

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。

宇宙観の進化

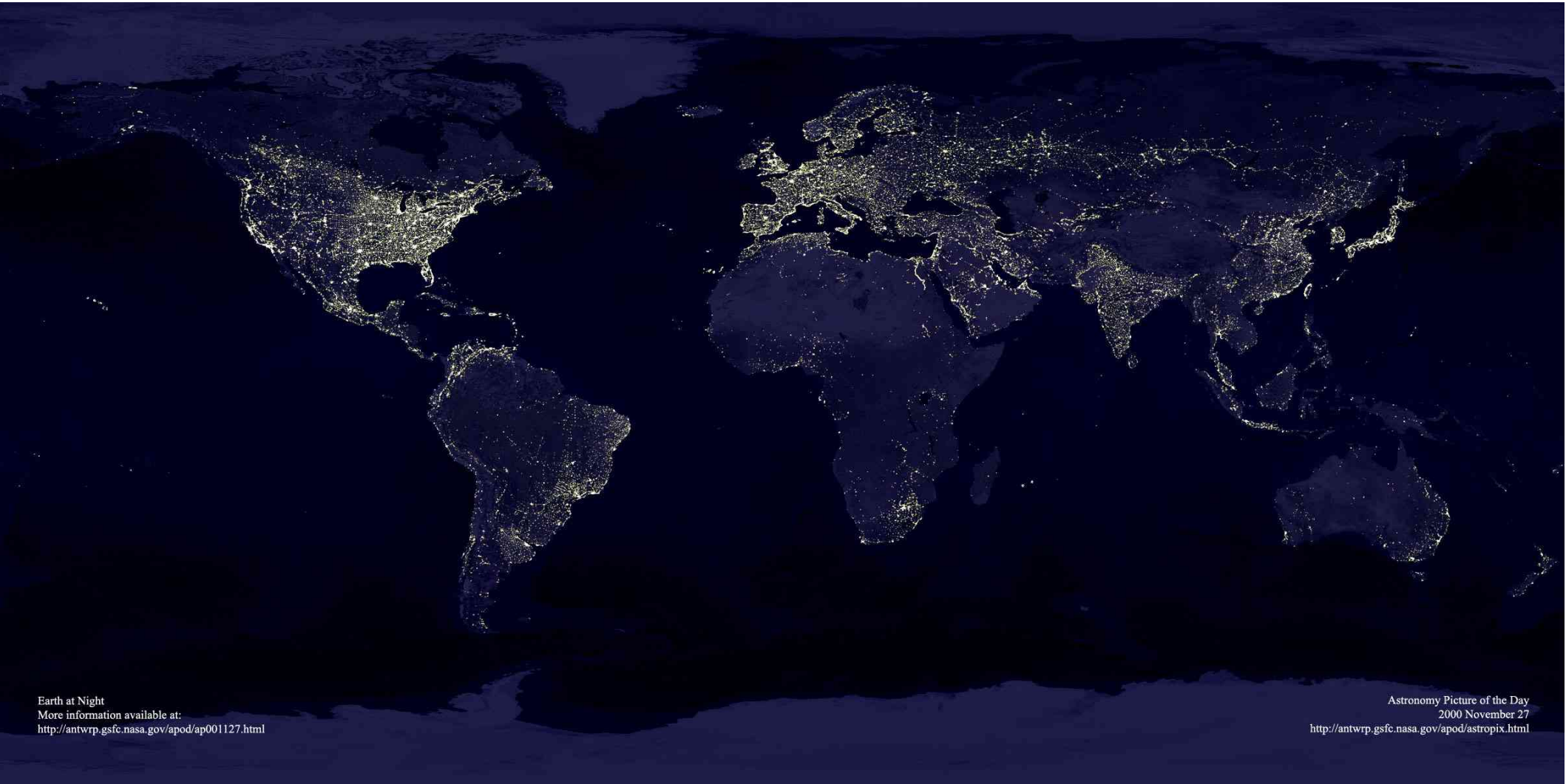
- 地上にしばられ、肉眼で観測するしかなかった時代：天動説が自然な結論だった
 - ただし、幾つかの観測事実から、地動説を唱えた人々もいた
- 技術の進歩—四分儀や望遠鏡の発明—が、より詳細なデータをもたらし、実証的な研究を進化させた
- 科学が技術の進歩を促し、技術の進歩が科学の発展に貢献
- さて、現代に生きる「個々の人間」は、どうやって地球が動いていることを知るのだろうか？

1. 宇宙から見た地球



<http://visibleearth.nasa.gov/>

夜の地球



Earth at Night
More information available at:
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap001127.html>

Astronomy Picture of the Day
2000 November 27
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

<http://visibleearth.nasa.gov/>

夜の地球：日本周辺





地図

航空写真

地図+写真

500 km
500 Mi

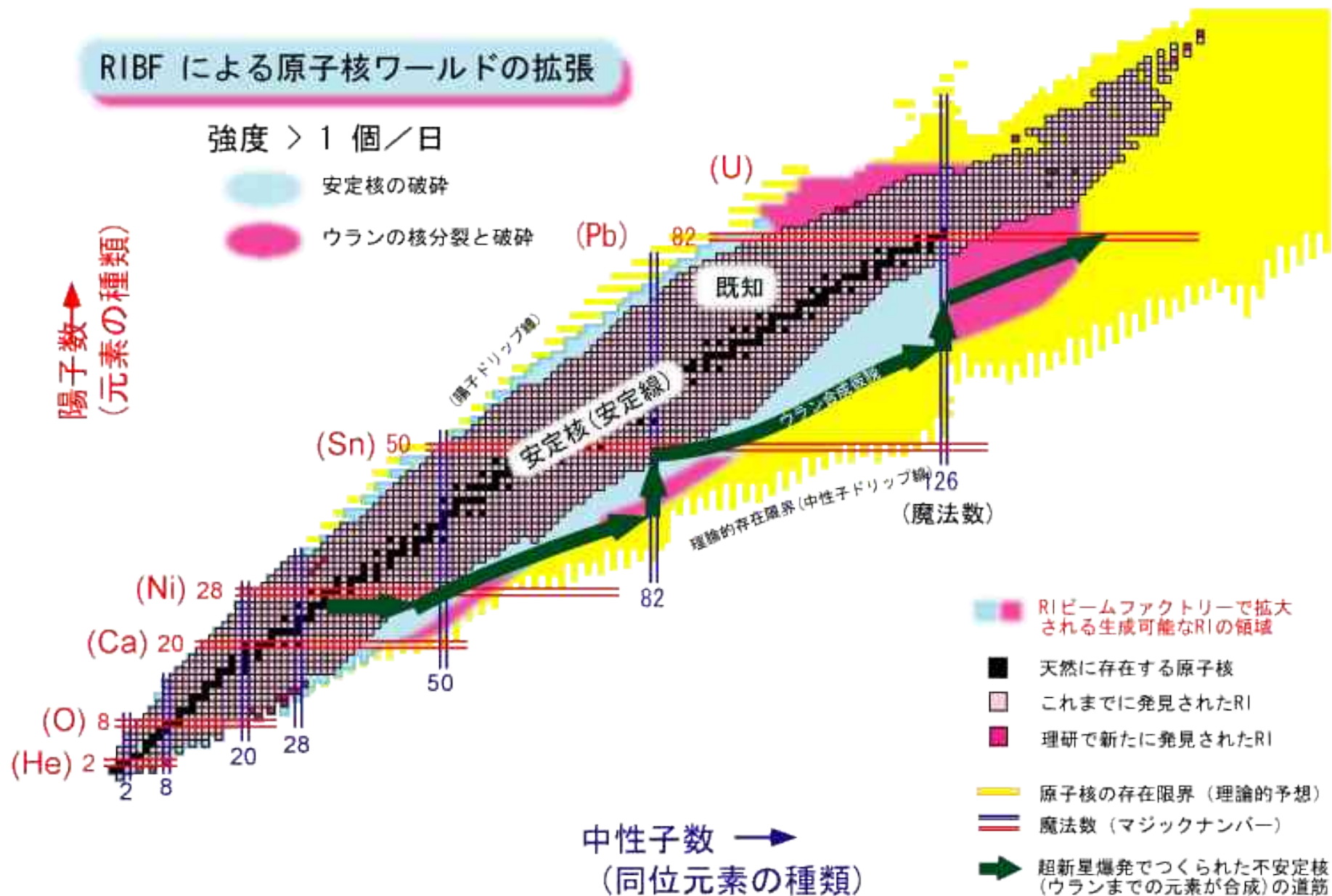
©2007 Google - 画像 ©2007 NASA - 利用規約



宇宙の中の地球・・・

- 「いのち」を育む地球
 - どのようにして地球はできたか
 - どのようにして元素はできたか
- この宇宙における地球の位置づけは？
- 宇宙はそもそもどのように進化してきたのか
- 宇宙の中で地球はどのようにしてできたのか

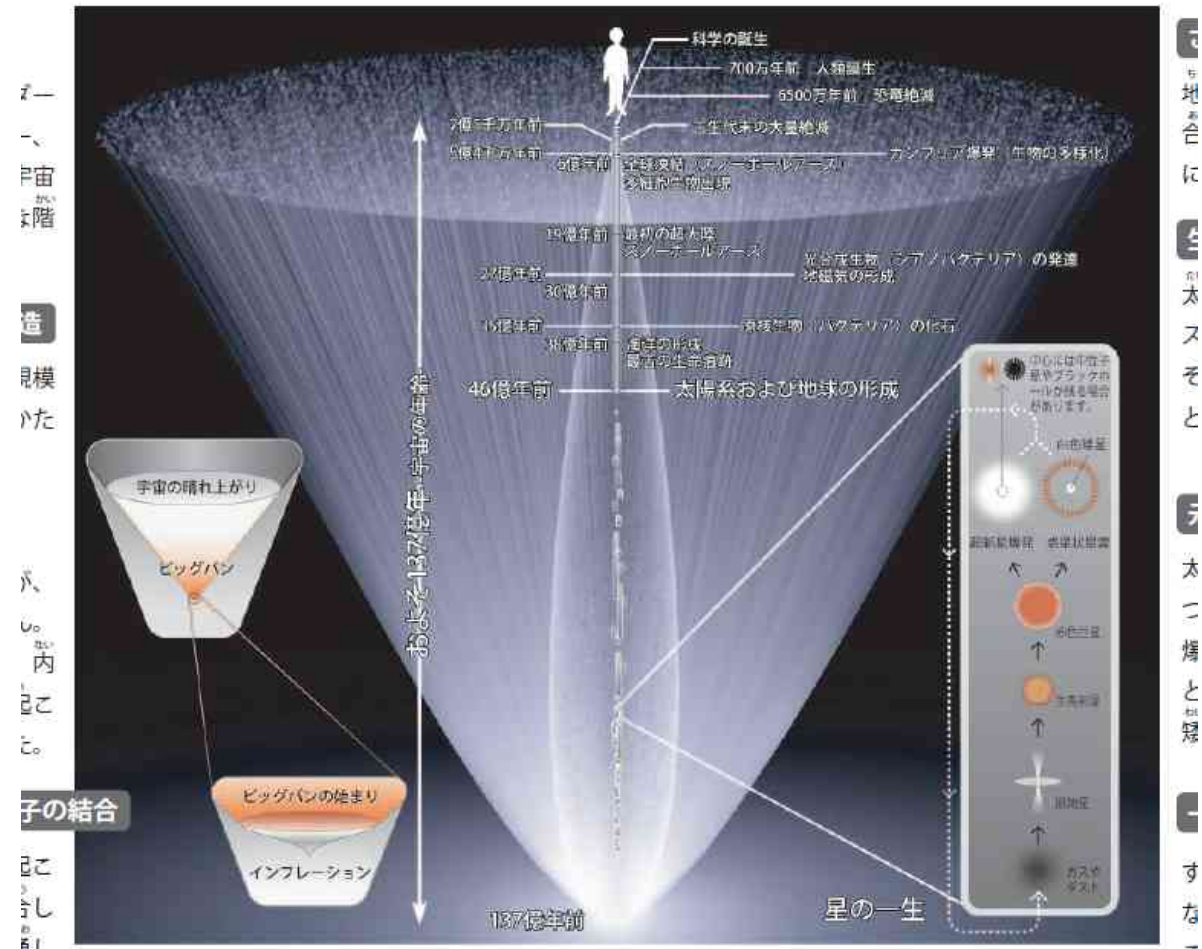
核図表 (理研のウェブページより)



2. ビッグバン宇宙論

- 宇宙は膨張している
- お互いに遠ざかっている
- 過去には？
- 「火の玉」

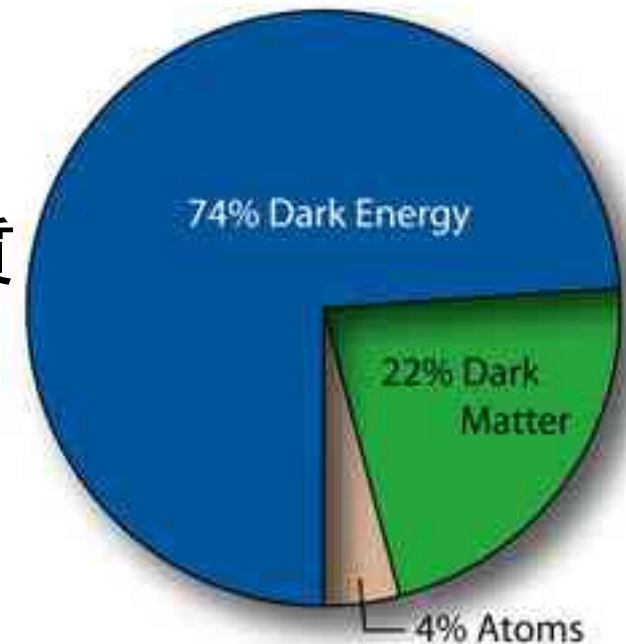
宇宙はどのように生まれたのか？ 人間の材料はどこから来たのか？



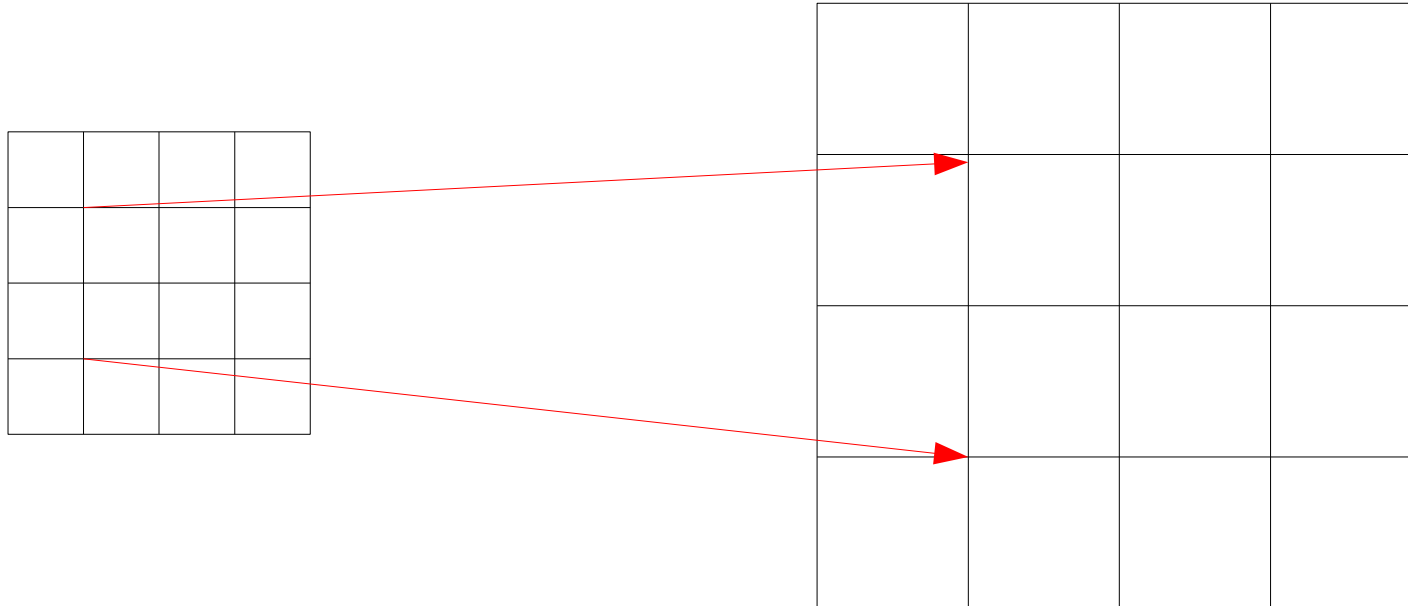
宇宙の構成要素

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



「膨張」とは？



空間が2倍になると、それぞれの距離も2倍になる
離れる速さは距離に比例する

$$v = H r$$

→ハッブルの法則（H：ハッブル定数）

断熱膨張、断熱圧縮

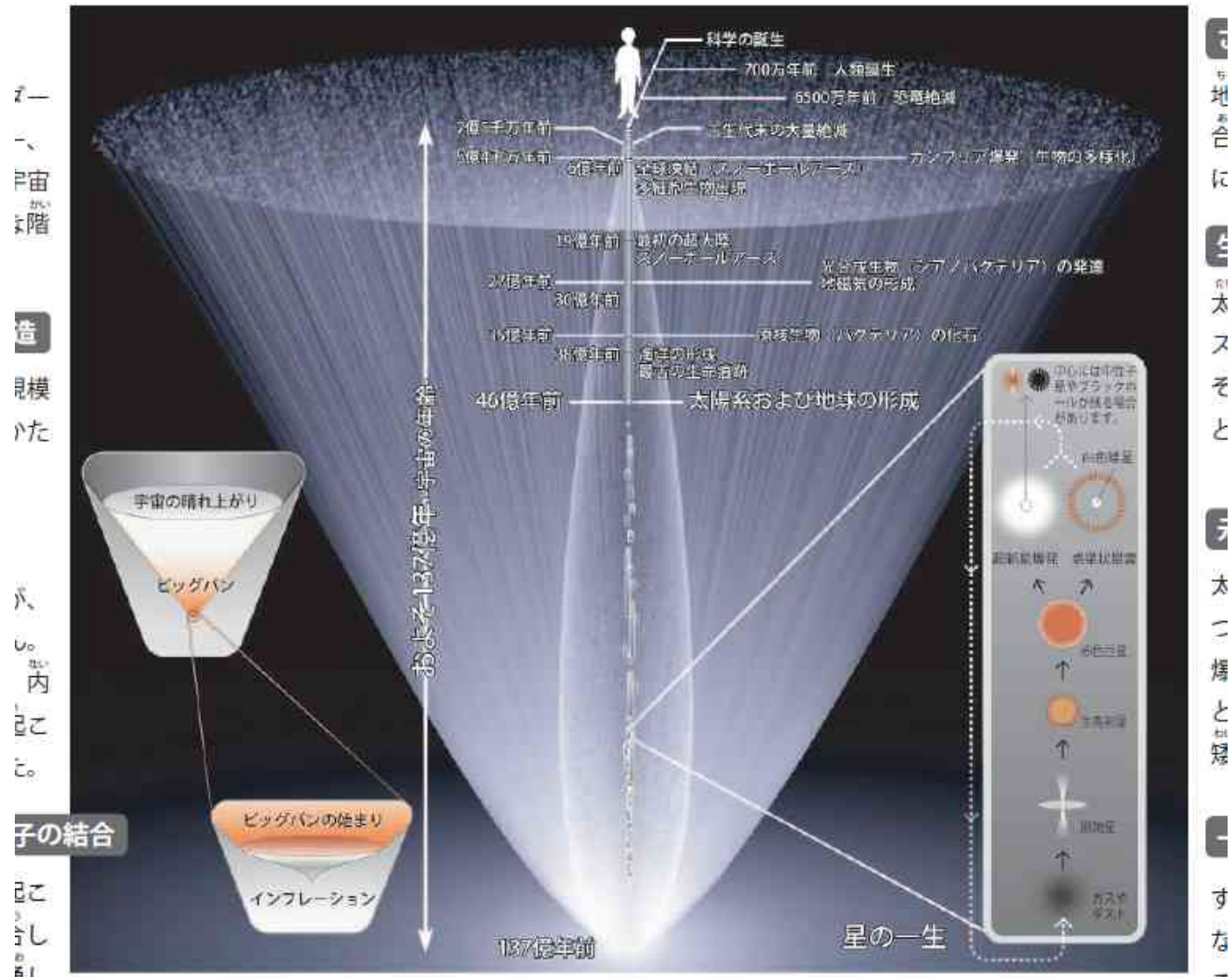
- 気体を断熱圧縮すると温度が上昇する
- 気体を断熱膨張させると温度が下降する
- $PV = nRT \rightarrow T \propto V^{1-\gamma}$, $\gamma = 7/5$ or $5/3$ or...
- スプレー缶を噴霧しつづけると缶が冷える
- 上昇気流 → 上空は気圧が低い → 温度降下 → 結露（水蒸気が水滴に） → 雲の発生
- 日本海側で雨を降らせた空気が山を越える → 乾燥した空気が山を降りる → 圧縮される → 温度上がる → 気温が上昇する（フェーン現象）
- 宇宙も昔は温度が高かった！

どこまでさかのぼれるか？

- 現代物理学の範囲でわかるのは、温度が 10^{32} [K] 程度まで。
- これより高い温度（つまり、もっと宇宙が小さかったとき）を理解するためには、新しい物理学が必要（量子力学と一般相対性理論を包含する新しい理論）
- この温度の時、おそらく宇宙誕生から約 10^{-43} 秒後、 10^{-35} [m] よりは大きい
- これよりも後は、がんばれば現代物理学の応用で理解できる（原理的には）。
- 「誕生の瞬間」は、よくわかっていない。

膨張宇宙における物質の進化

◀ 宇宙はどのように生まれたのか？ 人間の材料はどこから来たのか？ ▶



「一家に1枚 宇宙図2007」より

誕生直後～ 10^{-10} 秒後

「力」の分岐と誕生

- 自然界に存在する「力」は、究極的には4種類しかない
 - 重力（天体スケール）
 - 電磁気力（日常スケール：押す力、摩擦、…）
 - 強い力（原子核を作る力）
 - 弱い力（ β 崩壊を起こす力）
- 宇宙誕生直後はおそらく一種類の力のみ
- 原子もまだ出来ていない
- 時間とともに（エネルギーが下がるとともに）力が次々と分岐し、現在のようになった

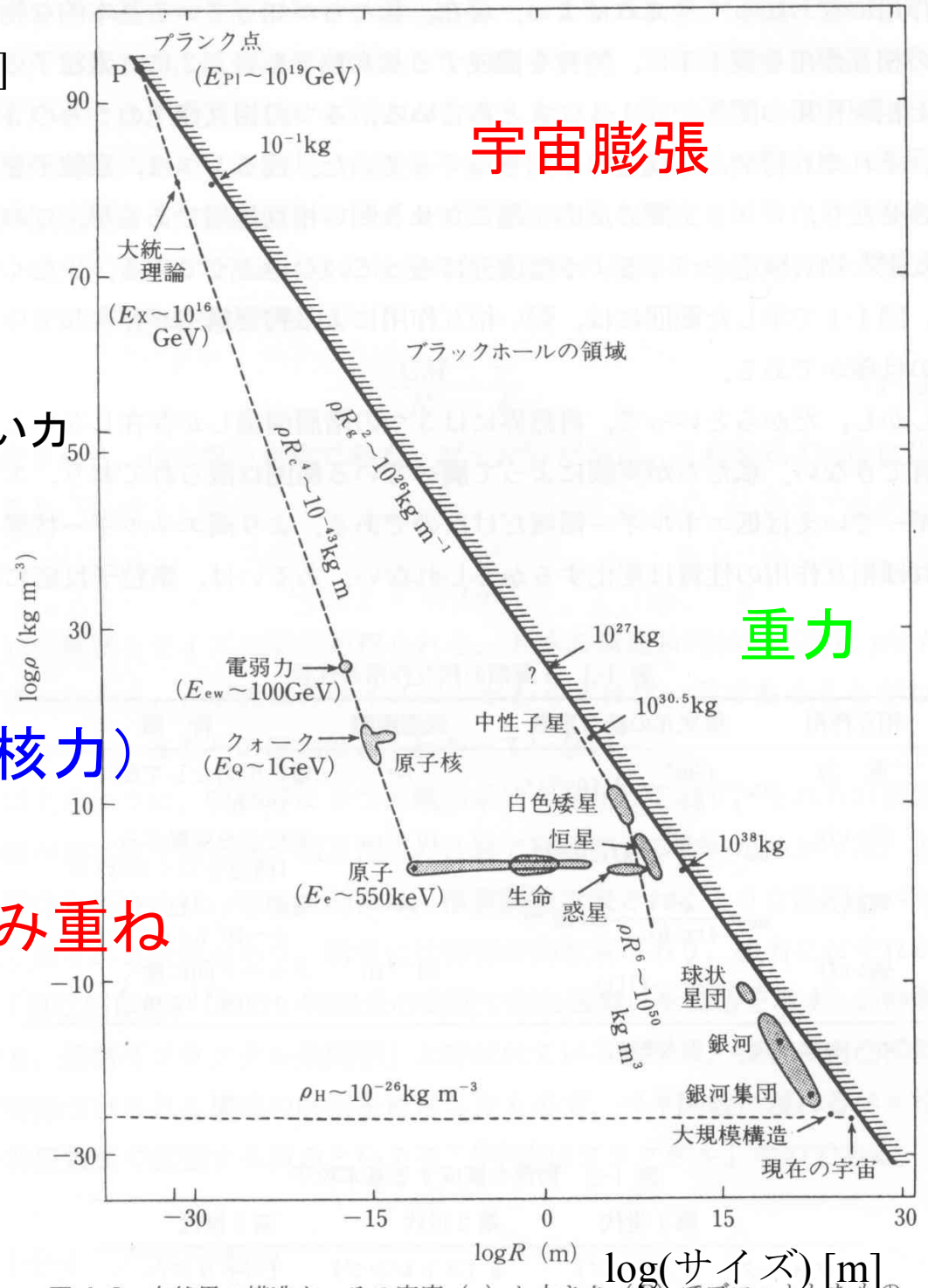
粒子が反粒子よりもほんの少し多くなった？

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



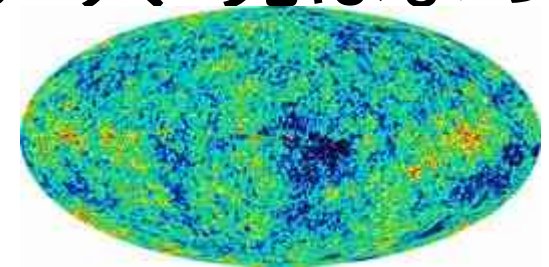
10⁻⁴秒～3分後：核子の生成、元素合成

- 核子（陽子、中性子）は「クォーク」3つからなる粒子
- このころ、クォークが結合し、陽子や中性子ができた
- さらに3分ほど経つと、陽子・中性子が結合し、ヘリウム（He）、リチウム（Li）の原子核が生成
 - H: p 1 個、He: p 2 個、Li: p 3 個
 - 質量の3/4がH, 1/4がHe, ほんのわずがLi
- 炭素（C）や酸素（O）などはまだない。

ビッグバン元素合成

約40万年後

- 温度が3000K程度まで下がる
- 水素の原子核（陽子）やヘリウムの原子核が電子をつかまえ、結合
- プラズマ状態→中性ガス
- 光（電磁波）は、電子のような電荷を持つ粒子と反応しやすい→中性化により、光はまっすぐ進むようになる
- 「宇宙の晴れ上がり」
- この時の光を、「宇宙背景輻射」として観測している



構造の種：密度の揺らぎ

- このころまで、宇宙はほぼ一様
 - 温度が非常に高い
 - 音速がほぼ光速
 - デコボコはすぐに均される
- しかし、ごくわずかに密度の揺らぎがあった
- WMAP衛星が観測した温度の揺らぎは0.001%.
- しかし、ほんの少しでも濃いところがあると、そこは重力が強いので周囲の物質を引き付け、より濃くなる。
- 濃くなったところに銀河が誕生する

構造形成のシミュレーション

1辺が約3億光年の箱を切り出し、その内部の物質が重力でどのように進化するかを調べる

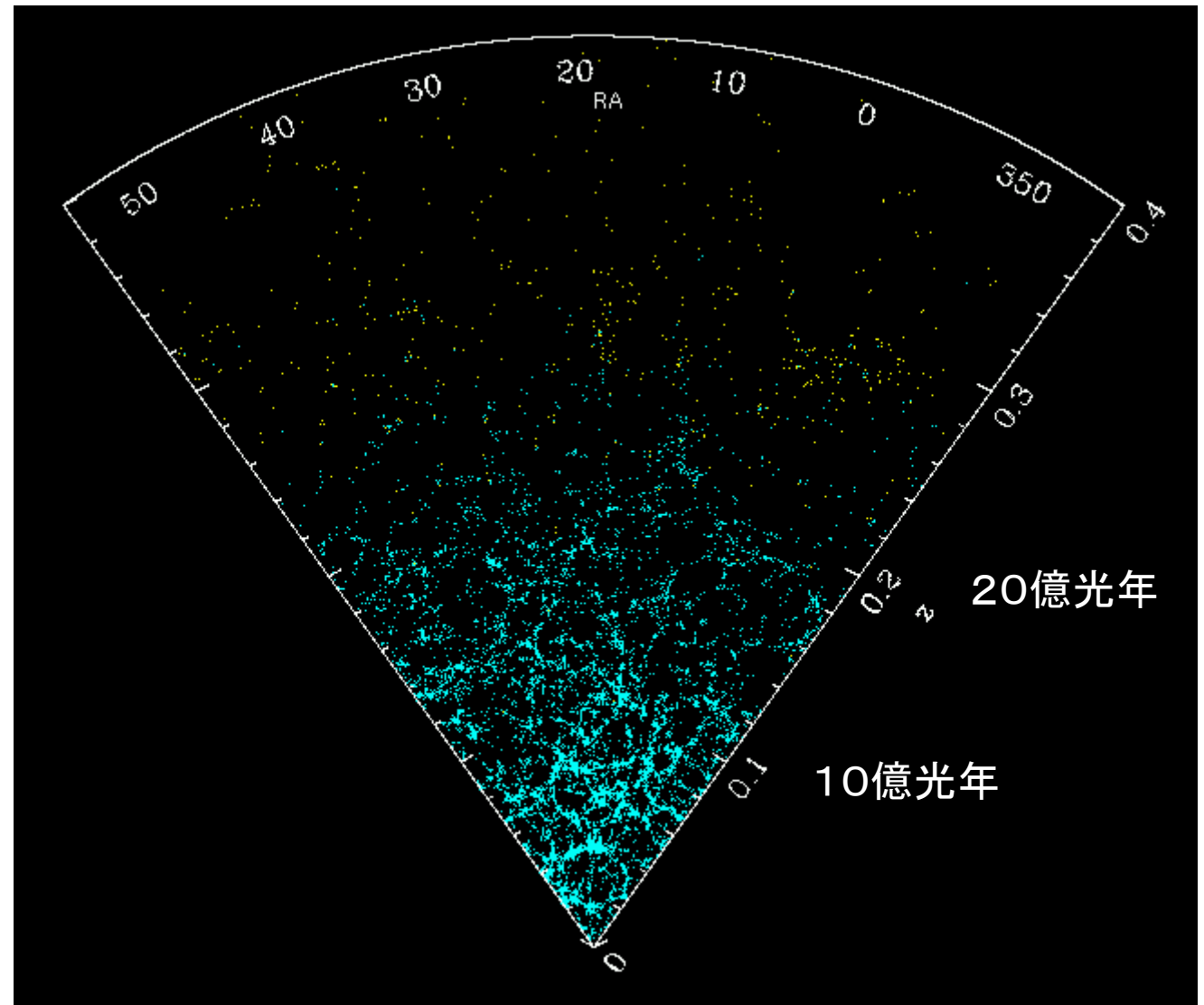
宇宙の膨張に合わせて箱の大きさを縮めている(一定の大きさに見える)

網の目状に物質が分布している



宇宙の大構造

現実の宇宙も、
網の目上に銀河
が分布している



SDSSの分光サーベイのスライス中の銀河の分布. (A. Pope, JHU)

<http://skyserver.sdss.org/edr/jp/astro/structures/structures.asp>

銀河の誕生と星の形成

- 銀河内のガスが密集したところに星ができる
 - 星は水素の核融合反応で光り輝く ($4\text{H} \rightarrow \text{He}$)
 - 水爆のようなもの
 - やがてヘリウムも燃える
 - 順々に重い元素ができる (鉄まで)
 - 星の一生は質量に依る
 - 太陽くらいの軽い星：燃え尽きて白色矮星に
 - 10倍程度以上の重い星：超新星爆発
 - 超新星爆発の際に、ウランなどの重い元素も一気に合成される
- (星の一生のムービー)

元素の起源

- Liよりも軽い元素：ビッグバン元素合成
- 重い元素：超新星爆発
- つまり、我々の体や地球を形作る原子たちは、超新星爆発を経験している
- われら「星の子」

- この宇宙の平均では、およそ（質量比）
 - 水素74%，ヘリウム24%，その他2%
 - 「その他」の約半分が酸素
 - 水素、ヘリウムは軽いので、地球からは逃げ出している（水素は化合物としては残っている。
例：水、 H_2O ）

宇宙における分子

- 宇宙空間では、複雑な分子はできにくい
 - 密度が薄い（原子同士がぶつかりにくい）
 - エネルギーの高い電磁波（紫外線やX線）が飛んでおり、分子を破壊する
 - 温度の高い領域（約1万K）が大きく、分子が破壊されやすい
- しかし、密なところでは分子もできる
 - H_2 , CO , CO_2 , HCO^+ , ...
 - 有機物も
- ただし、これらが直接地球上の分子になったかどうかはわからない

惑星の形成

- 地球型惑星：炭素や酸素などの重い元素のかたまり
- 宇宙には2%しかない元素がどうやって集まったのか？
- 地球型、木星型、天王星型惑星の違い
- 地球の特異性：水の惑星

- 次回：「いのちのゆりかご」としての惑星についてお話します。