

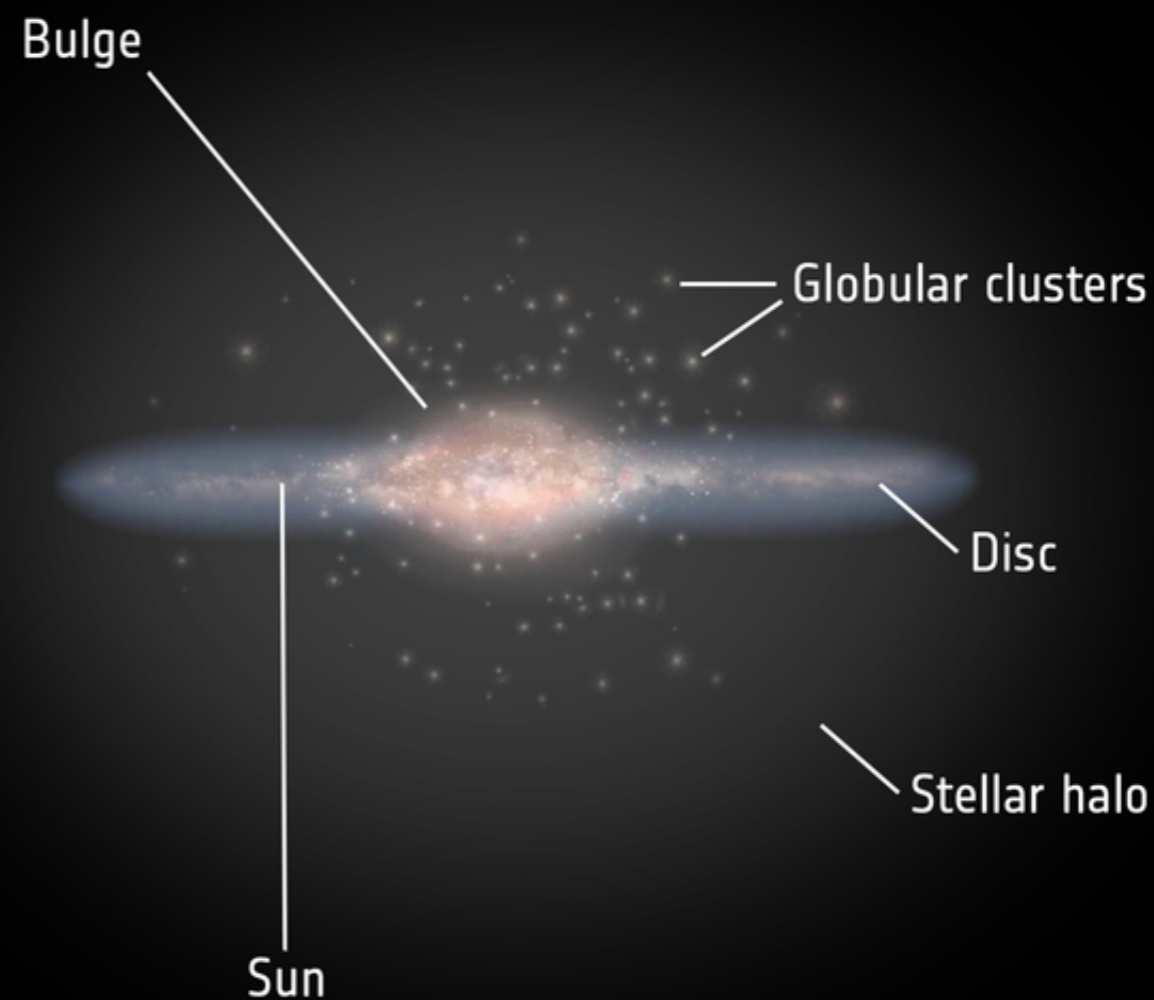
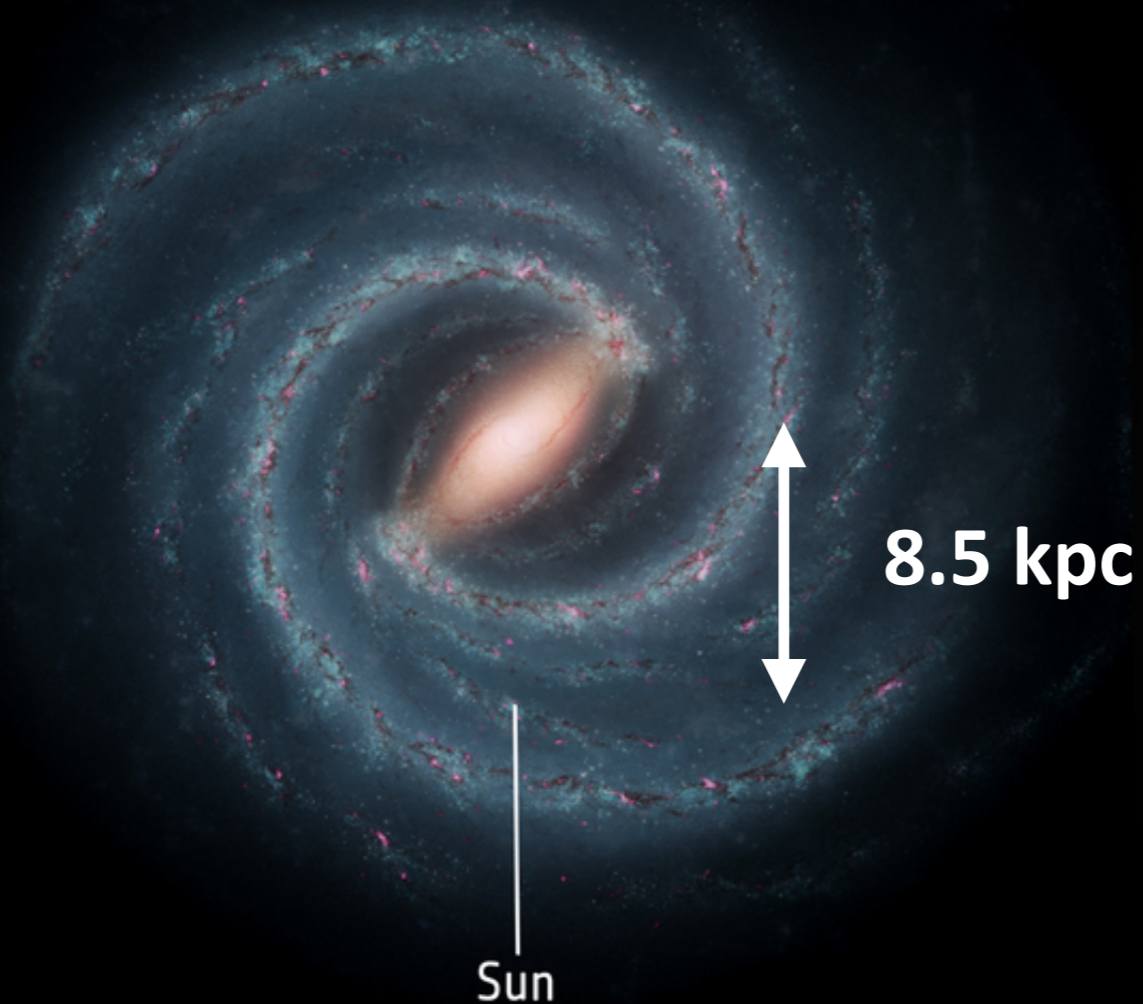
## Section 11.

# 系外銀河と宇宙膨張

# 銀河系 (観測に基づく想像図)

上から

横から



**楕円銀河  
(星を作っていない)**



**軽い星のみ  
ガスがない**

**円盤銀河  
(星を作っている)**



**重い星 + 軽い星  
ガスがある (星の材料)**

**重い星：より明るい => 寿命が短い (超新星爆発など)**

$10^{24}$  cm ~100万光年

~ 300 kpc

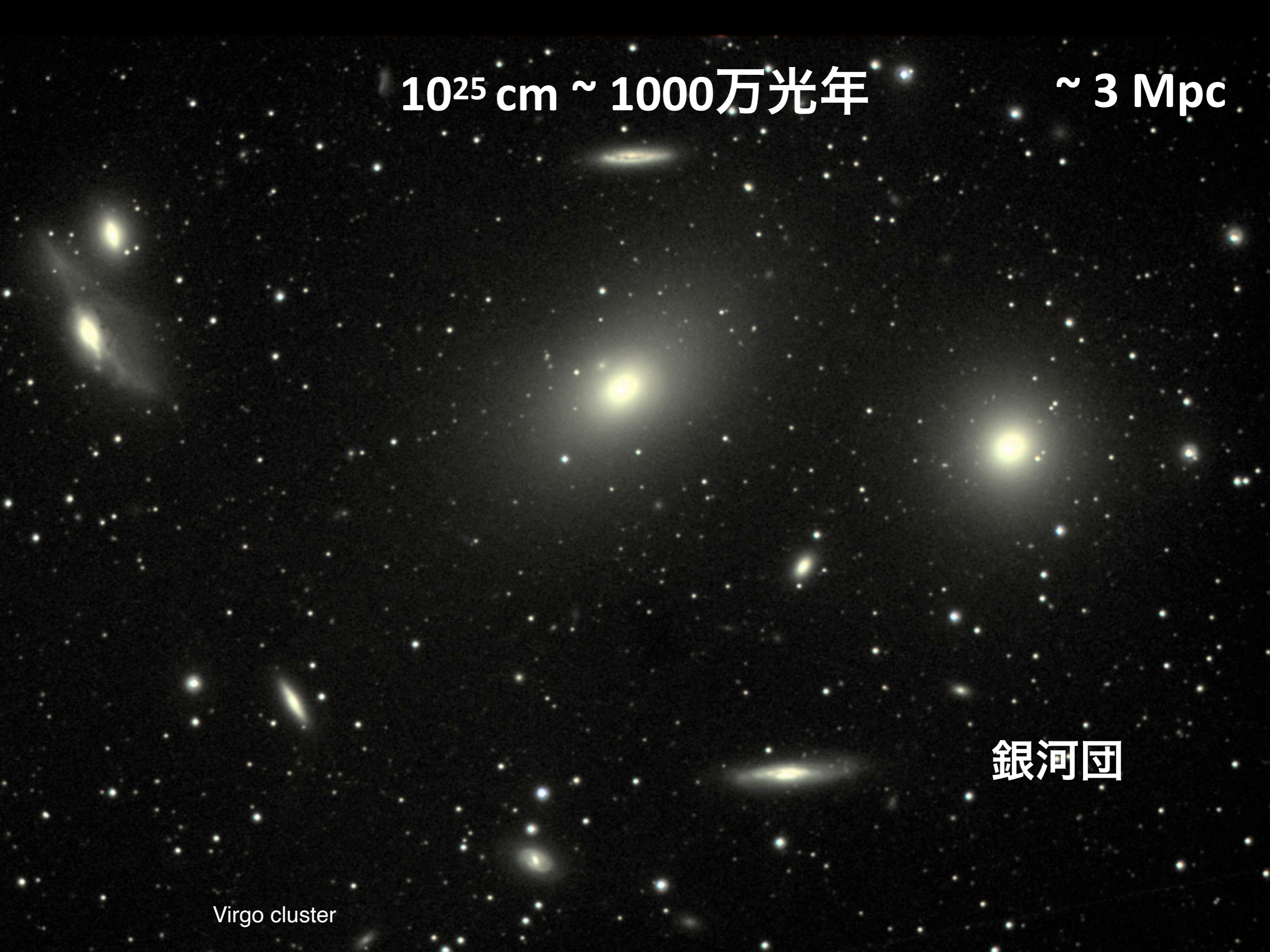
銀河群  
(十数個の  
銀河の集まり)

$10^{25}$  cm ~ 1000万光年

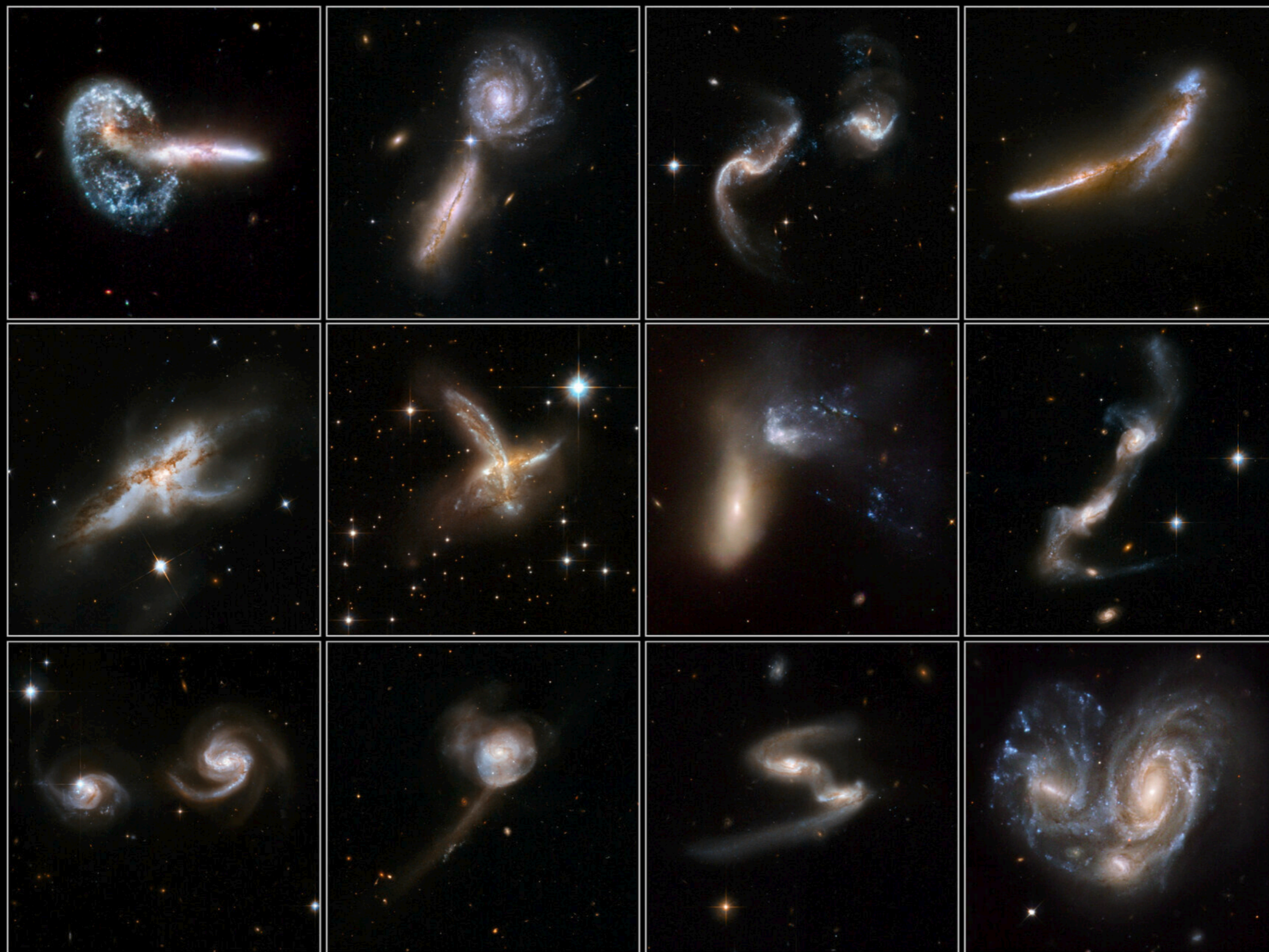
~ 3 Mpc

銀河団

Virgo cluster



# 衝突する銀河

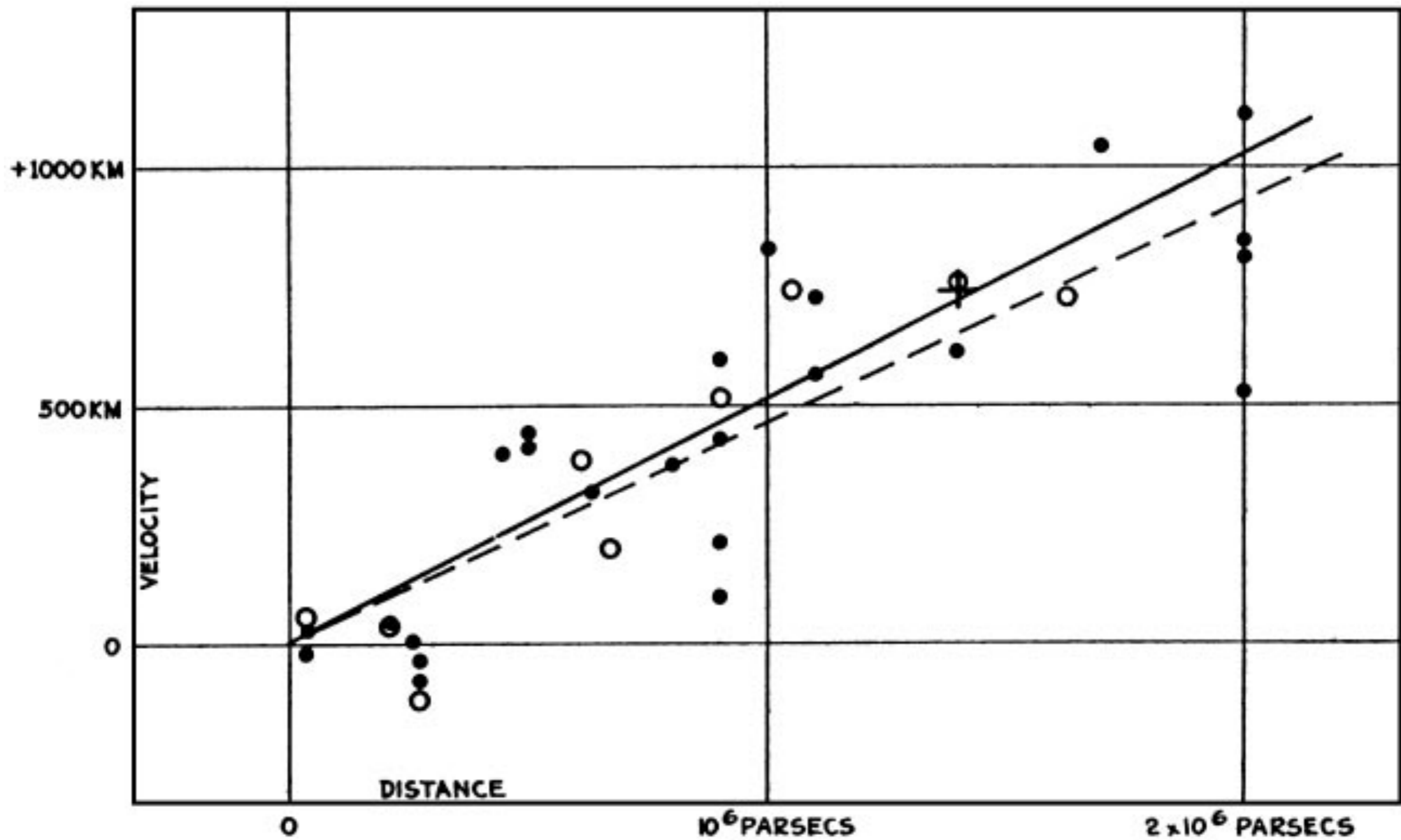


[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Plethora\\_of\\_interacting\\_galaxies\\_on\\_Hubble\\_s\\_birthday](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Plethora_of_interacting_galaxies_on_Hubble_s_birthday)

# 銀河系とアンドロメダ銀河の合体 (コンピュータシミュレーション)



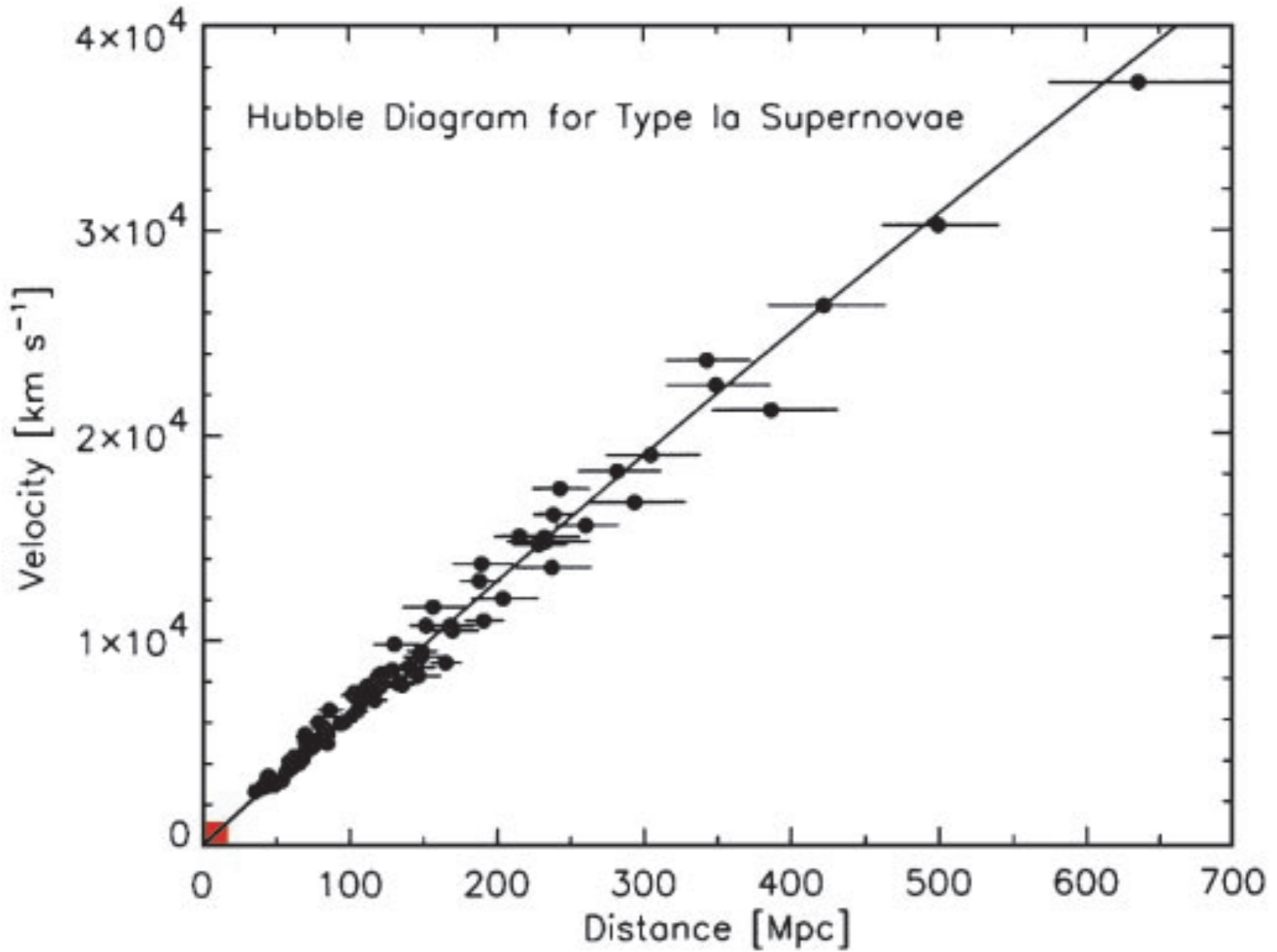
# ハッブルの法則 (ハッブル-ルメートルの法則)



Hubble 1929

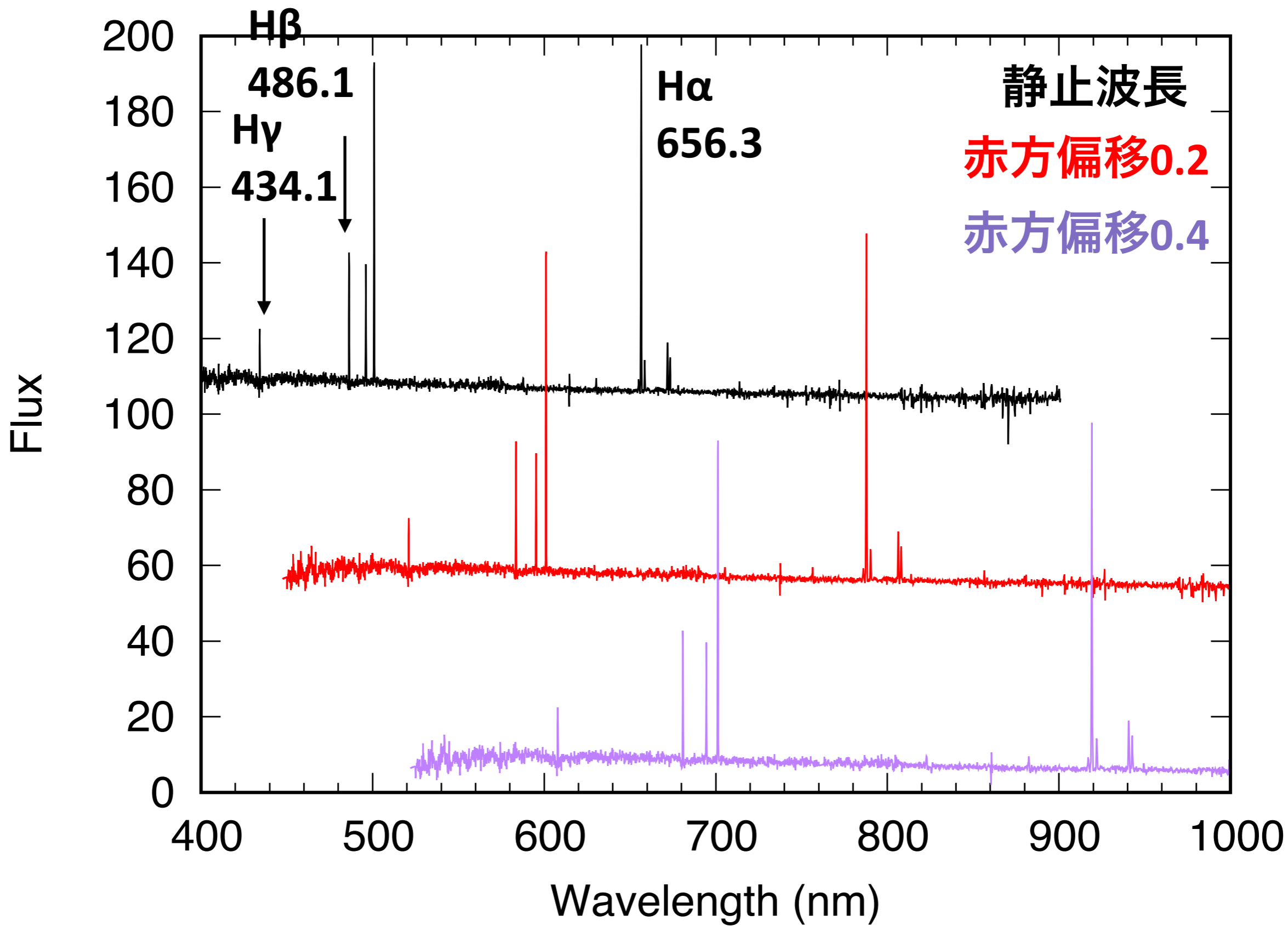
遠い銀河ほど速く遠ざかる





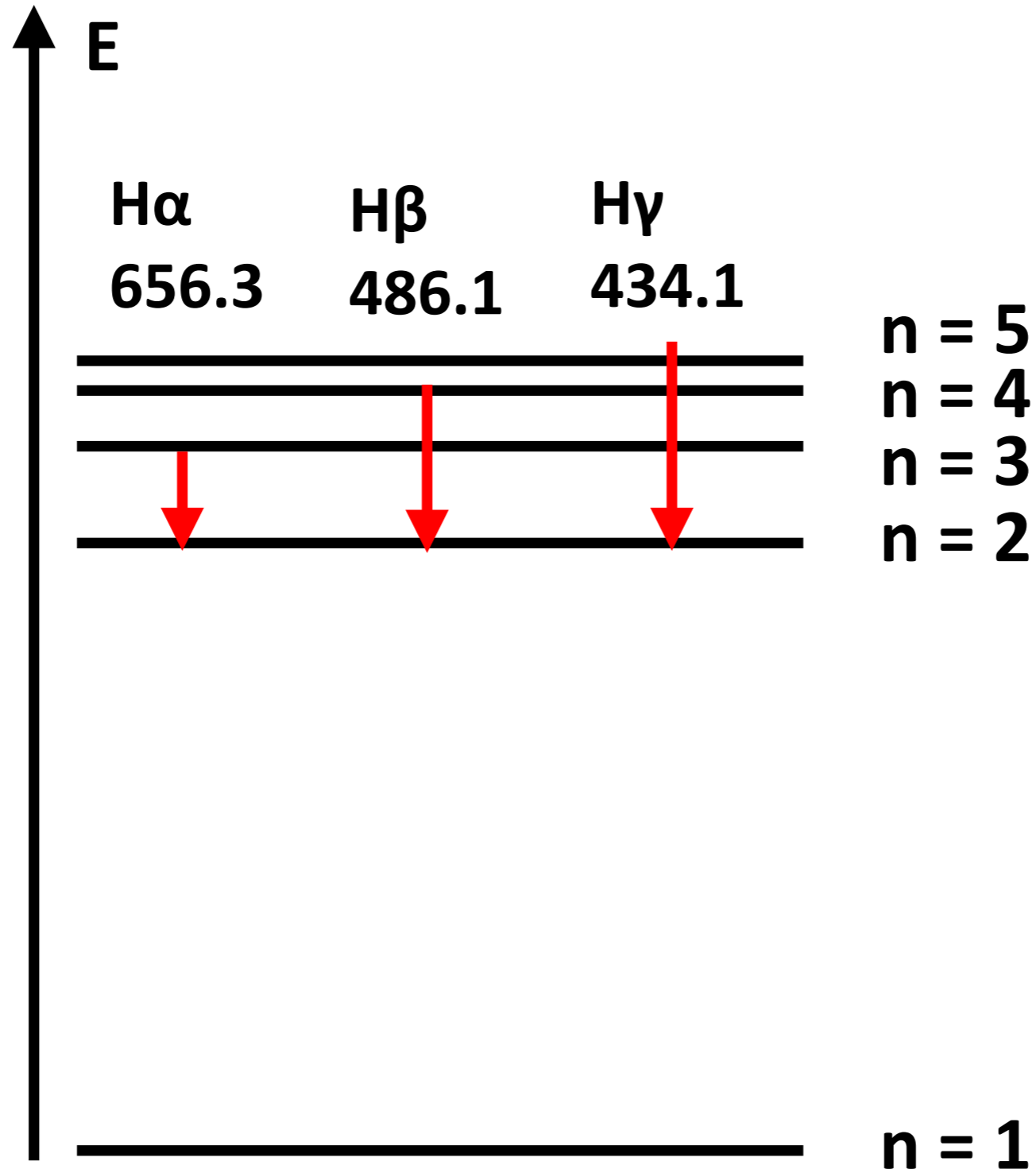


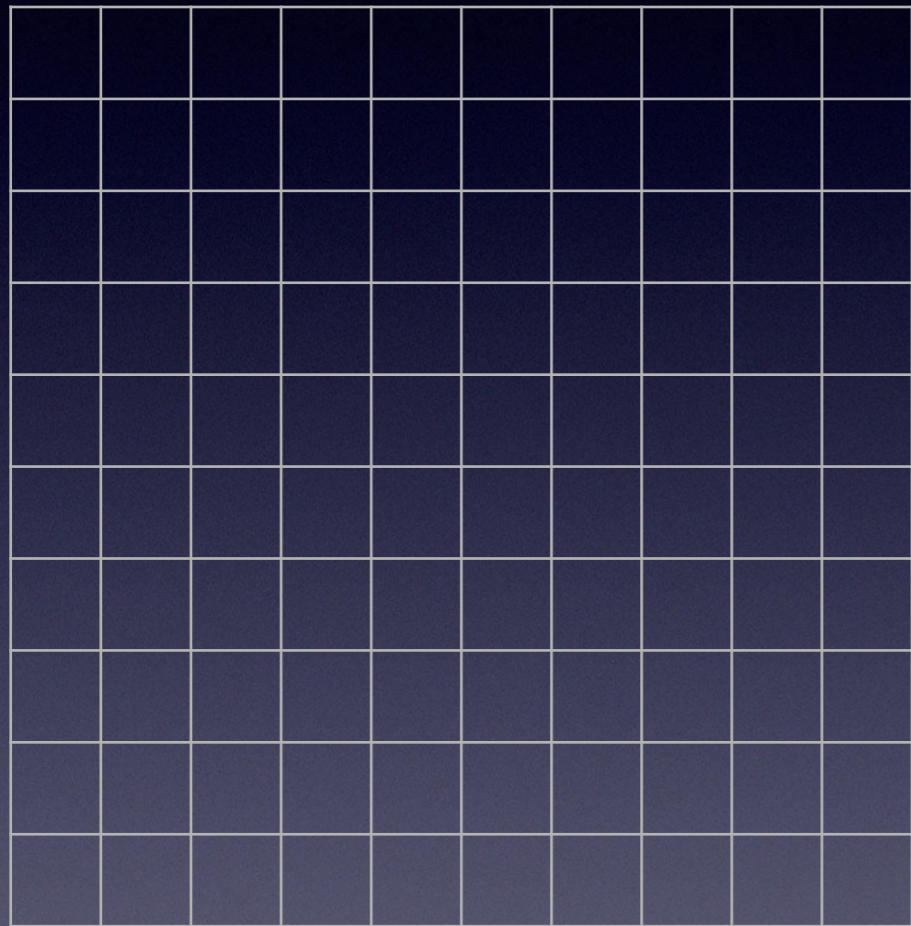
なぜ分かったの？  
そこから何が分かるの？



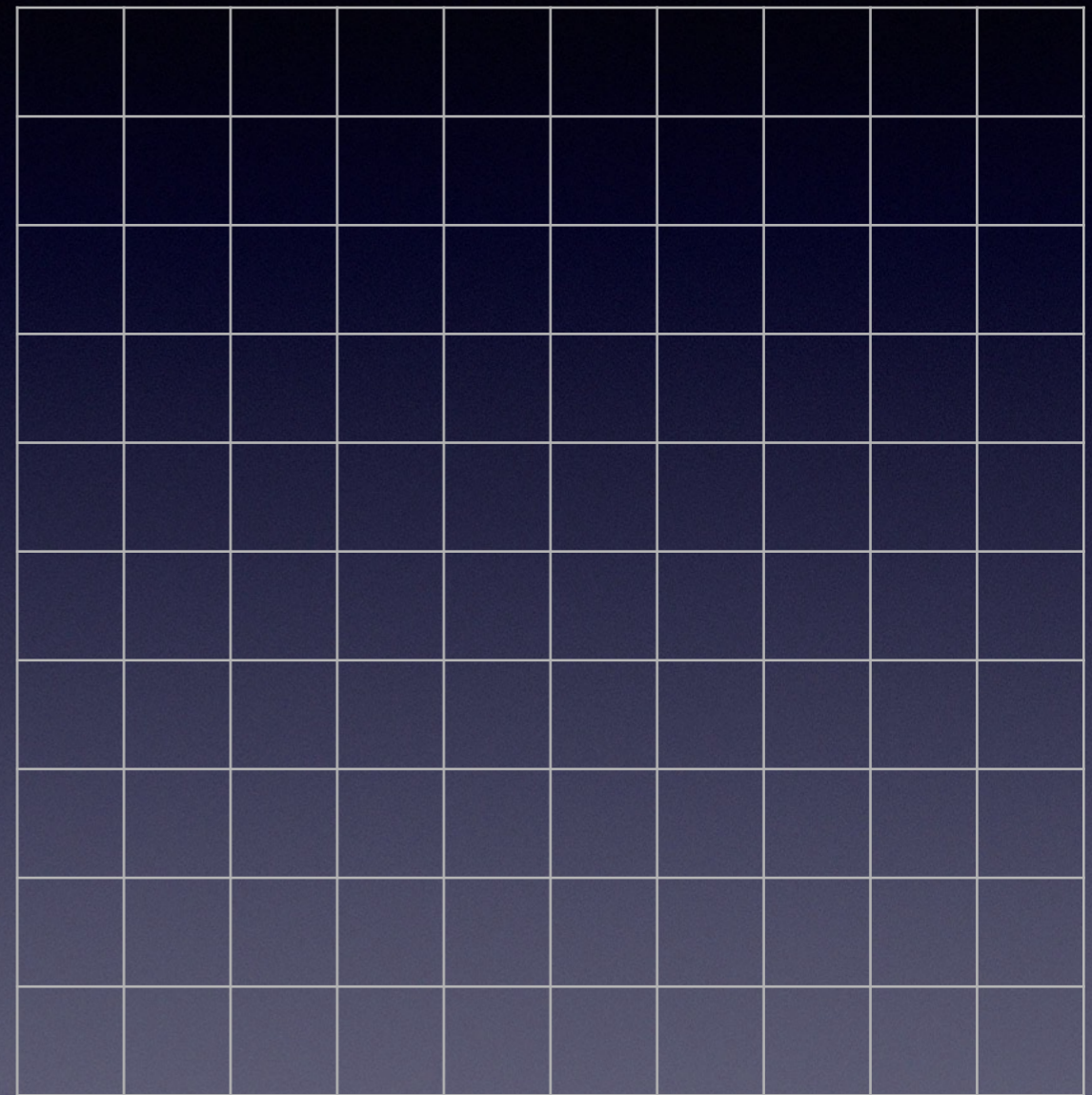
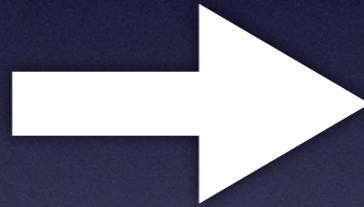
# 水素のエネルギー準位

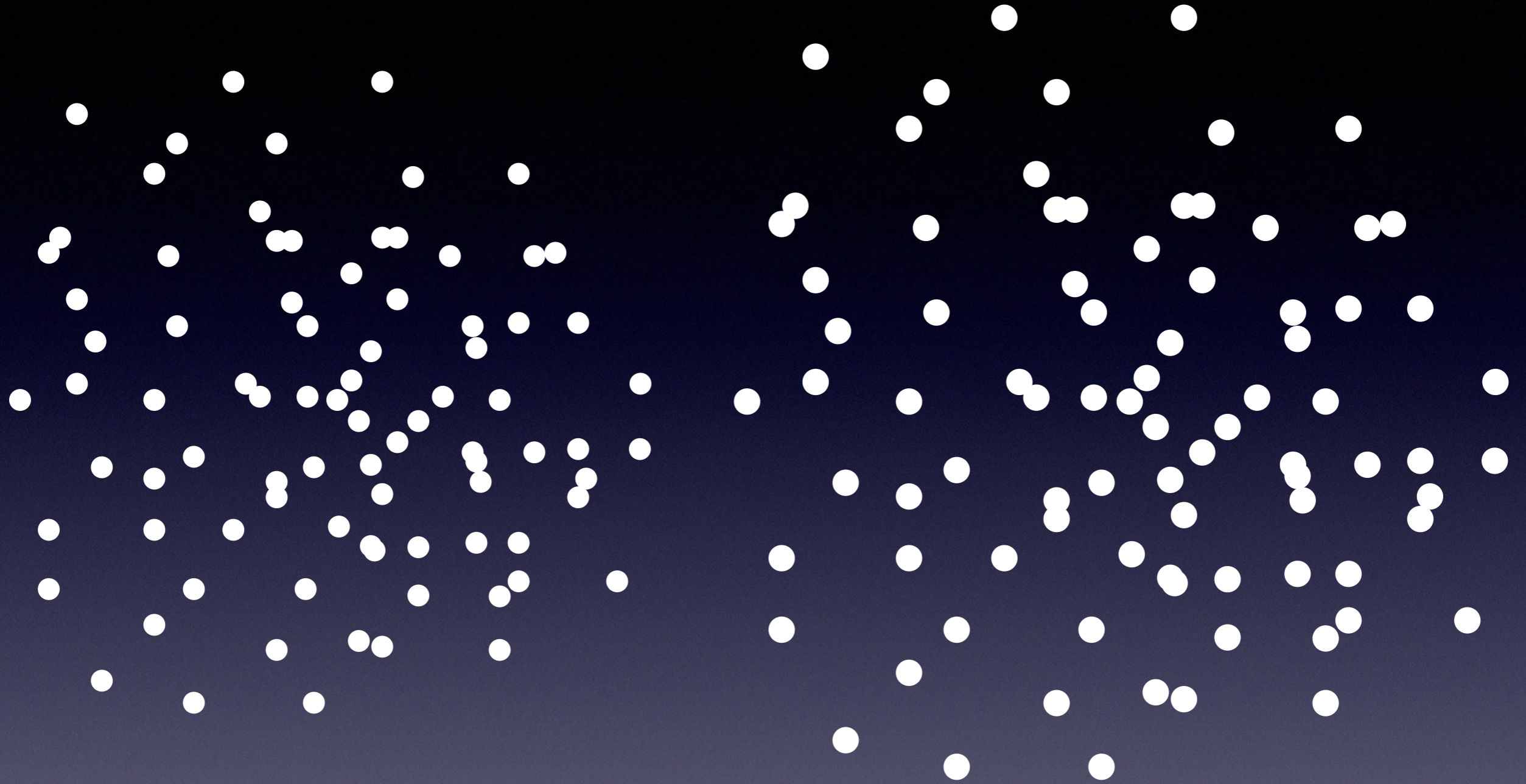
量子力学





空間全体が  
膨張





あらゆる点が全ての点から「離れて」見える  
「端」を見られない限りどこが中心かは問えない

脱線

# 宇宙の「距離はしご」

1. 年周視差で銀河系内の天体までの距離を測る
2. 真の明るさがいつも同じ天体を見つける  
(例：セファイド変光星)  
=> 見かけの暗さから距離が分かる
3. 系外銀河までの距離を測る
4. 系外銀河で真の明るさがいつも同じ天体を見つける  
(例：Ia型超新星)

=> 光速(c)は一定なので、超新星がおきたときの  
宇宙の時間を測れる ( $t = R/c$ )





# 宇宙の歴史

## 一般相対性理論

大きさ ( $\leq$  赤方偏移)

加速!

等速

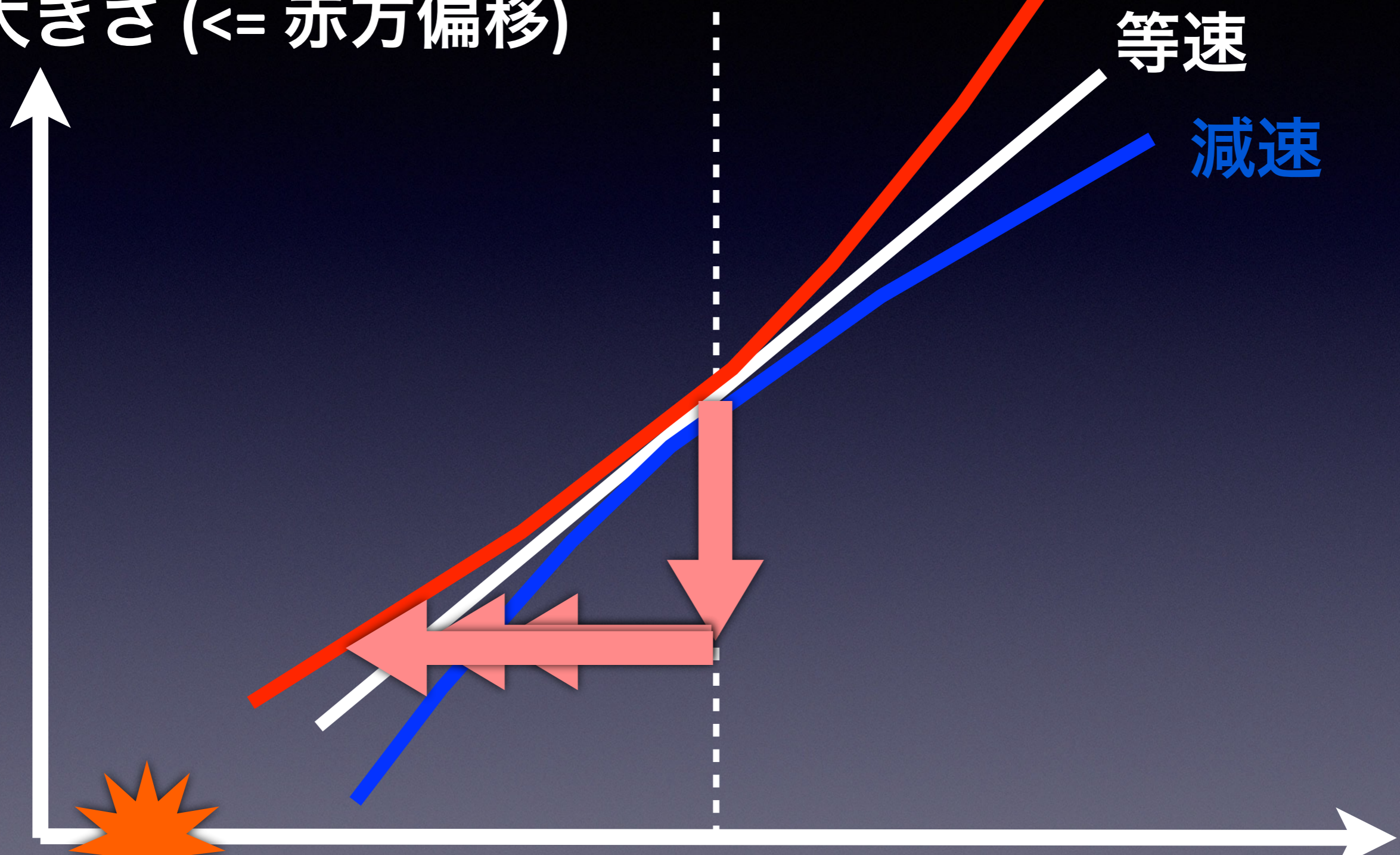
減速



ビッグバン

現在

時間 ( $\leq R/c$ )



# 2011年 ノーベル物理学賞



Photo: U. Montan

Saul Perlmutter



Photo: U. Montan

Brian P. Schmidt



Photo: U. Montan

Adam G. Riess

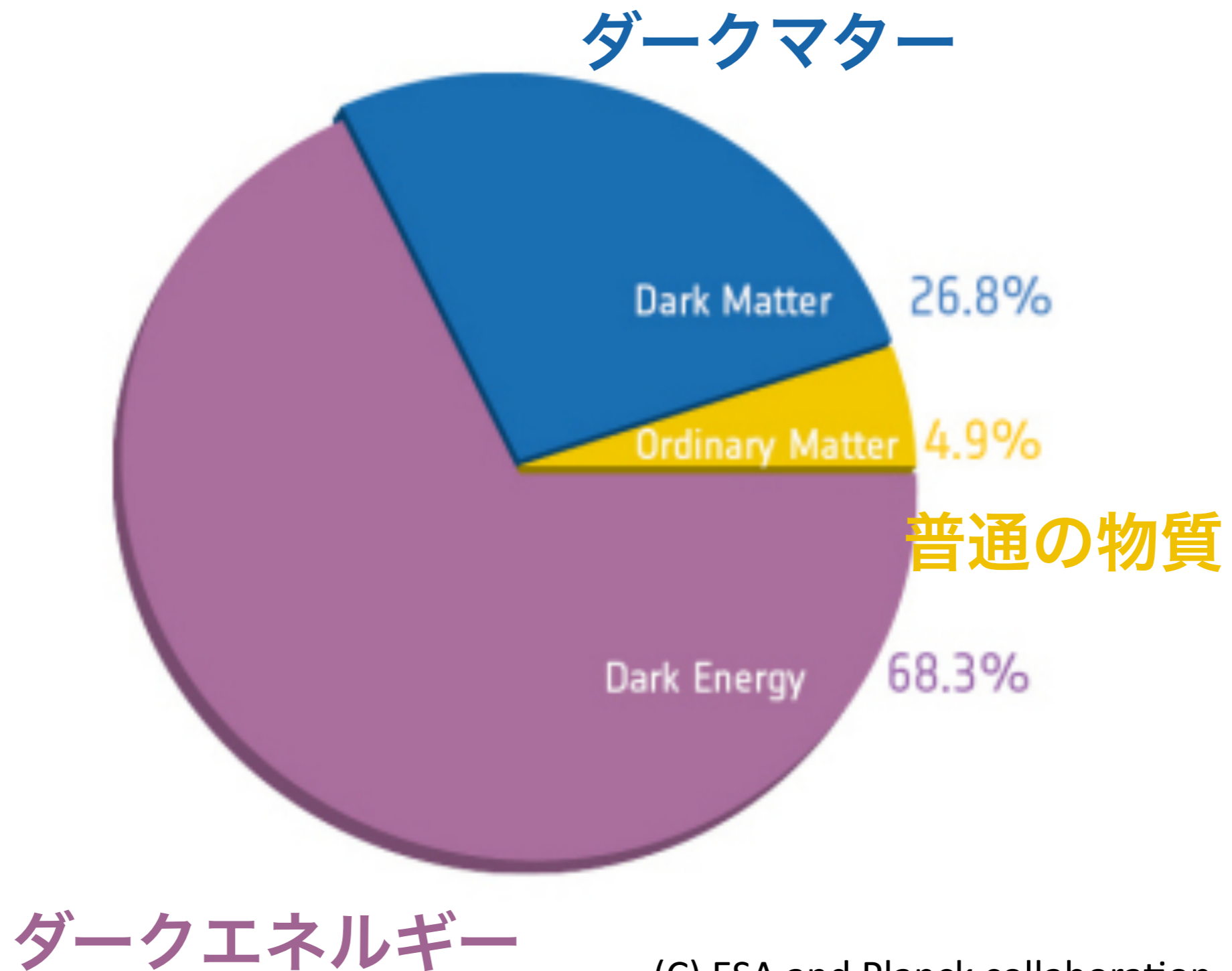
The Nobel Prize in Physics 2011 was divided, one half awarded to Saul Perlmutter, the other half jointly to Brian P. Schmidt and Adam G. Riess *"for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae"*.

超新星を使って宇宙の加速膨張を発見！

なぜ宇宙は加速的に膨張しているのか？

現代物理学最大の謎（**ダークエネルギー**）

# 宇宙の構成要素



(C) ESA and Planck collaboration

# まとめ

- **系外銀河**

- 渦巻銀河：星を作っている銀河、ガスがある
- 楕円銀河：星を作っていない銀河、ガスがない

- **宇宙膨張**

- ハッブルの法則：距離と後退速度の関係  
(遠い銀河ほど速い速度で遠ざかる)
- 宇宙は昔は「小さかった」  
=> 宇宙の大まかな年齢

# この講義の目標

## ● 物理系全体

- これまで勉強してきた物理を宇宙に応用して、宇宙の天体や天体現象の物理を大まかにつかむ
- 物理を使って手の届かないものの性質を概算できるようにする
- これから習う物理とその応用先を先取りして学ぶ

## ● 天文学コース

- 天体物理学の基礎を学ぶ

熱力学

3セメ

統計力学

5,6セメ

力学

1,2セメ

電磁気学

2,3セメ

宇宙物理学  
天体物理学

流体力学

4セメ

原子核物理学

7セメ

量子力学

4,5セメ

相対論

4,7セメ

# 期末試験 1/30 (火) 13:00 - 14:30

物理系講義棟 第1講義室301

## ● 持ち込み

- 自分で書いたノートとレポート  
物理定数表は当日配布します  
iPadなどでも良いですが、  
ネットには繋がらないように設定して下さい
- 電卓 (ネットに繋がらないもの = スマホはやめて下さい)

## ● 出題

- 講義でやったことの説明・確認 (~ 1/3)
- 実際の計算 (~1/3)
- 講義でやった内容の応用 (~1/3)