

第 14 回 講義内容

2025/12/22

- レポート課題（第 3 回）の提出期限は 1 月 30 日（金）23:59 です。課題は、第 13 回講義時にプリントを配布しました。

配布物

- | | | |
|----------------------------------|--|-----------------------|
| ● 14_Cosmology_contents.pdf | このファイル | Google classroom, web |
| ● 14_Cosmology2025_Viewgraph.pdf | スライド
月曜朝に配布します。 | Google classroom, web |
| ● 14_Planets2026.pdf | 別のファイル
クリスマスプレゼント。2026 年の天体観測の見どころ。 | Google classroom |

講義内容（予定）

- §5.5 宇宙のモデルを決める最新の観測結果
- §5.6 第 2 の地球はあるのか 生命の起源は

本日の復習課題例

こんなことを観たり、調べたり、考えてもらったら面白いかな、という程度のおまけ。

- ダークマターがあることは本当と考えて良い？
- ダークエネルギーがあることは本当と考えて良い？

次回の予習項目

こんなことを調べてもらったら面白いかな、という程度の課題。

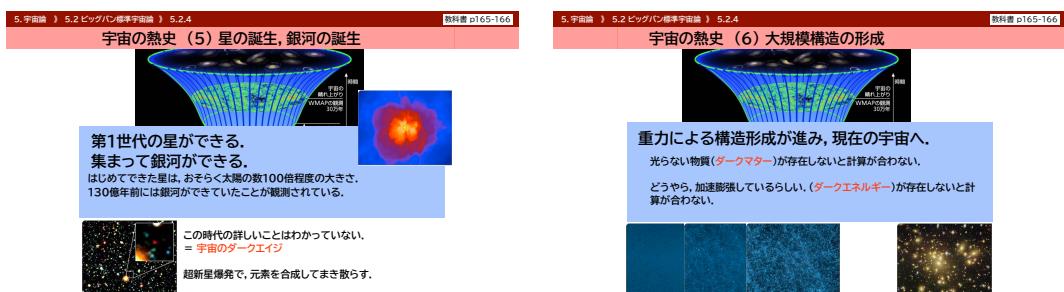
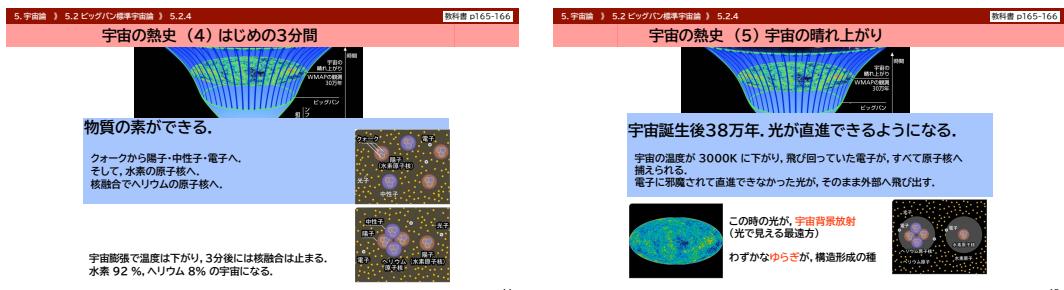
- 太陽系外惑星探査の現状
- 生命の起源

第 4 章以降の確認事項**4 量子論**

光が波である、ことを示す実験。
光が粒子である、という考えが生まれた理由。
アインシュタイン・ボア論争とは何か。
不確定性原理とは何か。シュレーディンガーの猫とは何か。

5 宇宙論、これからの宇宙物理学

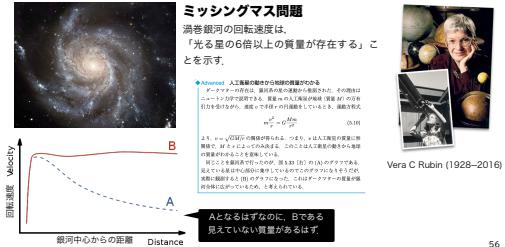
宇宙膨張を確認したハッブルによる観測とその原理。
ビッグバン膨張宇宙論と定常宇宙論の論争。この論争を終結させた観測は何か。
ビッグバン膨張宇宙論の問題点。
インフレーション宇宙モデルとは何か。
膜宇宙モデルとは何か。
ダークマターとは。
ダークエネルギーとは。
太陽系外惑星探査の意義。
小惑星探査・彗星探査の目的は何か。





5. 宇宙論 5.5 宇宙論のモデルを決める最近の観測結果 5.5.1 ダークマター

ダークマター: 見えていない質量



Vera C Rubin (1928-2016)

56

5. 宇宙論 5.5 宇宙論のモデルを決める最近の観測結果 5.5.1 ダークマター

重力レンズによるダークマターの検出

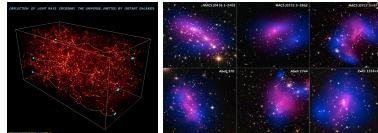


図 6.11: (左) 銀河団のシミュレーション結果に、光の速い粒子を描き込んだ際、ダークマターを含んだ結果によく、光の経路が変形されるから。
[\[http://www.fifthwheel.idv.tw/News/Lensing/\]](http://www.fifthwheel.idv.tw/News/Lensing/)
 (右) Hubble Space Telescope による銀河団の観測結果。左の部分がダークマターの分布を示す。ダークマターが銀河と密接に分離していることが分かる。
[\[http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2015/10/qa01/\]](http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2015/10/qa01/)

5. 宇宙論 5.5 宇宙論のモデルを決める最近の観測結果 5.5.1 ダークマター

ダークマターの候補

素粒子論からのダークマターの候補

- ニュートリノ 微小な質量を持つことがわかっている
× 宇宙全体では量が不足、銀河形成モデルとも合致せず
- ニュートリノ 超対称性理論を仮定すれば自然に登場する粒子
× 未発見
- アキシオン 溫度ゼロの仮想の粒子 × 未発見。

天体物理学からのダークマターの候補

ブラックホール・白色矮星・中性星

恒星進化の最後の姿が、どの位存在するのかが未知。

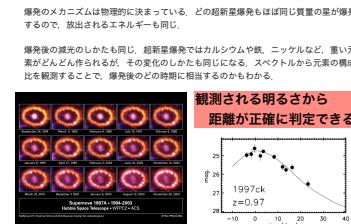
褐色矮星・惑星 恒星へなれなかった小さな星。これも存在量が未知。

結局、不明のまま。
未知の素粒子は何か、に期待が高まっている

58

5. 宇宙論 5.5 宇宙論のモデルを決める最近の観測結果 5.5.2 ダークエネルギー

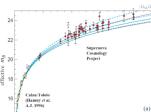
超新星爆発=スタンダードキャンドル



64

Nobel Prize 超新星爆発を用いた、宇宙の加速膨張の発見 Nobelprize.org

for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae.
 2011年ノーベル物理学賞受賞



65

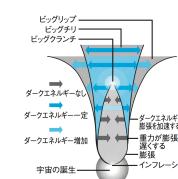
5. 宇宙論 5.5 宇宙論のモデルを決める最近の観測結果 5.5.2 ダークエネルギー

宇宙の最期

ビッグクランチ
どこまで加速膨張が続わり、やがて重力が強くなつて膨胀には再び収縮する。ビッグバンの逆戻りとなって、すべてが再び融合する。

ビッグフリーズ、ビッグチリ
現在のまま宇宙は永遠に膨張を続け、すべての銀河が孤立し、やがて星は燃え尽きて温度ゼロ状態の「死的な死」。

ビッグリップ
今後もますます加速膨張をつづけ、やがては時空自体が引き裂かれ、銀河も星も何も構造が残らない。



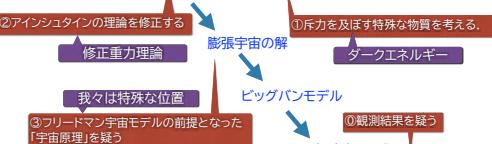
5. 宇宙論 5.5 宇宙論のモデルを決める最近の観測結果 5.5.2 ダークエネルギー

宇宙が加速膨張している原因は何か???

重力場の方程式(一般相対性理論)

空間の曲がりがモノの運動を決める ⇔ モノがあると空間が曲がる

$$\text{空間の歪み} \quad R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} \quad \text{モノの分布}$$



③フリーダマン宇宙モデルの前提となった「宇宙原理」を疑う

①観測結果を疑う

69

