

地球環境学演習 I

(3年生前期 必修)

理工学部 地球環境学科 外圈

高橋龍一(助教)

自己紹介

氏名：高橋龍一（たかはし りゅういち） 33歳

専門：宇宙物理学、宇宙論（理論）

今年7月1日付け 弘前大 助教に着任
（前任：名古屋大学 研究員）

所属：地球環境学科 外圈

宇宙を研究しているグループの一員

〔 宇宙線：倉又先生、市村先生
宇宙理論：葛西先生、浅田先生（物理科学科）

宇宙物理学とは？

地上で得られた物理の法則を
宇宙に適用して調べる

(星、太陽系、銀河、銀河団、、、)

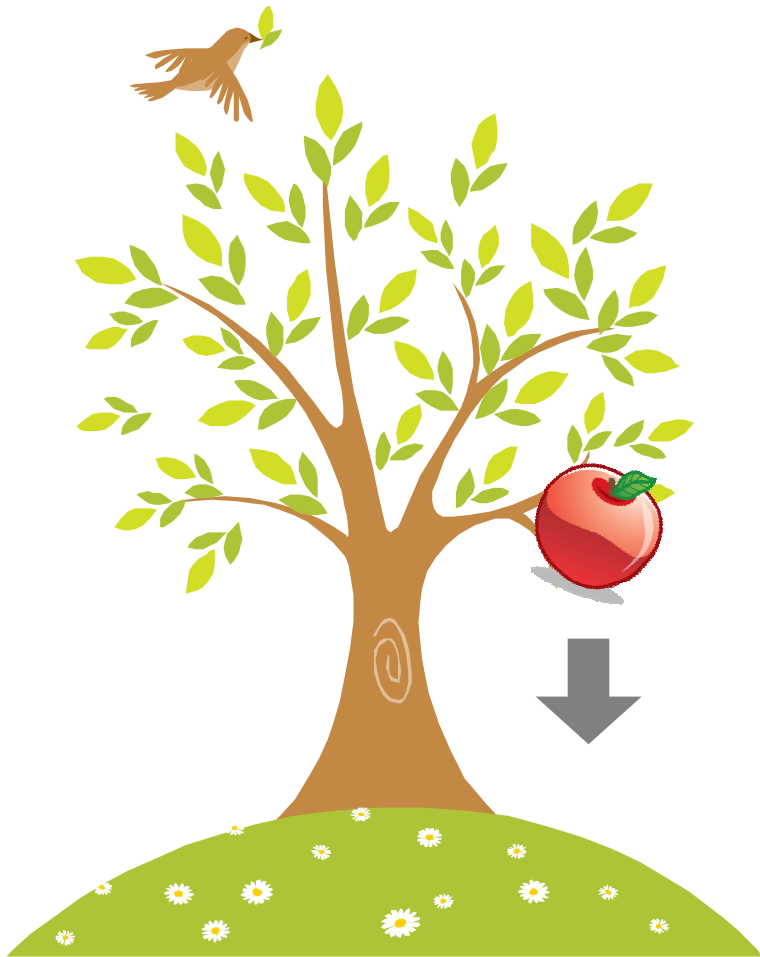
宇宙論とは？

宇宙物理学の中で最も大きな
スケールを扱う

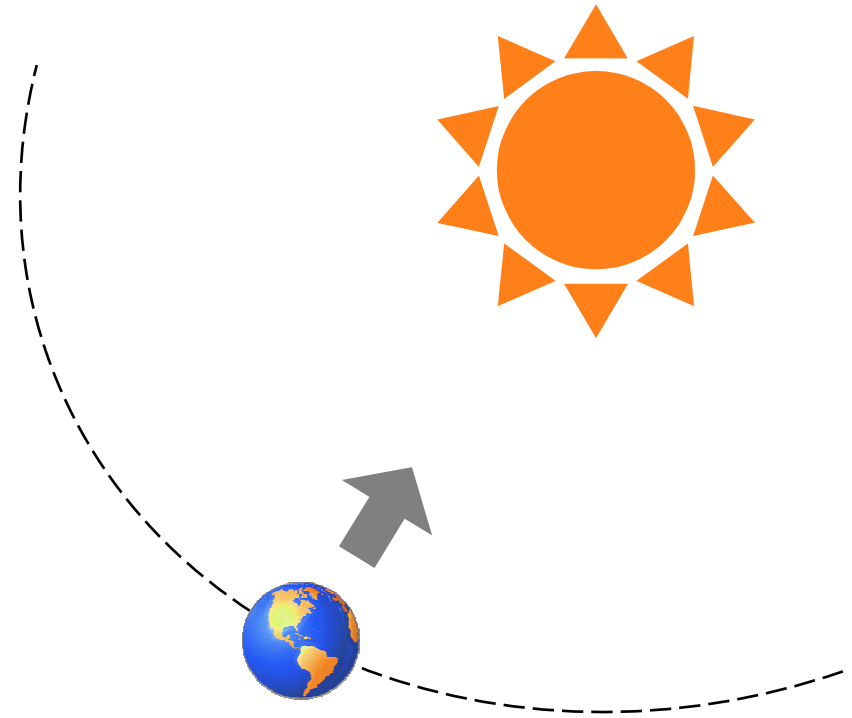
(宇宙膨張、宇宙の歴史、、、)

万有引力の法則

地上



宇宙



宇宙論の基礎

ビッグバンで始まり、宇宙は膨張している、、、
一般相対性理論(重力理論)に基づくシナリオ

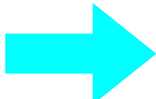
アインシュタイン方程式

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu} \quad \mu, \nu = 0, 1, 2, 3$$

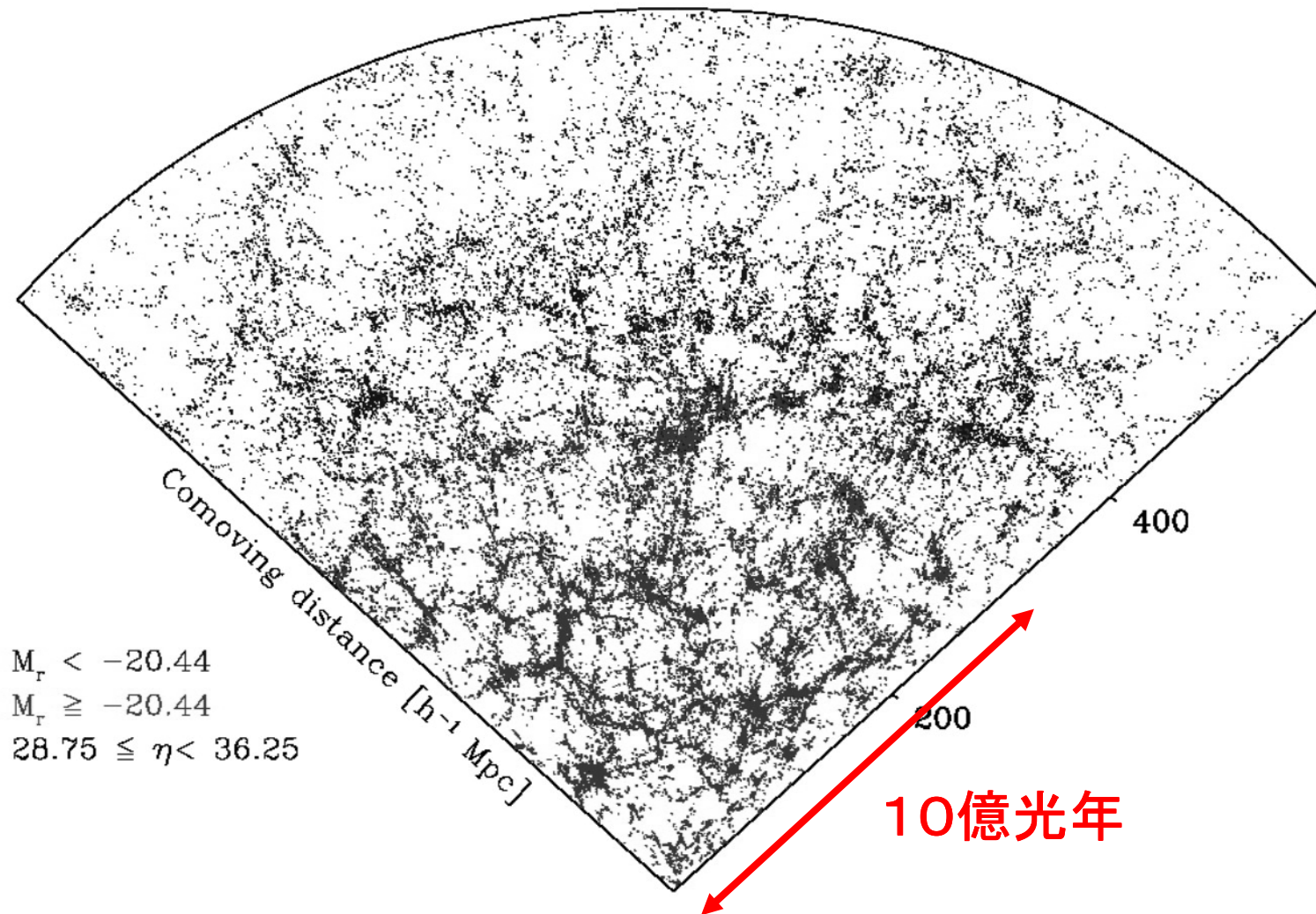
時空のゆがみ 物質のエネルギー



宇宙では銀河は
一様等方に分布

 **宇宙膨張の解**

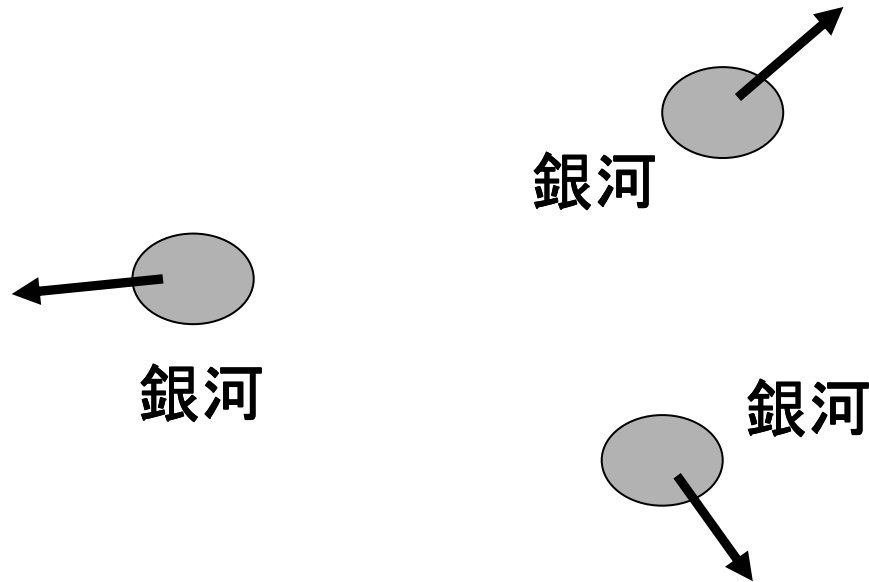
銀河の分布 (観測、SDSS銀河サーベイ)



宇宙膨張

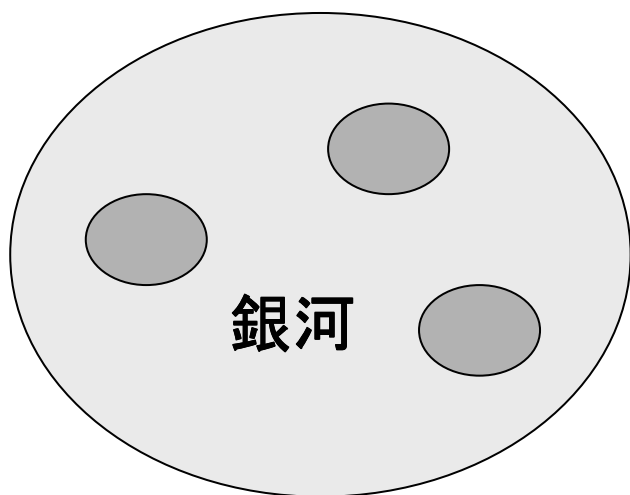
(重力的に結合していない)

銀河と銀河の間の距離が膨張する

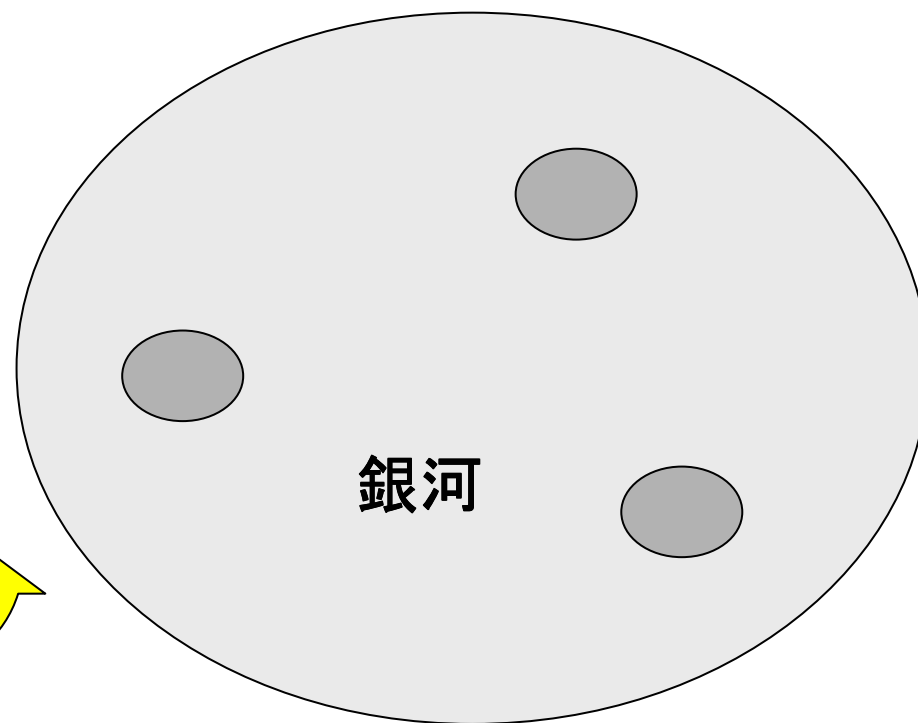


遠ざかる速度 $\propto$ 互いの距離
(ハッブルの法則)

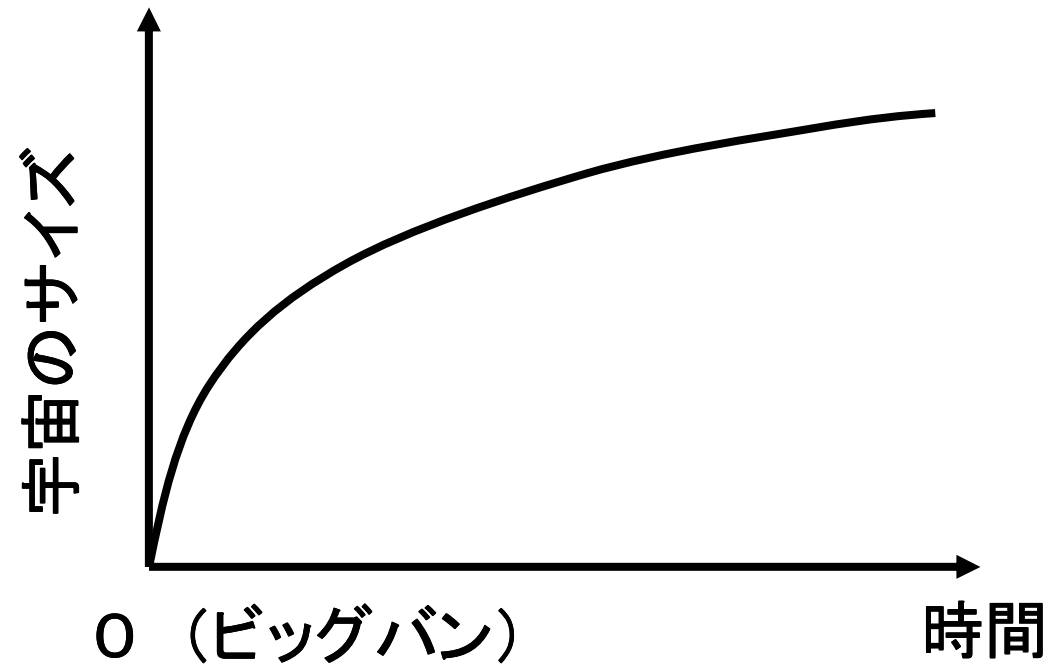
宇宙のサイズ



宇宙のサイズ



時間が経つと



過去にさかのぼるほど、、、

宇宙のサイズ	小さくなる
密度	上がる
温度	上がる



宇宙の歴史

ビッグバン

時間 & 空間 が生成

光に満ちた高温プラズマ

物質生成(or バリオン生成)

光-光の反応から物質が生まれる

$$\text{光} + \text{光} \Leftrightarrow \text{粒子} + \text{反粒子}$$

反粒子: 質量は同じだが、電荷が逆の粒子

(例: 反電子、反陽子、反水素、、、)

粒子-反粒子間の対称性を破る相互作用

 粒子(陽子、中性子、電子、、、)から出来た宇宙

軽元素合成

ビッグバンから～数百秒後

温度～0.1 MeV

陽子 p 、中性子 n から

ヘリウム He 、リチウム Li 、ベリリウム Be が生成

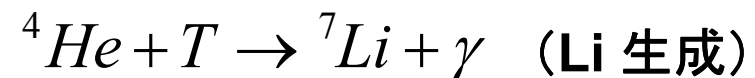
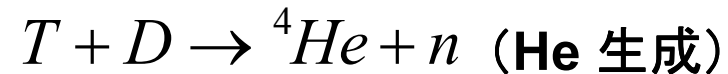
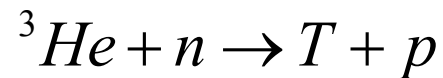
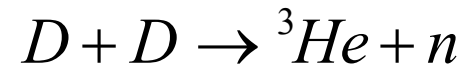
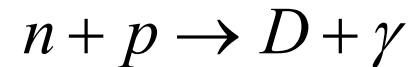
水素 75%

ヘリウム 25%

重水素 0.1%

リチウム
& $10^{-8}\%$

ベリリウム

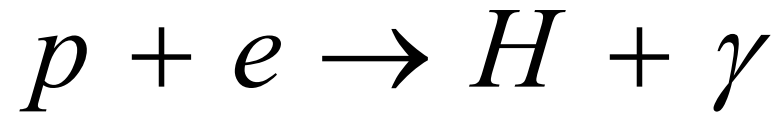


宇宙の中性化

宇宙誕生 40万年後

温度～3000度 (0.3eV)

陽子 電子 水素 光



現在、宇宙背景マイクロ波として観測される

2つのノーベル賞

1978年 ペンジアス&ウィルソン 1964年に発見

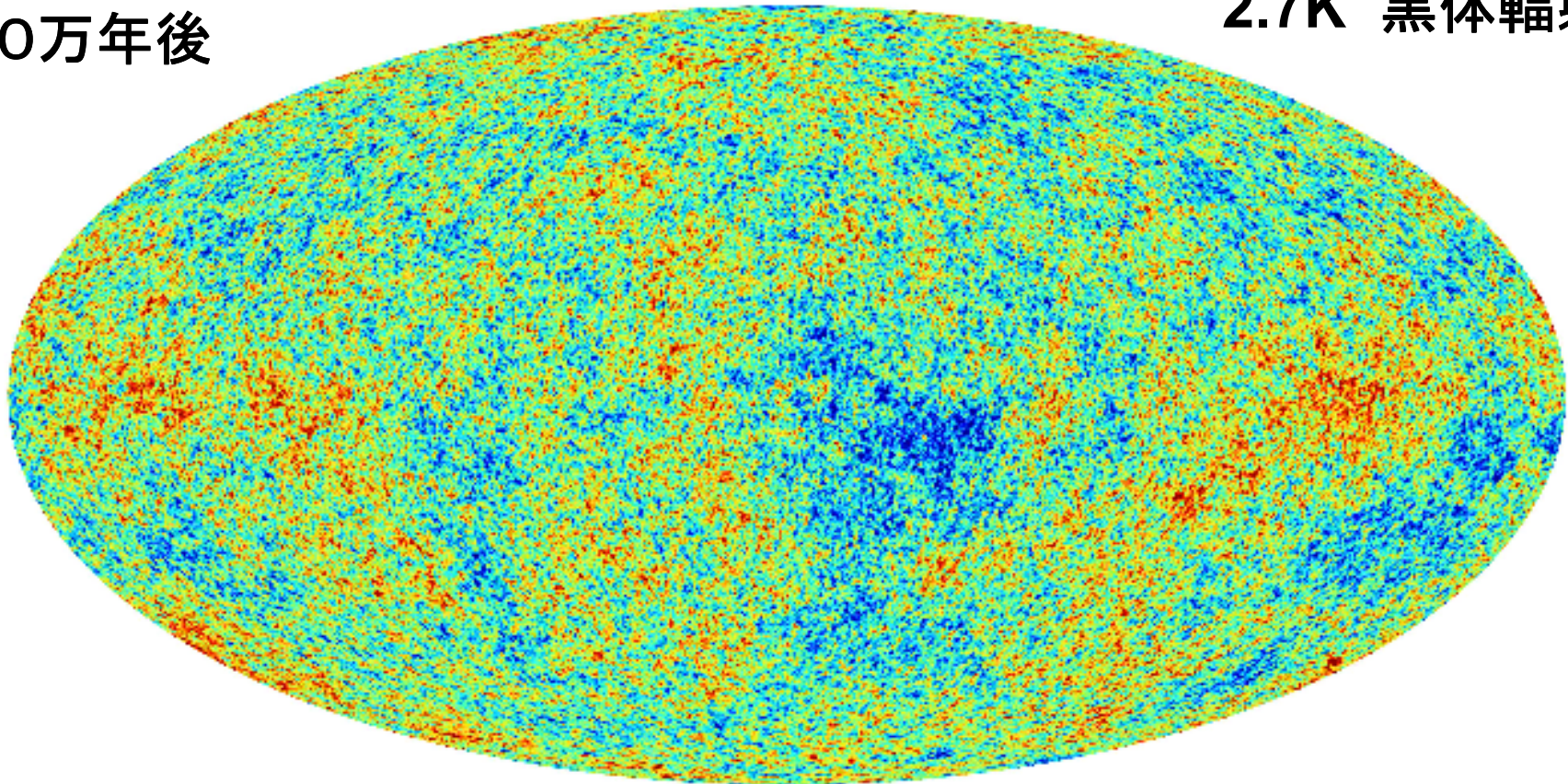
2006年 スムート&マザー 1992年に揺らぎ発見

宇宙背景輻射 (Cosmic Microwave Background)

宇宙誕生
40万年後

温度ゆらぎ 全天マップ

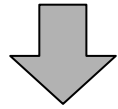
2.7K 黒体輻射



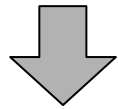
青: 温度が低い

赤: 温度が高い

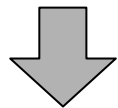
温度の揺らぎ (10^{-5} 程度)



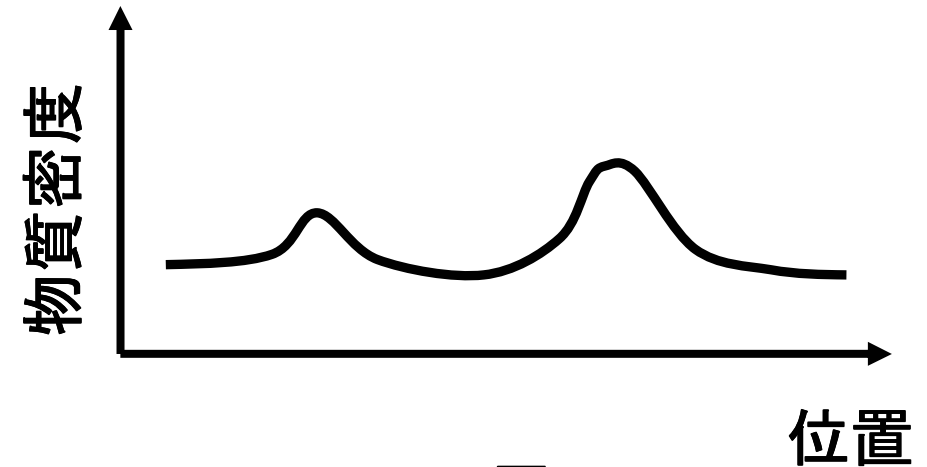
物質の密度揺らぎ



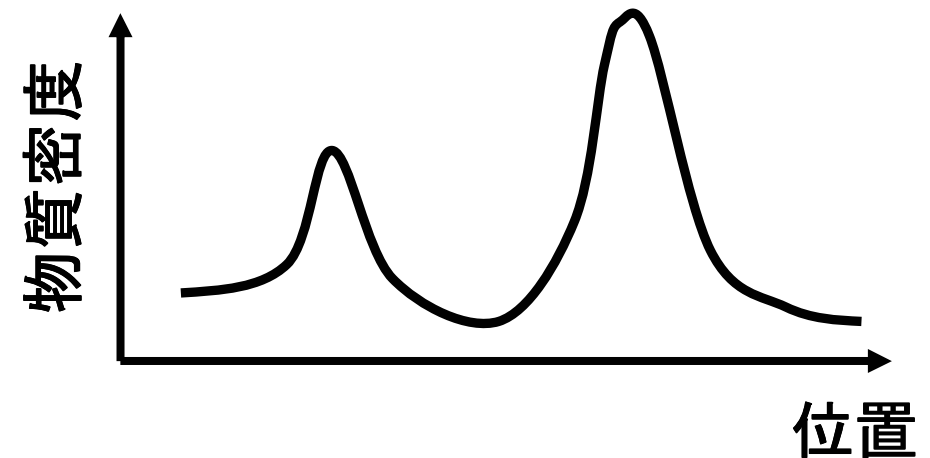
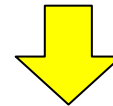
揺らぎの成長



銀河、銀河団の形成

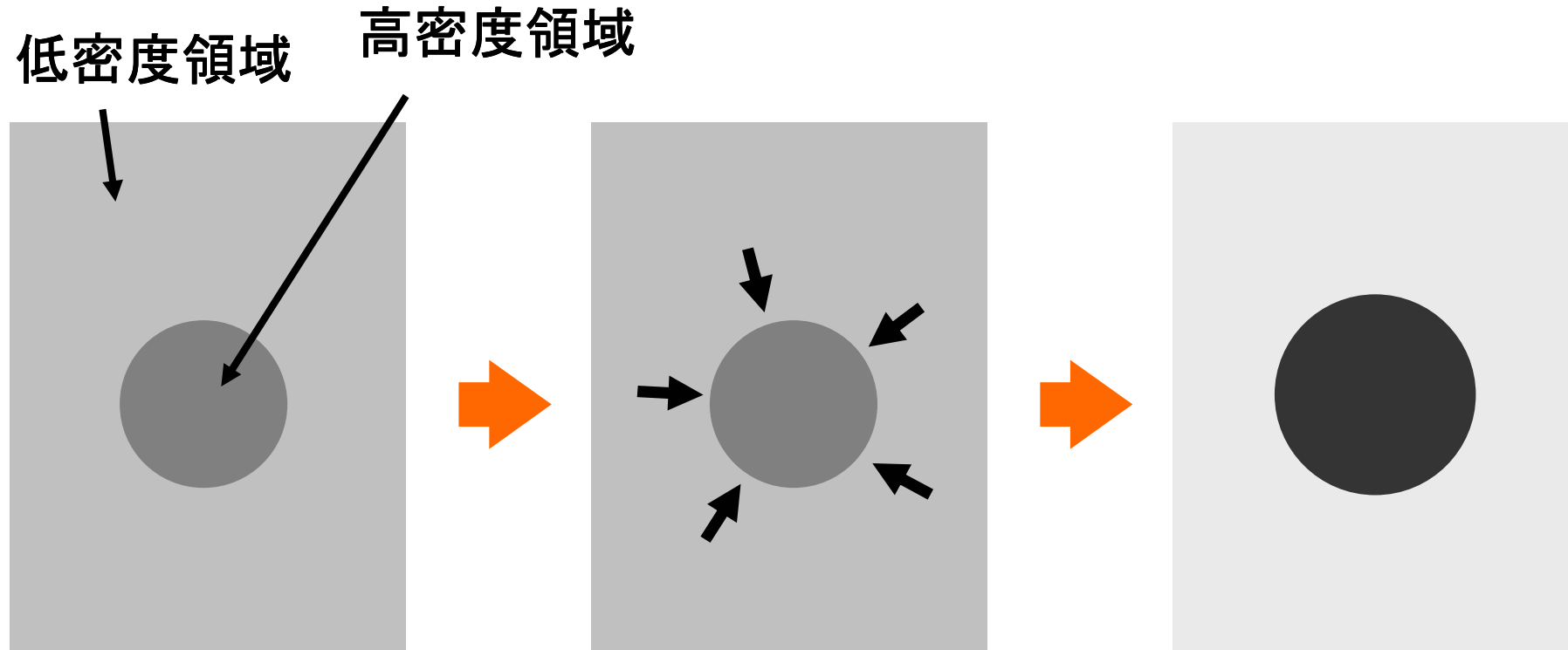


時間の経過



構造形成

物質は集まる所により集まる



密度の低い領域から高い領域へ重力で引きずられる

高密度領域はますます密度が上がる
(低) (下)

星形成

宇宙誕生 数億年後～現在(137億年後)

高密度のガス雲で生まれる

核融合反応がエネルギー源で光る

重元素 鉄 Fe まで生成される

太陽質量の8倍以上

→ 超新星爆発 → 中性子星

太陽質量の30倍以上

→ 超新星爆発 → ブラックホール

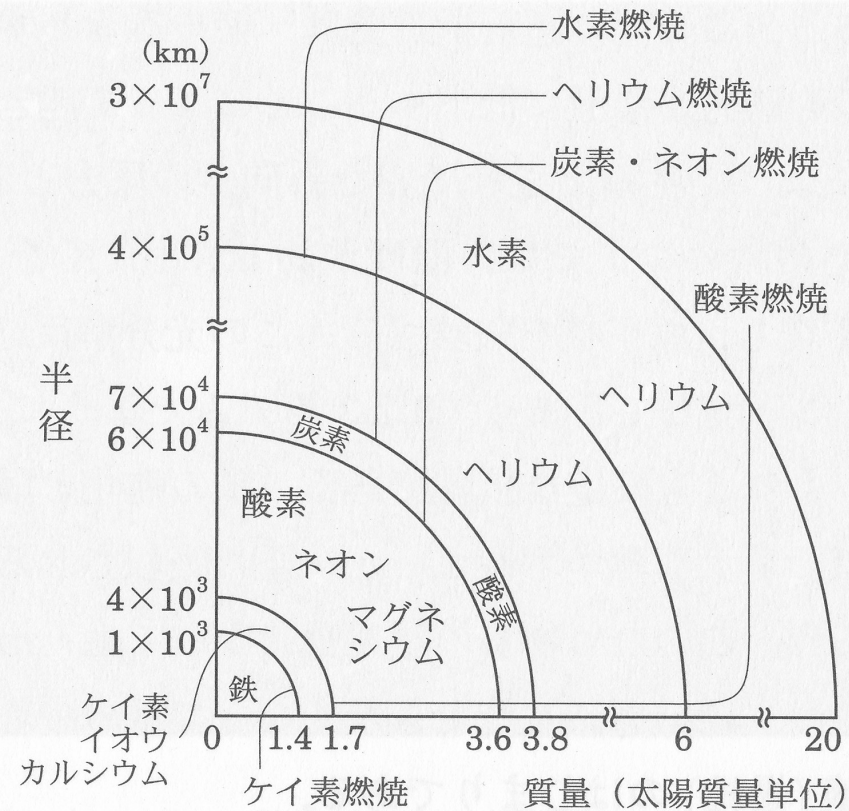
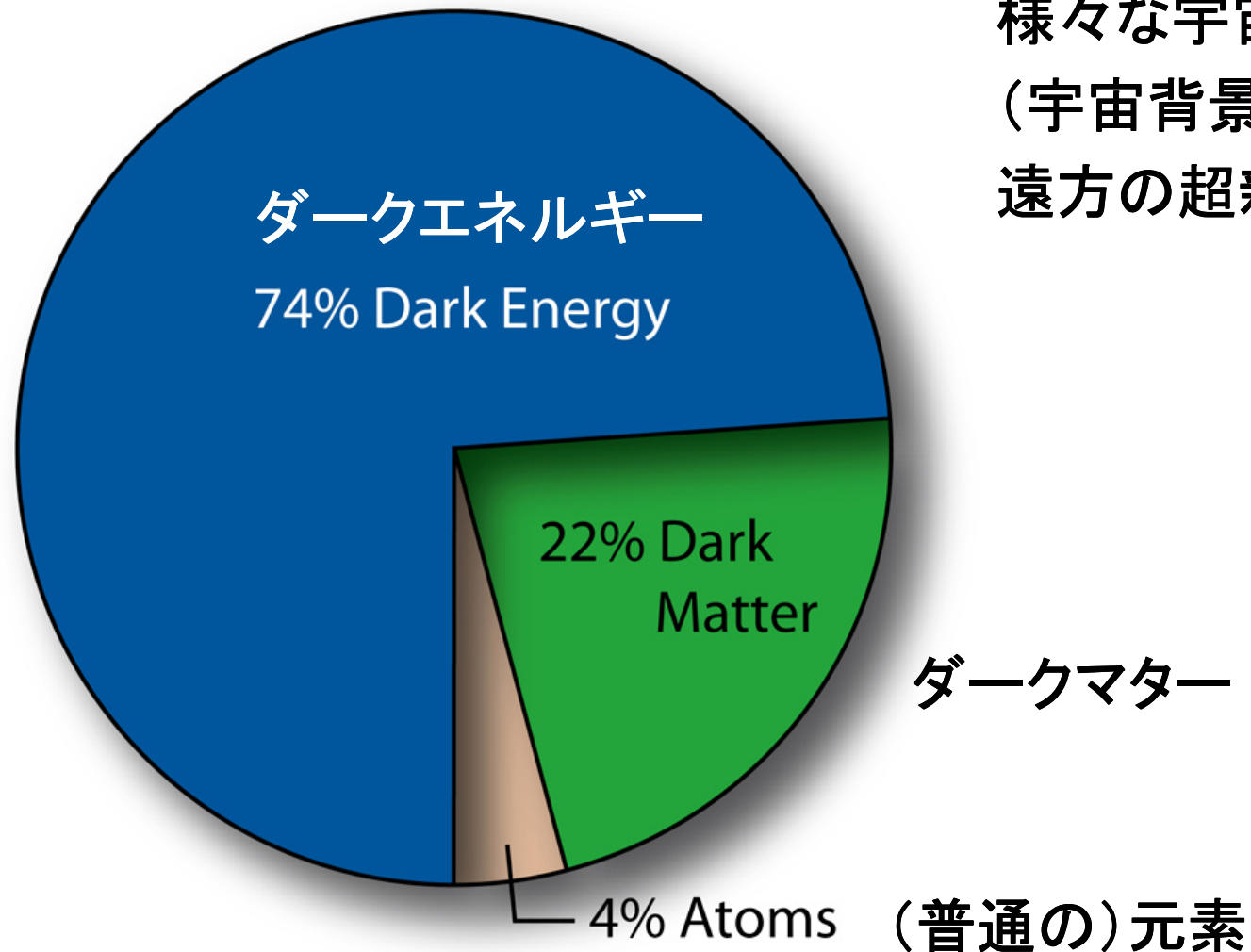


図 3.15 星のタマネギ構造. 太陽質量の 20 倍の質量の星が進化の終末の段階でもつ内部の化学組成. 野本憲一『天体と宇宙の進化 I』(放送大学教育振興会, 1997), p.66 をもとに作成. 燃焼過程についての記述を筆者が加えた.

宇宙の構成要素



様々な宇宙論的観測
(宇宙背景輻射や
遠方の超新星爆発)から

ダークエネルギー

宇宙で最も主要な(約70%)エネルギー成分
負の圧力を持ち、斥力として働く(距離に比例する力)



宇宙を加速的に膨張させる

90年代後半の遠方の超新星爆発の観測から示唆

超新星の明るさが暗い → 距離が遠い

→ 宇宙の加速的に膨張している

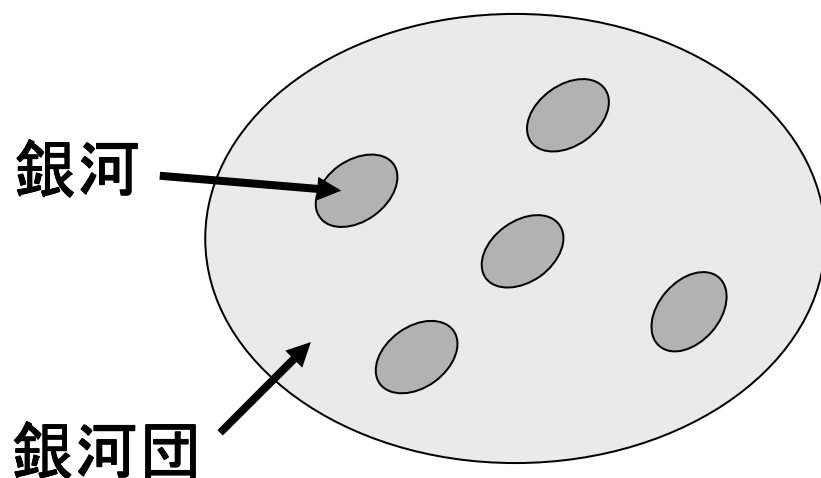
ダークマター

光と相互作用しない(未知の)物質

(普通の)元素の約5倍存在

銀河(星の集団) & 銀河団(銀河の集団)に付随し、
重力でより強く集めるために働く

1930年代から存在は示唆
銀河団内の銀河の運動



(理論予想より)重力が強い



未知の重力源



ダークマター(暗黒物質)

修正重力理論

(地上の)物理法則が(宇宙空間の)大スケールでは
成り立たない？

ダークエネルギー

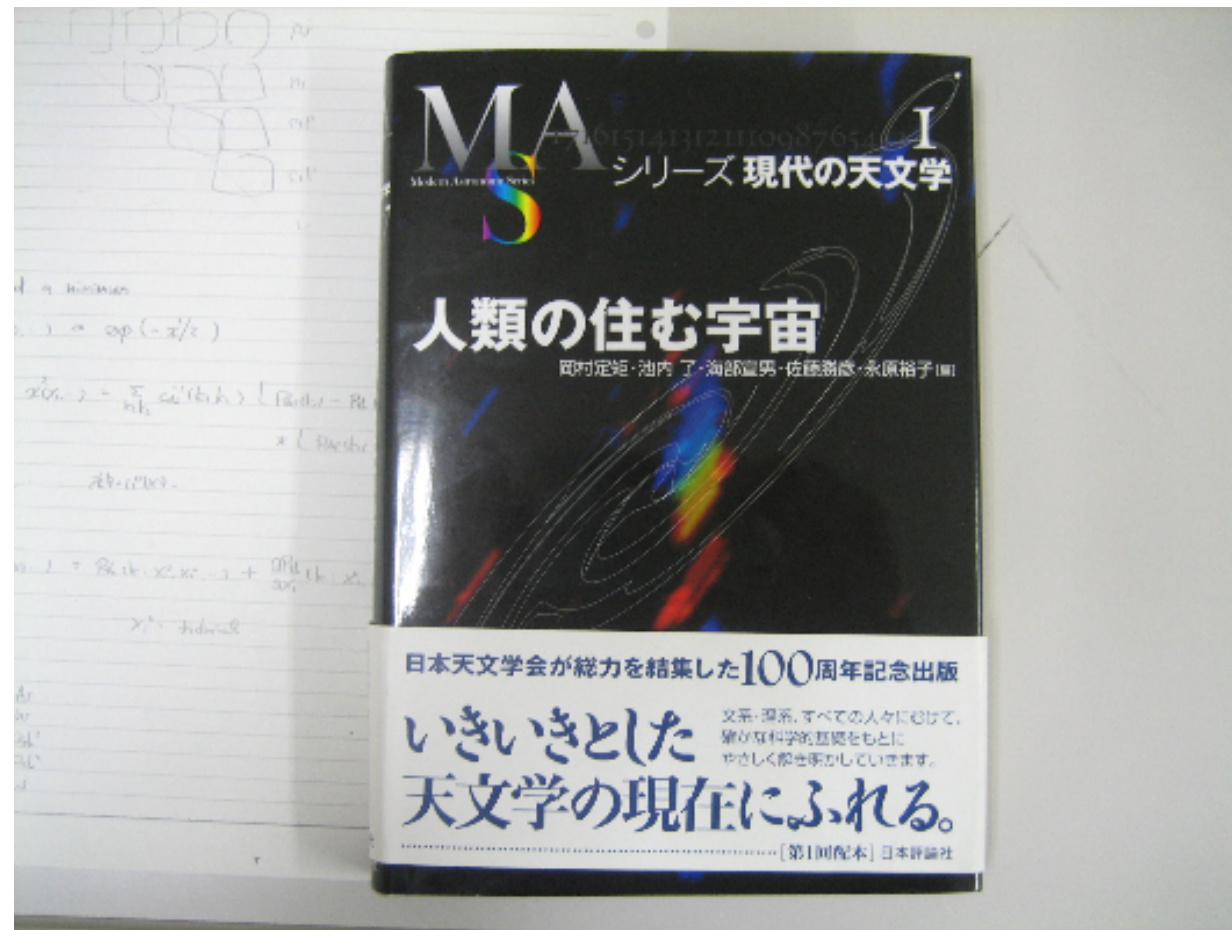
長距離スケール(～100億光年)で重力を弱くするモデル
高次元重力モデル

ダークマター

銀河 & 銀河団スケールで重力を強くするモデル
第5の力

教科書 輪読 3年生後期 ゼミ

現代の天文学 I「人類の住む宇宙」(予定)



基礎的なことをひとつとおり学ぶ

全15コマ

- ・宇宙の創世(ビッグバン)
- ・元素の起源
- ・宇宙の晴れ上がり
- ・星の形成&進化
- ・銀河の形成&進化
- ・惑星系(太陽系以外の惑星)
- ・宇宙の膨張(ダークエネルギー&ダークマター)

目標&目的

宇宙物理の初歩(の初歩)を学ぶ
わからないことがあれば、質問する
(質問する習慣をつける)

人と協力して調べる

プレゼンに慣れる

Power point

要点を分かり易く、声を大きくはっきり、、、

数値計算に慣れる(unix, fortran, C言語、、、)

図が書けるようになる(gnuplot、、、)

Tex が使えるようになる

まだ研究室を決めかねている方、、、
いつでもどうぞ(4階428号室)

