

新世代融合型並列計算機と 宇宙輻射流体力学

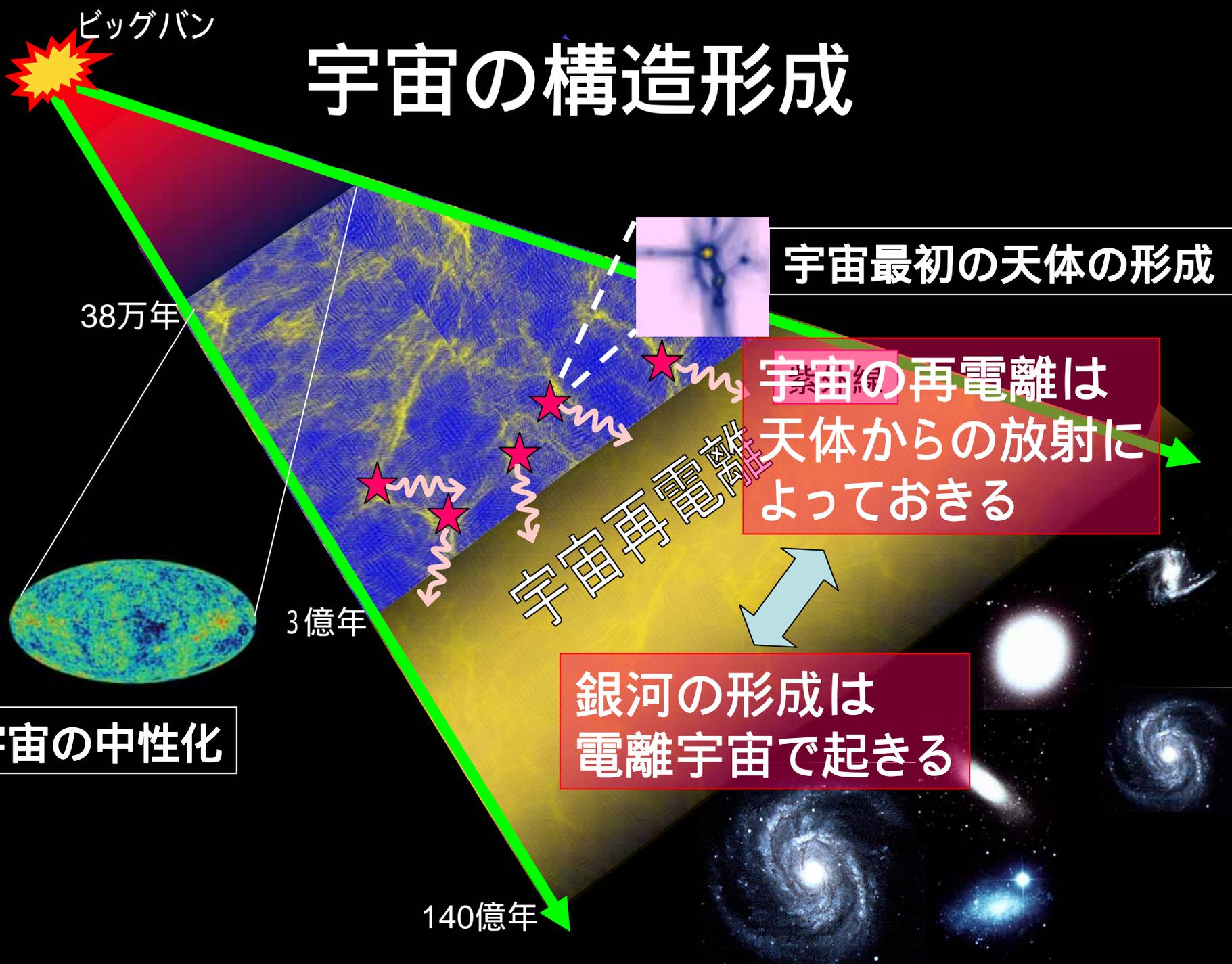
須佐 元 (立教大学)

於 筑波工ポカル 2006.4.5

Contents

- 宇宙初期の銀河形成
- 融合型計算機によるこれまでの試み
- FIRSTプロジェクト
- まとめ

宇宙の構造形成



ビッグバン

38万年

3億年

140億年

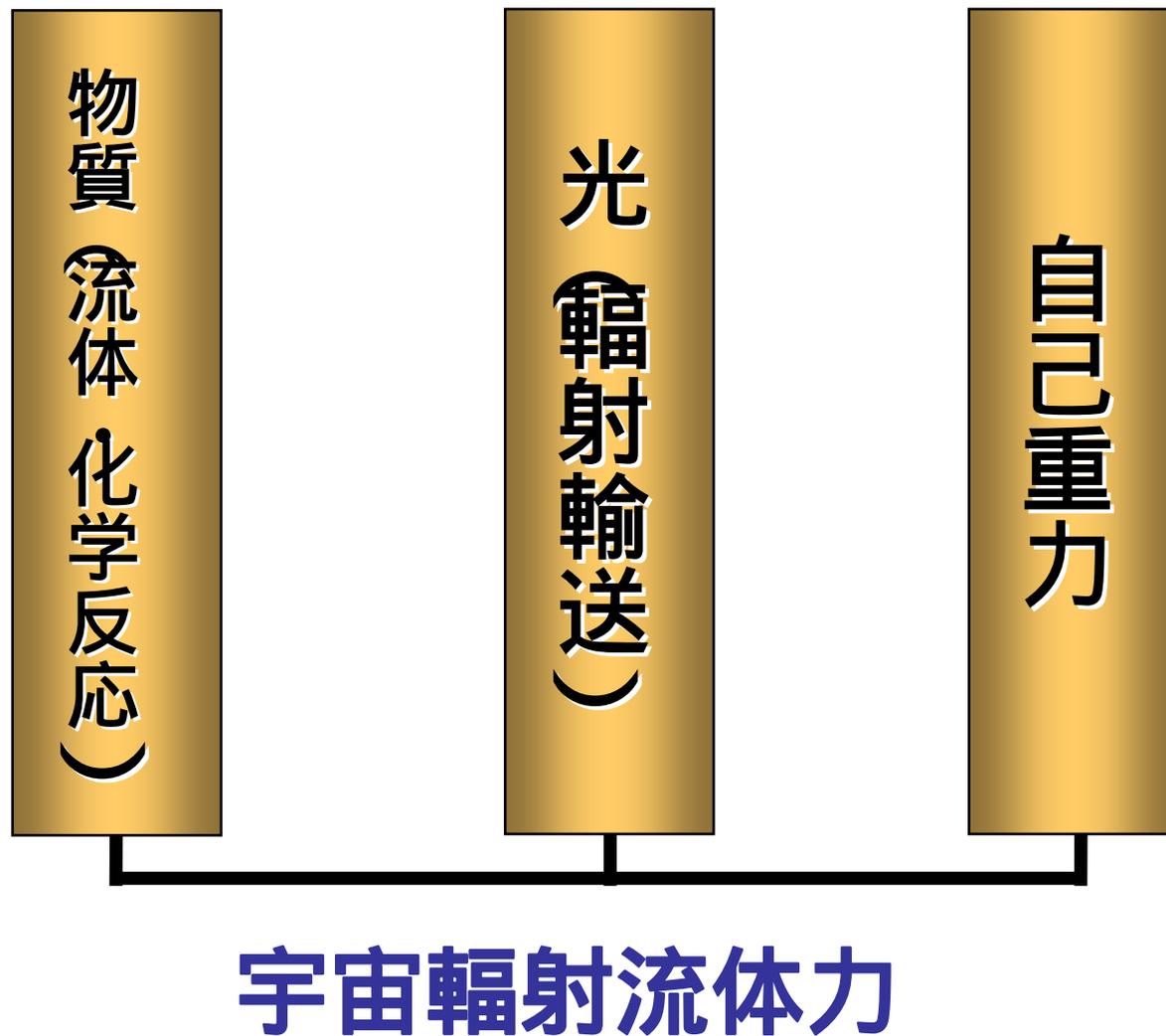
宇宙最初の天体の形成

宇宙の再電離は天体からの放射によっておきる

銀河の形成は電離宇宙で起きる

宇宙の中性化

第一世代銀河形成に必要な3つの要素



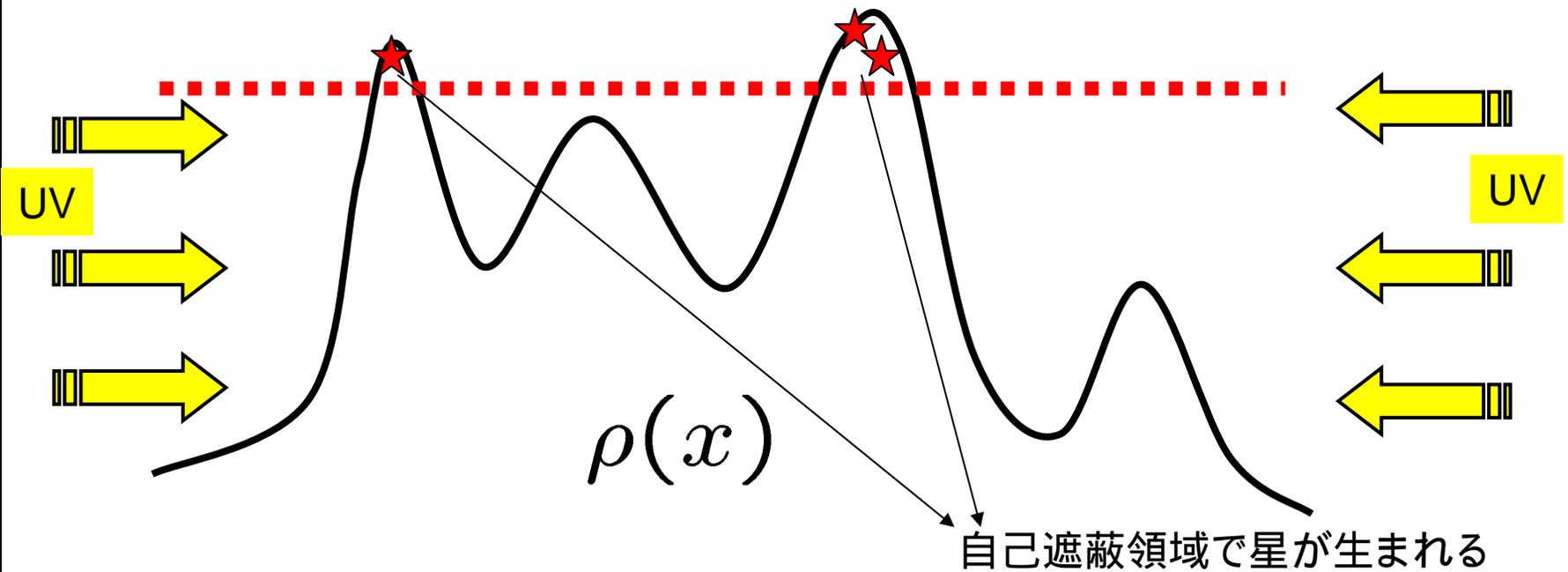
輻射輸送の重要性

放射

吸収

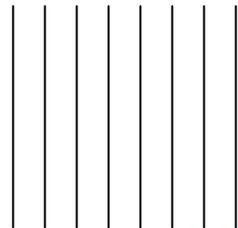
$$n \lambda \mu / = h - c /$$

紫外線による電離加熱がどこまで浸透できるのか？



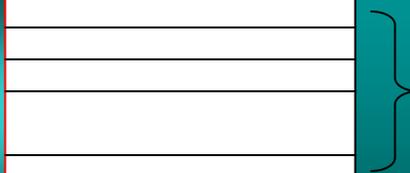
Heterogeneous Multi Computer System

GRAPE6
8boards~8Tflops



PCI bus
~200MB/s
× 8

PC Cluster
(8 × P4)



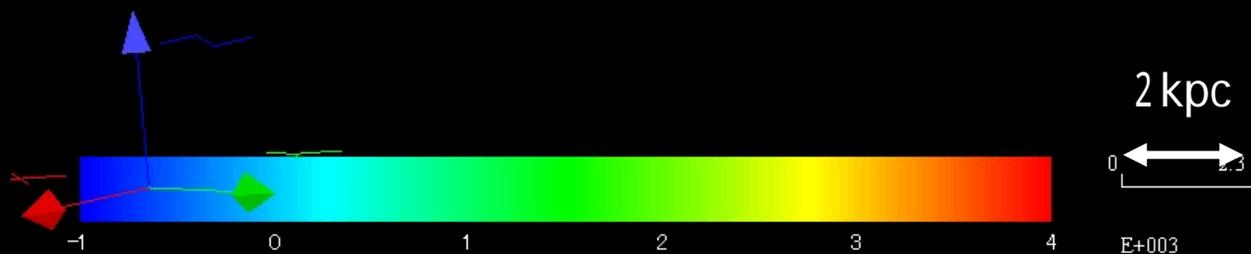
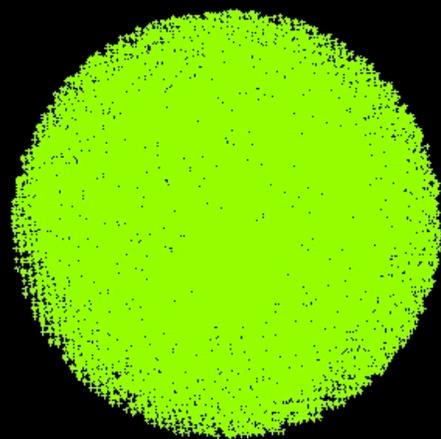
16 parallel
40MB/s
(peak)

CP PACS
2048PU~600Gflops (peak)
Internal Communication
1:1 280MB/s



密度揺らぎからの矮小銀河の形成

$6.095E+01$



FIRSTプロジェクト

文部科学省 科学研究費補助金 特別推進研究

「融合型並列計算機による宇宙第一世代天体の起源の解明」

平成16年度～平成19年度 予算総額 約3.2億円

理学(宇宙物理分野)

梅村 雅之 (計算科学研究センター
・数理物質科学) <代表者>

中本 泰史 (計算科学研究センター
・数理物質科学)

平下 博之 (計算科学研究センター
・数理物質科学)

須佐 元 (立教大学・理学部)

森 正夫 (専修大学・法学部)

< 研究員 >

加藤 成晃 (計算科学研究センター)

佐藤 潤一 (計算科学研究センター)

諏訪 多聞 (計算科学研究センター)

工学(計算機工学)

佐藤 三久 (計算科学研究センター
・システム情報工学)

朴 泰祐 (計算科学研究センター
・システム情報工学)

高橋 大介 (計算科学研究センター
・システム情報工学)

理学・工学の研究者の緊密な協力体制

FIRST2005年度

2 ~ 15号機



FIRST 240 ノード

1号機

240 (16 × 15) ノード

480 CPU +

16 Blade-GRape

48 Blade-GRape X64

演算性能:

汎用機(クラスタ) 2.9 Tflops

(1秒間2.9兆回の演算)

専用機(Blade-GRape) 8.7 Tflops

(1秒間8.7兆回の演算)

主記憶 480GB

日本ヒューレット・パッカー
(株)
ビジネスサーチテクノロジー
(株)

Blade-GRAPE

クラスタサーバ埋め込み型重力計算専用機

(新規開発)

2Uサーバ用 PCI-Xバス・フルスロット(2つ分)

10層基板 (cf. GRAPE-6A 8層基板)

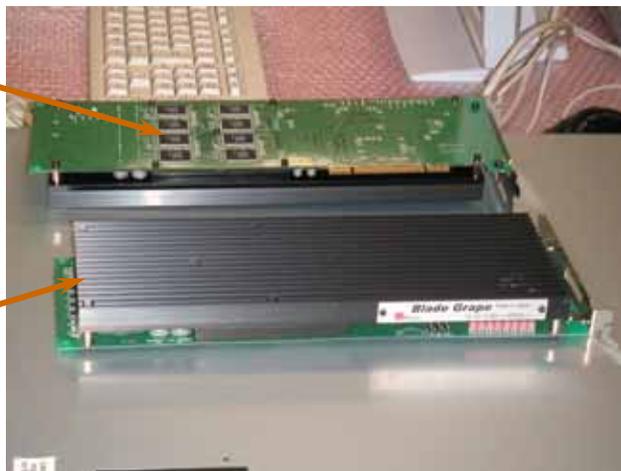
GRAPE6チップ × 4 (136.8 Gflops , 91.1 Gflops(重力))

電力 ~ 50W

重力計算用メモリ16MB (26万粒子)

GRAPE6チップ
× 4

ヒートシンク
(アルミ+黒色
アルマイト処理)



2Uサーバへの実装

技術協力: 浜松メトリックス(株)
商品化: Grape-BL4

Blade-GRAPE X64

(新規開発)

Blade-GRAPE の64ビット PCI-X 化

33MHz 133MHz



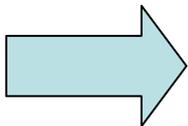
技術協力：浜松メトリックス(株)

K&F Computing Research (株)

FIRSTでより現実に近い取り扱いへ

星形成をある程度正しく取り扱うために、
超分解能の計算を行う。

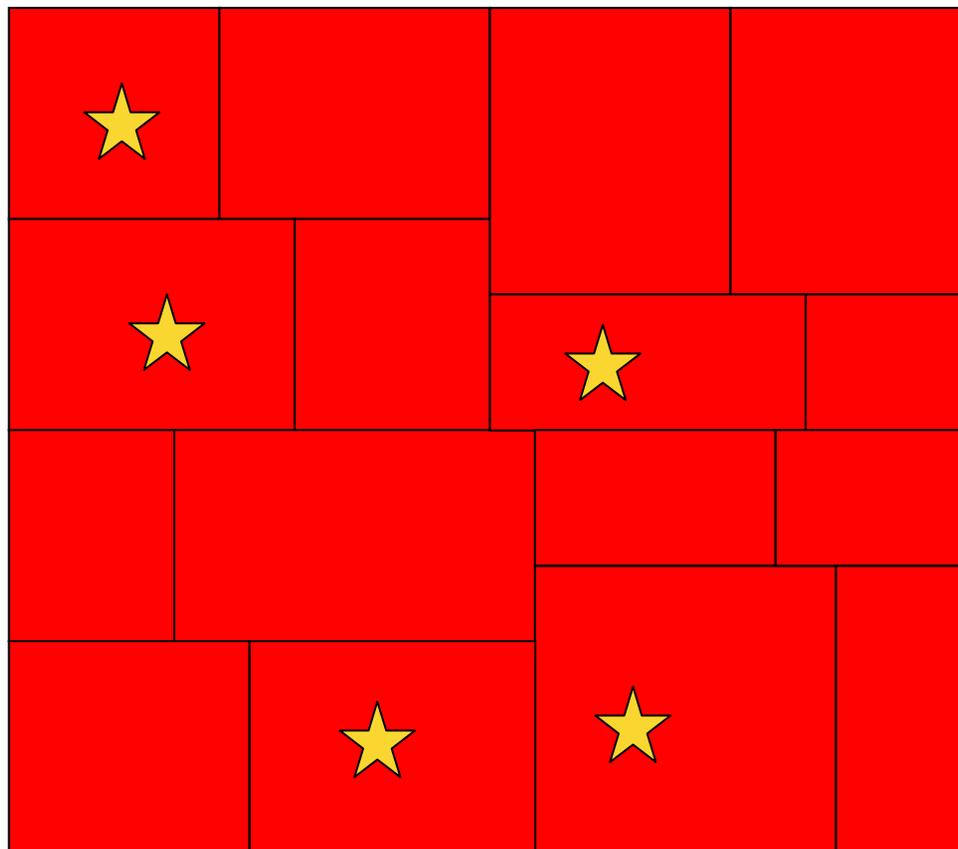
1千万粒子規模



1. 宇宙初期の星の質量分布 (初期質量関数)
2. 宇宙の再電離史

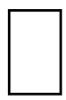
~ FIRSTで2ヶ月で達成できる目標

輻射輸送計算の並列化

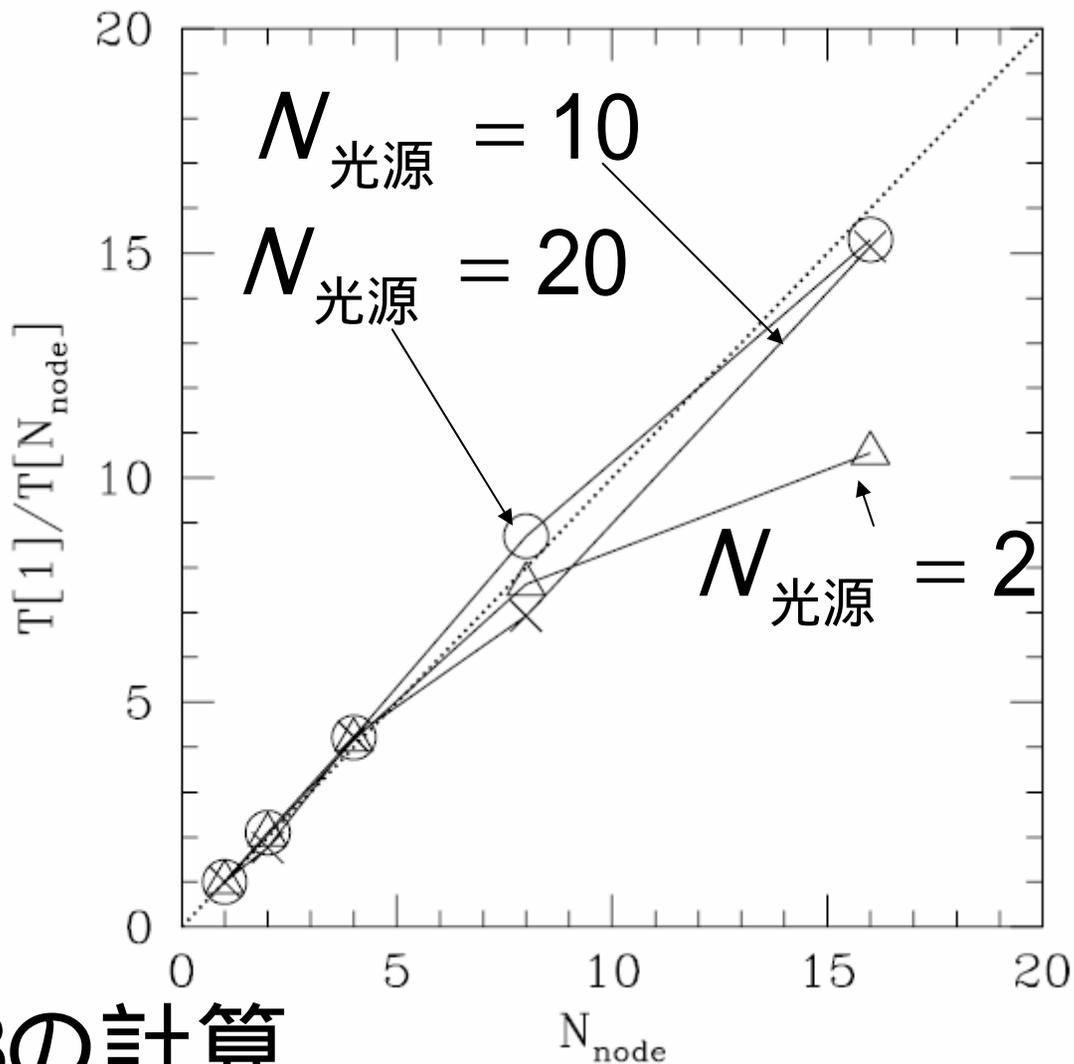


Speedup

光源の数に依存

N_{PU}  $N_{光源}$

なら許せそう



$N_{粒子} = 524288$ の計算

世界の現状

Code (Authors)	Grid	Parallelization	gasdynamics	Helium	Rec. radiation
<i>C</i> ² -Ray (G. Mellema, I. Iliev, P. Shapiro, M. Alvarez)	fixed/AMR	shared	yes	no	no
OTVET (N. Gnedin, T. Abel)	fixed	shared	yes	yes	yes
CRASH (A. Maselli, A. Ferrara, B. Ciardi)	fixed	no	no	yes	yes
RSPH (H. Susa, M. Umemura)	no grid, particle-based	distributed	yes	no	no
ART (T. Nakamoto, H. Susa, K. Hiroi, M. Umemura)	fixed	distributed	no	no	yes
FTTE (A. Razoumov)	fixed/AMR	no	yes	yes	yes
SimpleX (J. Ritzerveld, V. Icke, E.-J. Rijkhorst)	unstructured	no	no	no	yes
Zeus-MP (D. Whalen, M. Norman)	fixed	distributed	yes	no	no
FLASH-HC (E.-J. Rijkhorst, T. Plewa, A. Dubey, G. Mellema)	fixed/AMR	distributed	yes	no	no
IFT (M. Alvarez, P. Shapiro)	fixed/AMR	no	no	no	no
Coral (I. Iliev, A. Raga, G. Mellema, P. Shapiro)	AMR	no	yes	yes	no

Iliev et al (2006) ([astro-ph/0603199](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0603199))

並列化され、かつ輻射流体が解けるのは3つ乃至4つ
初期天体形成という問題に関しては現在はトップにいる

将来のチャレンジ

同じ分解能で 10^4 倍になったとすると、

- 初期天体 観測可能な遠くの天体

分解能を下げれば、

- 観測可能な遠くの天体 われわれの銀河

- 電離の問題に関して、吸収・再放射される光子の影響を完全に正しく取り入れる 本物の N^6 計算のRHD

まとめ

- 宇宙の初期天体形成において輻射輸送の問題は重要である。
- 新世代融合型並列計算機「FIRST」を用いて第一世代の銀河、星がどのように生まれてきたかを知ることができるであろう。
- 将来はわれわれの銀河のような大きな系の計算へ。