

# 天文学シミュレーションデータの可視化



武田隆顕 自然科学研究機構新分野創成センター

2010/2/23

宇宙科学情報解析シンポジウム

# イントロダクション

## ■4D2U プロジェクトとは？

国立天文台他の機関で行っているプロジェクト

理研

日本科学技術振興財団

武蔵野美術大学

目的は、天文データの可視化

目標は「宇宙を目の当たりにする」こと

# 4D2U

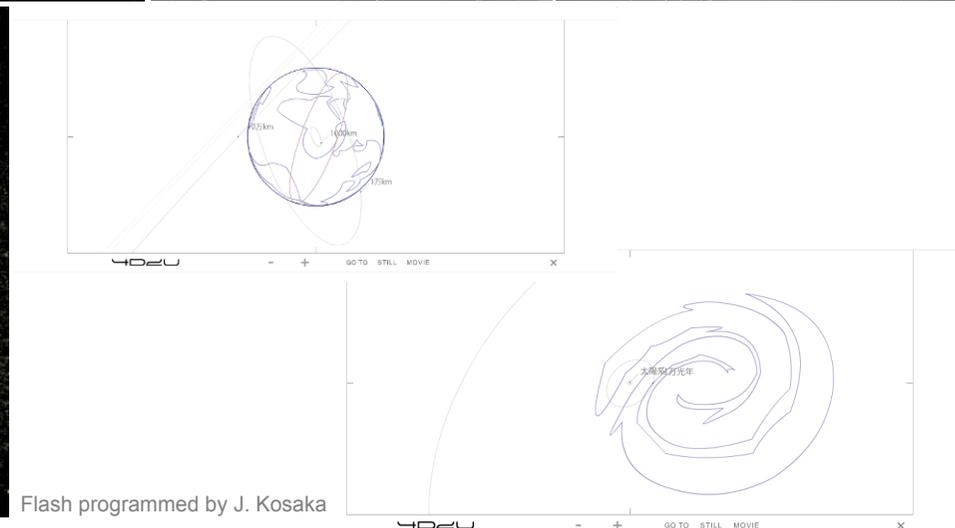
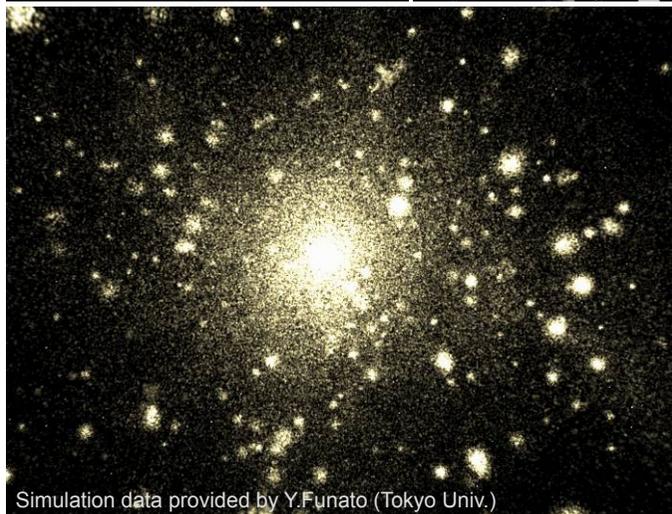
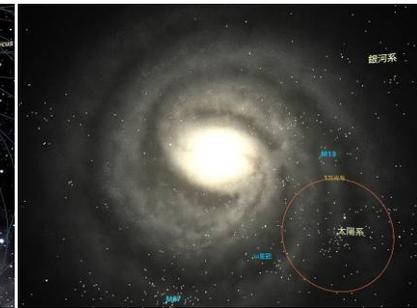
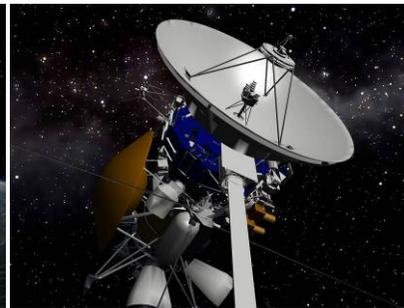
4D2Uは、**4-Dimensional Digital Universe Project**の略で、4次元をあなたに、の意味もこめられている

空間(3次元) + 時間(1次元) = 時空(4次元)

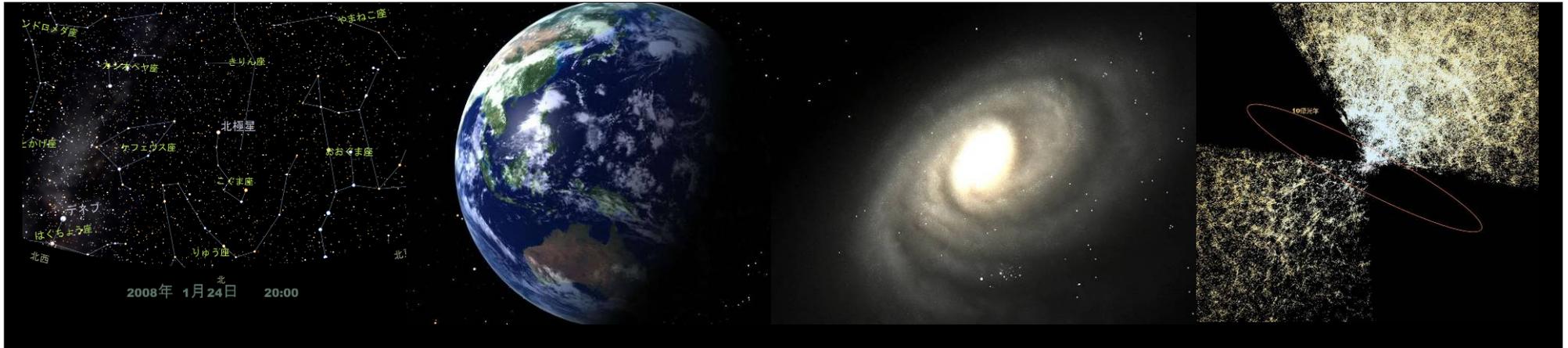
# 4D2U プロジェクト起源

## ■ やっていること

- フリーウェアの宇宙ビューワー(**Mitaka**)の提供
- 各種天文シミュレーション映像の提供
- ブラウザ上で動く宇宙ビューワー(Flash)も提供

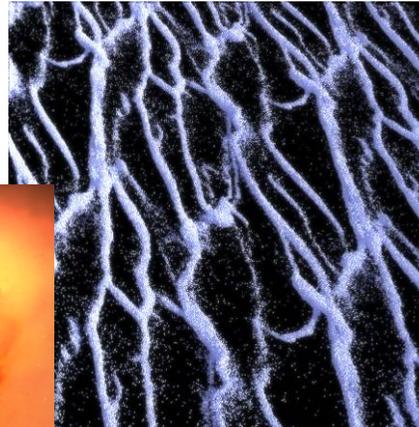
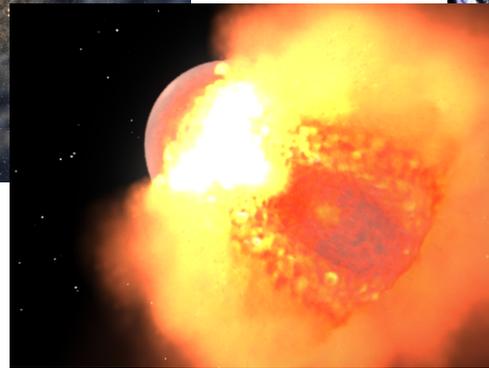
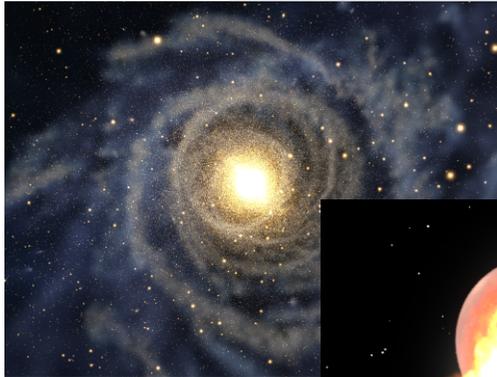


# Mitaka

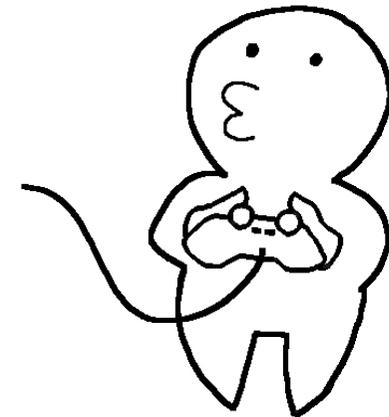


宇宙空間を自由に移動

予め用意されたムービーを呼び出すなど



上映で使うときは  
プレステコントローラで操作



# 4D2U プロジェクト歴史1

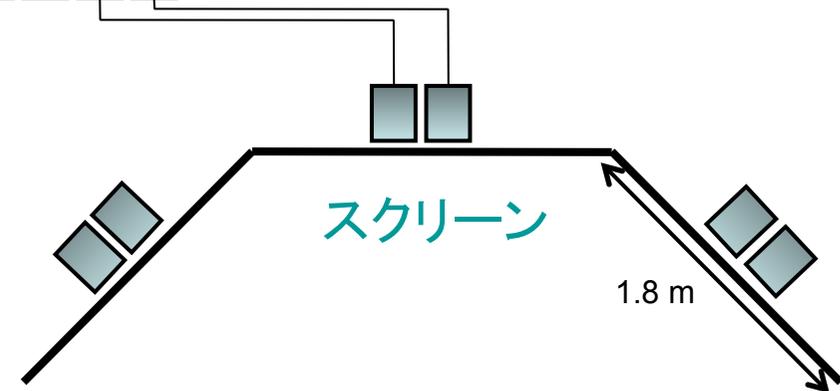
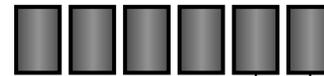
第I期プロジェクト

2002～2004

- ・ 3面スクリーン型立体視システムの開発
- ・ 科学に立脚したコンテンツの制作
- ・ 出張用可搬式投影システム

3面スクリーン実験シアター

投影用コンピュータ(6台)



スクリーン

1.8 m

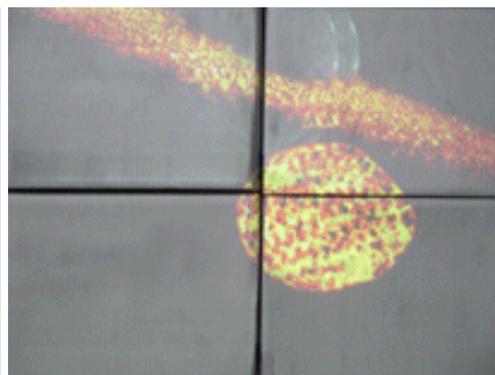
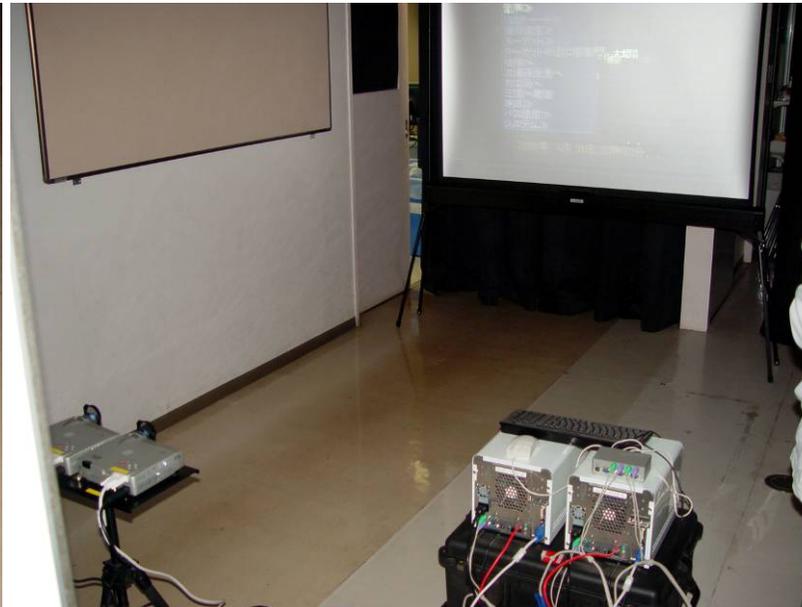
客席

## 4D2U プロジェクト歴史2

- 出張用移動式システム
  - 教室などで使える。



- 2台のプロジェクターとキューブ/ノートPC



- 偏光スクリーン

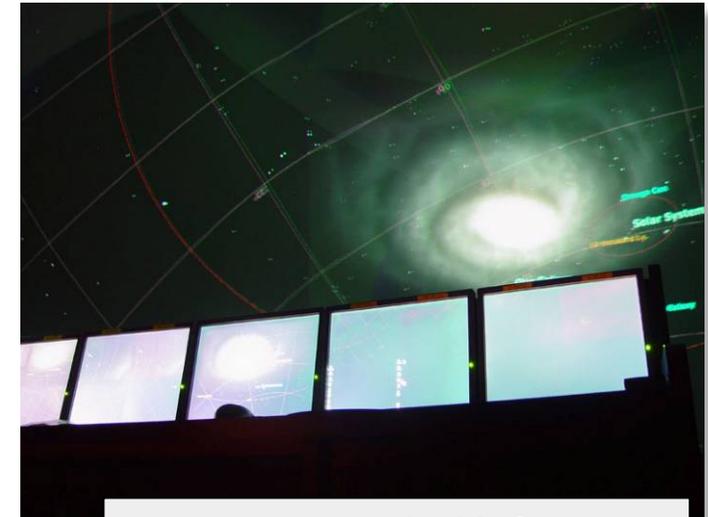
- 更に予算を削ってペイントで偏光スクリーン製作も(一応)可能  
例)アサヒペイント、  
クリエイティブカラーズプレー  
90番シルバーつやあり

# 4D2U プロジェクト歴史3

第II期プロジェクト

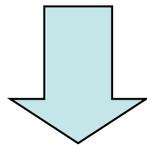
2004~2007

- ・ **ドーム型シアターでの立体可視化実験**  
システムの開発
- ・ 移動式立体可視化実験システムの開発
- ・ インターネット配信による  
家庭用シアターの公開
- ・ 科学に立脚したコンテンツの多様化

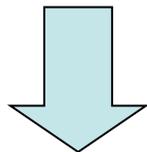


4 D 2 U 立体視ドーム

2006年4月建物完成



2006年11月大体の調整完了



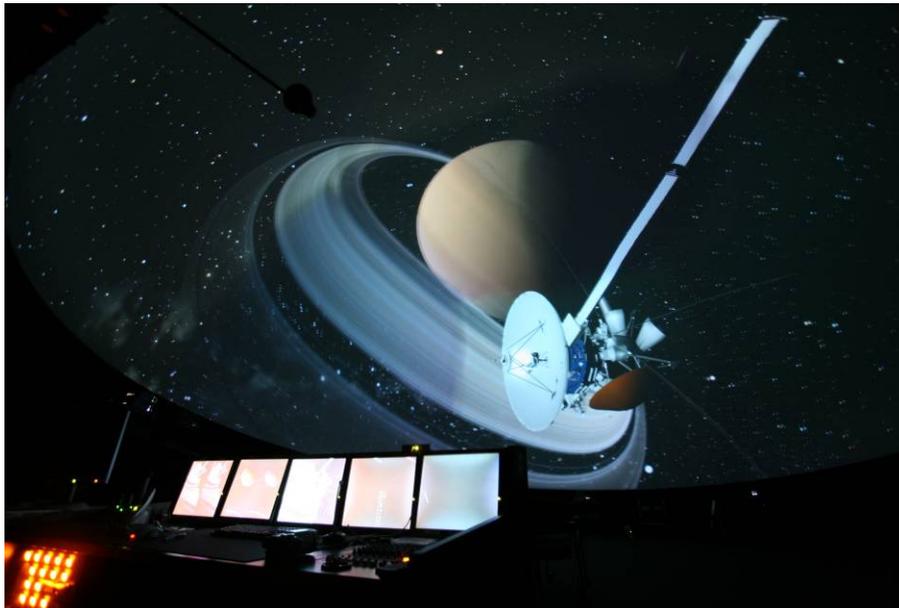
2007年4月一般公開開始

第III期 以降基本的にコンテンツ拡充



# 立体投影システム

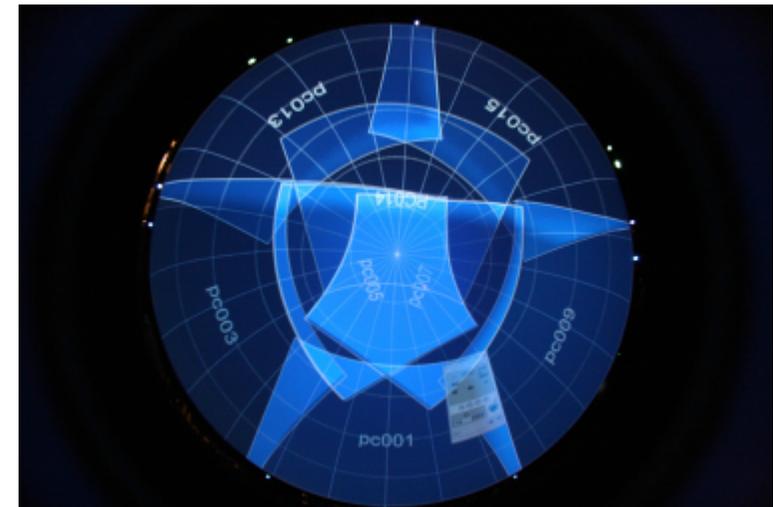
## ■立体視ドーム



■ドーム径10m(傾斜角 10度)

■分光立体視

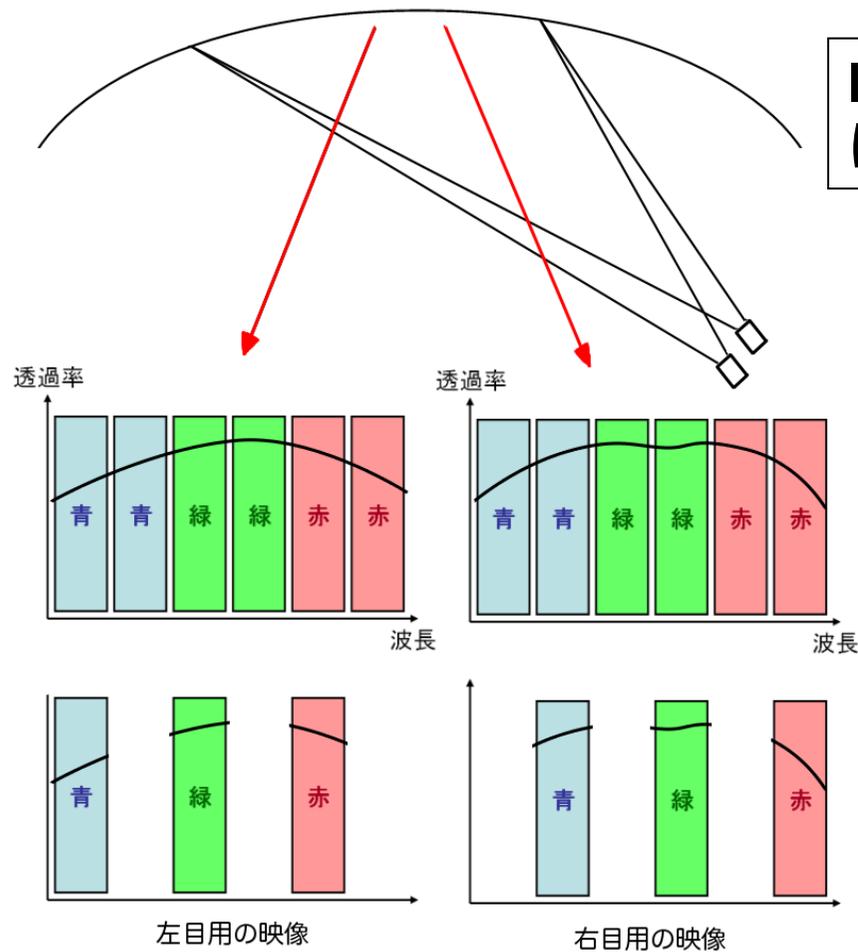
プロジェクター数	
前方	5×2 (立体視)
後方	3 (平面)
計	13 ...同期、メンテは大変



↻ 但しこんなのは予算で決まる問題

# 立体投影システム

## 4D2Uでのドーム立体の仕組み（フィルター）



Infitec分光フィルター  
による分割



人間の目の感じることのできる  
赤青緑それぞれ光を分割

# 立体投影システム

## Infitec分光フィルターによる立体投影

### 利点

色で分けるので、スクリーンは何でも良い  
(ドームの張替えは必要ない)

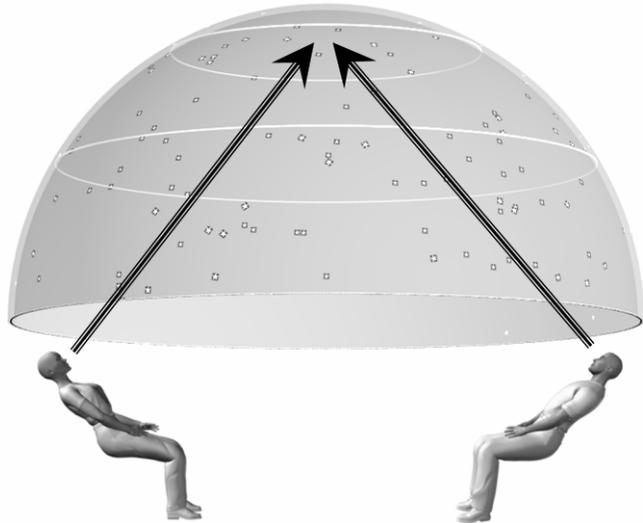
(偏光式よりも) スクリーンを正面から見たときと、  
斜めから見たときの差が少ない

### 欠点

スクリーンの代わりにメガネが高い

偏光形式よりも暗い

# ドームでの立体投影システム



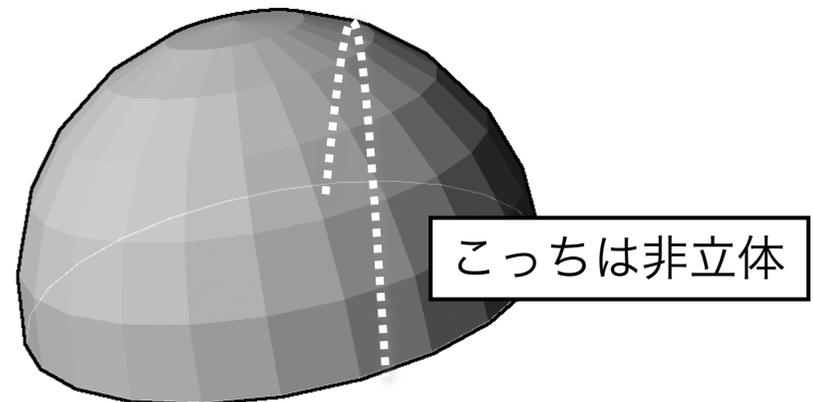
## ■ドームシアターでの制約

対象な配置の客席では、  
右目と左目の位置関係が逆転。  
全方位立体は原理的に不可能

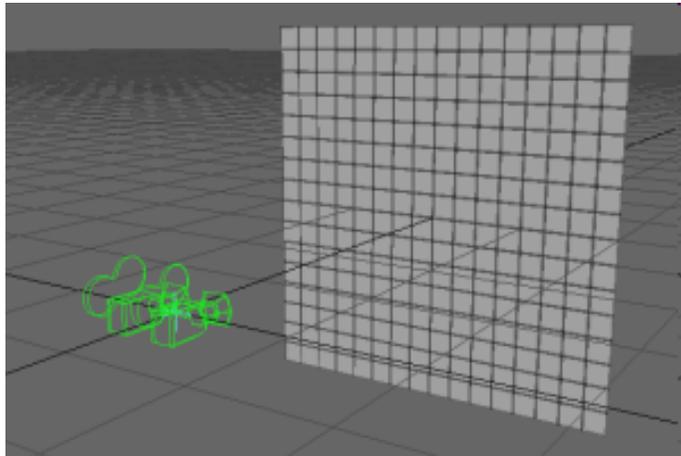
## ■傾斜ドーム

座席の配置に方向性があるので、  
全員が同一方向を向く

後方は非立体 振り向き方が決まっていないので、絵が決められない

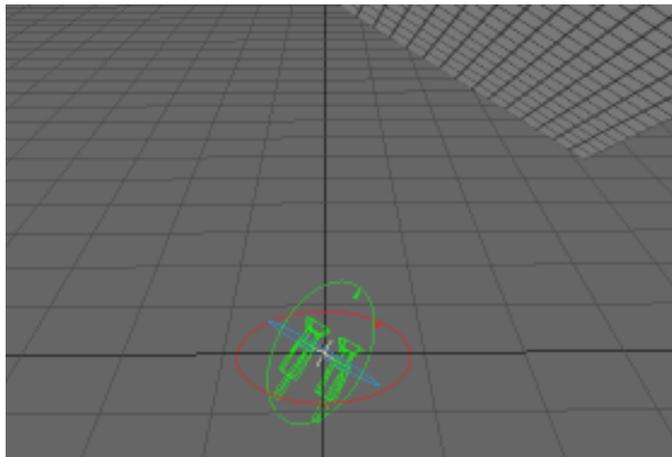
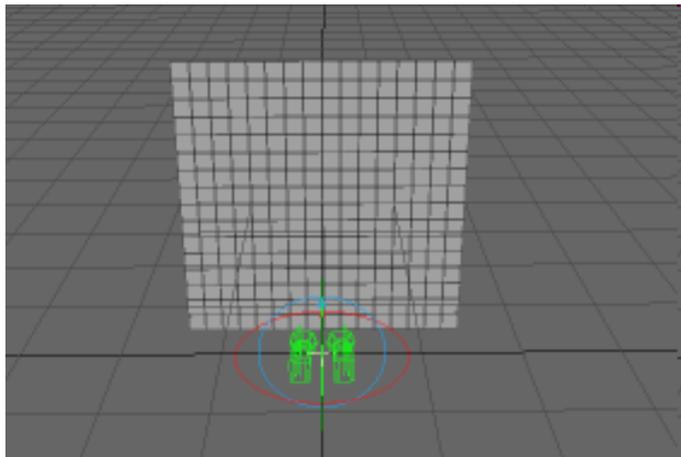


# ドームでの立体投影（簡易版）



## ■平面へ投影する立体CG映像

周知のように  
カメラを2つ並べて配置する。



■視野が広い時には、本当は首を傾けたら  
それに追従するようにカメラの位置関係を変化させたい

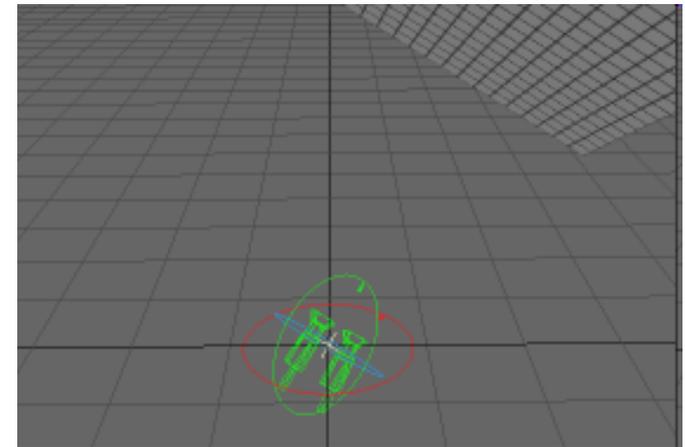
# ドームでの立体投影（簡易版）

## ■VR

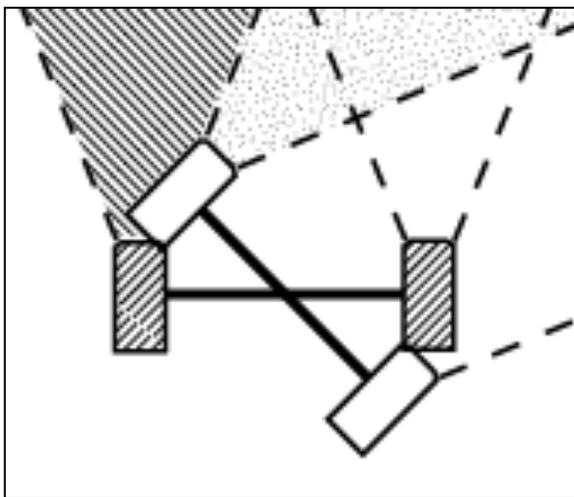
利用者(個人)の視線の動き  
を追ってカメラの位置関係を変化させる

## ■シアター系のコンテンツ

利用者が多いので、視線に追従できない  
プリレンダーのムービーも追従できない

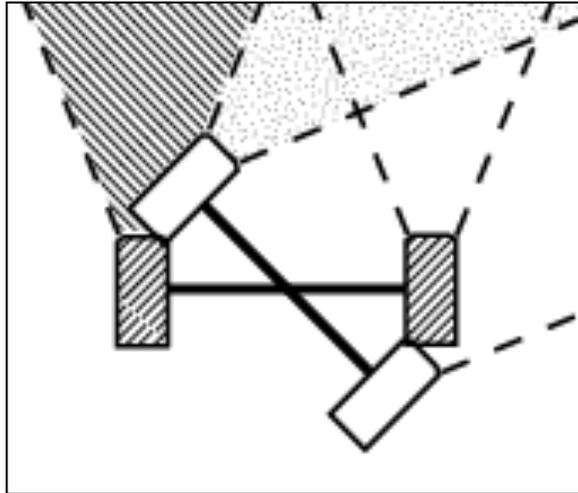


高視野角シアターでの理想:



正面画面には正面用の視差  
右画面には右用の視差  
上画面には上用の  
となるように、**連続的**に視差の変化する映像

# ドームでの立体投影（簡易版）



## 問題点

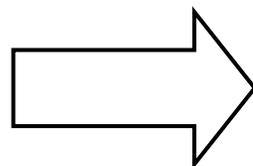
角度に応じてカメラ位置が変化してしまう。

画素毎にカメラの位置が異なるレンダリング：  
レイトレーシングなら  
そういう光の飛ばし方をする機能があれば可能



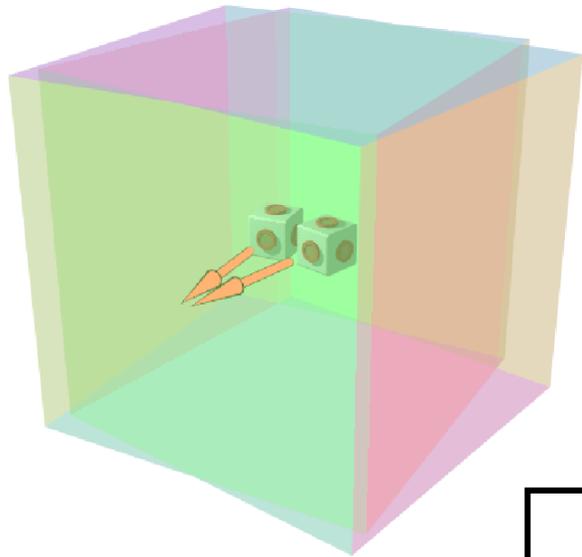
グラフィックスボードでの描画だと困難

それに後頭部側は、  
どうやっても振り向き方の違いを  
同時に吸収することはできない



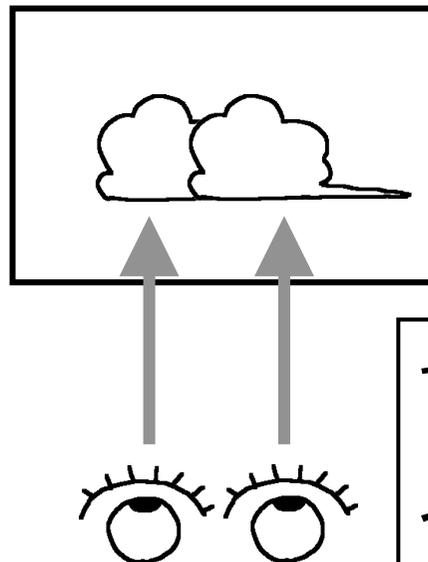
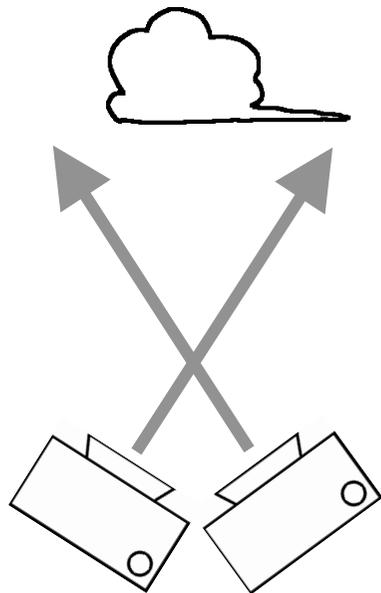
カメラの位置の変化をしない、  
簡易的な立体投影にする(で誤魔化す)

# ドームでの立体投影（簡易版）



前方重視 & 遠方重視のセッティングを  
(現時点では)採用

いわゆる Toe-in 法(より目)の広角

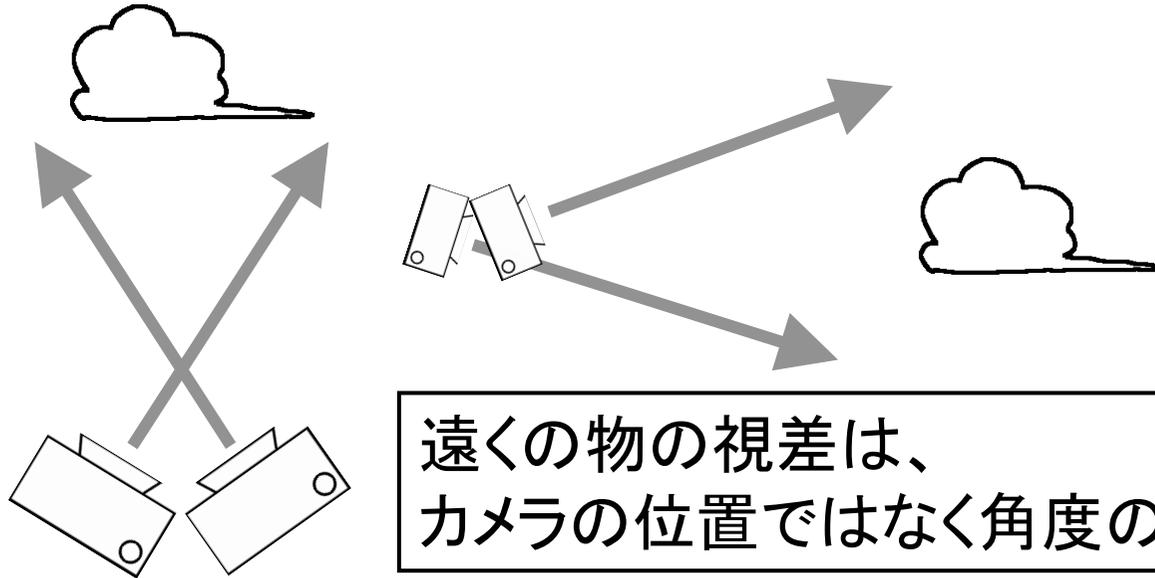


toe-in法の利点

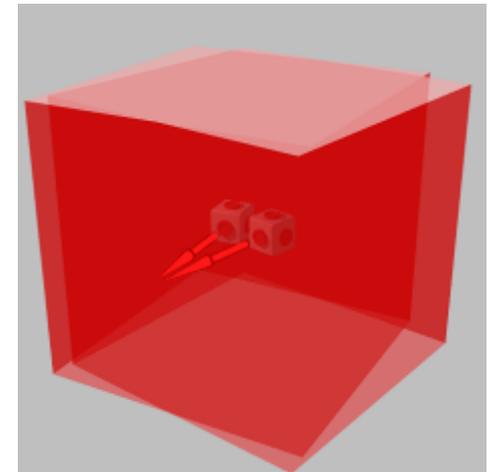
そのまま加工せず投影すれば  
自動的に無限遠の物体に視差が  
ついた状態になる。

# ドームでの立体投影（簡易版）

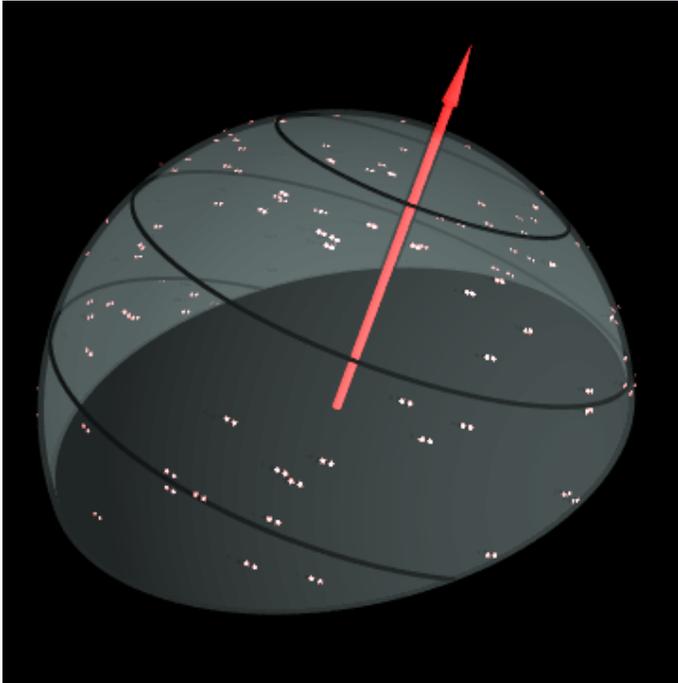
## ドーム投影のToe-in法の利点



遠くの物体の距離感は  
前後左右で破綻無く決まる  
(上下の方向は破綻する)

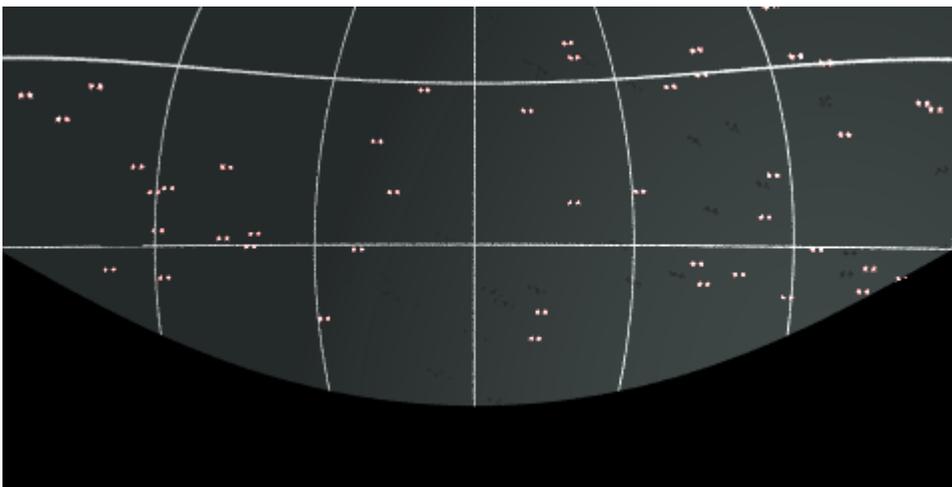


# ドームでの立体投影（簡易版）



- 天文台という施設柄、  
遠景（星空）が重要

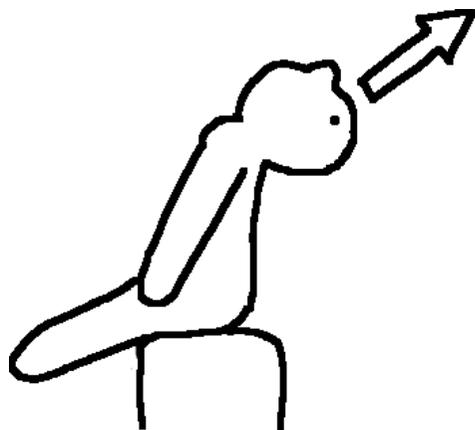
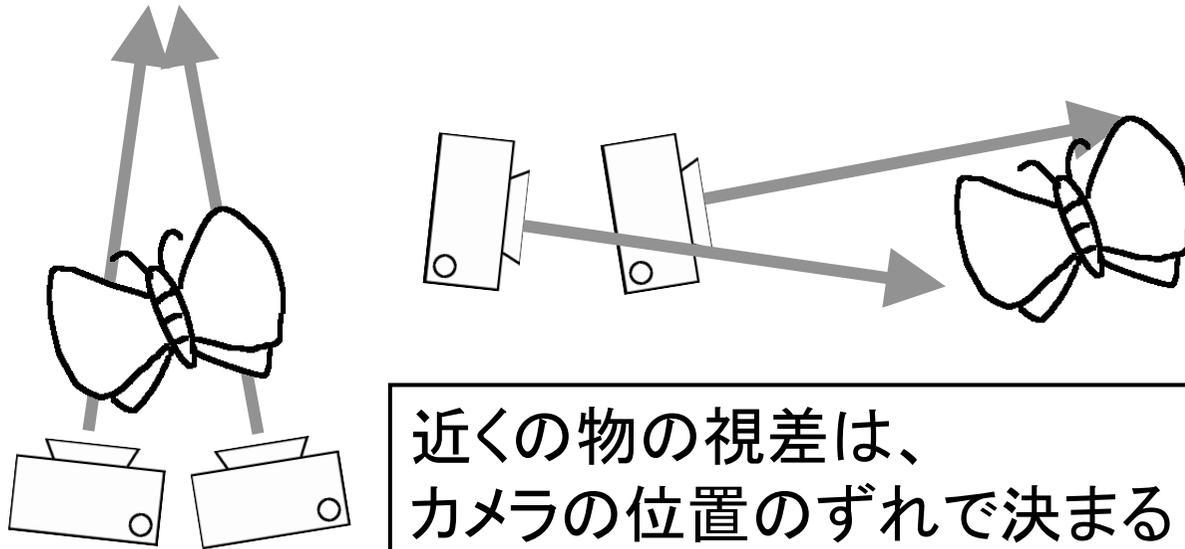
この方法なら、中心から首を振って  
左右を見ても星空の見え方は変化しない



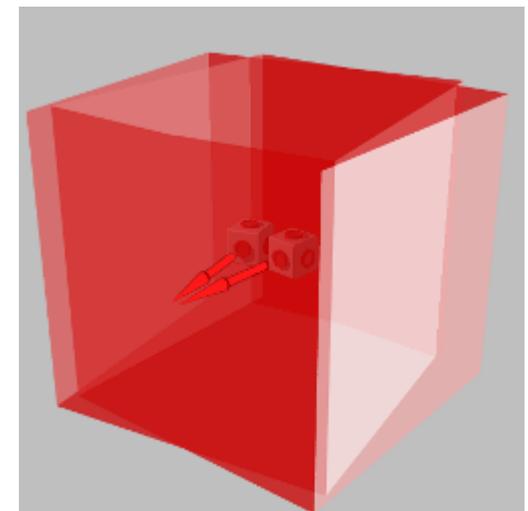
中心から広角で見ても、左右で  
星空の表示が変わらない。

# ドームでの立体投影（簡易版）

## ドーム投影のToe-in法の限界



近くの物体の距離感は  
左右方向で破綻する



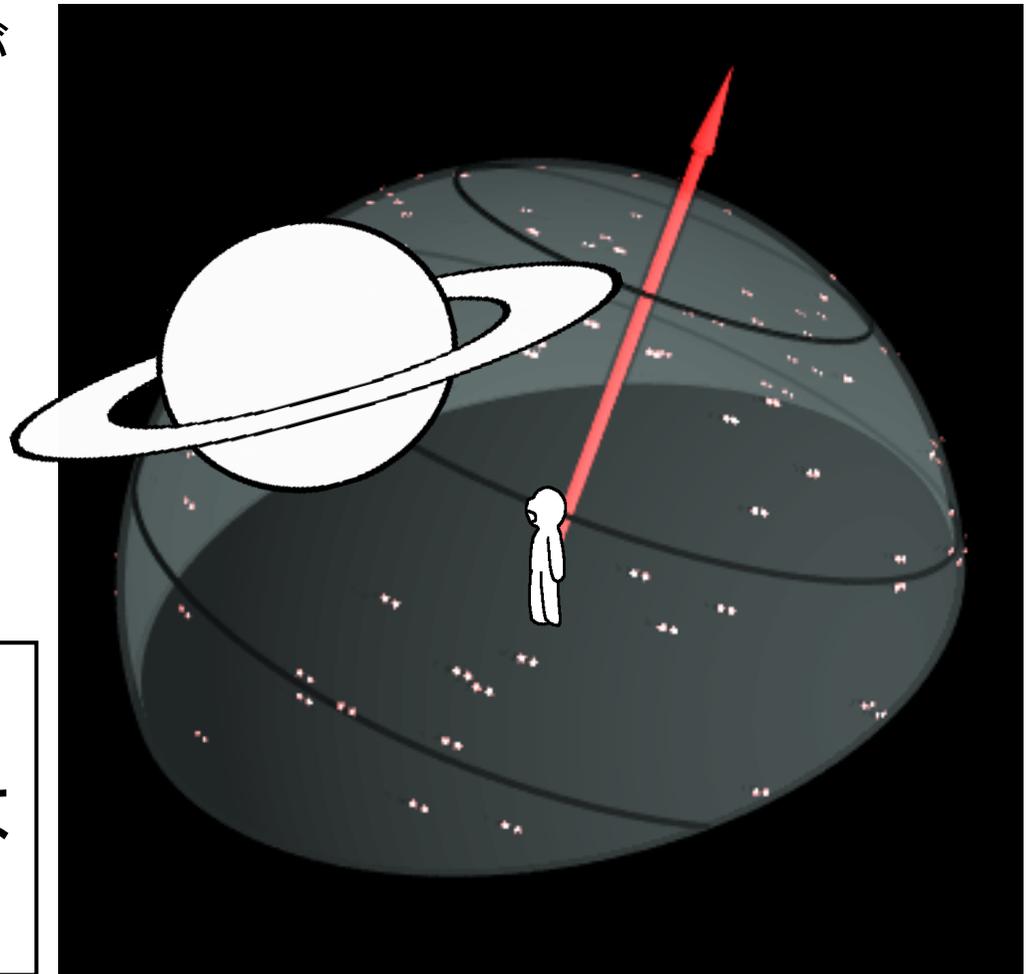
# ドームでの立体投影（簡易版）

## Toe-in Dome の場合の画作り

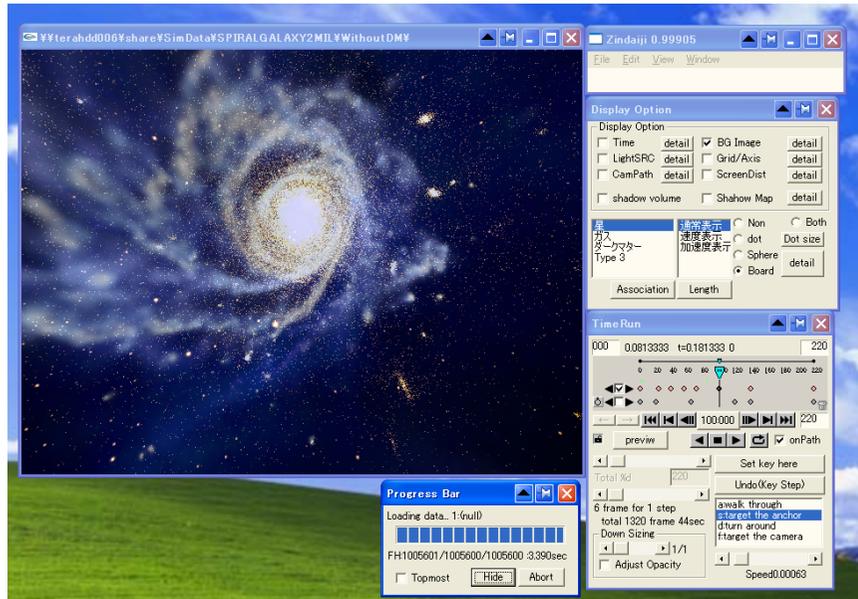
**強み:** 正面と左右で遠景の距離感が保たれる。  
仕組みが単純グラフィックボードで普通に描画できる

**弱み:** 上方向で遠景は破綻  
左右方向で近景は破綻

背景は無限遠に  
近くに来る物体は  
正面に



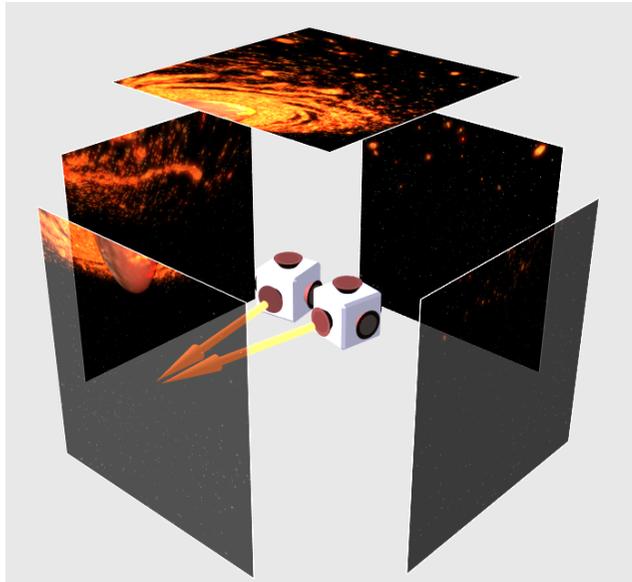
# コンテンツ（ムービー）作成



大規模シミュレーションデータなど  
星団等の粒子系データ

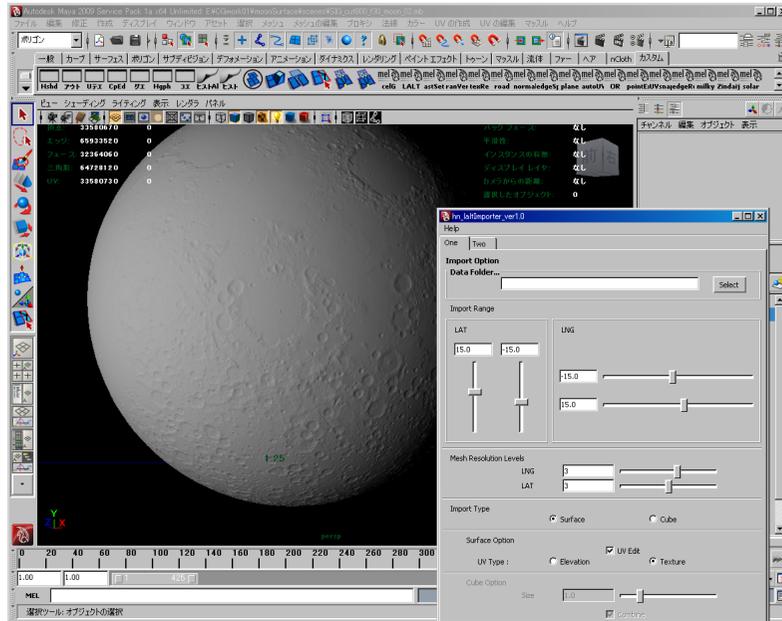
大規模すぎて、汎用ツールでの  
扱いが困難

OpenGLを用いた  
自作のツールなどで可視化



グラフィックボードを使った  
レンダリング（平面への射影）なので  
カメラ位置の変わらない、簡易立体で作成

# コンテンツ（ムービー）作成

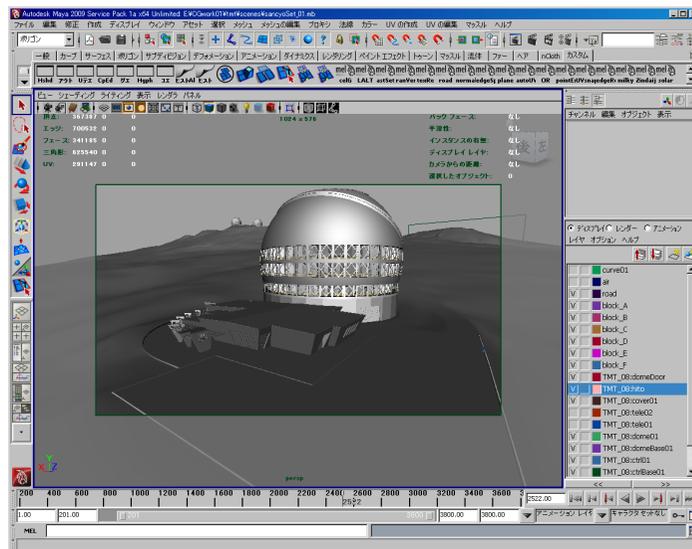


地形データ、形状モデルなど

実は

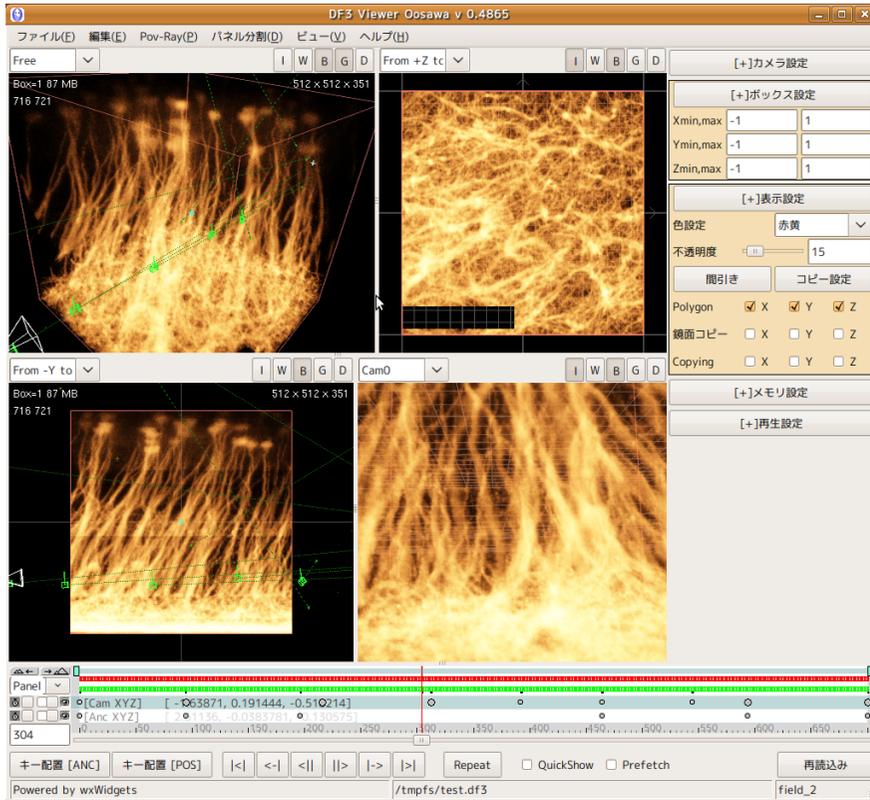
散々CGを作っていて何ですが、  
普通のCGソフトを使える人が**いなかった！**

3DCGの使える人が新たに参入したので  
普通に3DCGツールでコンテンツ制作  
することが可能に



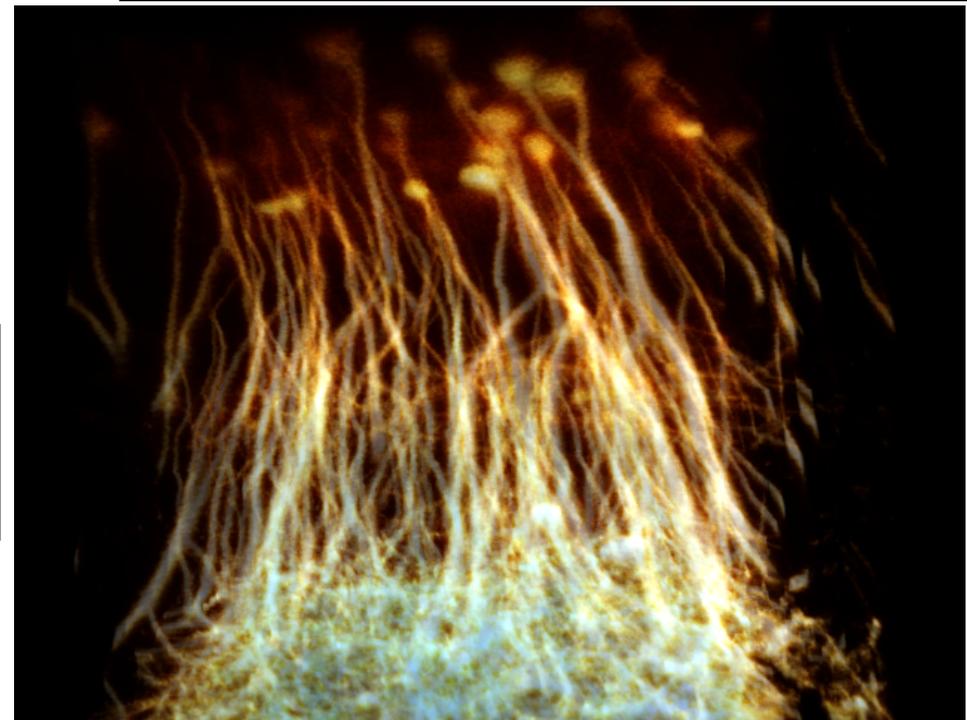
簡易立体での作成しかやっていないが、  
工夫すれば、連続的な視線の変化に対応  
できるかも...？

# コンテンツ（ムービー）作成



天文分野ということで、  
星団や微惑星といった多粒子データが多かった

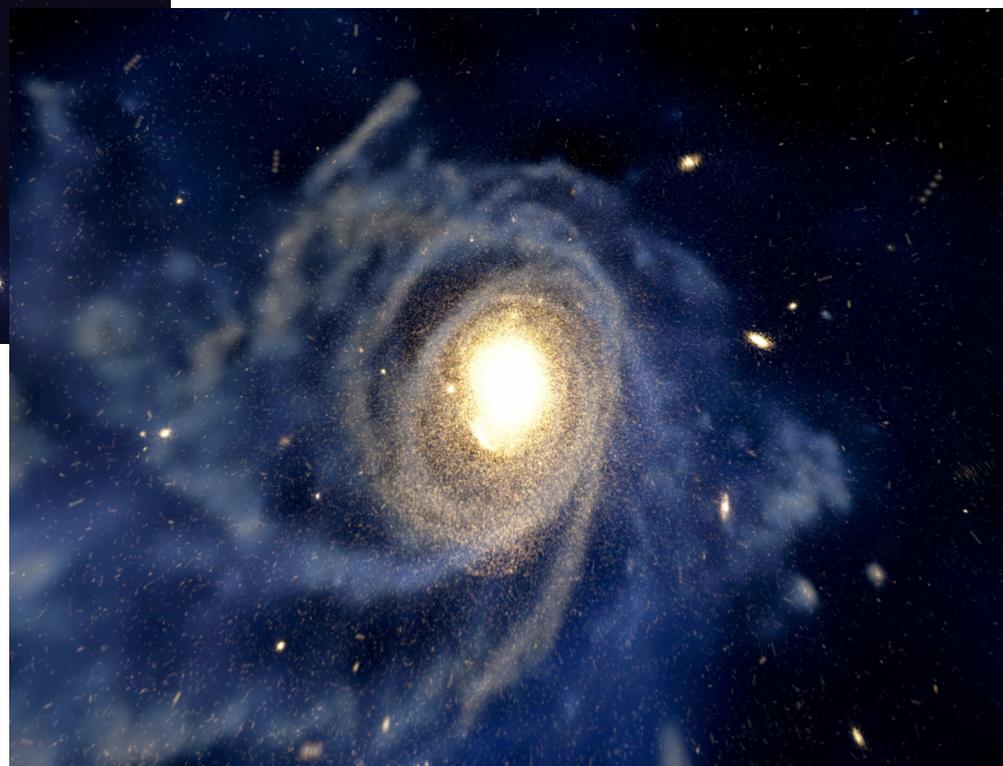
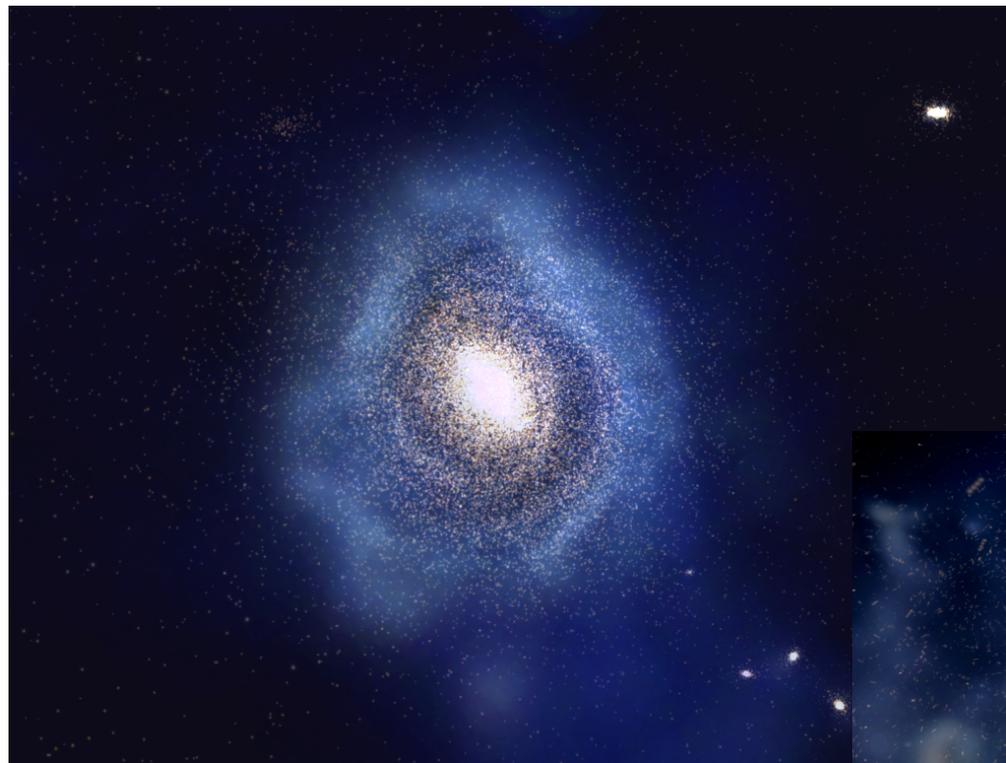
ポリウムデータも  
コンテンツ化するべく重点的に  
取り組み中



自作ツール(開発進行中)で設定して  
フリーウェアのレンダラー  
(Pov-Ray)でレンダリング

# 大規模粒子系シミュレーション可視化

先代の20万粒子を使った計算



今回の200万粒子を使った計算

# 大規模粒子系シミュレーション可視化

シミュレーションの始まった最初から、  
研究者達は自分の計算結果を  
(数字の羅列ではなく)見てみたいと考えていた

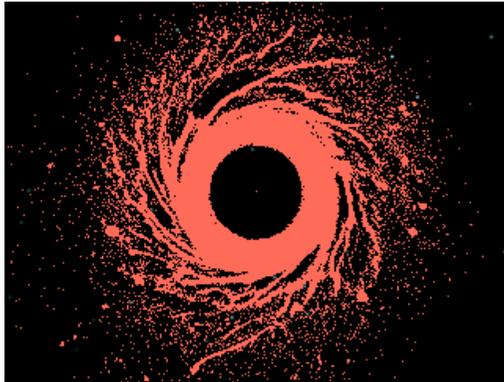


- 多分最古(?)の重力多体計算の可視化ビデオ

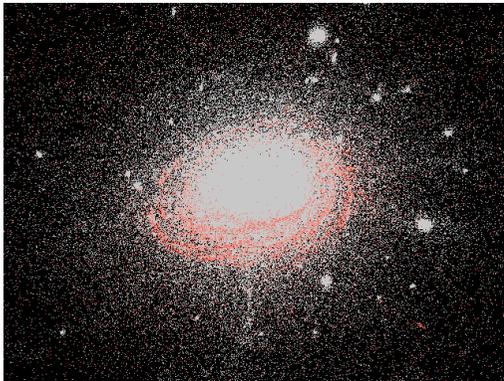
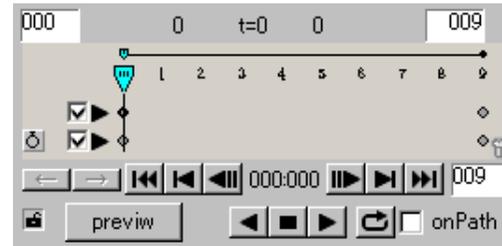
恐らく1960か70年代に Sverre Aarseth (重力多体計算のパイオニア) が作ったビデオ(ごめんなさい、確証はないです)

- ということで、自作の可視化ツールを制作
  - 良い市販ソフトはない(特化しすぎ)
  - 自作なら、カスタマイズしやすい
  - 自分も重力多体計算をするのであると便利

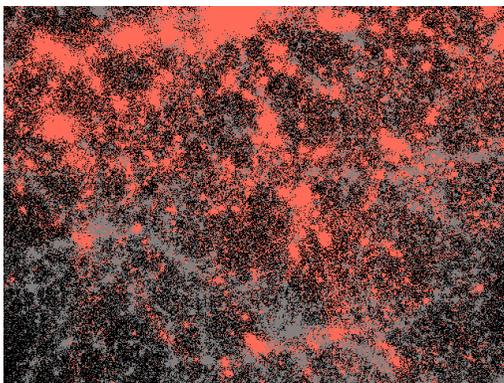
# 大規模粒子系シミュレーション可視化



- 実は研究者用には、普通は簡単な機能でo.k.



- 単に計算結果の出力を読んで
- マウスでカメラの位置を決めて
- 再生ボタンを押したら時系列進化が見れればよい



- 基本的に**研究者はCGクリエイターじゃない**  
簡素であればあるほどよい

# 大規模粒子系シミュレーション可視化



基本的にはこれだけでできれば大体o.k.

# 大規模粒子系シミュレーション可視化

- 一番の難点は、データ量に対してメモリが足りないこと。
  - まずは無駄なくということで、絶対必要なデータのみ保持して、他の描画用の情報とかはまとめて置いておく

## 必要な変数

**x, y, z**  
**vx, vy, vz**  
**ax, ay, az**  
**jx, jy, jz**  
**radius**  
**type**  
**ID**

(ax, ay, az, jx, jy, jz は、補間に必要な変数で、x, y, z, vx, vy, vzから計算して生成する。  
他の例えば温度などといった情報は、必要ならば追加して保持する)

他の情報はグループごとにまとめて保持する。

# 大規模粒子系シミュレーション可視化

“Formation of a Spiral Galaxy” の場合には...

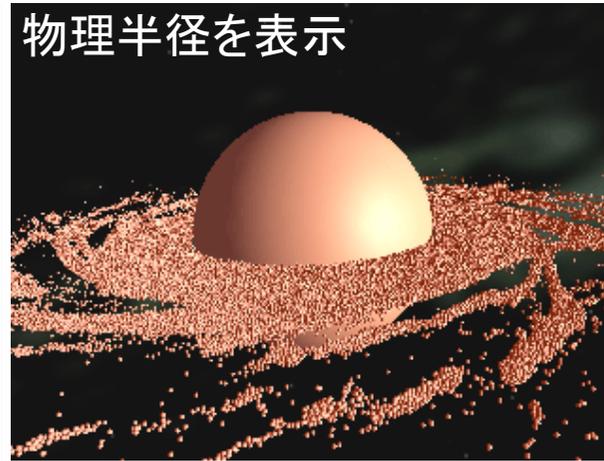
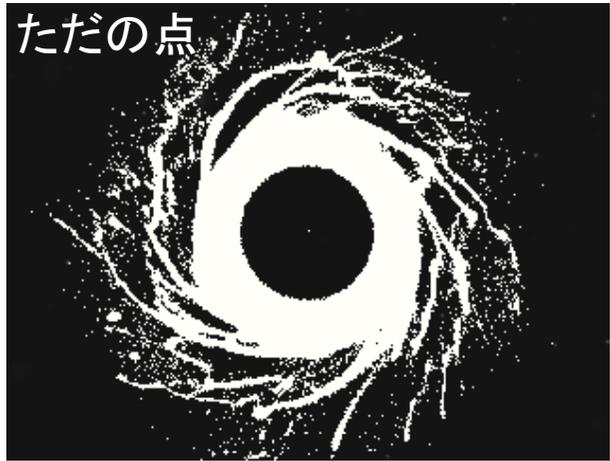


**100万粒子で  
700ステップ分のデータ**

- 一粒子60 byte 必要なので、  
一ステップ60MB
- 普通の32-bit PCだと、メモリ2Gが普通なので(3Gも本当はいけるけど)だいたい20ステップ分はメモリに入る。
  - まあしかたがないかというレベル

# 大規模粒子系シミュレーション可視化

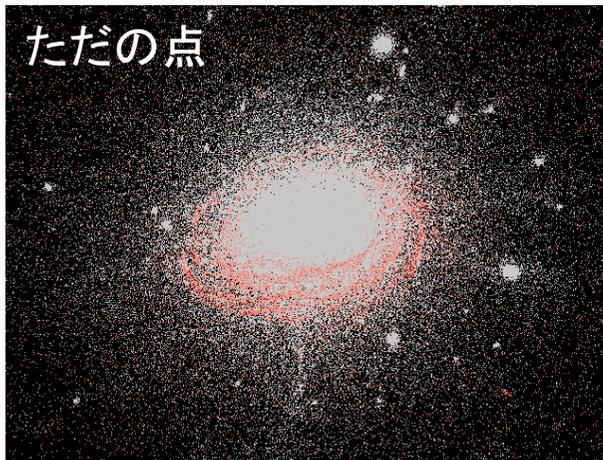
いくら研究用とはいえ、対外的に綺麗な絵を作りたいときもある。  
ということで、装飾用の単純な機能をつけてみる。  
単純な機能でどこまで表現力がある？



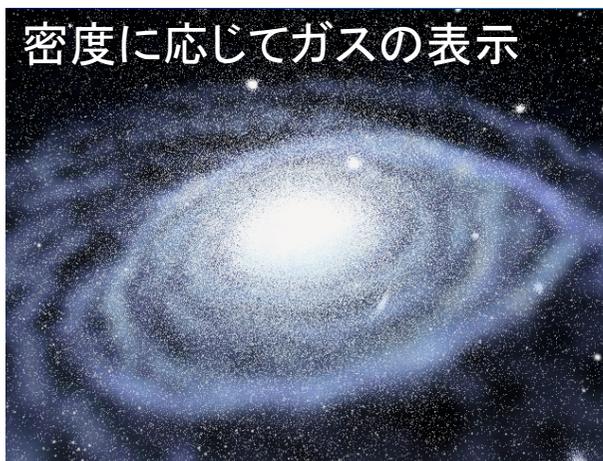
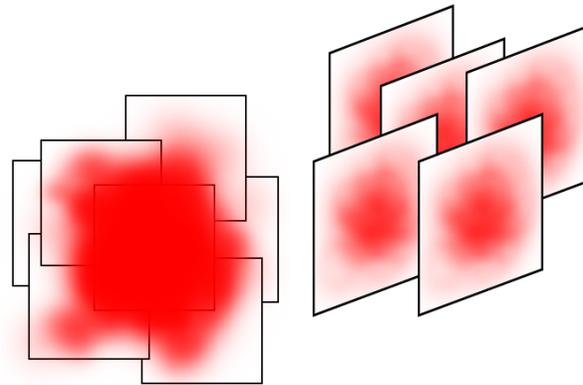
- これぐらいでも、一般公開日に使うにはまあ十分な絵作りが出来る。

# 大規模粒子系シミュレーション可視化

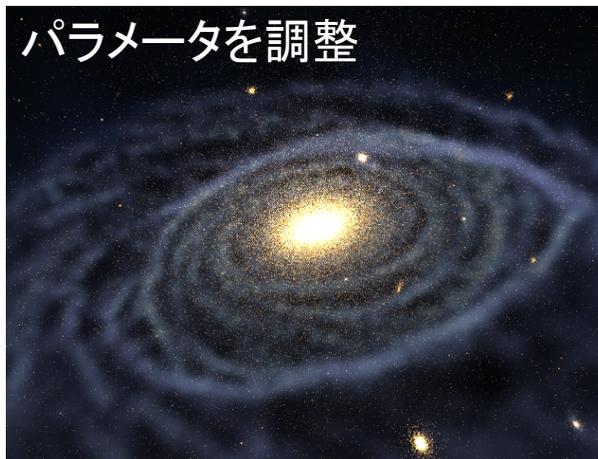
- いくら研究用とはいえ、対外的に綺麗な絵を作りたいときもある。  
ということで、装飾用の単純な機能をつけてみる。  
単純な機能でどこまで表現力がある？



ガスをビルボードで表示



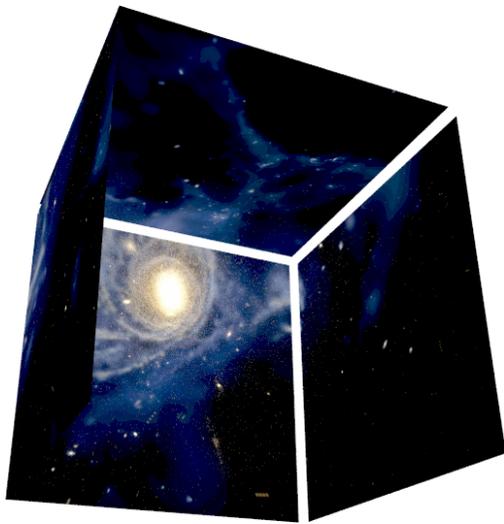
パラメータを調整



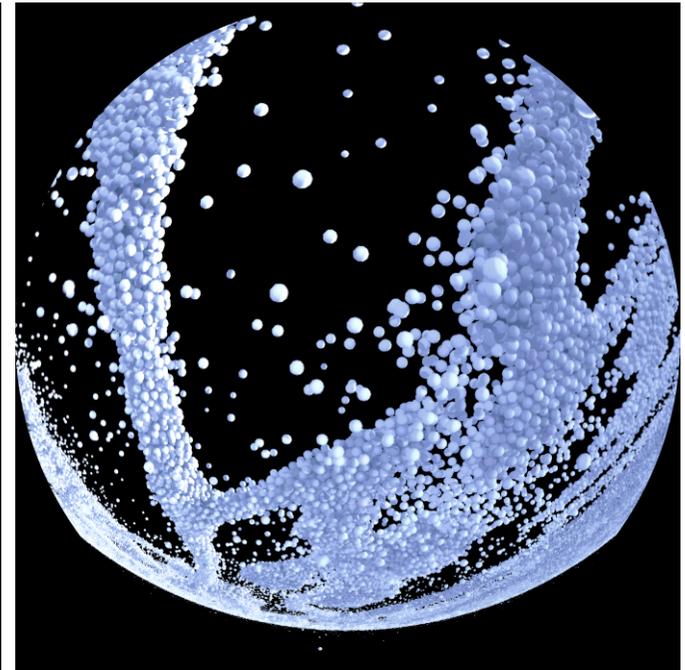
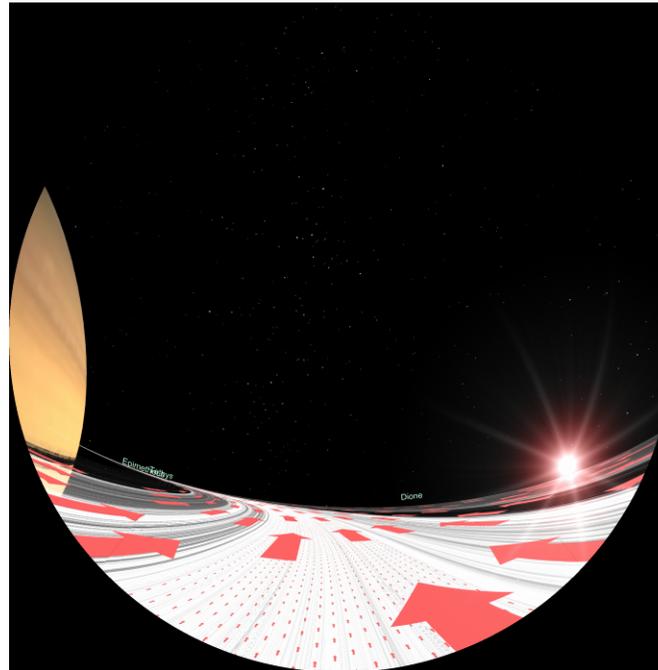
- ガスの粒子シミュレーションもまずまず行ける

# ムービー作成で大変な点について

- プラネタリウム業界での標準フォーマットは魚眼：  
(対応していれば)直接作るか、駄目ならキュービックで作って後で変換



- 全天動画用に、5面のキューブ動画を作る。  
右目、左目用で、計10枚
- そこから投影用のドームマスターへ変換  
(当然これも右目左目で2枚)



# ムービー作成で大変な点について

■ドーム投影は4000x4000が普通になってきてしまったので、  
作らないといけないのは、**2048x2048の映像×10...**

うわっ勘弁！

16bit素材(.hdr)

無圧縮で24MB ⇒ **5-15MB**

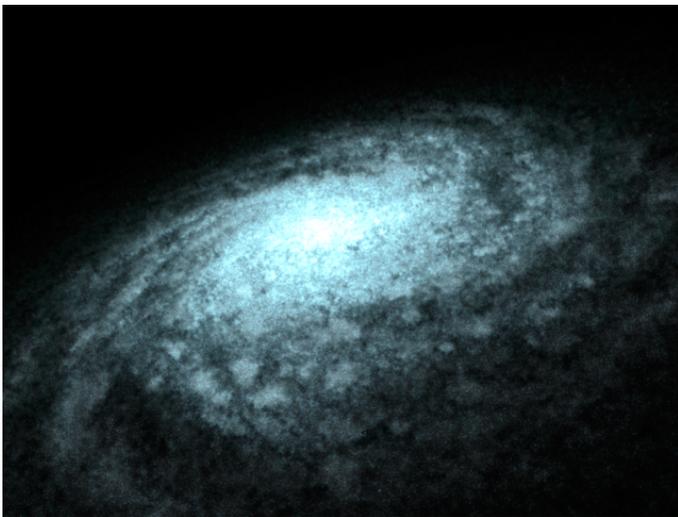
8bit素材(.png)

無圧縮12MB ⇒ **2-8MB**

1分当たり1800枚で**10~20GB**

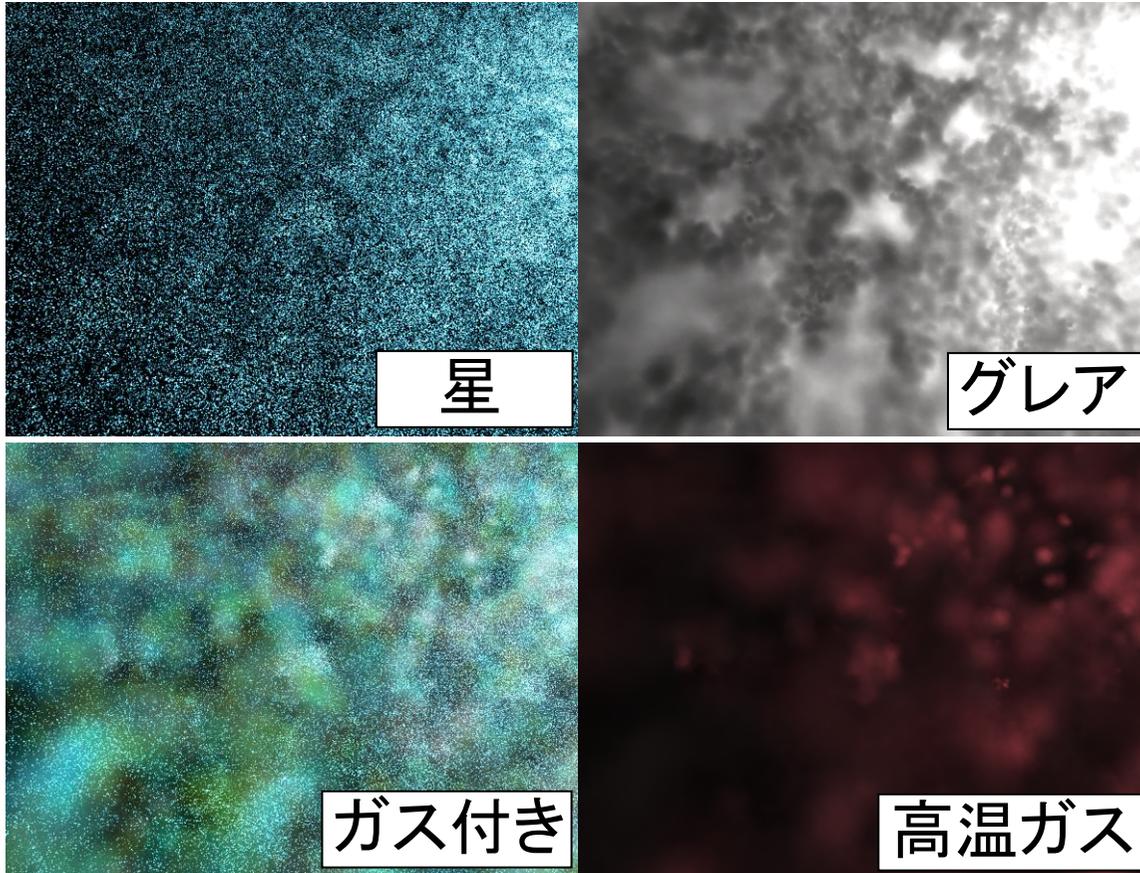
立体用で×2

ドーム投影用で×5



1分で大体**430GB(100~200GB)**...1レイヤー辺り

# ムービー作成で大変な点について



素材単体では  
いまいちだったりするので、  
ガスの運動を見たりで  
結局4レイヤーを合成

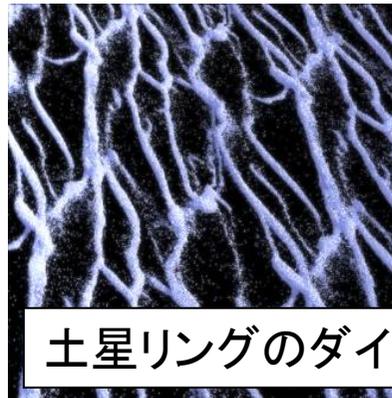
物にもよるけど  
下手すると1分で1TBとか  
そんな状態

コンピュータが自動処理するデータならいいけど、  
映像は人間が見て編集したりしないと駄目...orz

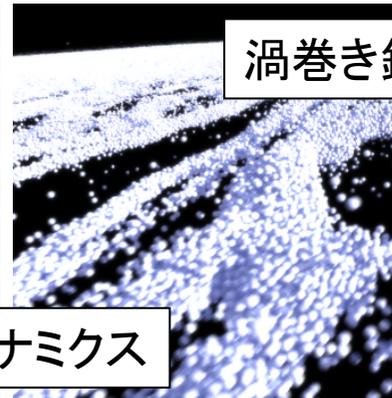
# ムービーコンテンツ (大規模粒子計算)



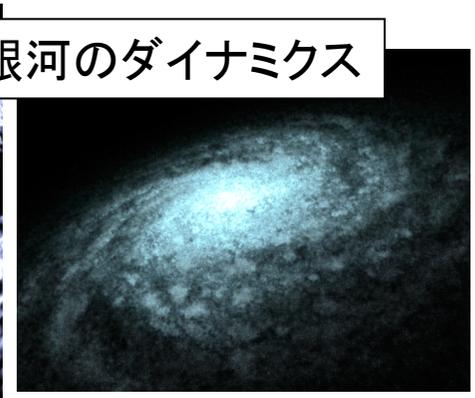
渦巻銀河形成



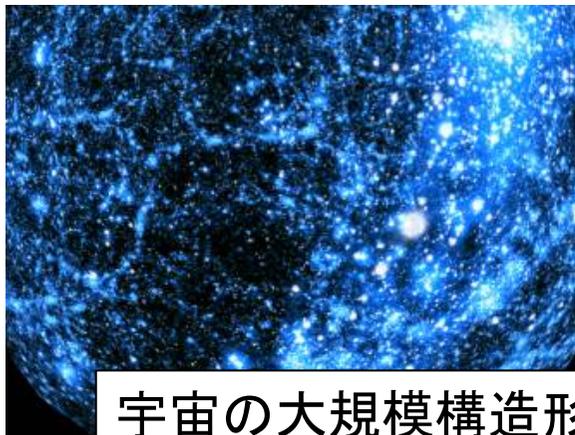
土星リングのダイナミクス



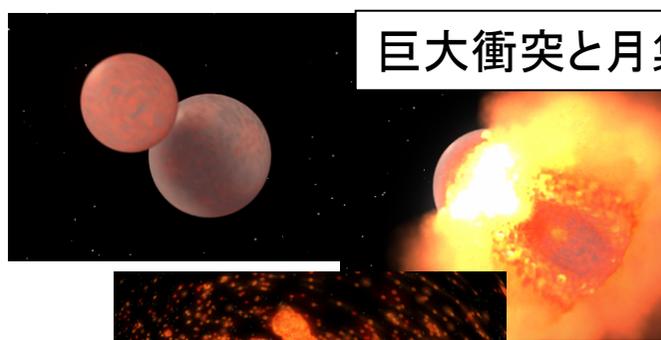
渦巻き銀河のダイナミクス



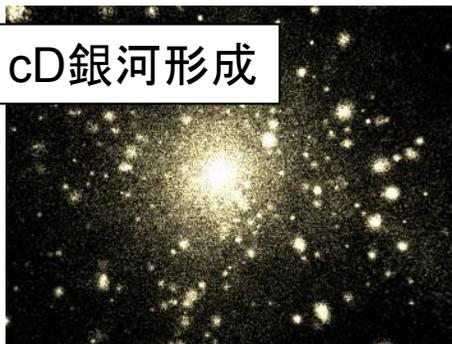
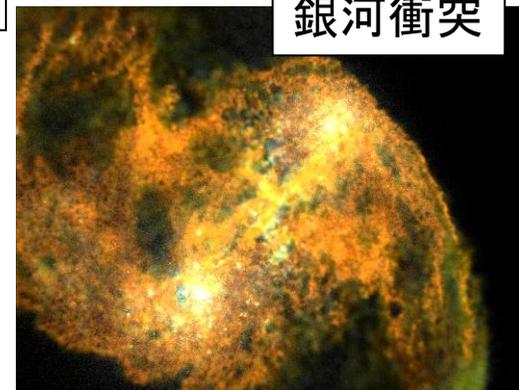
銀河衝突



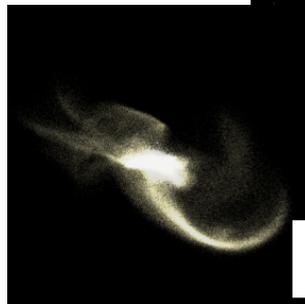
宇宙の大規模構造形成



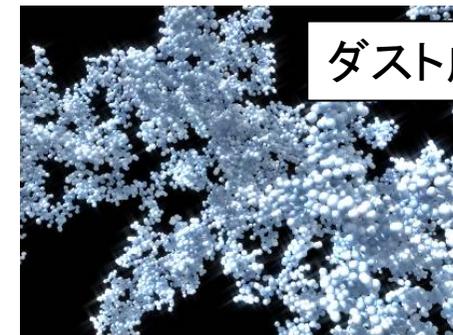
巨大衝突と月集積



cD銀河形成



アンテナ銀河



ダスト成長

# ムービーコンテンツ (その他)

少数多体系



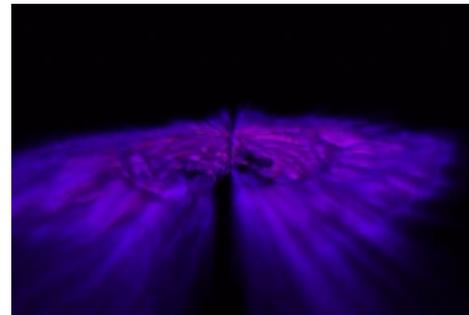
惑星系形成  
(数十の原始惑星⇒数個の惑星)

流体系

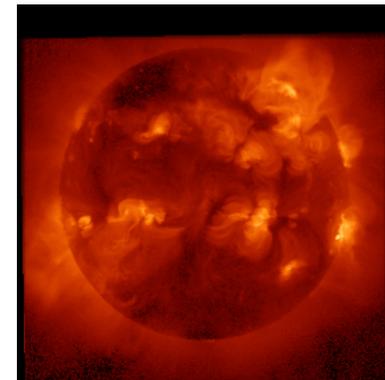


連星系形成

観測系



銀河系内のガス分布



太陽の観測画像  
(自転を利用して擬似立体視)

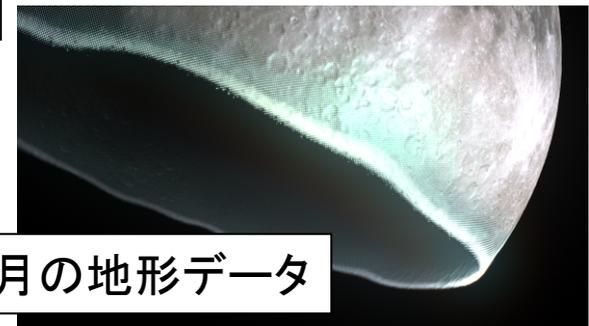
星形成過程



火星の地形データ



月の地形データ



# 流体系シミュレーション可視化

- やっぱり研究者用には、普通は簡単な機能でo.k.
  - 単に計算結果の出力を読んで
  - マウスでカメラの位置を決めて
  - 再生ボタンを押したら時系列進化が見れればよい

簡単にすばやくそこそのクォリティーで可視化できれば良い

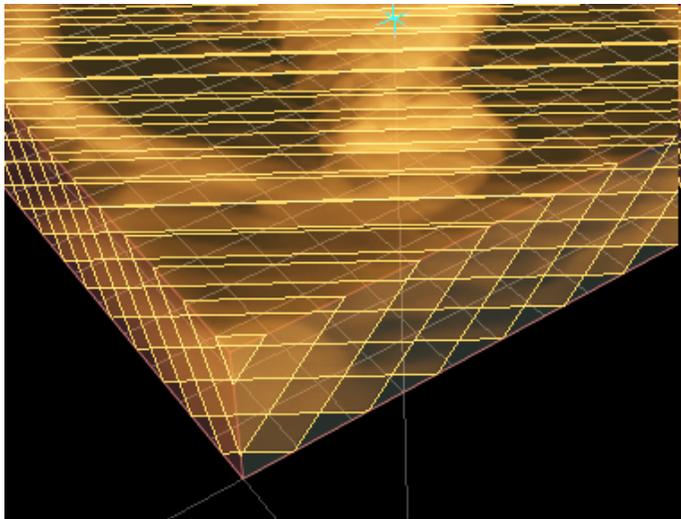
クォリティーのパラメータを上げて一晩ぐらいで発表用のムービーが作成できればなお良い。

※)但し！ボリュームデータについては、医療用スキャンデータで手術前に確認用途とか速度とクォリティーの両立が不可欠な分野も！

# 流体系シミュレーション可視化

- ただ今開発中...

プレビューとして速い描画をするには...



基本的にボリウムのデータを、  
カメラ方向を向いた多数の半透明の板で描画する  
グラフィックボードが描画するので速い  
256x256x256 程度はクオリティ次第でリアルタイム

# ボリュームデータ可視化

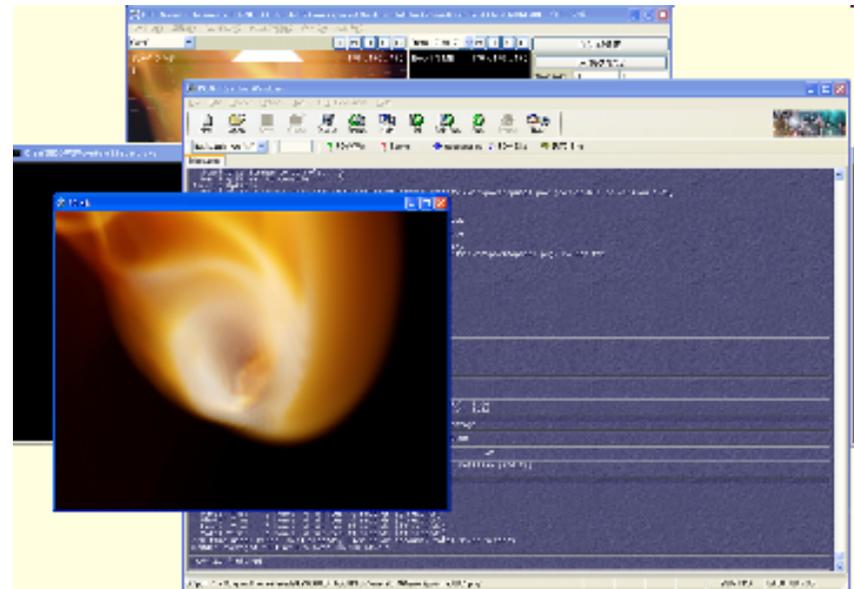
## ■ ただ今開発中...

簡単にすばやくそこそこのクォリティーで可視化できれば良い

クォリティーのパラメータを上げて一晩ぐらいで発表用のムービーが作成できればなお良い。

レンダリングを、一般的な3DCGソフトに任せることで、高品質な絵が作れる。(但したっぷりとCPU資源があれば)

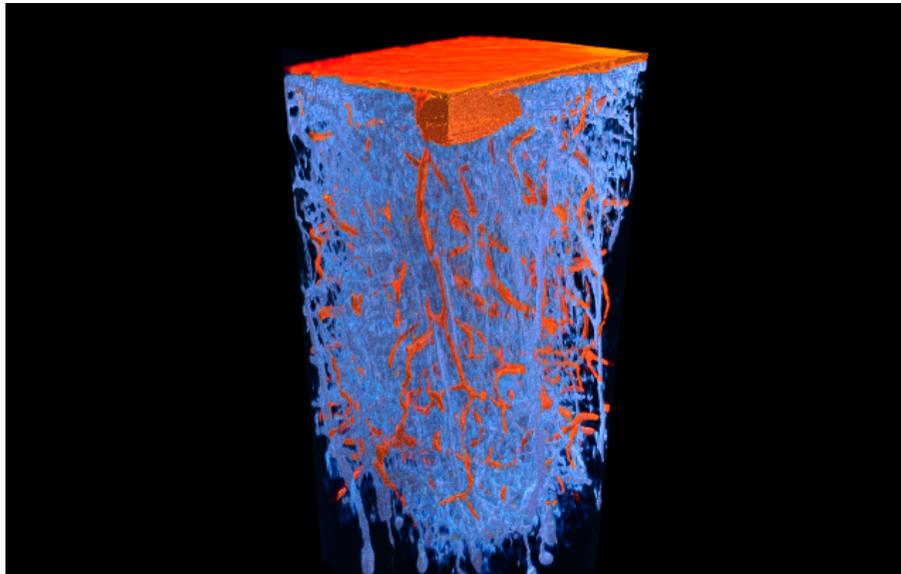
PovRay(フリーのレンダラー)へのデータと設定の受け渡し



# ボリュームデータ可視化

- ただ今開発中...

PovRayで、等値面＋各種の装飾を付けてレンダリング

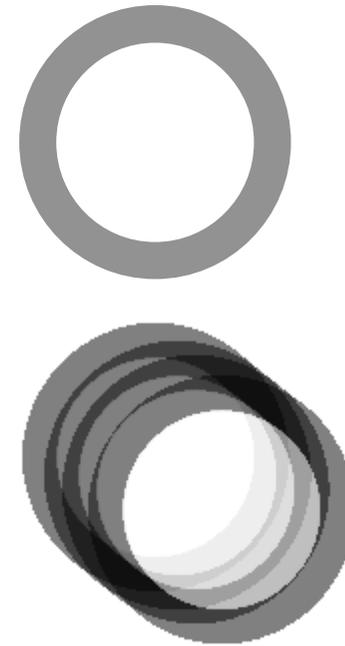
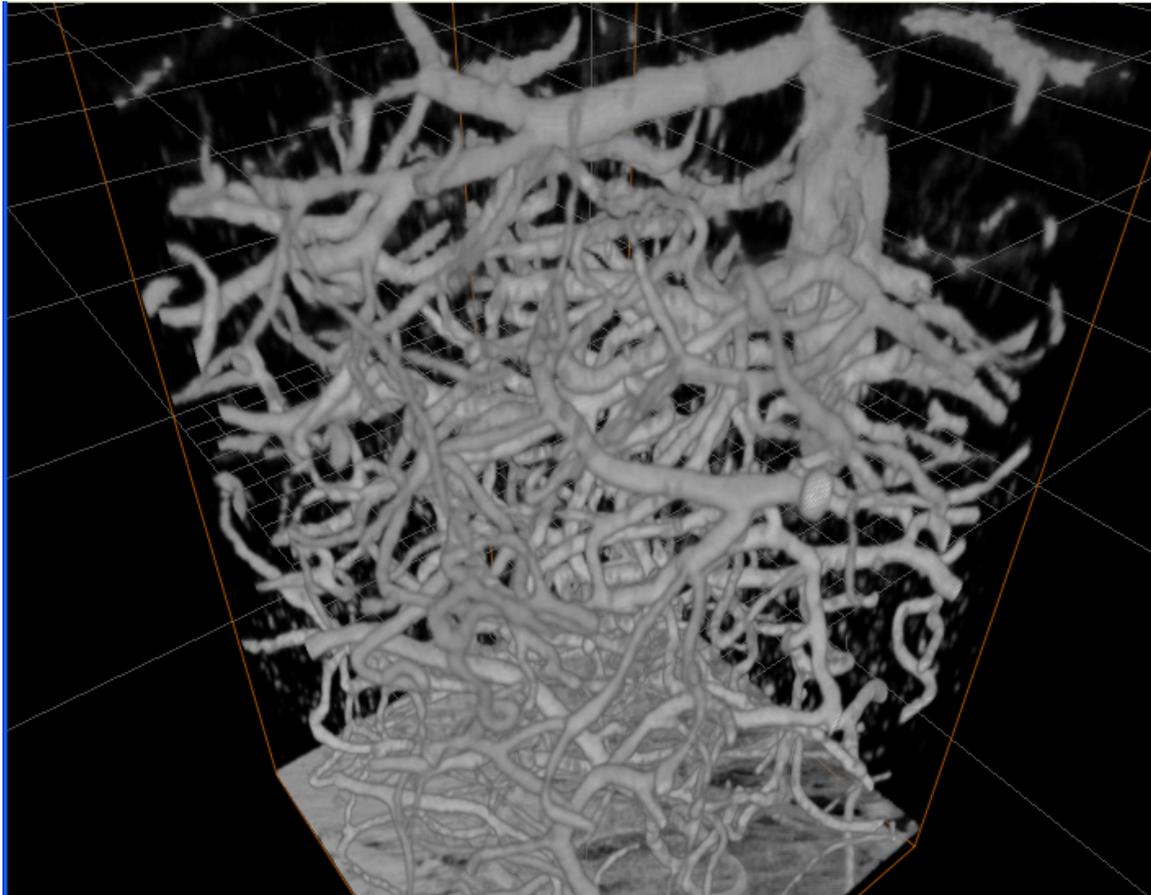


脳神経と血管の間をフライスルー



# ボリュームデータ可視化

## ■ プレビュー強化中...



明るい部分の周囲に  
背後の光を隠す部分があると  
多数重ね合わせると背景を  
隠す陰面処理ができる

何ちゃって光源処理とか、コントラスト処理とか速度をあまり犠牲にせずに、  
もう1~2段階はプレビューの質を上げられるはず...

# イメージングサイエンス

自然科学研究機構

新分野創成センターイメージングサイエンス研究分野発足

とりあえず4D2Uメンバーから、  
自分と三浦さん(武蔵美)から参入先  
先月から(僕が)稼動

天文以外の分野のコンテンツも

自然科学研究機構

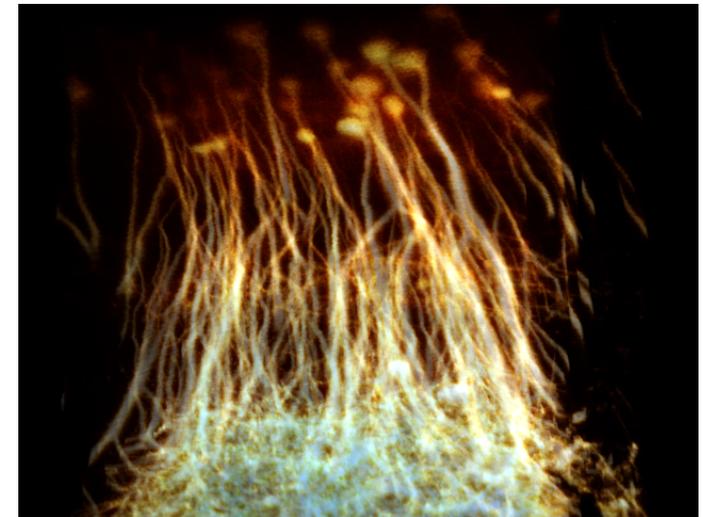
天文台

核融合科学研究所

基礎生物学研究所

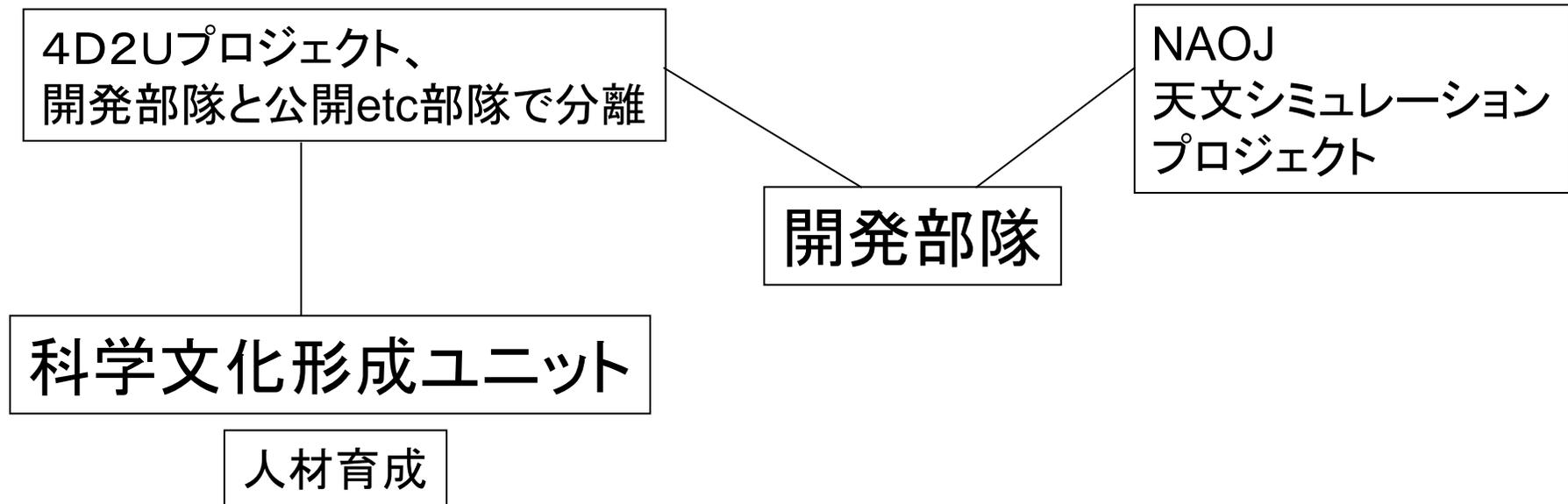
生理学研究所

分子科学研究所



脳神経の構造データetc.

# 科学文化形成ユニット



科学映像クリエイター

付加価値の高い映像コンテンツ制作によって国際競争力のある3次元映像コンテンツ発信地域の創成に繋がる高度な人材育成を行う。

科学プロデューサー

国立天文台が保有する4次元デジタル宇宙プロジェクト（略称:4D2U）や、すばる望遠鏡等の真正の科学リソースを、新たに社会で広く活用できるよう、起業、産業化、ビジネス化への橋渡しができる人材を育成する。

# 科学文化形成ユニット

## 科学映像クリエイター

2008年度卒業生作品

この年度は、3~4人の  
チームで映像を作成

観測データ、シミュレーション  
データの映像化。

それだけでは起承転結のある  
映像作品にならないので  
イントロダクション製作や、  
望遠鏡などのモデリングetc.

必要に応じて  
ナレーション、BGMetc.

