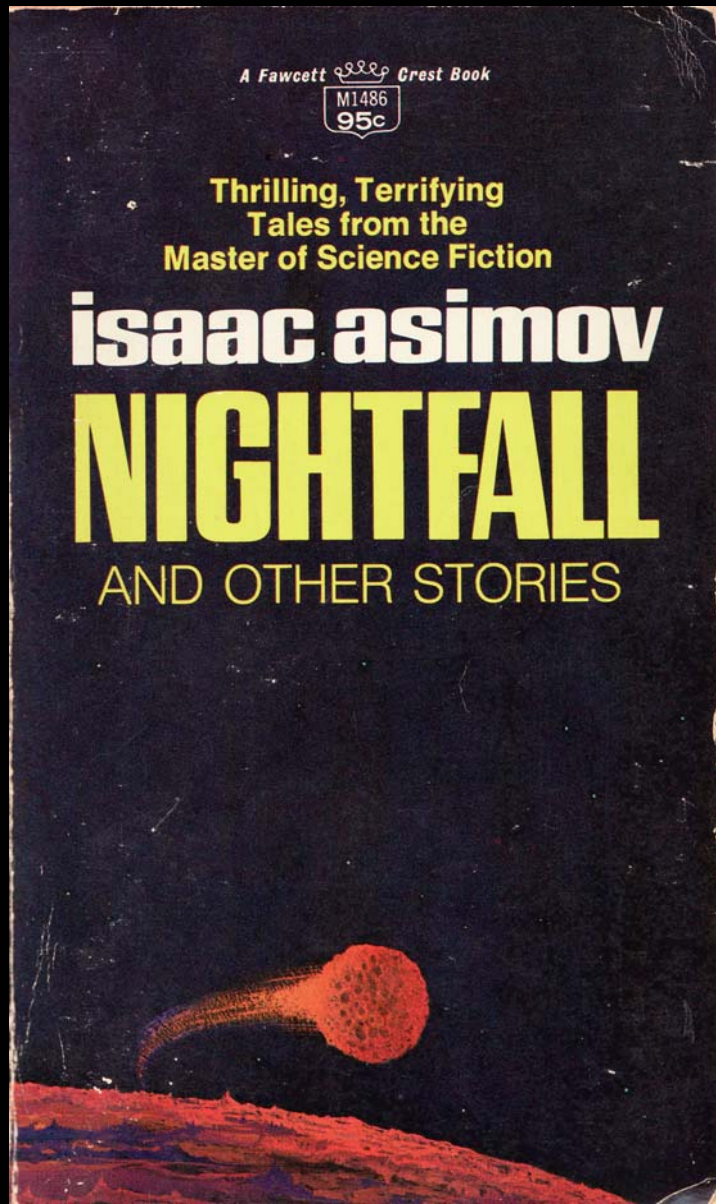


② 我々は何も知らなかった

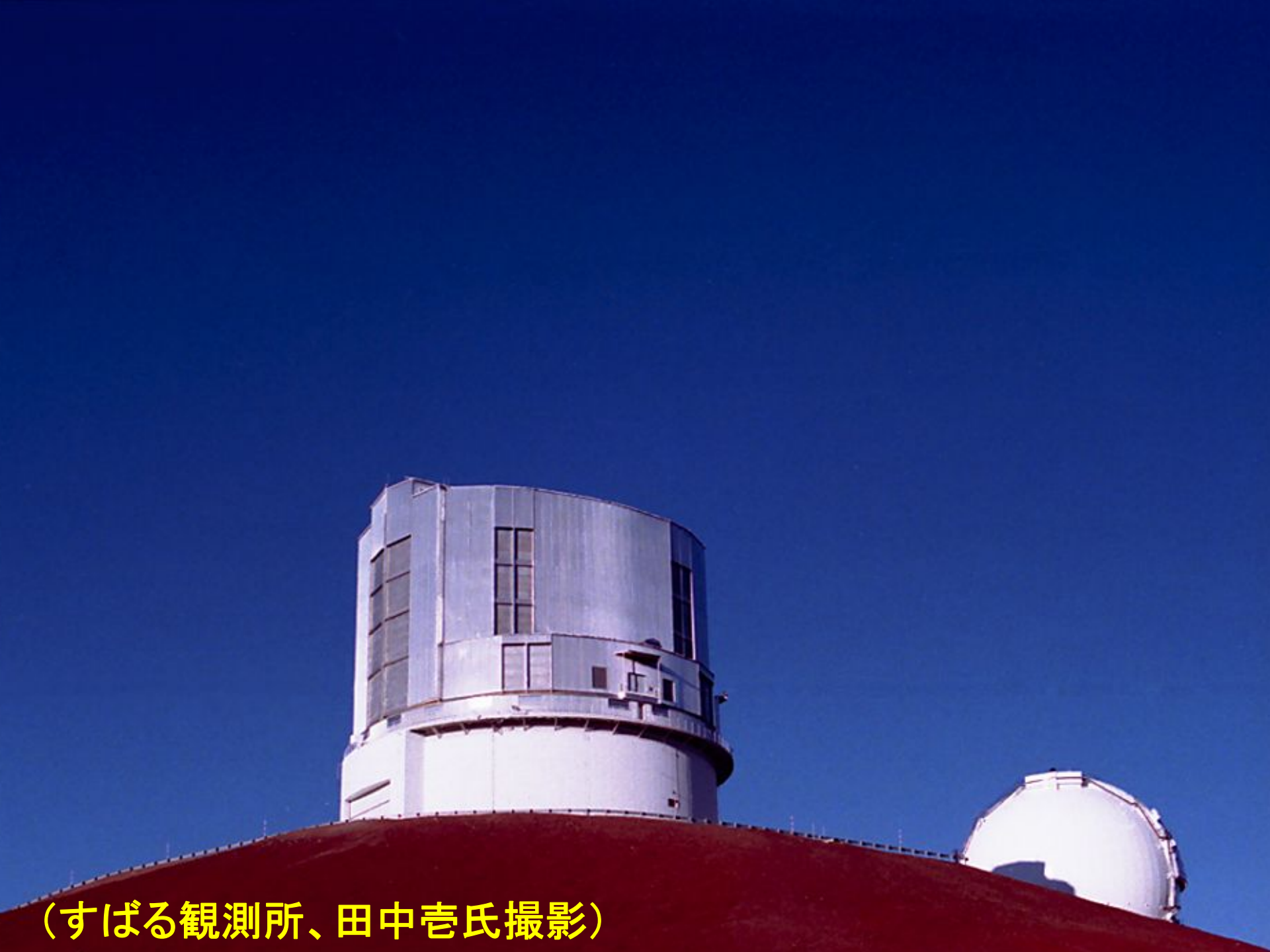


アイザック アシモフ著:「夜来たる(Nightfall)」 イラスト: 羽馬有紗

アイザック アシモフ: Nightfall(夜来たる)



- 夜が真の世界を認識させることを教えてくれる名作
- “Light !” he screamed. Aton, somewhere, was crying, whimpering horribly like a terribly frightened child.
“Stars -- all the Stars -- we didn't know at all. We didn't know anything.”



(すばる観測所、田中壱氏撮影)



(すばる観測所、田中壺氏撮影)

この世界をもっとよく知りたい

- **微視的世界：物質は何からできている？**
 - ものをどんどん分けていくとどうなるか？
 - 分子⇒原子⇒原子核(バリオン)⇒素粒子(クォーク・レプトン)
 - もはやこれ以上は分けることのできない最小構成要素が存在
 - これ以外の物質(素粒子)は存在しないのか？
- **巨視的世界：宇宙の果てには何がある？**
 - 地球⇒太陽系⇒星団⇒銀河⇒銀河団⇒宇宙の大構造
 - 宇宙の大きさ(=年齢)は？
 - さらに遠く(=過去)の宇宙はどうなっている？
 - 宇宙を占めている物質は、我々がすでに知っている微視的世界の構成要素と同じなのか？

世界は何からできている？

■ 古代ギリシャの4元素説

- 空気、土、火、水

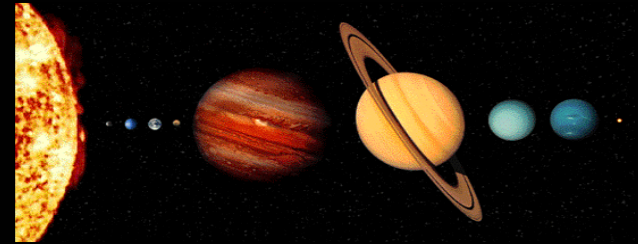
■ 中国の五行説

- (木、火、土、金、水)
× (陽、陰)

- これが日本で用いられている惑星
と曜日の名前の由来

■ 現代物理学

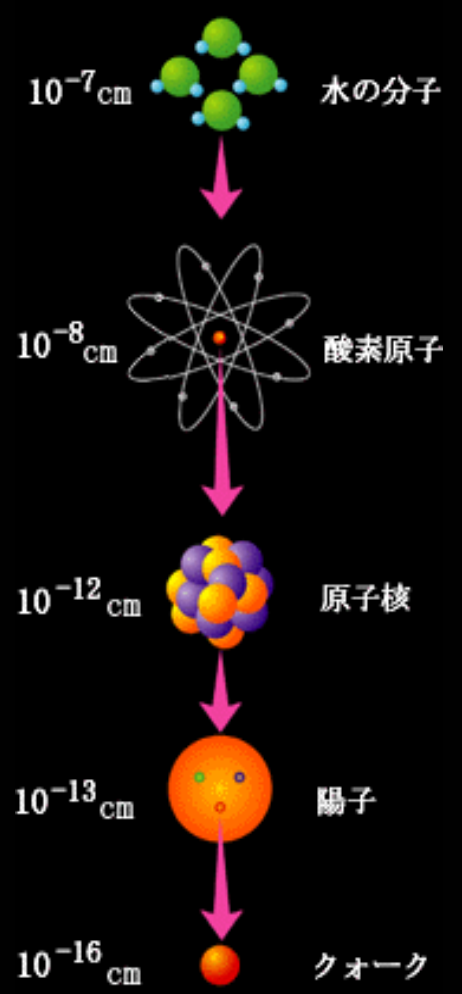
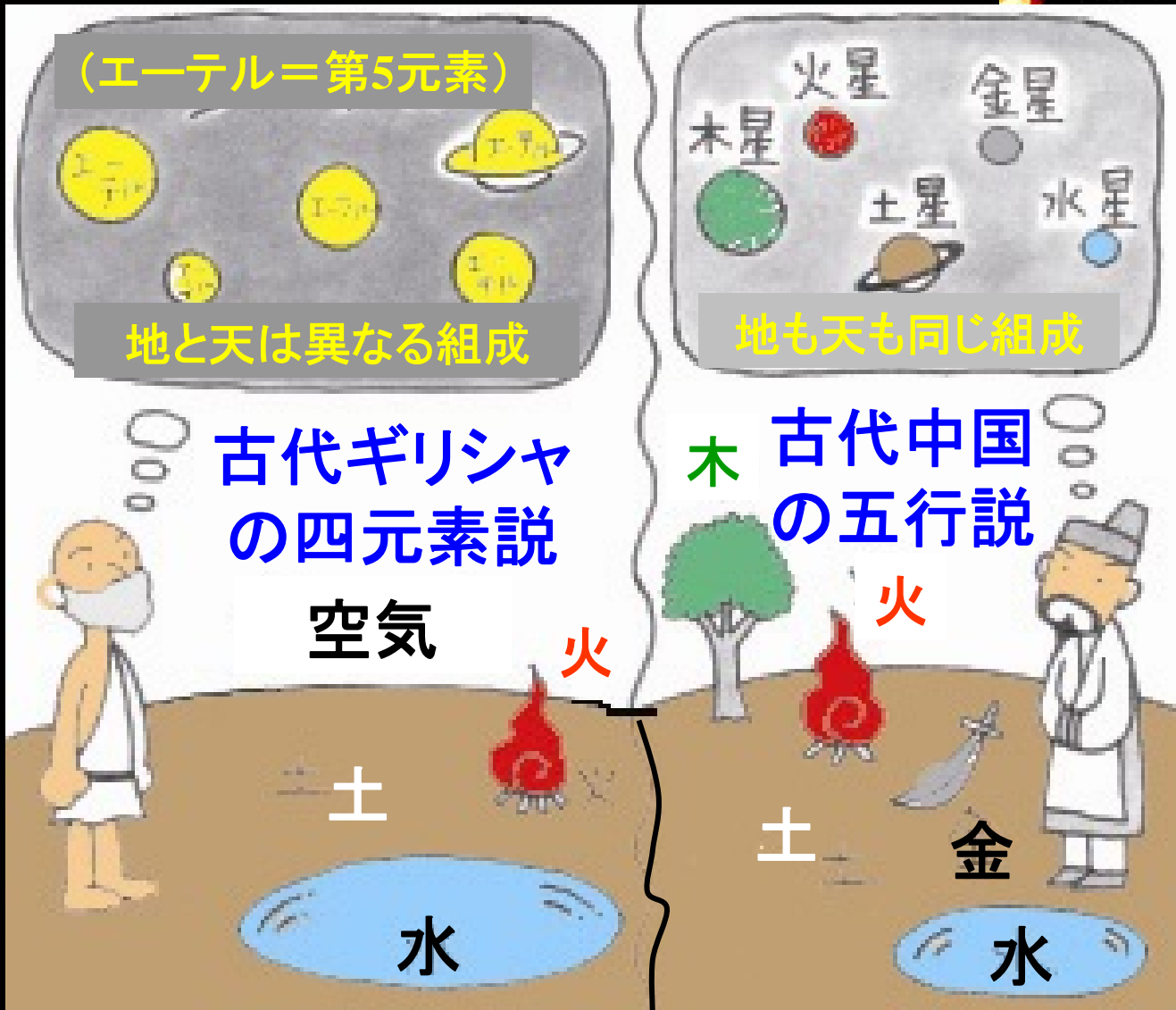
- 分子⇒原子⇒原子核(陽子・中性子)
⇒素粒子(電子、ニュートリノ;クォーク・レプトン)



日月火水木金土

| | 陽 | 陰 |
|---|-----------|-----------|
| 木 | きのえ 甲 | きのと 乙 |
| 火 | ひのえ 丙 | ひのと 丁 |
| 土 | つちのえ 戊 | つちのと 己 |
| 金 | かのえ 庚 | かのと 辛 |
| 水 | みづのえ 壬 | みづのと 癸 |

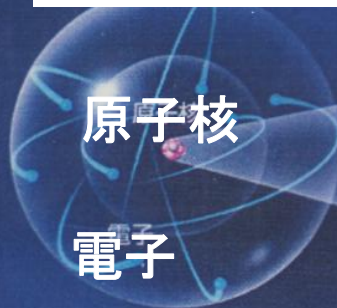
自然界に思いをはせる



(いずもりよう:須藤靖「ものの大きさ」図1.1より)

すべての物質は素粒子からできている

クォークからなる複合粒子＝バリオン(普通の元素)



原子核

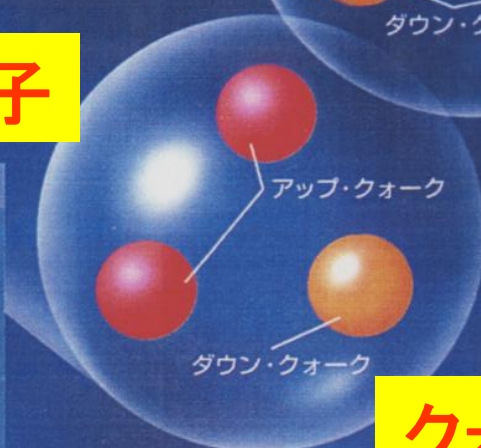
中性子

陽子










原子

中性子

陽子



クォーク

| | 第1世代 | 第2世代 | 第3世代 |
|------|--|--|--|
| レプトン |  電子ニュートリノ |  ミュー・ニュートリノ |  タウ・ニュートリノ |
| |  電子 |  ミュー粒子 |  タウ粒子 |
| クォーク |  ダウン |  ストレンジ |  ボトム |
| |  アップ |  チャーム |  トップ |

原子核の周囲を電子がまわって原子をつくる。原子核は陽子と中性子から、陽子と中性子はアップ・クォークとダウン・クォークから構成されている。第2世代と第3世代のクォークとレプトンは、粒子加速器を用いるなどして、高エネルギー状態にならないとあらわれない。われわれの世界の物質は第1世代のクォークとレプトンからできているといえる。

宇宙の主成分は元素か？

- 地上の物質のほとんどすべては元素(原子)から構成されている
 - 光やニュートリノもあるがそれらは全質量への寄与としては無視できる
 - 原子は原子核(=陽子+中性子)と電子からできているが、電子の質量は陽子の2000分の1なのでその寄与も無視してよい
 - 陽子と中性子は「バリオン」と呼ばれる種族である(本来はクォークから構成されている複合粒子の総称)
 - このため、通常物質のことを指して「バリオン」というやや不正確な表現が慣用となっている
- 宇宙も地上と同じく普通の粒子(=バリオン)だけからなると考えるのがもっとも自然なのだが、実は違う！

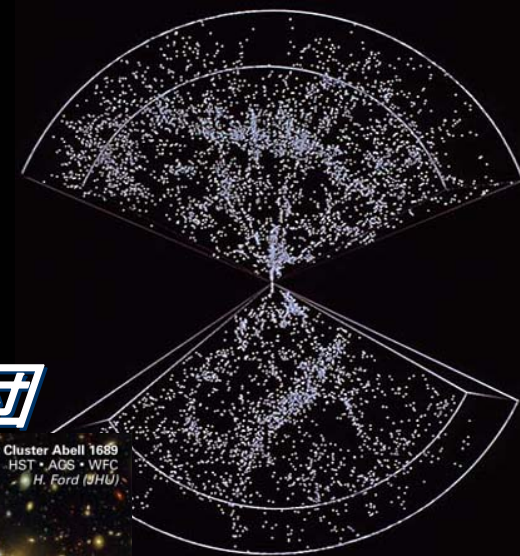
宇宙を構成しているもの

宇宙の大構造

銀河群

矮小銀河

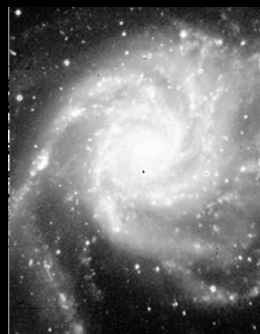
太陽系



銀河

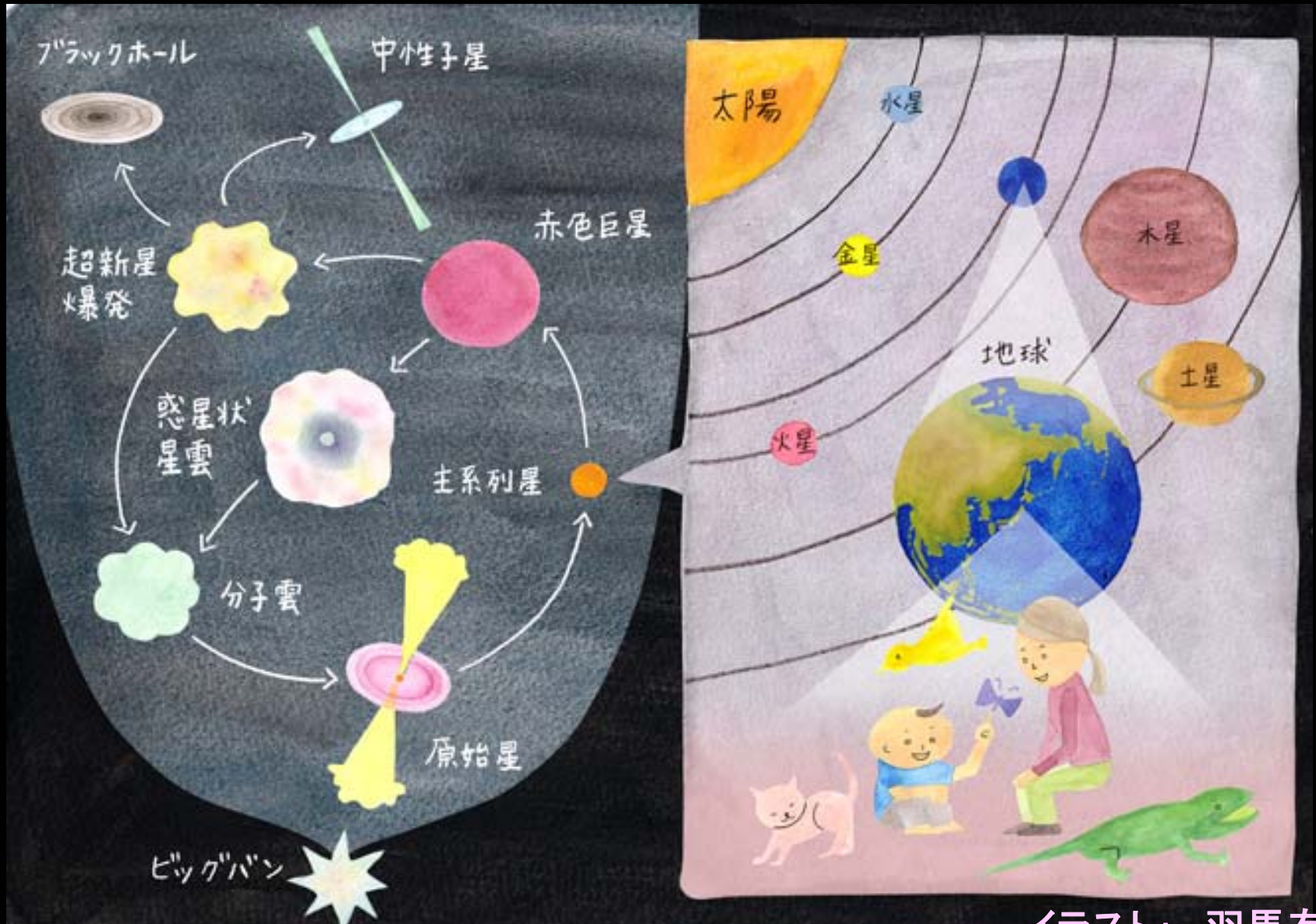
銀河団

星団



天体諸階層の典型的大きさ [光年]

ビッグバンから星・元素・生命の誕生へ

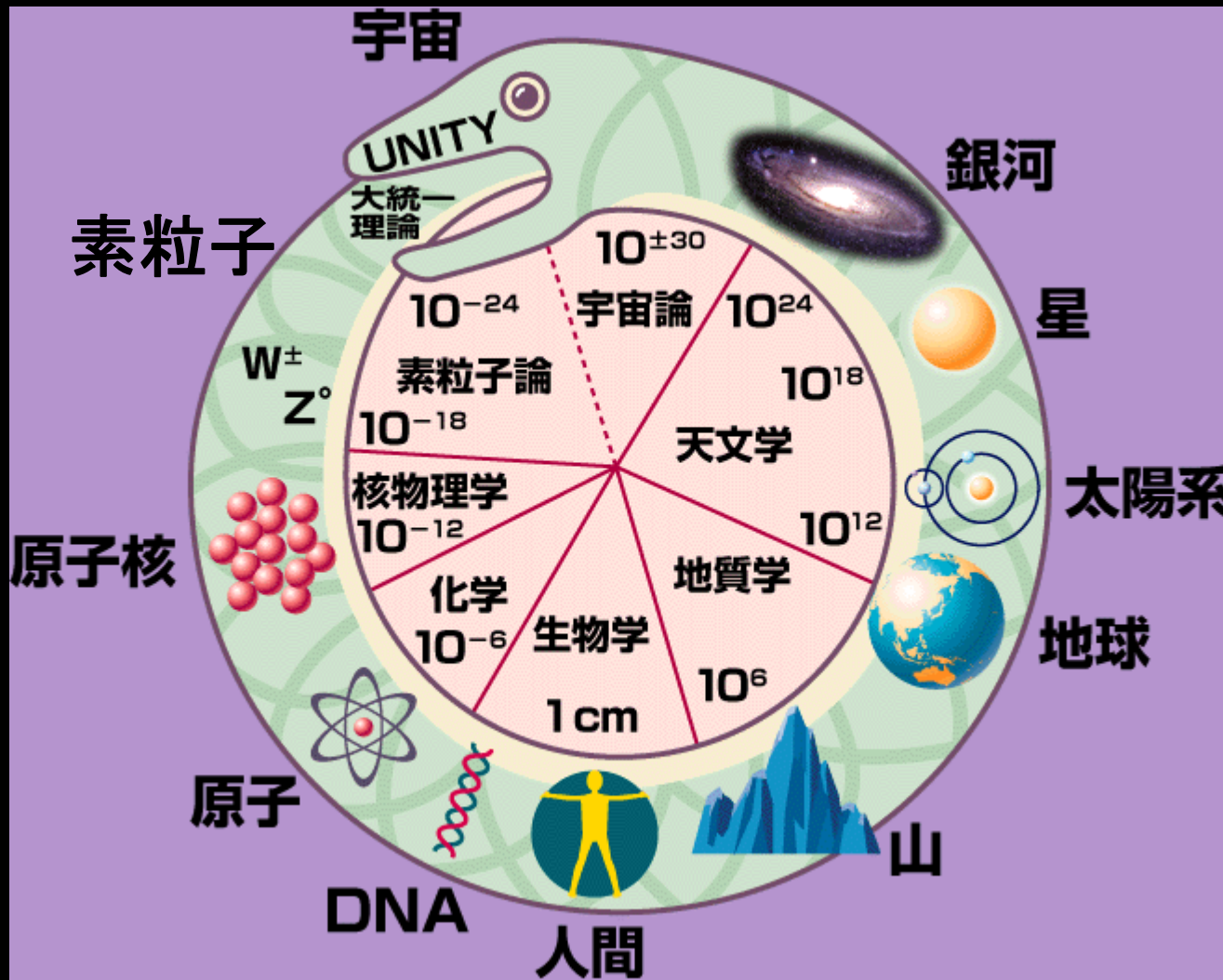


イラスト：羽馬有紗

我々は星の子供：宇宙の元素循環

- ビッグバン後、最初の3分間で合成された軽元素から、数億年後に**第一世代の星**が誕生
- **星の内部で重元素が合成**され、それが星の進化の最終段階で宇宙にばらまかれる
- それを材料として**次の世代の天体**が誕生
- この過程の繰り返しが宇宙での元素循環
- **我々は、かつて宇宙のどこかで生まれた星の内部で合成された重元素、さらには宇宙最初の3分間で合成されたヘリウムを材料としている！**

自然界の成り立ち



- 宇宙の大きさは約 10^{27} cm , すべての物質を形づくる素粒子の大きさは約 10^{-24} cm
- この約50桁も離れた巨視的世界と微視的世界とは宇宙の進化を通じて結びついている

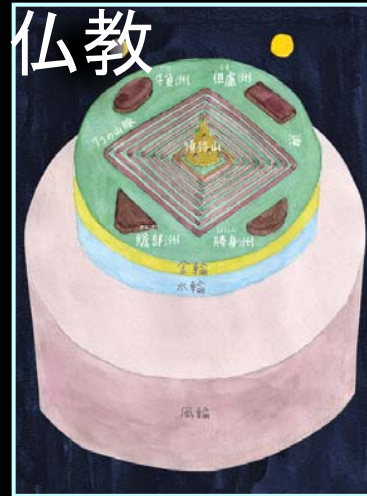
シェルドン グラシヨー 著 “Interaction”のなかの図をもとに作成

天文学・宇宙物理学共通の目標：

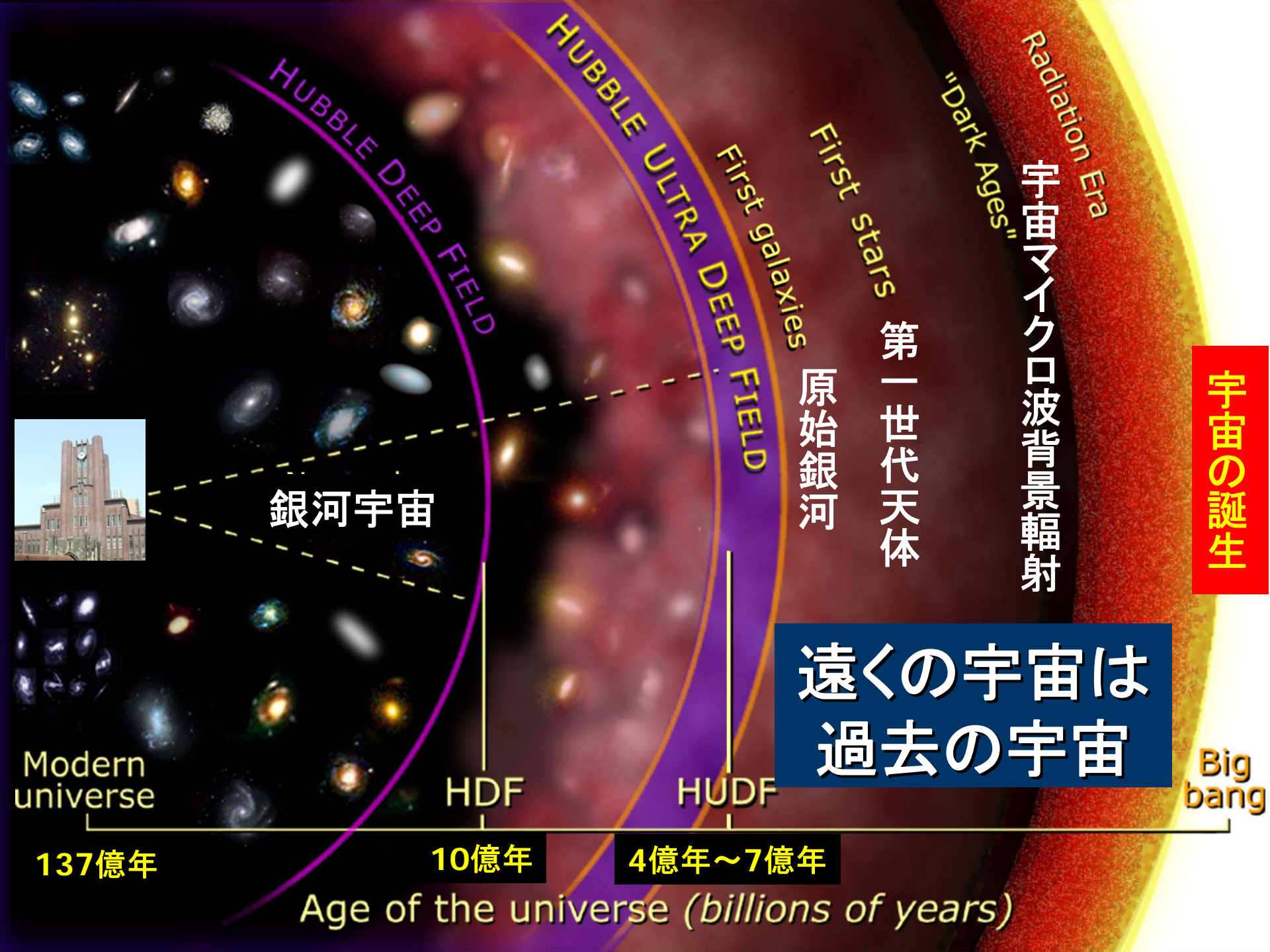
夜空のムコウの世界を探る

- 我々の世界はどうなっているかを解き明かす

イラスト：羽馬有紗



- 直接役に立つわけではなくとも人生を豊かにしてくれる本質的な疑問に挑戦する
 - 宇宙は何からできているか？（宇宙論）
 - もう一つの地球はあるか？（太陽系外惑星研究）
 - 生命はいかにして誕生したのか？（宇宙生物学）



宇宙の誕生

宇宙マイクロ波背景放射

Radiation Era
"Dark Ages"

第一世代天体

First stars

原始銀河

First galaxies

HUBBLE ULTRA DEEP FIELD

HUDF

4億年~7億年

HUBBLE DEEP FIELD

HDF

10億年

銀河宇宙

遠くの宇宙は過去の宇宙

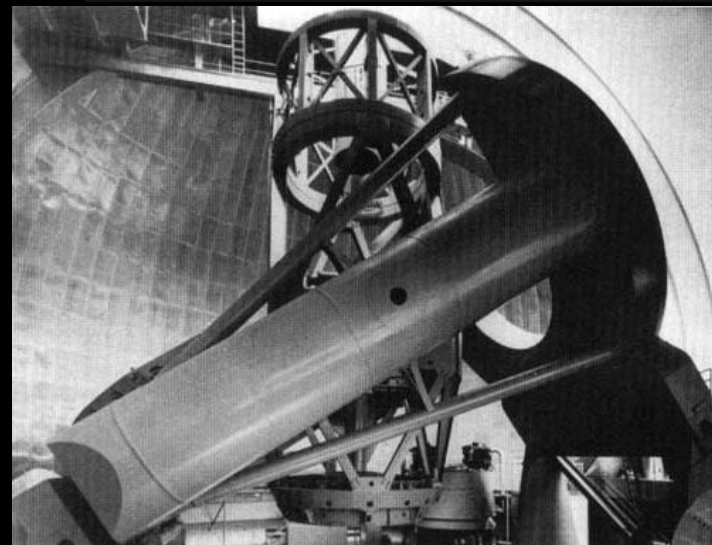
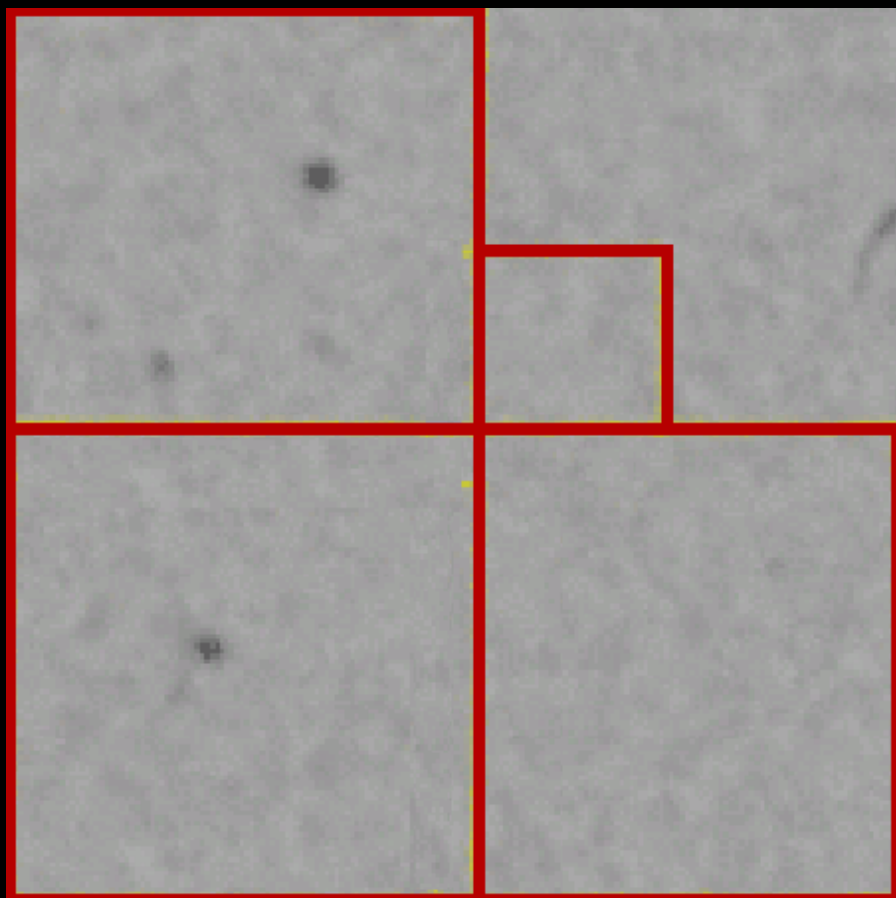
Modern universe

137億年

Big bang

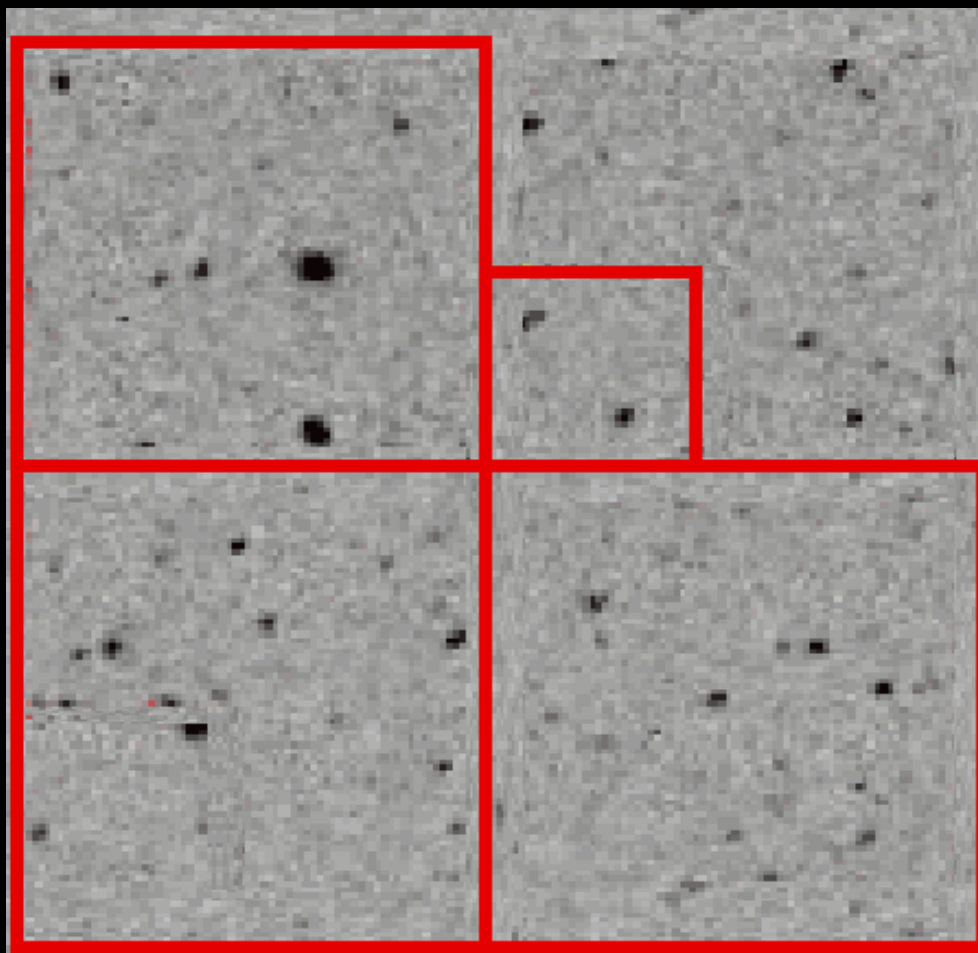
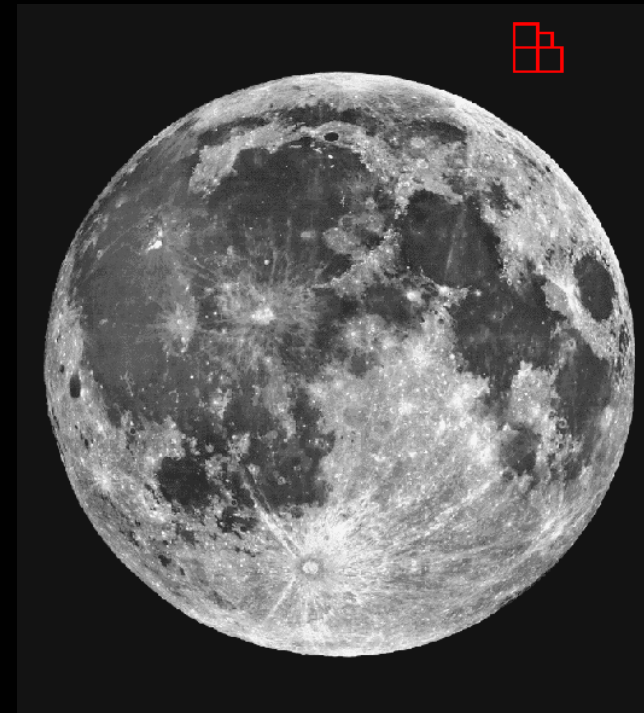
Age of the universe (billions of years)

宇宙を見る目の進歩 (1)



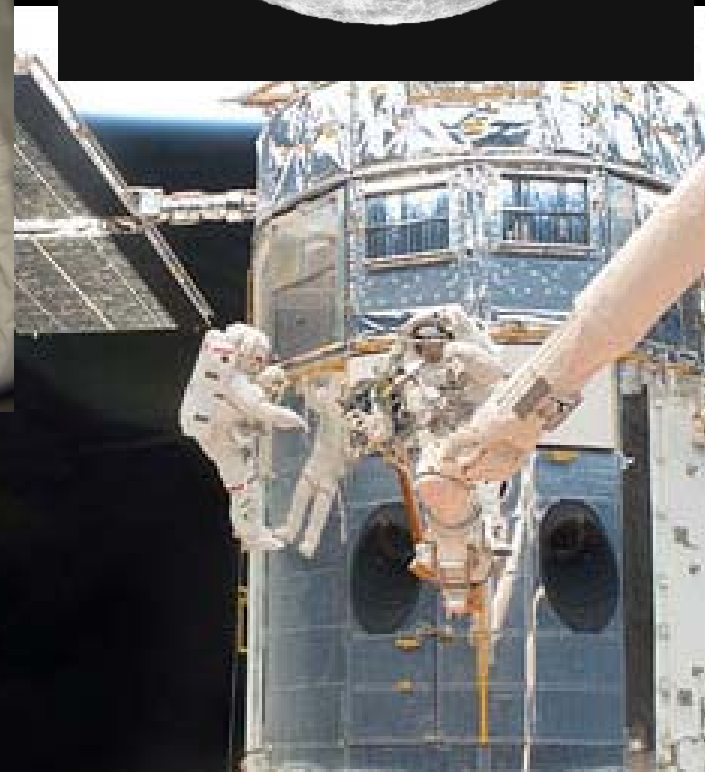
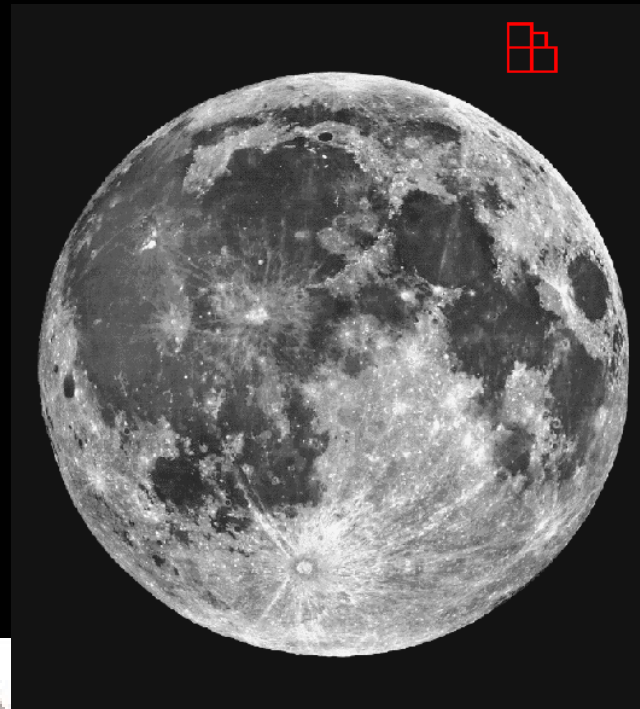
地上5m望遠鏡+写真乾板
100万×人間の眼

宇宙を見る目の進歩 (2)



地上4m望遠鏡+CCD:
100×写真乾板

宇宙を見る目の進歩 (3)



ハッブル宇宙望遠鏡



Hubble Deep Field

ST ScI OPO January 15, 1996 R. Williams and the HDF Team (ST ScI) and NASA

HST WFPC2



ハッブル宇宙望遠鏡+CCD:
1000×地上望遠鏡

SDSS (スローンデジタルスカイサーベイ) 米国ニューメキシコ州アパッチポイント天文台



NHK教育TV “サイエンスゼロ” 2003年6月11日放映



史上最大の銀河の3次元地図作り： 国際共同スローンデジタルスカイサーベイ

8千万個の銀河を観測、そのなかの80万個の銀河の3次元地図作り

<http://www.sdss.org/dr1/>



文部科学省

Ministry of Education, Culture,
Sports, Science and Technology

NHK教育 サイエンスZERO 2003年6月11日 0:00 放映

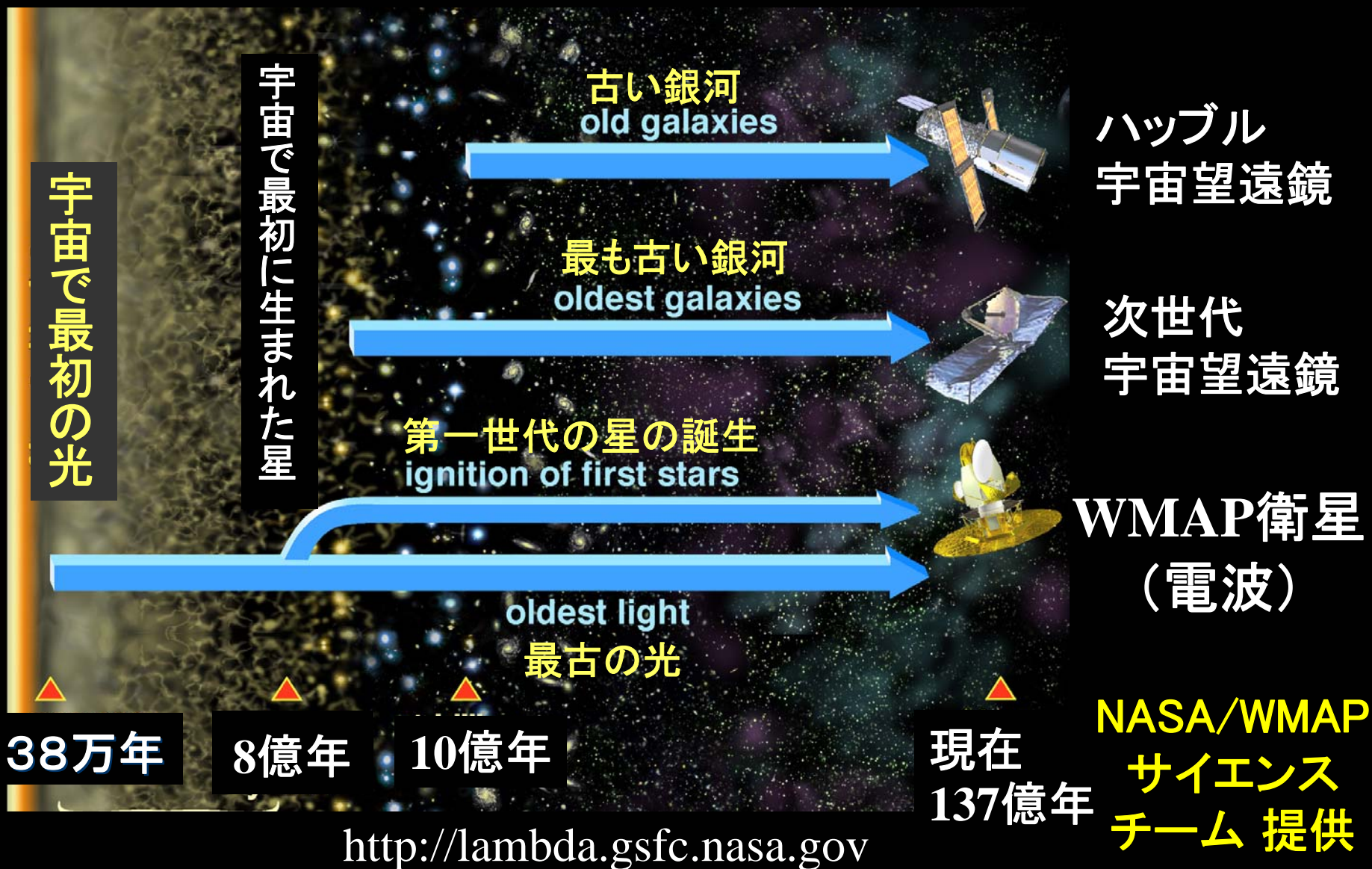
100億年を遡る



2006年5月23日 ハッブル望遠鏡 写真公開

<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2006/23/>

衛星によってさらなる宇宙の果てを見る

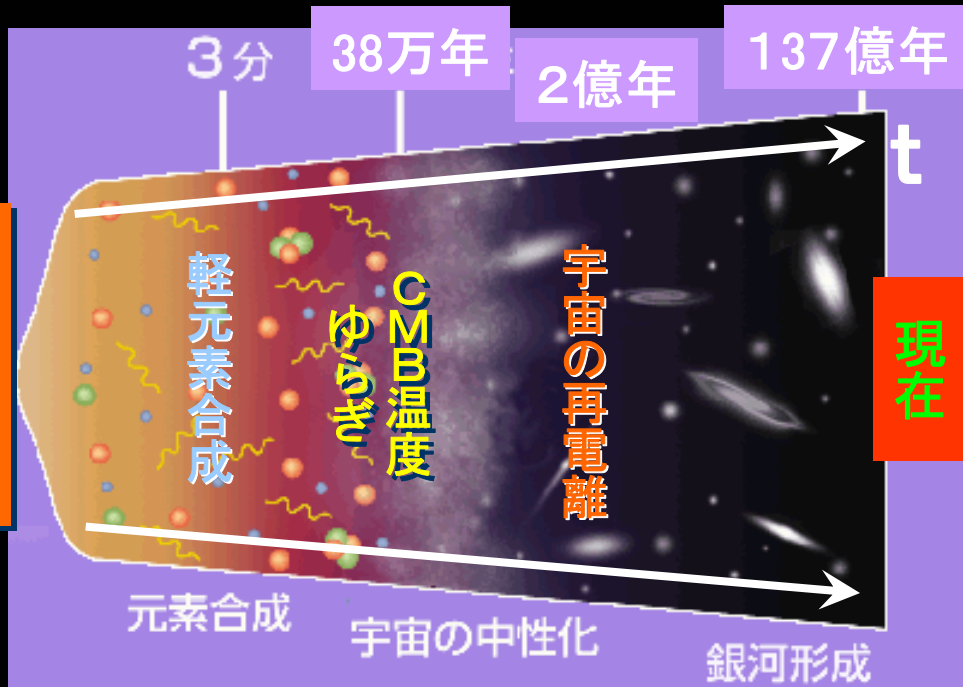


さらに遠く(=過去)を見たい

- 現在は、宇宙が誕生してから137億年
- 宇宙が誕生してから8億年後(つまり、今から129億年前!)の姿はすでに観測可能な時代
- しかし、さらにその昔はまだ天体が誕生していないので、可視光では見たくても見ることができない
 - ⇔ 宇宙が生まれたときの最初の光を見る
- 現在はマイクロ波と呼ばれる波長0.1cm程度の電磁波として全宇宙を満たしている
 - ⇔ CMB:宇宙マイクロ波背景放射

宇宙マイクロ波背景輻射

晴れ上がり直後の宇宙を満たしていた電磁波:ビッグバンの観測的証拠 (今から137億年前の宇宙の光の化石)



- 宇宙の晴れ上がり
 - 誕生後約38万年で、電子と陽子が結合して水素原子となる(宇宙の中性化)
 - 宇宙は電磁波に対して透明となる
- CMBを発見したA. PenziasとR.Wilsonは1978年度ノーベル物理学賞受賞

宇宙の誕生

軽元素合成

CMB温度
ゆらぎ

宇宙の再電離

現在

元素合成

宇宙の中性化

銀河形成

量子ゆらぎの生成

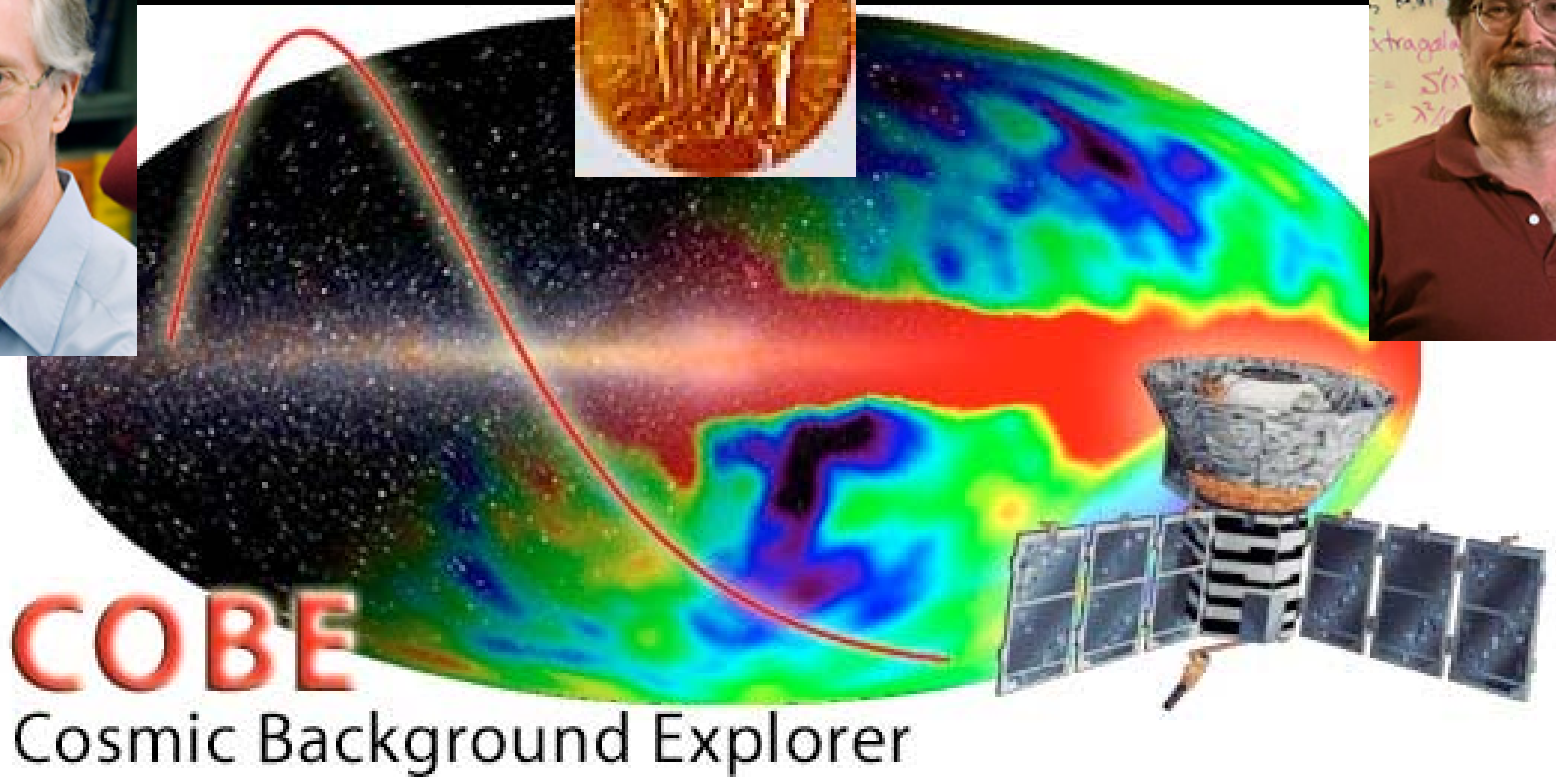
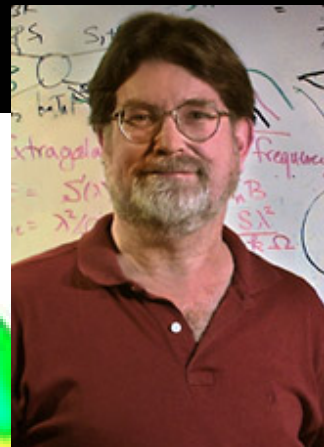
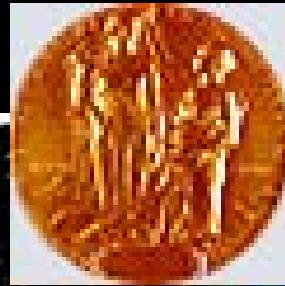
第一世代天体の誕生

銀河の形成

銀河団の形成

宇宙の大構造

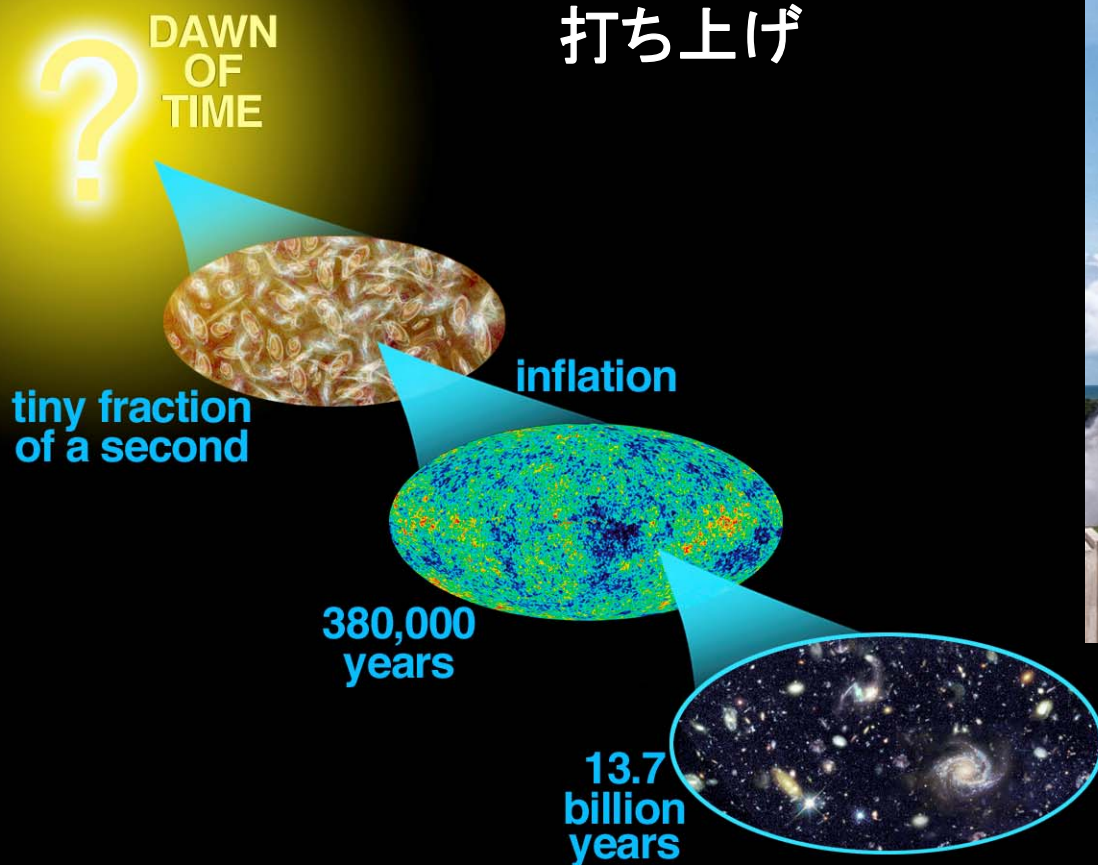
2006年度ノーベル物理学賞： COBE衛星を用いた宇宙マイクロ波背景放射 の精密観測 (J.Mather & G.Smoot)



WMAP (ウィルキンソンマイクロ波非等方性探査衛星)

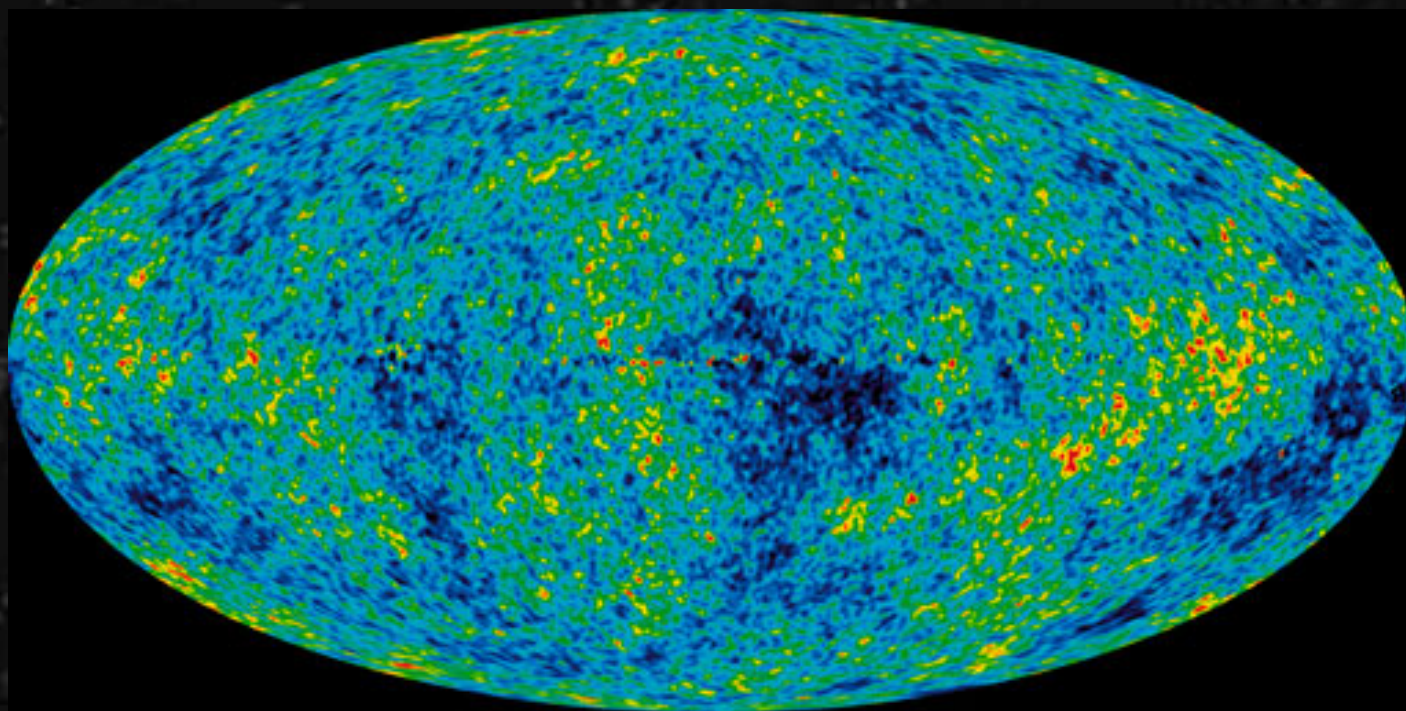
<http://lambda.gsfc.nasa.gov>

2001年6月30日 15:46:46
米国東海岸標準時間
打ち上げ



NASA/WMAP
サイエンスチーム提供

WMAP衛星：地球から宇宙の果てへの旅



NASA/WMAP サイエンスチーム提供

<http://lambda.gsfc.nasa.gov>

今回のまとめ

- ① 物理屋の世界観
- ② 我々は何も知らなかった

見えなくとも「夜空のムコウ」にあるもの

■ 宇宙の果てを観測する

■ 宇宙論

■ 宇宙を満たしている物質を探る

■ 素粒子論

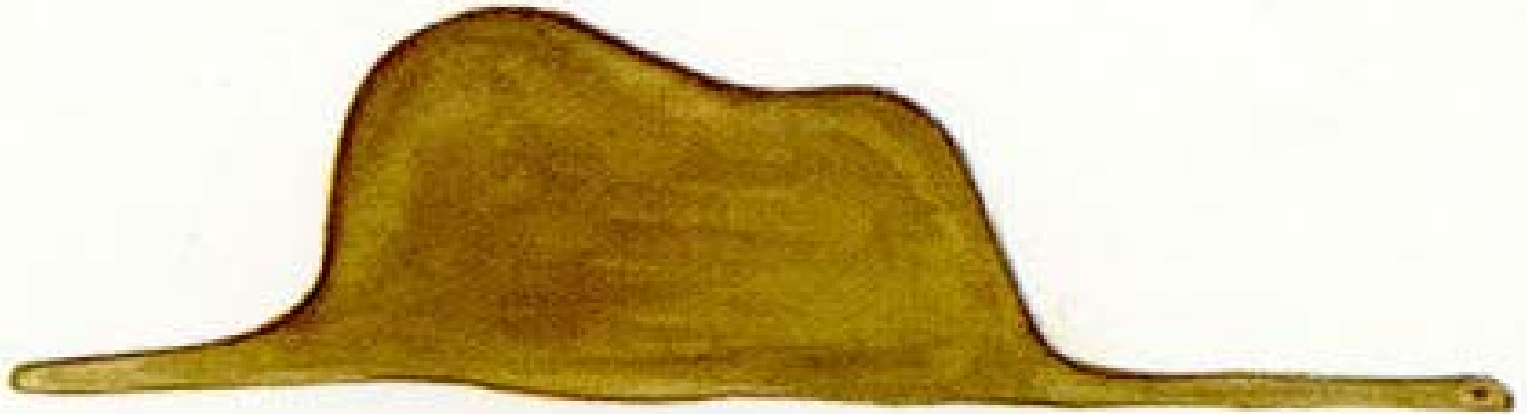
■ 第二の地球を探す

■ 惑星形成論、宇宙生物学

■ 地球外文明はあるか

■ 人間原理、宇宙社会学、宇宙比較文化論

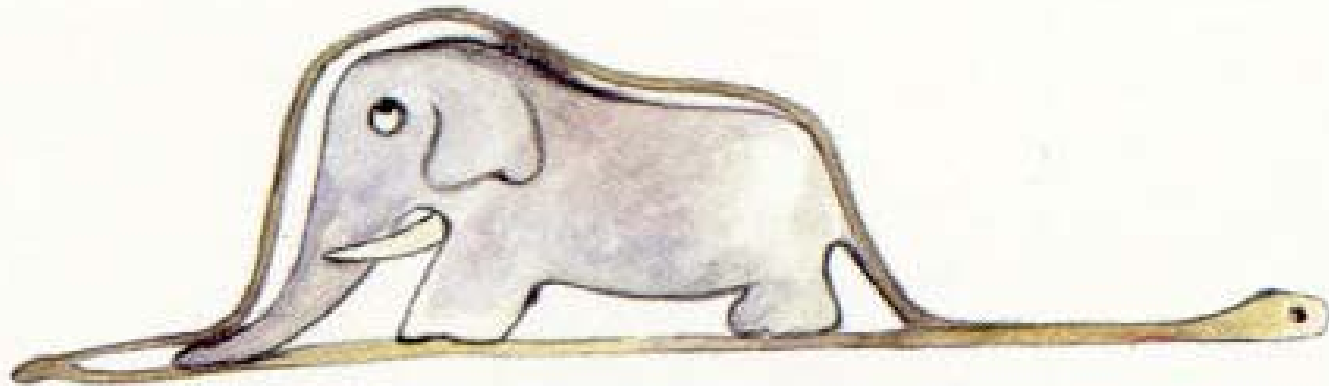
自然界の本質を見抜く



*Mon dessin ne représentait pas un chapeau. Il représentait
un serpent boa qui digérait un éléphant*

Le Petit Prince: Antoine de Saint Exupéry

見えているものがすべてではない



*J'ai alors dessiné
l'intérieur du serpent boa, afin que les grandes personnes puissent
comprendre. Elles ont toujours besoin d'explications*



Le Petit Prince: Antoine de Saint Exupéry

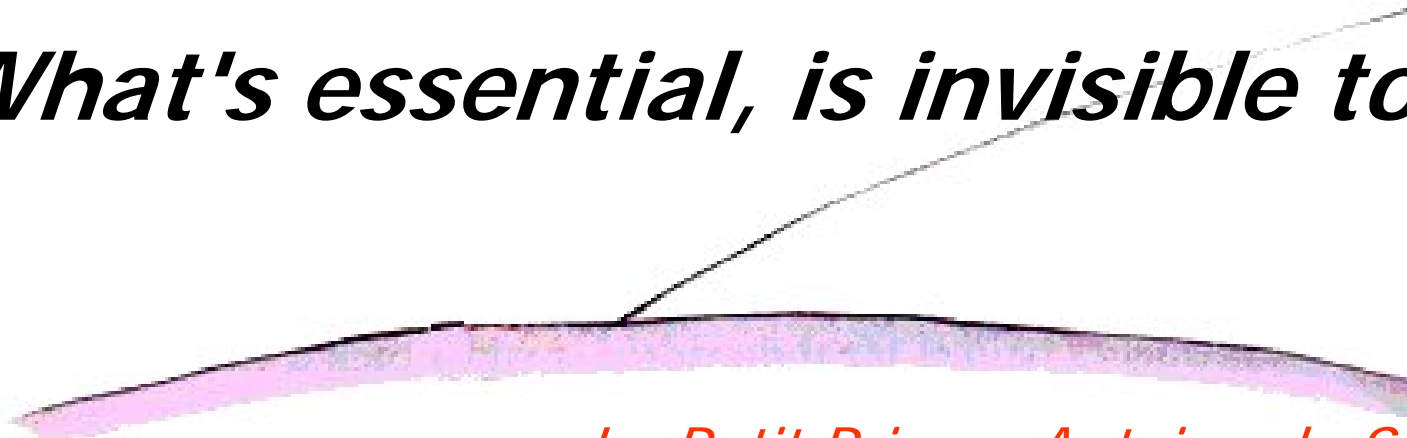


ダークマター
ダークエネルギー
太陽系外惑星
地球外知的生命

The Fox said

***It's only with the heart
that one can see clearly***

What's essential, is invisible to the eye



Le Petit Prince: Antoine de Saint Exupéry