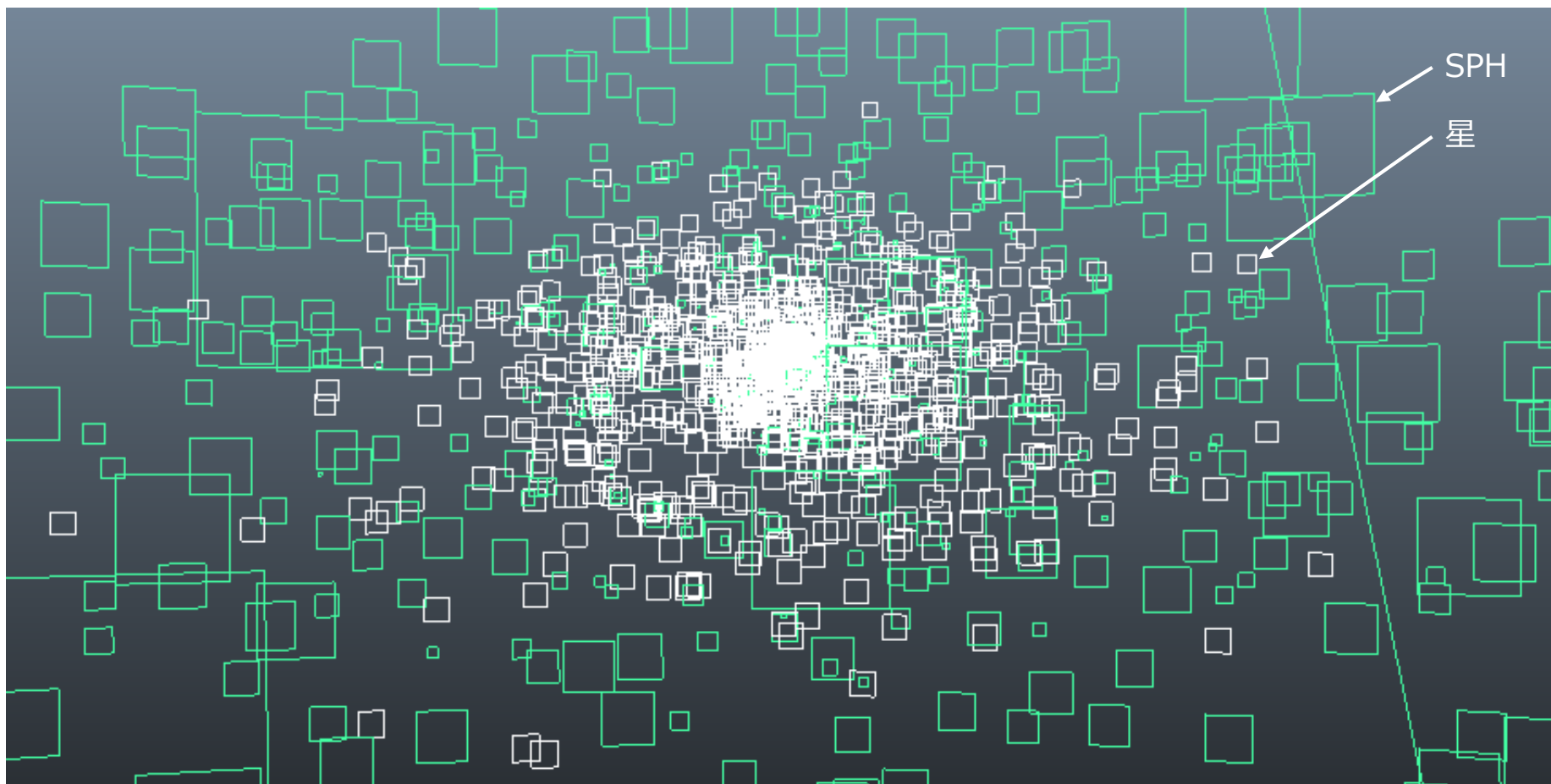
6 (F, L, R, B, T, Bo)  
× フレーム 枚が出力される

# 星やガスの描画方法



粒子数を 1/10000 にして表示した銀河

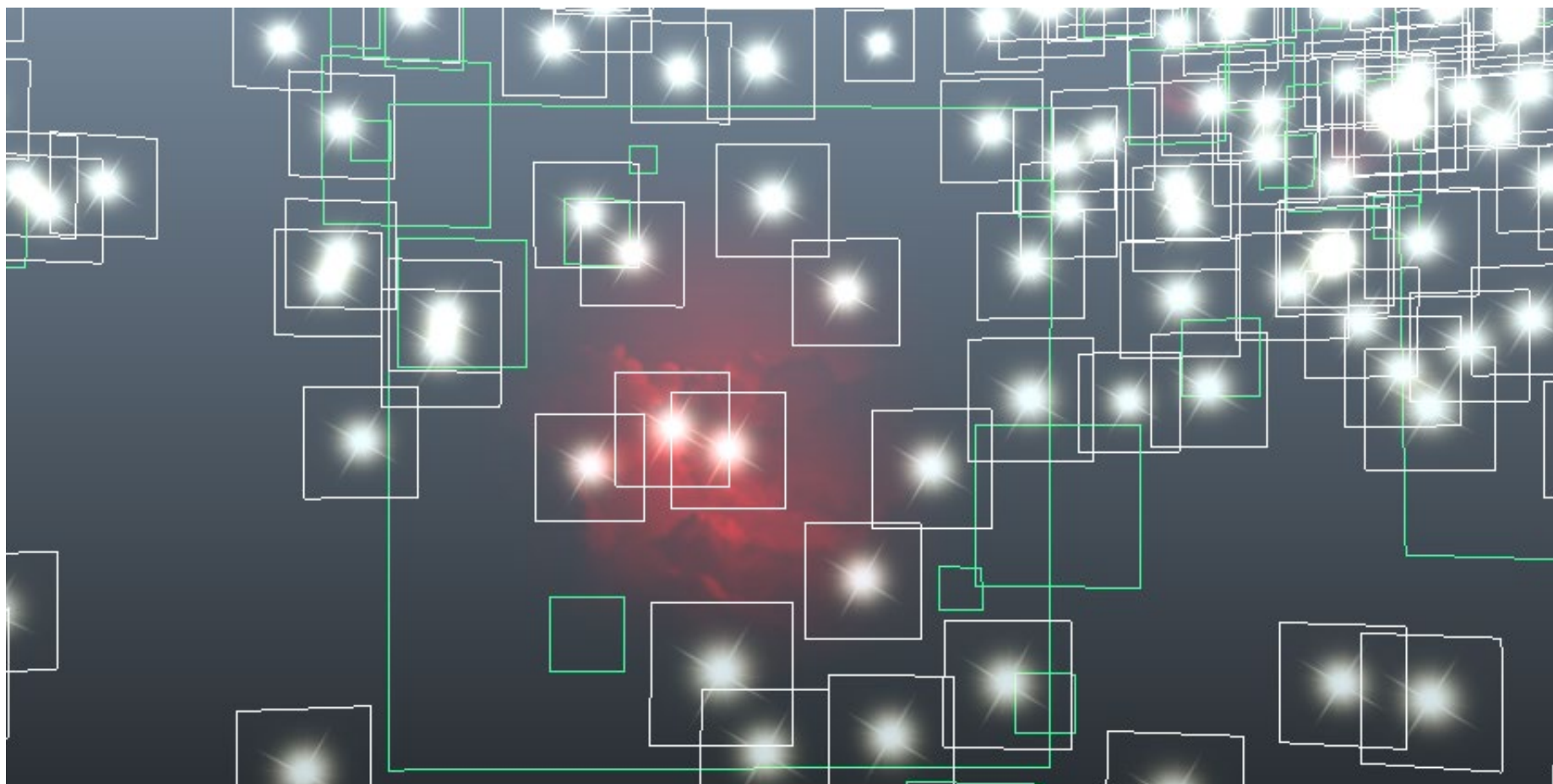
# 星やガスの描画方法



粒子数を 1/10000 にして表示した銀河

星やガスは粒子の位置に配置した板に模様（テクスチャ）を貼ることで表現

## 星やガスの描画方法



粒子数を 1/10000 にして表示した銀河

星やガスは粒子の位置に配置した板に模様（テクスチャ）を貼ることで表現

# 制作：星のレンダリング

元データ

Type	SPH or <b>Star</b>	
ID	粒子固有の番号	
Position	粒子の座標	
Data 1	半径	星の明るさ
Data 2	温度	星の色
Data 3	分子ガスの割合	-----
Data 4	原子ガスの割合	-----
Data 5	電離ガスの割合	-----

データをまるっとGPUに渡します。  
データのTypeが星だった場合、GPU内部ではこの  
ような処理を行い、星を描画しています。

Type = Star の時

Position に板を配置し、星のテクスチャを貼る  
星の明るさや色は Data 1, Data 2 を参照



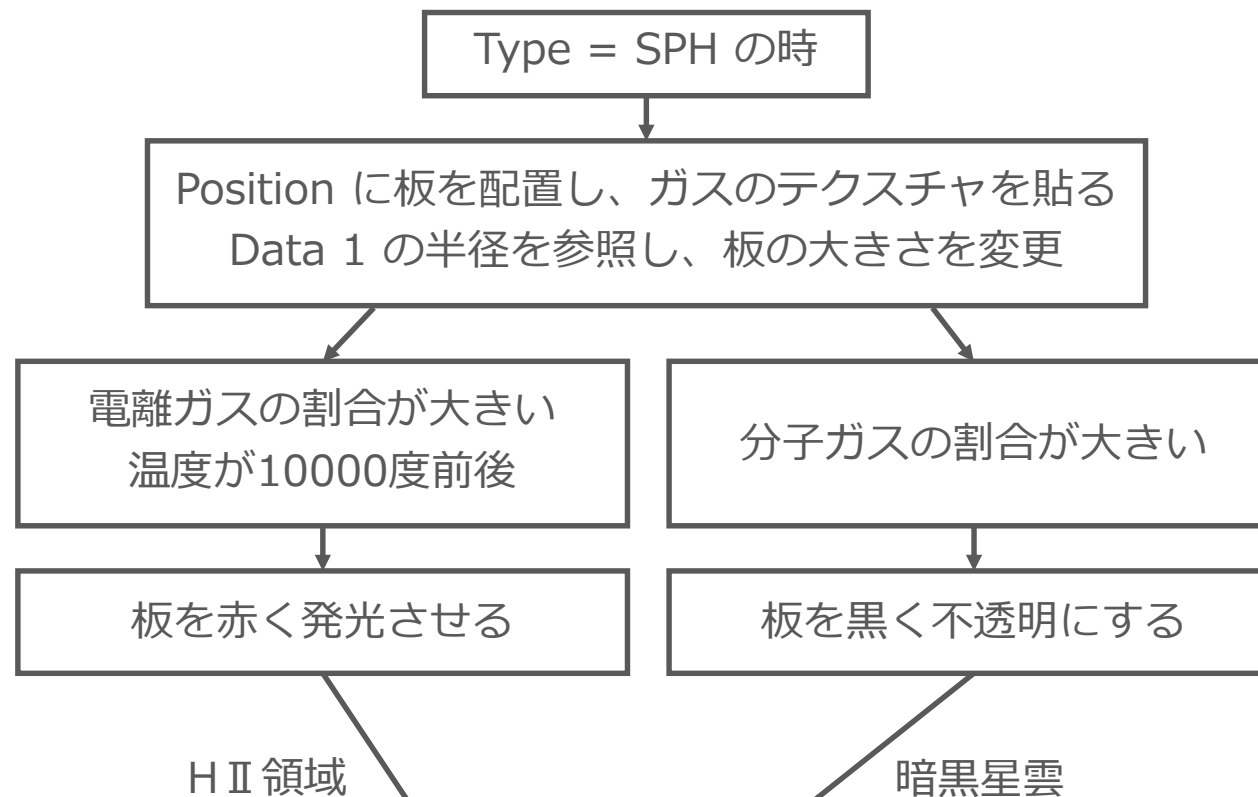


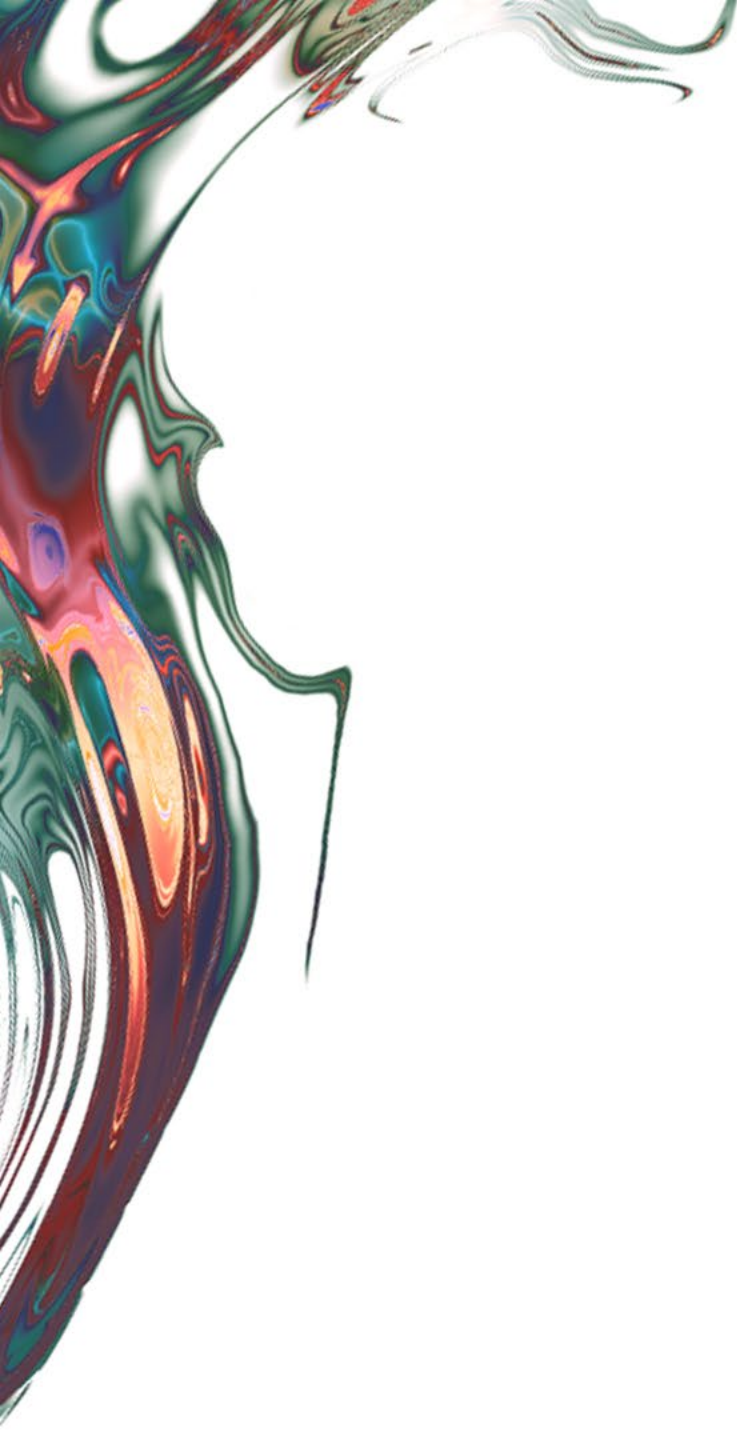
# 制作：ガスのレンダリング

元データ

Type	SPH or Star	
ID	粒子固有の番号	
Position	粒子の座標	
Data 1	半径	星の明るさ
Data 2	温度	星の色
Data 3	分子ガスの割合	-----
Data 4	原子ガスの割合	-----
Data 5	電離ガスの割合	-----

データをまるっとGPUに渡します。  
データのTypeがSPHだった場合、GPU内部ではこの  
ような処理を行い、星を描画しています。



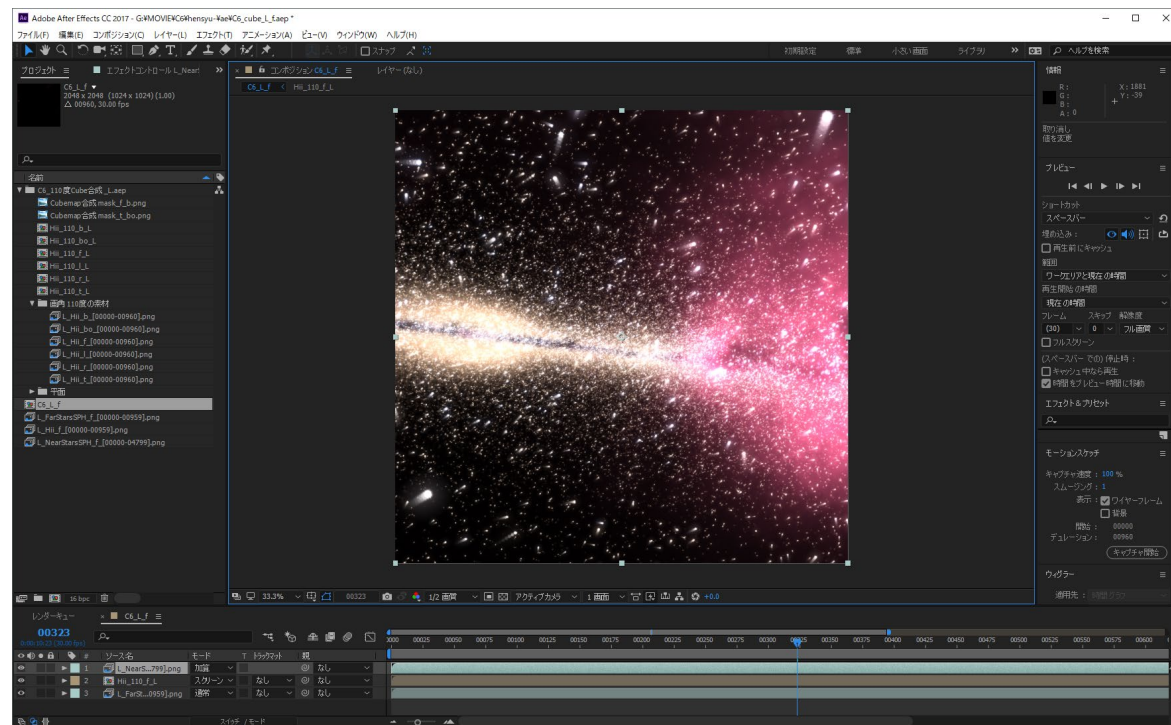


## 工程 4 : 編集

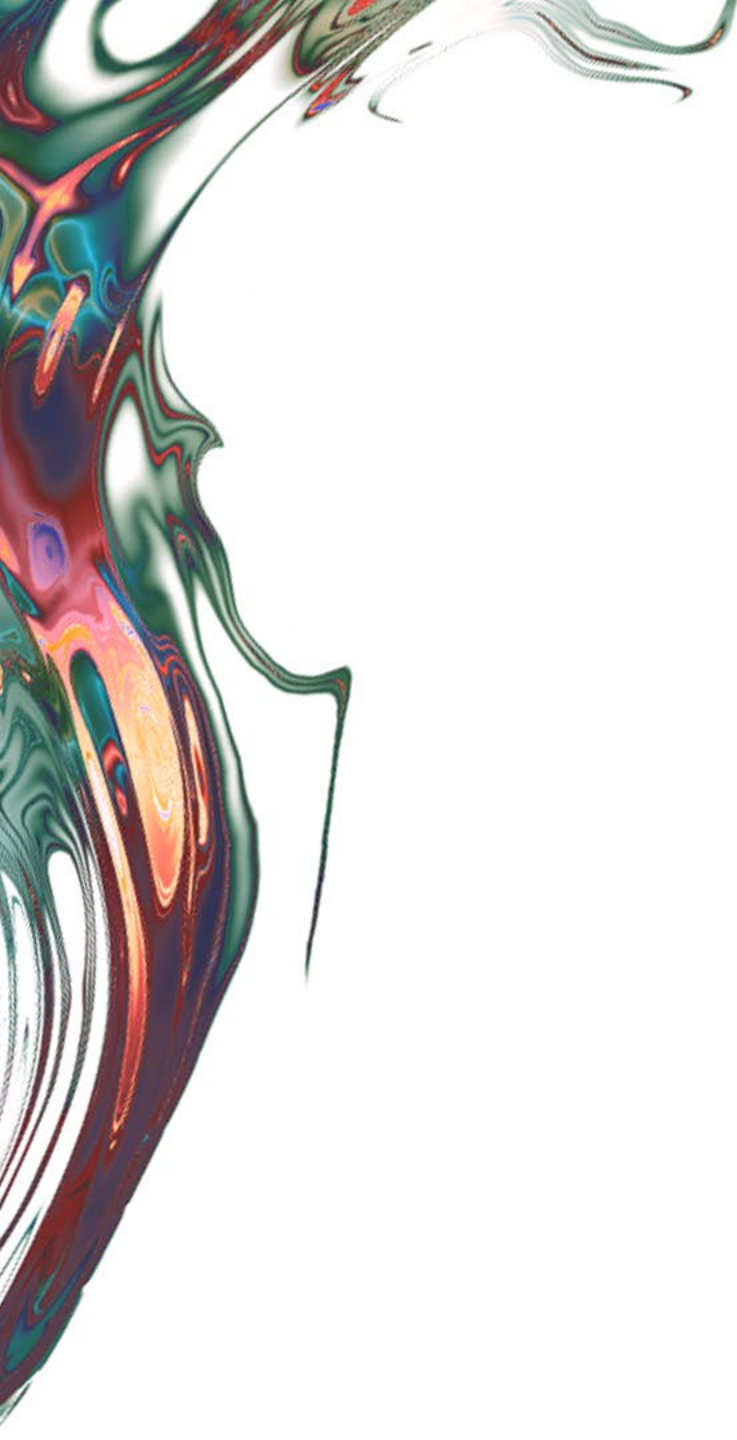
# 制作：編集

カット編集や明るさ調整、BGMとの合わせなど

⇒ キューブマップ（F, L, R, B, T, Bo）の状態編集し、再度画像連番ファイルとして出力



動画編集ソフト「After Effects」による編集の様子

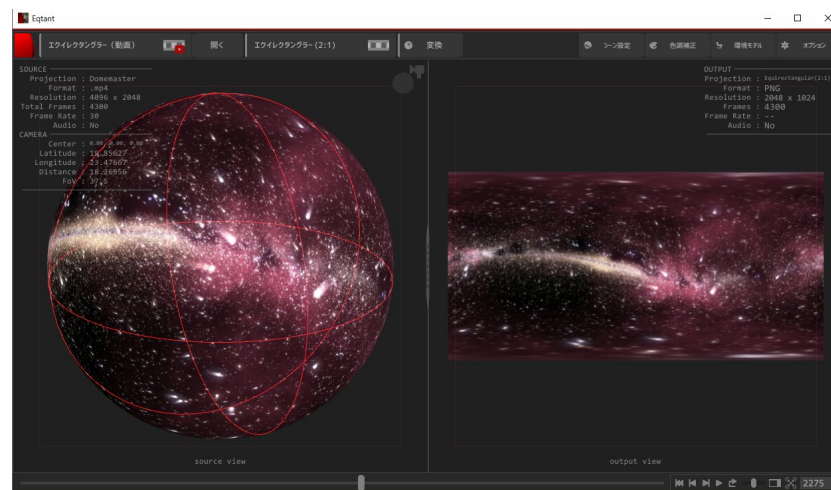


## 工程 5 : 各フォーマットへの切り出し

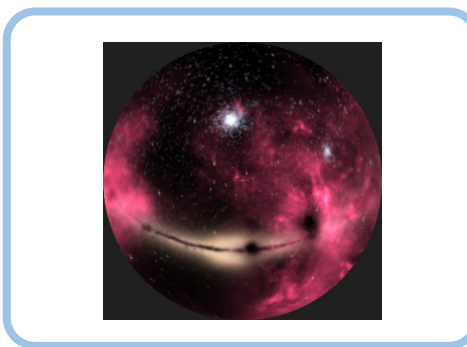
# 制作：各フォーマットへ切り出し



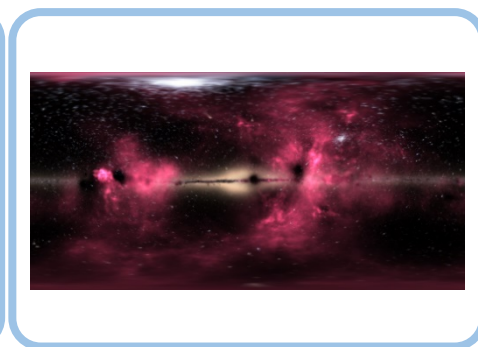
## フォーマット変換ソフト (EQTANT)



Full HD



ドームマスター



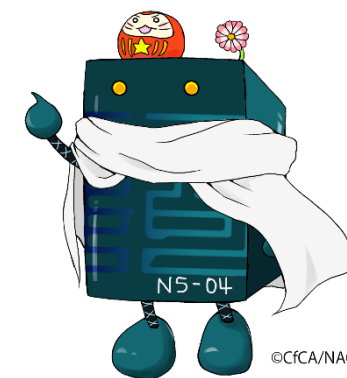
エクイレクタングラー

# 小惑星カリクローの二重リング

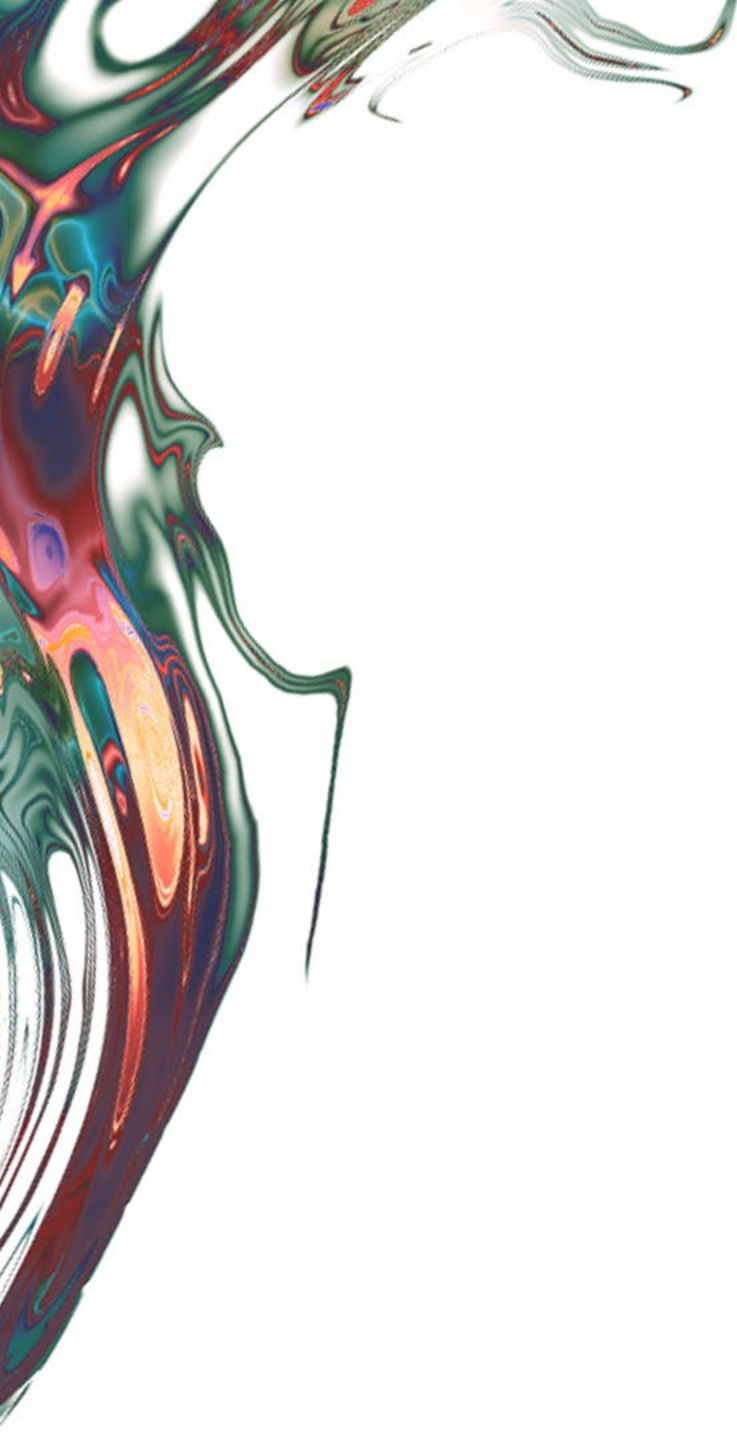
データ提供者： 道越 秀吾（京都女子大学）、小久保英一郎（国立天文台）

数値計算の目的： 小惑星カリクローの環の構造解明

使用した計算機： Cray XC30「アテルイ」  
(国立天文台天文シミュレーションプロジェクト)



©CfCA/NAOJ



# まとめ



## まとめ

---

4D2UプロジェクトではN体シミュレーションの成果や流体シミュレーションの成果、観測データなどの可視化を行っている

大規模なデータを高品質で可視化、映像化しなくてはならないため、Unityなどで自作のツール（レンダラー）の開発を行い、主にGPUで描画している