

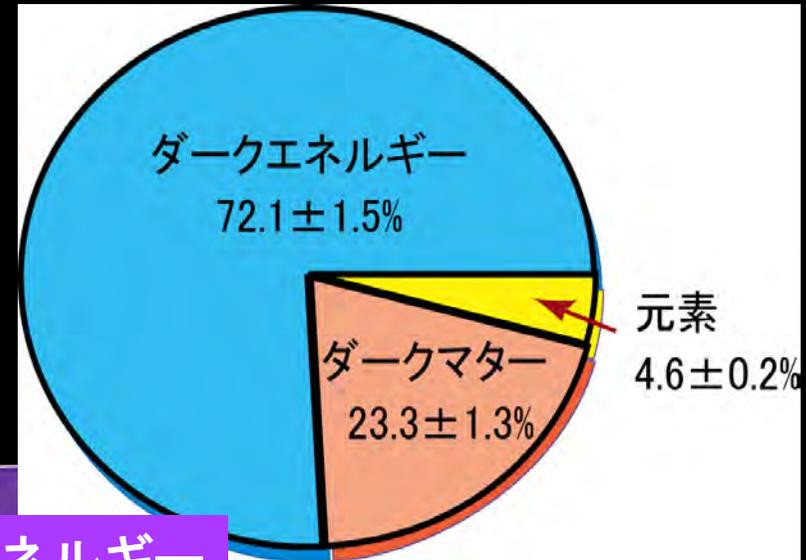
ダークエネルギーの謎にどう挑むか

東京大学大学院
理学系研究科
物理学専攻
須藤 靖

1990年代

1980年代

1970年代



ダークエネルギー

2010年代

元素以外の
ダークマター

光を出さない
元素

星・銀河
(光を出す元素)

超大型望遠鏡 TMT が
ぬりかえる宇宙像

2012年10月8日 13:00-16:00

国立天文台講演会@一橋講堂

働き者と怠け者の会話

- 「お前はなぜ毎日ごろごろと怠けてばかりで、真面目に働こうとしないのか？」
- 「むしろ君こそ、なぜあくせく働いているの？」
- 「それはたくさんお金を稼ぎたいからだ」
- 「お金を手に入れてどうする？」
- 「いい家に住み、おいしい物を食べ、好きな物を買
い、、、」
- 「それから？」
- 「残りの人生をゆっくり楽しむつもりだ」
- 「だろ？俺は今まさにそうしているのさ」

社会人と天文学者の会話

- 「お前はなぜ毎晩星を眺めているばかりで、真面目に働こうとしないのか？」
- 「むしろ君こそ、なぜあくせく働いているの？」
- 「それはたくさんお金を稼ぎたいからだ」
- 「お金を手に入れてどうする？」
- 「いい家に住み、おいしい物を食べ、好きな物を買
い、、、」
- 「それから？」
- 「星でも眺めながら人生をゆっくり楽しむつもりだ」
- 「だろ？俺は今まさにそうしているのさ」

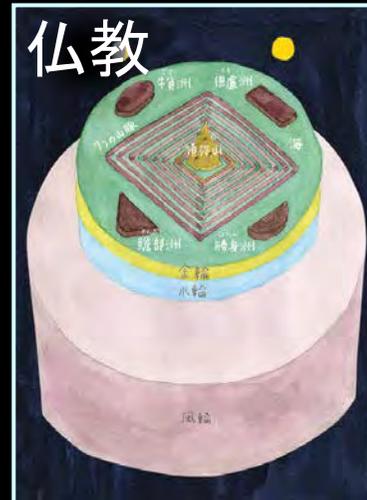
生きる意味を与えてくれる天文学！

- **子供時代**：食べる、遊ぶ、家族、友人
- **若者時代**：学ぶ、遊ぶ、働く、恋愛
- **人生中盤**：家族、会社、稼ぐ、子育て、ローン、学ぶ、趣味、介護、様々な形態の恋愛
- **人生終盤**：趣味、学ぶ、読書、自分の世界観を広げる、社会貢献、楽しむ
 - 狭い意味では全く役に立たない天文学が、人生終盤になるほど大きな意義／生き甲斐を与えてくれる
 - この意見は若者には決して理解されない／共感を呼ばないが、今日の聴衆の皆さんであれば、、、

天文学の目標＝TMTで探る謎： 夜空のムコウの世界はどうなっている？

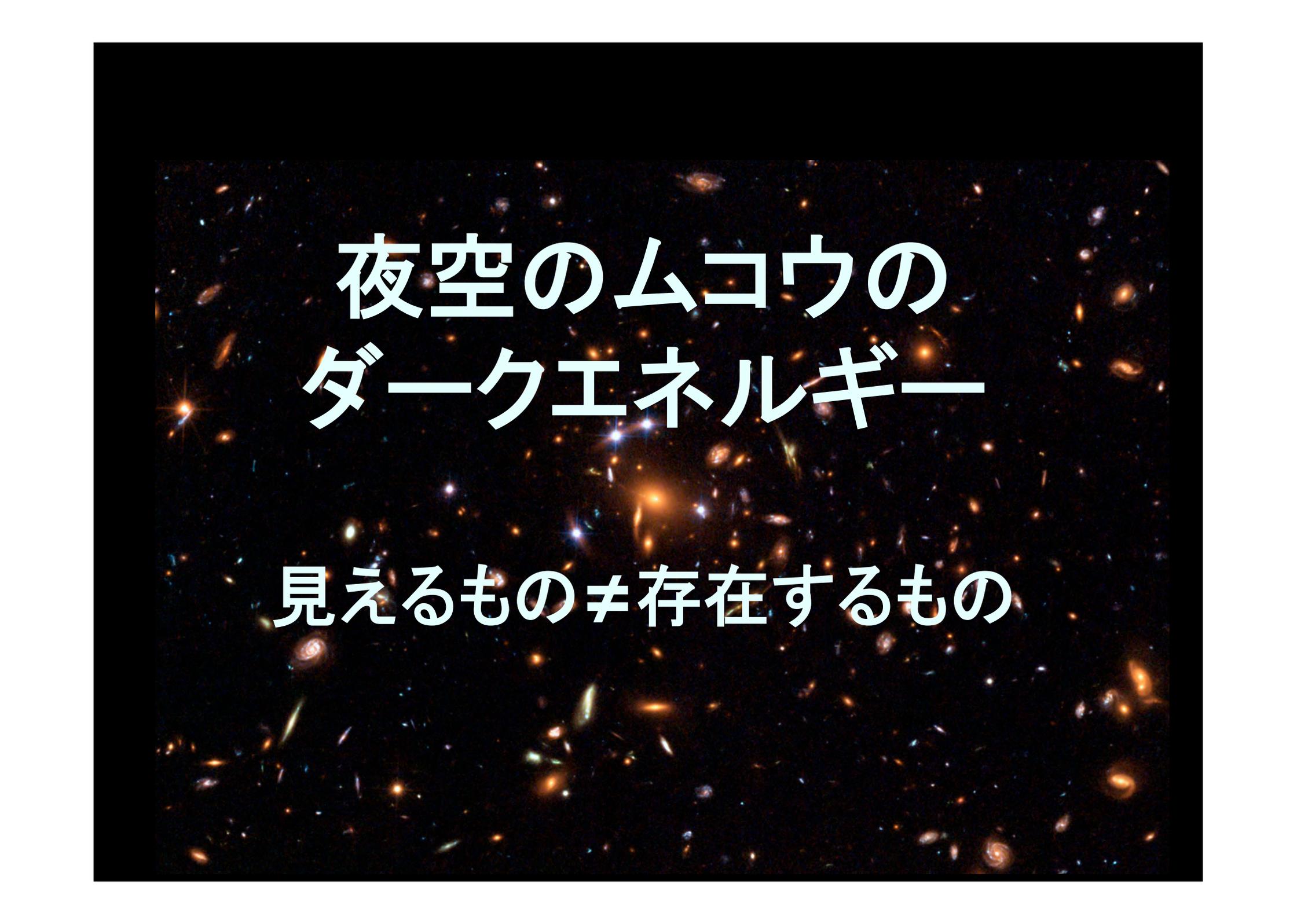
■ 宇宙を知り、世界を知る

イラスト：羽馬有紗



■ 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“invaluable”な疑問に挑戦する

- 宇宙の果てにある最初の天体を探す（家先生）
- 生命を宿すもう一つの地球はあるか？（田村先生）
- 宇宙は何からできているか？（私の今回の話）



夜空のムコウの ダークエネルギー

見えるもの ≠ 存在するもの

カリフォルニアの青い空

- この青空は世界のすべてなのか
- この先に別の世界が存在するのか

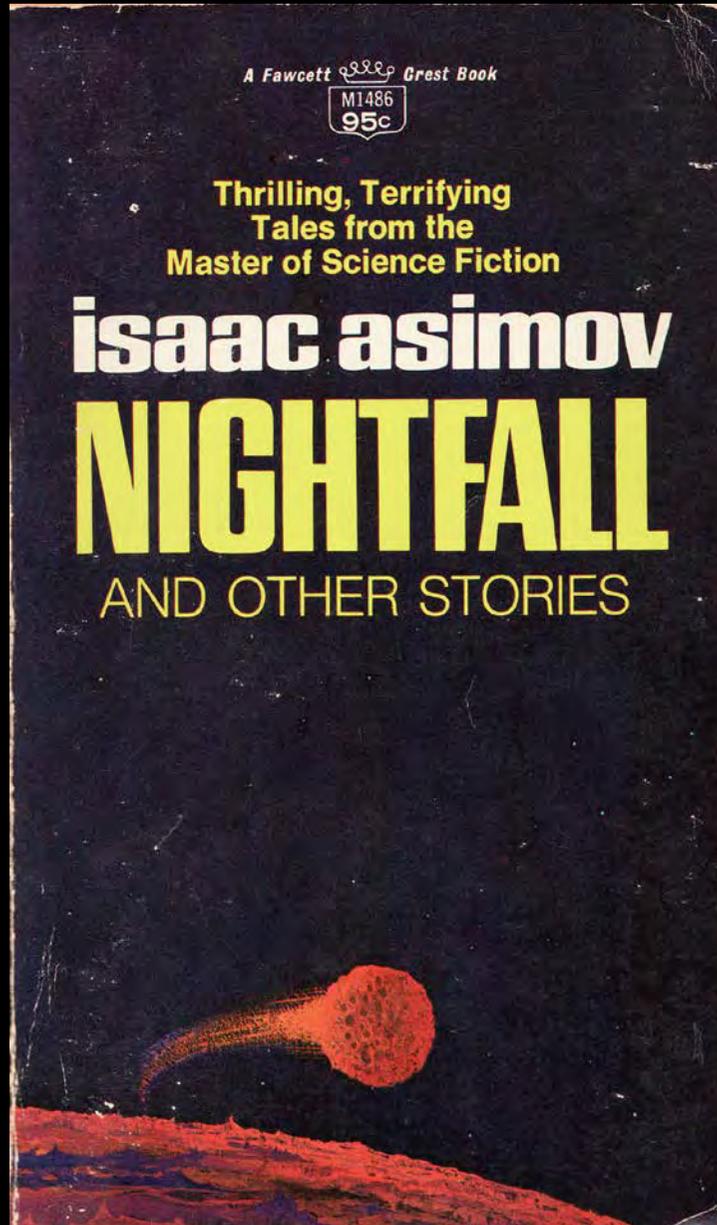
アイザック・アシモフ著 「夜来たる」



イラスト：羽馬有紗

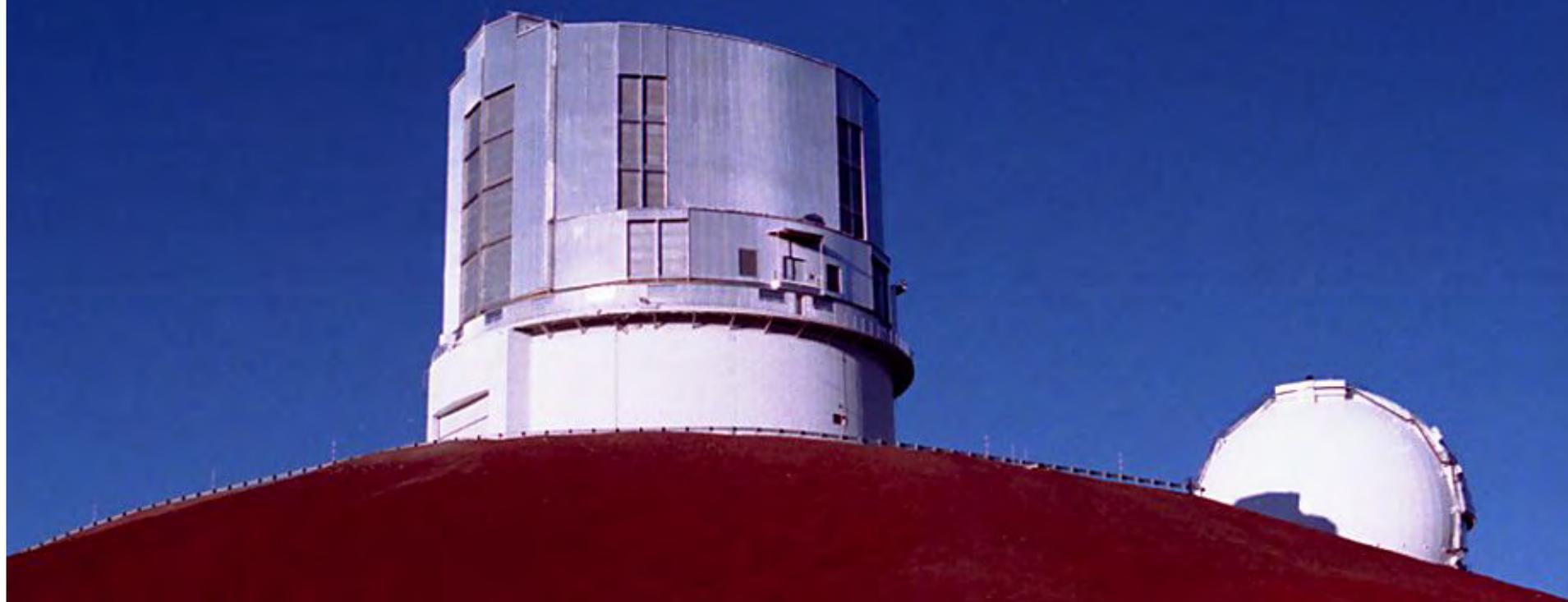
- 2000年に一度しか夜が来ない“地球”の人たち
- 自分たちの“地球”と宇宙との関係は？

アイザック アシモフ: Nightfall (夜来たる)



- 夜の存在が外の世界の存在を教えてくれる秀逸な名作
- “Light !” he screamed. Aton, somewhere, was crying, whimpering horribly like a terribly frightened child. *“Stars -- all the Stars -- we didn't know at all. We didn't know anything.”*

青空しか見えなければそれが世界の
すべてだと思い込んでしまう



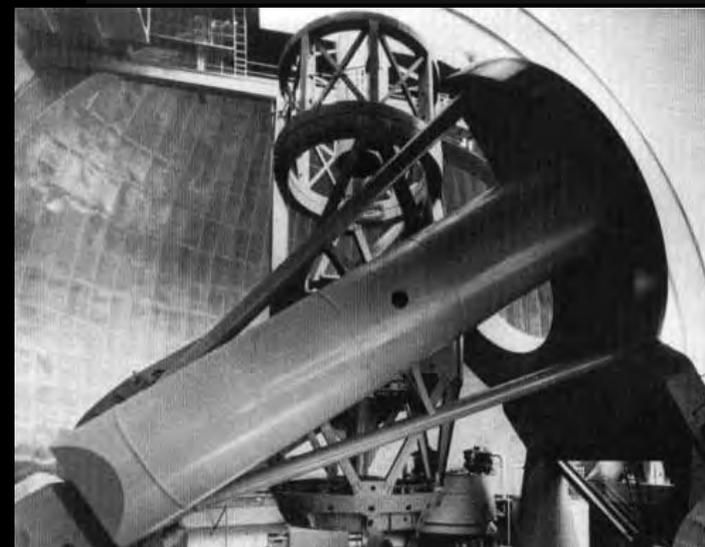
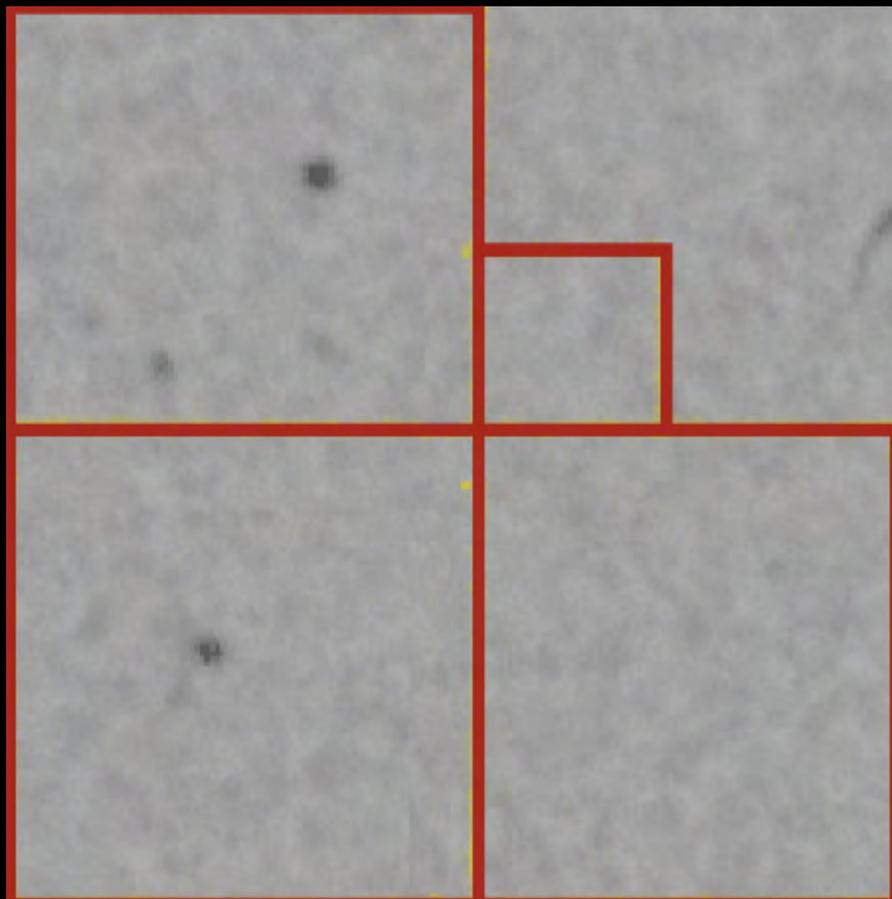
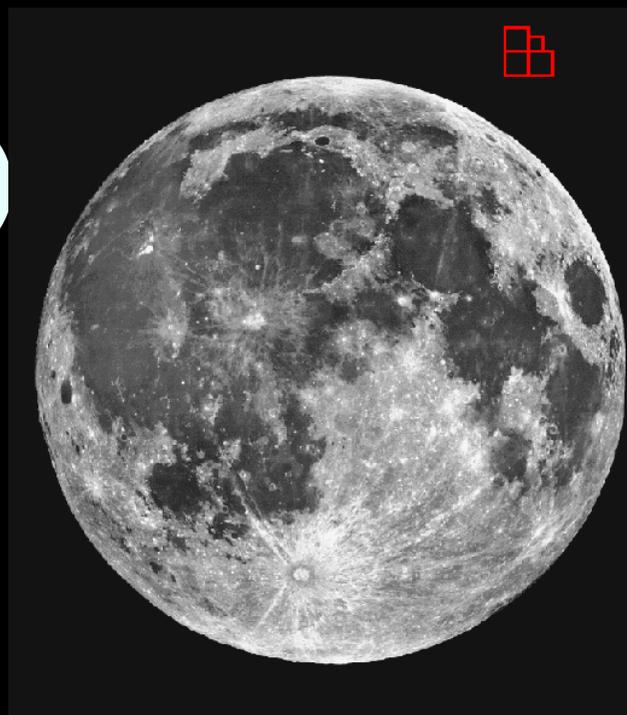


「我々は何も知らなかった」

実は世界のほとんどは目に見えない

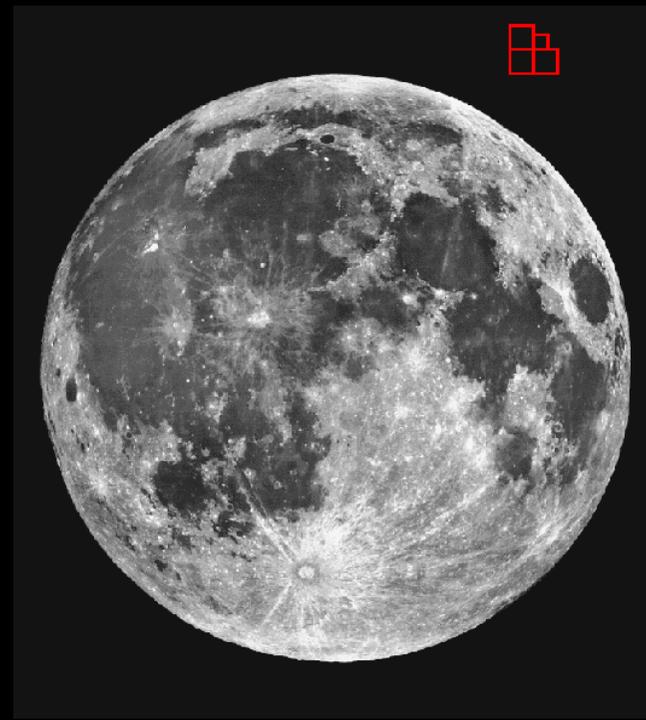
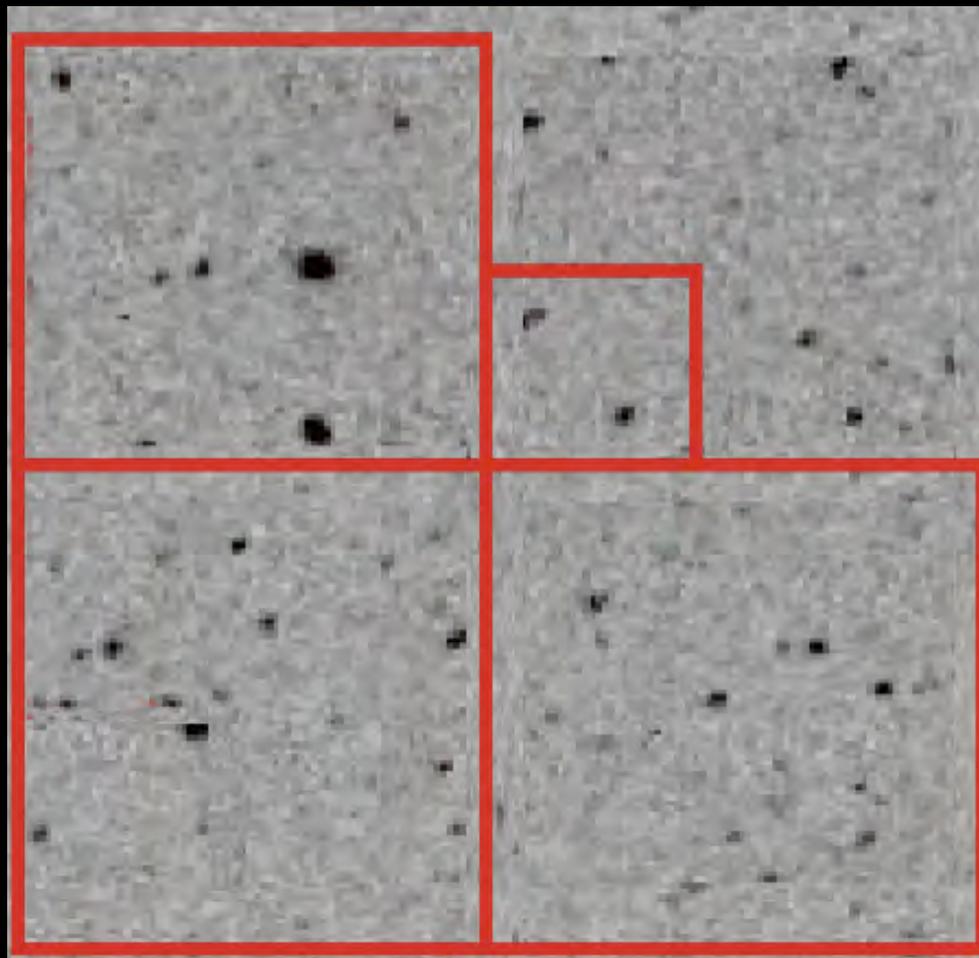
(すばる観測所、田中壺氏撮影)

宇宙を見る目の進歩 (1)



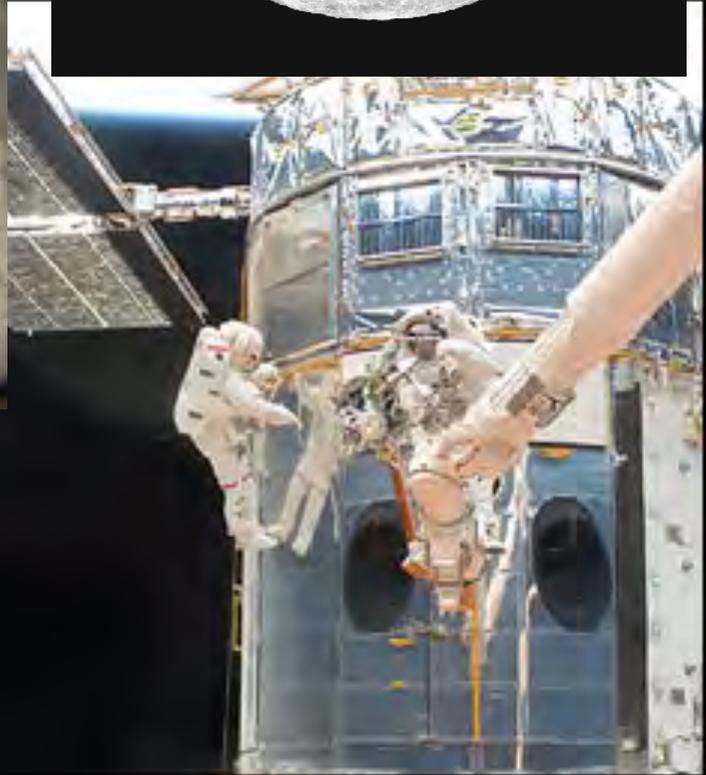
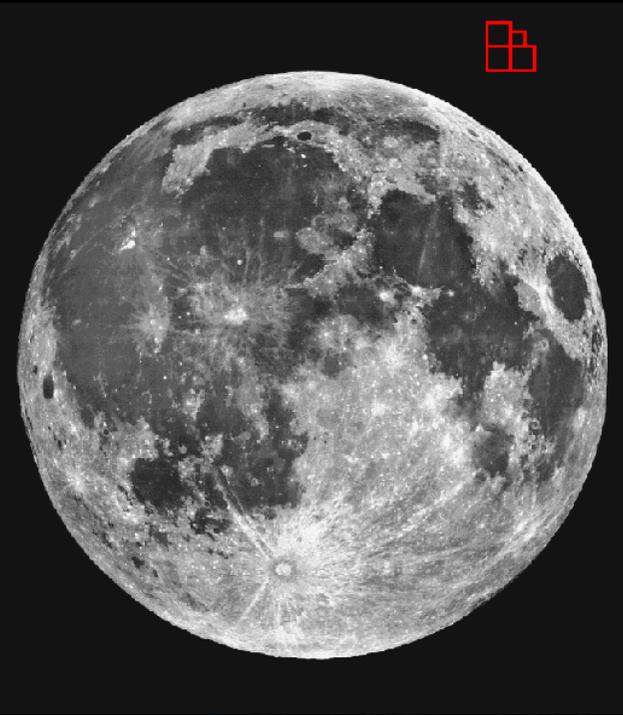
地上5m望遠鏡＋写真乾板
100万×人間の眼

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)



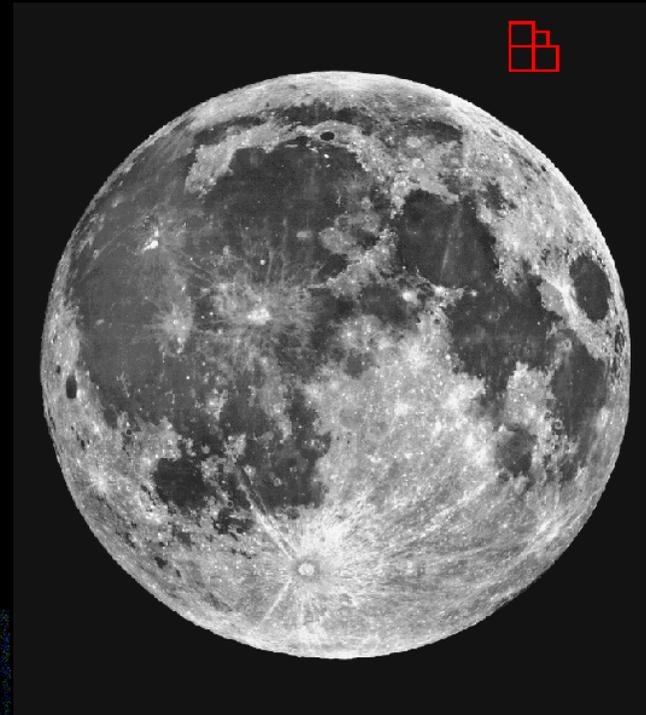
ハッブル宇宙望遠鏡

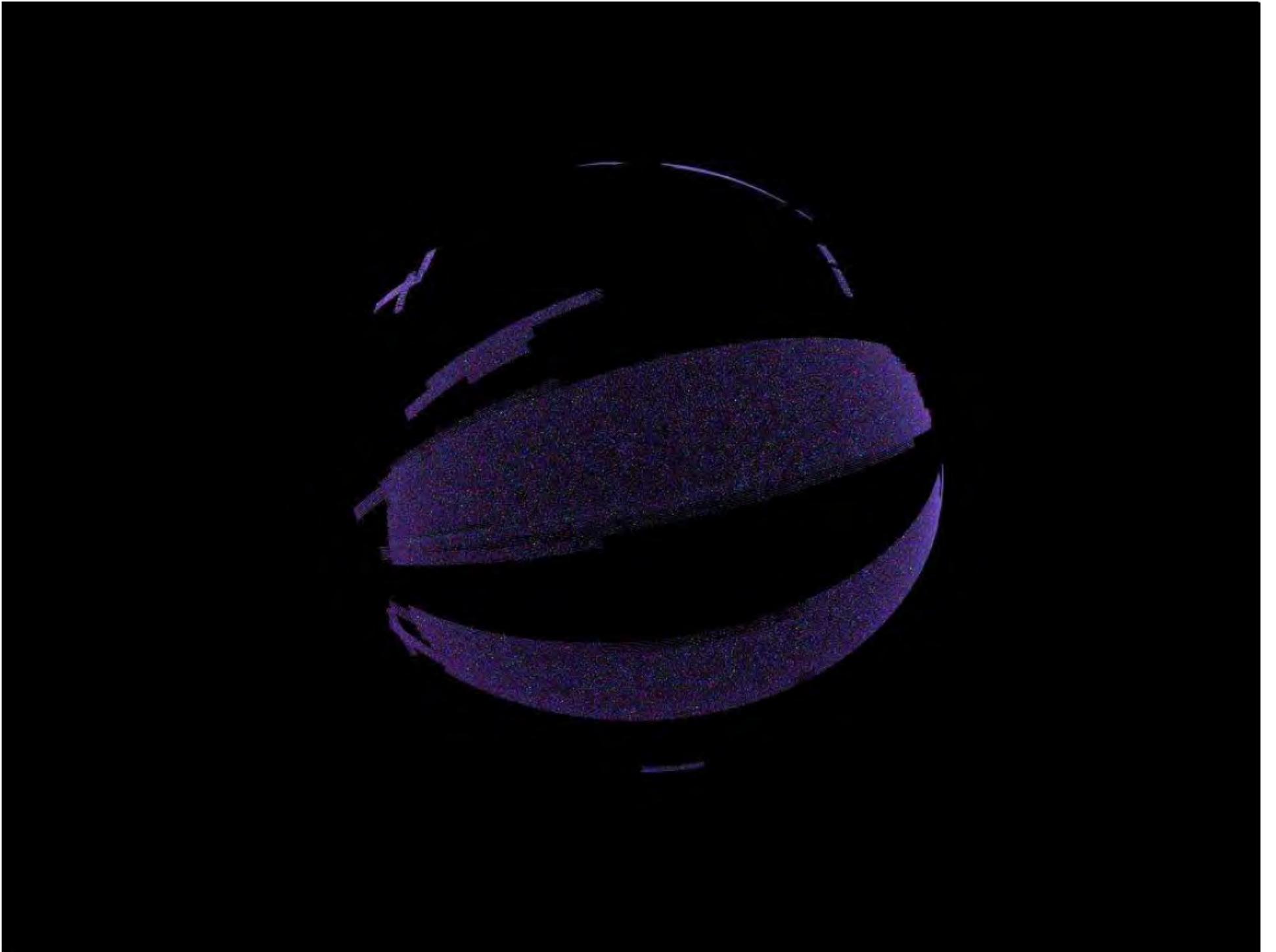


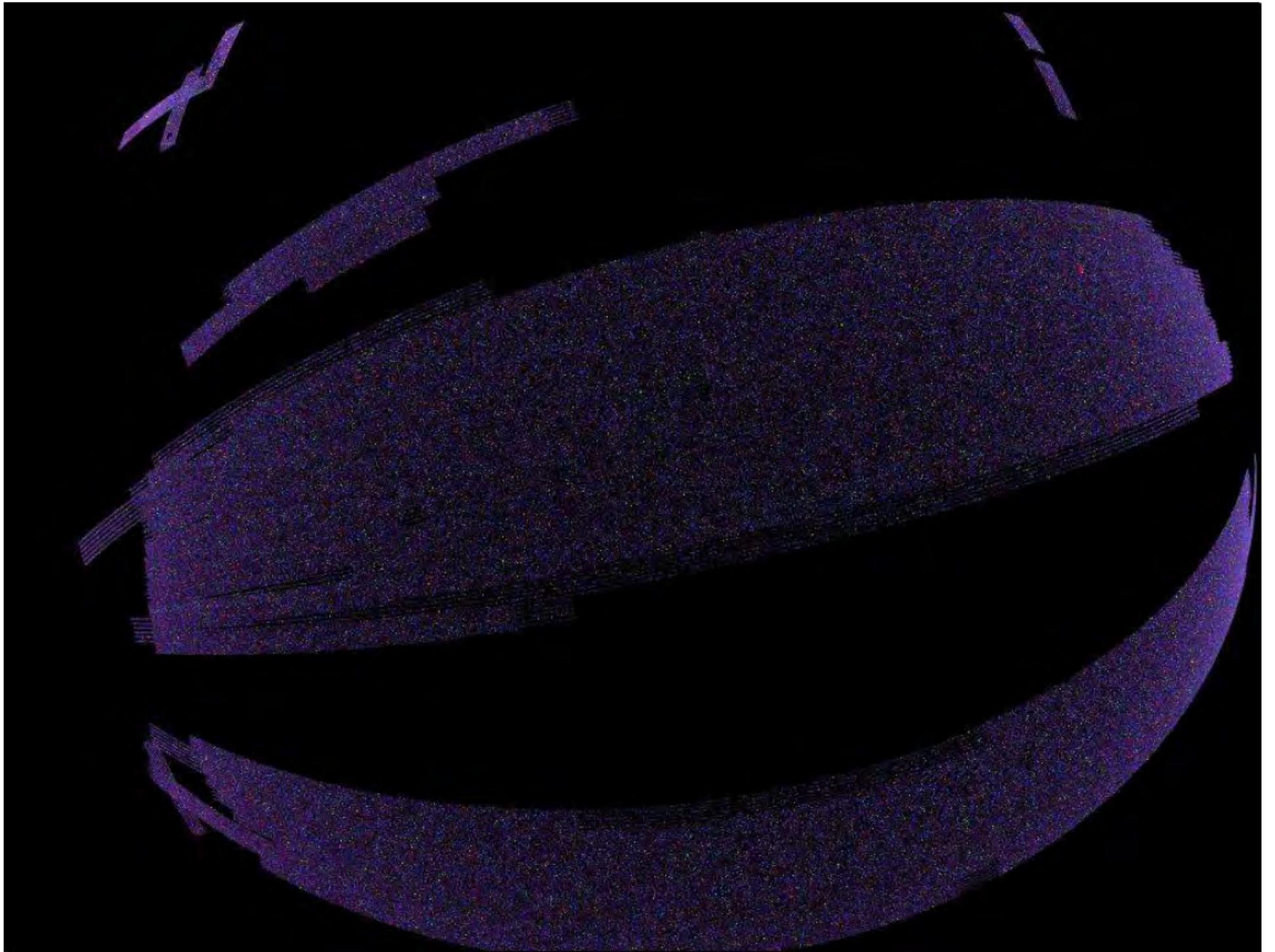
Hubble Deep Field
ST ScI, OPD, January 15, 1996. R. Williams and the HDF Team (ST ScI and NASA)

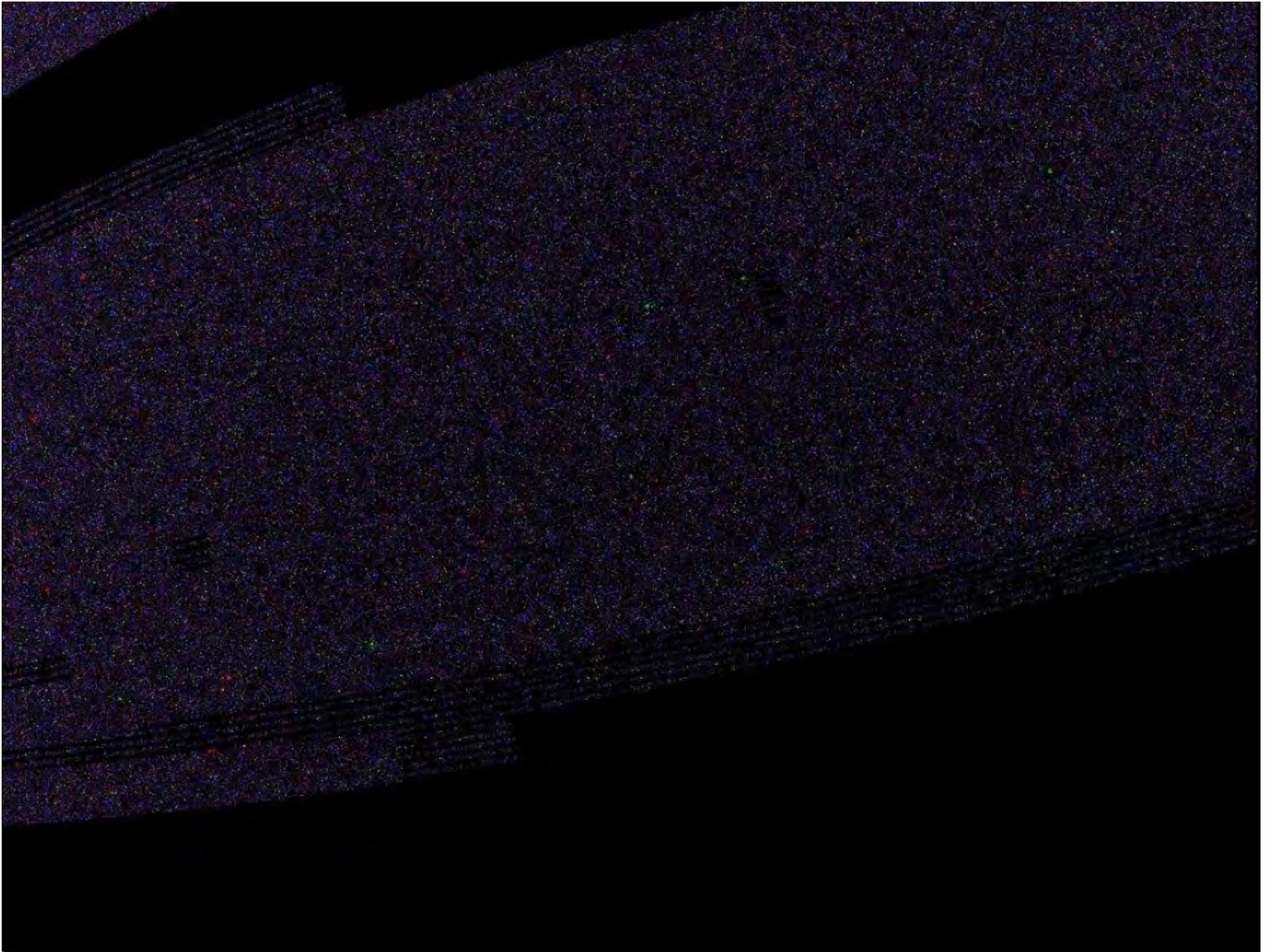
HST WFC2

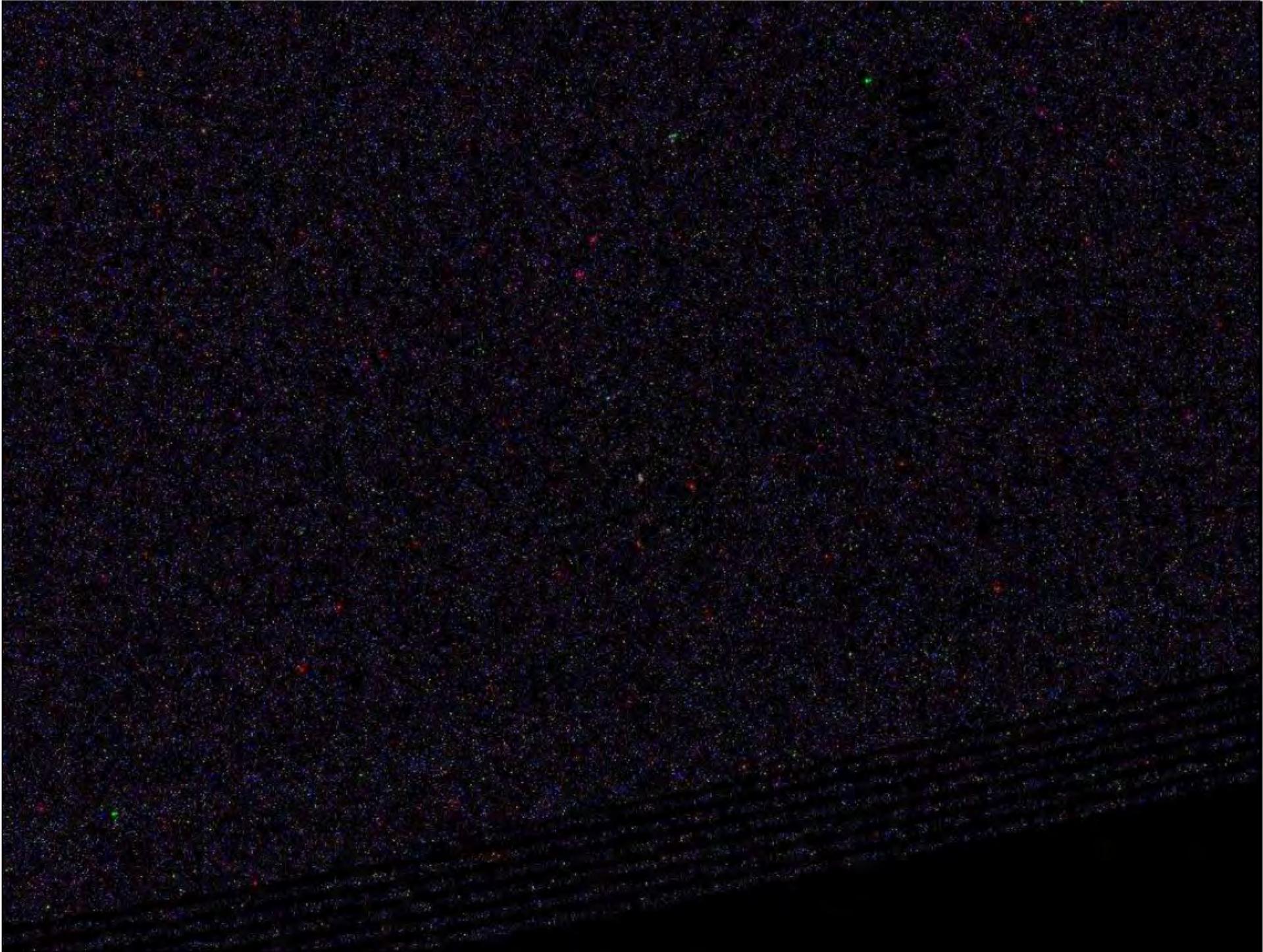
ハッブル宇宙望遠鏡+CCD:
1000×地上望遠鏡





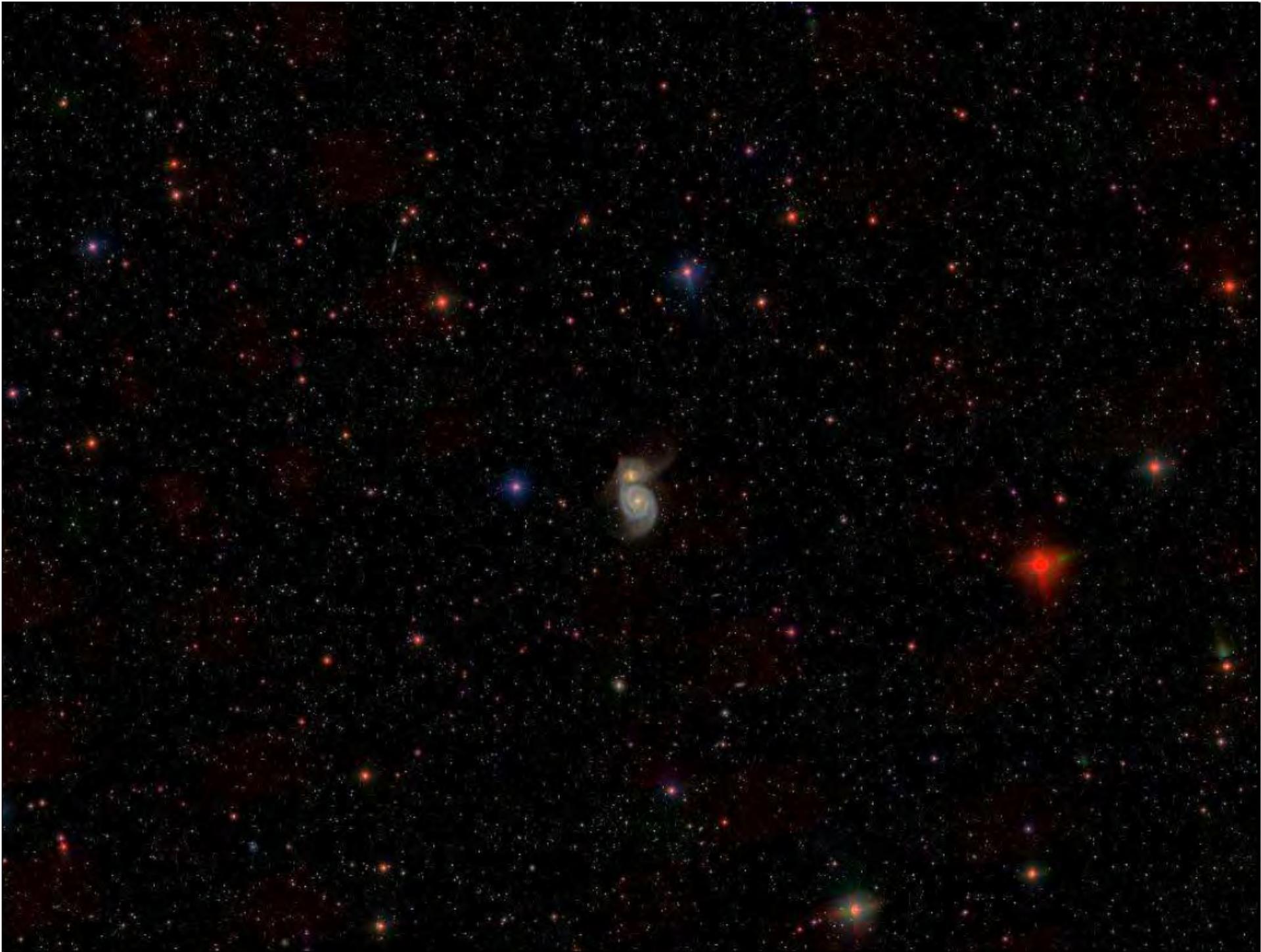


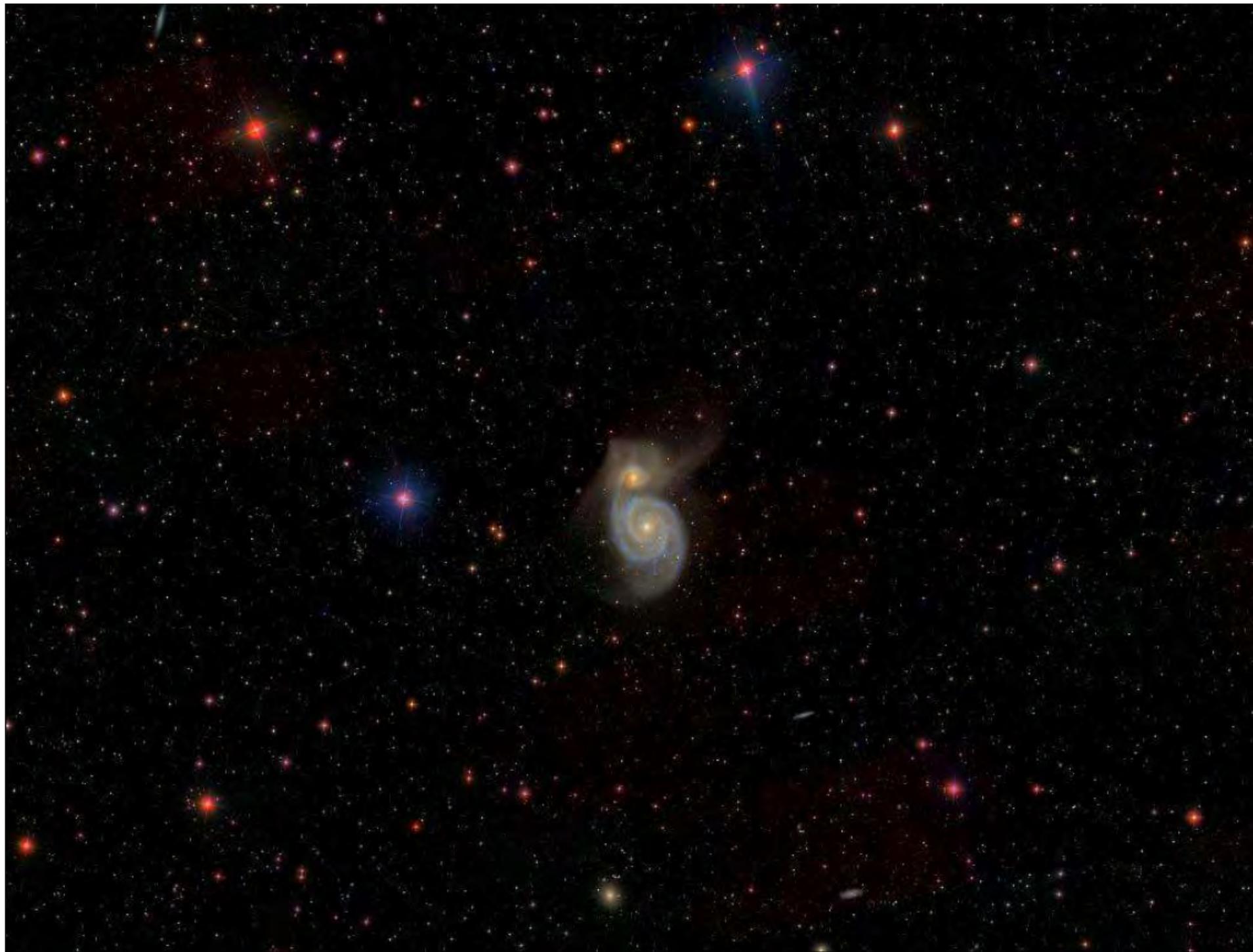














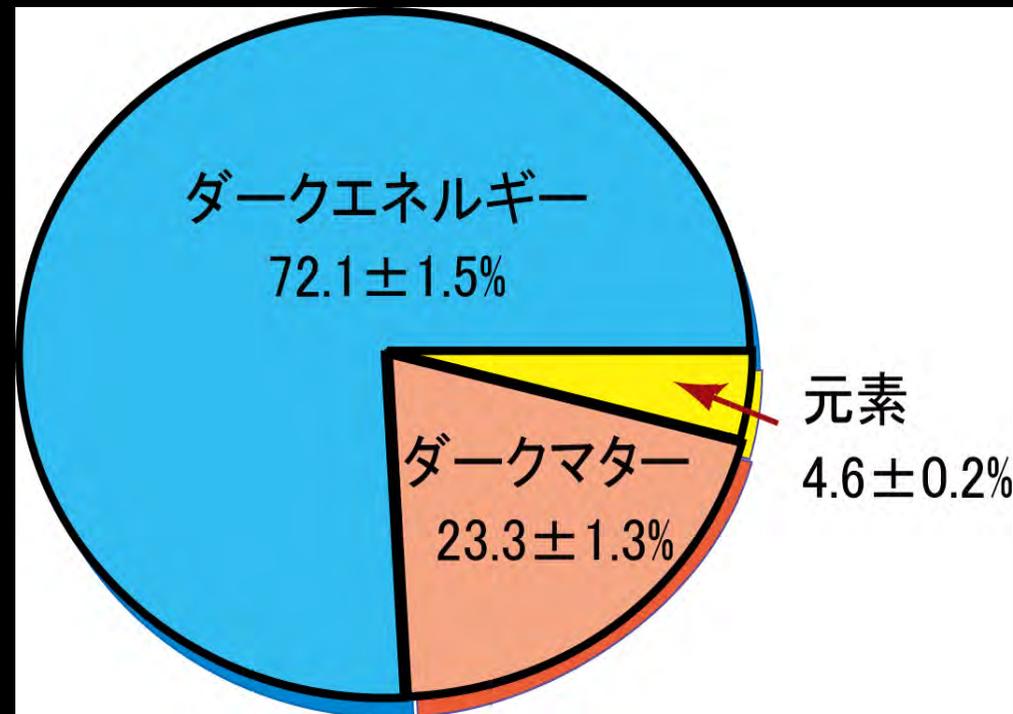




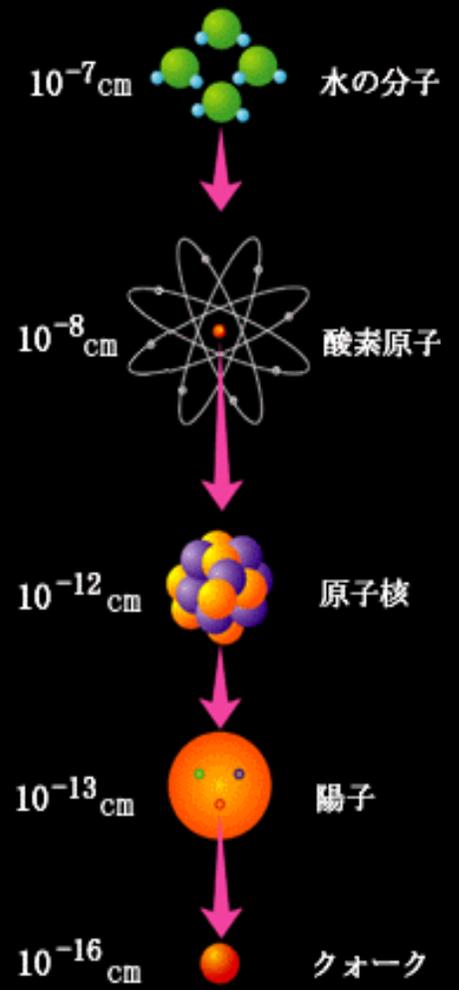
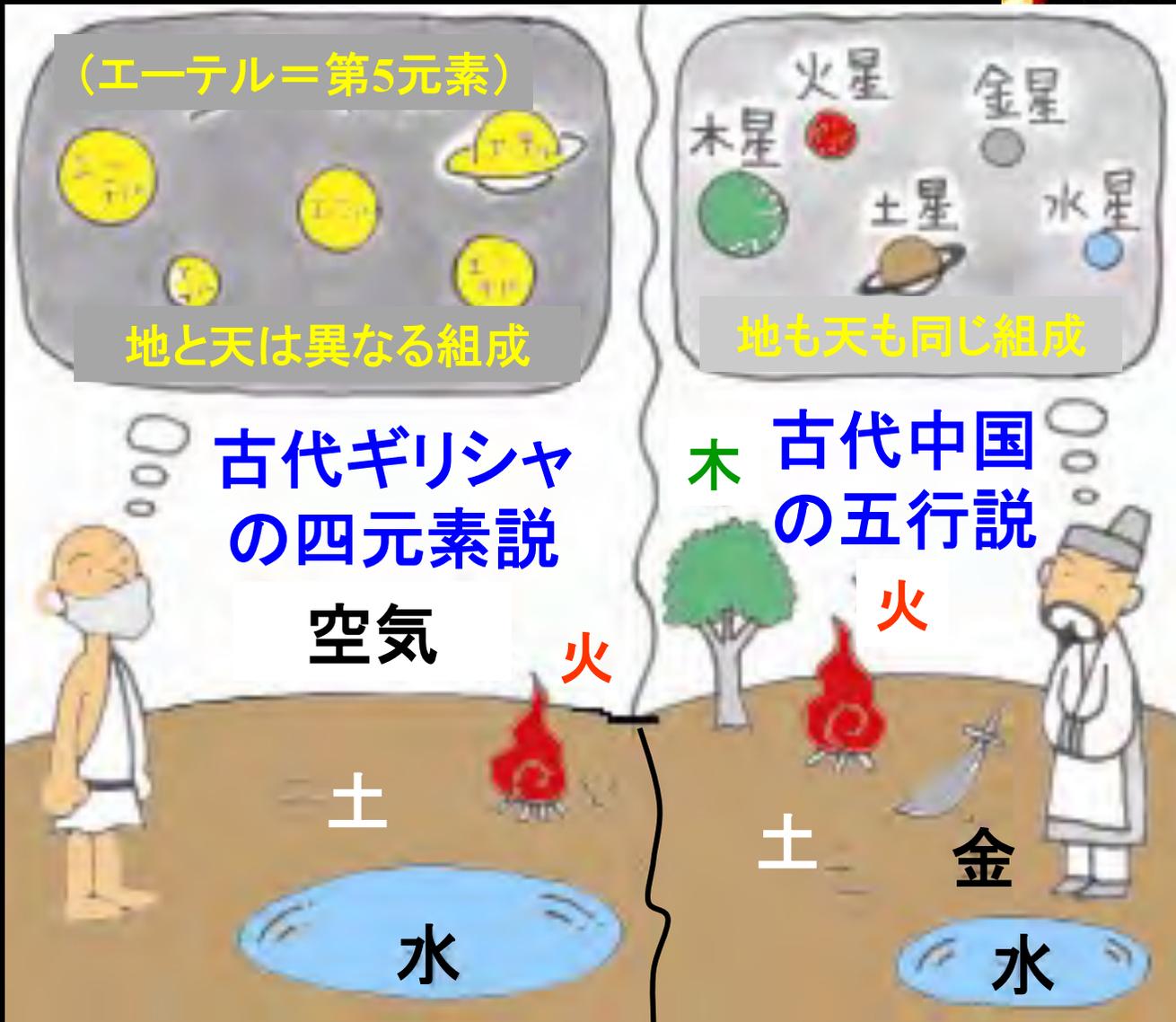
SDSS 銀河3次元地図



見えなくとも宇宙を満たしているもの 宇宙のダークエネルギー



世界の成り立ちに 思いをはせる



(いづもり よう:須藤靖「ものの大きさ」図1.1より)

世界は何からできているのか？

■ 古代ギリシャの4元説

- 空気、土、火、水

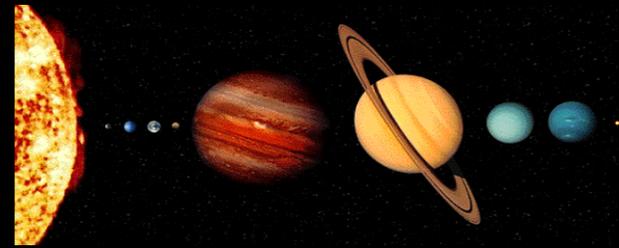
■ 中国の五行説

- (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

2011年ノーベル物理学賞

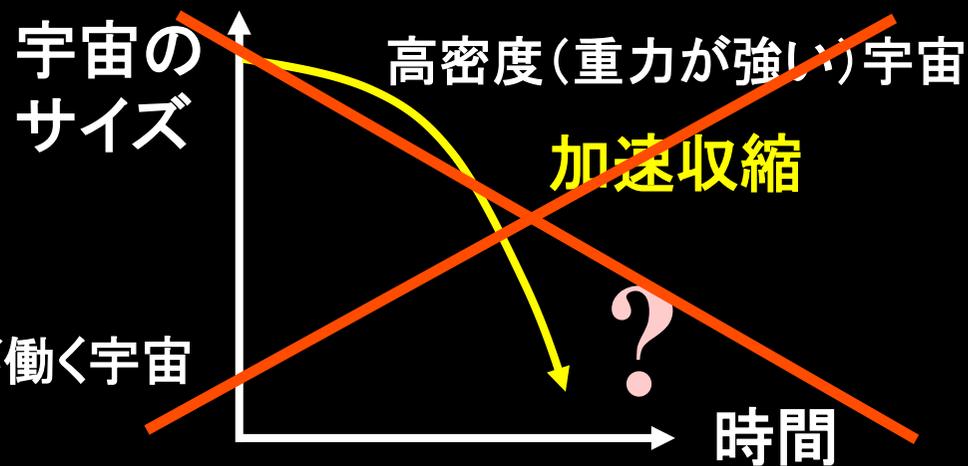
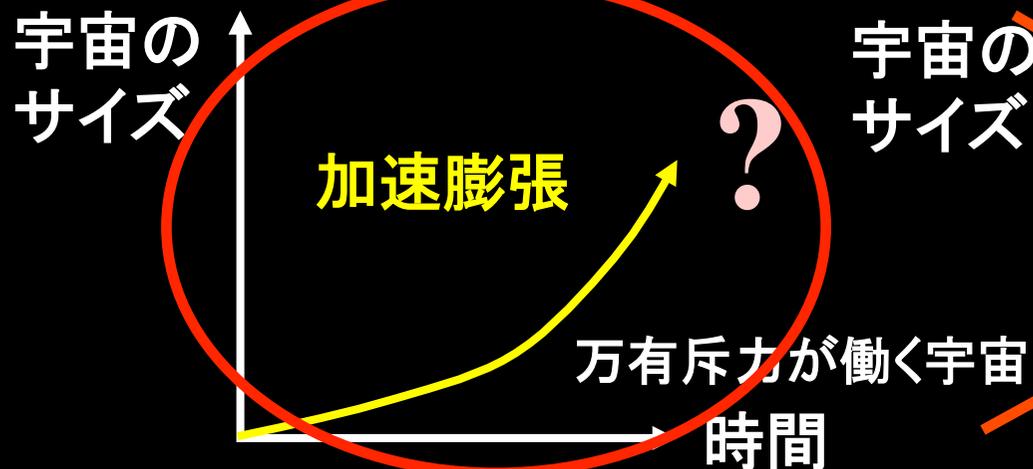
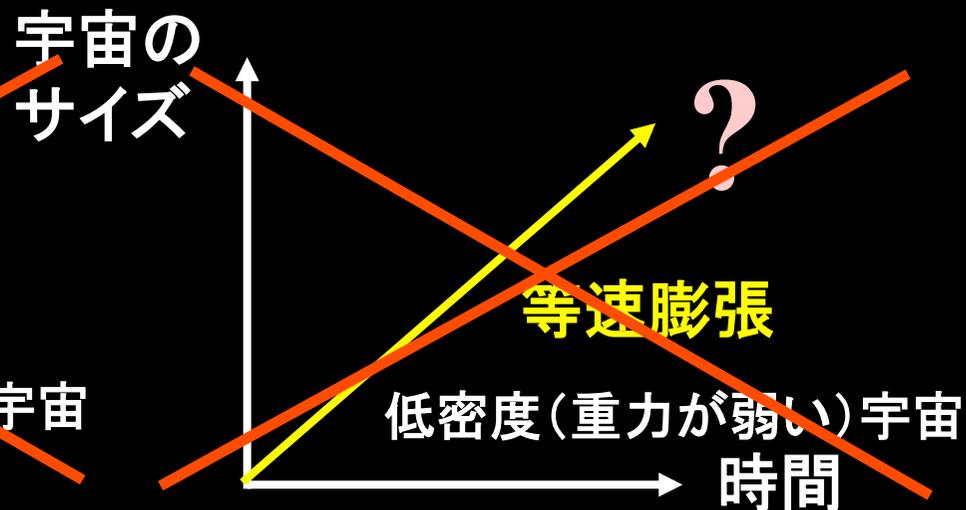
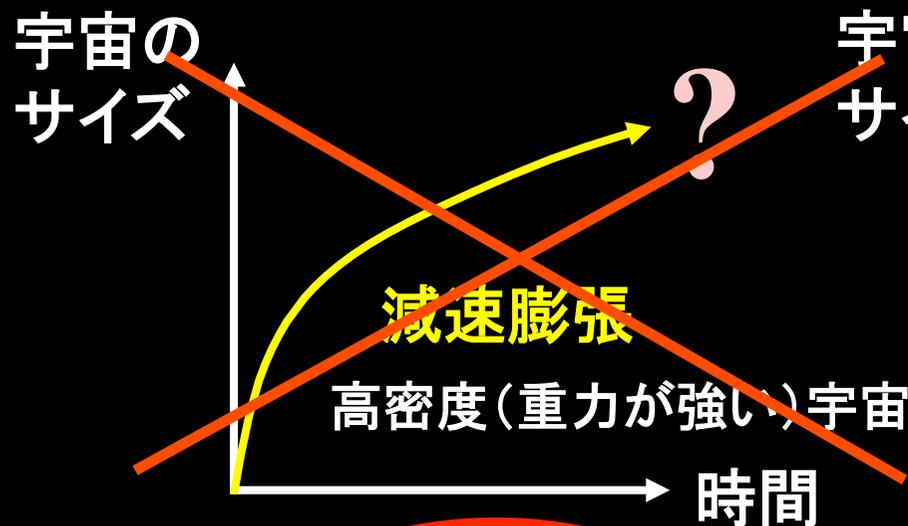
■ **Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt and Adam G. Riess**

- 遠方超新星の観測を通じた宇宙の加速膨張の発見
- 今日は詳しく述べないが、これが宇宙のダークエネルギーの存在を強く示唆する



宇宙の加速膨張

ダークエネルギー、宇宙の未来



本来は宇宙は加速できないはず！

■ ニュートンの重力の逆二乗則

$$\frac{d^2 a}{dt^2} = -\frac{GM(<a)}{a^2} = -\frac{G}{a^2} \left(\frac{4\pi}{3} \rho a^3 \right) = -\frac{4\pi G}{3} \rho a < 0$$

■ 一般相対論による宇宙膨張の式

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

- 圧力も重力源として寄与する
- 負の加速度を説明するには、負の質量あるいは負の圧力を仮定するしかない
 - アインシュタインの宇宙定数: $p = -\rho$
 - より一般化したのがダークエネルギー: $p = w\rho$ (定数 $w < -1/3$)
- あるいはそもそも宇宙論スケールでは一般相対論が正しくないのかも(修正重力理論)

加速膨張＝ダークエネルギー？

■ 宇宙の加速膨張が示唆するもの

- 法則(一般相対論)が正しければダークエネルギー
- ダークエネルギーが存在しなければ法則(一般相対論)が間違い⇒修正重力仮説

■ ダークマターとは異なり、空間的に局在しているようなものではない

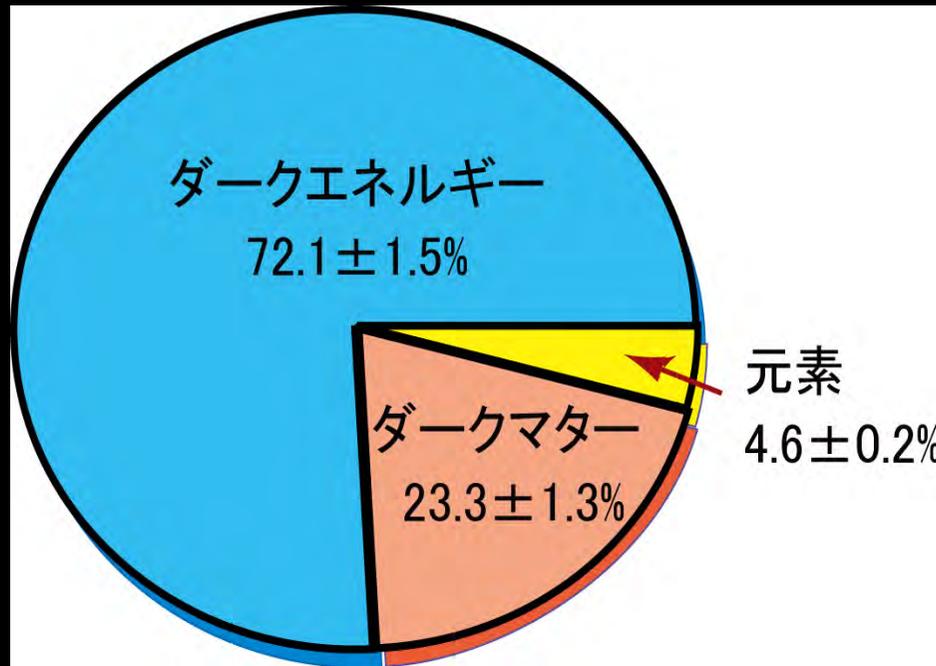
- 例えば、本来何もないはずの真空自体が持っているエネルギーのように、宇宙全体を一様にみたしている

■ 実効的に「斥力」的な振る舞い

- 1917年にアインシュタインが(全く異なる理由から)導入した宇宙定数に対応

宇宙は何からできている？

- 万有斥力(負の圧力)
- アインシュタインの宇宙定数？ **ダークエネルギー**
- 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



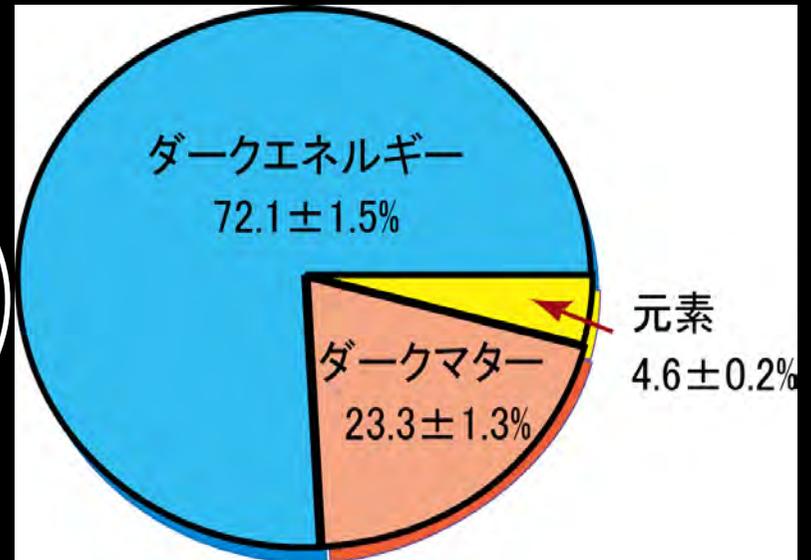
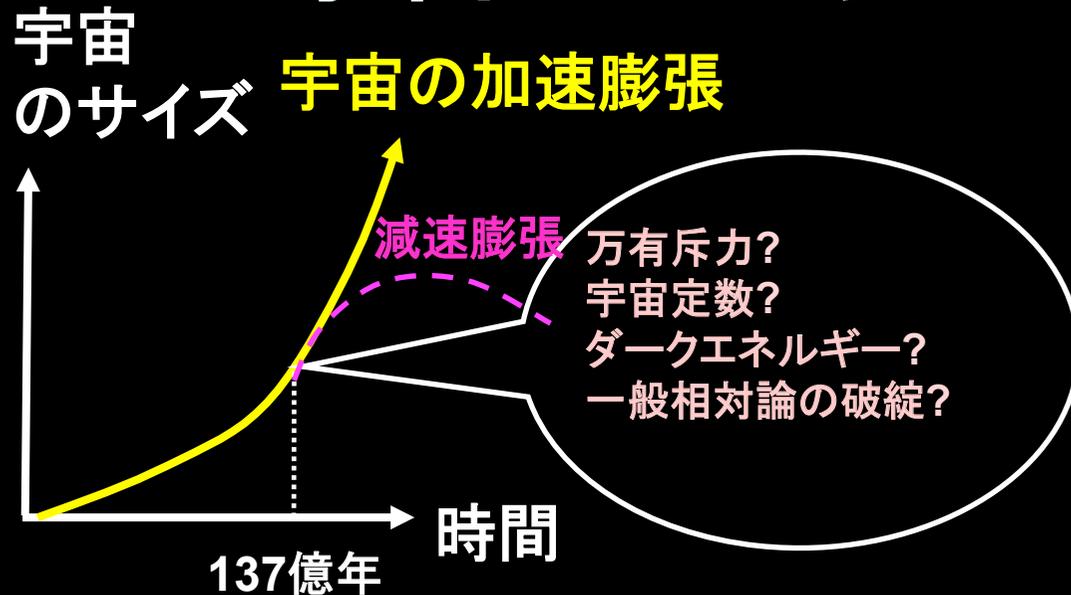
元素

- 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

ダークマター

- 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？

宇宙の95%以上が正体不明



- **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
- **我々は何も知らなかった**

ダークエネルギーの謎

■ とにかく正体不明

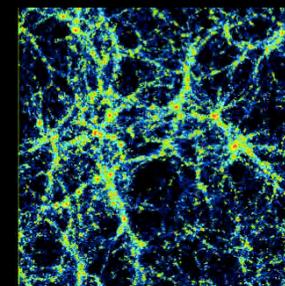
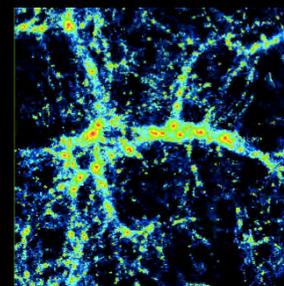
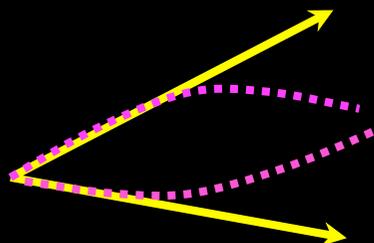
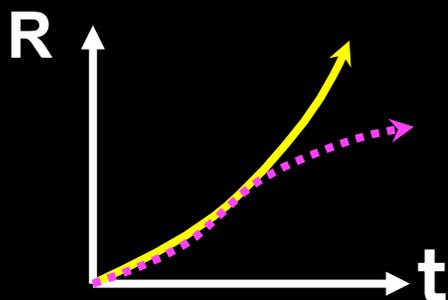
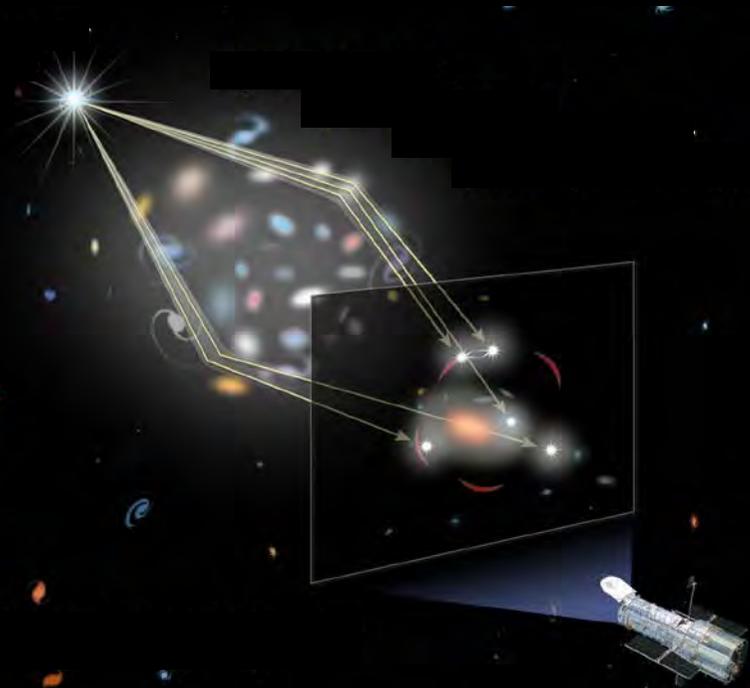
- 負の圧力をもつ物質？ 宇宙定数？ 真空のエネルギー？ 何のこっちゃ？
- 分からないのは当たり前

■ 天文観測しかない！

- サーベイ観測：とにかく膨大な個数の銀河を観測し尽くして、宇宙の平均的な姿を精度よく知る
 - SDSS, 後述のすばるSuMIReプロジェクト
- ターゲット観測：理想的な観測対象を選び抜き、追隨を許さない空間・波長分解能/精度で検証する
 - TMT
- この2つの観測方法論は極めて相補的

ダークエネルギーの観測的兆候

- 宇宙膨張
- 宇宙の幾何学
- 宇宙の構造進化
- **4つの主な手法**
 - 超新星のハッブル図
 - マイクロ波背景輻射
 - 重力レンズ
 - バリオン振動



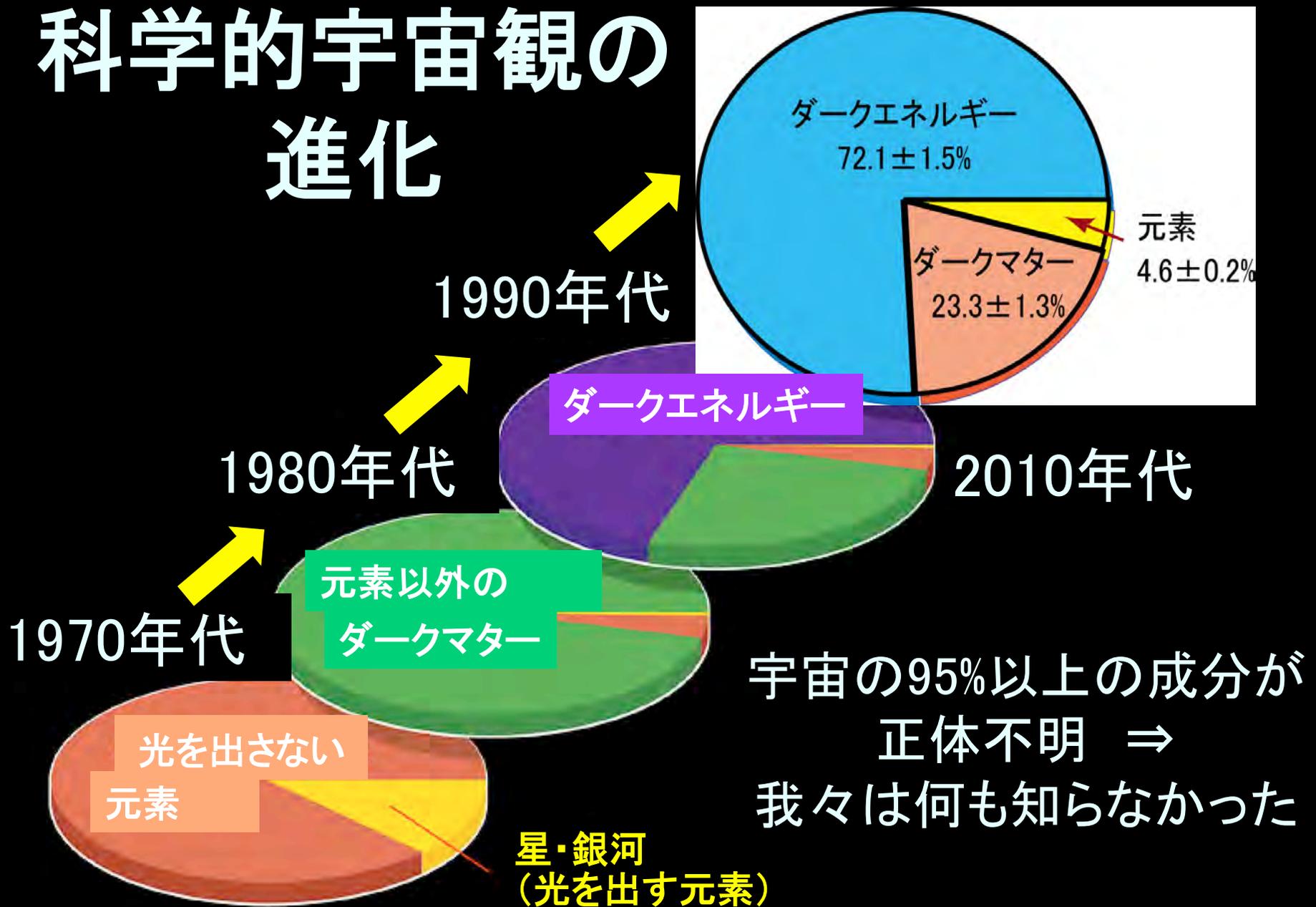
すばる望遠鏡の挑戦: SuMIReプロジェクト(PI:村山齊)



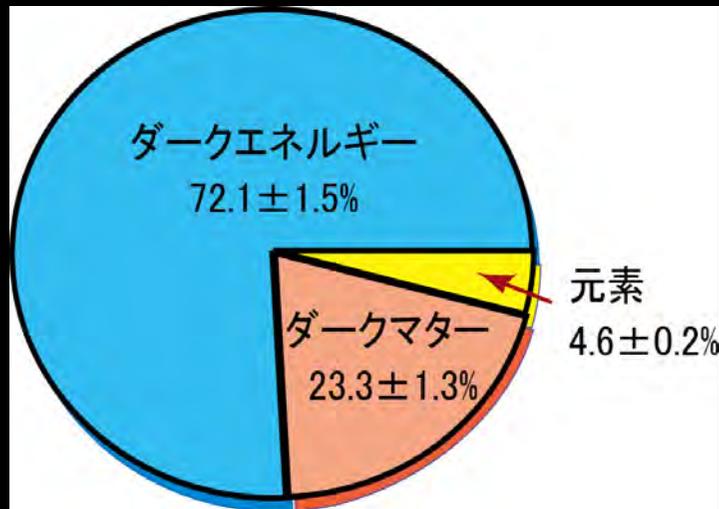
TMTが挑戦する謎

- 宇宙最遠方銀河と第一世代天体（家先生）
 - 日本がすばるで主導しているテーマ
- 太陽系外惑星の直接撮像・分光とバイオマーカー探査（田村先生）
 - 天文学から宇宙生物学へ
- 宇宙の膨張率の直接測定
 - ダークエネルギー効果の直接的検証
- 物理基本定数は時間変化するか？
 - 物理学の大前提を直接検証
- むろんこれら以外にも高解像度・高感度で従来のあらゆる天文学観測を飛躍的に進歩させる

科学的宇宙観の進化

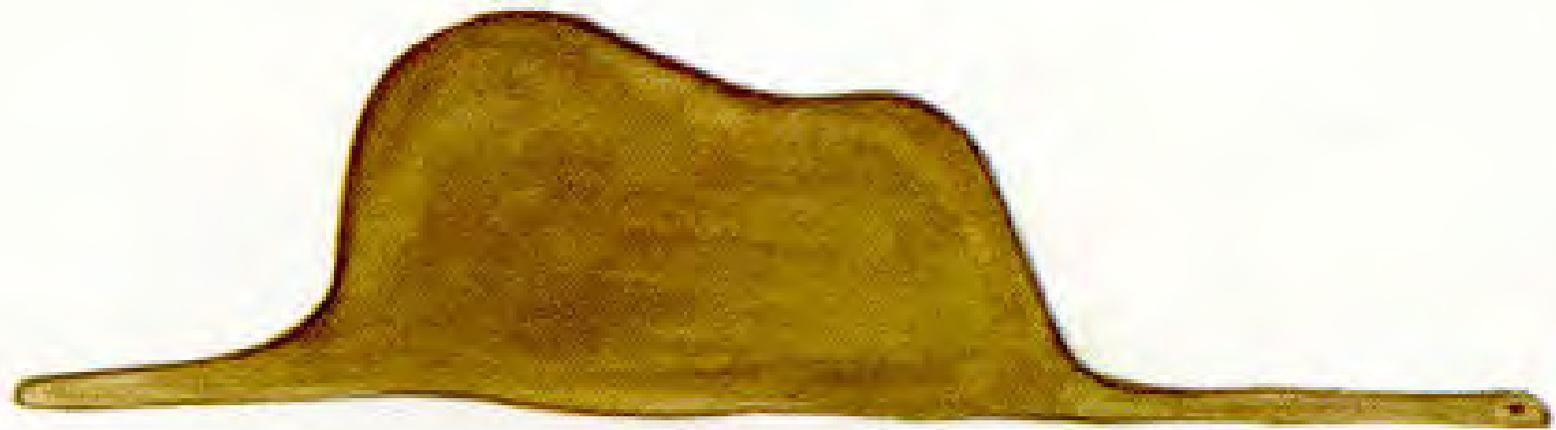


20世紀の天文学が見た夜空ノムコウ 「宇宙は何からできているか？」



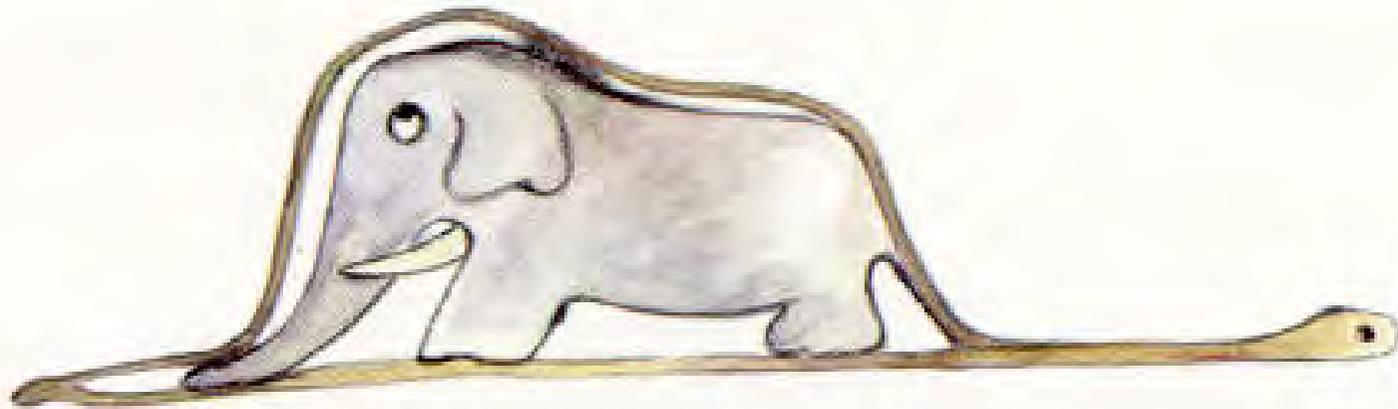
- 我々の体をはじめ、地上のすべての物質は**元素**から成る
 - しかし宇宙全体を考えると、元素の割合は5%以下
 - 光は出さず重力だけを及ぼす**ダークマター**が約2割
 - 残る7割以上は、宇宙を一様に満たす**ダークエネルギー**
-
- **目に見えない ≠ 存在しない**
 - **宇宙は目に見えない存在に支配されている？**

みえているものだけがすべてではない



*Mon dessin ne représentait pas un chapeau. Il représentait
un serpent boa qui digérait un éléphant*

大切なものは目に見えない



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



この青空のムコウには
無数の星々
がきらめいている

実はこの星空のムコウにも
ダークエネルギー
が満ちている



金子みすず：『星とたんぽぽ』

青いお空のそこふかく
海の小石のそのように
夜がくるまでしずんでる
昼のお星はめにみえぬ
見えぬけれどももあるんだよ
見えぬものでもあるんだよ