

宇宙は何からできている？



東京大学 大学院理学系研究科
物理学専攻 須藤 靖

ビッグバン宇宙国際研究センター 第4回公開講演会
「暗黒エネルギーと宇宙の過去・現在・未来」

2009年8月6日 10:30-11:00

東京大学オープンキャンパス@理学部一号館207号室

理科(科学)を学ぶ目的

- テストで良い成績をとるためではない
- 興味が持てない難しい質問の正解を無理やり覚えさせるためでもない
- 世の中には不思議な謎にあふれていることに気づくこと
 - 答えはわからなくてもいい
 - 自分で考えることの楽しさを知る

答えを知るより、謎に気づく心が大切

眼は、いつでも思った時にすぐ閉じることができるようにできている。

しかし、耳のほうは、自分では自分を閉じることができないようにできている。

なぜだろう。

(大正十年三月、渋柿)

寺田寅彦 1878年11月28日～1935年12月31日

高知県出身

東京帝国大学物理学教授

試験の成績と研究能力は違う

- 大学(院)入学までに行う試験での評価基準
 - 正解が存在することがわかっている問題を
 - 決められた時間内に
 - 一人だけで何も見ず
 - すべての科目を万遍なく正解する
- これらは研究の現場とはすべて「矛盾する」制約
 - 試験での秀才が必ずしも優れた研究者にはなっていない
- 人間の才能は1次元に数値化できるものではなく、多次元空間で表現すべきもの
 - 必ずしもすべてに(とびぬけて)優秀である必要はない
 - 何でも良いから余人をもって代えがたい度合いが重要
- ただし研究が好き・楽しめることが大前提

文学部と天文学

- 「文学部か、いいなあ」
- 「え、どうしてです」
- 「思い残すことがないでしょう」

私は《文学部しかない》と決めていて、それが何のためとは思わなかった。しかし、勉強が、それ自体のためというより、ステップであるということも当然あるわけだ。いや大学という存在の《機能》を考えたら、そちらの方が自然なのかもしれない。

北村薫『六の宮の姫君』(東京創元社)

文学部と天^{ぶん}文学

- 「天文学か、いいなあ」
- 「え、どうしてです」
- 「思い残すことがないでしょう」

私は《天文学しかない》と決めていて、それが何のためとは思わなかった。しかし、勉強が、それ自体のためというより、ステップであるということも当然あるわけだ。いや大学という存在の《機能》を考えたら、そちらの方が自然なのかもしれない。

夜空のムコウ

この青空のムコウに何があるのだろうか



アイザック・アシモフ著 「夜来る」



イラスト：羽馬有紗

- 2000年に一度しか夜が来ない“地球”の人たち
- 自分たちの“地球”と宇宙との関係は？

皆既日食 2009年 7月22日 硫黄島沖(ぱしふいっく びいなす 船上)にて

国立天文台ホームページより



撮影時刻:2009年7月22日, 11時31分 [JST] 地球照による月面の模様が見えている

口径10.1cm屈折望遠鏡 (BORG 101ED F6.3, $f=640\text{mm}$), 赤道儀:ビクセン GP

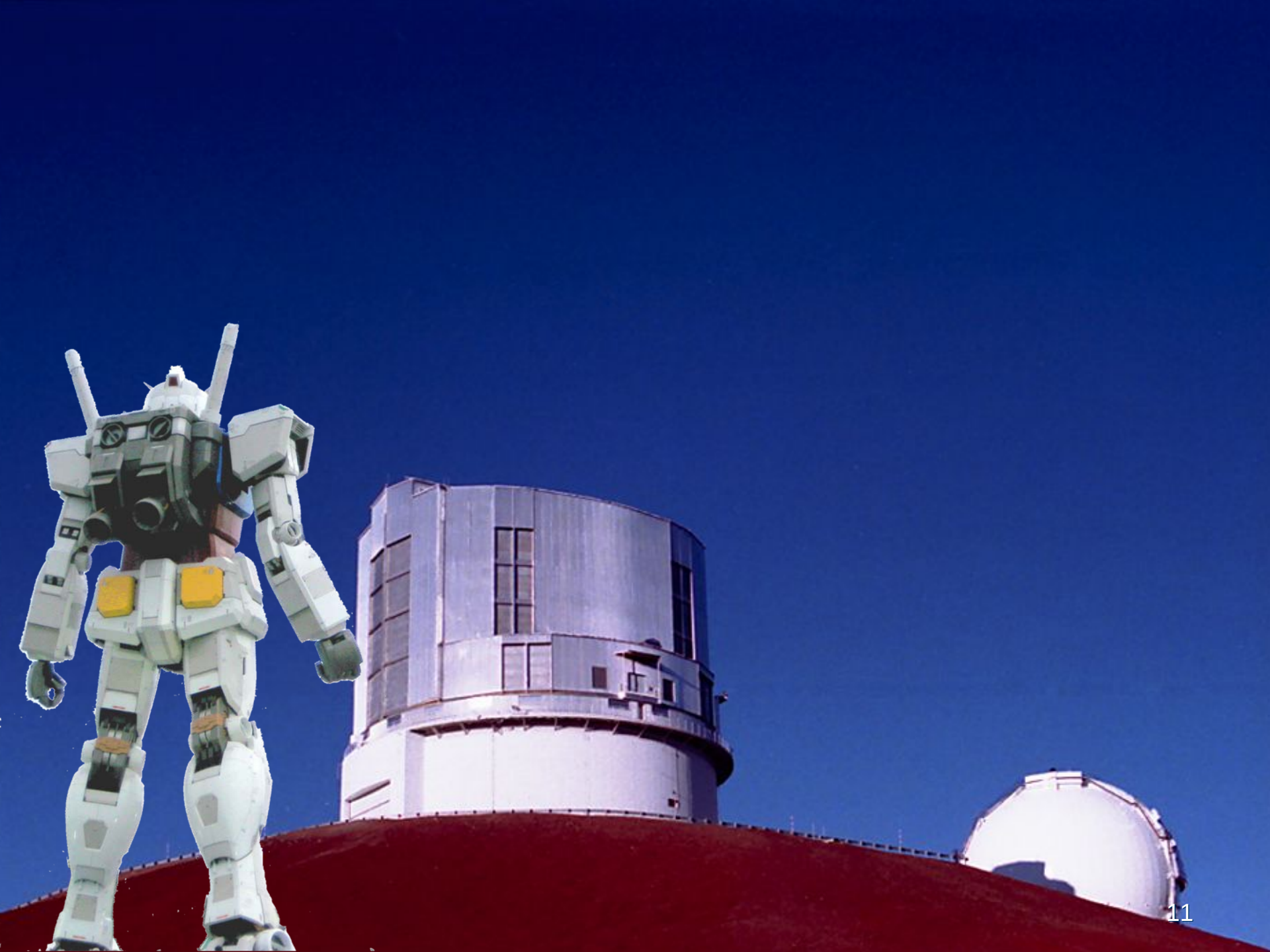
カメラ:ニコン D700 (ISO800), 露出時間:1/2000~1/8秒

画像処理:9フレームを加算合成, ローテーション・グラディエント処理, その他

撮影場所:硫黄島近海

撮影:福島英雄, 宮地晃平, 片山真人 画像処理:福島英雄

Hideo Fukushima, A. Miyachi and M. Katayama



この銀河宇宙の果てに何があるのだろうか

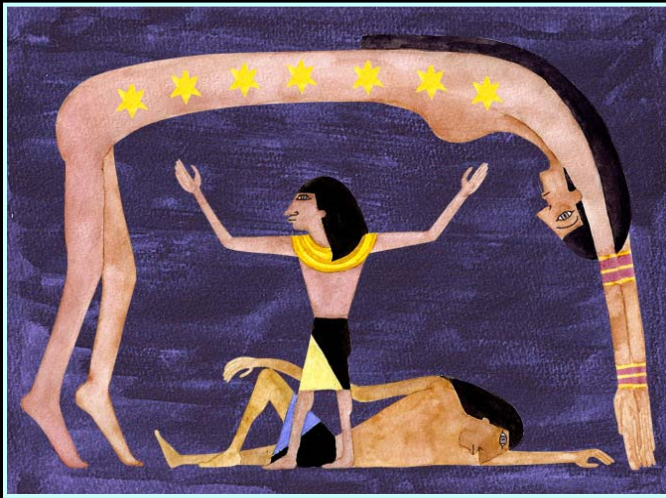


Seldner, Siebers,
Groth, and Peebles,
1977, AJ, 82, 249.

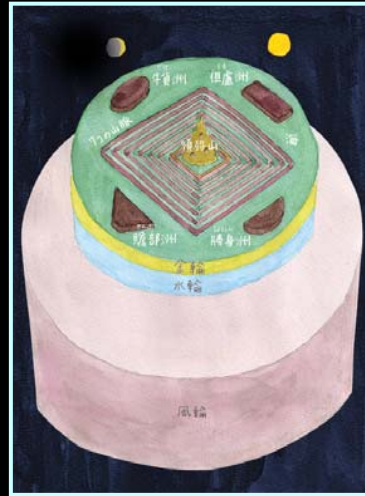
宇宙ってどうなっているんだろう？

■ 見えない先はどうなっているのか

古代エジプト



仏教



古代インド

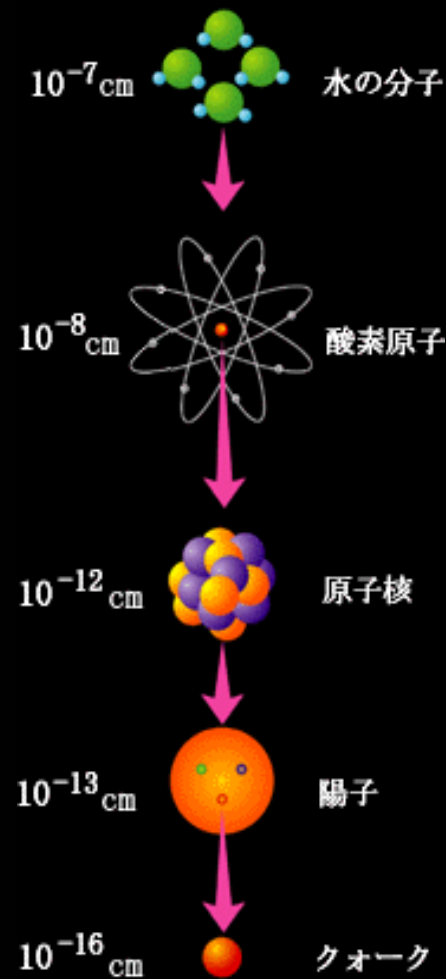
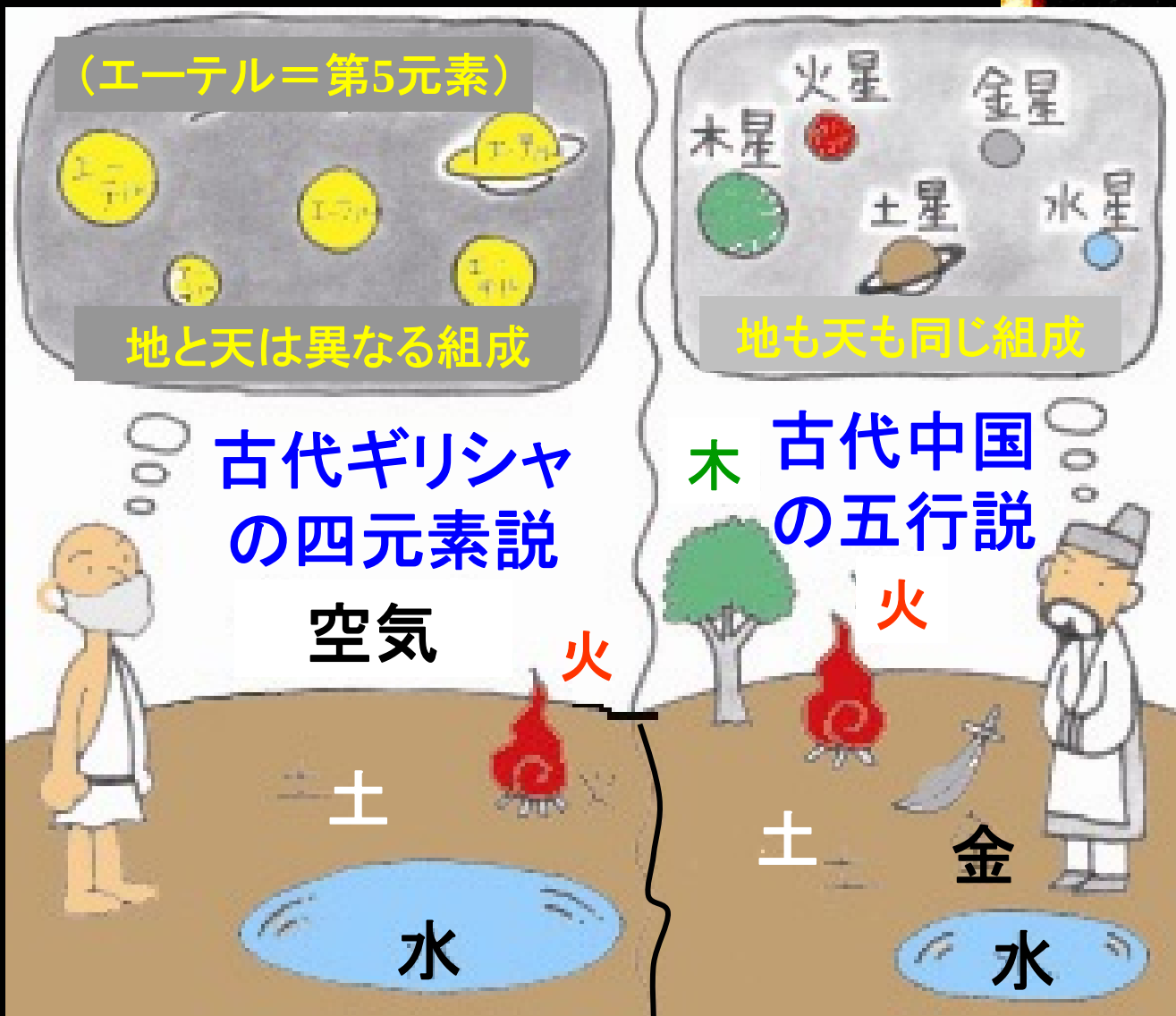
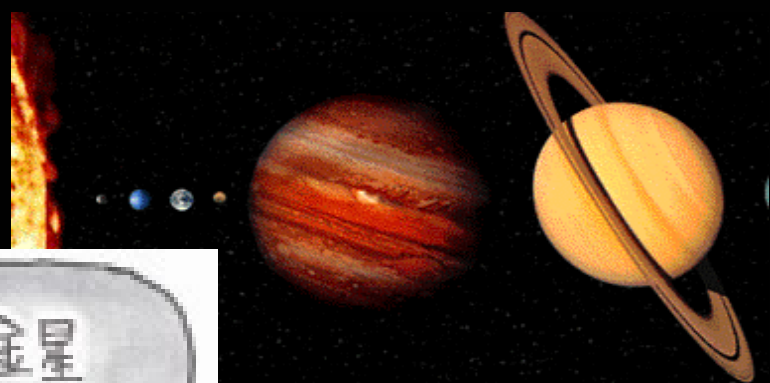


イラスト：羽馬有紗

■ みんな知りたいのに答えが(まだ)ない謎

- 宇宙は何からできているか？
- もう一つの地球はあるか？
- 生物はどうやって生まれたのか？

自然界に思いをはせる

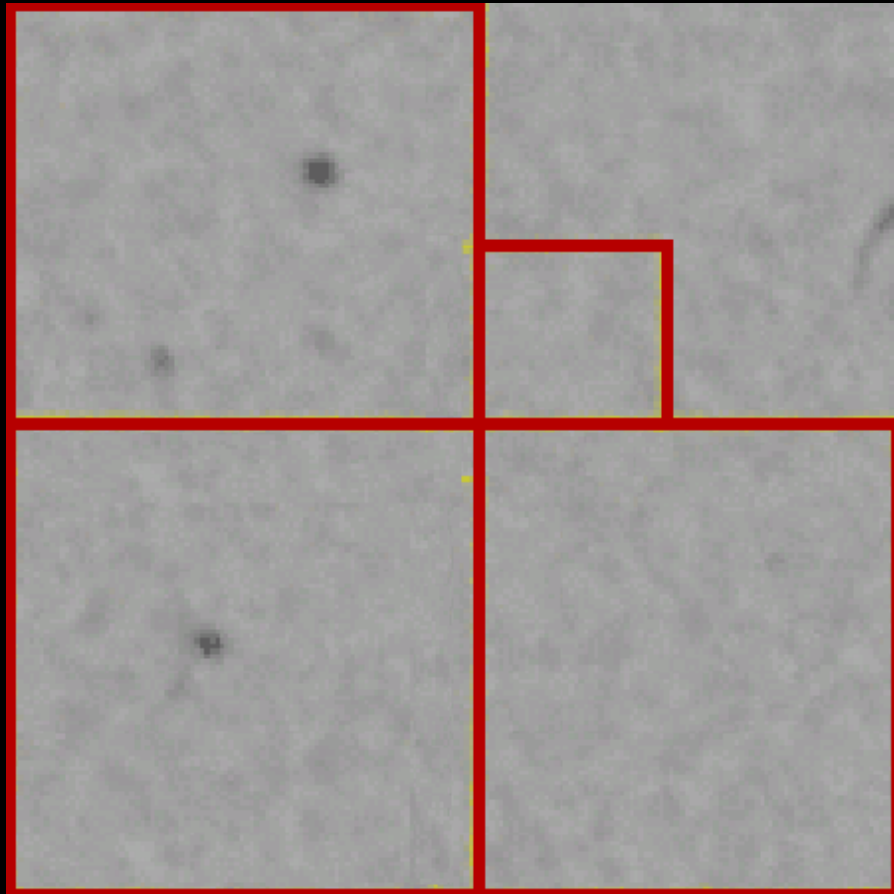


(いずもり よう:須藤靖「ものの大きさ」図1.1より)

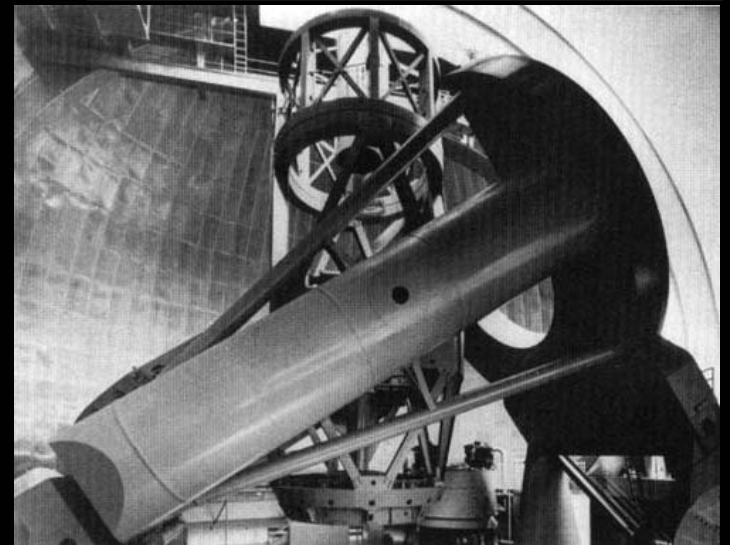
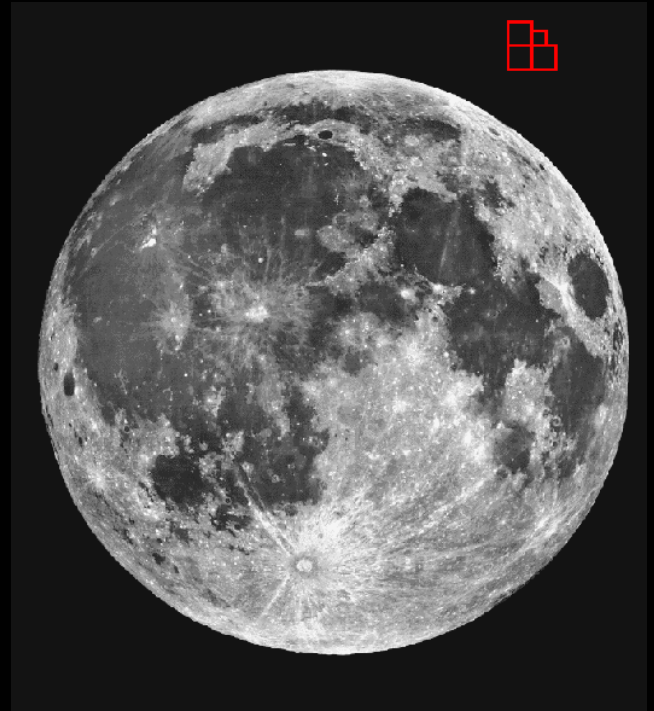
我々の世界をもっとよく知りたい

- **微視的世界**: 物質は何からできているのだろうか？
 - 分子⇒原子⇒原子核⇒素粒子(クォーク・レプトン)
 - これ以外の物質(素粒子)は存在しないのか？
- **巨視的世界**: 宇宙の果てには何があるのだろうか？
 - 地球⇒太陽系⇒星団⇒銀河⇒銀河団⇒宇宙
 - 宇宙の大きさ(＝年齢)はどのくらいだろう
 - さらに遠く(＝過去)の宇宙はどうなっているのだろうか
 - 宇宙を占めている物質は、我々がすでに知っている微視的世界の構成要素と同じなのだろうか

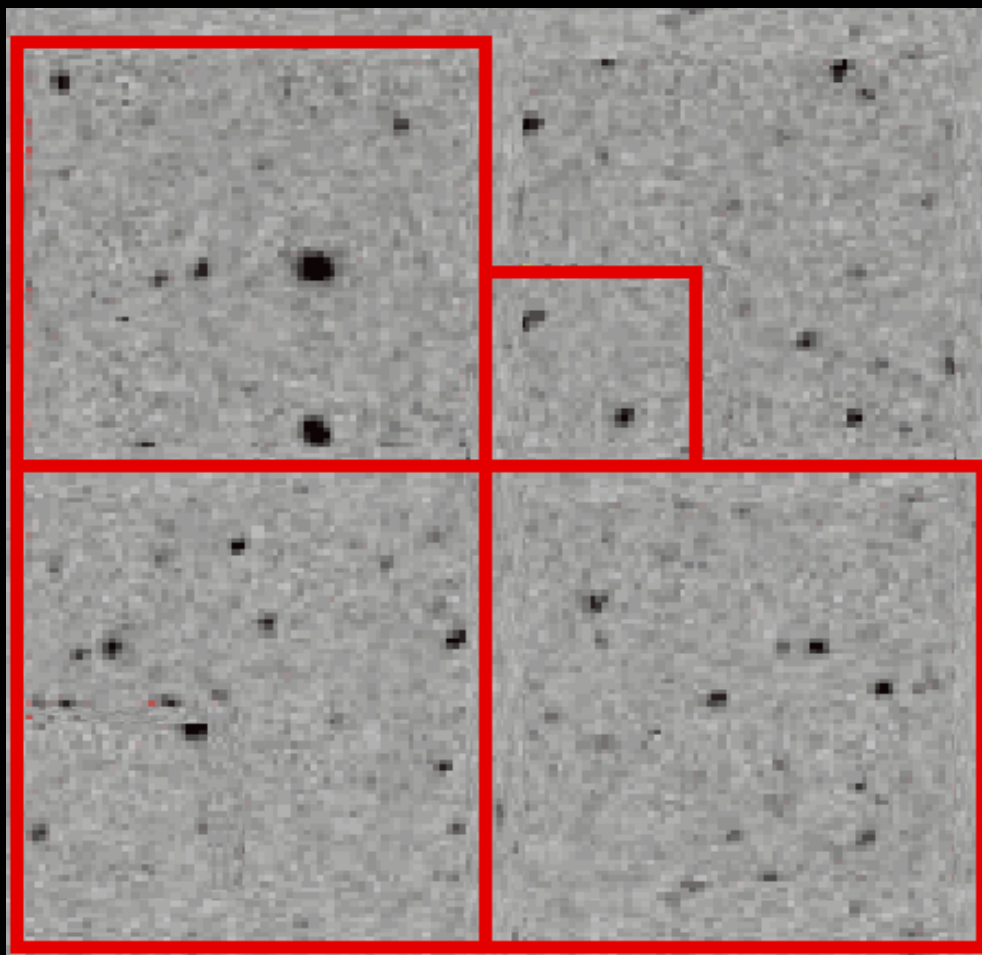
宇宙を見る目の進歩 (1)



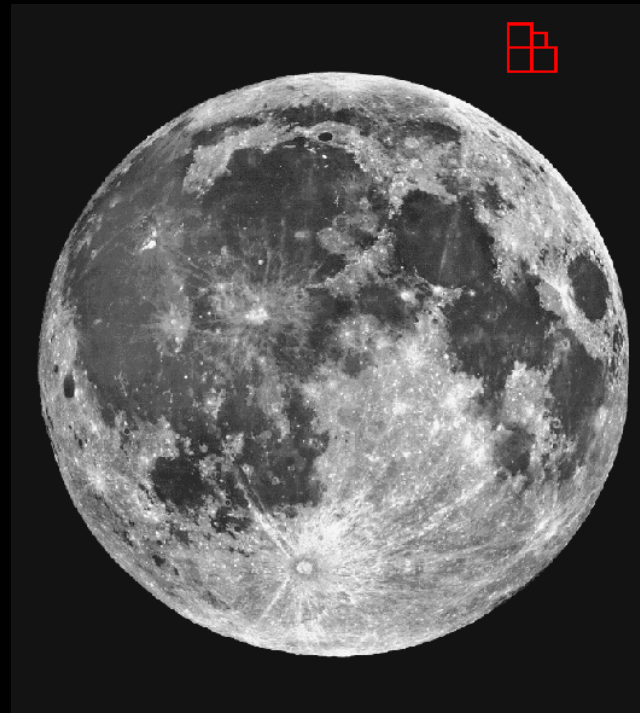
地上5m望遠鏡＋写真乾板
100万×人間の眼



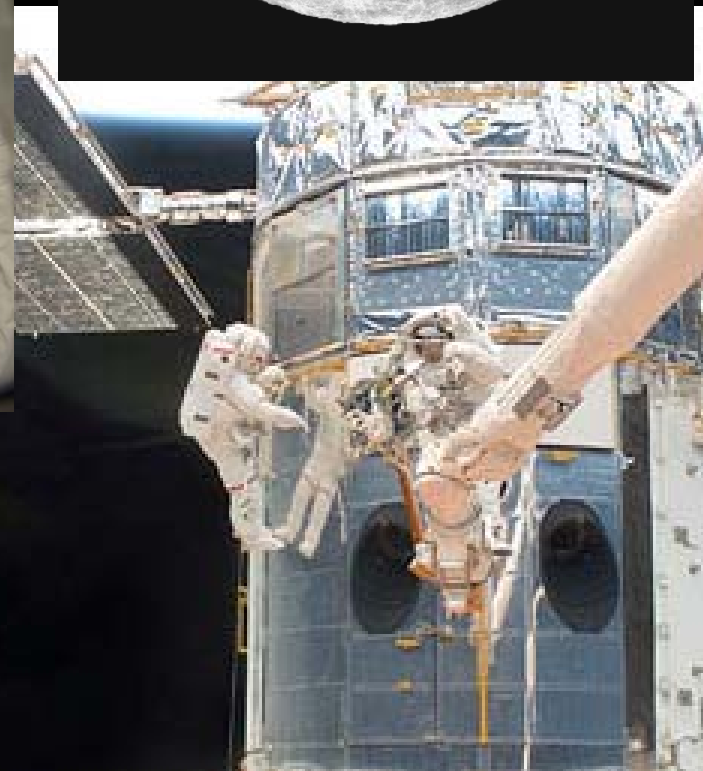
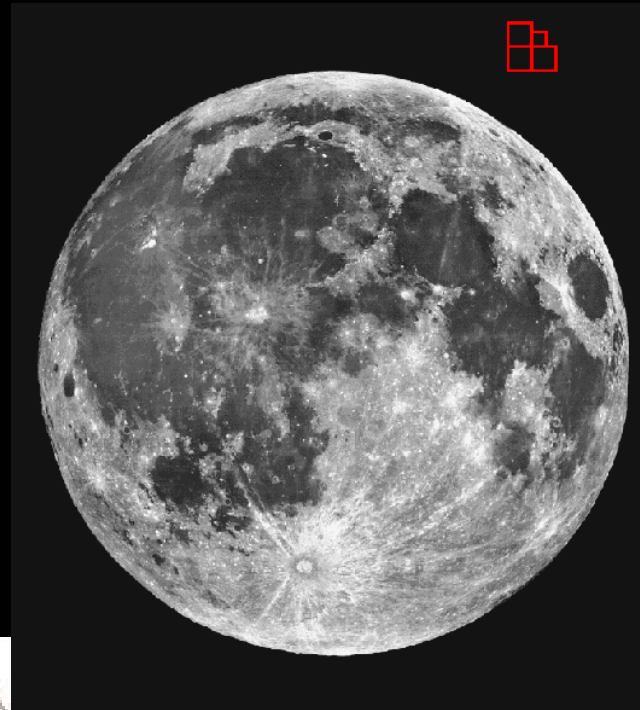
宇宙を見る目の進歩 (2)



地上4m望遠鏡+CCD:
100×写真乾板



宇宙を見る目の進歩 (3)



ハッブル宇宙望遠鏡

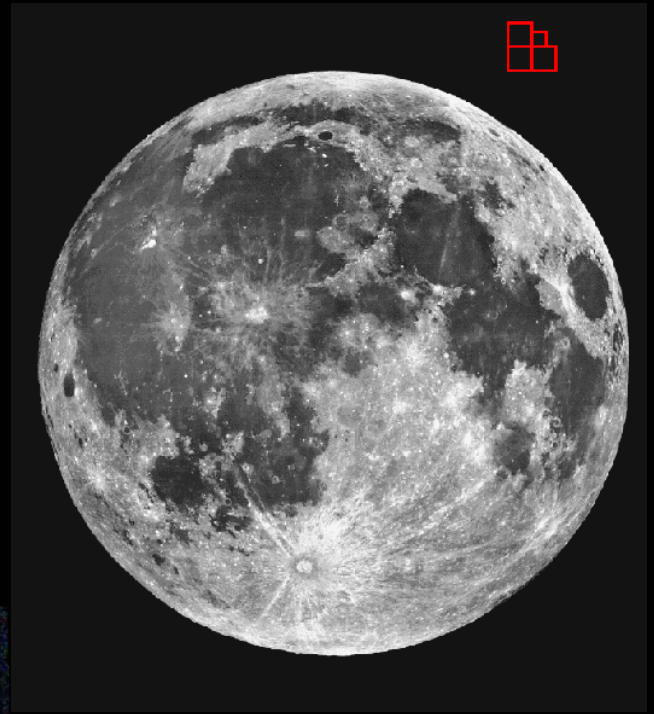


Hubble Deep Field

ST ScI OPO January 15, 1996 R. Williams and the HDF Team (ST ScI and NASA)

HST WFPC2

ハッブル宇宙望遠鏡+CCD:
1000×地上望遠鏡



宇宙を満たしていながら
見えないもの
準主役

ダークマター

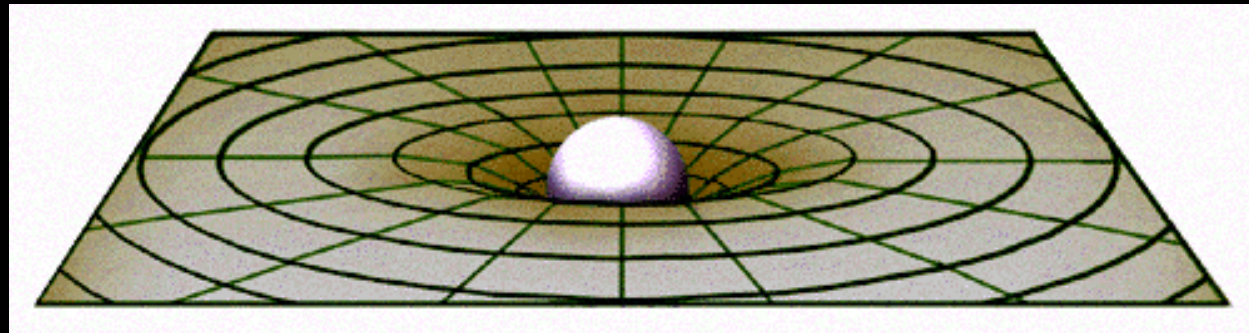
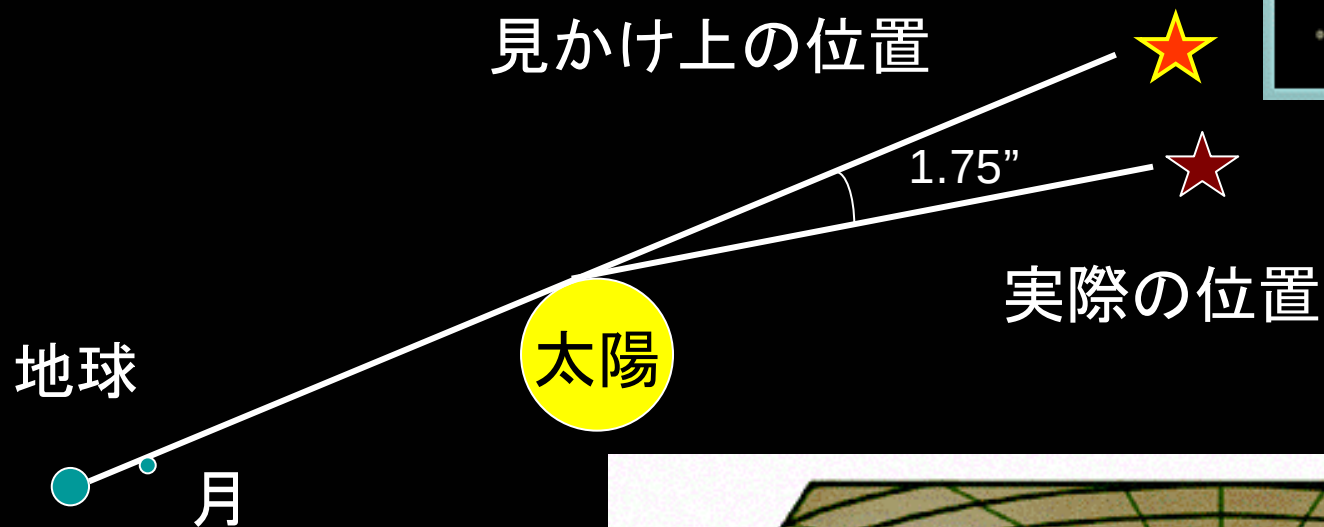
宇宙のダークマター

- 実は、光り輝く天体の周りには光ることのないダークマターが満ちている
- ダークマターの存在は、その周囲を通過する光の軌道を変化させる
 - アインシュタインの一般相対論にもとづく重力レンズ効果によって実証されている
- その正体は、未発見の素粒子であると考えられている(天文学による微視的世界の発見)

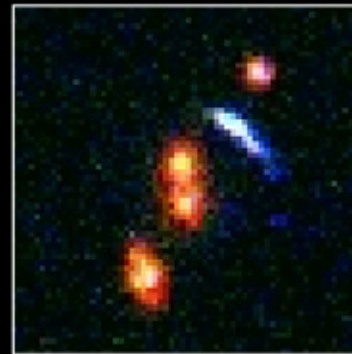
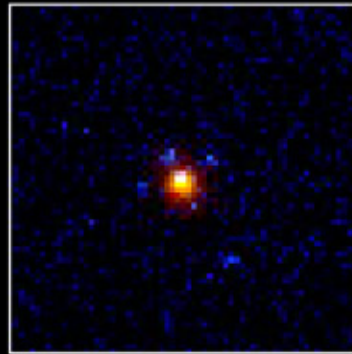
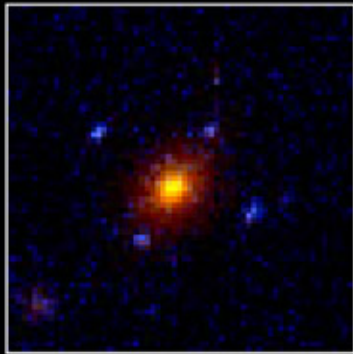
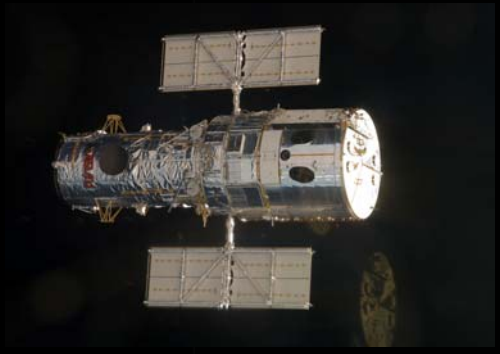
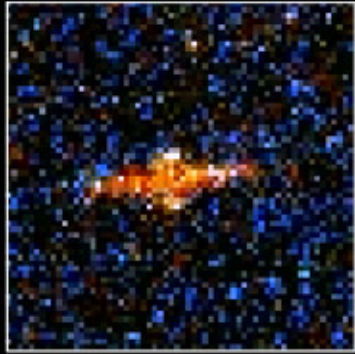
重力＝時空の曲がり

THE EINSTEIN FIELD EQUATION

$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$



重力レンズの観測例(ハッブル望遠鏡)



Gallery of Gravitational Lenses

PRC99-18 • STScI OPO • K. Ratnatunga (Carnegie Mellon University) and NASA

HST •

100億光年先からの一般相対論的蟹気楼 (SDSS J1004+4112)



2003年に東京大学の稲田直久と大栗真宗がSDSSで発見、すばるで確認
Inada et al. Nature 426(2003)810

銀河団周辺の重力で光線が曲げられ、
みかけ上5つの異なる天体をつくる
(ダークマターの存在)

98億光年先にある
クエーサー(中心に
ブラックホール)

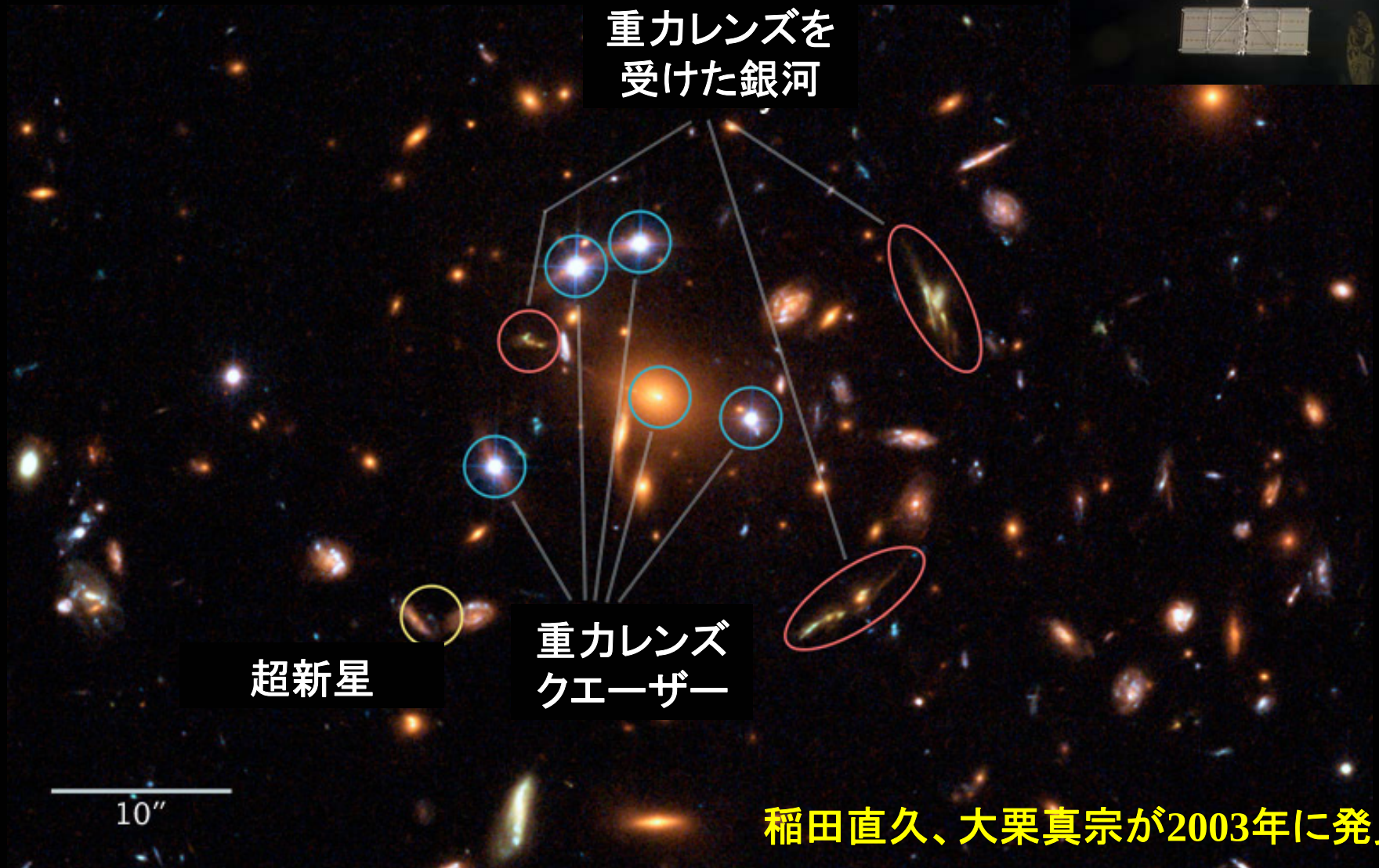
62億光年先にある
銀河団まわりの
ダークマター



重力レンズ天体
SDSS J1004+4112 :
一般相対論的蜃気楼



ハッブル宇宙望遠鏡で観測した SDSS J1004+4112



稲田直久、大栗真宗が2003年に発見

夜空はダークマターで満たされていた



宇宙を満たしていながら
見えないものの
本当の主演

ダークエネルギー

宇宙の加速膨張とダークエネルギー

■ 宇宙の将来はどうなるか？

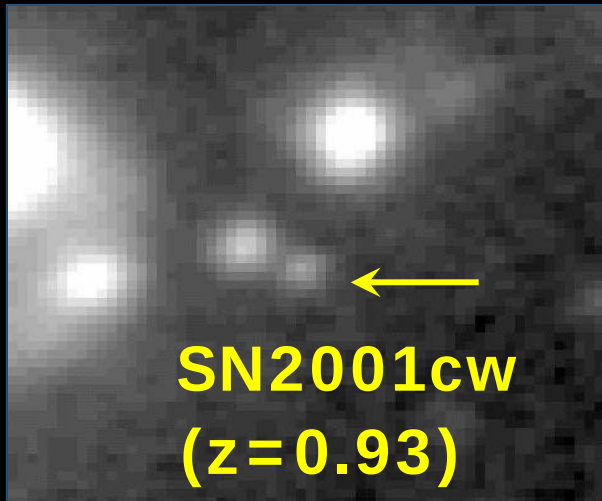
- 宇宙は膨張している（ハッブルの法則、1929年）
- さらに時間軸に沿った精密な観測をすることで膨張の加速度の符号がわかる
- 重力は常に引力なので当然減速するはず？
- しかし宇宙は「加速膨張」していた！（1998年）

■ 引力である重力を打ち消すことが必要

- 普通の物質ではあり得ない、つまり非常識な結果
- 万有斥力を及ぼす奇妙な実体（ダークエネルギー）??

宇宙の標準光源(ろうそく): Ia型超新星

見かけの明るさ: F



SN2001cw
($z=0.93$)

真の明るさ: L



Ia型超新星

距離: D

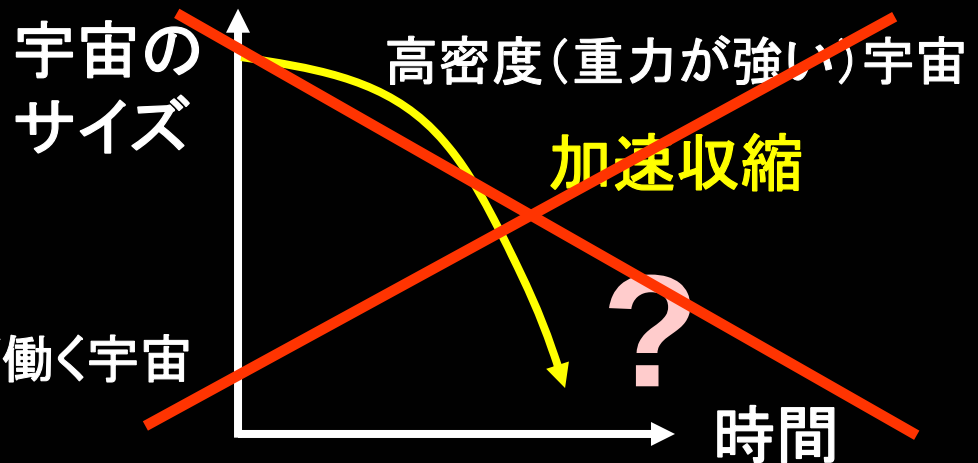
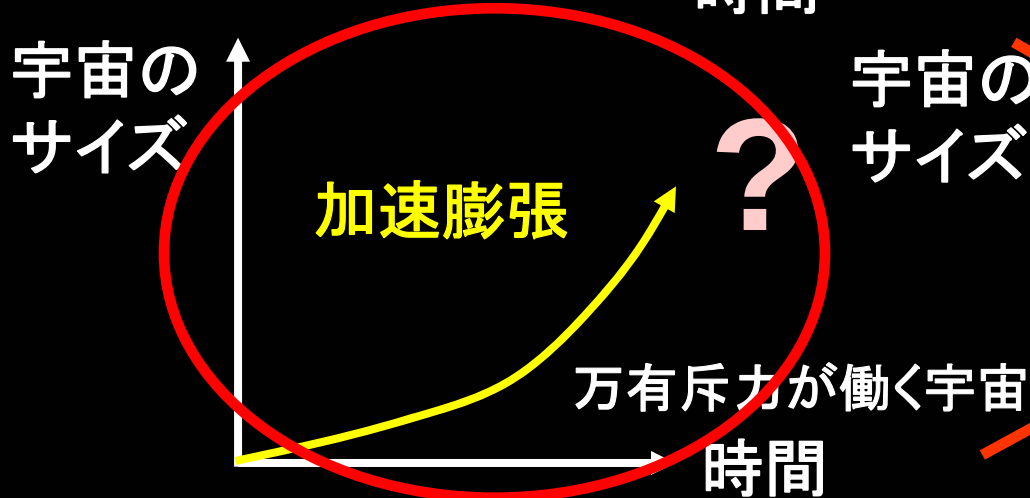
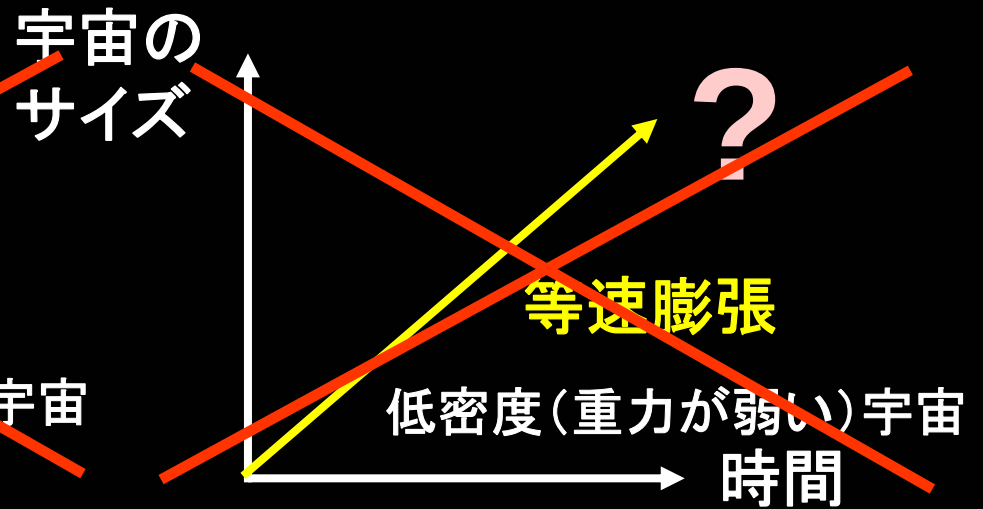
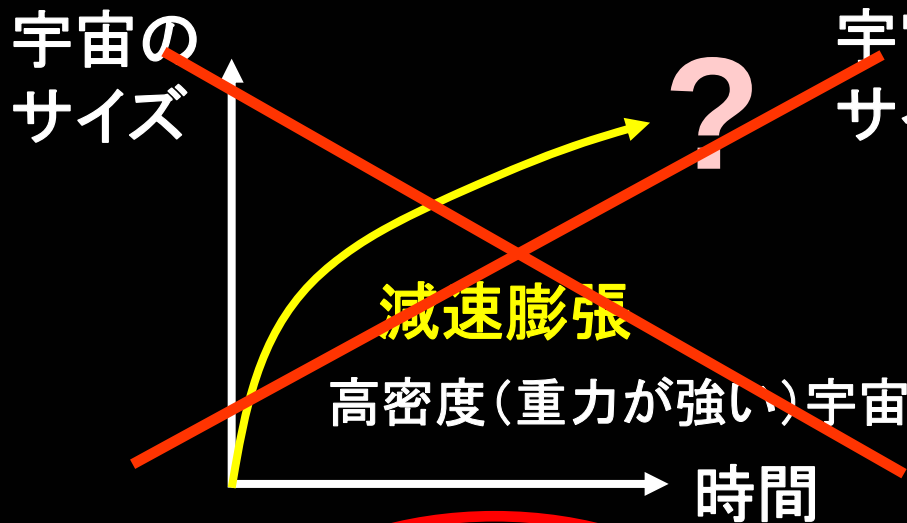


$$D_L = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

超新星までの距離がわかると、その時刻での宇宙膨張の加速度を推定できる

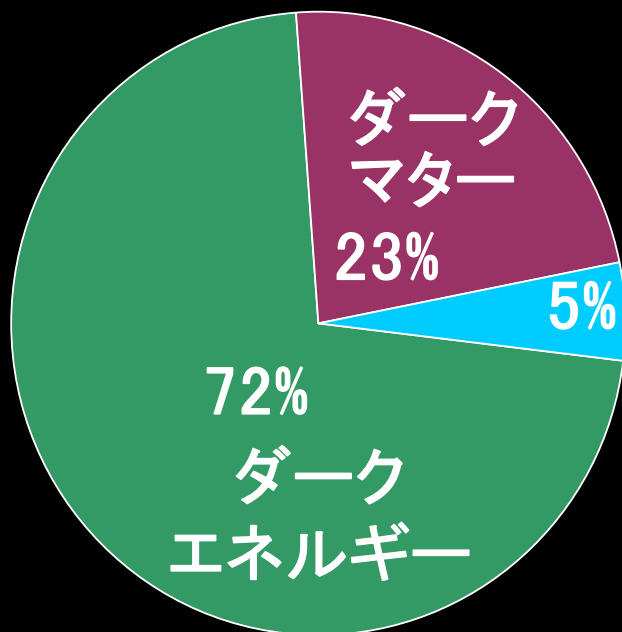
宇宙の組成と宇宙膨張の未来

- 宇宙膨張の進化の観測を通じて、宇宙を一様に満たしている成分の存在が検出できる



宇宙は何からできている？

宇宙の組成



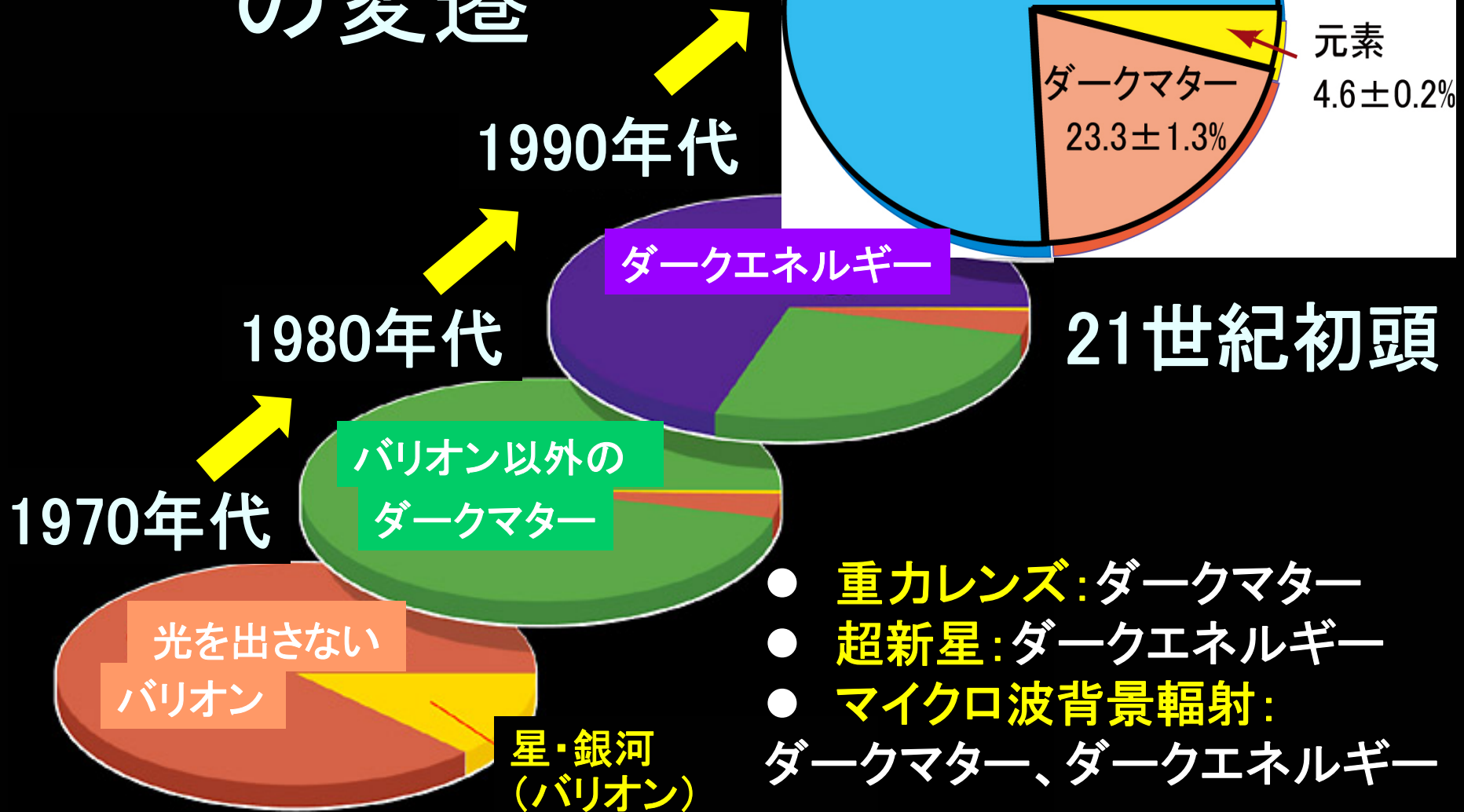
- 銀河・銀河団は星の総和から予想される値の10倍以上の質量
- 未知の素粒子が正体？

通常の物質(元素)

- 現時点で知られている物質は実質的にはすべて元素(陽子と中性子)からなる

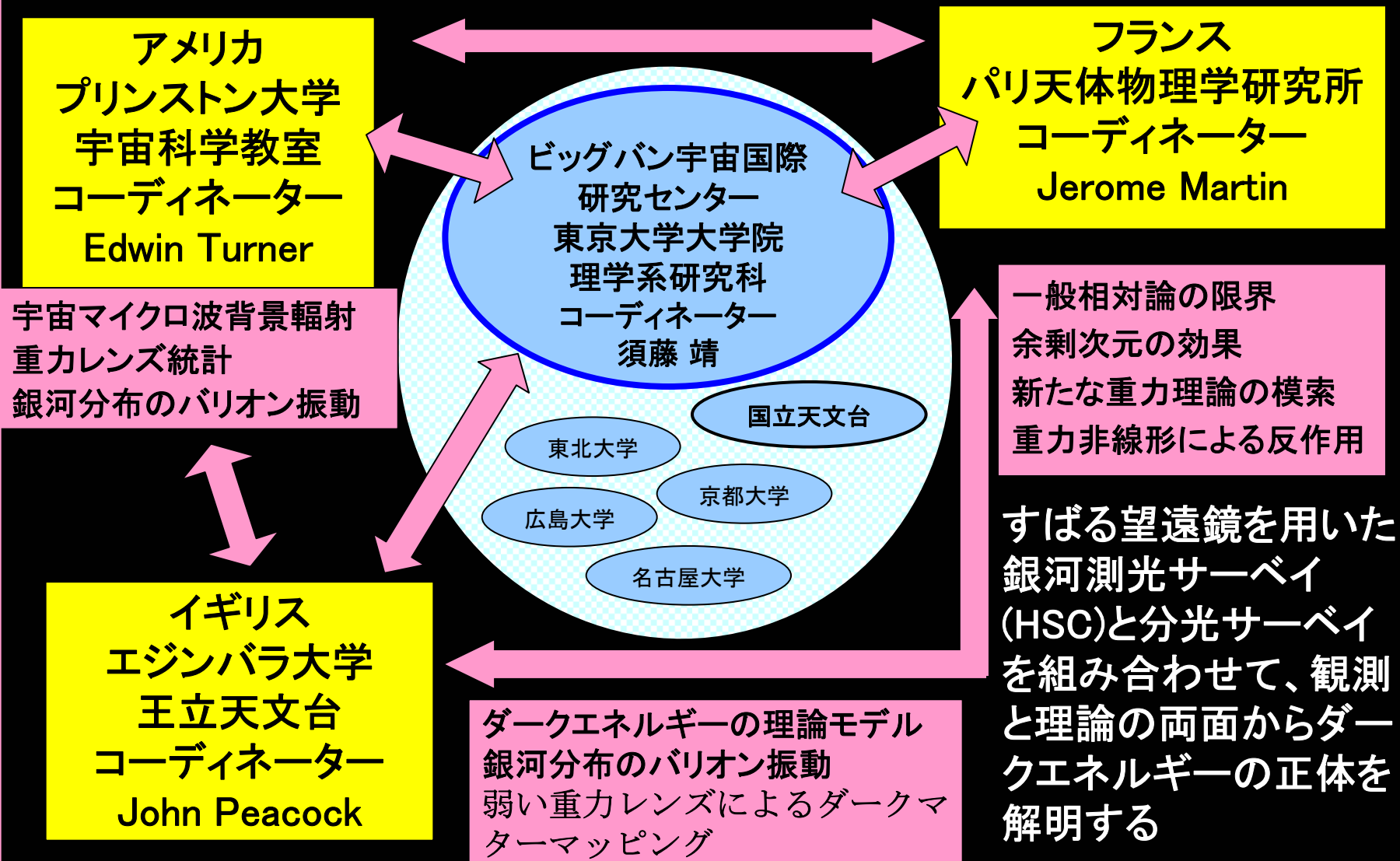
- 万有斥力(負の圧力)
- アインシュタインの宇宙定数？
- 宇宙空間を一様に満たしている
- ダークマターとは異なり空間的に局在しないが、宇宙の主成分

宇宙の組成観 の変遷



ダークエネルギー研究国際ネットワーク

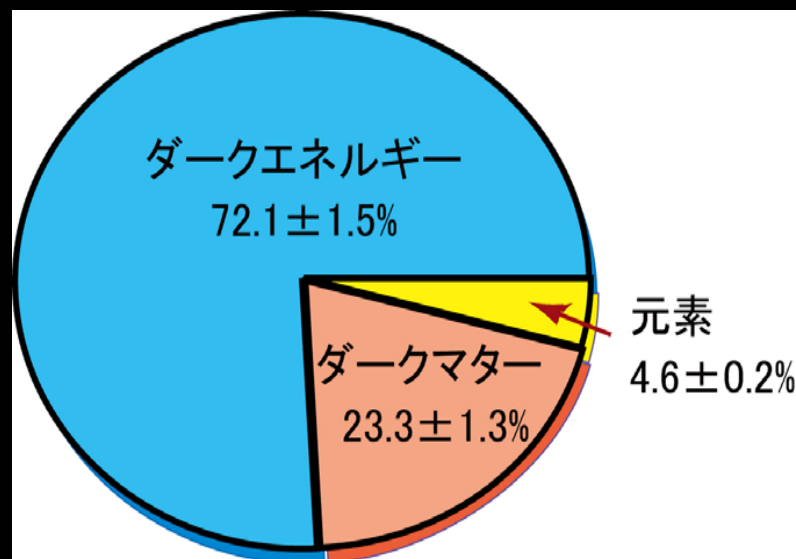
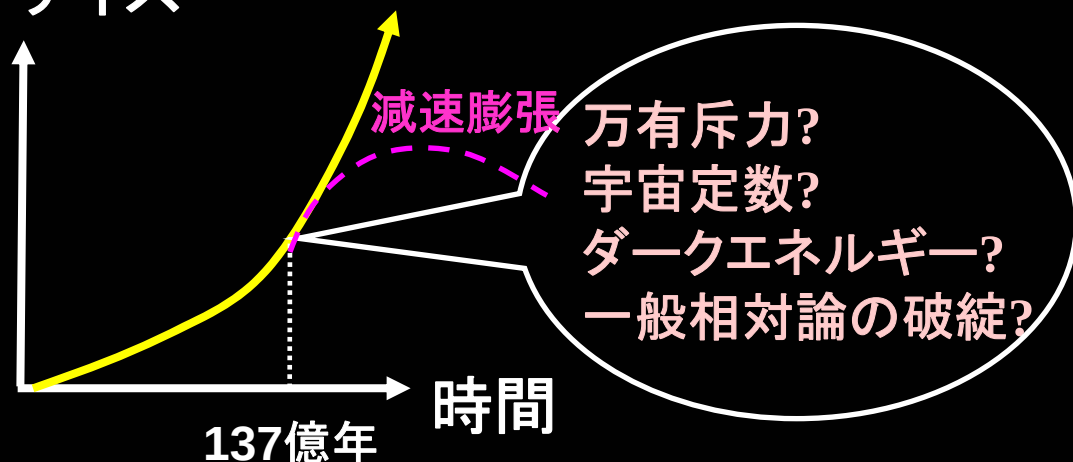
日本学術振興会先端拠点形成事業 2007-2011



宇宙の95%は正体不明

宇宙の
サイズ

宇宙の加速膨張



■ ダークエネルギーの正体は何か？

■ 万有斥力を及ぼす奇妙な物質(ダークエネルギー)?

- アインシュタインの宇宙定数 (1917年)?

- 「真空」がもつエネルギー? 21世紀のエーテル?

■ 宇宙論スケールでの一般相対論(重力法則)の破綻

■ いずれであろうと21世紀の科学を切り拓く鍵

この青空の向こうには
無数の星々
がきらめいている



この銀河宇宙には
ダークマターとダークエネルギー
が満ちている



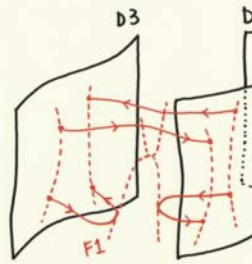
ダークエネルギーごしに見る夜空の向こうに もう一つの地球・世界・宇宙 があるかも知れない

UT UNIVERSITY OF TOKYO
Physics・2

Dブレーン

超弦理論の高次元物体が

橋本幸士—[著]



$$\mathcal{L} = -\frac{1}{2g^2} \text{tr}(F_{\mu\nu} F^{\mu\nu})$$

世界は膜で

究極理論に興味を抱くすべての読者に——
物理学の魅力を伝える新シリーズ

UT UNIVERSITY OF TOKYO
Physics・1

ものの大きさ

自然の階層・宇宙の階層

須藤 靖—[著]



宇宙の存在は偶然なのか、 必然なのか？

自然や宇宙に関心のあるすべての読者に——
物理学の魅力を伝える新シリーズ刊行開始

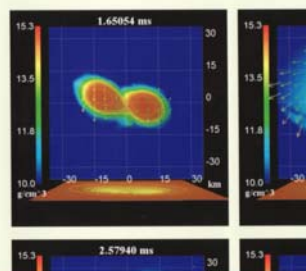
東京大学出版会

UT UNIVERSITY OF TOKYO
Physics・3

一般相対論の 世界を探る

重力波と数値相対論

柴田 大—[著]



ブラックホールな

観測と理論をつなぎ、宇宙の謎にせま
物理学の魅力を伝える好評シリーズ

UT UNIVERSITY OF TOKYO
Physics・4

銀河進化の謎

宇宙の果てに何をみるか

嶋作一大—[著]



140億年の旅によろこ

宇宙の歴史の95%がたどれるようになった今、
明らかになる銀河の姿とは？
その謎と魅力に迫る

東京大学出版会

物理学科コミュニケーションスペース

- 講義室を出たところにある201b号室が、物理学科のコミュニケーションスペースとなっています
- 大学生，大学院生と気軽に話ができるようにしていますので、興味があればぜひとも覗いてみてください