

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3回公開講演会

「暗黒エネルギーと宇宙の未来」

2008年7月31日 10:30-11:10/14:00-14:40

東京大学オープンキャンパス@理学部一号館233号室

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2008j.html

夜空のムコウ

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

なぜ宇宙を見ることが出来る？

- 夜空が暗いからこそ天体が見える、我々の世界を理解できる (Isaac Asimov: *Nightfall*)
- 星や銀河は輝いているから存在がわかる
- 「暗いところには何も無い」ことを証明できるか？
 - 漆黒の粒子が集積した結果、光を隠しているのでは？ (de Selby in Flann O'Brien: *The Third Policeman*)
 - 真の暗闇を撮影できるか(=ダークエネルギーの観測)
 - 完全な静寂を録音できるか(小林康夫と坂本龍一の対談 UP2008年2月号)
- 宇宙を満たしているものは何か？認識しうるか？

青空しか知らないとこの世界だけが
唯一の存在のように思ってしまう

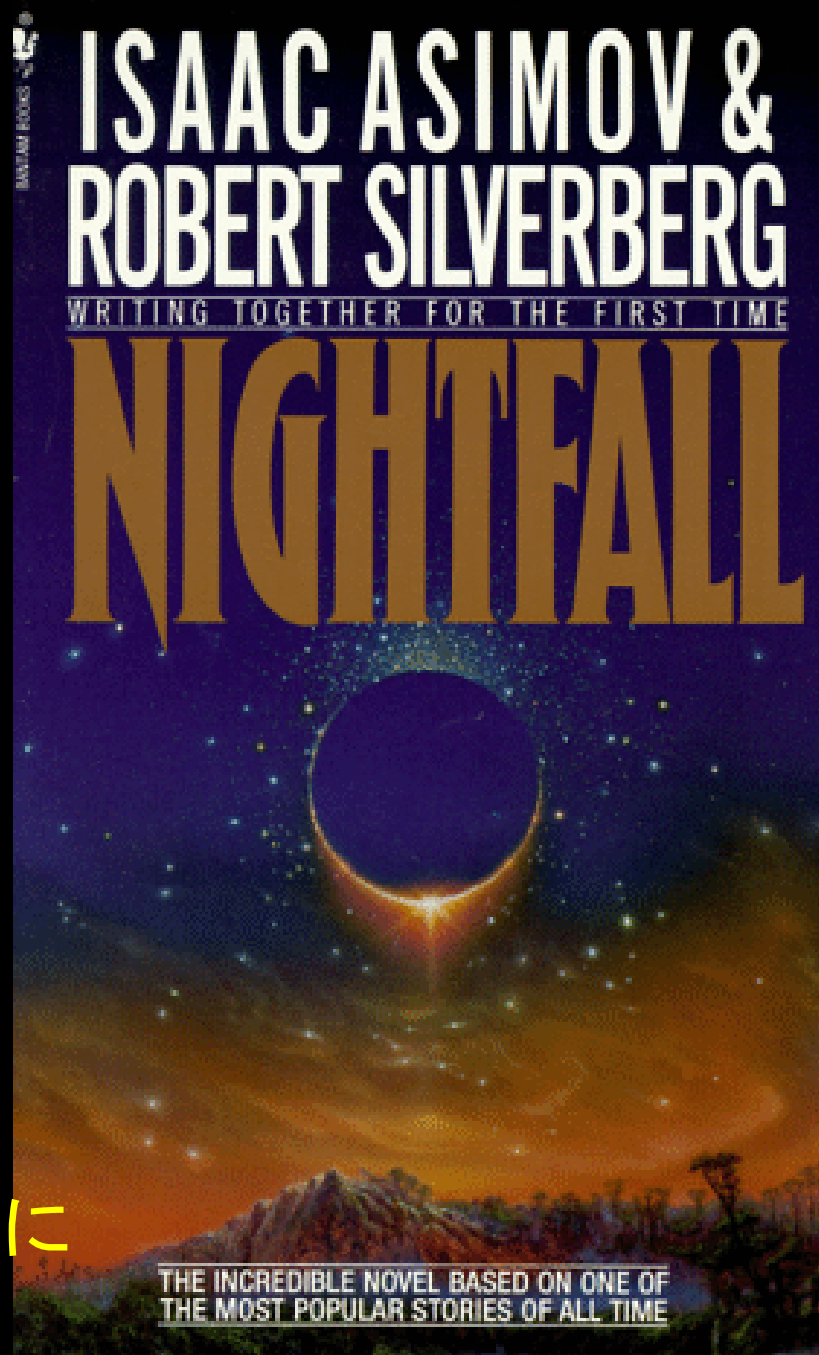


(すばる観測所、田中壱氏撮影)

夜来たる



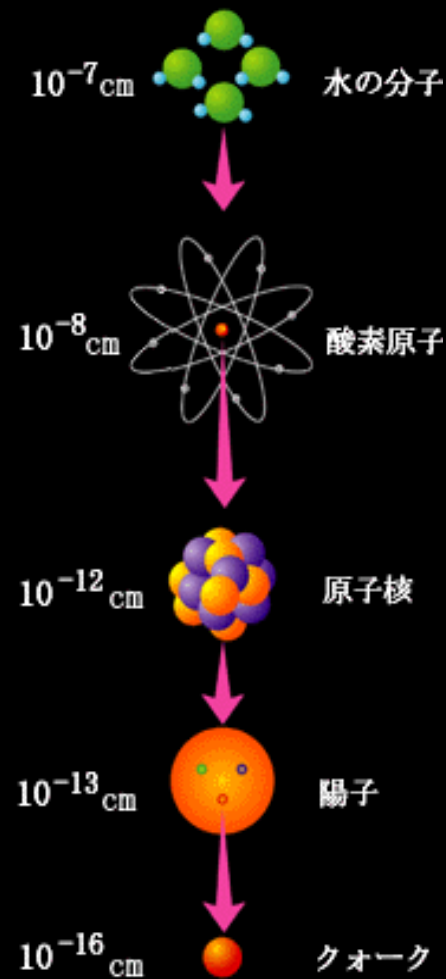
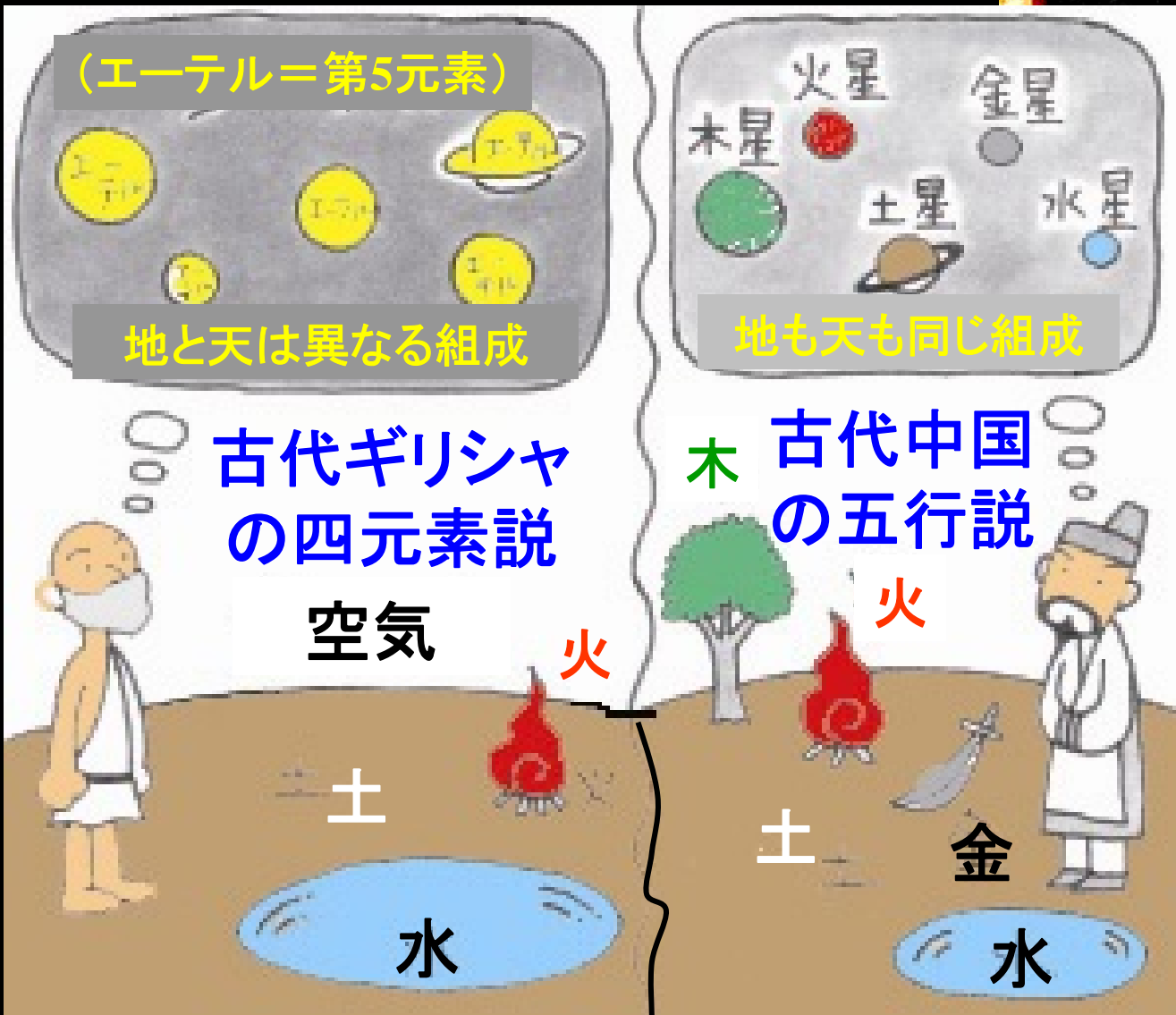
6つの太陽をもつ惑星ラガッシュに
二千年に一度の夜が訪れる



「我々は何も知らなかった」

(すばる観測所、田中壺氏撮影)

夜空のムコウを通じて 自然界に思いをはせる



(いずれも 須藤靖「ものの大きさ」図1.1より)

ものは何からできているのだろうか？

■ 古代ギリシャの4元説

- 空気、土、火、水

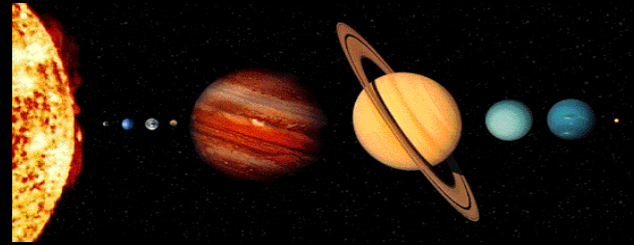
■ 中国の五行説

- (木、火、土、金、水)
× (陽、陰)

- これが日本で用いられている惑星と曜日の名前の由来

■ 現代物理学

- 分子⇒原子⇒原子核(陽子・中性子)⇒素粒子(電子、ニュートリノ、クォーク・レプトン)



日月火水木金土

	陽	陰
木	きのえ 甲	きのと 乙
火	ひのえ 丙	ひのと 丁
土	つちのえ 戊	つちのと 己
金	かのえ 庚	かのと 辛
水	みずのえ 壬	みずのと 癸

天文学・宇宙物理学共通の目標：

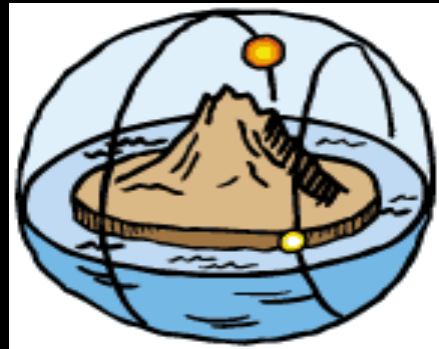
夜空のムコウの世界を探る

■ 我々の世界はどうなっているかを解き明かす

古代エジプトの宇宙像



古代中国の宇宙像



古代インドの宇宙像



<http://www.isas.ac.jp/kids/firstlook/index.html>

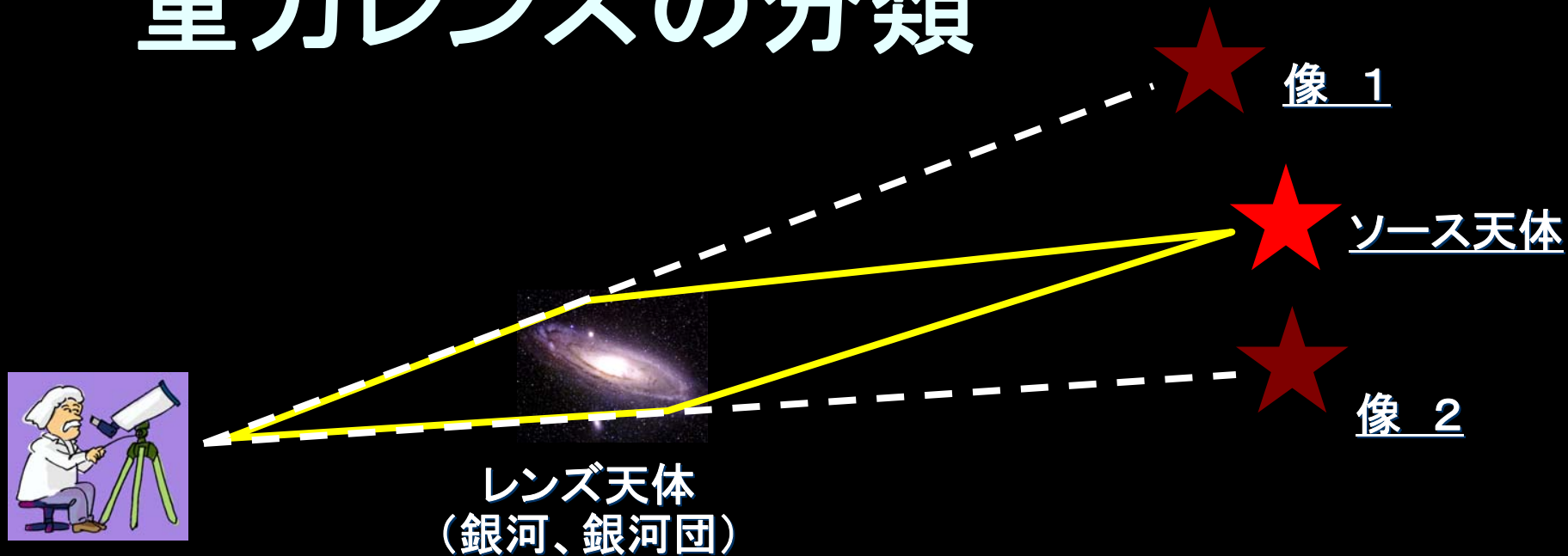
■ 直接役に立つわけではなくとも人生を豊かにしてくれる本質的な疑問に挑戦する

- 宇宙は何からできているか？（宇宙論）
- もう一つの地球はあるか？（太陽系外惑星研究）
- 生命はいかにして誕生したのか？（宇宙生物学）

宇宙のダークマター

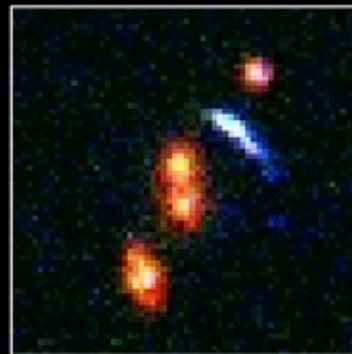
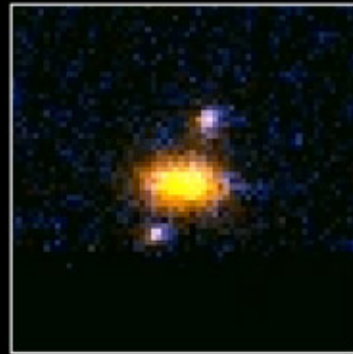
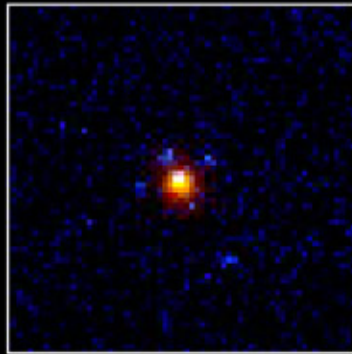
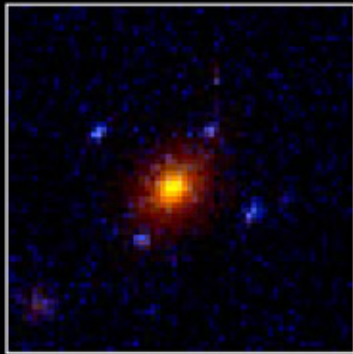
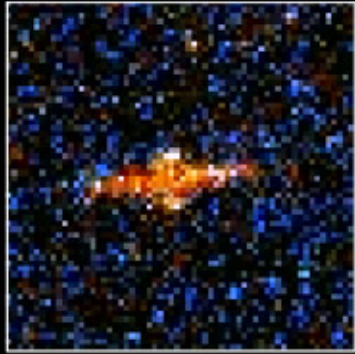
- 実は、光り輝く天体の周りには光ることのないダークマターが満ちている
- **ダークマターの存在は、その周囲を通過する光の軌道を変化させる**
 - アインシュタインの一般相対論にもとづく重力レンズ効果によって実証されている
- その正体は、未発見の素粒子であると考えられている(天文学による微視的世界の発見)

重力レンズの分類



- 光線は重力場によって曲げられる
 - 天体が多重像をつくる(強い重力レンズ)
 - 天体の形状が変形を受ける(弱い重力レンズ)
 - 天体の見かけの明るさが増光する(マイクロレンズ)

強い重力レンズの観測例 (HST)



Gallery of Gravitational Lenses

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

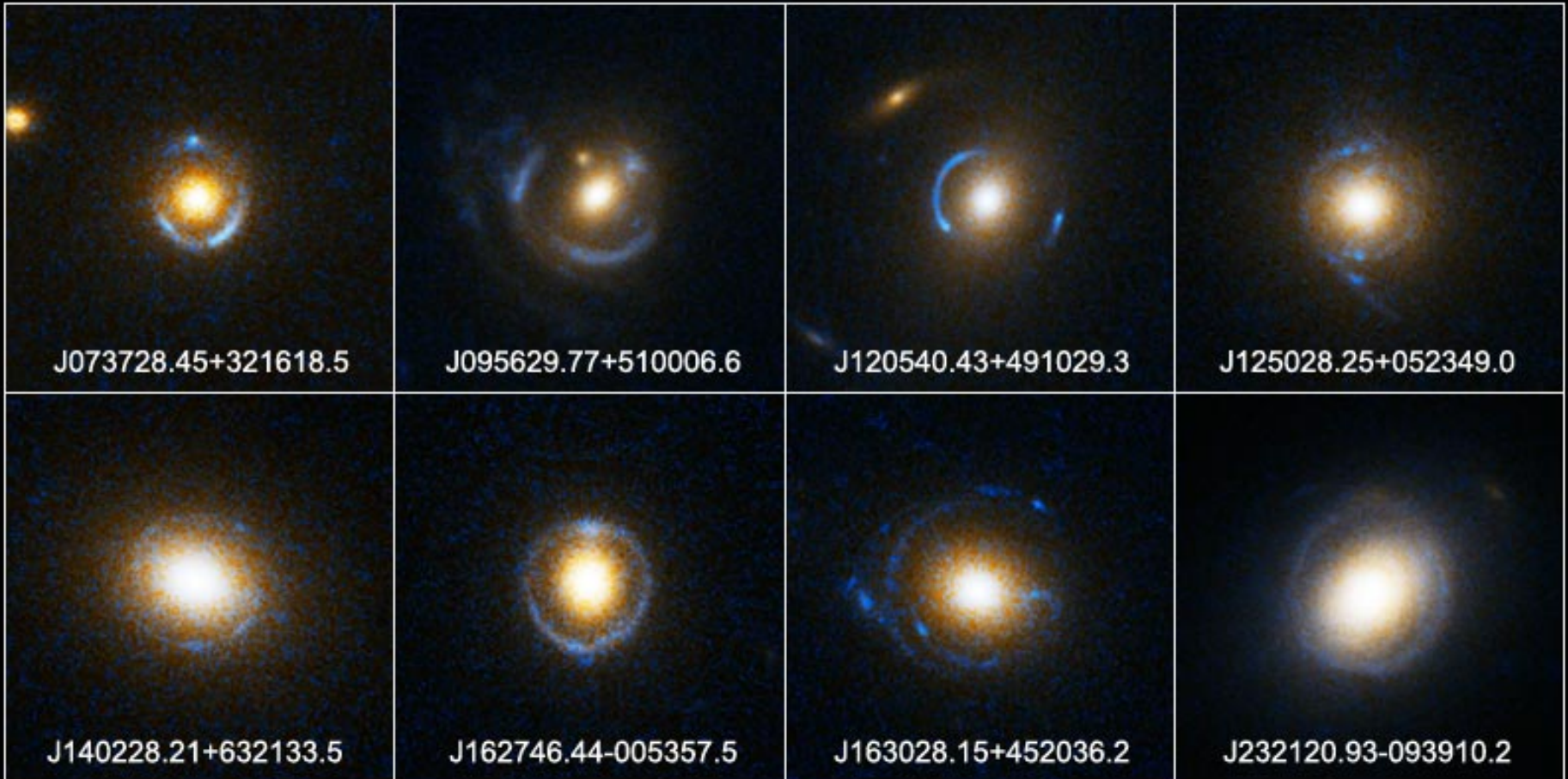
HST •

Gravitational Lens G2237+0305

アイシュタインリング

Einstein Ring Gravitational Lenses

Hubble Space Telescope ■ ACS



ハッブル宇宙望遠鏡でみる重力レンズ



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)

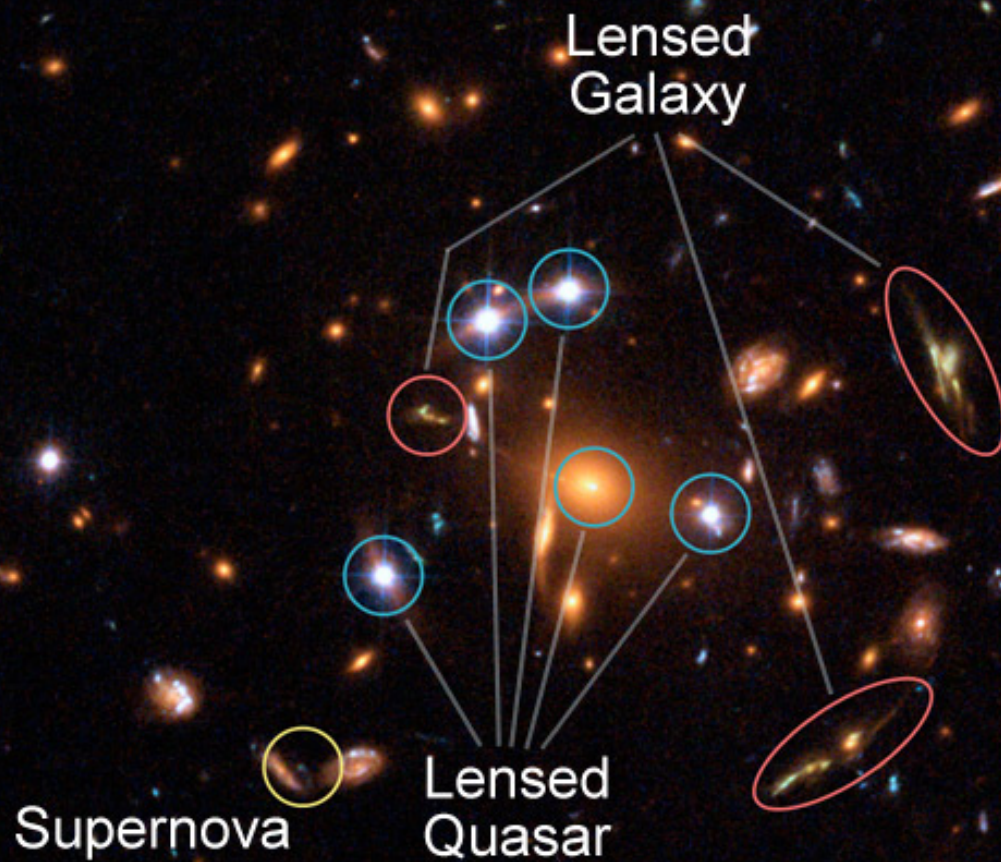
62億光年先にある
銀河団まわりの
ダークマター



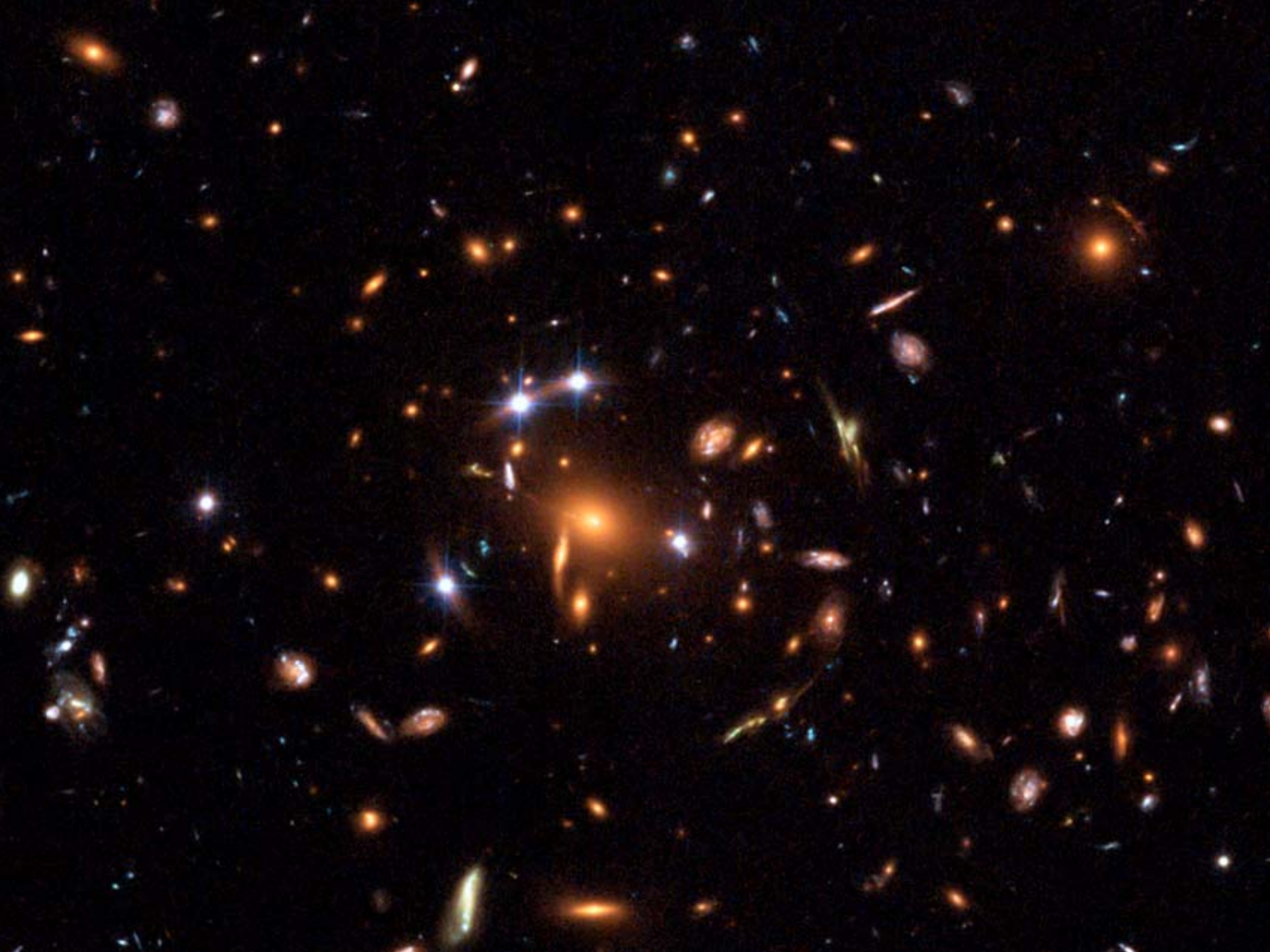
重レンズ天体
SDSS J1004+4112 :
一般相対論的蜃気楼



Galaxy Cluster SDSS J1004+4112
HST ACS/WFC



10''



宇宙を満たしているもの

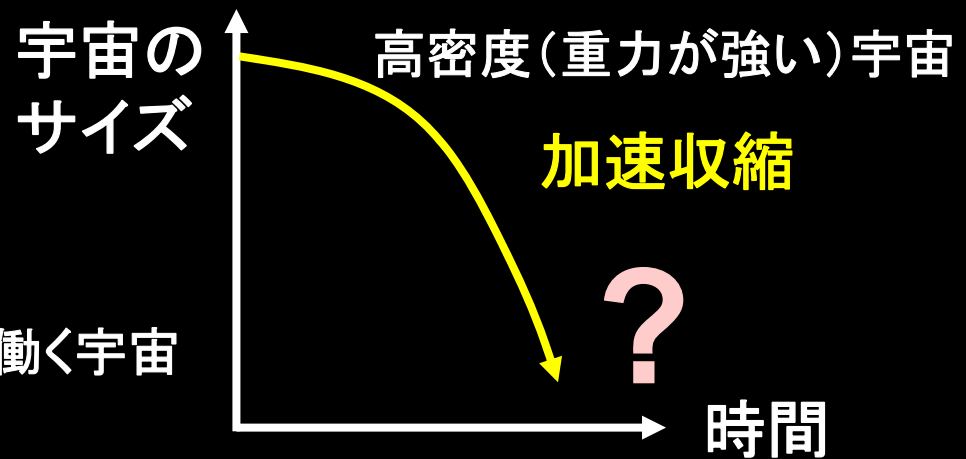
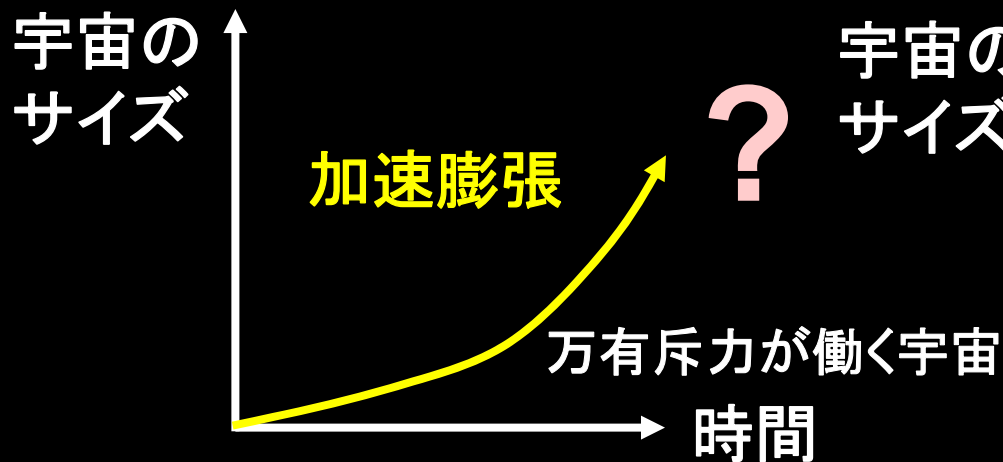
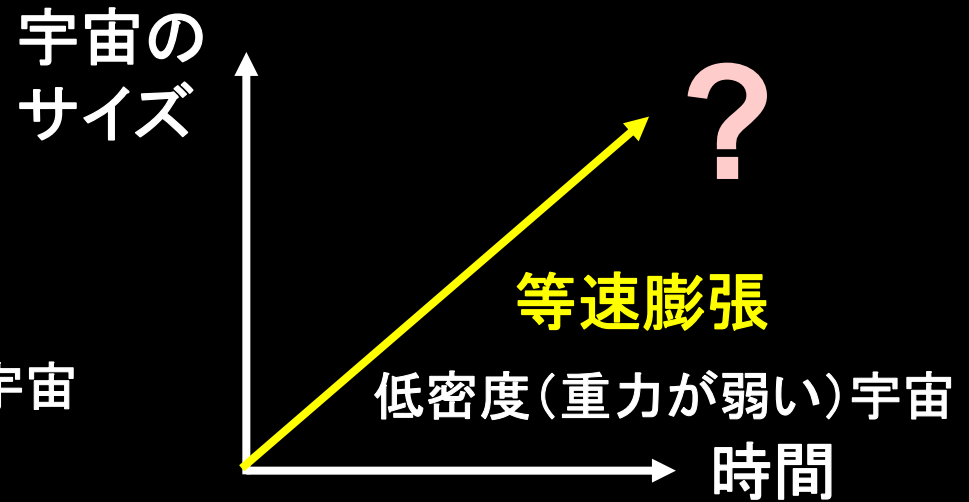
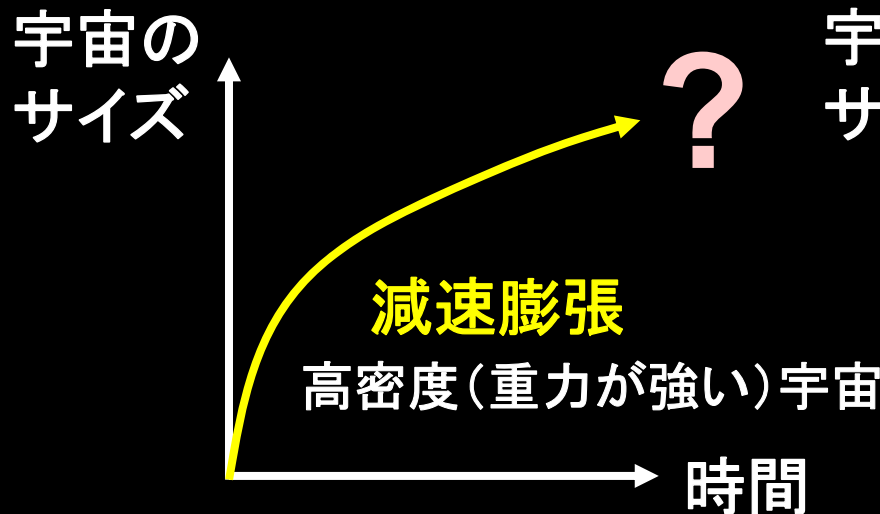
- ダークマターは、光は出さないが互いに万有引力を及ぼすので空間的には凸凹の分布
 - 銀河や銀河団はそのようなダークマターの塊の中心部に誕生
- ダークマターの存在は、光っているものがすべてではないことを教えてくれる
- では、宇宙空間を完全に一様に満たすような成分は存在しないのか？
 - そもそもそのようなものがあっても観測できるのか？

宇宙の一様成分：ダークエネルギー

- 宇宙のあらゆる空間を一様に満たしているものは存在するか
 - 「真空」には本当に何もないのか
 - 仮にあるとしてもそのようなものは観測可能か
 - 相対的でない測定はあり得るか
- ダークエネルギーは、空間的には一様に分布していてもその密度の割合は時々刻々変化する
 - 宇宙膨張は宇宙の密度の絶対的な値（何かとの差ではなく）によって決まる
 - 宇宙膨張の時間依存性を測定する
 - 時間軸に沿った相対的な測定は可能

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？

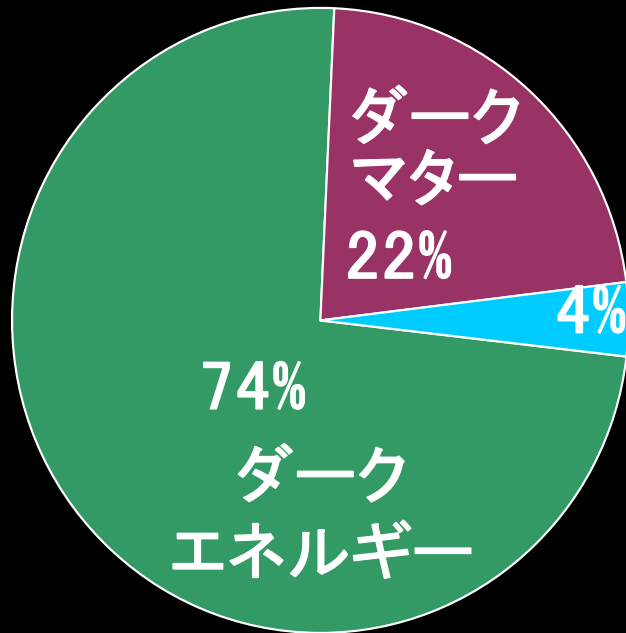
- 宇宙は膨張している(ハッブルの法則、1929年)
- さらに時間軸に沿った精密な観測をすることで膨張の加速度の符号がわかる
- 重力は常に引力なので当然減速するはず？
- しかし宇宙は「加速膨張」していた！(1998年)

■ 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



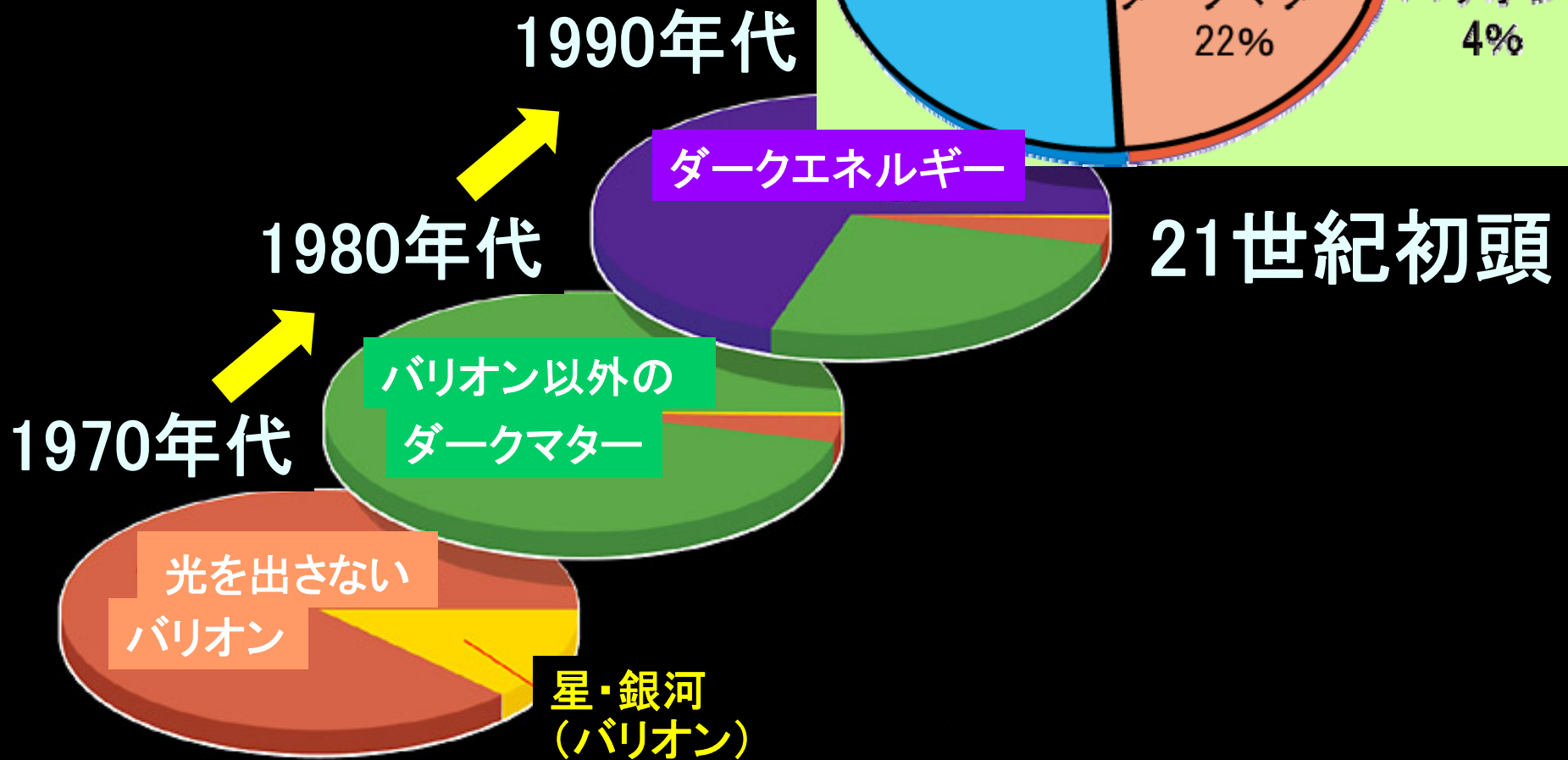
- 銀河・銀河団は星の総和から予想される値の10倍以上の質量
- 未知の素粒子が正体？

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

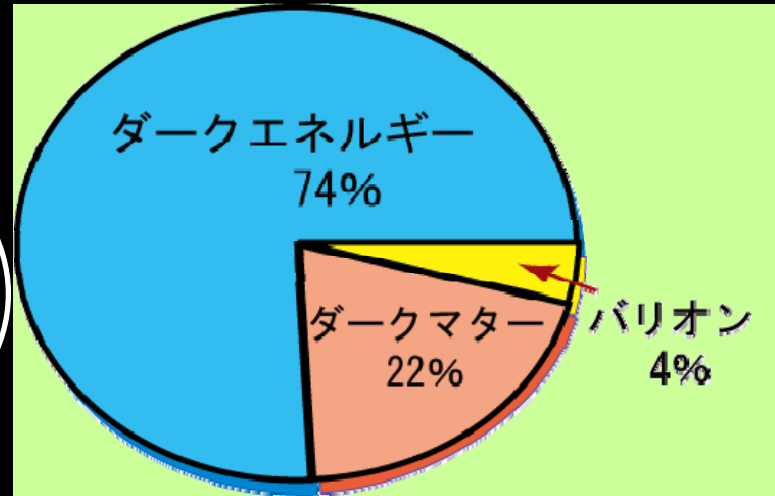
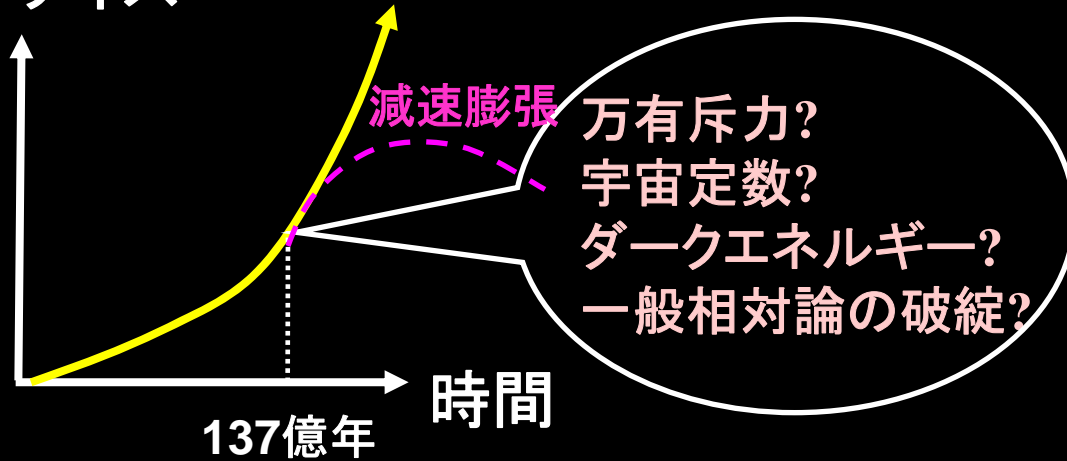
宇宙の組成観 の変遷



宇宙の組成と21世紀の科学

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

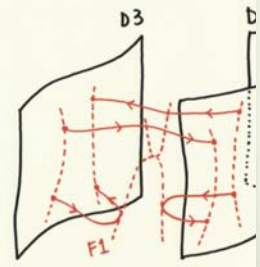
実はこの星空のいたるところに
ダークマター
ダークエネルギー
が満ちている

(ダークエネルギーごしに見る) 夜空のムコウにもう一つの地球・世界・宇宙があるのかも知れない

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

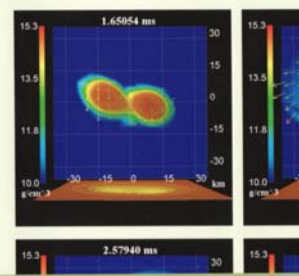
東京大学出版会

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

観測と理論をつなぎ、宇宙の謎にも物理学の魅力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]



140億年の旅ようこそ

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

東京大学出版会

*L'essentiel est invisible
pour les yeux*

大切なものは目にはみえない

*Le Petit Prince:
Antoine de Saint Exupéry*