

銀河の形成と進化の シミュレーション

東京工業大学地球生命研究所
斎藤貴之

Earth-Life Science Institute



- 東京工業大学に2012年12月に設立された WPI (世界トップレベル研究拠点プログラム) 研究所

– 目的：地球の形成と進化、
そして生命の起源の研究

- 天文学、生物学、化学、深地球科学、地質学などの研究者、~100人からなる組織
- およそ半分が外国籍の研究者





DDN ユーザとして

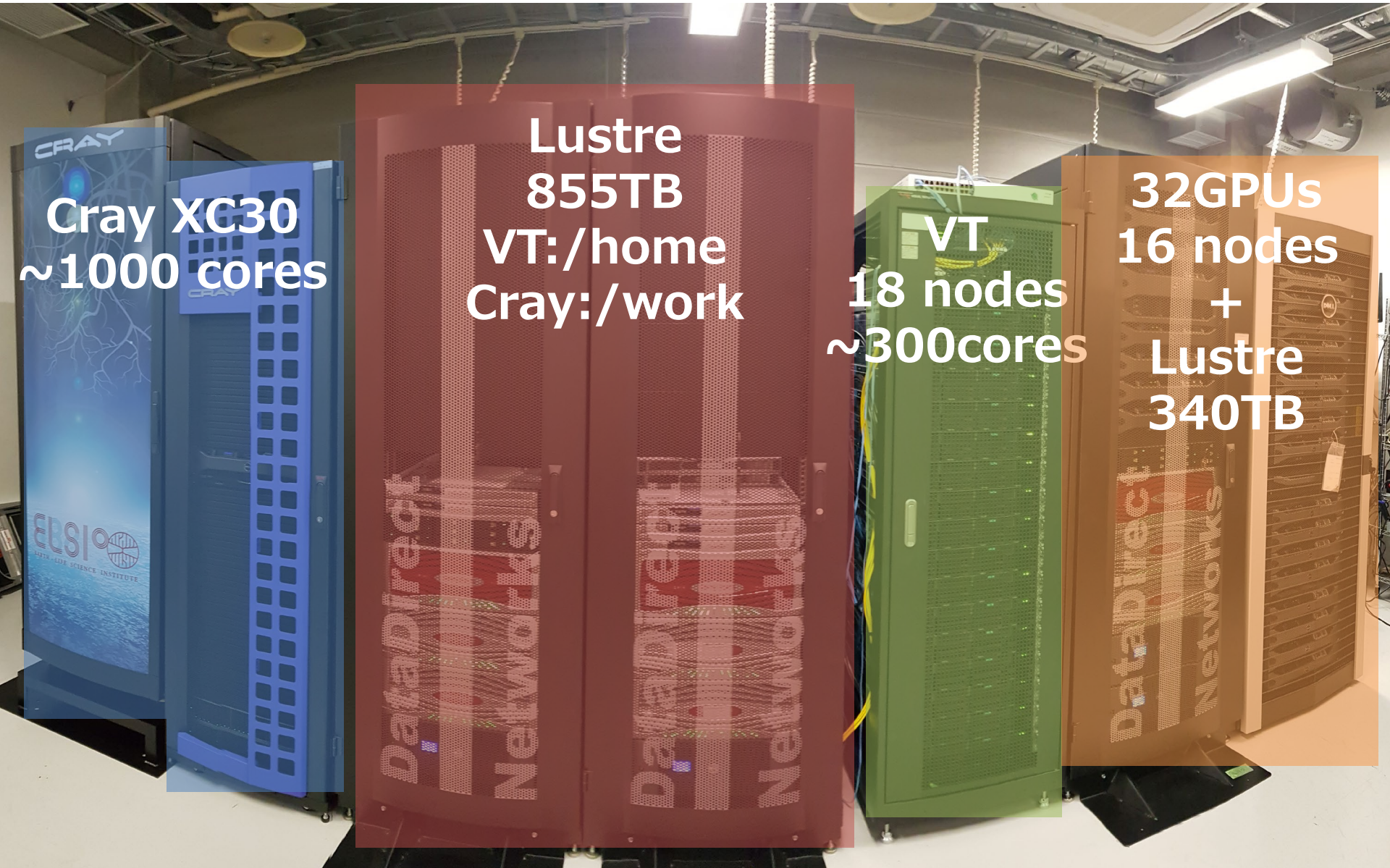


- 2008年に国立天文台 CfCA に導入された Cray XT4 のストレージが初めての DDN のシステム、ユーザとして利用
 - CfCA の最近3代 (XT4/XC30/XC50) のストレージシステムは全部 DDN
- 2013年、東工大地球生命研究所に導入された XC30 及び GPU クラスタのストレージの管理者、もちろんユーザとしても利用
 - ~1.2 PB

```
LustreMDS00-ib@o2ib:LustreOSS01-ib@o2ib:/data0  
855T 765T 83T 91% /mnt/data0
```

```
192.168.12.101@o2ib:192.168.12.102@o2ib:/work 340T 811G 336T 1% /work
```

ELSI computer systems

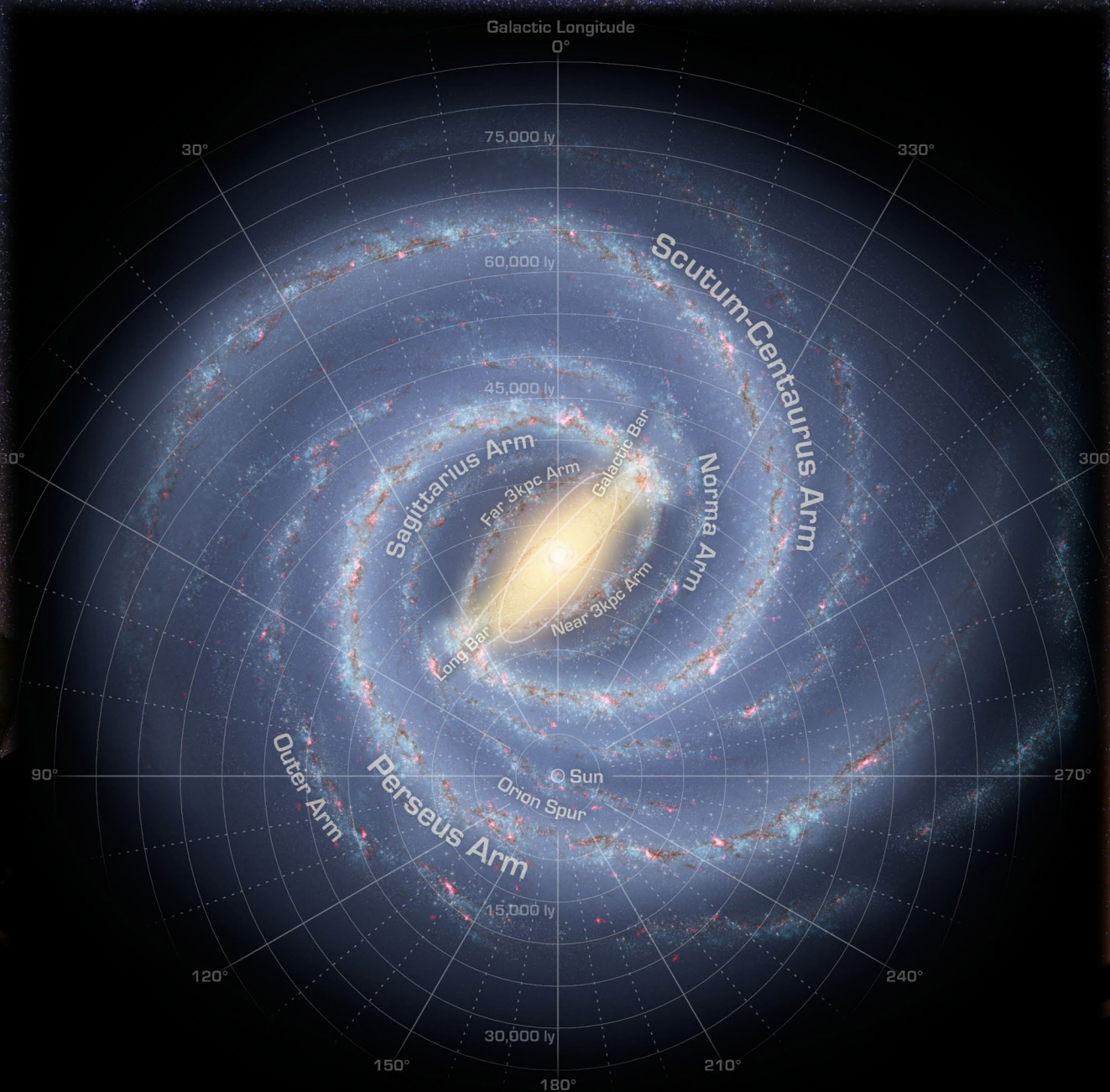


Cray XC30
~1000 cores

Lustre
855TB
VT:/home
Cray:/work

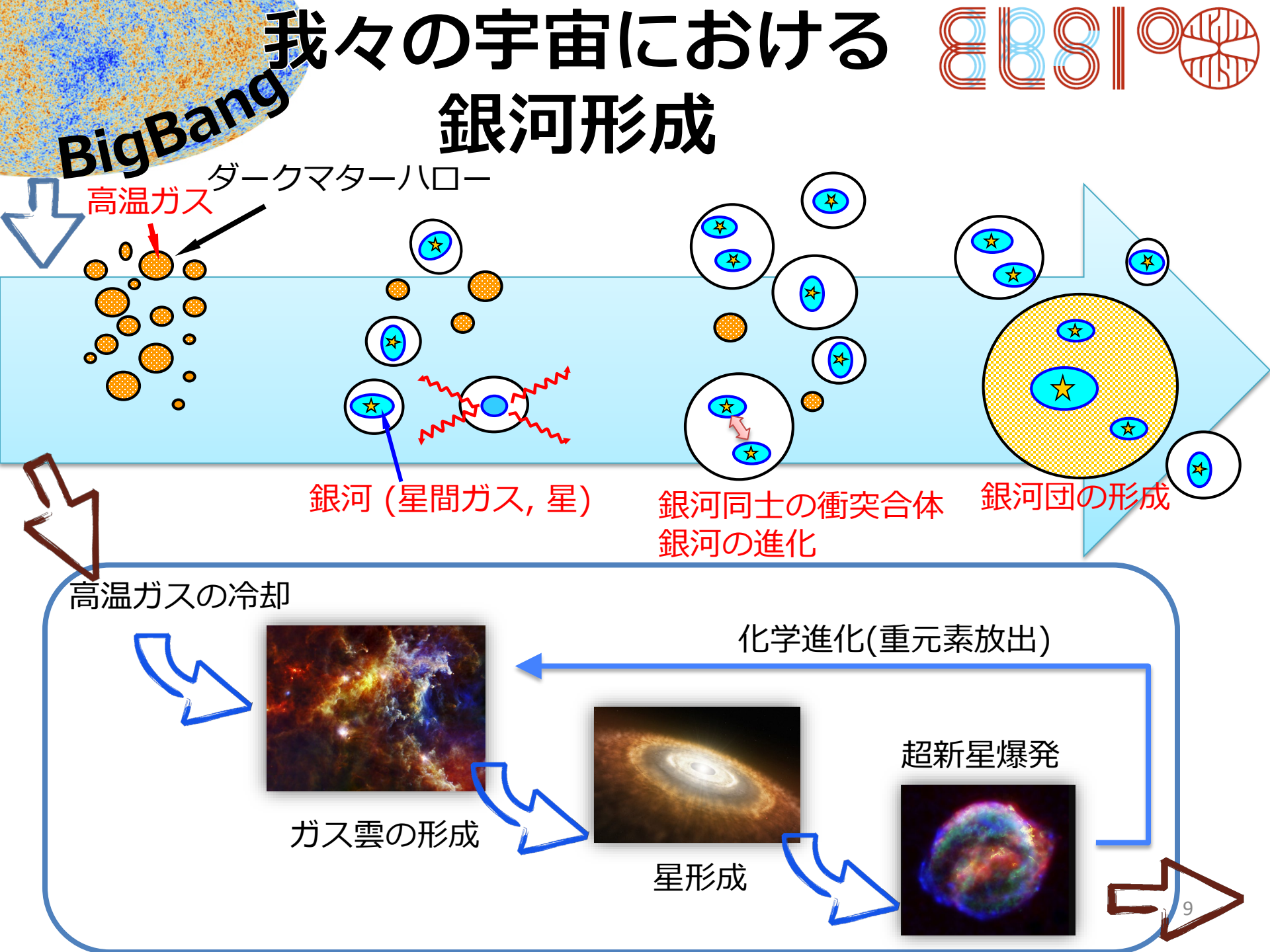
VT
18 nodes
~300cores

32GPUs
16 nodes
+
Lustre
340TB





我々の宇宙における 銀河形成



我々の宇宙における
銀河形成

自己重力
流体力学

各種物理過程

強非線形現象

どこに何が できるか 事前に分からない

- ✓可能な限りたくさん出したい
- ✓有限の時間でデータ解析をしたい
- ✓大規模高速ストレージが欲しい！

銀河形成シミュレーション モデル



- 冷たい暗黒物質(ダークマター)
 - 位相空間からサンプリングした粒子(**N体**粒子)に置き換えて重力相互作用を計算
- 通常物質(バリオン)
 - 圧縮性流体として扱う(**SPH**/メッシュ(AMR)法)
 - ガスの放射冷却加熱
 - 通常事前計算したテーブルを利用
 - 低温高密度ガスから星形成
 - 質量の一部を重力相互作用だけする恒星集団粒子(**Simple stellar population**)へ
 - 超新星爆発
 - 大質量星がエネルギーと金属を放出

サブグリッドモデル



ちょっと寄り道：



First galaxy simulation using computer

DEVELOPMENT OF A
"BAR-TYPE" DENSITY WAVE
IN THE CENTRAL LAYER
OF A GALAXY

—
Per Olof Lindblad
Stockholm Observatory
April 1961

- 1960年代初頭、スウェーデン
- Computer : BESK
- $N=116$
 - メモリリミット
- 4次ルンゲクッタ
- $dt=8\text{Myr}$
- 7.5 min/step

出力:58スナップショットx256GB=14.5TB
(最新最大のシミュレーションはで51x16TB=861TB)

4D2U

シミュレーション：石山智明、可視化：中山弘敬

http://4d2u.nao.ac.jp/t/var/download/DarkMatterHalo2_v2.html

出力:1330スナップショットx169MB=218GB
(シミュレーションは2003-2004)



シミュレーション：斎藤貴之、可視化：武田隆顕、額谷宙彦

<http://4d2u.nao.ac.jp/t/var/download/spiral2.html>

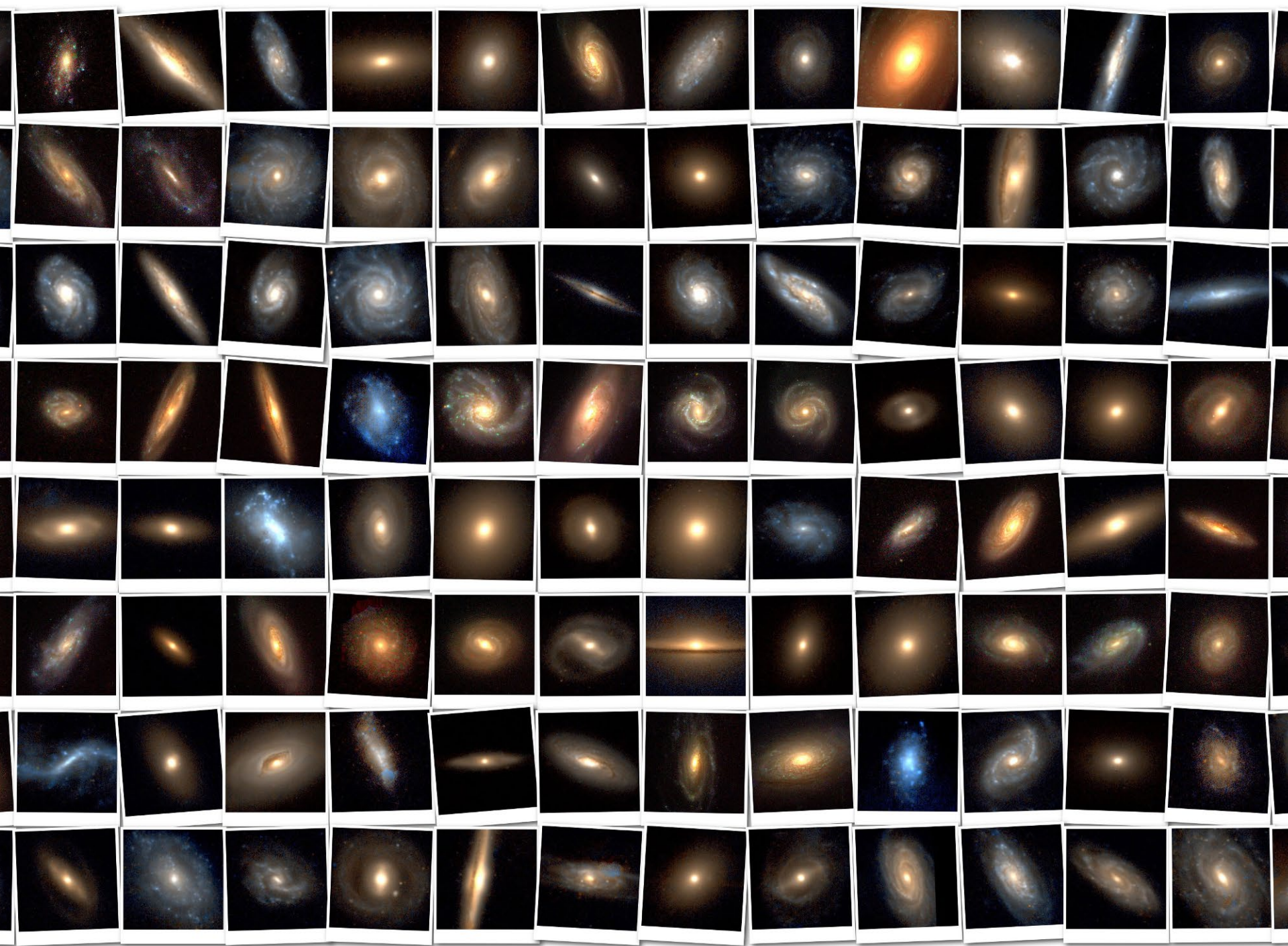
出力:800スナップショットx~32GB=2.56 TB
(粒子分割後の高分解能計算 200Myr)

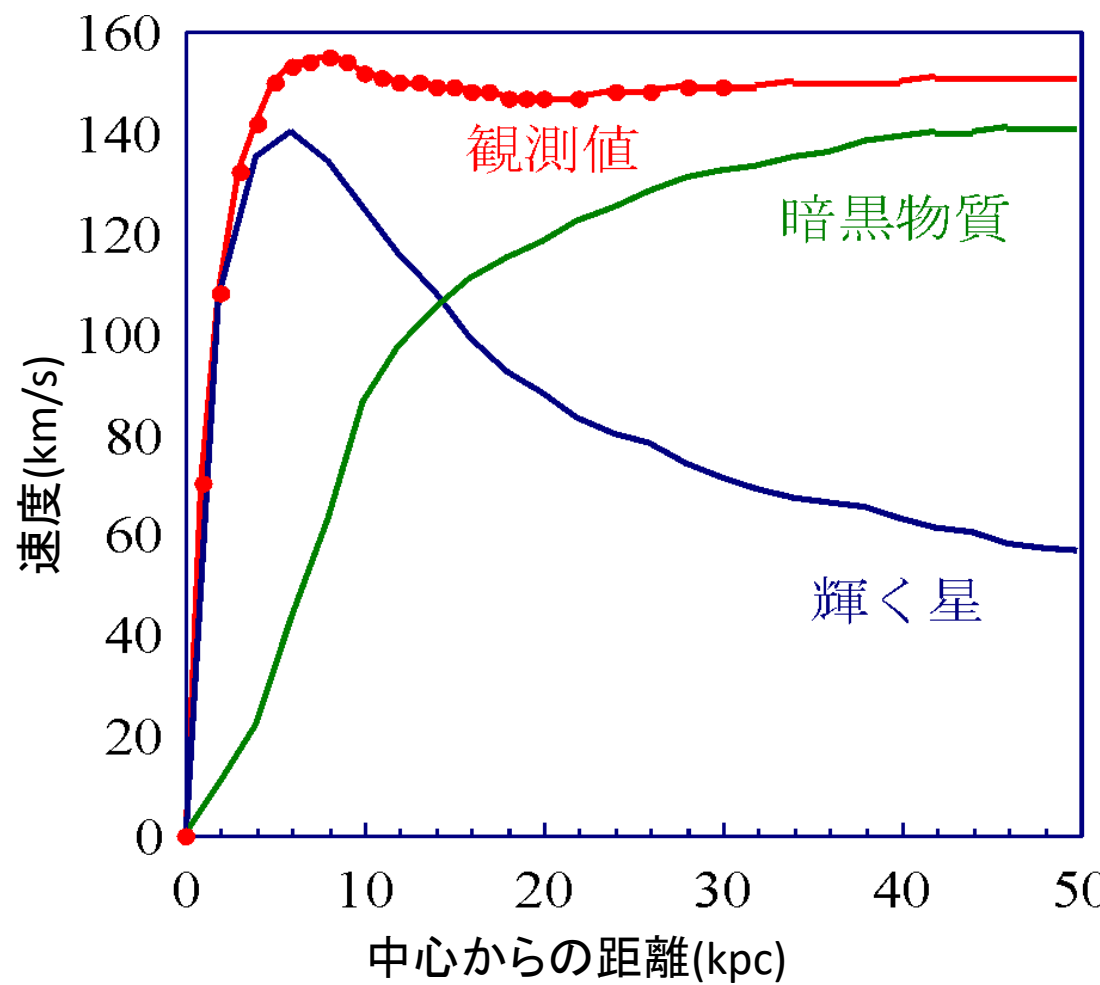
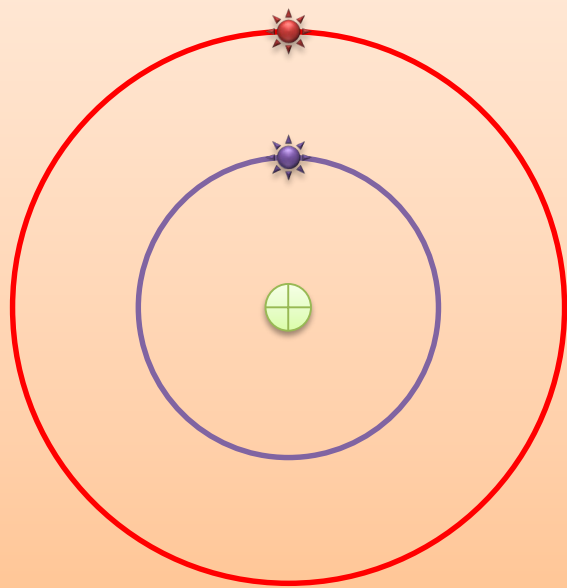


シミュレーション：馬場淳一、可視化：中山弘敬
<http://4d2u.nao.ac.jp/t/var/download/MWJourney.html>



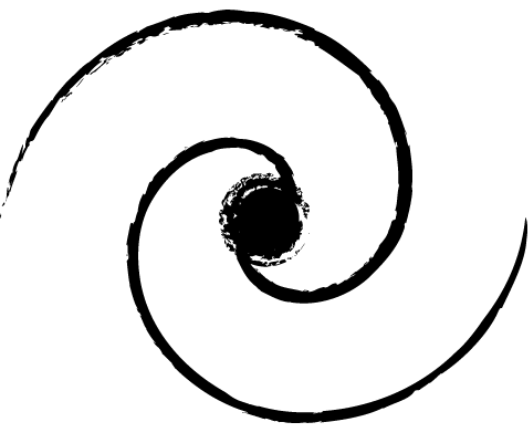
ESA / NASA, Davide De Martin, and K.D. Kuntz (GSFC), F. Bresolin (University of Hawaii), J. Trauger (JPL),







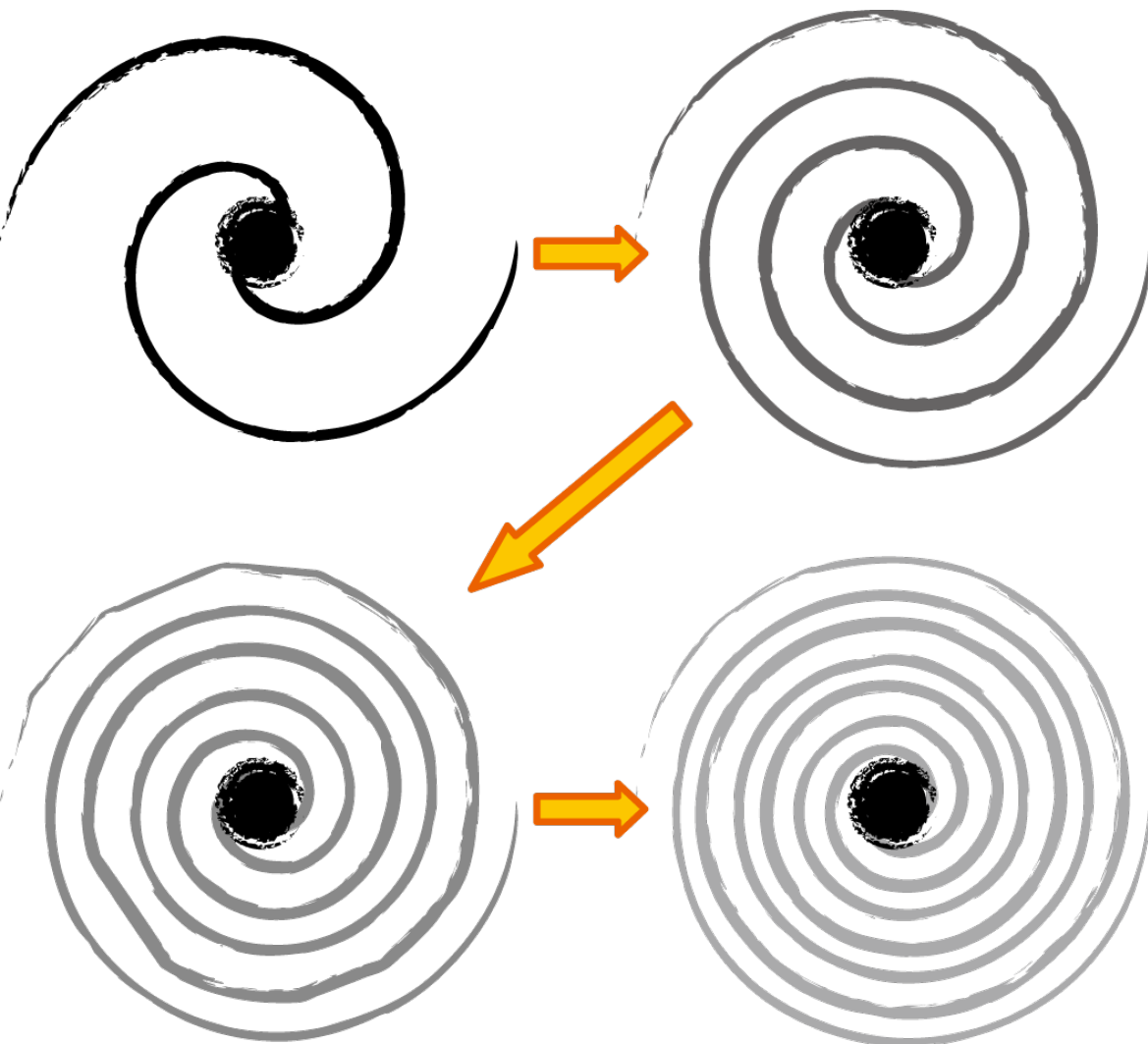
従来の渦巻き腕の描像



- もし渦巻き腕が実体だとすると、



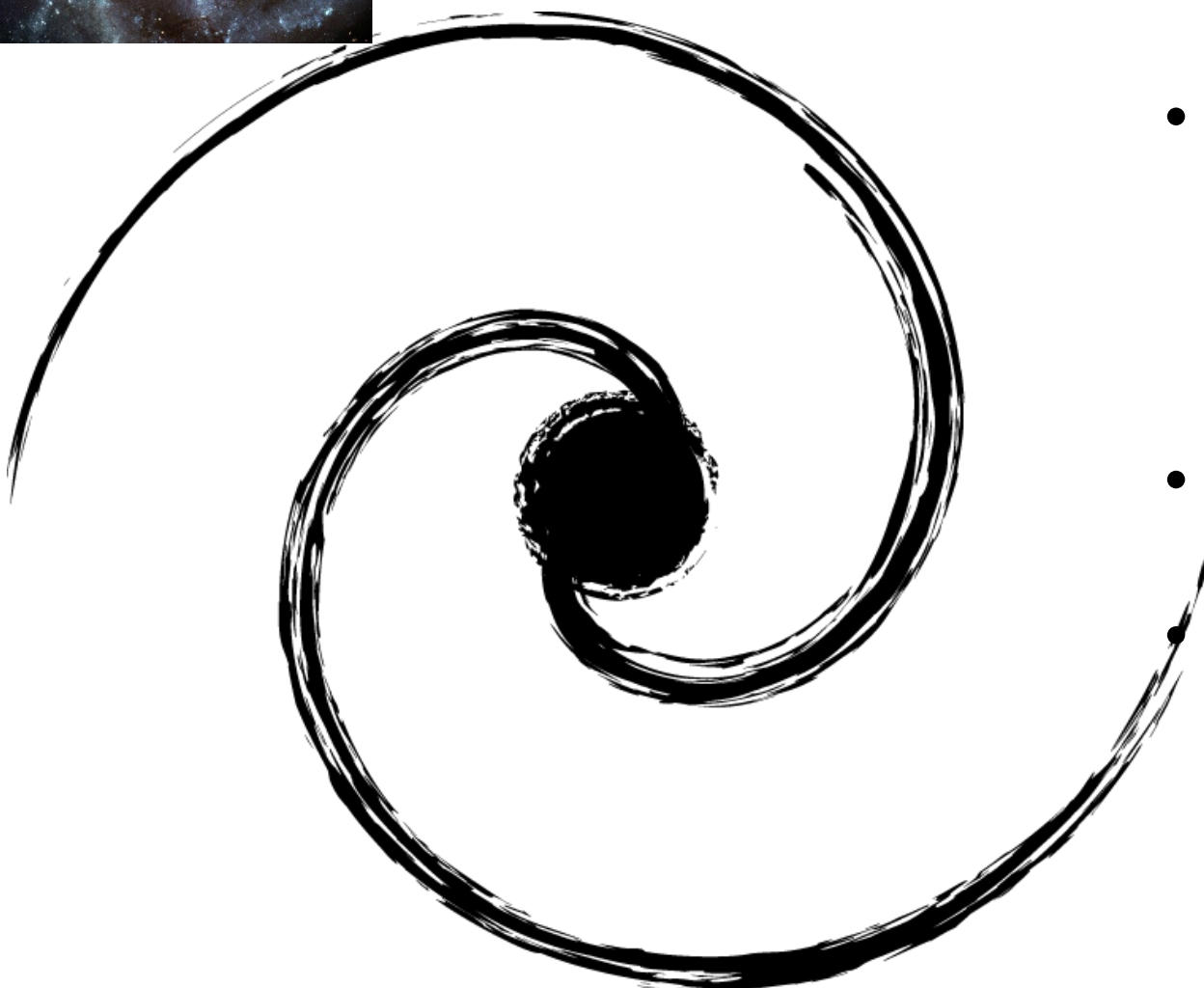
従来の渦巻き腕の描像



- もし渦巻き腕が実体だとすると、時間が経つと渦巻き腕が巻き込まれていってしまう
- これを**巻き込みのジレンマ**という



従来の渦巻き腕の描像

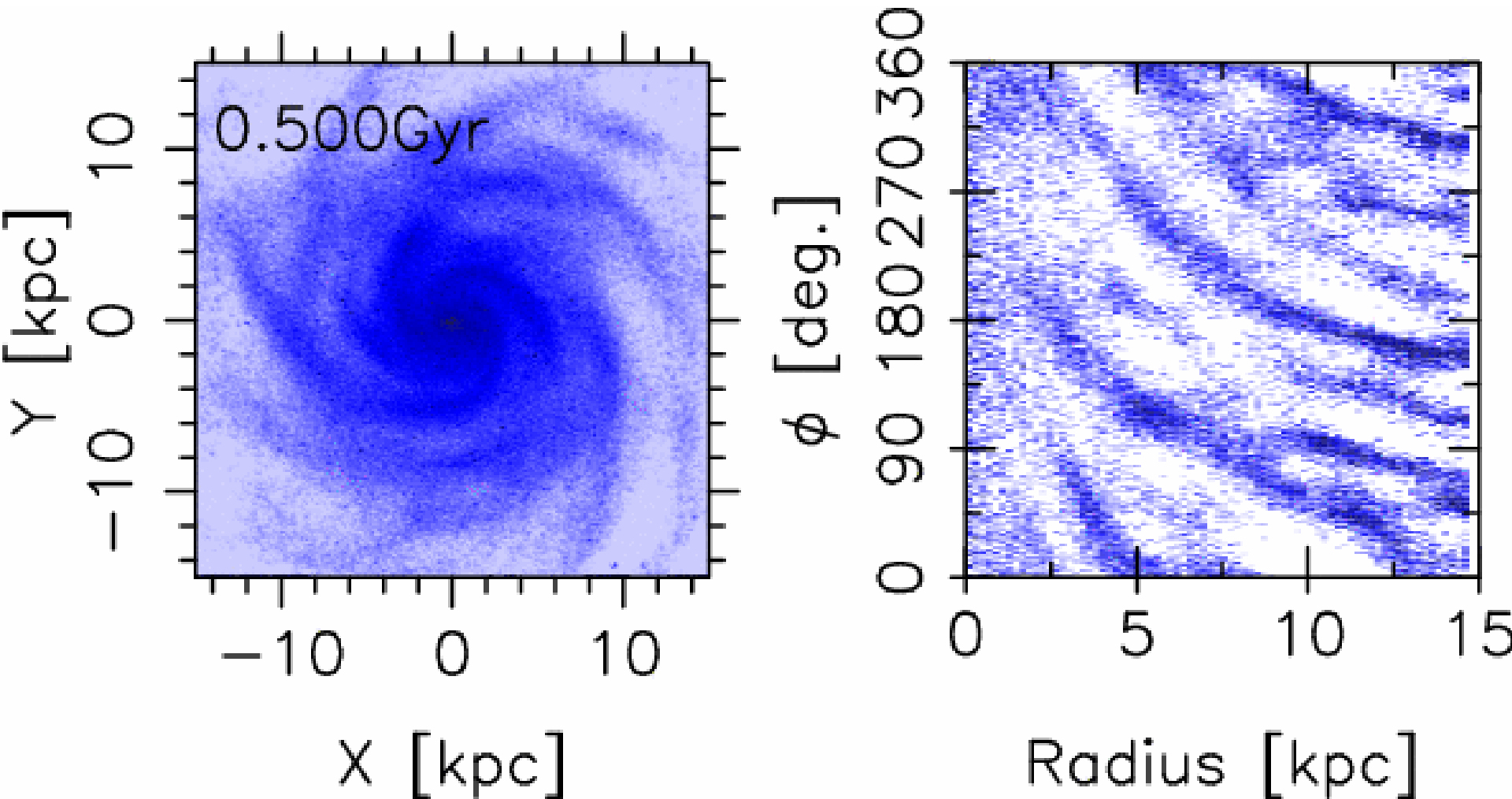


- もし渦巻き腕が実体だとすると、時間が経つと渦巻き腕が巻き込まれていってしまう
- これを**巻き込みのジレンマ**という
- 渦巻き腕は、一定のパターンを保ちながら、回転している静的な構造だと考える

渦巻き腕の姿



Baba Saitoh & Wada 2013

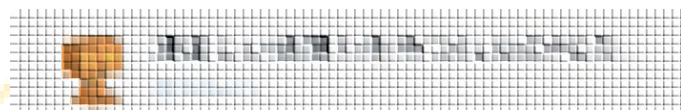


- 渦巻き腕は合体や分裂を繰り返す動的な構造
- 静的なパターンがあるわけではなさそう

DDN さんへの要望(1)

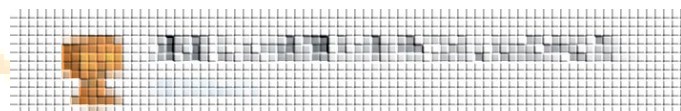


- ブート/シャットダウン手続きが煩雑なので all-in-one 的なスクリプトが欲しい！
- ✓ 電源の法定点検で年1回キャンパス全体停電
- ✓ そのたびにマニュアルを引きながら作業
- ✓ 前回は2.5時間



シャットダウンした

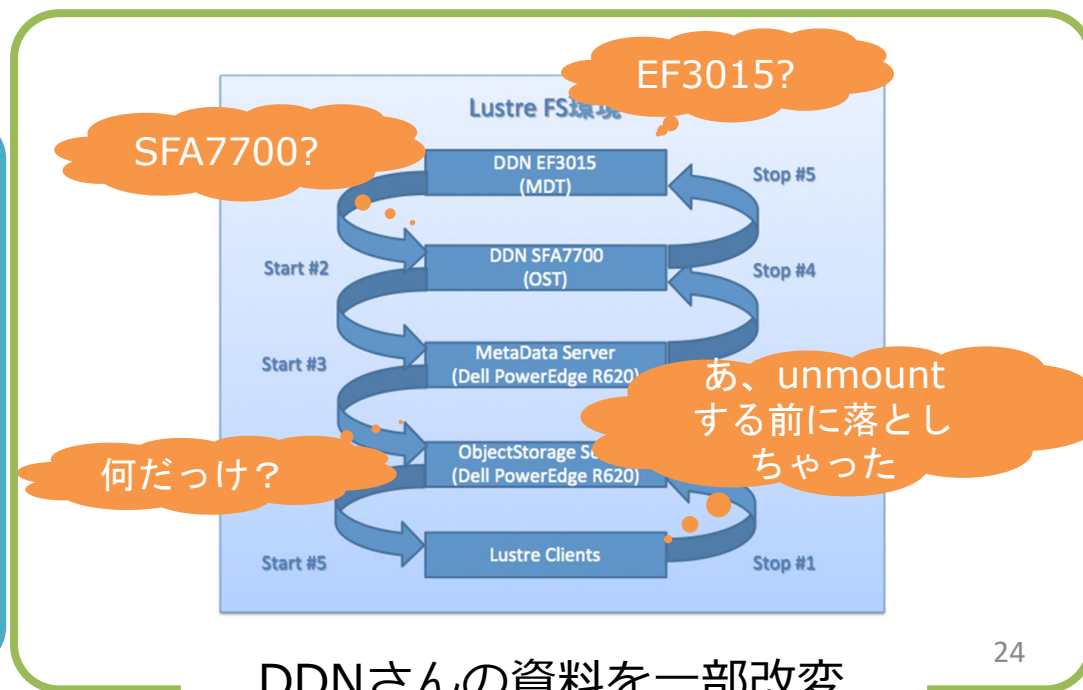
17:27 - 2018年8月10日



なんか手順が怪しかった

17:27 - 2018年8月10日

某SNSサービスから



DDN さんへの要望(2)

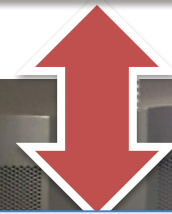


□メタデータのバックアップ
をシステム化して堅牢なシ
ステムにしてほしい！

✓“2017年8月事変”(後述)

✓ELSI では前回の経験から、
メタデータのバックアップ
を週1回別システムに保存

計算ノード



メタデータ
インデックス



オブジェクト
データ



2017年8月事変@ELSI



- 法定点検後の2017年8月15日、Lustre が起動しない
 - MDT が立ち上がらない
- DDN サポートへメールで連絡
- メタデータサーバの RAID がリビルド中にお亡くなりになったのが原因(RAID1x5によるRAID01)



- DDN のラボで頓死したディスクからデータを読み出し、パッチワークで再構築
 - Slot#0をベースに不足分をSlot#1のデータで補う
- たった**406**ファイル(全82068250中)のロスで再構築成功、8月25日運用再開
- 所内メタデータバックアップシステム-転ばぬ先の杖-構築
 - これは簡易バックアップ、システムとして欲しい

対応してくださった
DDN の皆さん

特に 窓口と
なつて
くださった 西澤さん

ありがとうございました

まとめ



- ✓ 東工大地球生命研究所では2システム、トータル~1.2TBの Lustre ストレージを運用
 - ✓ 地球進化、月、惑星、星、銀河形成から物性の第一原理シミュレーション、計算化学等など
- ✓ 天体形成シミュレーションでは大量のストレージがなくてはならないもの
 - ✓ DDN システムが我々の研究をサポート
- ✓ DDN への要望
 1. よりシンプルな管理方法
 2. より堅牢なシステム