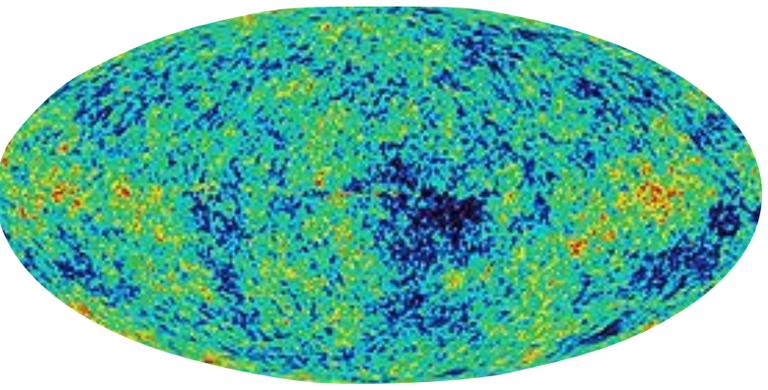
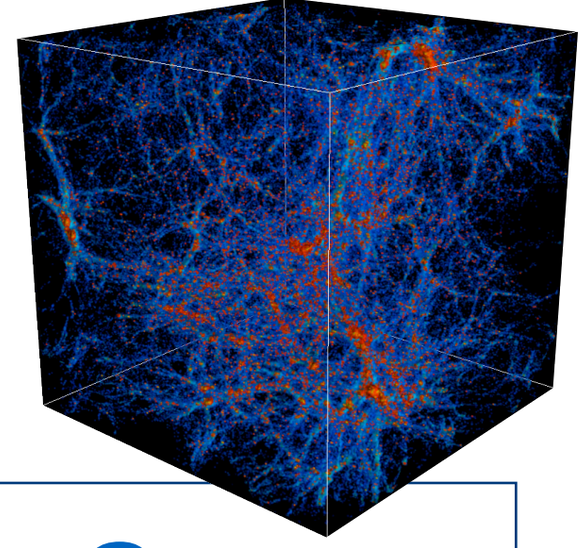
理学研究とクラウド利用のニーズ：理論宇宙物理学の例

長峯健太郎
大阪大学大学院 理学研究科
宇宙地球科学専攻

ILLUSTRIS



Contents



- 我々は宇宙をどこまで理解したのか？
- 私の研究内容：宇宙の構造形成
  - 銀河、巨大ブラックホールの進化
- 国際共同研究とクラウド利用のニーズ
- 天文学とBig Data Science

分野の概観

1900 ~ 1930

相対性理論

量子力学

1960以降

宇宙論
宇宙物理学

素粒子理論
(標準模型)

天文観測

素粒子実験

コンピューター
シミュレーション

暗黒物質
(ダークマター)

暗黒エネルギー
(ダークエネルギー)

原子・分子物理学

化学

生物学

地球惑星科学

生命の起源

Astro-biology

現在の宇宙論・宇宙物理学

ビッグバン膨張宇宙における構造形成の標準モデル

ダークエイジ
（暗黒の時代）

ダークエネルギー
による加速膨張

「晴れ上がり」
宇宙背景放射：ビッグバンから~38万年後

銀河や惑星の
生成と進化

インフレーション期

ビッグバン

量子ゆらぎ

WMAP

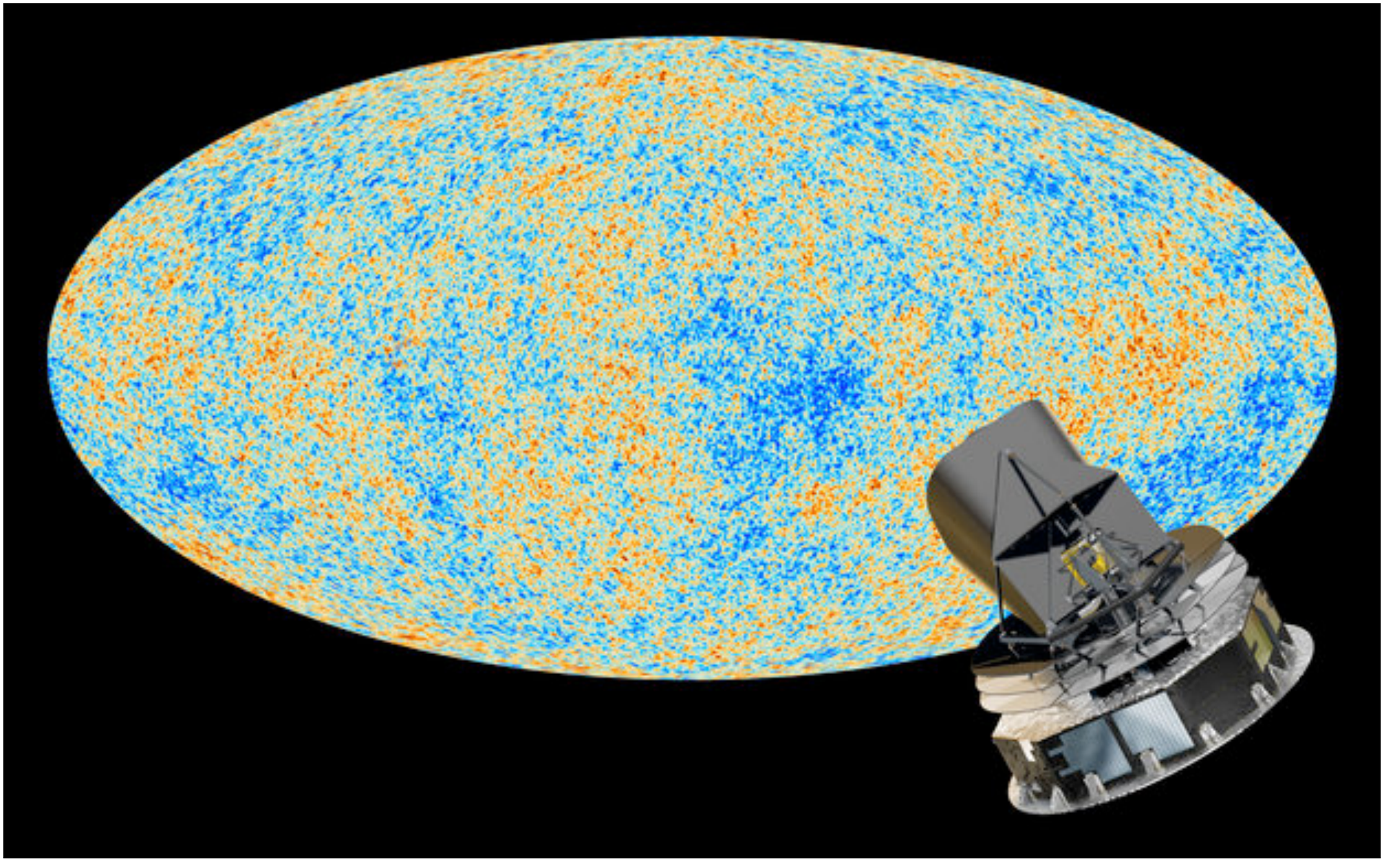
最初の星が数億年
後に生まれ始める

Big Bang Expansion

宇宙年齢～１３８億年

図：NASA、改変

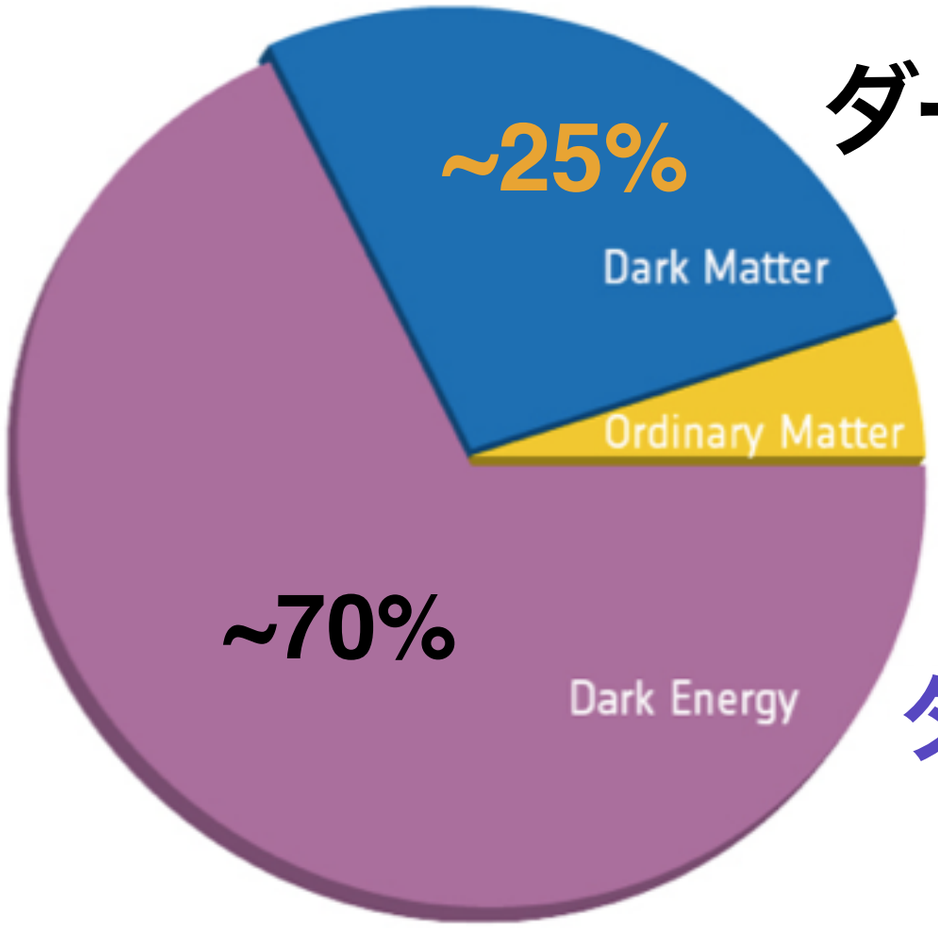
プランク衛星による宇宙背景放射の温度揺らぎの観測データ



ESA 2013年 3月

様々なデータを組み合わせた解析の結果：

- 宇宙の全エネルギーを100% とすると、
- ダークエネルギー(暗黒エネルギー） が ~70%,
  ダークマター(暗黒物質) が ~25%,
  普通の物質（ガス、星など）が ~5% だけ！

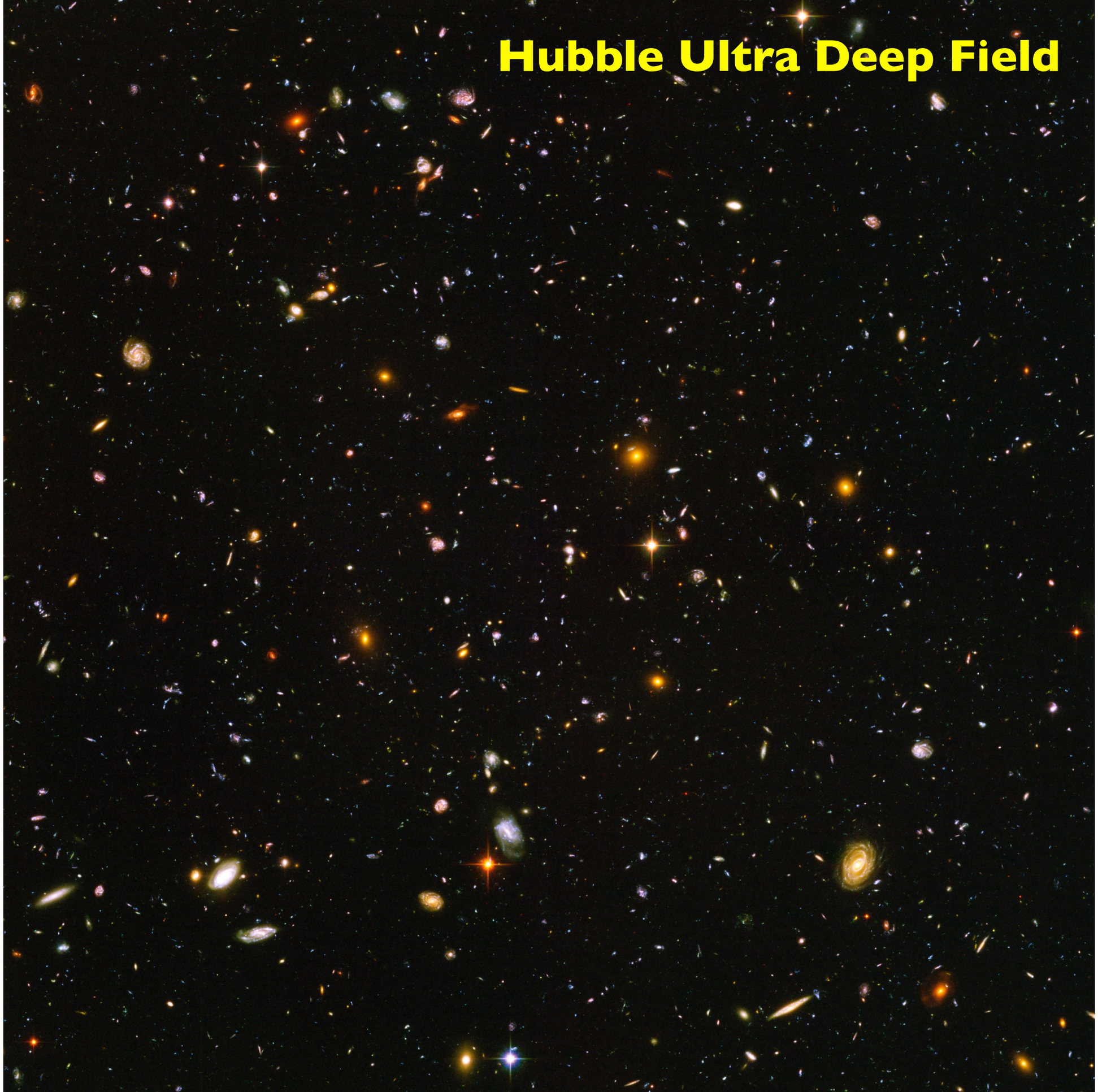


ダークマター

~5%（普通の物質）
バリオン

ダークエネルギー

図：NASA


Hubble Ultra Deep Field

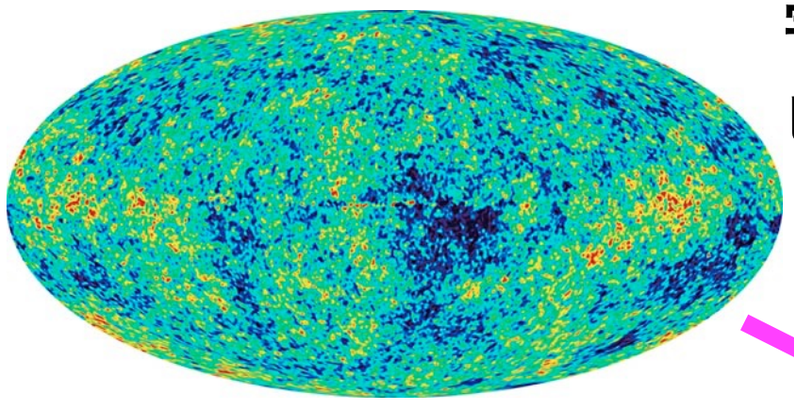
Hubble Ultra Deep Field

こういう銀河たちはどうやってできてきたのか？

Numerical Cosmology

(数値シミュレーション宇宙論)

なるべく第一原理から、整合性を持って宇宙論的に構造形成を理解する.

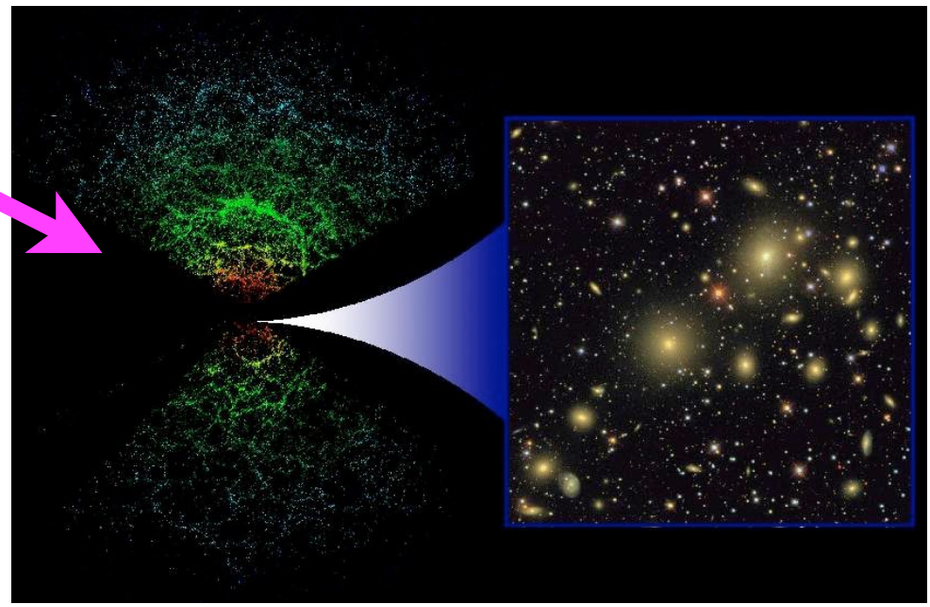


宇宙背景放射で観測された
ビッグバンから38万年後の初期宇宙

初期条件

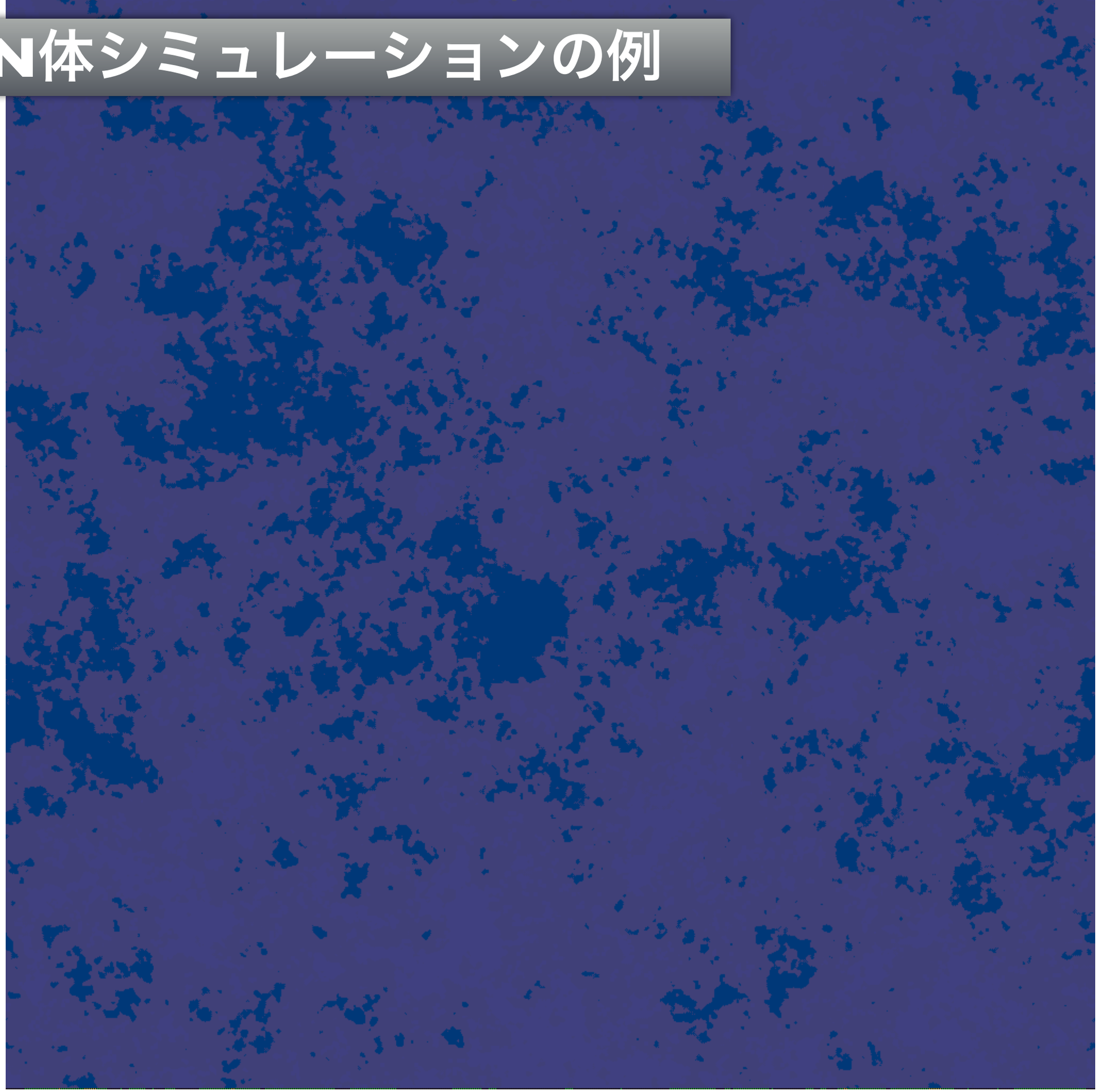
宇宙論パラメータ, ダークエネルギー,
ダークマター, バリオン(普通の物質),
重力＋流体力学

現在の非線形な構造を持つ宇宙



~138億年後

N体シミュレーションの例



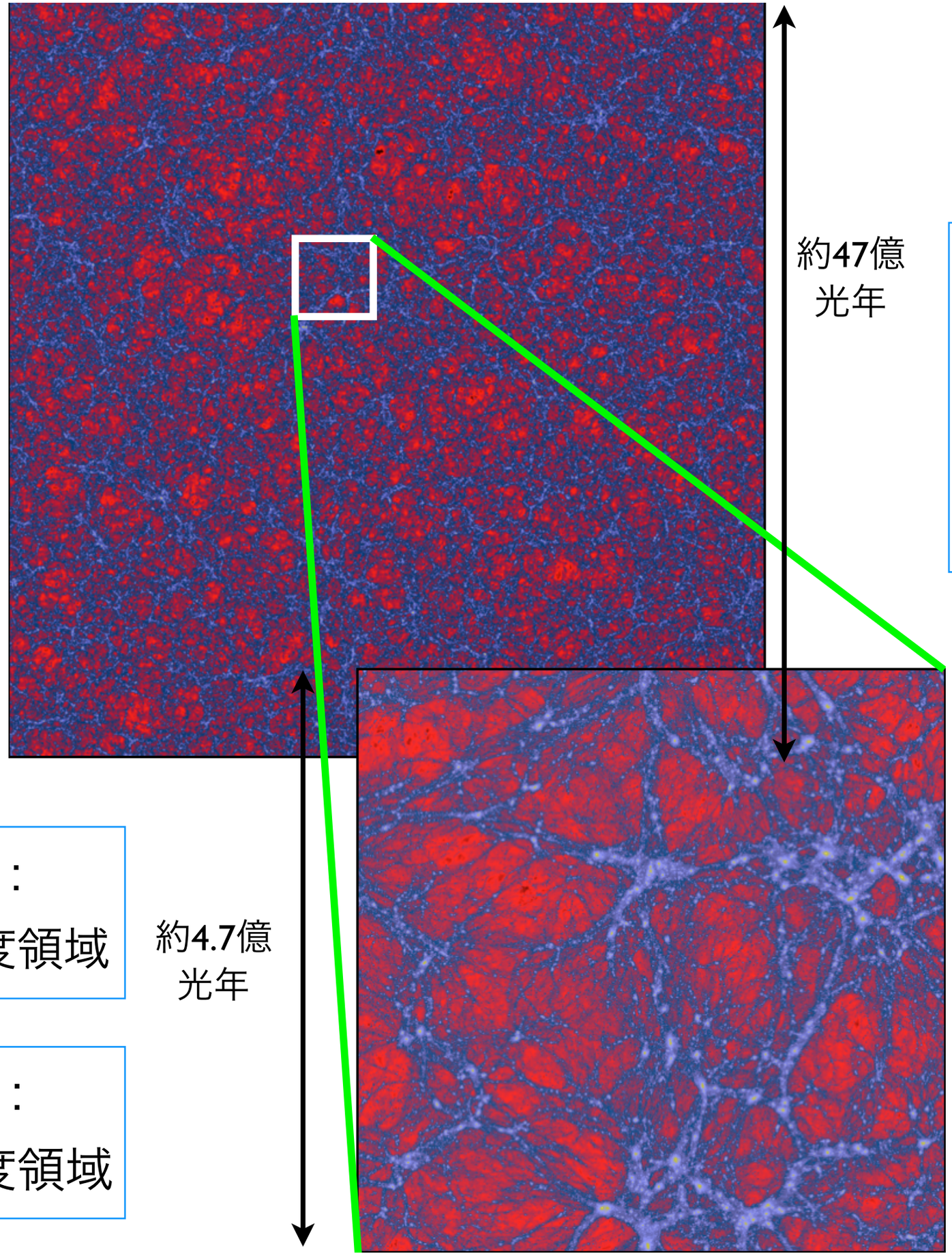
~5億光年

1.25億個

(500^3)

ダークマター

粒子



青：
高密度領域

赤：
低密度領域

宇宙は数十億光年よりも大きなスケールでは、次第に一様に近づいていく。

数億光年では, まだ非線形性が目立つ.

現在の宇宙における
ダークマターの密度分布

パリティ記事2014年11月号

Illustris Project

http://www.illustris-project.org/

Movie

ellipticals

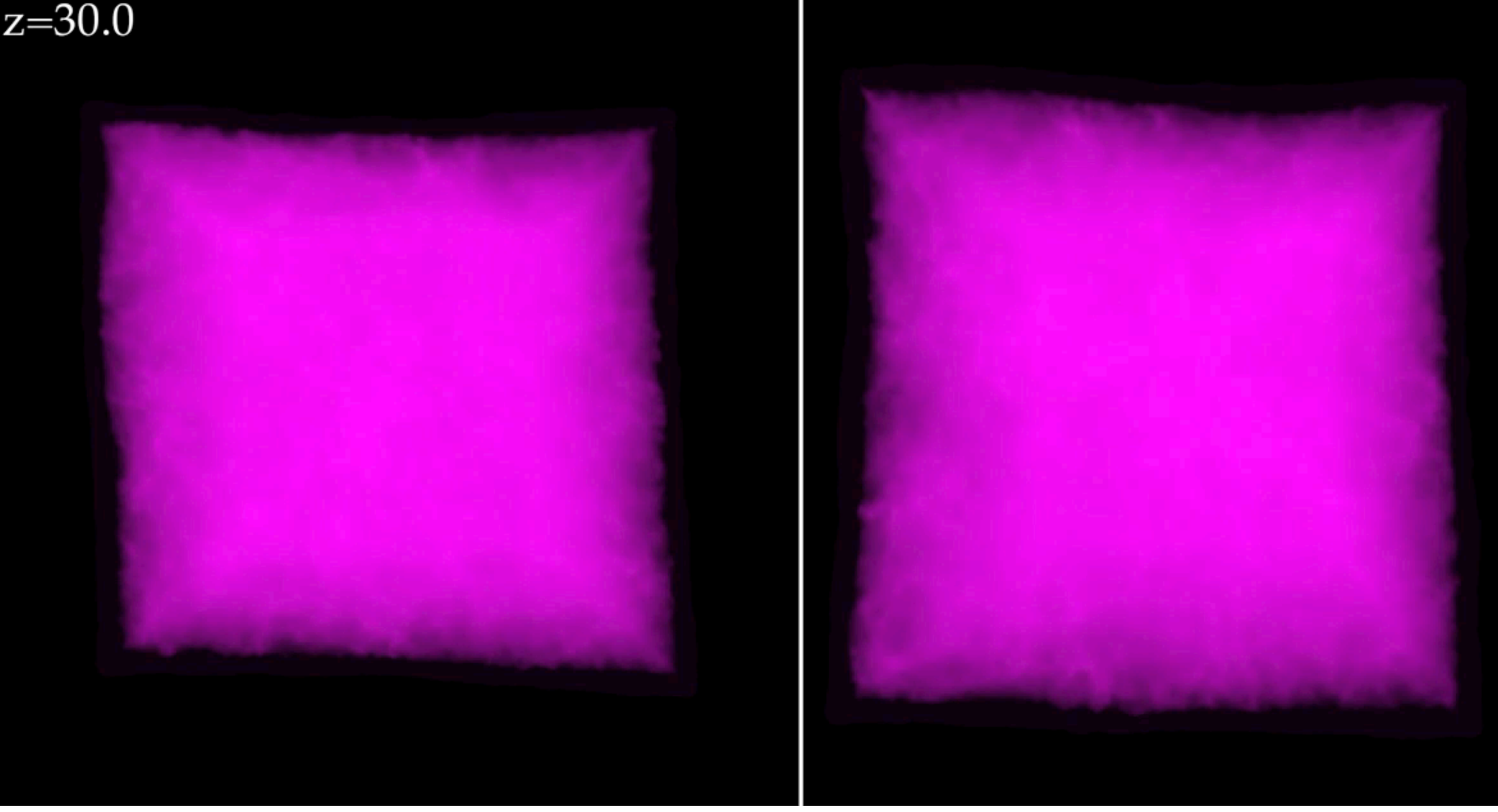
楕円銀河

disk galaxies

渦巻き銀河

不規則銀河

irregular



m12q FIRE simulation

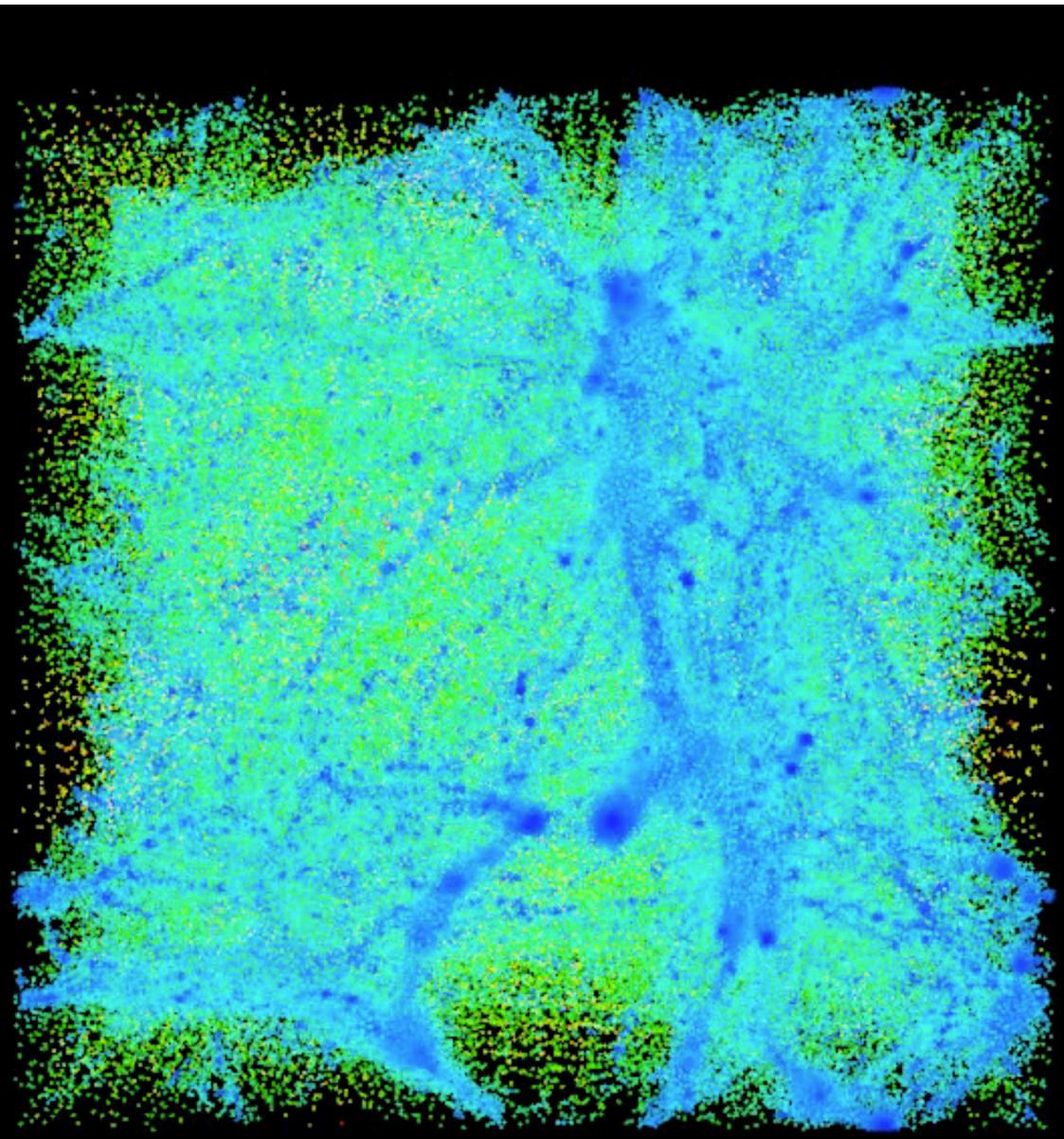
m_{dm}~2e5 M⊙/h

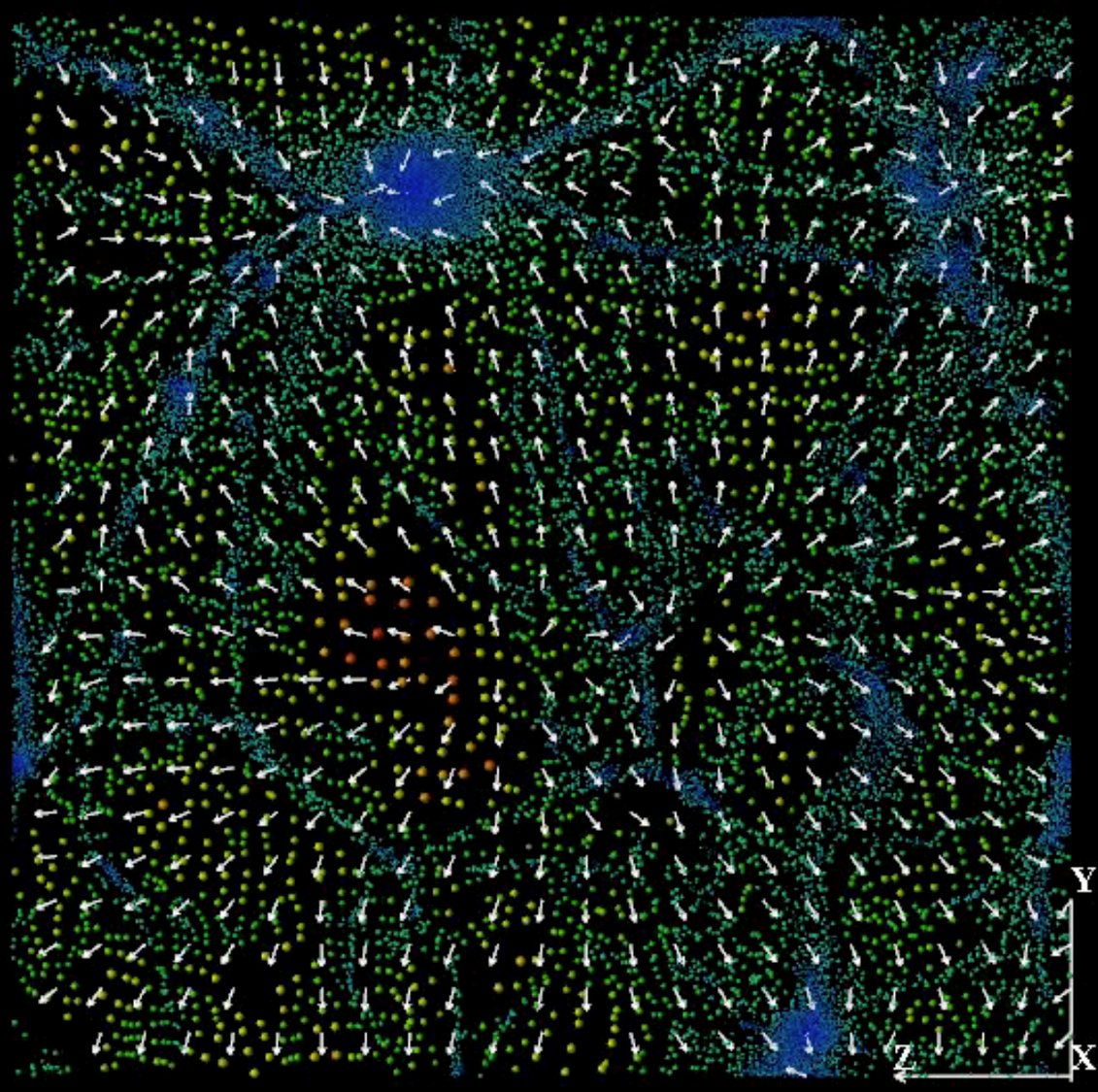
m_b=5e3 M⊙/h

ϵ_{dm}=100 pc/h

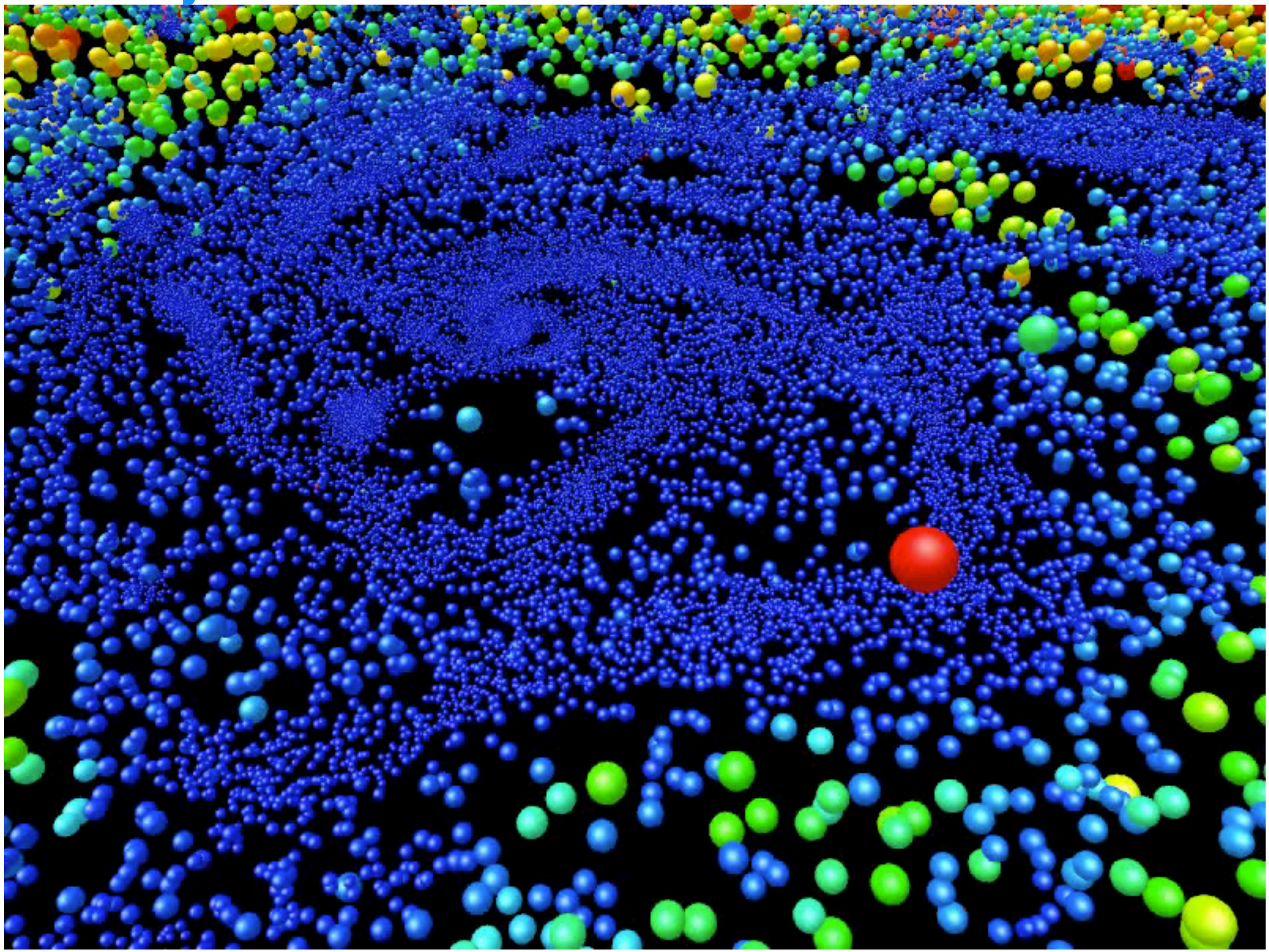
ϵ_b=7 pc/h

Cybermedia Center における可視化事例

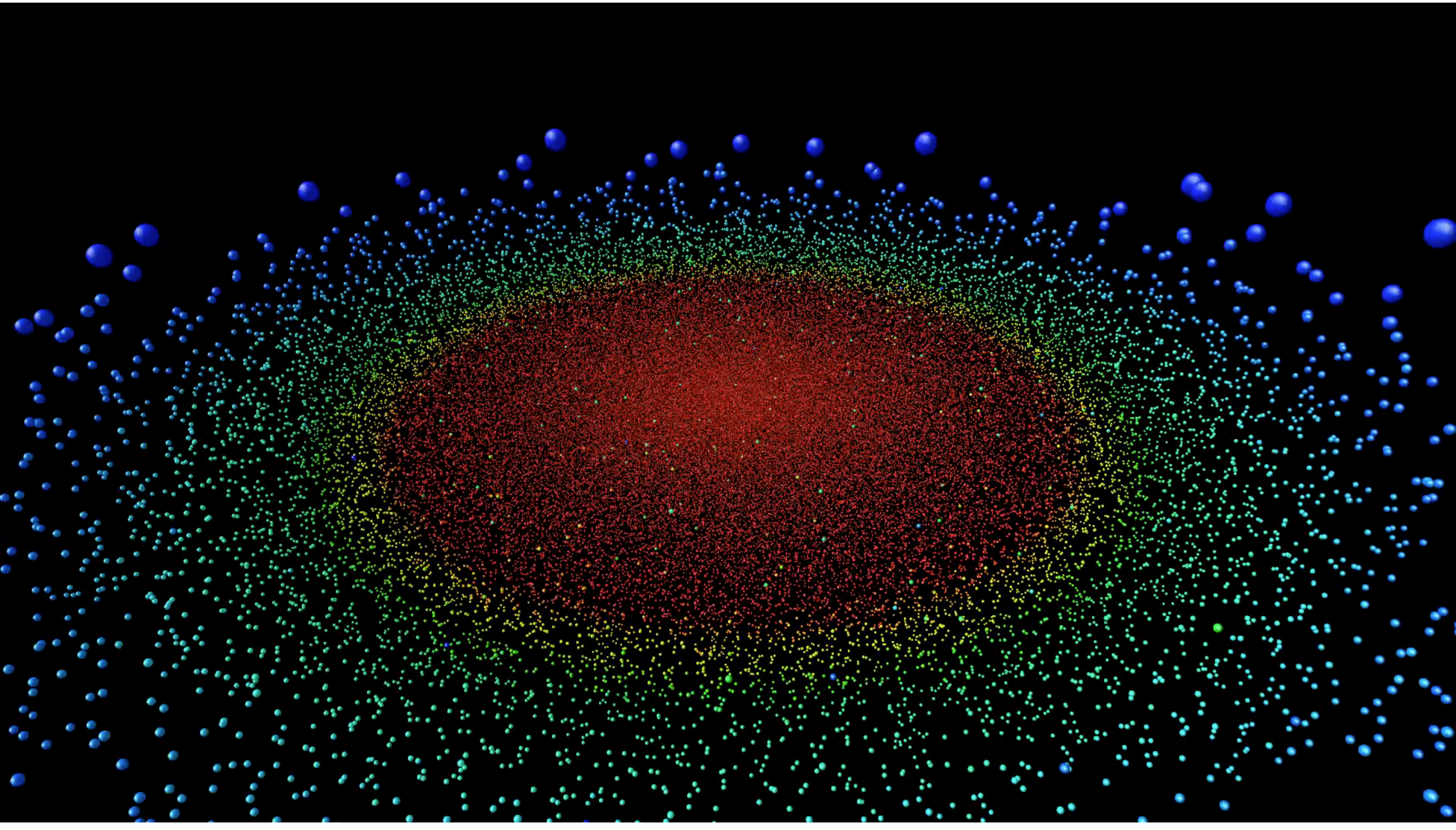




Cybermedia Center における可視化事例



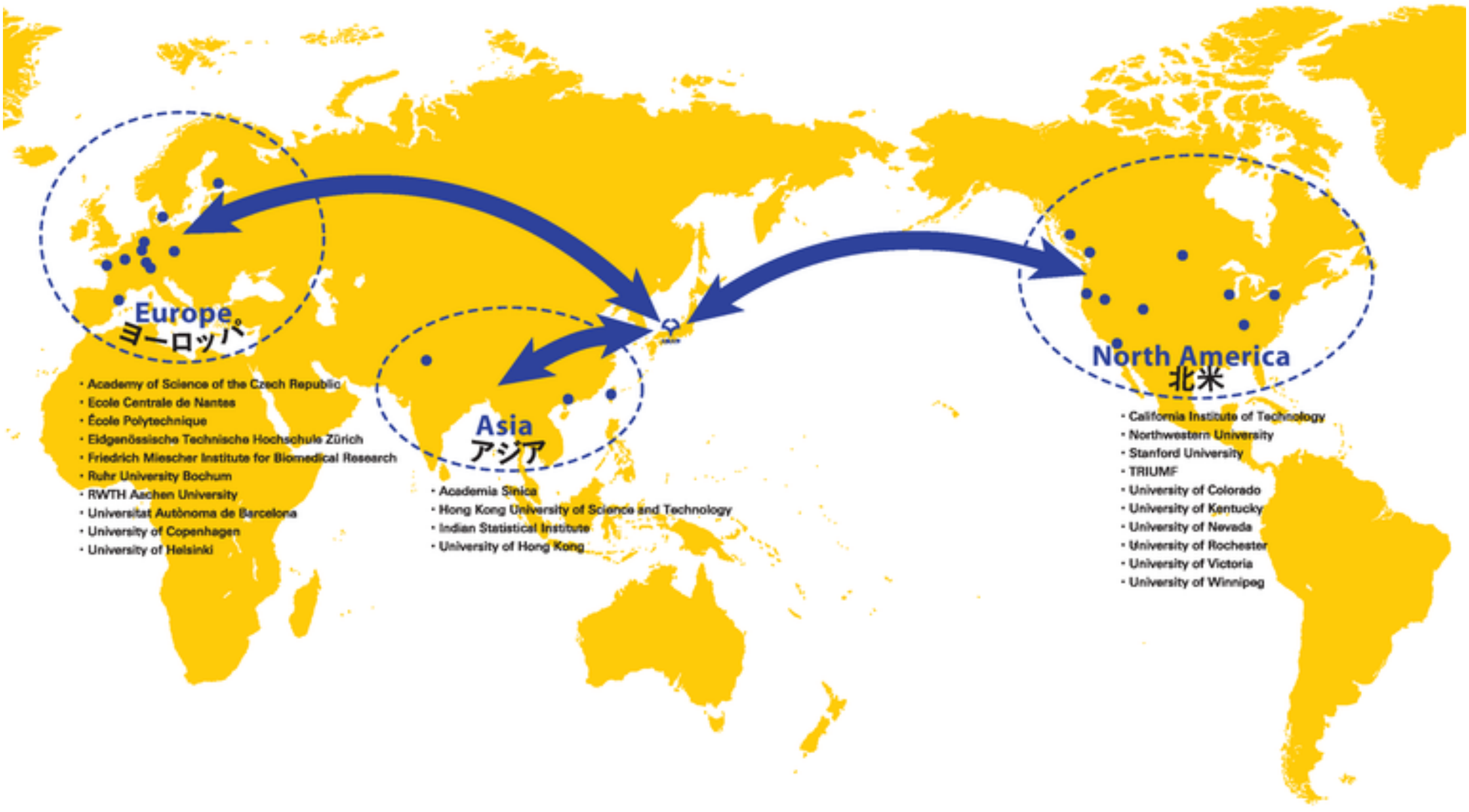
Cybermedia Center における可視化事例



阪大の国際共同研究促進プログラム

International Joint Research Promotion Program

2013~



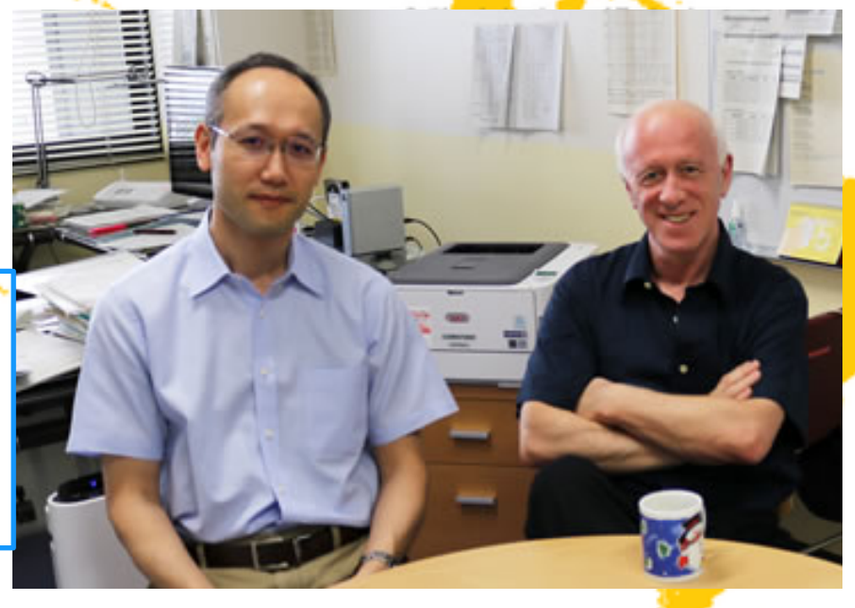
阪大の国際共同研究促進プログラム

International Joint Research Promotion Program

2013~



宇宙論的視点で追う
巨大ブラックホールの生成と進化



米国　ケンタッキー大　シュロスマン教授

BHの種を作る

5 kpc

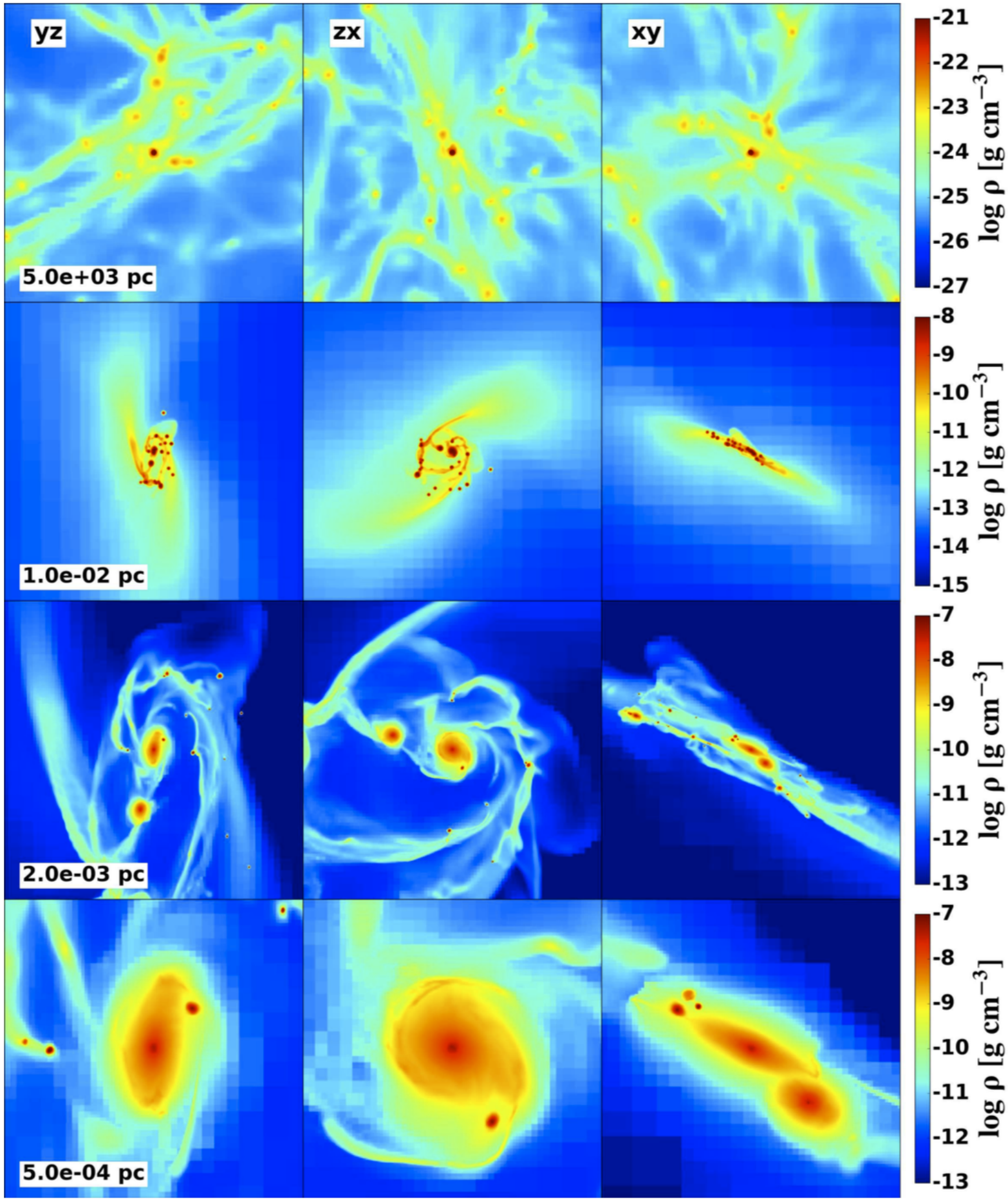
10^{-2} pc

2x10^{-3} pc

5x10^{-4} pc

1 snapshot
~400 GB

100 snapshot
~40 TB



阪大の国際共同研究促進プログラム

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

University of Kentucky

PI: 長峯

PI: シュロスマン教授

スカイプ会議

特任研究員
（ポスドク）

Local クラスタ

~500 core
~60 TB storage

国立天文台
CfCA

京大基研



阪大CMC

学生、ポスドク

~5000 core
1PB storage
140 TF

UK HPC cluster

阪大の国際共同研究促進プログラム

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY

University of Kentucky

PI: 長峯

PI: シュロスマン教授

スカイプ会議

特任研究員

（ポスドク）

Local クラスタ

~500 core

~60 TB storage

学生、ポスドク

国立天文台

CfCA

京大基研



阪大CMC

~5000 core

1PB storage

140 TF

UK HPC cluster

阪大の国際共同研究促進プログラム

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

University of Kentucky

PI: 長峯

PI: シュロスマン教授

スカイプ会議

Local クラスタ

~500 core
~60 TB storage

特任研究員
（ポスドク）

移動

特任研究員

学生、ポスドク

国立天文台
CfCA

京大基研

移動



阪大CMC

中国
特任研究員

~5000 core
1PB storage
140 TF

UK HPC cluster

阪大の国際共同研究促進プログラム

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY ⟷ University of Kentucky

Local クラスタ

~500 core

~60 TB storage

Cloud

~5000 core

1PB storage

140 TF

UK HPC cluster

国立天文台

京大基研



阪大CMC

中国
特任研究員

阪大の国際共同研究促進プログラム

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY ⟷ University of Kentucky

Local クラスタ

~500 core

~60 TB storage

G-drive

~5000 core

1PB storage

140 TF

UK HPC cluster

全学的なクラウド利用

国立天文台

京大基研



阪大CMC

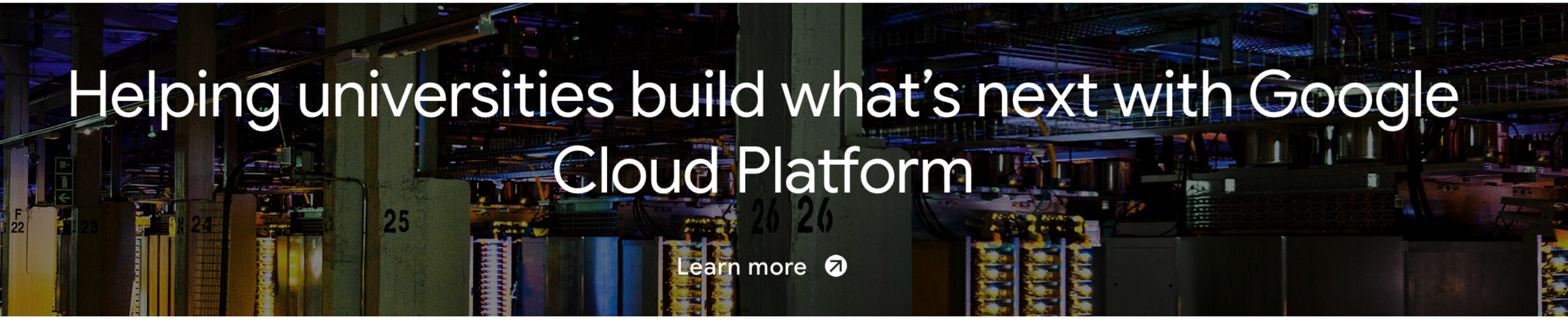
UC Santa Cruz, …

カリフォルニア大

中国

特任研究員

Google for Higher Education

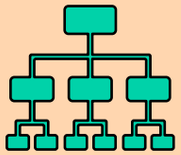




阪大の国際共同研究促進プログラム

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY ⟷ University of Kentucky

Local クラスタ



~500 core

~60 TB storage

実現できないのか？

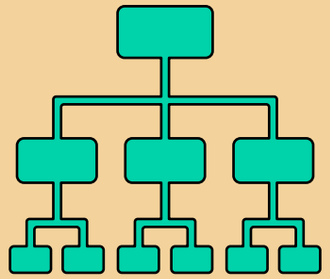
国立天文台

京大基研



阪大CMC

Cloud



~5000 core

1PB storage

140 TF

UK HPC cluster

中国
特任研究員

他研究者
テキサス(TACC)、ドイツ, ...

天文学はBig Data Science!



https://www.darkenergysurvey.org/

密接な協力関係

http://www.ncsa.illinois.edu/

NCSA

NATIONAL CENTER FOR SUPERCOMPUTING APPLICATIONS

UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN

天文学はBig Data Science!

2023~

テキサス大

HETDEX
Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment

http://hetdex.org/



TACC

Texas Advanced Computing Center

LSST
Large Synoptic Survey Telescope
Opening a Window of Discovery on the Dynamic Universe

https://www.lsst.org/

Chile

20TB per night,
60PB over 10 yrs

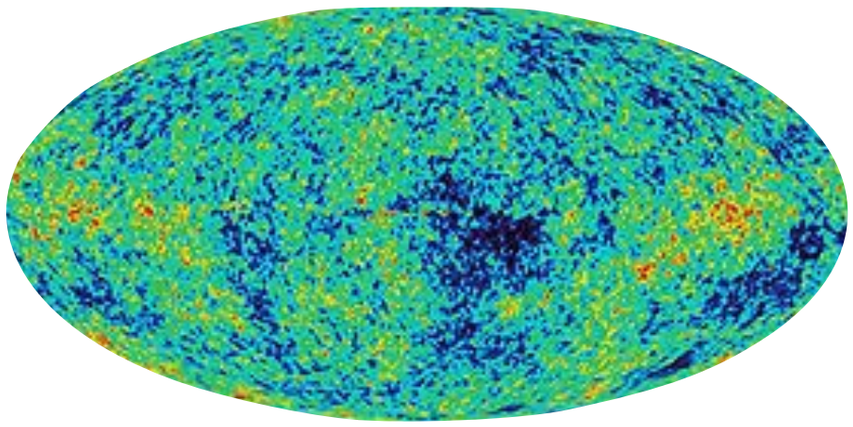
80 Gb/s data transfer challenge

イリノイ

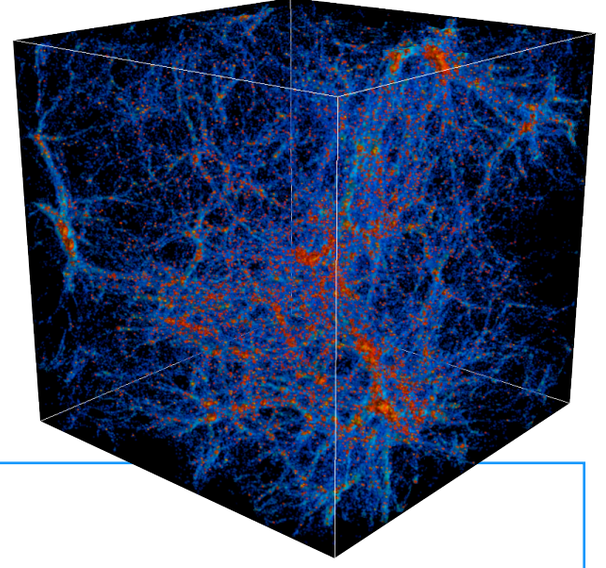
NCSA

total data volume ~500PB,
using 150TF by 1st DR

https://www.lsst.org/about/dm



まとめ



- スパコンを利用した宇宙の構造形成の研究の進展
  — ダークマターとダークエネルギーに支配された宇宙

- 理学研究におけるクラウド利用のニーズは十分にある

- 天文学（理論・観測）は間違いなくBig Data Science!