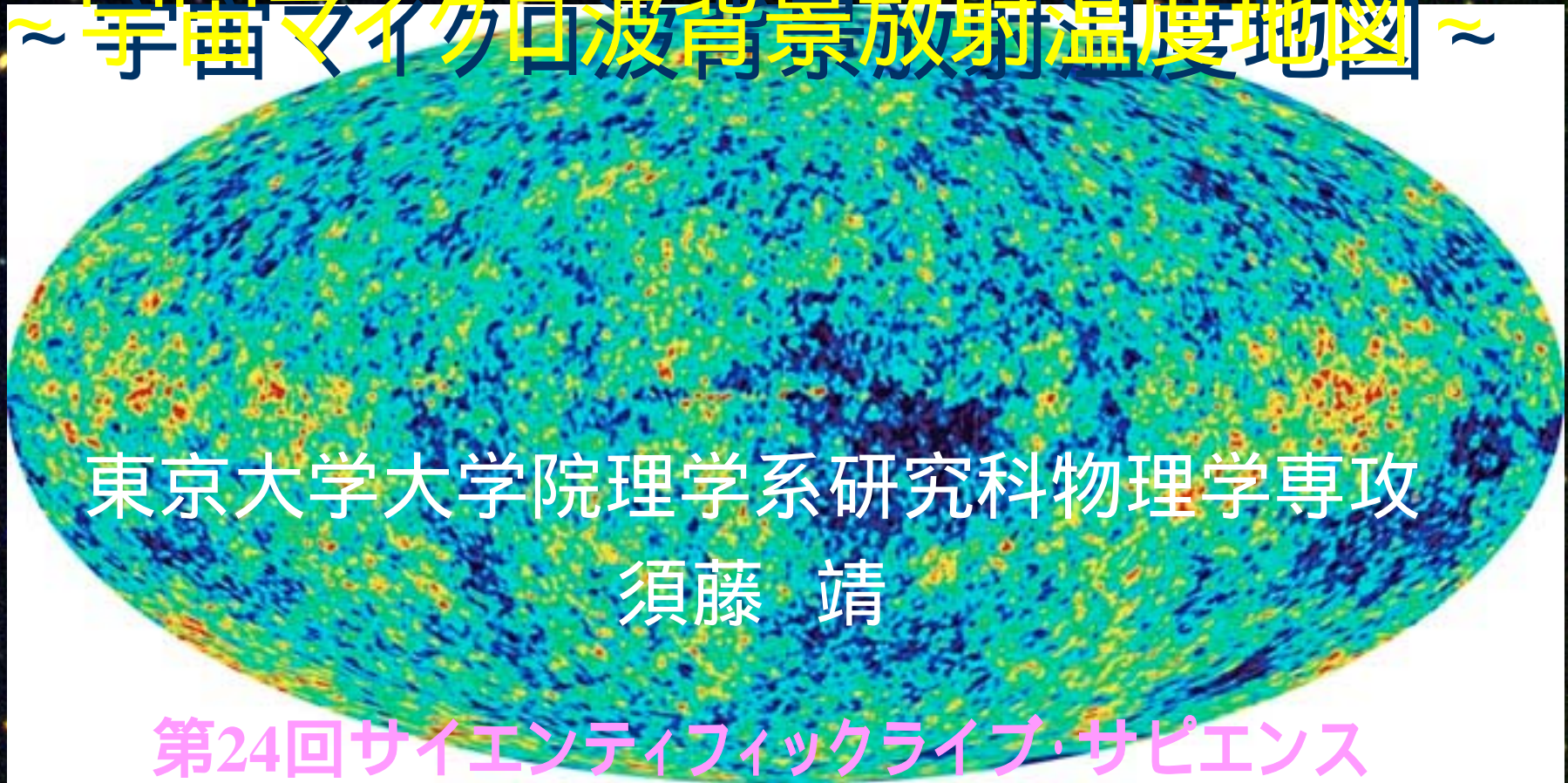


宇宙の古文書をひもとく ~宇宙マイクロ波背景放射温度地図~



東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
須藤 靖

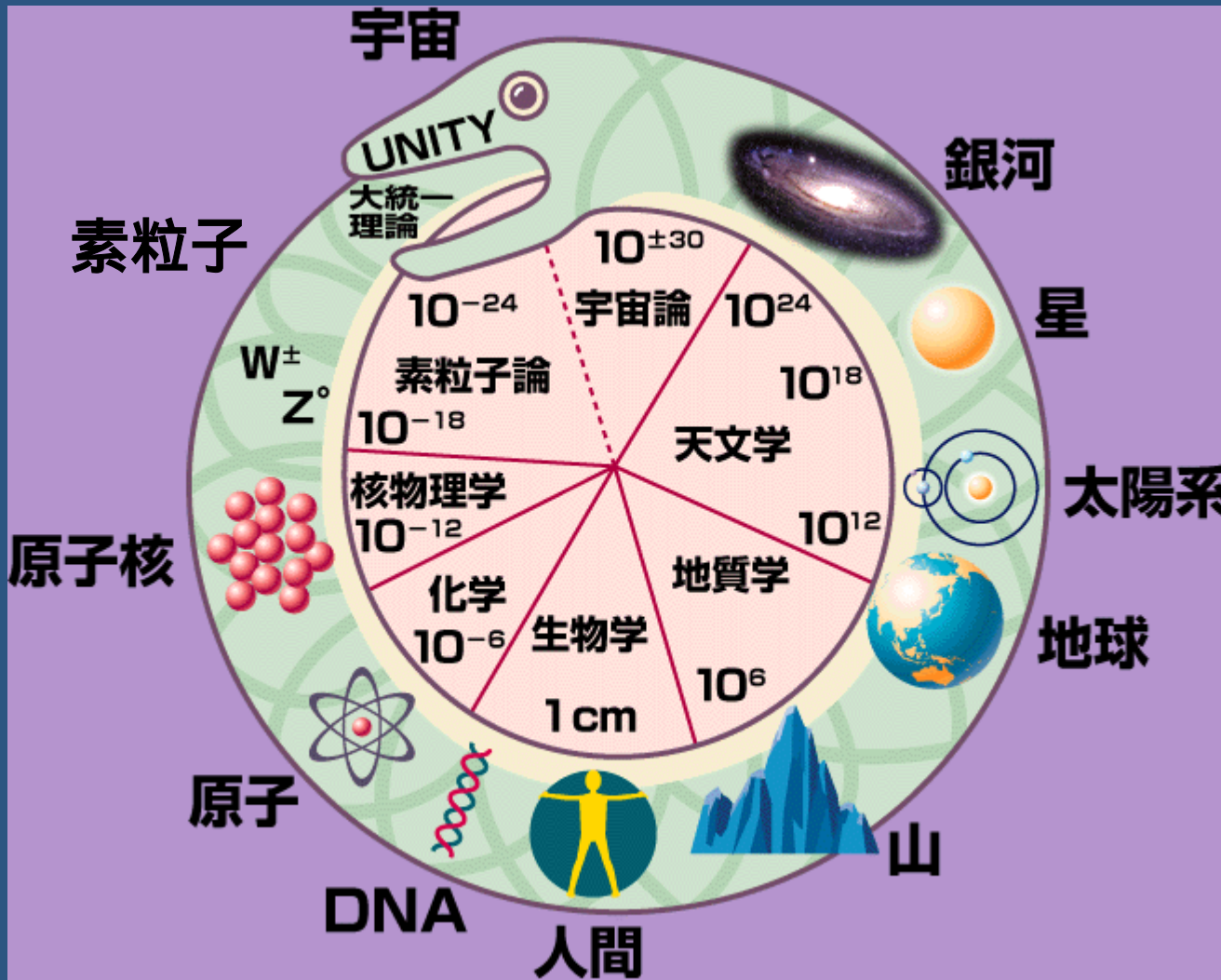
第24回サイエンティフィックライブ・サピエンス

「見えてきた宇宙の新しい姿」137億年の時間を旅する
2003年11月15日@日経ホール

我々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のだろうか？**
 - 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のだろうか？**
 - 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)はどのくらいだろう
 - さらに遠く(=過去)の宇宙はどうなっているのだろう
 - 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だろうか

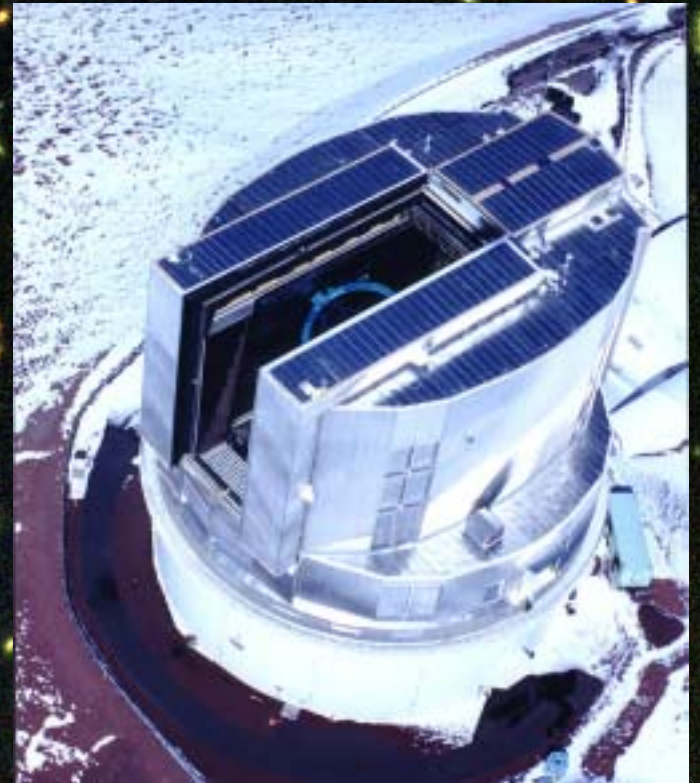
自然界の階層



- 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

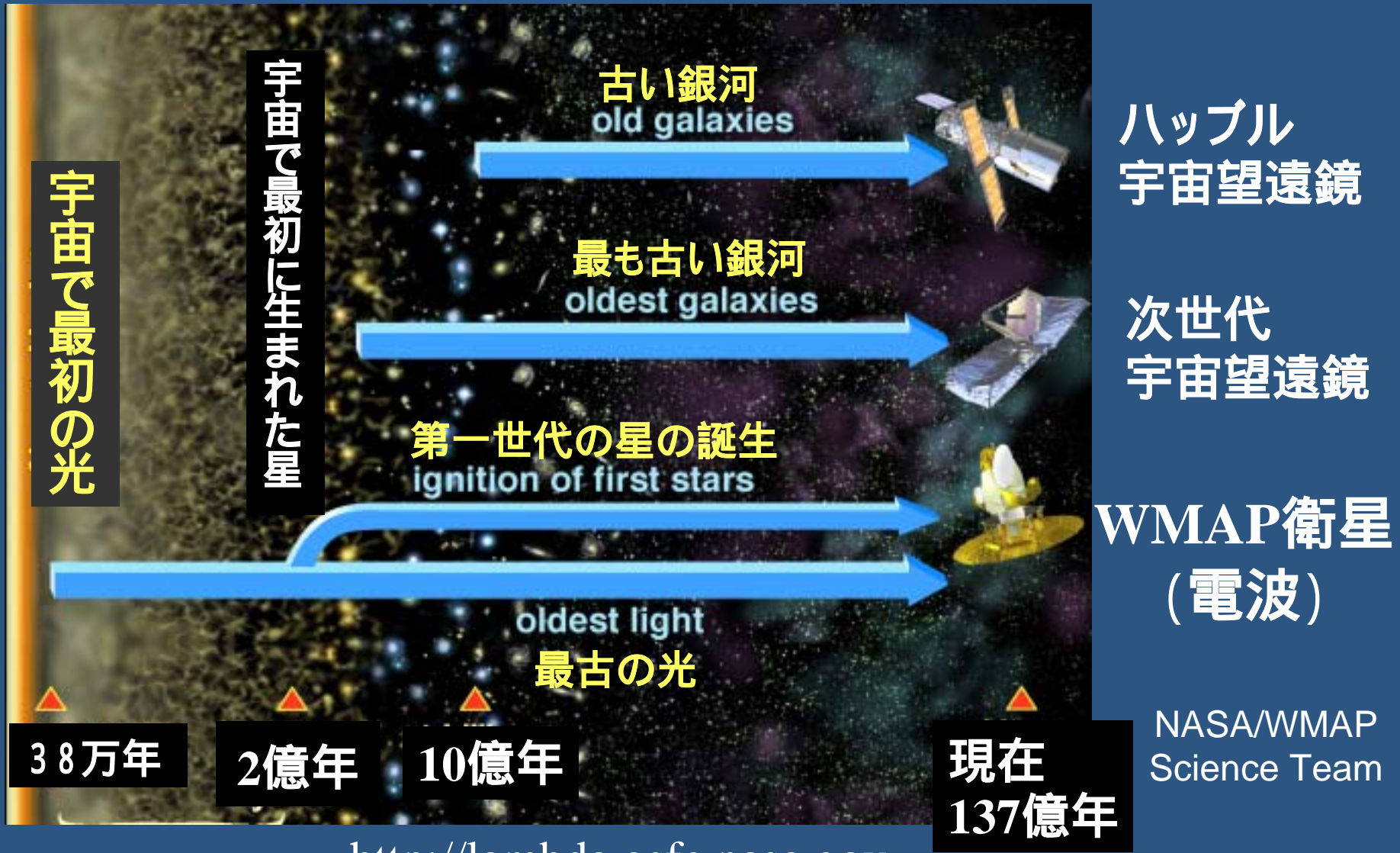
シェルドン グラショー 著 ‘Interaction’ のなかの図をもとに作成
宇宙の古文書

すばる望遠鏡の見た夜空のむこう



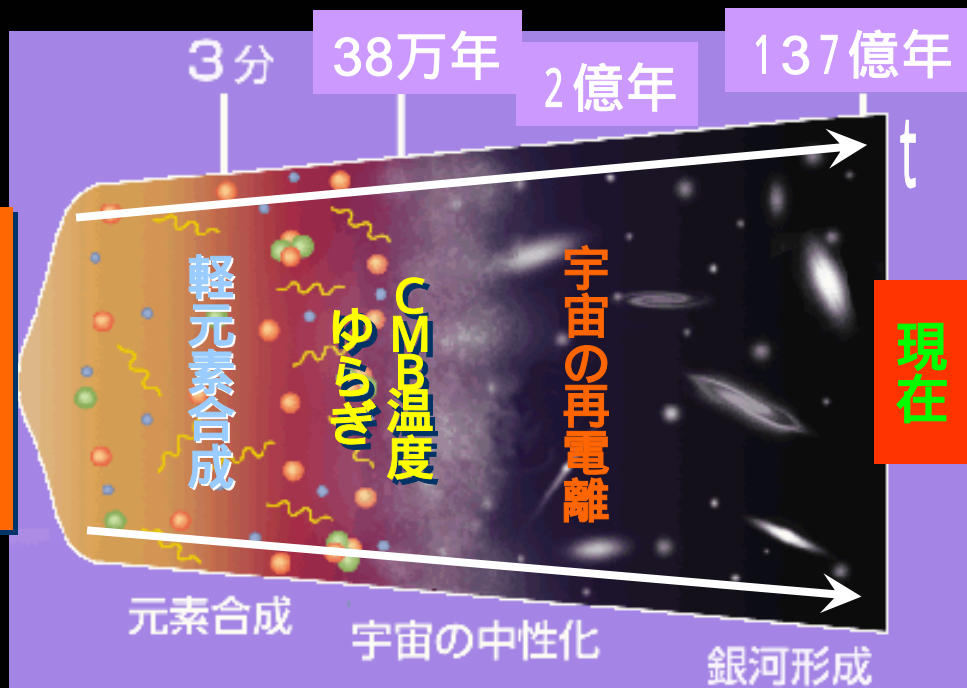
<http://www.naoj.org/Gallery/>

衛星によってさらなる宇宙の果てを見る



宇宙マイクロ波背景輻射 (CMB)

CMBは、晴れ上がり直後の宇宙を満たしていた電磁波の名残り
(今から137億年前の宇宙の光の化石)



CMB:

Cosmic Microwave Background

■ 宇宙の晴れ上がり

- 誕生後約38万年で温度が3000度程度に下がった宇宙で、電子と陽子が結合して水素原子となる
- この宇宙の中性化により、宇宙は電磁波に対して透明となる

量子ゆらぎの生成

第一世代天体の誕生

銀河の形成

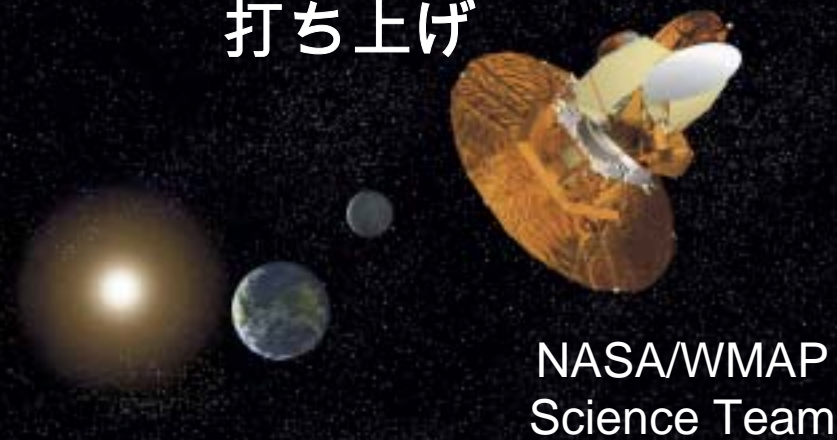
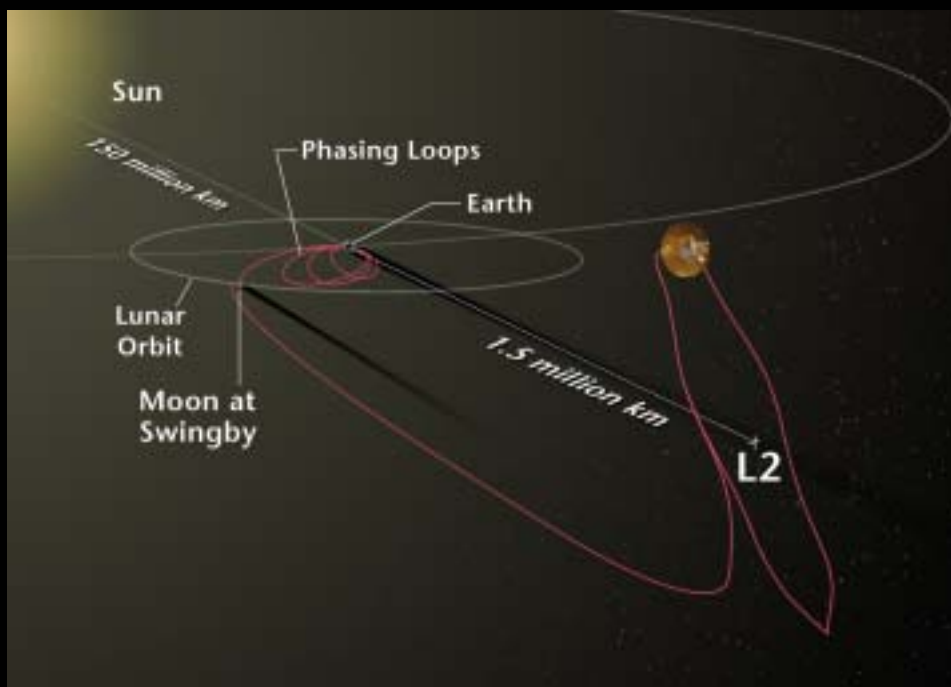
銀河団の形成

宇宙の大構造

WMAP (ウィルキンソンマイクロ波非等方性探査衛星)



2001年6月30日 15:46:46
米国東海岸標準時間
打ち上げ



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

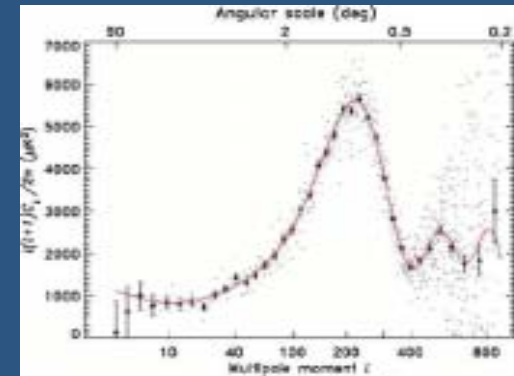
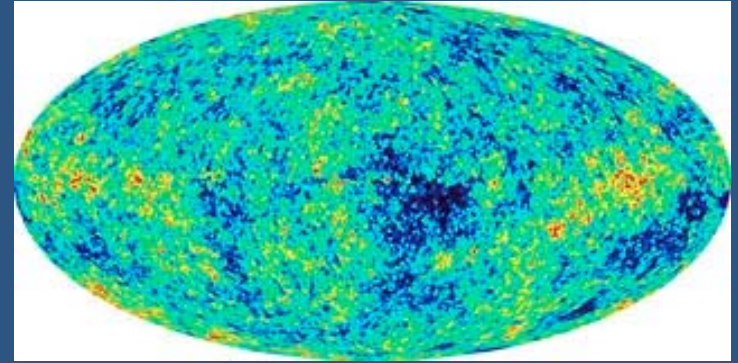
WMAP衛星：地球から宇宙の果てへの旅



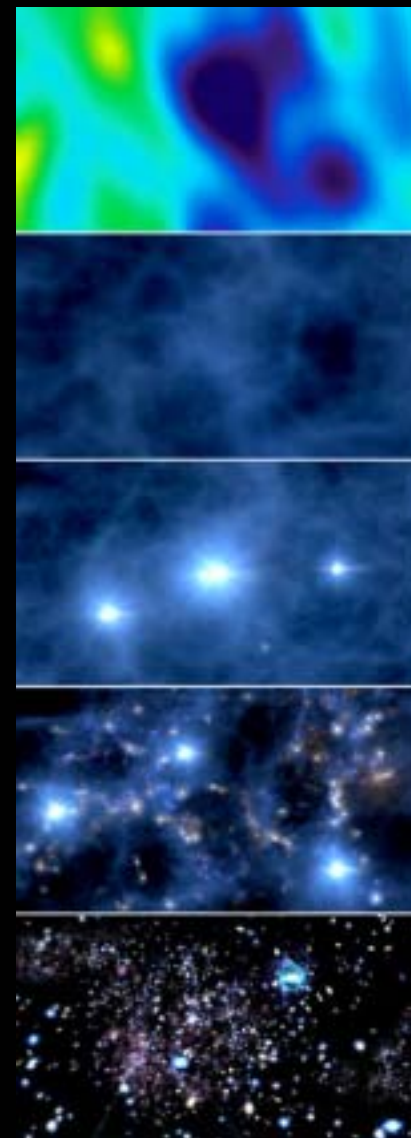
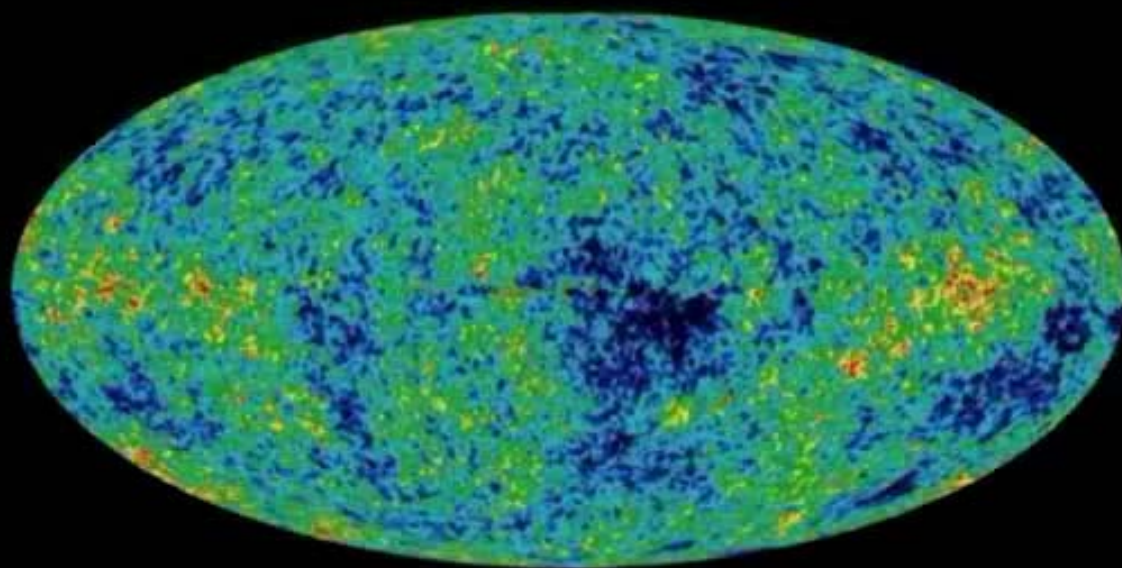
NASA/WMAP
Science Team

古文書の解読方法

- 暗号化された状態の古文書
 - 宇宙マイクロ波全天温度地図
- 暗号を解く鍵
 - 少し難しい数学
- 解読された古文書内容
 - 温度ゆらぎスペクトル
- この古文書の意味を理解するための文法
 - 宇宙モデルを仮定したときの予言
- 隠されている情報
 - 宇宙の年齢、宇宙の幾何学的性質、宇宙の組成、、、



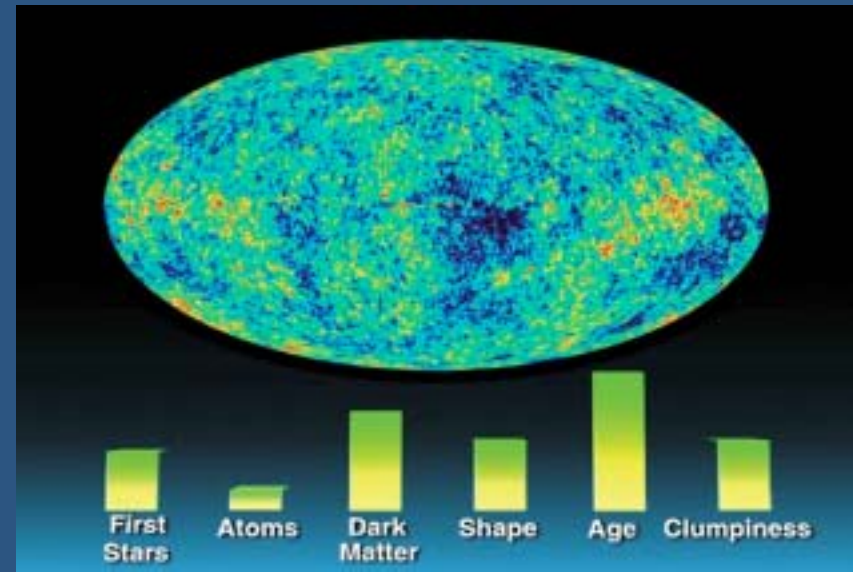
38万歳の宇宙から137億歳の現在へ



宇宙の古文書が教えてくれたこと

**NASA/WMAP
Science Team**

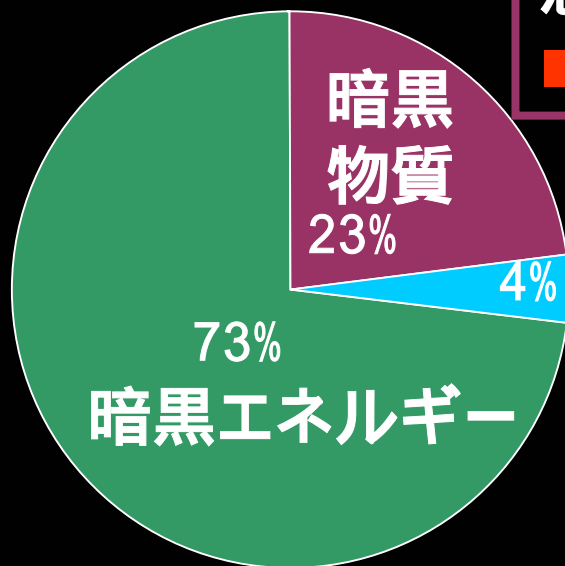
<http://lambda.gsfc.nasa.gov>



- 宇宙の年齢は137億年
- 宇宙は曲率が0 (平坦:ユークリッド幾何)
- 「最初の星」は宇宙が生まれて2億年後に誕生
- 宇宙の「物質」のほとんどは「暗黒物質」
- 実はさらに、「暗黒エネルギー」が宇宙を支配

解読結果：我々の宇宙は何からできている？

宇宙の組成



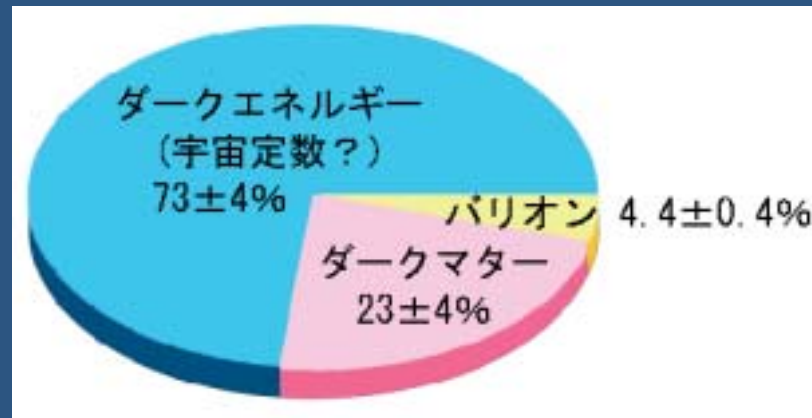
- 銀河・銀河団は星の総和から予想される値の10倍以上の質量をもつ
- 未知の素粒子が正体？

通常物質 (バリオン)

- 宇宙空間を一様に満たしているエネルギーが宇宙の主成分！
- 万有斥力(負の圧力)
- アインシュタインの宇宙定数？

- 元素をつくっているもの(主に、陽子と中性子)
- 現時点で知られている物質はすべてこれからできている

まとめ： 研究の進展 によって、ますます謎 が深まってしまった



- 20世紀物理学の飛躍的進展は、「通常の物質」の構成要素については極めて深い理解をもたらした
- 一方、21世紀最後の数年間の宇宙観測によって、この「通常の物質」は、宇宙全体のわずか4%でしかないことが判明
 - 宇宙の果てを見ることで微視的世界の新しい階層が明らかとなった
 - 宇宙全体の約23%は暗黒物質、約73%は暗黒エネルギー
- つまり、我々は宇宙の96%の部分を全く理解していなかった
- 暗黒物質の直接検出、暗黒エネルギーの正体の理解は、21世紀科学の単に一つの課題にはとどまらず、新しい自然法則を探り当てる上で本質的な鍵を握る

21世紀宇宙論研究の展開

0th order	一様等方宇宙モデル	宇宙論パラメータ
1st order	密度揺らぎの線形摂動論	宇宙の大構造 マイクロ波背景輻射
2nd order	非線型重力進化	ダークマターの構造形成
3rd order	バリオンガスの進化	第一世代天体と元素の起源
4th order	銀河、星、惑星の形成進化	光り輝く銀河宇宙の誕生
...		
L-th order	生命の起源・進化	宇宙論的生物発生学
M-th order	知的生命体への進化	宇宙論的生物進化学
N-th order	文化・文明・宗教	宇宙論的社会学
...		

値から理解へ：

本当の宇宙論研究はいよいよこれから！

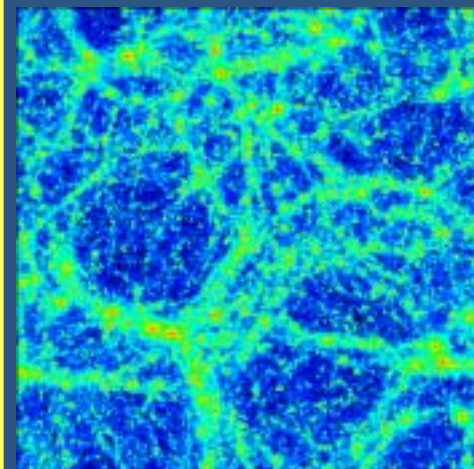
宇宙論の心：遠くには何があるのだろうか

- 宇宙はどうなっているのか：宇宙の階層
 - 月、太陽、太陽系、恒星、星団、銀河系(天の川)、銀河、銀河団、宇宙の大構造
- 遠くの宇宙の研究は考古学
 - 光は有限の速度をもつ。つまり、今見ている遠く天体は、実はずっと昔の姿。
 - 毎日見ている太陽は、実は約8分遅れの姿。天文学者は、100億年以上前の昔の天体からやっと届いた光を、今、観測して研究している。
 - 遠くを見れば宇宙の過去がわかる。
- 我々人類は広い宇宙でひとりぼっちなのか？
- 第二の地球はあるか？

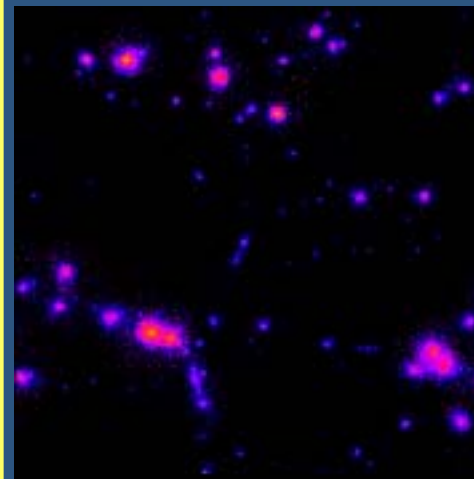
宇宙の暗黒物質

- 独立な数多くの宇宙観測データがその存在を支持
 - WMAP衛星、銀河の質量密度プロファイル、銀河団からのX線放射強度、銀河の3次元分布、など
- 宇宙の重力(質量)の大半を支配する
 - 宇宙の構造の起源は暗黒物質の重力
- すでに知られている物質(バリオン)がただ光っていないだけでは説明できない
 - その正体はまだわかっていない
 - 暗黒物質の直接検出実験は21世紀物理学に残された大きな課題
- 暗黒物質は、まだ知られていない新しい物理学を開拓する鍵となる

数値シミュレーションによる暗黒物質分布と明るいバリオンガス分布の比較例



暗黒物質



明るいバリオンガス

宇宙の暗黒エネルギー

- 暗黒物質とは異なり、ある特定の場所に集中して存在しているようなものではない
 - 例えば、本来何も無いはずの真空自体が持っているエネルギーのように、宇宙全体を一様にみだしている
- その重力は、実効的に「万有斥力」
 - 1917年にアインシュタインが(全く異なる理由から)導入した宇宙定数に対応
 - 暗黒物質以上にその正体は不明
- 暗黒エネルギーもまた、我々がいまだ理解していない新たな物理学の存在を示す重要な手がかり