

観測的宇宙論入門

—宇宙はどこまでわかったか—

岡村定矩
法政大学教授(理工学部創生科学科)
東京大学名誉教授

Week 1

現在の宇宙の姿

Week 2

ビッグバン宇宙論

Week 3

ダークマターとダークエネルギー

Week 4

太陽系外惑星と元素の起源

第1週：現在の宇宙の姿

- 1.1 星はなぜ自ら輝くのか
- 1.2 太陽系から星の世界へ
- 1.3 天の川と銀河系
- 1.4 銀河からなる宇宙
- 1.5 宇宙のスケールモデル
- 1.6 仮想宇宙旅行

いずれもこれからの講義全体の基礎となる
ものですからしっかりと頭に入れてください。

第1週：現在の宇宙の姿

1.1 星はなぜ自ら輝くのか

1.2 太陽系から星の世界へ

1.3 天の川と銀河系

1.4 銀河からなる宇宙

1.5 宇宙のスケールモデル

1.6 仮想宇宙旅行

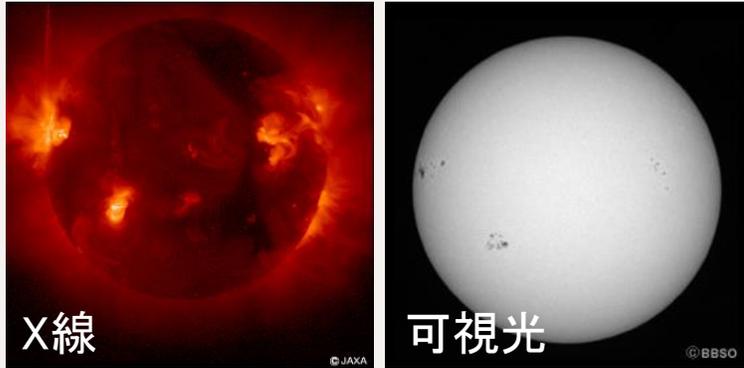
「星」には2種類ある

星には二種類ある

- ・自分で輝く星(恒星) 例: 太陽

恒星と惑星・衛星は
何が違うのだろうか？

質量！



X線

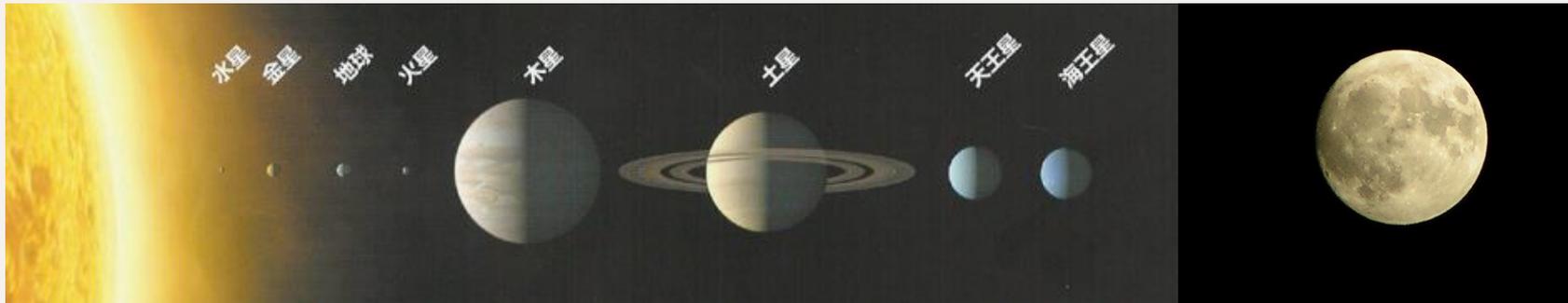
可視光

JAXA提供

<http://www.kids.isas.jaxa.jp/zukan/solarsystem/sun01.html>

質量の大きい星(木星の80倍
~太陽の8%程度以上)は必
ず自分で輝く

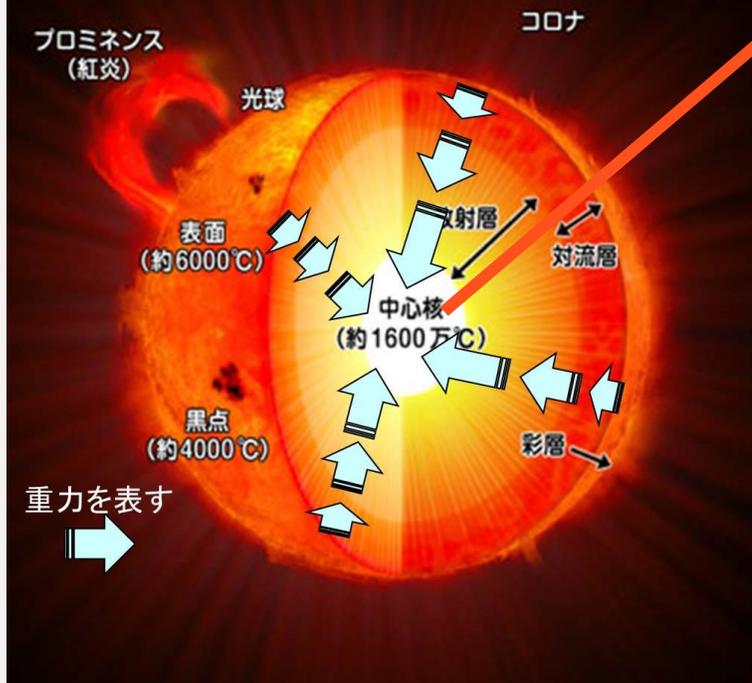
- ・恒星の光を反射して輝く星 例: 惑星、衛星



恒星はなぜ自分で輝くのか

輝いていないと(自分の重力で)つぶれてしまう

太陽の内部の模式図



中心核
超高温: 1500万度
高密度: 150 g/cm³

核融合反応(*)で
エネルギーがでる

(*)水素原子4個からヘリウム原子
1個を作る反応(水素爆弾と同じ)

ガスが高温になってそ
の圧力で重力を支える

我々は太陽の恵みを受けている

「星」には2種類ある
(恒星 vs 惑星・衛星など)

肉眼で見える星は
全天で約6000個

これらのほとんどすべては恒星
(太陽と同じく自ら輝いている)

例外: 月、水星、金星、火星、木星、土星

星が太陽よりずっと暗いのは、
太陽よりずっと遠くにあるから

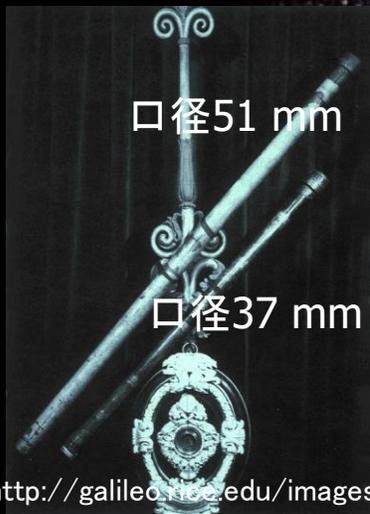
天の川は暗い星（遠い星）の集まり

2009年は世界天文年

1609年に人類は初めて
このことを知った



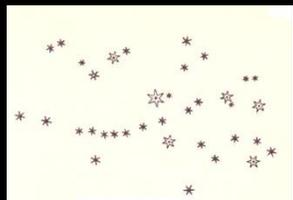
ガリレオ ガリレイ
(ウィキペディアより)



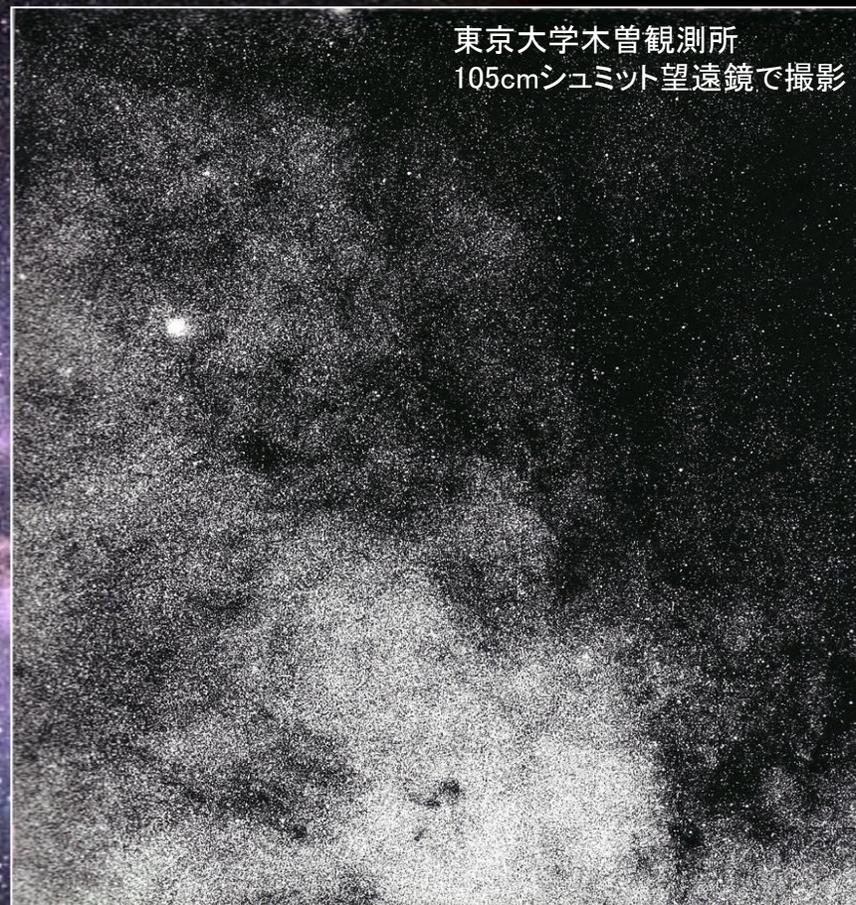
口径51 mm

口径37 mm

http://galileo.rice.edu/images/things/g_telescope.gif



スケッチ(「星界の報告」より)



東京大学木曾観測所
105cmシュミット望遠鏡で撮影

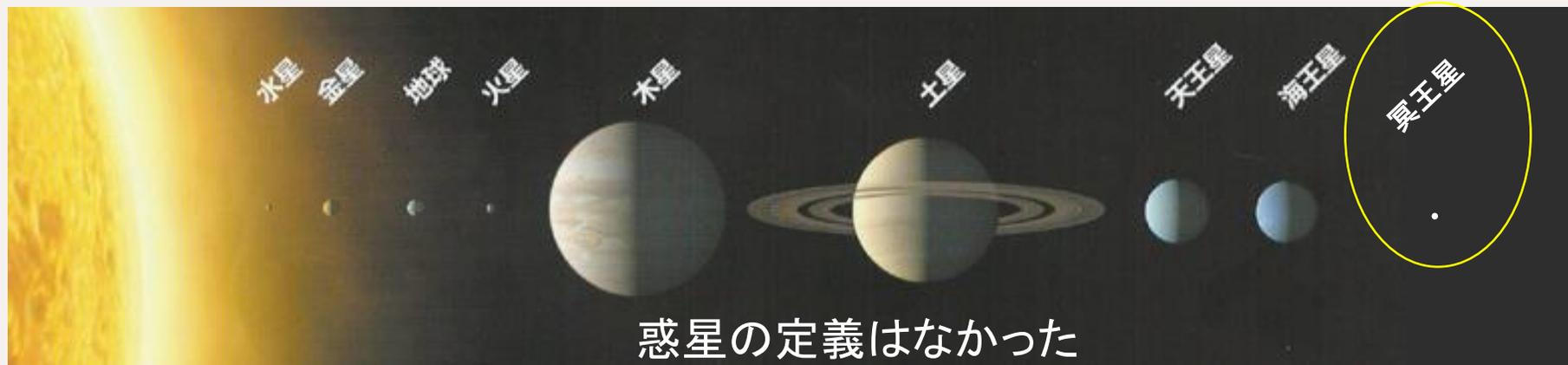
撮影 沼沢茂美

1997 Shigemi Numazawa JPLinc. numazawa@nisiq.net

第1週の第1回はここまです。

第1週：現在の宇宙の姿

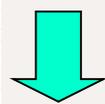
- 1.1 星はなぜ自ら輝くのか
- 1.2 太陽系から星の世界へ**
- 1.3 天の川と銀河系
- 1.4 銀河からなる宇宙
- 1.5 宇宙のスケールモデル
- 1.6 仮想宇宙旅行



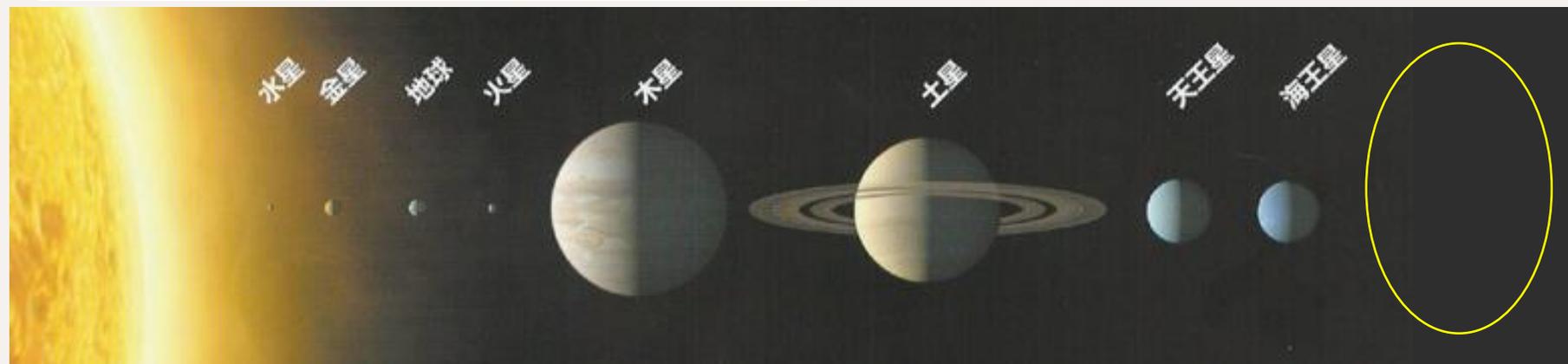
太陽系の惑星の「定義」



第26回国際天文学連合 (IAU) 総会
で採択 (2006年8月 プラハ)



冥王星は惑星ではなくなった



冥王星は降格されたのではない



観測技術の進歩によって見えてきた太陽系外縁天体の一族(冥王星型天体)の盟主として新たな地位を与えられたのである。

・日本学術会議の「対外報告」(2007年)

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t35-1.pdf>

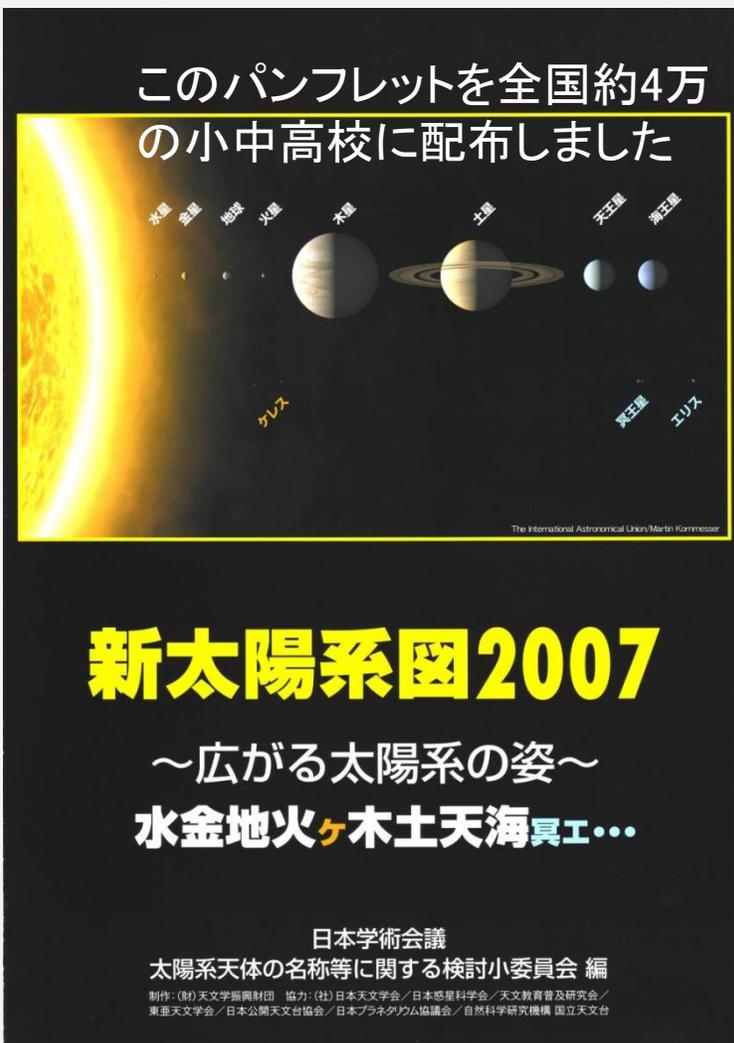
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t39-3.pdf>

・岩波「科学」2008年9月号 科学通信 科学ニュース「冥王星型天体の英語名称 決まる」(岡村定矩)

・国立天文台のトピックスのサイト

http://www.nao.ac.jp/nao_topics/data/000304.html
(2007年)

http://www.nao.ac.jp/nao_topics/data/000387.html
(2008年)

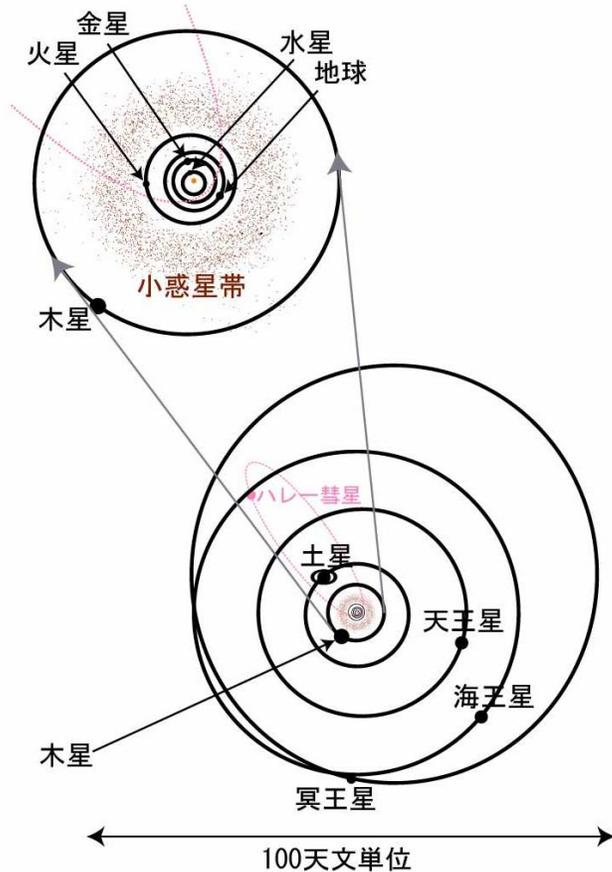


「新太陽系図2007」の入手先

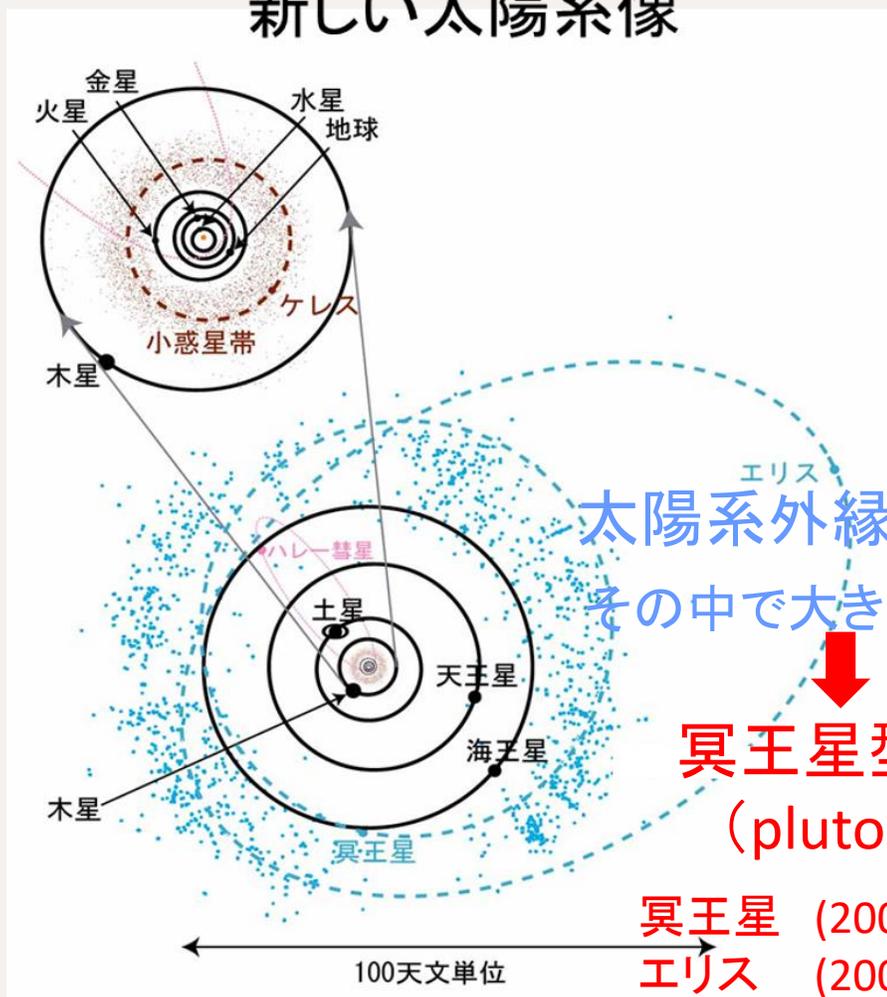
<http://www.yac-j.or.jp/kyouzai/taiyo/index.html>

新しい太陽系像

これまでの太陽系像



新しい太陽系像



太陽系外縁天体
その中で大きなもの

冥王星型天体
(plutoid)

- 冥王星 (2006.8) 2400km
- エリス (2006.8) 2400km
- マケマケ (2008.7) 1400km
- ハウメア (2008.9) 1500km

太陽系から星の世界へ

星の世界は太陽系の外に広がっている

天文シミュレーションのフリーソフト Mitaka

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

Mitaka

トップ

はじめてみよう
(チュートリアル)

宇宙空間モード

プラネタリウムモード

その他の機能

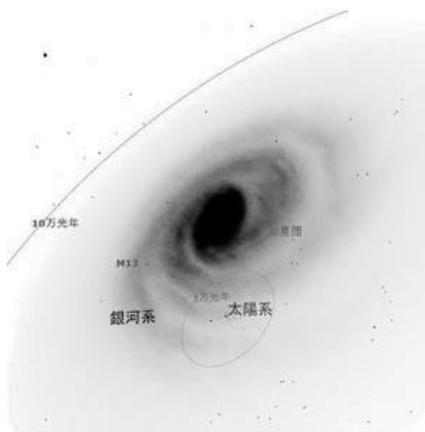
使用データ

よくある質問(FAQ)

更新履歴

English

4D2U プロジェクト
国立天文台



新着情報

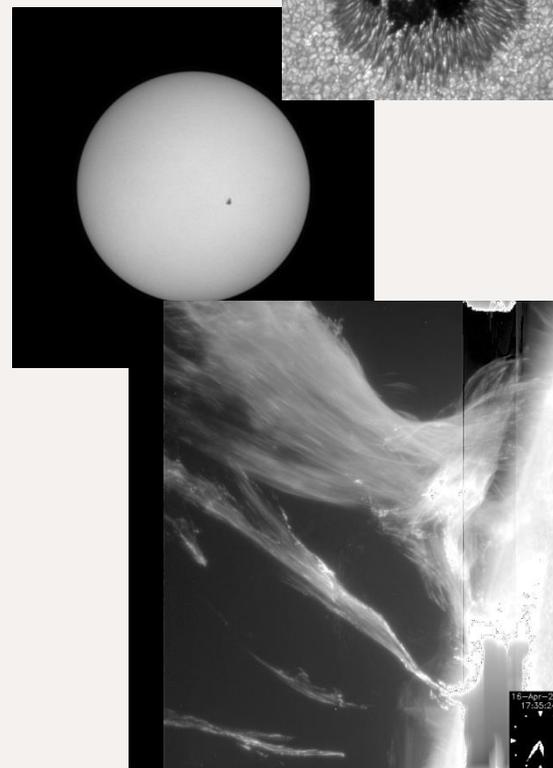
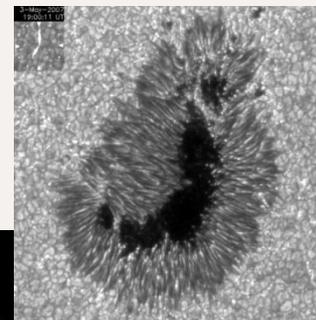
2017/02/21



バーチャルリアリティ
しました。
このバージョンでは Mit
の特別公開日の体験コー
製品版 (CV1) および
ローラで行うことができ
空間や、惑星・銀河系
(ツイッターによる紹介
(なお、Mitaka for VR
目や脳に負担になること

2016/07/01

バージョン 1.3.2 を公開
このバージョンでは、水
4日に木星に到達する探
れました。表示言語とい
加されています。(更



太陽ムービーのクレジット
岡本文典(国立天文台)

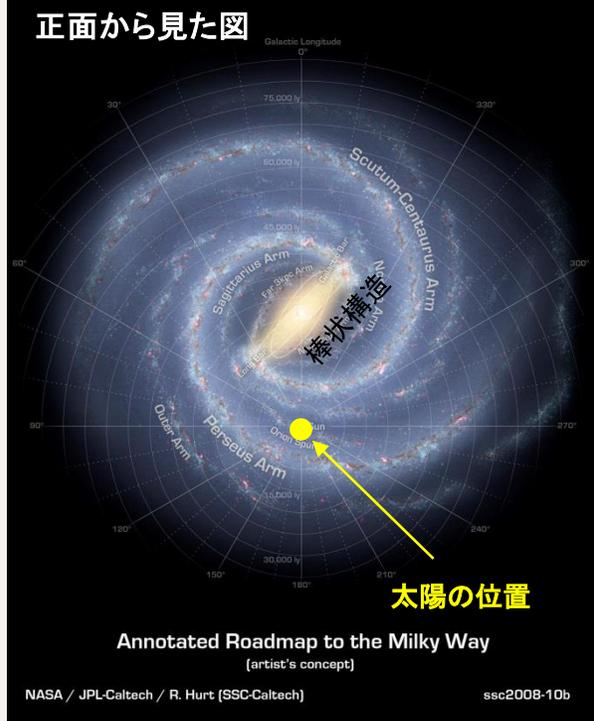
第1週の第2回はここまでです。

第1週：現在の宇宙の姿

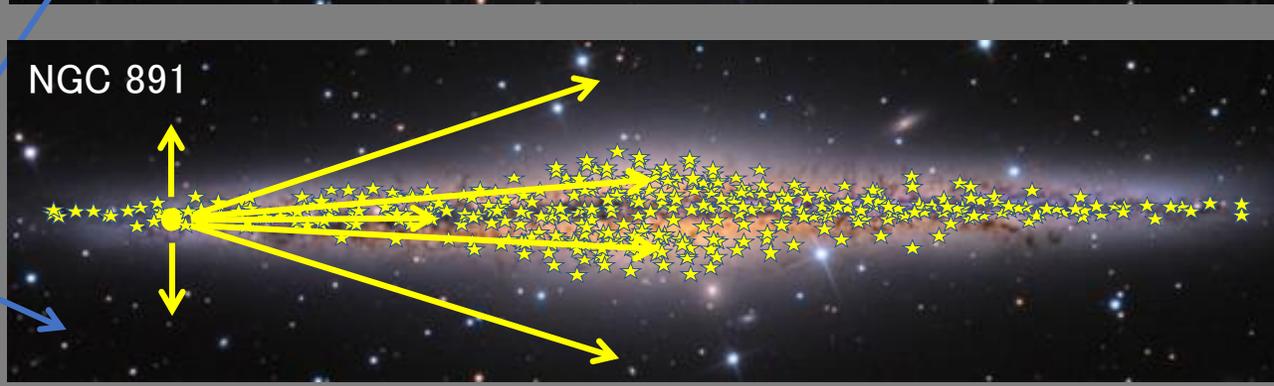
- 1.1 星はなぜ自ら輝くのか
- 1.2 太陽系から星の世界へ
- 1.3 天の川と銀河系**
- 1.4 銀河からなる宇宙
- 1.5 宇宙のスケールモデル
- 1.6 仮想宇宙旅行

1-3. 天の川と銀河系

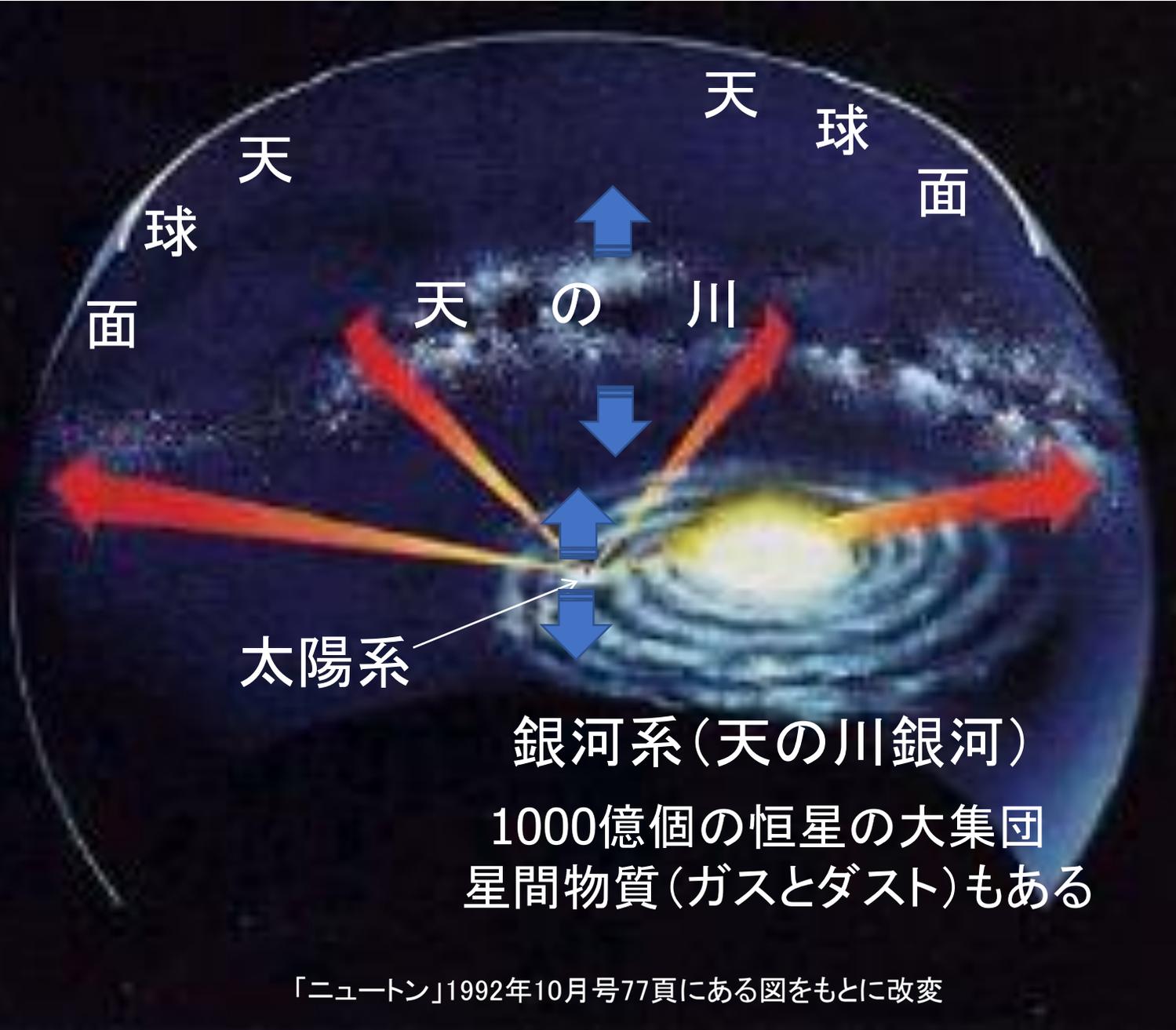
銀河系(天の川銀河)の想像図

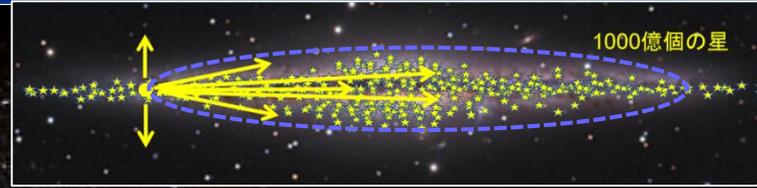


<http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/images/142>



NGC 891 <https://apod.nasa.gov/apod/ap131011.html>
Image Credit & Copyright: Adam Block, Mt. Lemmon SkyCenter, U. Arizona





銀河系には星と星間物質（ガスとダスト）
からなるさまざまな天体がある

星団：星の集まり（球状星団、散開星団）

星雲：輝くガスが集まったもの

暗黒星雲：ダストとガスが濃く密集したもの

すばる(プレアデス)(散開星団)

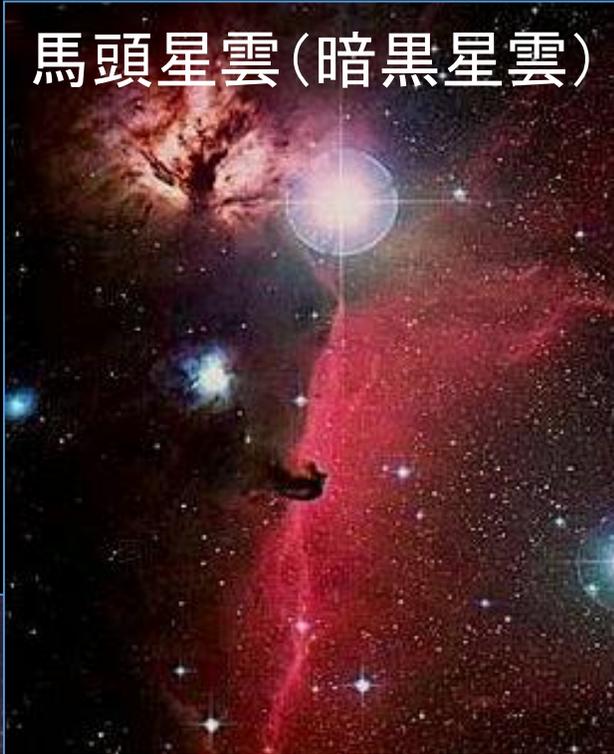


東京大学木曾観測所
105cmシュミット望遠鏡で撮影

47 Tuc (球状星団)



馬頭星雲(暗黒星雲)

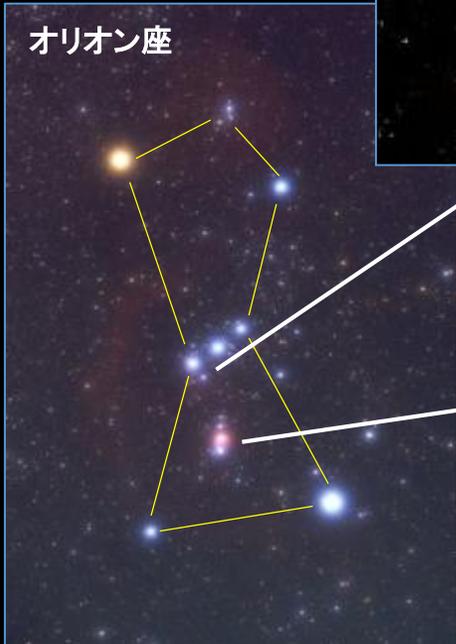


東京大学木曾観測所
105cmシュミット望遠鏡で撮影

オリオン大星雲



オリオン座



バラ星雲



かに星雲(超新星残骸)

パルサー



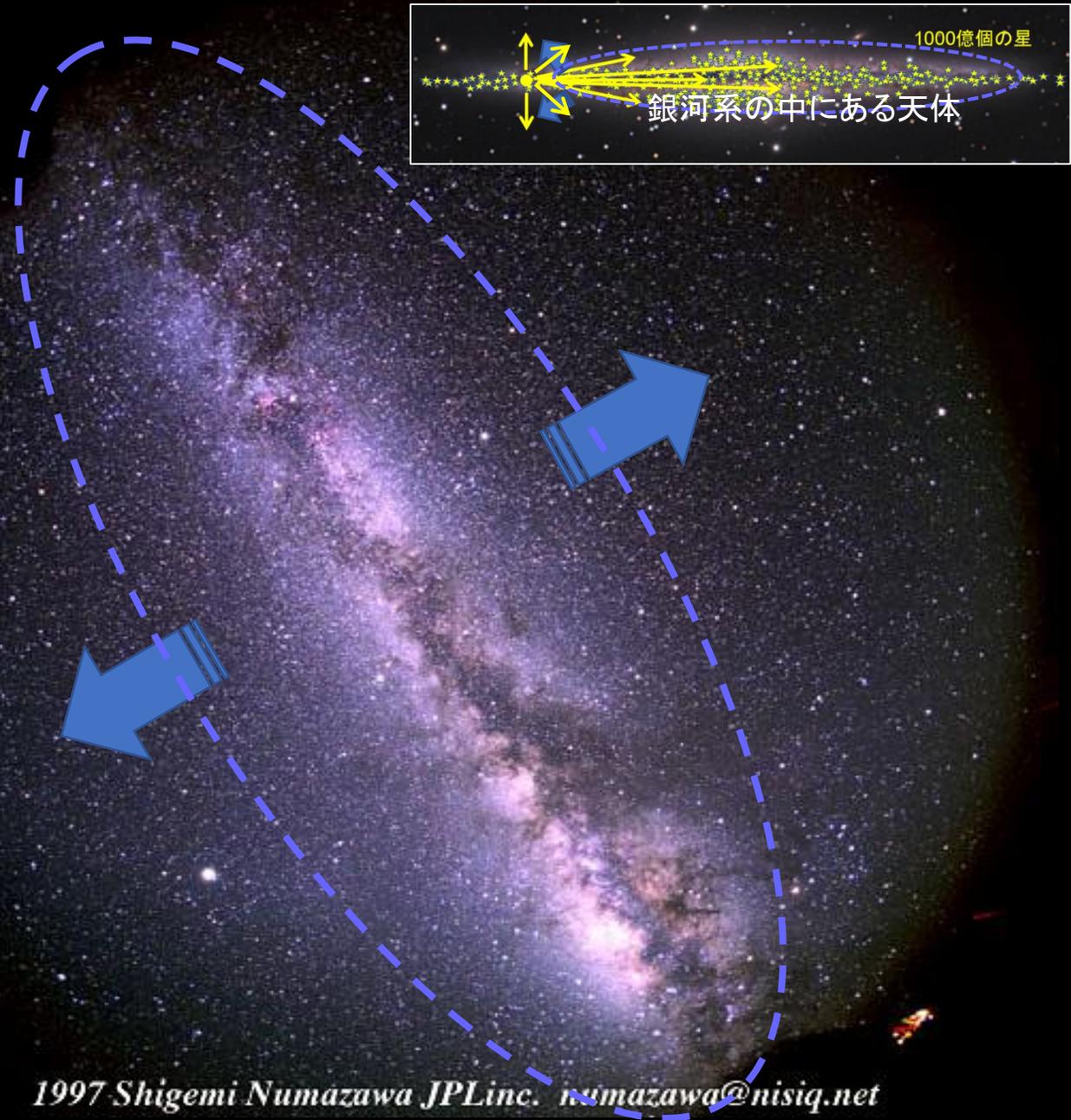
ハッブル宇宙望遠鏡で撮影

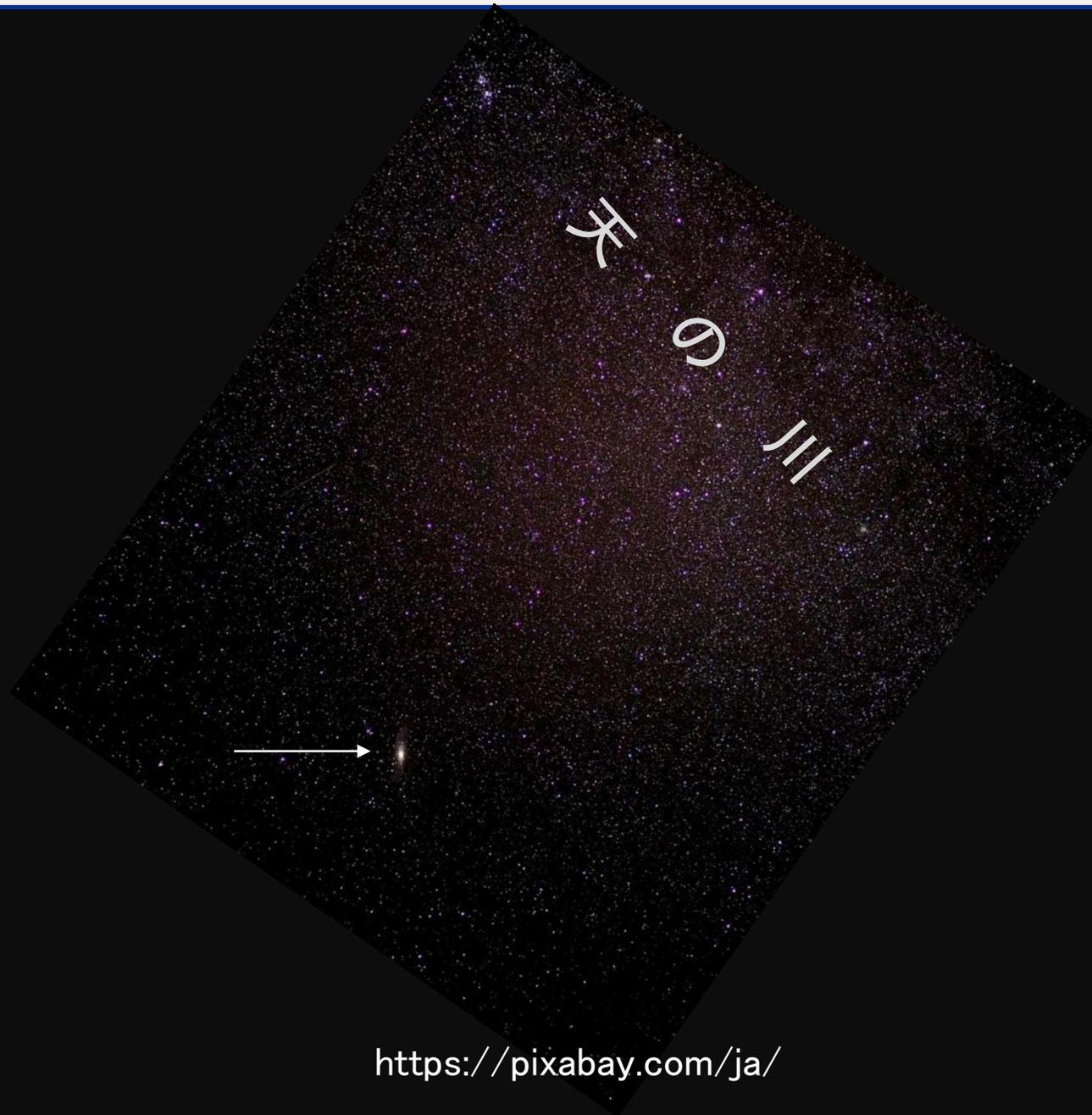
第1週の第3回はここまでです。

第1週：現在の宇宙の姿

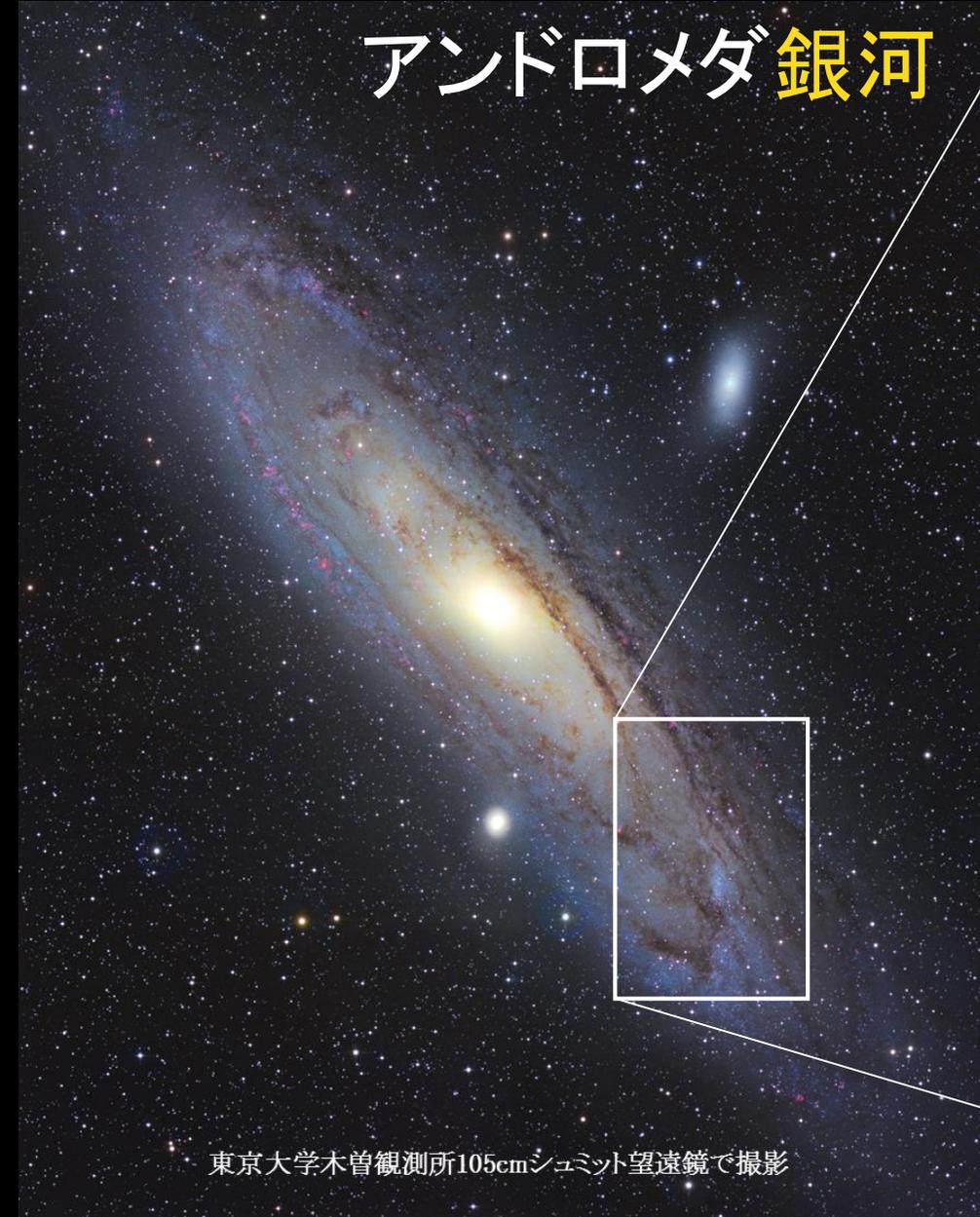
- 1.1 星はなぜ自ら輝くのか
- 1.2 太陽系から星の世界へ
- 1.3 天の川と銀河系
- 1.4 銀河からなる宇宙**
- 1.5 宇宙のスケールモデル
- 1.6 仮想宇宙旅行

1-4. 銀河からなる宇宙

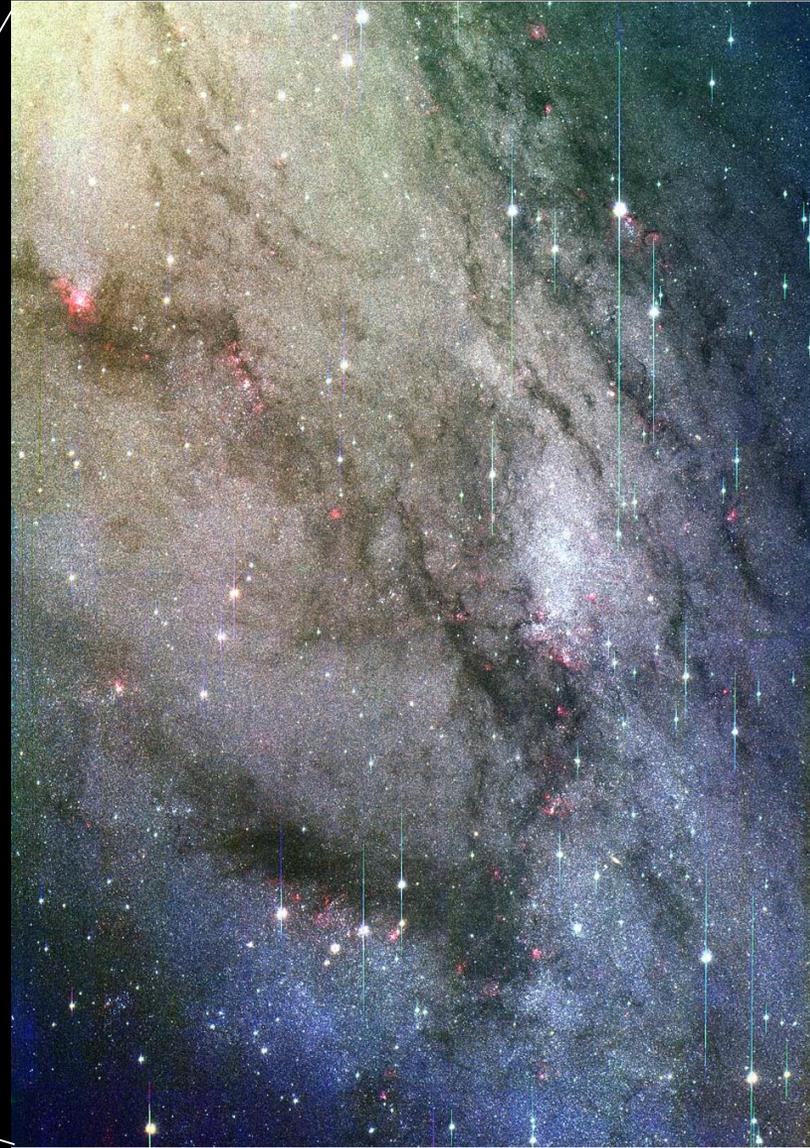




アンドロメダ銀河



東京大学木曾観測所105cmシュミット望遠鏡で撮影

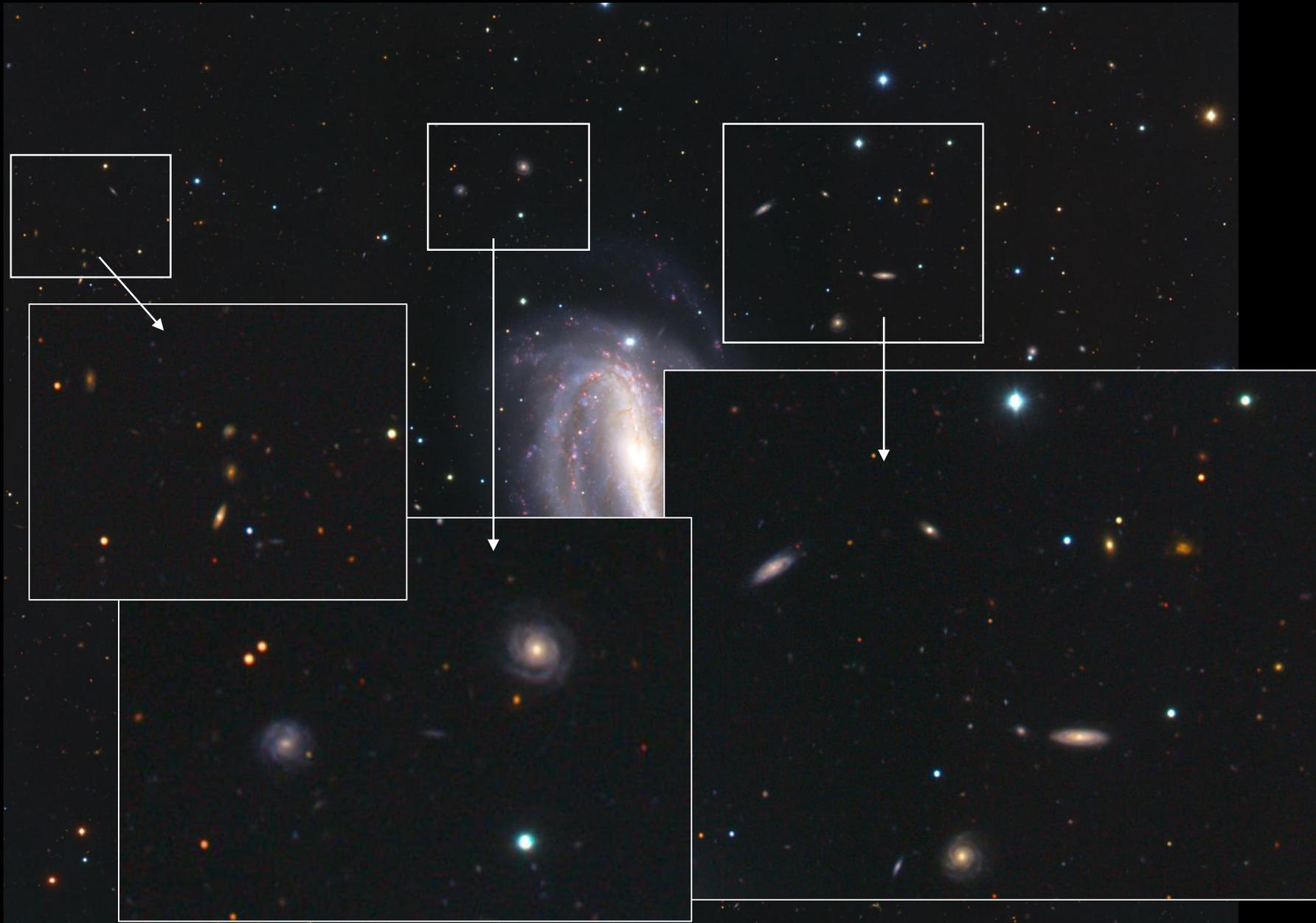


すばる望遠鏡のSuprime-Camで撮影

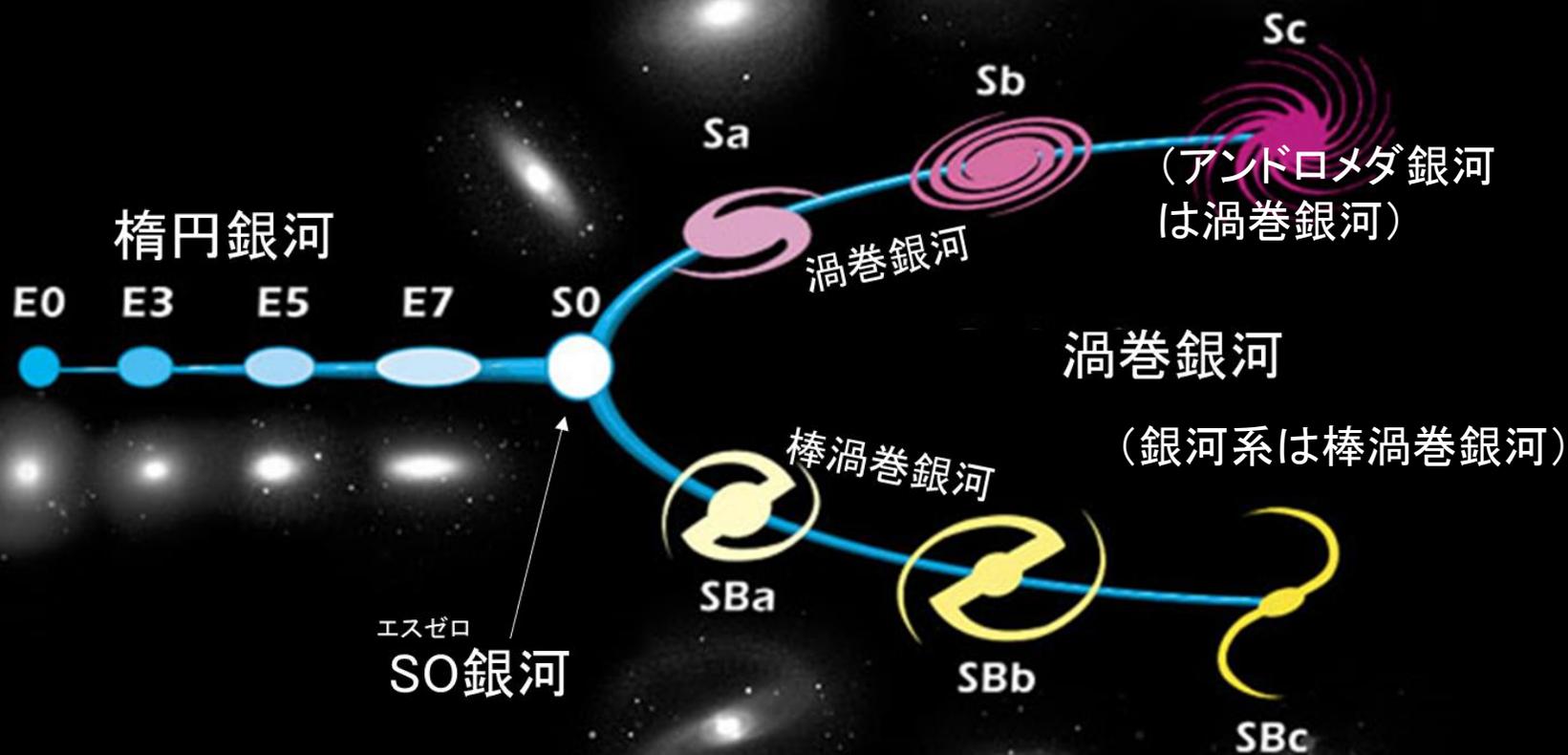
棒渦巻銀河 NGC 7479



国立天文台 すばる望遠鏡Suprime-Camで撮影



エドウィン・ハッブルによる 銀河の分類体系(音叉図)



宇宙は(星というより)銀河からできている

銀河からなる宇宙

星は銀河の中にある
(1つの銀河に約1000億個)

(宇宙にある銀河の数も約1000億個)

銀河

すばる望遠鏡



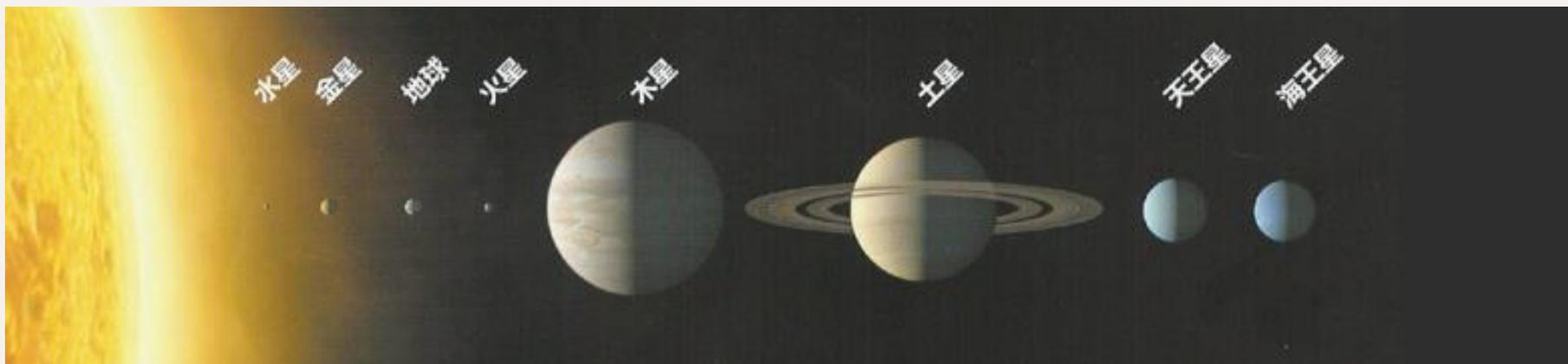
約1000億個の星とガスと塵

第1週の第4回はここまでです。

第1週：現在の宇宙の姿

- 1.1 星はなぜ自ら輝くのか
- 1.2 太陽系から星の世界へ
- 1.3 天の川と銀河系
- 1.4 銀河からなる宇宙
- 1.5 宇宙のスケールモデル**
- 1.6 仮想宇宙旅行

宇宙のスケールモデル



日本学術会議太陽系天体の名称等に関する検討小委員会製作 「新太陽系図2007」より

太陽をピンポン球（直径4 cm）
とするスケールモデル

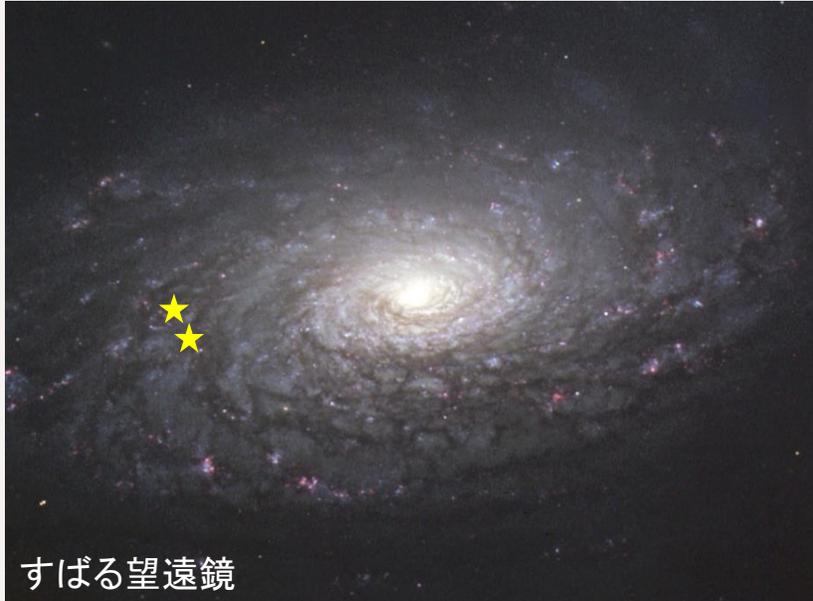
縮尺 350億分の1

地球の大きさは？ 0.4 mm（小さな砂粒）

地球の軌道半径は？ 4 m

海王星の軌道半径は？ 120 m

銀河系には約1000億個の星(恒星)がある



すばる望遠鏡

- ・ 太陽に最も近い恒星
 α Cen (ケンタウルス座 アルファ星)

距離4.3光年 (1.3 pc)

1 パーセク (pc)
= 3.26光年

- ・ 太陽をピンポン玉 (直径4 cm) とするスケールモデルでは α Cenはどこにあるか？

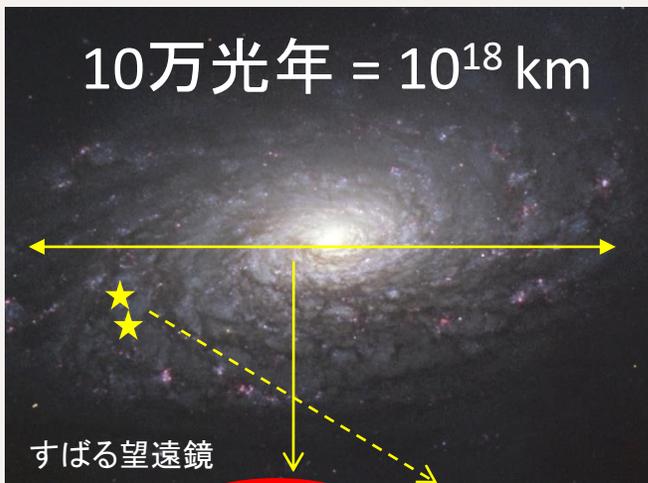
1200 km (距離) / 4 cm (直径)
= 30,000,000

星と星の間はすかすか

- A: 10 km
- B: 100 km
- C: 1000 km
- D: 10000 km

銀河系と隣の銀河

銀河系



すばる望遠鏡

1 m

1200km

距離 230万光年
銀河系直径の**23倍**

縮尺

$$\frac{1}{1,000,000,000,000,000,000,000}$$

アンドロメダ銀河



木曾シュミット望遠鏡

0.04 mm

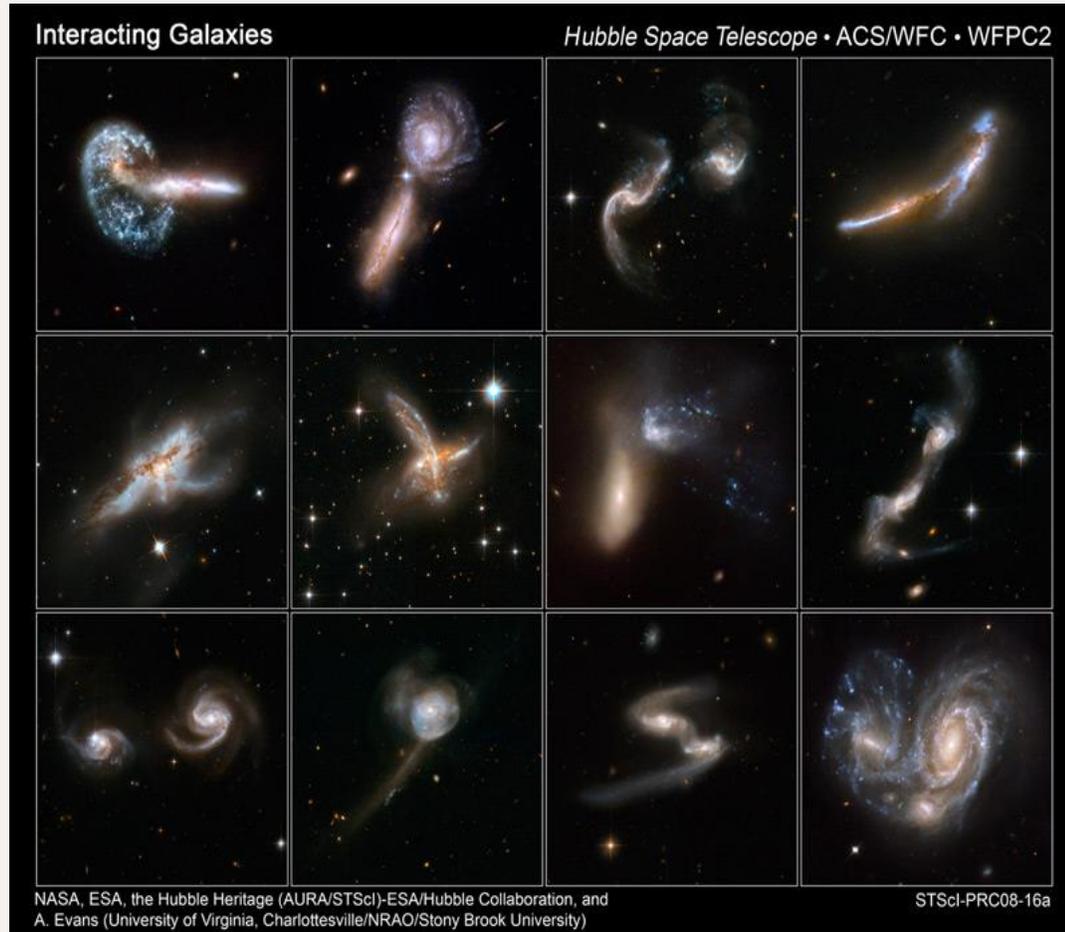
・銀河の中で星と星の間はすかすか
(距離と星の直径の比は**30,000,000倍**)



・宇宙の中で銀河同士は結構混合っている
(距離と銀河の直径の比は**23倍**)

太陽 - α Cen
4.3光年 = 4×10^{13} km

銀河の衝突は宇宙でかなり起きている

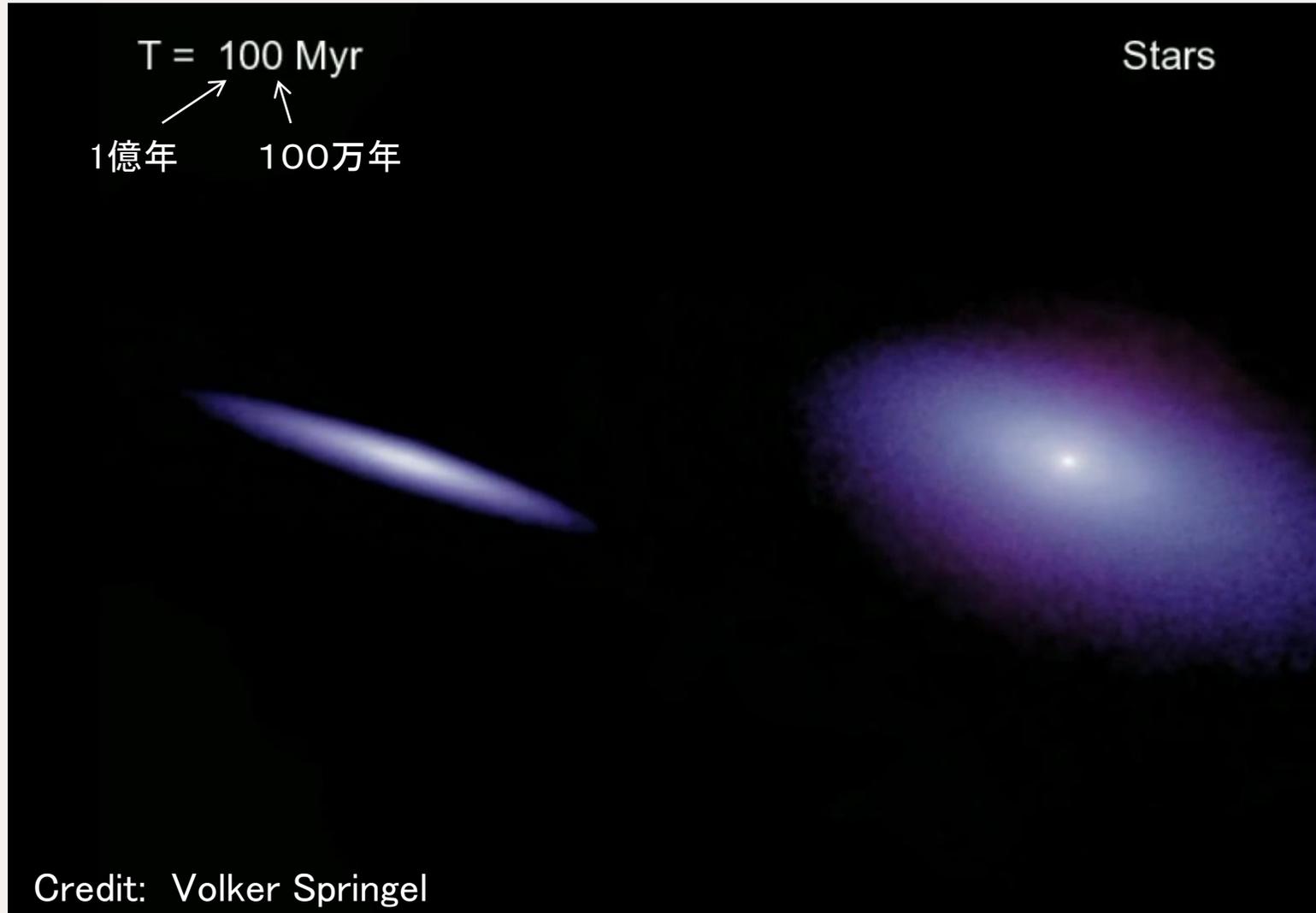


ハッブル宇宙望遠鏡による (STScI-PRC08-16a)

銀河が衝突すると星はどうなるか？

1-5. 宇宙のスケールモデル

Volker Springel (マックスプランク天体物理学研究所, ハイデルベルグ大学) によるコンピュータシミュレーション



第1週の第5回はここまでです。

第1週：現在の宇宙の姿

- 1.1 星はなぜ自ら輝くのか
- 1.2 太陽系から星の世界へ
- 1.3 天の川と銀河系
- 1.4 銀河からなる宇宙
- 1.5 宇宙のスケールモデル
- 1.6 仮想宇宙旅行

第1週のまとめ (1)

これ以降の講義の基礎となる事柄ですので
しっかりと頭に入れましょう。

- ・二種類の星
 - ・星はなぜ輝くか
 - ・太陽系の姿
 - ・星の世界は太陽系の遙か外
- ← きほんのき
- ・宇宙は銀河からなっている。
 - ・銀河の中に星や星雲や星団がある。
 - ・銀河の中の星と星の間の星間空間には
星間物質(ガスとダスト)がある。
 - ・一つの銀河にある恒星の数は1000億個の桁である。
 - ・宇宙にある銀河の数も1000億個の桁である。
- 銀河からなる宇宙

第1週のまとめ (2)

これ以降の講義の基礎となる事柄ですので
しっかりと頭に入れましょう。

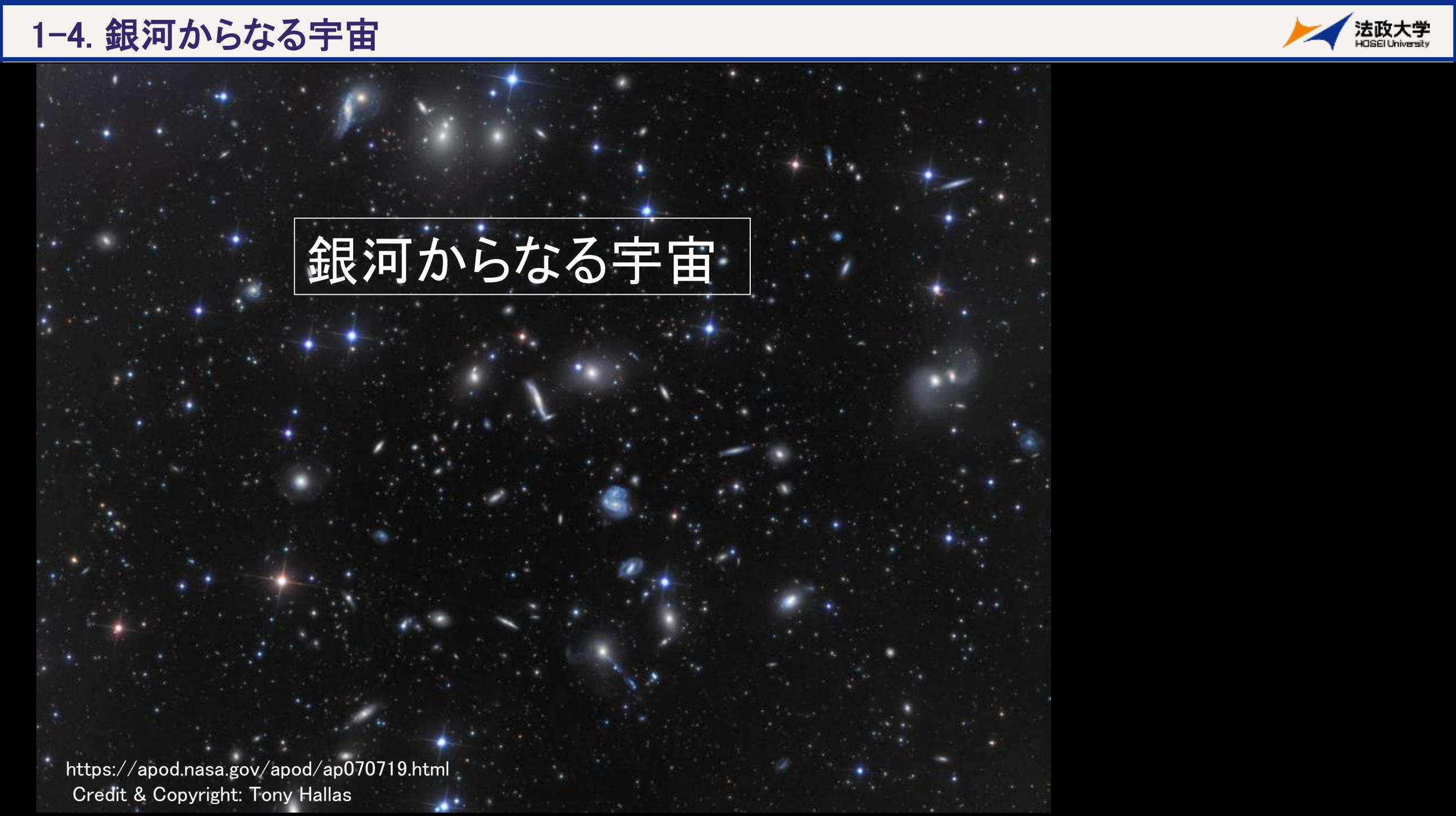
- ・我々の住む(太陽系のある)銀河を銀河系(天の川銀河)と呼ぶ。
- ・天の川は遠い星の集まりで、銀河系を内部(太陽系)から見た姿である。
- ・銀河系は薄い円盤形をした棒渦巻銀河である。
- ・太陽は銀河系の中心から離れた渦巻き腕の中にある。

銀河系と天の川

- ・スケールモデルを使って宇宙の大きさ広さを実感した。
- ・宇宙の中で銀河同士は混み合っているが、銀河の中で星同士は「すかすか」である。

スケールモデル

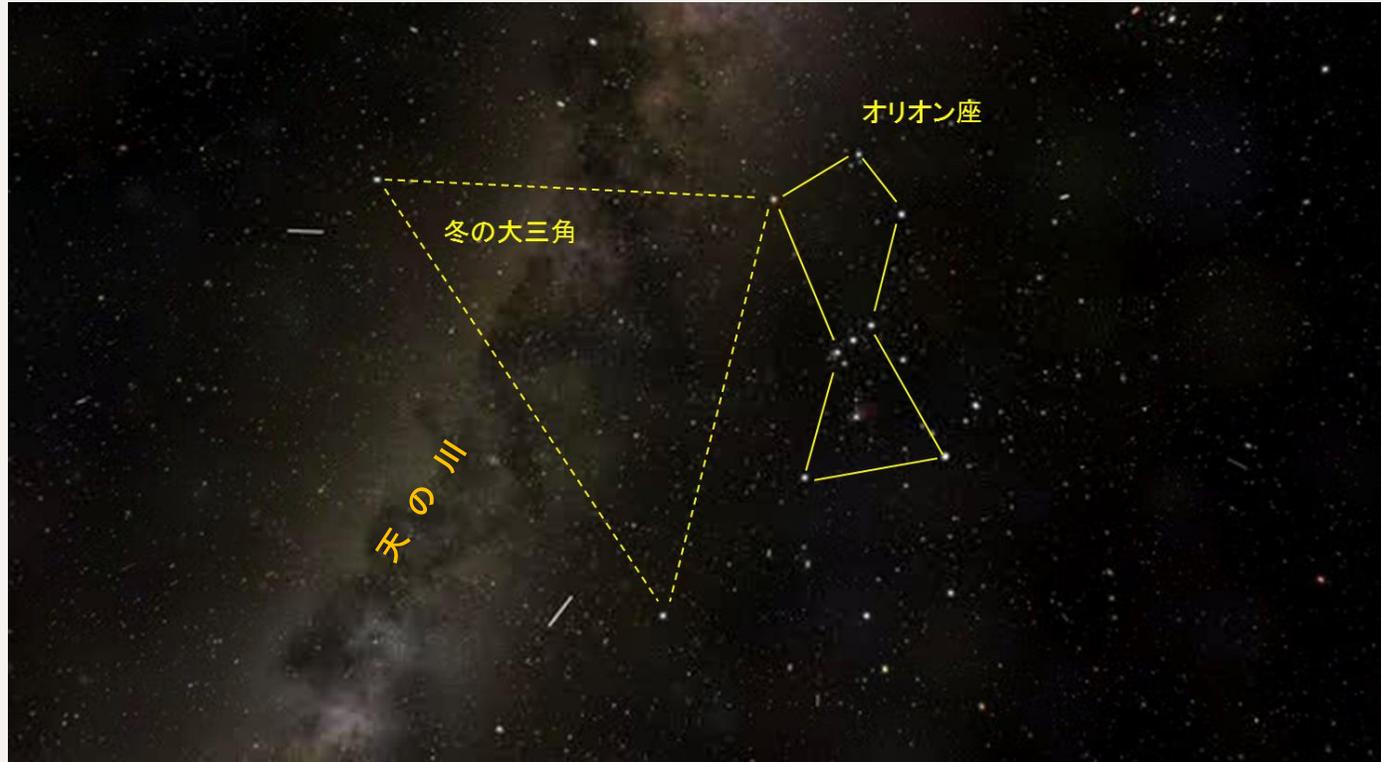
- ・宇宙には銀河分布の大規模構造がある(次のムービーで説明)。



銀河からなる宇宙

仮想宇宙旅行

地球から銀河系を越えて一おとめ座銀河団(6000万光年)まで



マイケル ノーマン (Michael Norman) 教授
カリフォルニア大学サンディエゴ校

YouTubeで "Voyage to the center of the Virgo cluster" を検索する。
<http://www.youtube.com/watch?v=AXHPeX8hz8s>

これで第1週の講義は終わりです。