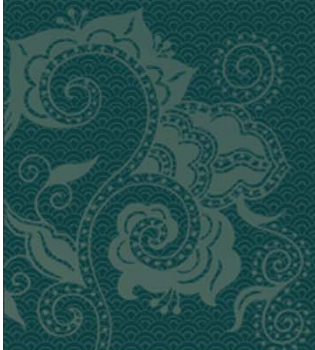


スパコンを知る集い in 長野

暗黒宇宙に生まれる星と ブラックホール

スパコンで早期宇宙の進化の謎に迫る

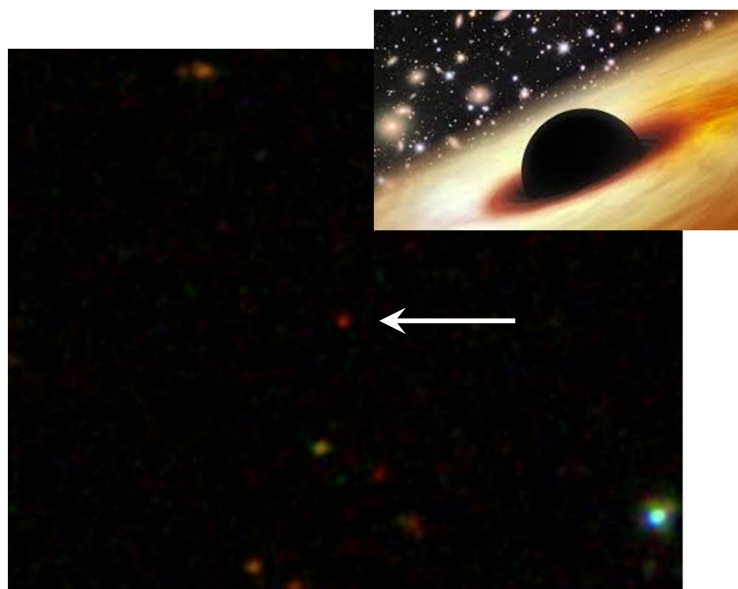
東京大学大学院理学系研究科
カブリ数物連携宇宙研究機構
吉田直紀



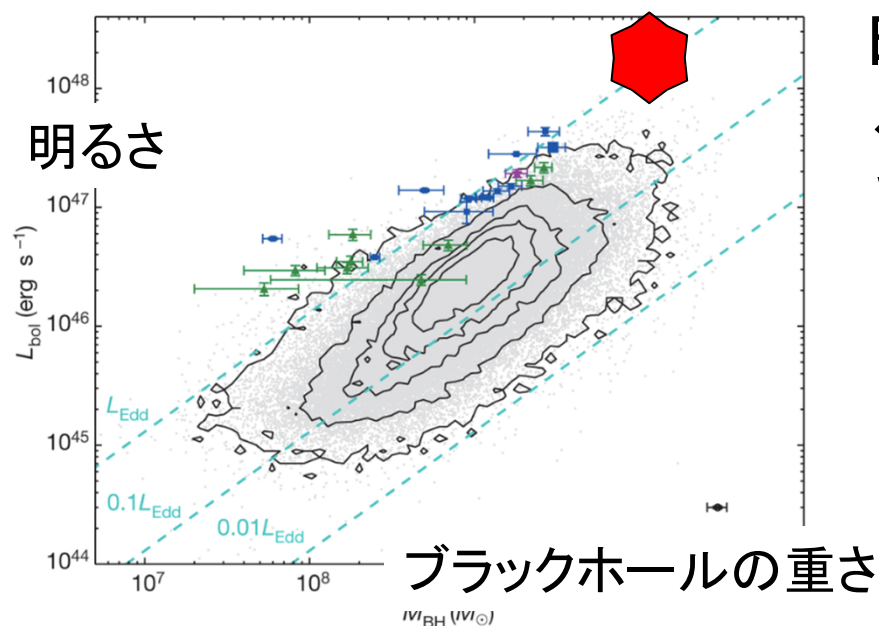
冬の夜空 「暗闇の奥に潜むもの」



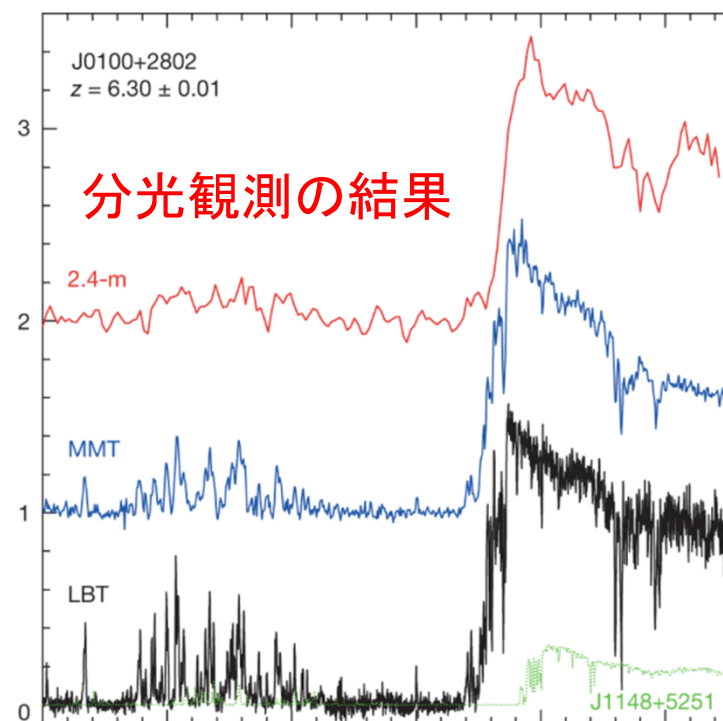
遠くの宇宙には...ありえない巨大ブラックホール



中国の研究グループの成果
天体 SDSS J0100+2802
太陽の120億倍! の質量
ビッグバン後9億年に既に存在



明るさ



観測波長

宇宙の面白さ

太陽系の近くにある小さな、すこし変わった星

最も遠くにある超巨大ブラックホール

一見なんの関係もなさそうな事柄が
宇宙進化のストーリーの中で繋がる。
そして、ストーリーの背後には必ず
大きな謎がある！

今日のお話の感覚

サイズ

人間のサイズ ~ 1 m

生活圏 ~ 10 km

地球 ~ 10000 km

太陽までの距離:

1天文単位 = 1億5000万km

(光の速さで8分)

太陽系のサイズ ~ 100 天文単位

1光年 = 10兆 km

天の川銀河系のサイズ ~ 10万光年

観測できる宇宙の果て ~ 300億光年

時間

生活の基本時間 24時間

惑星の運行 ~ 1 - 100年

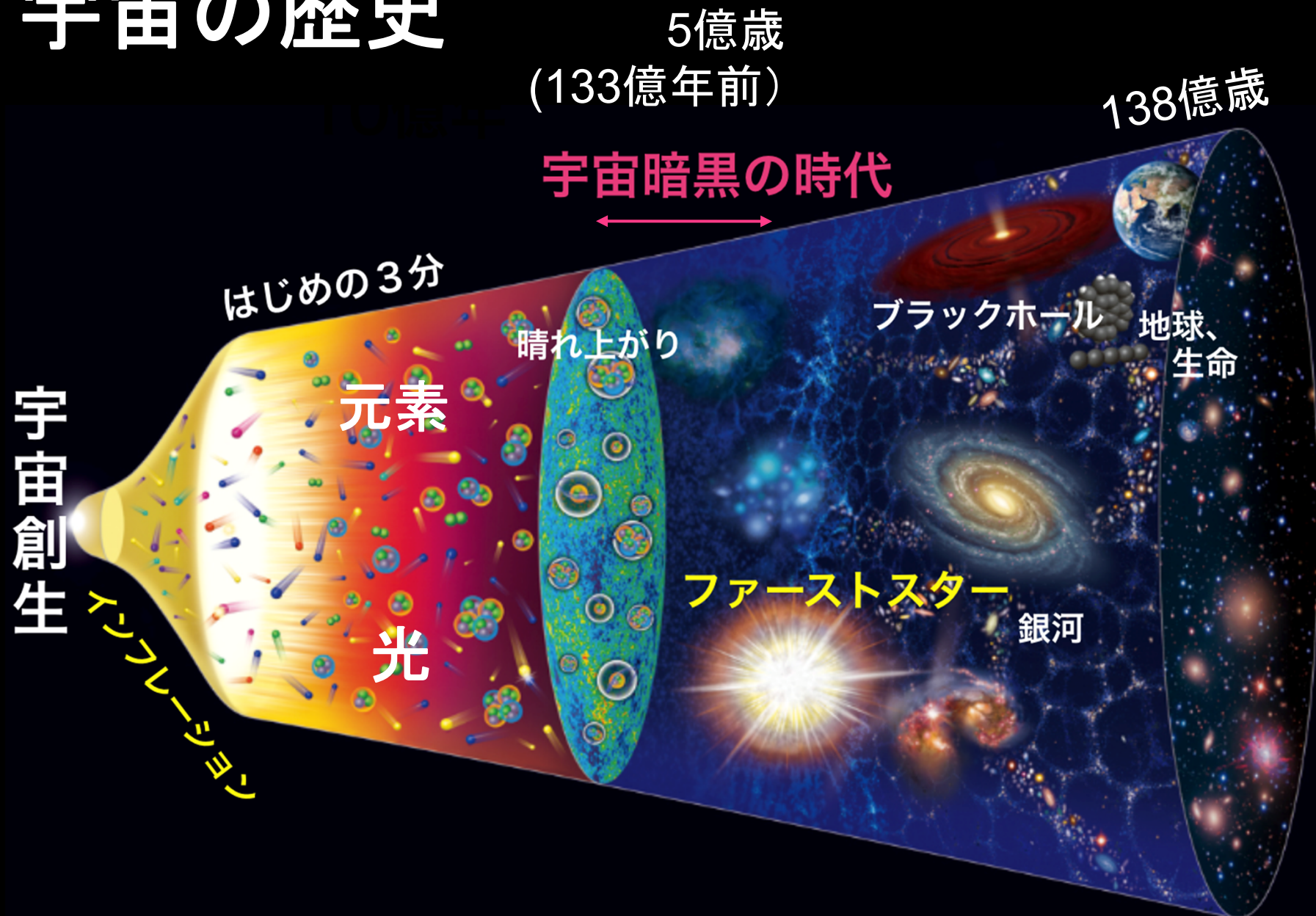
人類誕生 ~ 100万年前

恐竜時代 ~ 1億年前

地球形成 ~ 46億年

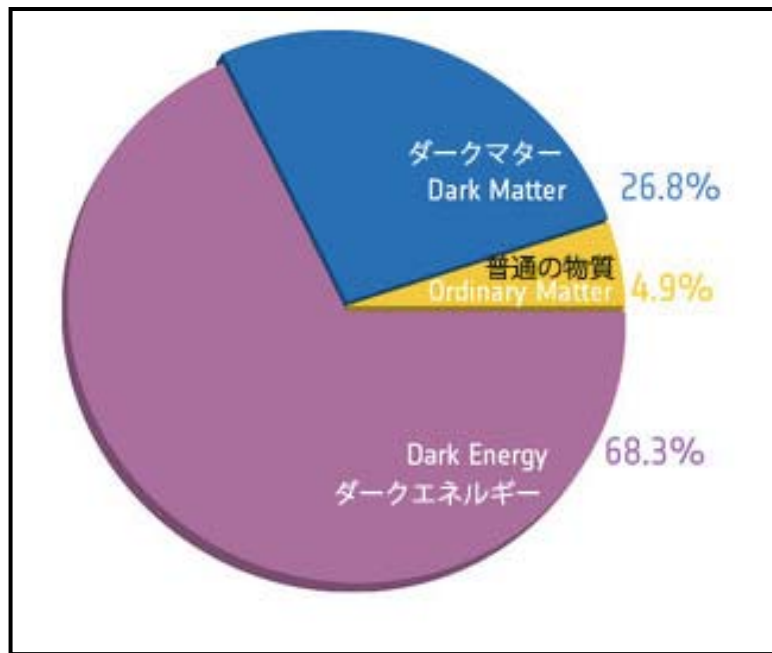
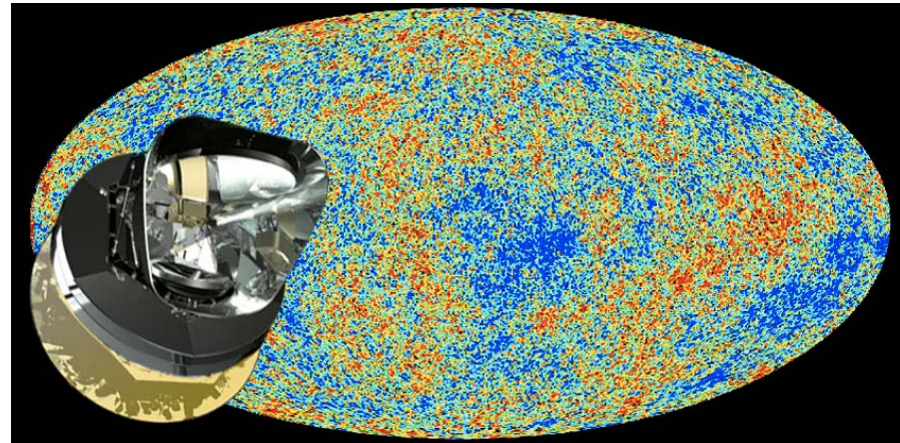
宇宙誕生 138億年前

宇宙の歴史

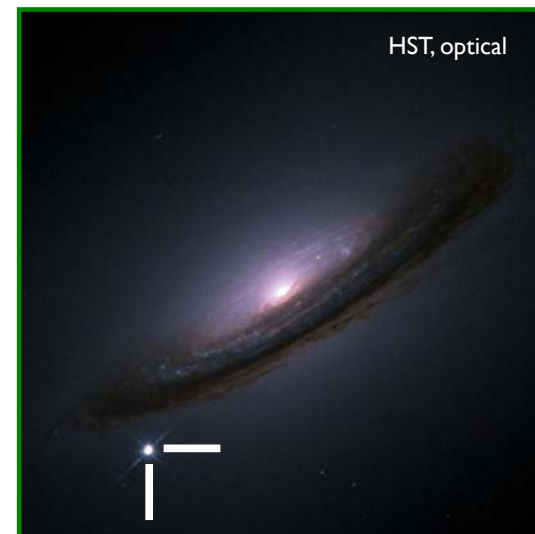
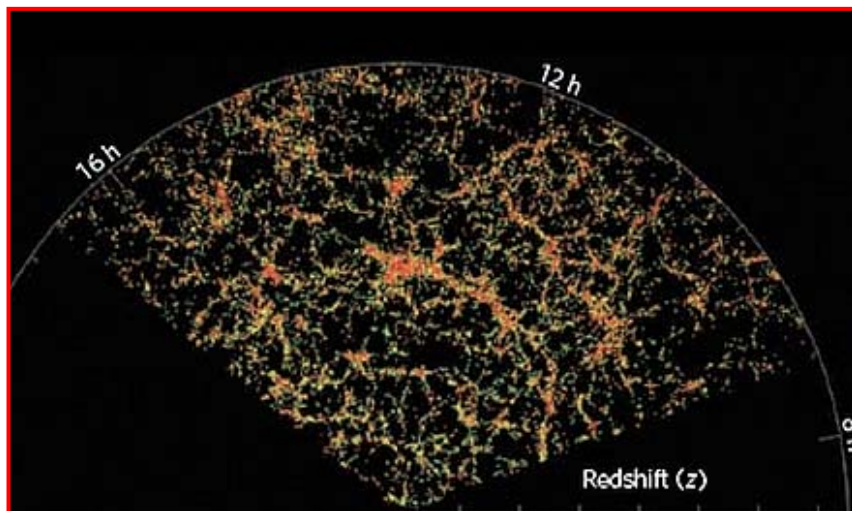


宇宙の構成要素

マイクロ波背景放射 (生まれたての宇宙)



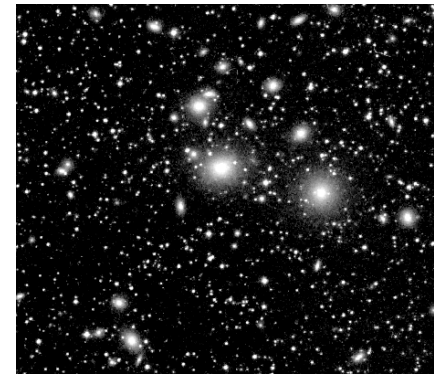
現在の宇宙の構造 (物質分布)



遠い超新星
(膨張の歴史)

宇宙にある大小さまざまな天体

星 星団 銀河 銀河群 銀河団 超銀河団



典型的サイズ

100光年

100万光年

1億光年

最遠方のその向こう：暗黒の時代

ビッグバンの後宇宙はどうなったのか？

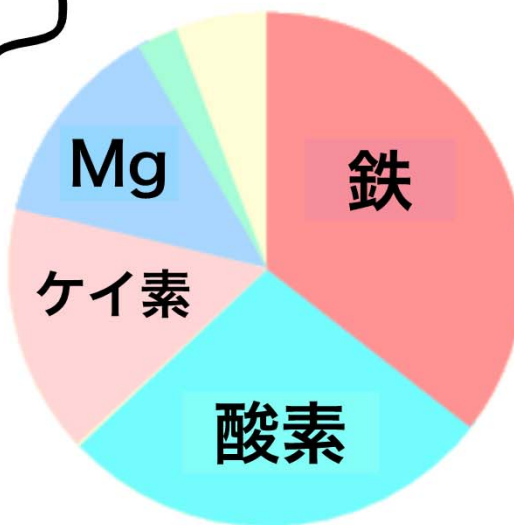
最初の星はいつ生まれたのか？

巨大ブラックホールの起源は？

遠くの元素、近くの元素

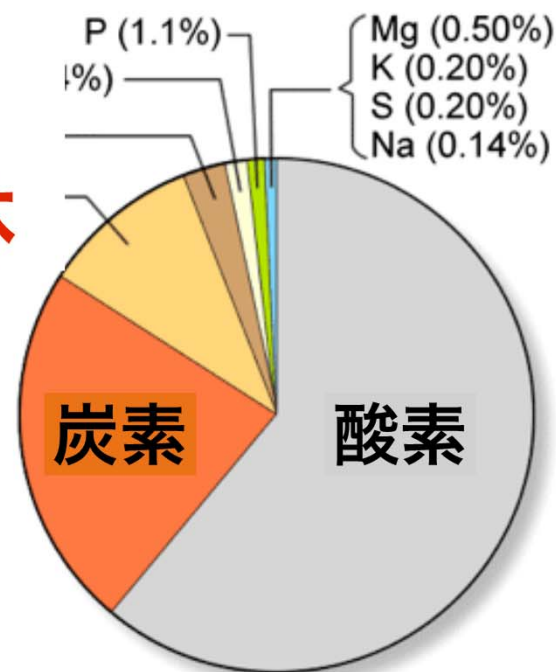


初期宇宙



地球

人体



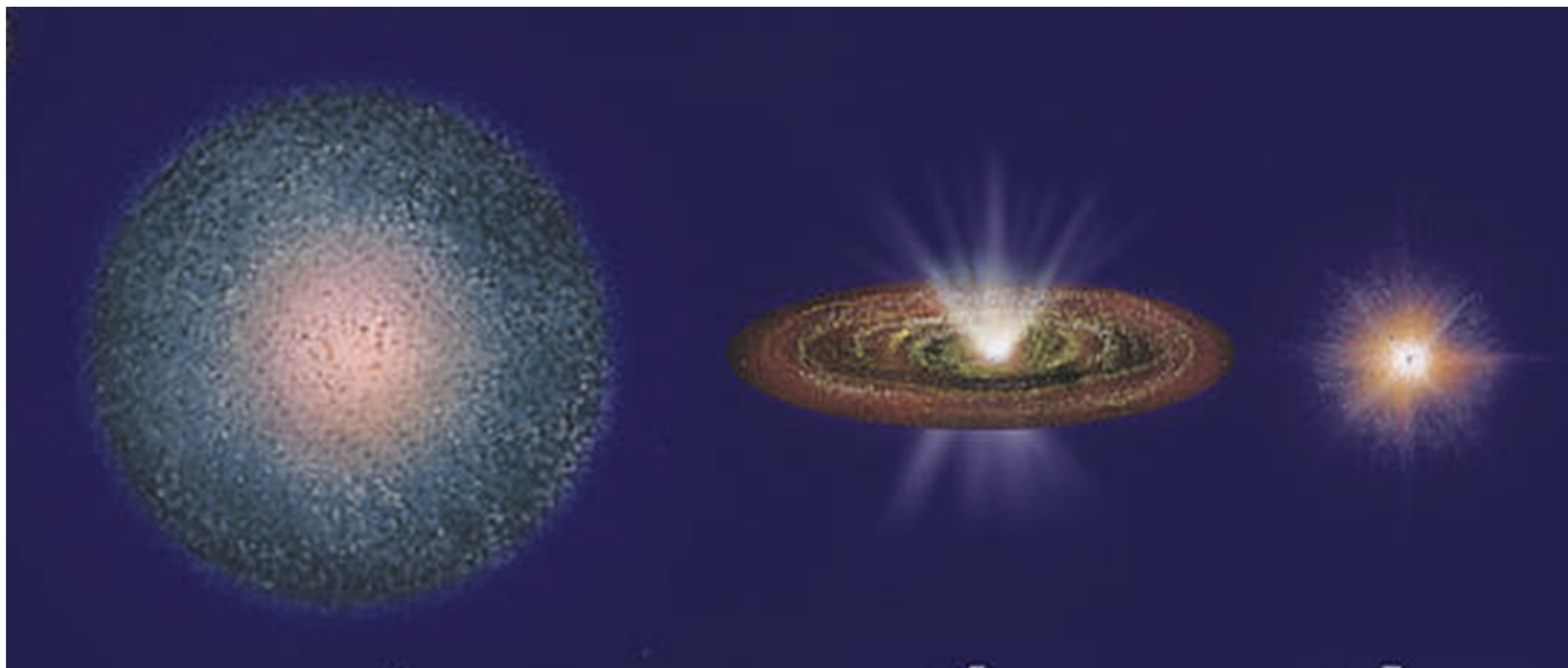
©NCSSM 2002

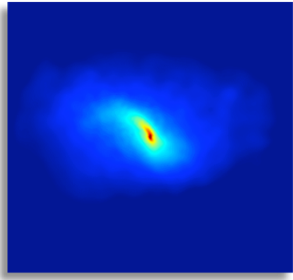
星が生まれるまで

分子ガス雲

原始星と星周円盤

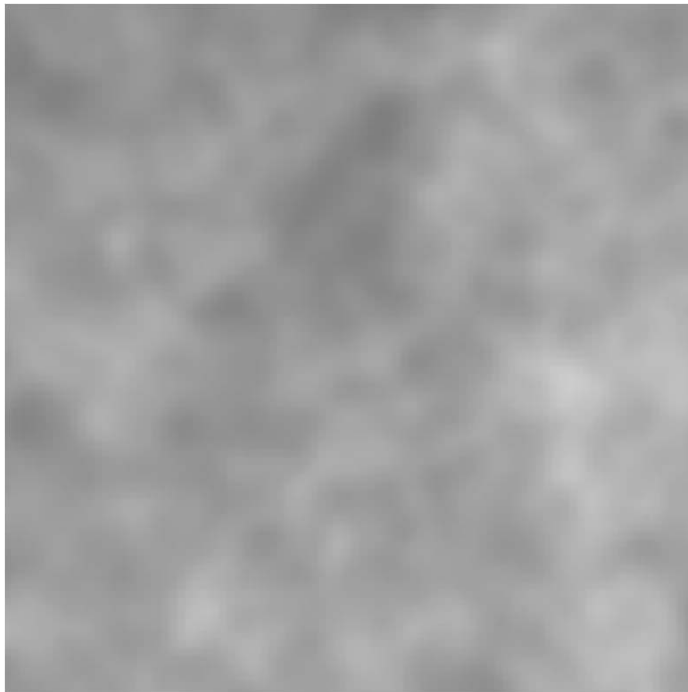
主系列星





最初の星の誕生

初期条件: インフレーション, わずかな密度揺らぎ
ダークマター + 水素ヘリウムガス + 弱い電磁波



始めの"むらむら"

必要な物理過程:
重力, 流体力学,
化学反応、光と物質の反応
これらは地上で確かめられた
基礎過程。

スーパーコンピュータで再現
してみよう！

どんな方程式を解いているのか

$$H^2(z)/H_0^2 = \Omega_m(1+z)^3 + (1-\Omega_m) e^{3 \int_0^z d \ln(1+z') [1+w(z')]}$$

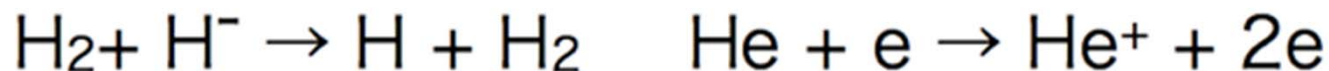
宇宙全体の膨張（空間の伸び）

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla_x f + \mathbf{F} \cdot \nabla_v f = 0$$

密度揺らぎ(ものの集まり具合の成長)

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + H \mathbf{u} + \frac{1}{a} (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{a} \nabla \phi$$

ガスの振る舞い(流体力学)



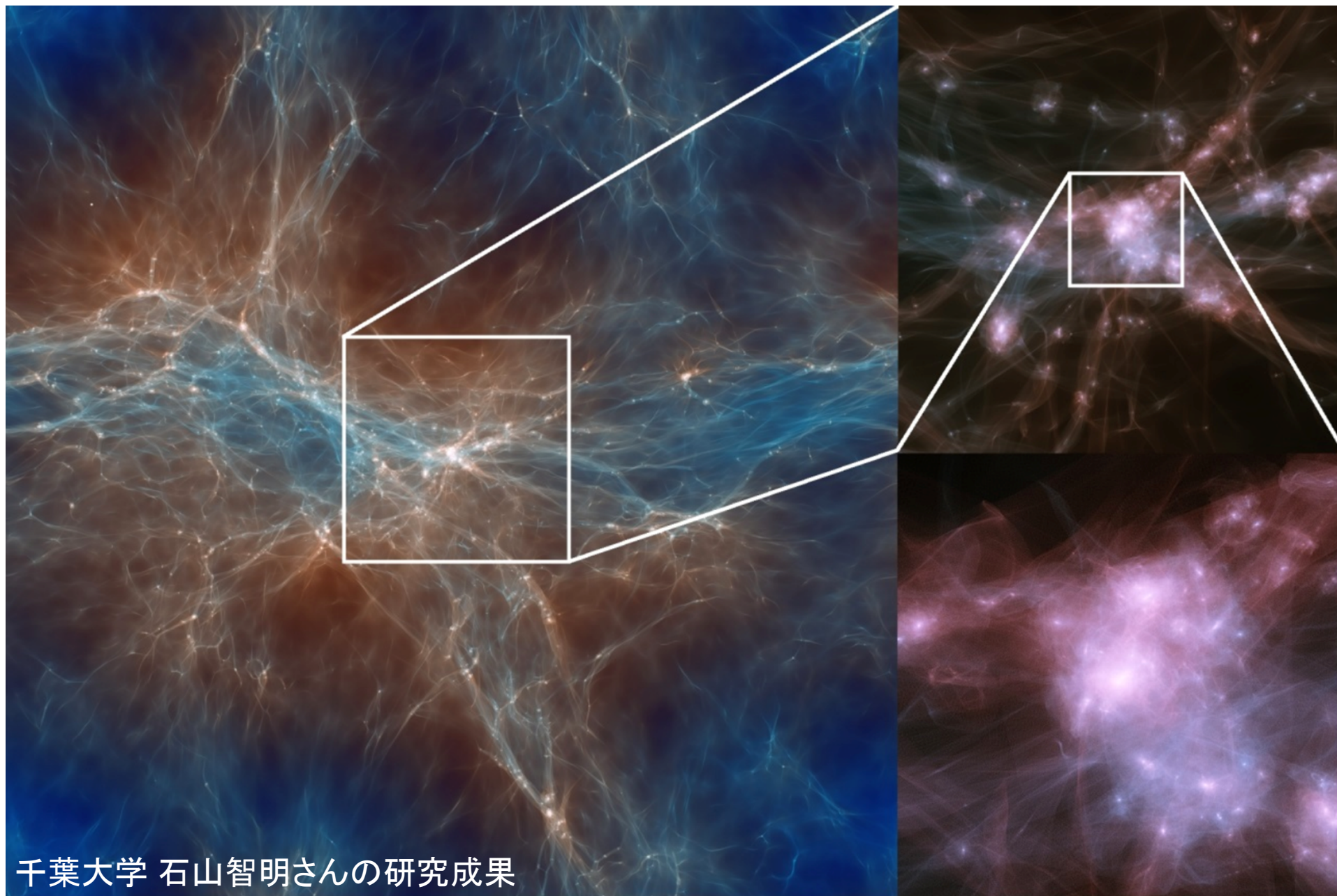
化学反応

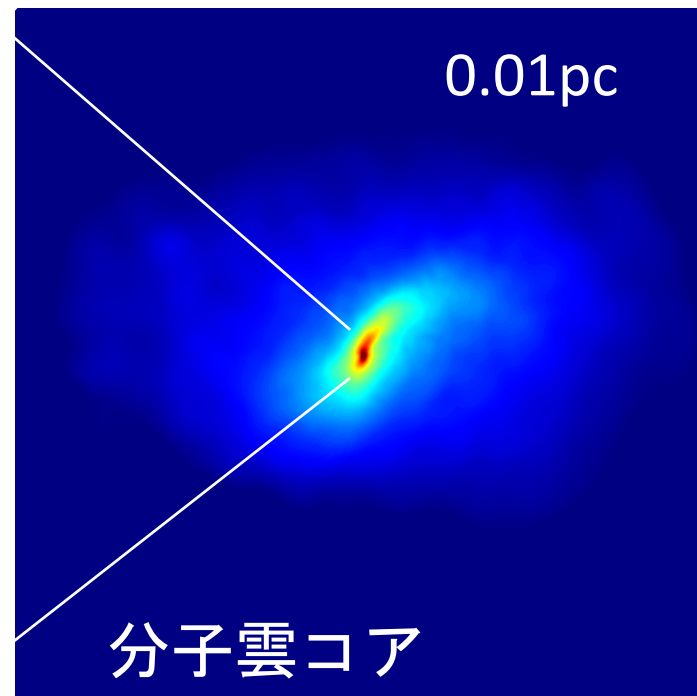
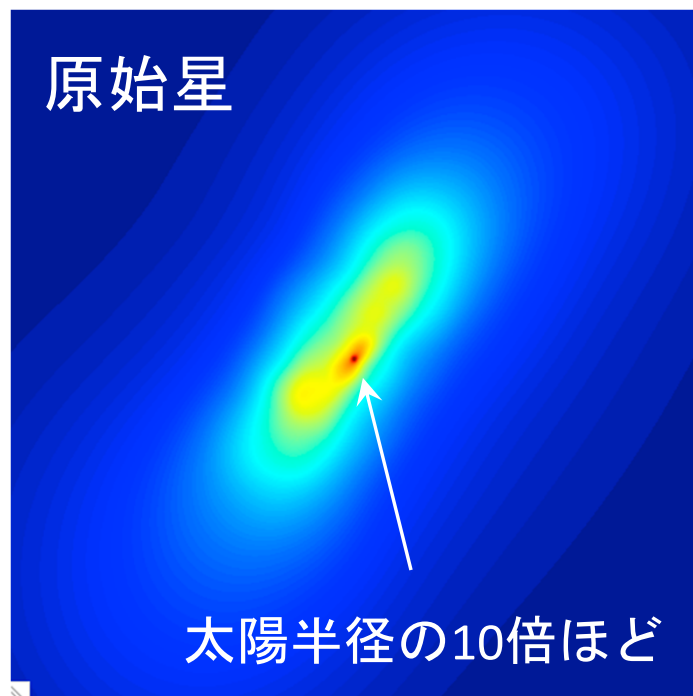
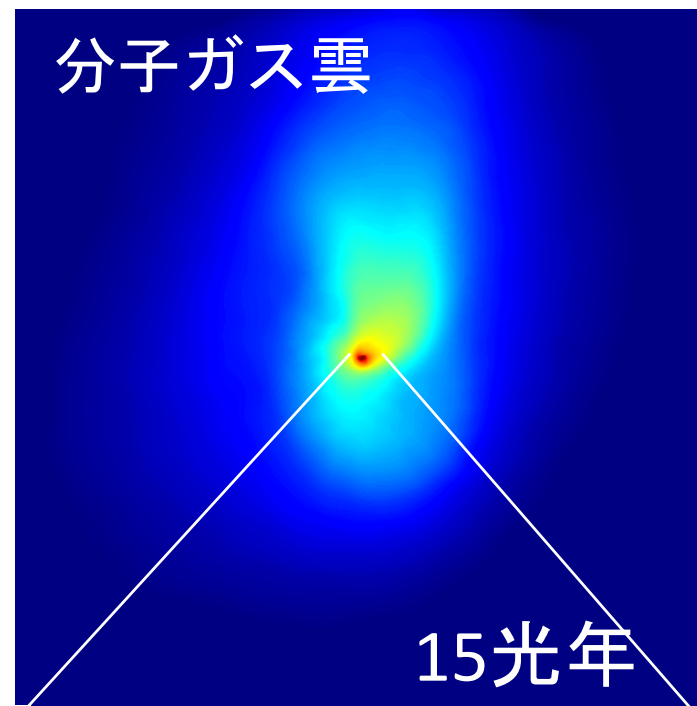
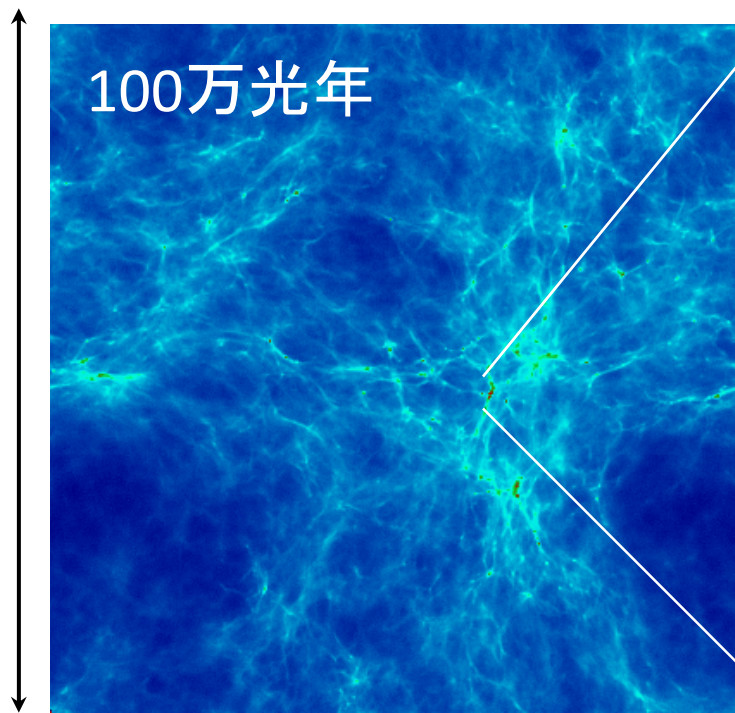
$$f_{\text{rad}}(\mathbf{n}) = \frac{X_{\text{HI}}}{m_p c} \int d\Omega \int_{\nu_L}^{\infty} d\nu I_\nu \sigma_\nu \cos \theta, \quad \frac{du}{dt} = -\frac{P}{\rho} \nabla \cdot \mathbf{v} - \frac{\Lambda(u, \rho)}{\rho}$$

輻射輸送

エネルギー方程式

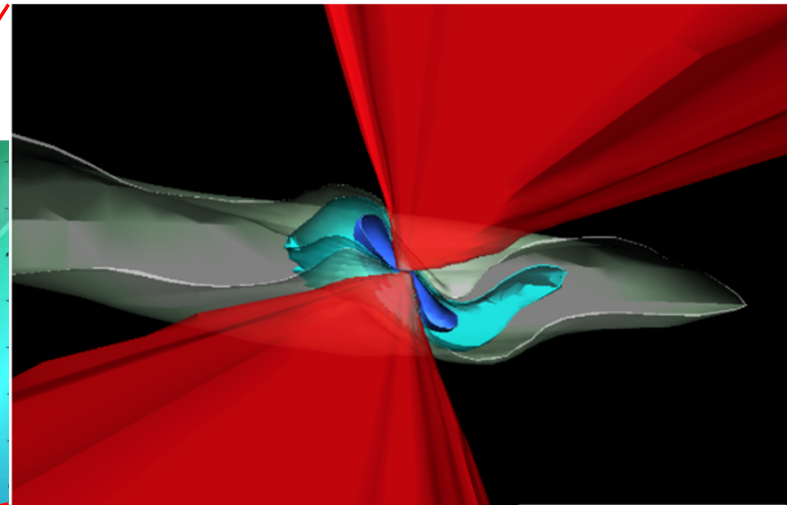
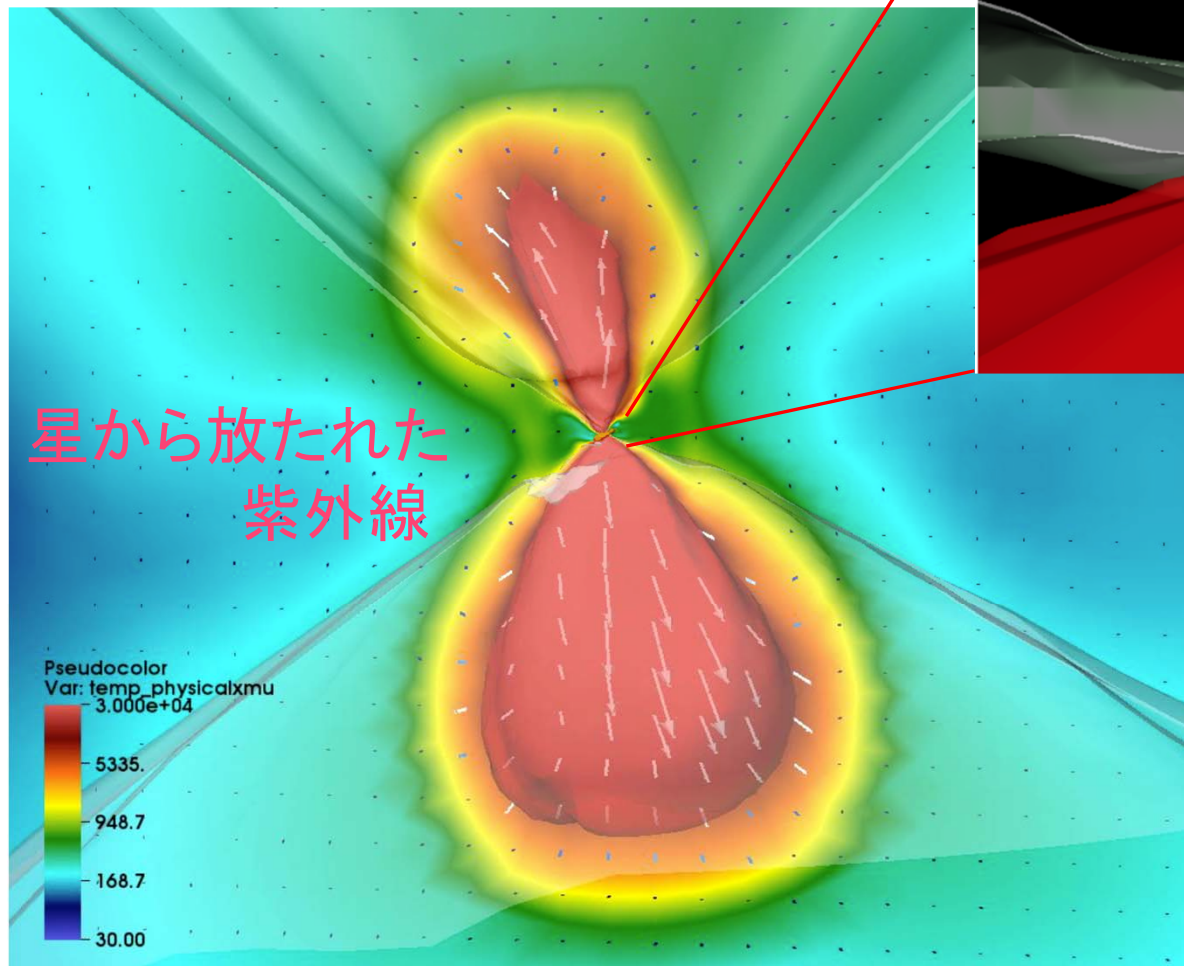
「京」コンピューターを使って再現した宇宙の物質分布





宇宙最初の星の誕生

京都大学 細川隆史さんによるシミュレーション

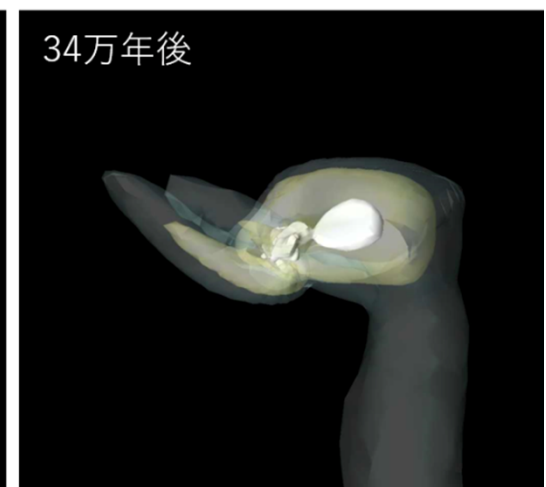
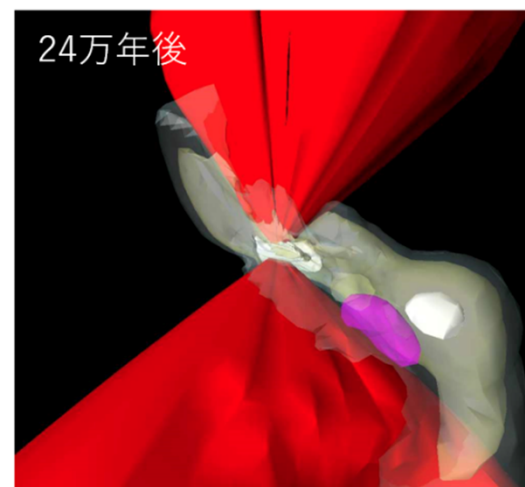
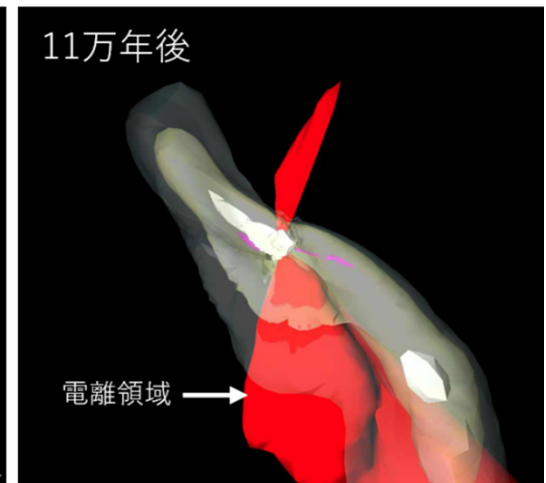
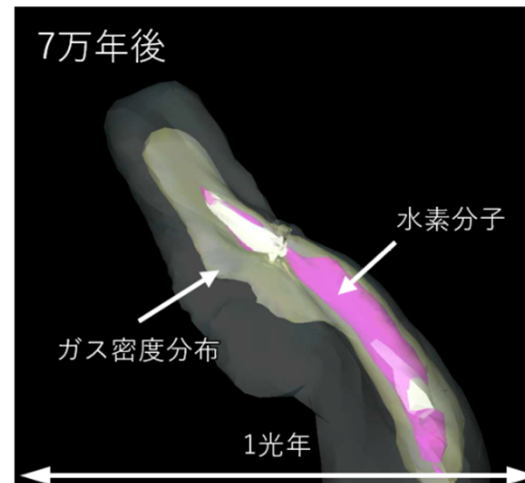


スーパーコンピュータ
シミュレーションで
宇宙最初の星の誕生
を再現

宇宙最初の星は太陽の
40倍以上にも成長する！

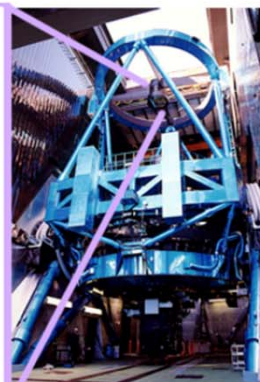
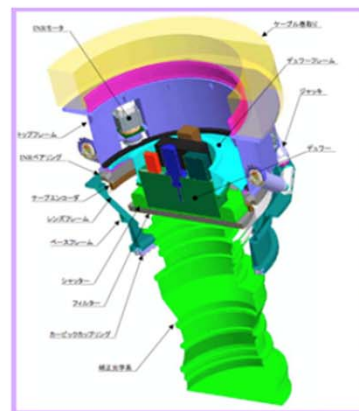
ビッグバン直後の「嵐」が巨大ブラックホールを生んだ

ガスが超音速で流れる



近未来の宇宙観測

JWST宇宙望遠鏡 2018-



2013-
すばる
新型カメラ
HSC



2022-
TMT
30m地上望遠鏡



2027-
SPICA
赤外線望遠鏡

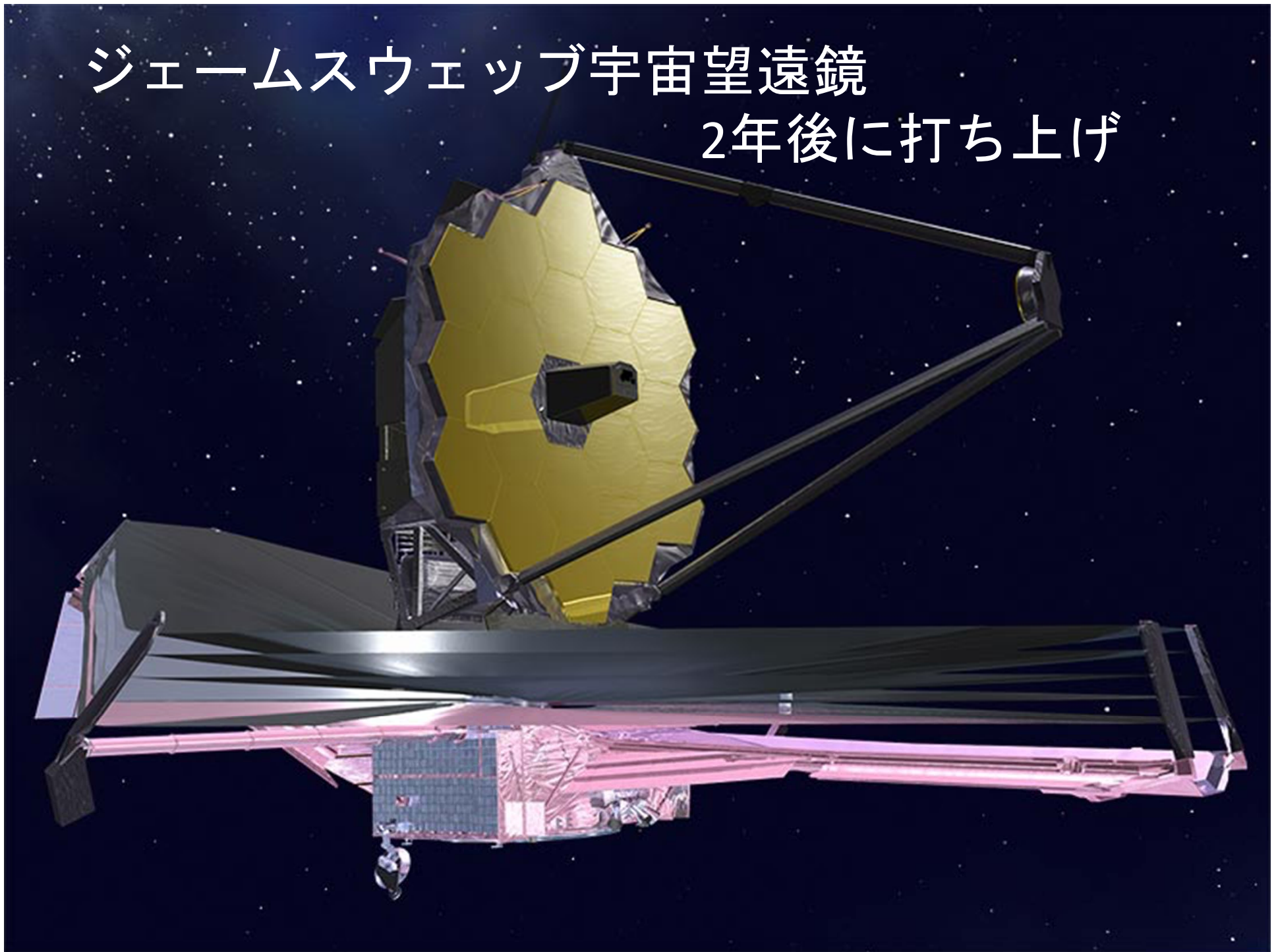


2017-
SKA
電波望遠鏡群

すべて「宇宙の夜明け」を主要なターゲットに！

ジェームスウェッブ宇宙望遠鏡

2年後に打ち上げ



まとめ

- 宇宙はその始まりの頃から急速に進化し、星やブラックホールが誕生した
- 様々な観測の結果を使って初期宇宙を再現
- スパコンで星の誕生が明らかに
- 2020年代には宇宙最遠の天体まで観測 できるようになる