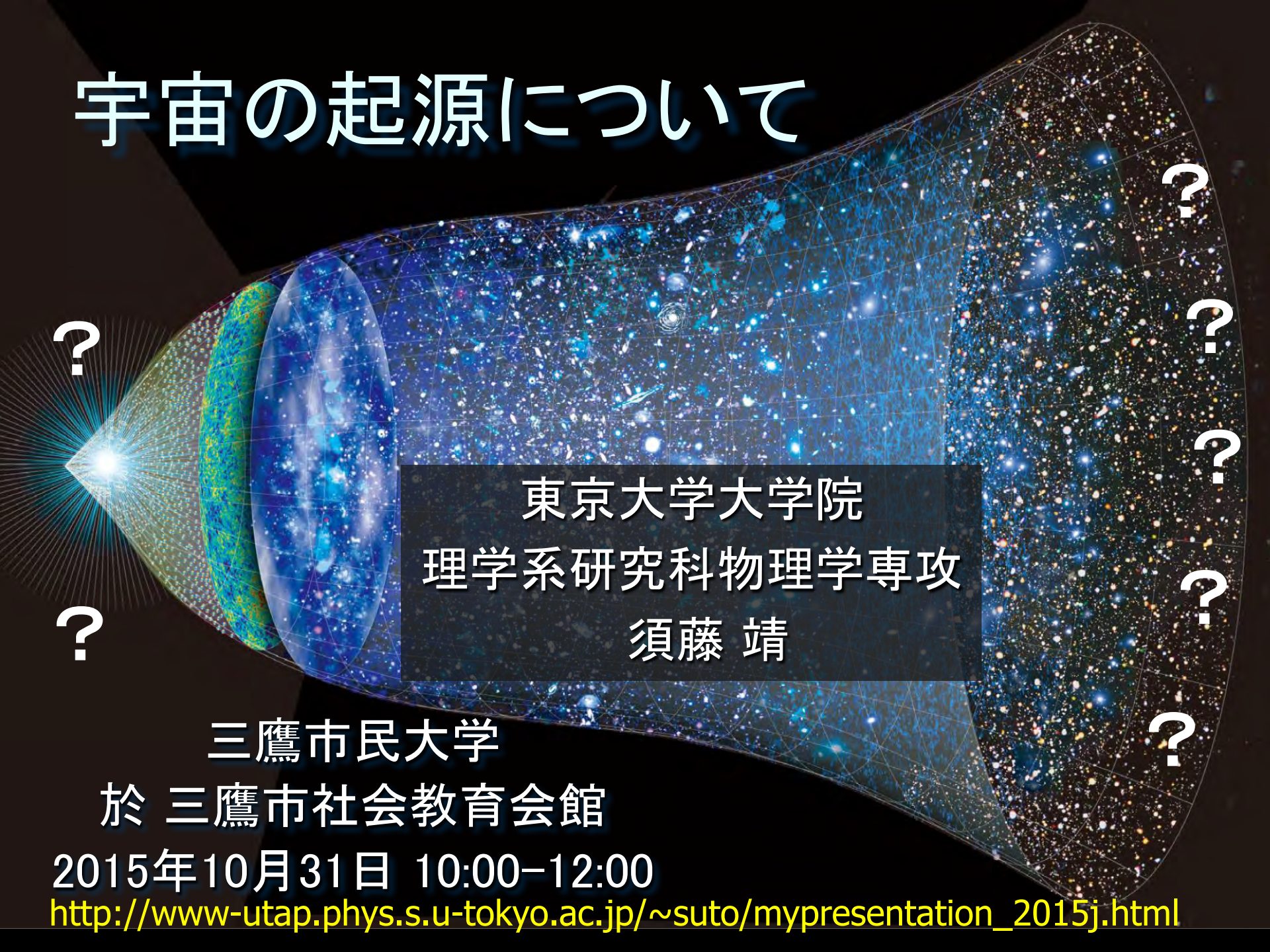


宇宙の起源について

A cosmic funnel visualization showing the expansion of the universe from a central point, with a grid of galaxies and several question marks.

東京大学大学院
理学系研究科物理学専攻
須藤 靖

三鷹市民大学

於 三鷹市社会教育会館

2015年10月31日 10:00-12:00

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2015j.html

今回の話の内容

- I. 宇宙に始まりがあると考えられる理由
- II. 宇宙のインフレーション
- III. 宇宙の初期条件@ $t=38$ 万年
- IV. 宇宙の進化と物質世界の進化
- V. 宇宙の未来
- VI. 世界は法則に支配されているか

I 宇宙に始まりがあると 考えられる理由

let there be light

■ 旧約聖書 創世記 天地創造

- 初めに、神は天地を創造された。
- 地は混沌であって、闇が深淵の面にあり、神の霊が水の面を動いていた。
- 神は言われた。「光あれ。」こうして、光があった。



カリフォルニア大学
バークレー校のロゴ

宇宙に始まりはあるか？

- 全く自明ではない基本的な問いかけ
- 始まりがあるとすると
 - なぜ始まったのかと聞きたくなる
 - その前は何だったのかと聞きたくなる
- 「神様なしで」このような禅問答を避けるには、
 - 始まりも終わりもなくずっと同じ状態のまま
 - 無限に輪廻転生を繰り返す

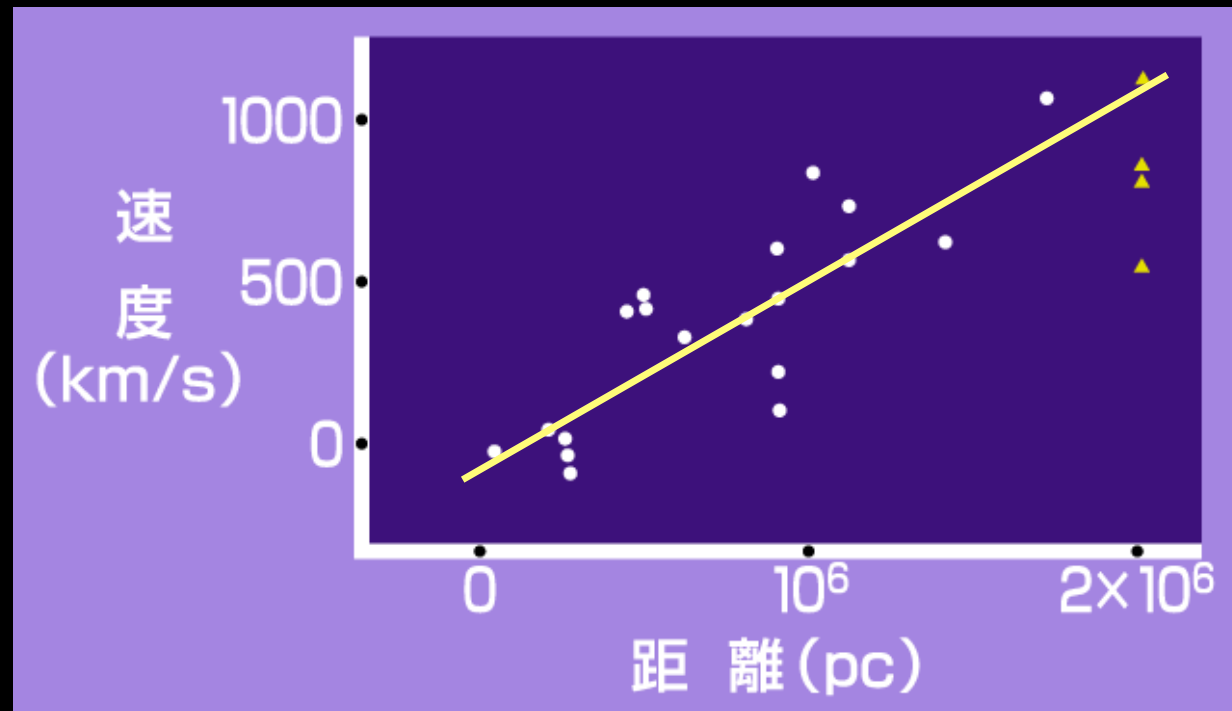
のどちらかだと考えたほうがずっとすっきりする

- つまり、**哲学的・宗教的には「宇宙に始まりはない」あるいは「創造主がいる」ことにしないと面倒**
- にもかかわらず**「始まりはある」ことになっている**

天文観測：宇宙膨張の発見

■ エドウィン ハッブル (1889–1953)

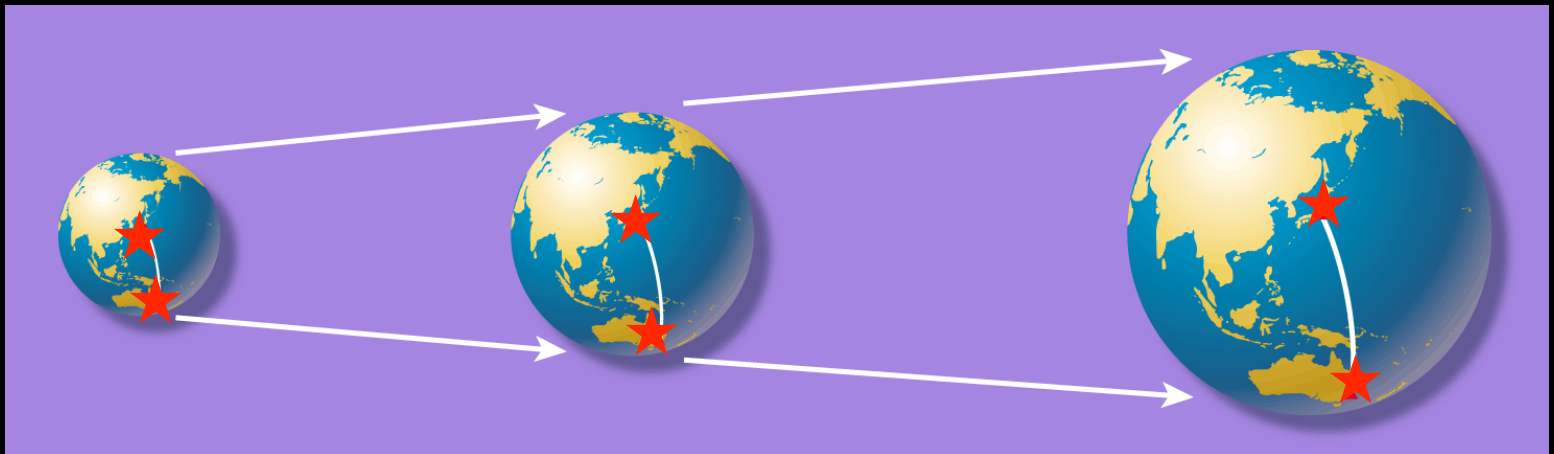
- 遠方の銀河はその距離に比例した速度で遠ざかっていることを発見 (1929年)



ハッブルの法則の民主的解釈

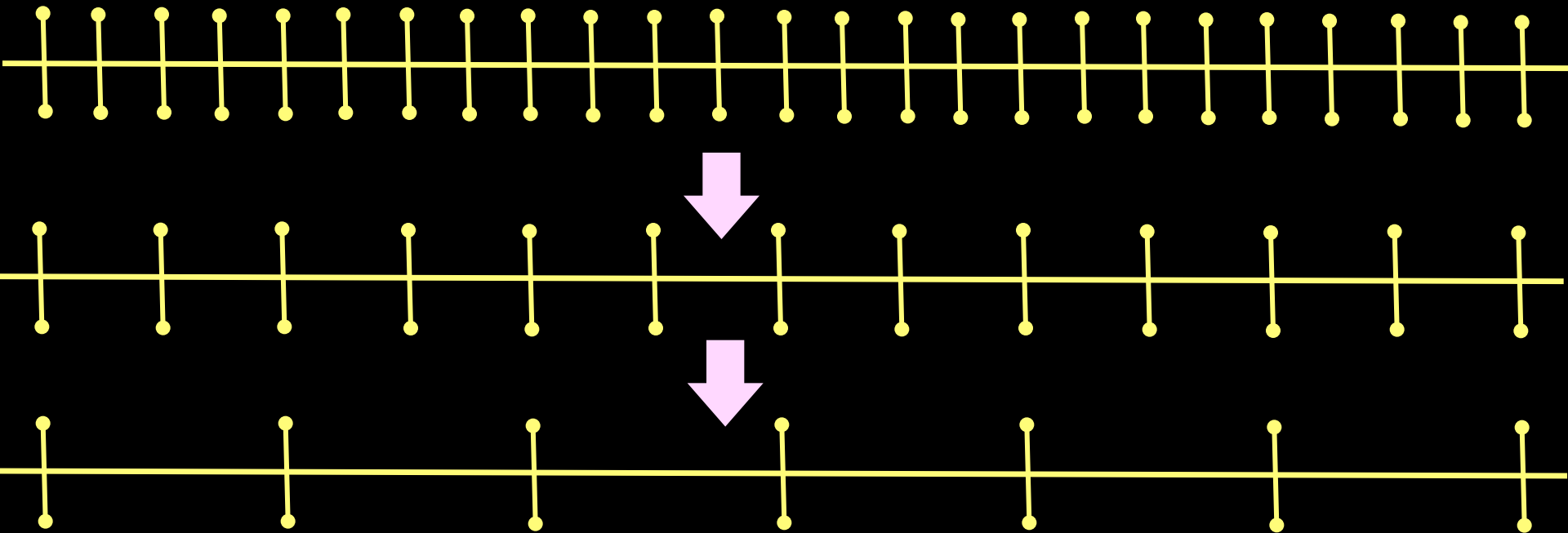
- ハッブルの法則は、我々の銀河系を中心とした場合に限らず宇宙のどこでも成り立つ

この法則は、単に個々の銀河の運動ではなく、宇宙があらゆる場所で全体として一様等方に膨張している結果



何に対して膨張している？

- すべての場所を中心に膨張していると言ってもよいが、中心があるわけではないし、何に対してでもない。あらゆる場所が等しく相似的に膨張している。
- 風船の表面の例がかえって混乱させてるらしい。むしろ、無限に伸びた一本のゴムひもを例として考えるほうが誤解が少ないかもしれない。端がないことも重要。



ハッブルの法則と宇宙年齢

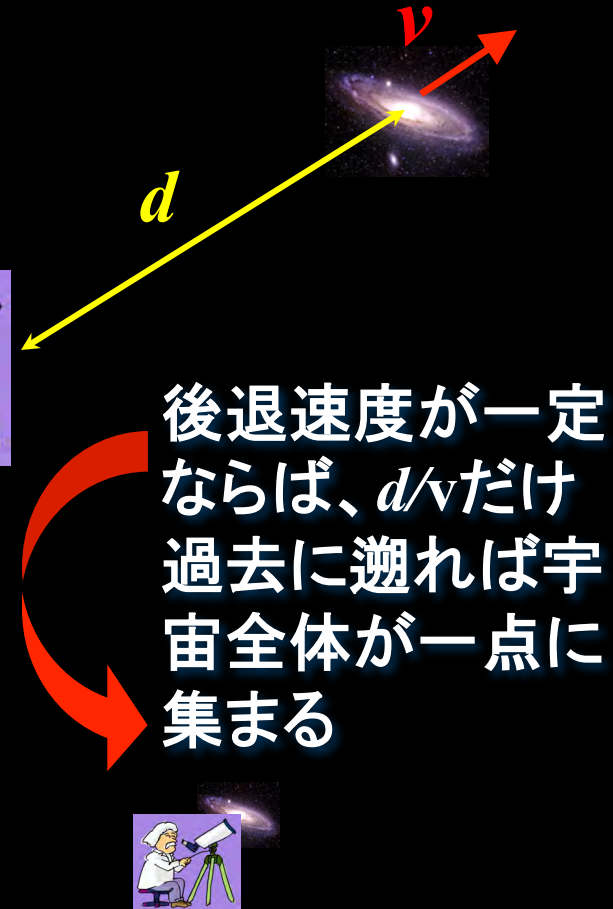
- ハッブル定数の逆数は宇宙年齢の目安

$$H_0 = 100h \text{ km/s/Mpc}$$
$$\approx 1/(100h^{-1} \text{ 億年})$$



$$t_H = \frac{d}{v} = \frac{d}{H_0 d} = \frac{1}{H_0} \approx 100h^{-1} \text{ 億年}$$

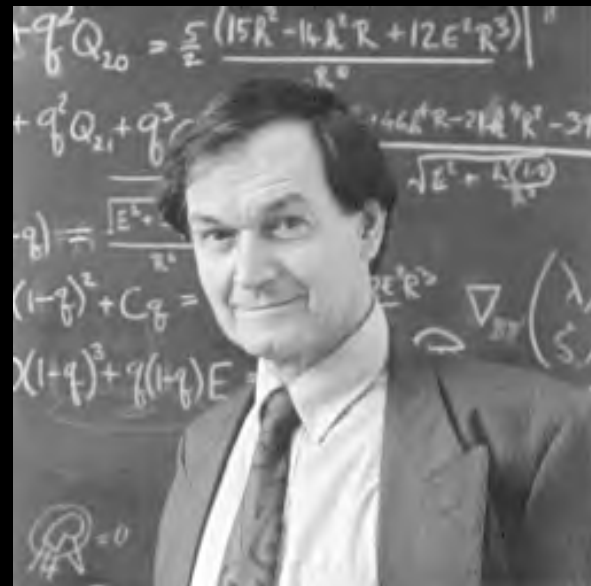
$$h = 0.7 \text{ の場合 } t_H \approx 140 \text{ 億年}$$



宇宙には始まりがある！

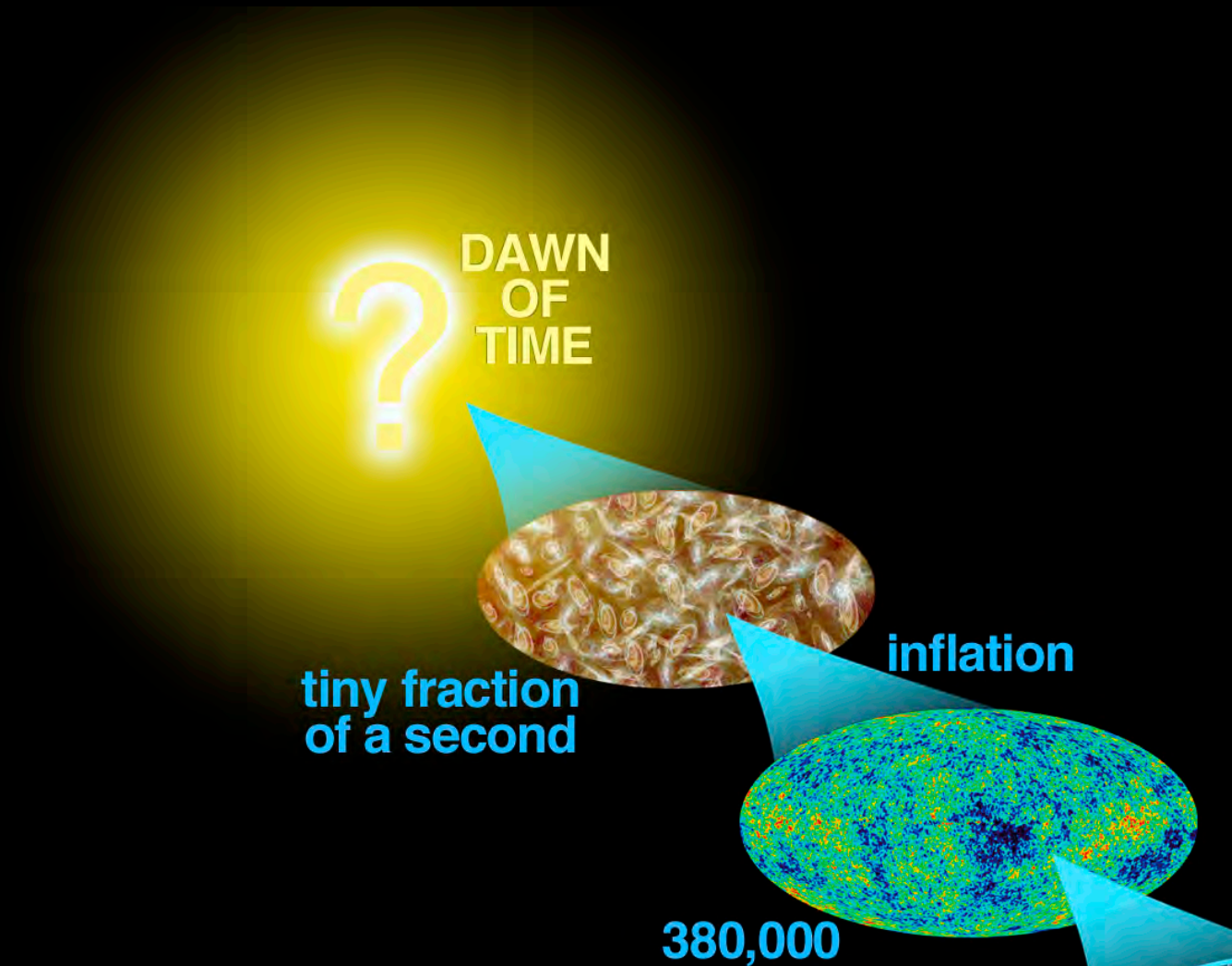


ではその前は？ ～特異点定理と 古典論の限界～



- 英国のロジャー・ペンローズとスティーブン・ホーキングによって、一般相対論によれば**初期特異点(宇宙の始まり)**が必然的に存在することが証明された(1970年)。
 - 強いエネルギー条件($\rho + 3P > 0$)が満たされている限り過去に $R(t)=0$ となる点が存在する
 - あくまで古典論の結果であり、量子論を考慮すれば物理的には厳密な特異点は存在しないだろうと期待されている
- 量子重力理論の完成を待たなくては、宇宙の誕生の瞬間を理解することはできない

Ⅱ 宇宙のインフレーション



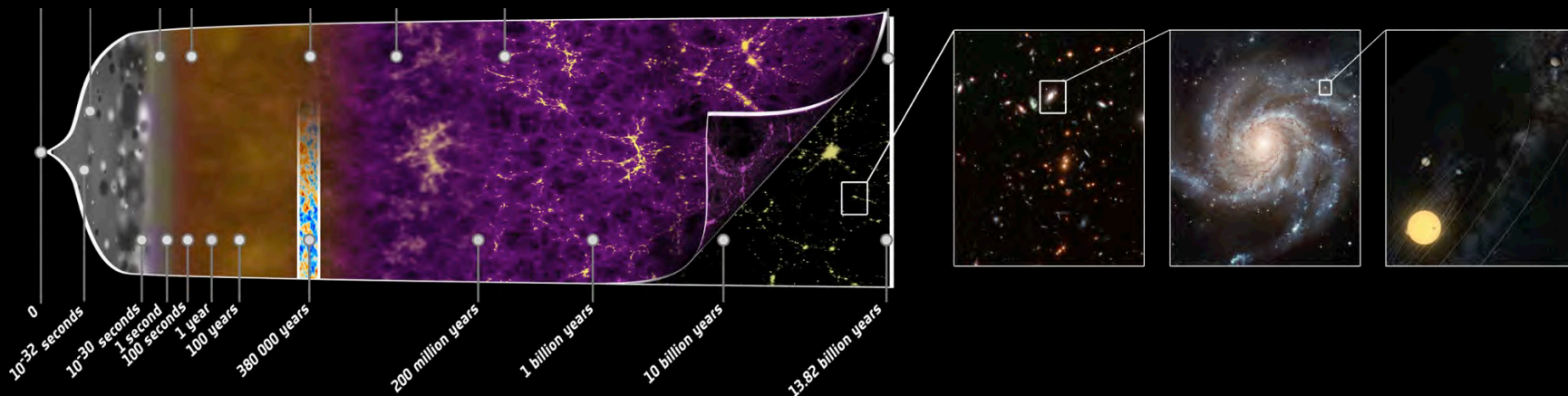
ビッグバン理論における未解決問題

- **地平線問題** 因果関係を超えたスケールまでなぜ宇宙は一様なのか
- **平坦性問題** なぜ宇宙はここまで平坦に近いのか
- **磁気モノポール問題** 大統一理論の予言する磁気モノポールはなぜ存在しないのか
- **密度ゆらぎ問題** 宇宙の構造の起源となるゆらぎはどうやって生成されたのか

宇宙初期の指数関数的膨張

■ 宇宙のインフレーション

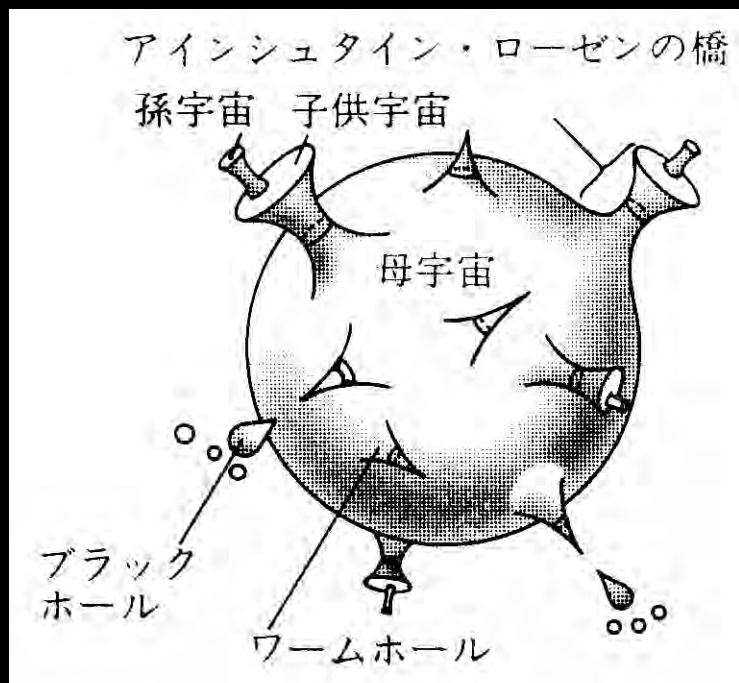
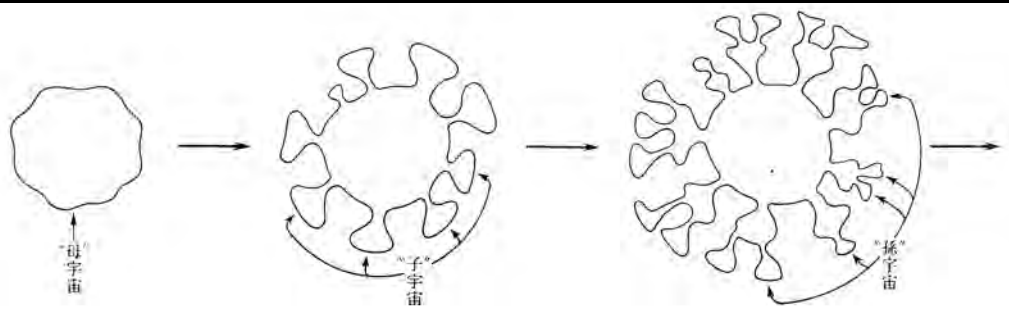
- $t \sim 10^{-36}$ 秒頃、指数関数的な急激な宇宙膨張を経験したとする仮説
 - 1981年に米国のアラン・グースと日本の佐藤勝彦が、当時の素粒子の統一理論に基づいて独立に提唱
- 現在の観測データをうまく説明できる
- 確定した理論モデルはないが現代宇宙論のパラダイムとなっている



宇宙のインフレーションを起こす機構

- 実は良くわかっていない
- 予想されている大まかなシナリオ
 - 宇宙初期には様々な異なる「真空」が存在
 - 「不安定な偽の真空状態」は「安定な真の真空状態」へ転移する際に急激な膨張をする
 - この偽の真空状態が持っていた潜熱(真空のエネルギー)が解放されることによって宇宙を加熱し、標準的ホットビッグバン宇宙に到達する
- 宇宙の誕生は超高エネルギーにおける素粒子物理によって記述される
 - 宇宙の歴史＝素粒子の相互作用の歴史
 - 今後解明されるべき研究のフロンティアの一つ

インフレーションシナリオ的多重宇宙像



(佐藤勝彦氏提供)



「The Genesis out of the Vacuum」1989年 ガラス 38.5×24×24cm/宇宙の生成のようすをガラスで表したこの作品。イメージの背後には長年の探究がある。作者は、太陽や月に毎日カメラを向けて、もう20年。宇宙に魅せられ、シャッターを押しつづけるために会社も辞めてしまった。ガラス職人とのコラボレーションで生まれたこの彫刻にも、宇宙の雄大な動きそのものがたぐいまれな造形だという確信がうかがえる。

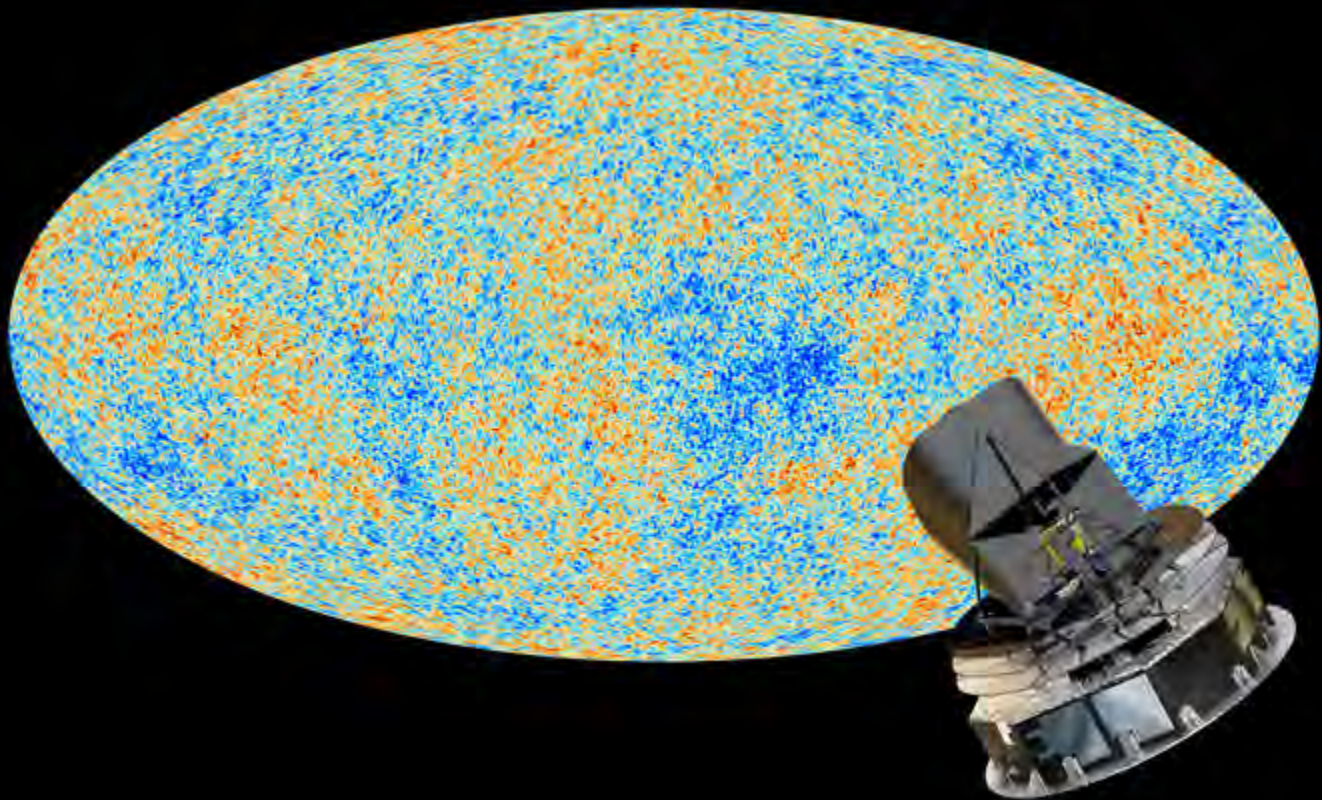
アーティスト
野村 仁

Hitoshi Nomura

1945年兵庫県生まれ。活動当初より物体の変容を写真に記録。のちに1枚のネガに1年間の太陽の軌跡を刻した「アナレンマ」シリーズや、一夜の月の運行を楽譜にした「moon' score」など、宇宙の時の流れを視覚化した作品が代表作となる。

Ⅲ 宇宙の初期条件@ $t=38$ 万年

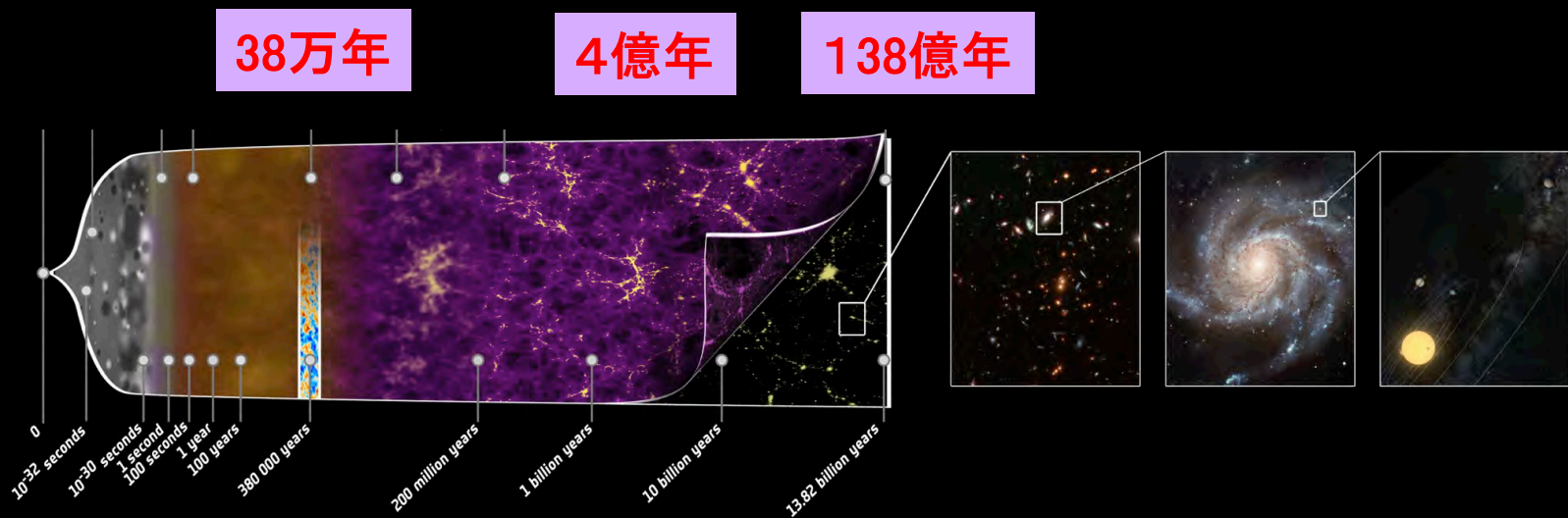
宇宙マイクロ波背景輻射



宇宙膨張と物質世界の進化

- 宇宙膨張によって密度と温度が下がる
 - 光が支配する宇宙から物質が支配する宇宙へ
- $t \doteq 3$ 分: 軽元素(ヘリウム)合成
- $t \doteq 38$ 万年: 電離した宇宙が中性化 (陽子+電子 から 水素原子)
- $t \doteq 4$ 億年: 第一世代天体の誕生
- $t \doteq 10$ 億年 ~ 137億年: 星形成(重元素合成)、銀河・銀河団形成

宇宙の誕生



宇宙の中性化と晴れ上がり

■ 電子と陽子の再結合(宇宙の中性化)

- 完全に電離していた宇宙は、温度が約3000K以下(宇宙誕生後約38万年)になると電子と陽子が結合して水素原子となり、中性化する

■ 宇宙の晴れ上がり

- その結果、電磁波(光)の直進を妨げていた自由電子が無くなり、宇宙は電磁波に対して透明となる
- 電磁波を用いる限り、それより過去の宇宙を観測する事は不可能

CMB: Cosmic Microwave Background

- 晴れ上がり直後の宇宙の光
 - ビッグバンモデルの直接的観測証拠
 - 1964年、ペンジアスとウィルソンが発見
- 現在の宇宙の温度 = $2.728 \pm 0.002 \text{ K}$

A MEASUREMENT OF EXCESS ANTENNA TEMPERATURE AT 4080 Mc/s

free from seasonal variations (July, 1964–April, 1965). A possible explanation for the observed excess noise temperature is the one given by Dicke, Peebles, Roll, and Wilkinson (1965) in a companion letter in this issue.

A. A. PENZIAS
R. W. WILSON

May 13, 1965

BELL TELEPHONE LABORATORIES, INC.
CRAWFORD HILL, HOLMDEL, NEW JERSEY

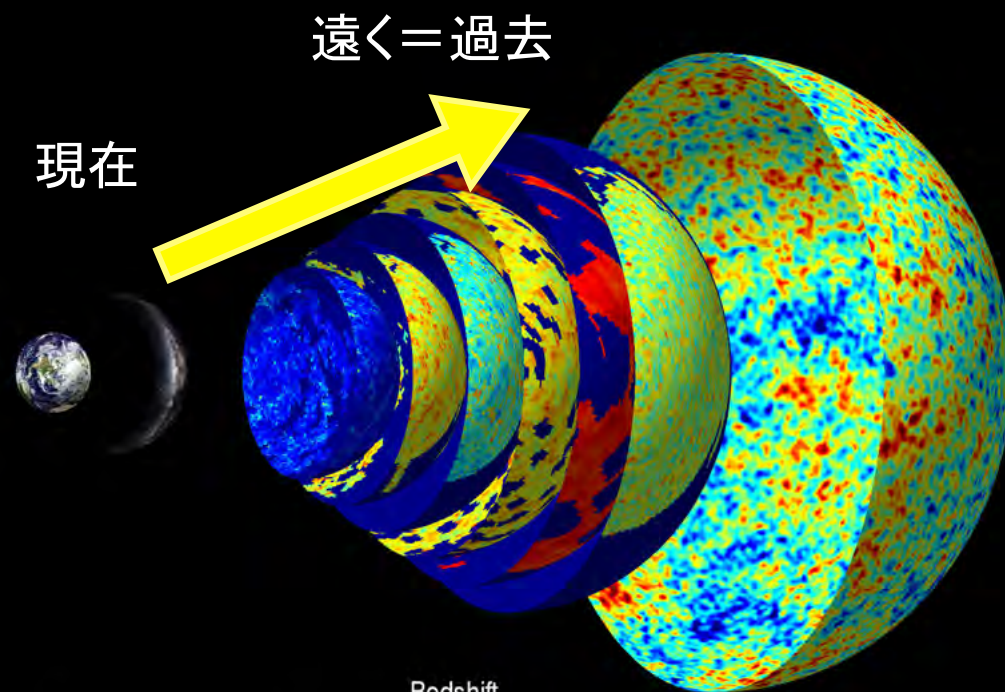
The Astrophysical Journal 142(1965)419

ペンジアスとウィルソン



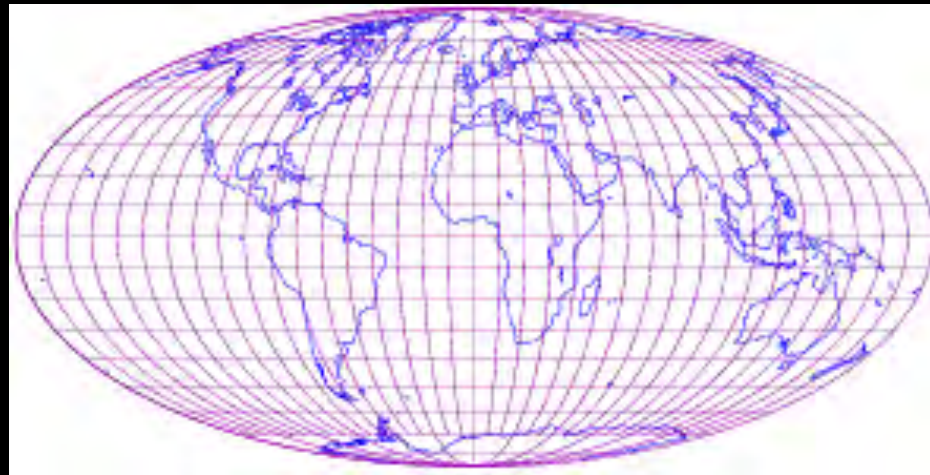
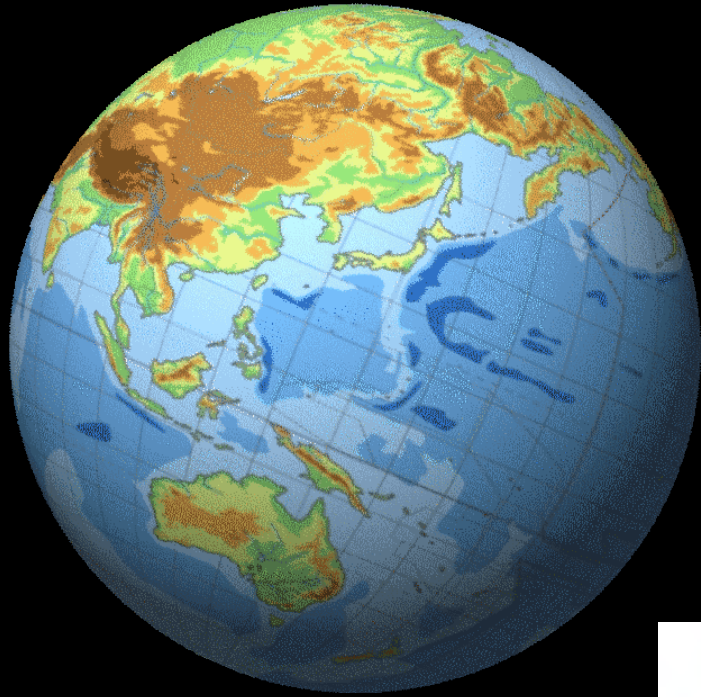
2013年11月2日@Crawford Hill, NJ

宇宙マイクロ波 背景輻射

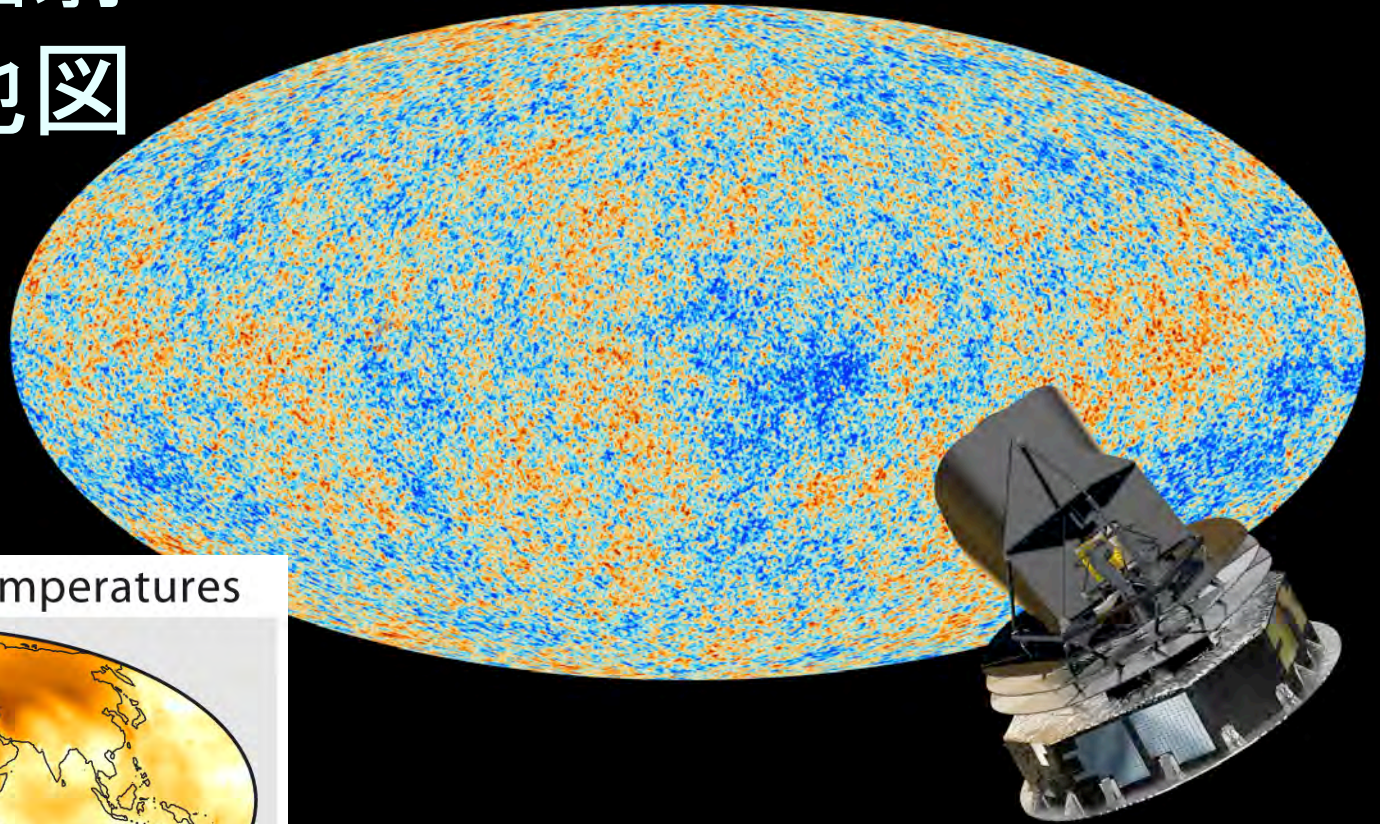
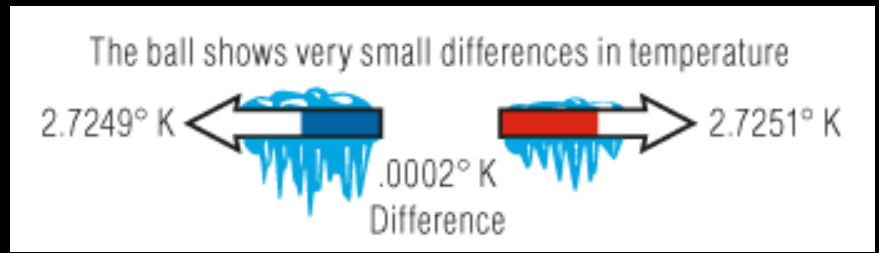


- 現在の宇宙は電波で満たされている
 - 熱い火の玉宇宙の名残
 - ビッグバンモデルの観測的証拠
 - 38万歳の宇宙の姿が現在観測できる
 - マイクロ波は、波長1mmから1mの電波をさす
 - 携帯電話もこの波長帯を利用

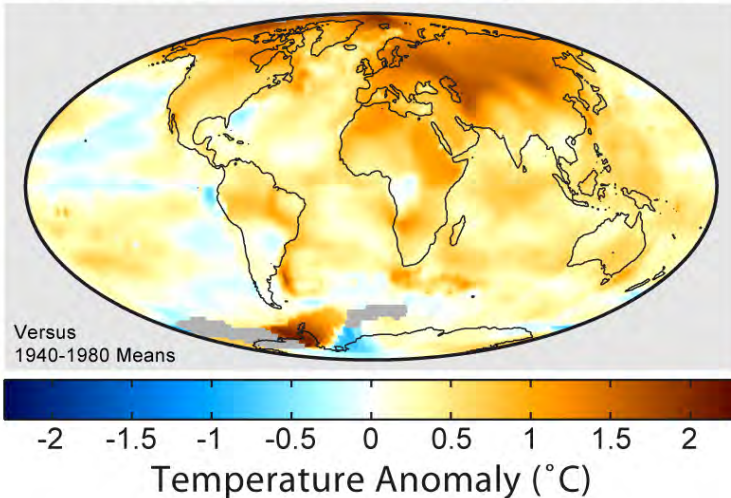
地球儀と世界地図



宇宙マイクロ波 背景輻射 温度地図



1999-2008 Mean Temperatures



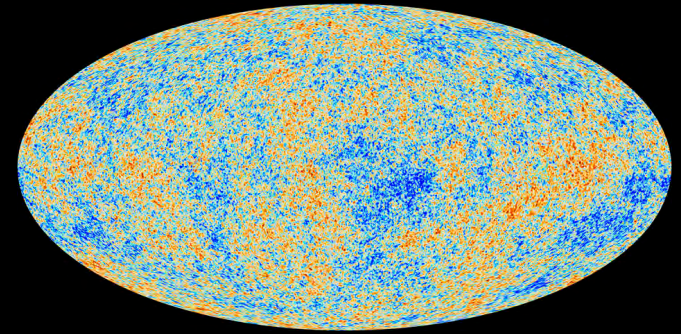
プランク衛星の観測データ(2013)

http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2013/03/Planck_and_the_cosmic_microwave_background

138億年前の古文書の解読方法

■ 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

- 球面調和関数展開

$$\frac{\delta T}{T}(\theta, \phi) = \sum_{l,m} a_{lm} Y_{lm}(\theta, \phi)$$

■ 解読された古文書内容

- 温度ゆらぎスペクトル

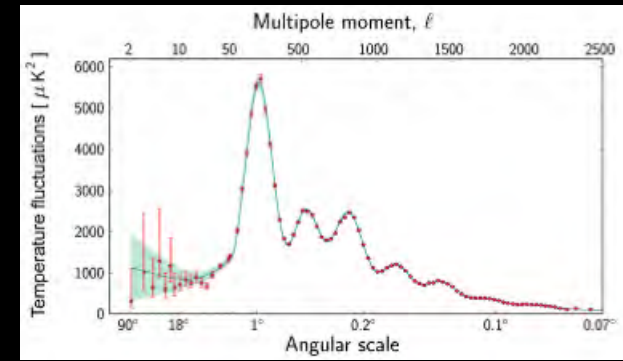
$$C_l = \langle a_{lm} a_{lm}^* \rangle$$

■ 古文書を理解するための文法

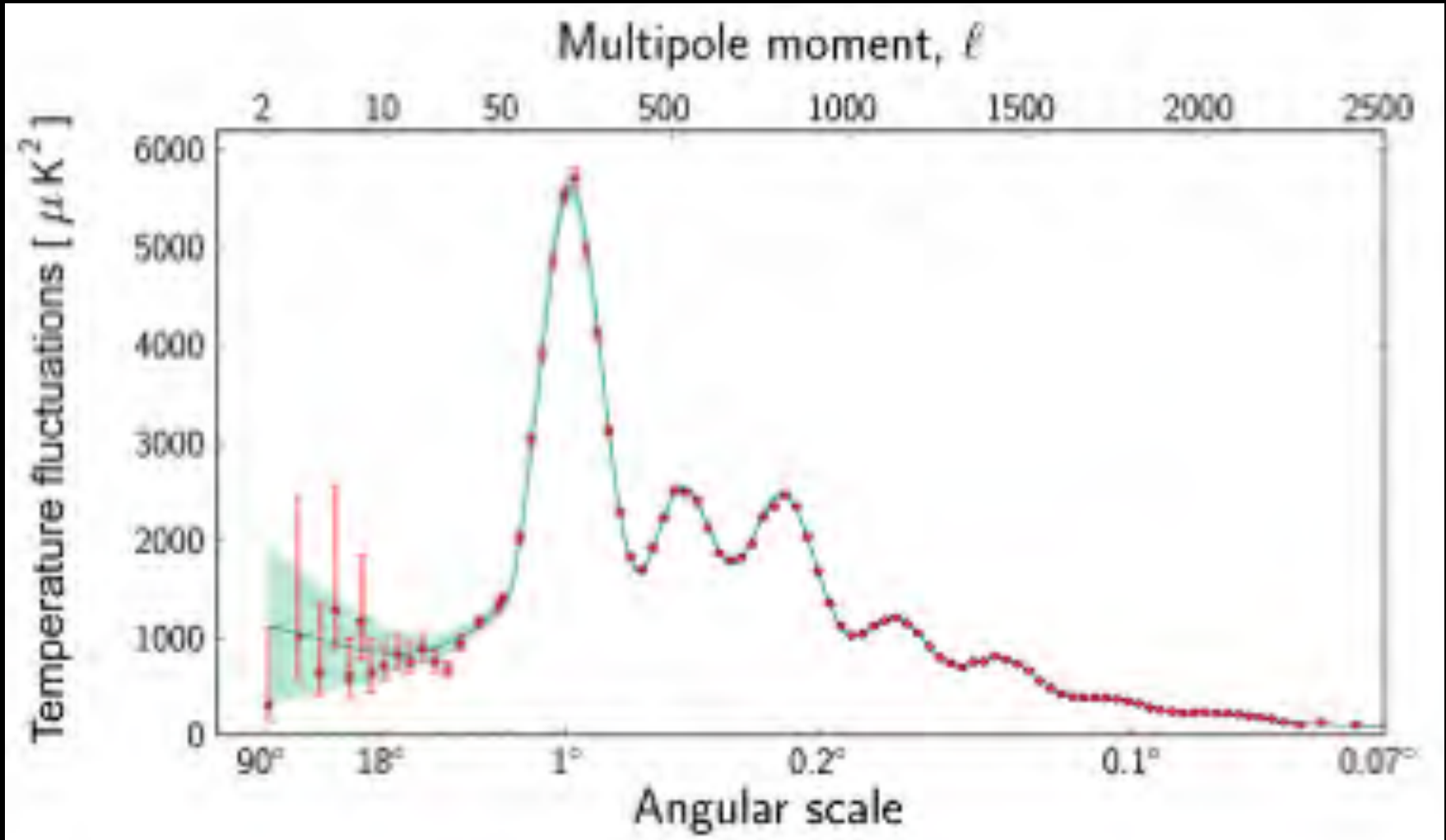
- 冷たいダークマターモデルの理論予言

■ 夜空のムコウに隠されている情報

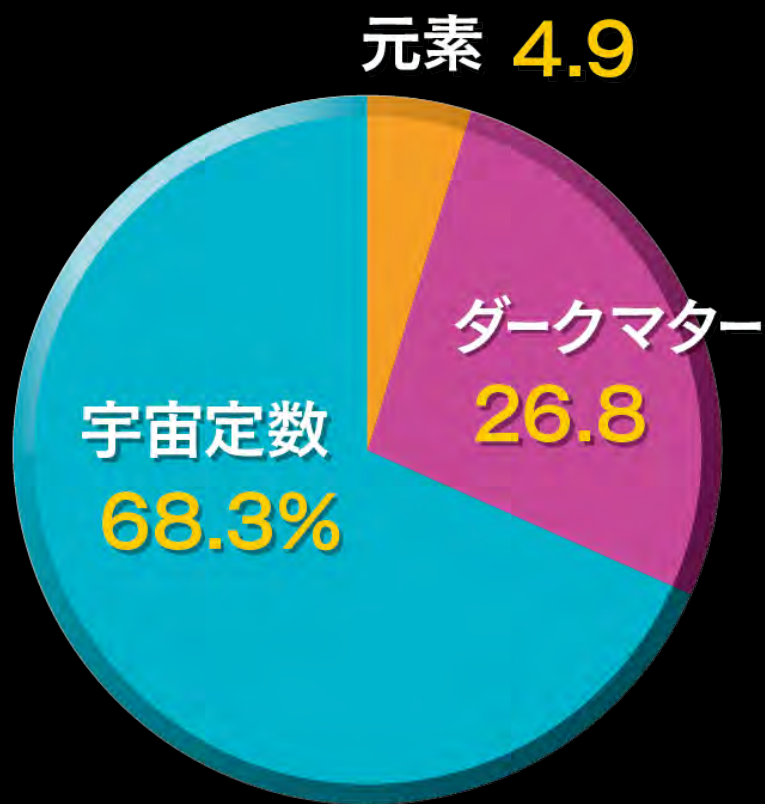
- 宇宙の年齢、宇宙の幾何学的性質、宇宙の組成、、、



標準宇宙モデル: わずか6つのパラメータでぴったり説明できる

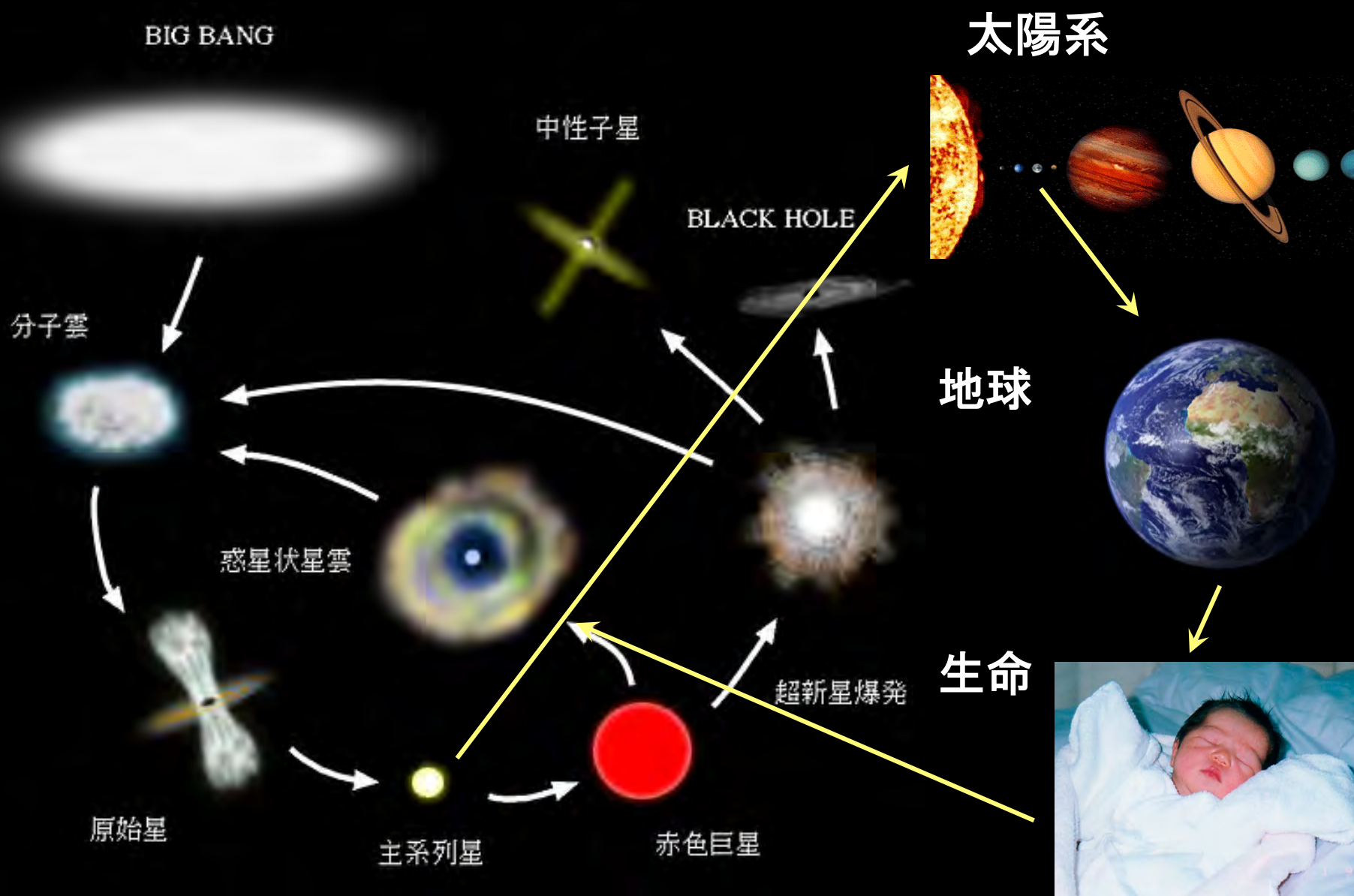


わかったこと： 現在の宇宙の組成



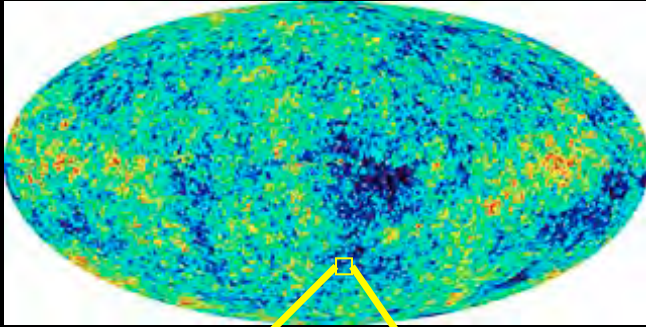
- 宇宙の主成分は宇宙定数で約7割を占める
- その次は約3割を占めるダークマター
- 我々の身の回りの世界を構成している元素はわずか5%程度でしかない
- 宇宙の約95%はその正体が未だ解明されていない

IV 宇宙の進化と物質世界の進化

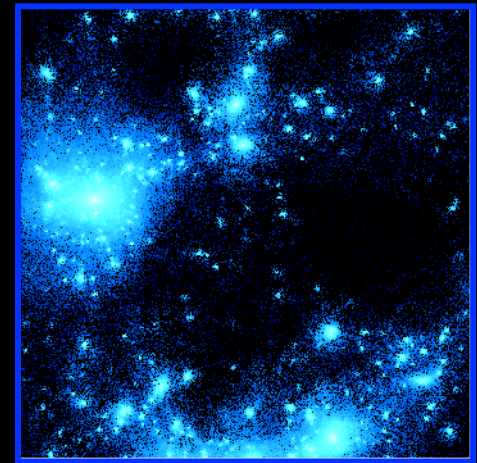
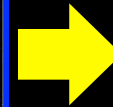
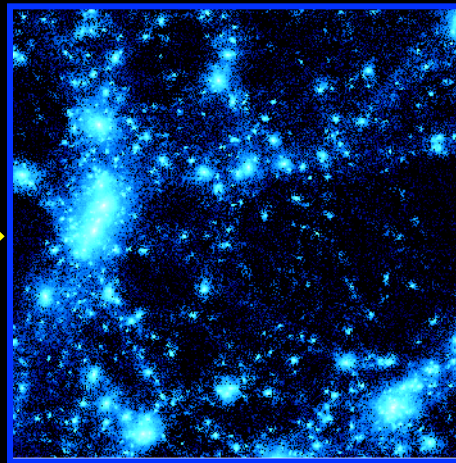
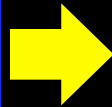
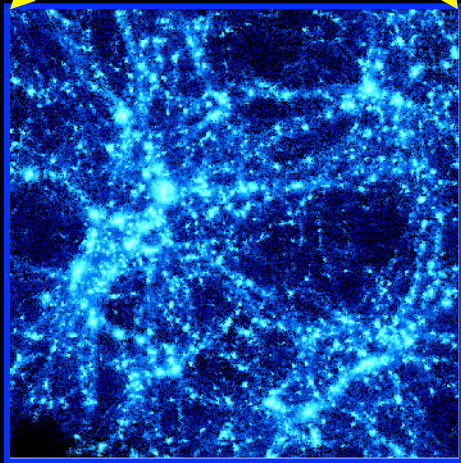


宇宙の構造形成標準理論

宇宙初期の空間ゆらぎ

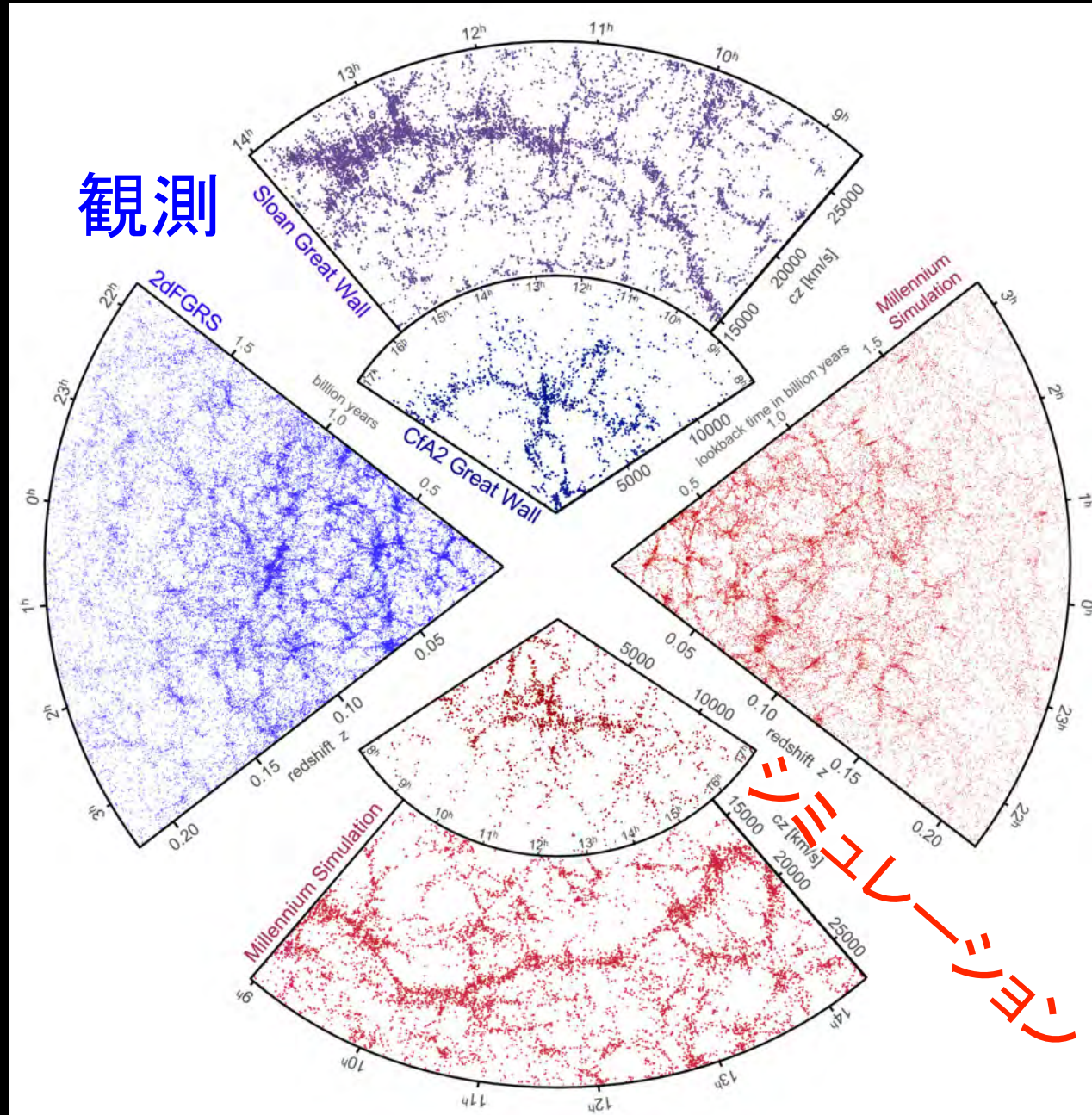


- 小さなスケールの構造ほど初期に形成される
- いったんできた構造が重力的に合体あるいは集団化することで、より大きなスケールの構造へと進化する

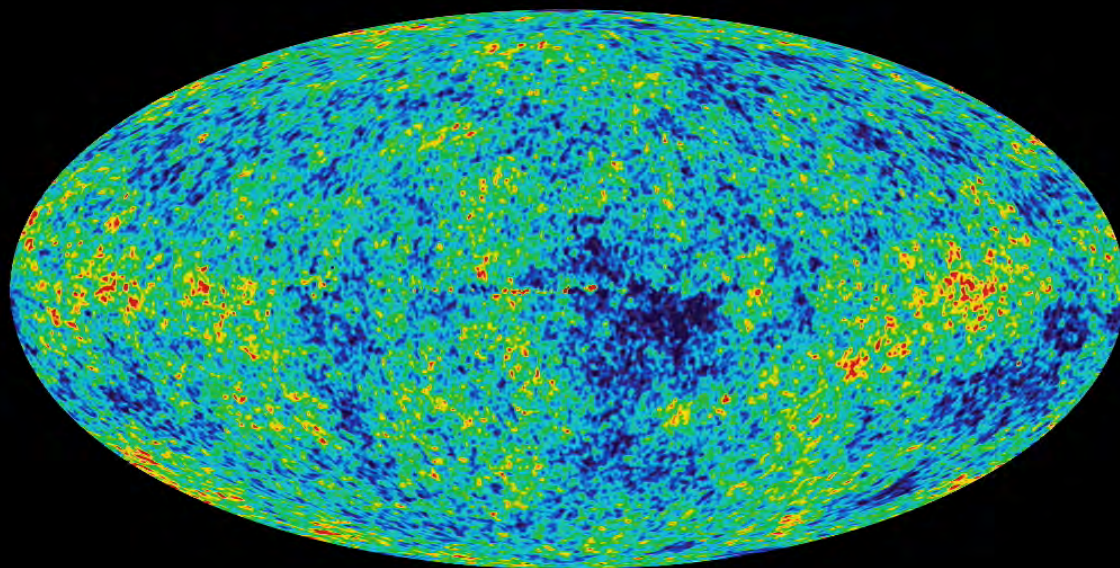


万有引力(重力)によってでこぼこ度合いがどんどん成長する

理論予言
(数値計算)
と観測との
比較:
銀河の3次元
元分布

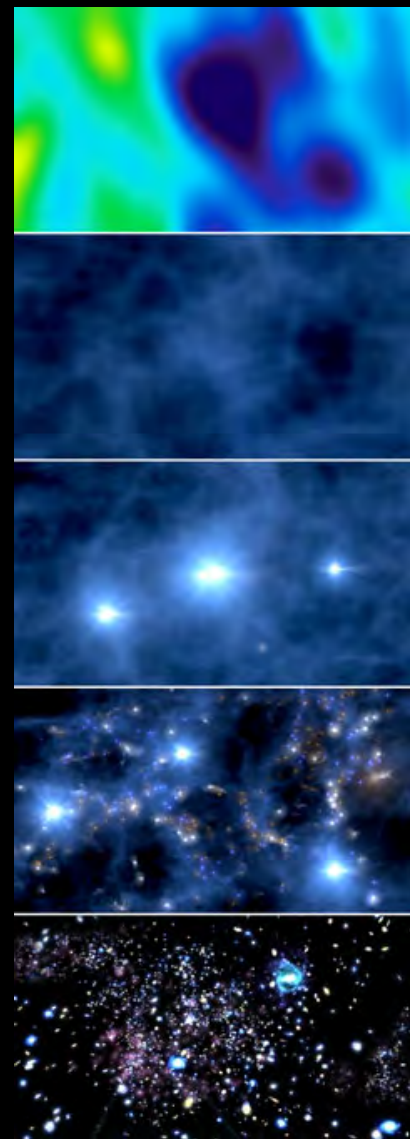


38万歳の宇宙から137億歳の現在へ

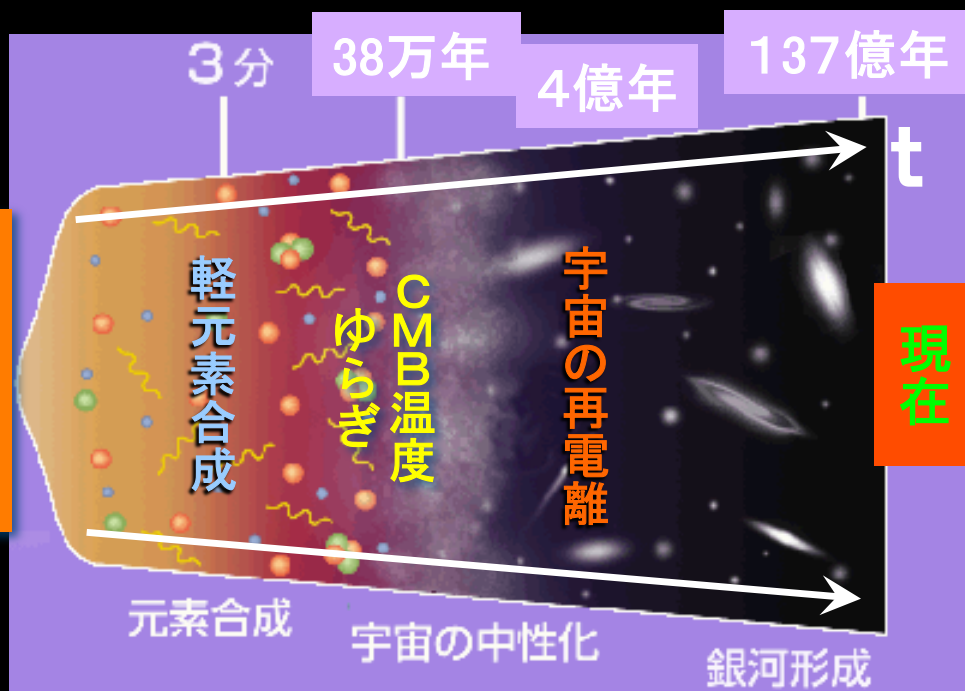


NASA/WMAP サイエンスチーム提供

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



宇宙の歴史



宇宙の誕生

軽元素合成

元素合成

宇宙の中性化

宇宙の再電離

銀河形成

現在

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

- $t \sim 10^{-40}$ 秒: インフレーション・量子ゆらぎの生成
- $t \sim 3$ 分: ヘリウム合成
- $t \sim 38$ 万年: 宇宙の中性化・宇宙の晴れ上がり
- $t \sim 4$ 億年: 第一世代天体の誕生
- $t \sim 8$ 億年: 宇宙の再電離ほぼ終了
- $t = 8$ 億年 ~ 137 億年: 銀河形成、銀河団形成、宇宙の大構造
- $t \sim 137$ 億年: 現在

宇宙史の概略

宇宙年齢	現在からの時間	出来事
0	138億年前	宇宙の誕生
～ 10^{-36} 秒	138億年前	宇宙の指数関数的膨張(インフレーション)と、それにともなう宇宙の熱化(ビッグバン宇宙)
3分	138億年前	ヘリウムの合成(ビッグバン元素合成)
38万年	138億年前	宇宙の中性化(陽子と電子が結合して荷電中性の水素原子になる)と、宇宙の晴れ上がり
～数億年	～130億年前	最初の星の誕生。それ以降現在まで星の中心で炭素、酸素から鉄に至る重元素が合成され、星の進化の最終段階で星間空間にばら撒かれ、次世代の天体の材料となる(元素循環)
8億年	130億年前	現在知られている最古の銀河。この頃中性化した宇宙が再び電離
～70億年	～70億年前	ダークエネルギーが宇宙を支配し、それ以降、宇宙膨張が減速から加速に転ずる

宇宙・物質史 (主に物理法則から予想・推定)

宇宙年齢	現在からの時間	出来事
0	137億年前	宇宙の誕生
10^{-43}秒 ～10^{-30}秒	137億年前	宇宙の指数関数的膨張(インフレーション)と、それ にともなう宇宙の熱化(ビッグバン宇宙)
10^{-6}秒	137億年前	陽子と反陽子の対消滅
1秒	137億年前	電子と陽電子の対消滅
3分	137億年前	ヘリウムの合成(ビッグバン軽元素合成)
38万年	137億年前	宇宙の中性化(陽子と電子が結合して荷電中性の 水素原子になる)
～4億年?	～133億年前?	最初の星の誕生、それ以降現在まで星の中心で炭 素、酸素、、、鉄などの重元素が合成され、星の最 期に星間空間にばら撒かれる(元素循環)
8億年	129億年前	現在知られている最古の銀河、 中性化した宇宙が再び電離
71億年	66億年前	ダークエネルギーが宇宙を支配し、それ以降、宇 宙膨張が減速から加速に転ずる

地球・生命史（主に地質学的証拠から推定）

宇宙年齢	現在からの時間	出来事
82億年	46億年前	地球および月の誕生
96億年	42億年前	海の形成
98億年	40億年前	原始生命(プロゲノート)の誕生
100億年	38億年前	最古の光合成の痕跡(イスア表成岩帯)?
115億年?	23億年前?	全球凍結
117億年	21億年前	大気中酸素の急激な増加
122億年	6億年前	カンブリア紀大爆発(生物種の爆発的多様化)
134億年	2.5億年前	生物大量絶滅(P/T境界事件:ペルム紀—三畳紀)
136億年	2.3億年前	恐竜の出現
137億年	6500万年前	恐竜絶滅(K/T境界事件:白亜紀—第三紀)
138億年	20万年前	新人型ホモサピエンスの出現

宇宙生物学入門-惑星・生命・文明の起源-(2008)より

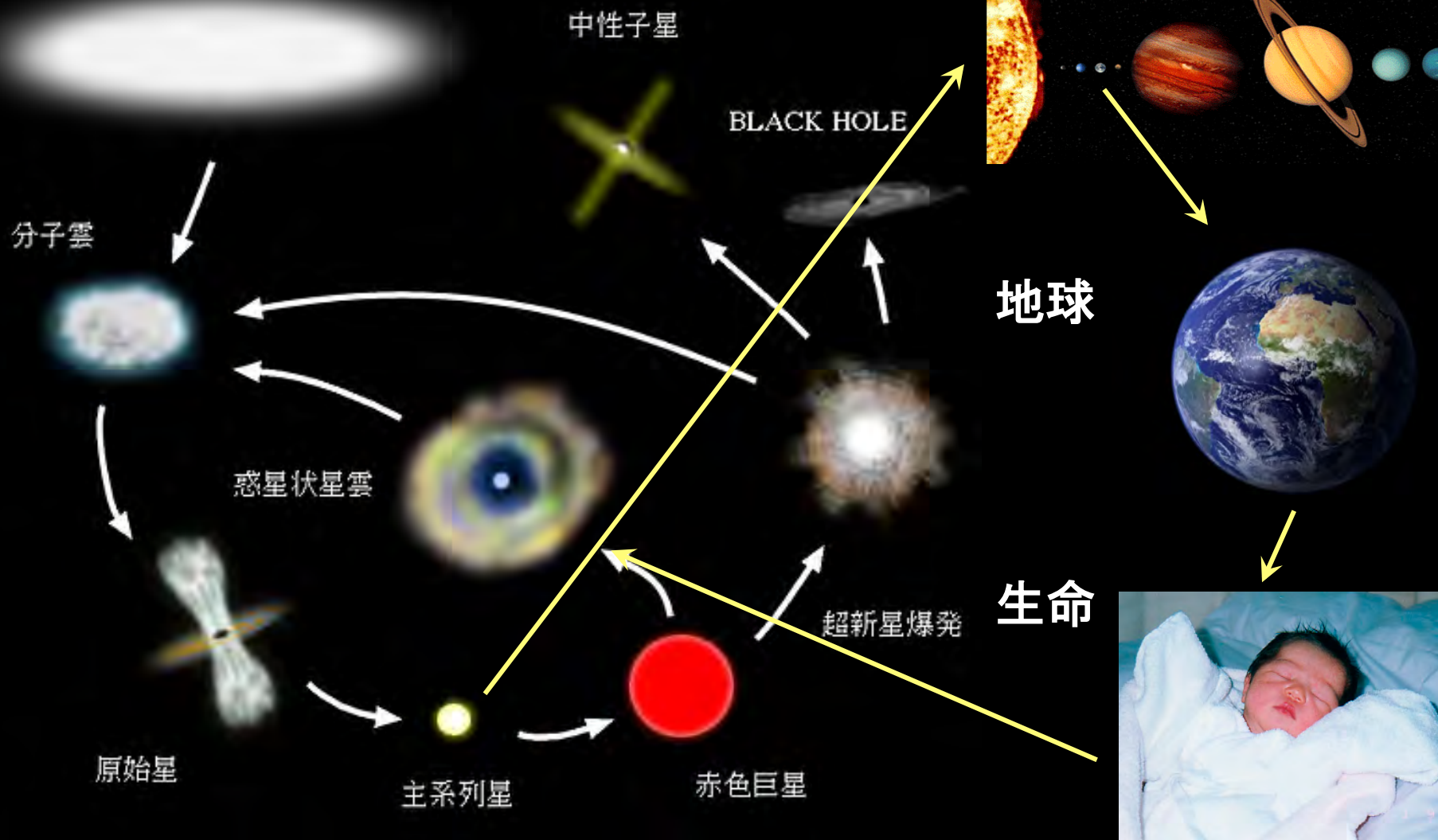
我々は星の子供：宇宙の元素循環

- 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！**

ビッグバン、天体形成史、元素循環

BIG BANG

太陽系



V 宇宙の未来

宇宙のサイズ

宇宙の加速膨張

五劫の擦り切れ、、、

空劫

滅劫

住劫

成劫

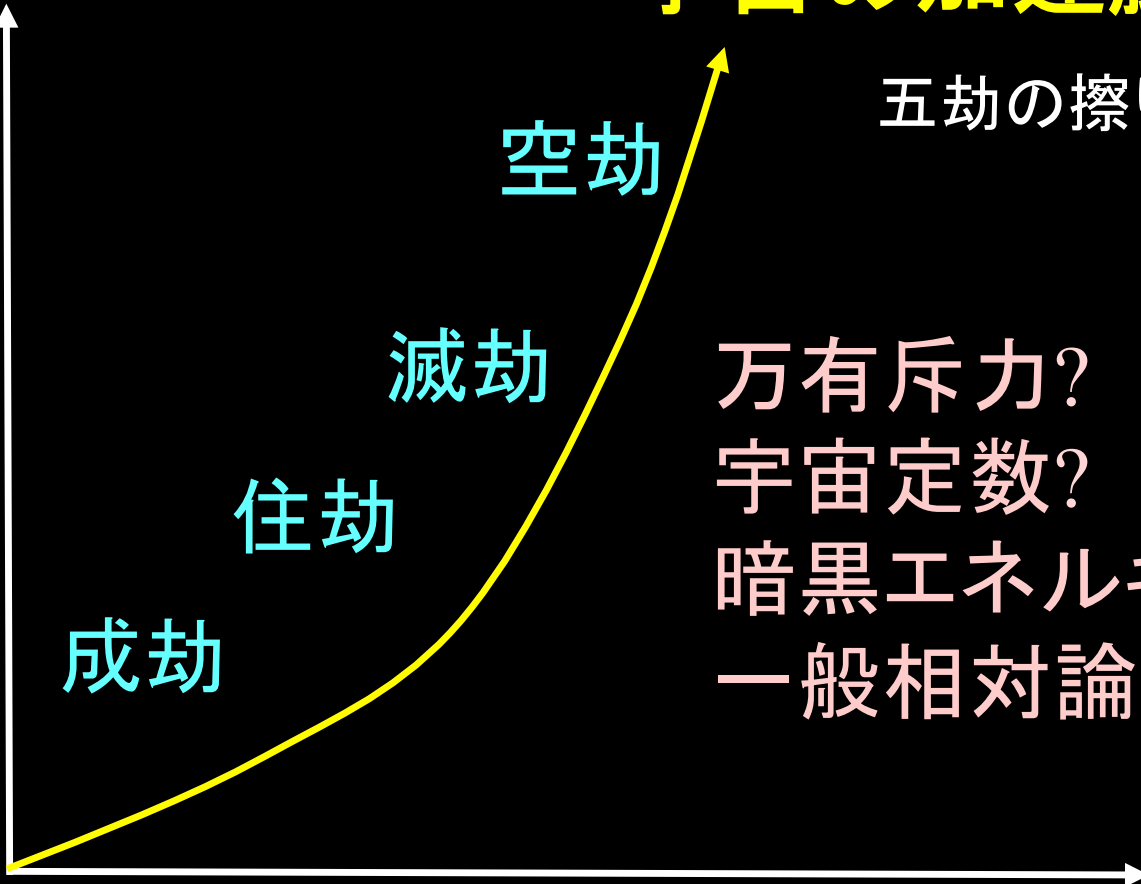
万有斥力？

宇宙定数？

暗黒エネルギー？

一般相対論の破綻？

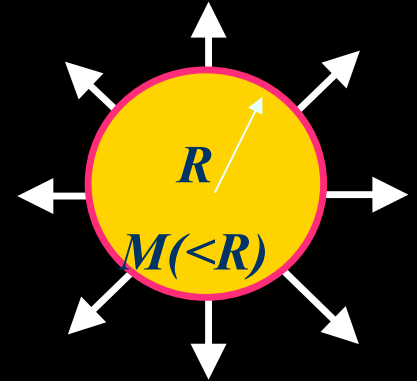
時間



膨張宇宙の力学

■ ニュートン力学によるテスト粒子の運動

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = - \frac{GmM}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



- 遠心力と重力を釣り合わせるケプラー運動だけが安定な軌道
⇒ 球対称性を破る(角運動量が0でない)
- 球対称性を保ったまま(半径 R の球殻を考え動径方向の運動しか許さない)だと、安定軌道はない ⇒ 膨張あるいは収縮
- 星のような天体の場合は、圧力勾配によって安定化

■ 一般相対論による宇宙の力学もこれと同じ

- 宇宙は膨張するか収縮するか、静的モデルは不安定

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = - \frac{4\pi G}{3} \left(\rho + 3p - \frac{\Lambda}{4\pi G} \right) R$$

質量密度 圧力

宇宙定数
(ダークエネルギー)

フリードマン方程式

一般相対論と進化する宇宙

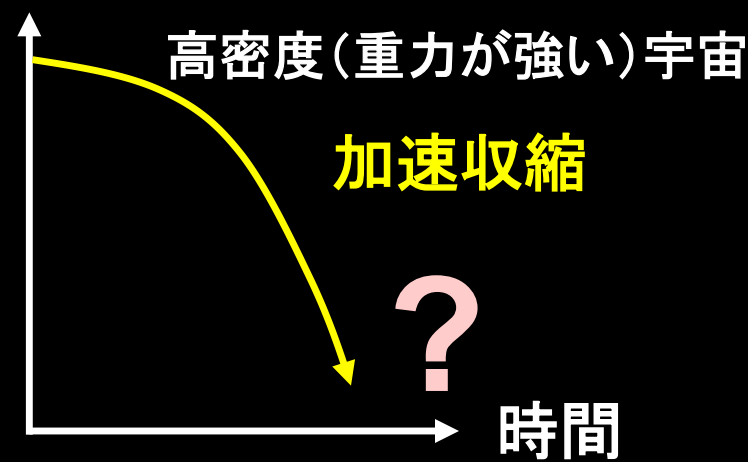
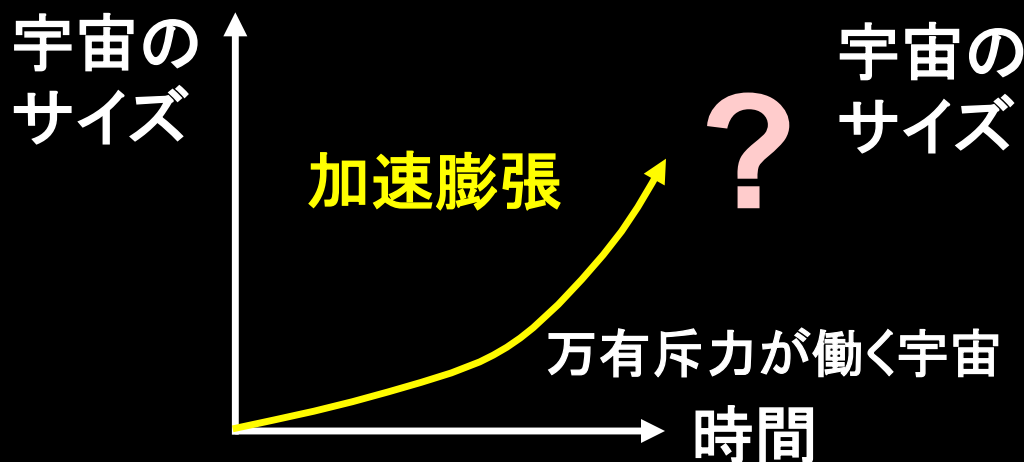
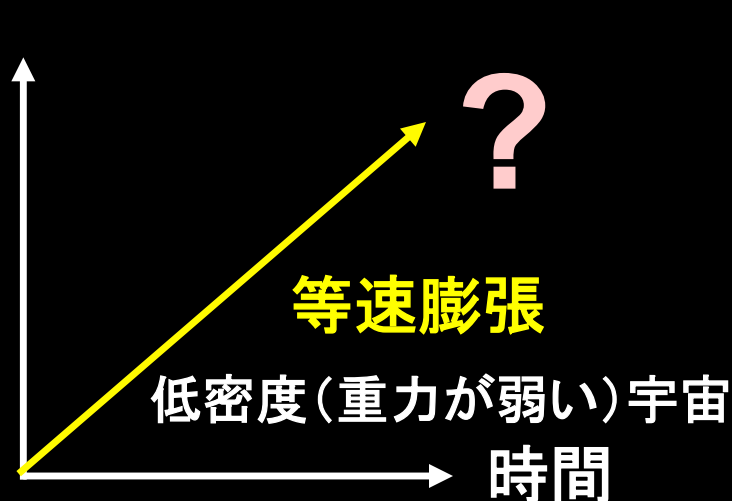
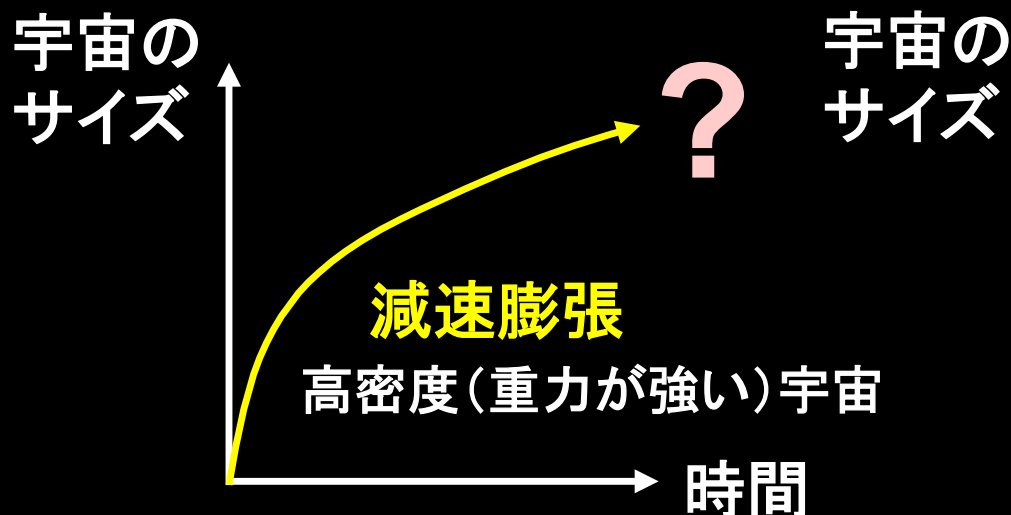
■ アルバート・アインシュタイン (1879-1955)



- 一般相対論の完成 (1916年)
- 自然な帰結である「始まりがある」宇宙を避けるため、理論を修正し宇宙項を導入。アインシュタインの静的宇宙モデル (1917年)
- ハッブルの発見によりこの修正を撤回。自ら「人生最大の失敗」と評す(とされているが、実はこれはジョージ・ガモフの作り話らしい)

宇宙の組成と宇宙膨張の未来

- 宇宙の構造と進化の観測を通じて、宇宙の組成を決定する $\Rightarrow$ 宇宙の未来もわかる



宇宙に終わりはあるか？

- 「始まり」があるのならば、「終わり」もあるはず
 - **地球の終わり**： 50億年後には、太陽は地球の公転軌道ほどのサイズの赤色巨星になり、地球は飲み込まれる
 - **文明の終わり**： 人類(文明)はそれよりはるか以前に、疫病、核戦争、資源の枯渇などによって実質的に消滅しているであろう
 - **宇宙の終わり**： 宇宙膨張の力学がすべてを決める
 - 無限に膨張を続ける $\Leftrightarrow$ 宇宙の密度が0に漸近する空虚な宇宙？
 - やがて収縮に転じる $\Leftrightarrow$ 初期特異点のように密度が発散し、それ以後の時間発展が記述できない宇宙？

仏教的宇宙史観：四劫と億劫

- 四劫：世界の成立から破滅に至るサイクル
 - 成劫：世界の成立から、人間が住み、地獄から色界天までが成立する期間
 - 住劫：人類が世界に安穩に存在する期間
 - 壊劫：世界の破滅に至る期間
 - 空劫：次の世界が成立するまでの何もない期間
- 一劫は43億2000万年に対応（注：別の説もあり）
 - 宇宙の年齢137億年から考えると、現在は壊劫の終わりから空劫の初めに対応！
 - 「億劫」とは、 4.3×10^{21} 年かかるほど大変という途方もない意味！（五劫の擦り切れも半端じゃない長さ）

宇宙の未来

宇宙の歴史が消える日

加速を続ける宇宙膨張によって
宇宙そのものの起源を示す証拠が
いずれ消し去られてしまう

L. M. クラウス (ケース・ウェスタン・リザーブ大学)
R. J. シェラー (バンダービルト大学)

宇宙が膨張，視界は狭く

宇宙は無限かもしれないが、私たちの周りの宇宙（紫の球）と、そのうちで私たちから観測可能な宇宙（内側の黄色の球）で何が起こるかを考えよう。空間が膨張するにつれ、銀河（オレンジ色の点）は散り散りになる。時とともに遠くからの光が届くようになるから、地球上にいる私たち（あるいは私たちの祖先や子孫）から見える範囲は着実に広がっていくが、それよりも銀河が散り散りになるペースが速い。いまから約60億年前に宇宙膨張は加速し始め、遠方の銀河は光速を超えるスピードで私たちから遠ざかるようになった。

④ ついには、私たちから見えるのは自分たちがいる1つの超大型銀河と、何も無い虚空だけになる。

銀河
観測可能な領域
その外側に広がる空間

① 加速膨張が始まったときには、最も多くの銀河が見えた。

② 観測可能な領域が拡大するが、宇宙全体がそれを上回るスピードで膨張する。この結果、私たちから見えるものは少なくなる。

③ 遠方の銀河（私たちの銀河と重力で結びついていない銀河）は視界の外に出てしまう。一方で、近くの銀河は重力で引き合って合体する。

注：宇宙は等方的に膨張しているので、天の川とは別の銀河に
いるエイリアンにとっても、宇宙の見え方はこれと同じになる。

宇宙の未来

日経サイエンス

2008年6月号

The End of Cosmology ?
L.M.Krauss & R.J.Scherrer



現在 夜空に伸びるぼんやりした光の帯は、天の川銀河の銀河円盤。アンドロメダ銀河やマゼラン雲など、いくつかの近傍銀河は肉眼で見える。望遠鏡を使えば数十億個もの銀河が見える。



50億年後 アンドロメダ銀河が近づいてきた結果、夜空いっぱいに見える。太陽は赤色巨星に膨れあがった後に燃え尽き、地球は酷寒の世界となる。

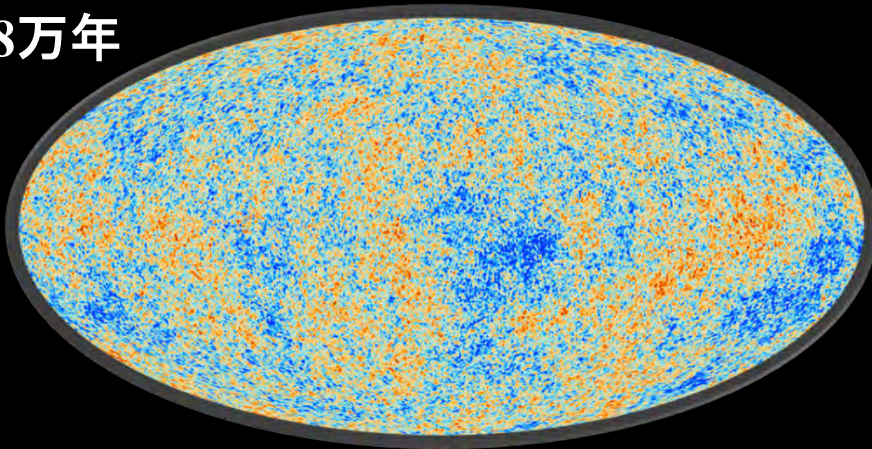
- 50億年前 宇宙の加速膨張始まる
- 50億年後 太陽が一生を終え、地球を飲み込む
天の川銀河とアンドロメダ銀河が衝突
- 1000億年後 超銀河形成、他の銀河は視界から消える
- 100兆年後 恒星が燃料を使い果たして消失
- 10^{37} 年後 物質を構成している陽子が崩壊

1000億年後 天の川銀河は球状の超銀河になり、地球はその外縁部を“見捨てられた天体”として浮遊しているかもしれない。他の銀河はすでに視界から消え去った。

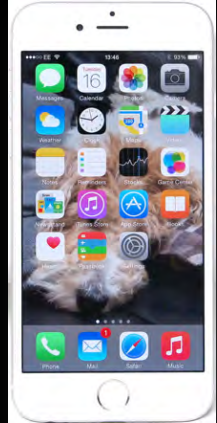
100兆年後 消灯の時。最後の恒星が燃え尽きる。ぼんやりと光るブラックホールと、どこかの文明がともした人工照明を除き、宇宙は暗闇となる。最後に、銀河が崩壊してブラックホールとなる。

VI 世界は法則に支配されているか

誕生後
38万年



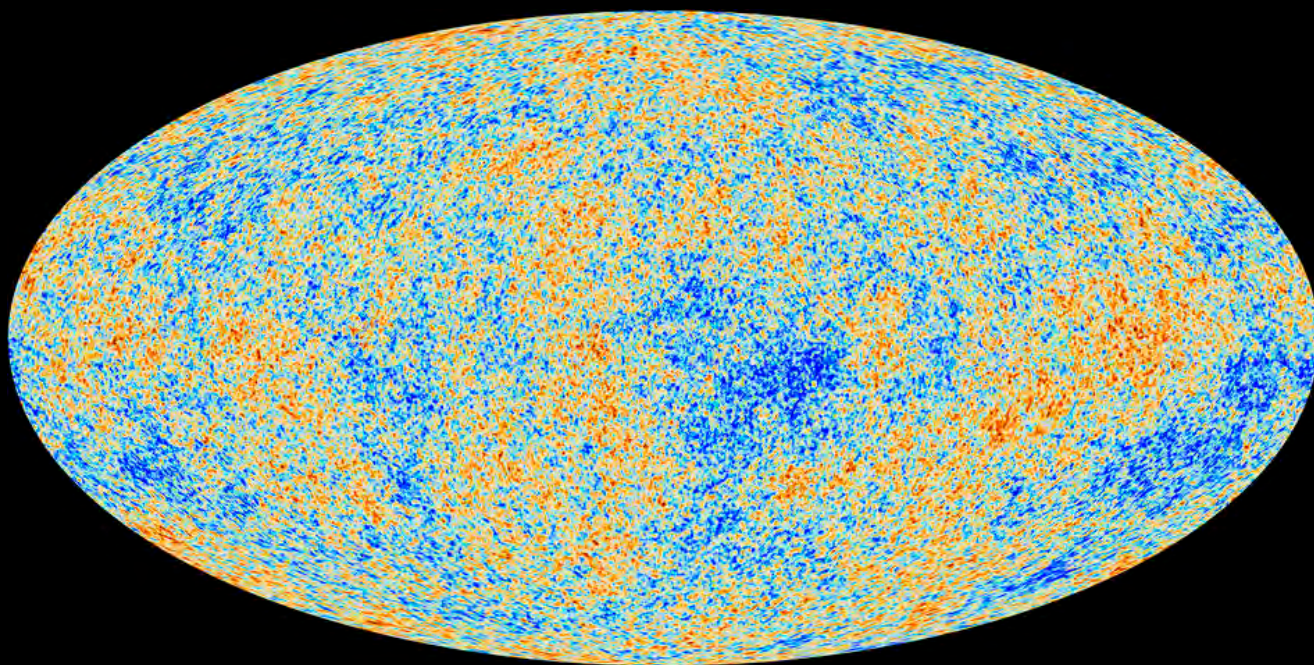
現在の宇宙・地球・社会の
驚異的な多様性はすべて
この初期条件で決まっ
ていたのか？



誕生後数十億年



驚くべきことに、現在の宇宙に関するすべての情報は原理的にはここに刻まれている



■ 宇宙論の中心的教義

初期条件+既知の物理法則 = 現在の宇宙

単に宇宙の構造だけではない



土星越しに見 る地球

- 土星探査機カッシーニが撮影した地球と月
 - 2013年7月20日(日本時間): 2万人がこちらに手を振っている

View from Saturn (Cassini)
900 million miles away



必然と偶然

■ 科学が解明すべき究極の謎

- なぜ生命は誕生したのか
- なぜ意識が芽生えたのか
- なぜ宇宙は存在するのか

■ 必然と偶然の接点

- この宇宙のどこかで生命が誕生することは必然
- 進化した生物がやがては意識をもつのもまた必然
- しかし、宇宙の存在・誕生は偶然？
 - そもそも、宇宙誕生の前に物理法則はあったのか

宇宙の進化という必然

- 誕生後38万年での初期条件(CMB温度地図)
 - + 物理法則 = 現在の宇宙に関する観測事実
 - ビッグバン元素合成、宇宙の中性化、天体の誕生、元素循環と天体の形成・進化、宇宙の加速膨張
- 生命の誕生、知的生命への進化ですら、(未だ具体的な説明には成功していないものの)物理法則にしたがった必然的帰結

物理法則と宇宙の存在もまた必然か

- 初期条件と物理法則によって、その後の振る舞いは説明できるはず（物理学的世界観）だが、、、
- 初期条件は何によって決まったのか
 - 最終的には宇宙のはじまりの問題
- 宇宙はなぜ存在しているのか
- 物理法則は、いつから、どのように、なぜ存在しているのか
 - これらは通常の科学が扱える範囲ではないが、問題の存在は認識しておくべき

物事には必ず理由があるのか

■ 例題

- 地球上に液体の水が存在するには、太陽との距離が現在の値と $\pm 10\%$ 程度の狭い範囲内におさまっていない(ハビタブルゾーンと呼ばれている)。これから何かわかることはあるか？

偶然に意味を見い出す

■ 回答例 1: 無意味な質問である

- 地球と太陽の距離は単に偶然決まっただけ。偶然には意味はない。

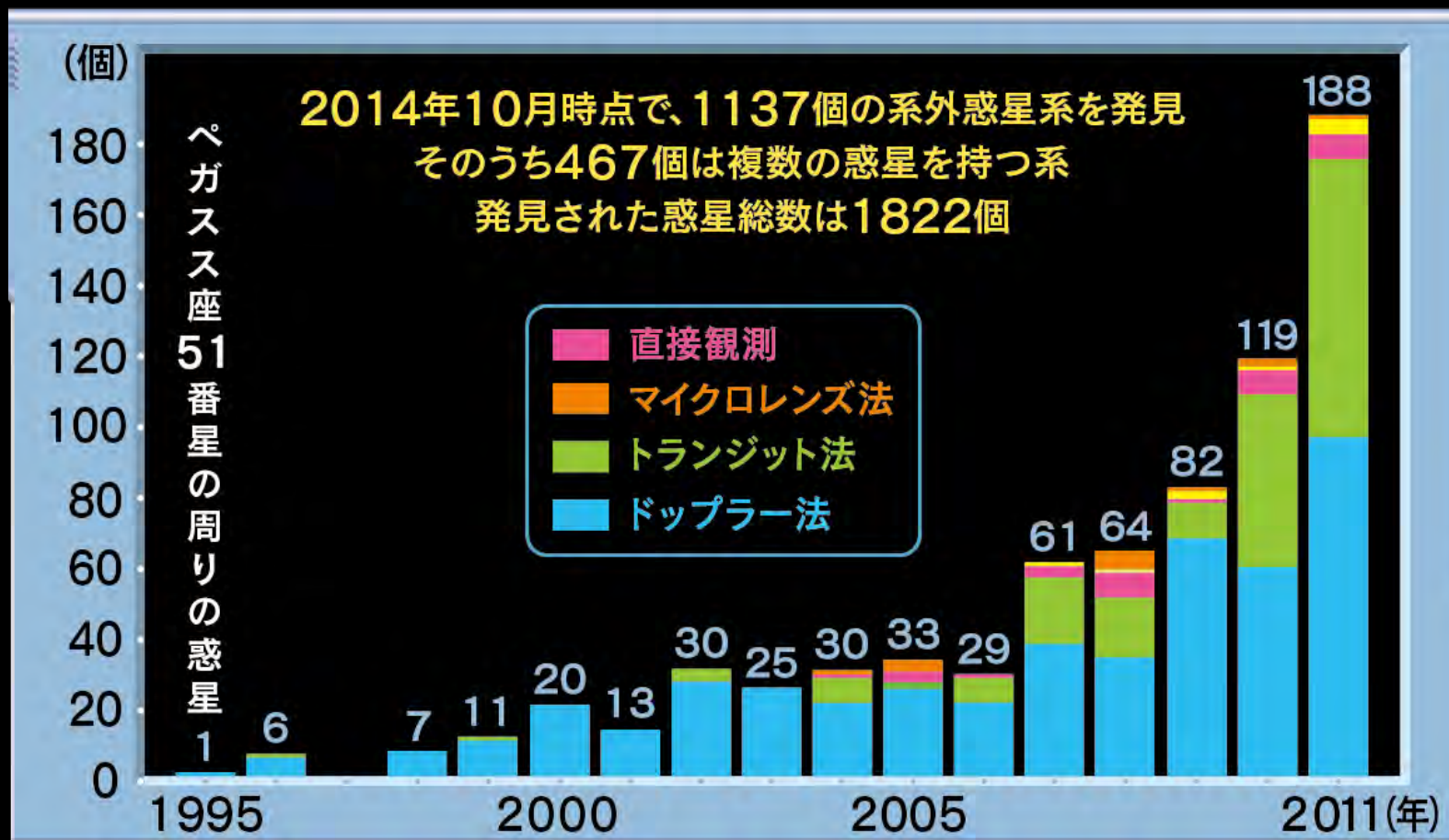
■ 回答例 2: 実は深い意味を持つ

- 偶然そのような微調整された系が実在するためには、地球が唯一ではなく、中心星と異なる距離にある無数の惑星が存在すると考える方が自然。つまり、この地球が微調整された(不自然な)性質を持っているのならば、それ以外の無数の惑星が存在していることを示唆する

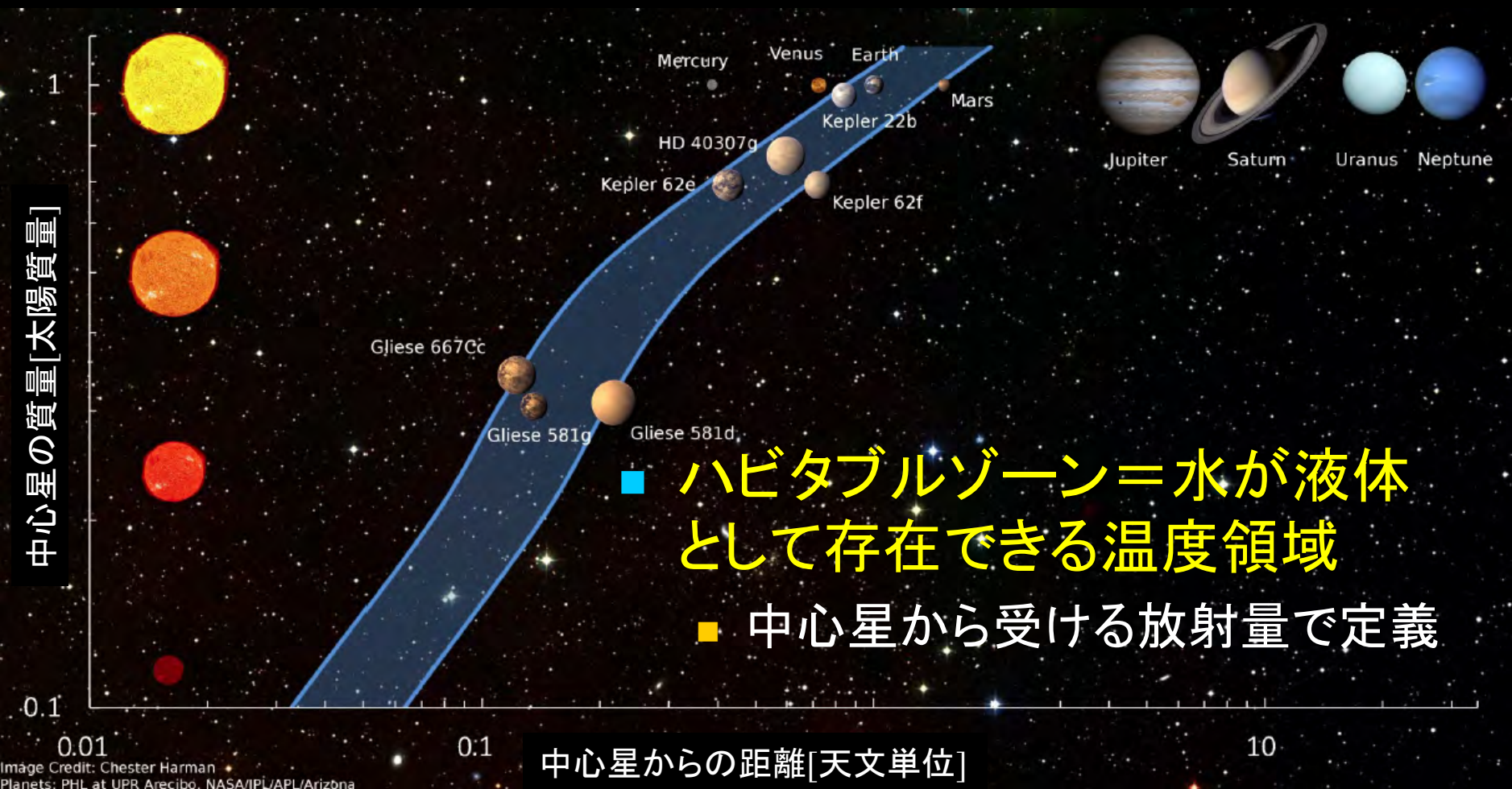
この問いの正解は不明だが、太陽系以外に
無数の惑星系が存在していることは事実



系外惑星発見数の年次推移



ハビタブル惑星候補



Kasting, Kopparapu, Raminez & Harman (2013)

物事には必ず理由があるのか

■ 応用問題

- この宇宙には我々人間という知的生命が存在するが、そのためには宇宙の初期条件と物理法則に微調整が必要だとされている。これから何かわかることはあるか？

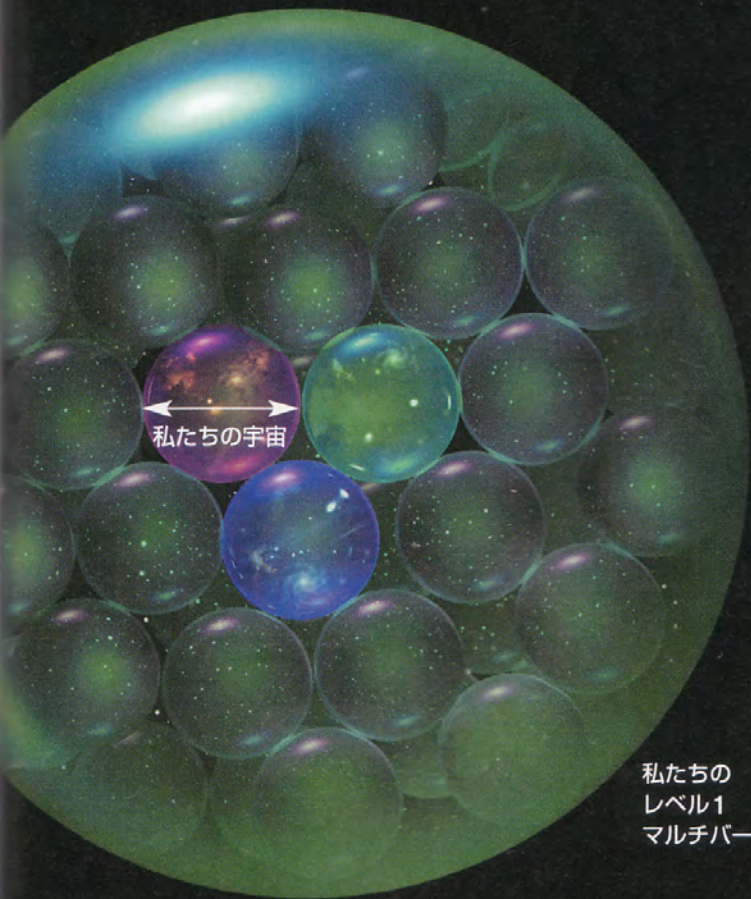
ユニバースからマルチバースへ

■ 回答例 1: 無意味な質問である

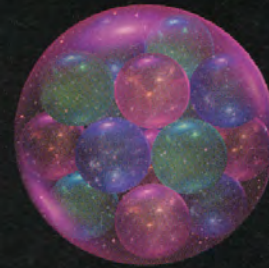
- 知的生命の起源を未だ解明できて、あるいはそれは偶然に支配されているだけのいずれかである。それ以上の意味はない

■ 回答例 2: 実は深い意味を持つ

- 知的生命を誕生させる確率が極めて小さいならば、それを相殺するだけの数の宇宙が存在しなければ、知的生命をもつ宇宙は実存し得ない。つまり、宇宙は我々の宇宙以外にも多数存在しているはず。

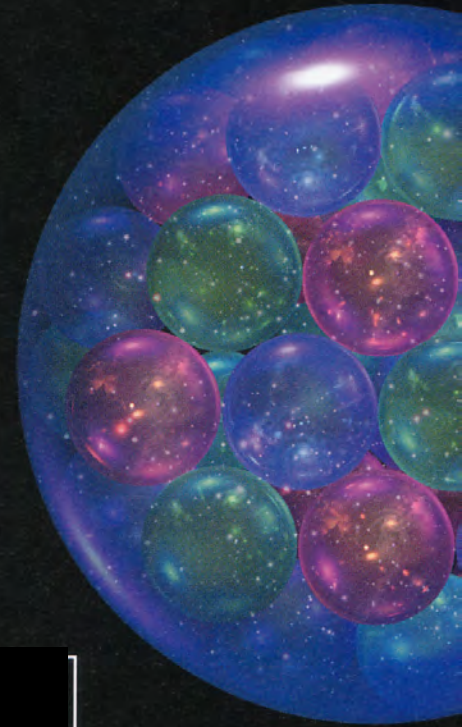


私たちの
レベル1
マルチバース



並行して存在する
レベル1
マルチバース

何もない空間
(膨張している)



並行して存在する
レベル1
マルチバース

多重宇宙 並行宇宙

- インフレーション理論は我々の宇宙以外の多重宇宙・並行宇宙の存在を予測
- 各々の宇宙では物理法則すら異なっているかも知れない

マックス・テグマーク「並行宇宙は実在する？」

別冊日経サイエンス149(2005) 98

世界はどこまで理解できるか

- 世界はなぜ摂理や法則にしたがうのか
 - なぜ法則には再現性があるのか？
- 世界をたかが我々のような人間が部分的にでも理解できていることはさらに不思議
 - ネアンデルタール人がそのようなことを成し遂げられるとは思えない
 - 世界を理解するための最低限の知性は何か
 - 我々人間はどこまで世界を理解可能な知性のレベルなのか

**All truths are easy to understand
once they are discovered;
the point is to discover them.**

Hale Telescope at the Palomar Observatory

Photograph of 200-inch Hale telescope and dome.

Image Credits: Peter Sorel and Charles H. Cahill

- Galileo Galilei

2010年10月7日@カリフォルニア工科大学天文学教室講堂

宇宙観から世界観へ

- 天文学・宇宙物理学の進歩
⇔ **新たな世界観の構築**
 - 宇宙・世界の始まりと終わり
 - 宇宙・世界は何からできているか
 - 宇宙と生命

