

# 2002年度前期 4年生理論演習 進行予定表

宇宙理論研究室

前期理論演習では、ビッグバン宇宙論の内容理解を中心に、以下に挙げた必須3テーマ+1トピック(選択)の話題を取り上げて、参考文献の輪講を行う。全体を通して統一のかつ分りやすい洋書がないため、本年度は、項目ごとに文献を替えて読み進めて行くことにする。また、選択トピックの細かい内容、参考図書については、必須テーマの進行具合を見ながら、受講生の希望に応じて相談して決める。

## 内容

1. フリードマン宇宙モデル (全2~3回)
2. 宇宙の熱史 (全2~3回)
3. ビッグバン元素合成 (全3~4回)
4. 選択トピック
  - 一般相対論
  - インフレーション宇宙
  - 3K宇宙背景放射
  - 暗黒物質と宇宙大規模構造
  - 宇宙論パラメータの観測的制限

## 1 フリードマン宇宙モデル

### フリードマン方程式の導出と解の振る舞い

膨張宇宙の進化を基礎づける方程式を導出し、それを下に、膨張宇宙の進化史を概観する。膨張宇宙の基礎方程式の厳密な導出には、一般相対論的観点に立った議論が通常であるが、ここでは、その議論は省略し、ニュートン重力的な宇宙描像に従って、フリードマン方程式を導くことを考える(一般相対論は、選択トピックでとりあげる)。

**Ref.** Nick Kaiser の大学院講義録「Elements of Astrophysics」 pp.369-379

### フリードマン方程式と宇宙論パラメーター

前回導出したフリードマン方程式に基づき、物質組成の違いによる膨張宇宙のダイナミクスについて特徴付けを行い、宇宙論パラメーター(宇宙定数、密度パラメータ)と膨張宇宙の進化(ハッブル膨張則、減速度パラメーター、宇宙年齢)の関係について調べる。

**Ref.** John Peacock 「Cosmological Physics」(Cambridge Univ. Press, 1999) pp.71-86

## 2 宇宙の熱史

### Thermodynamics in the Universe

膨張宇宙初期の物質組成とその状態を議論するために必要な、統計力学・熱力学を復習し、高温状態における物質組成と宇宙膨張との関係について理解する。

### Brief thermal history of the universe

宇宙の進化過程は、宇宙の膨張に従って様々な熱平衡状態を経る。ここでは、前回学んだ知識に基づき、宇宙の熱史を概観し、膨張宇宙の特徴的な温度、時期 ( Neutrino decoupling, Matter-radiation equality, recombination, *etc.* ) について考察する。

**Ref.** Edward W. Kolb & Michael S. Turner 「The Early Universe」 (Addison-Wesley, 1990) pp.60–82

## 3 ビッグバン元素合成

### Theory of Big-Bang Nucleosynthesis

ビッグバン宇宙論の正しさを裏付けるものとして、軽元素合成の説明が挙げられる。ここでは、熱統計理論に基づき、軽元素合成の進化過程のおおまかな部分を学び、初期のバリオン含有量に応じて、宇宙の軽元素組成比 ( $D/h$ ,  ${}^3\text{He}/h$ ,  ${}^4\text{He}/h$ , ...) がどのように決まるかを考察していく。

### Observation of primordial abundances

ビッグバン宇宙論に基づく軽元素組成比の予言が、どれだけ観測を説明しうるのか、ここでは、軽元素組成比各々の観測的制限について調べ、理論予言との比較から浮かび上がる問題点、観測的示唆などについて考察する。

**Ref.** Edward W. Kolb & Michael S. Turner 「The Early Universe」 (Addison-Wesley, 1990) pp.87–111

## 4 選択トピック

### 一般相対論

一様等方宇宙を記述するフリードマン方程式を厳密に導くには、一般相対論の知識を要する。ここでは、Einstein 重力理論の理論的定式化 (Riemann 幾何学) を学び、Einstein 方程式の導出を行う。この Einstein 方程式を下に、フリードマン方程式を再導出する。時間に余裕があれば、ブラックホール解についても言及する。

## インフレーション宇宙

ビッグバン宇宙論が突き当たった諸問題（地平線問題、平坦性問題）を回避するアイデアが、インフレーション宇宙（指数関数的に加速膨張する宇宙）である。ここでは、インフレーション宇宙が現れた背景から出発し、インフレーションが起こるメカニズム、現在の観測宇宙への予言などについて調べる。

### 3 K 宇宙背景放射

ビッグバン宇宙論のもう1つの成功例が3 K 宇宙背景放射の予言である。現在、観測衛星MAPにより、宇宙背景放射の詳細なマッピング観測が行われている。ここでは、宇宙の晴れ上がり時期における素過程（recombination process）について学び、宇宙背景放射と宇宙の中性化との関係について議論する。

### 暗黒物質と宇宙大規模構造

銀河・銀河団などの光る天体分布のサーベイ観測から、宇宙には大規模構造と呼ばれる、非常に大スケールの物質分布があることがわかっている。その一方、宇宙の物質質量の大半は、実は、暗黒物質と呼ばれる見えない物質で占められていることが知られている。暗黒物質は、相互作用が非常に弱く、観測される銀河分布に対しては、基本的に重力相互作用を介してしか影響を及ぼさない。ここでは、暗黒物質の存在を示唆する観測について調べ、暗黒物質が支配する宇宙においてどうやって大規模構造ができたのかを概観する。

### 宇宙論パラメーターの観測的制限

現在の宇宙を特徴づける際に用いられる現象論的パラメーターを、宇宙論パラメーターと呼ぶ。宇宙論パラメーターは、宇宙膨張と物質密度ゆらぎの初期条件を特徴づけるものに大別できるが、こうしたパラメーターを観測的に制限していくことが観測的宇宙論のゴールの1つである。ここでは宇宙論パラメーターの制限について、特に最近、注目されている3つの観測（超新星、銀河団、3K 背景放射）からどのように宇宙論パラメーターが決まるのか学ぶ。