

# 4次元デジタル宇宙ビューワー Mitaka



加藤 恒彦 (大阪大学)

National Astronomical Observatory of Japan  
4-Dimensional Digital Universe Project  
4D2U

## 国立天文台の「見せる化」プロジェクト

The screenshot shows the 4D2U website interface. At the top, the logo '4D2U' is followed by the text '国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト' and 'FOUR-DIMENSIONAL DIGITAL UNIVERSE PROJECT, NAOJ'. On the left, there is a vertical navigation menu with buttons for 'TOP', 'PROJECT', 'THEATER', 'CONTENTS', and '4D2U NAVIGATOR'. Below the menu is a search box labeled '記事検索' with a 'キーワード' input field and a 'Go 詳細検索' button. Further down are dropdown menus for '過去ログ' and 'カテゴリー', and an 'RSS' button. The main content area features a large image of the Milky Way galaxy with the text 'The Milky Way Galaxy Copyright (C) 2005 4D2U Project, NAOJ.' and a banner for '4D2U DOME THEATER' and '4D2U NAVIGATOR'. Below the image is a section titled '国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト' with a paragraph of text.

国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト(4D2Uプロジェクト)では、天体や天体現象を空間3次元と時間1次元の4次元で可視化するために、4次元可視化実験システム「4次元デジタル宇宙シアター」を開発しています。

天文学の対象である宇宙の空間と時間のスケールは莫大です。さまざまな空間スケールでそれぞれの構造があり、空間に対応した時間スケールで変化しています。当プロジェクトはそのような宇宙の構造の進化を最先端のコンピュータで描き出し、また最近の観測データを用いて、宇宙を文字通り「目のあたり」にすることを目指しています。

宇宙・天文の観測・理論・シミュレーションの成果を視覚的にわかりやすく表現して一般の人に見せるプロジェクト

(2002年~)

### ソフト

- Mitaka (→この話)
- ムービー (→武田君の話)

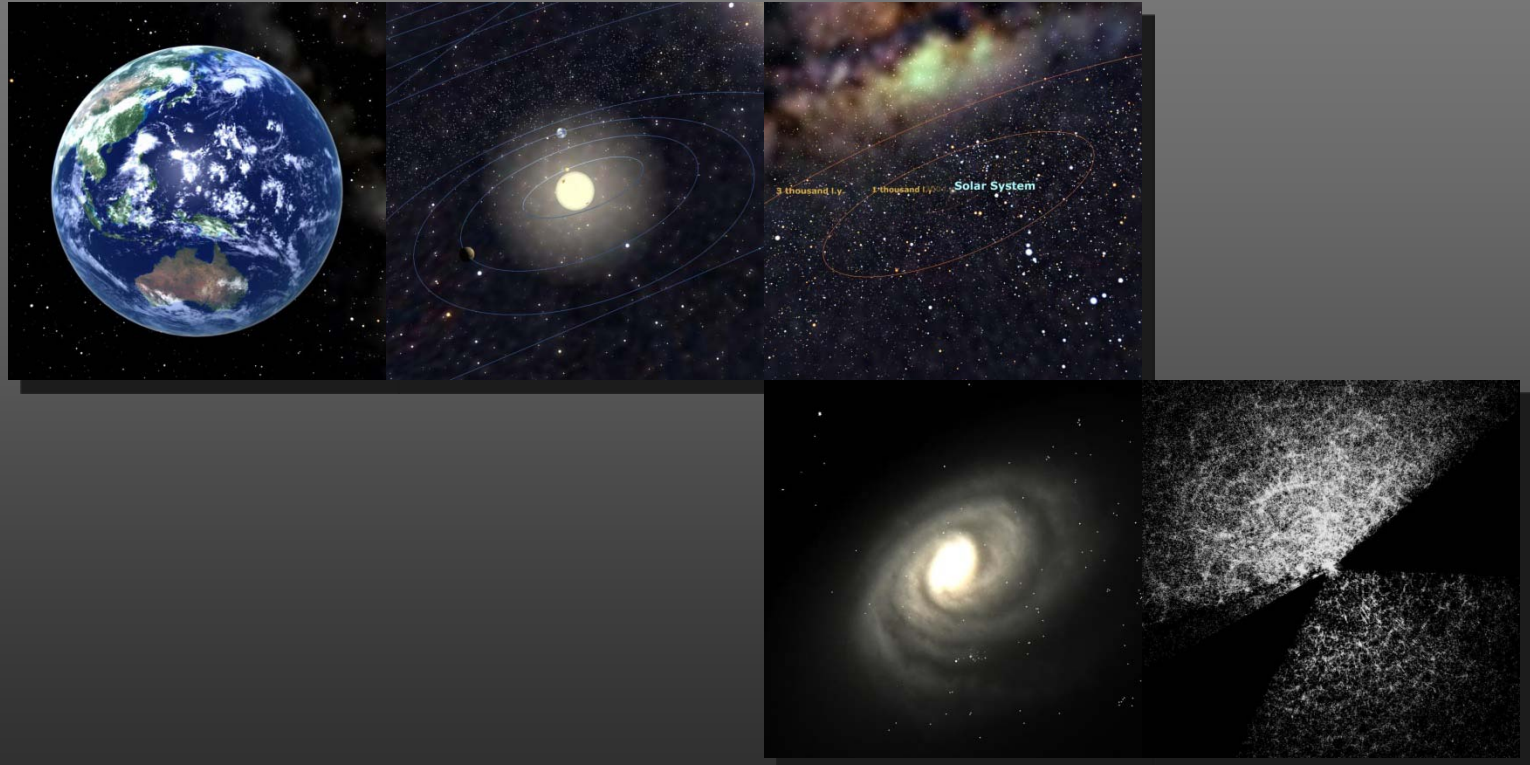
### ハード

- 立体視シアター
- 個人のPC等

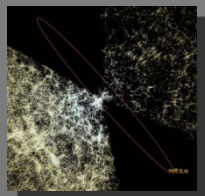
### 演出

- 研究者によるライブ上映

## 最新の天文学の成果に基づいた 宇宙の姿を可視化するソフトウェア

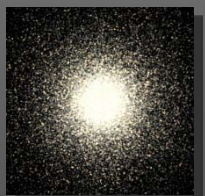


➡ 地球から観測可能な宇宙の限界までをシームレスに移動できる



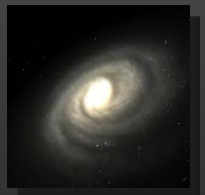
## ● 最新の観測データ

惑星の地形、惑星の位置、恒星の位置、球状星団の位置、銀河やクエーサーの位置  
➡ 宇宙のあらゆるスケールの観測データ



## ● 理論的なモデル

球状星団 (M13)、銀河系、巨大楕円銀河 (M87)



## ● 物理学に基づいた可視化

地球の大気、銀河系、星の色

# Mitakaのデモ

# Mitakaの概要

データ、モデル、可視化手法など

## 物理学に基づいた可視化： 地球の大気



夕焼け



海面の太陽光の反射

- リアルタイムなレイトレーシング法
- 輻射輸送の方程式
- レイリー散乱モデル  
(多数回散乱の効果を含む)

## 日食のシミュレーション



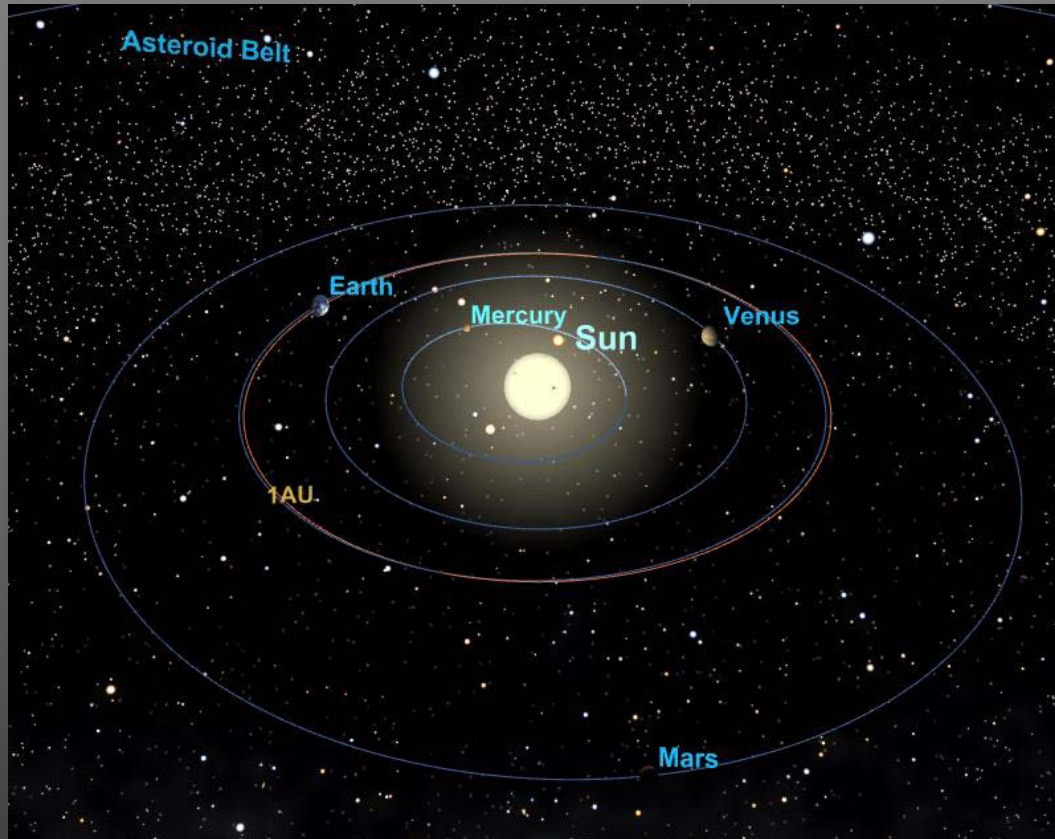
2009年 7月 22日 10:56

地球に落ちる月の影

木星に落ちるイオの影







任意の時刻の**太陽系の姿**を  
様々な角度から眺めることが可能

すべての惑星に近づいて着陸することもできる

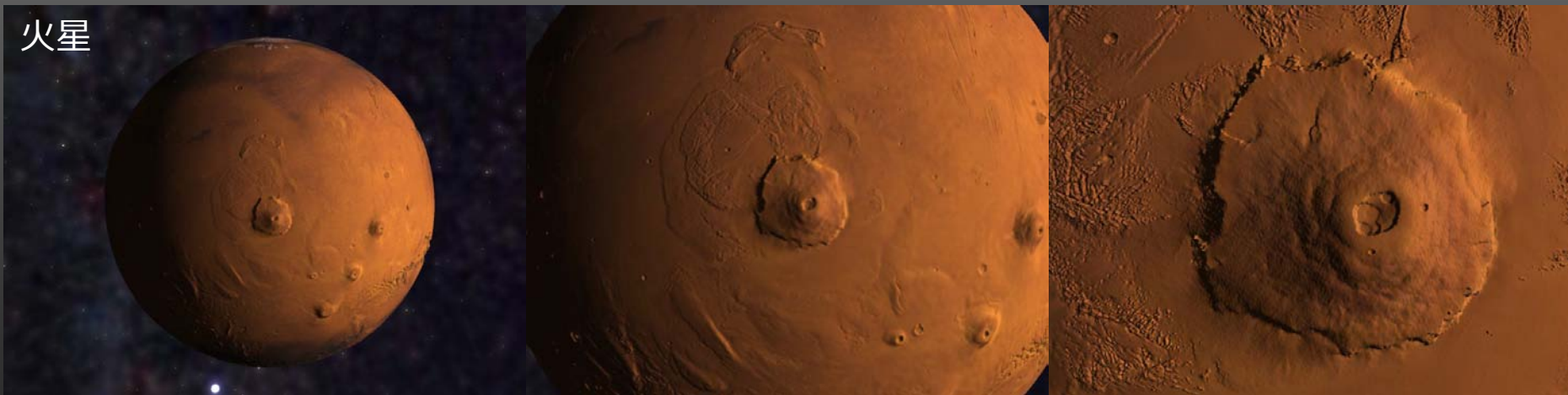


地球



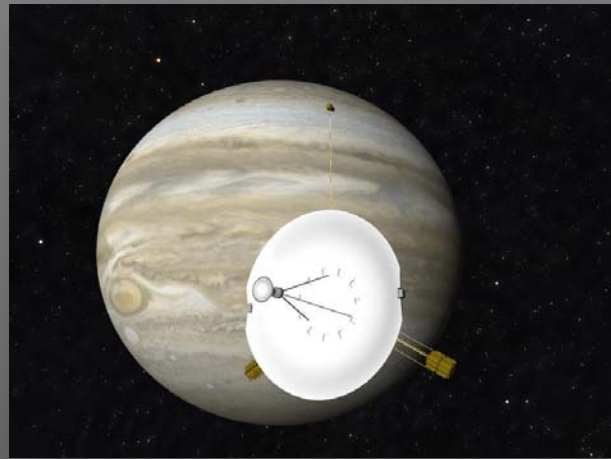
GTOPO30 (U.S.Geological Survey)

火星

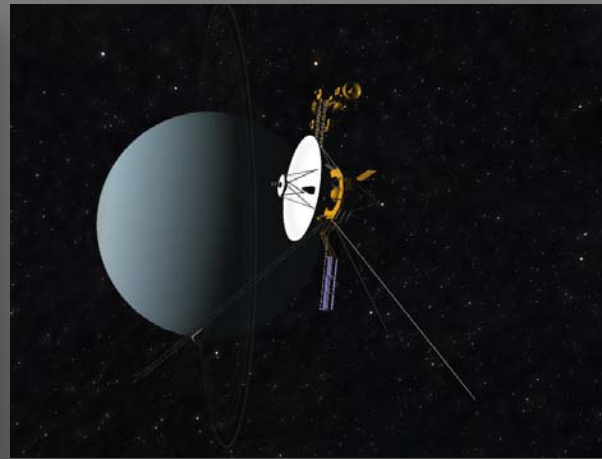


Mars Global Surveyor (NASA)

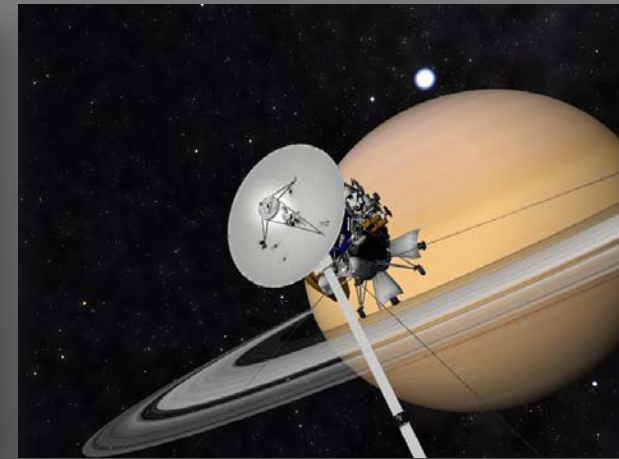
## いくつかの惑星探査機の3Dモデル



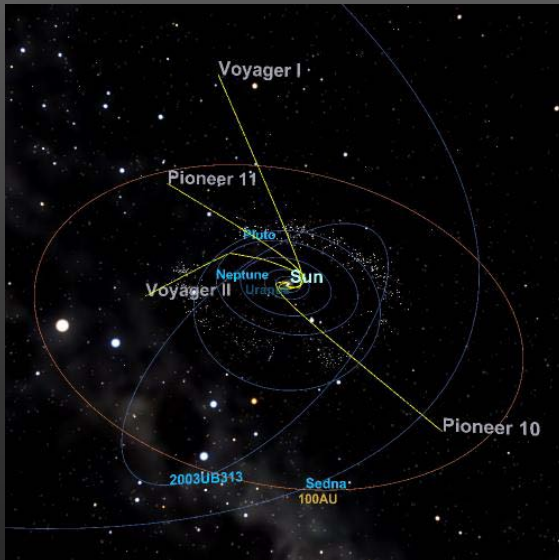
パイオニア10号



ボイジャー2号



カッシーニ

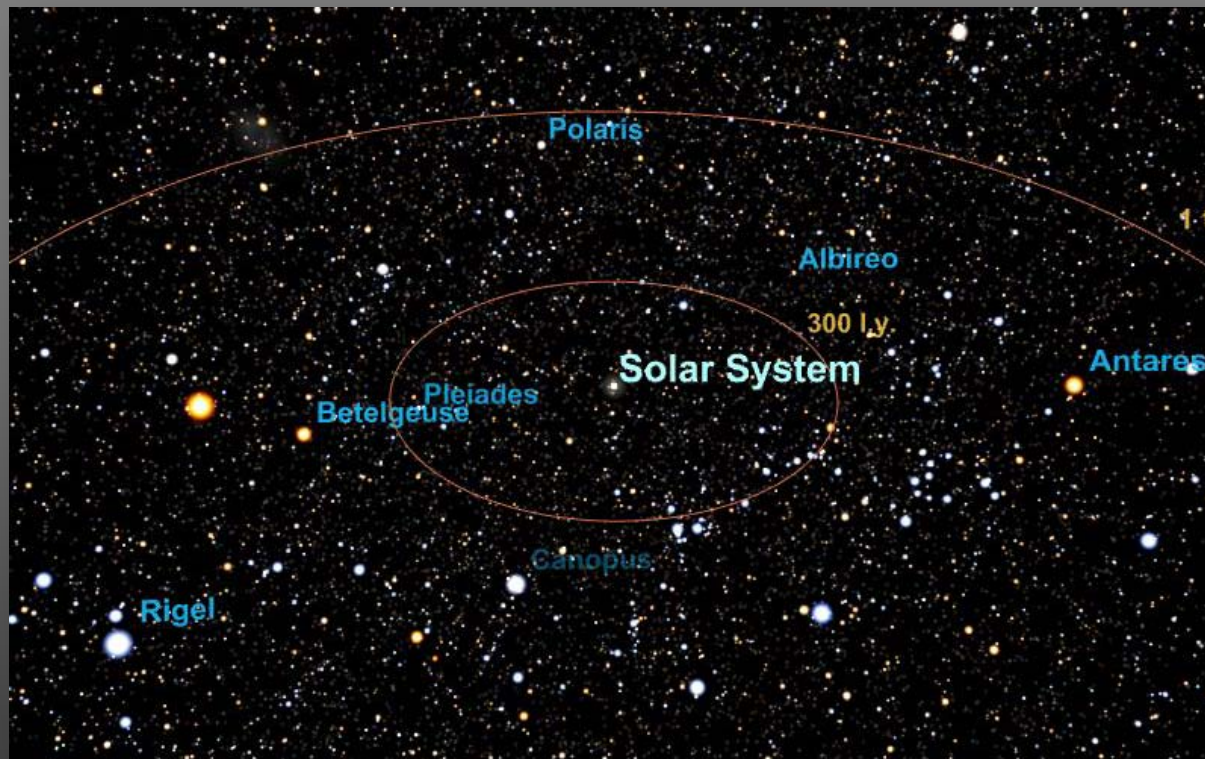


時間を進めて、惑星探査機の軌道を追っていくことも可能

3Dモデル+軌道データ (NASAのウェブサイト)

## 近傍の恒星の3次元的な分布

太陽系から約 3000 光年の範囲内



Hipparcos 衛星 により得られた観測データを使用



星の色は星の温度により決定 (黒体輻射近似)



## 銀河系のモデル

- リアルタイムなレイトレーシング法
- 輻射輸送の方程式
- 星とダストの分布の理論的なモデル
- 腕のパターンによるモジュレーション

腕のパターンは、様々な観測やシミュレーションの結果を参照して生成

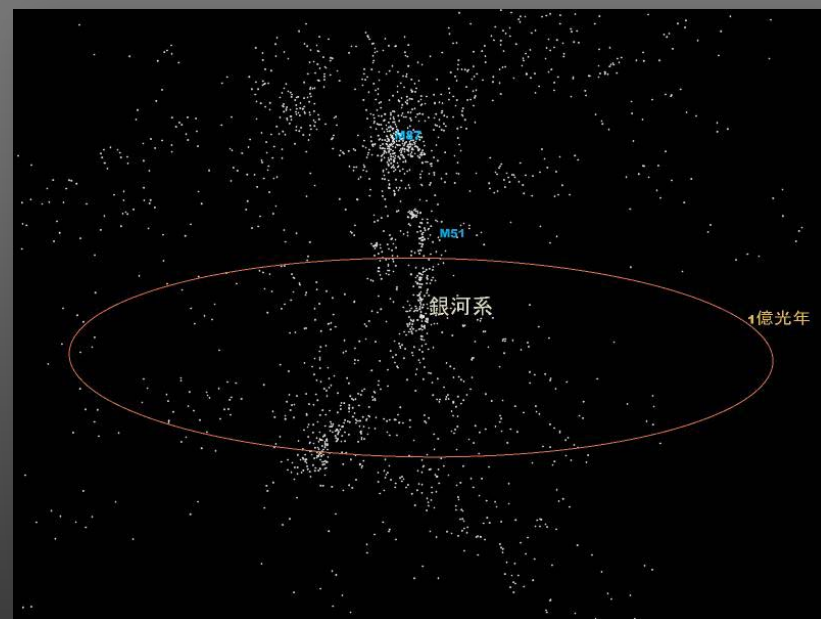


真横から見ると**ダストレーン**が見える

## 観測から得られた銀河の分布



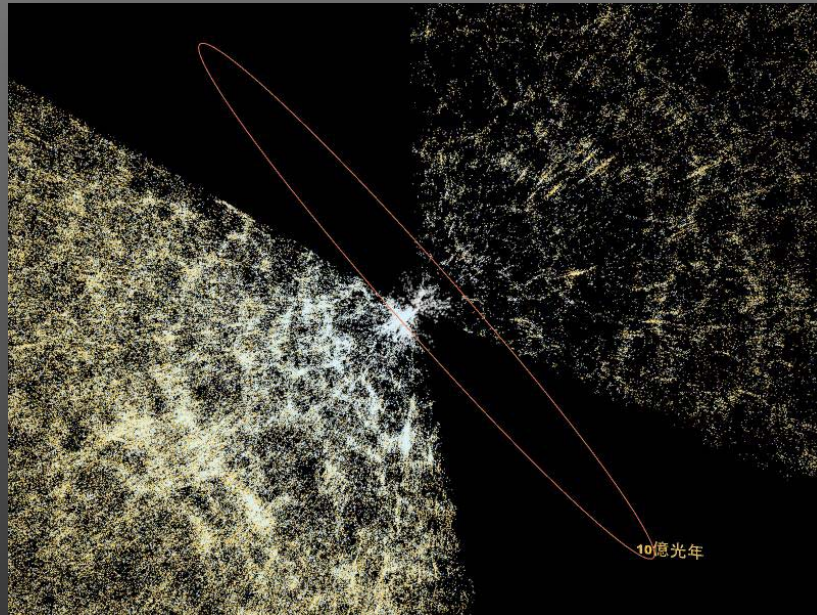
局部銀河群に属する銀河の分布



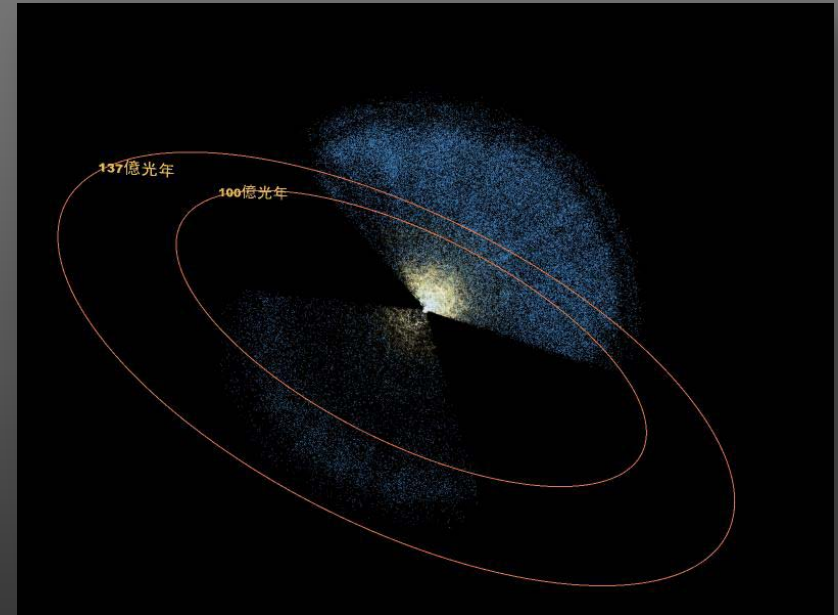
近傍銀河の分布 (1億光年以内)

## 観測から得られた銀河とクエーサーの分布

Both from SDSS Data Release 6 (2007)



**遠方銀河の分布** (数十億光年程度まで)



**クエーサーの分布** および  
**観測可能な宇宙の限界** (137億光年)

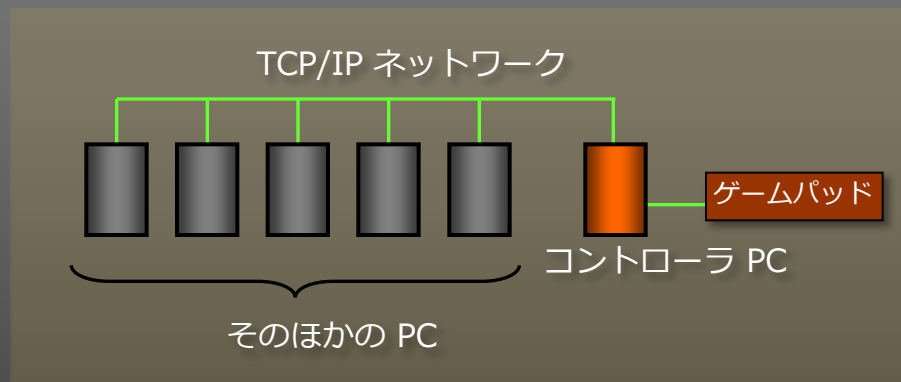
# 立体視上映



Mitaka は 1 台の PC 上だけでなく、

複数台の PC 上で同期を取って動作させることが可能

(各 PC は TCP/IP ネットワークで接続)



コントローラ PC にゲームパッドが接続され、他の PC を制御する

各 PC は視野の異なる領域の右目用または左目用映像を担当する

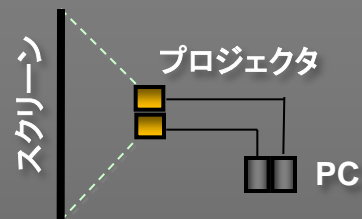
➡ 立体視上映

## Mitaka を使用した立体視上映システム

### 移動式シアター

(最小の立体視システム)

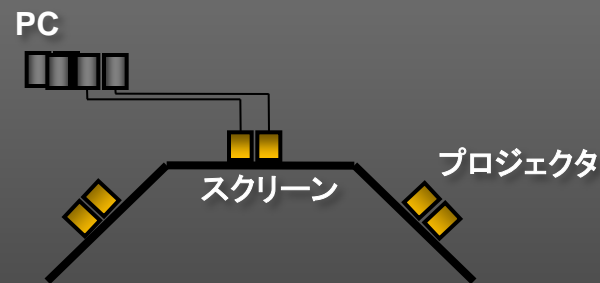
- 1 平面スクリーン
- 2 PC
- 2 プロジェクタ



### 3面シアター



- 3 平面スクリーン
- 6 PC
- 6 プロジェクタ

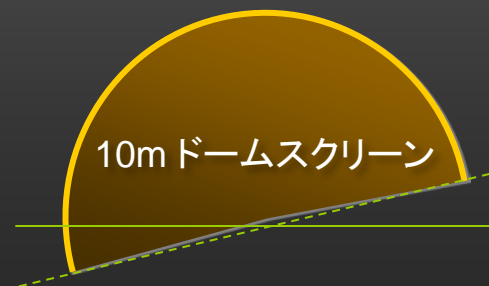


### 4D2U ドームシアター

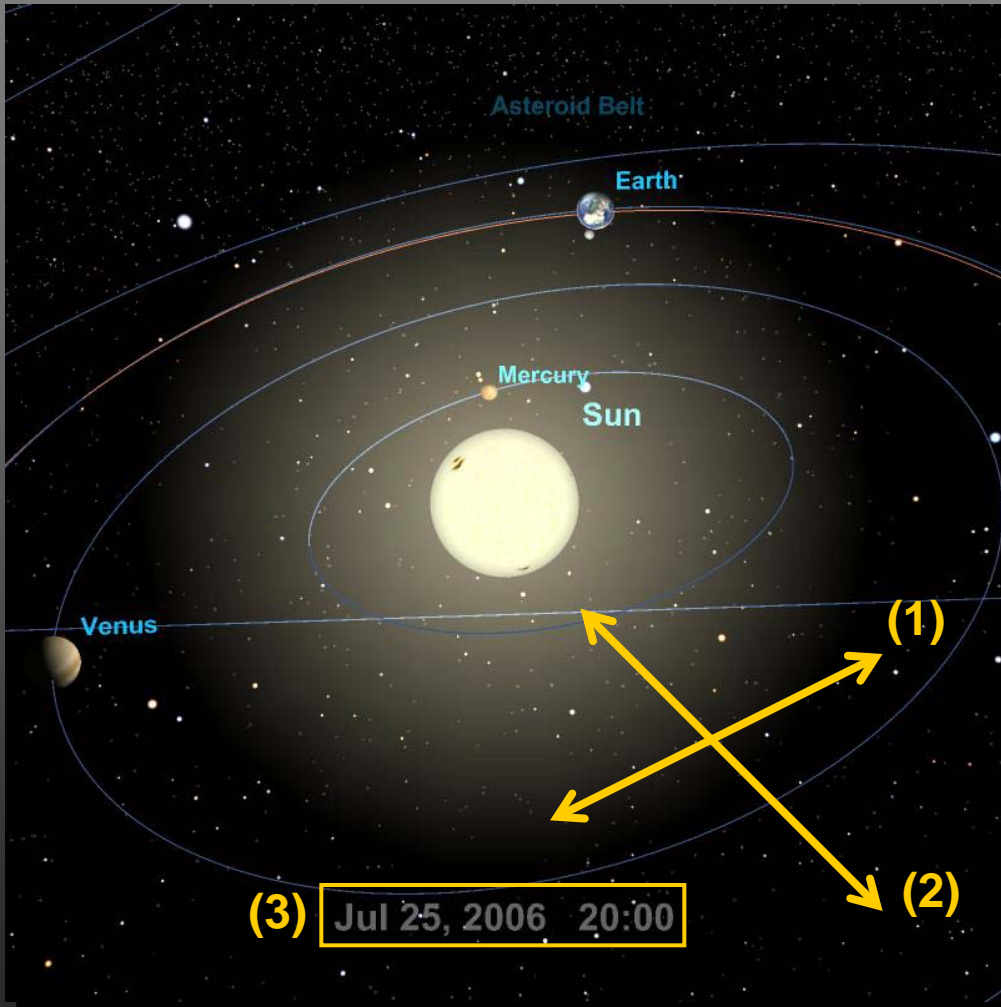


- ドームスクリーン
- 13 PC
- 13 プロジェクタ

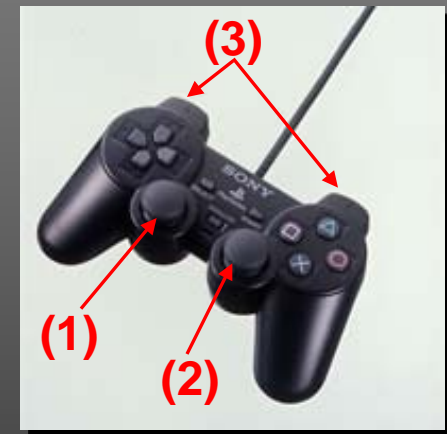
**立体視ドーム**



一般上映での Mitaka の操作には、主にゲームパッドを使用



ゲームパッドによる操作



ゲームパッド

1. 視点の移動
2. ズームイン・ズームアウト
3. 時刻を変える

## 立体視ドームシアター (国立天文台三鷹キャンパス内)

- ドームスクリーン
- 13 台のPC
- 13 台のプロジェクタ



ドームシアターの建物



ドームスクリーンに投影された Mitaka の映像

月に2回、一般向けの上映会

# Mitakaの実績・業績など

Mitakaやムービーなどの4D2Uコンテンツは、国立天文台外でも使われている

## 台外での一般公開

4D2Uコンテンツは、以下の科学館等でもご覧いただけます。詳細に付きましては、各施設へ直接お問い合わせください。

- 岩手県奥州市: [奥州宇宙遊学館](#)
- 山形県山形市: [やまがた天文台](#)
- 群馬県前橋市: [群馬県生涯学習センター・少年科学館](#)
- 茨城県つくば市: [つくばエキスポセンター](#)
- 東京都千代田区: [科学技術館](#)
- 東京都江東区: [日本科学未来館](#)
- 京都府京都市: [京都大学総合博物館](#)
- 岡山県倉敷市: [倉敷科学センター](#)
- 岡山県浅口市: [岡山天文博物館](#)
- 米国ハワイ州ハワイ島: [イミロア天文学センター \('Imiloa Astronomy Center of Hawaii'\)](#)

また、NHK教育テレビ「高校講座」や放送大学などでも使用された



「パソコンで巡る137億光年の旅 宇宙旅行シミュレーション」  
インプレスジャパン (2007/7)



こんなにわかってきた宇宙の姿 --Mitakaで旅する太陽系と銀河--  
技術評論社 (2009/2)

## Mitakaの本もあります



国連ウィーン本部（オーストリア）



2009年6月にウィーンで開催された国連宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS) で Mitaka のデモを行いました





女性歌手MISIAの「銀河」（世界天文年2009イメージソング）のPVに  
Mitakaの映像が使われました

# ダウンロード

## Mitaka はフリーソフトとして 4D2U のウェブサイトで公開

4D2U website: <http://4d2u.nao.ac.jp/>

**Mitaka**

English

4D2U プロジェクト  
国立天文台

**新着情報**

- 06/11/25 バージョン 1.0β6 を公開しました。このバージョンでは、惑星の新しい定義に対応し、SDSS の最新の銀河データとクエーサーのデータを追加しました。また、視点移動などの動作に慣性がつくようになりました。詳しくは更新履歴 をご覧ください。
- 06/11/25 地球と火星の地形データを公開しました。
- 06/7/20 バージョン 1.0β5 を公開しました。
- 06/7/20 つくばエキスポセンターの**立体映像シアター**において、Mitaka が使用されています。(詳細はこちら)
- 05/10/13 バージョン 1.0β4 を公開しました。
- 05/9/24 やまがた天文台で公開されている「4次元宇宙シアター」において、Mitaka が使用されています。(詳細はこちら)
- 05/7/16 日本科学未来館 5階 VRシアターにおいて、Mitaka が使用されています。(詳細はこちら)
- 05/2/22 バージョン 1.0β3 を公開しました。
- 05/2/16 バージョン 1.0β2 を公開しました。
- 05/2/1 バージョン 1.0β (ベータ) を公開しました。

**概要**

Mitaka は、国立天文台 4次元デジタル宇宙プロジェクトで開発している、天文学の様々な観測データや理論的モデルを見るためのソフトウェアです。地球から宇宙の大規模構造までを自由に移動して、宇宙の様々な構造や天体の位置を見ることができます。

独立行政法人科学技術振興機構 計算科学技術活用型特定研究開発推進事業(ACT-JST) 「4次元デジタル宇宙データの構築とその応用」(2001年-2004年)、および、文部科学省科学技術振興調整費 産学官共同研究の効果的な推進プログラムにおける実施課題 「4次元デジタル宇宙映像配信システムの構築」(2004年-現在) の成果物です。

Mitaka website

累計 **500,000** ダウンロード  
(2005年2月 - 2009年3月)

最新版 **250,000** ダウンロード  
(2010年2月)

<http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>

## Mitakaは **オープンソース**（MITライセンス）

ライセンスの元で、誰でも自由にソースコードも使用できます。

ただし、

- ソースコードに関する質問には、基本的にお答えできません
- Mitaka 自体がまだ発展途上であるため、バージョンアップの際にソースコードが大幅に書き換わる可能性があります  
(次の 1.3.0 では、半分近くのソースコードが書き換わっています)

また、ソースコードを使用する際は、ライセンスに従った著作権表記をしてください

## 派生版

Mitaka plus（高幣氏）

…現在確認している範囲では、この1件

## 基本的に一人で開発

(コード開発、データ変換、データ入力、動作テスト、ウェブ、マニュアル、etc、、、)

現在はボランティア (趣味) で開発

協力：

4D2U 小久保さん、林さん、武田君、岩下さん  
その他、データ提供・作成していただいた方々、  
ご協力いただいた方々、ありがとうございます

今後： 開発を続けます

Mitaka は、最新の天文学の成果に基づいた、  
宇宙の姿を可視化するソフトウェア



- 最新の観測データ
- 理論的なモデル
- 物理に基づいた可視化

- 1 台の PC
- 複数台の PC からなるシステム  
で動作

フリーソフトとして 4D2U のウェブサイトで開催

ぜひ使ってみてください！

ご静聴ありがとうございました

# 物理学に基づいた可視化

Mitaka では、地球大気の可視化や銀河系の可視化などに物理学を用いた可視化手法を使っている





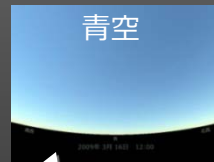
Lord Rayleigh  
(1842-1919)

大気中の分子による光の散乱の強さは  
波長の4乗に反比例する

$$\sigma \propto \lambda^{-4}$$



青い光は赤い光より強く散乱される



太陽光



地球

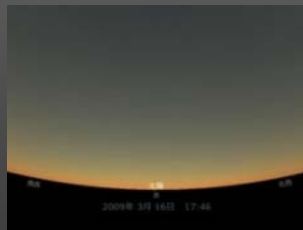
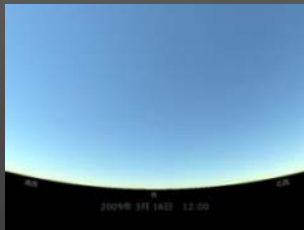
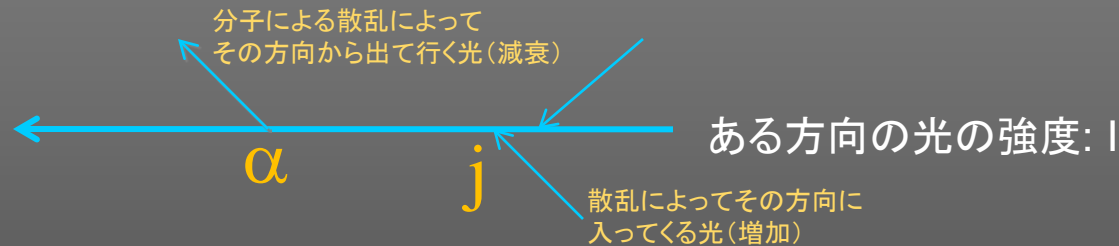
大気層

Mitaka では、簡略化(近似)した光の伝搬の方程式を解いている

光の伝播の方程式  
(ある方向の光の強さの増減)

$$\frac{dI}{ds} = -\alpha I + j$$

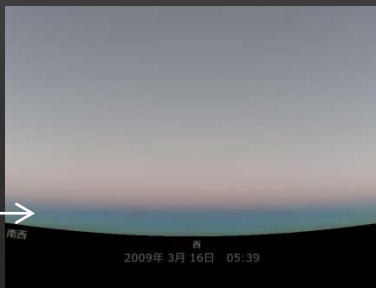
散乱による減衰      散乱による増加



散乱分子の分布(近似)と太陽の位置を与えるだけで、  
自動的に青空、夕焼けが再現される

多重散乱も計算しており、青い**地球影**も再現される

地球影



※日の出前または日没後に太陽の反対側に見える地球の影。  
2回以上の散乱光だけが残り、青く見える



## 銀河系も同様に光の伝搬の式を解いて可視化

ただし、星による**発光**とダストによる**吸収**のみで、  
光の散乱は扱わない

光の伝播の方程式

$$\frac{dI}{ds} = -\alpha I + j$$

吸収          放射  
(発光)

# 次期バージョン

バージョン 1.3.0



フランス語表示の Mitaka

## 表示用テキストのユニコード化による多言語対応

すべての表示用テキストを外部化

### 現在

- 日本語
- 日本語 (ルビ付き)
- 英語
- フランス語

## 文字列定義の仕組み

キー + 文字列

strings\_Japanese.dat

```
//===== 太陽系 =====
```

```
SOLAR_SYSTEM:
```

```
SUN:
```

```
PLN_MERCURY:
```

```
PLN_VENUS:
```

```
PLN_EARTH:
```

```
PLN_MARS:
```

```
PLN_JUPITER:
```

```
太陽系
```

```
太陽
```

```
水星
```

```
金星
```

```
地球
```

```
火星
```

```
木星
```

↑  
キー

↑  
文字列

- 文字列定義ファイル(テキストファイル)に「キー」と「文字列」の対応関係を記述
- Mitaka内部では「キー」により文字列を参照
- 表示言語ごとに定義ファイルを切り替える
- 定義ファイルのエンコードはUTF-8(ユニコード)なので、任意の文字に対応可能

## 文字列定義ファイルの例

### 日本語

```
//===== 太陽系 =====  
SOLAR_SYSTEM:      太陽系  
SUN:                太陽  
  
PLN_MERCURY:       水星  
PLN_VENUS:         金星  
PLN_EARTH:         地球  
PLN_MARS:          火星  
PLN_JUPITER:       木星  
.  
.  
.
```



### 英語

```
//===== Solar System =====  
SOLAR_SYSTEM:      Solar System  
SUN:                Sun  
  
PLN_MERCURY:       Mercury  
PLN_VENUS:         Venus  
PLN_EARTH:         Earth  
PLN_MARS:          Mars  
PLN_JUPITER:       Jupiter  
.  
.  
.
```



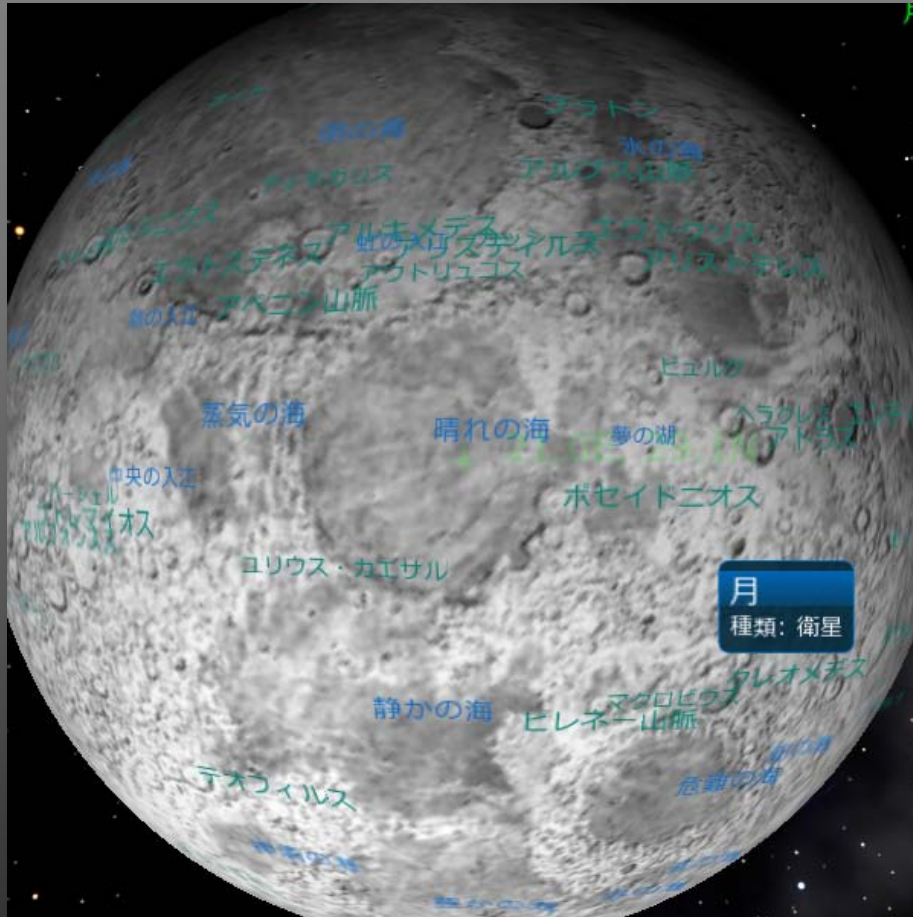
### フランス語

```
//===== Solar System =====  
SOLAR_SYSTEM:      Système Solaire  
SUN:                Soleil  
  
PLN_MERCURY:       Mercure  
PLN_VENUS:         Vénus  
PLN_EARTH:         Terre  
PLN_MARS:          Mars  
PLN_JUPITER:       Jupiter  
.  
.  
.
```



各キーに対応する文字列が言語により変わる

## 地名定義

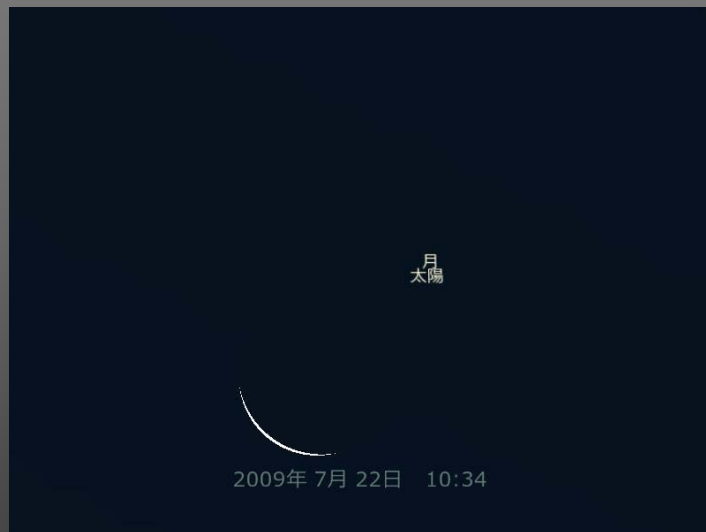


## 月の地名の追加

- 地名定義を外部ファイル化
- 標準では、地球、火星、月の地名
- 任意の惑星・衛星の地名をユーザーが追加することも可能



## 地上モードでの皆既日食の再現



2009年7月22日の皆既日食の再現



「ベータ版」を Mitaka++ 1.3.1 として公開

- ユニコード化による多言語対応
- 文字表示の改善 (アンチエイリアス)
- 地名定義
- 皆既日食の再現機能
- ただし、シアター上映関係の機能はまだ多言語対応化が完了していない

Mitaka++ website

<http://www.magneticfield.jp/mitaka/>

…天文台版も、近々公開予定

# Mitaka開発小史

# “Hipparcos” 時代 2003/2-2005/1

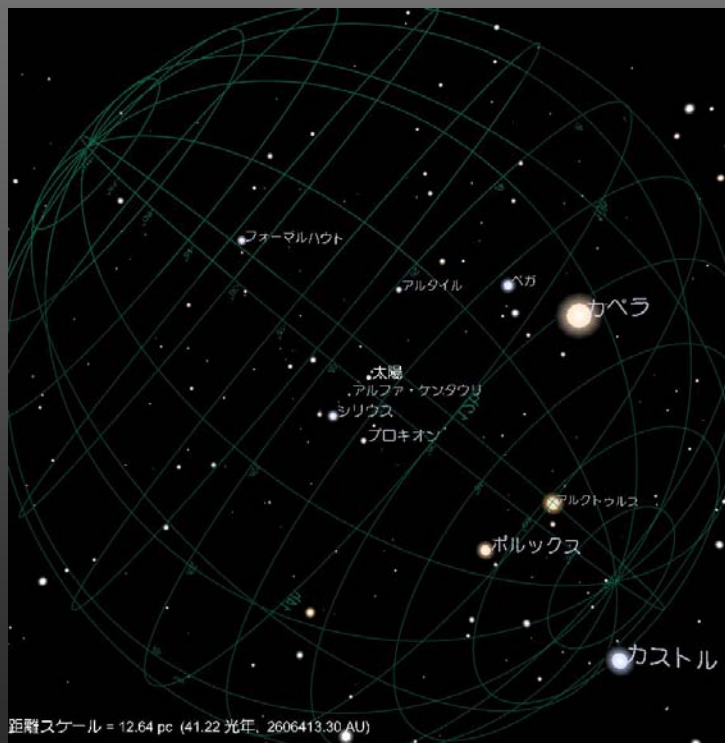
2002/10 国立天文台（三鷹）特別公開日でシミュレーションムービーを上映



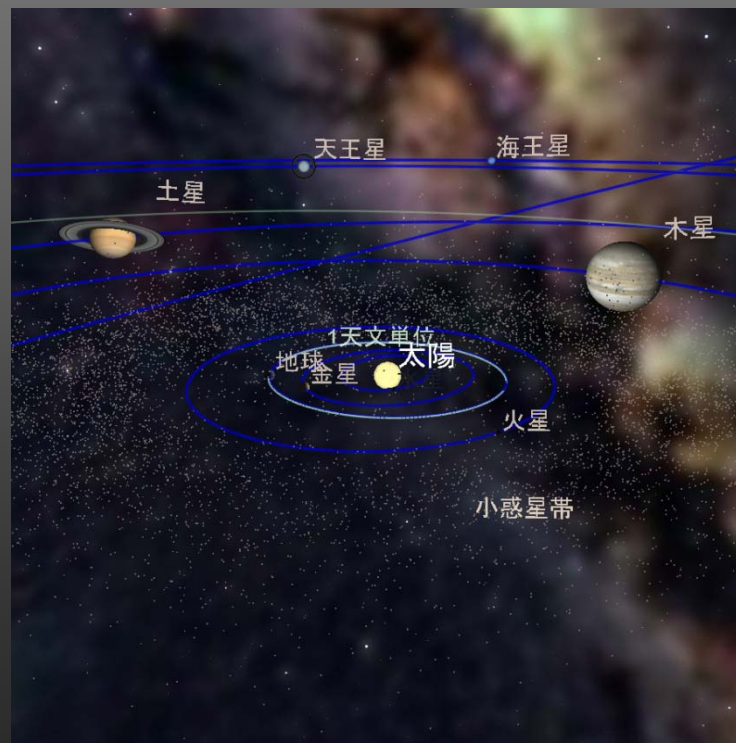
もう少し一般の人にわかりやすいコンテンツがあるといい



2003/2 Mitaka の開発を開始（当時の呼び名は「Hipparcos」だった）



最初は星の分布のみ



太陽系の追加 This document is provided by JAXA.

## 2003/4 「朝日新聞ショック」

朝日新聞で4D2Uシアターが紹介され、以後、大変なことになった

➡ 2ヶ月後にシアターの一般公開をすることに決まる

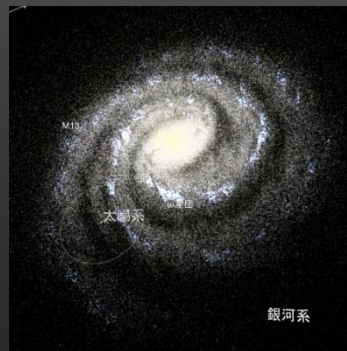
## 2003/5 NHK 「おはよう日本」 生中継など (地球から銀河系)

## 2003/6 4Dシアターの一般公開を開始 (地球から大規模構造)

Hipparcos (Mitaka) も「突貫工事」で間に合わせる

➡ この時に作った汚いコード (および設計) で後々苦労する

## 2003/10 球状星団モデル、銀河系モデルの追加

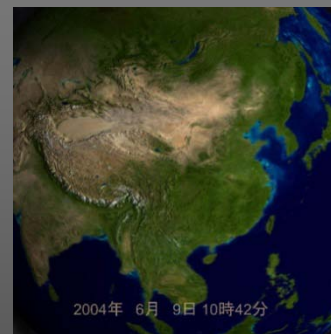


← 銀河系は、100万近くもの点による表現。表示は遅かった

2003/12 SDSS のデータを導入

2004/2 字幕バージョン (この時しか使用せず)

2004/6 火星と地球の地形表示機能



2004/6 カッシーニなどの惑星探査機の3Dモデルと軌道を導入



2004/11 4D2U プロジェクト第一期が終了

2005/2 “Hipparcos” の正式名称が “**Mitaka**” に決まる（命名：小久保氏）

2005/2 「Mitaka バージョン 1.0 ベータ1」をリリース

2005/2 「ベータ2」（マウス操作の改善）と「ベータ3」（英語対応版）をリリース

2005/7 レイトレーシング・バージョンの銀河系モデルを開発



2005/10 「ベータ4」をリリース（銀河系、地球大気、巨大楕円銀河のモデル）

2006/7 「ベータ5」をリリース（月や木星の衛星の影の表示など）

2006/7 「ベータ6」をリリース（太陽系惑星の再定義など）

2007/3 4D2U プロジェクト第二期が終了

2007/4 開発者が大阪大学へ移動

2007/5 「Mitaka 正式版 バージョン1.0」をリリース

2007/10 バージョン1.1.0をリリース (SDSS Release6など)

2007/12 Mitaka が「2007年 窓の杜大賞」の**銀賞**を受賞

2008/5 バージョン1.2.0をリリース (マウスによるターゲットの直接選択など)

2009 バージョン1.3.0のベータ版を作成 (多言語・皆既日食対応版)

2009/6 国連COPUOSで Mitaka のデモを行う

2010/2 …現在に至る

2010/? バージョン1.3.0をリリース?