

# 総合演習

## 「子どもの未来と教育」

長島雅裕（長崎大学教育学部）

### 1. 宇宙と地球

4/16 地球から見た宇宙：宇宙観の発展

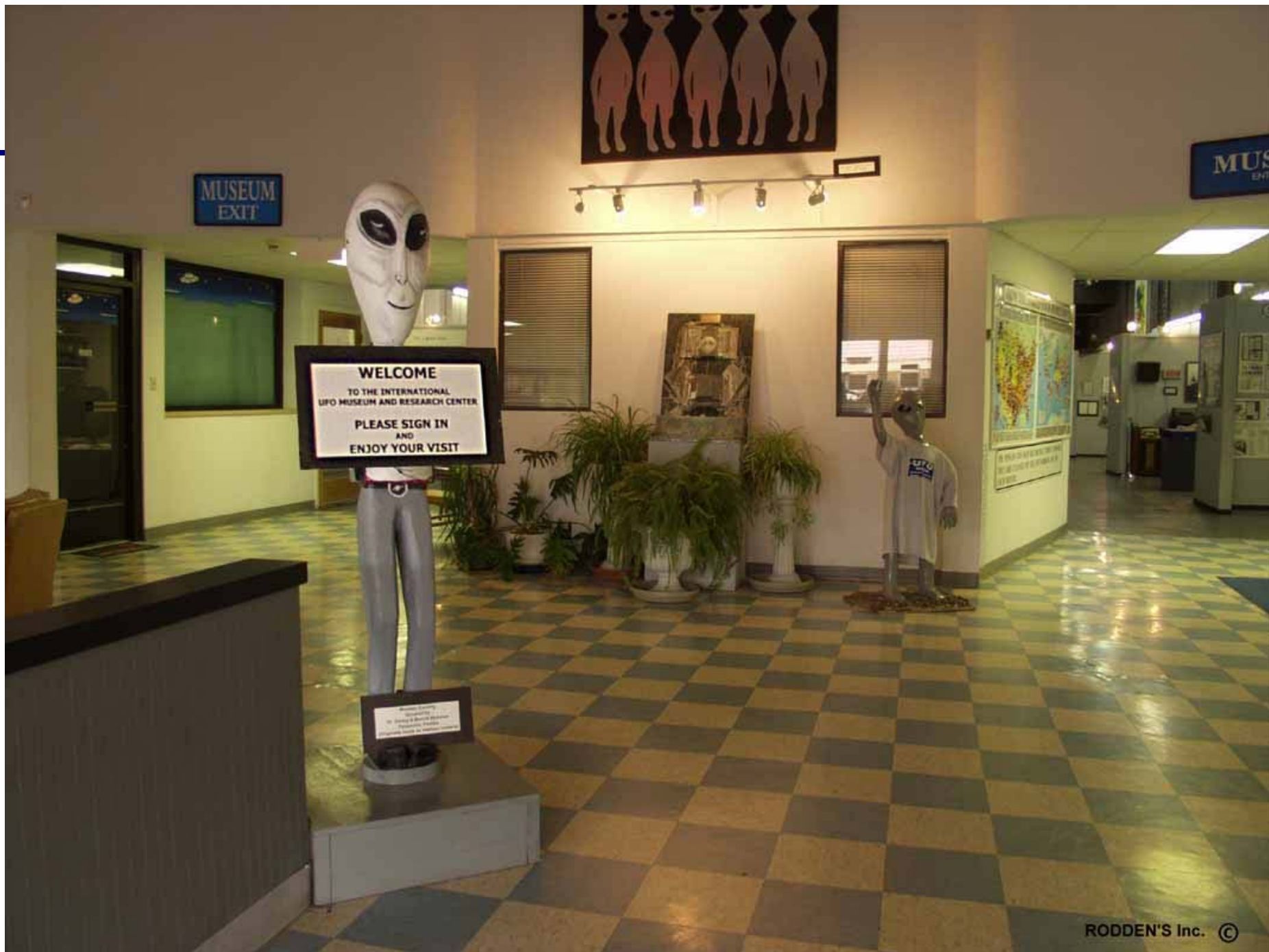
4/23 現代の宇宙論

5/7 **宇宙における地球**

5/14 宇宙における生命（JAXA担当）

この4回では、主として宇宙・地球・生命の自然科学的認識について扱います。

質問は積極的に。私が担当する分について時間外に質問したい場合は、6階624号室まで来てください。



グレイタイプの宇宙人(ロズウェルUFO博物館、New Mexico)

# 宇宙人はいるのだろうか？

---

- 地球人類はどれだけ普遍性を持つか？
- 宇宙における人類（さらには地球上の生命）の位置付けは？

宇宙人について、ここでは敢えて結論は言いません。皆さん考えてみてください。

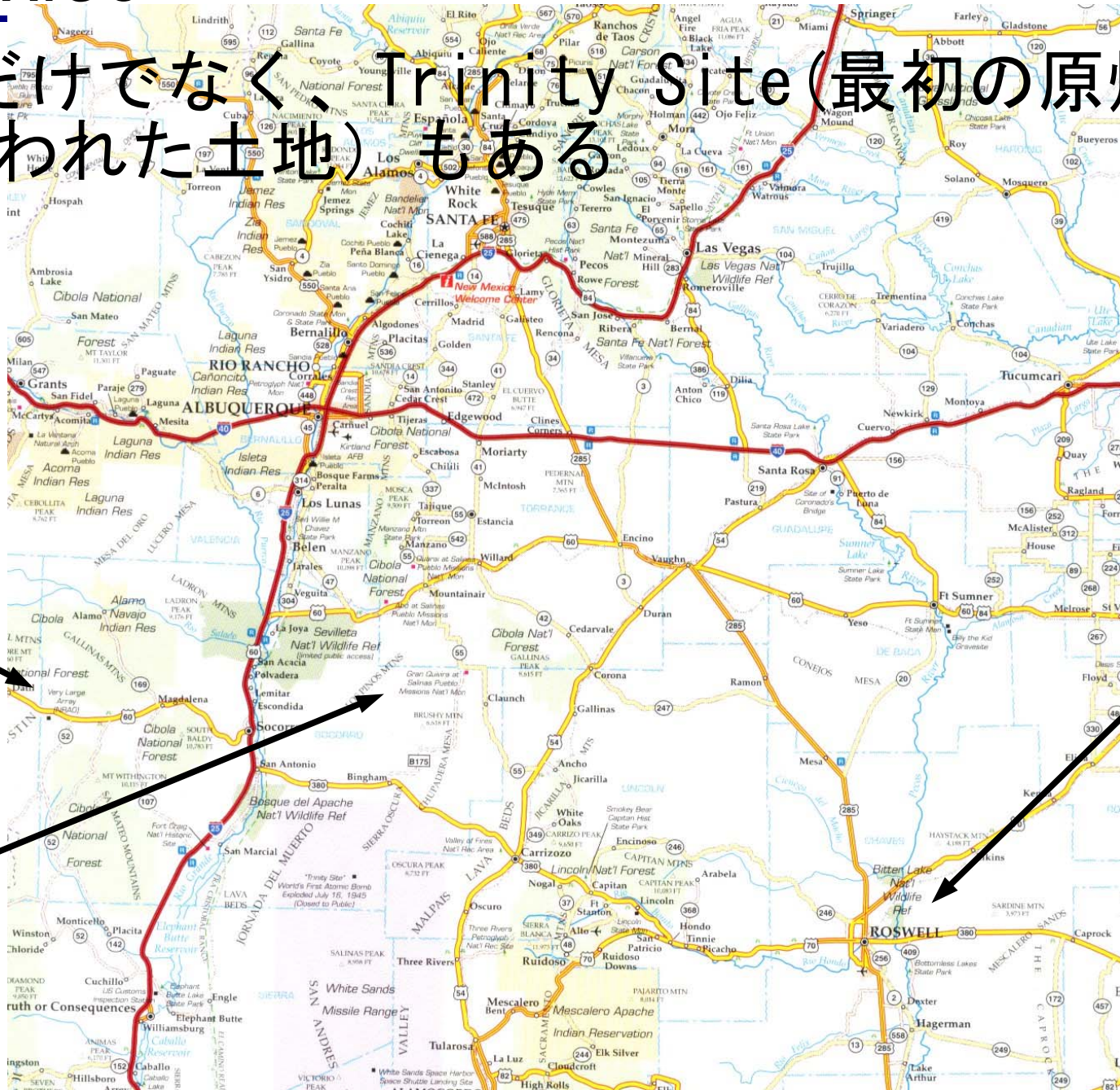
その代わりに、「いのちを育む地球」の宇宙における位置を考えてみたいと思います。

# New Mexicoの電波望遠鏡群



# New Mexico

Roswellだけでなく、Trinity Site (最初の原爆実験が行われた土地) もある



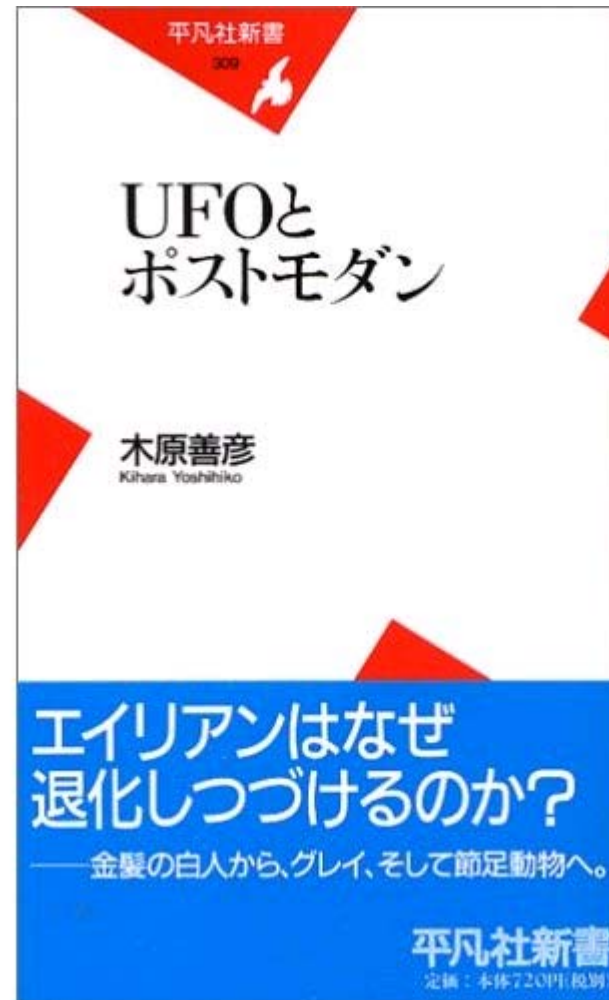
Very Large Array (VLA)

"Trinity Site"  
World's First Atomic Bomb  
Exploded July 16, 1945  
(Closed to Public)

ROSWELL

# 宇宙人についての別の側面

UF0/宇宙人について、正面から論じた本は今回は紹介しません。が、「宇宙人」が社会においてどうとらえられているかを考えるのも面白い





## と、いうわけで・・・

---

- ここから本論。
- どうやって地球が出来てきたのか？
- 地球の存在は特別な意味があるのか？
- まずは前回の復習。

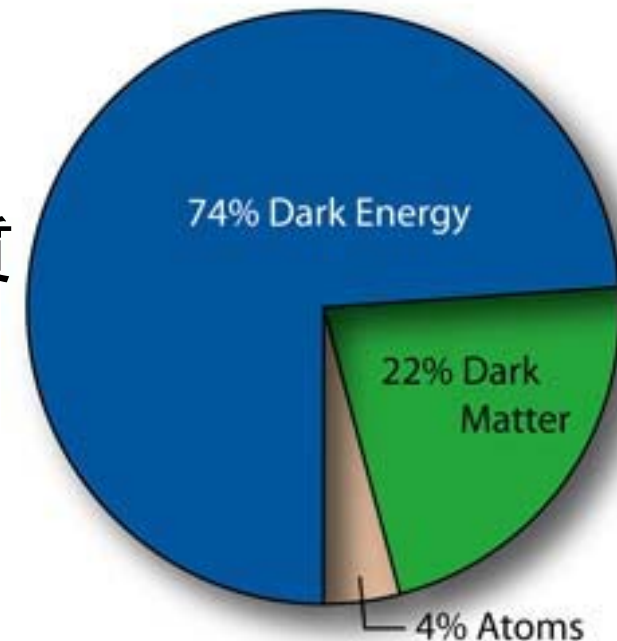


# 宇宙の構成要素

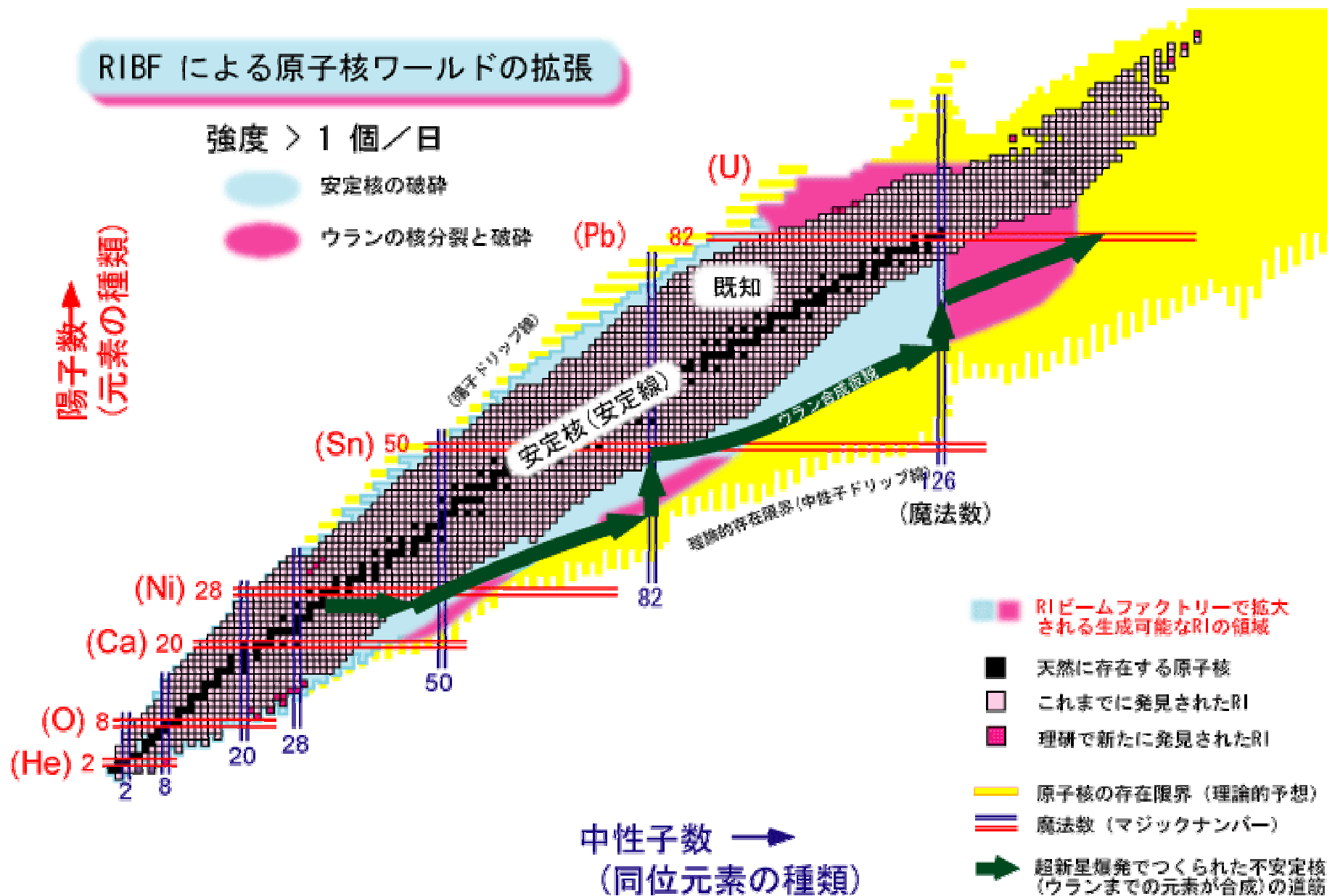
---

最新の観測結果によると、

- ダークエネルギー 74%
  - 真空のエネルギー? よくわかっていない
- ダークマター 22%
  - 未知の素粒子? よくわかっていない
  - 振る舞いは通常物質と同じ
- バリオン 4%
  - 陽子や中性子などの既知の物質



# 核図表 (理研のウェブページより)



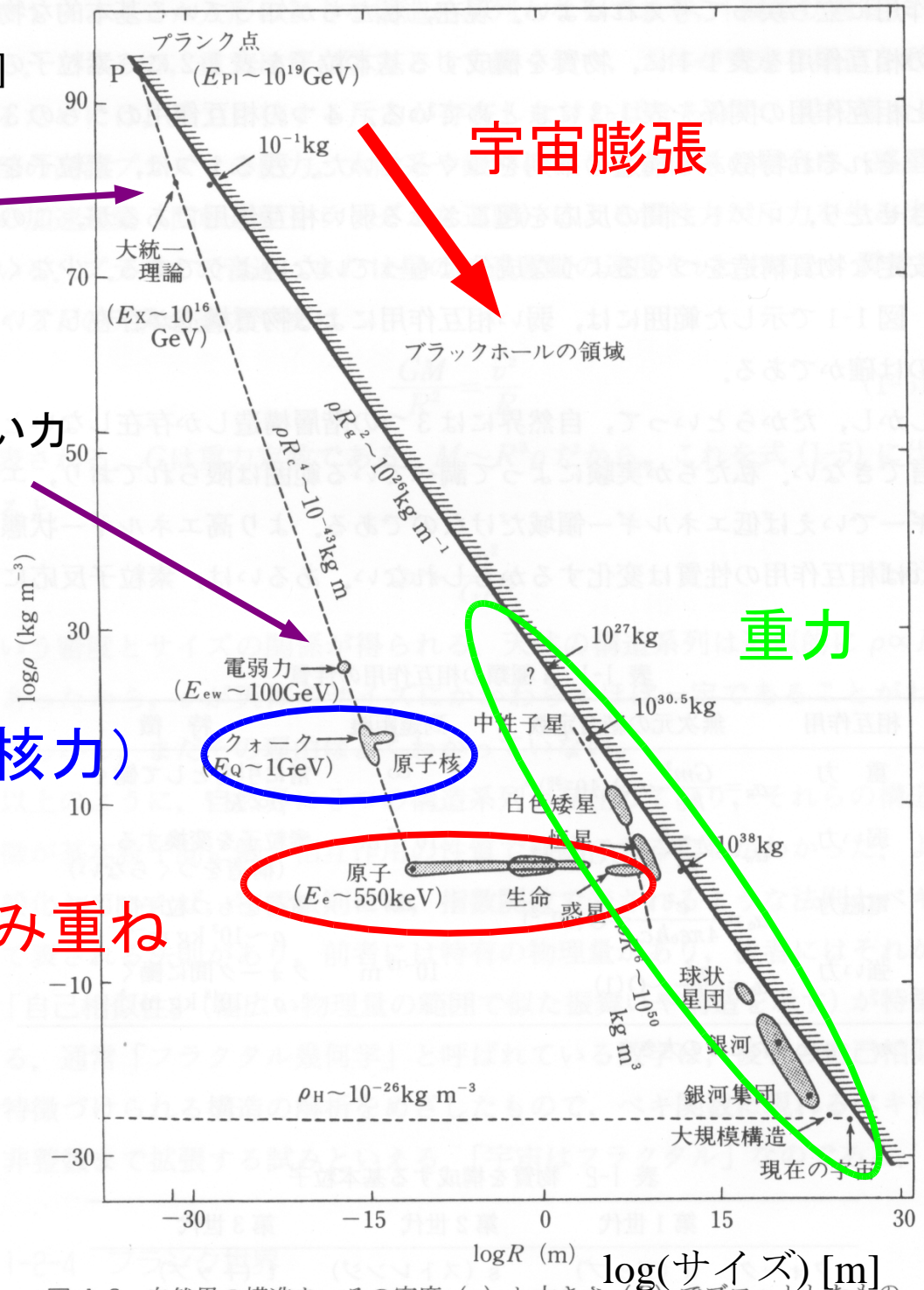
粒子が反粒子よりもほんの少し多くなった？

大統一理論  
電弱力+強い力  
まだ仮設の段階

電弱力=電磁気+弱い力  
(素粒子の標準理論、  
ノーベル賞獲得)

強い力(核力)

電磁気力  
原子の積み重ね



# 元素の起源

---

- 軽い元素 (H, He, Li)
  - 宇宙初期のビッグバン元素合成
- 重い元素 (Liより重いもの)
  - 進化した星、超新星爆発
- 第一世代、第二世代の星は、炭素や酸素などをほとんど持たなかった
- 超新星爆発を繰り返し、(質量比で) 約2%まで重い元素が増え、岩石や生命を生み出す条件が整った

# 太陽

---

恒星（自ら核反応により光っている星）

質量：  $2 \times 10^{30}$  kg（地球の約30万倍）

半径：  $7 \times 10^8$  m（地球の約109倍）

サイズ比の3乗がおおよそ質量比

ただし地球は岩石が主成分のため密度が若干高い

自転周期：約27日

なお、今後太陽の質量や半径を

$$M_{\odot}, M_{\text{sun}}, R_{\odot}, R_{\text{sun}}$$

と書く。

「ひので」による太陽のX線画像

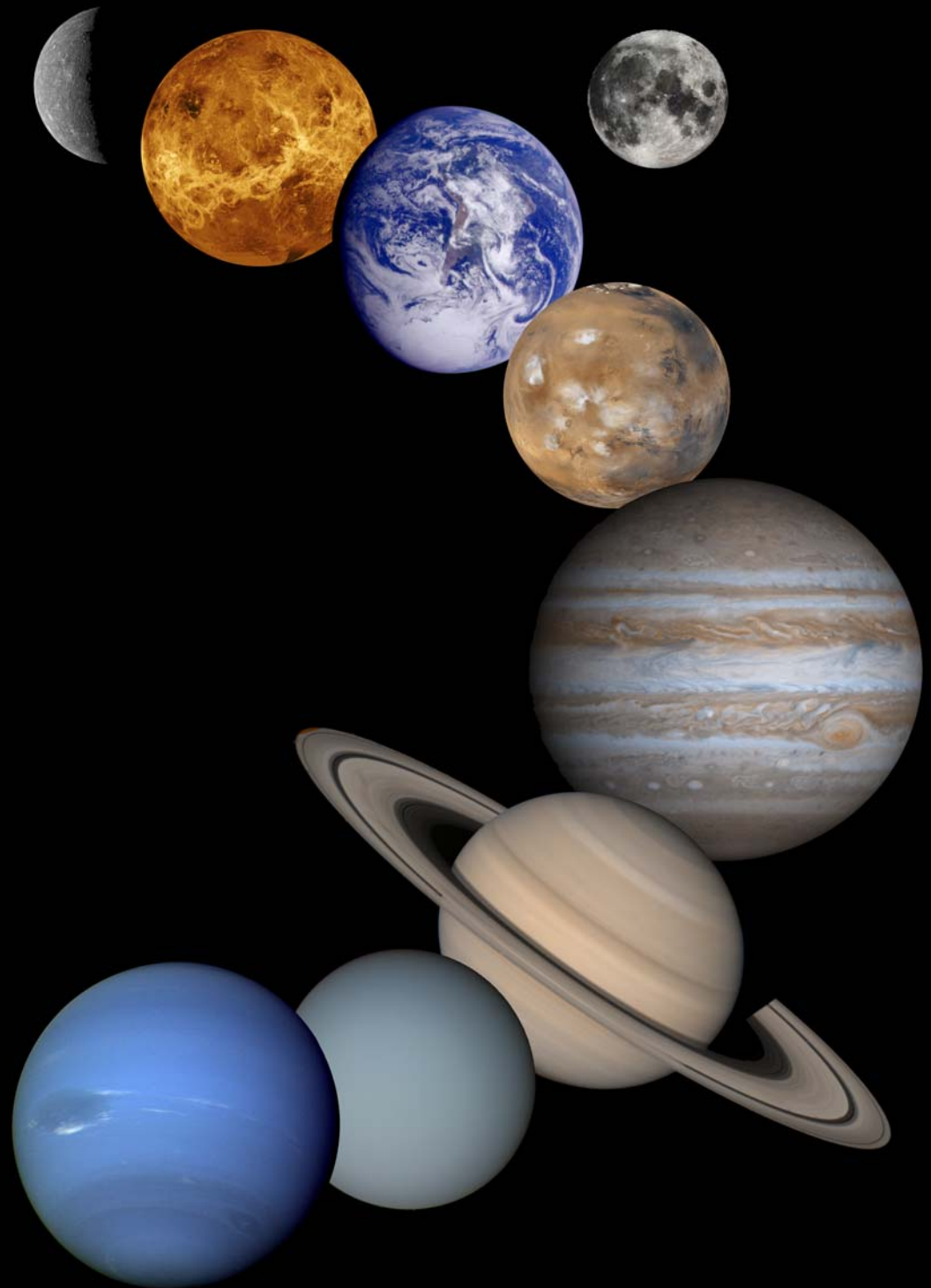


# 太陽系の惑星



水星 金星 地球 火星 木星 土星 天王星 海王星

2007年 5月 5日 20:00



<http://solarsystem.nasa.gov/index.cfm>  
NASAのサイトより

# 惑星

---

## 惑星とは何か？国際天文学連合による決議

### 決議 5 A

国際天文学連合はここに、我々の太陽系に属する惑星及びその他の天体に対して、衛星を除き、以下の3つの明確な種別を定義する：

- (1) 太陽系の惑星(注1)とは、(a) 太陽の周りを回り、(b) 十分大きな質量を持つので、自己重力が固体に働く他の種々の力を上回って重力平衡形状(ほとんど球状の形)を有し、(c) 自分の軌道の周囲から他の天体をきれいになくしてしまった天体である。
- (2) 太陽系の dwarf planet とは、(a) 太陽の周りを回り、(b) 十分大きな質量を持つので、自己重力が固体に働く他の種々の力を上回って重力平衡形状(ほとんど球状の形)を有し(注2)、(c) 自分の軌道の周囲から他の天体をきれいになくしておらず、(d) 衛星でない天体である。
- (3) 太陽の周りを公転する、衛星を除く、上記以外の他のすべての天体(注3)は、small solar system bodies と総称する。



# 用語解説

---

- 重力平衡形状

- 自己重力（自分の質量が自分自身に及ぼす重力）が強いため、デコボコをならし、ほぼ球状になっている
  - 地球上の岩石は、自己重力よりも分子間力等が強いため、球状にならない。

- dwarf planet

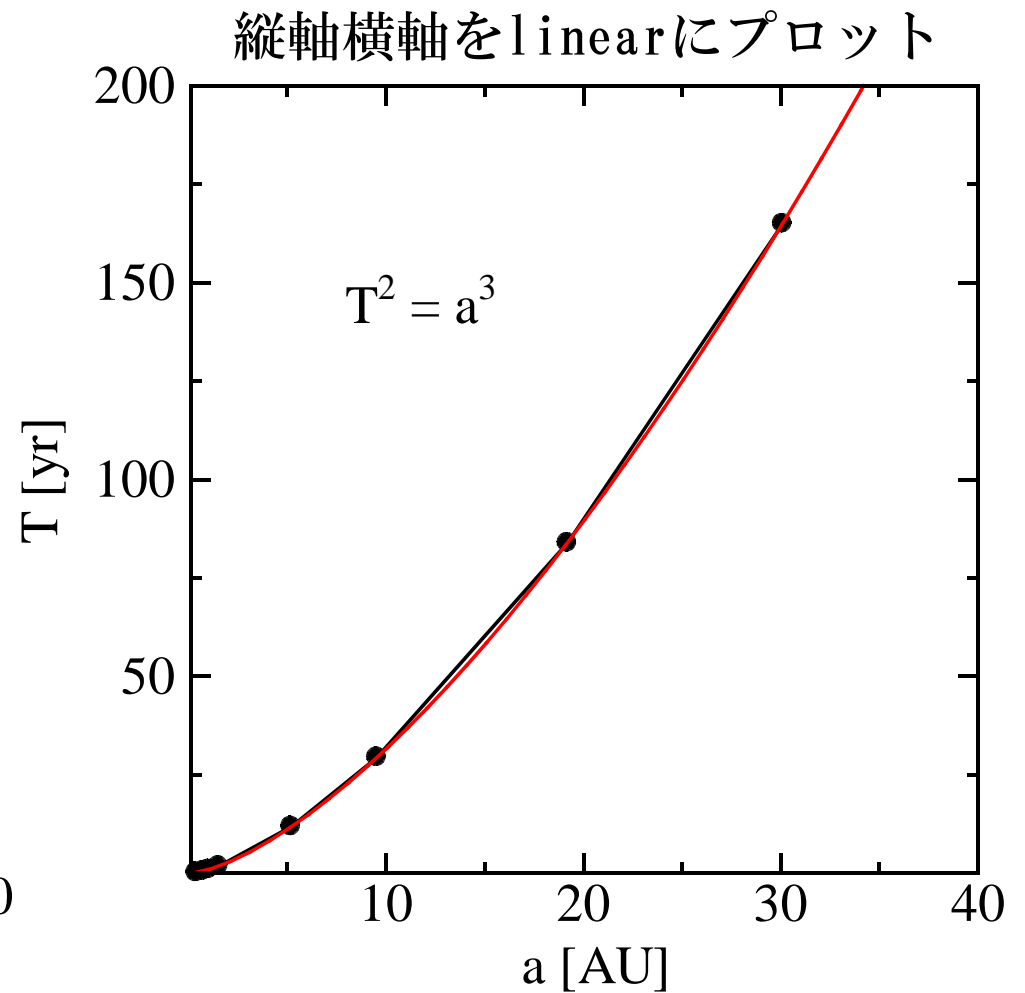
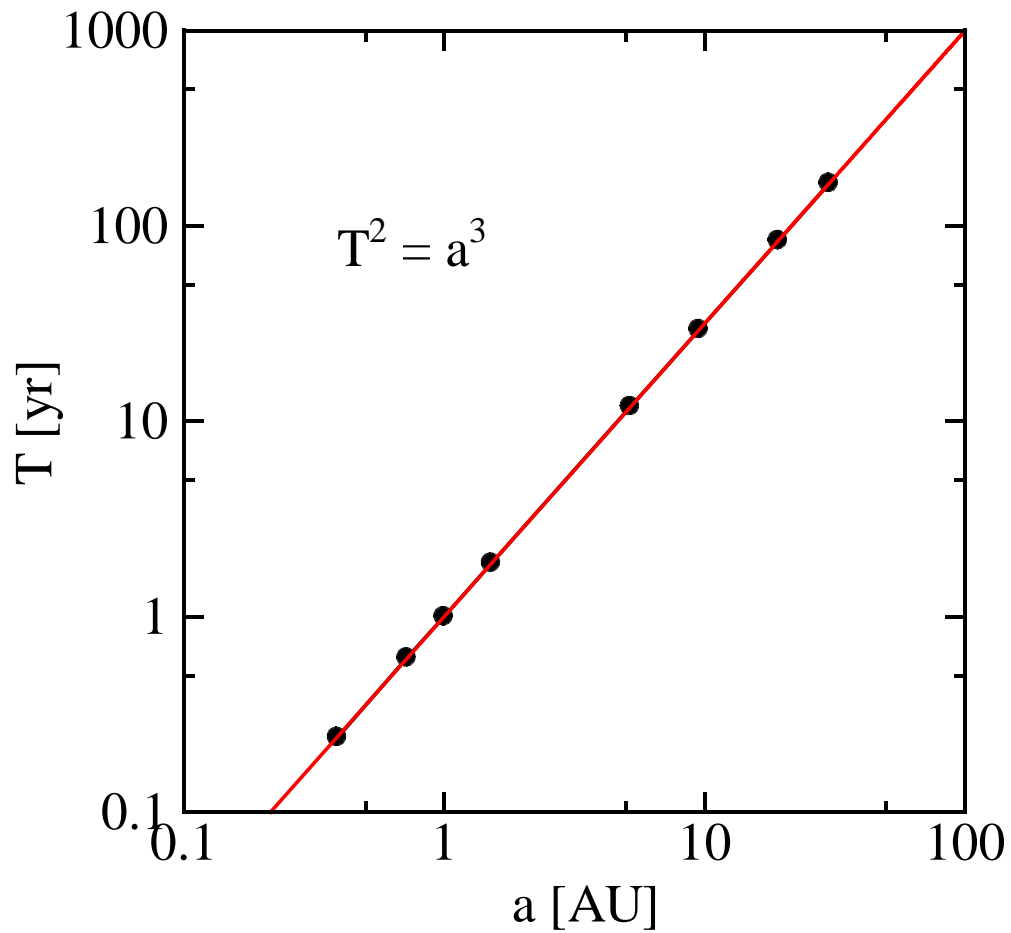
- 仮訳では「矮小惑星」「矮惑星」とされていたが、「準惑星」に統一（2007年学術会議により提案）
- 冥王星など

# 太陽系の惑星たち

	軌道半径 [AU]	質量 [kg]	半径 [m]	公転周期 [年]	平均密度 [g/cm <sup>3</sup> ]
水星	0.39	$3.3 \times 10^{23}$	$2.4 \times 10^6$	0.241	5.7
金星	0.72	$4.9 \times 10^{24}$	$6.1 \times 10^6$	0.615	5.2
地球	1.00	$6.0 \times 10^{24}$	$6.4 \times 10^6$	1.00	5.5
火星	1.52	$6.4 \times 10^{23}$	$3.4 \times 10^6$	1.88	3.9
木星	5.20	$1.9 \times 10^{27}$	$7.1 \times 10^7$	11.9	1.3
土星	9.54	$5.7 \times 10^{26}$	$6.0 \times 10^7$	29.5	0.6
天王星	19.2	$8.7 \times 10^{25}$	$2.6 \times 10^7$	84.0	1.2
海王星	30.1	$1.0 \times 10^{26}$	$2.5 \times 10^7$	165	1.5

AU: 天文単位、地球と太陽の平均距離  
 $1\text{AU}=1.496 \times 10^{11}[\text{m}]$

# Keplerの第3法則の確認



# 惑星の分類

---

- 地球型（岩石惑星、rocky planets）
  - 主成分が岩石
  - 水星、金星、地球、火星
- 木星型（ガス惑星、gas giants）
  - 岩石のコアを持つが、大量のガスもある
  - 木星、土星
- 天王星型（氷惑星、ice giants）
  - 氷が主成分
  - 天王星、海王星

※以前は天王星型も木星型に分類されていた  
なぜ、このように様々なタイプがあるのか？

# 質量分布と角運動量分布

---

- 分布の片寄り…形成過程説明への手がかり
- 質量分布
  - 質量の大半が太陽にある
  - 太陽質量は惑星質量の約千倍 ( $10^3$ 倍)
- 角運動量分布
  - 大半が惑星にある  $r^2 \dot{\theta} = r v$
  - 太陽の自転角運動量  $L_{\odot} \simeq M_{\odot} R_{\odot} V_{\odot} \simeq 1.2 \times 10^{-1} M_E \text{ AU yr}$
  - 木星の軌道角運動量  $L_J \simeq M_J a_J V_J \simeq 1.5 \times 10^4 M_E \text{ AU yr}$
  - 惑星の角運動量は太陽の1万倍 ( $10^4$ 倍) 以上

# 太陽系形成を理解するためには

---

- 惑星は星形成の副産物
- つまり、星（太陽）がどうやってできるかを理解しなければいけない
- これはこれで大変なので、次回以降触れます
- 今回は簡単に、銀河内での物質の循環を示し、星がどのようにできるか理解します。

→ムービー

# 太陽系の形成過程：京都モデル

---

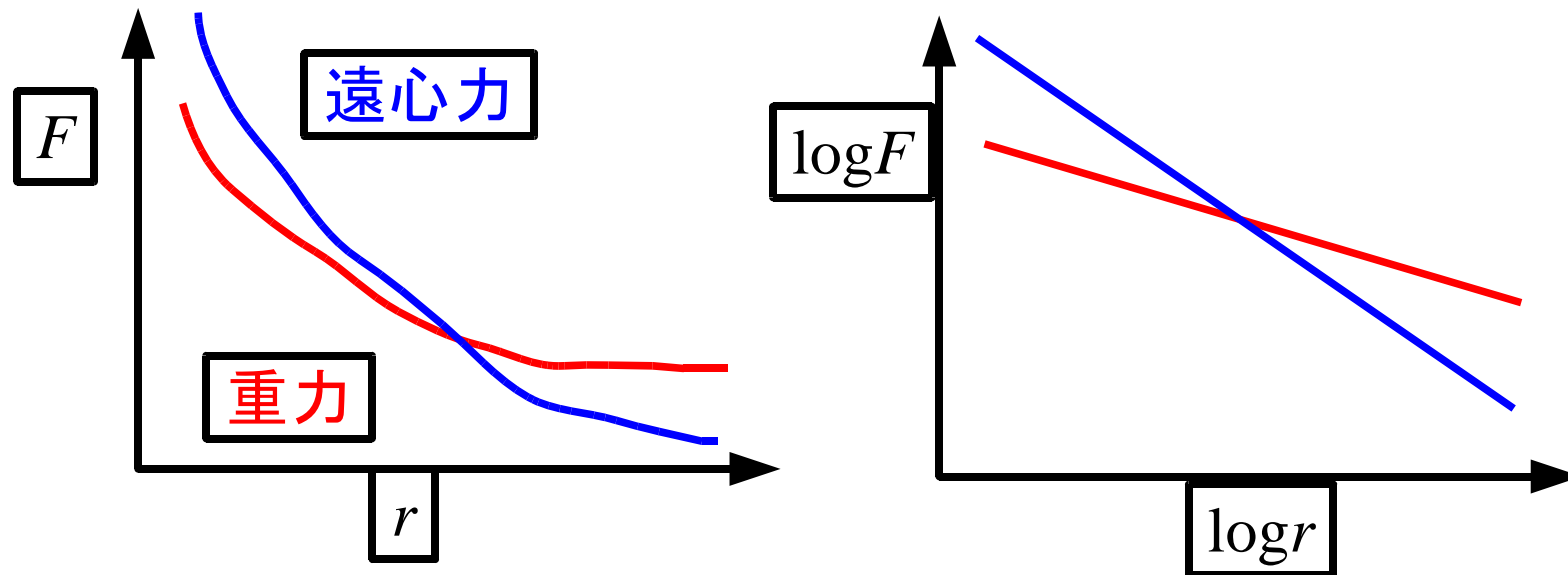
1. 銀河系内の濃いガス雲（ガス＋ダスト[塵]）が自己重力により収縮
  2. 中心の高密度領域に太陽が形成、太陽の周囲には遠心力で支えられた円盤←原始太陽系円盤
  3. 円盤内のダストが鉛直方向に沈殿
  4. ダスト層の密度が十分高くなると、ダストの自己重力により分裂→微惑星（～km）
  5. 微惑星同士の合体成長により大きくなる→地球型惑星
  6. ある程度大きくなると、周囲のガスも引き付ける→ガス惑星
  7. 何らかのメカニズムでガス消失
- 80年代に京都大学グループにより提唱（世界標準）

# 円盤の形成

- 重力  $F_G = \frac{GMm}{r^2} \propto r^{-2}$

- 遠心力  $F_C = \frac{mv^2}{r} = \frac{L^2}{mr^3} \propto r^{-3}$   $L = mrv$

- 物質が太陽重力に引かれて落下してくると、必ず、どこかで遠心力のほうが強くなる





# 円盤の形成

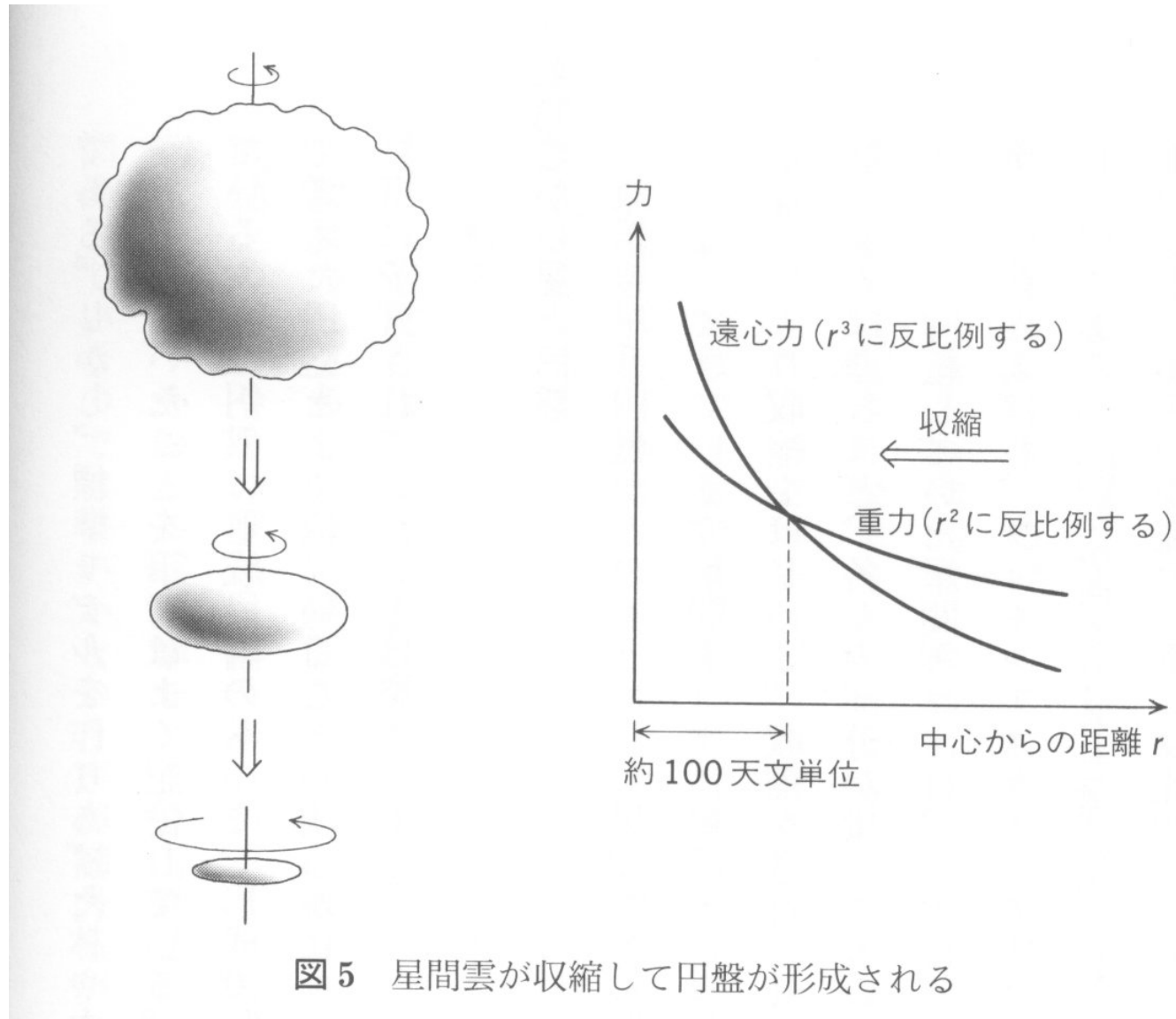


図5 星間雲が収縮して円盤が形成される

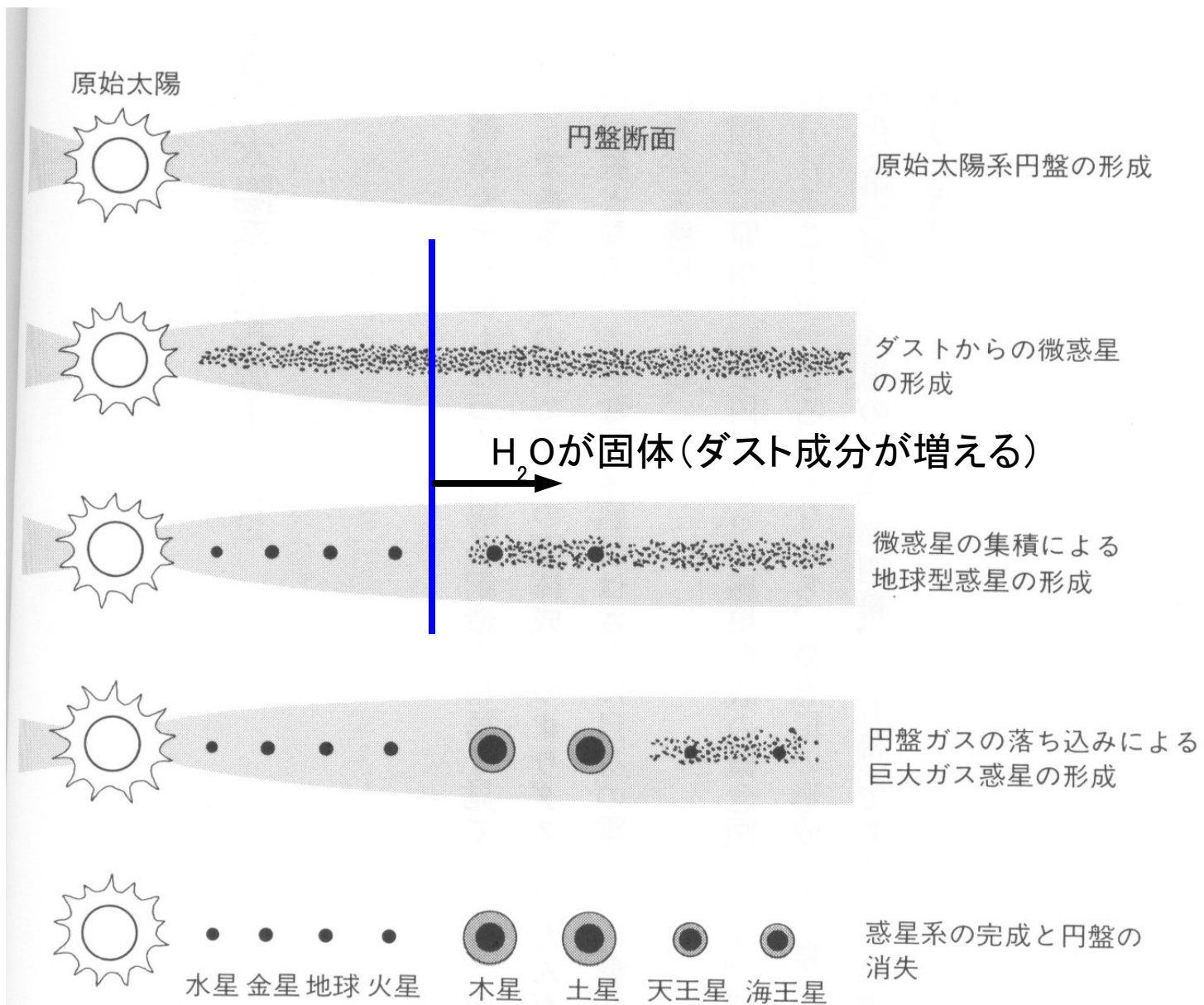
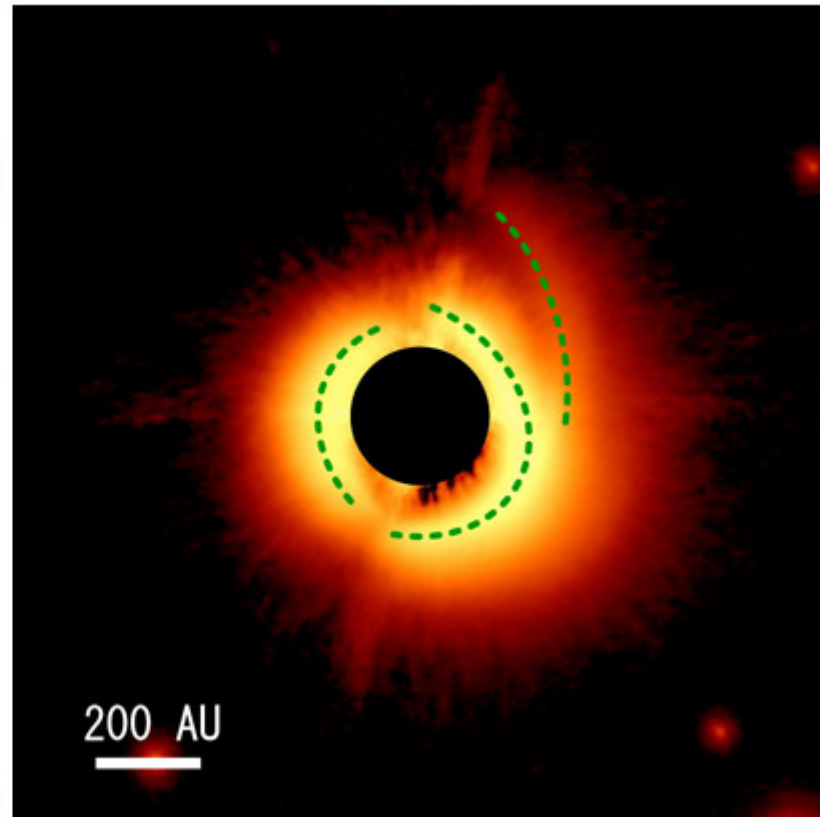
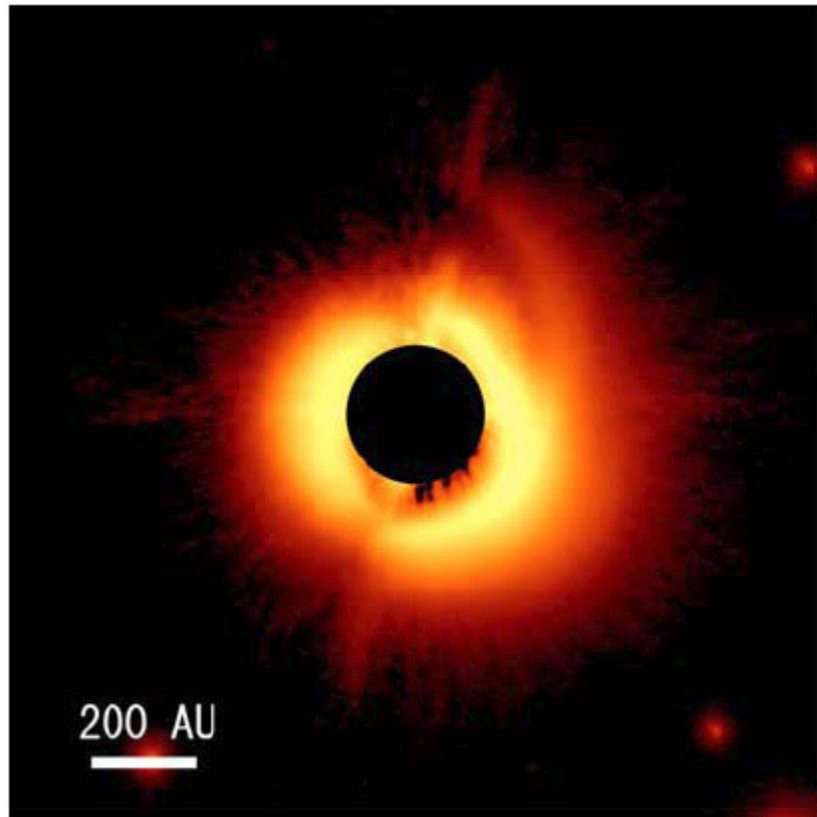


図7 原始太陽系円盤から惑星ができるまで

# 見えてきた原始惑星系円盤

---

「すばる望遠鏡」によって撮影された、画期的な画像。中心部は明るすぎるためマスクされている。



# 惑星形成の理論シミュレーション

---

- 惑星形成の様々な段階に焦点を絞った理論シミュレーションも行われている
- 重力多体問題専用計算機「GRAPE」による計算結果のムービー

# 残された問題点

---

完全に惑星形成が解明されたわけではない

- 本当にダストが沈殿して高密度の円盤ができるのか？
- 微惑星は、ガスとの摩擦により角運動量を失い、中心部に落ちようとする→安定に軌道上にいられるのか？
- 円盤上のガスはどうやって消失した？（現在は残存していない）

など、問題は色々ある。

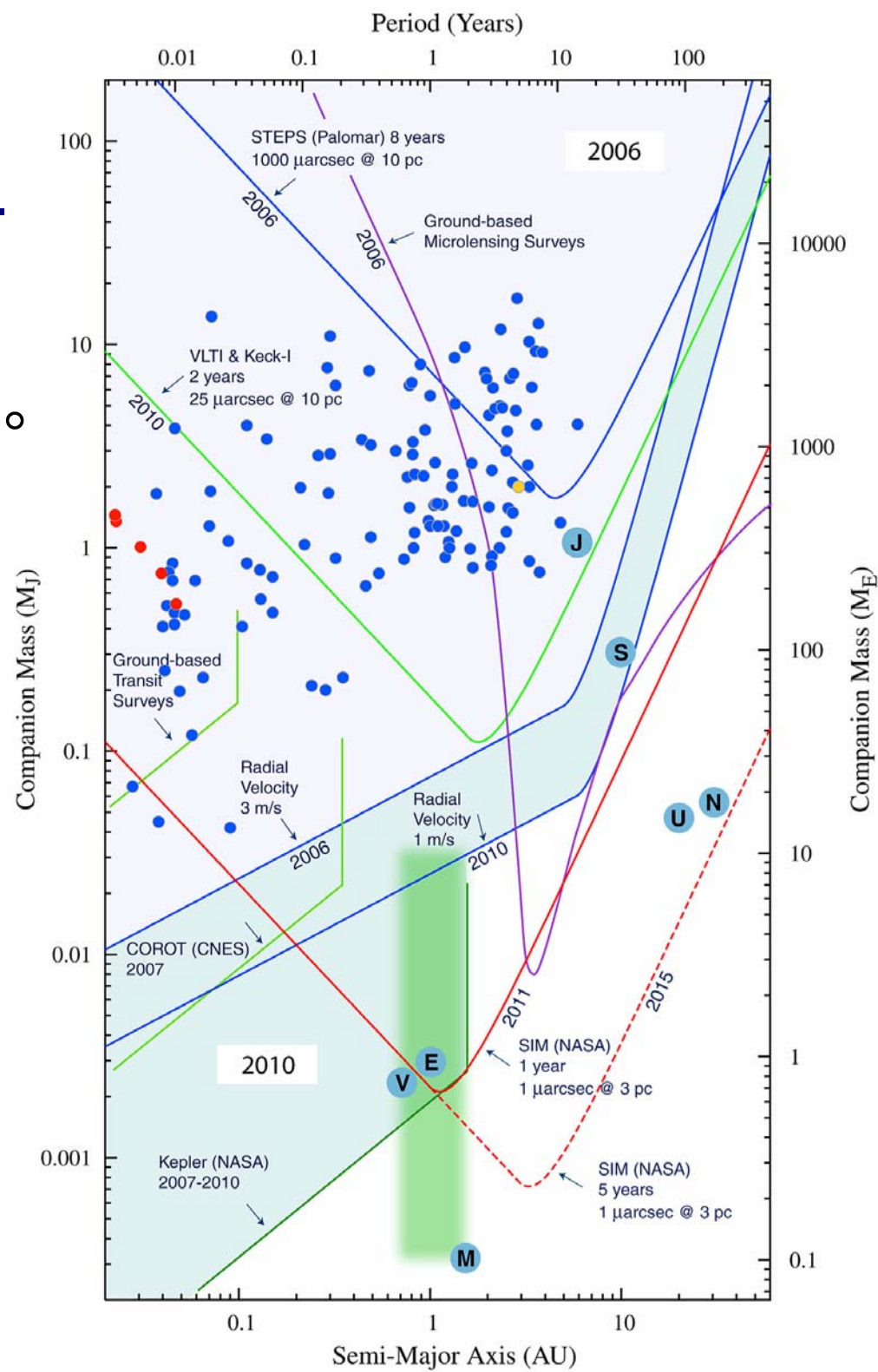
が、計算機の発達、観測装置の発達により、いづれ解明されるであろう。

# 太陽系外惑星の発見

---

- 太陽以外の恒星のまわりを回る惑星
- 1995年、Michel Mayor と Didier Queloz により発見（ペガサス座51番星、 $a=0.05\text{AU}$ 、木星程度の質量→太陽系とは随分と異なる）
- 現在までに、すでに200以上の系外惑星が発見されている
- 2007年4月26日、ESO（ヨーロッパ南天天文台）は、地球のわずか5倍の質量、 $0.073\text{AU}$ の距離を13日で公転する惑星を発見。中心星が暗いので、液体の水が存在するかも？
- 地球型惑星の発見ももうすぐ！？

発見されている系外惑星の特徴。  
 縦軸：惑星の質量  
 横軸：軌道長半径



# 系外惑星の見つけ方

---

主に二つ：

- ドップラーシフト法

- 惑星の質量が大きく中心星の近くにいると、中心星も惑星の影響を受けてほんの少しふらつく
- ふらつき具合をドップラー効果を使って測定
- 大質量で中心星に近い惑星探しに有利

- トランジット法

- 惑星が中心星の手前を横切るとき、ほんの少し暗くなる（日食と同じ）のを測定
- 我々が軌道面内にいないといけない
- サイズの大きい惑星探しに有利



# 系外惑星の現状

---

- 探査法によるバイアスのため、
  - 中心星に近く（軌道半径が小さく）、
  - 大質量の（木星型）惑星、が見つかっている。
- 観測精度の向上、観測時間の伸びにより、やがて中心星から遠い、軽い惑星も見つかるであろう
- 太陽系とは随分と異なる惑星系が多数発見されてきた。太陽系は特殊なのか？違いは何によって決まるのか？

# 系外惑星系形成の理論

まだ仮説の段階だが . . .

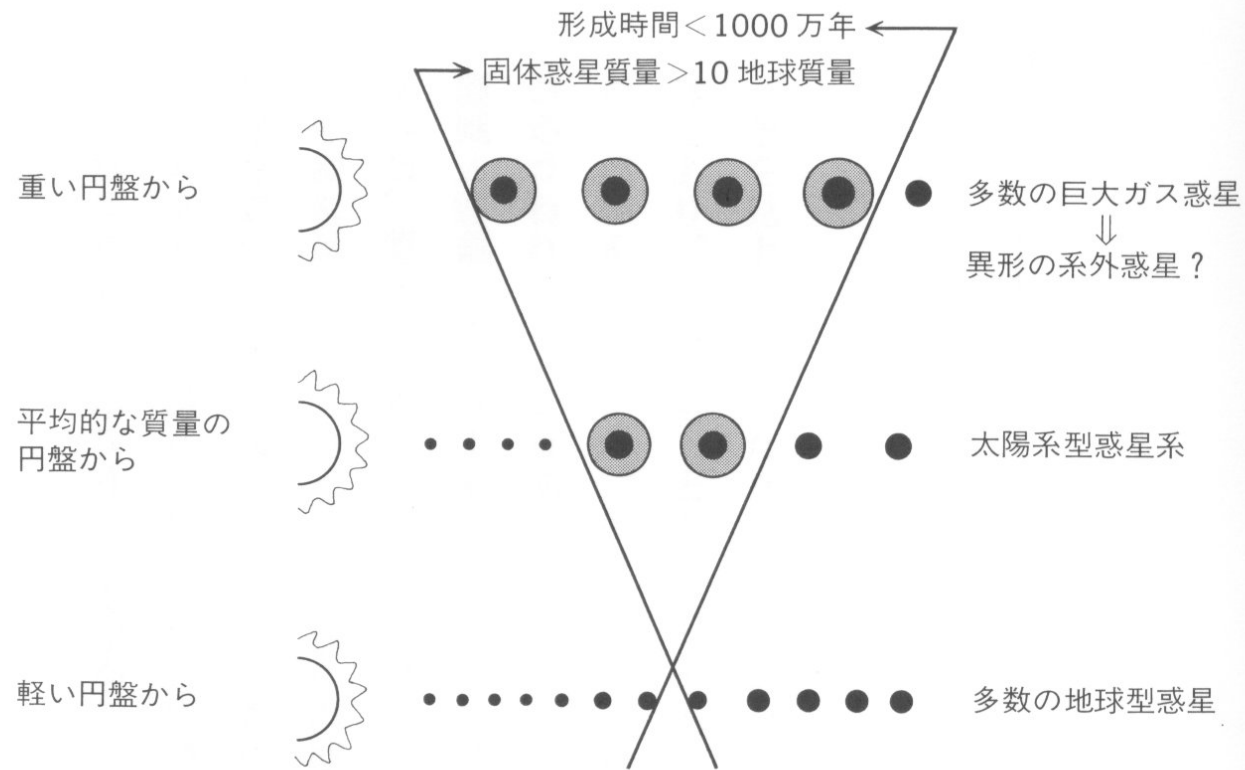


図 20 円盤質量の違いが生む、惑星系の多様性

# もし地球型惑星が見つかったら

---

- ただちに生命の痕跡がないか調べられるであろう
  - オゾンの存在など
- もし生命があるとわかったら？
  - 天文学にとどまらない衝撃
  - 自然科学だけでなく、社会、文化、文学、宗教に至るまで、大きなインパクト
- アメリカの一部の州ではいまだに学校教育で進化論と創造説（やインテリジェント・デザイン説）を並列に教えよと主張している。  
いったいどうなるか・・・

# 生命はどのようにして誕生するか？

- 研究ははじまっている
- 地球型惑星の存在は例外なのか？
- 生命を育む地球は例外なのか？ 生命の誕生は普遍的なのか？

# 人類

---

- 人間など大宇宙に比べれば大変小さく、限られた空間しか移動できず、ちっぽけな存在である。
- しかし、そのちっぽけな存在が、宇宙の進化、生命の誕生を議論するまでになってきた
- これはすごいこと
- 人間の「限界」と「偉大さ」の両方を常に認識してほしい、と思います。