

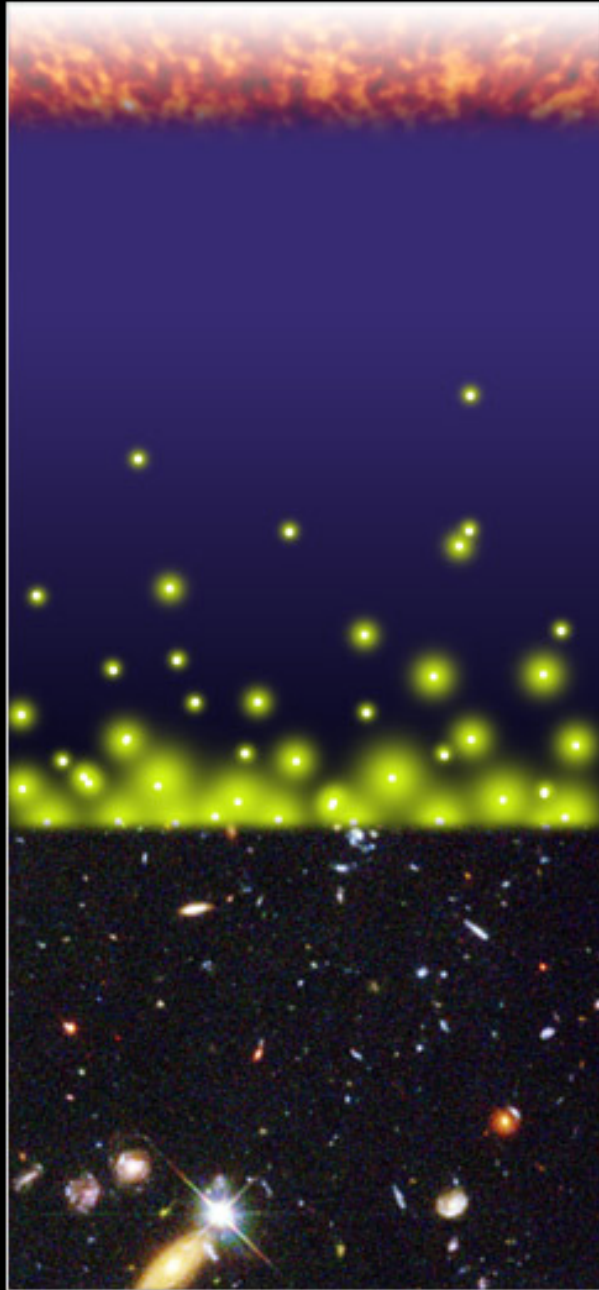
Epoch of Reionization

イントロダクション

高橋慶太郎

(熊本大学)

2014年3月24日



S.G. Djorgovski et al. & Digital Media Center, Caltech

ゆらぎの生成・線形成長
 $z=1000$ 中性化

暗黒時代

$z\sim 30$ 初代天体形成

$z\sim 10$ 再イオン化開始

$z\sim 6$ 再イオン化完了

$z\sim 1$

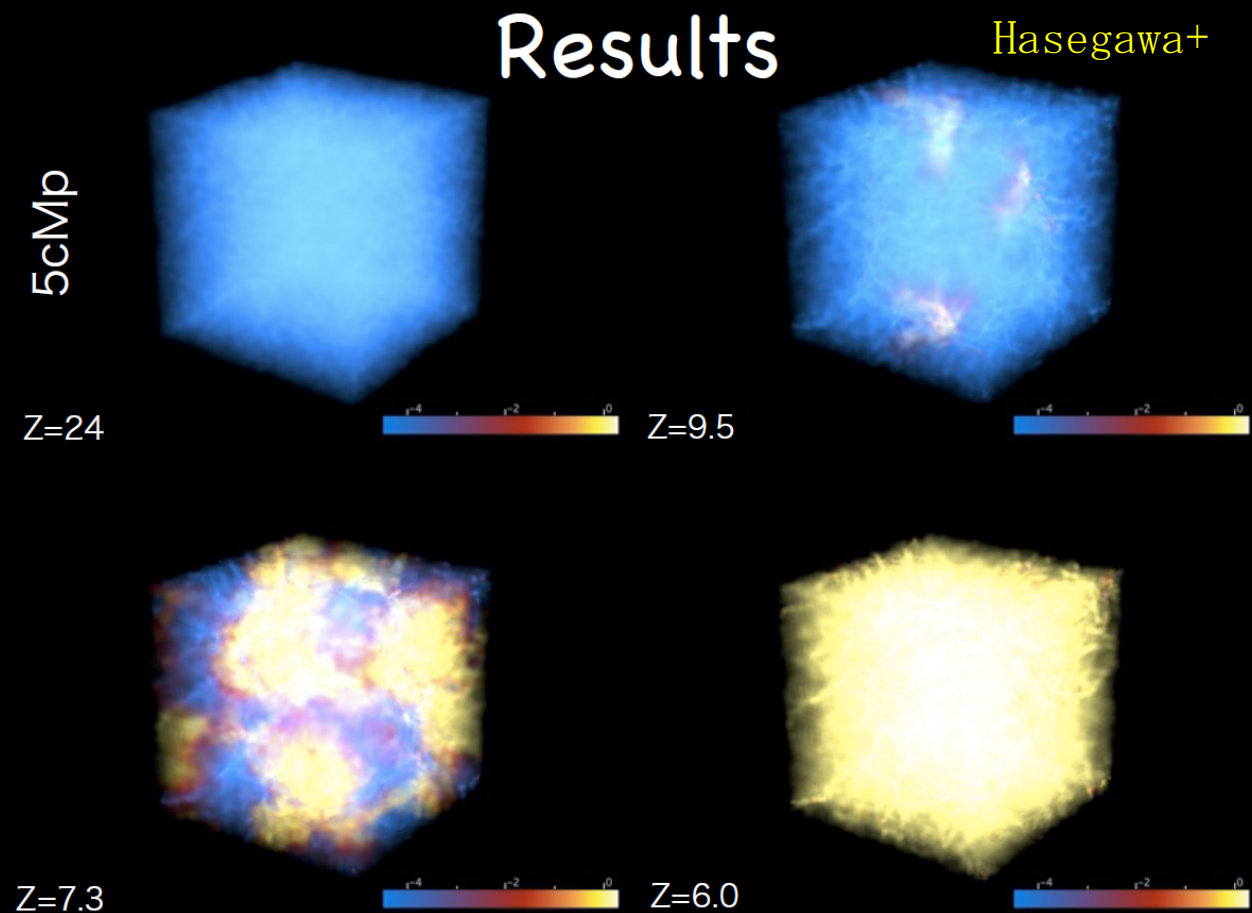
銀河進化

大規模構造形成

暗黒エネルギー

暗黒時代 - 初代天体形成 - 再イオン化

天体が形成されると紫外線やX線によってまわりをイオン化していく。

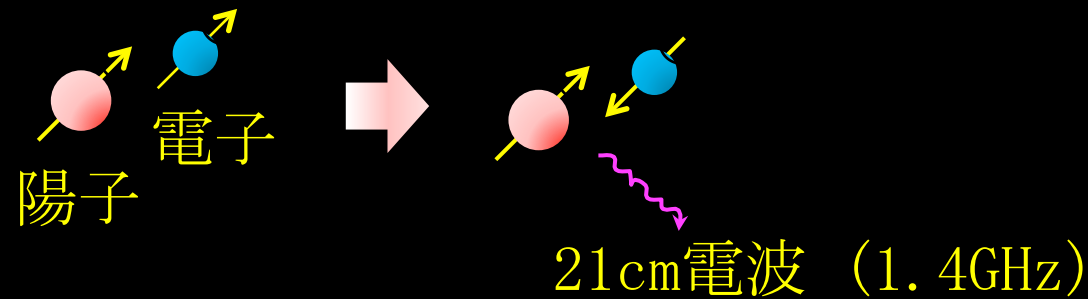


どう観測するか？

- 宇宙背景放射
- Ly α
- 21cm線

21cm線

水素原子の超微細構造



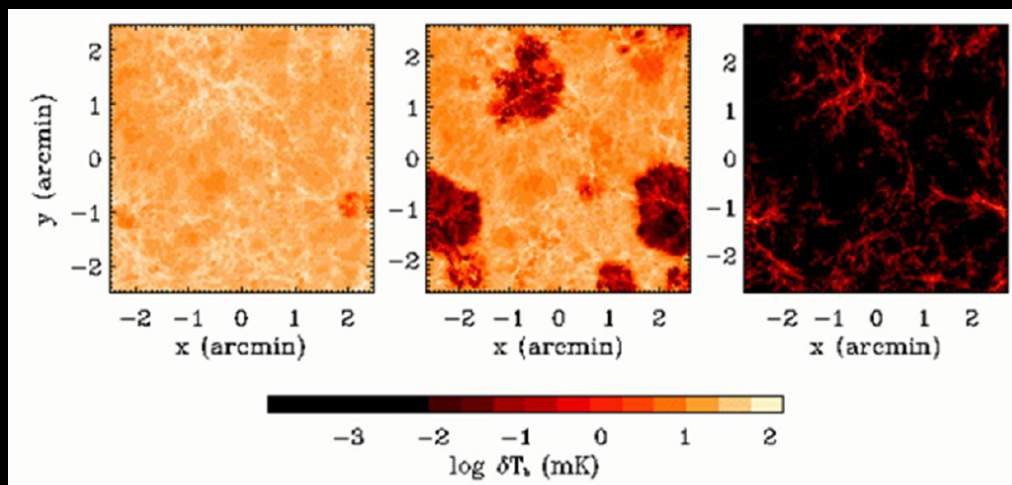
赤方偏移したものが観測される

70MHz (SKA)	$z = 19$	$t = 200\text{Myr}$
50MHz (SKA goal)	$z = 27$	$t = 120\text{Myr}$
30MHz (LOFAR)	$z = 45$	$t = 56\text{Myr}$

21cm線の観測

スピン温度

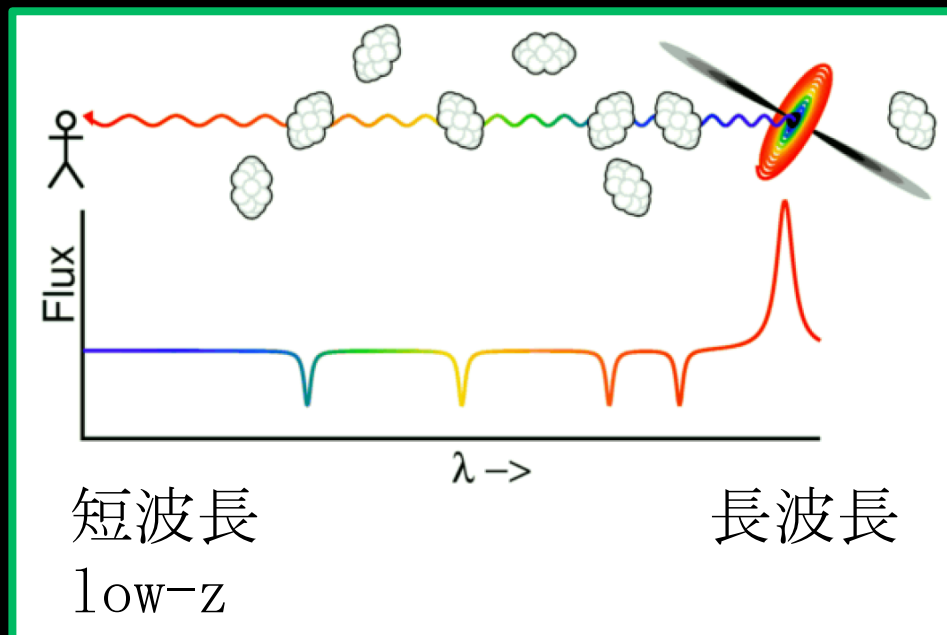
$$\frac{n_{\uparrow\uparrow}}{n_{\uparrow\downarrow}} = 3 \exp\left[-\frac{h\nu_{21\text{cm}}}{kT_{\text{spin}}}\right]$$



観測方法

- CMBに対する放射吸収
(T_{spin} , T_γ の大小による)
- 背景光源に対する吸収線

$$\tau_{21\text{cm}} \approx 0.01 x_{\text{HI}} \left(\frac{1+z}{10}\right)^{1/2} \frac{T_\gamma}{T_S}$$



スピン温度

スピン温度の決まり方

- CMBとの相互作用（放射温度： T_γ ）
- 原子の衝突（ガス温度： T_K , x_c ）
- Ly α との相互作用（色温度： $T_c \sim T_K$, x_α ）

$$T_S^{-1} = \frac{T_\gamma^{-1} + x_c T_K^{-1} + x_\alpha T_c^{-1}}{1 + x_c + x_\alpha}$$

スピン温度の進化

初期宇宙：熱平衡

$z \sim 150$

CMBとバリオンが脱結合
原子衝突が頻繁

$z \sim 70$

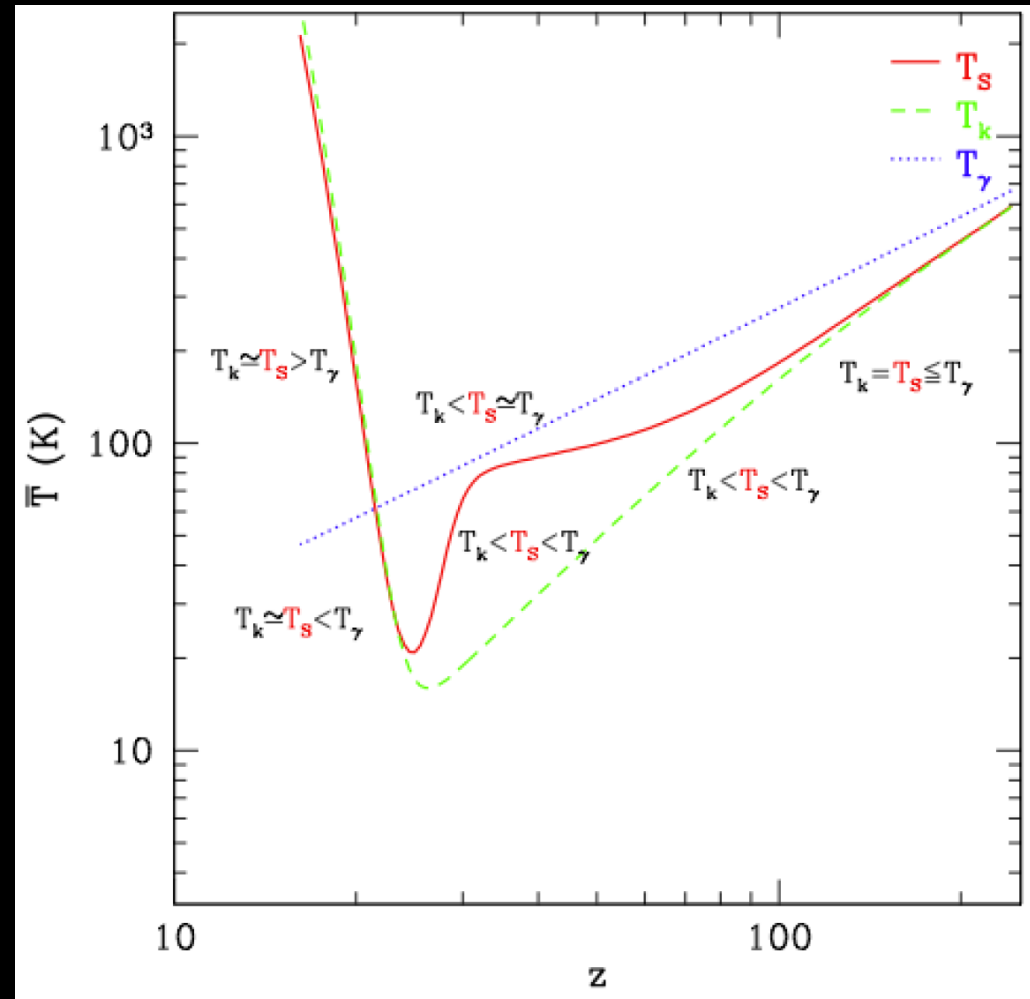
ガス密度が小さく
原始衝突が非効率

$z \sim 20$

天体からのLy α により
W-F効果が効く

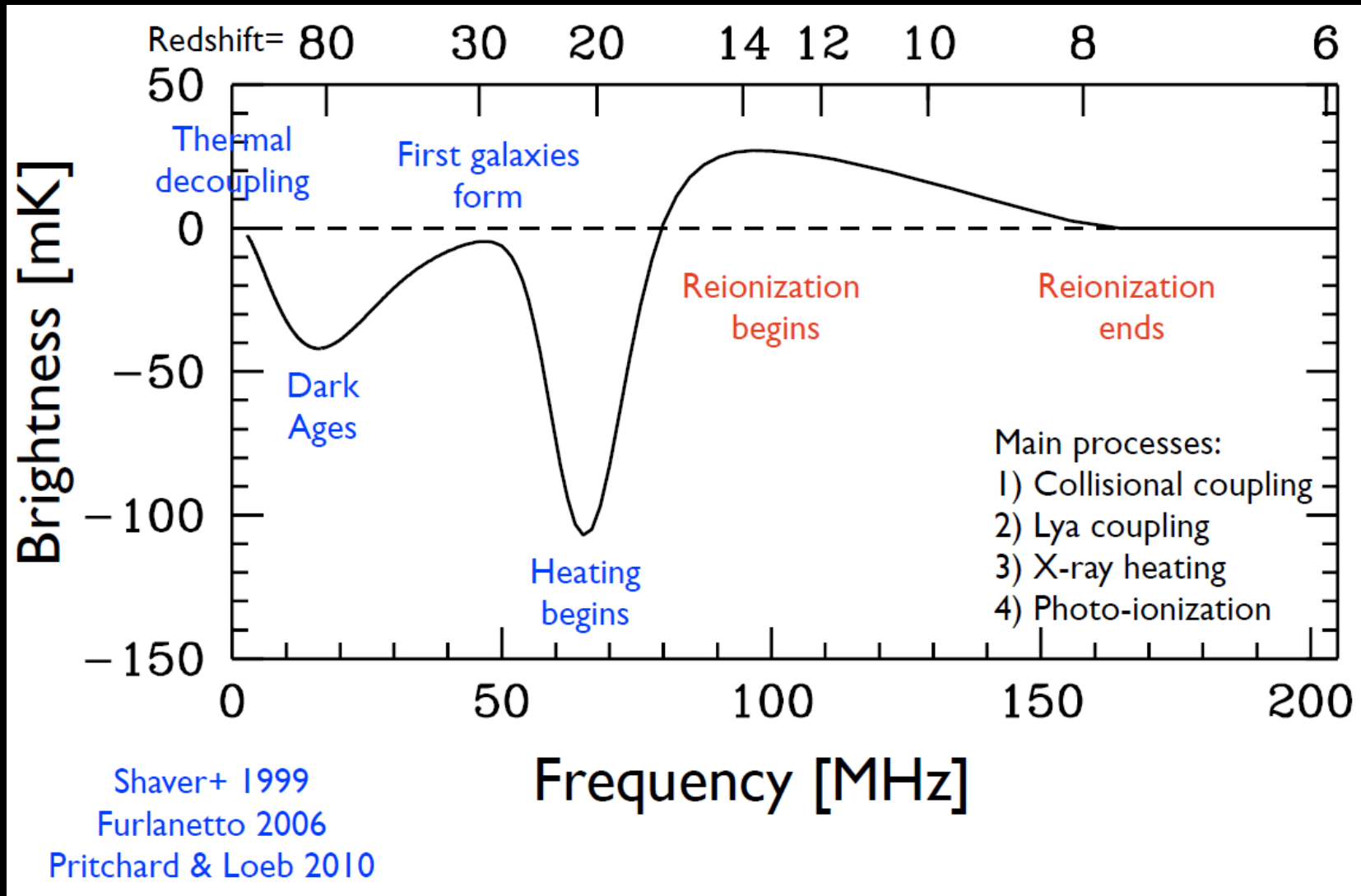
$z \sim 15$

ガスが暖められCMB温度
を超える



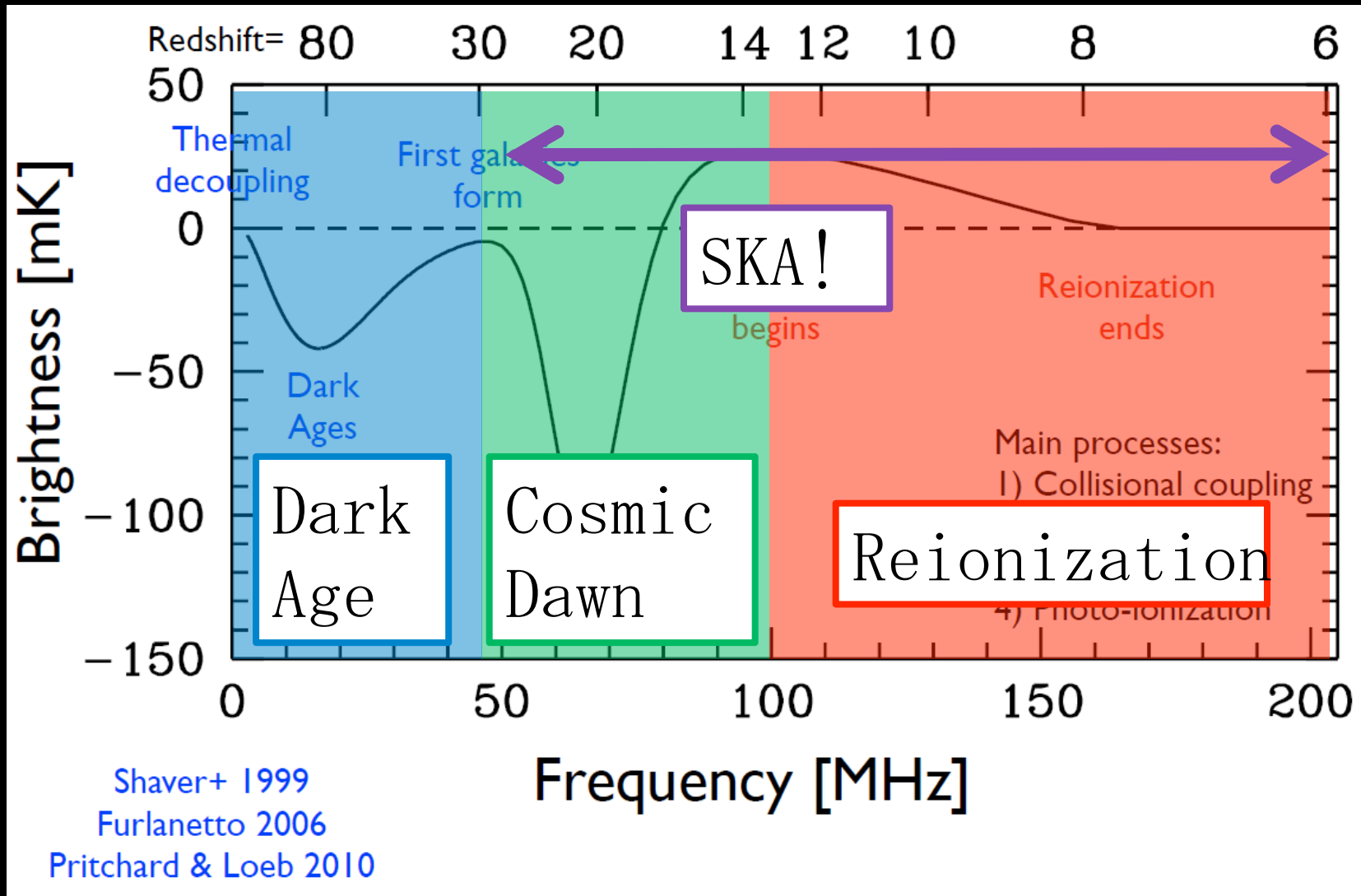
輝度温度

グローバルシグナル (ゆらぎなしの平均値)。
CMBとの温度差。正なら放射、負なら吸収。



輝度温度

グローバルシグナル (ゆらぎなしの平均値)。
CMBとの温度差。正なら放射、負なら吸収。



シグナルの大きさ

21cmシグナル：分解能↓⇒ピーク温度↓

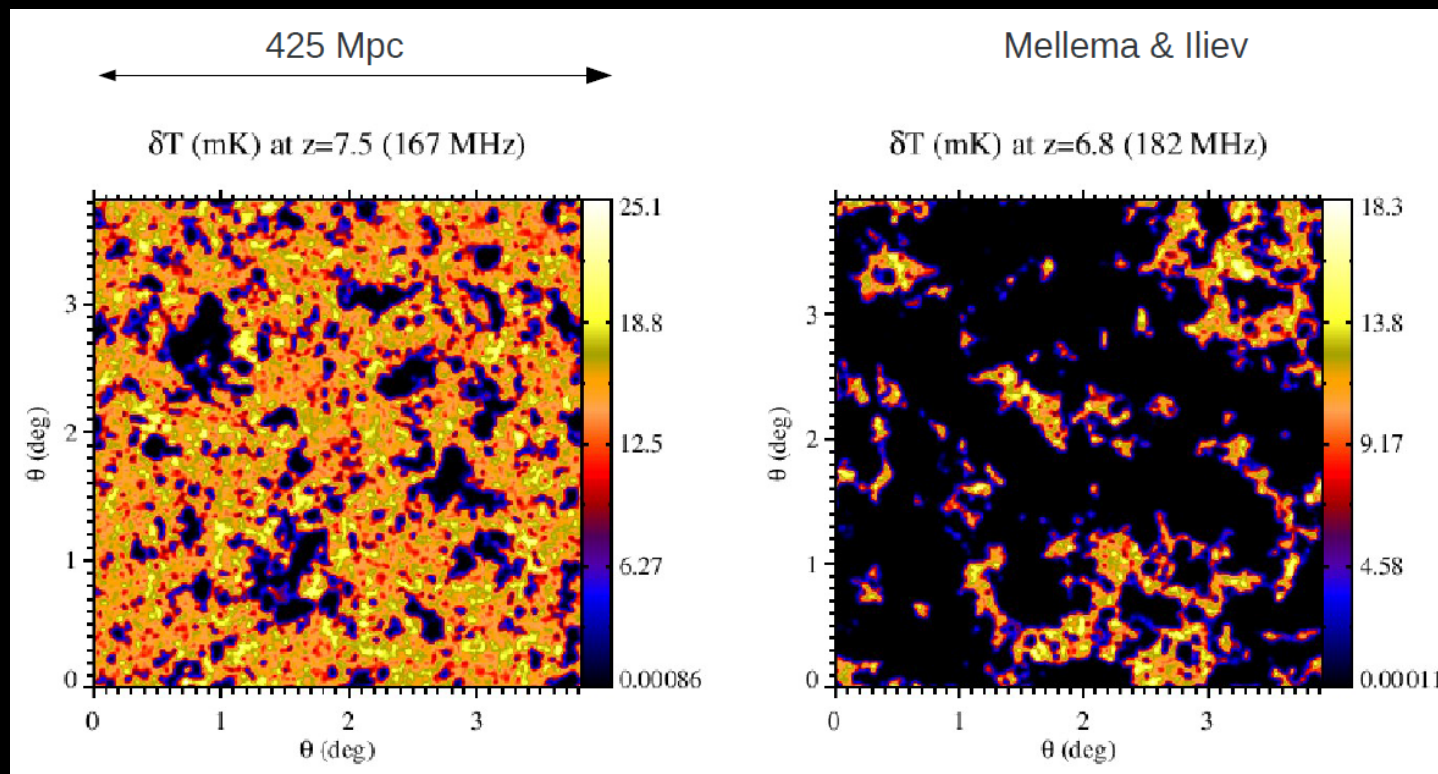
シミュレーション：

1' → ピーク～10mK

5' → ピーク～3mK

バブルの大きさ ～ 10'

SKAの目標感度
「分解能数分角で1mK」



EoR研究の現状

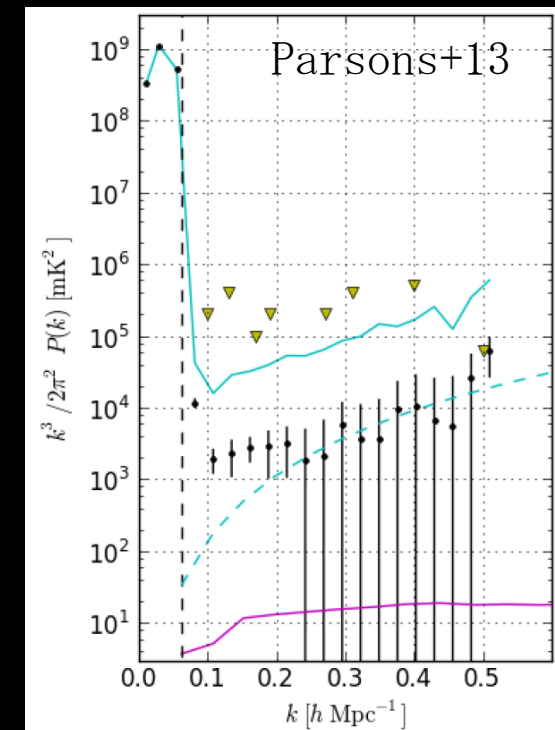
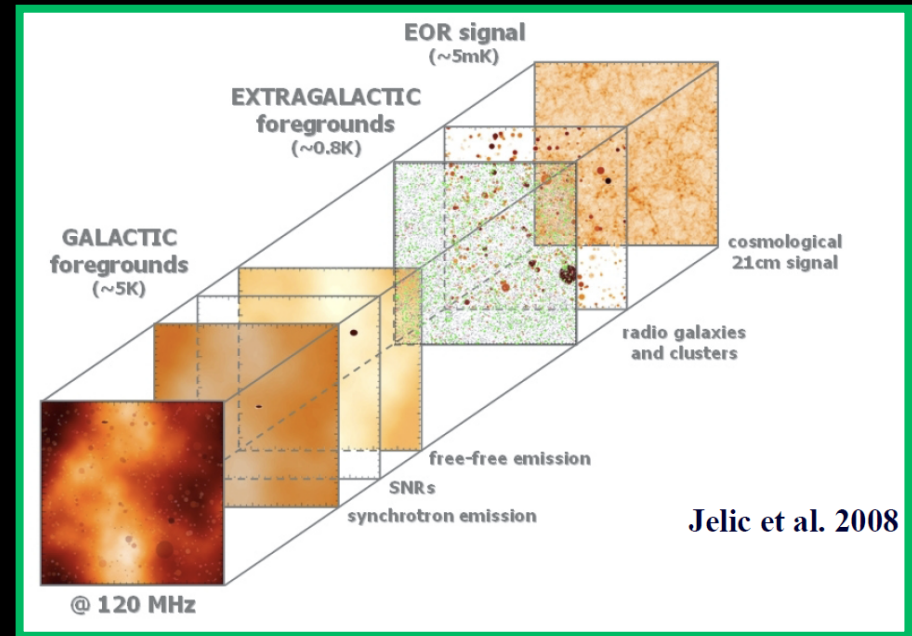
理論

- きれいな時期の宇宙論シミュレーション
- 大スケールで統計的な議論
- 小スケールで詳細な物理
- 素過程としての初代天体

観測

- 高赤方偏移銀河、クエーサー
- 21cm線
 - 試験機による観測
 - foreground

power spectrumで
foregroundは
signalの6桁上！
→ あと2桁



セッションの目的

準解析的モデルを作ってforecast

- 「シミュレーション → シグナル予想」はよくある
- 「観測できたら結局何がわかるか？」はほとんど研究されていない
- 日本の叡智（大内、細川、長谷川+みなさん）を結集して
「精密で計算コストの小さい準解析的モデル」を作りforecastを行う
- とりあえず既存の”21cmFAST”をたたき台に
→ 吉浦、島袋