

■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

* : 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC : 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

Ⓒ : パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし : 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 Todai OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2013, 村山齊

The University of Tokyo / Todai OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2013, Hitoshi Murayama

宇宙になぜ 我々が存在するのか

学術俯瞰講義 2013年4月8日

村山齊 カブリ数物連携宇宙研究機構

UC Berkeley, Lawrence Berkeley Laboratory

宇宙はどうやって始まったのか

宇宙に終わりはあるのか

宇宙は何でできているのか

宇宙はどういう仕組みなのか

宇宙にどうして私達がいるのか

人類誕生以来の疑問

今や科学の力で迫れる



カブリ数物連携宇宙研究機構

Kavli IPMU (Kavli Institute for the Physics
and Mathematics of the Universe)

宇宙になぜ 我々が存在するのか

学術俯瞰講義 2013年4月8日

村山齊 カブリ数物連携宇宙研究機構

UC Berkeley, Lawrence Berkeley Laboratory

主題科目 / テーマ講義 2単位 1、2年生対象

物質の神秘

—その生い立ちから私たちの未来まで—

コーディネータ:小島憲道(教養学部)

ナビゲータ:永田 敬(教養学部)



宇宙になぜ我々が存在するのか 村山 斉(国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構)

- 第1回 4/8 宇宙誕生
- 第2回 4/15 物質誕生
- 第3回 4/22 銀河誕生



物質科学とははじめ 家 泰弘(物性研究所)

- 第4回 5/7 現代社会と物質科学、原子・分子・物質の構造
- 第5回 5/13 物質の個性(物性)はどこから生まれるか
- 第6回 5/20 奇妙な量子の世界



現代社会と物質



- 第7回 5/27 金属の科学と材料としての応用 小関敏彦(工学部)
- 第8回 6/3 アクアマテリアルー持続性社会実現のための我々の挑戦 相田卓三(工学部)
- 第9回 6/10 半導体量子ドットー電子や光子を操るナノの世界 荒川泰彦(生産技術研究所)
- 第10回 6/17 放射線のリスクと防護の科学 飯本武志(環境安全本部)
- 第11回 6/24 チューインガムの物理 土井正男(豊田理化学研究所)
- 第12回 7/1 光機能性材料の科学ー化学に基づく新医療技術の創出 浦野泰照(医学部)
- 第13回 7/8 物質科学が拓く新エネルギーとサステナビリティの未来 瀬川浩司(先端科学技術研究センター)

駒場キャンパス 21 KOMCEE 月 曜日 2 時限 (10:40-12:10)
レクチャーホール

<http://www.gfk.c.u-tokyo.ac.jp/>



あらすじ

- 宇宙の誕生
- 物質の誕生
- 銀河の誕生

身近に
起きること



そのわけ



宇宙

素粒子

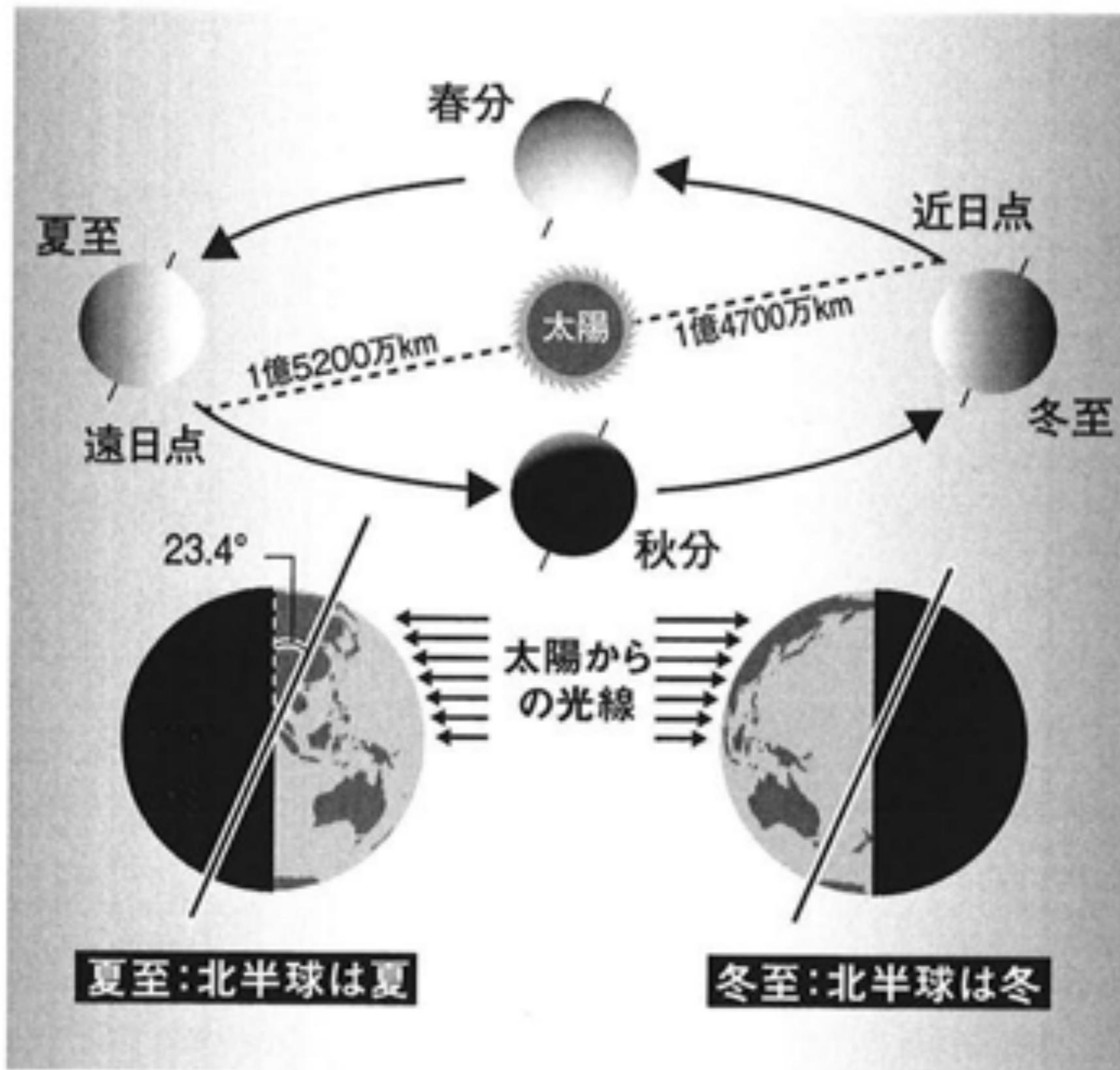
昼と夜



* Adapted from a photo by NASA/NSSDC

日頃当たり前前の
昼と夜は
宇宙規模の現象

季節

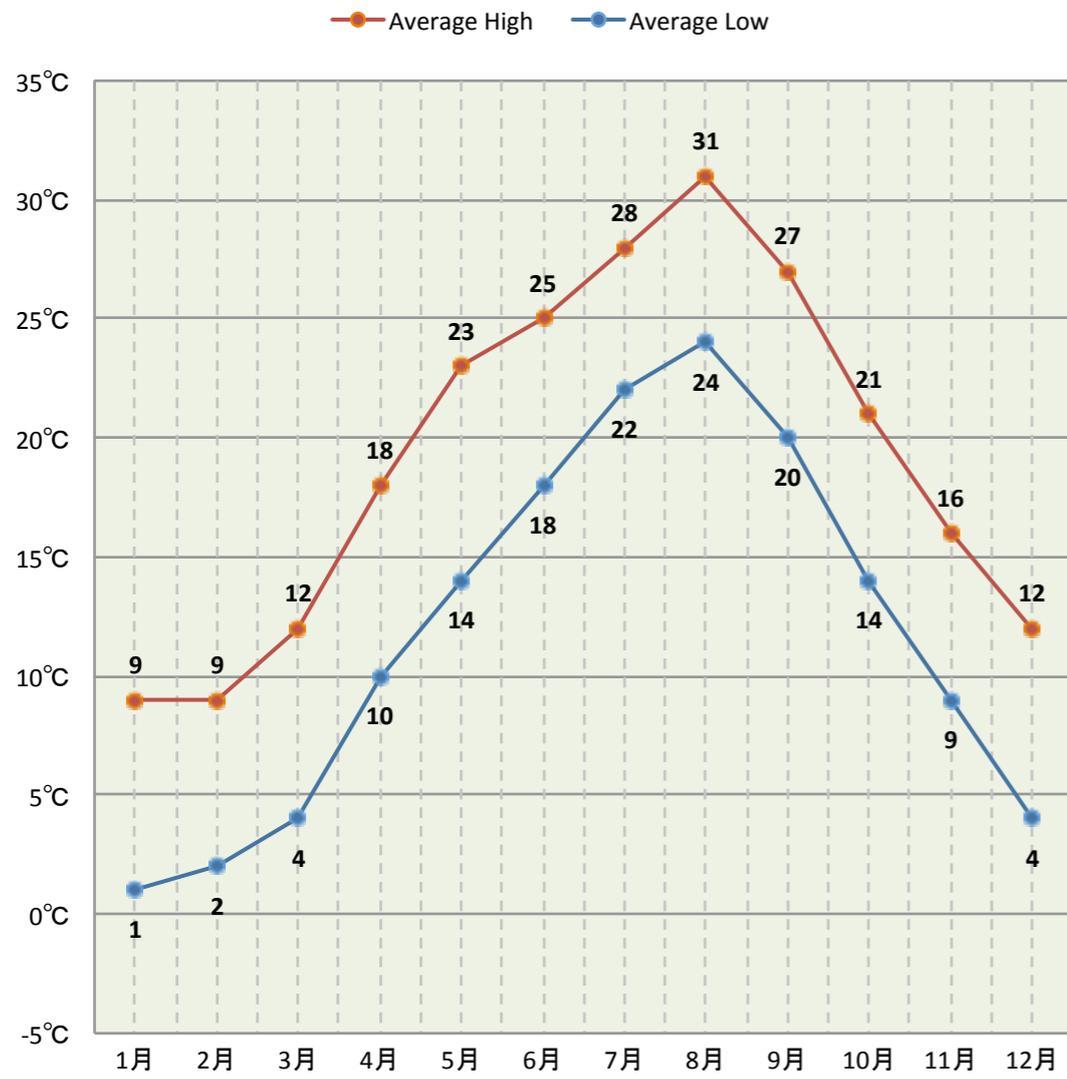


* 村山齊『宇宙はなぜこんなにうまくできているのか』
集英社インターナショナル、
2012年、p.15

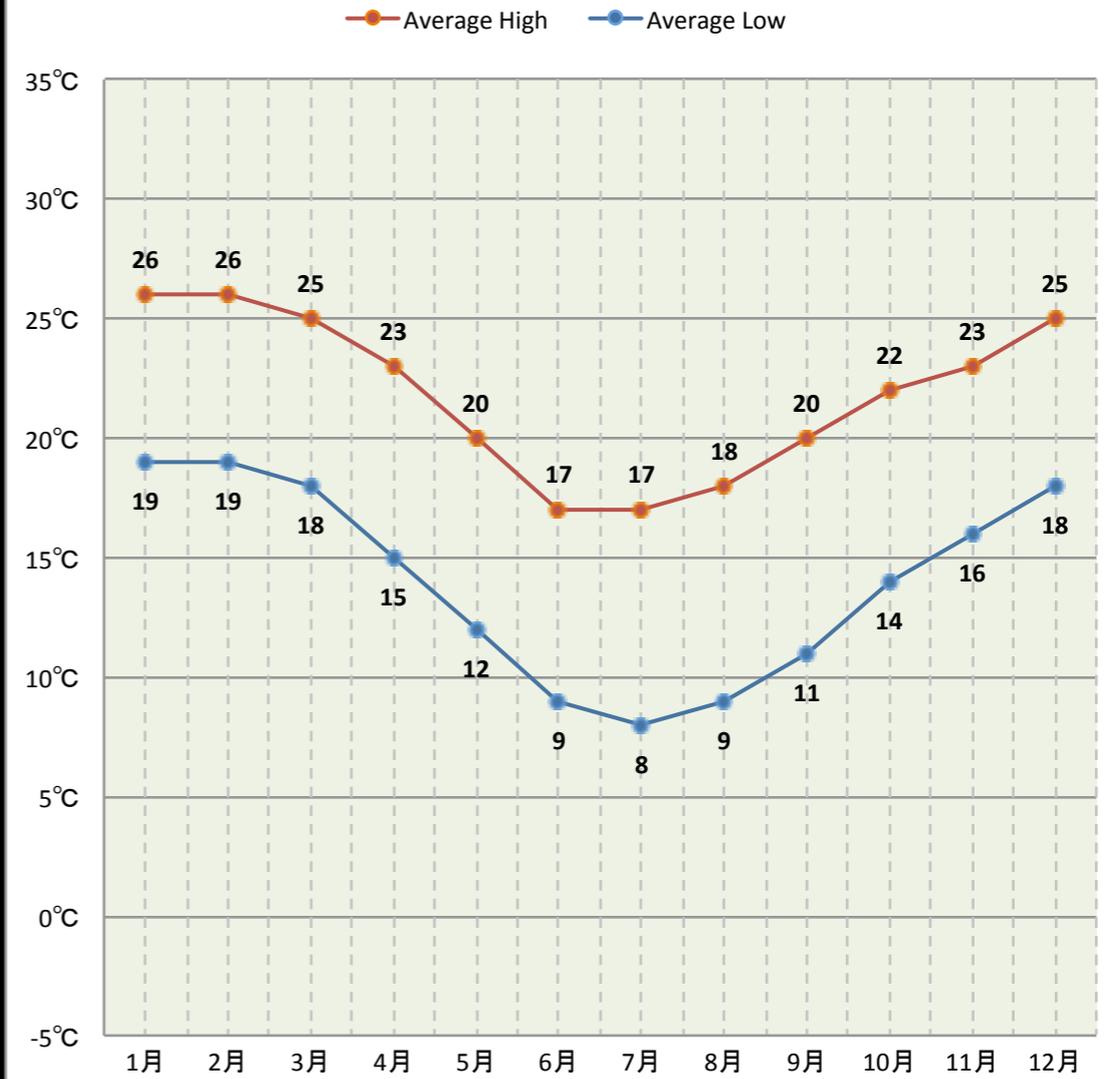
東京 (北半球)

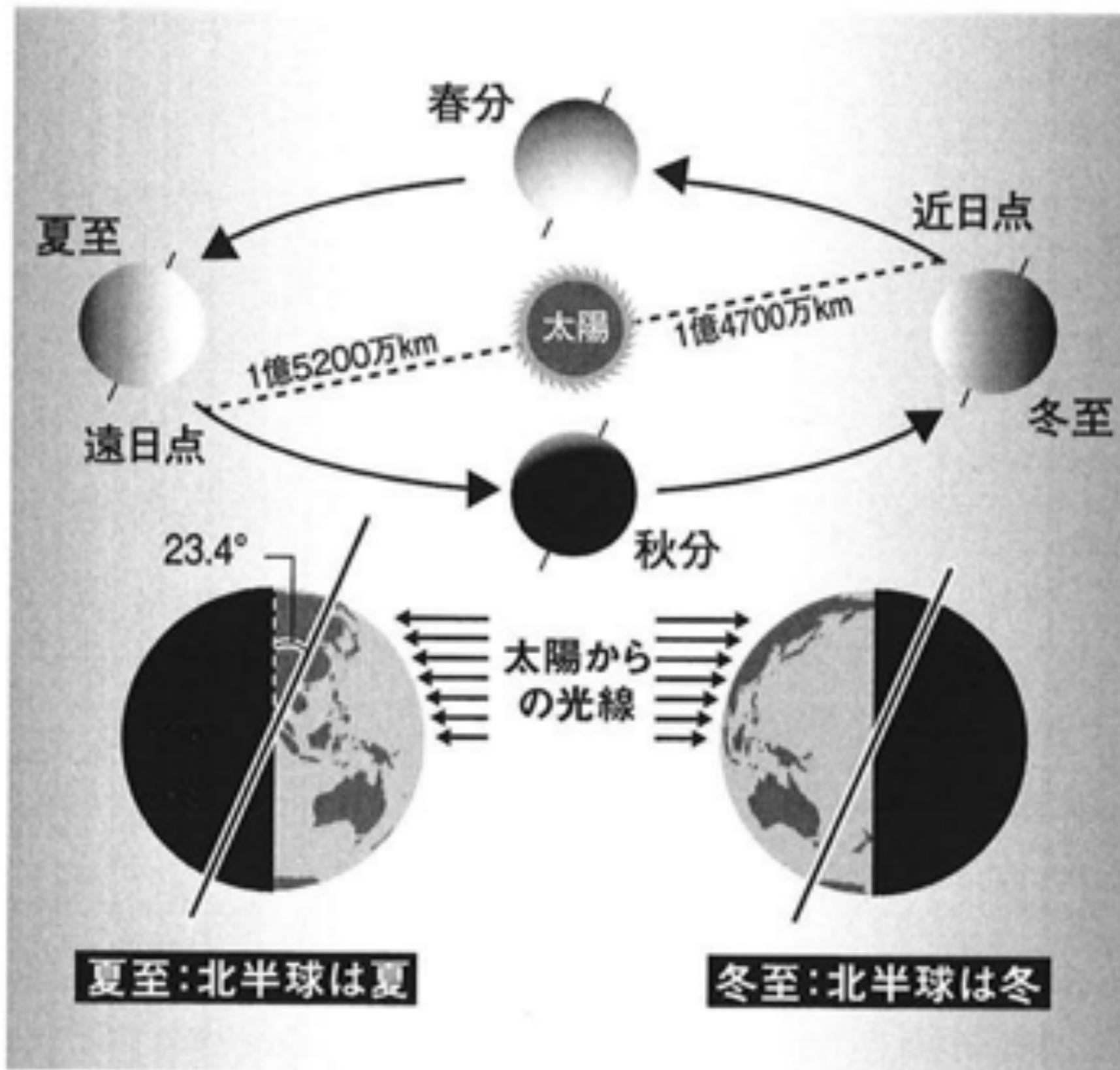
シドニー (南半球)

東京



シドニー



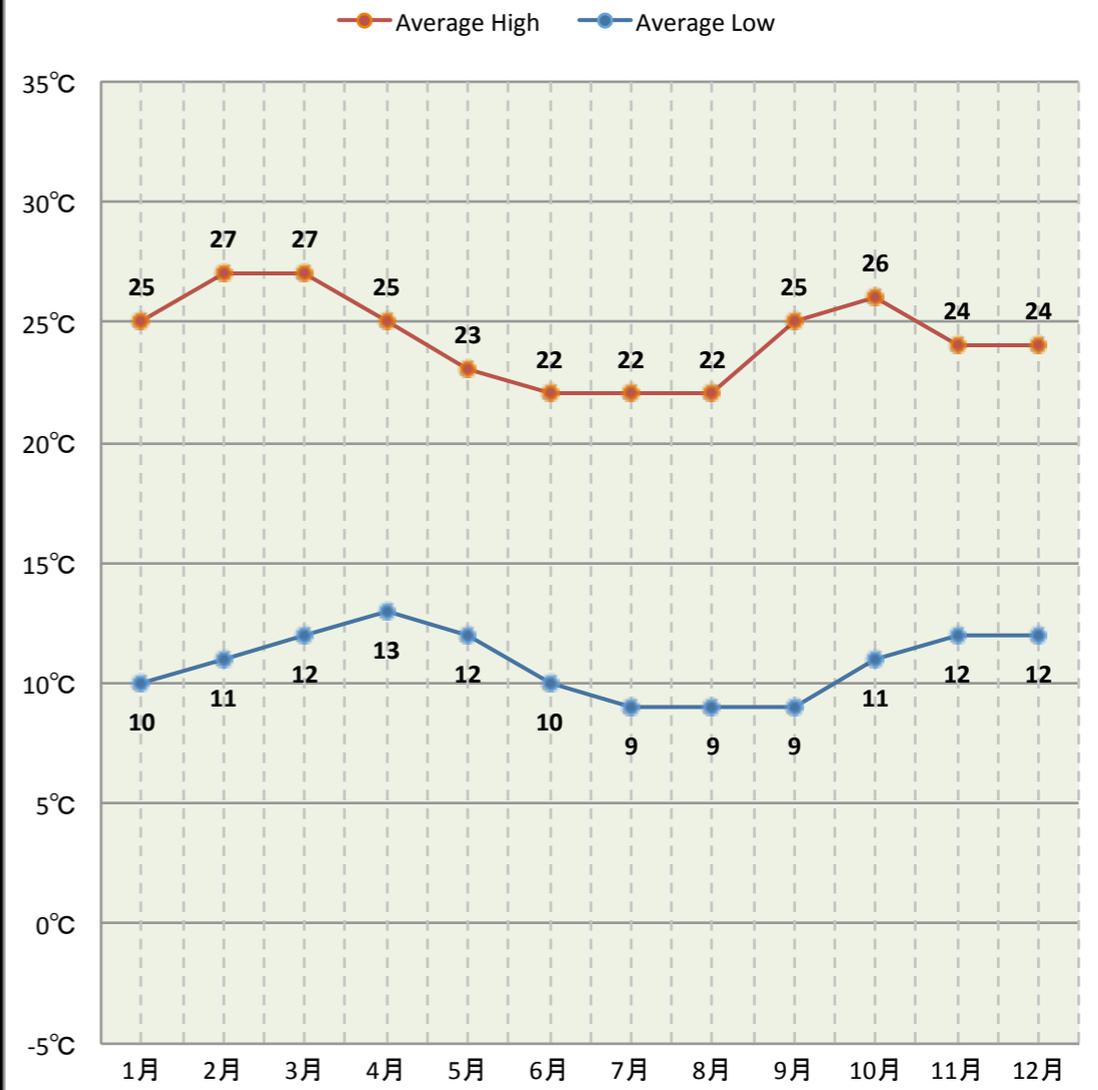


* 村山齊『宇宙はなぜこんなにうまくできているのか』
集英社インターナショナル、
2012年、p.15

これが本当なら赤道では年に夏が二回あるはず

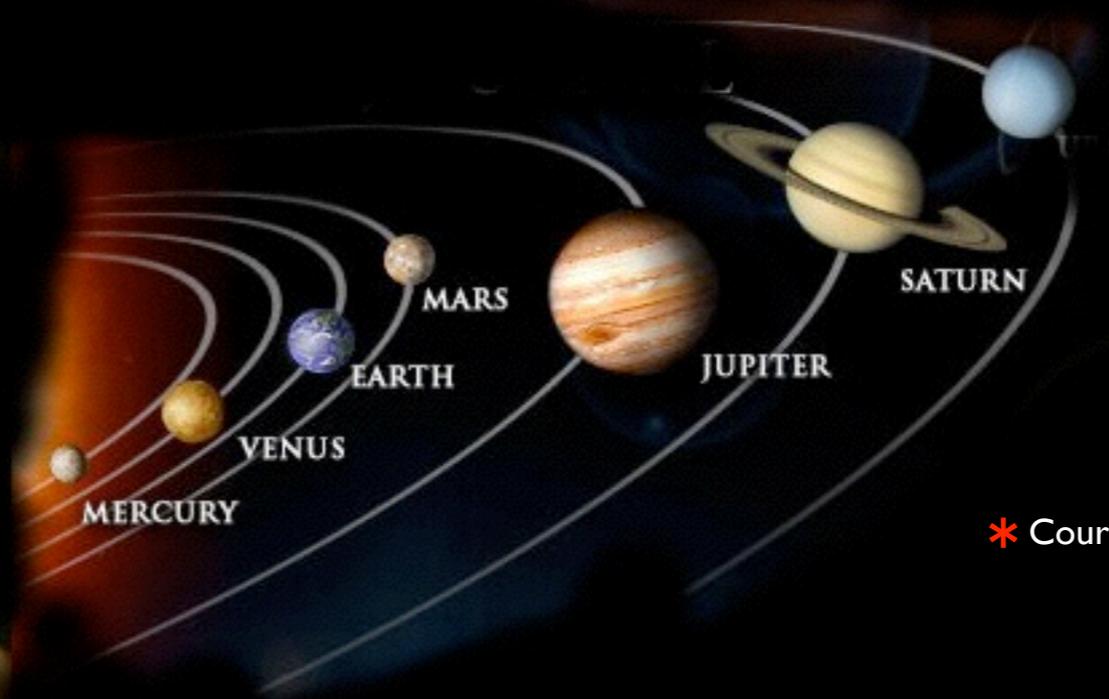


ナイロビ

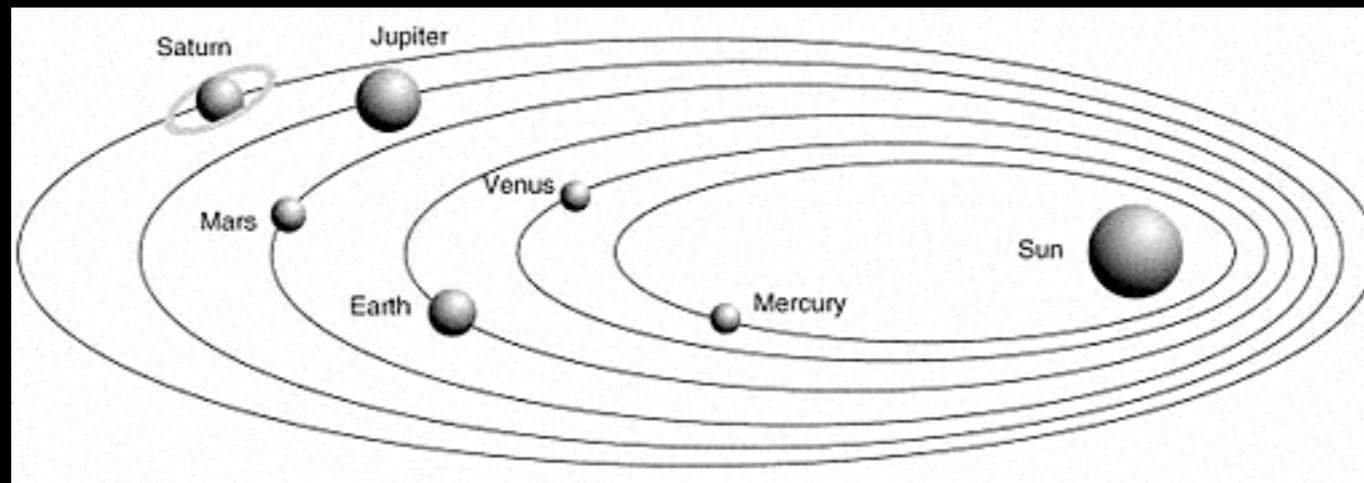


公転

ケプラー



* Courtesy of NASA / JPL-Caltech



楕円軌道

* From: Universe Today,
(posted on July 10, 2008)

[http://www.universetoday.com/15485/
lets-study-law-kepler-would-be-so-proud/](http://www.universetoday.com/15485/lets-study-law-kepler-would-be-so-proud/)

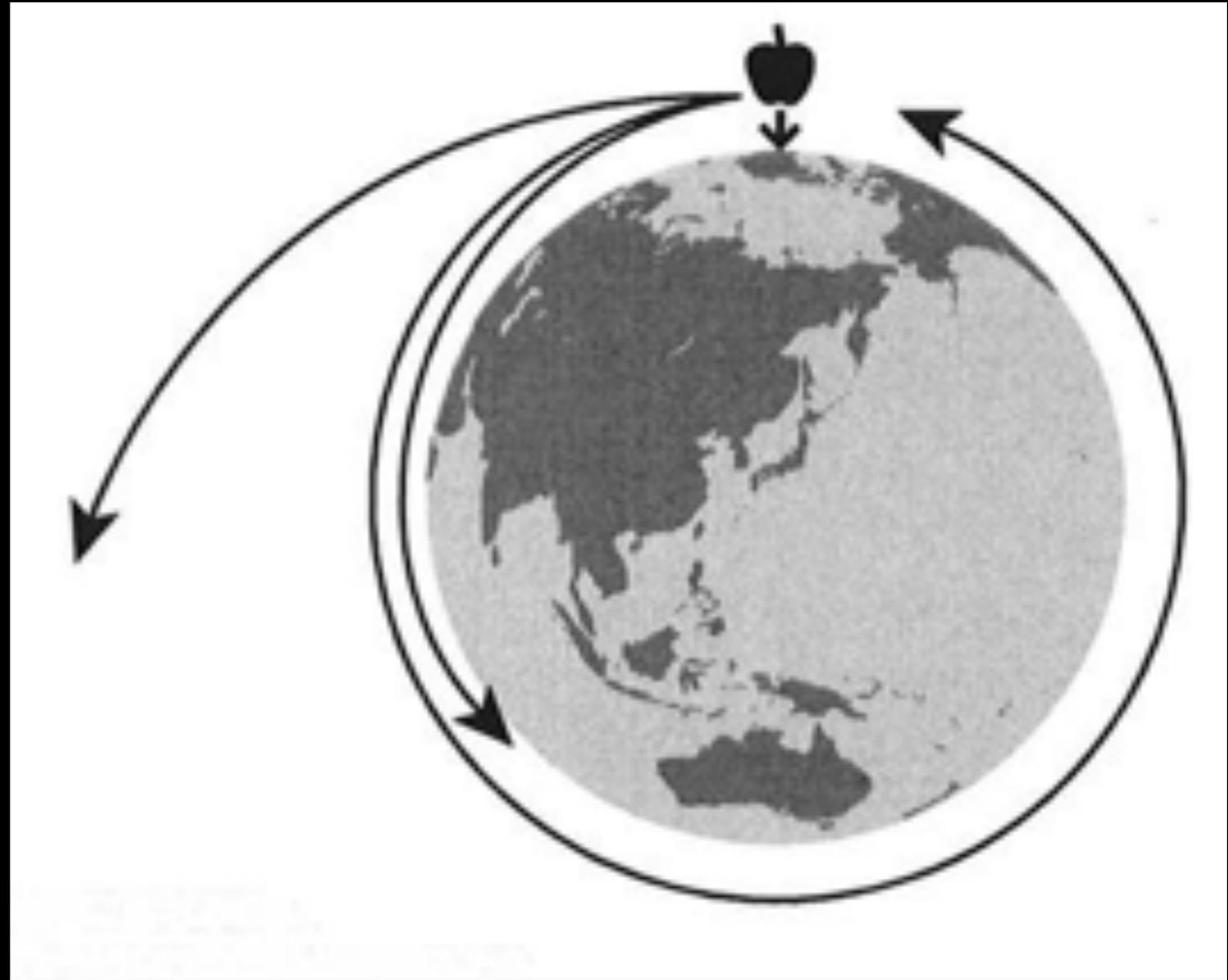
一つの考え方で惑星全部を説明！

万有引力の法則



Illustration by Frits Ahlefeldt, 2011
<http://hikingartist.com/2011/10/06/famous-apples-illustration/>
CC BY-NC-ND 3.0

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$



* 村山齊『宇宙はなぜこんなにうまくできているのか』
集英社インターナショナル、
2012年、p.29

ニュートンのりんごの木の子孫



Photo by ZCU http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newton's_apple_tree_in_the_Botanical_Gardens,_the_University_of_Tokyo.jpg

東大小石川植物園

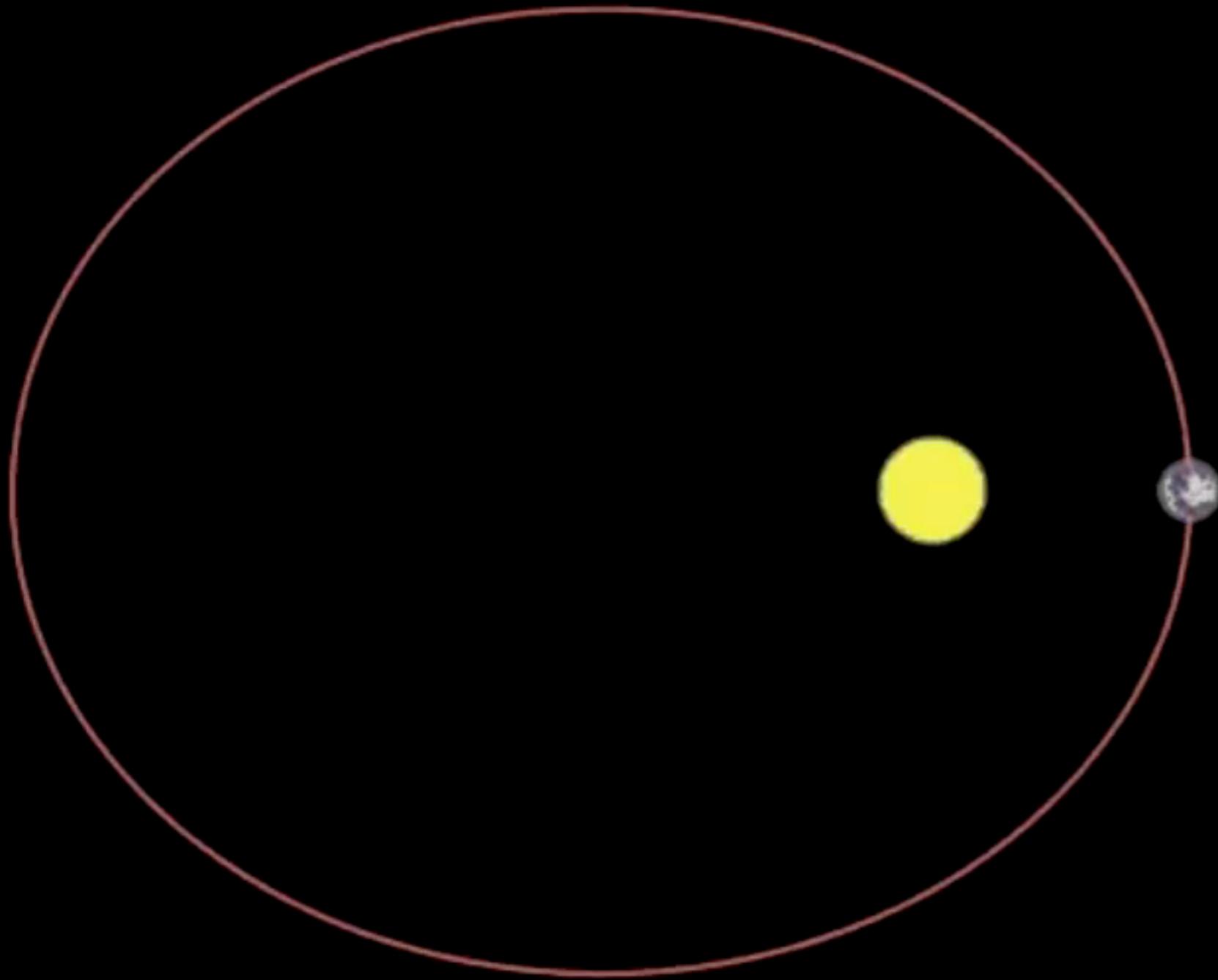
$$F=ma$$

質量

=物の動きを変えるの
がどんなに大変か



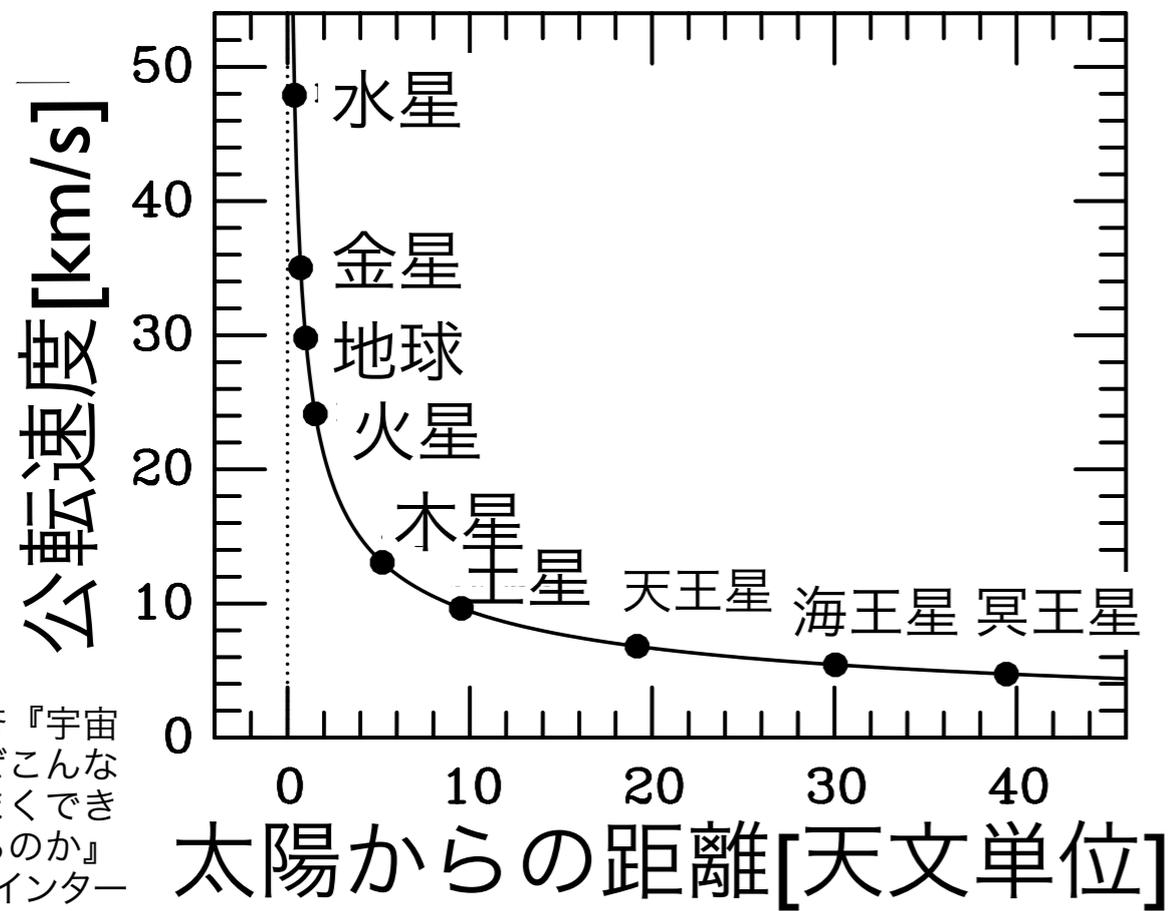
Sir Isaac Newton by Sir Godfrey Kneller, Bt, 1702. NPG 2881.
© National Portrait Gallery, London
<http://www.npg.org.uk/collections/search/portrait/mw04660/Sir-Isaac-Newton>
CC BY-NC-ND 3.0



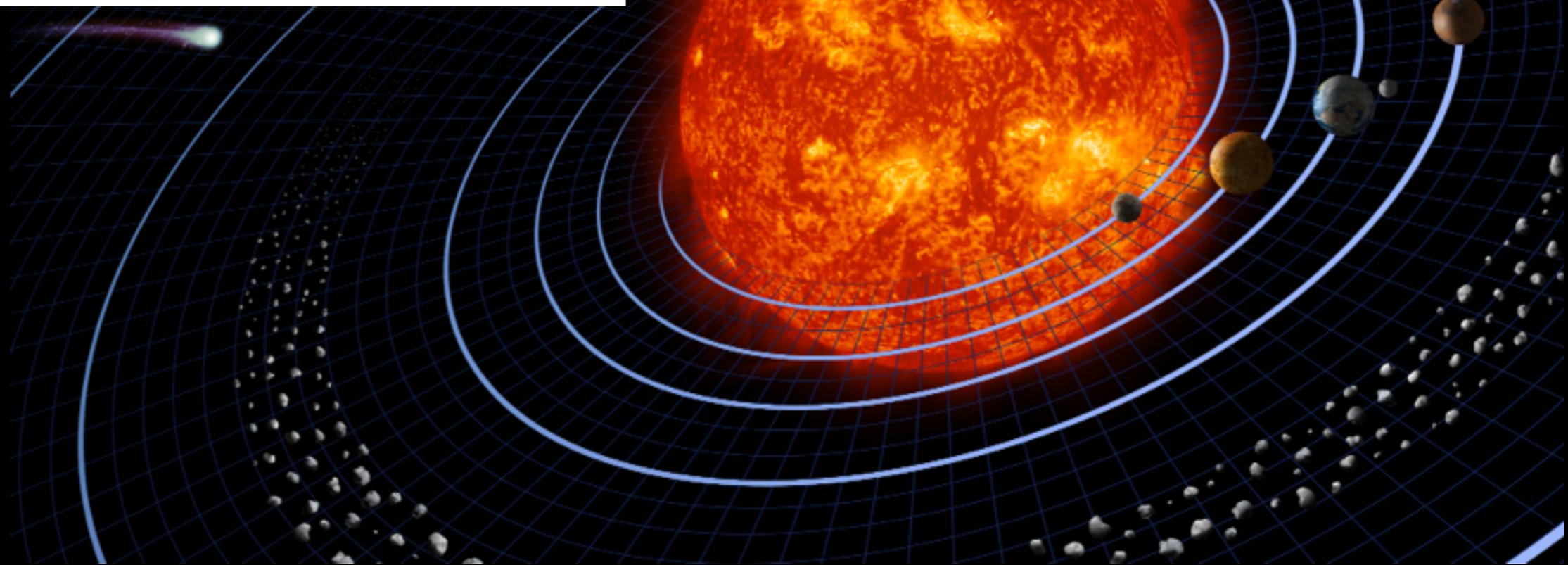
$$F = ma$$

$$F = -G \frac{Mm}{R^2}$$

太陽系



* 村山齊『宇宙はなぜこんなにうまくできているのか』集英社インターナショナル、2012年、p.23



* Credit: NASA/JPL

地球は毎秒30キロの速さで回っている

宇宙の誕生

遠くを見ると過去が見える

2008年9月30日
かぐや探査機

380,000km
=1.3光秒



*
© JAXA/NHK

1.5億km
=8.3光分



*
Image from: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/SolarCorona/eit023.html>
Courtesy of SOHO (ESA & NASA)

海王星・冥王星

4光時間



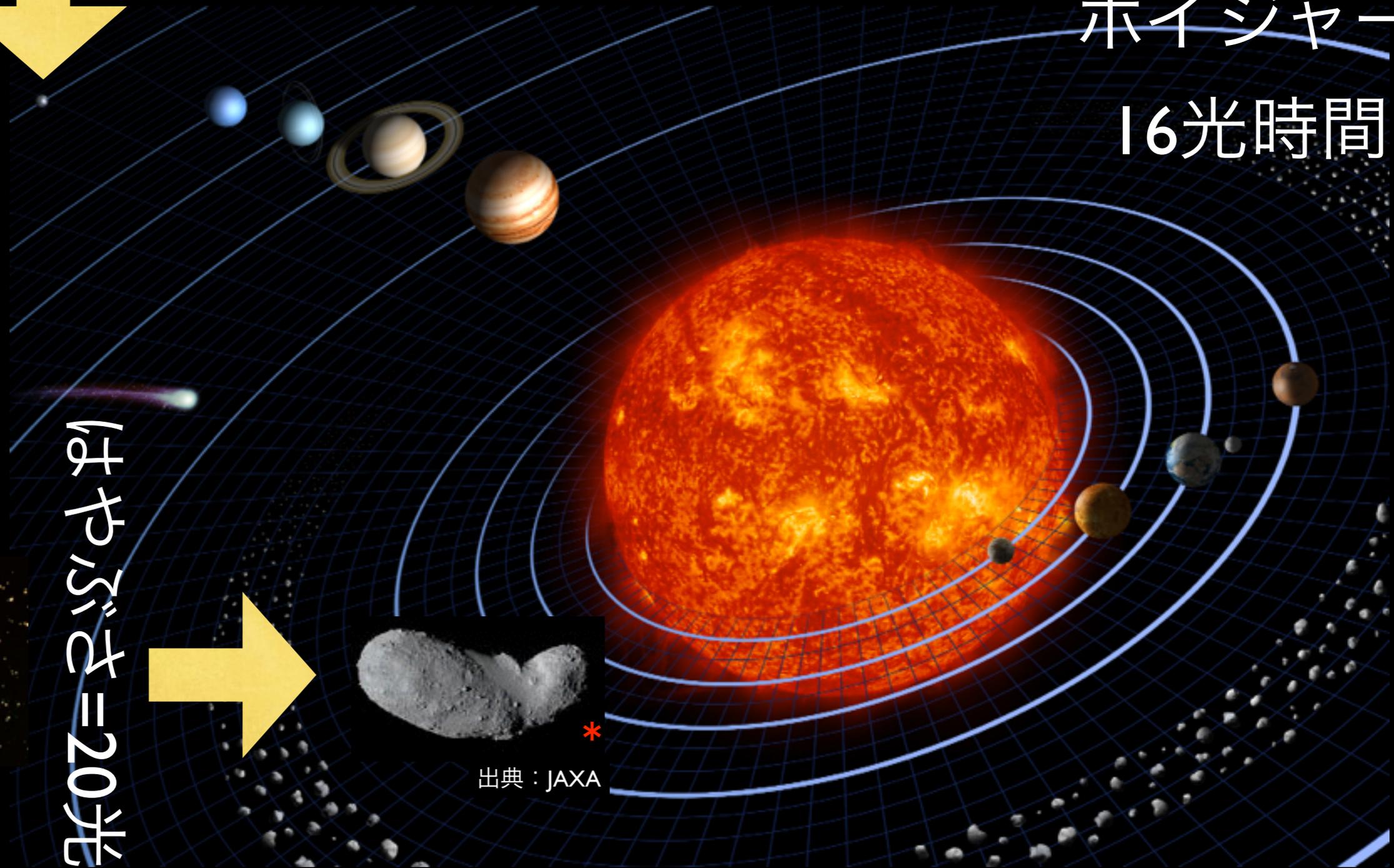
太陽系



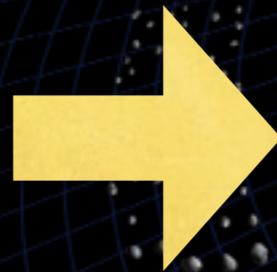
* Image by NASA/JPL

ボイジャー

16光時間



はやぶさ=20光分



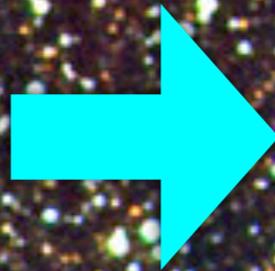
* 出典：JAXA

* 出典：JAXA



* Credit: NASA/JPL

一番近い星

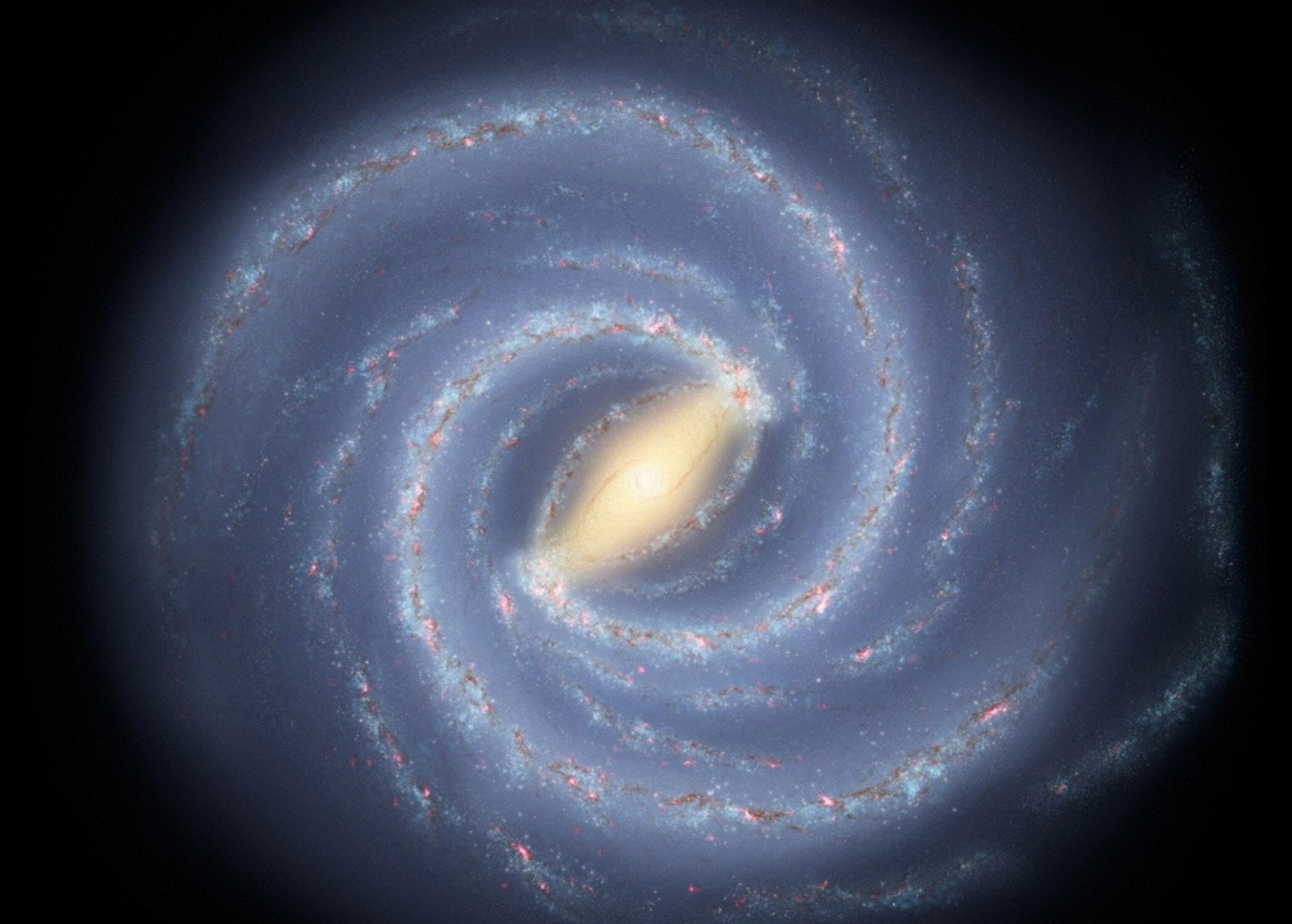


Proxima Centauri
4.2光年



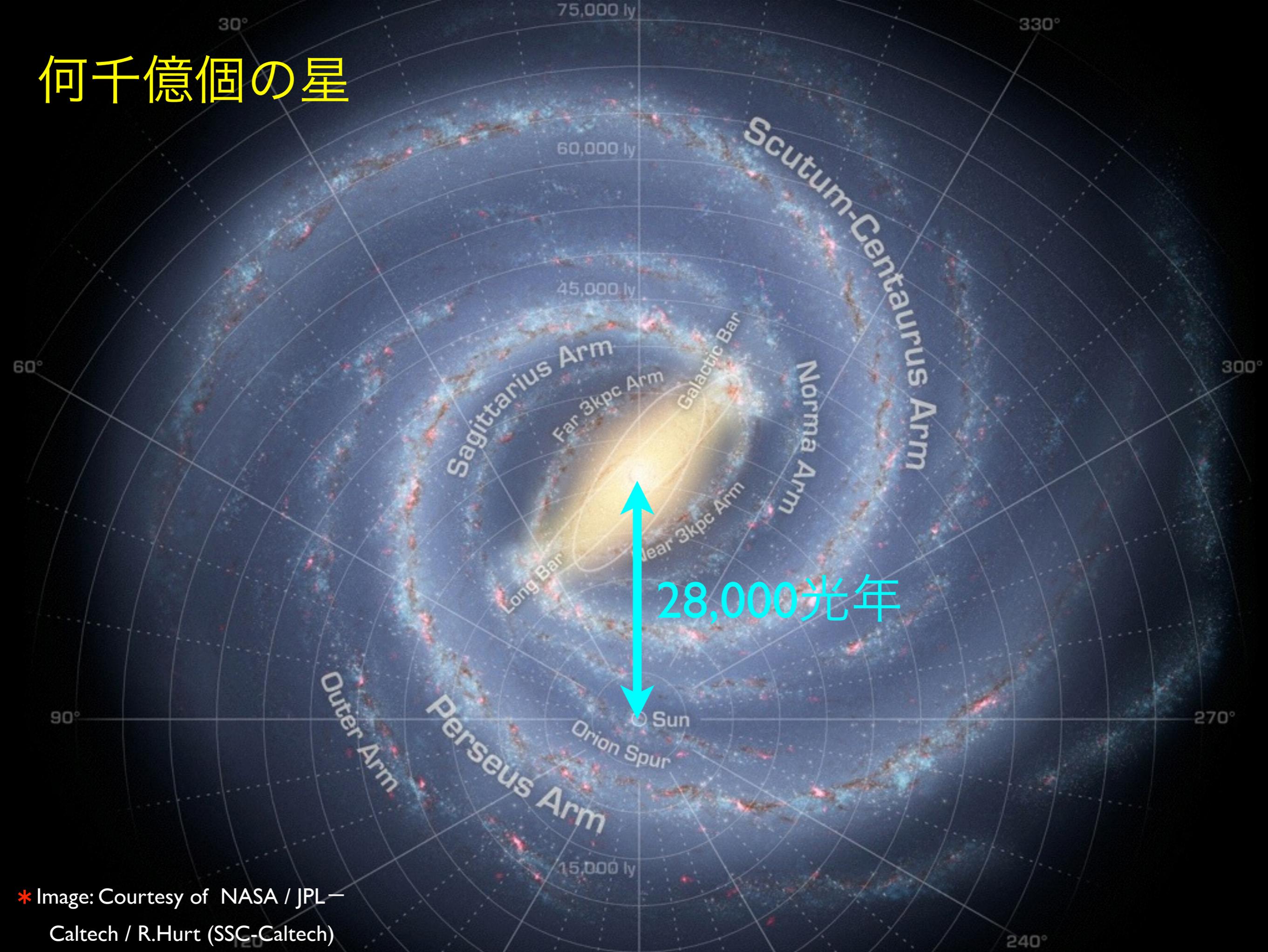
Photo by ESO / S.Guisard http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Echinopsis_Atacamensis_and_the_Milky_Way.jpg

CC BY 3.0



* Image: Courtesy of NASA/JPL-Caltech

何千億個の星



* Image: Courtesy of NASA / JPL —
Caltech / R.Hurt (SSC-Caltech)

何千億個の星

28,000光年
1500光年

太陽系は毎秒220キロで
銀河の中を回る
何が引っ張っているのか？

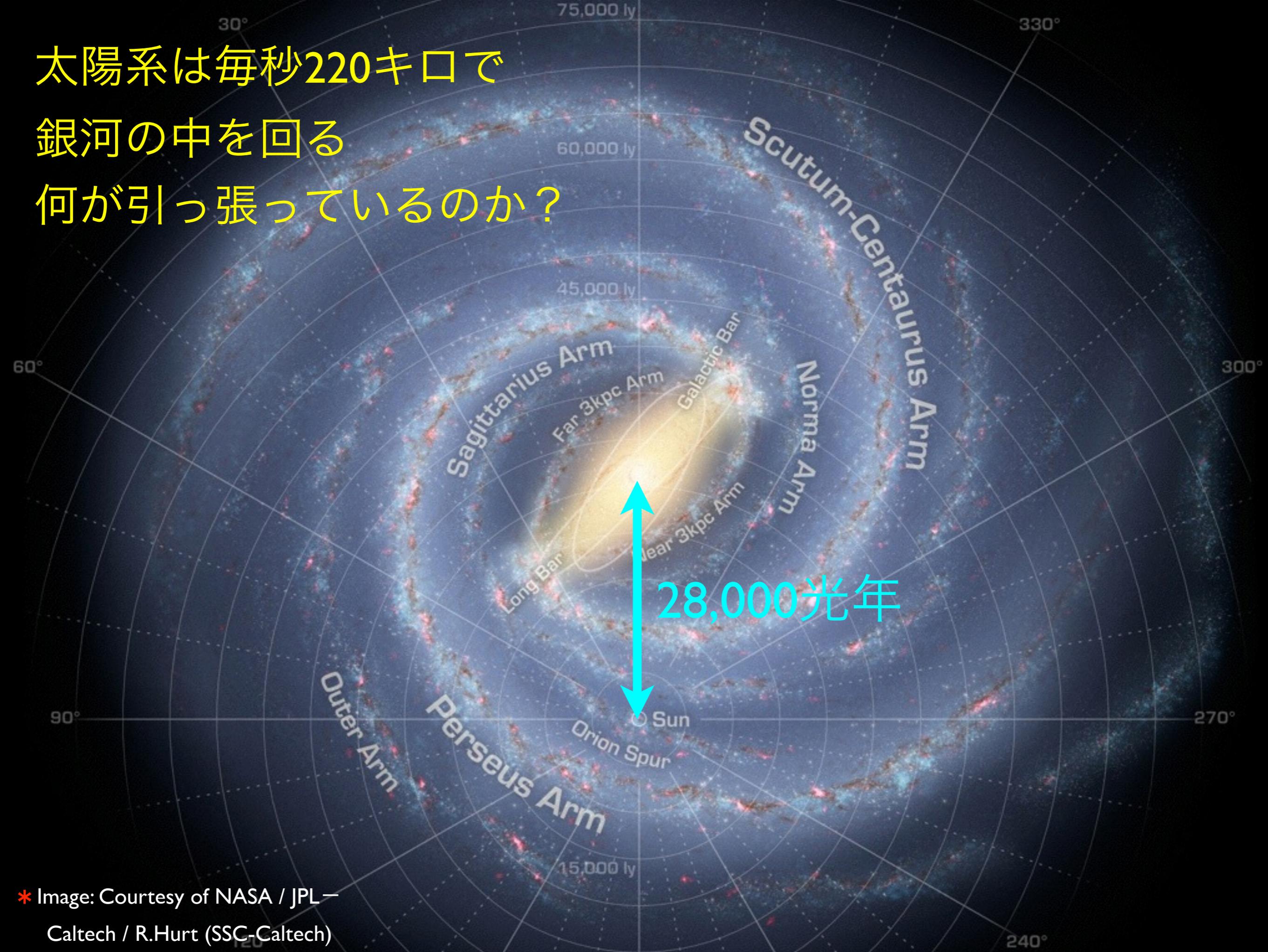




Photo by Jsulman555,
from Wikimedia Commons http://commons.wikimedia.org/wiki/File:NGC_4565_and_4562.jpg
CC BY 3.0



* Credit: Adam Block/NOAO/AURA/NSF



250万光年

* Credit: Bill Schoening, Vanessa Harvey/REU program/NOAO/AURA/NSF



* Photo by Paul Mortfield and Dietmar Kupke/Flynn Haase/NOAO/AURA/NSF

銀河團

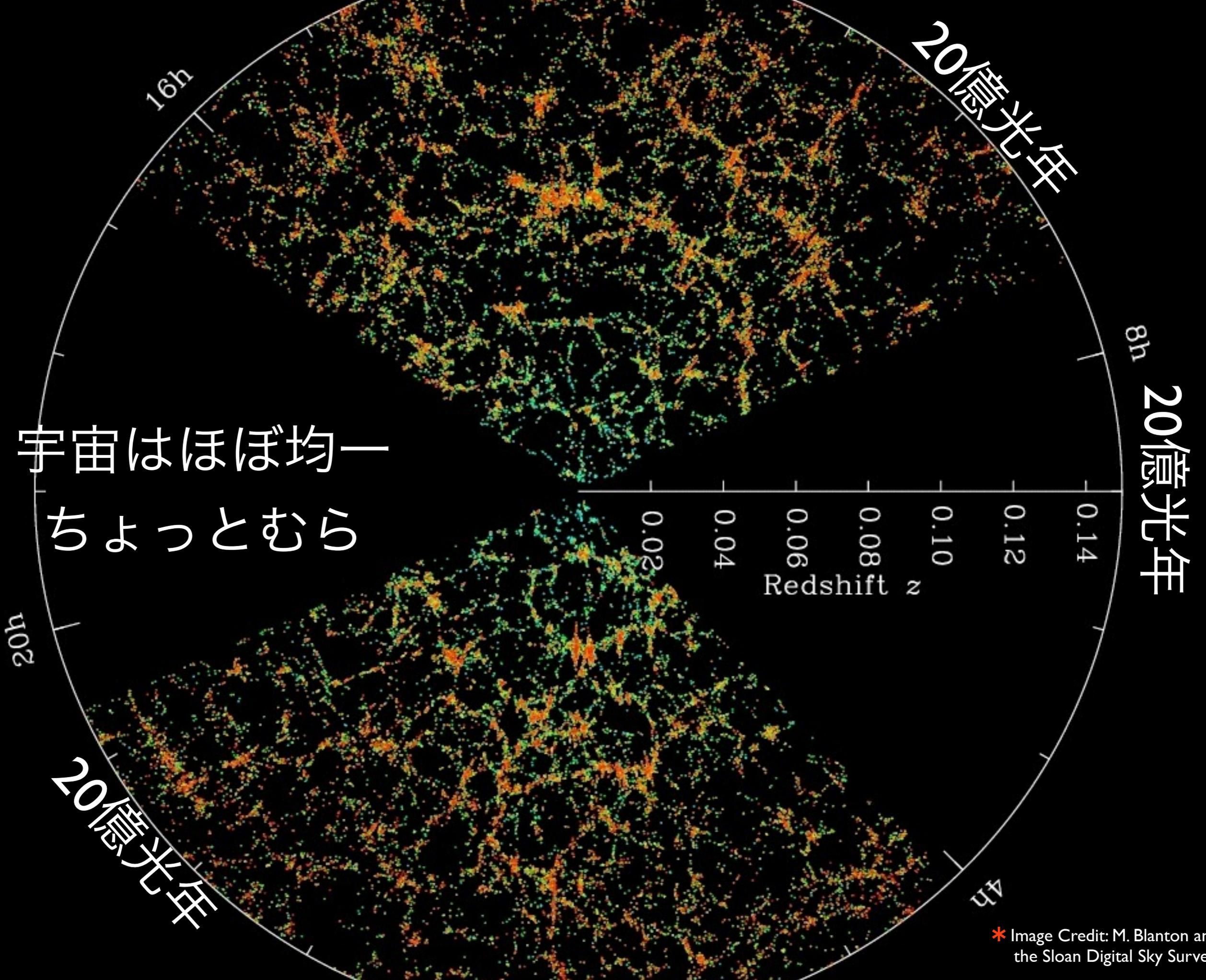


Abell 2218
21億光年

*
Photo by NASA, Andrew
Fruchter and the ERO Team
(STScI)

* Movie Credit: Miguel A. Aragón (Johns Hopkins University), Mark SubbaRao (Adler Planetarium), Alex Szalay (Johns Hopkins University), Yushu Yao (Lawrence Berkeley National Laboratory, NERSC), and the SDSS-III Collaboration

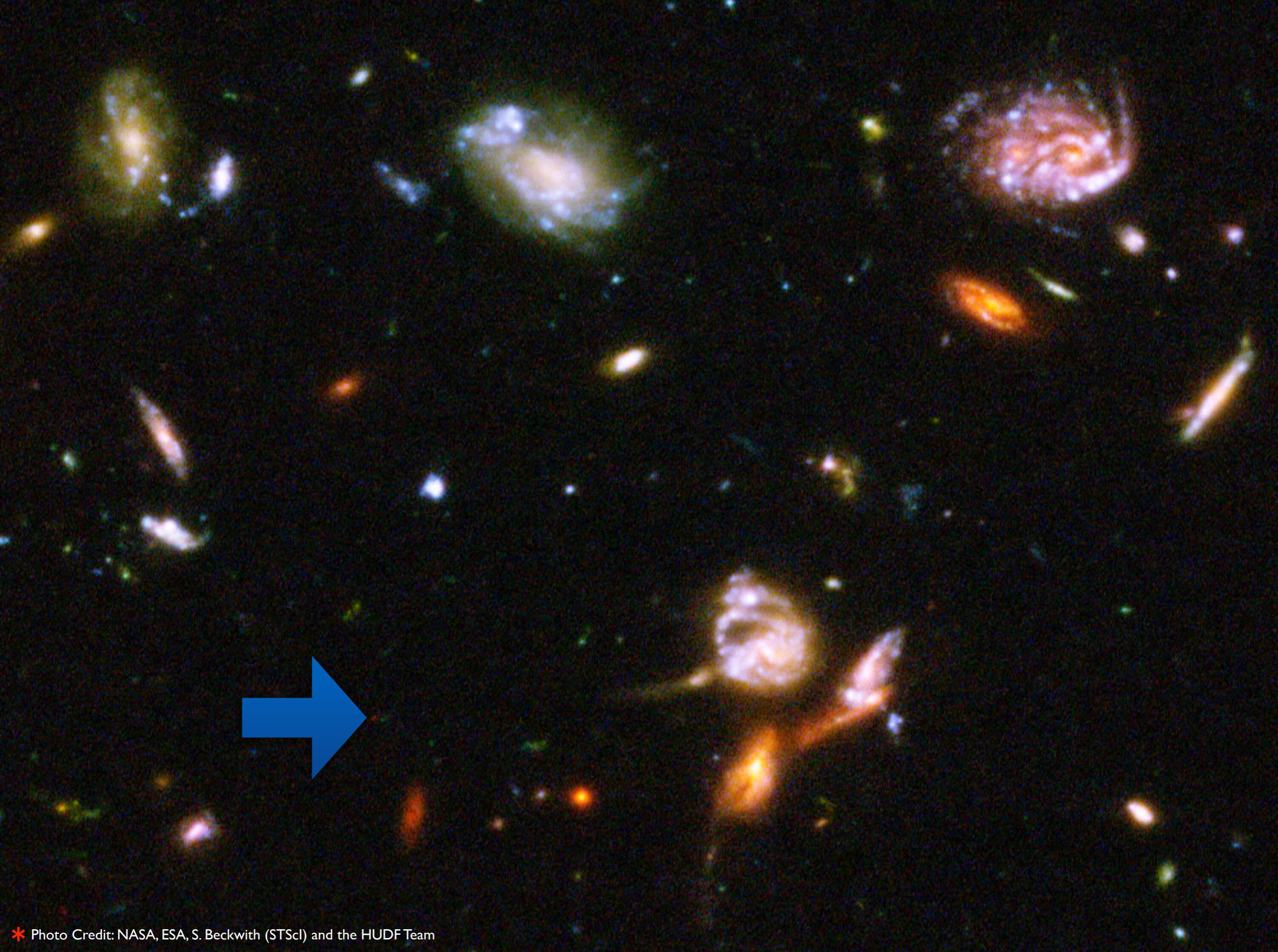
観測に基づいた銀河の3次元地図の中を飛行

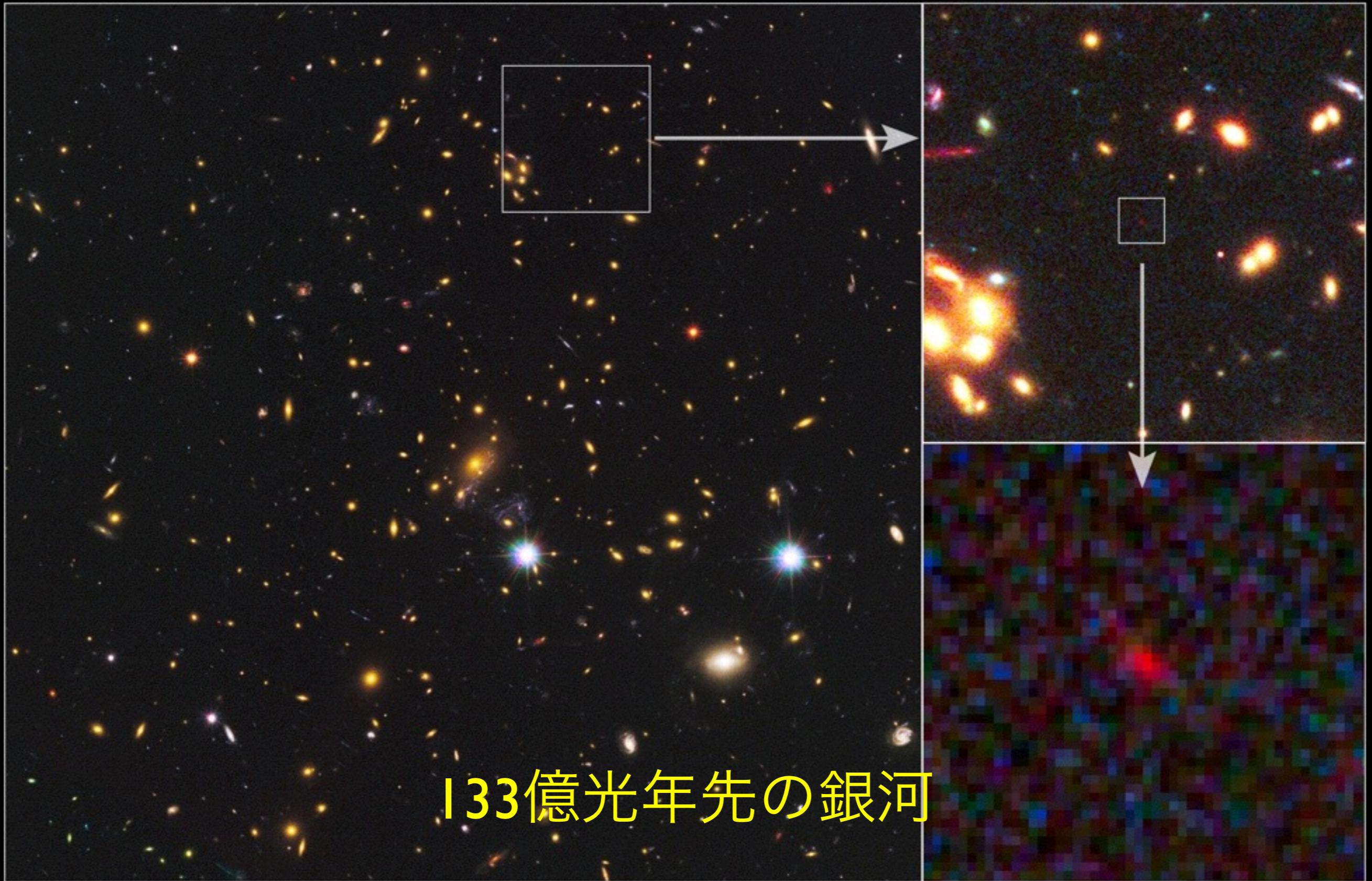


* Image Credit: M. Blanton and the Sloan Digital Sky Survey



130億光年向こうの銀河？





133億光年先の銀河

Galaxy Cluster MACS J1149+2223

High-Redshift Galaxy MACS1149-JD

A Distant Gravitationally-Lensed Galaxy at Redshift = 9.6

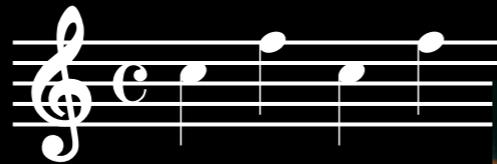
Hubble Space Telescope • ACS • WFC3

NASA / ESA / STScI / J. Hora (Harvard-Smithsonian CfA)

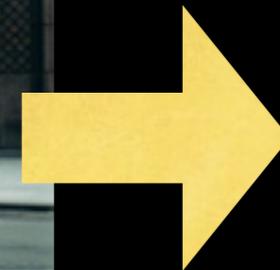
ssc2012-12a

* Image Credit: NASA, ESA, W. Zheng (JHU), M. Postman (STScI), and the CLASH Team

宇宙は広がっている

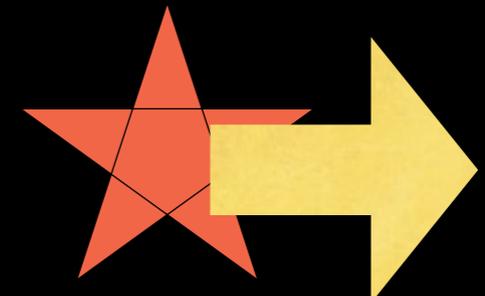
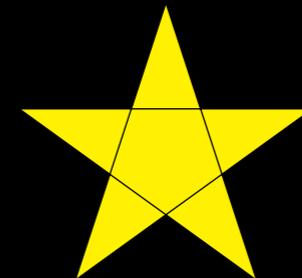
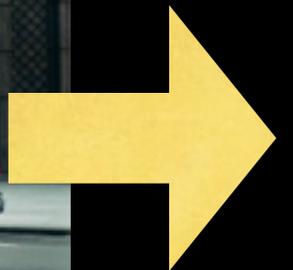


CC BY-SA 2.5



- 遠くの星や銀河は赤く見える
- 近づく救急車: 高い音
- 離れる救急車: 低い音
- 離れる星: 低い赤い光

CC BY-SA 2.5



ドップラー効果

- 高校で習う式は音の場合
- アインシュタインの相対性理論による式は二つの式の幾何平均
- 光速に比べて遅い ($v/c \ll 1$) と実は同じ：平均値の定理、テイラー展開

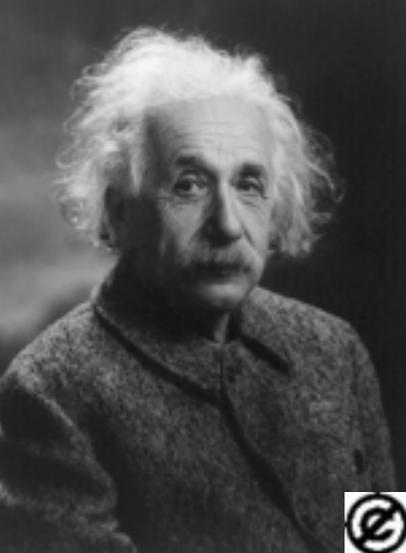
$$f' = \frac{V}{V + v} f$$

$$f' = \frac{V - v}{V} f$$

$$f' = \sqrt{\frac{V - v}{V + v}} f$$

$$F(x) = F(0) + F'(0)x + O(x^2)$$

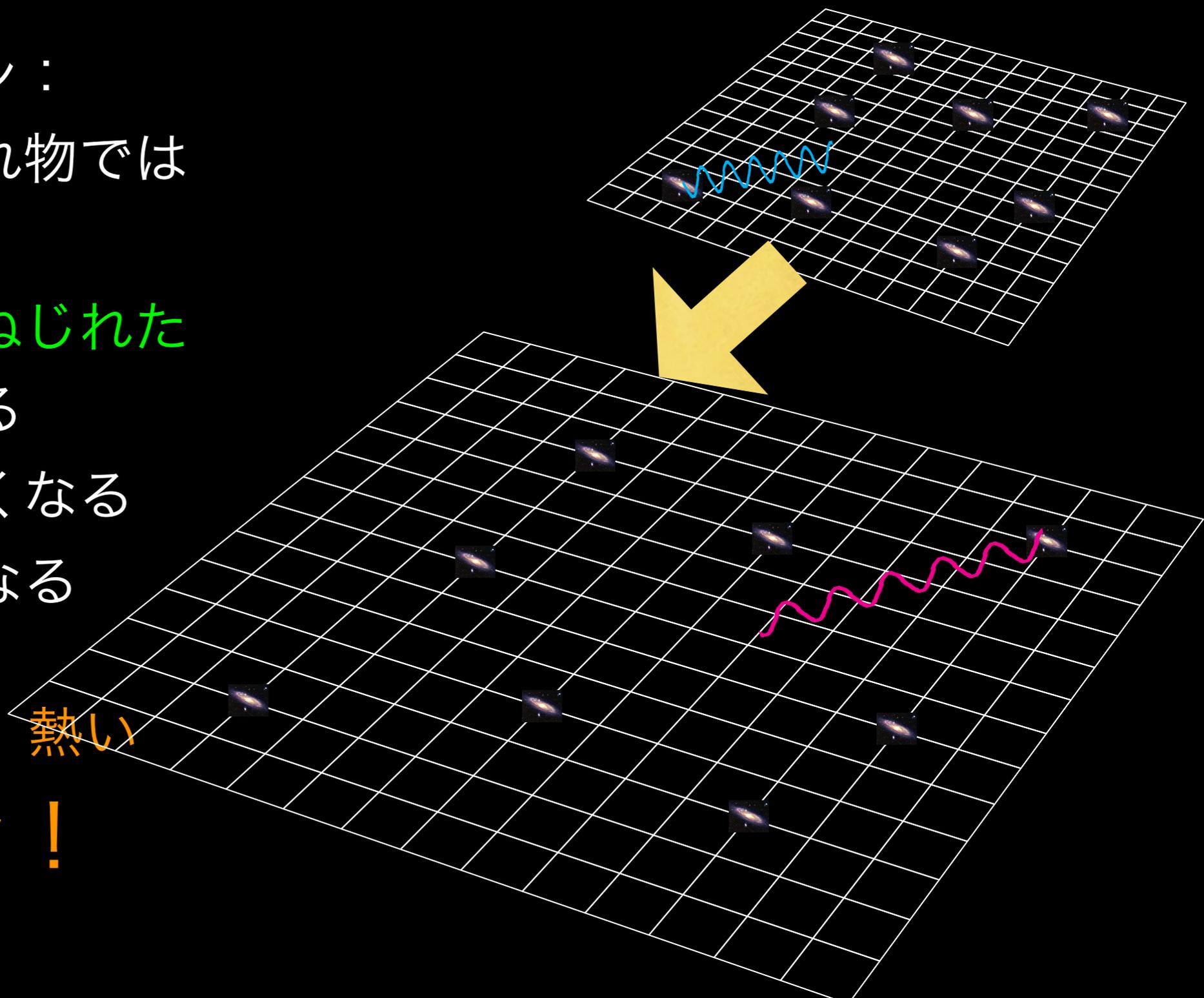
$$f' = f - f \frac{v}{V} + \dots$$



広がる空間

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

- アインシュタイン：
宇宙は単なる入れ物ではない
- 箱が曲がったりねじれたり
り広がったりする
- 宇宙全体が大きくなる
- だんだん冷たくなる
- 昔はずっと小さく、**熱い**
ビッグバン！



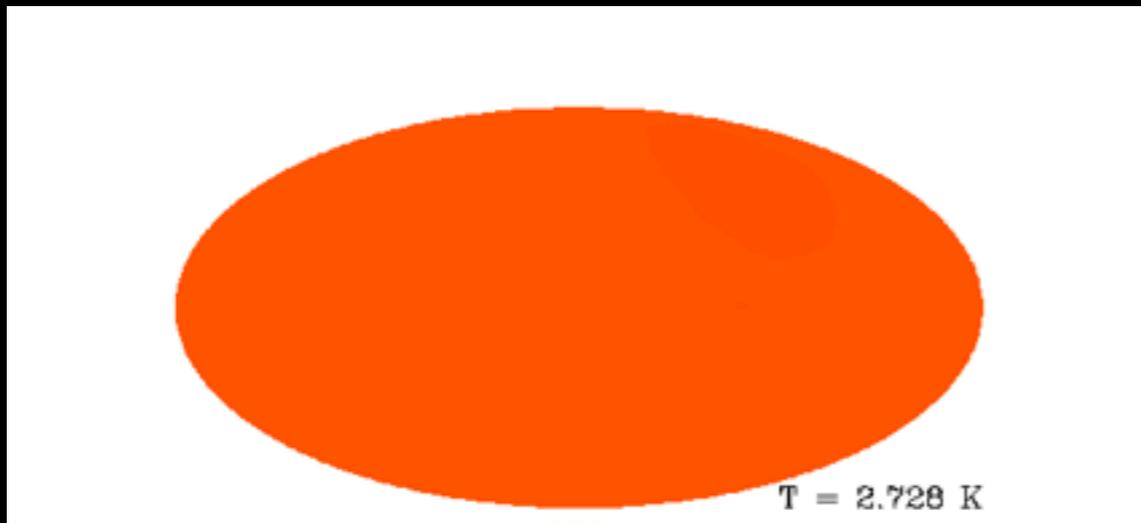
Penzias と Wilson



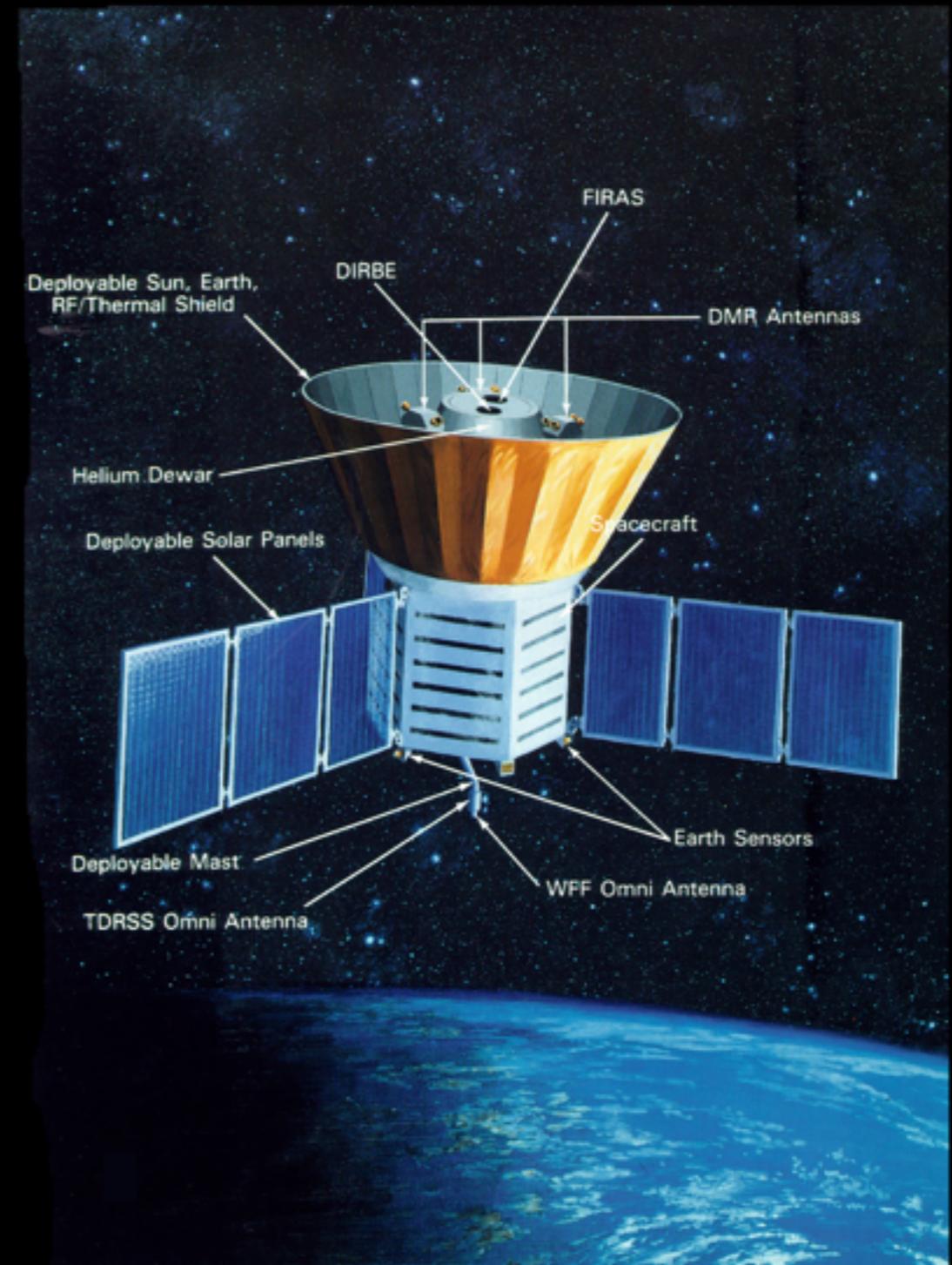
* Photo source: Emilio Segrè Visual Archives, Physics Today Collection

ビッグバンの残り火

The COBE Satellite

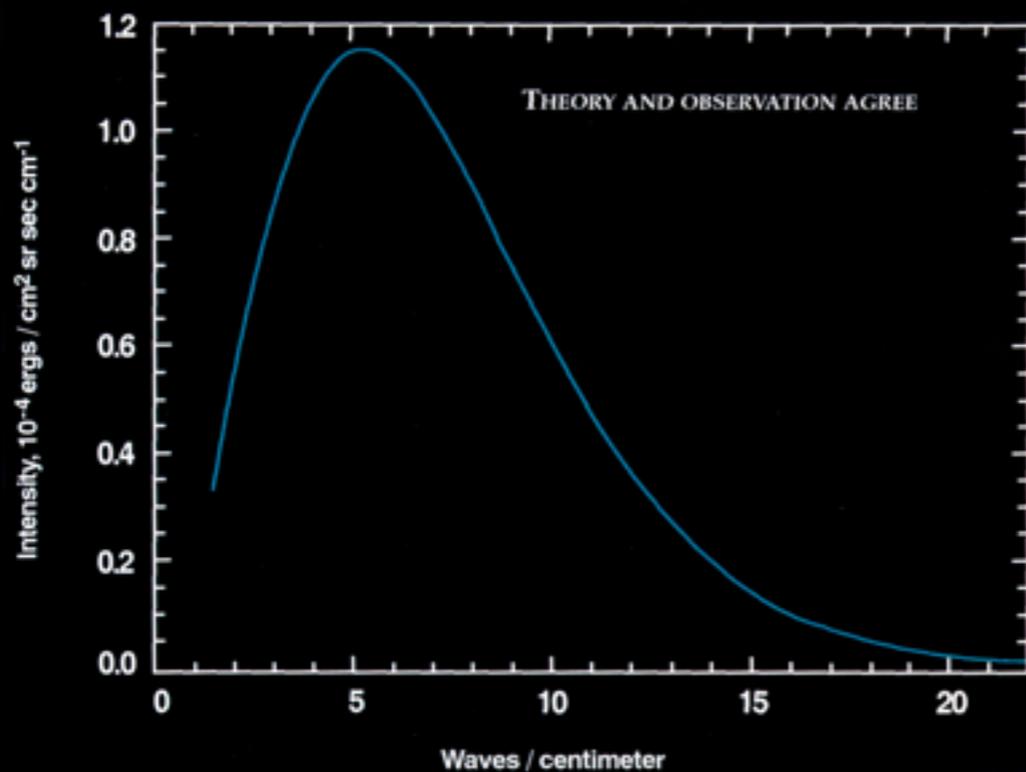


*

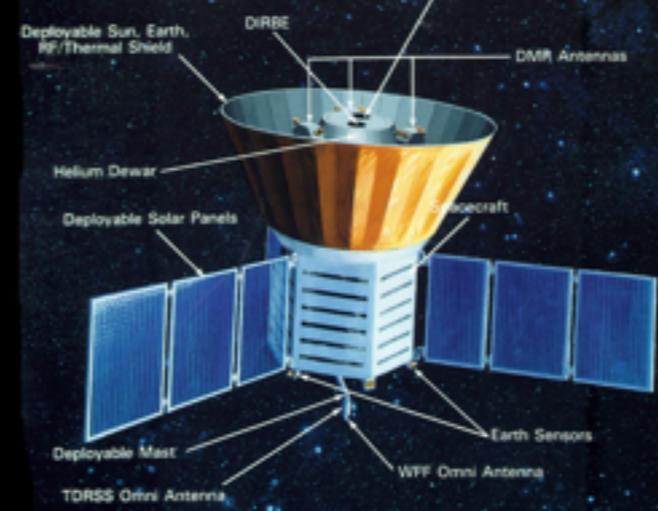
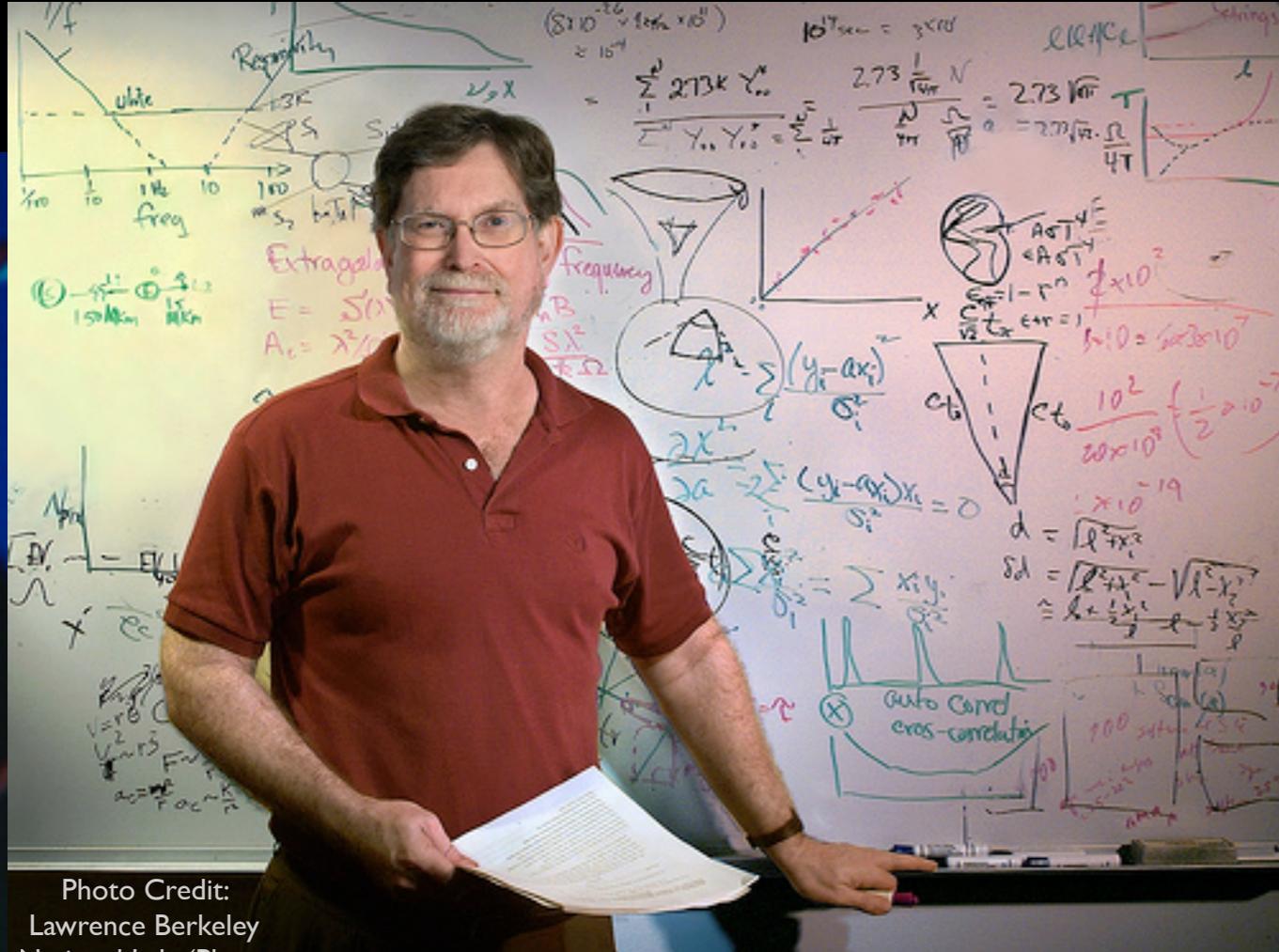


*

COSMIC MICROWAVE BACKGROUND SPECTRUM FROM COBE

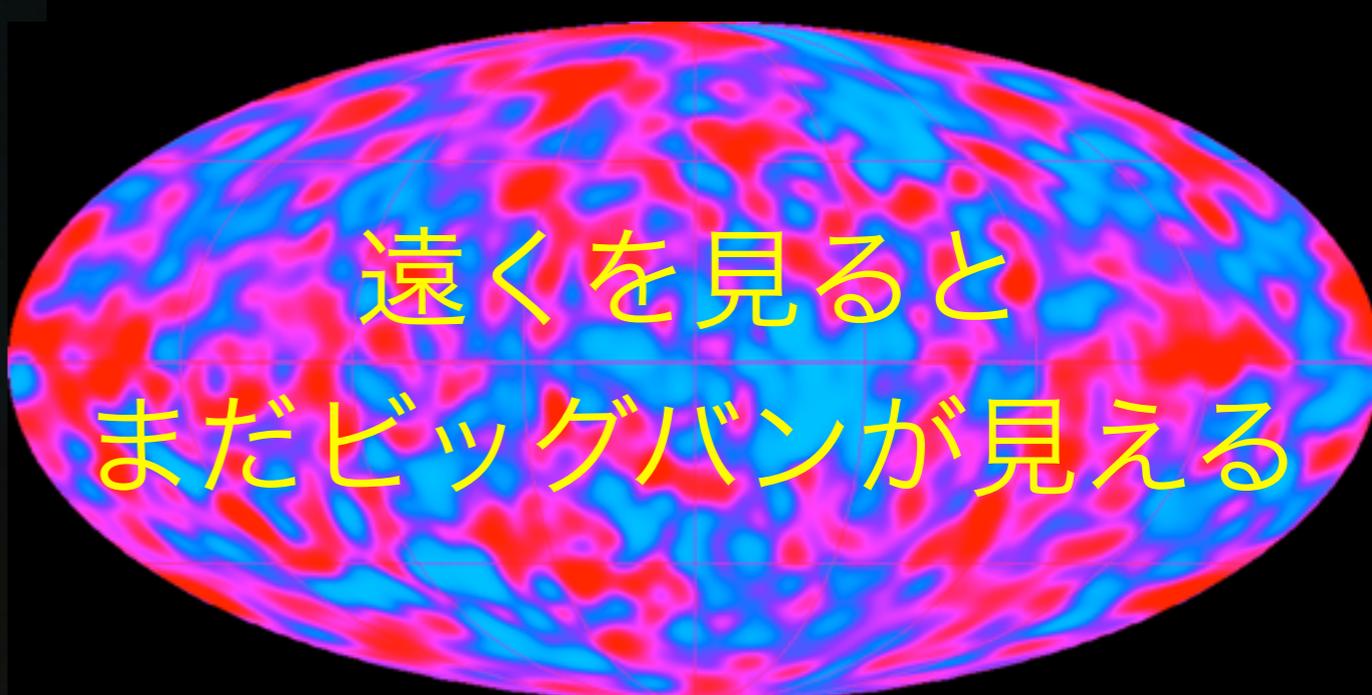


*



* Image from:
COBE Slide Set (Slide 2)
http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/slide_captions.cfm

Photo Credit:
Lawrence Berkeley
National Lab. (Photo
by Roy Kaltschmidt)
CC BY-NC-ND 2.0

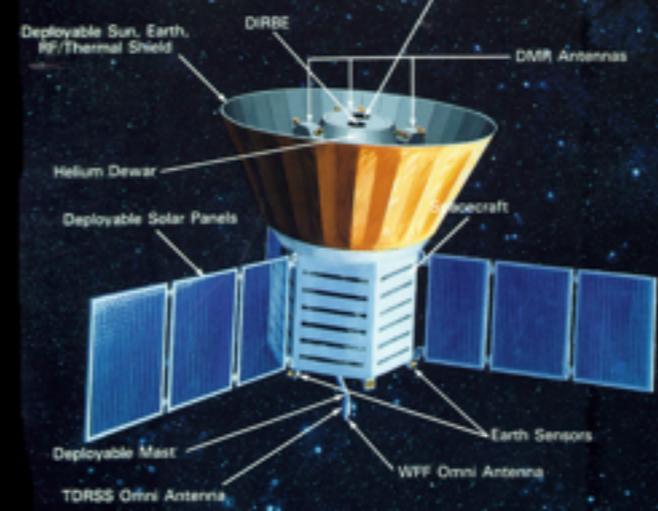
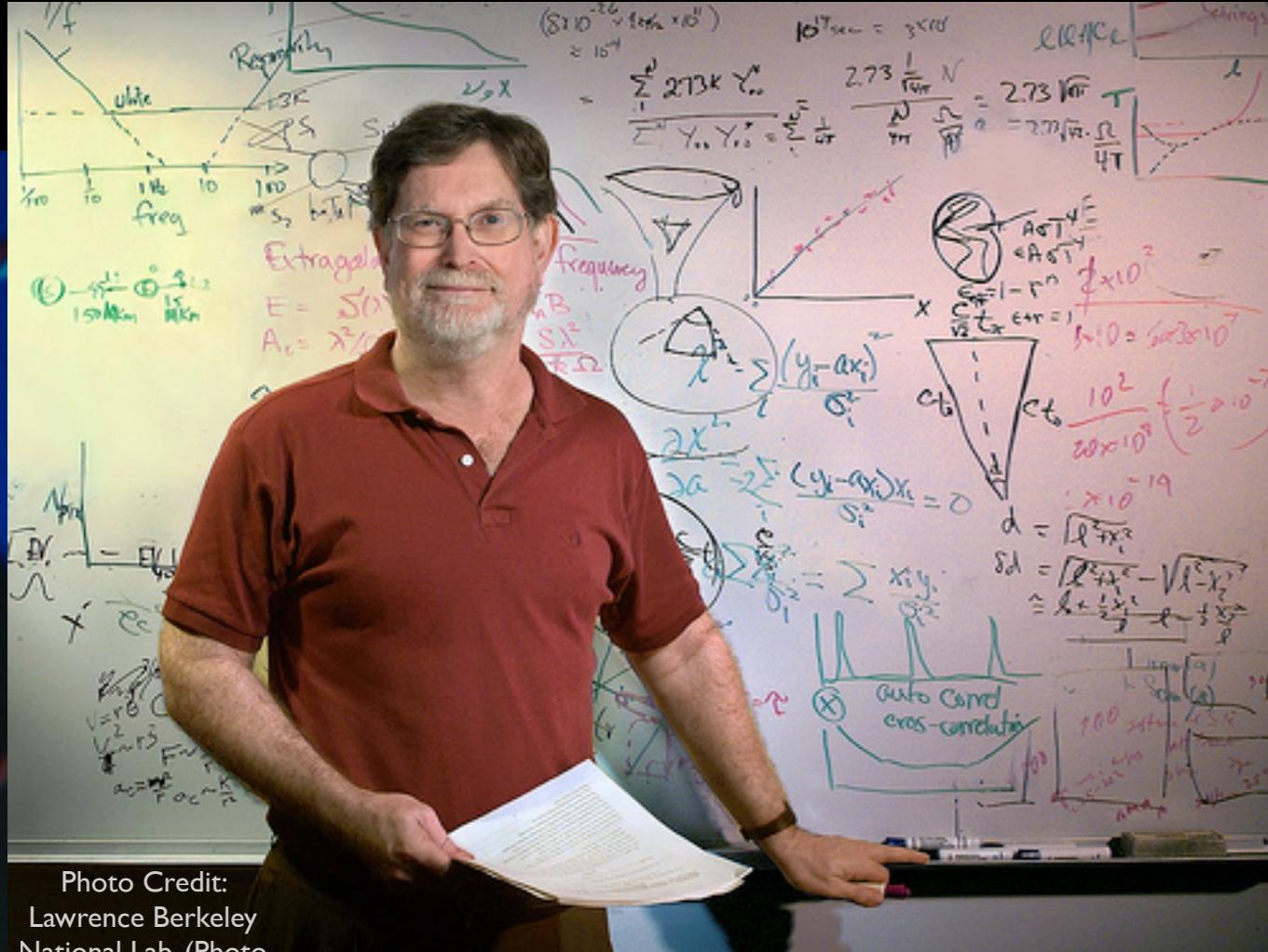


* Image from:
COBE Slide Set (Slide 28)
http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/slide_captions.cfm



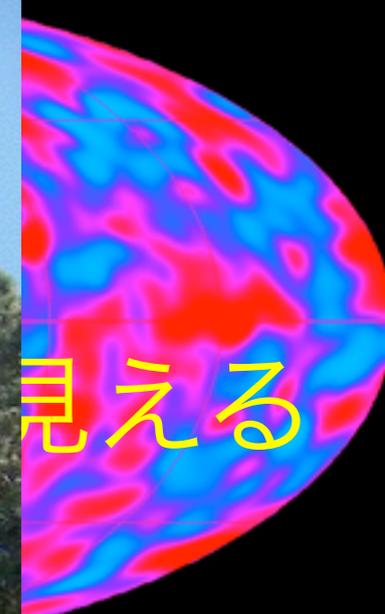
137億光年先
= 137億年前

* Photo Credit: NASA



* Image from:
COBE Slide Set (Slide 2)
http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/slide_captions.cfm

Photo Credit:
Lawrence Berkeley
National Lab. (Photo
by Roy Kaltschmidt)
CC BY-NC-ND 2.0

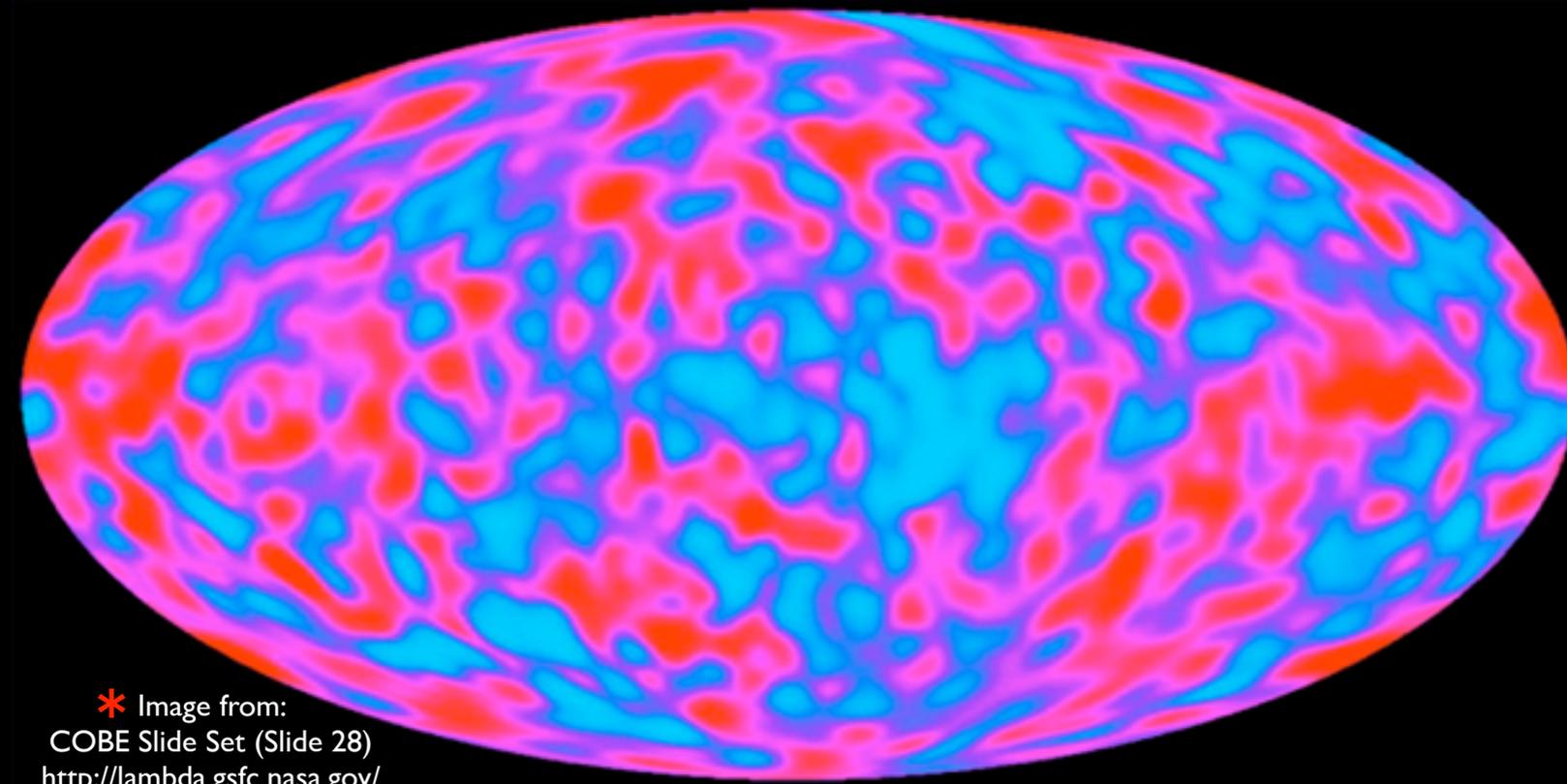


見える

* Image from:
COBE Slide Set (Slide 28)
http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/slide_captions.cfm

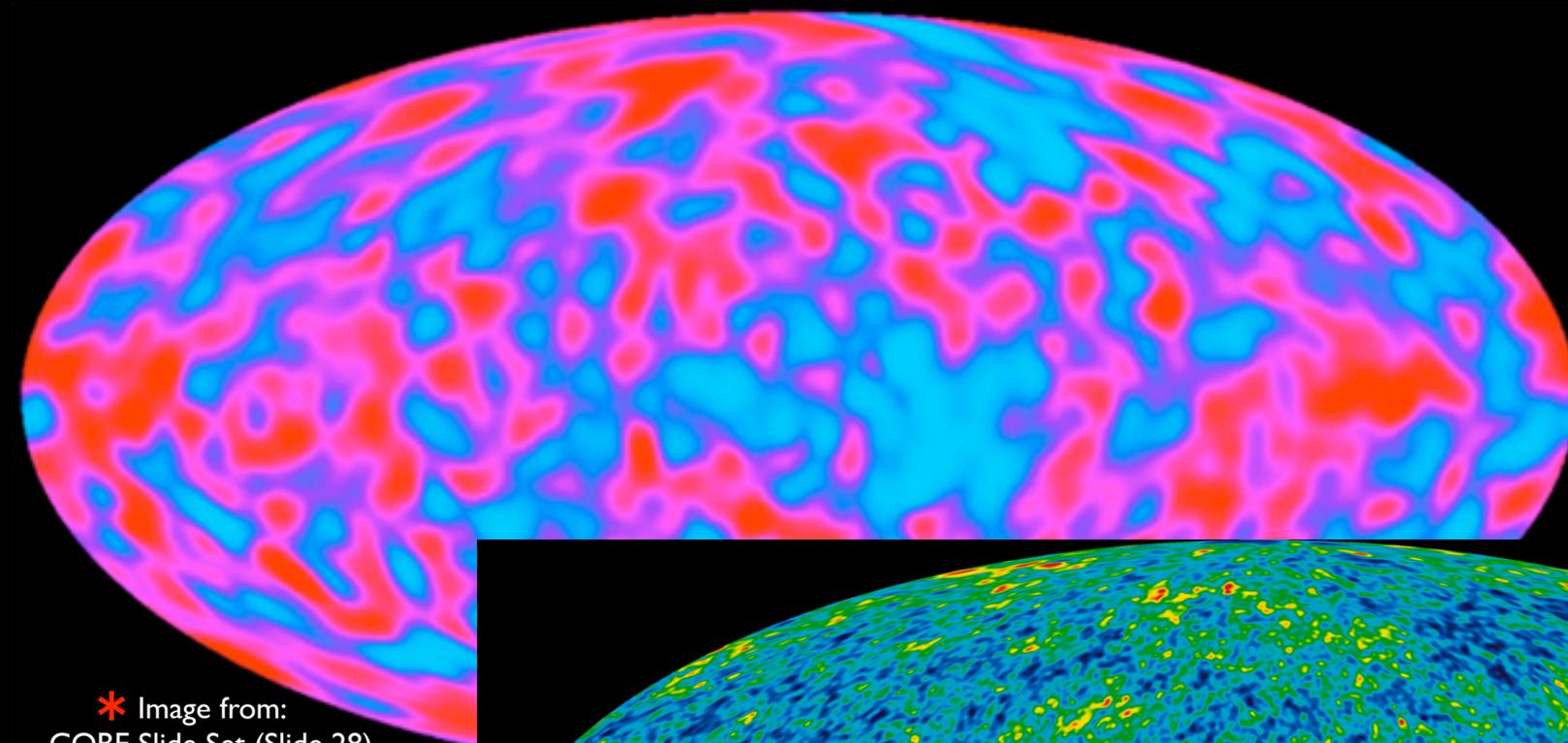


COBE

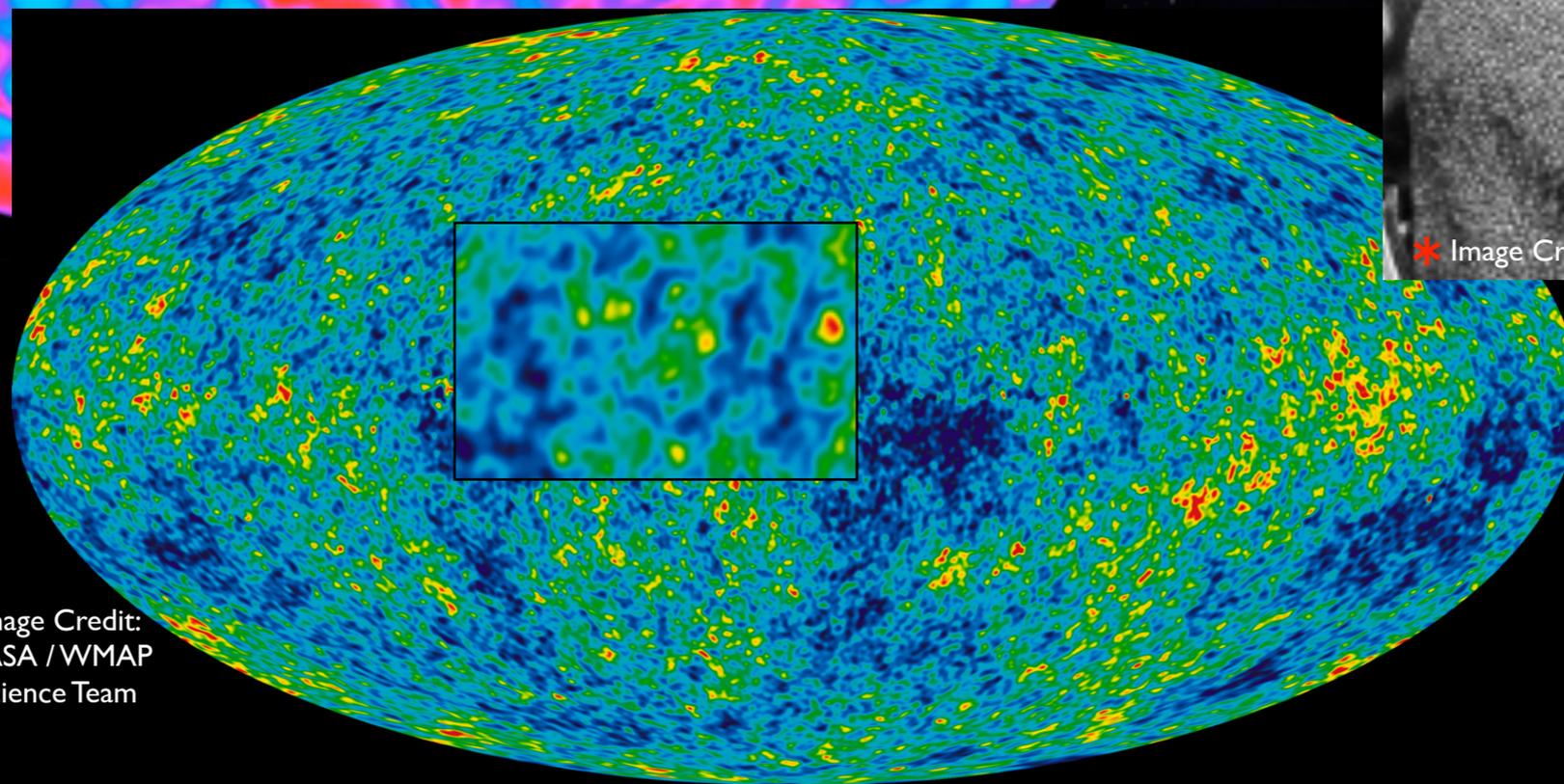


* Image Credit: NASA /
COBE Science Team

* Image from:
COBE Slide Set (Slide 28)
[http://lambda.gsfc.nasa.gov/
product/cobe/slide_captions.cfm](http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/slide_captions.cfm)



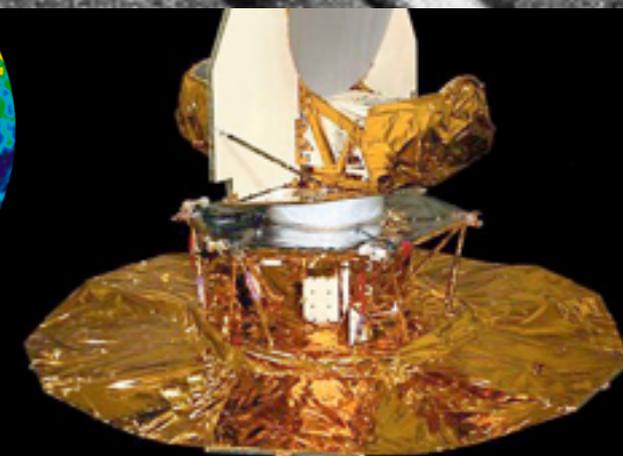
* Image from:
COBE Slide Set (Slide 28)
http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/slide_captions.cfm



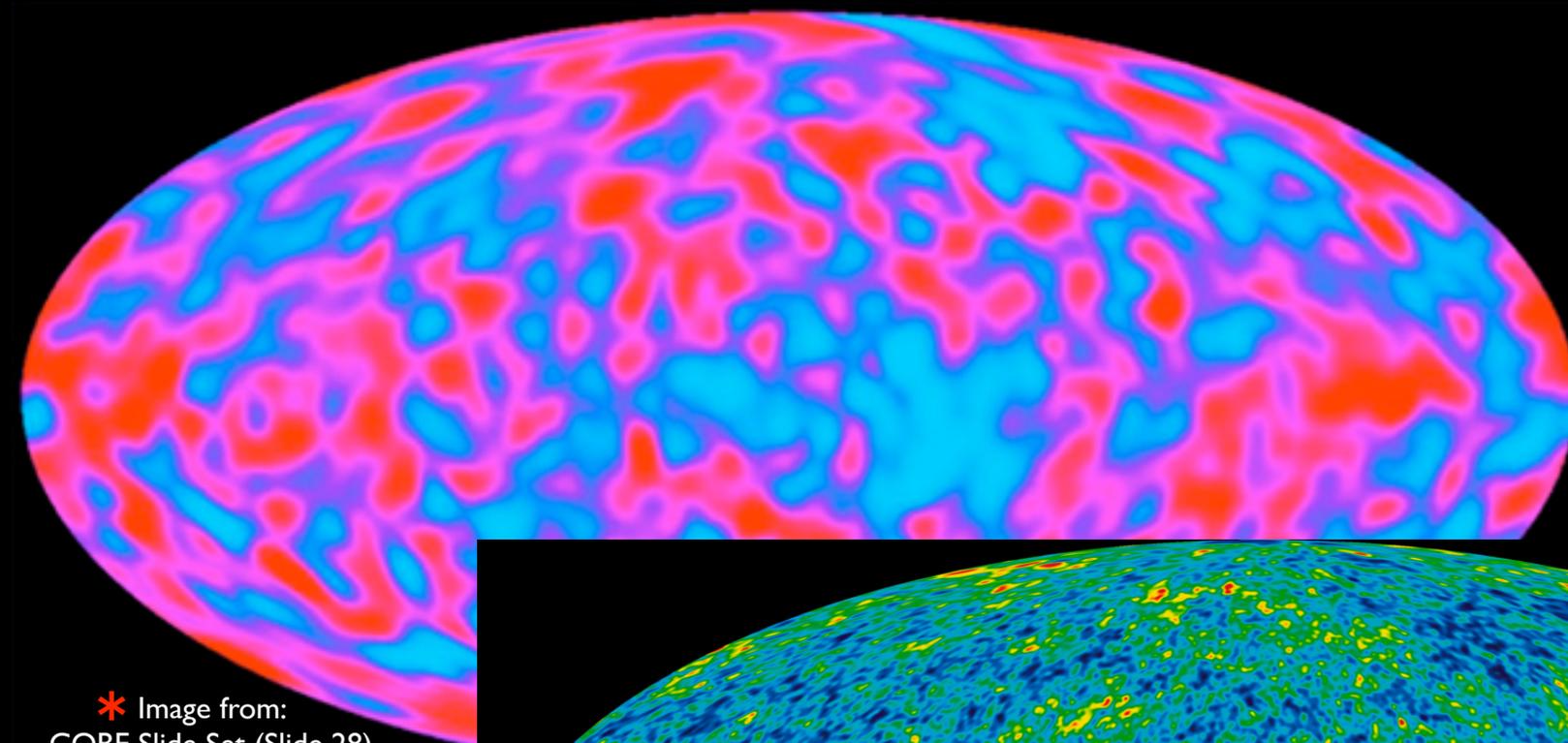
* Image Credit:
NASA / WMAP
Science Team



* Image Credit: NASA/JPL-Caltech



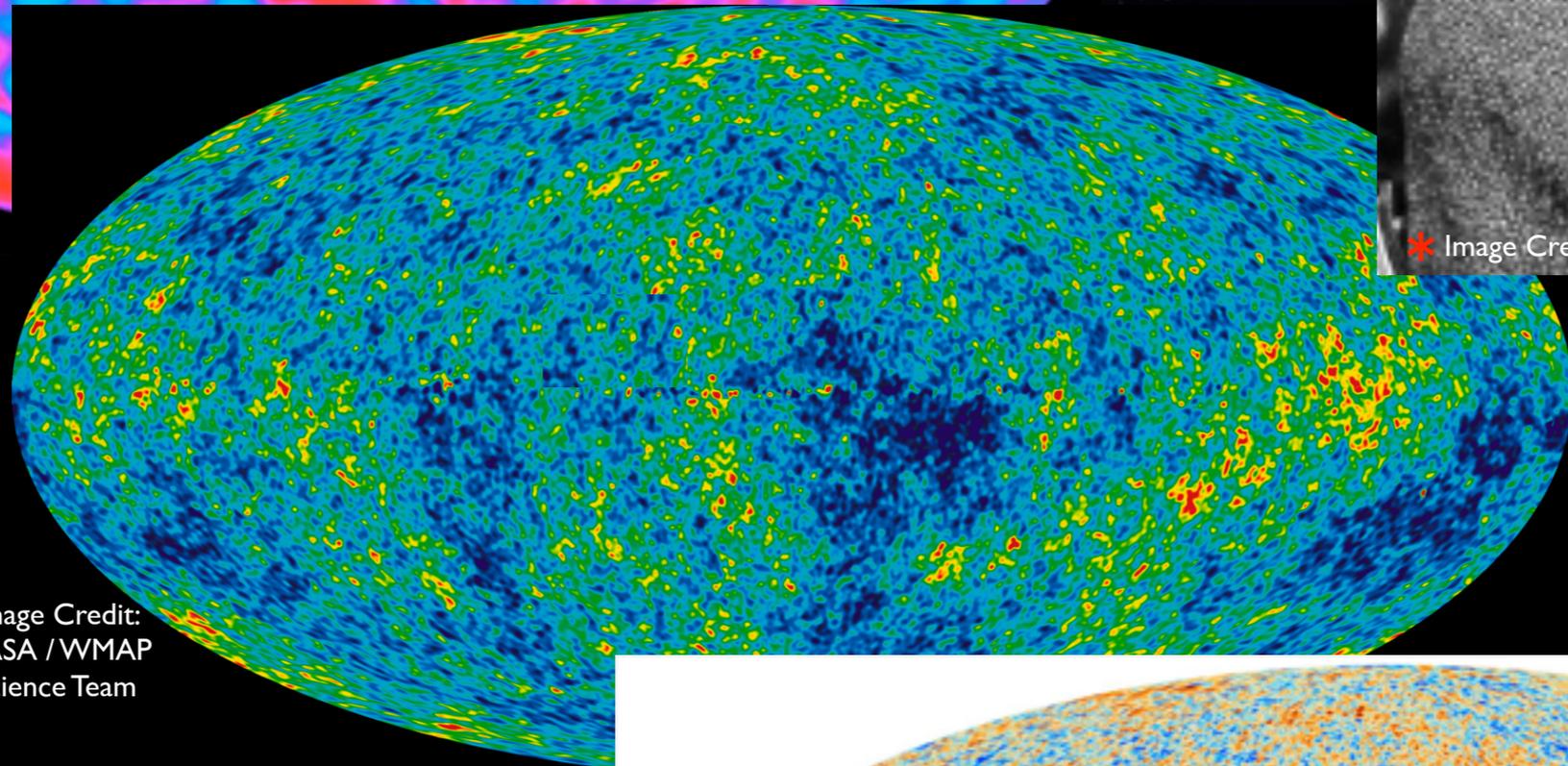
F890589



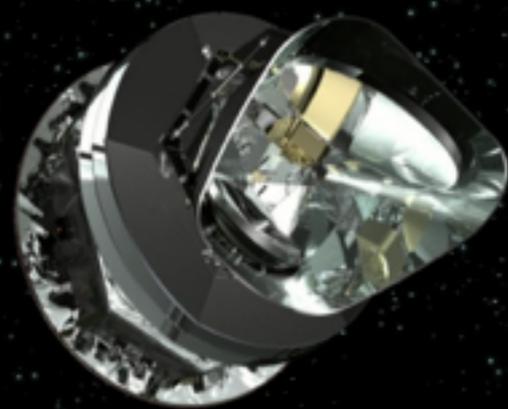
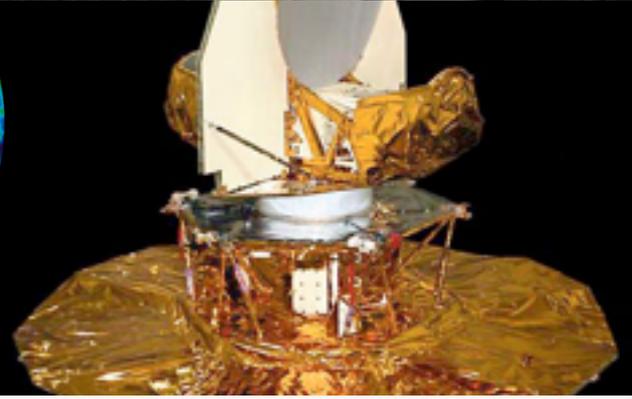
* Image from:
COBE Slide Set (Slide 28)
http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/slide_captions.cfm



* Image Credit: NASA/JPL-Caltech

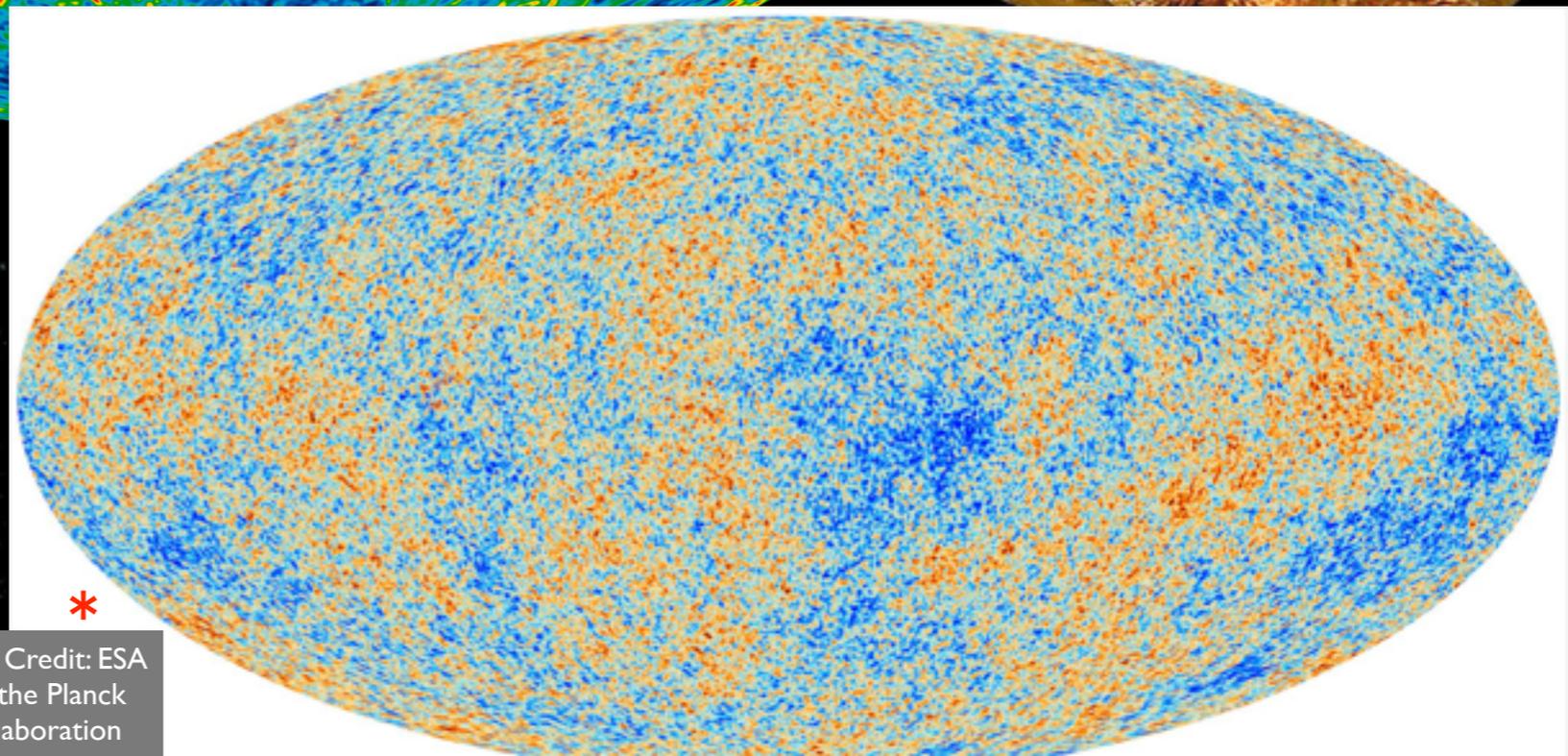


* Image Credit:
NASA / WMAP
Science Team



* Image Credit: ESA/
NASA/JPL-Caltech

Planck



*
Image Credit: ESA
and the Planck
Collaboration

2013.3.21

著作権の都合により、ここに挿入されていた
画像を削除しました

「宇宙誕生は138億年前＝星や銀河の物質
は4.9%－欧州衛星が精密観測」

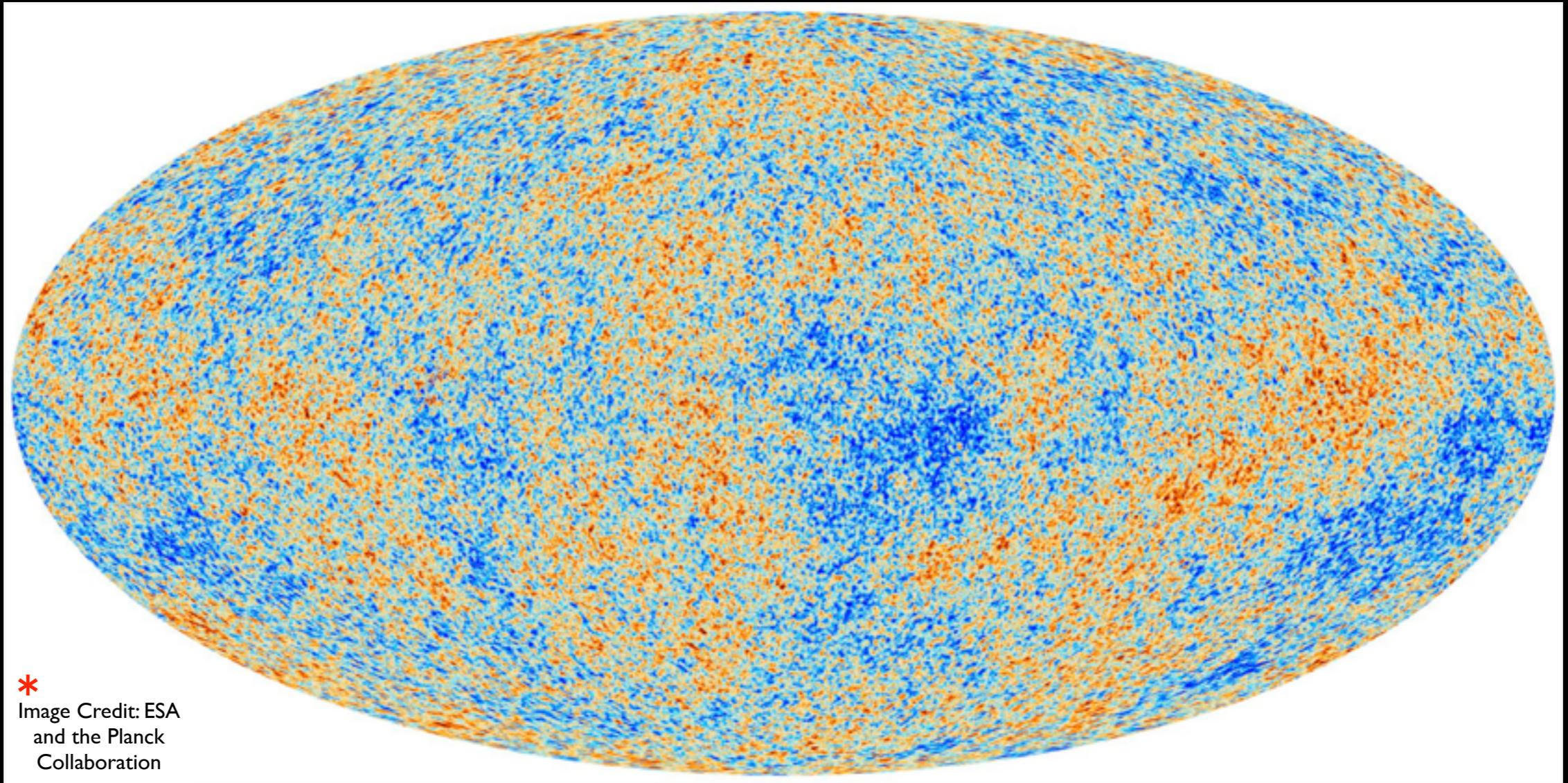
時事ドットコム

(2013/03/23-18:51)

<http://www.jiji.com/jc/zc?>

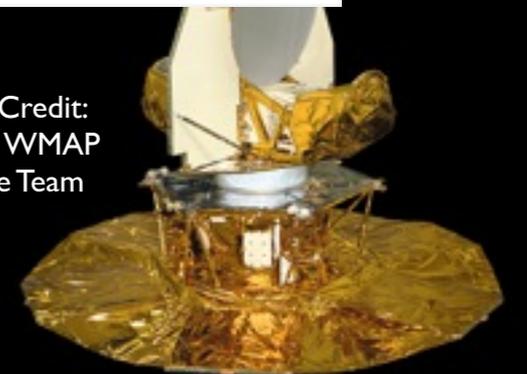
k=201303/2013032300275

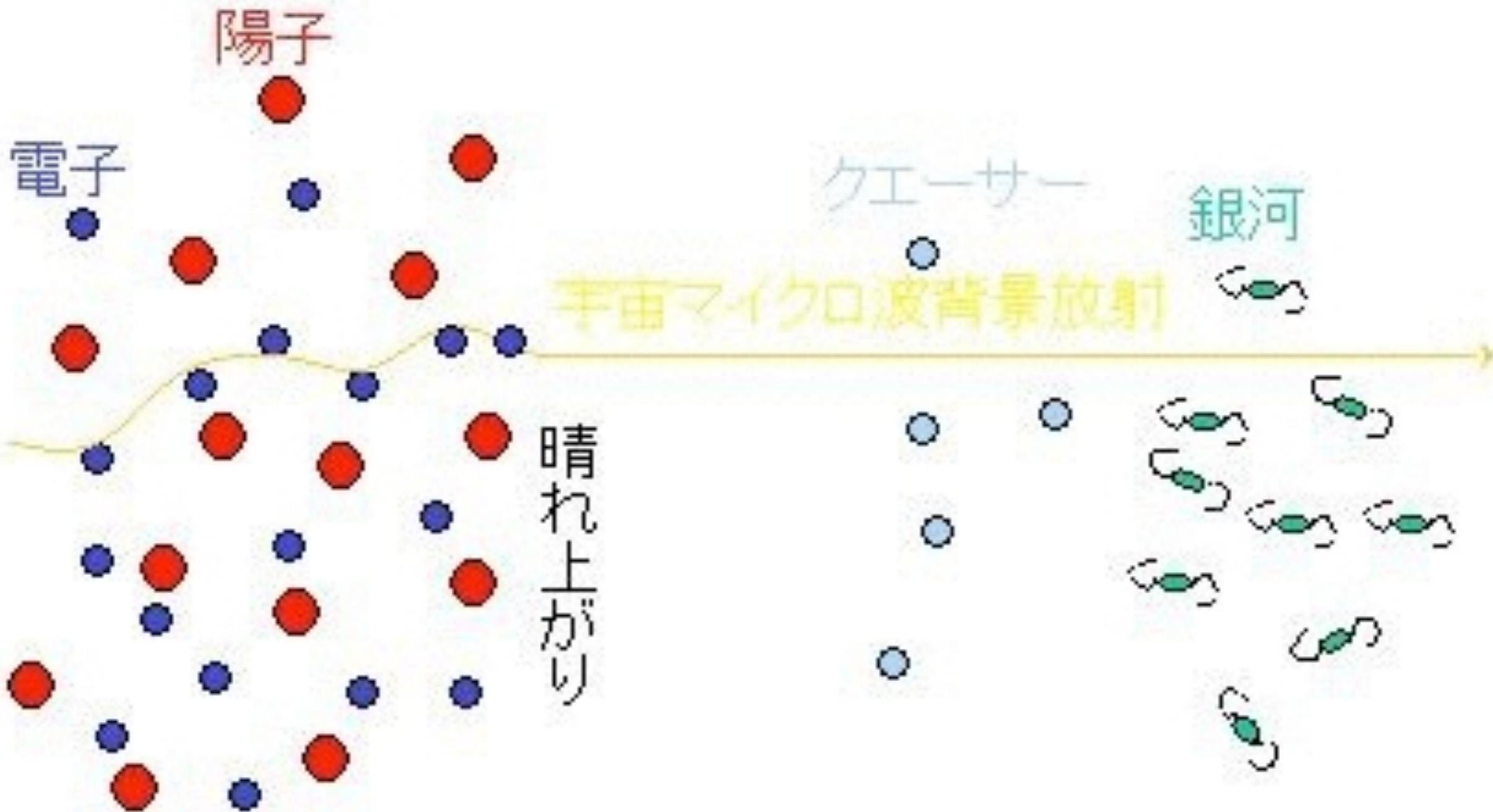
138億光年先の「壁」



これ以上向こうは決して
「見る」ことができない

* Image Credit:
NASA / WMAP
Science Team





ビッグバン

38万年

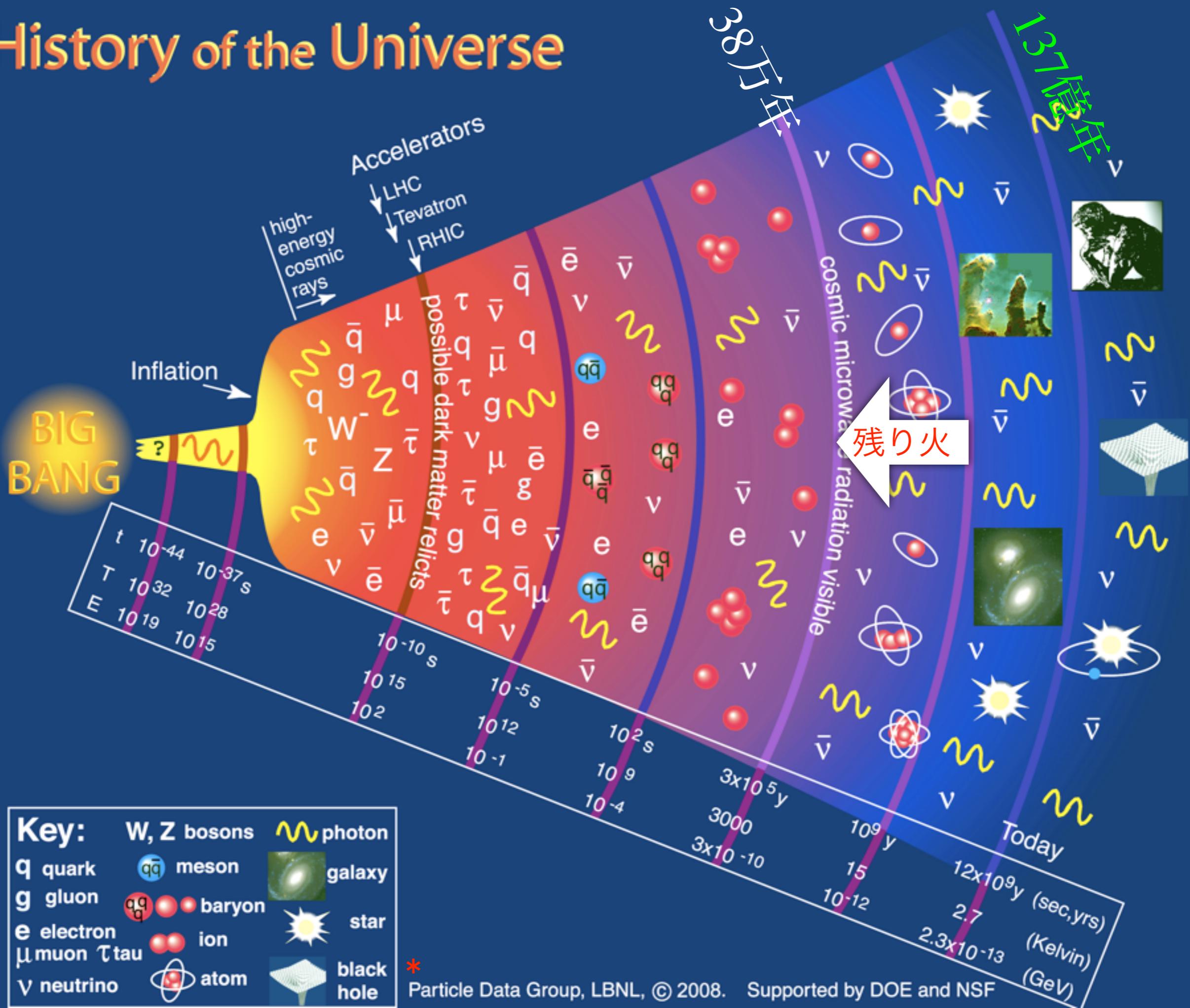
数億年

138億年

時間

* 画像提供：杉山直氏（名古屋大学）

History of the Universe



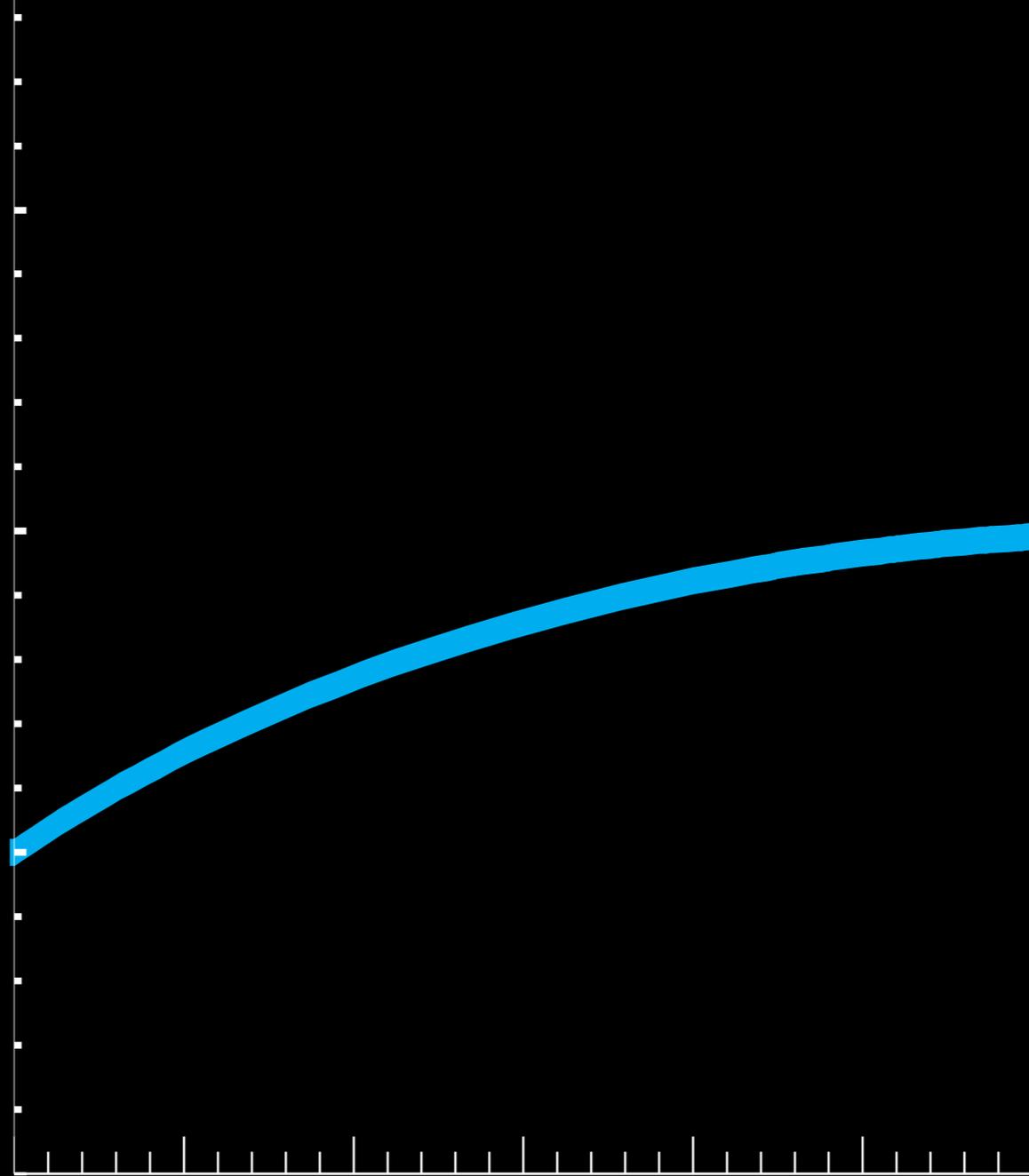
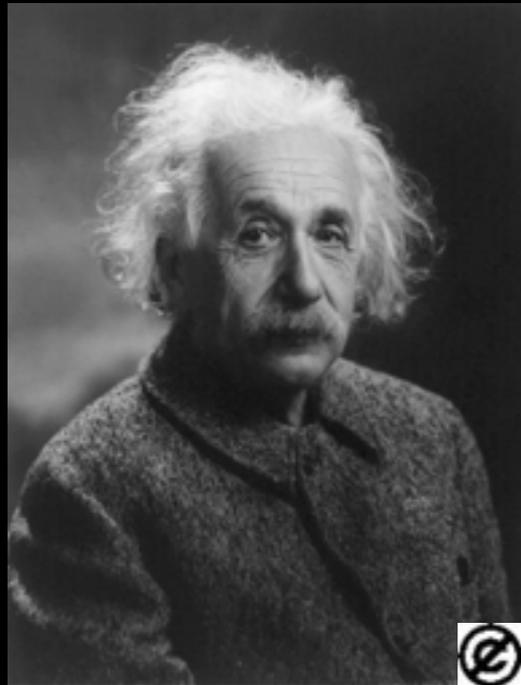
* Particle Data Group, LBNL, © 2008. Supported by DOE and NSF

宇宙の膨張

宇宙膨張



* Image Credit: NASA Goddard Space Flight Center



減速するはず

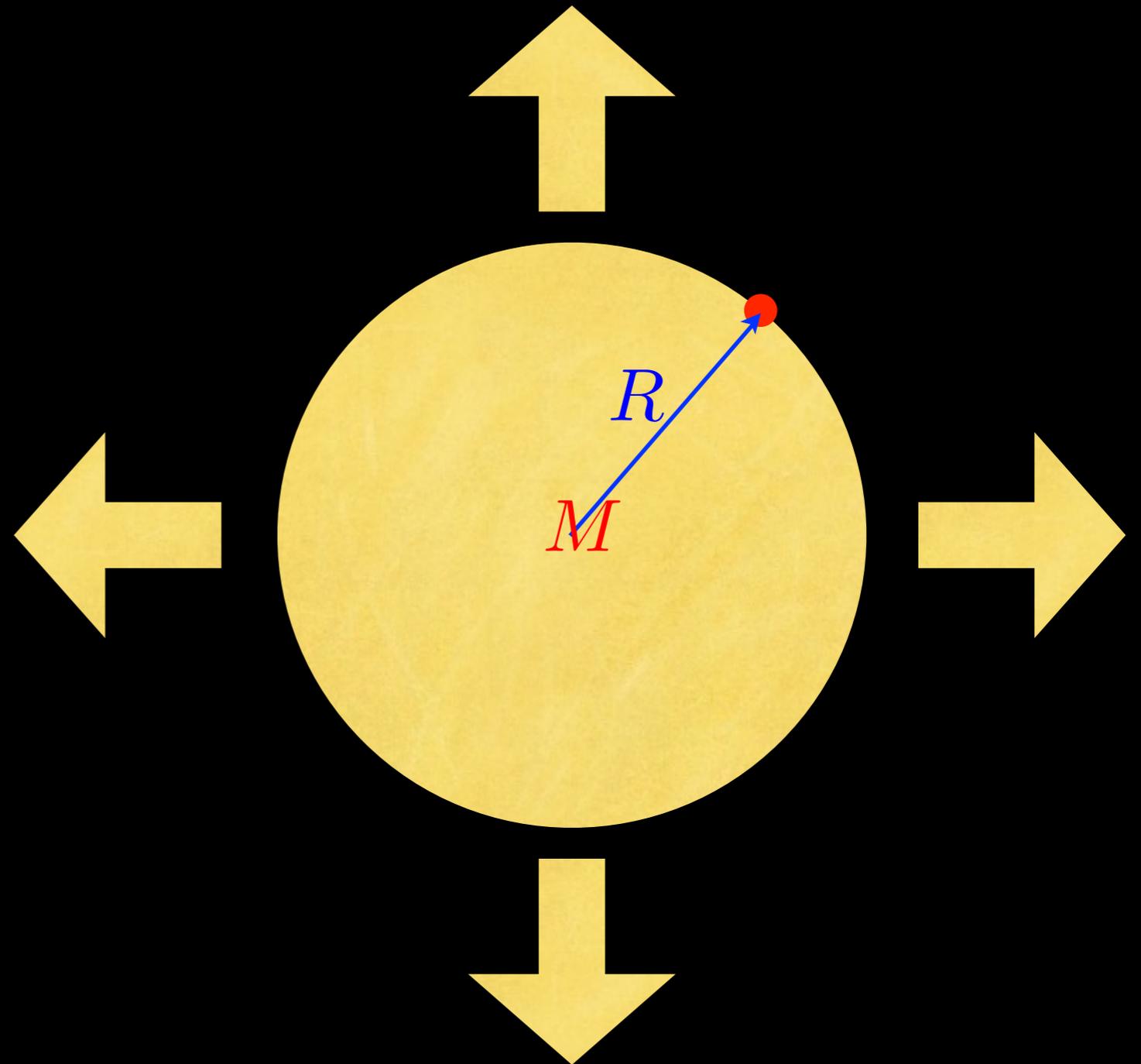
宇宙膨張の方程式

$$F = ma$$

$$F = -G \frac{Mm}{R^2}$$

$$a = \frac{d^2}{dt^2} R$$

$$\frac{d^2}{dt^2} R = -G \frac{M}{R^2}$$

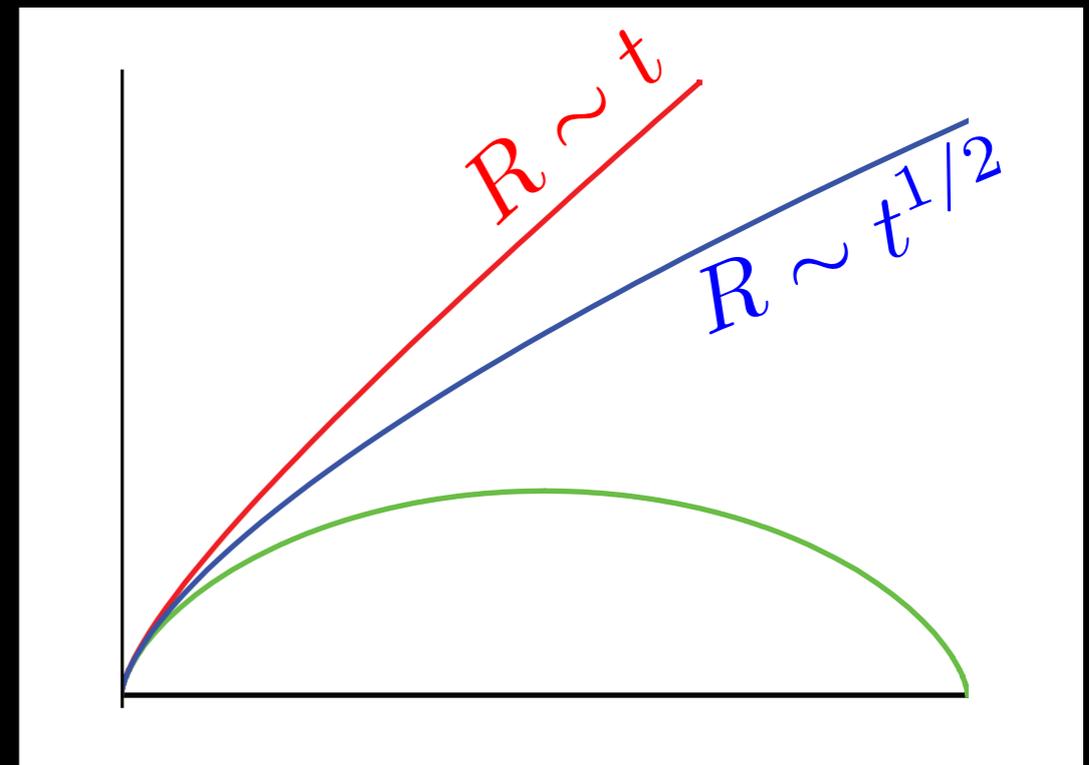


三つの運命

$$\frac{d^2}{dt^2}R = G \frac{M}{R^2}$$

- 物質の量が多いと膨張が一度止まって宇宙は縮みだす。
(ビッグクランチ)
- 物質の量が少ないと膨張はだんだんゆっくりになりながら永遠に続く

や
や
大
の
宙
中



時間

宇宙に終わりはあるのか??

あらすじ

- ✓ ● 宇宙の誕生
- 物質の誕生
- 銀河の誕生