

見えなくともそこにあるもの



福島県立相馬高等学校

校訓 …「至誠」

何事にもまごころを尽くしてあたる 誠意を尽くすという意味である。

常に相手の心情を思いやるとともに、礼儀をわきまえ、自分の良心に従って行動する

人間に成長して欲しいという
願望がこめられている。



東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻
須藤 靖

2008年10月1日 相馬高校 SSH研修講演@代々木

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

なぜ科学する？

高校と大学の違い



学問の自由に基づき、真理の探究と知の創造を求め、世界最高水準の教育・研究を維持・発展させる

学ぶに相応しい資質を有するすべての者に門戸を開き、広い視野を有するとともに高度の専門的知識と理解力、洞察力、実践力、想像力を兼ね備え、かつ、国際性と開拓者的精神をもった、各分野の指導的人格を養成する



福島県立相馬高等学校

校訓 …「至誠」

何事にもまごころを尽くしてあたる 誠意を尽くすという意味である。

常に相手の心情を思いやるとともに、礼儀をわきまえ、自分の良心に従って行動する

人間に成長して欲しいという

願望がこめられている。



高校で習う物理は面白いのか

$$m\vec{a} = \vec{F} \quad \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{r} = E \quad H = \frac{i}{2\pi r}$$

$$f' = f \frac{v - u'}{v - u} \quad Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad C = \frac{\epsilon S}{4\pi k_0 d}$$

- **結論**: 高校の物理の教科書は全くイケテナイ
 - もちろん高村先生の責任ではありません
- 「本当」の物理学(=自然界)は面白さに満ちている!

高校までの「勉強」と大学(院)での「学問」

■ 高校まで

- 学習(学んでくりかえす)、勉強(つとめはげむ)

■ 大学(特に大学院)では

- 学問(学びて問う)、研究(みがいてきわめる)
- 受身のままずっと待っていても何も来ない
- 高校までの先生とは違い、大学の教員は親切ではない!
- 自分の適性を知る
- すべてを一人だけでやるのではなく、教員、友人、先輩、後輩と共に学び議論し研究する

Henri Poincaré

(Science et méthode, 1908)

- The scientist does not study nature because it is useful to do so. He studies it because he takes pleasure in it, and he takes pleasure in it because it is beautiful. If nature were not beautiful, it would not be worth knowing and life would not be worth living.

Richard Feynman

- Finally, may I add that the main purpose of my teaching has not been to prepare for some examination -- it was not even to prepare you to serve industry or the military. I wanted most to give you some appreciation of the wonderful world and the physicist's way of looking at it, which, I believe, is a major part of the true culture of modern times. *(There are probably professors of other subjects who would object, but I believe that they are completely wrong.)*

役に立つ学問と役に立たない学問

- 「役に立つ」となぜ良いか
 - 生活を便利にする⇒自由な時間が増える⇒人生を楽しむ(趣味、音楽、芸術、文学、科学)
 - 新しい技術が「売れる」⇒「儲ける」⇒「好きなもの」が買える⇒人生を楽しむ(趣味、音楽、芸術、文学、科学)
- 人生の究極的な目的を突き詰めるとむしろ「役に立たない」ものに帰着するのが普通
 - 狭義の「役に立つ」は、結局は広義の「役に立たない」を楽しむという文脈においてのみ、その存在価値が正当化される
- このような私の価値観は、科学者の間ですらほとんど)受け入れられていない(むしろ失笑をかうことが多い)
 - しかし、「役に立たない」学問を、その波及効果、あるいは「100年後に役に立つ」学問を生み出すという理由だけで正当化する陳腐な論調は間違っていると思う

物理学者の日常

容疑者 X の献身

東野圭吾

文藝春秋

<http://www.bunshun.co.jp/galileo>

容疑者 X の献身
東野圭吾



大学入学後研究者はどのような道をたどるか？

- 自己紹介もかねて私の例
 - 清水ヶ丘中学校、土佐高校
 - 東京大学理科I類 教養学部 2年間 一般教養科目
 - 東京大学理学部物理学科 2年間 物理学関係講義のみ
 - 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 5年間
 - カリフォルニア大学バークレー校 博士研究員 2年間
 - 茨城大学理学部物理学教室助手 2年間
 - 広島大学理論物理学研究所助教授 3ヶ月
 - 京都大学基礎物理学研究所助教授 3年間
 - 東京大学大学院理学系研究科助教授 12年間
 - 現在、東京大学大学院理学系研究科教授

毎日何をしているのか？

- **大学院・博士研究員**： ほぼ100パーセント自分の研究
- **助教**： 学生の指導、講義補助、研究室・教室業務が20パーセント程度、残りは自分の研究
- **准教授**： 学生の指導、講義、教室業務、大学・学会会議が40パーセント程度、残りは自分の研究
- **教授**： 学生の指導、講義が20パーセント、教室業務、大学・学会・学外会議が50パーセント程度、他は書類(論文以外のもののほうが多い)書きなど
- **物理・天文学の理論系の研究とは**
 - 論文(すべて英語)の読み書き
 - 学生、共同研究者との直接あるいはメールでの議論
 - 研究費の申請書、報告書、一般向けの解説、講演

ほとんど誰かと議論しているか、文章の読み書きのどちらか
(理系にとって国語・英語力、コミュニケーション能力は本質的)

典型的な研究者タイプと思われがちであるにもかかわらず実は研究者に向いていない人

- 他人とコミュニケーションがうまくとれない
 - 結果の批判を通じてさらなる発展が期待できない
- 本を読んで勉強することだけが好き
 - これでは新たな学問・研究にならない
- 難しい分野・問題・テーマだけが好き
 - 優れた学者と同じ道を歩んでいることで自分も優れた研究者であると勘違いする
- 語学力・文章力・表現力が低い
 - 実は私の日常のほとんどの時間は、日本語か英語での議論あるいは文章書きに費やしている
 - 実は理系でも(こそ)重要

研究者に向いている人

- 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
- これらは研究(あらゆる仕事)と「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次元の数値(全教科の総合得点)ではなく、多次元空間で表現すべきもの
 - 必ずしも(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

自然科学とえせ科学との違い

■ 自然科学の特徴

- 近似的な世界観を更新し続ける行為
- 論理自身は問題なくとも、実験が否定することもある

■ 「正しいのか間違っているのか区別できる」 ことこそ自然科学の本質的定義

- “falsifiable” (うそであることを示しうる)
- 間違っているかどうかわかりようがなければ)
自然科学の対象外 (例: 神が宇宙を創った)
- 「説明できない」ことは自然科学の問題点ではなく、むしろ出発点

研究する楽しさ

- (どんなにつまらないことでも)世界で初めて発見する喜び
 - 自分がいち早く知り得たことの興奮
 - 成果を発表して共感してもらえることのうれしさ
- 単に結論を知識として受け入れるのではなく、自分の頭で理解する喜び
 - 「宇宙がビッグバンで始まったなどという知識は二束三文の価値もない。重要なのは、なぜそう考えられるかである。」 佐藤文隆『科学者の将来』(岩波書店)
- 自分一人では実現できないことを共同研究を通じて一緒に可能にしていく喜び
 - 自分の存在感の確認

(自然)科学を学ぶ意味

- 試験のために勉強することが目的ではない
- 楽しみながら、すこしでもより自然を理解する
- 世の中の不思議さを認識する
- 当たり前とされていることでも一度は疑ってみる
 - みんなが言っているからではなく自分で納得する
- 正しいことと間違っていることを見極める
 - 変な人(詐欺師、政治家、官僚、教員)に騙されない
 - 真実を合理的に理解し納得する
 - 善悪を区別する
- 科学を学んで良かったなあ、と思ってほしい

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？

- ものをどんどん分けていくとどうなるか？
- 分子⇒原子⇒原子核(バリオン)⇒素粒子(クォーク・レプトン)
- もはやこれ以上は分けることのできない最小構成要素が存在
- 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⇒宇宙の大構造
- 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

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

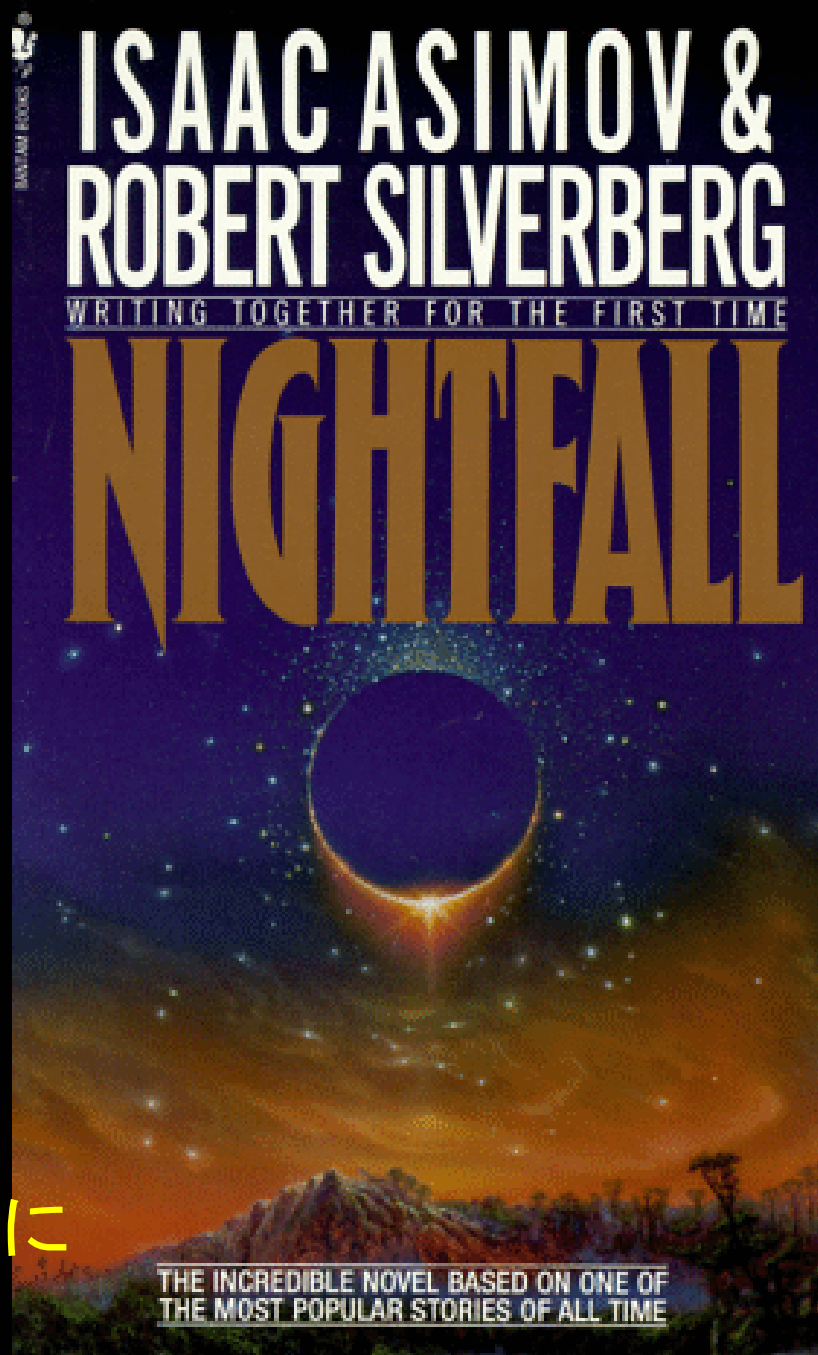


(すばる観測所、田中壱氏撮影)

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



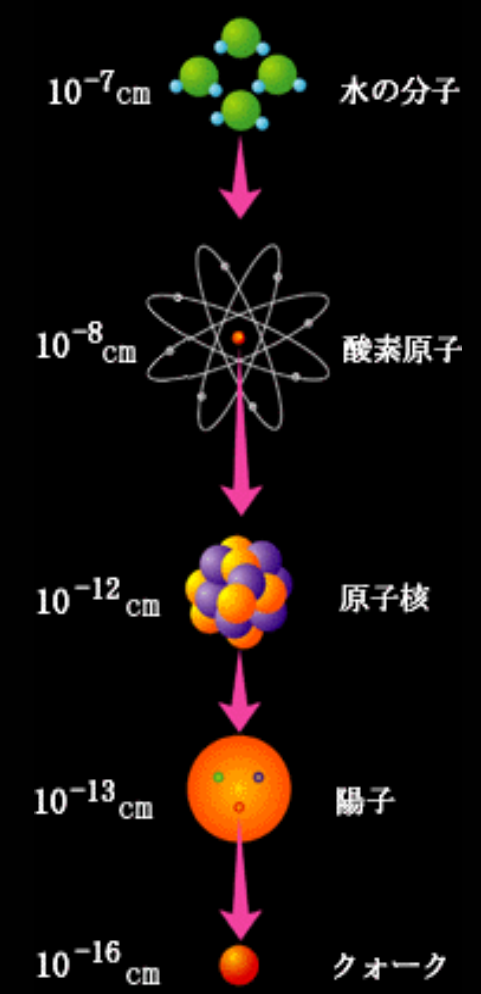
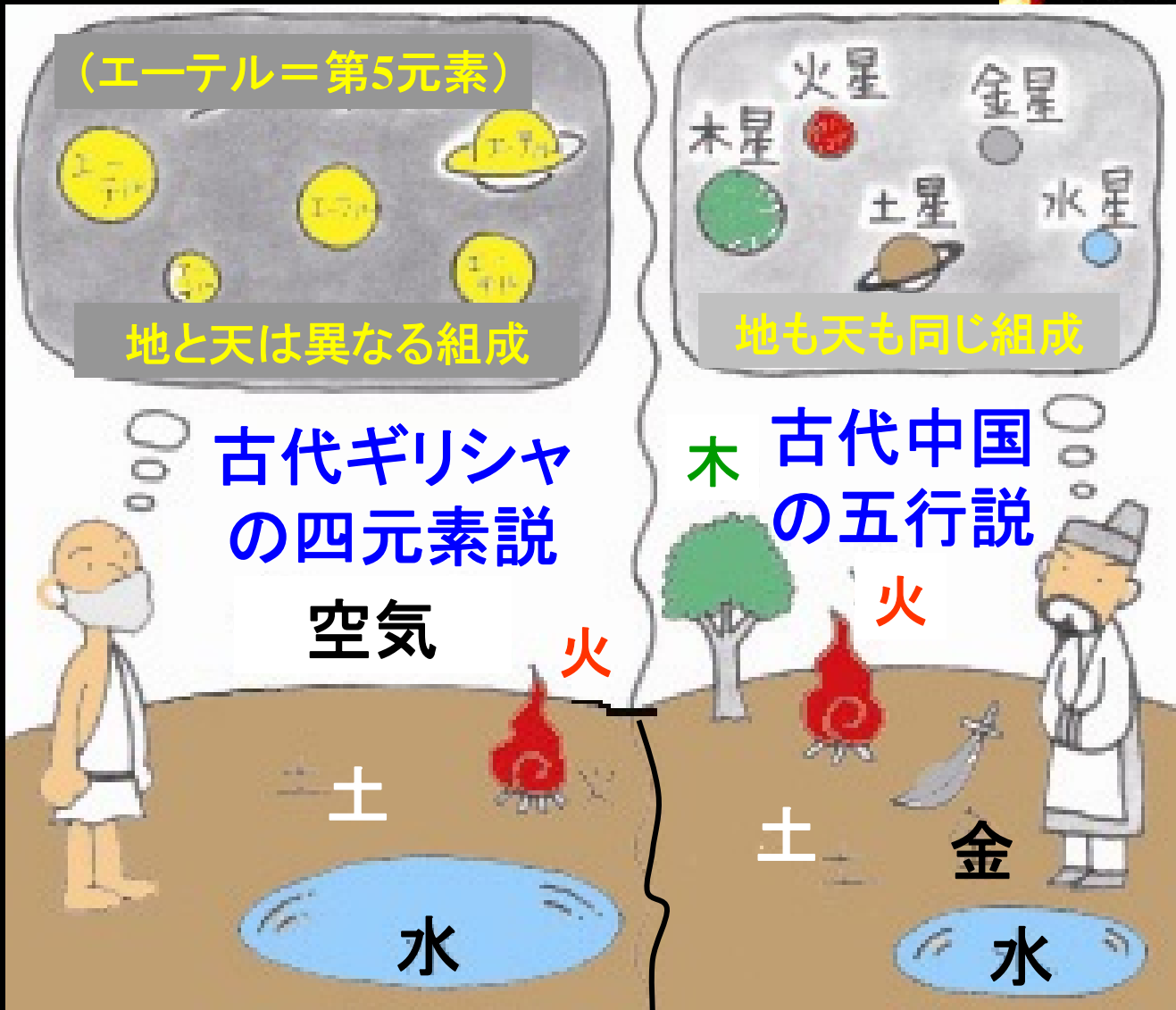
「我々は何も知らなかった」

満天の星空を見上げれば、

我々以外の世界がないほうが不自然

(すばる観測所、田中壺氏撮影)

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)

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

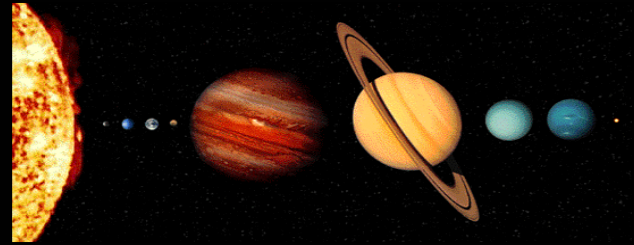
■ 中国の五行説

- (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

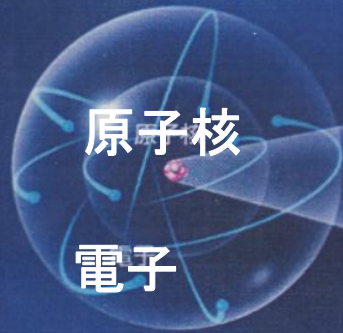
- 分子⇒原子⇒原子核(陽子・中性子)⇒素粒子(電子、ニュートリノ、クォーク・レプトン)



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

物質を構成しているもの



原子

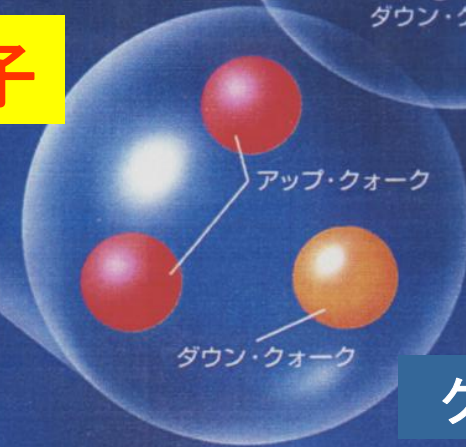
原子核

中性子

陽子

中性子

陽子



クォーク

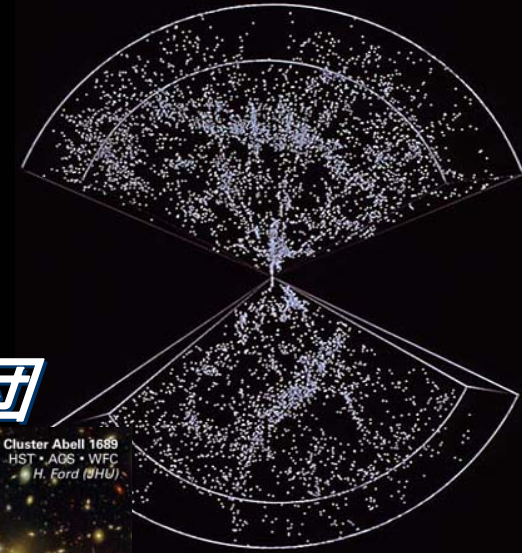
	第1世代	第2世代	第3世代
レプトン	電子 ニュートリノ	ミュー・ ニュートリノ	タウ・ ニュートリノ
	電子	ミュー粒子	タウ粒子
クォーク	ダウン	ストレンジ	ボトム
	アップ	チャーム	トップ

原子核の周囲を電子がまわって原子をつくる。原子核は陽子と中性子から、陽子と中性子はアップ・クォークとダウン・クォークから構成されている。第2世代と第3世代のクォークとレプトンは、粒子加速器を用いるなどして、高エネルギー状態にならないとあらわれない。われわれの世界の物質は第1世代のクォークとレプトンからできているといえる。

宇宙を構成しているもの

宇宙の大構造

銀河群



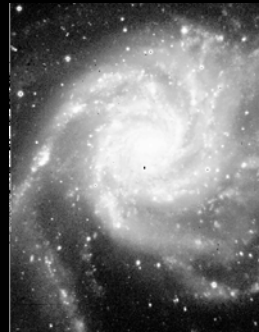
矮小銀河



太陽系



銀河



銀河団



星団

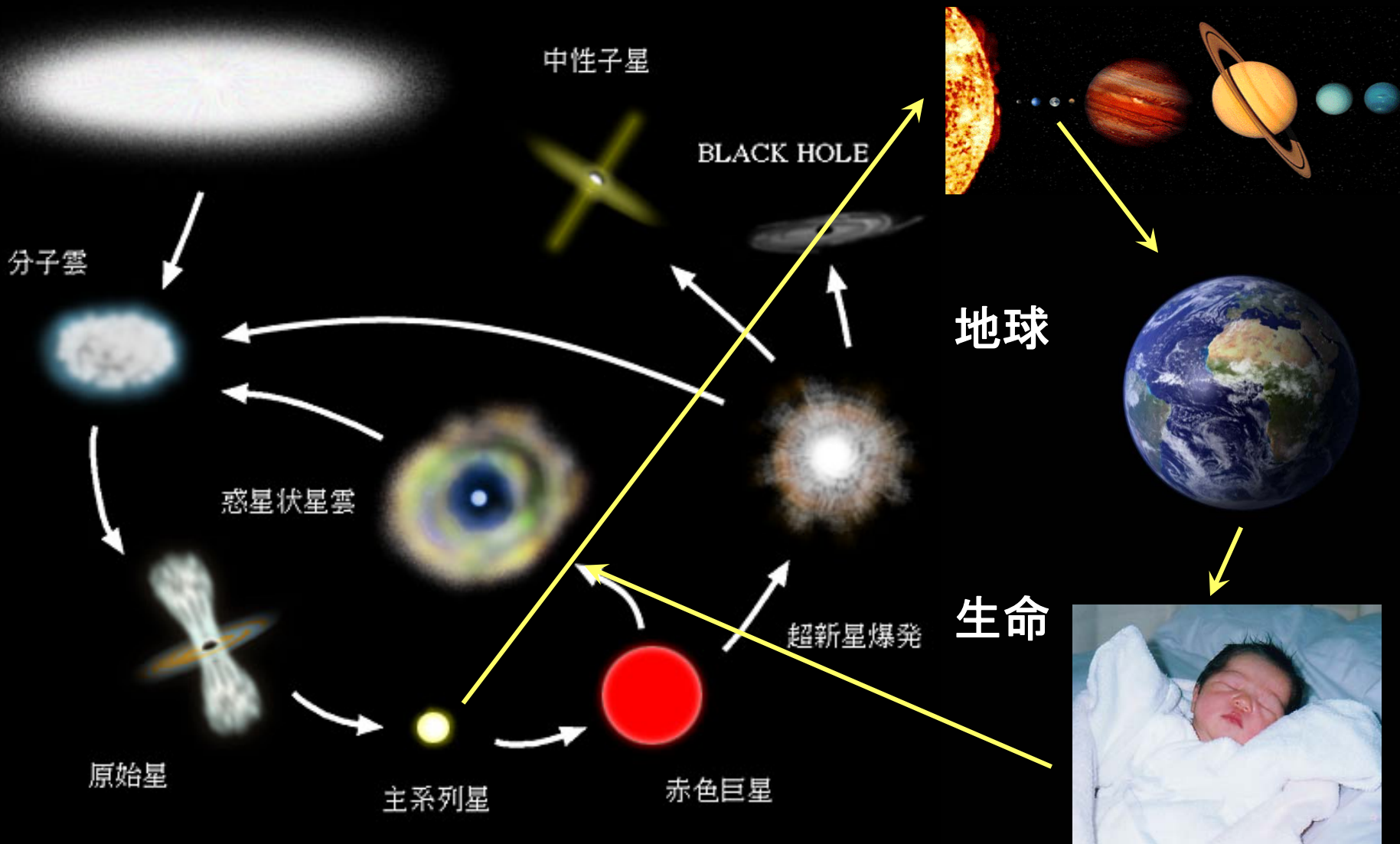


天体諸階層の典型的大きさ [光年]

ビッグバン、天体形成史、元素循環

BIG BANG

太陽系



我々は星の子供：宇宙の元素循環

- ビッグバン後、最初の3分間で合成された軽元素から、数億年後に**第一世代の星**が誕生
- **星の内部で重元素が合成**され、それが星の進化の最終段階で宇宙にばらまかれる
- それを材料として**次の世代の天体**が誕生
- この過程の繰り返しが宇宙での元素循環
- **我々は、かつて宇宙のどこかで生まれた星の内部で合成された重元素、さらには宇宙最初の3分間で合成されたヘリウムを材料としている！**

天文学・宇宙物理学共通の目標：

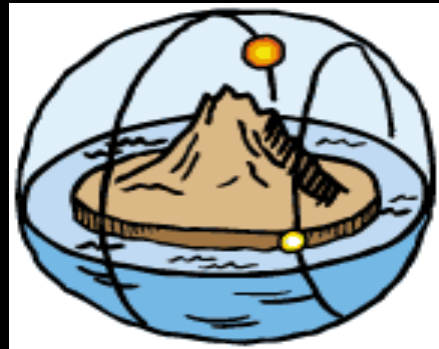
夜空のむこうの世界を探る

■ 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）

宇宙の果てを見る

SDSS (スローンデジタルスカイサーベイ) 米国ニューメキシコ州アパッチポイント天文台



NHK教育TV “サイエンスゼロ” 2003年6月11日放映



史上最大の銀河地図作りをめざして： 日米独共同スローンデジタルスカイサーベイ

8千万個の銀河を観測、そのなかの80万個の銀河の3次元地図作り

<http://www.sdss.org/dr1/>

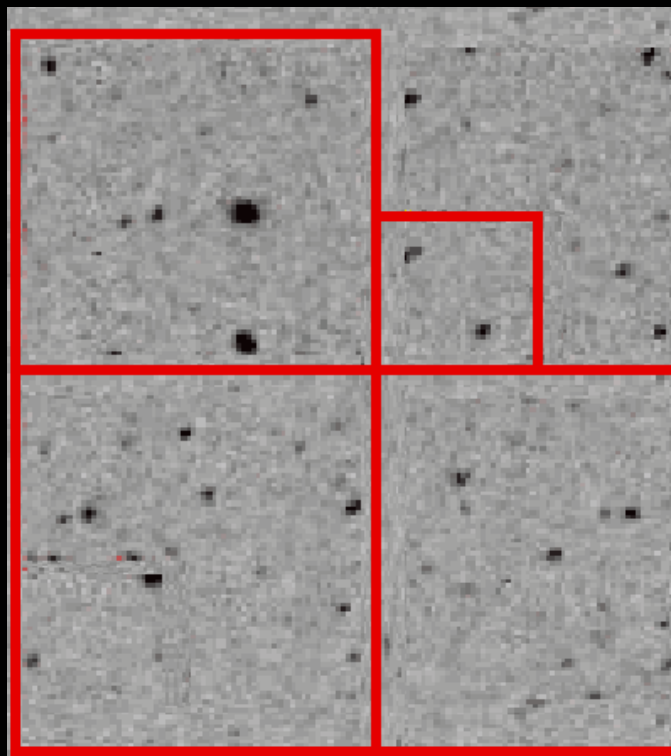


文部科学省

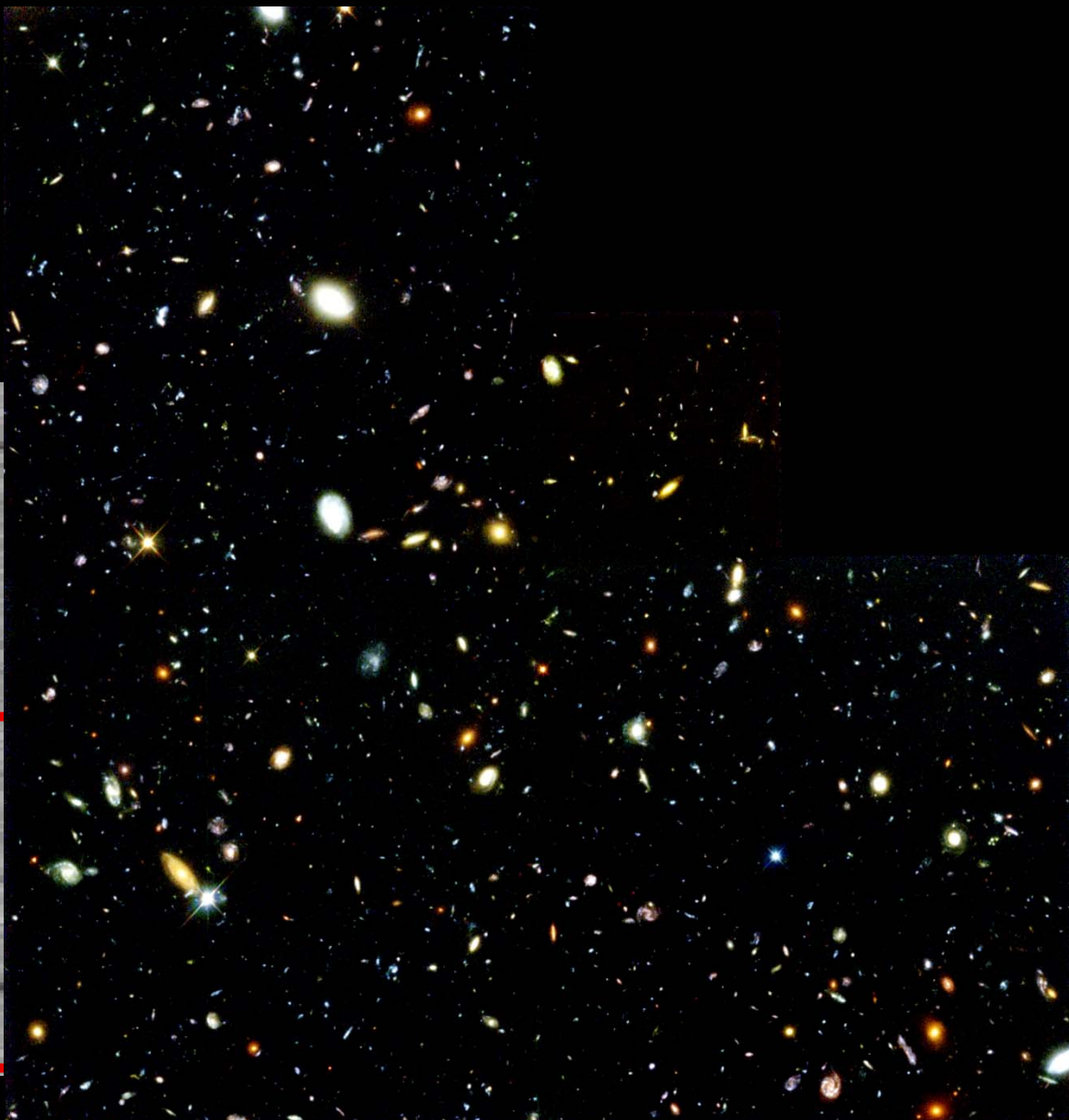
Ministry of Education, Culture,
Sports, Science and Technology

NHK教育 サイエンスZERO 2003年6月11日 0:00 放映

宇宙を見る目 の進歩



地上4m望遠鏡+CCD
100×写真乾板



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

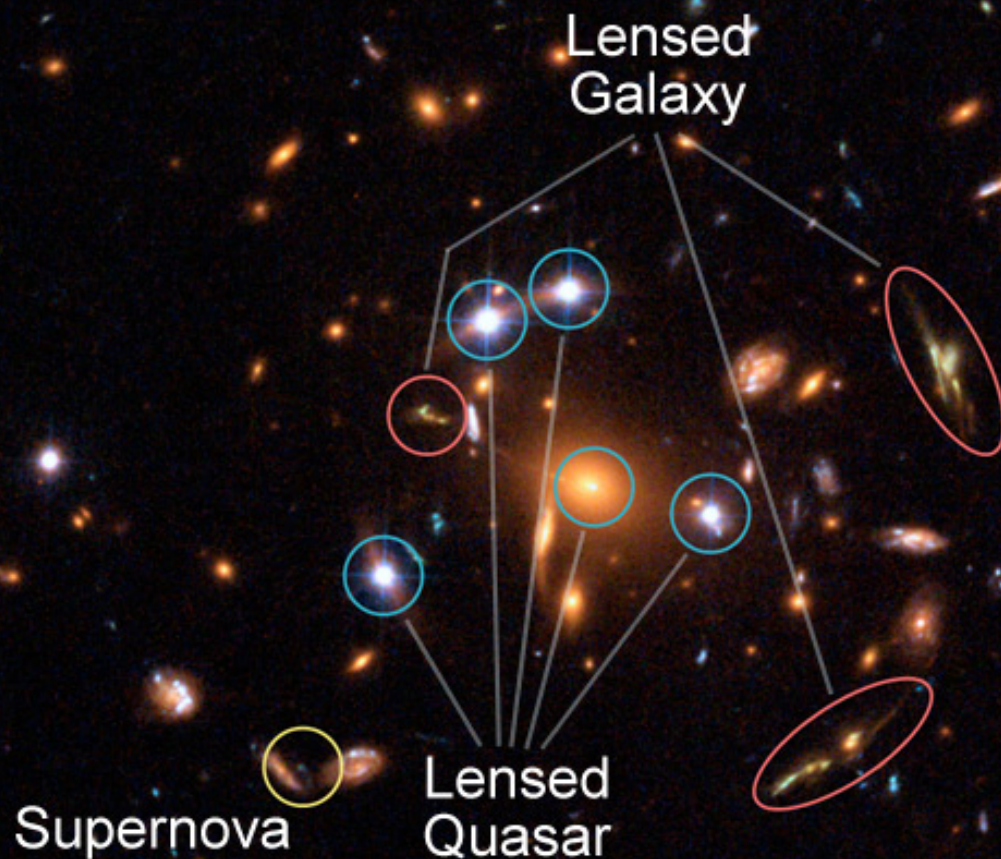
ダークマター

- 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)

ハッブル宇宙望遠鏡でみる重力レンズ



Galaxy Cluster SDSS J1004+4112
HST ACS/WFC



10''

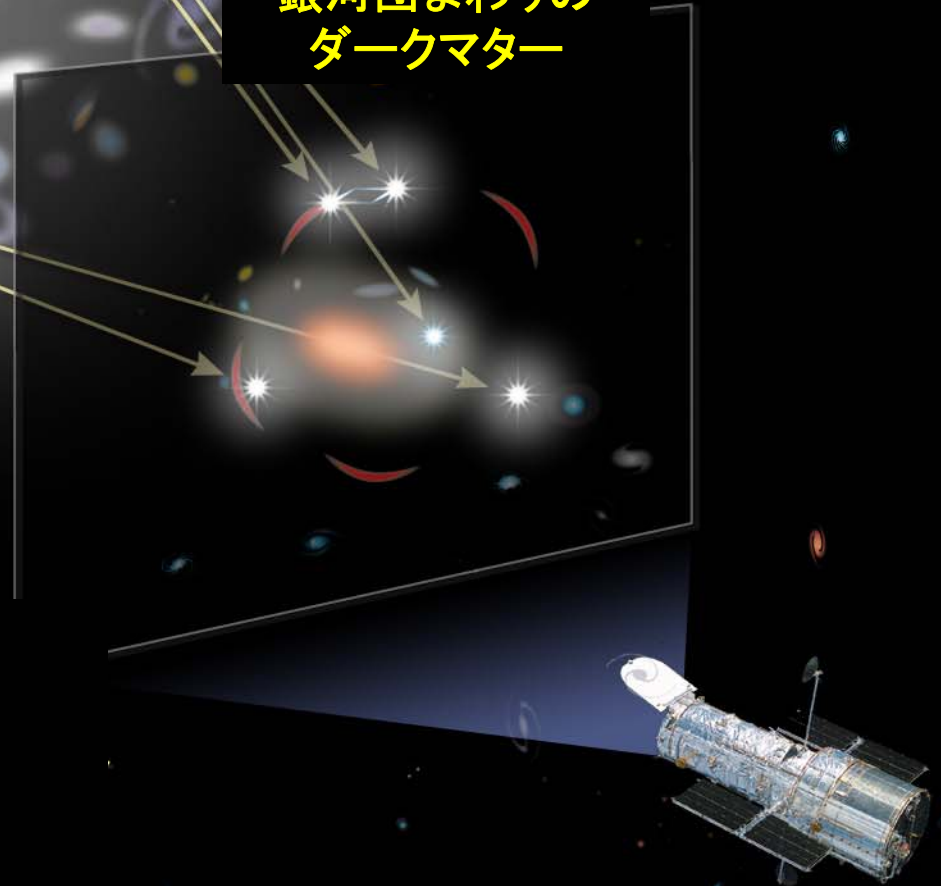
銀河団周辺の重力で光線が曲げられ、
みかけ上5つの異なる天体をつくる
(ダークマターの存在)

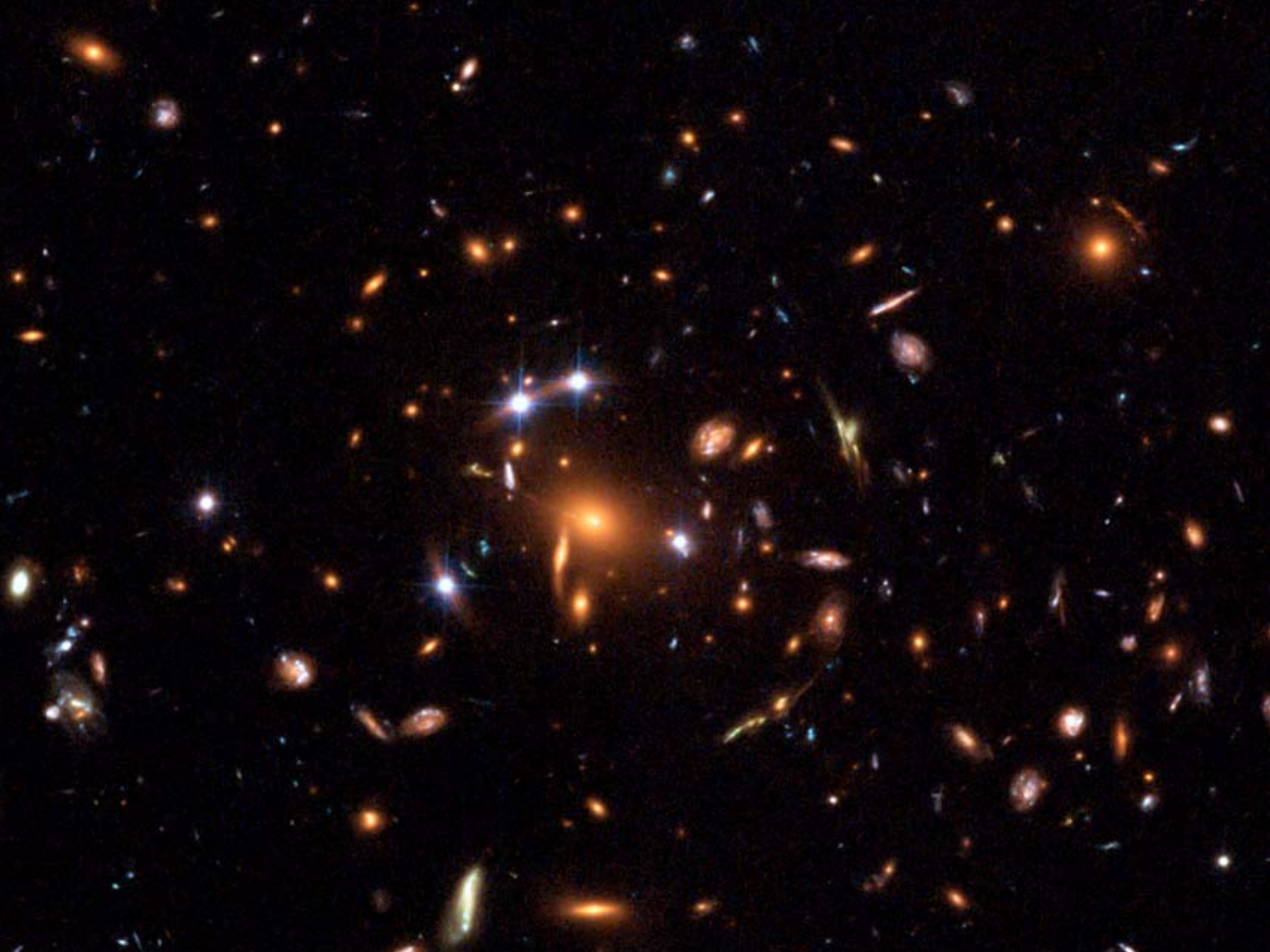
98億光年先にある
クエーサー(中心に
ブラックホール)

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





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？

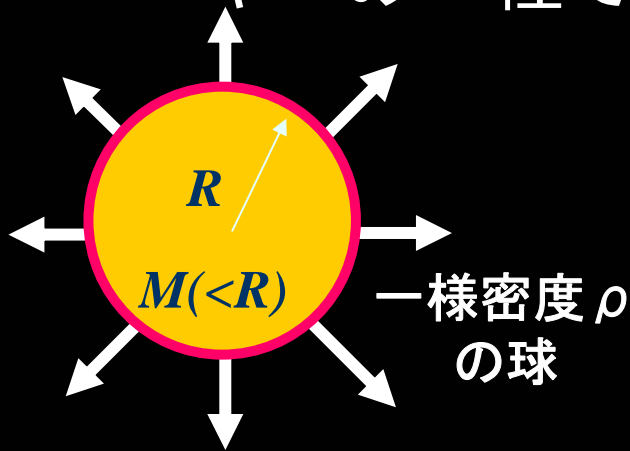
宇宙膨張の方程式

■ ニュートン力学による運動方程式

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{GM(< R)}{R^2} = -\frac{G}{R^2} \left(\frac{4\pi}{3} \rho R^3 \right) = -\frac{4\pi G}{3} \rho R$$

■ 一般相対論による宇宙膨張の方程式もほぼ同じ

- 質量密度 ρ のみならず圧力 p もまた重力源となる
- 万有斥力に対応する「宇宙定数」(Λ : ダークエネルギーの一種でその有力候補)が存在し得る

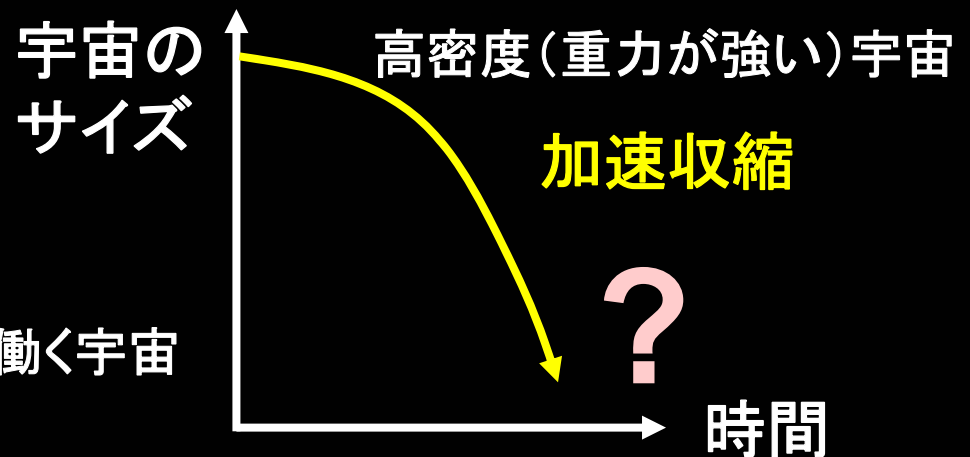
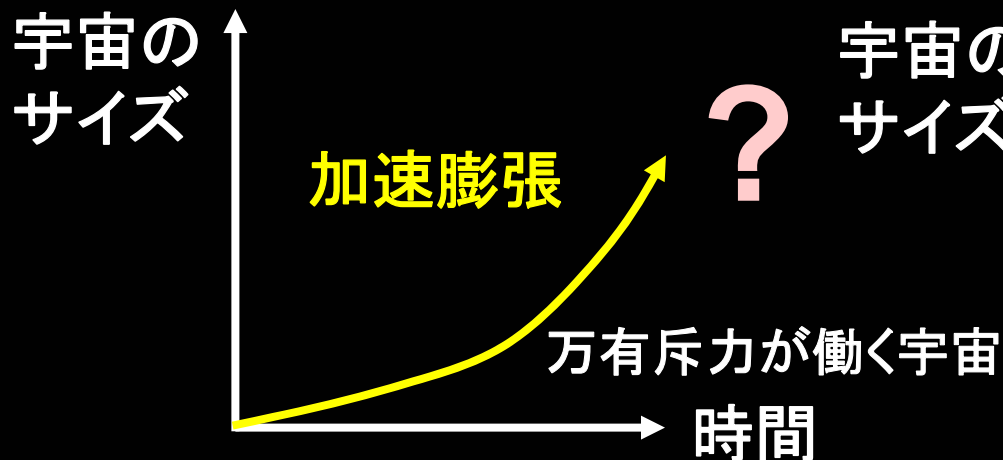
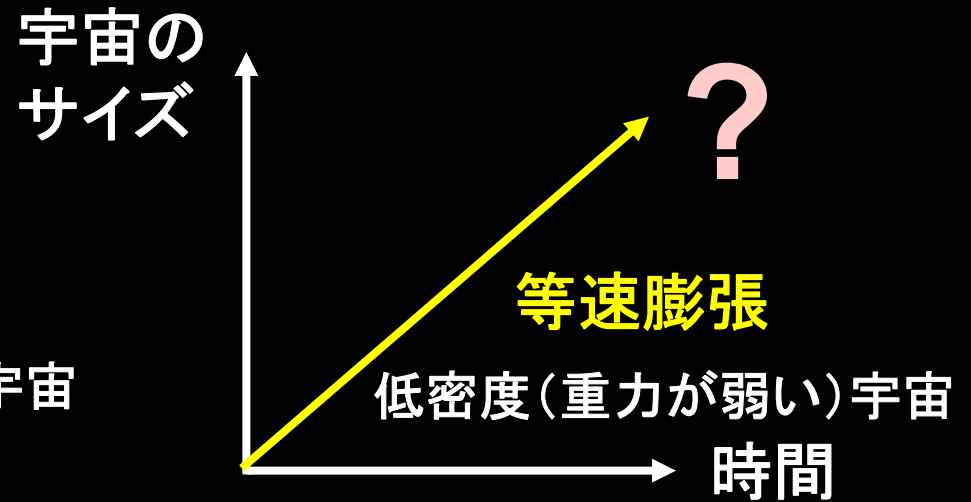
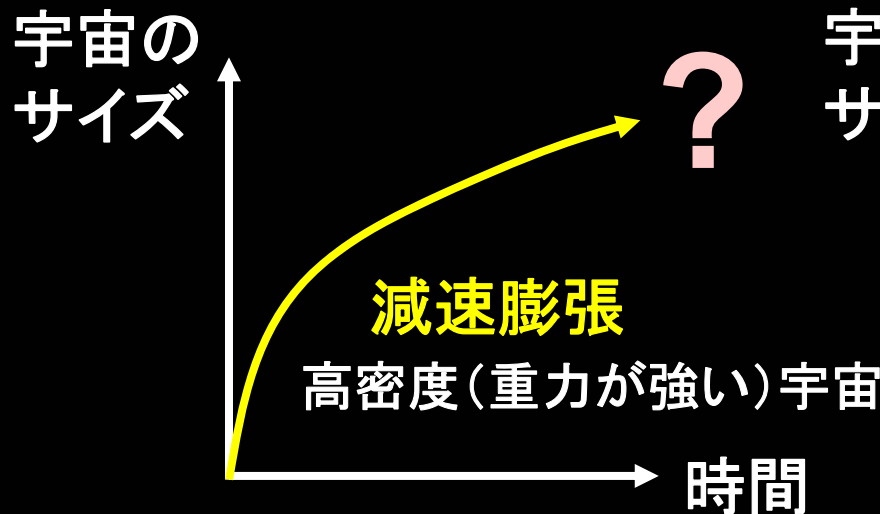


$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + 3p - \frac{\Lambda}{4\pi G} \right) R$$

フリードマン方程式

宇宙の組成と宇宙膨張の未来

- 宇宙の構造と進化の観測を通じて、宇宙の組成を決定する ⇒ 宇宙の未来もわかる



宇宙の加速膨張とダークエネルギー

■ 宇宙の将来はどうか？

- 宇宙は膨張している（ハッブルの法則、1929年）
- さらに膨張の加速度の符号を決める必要

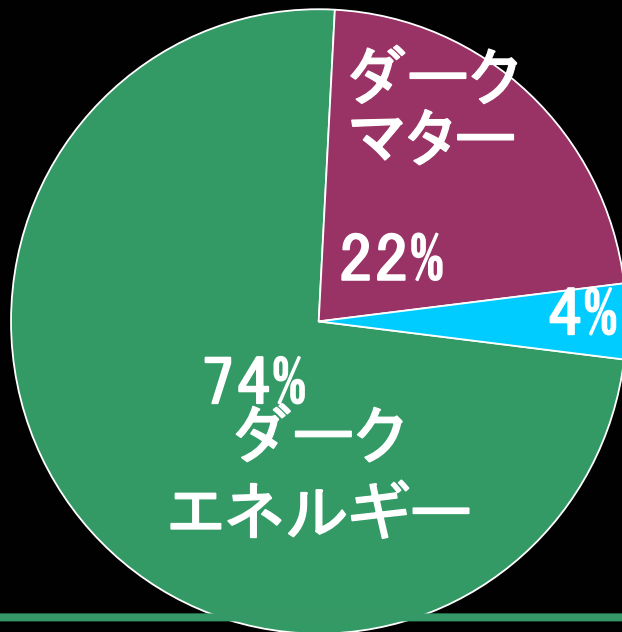
■ 重力は常に引力なので当然減速するはず？

■ 宇宙の「加速膨張」の発見（1998年）！

- 引力である重力を打ち消すような「万有斥力」が必要
- 普通の物質ではあり得ない、つまり非常識な結果
- にもかかわらず観測的に証明されてしまった
- 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



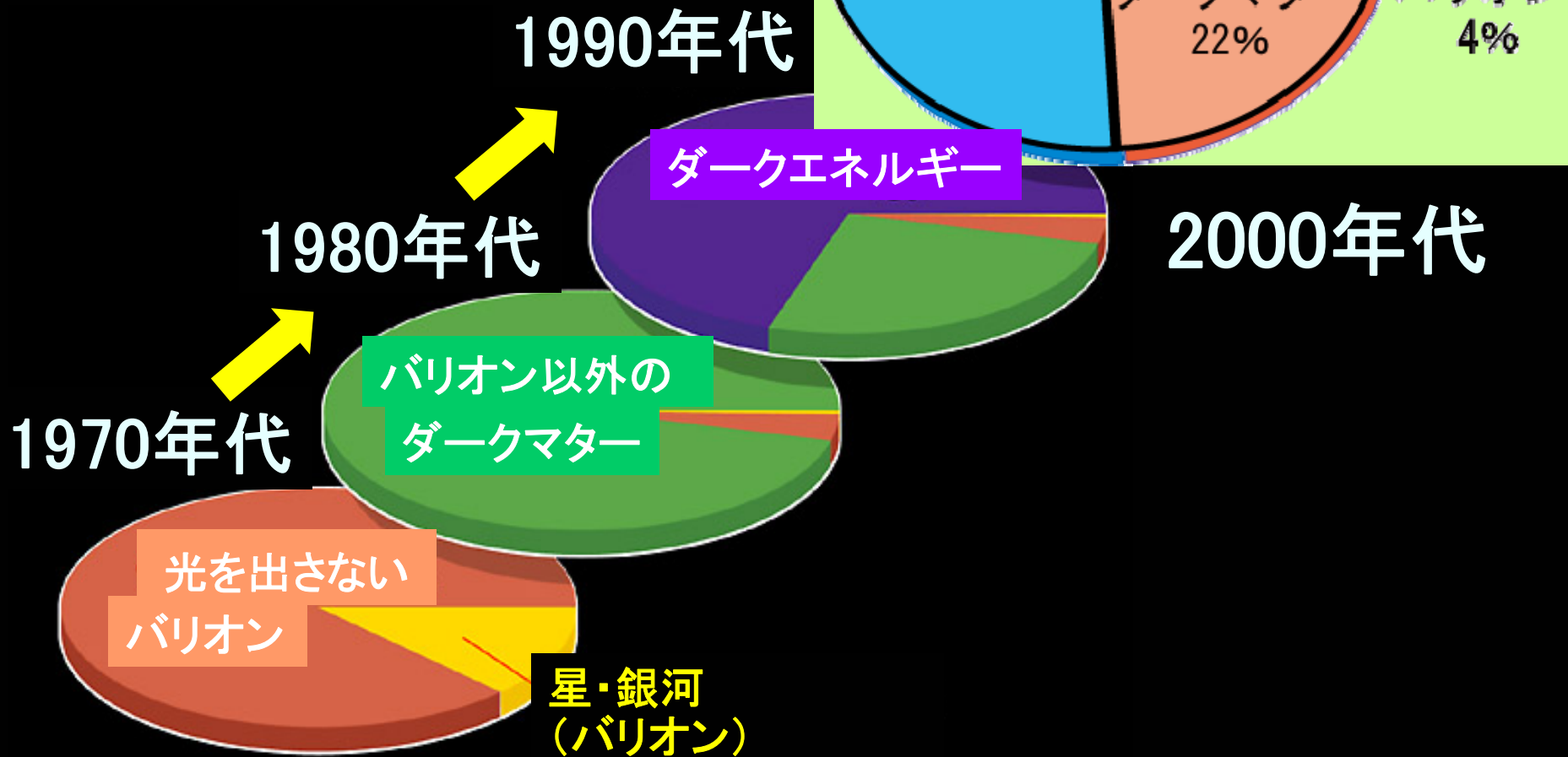
- 銀河・銀河団は星の総和から予想される値の10倍以上の質量
- 未知の素粒子が正体？

通常物質 (バリオン)

- 元素(陽子と中性子)
- 現時点で知られている物質(の質量)は実質的にはすべてバリオン

- 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



見えなくとも「夜空のムコウ」にあるもの

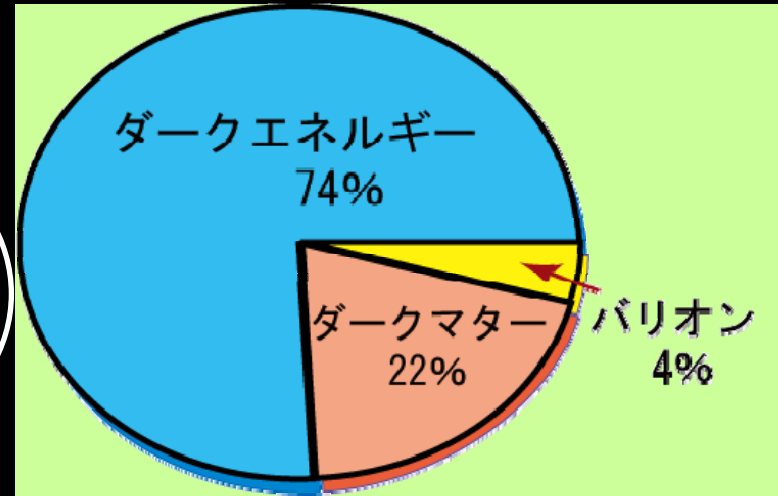
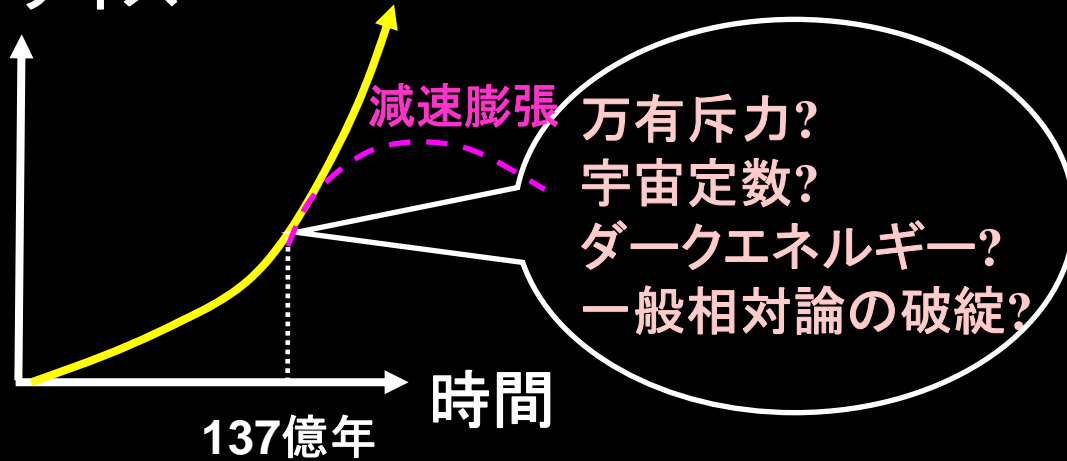
- 宇宙の果てを観測する
 - 宇宙論
- 宇宙を満たしている物質を探る
 - 素粒子論
- 第二の地球を探す
 - 惑星形成論、宇宙生物学
- 地球外文明はあるか
 - 人間原理、宇宙社会学、宇宙比較文化論

まとめ

ダークエネルギーと21世紀の物理

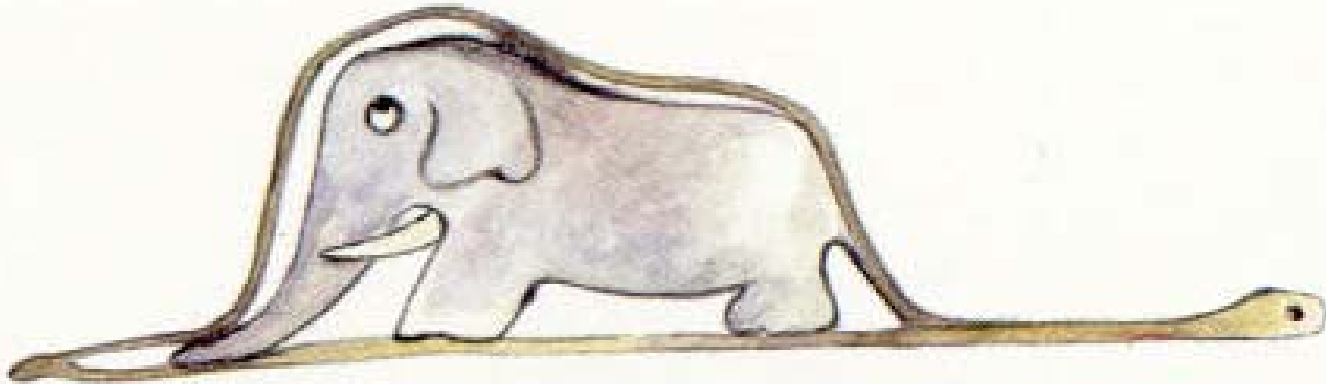
宇宙の
サイズ

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世紀の物理学を切り拓く鍵**

自然界の本質を見抜く



*J'ai alors dessiné
l'intérieur du serpent boa, afin que les grandes personnes puissent
comprendre. Elles ont toujours besoin d'explications*



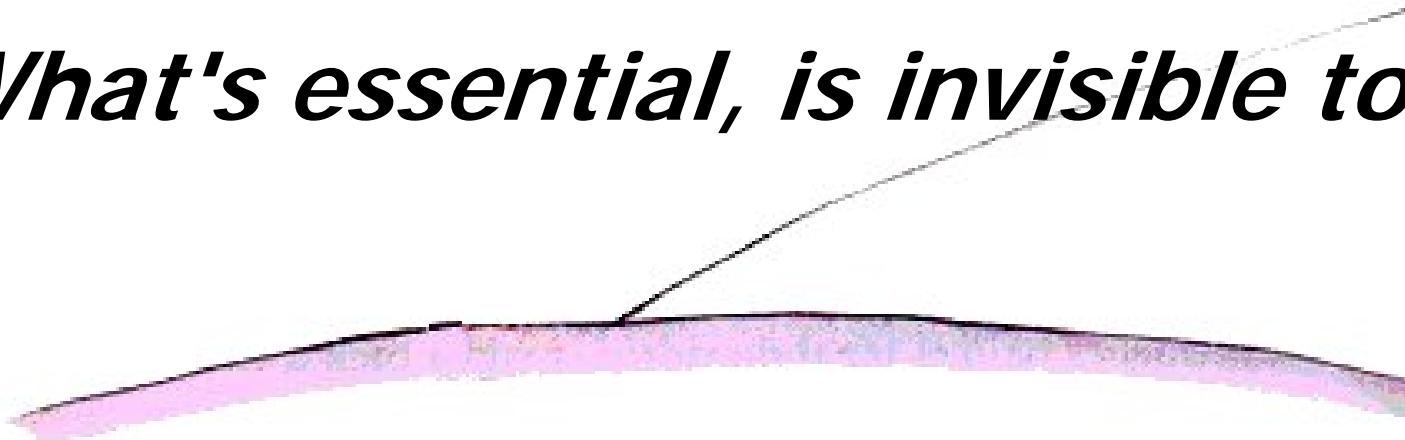


ダークマター
ダークエネルギー
太陽系外惑星
地球外知的生命

The Fox said

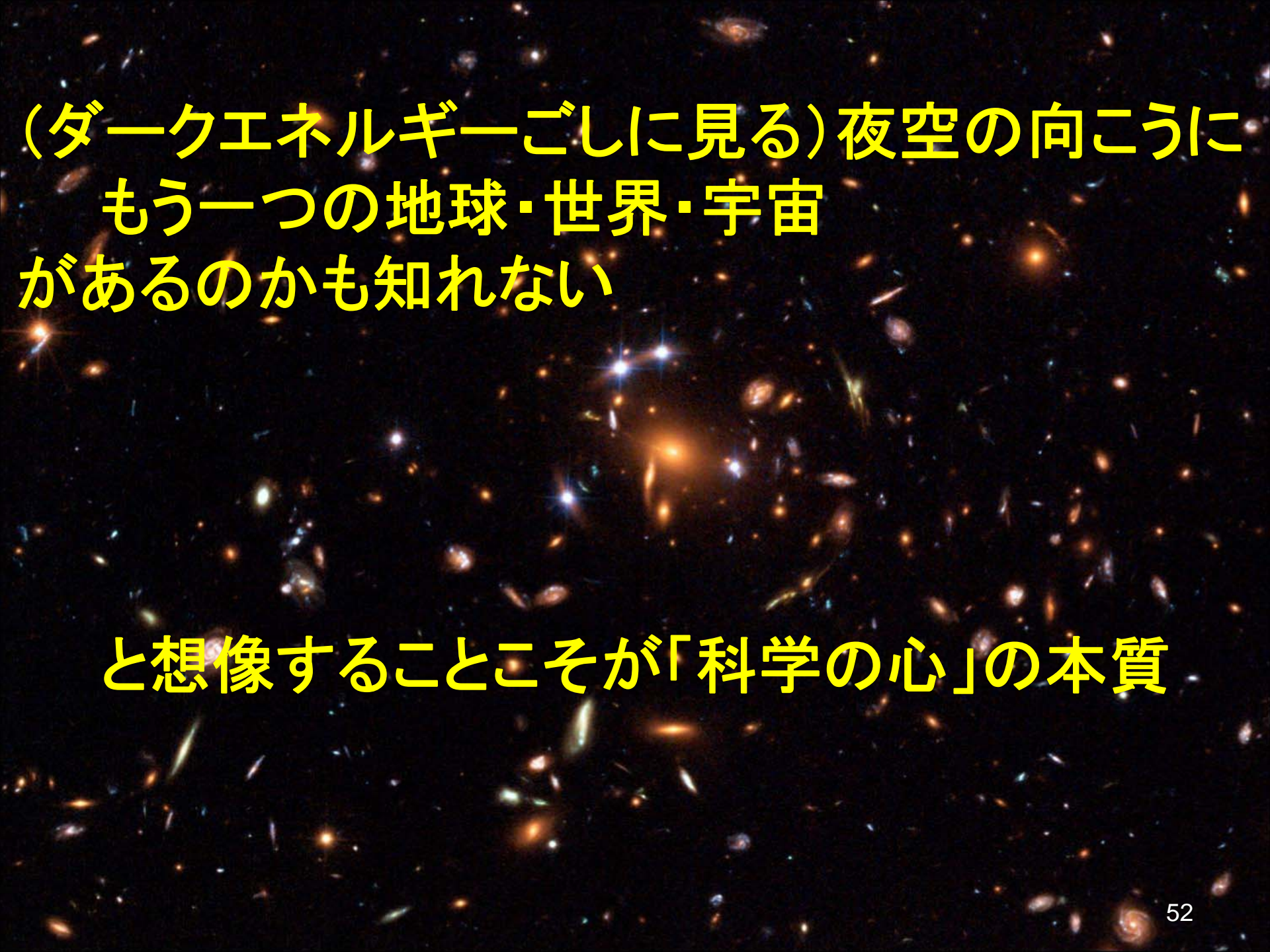
***It's only with the heart
that one can see clearly***

What's essential, is invisible to the eye



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)夜空の向こうに
もう一つの地球・世界・宇宙
があるのかも知れない

と想像することこそが「科学の心」の本質