


■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 UTokyo OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2015, 村山齊

The University of Tokyo / UTokyo OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2015, Hitoshi Murayama

学術 俯瞰 講義

主題科目 / 学術フロンティア講義 2単位 1、2年生対象
宇宙・物質・社会—物質の成り立ちから応用まで

コーディネータ: 家泰弘 (物性研究所)

ナビゲータ: 福島孝治 (教養学部)



家泰弘



福島孝治



村山齊



浅井祥仁



永原裕子



田中肇



飯本武志



石坂香子



川崎雅司



堂免一成



岡部徹

第1回	4/7	総論、物質の科学史、現代社会と物質	家泰弘 (物性研究所)
		宇宙と物質はどこから来たのか	
第2回	4/14	—宇宙誕生、物質の誕生	村山齊 (国際高等研究機構/物質科学研究所)
第3回	4/21	—暗黒物質と星・銀河の誕生、反物質の消滅、暗黒エネルギー	
第4回	4/28	素粒子研究の最前線—新しい素粒子像	浅井祥仁 (工学部)
第5回	5/12	宇宙の進化と惑星や生命を作るもの	永原裕子 (工学部)
第6回	5/19	物性科学はじめての三歩	家泰弘 (物性研究所)
第7回	5/26	ソフトマター—そのしなやかさの起源	田中肇 (生命科学研究科)
第8回	6/9	放射能・放射線	飯本武志 (環境安全本部)
第9回	6/16	超伝導、強相関、トポロジカル物質	石坂香子 (工学部)
第10回	6/23	コンピュータの中の物質	福島孝治 (教養学部)
第11回	6/30	光る・覚える・駆動する—半導体の電子の凄技	川崎雅司 (工学部)
第12回	7/7	人工光合成—太陽エネルギーから化学エネルギーへ	堂免一成 (工学部)
第13回	7/14	奇跡の物質—レアメタル	岡部徹 (工学部)

駒場キャンパス 21 KOMCEE 火曜日 2時限 (10:25-12:10)
 レクチャーホール

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



東大ナビ
utnav.jp

宇宙と物質は どこから来たのか

学術俯瞰講義 2015年4月21日

村山齊 カブリ数物連携宇宙研究機構

UC Berkeley, Lawrence Berkeley Laboratory

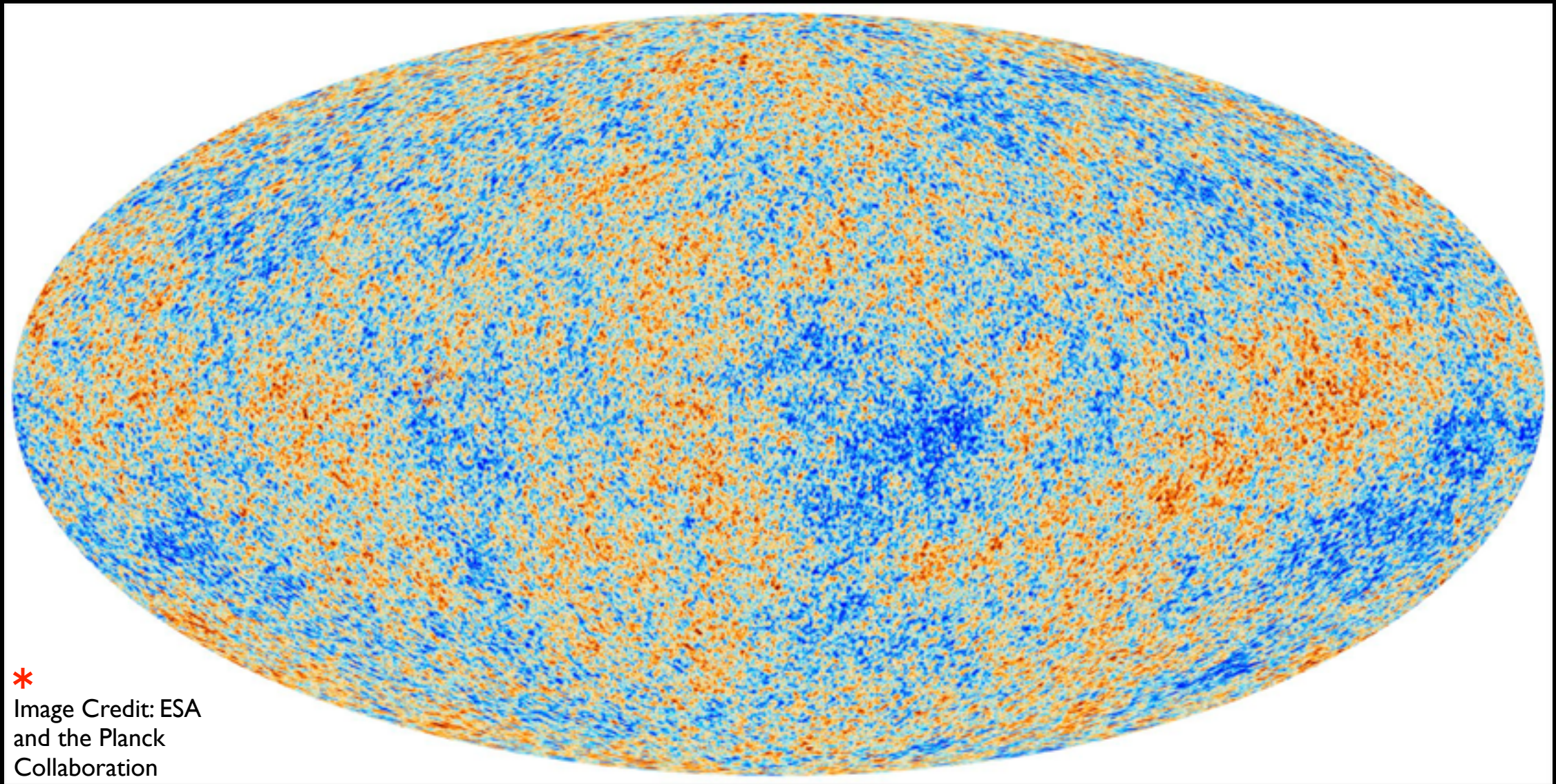
*

Photo by: NASA /
ESA / S. Beckwith
(STScI) / the HUDF
Team

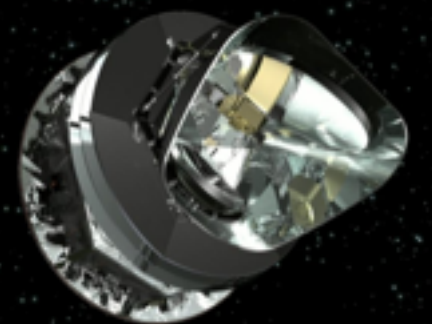
先週

- 遠くを見ると過去が見える
 - ビッグバンの「表面」も見える
- 宇宙は空間全体が膨張している
- 宇宙の始まりは水素とヘリウムだけ
- 他の元素は星の中で合成
- 超新星でばらまいて第二・三世代へ

138億光年先の「壁」

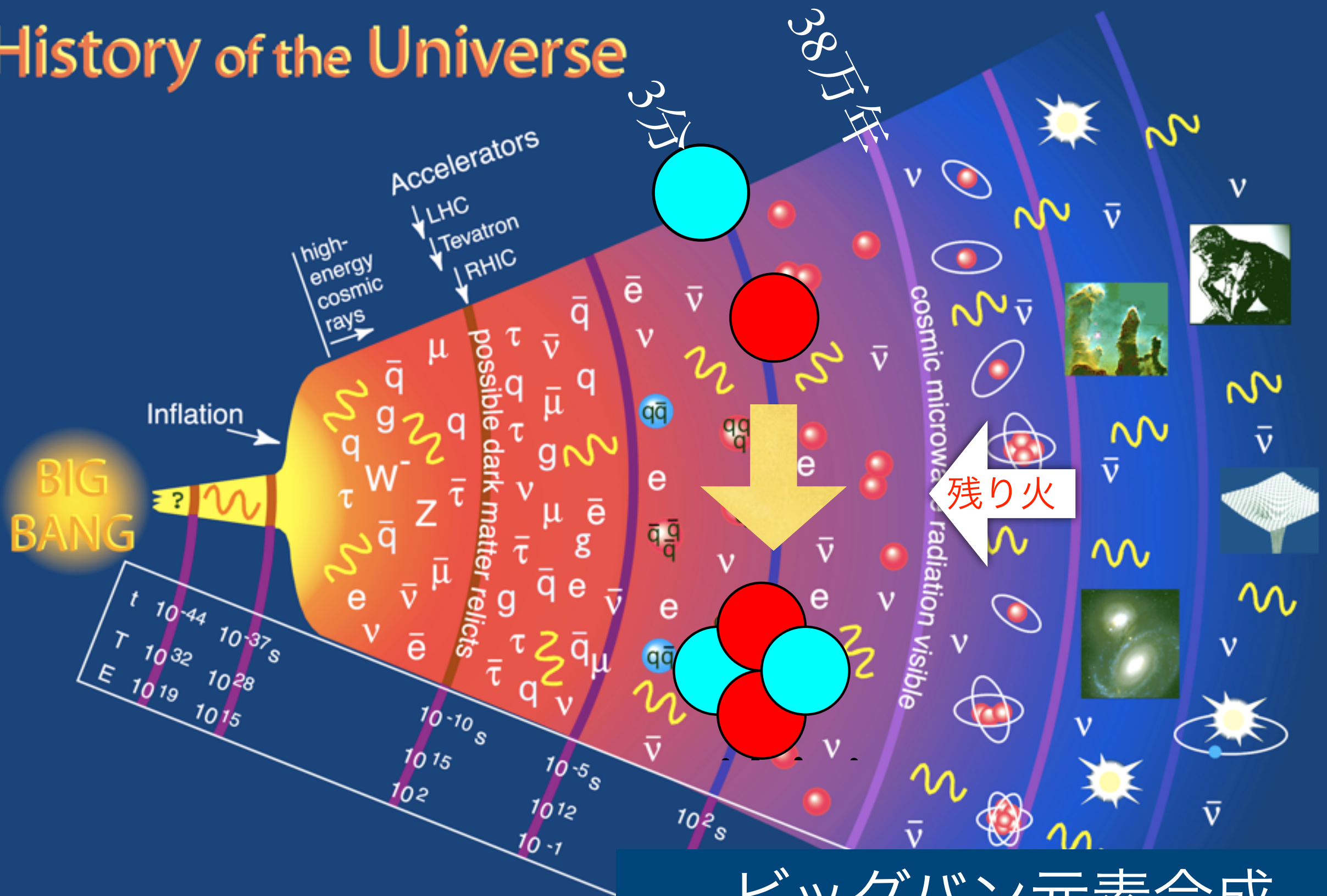


これ以上向こうは決して
「見る」ことができない



*
©ESA (Image by AOES Medialab)

History of the Universe

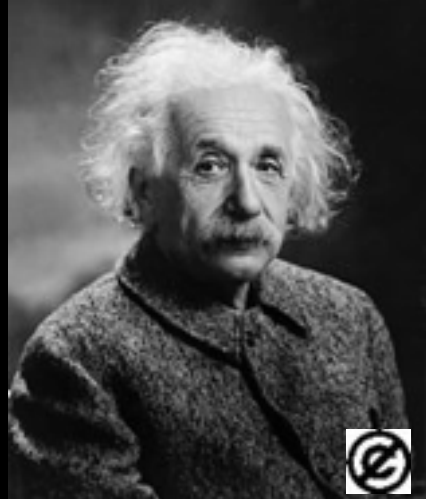


Key:

W, Z bosons	photon
q quark	meson
g gluon	baryon
e electron	ion
μ muon	tau
ν neutrino	atom
	galaxy
	star
	black hole

* Particle Data Group, LBNL, © 2008

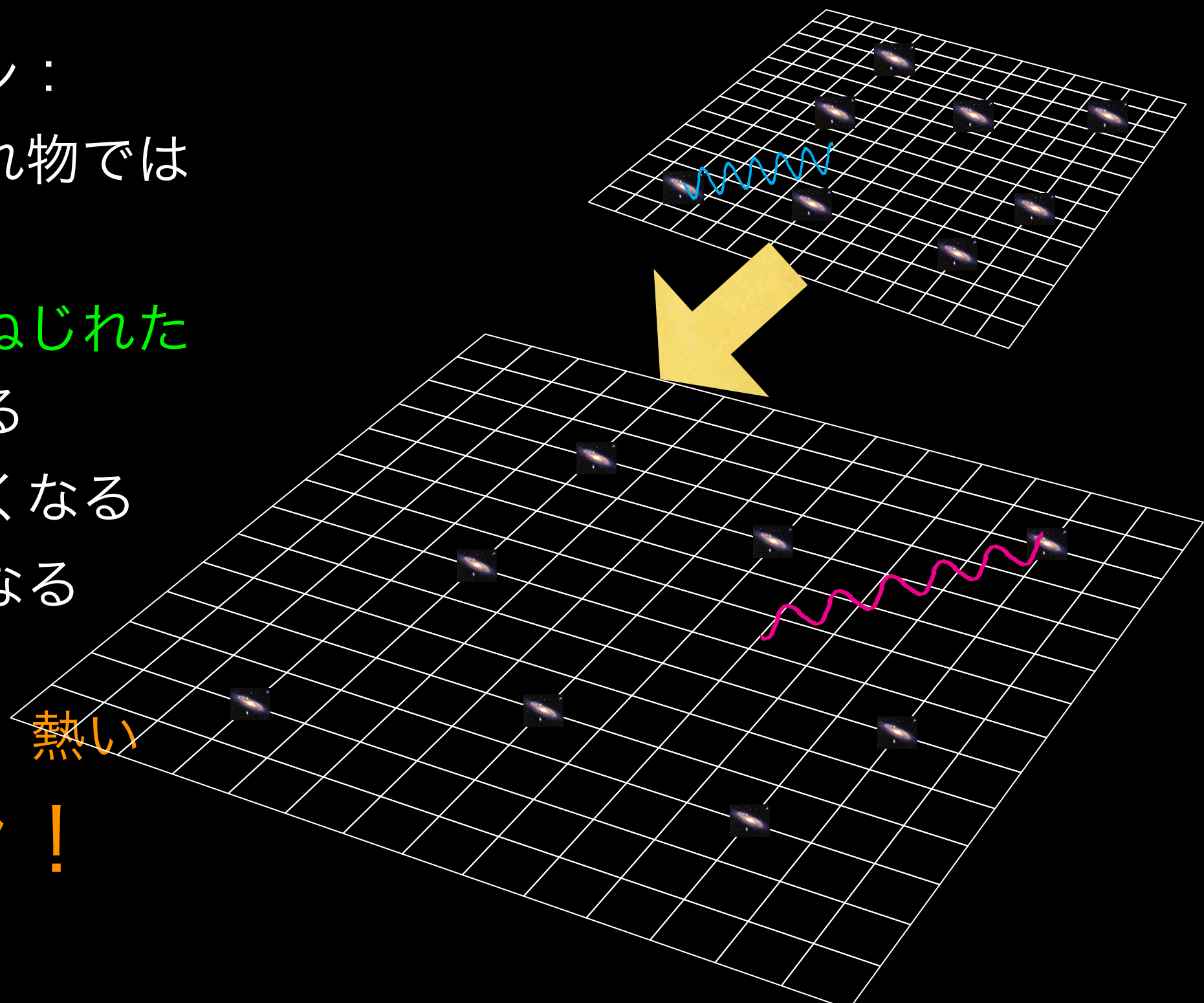
ビッグバン元素合成
 予言 H:He ~ 3:1 (質量比)
 観測と良く合う



広がる空間

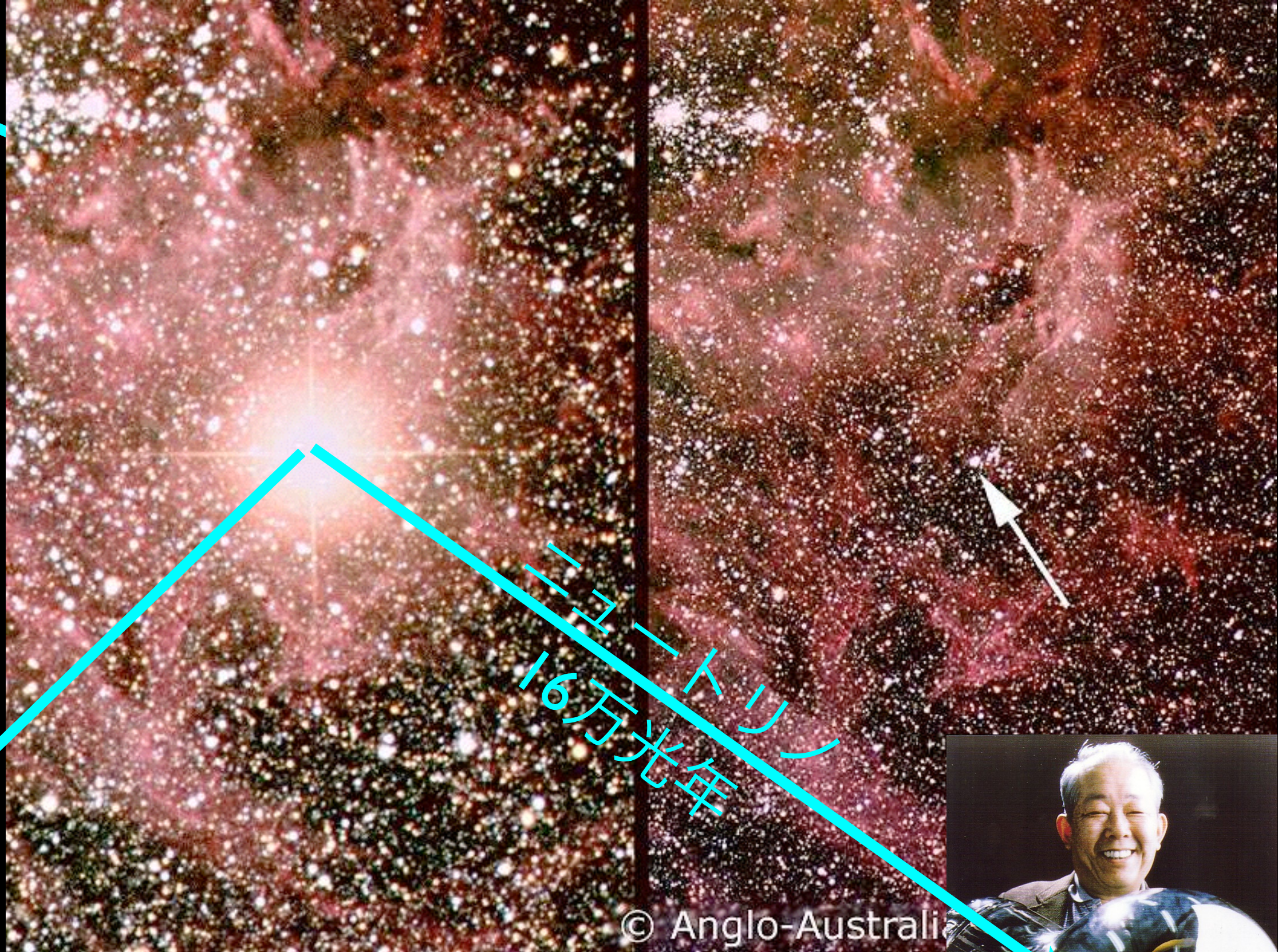
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

- 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
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！



水素
ヘリウム

炭素
窒素
酸素
鉄



16万光年

© Anglo-Australi

* ©1989-2010, Australian Astronomical
Observatory, photograph by David Malin

都合により
ここに挿入
されていた
画像を削除
しました

女の子の写真

私たちは星屑

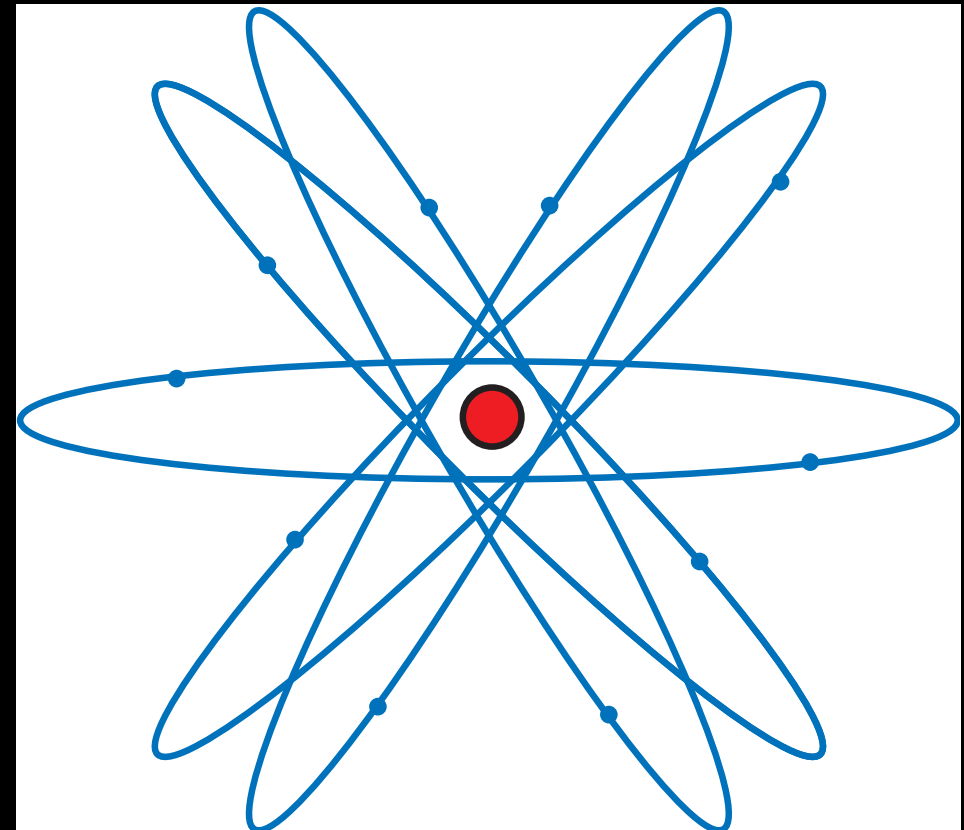


* 東京大学 UTokyo OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2005, 小柴昌俊

先週

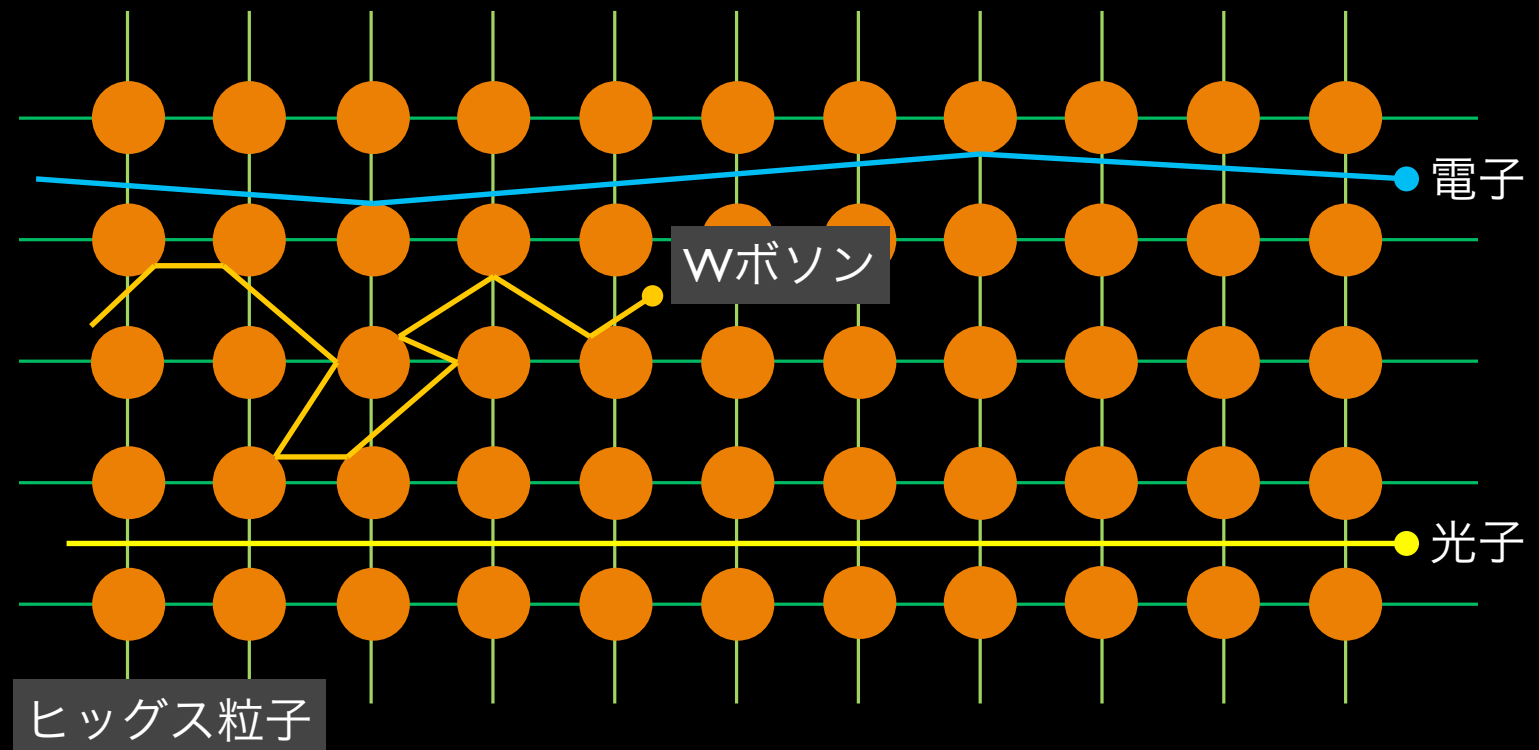
- 原子ができるには電子をゆっくりに
- 電子を押さえ込むのはヒッグス粒子
- 宇宙に凍り付いている
- 星や銀河を作った母なる暗黒物質
 - 地下で辛抱強く探す
 - 加速器で作る

宇宙に満ちるヒッグス粒子

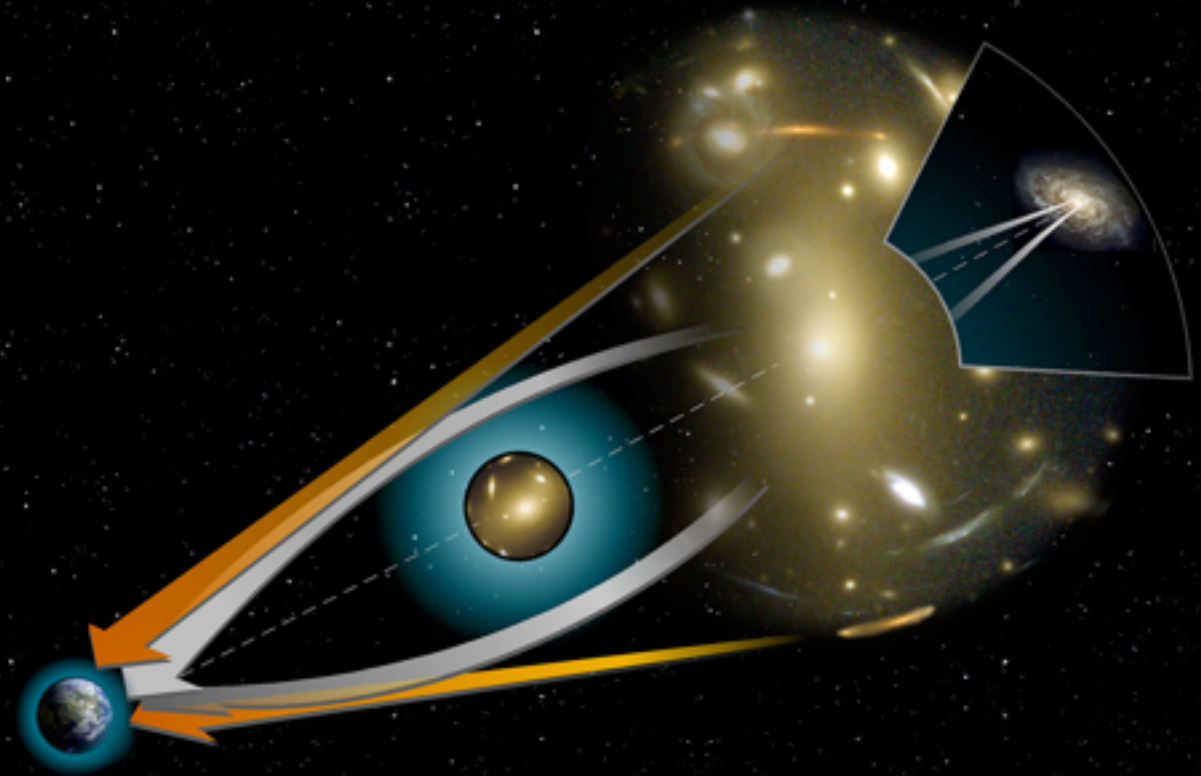


- ヒッグス場が宇宙に満ちる
- 全ての素粒子を光速から遅らす
- でないと原子は存在できない!
- 宇宙に秩序を作った
- これも私たちの存在がかかる
- 一体なんだ??

まだ調べ始めたばかり



見えない暗黒物質を見る



* Credit: NASA and STScI

* 高田昌広氏
(カブリ数物) 提供

宇宙の物質の80%以上は原子でない！



* Maximilien Brice, © CERN

LHC実験

* © CERN

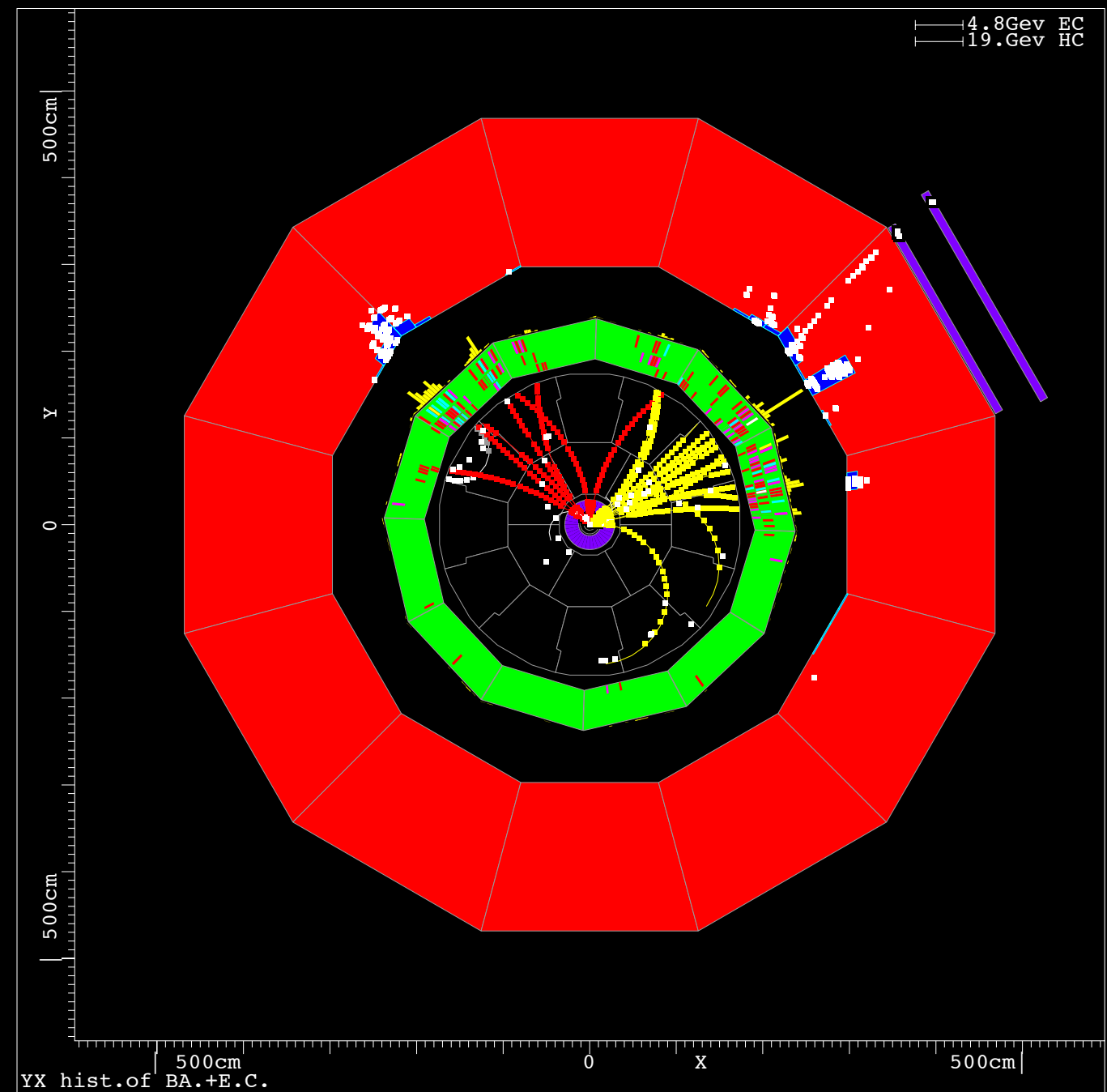


ビッグバンをやり直そう

見えないものを どうやって見つける？

* © CERN

- 実験室でビッグバンのようなエネルギーを出して暗黒物質をつくってやろう
 - 何か^が逃げている証拠を探す
- ⇒暗黒物質か!?



衝突の様子

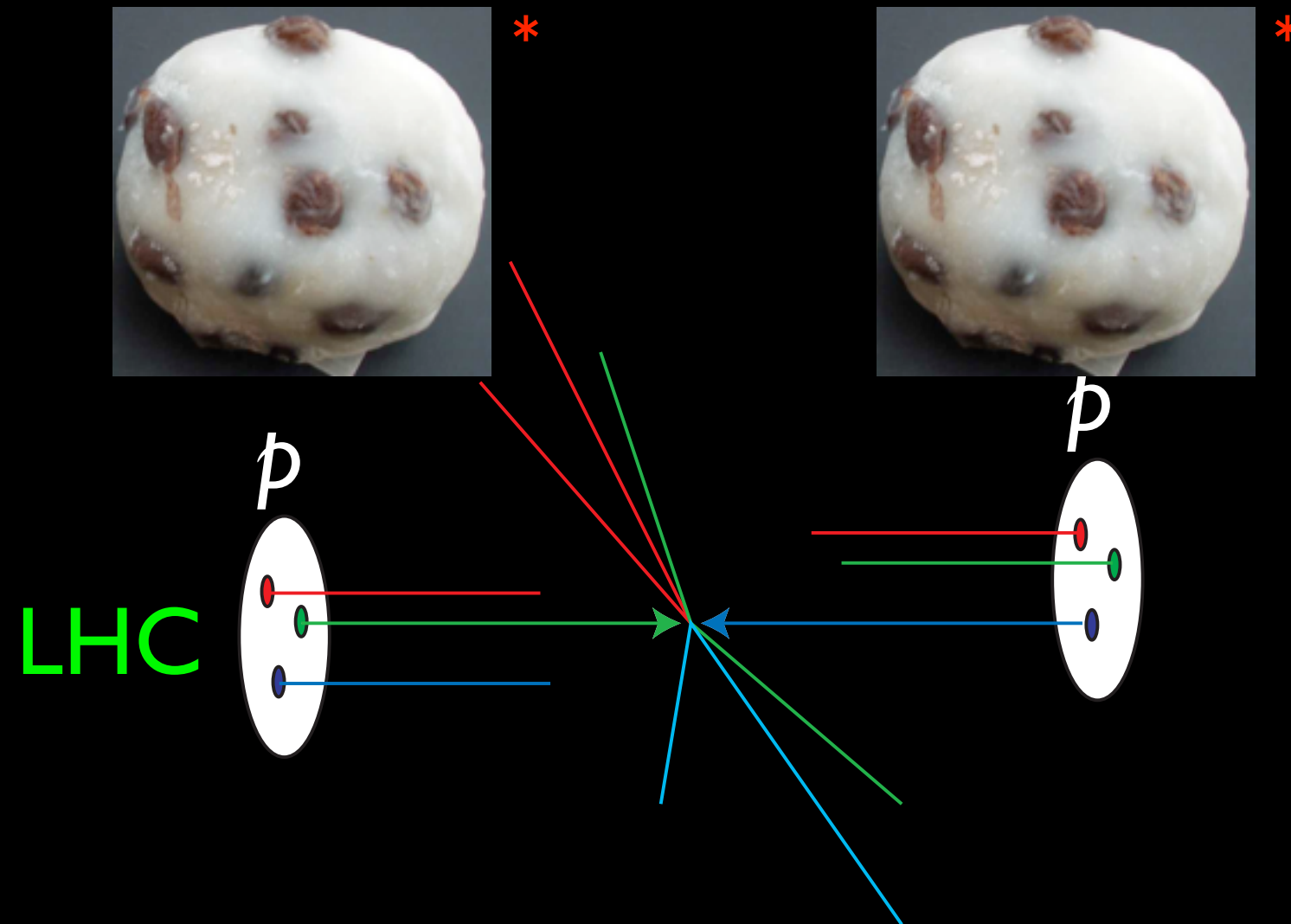
$Z \rightarrow \mu\mu$ event from 2012 data with 25 reconstructed vertices

$Z \rightarrow \mu\mu$

アトラス実験

一千兆の衝突から数十個を拾い出す

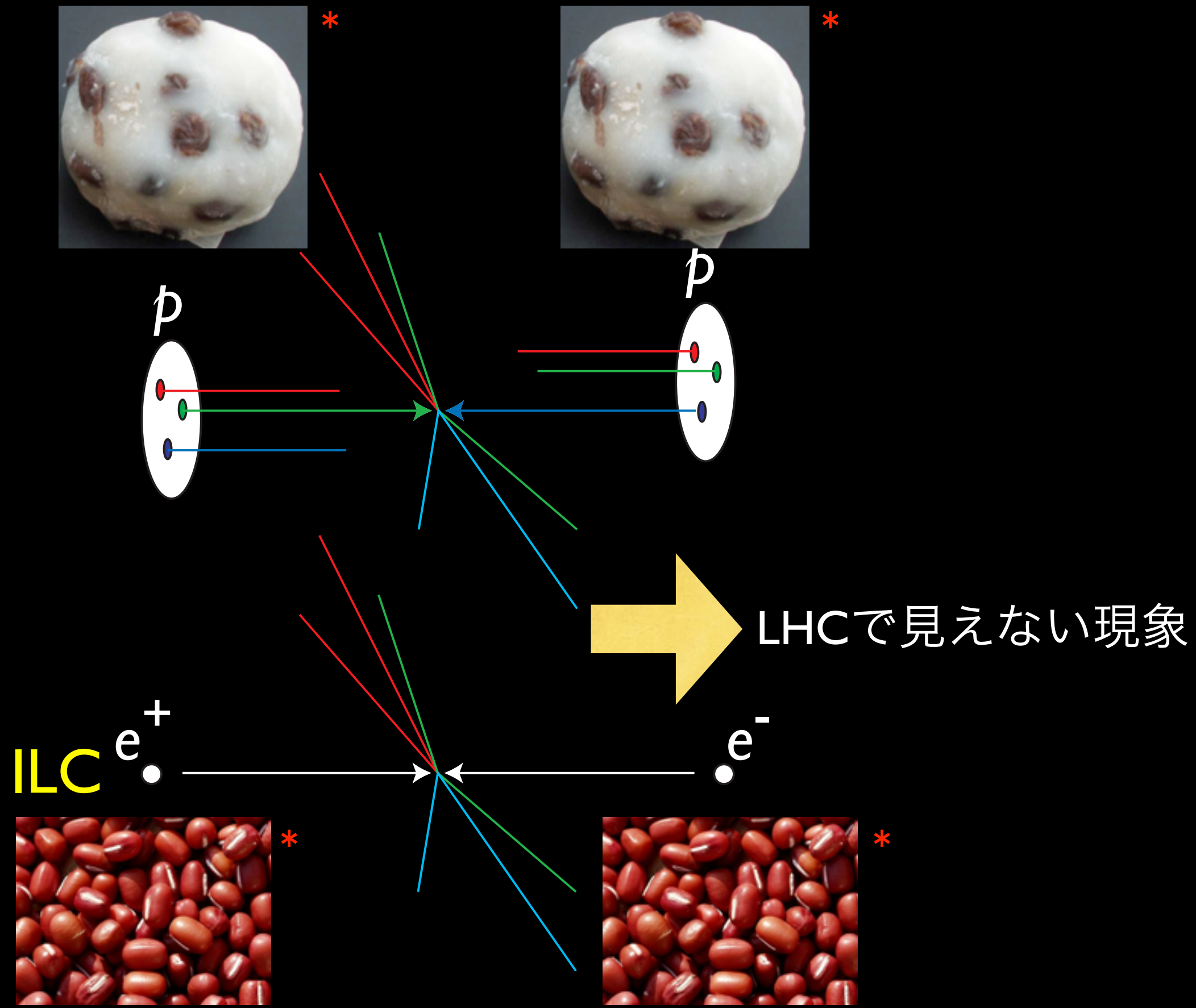
* Image from: Presentations at “Latest update in the search for the Higgs boson” (2012/07/04 at CERN), Talk by Fabiola Gianotti, slide 8.
© CERN



[豆大福] 画像提供：高由貴子氏

[小豆] 画像出典：草花写真館

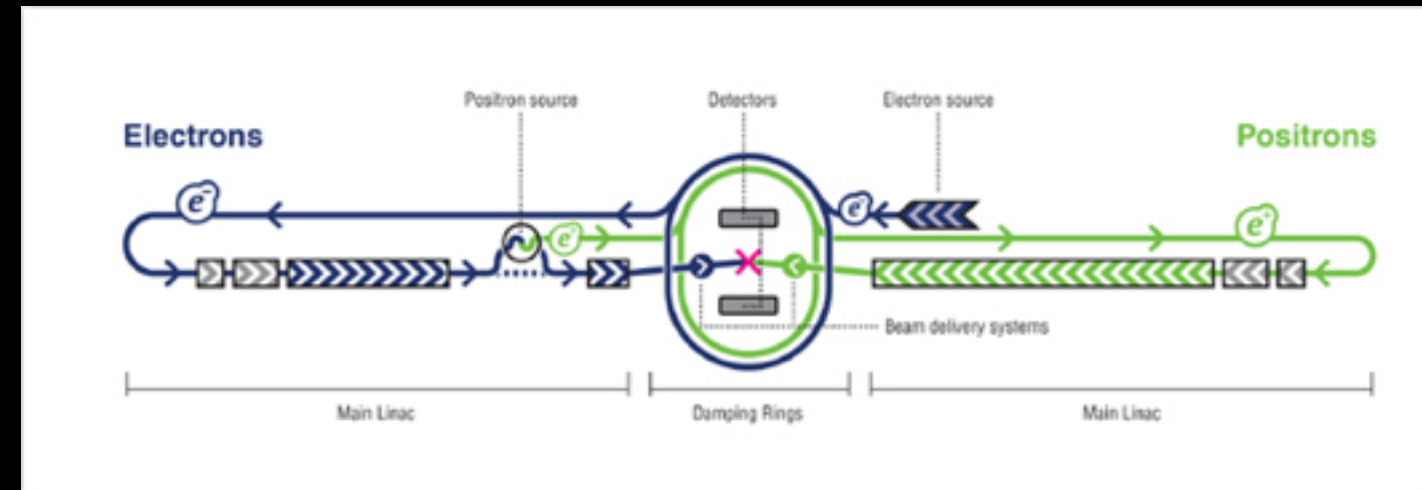
<http://kusabanaph.web.fc2.com>



リニアークライダー

- 電子と反物質の陽電子をぶつける
- とんでもないハイテク
- ビームを15km加速
- ビームをナノメートルまで小さくして、ちゃんとぶつける
- 暗黒物質の性質を精密に測る

* Graphic courtesy of ILC / form one visual communication



International Linear Collider (ILC)



* Source: DESY Hamburg



* Illustrated by Rey.Hori

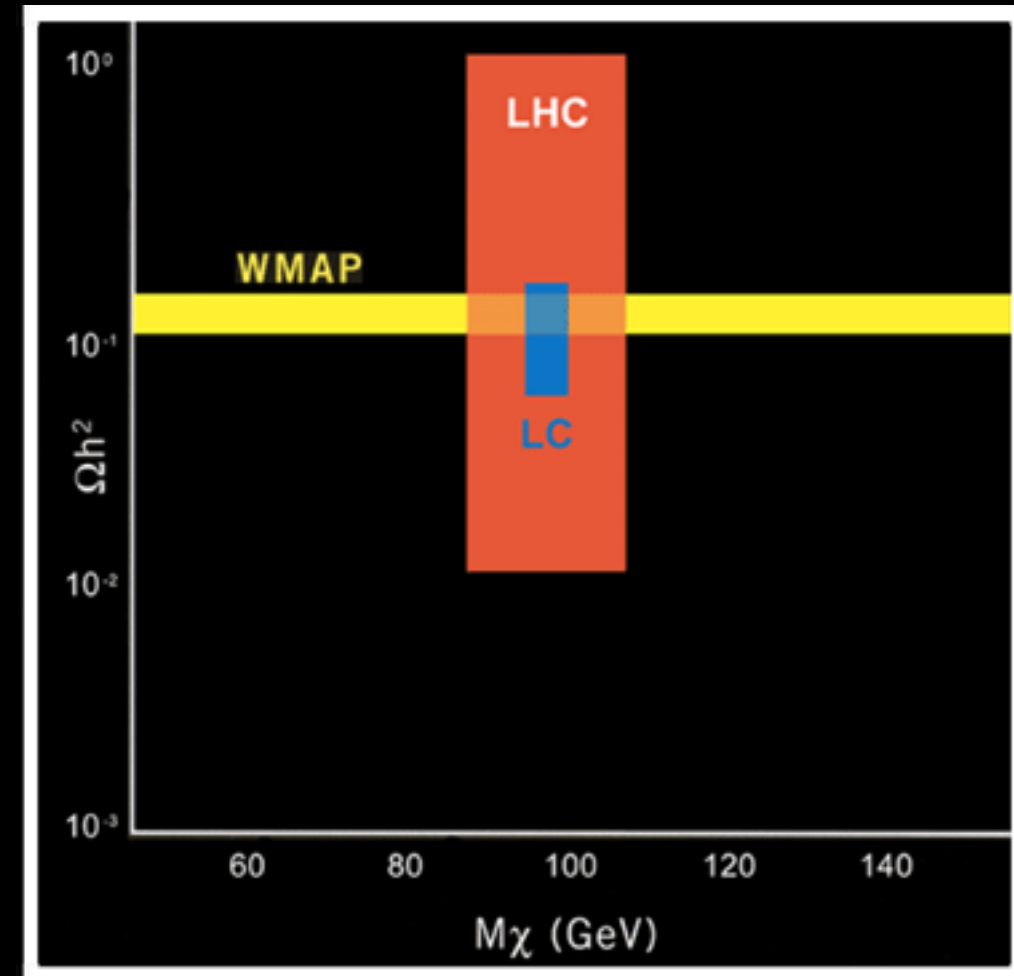


夢

- 宇宙の観測
- 探す実験
- 作る実験
- 全部つじつまが合って初めて

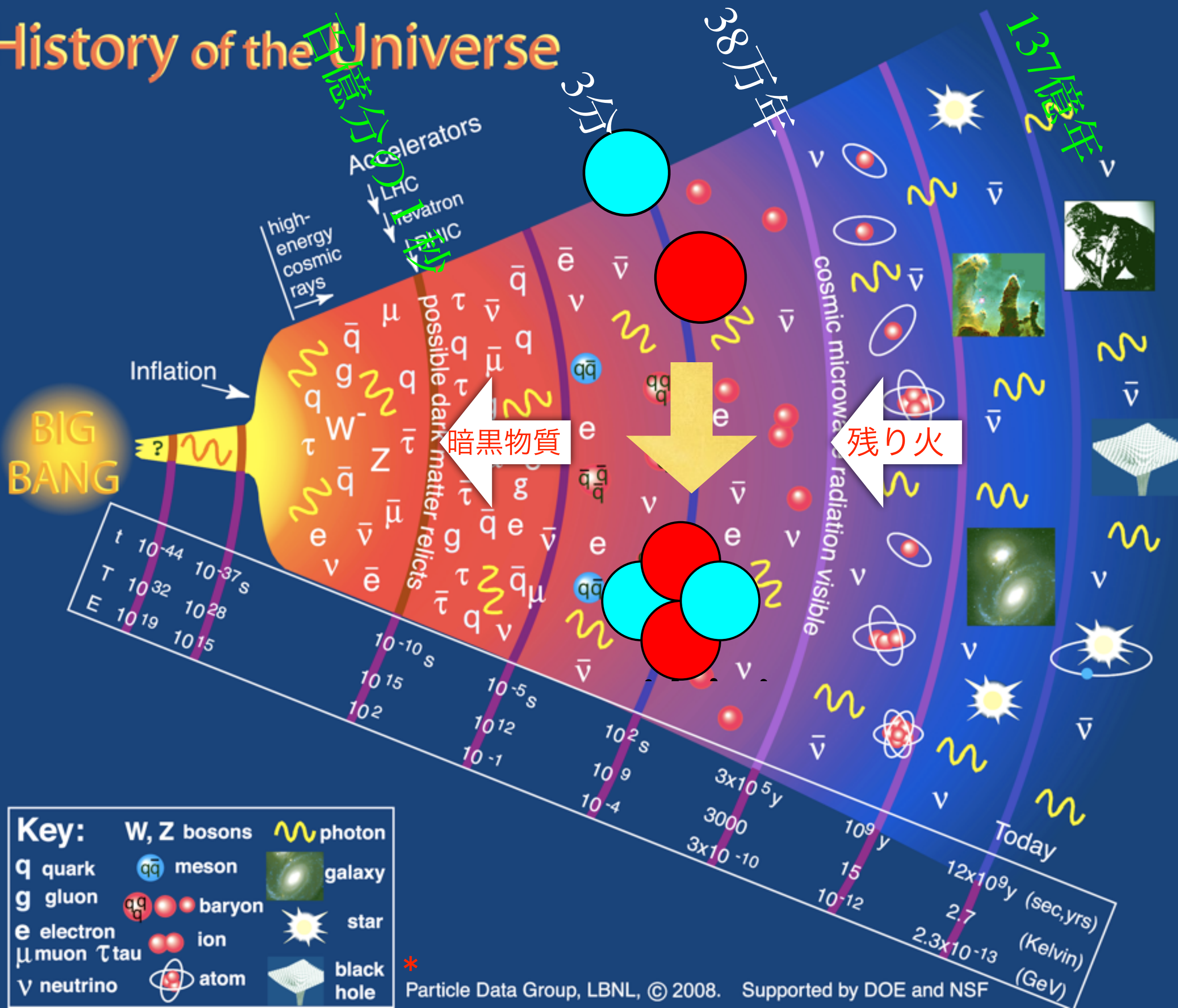
⇒ 暗黒物質が何かわかる

⇒ 宇宙ができて百億分の一秒のころのことがわかる

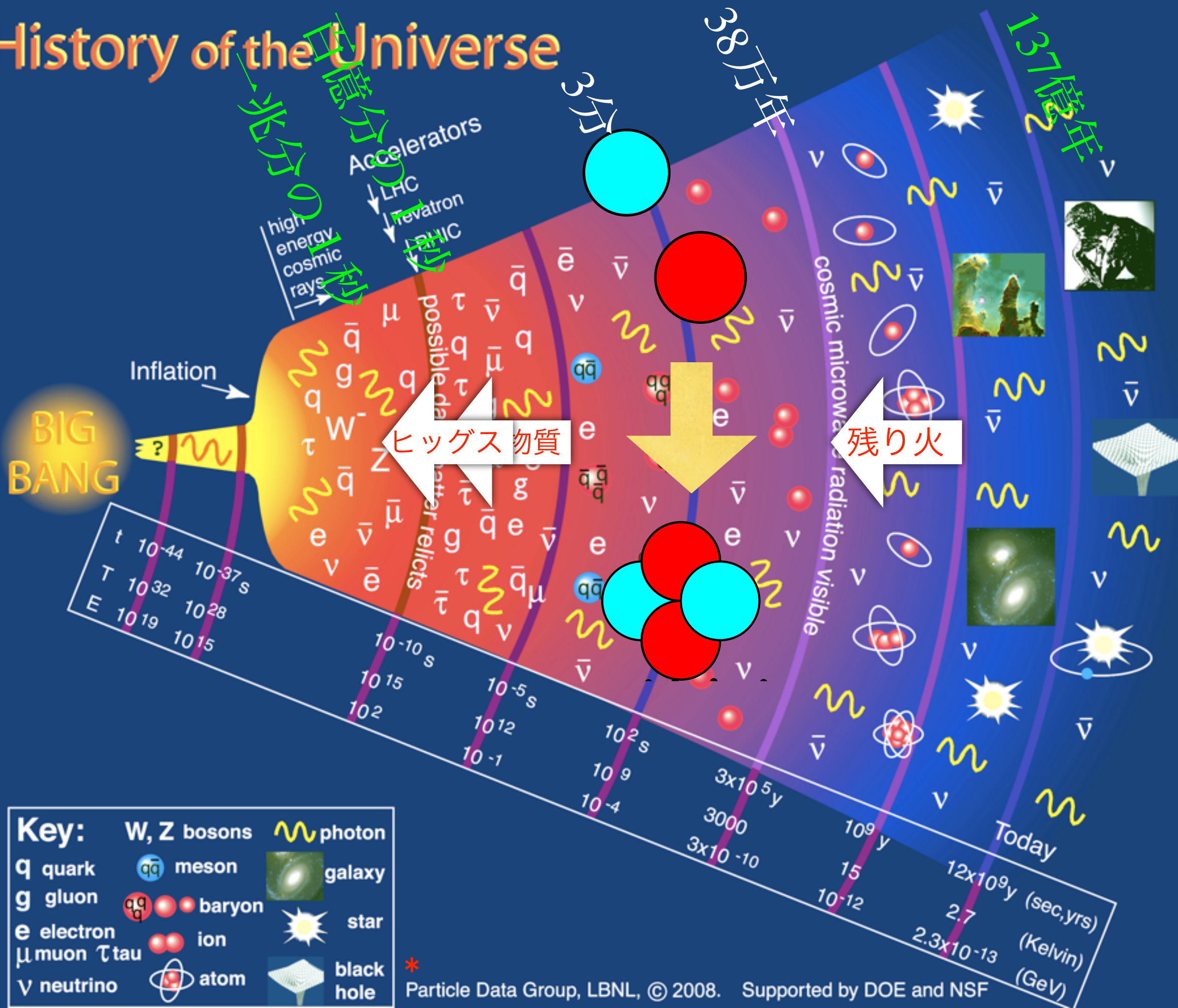


* Credit: Andreas Birkedal

History of the Universe



History of the Universe



今週

- 私たちを反物質から護った「父なるニュートリノ」？
- 宇宙を創ったインフレーション
 - 量子揺らぎが「むら」のもと
- 暗黒エネルギーが宇宙膨張を加速
 - 宇宙に終わりがある？

反物質



陽電子

電子

1 対 1 で作る

1933

* Courtesy of Musée Curie (coll.ACJC)

バークレイ

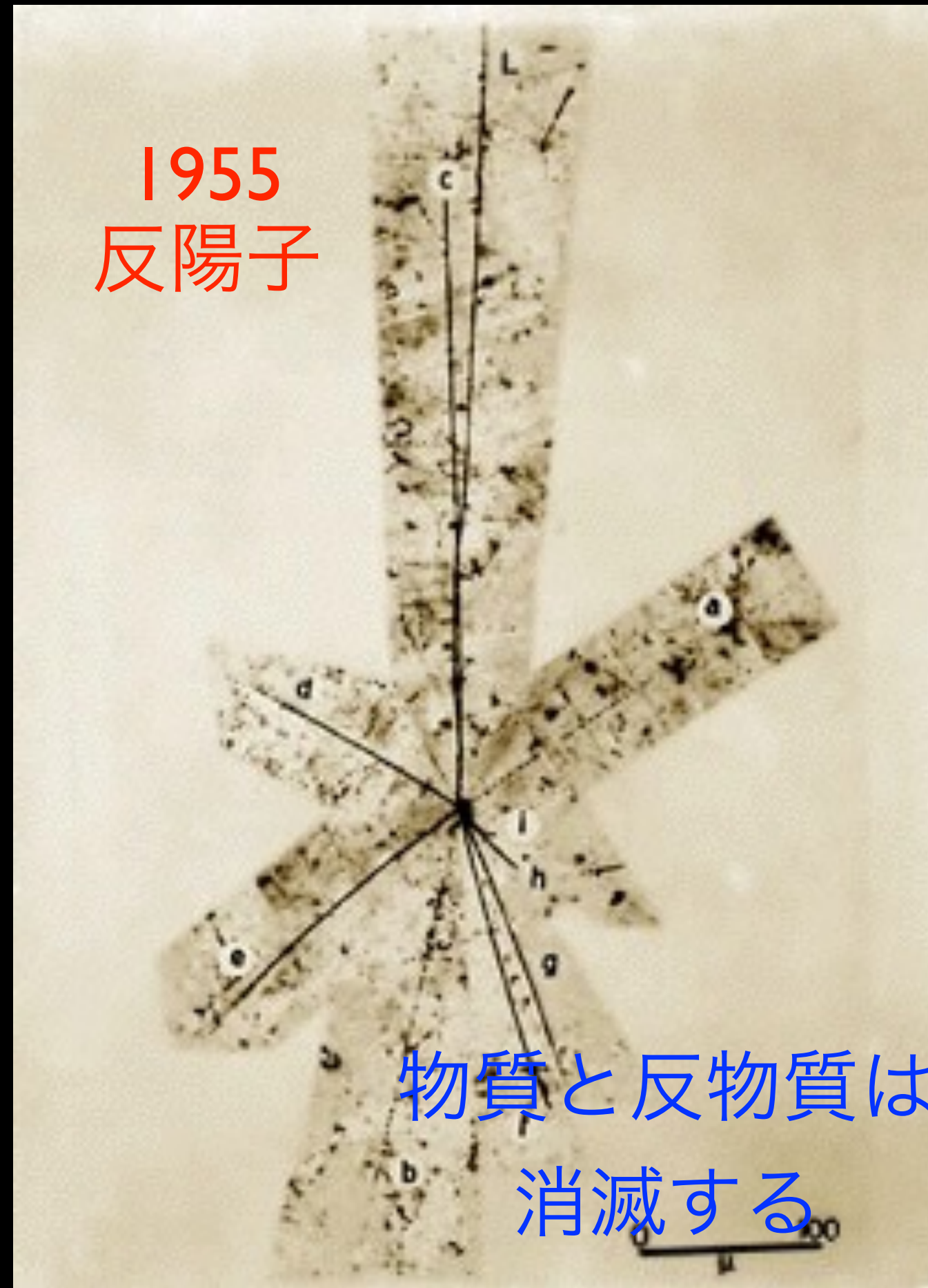


*



*

1955 反陽子



物質と反物質は
消滅する

*

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

映画『スタートレックV 新たなる未知へ
(*Star Trek V: The Final Frontier*)』（ウィリアム・
シャトナー監督、1989年）のポスター

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

宇宙船エンタープライズ号（NCC-1701-A）の画像

著作権の都合上
ここに挿入されていた画像を
削除しました

Bill Steigerwald, "New and Improved Antimatter Spaceship for
Mars Missions", Beyond Earth, Apr. 14, 2006, NASA, Image of
“A diagram of a rocket powered by a positron reactor”
[http://www.nasa.gov/exploration/home/
antimatter_spaceship.html](http://www.nasa.gov/exploration/home/antimatter_spaceship.html)

$E=mc^2$
ガソリンの3億倍の効率

著作権の都合上
ここに挿入されていた画像を
削除しました

映画『天使と悪魔（*Angels and Demons*）』（2009年）のポスター

著作権の都合上
ここに挿入されていた動画を
削除しました

映画『天使と悪魔 (*Angels and Demons*) 』（2009年）の予告編の一部

"Angels & Demons - In Theaters 5/15/09",
posted by Sony Pictures Entertainment, from Youtube, 0:35-0:42
<https://youtu.be/ekfTP1UQG1o?t=35s>

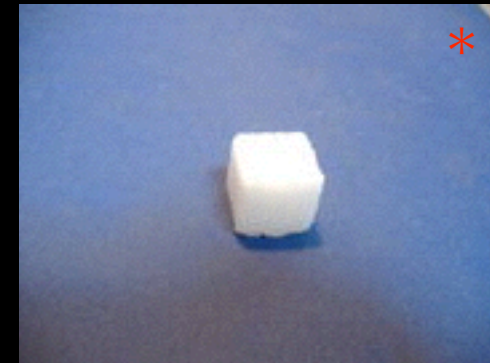
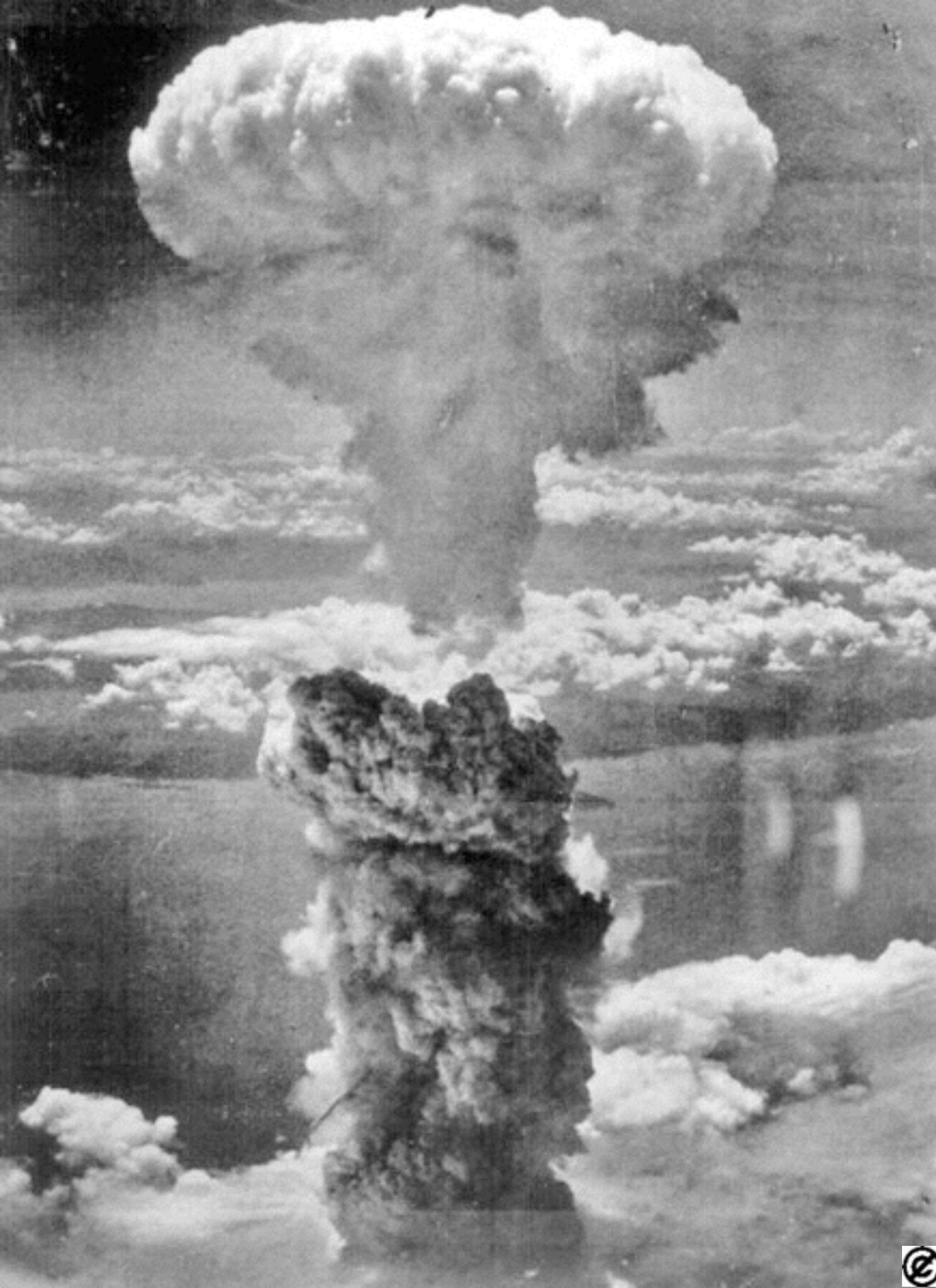


Image by とんちゃん2,
from Wikimedia Commons.
[http://ja.wikipedia.org/wiki/](http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:角砂糖.JPG)
ファイル:角砂糖.JPG

- ヨーロッパ素粒子物理学研究機構CERN
- 一人の科学者が**所長に気付かれずに、0.25gの反物質**を作成
- 悪人の手に渡る

↑
1兆円の1兆倍の
1億倍

Source: The National
Archives and Records
Administration (US)



宇宙の始まり

1,000,000,000

物質

1,000,000,000

反物質

宇宙の今

物質

反物質

宇宙は空っぽに??

宇宙の本当の始まり

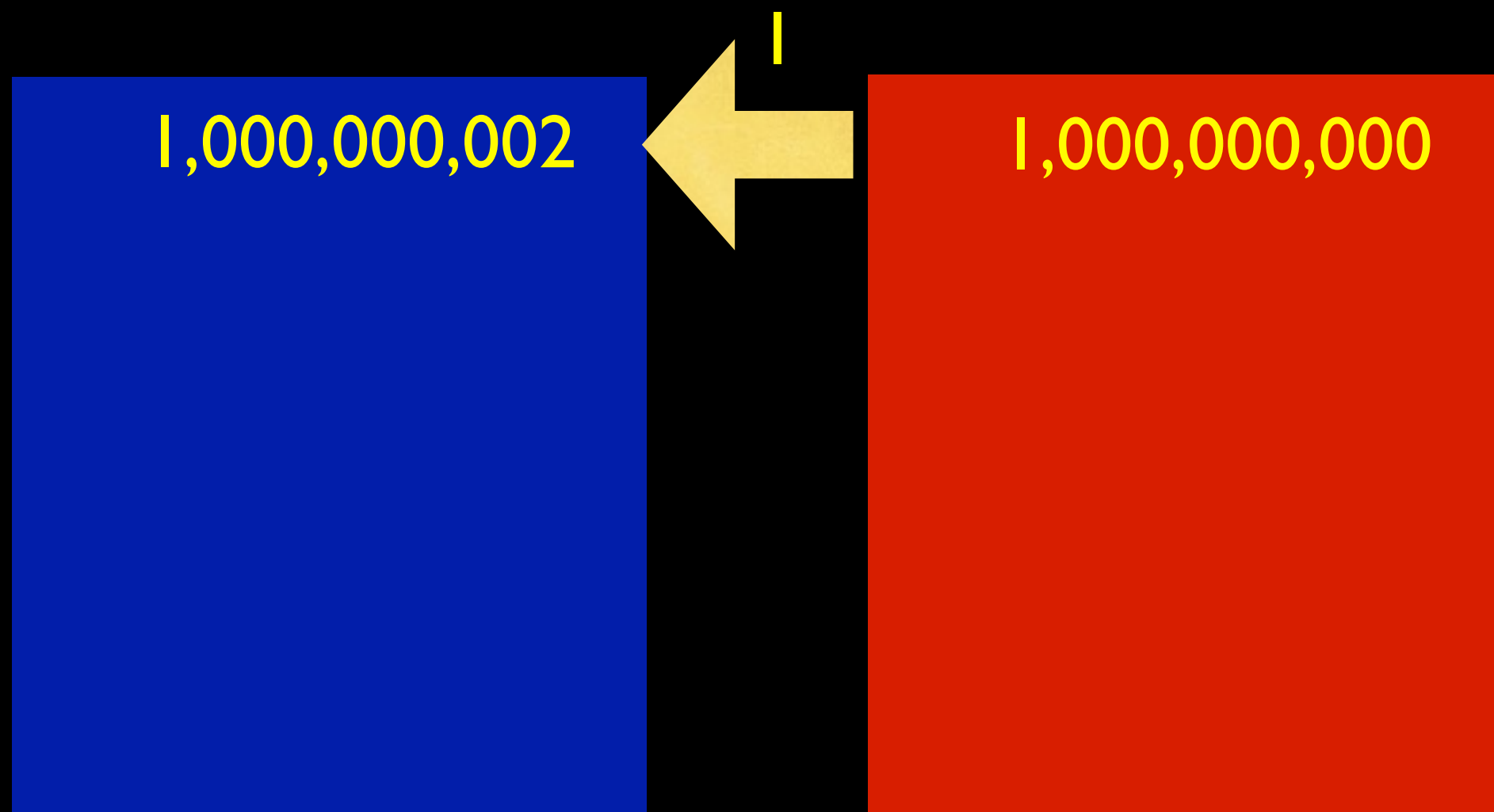
1,000,000,001

物質

1,000,000,001

反物質

宇宙のほんの少し後



物質

反物質

反物質を物質に転換

宇宙の今

2

●
私たち

物質

反物質

これなら生き残れる！

消えた反物質の謎

- 反物質が消えたのは我々物質が消滅させたから
- 十億倍の仲間の犠牲で勝った！
- でもどうして勝てたのか？
- つまり、どうして物質の方が10億分の一だけ多かったのか？

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

白雪姫の継母と魔法の鏡の画像

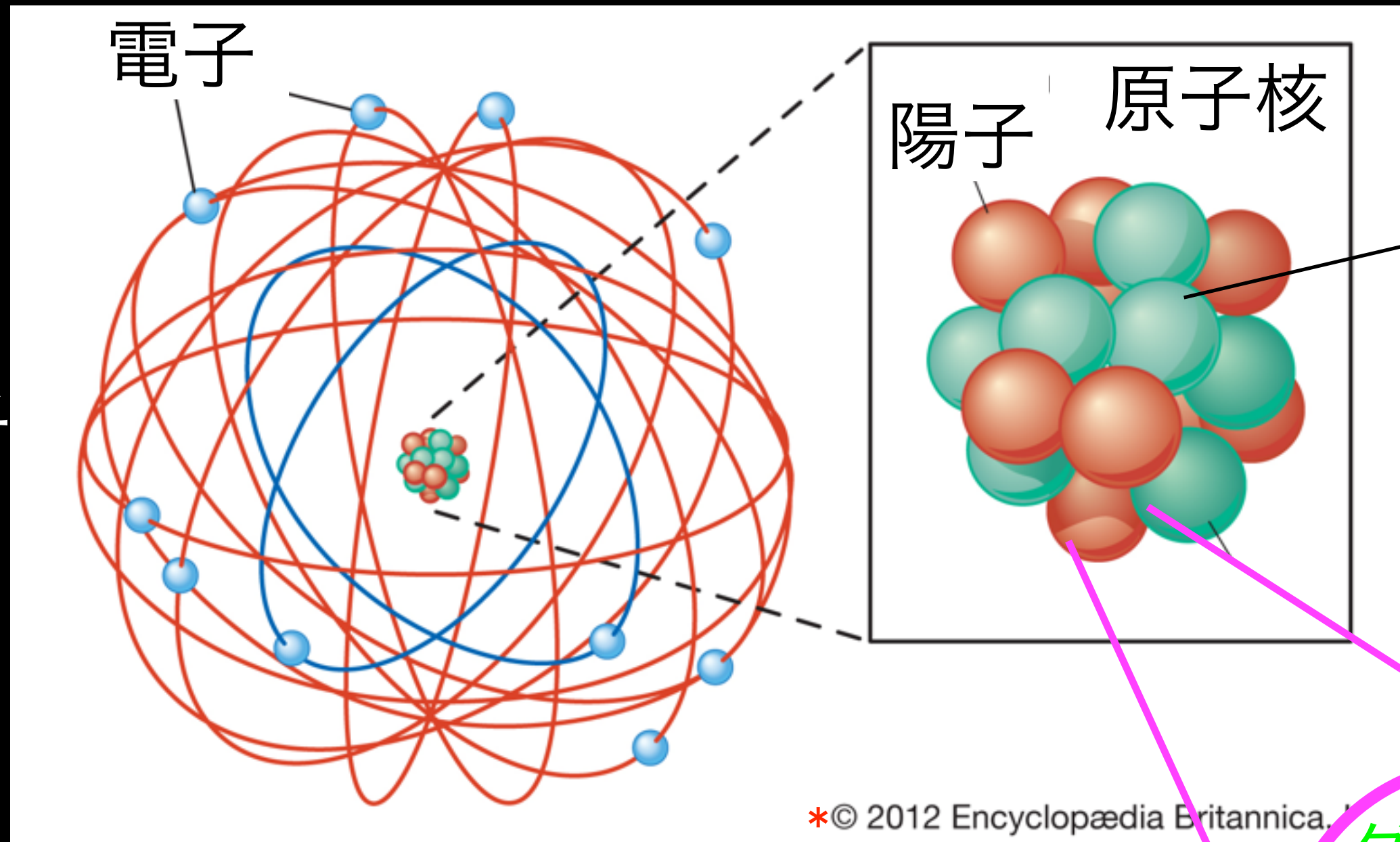
死活問題

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

鏡に映る自分を見るシンデレラ
の画像

- 反物質は物質の鏡の世界？
- だとすると物質が反物質より選ぶ理由がない
- 完全な鏡ではなく、微妙な違いがあるはず
- 「対称性の破れ」
- どうやったらそんな違いができるのか？
- そこで1973年に小林・益川は大胆な仮説

世界を作る素粒子



中性子

クォーク

ダウン

アップ

アップ

ダウン

電子

ミュー

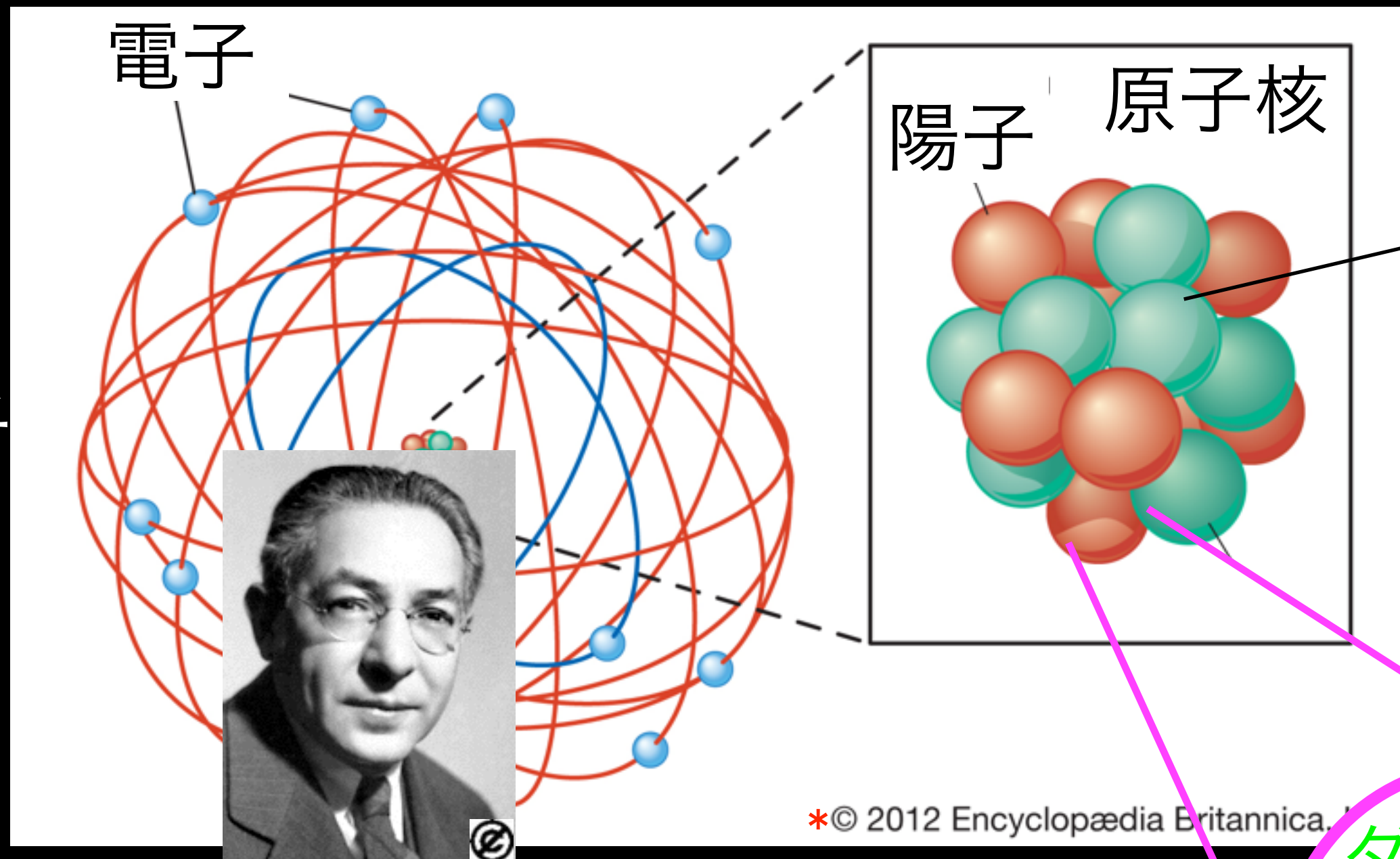
原子

電子

陽子

原子核

世界を作る素粒子



電子

陽子

原子核

中性子

クォーク

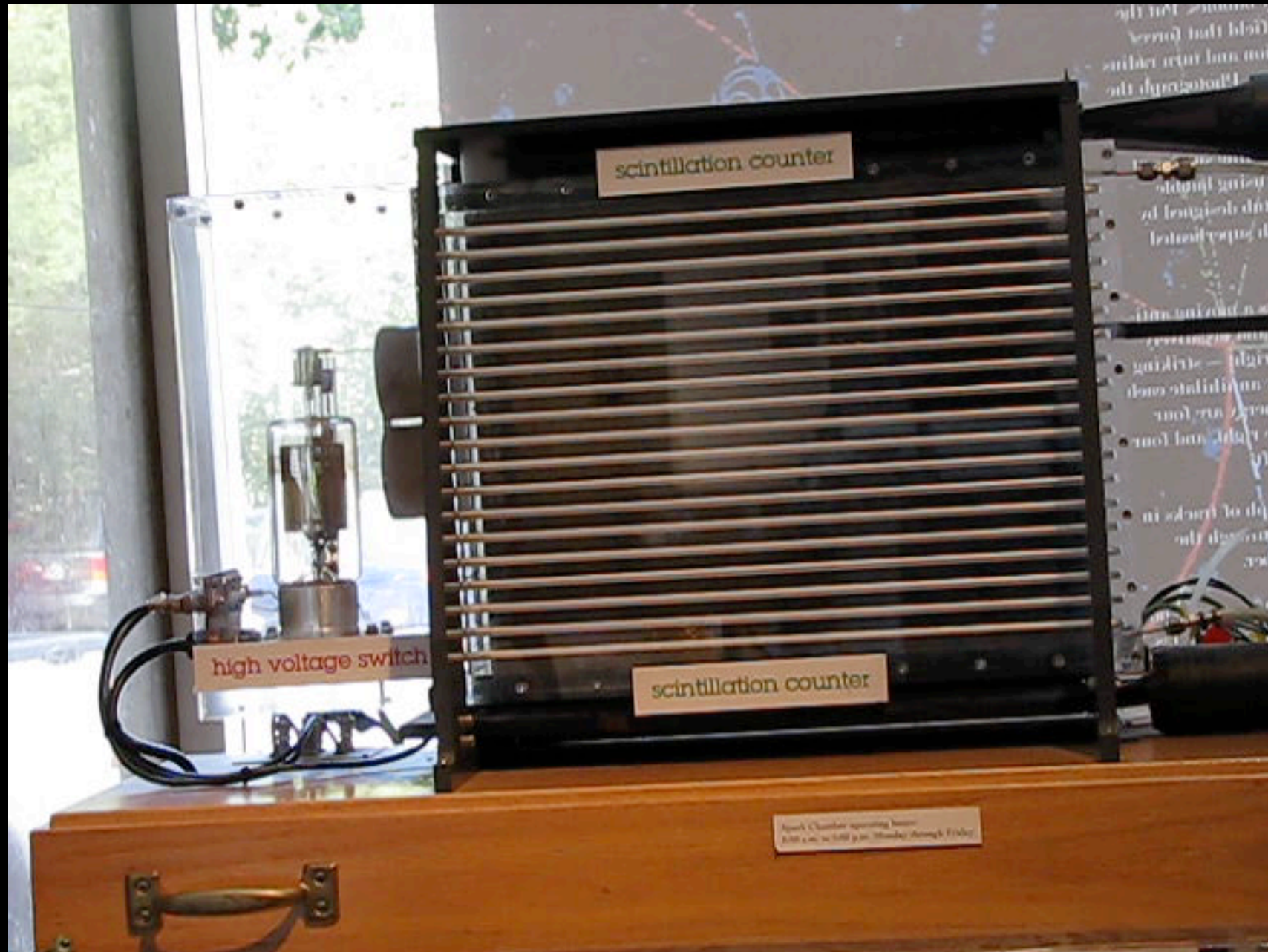
ダウン

アップ

アップ

ミュー● 一体誰が
注文したんだ？
電子● I.I. Rabi ダウン

ミュー粒子



*
Courtesy
Lawrence Berkeley
National Laboratory

ミュー粒子は宇宙からふって来る
一秒に約千個体を通り抜ける

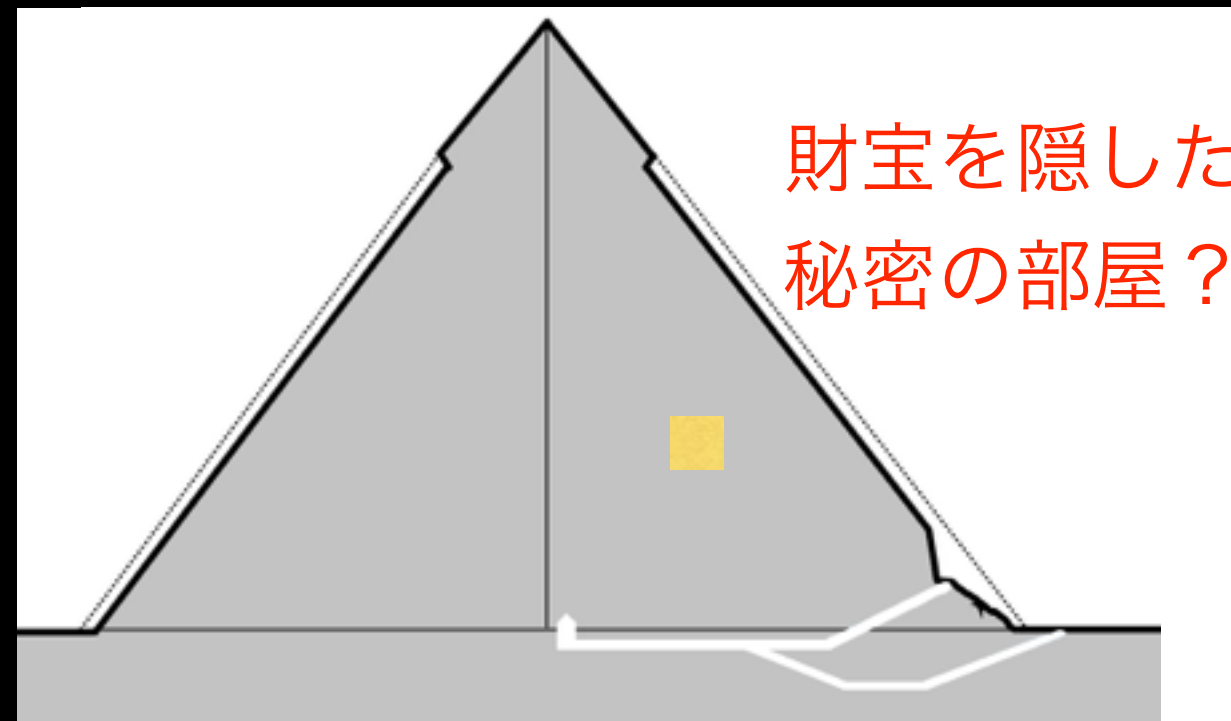
Science 167(3919): 832-839

Search for Hidden Chambers in the Pyramids

The structure of the Second Pyramid of Giza is determined by
cosmic-ray absorption

Luis W. Alvarez, Jared A. Anderson, F. El Bedwei, James Burkhard,
Ahmed Fakhry, Adib Girgis, Amr Goneid, Fikhry Hassan, Dennis
Iverson, Gerald Lynch, Zenab Miligy, Ali Hilmy Moussa,
Mohammed-Sharkawi, Lauren Yazolino

Image by Ricardo Liberato, from Wikimedia Commons [CC BY-SA 2.0](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:All_Gizah_Pyramids.jpg)
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:All_Gizah_Pyramids.jpg

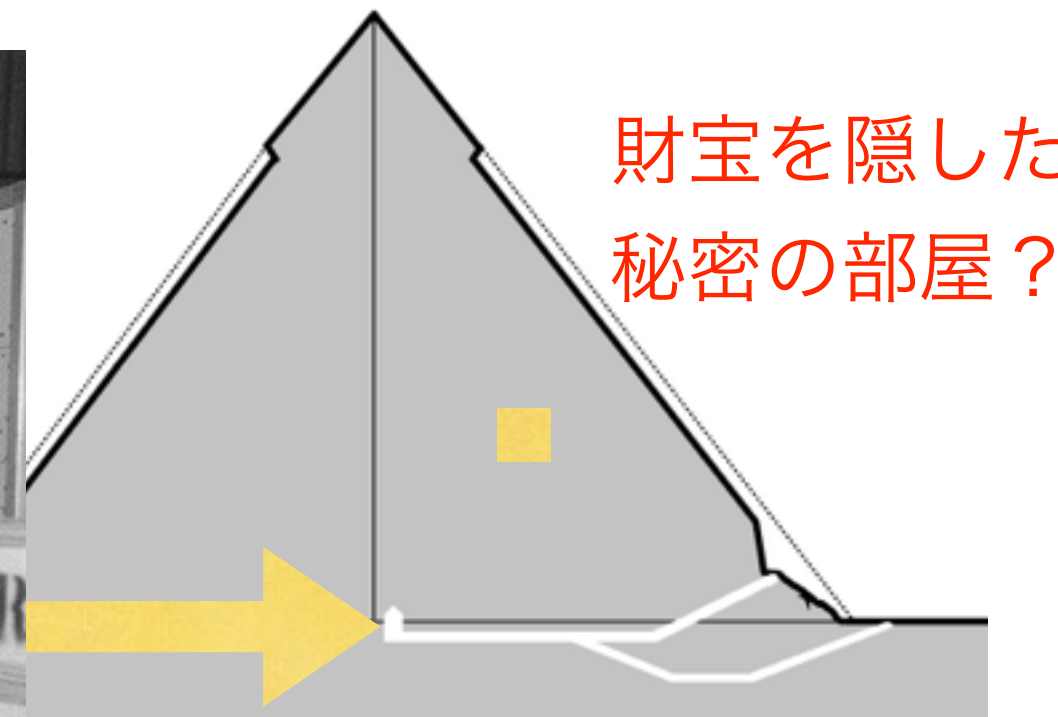


Science 167(3919): 832-839

Search for Hidden Chambers in the Pyramids

The structure of the Second Pyramid of Giza is determined by
cosmic-ray absorption

Luis W. Alvarez, Jared A. Anderson, F. El Bedwei, James Burkhard,
Ahmed Fakhry, Adib Girgis, Amr Goneid, Fikhry Hassan, Dennis
Iverson, Gerald Lynch, Zenab Miligy, Ali Hilmy Moussa,
Mohammed-Sharkawi, Lauren Yazolino



財宝を隠した
秘密の部屋？

秘密の部屋は
なかった

Luis Walter Alvarez



* © The Nobel Foundation

著作権の都合上
ここに挿入されていた画像を
削除しました

『インディ・ジョーンズ／クリスタル・
スカルの王国 (*Indiana Jones and the
Kingdom of the Crystal Skull*) 』
(2008年) のポスター



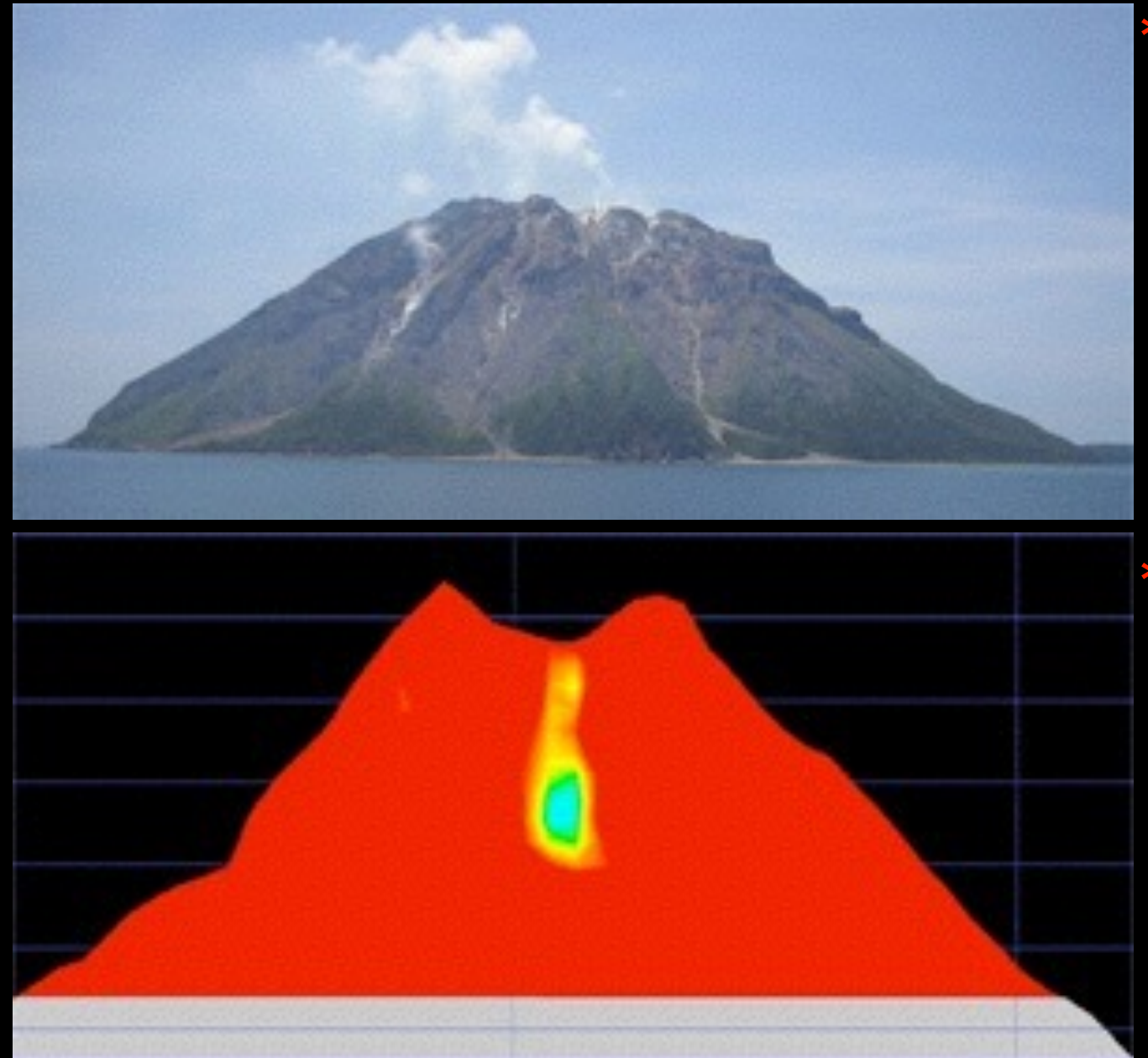
Image by J.T. Bauer,
© Queensland
Museum
CC BY-NC-ND 3.0
[http://
www.qm.qld.gov.au/
microsites/dino/02-
dinosaur-extinction-
theories/asteroid-
impact.html](http://www.qm.qld.gov.au/microsites/dino/02-dinosaur-extinction-theories/asteroid-impact.html)



Credit: Lawrence Berkeley National Laboratory CC BY-NC-ND 2.0
<https://www.flickr.com/photos/berkeleylab/2826392036/>

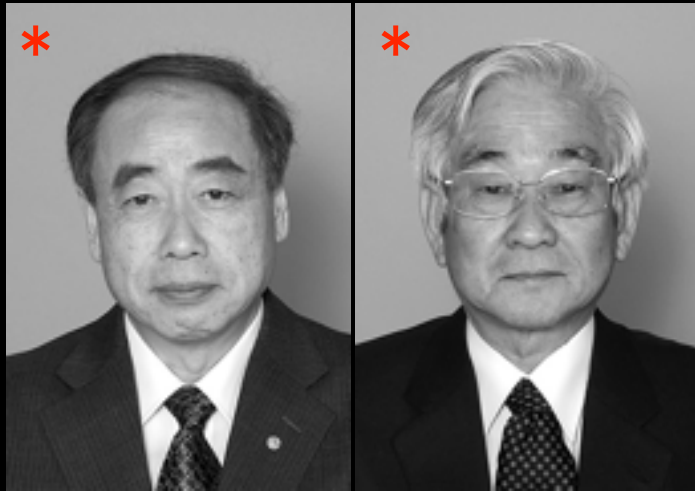
火山を透視

- ミューオンを使って火山を透視
- 東大グループが薩摩硫黄島で実証
- 噴火を予測



世界を作る素粒子

© The Nobel Foundation, Photo: U. Montan



みんな三つずつ
あるはず

ミュー●

ストレンジ●

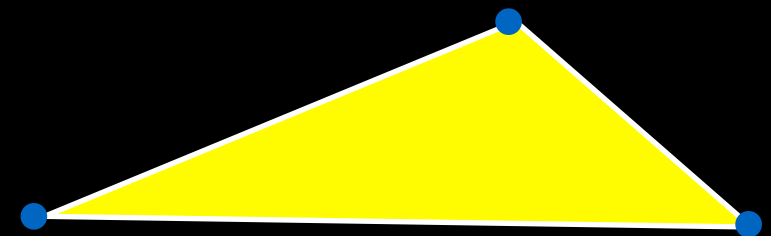
●
電子

●
ダウン

●
アップ

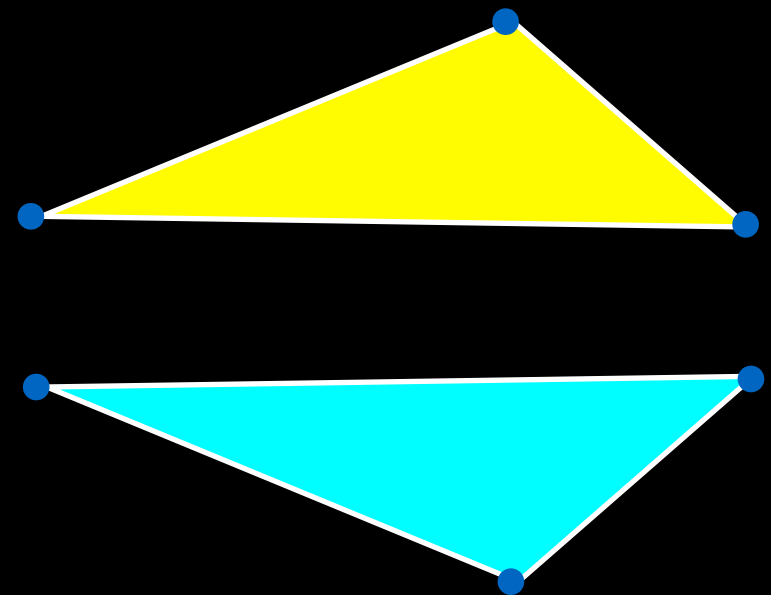
なぜ三つ？

- 二つと三つ以上は違う
- 点を直線でつなげる
- 三つ以上だと図形になる



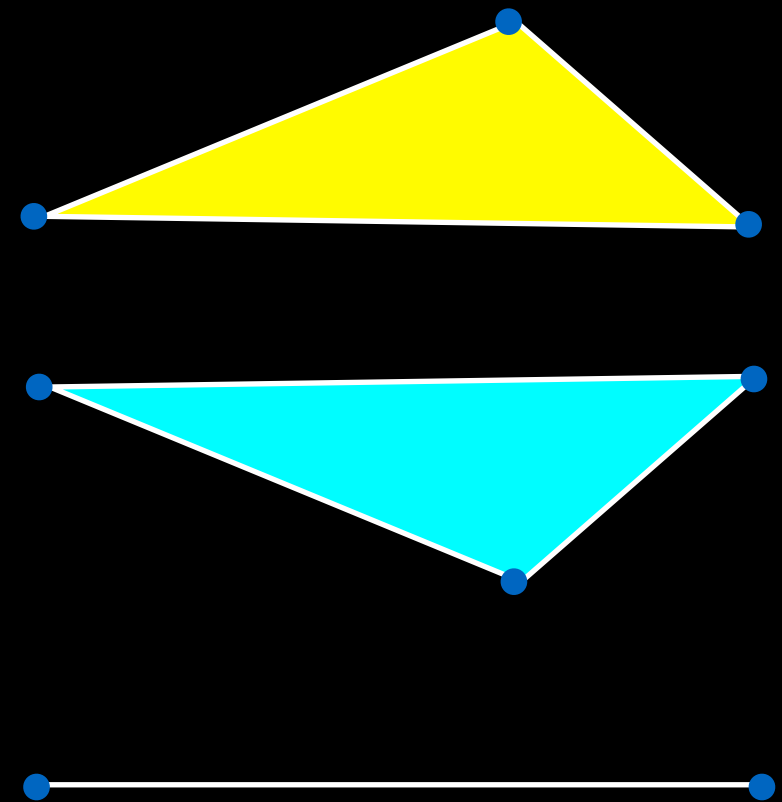
なぜ三つ？

- 二つと三つ以上は違う
- 点を直線でつなげる
- 三つ以上だと図形になる
- 物質と反物質は鏡
- 三つ以上だと違いが出せる！



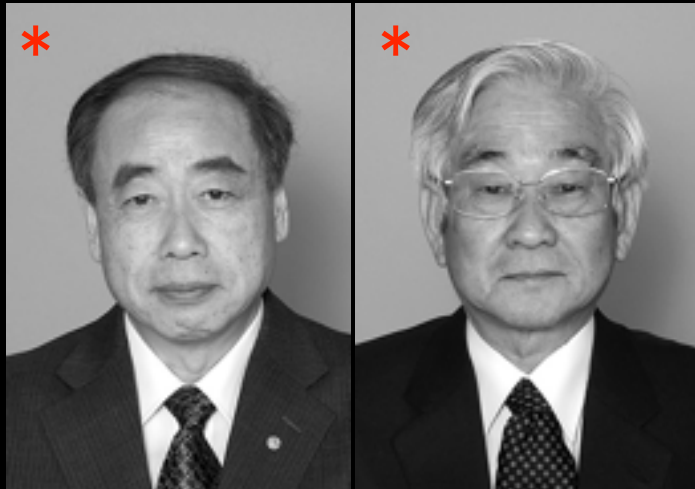
なぜ三つ？

- 二つと三つ以上は違う
- 点を直線でつなげる
- 三つ以上だと図形になる
- 物質と反物質は鏡
- 三つ以上だと違いが出せる！
- 二つではつぶれてしまう



世界を作る素粒子

© The Nobel Foundation, Photo: U. Montan



みんな三つずつ
あるはず

タウ

1975

ボトム

1978

ミュー

ストレンジ

チャーム

1974

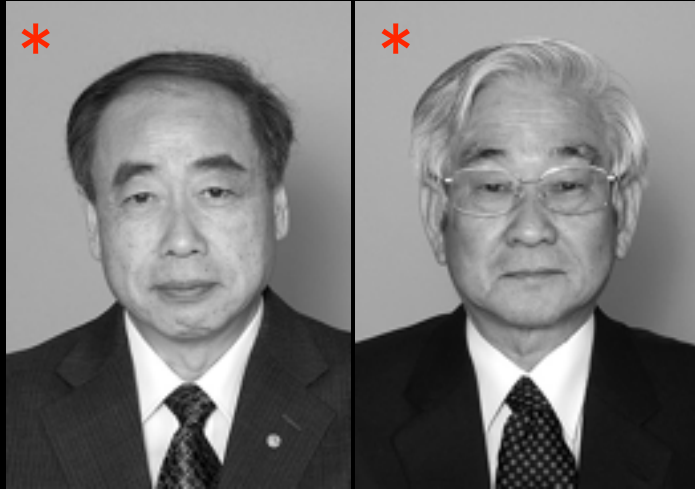
電子

ダウン

アップ

世界を作す

© The Nobel Foundation, Photo: U. Montan



トップ

1995

みんな三つずつ
あるはず

タウ

1975

ボトム

1978

ミュー●

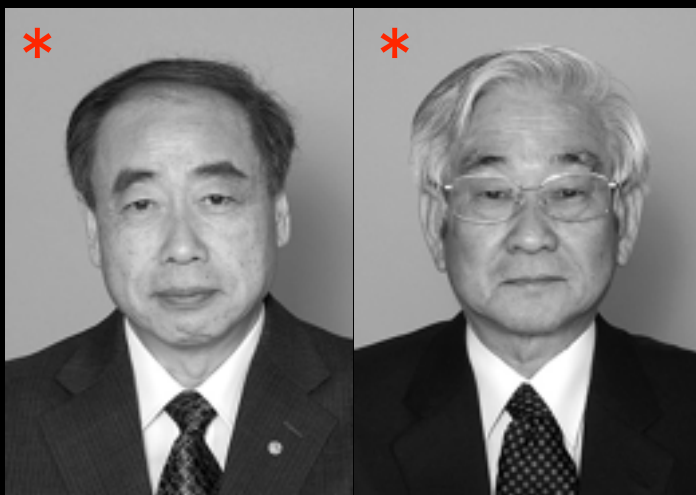
ストレンジ●

チャーム● 1974

●
電子

●
ダウン

●
アップ



© The Nobel Foundation, Photo: U. Montan

2008年ノーベル物理学賞

ノーベル委員会

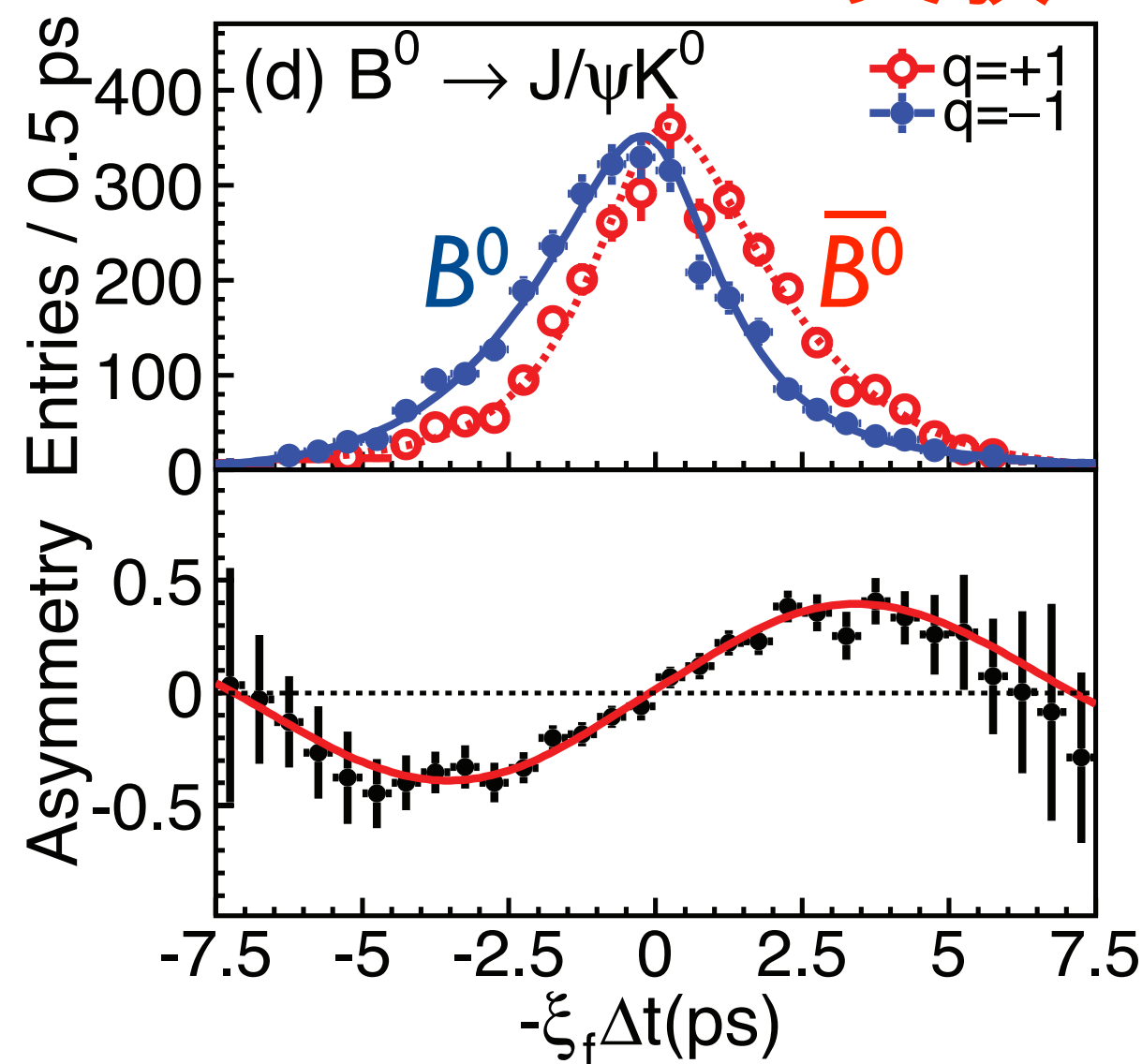


* © ® The Nobel Foundation

- ちゃんと予言通り三つずつ見つかった
- それだけではだめ！
- 小林・益川理論の目的は物質と反物質の違い
- まだ検証されていない！
- 筑波とスタンフォードで実験 (2002)
- 小林・益川の予言を確認

*

ベル実験

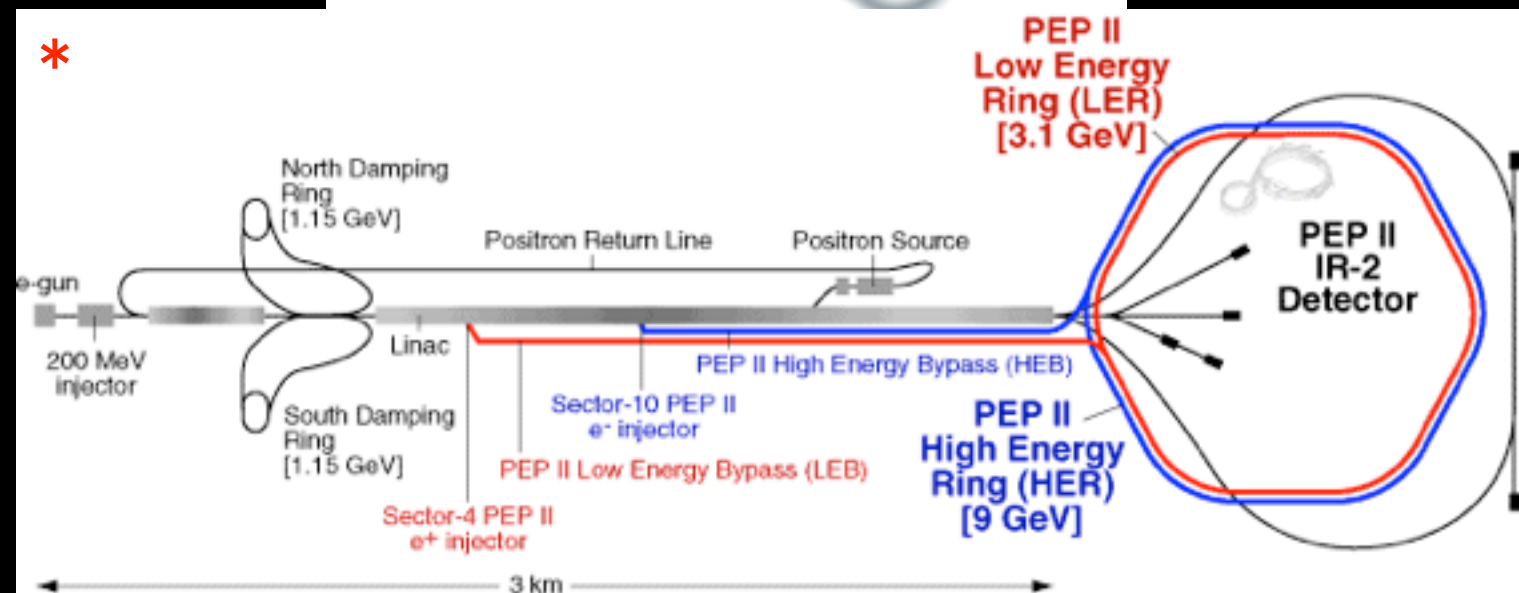
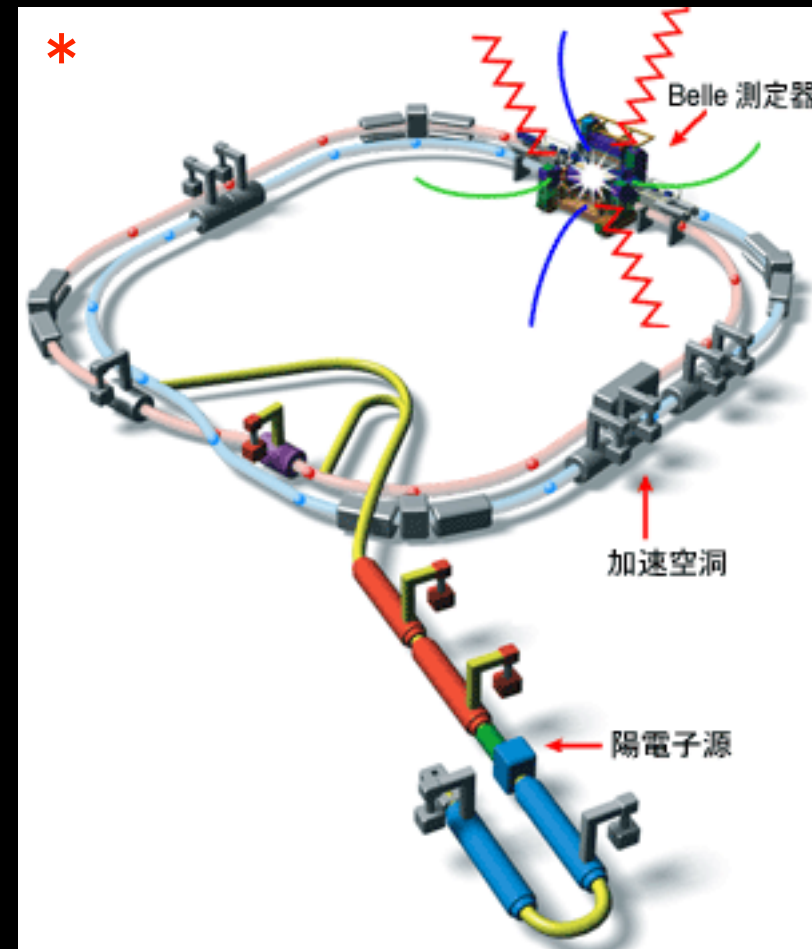


Credit: Belle実験グループ

二大実験

- 米スタンフォードと高エネルギー加速器研究機構で実験
- しのぎを削る競争
- 数万トンの超ハイテク
- 3キロにわたってミクロンの精度
- 7ナノ秒ごとに光速でビームを衝突

Credit: KEK



Credit: SLAC
National
Accelerator
Laboratory

筑波の名産は反物質
生産量世界一：百兆個

実験

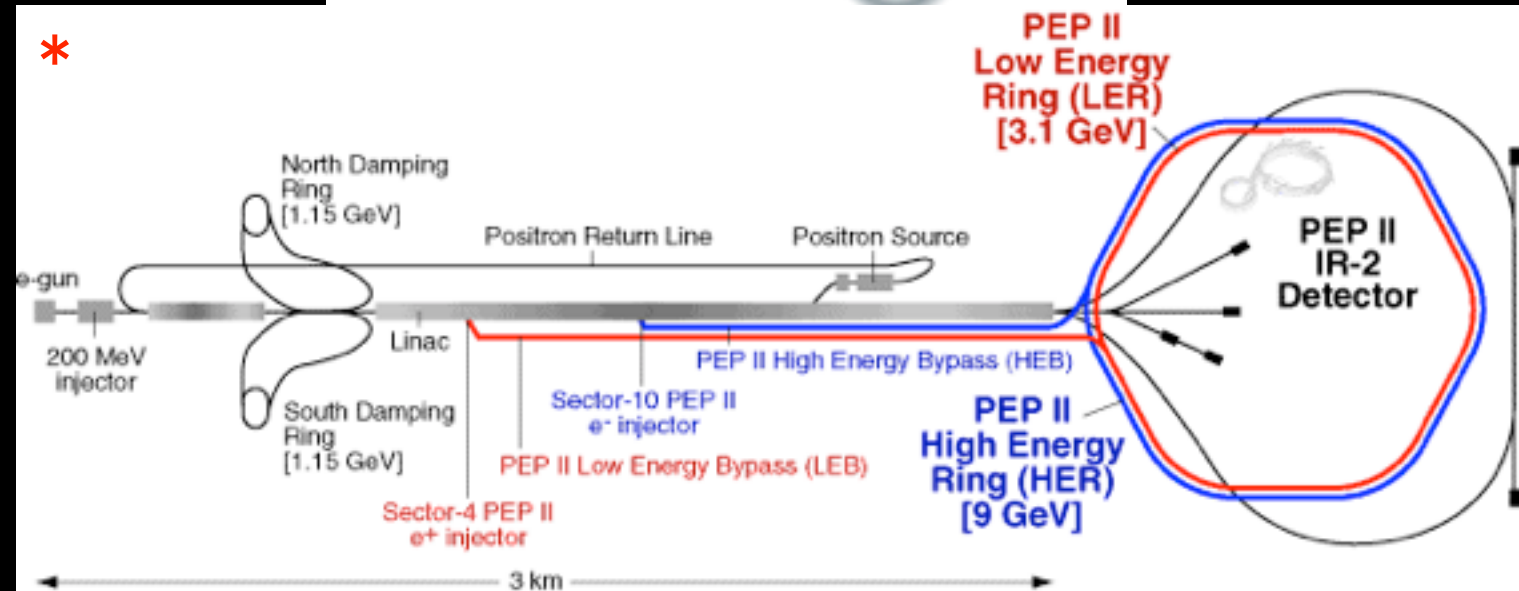
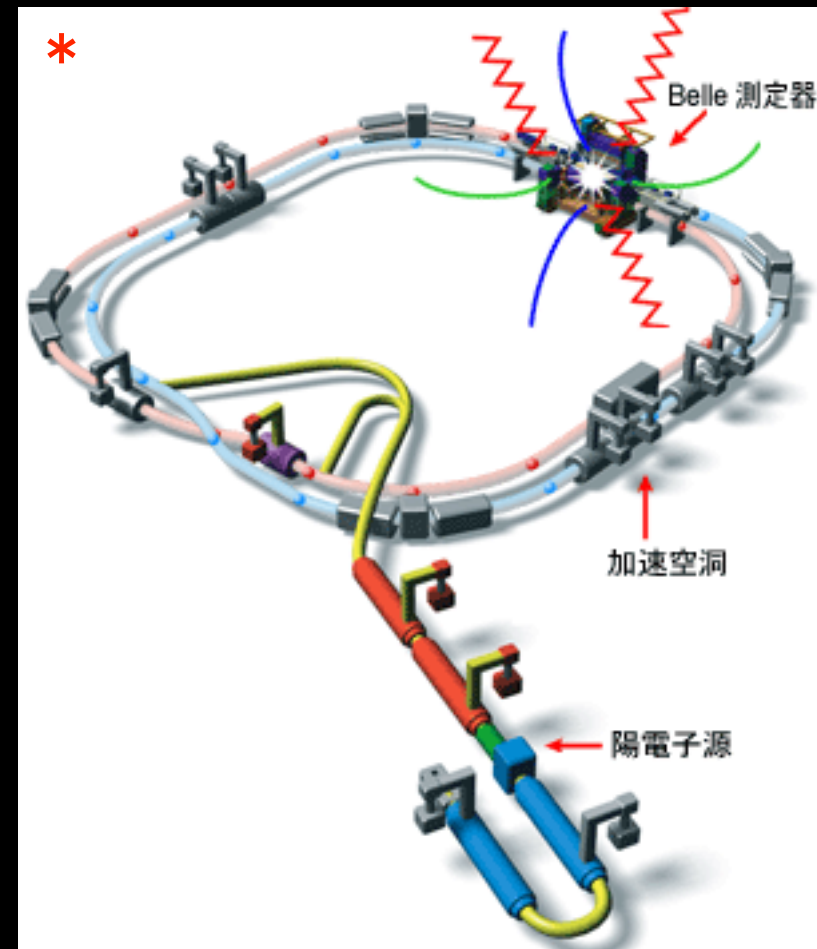


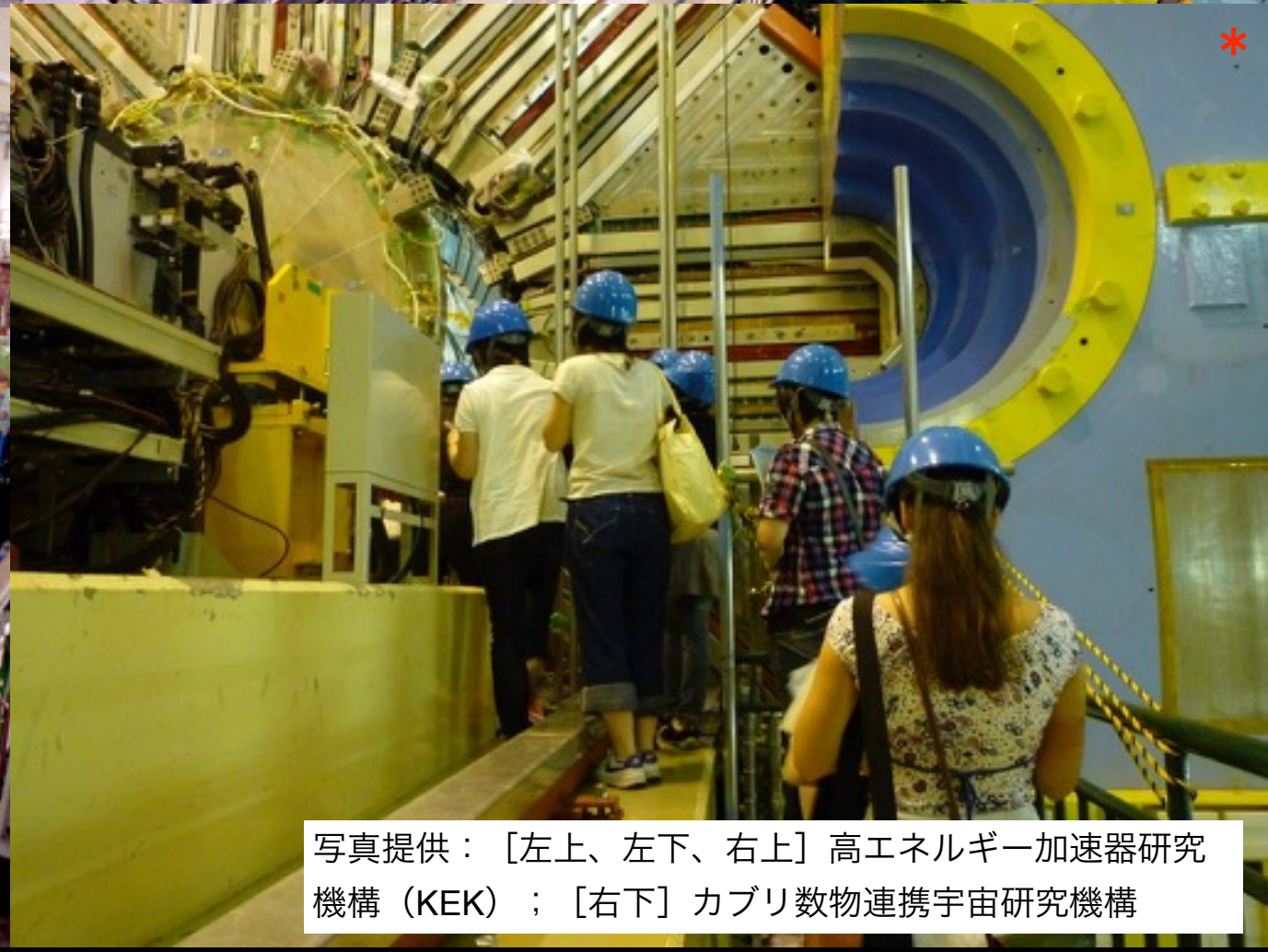
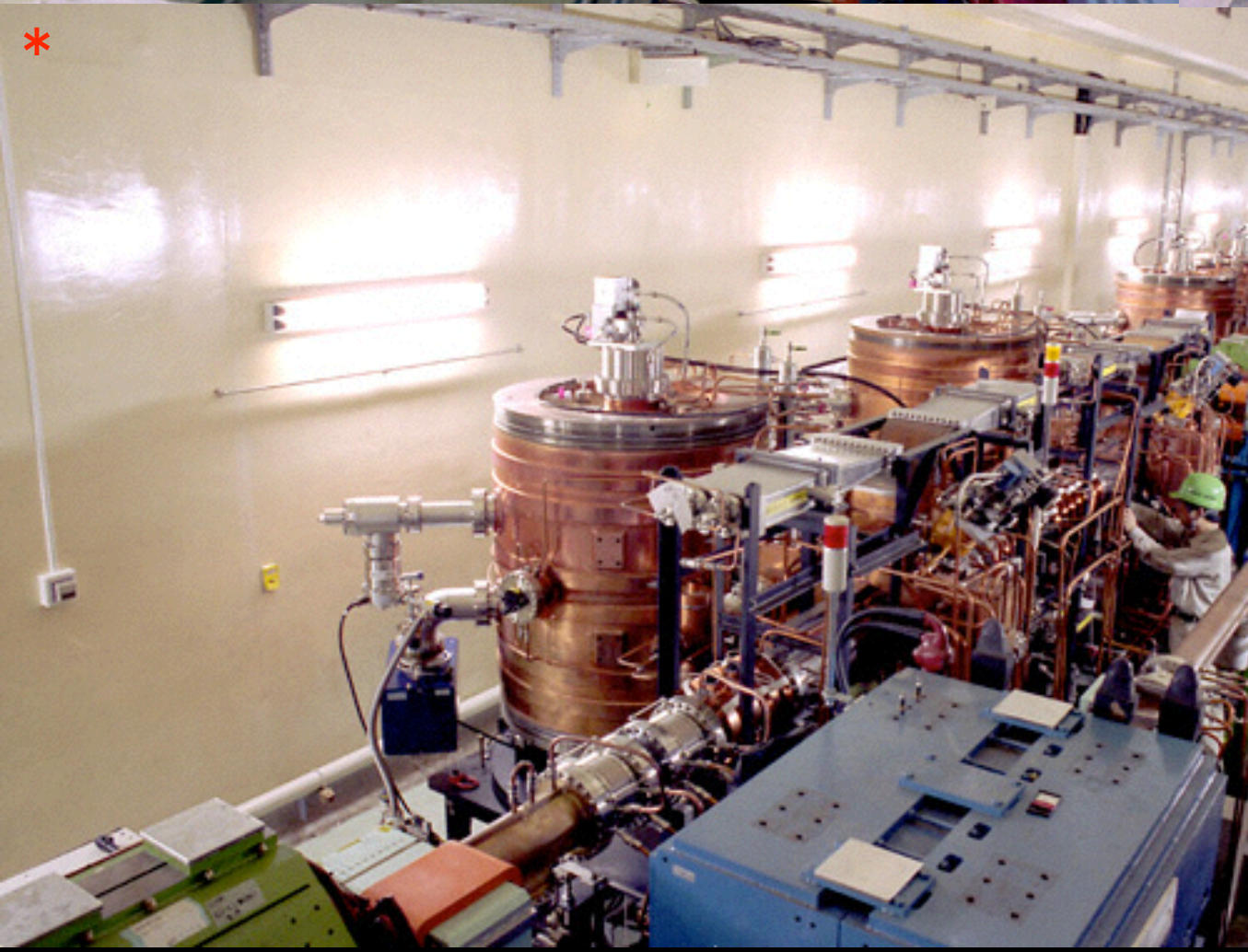
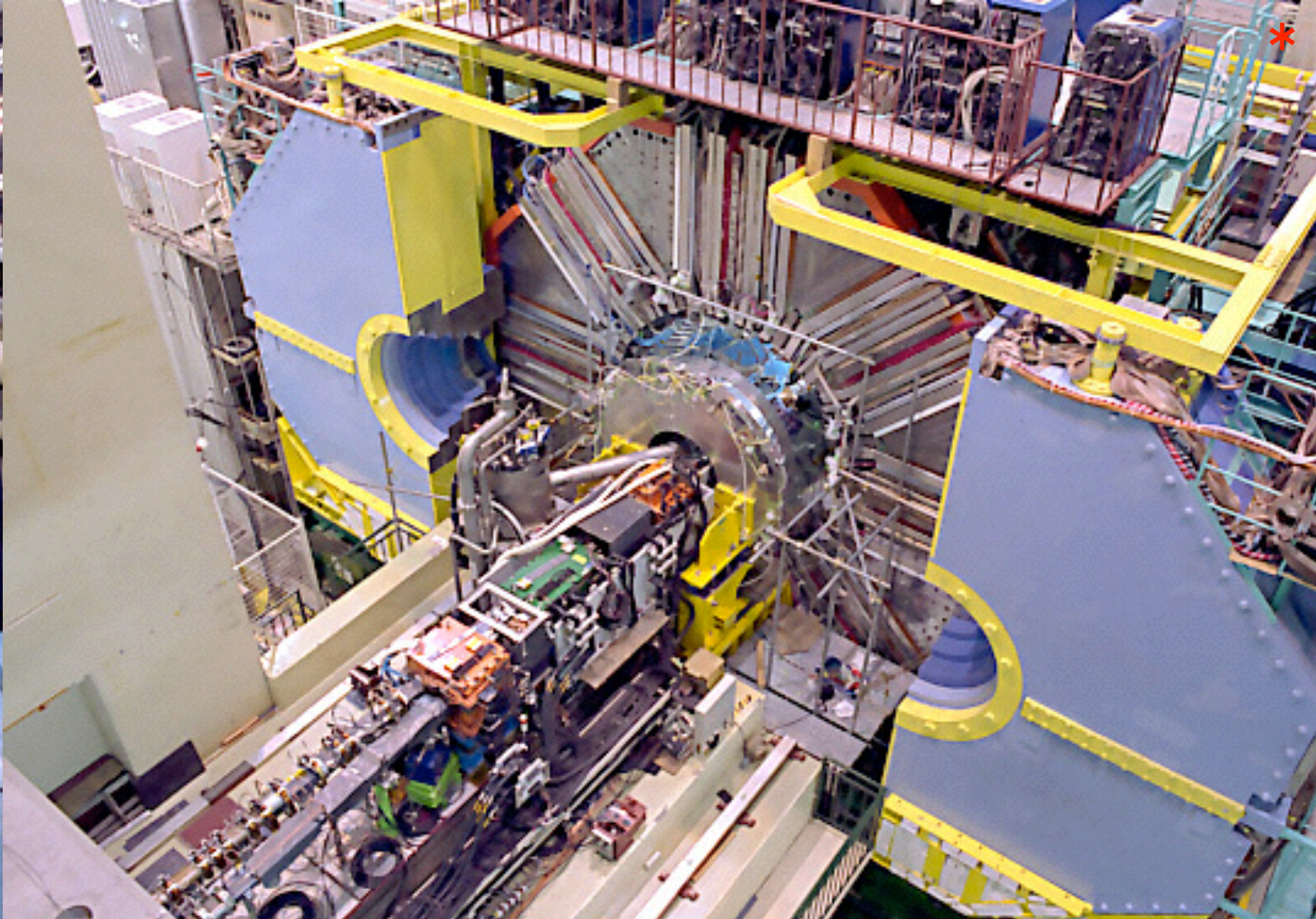
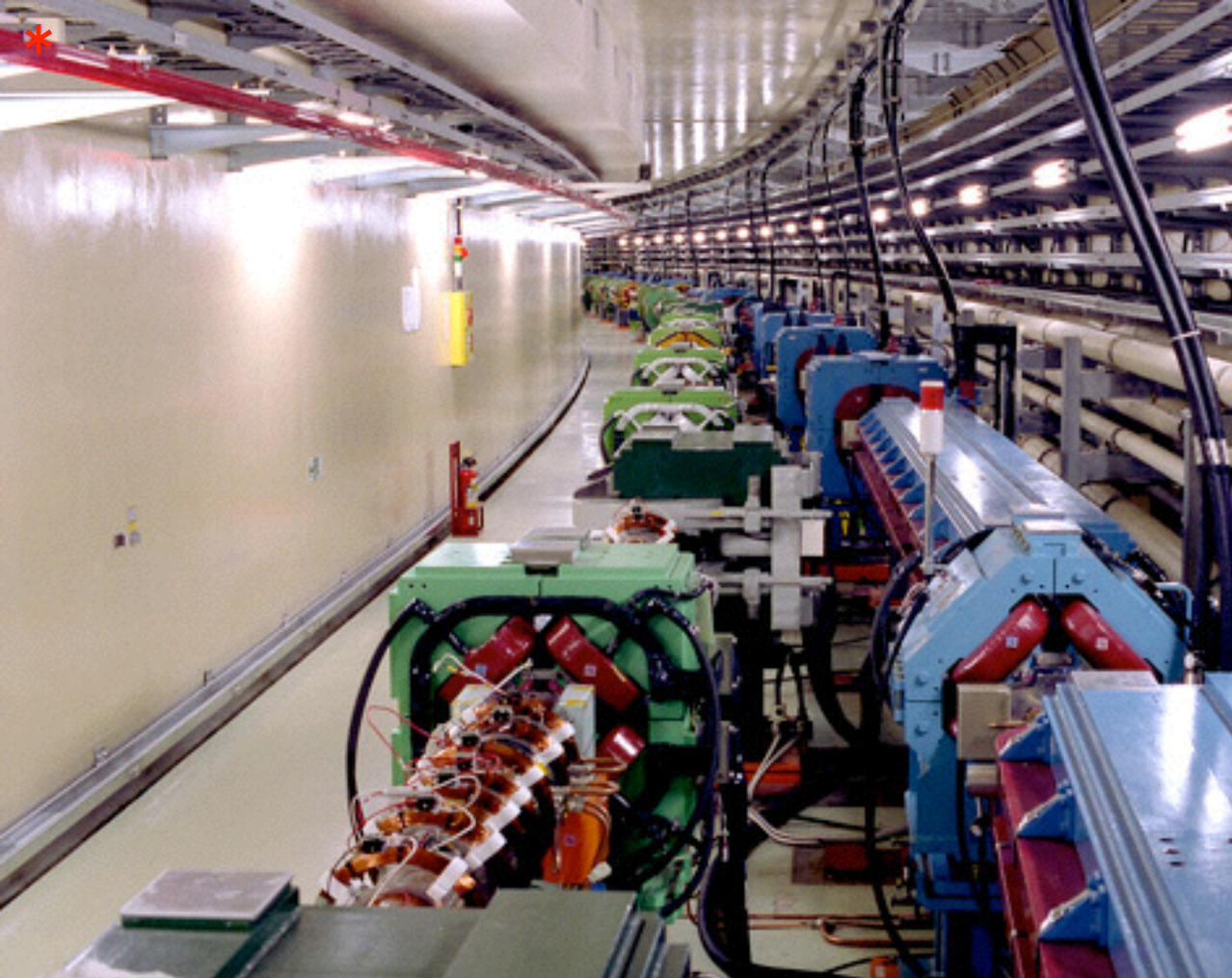
Image by katorisi, from Wikimedia Commons CC BY-SA 3.0
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gamanoabura-koujiyo,Tsukuba-city,Japan.JPG>

- しのぎを削る競争
- 数万トンの超ハイテク
- 3キロにわたってミクロンの精度
- 7ナノ秒ごとに光速でビームを衝突

Credit: SLAC
National
Accelerator
Laboratory

Credit: KEK





写真提供：[左上、左下、右上] 高エネルギー加速器研究機構（KEK）；[右下] カブリ数物連携宇宙研究機構

立花隆 『小林・益川理論の証明：
陰の主役 B ファクトリーの腕力』

朝日新聞出版、2009年

[http://publications.asahi.com/ecs/
detail/?item_id=10089](http://publications.asahi.com/ecs/detail/?item_id=10089)

著作権の都合上

ここに挿入されていた画像を
削除しました

立花隆氏の肖像写真

加速器実験は現代の戦艦大和だ

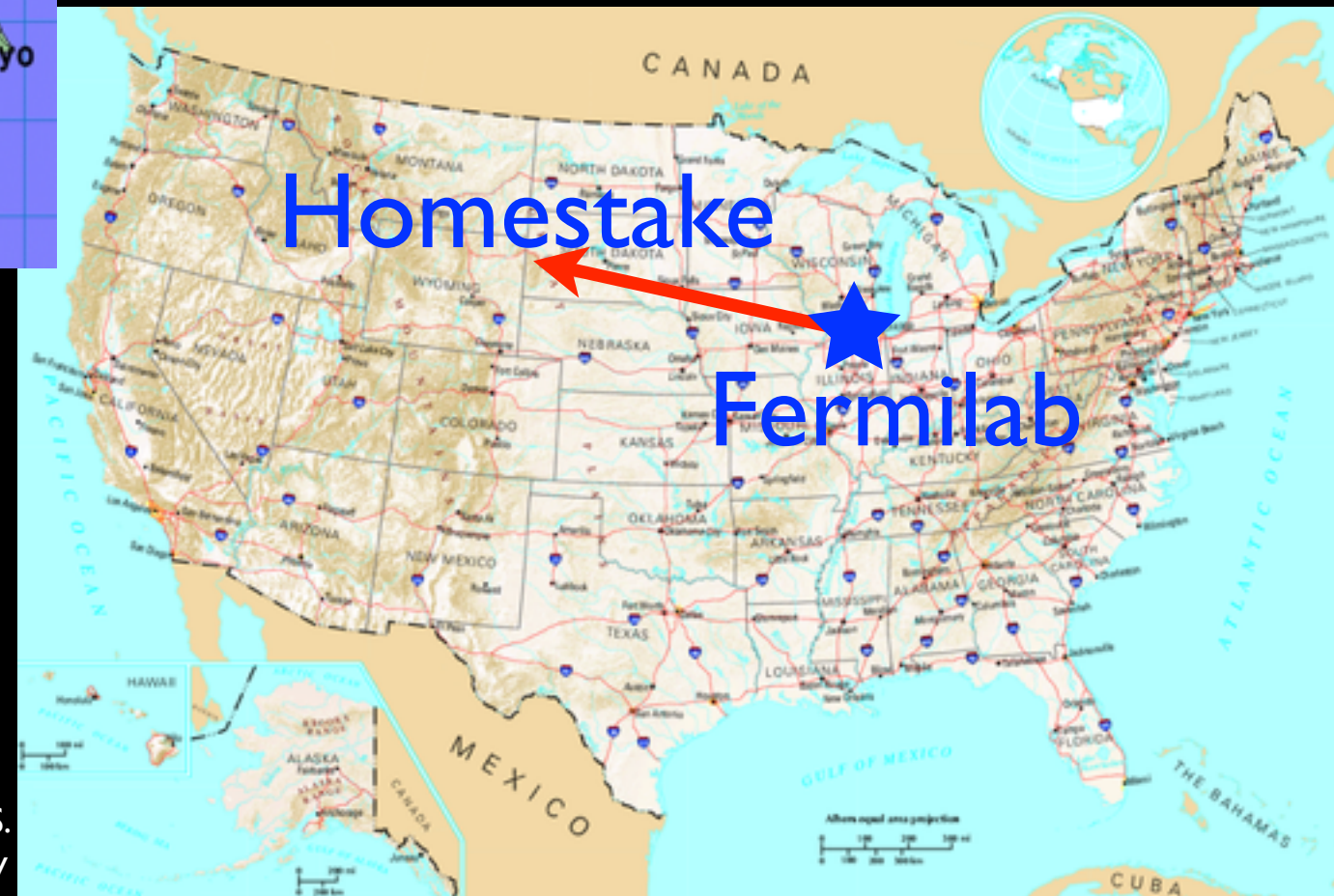
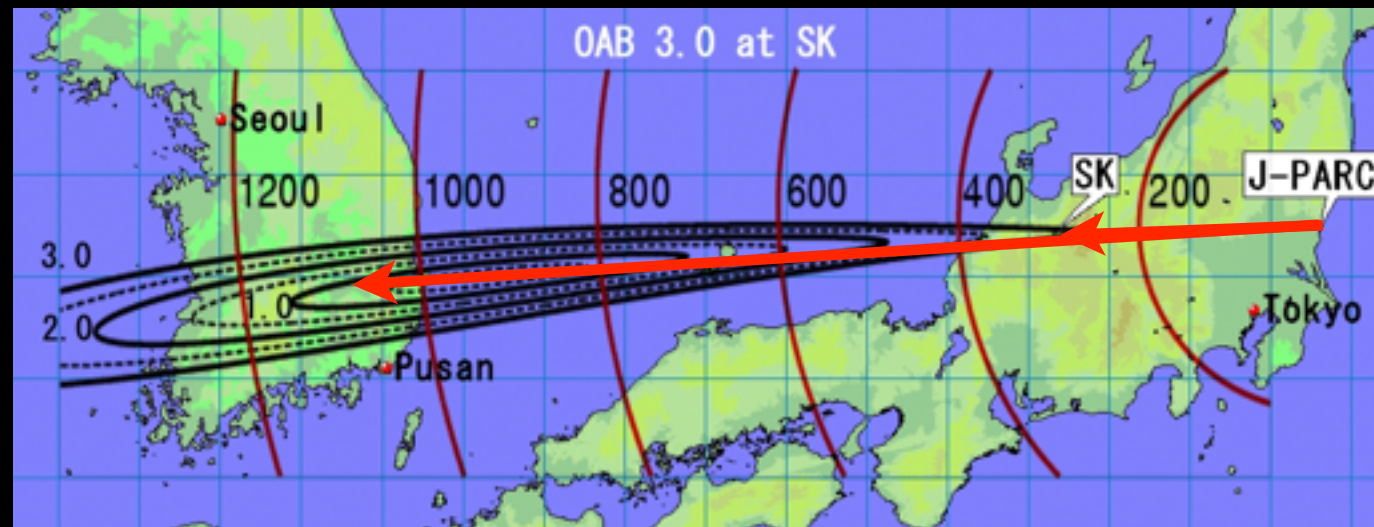
父なるニュートリノ

- ニュートリノは電荷がない唯一の物質粒子
- ニュートリノと反ニュートリノが入れ替わって物質を護った？

福来正孝
柳田勉

ニュートリノが鍵？

ニュートリノを長距離
射ってみよう

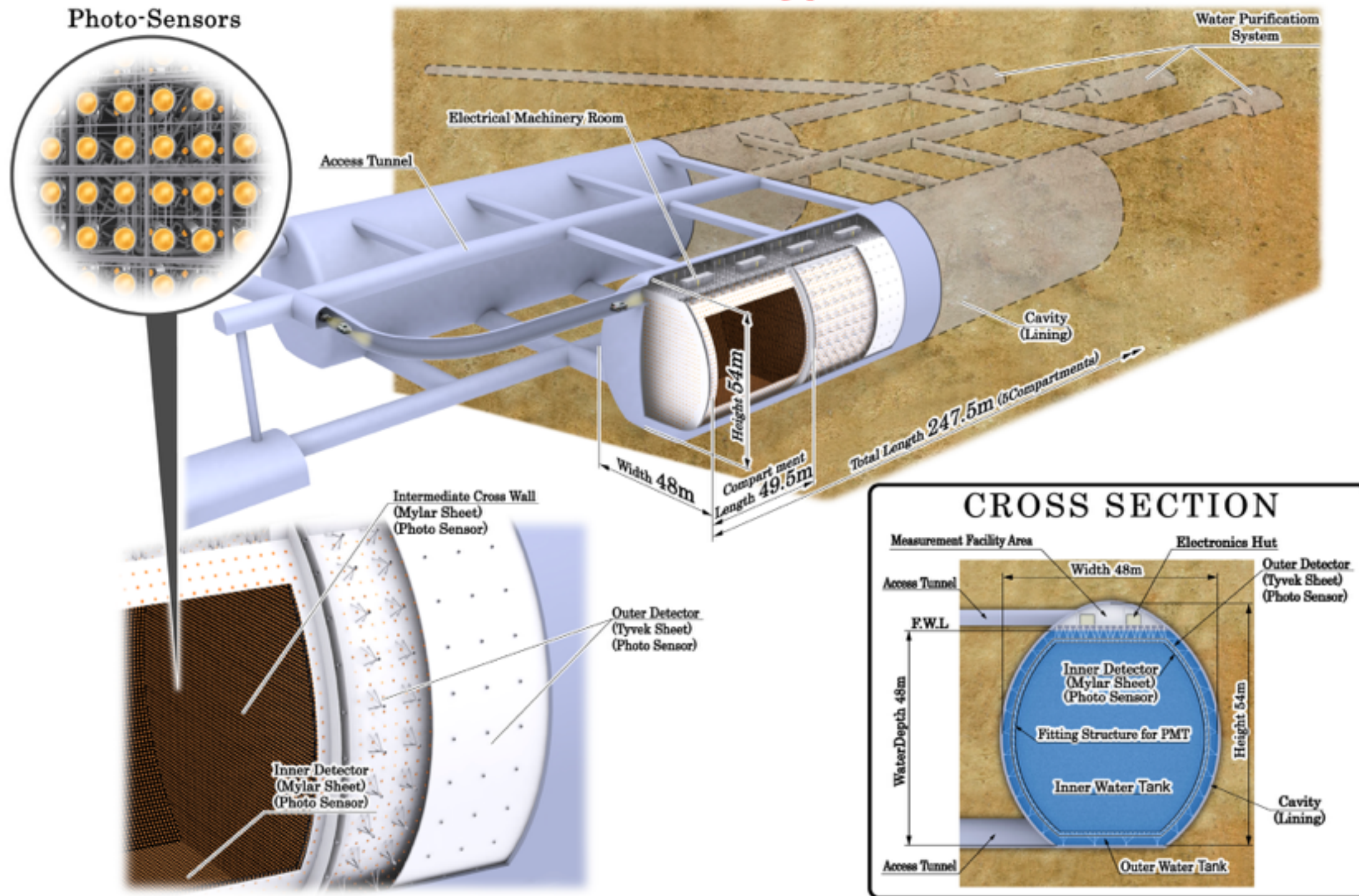


* Reprinted figure with permission from Hagiwara et al., Physical Review D, vol.76, 093002, 2007. Copyright 2007 by the American Physical Society. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.76.093002>

*
Image by U.S.
Geological Survey

ニュートリノと反ニュートリノ
の移り変わりに違いがあるか？

Schematic View of the Hyper-Kamiokande



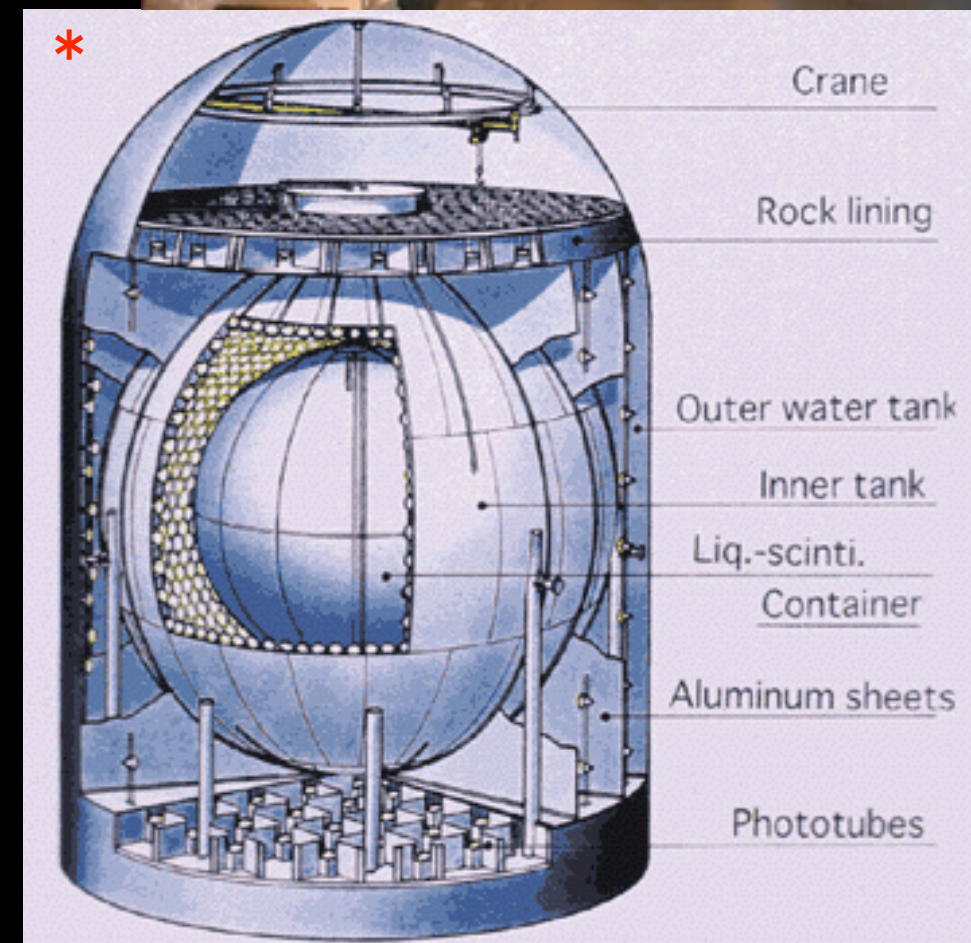
* 画像提供：東京大学
宇宙線研究所 神岡
宇宙素粒子研究施設

* 画像提供 ハイパーカミオカンデ研究グループ

ニュートリノ

- なんとかして反物質を少しだけ物質に換えたい
- ニュートリノは電気を帯びていない
- 反ニュートリノもそう
- もしかするとニュートリノは反ニュートリノに変わる？

Alexandre Kozlov



宇宙の本当の始まり

1,000,000,001

物質

1,000,000,001

反物質

宇宙のほんの少し後

ニュートリノ

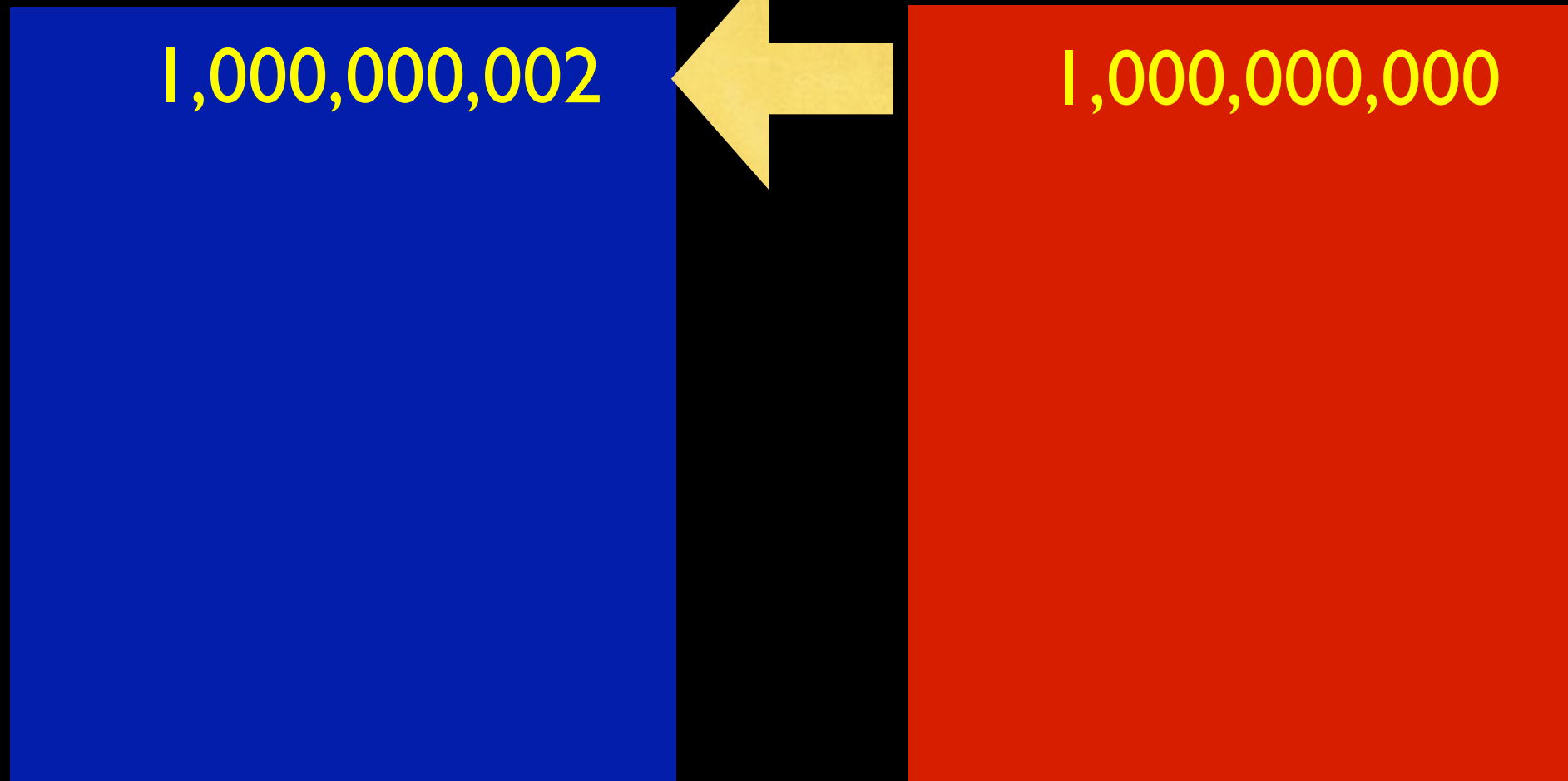
1,000,000,002

1,000,000,000

物質

反物質

反物質を物質に転換



宇宙の今

2

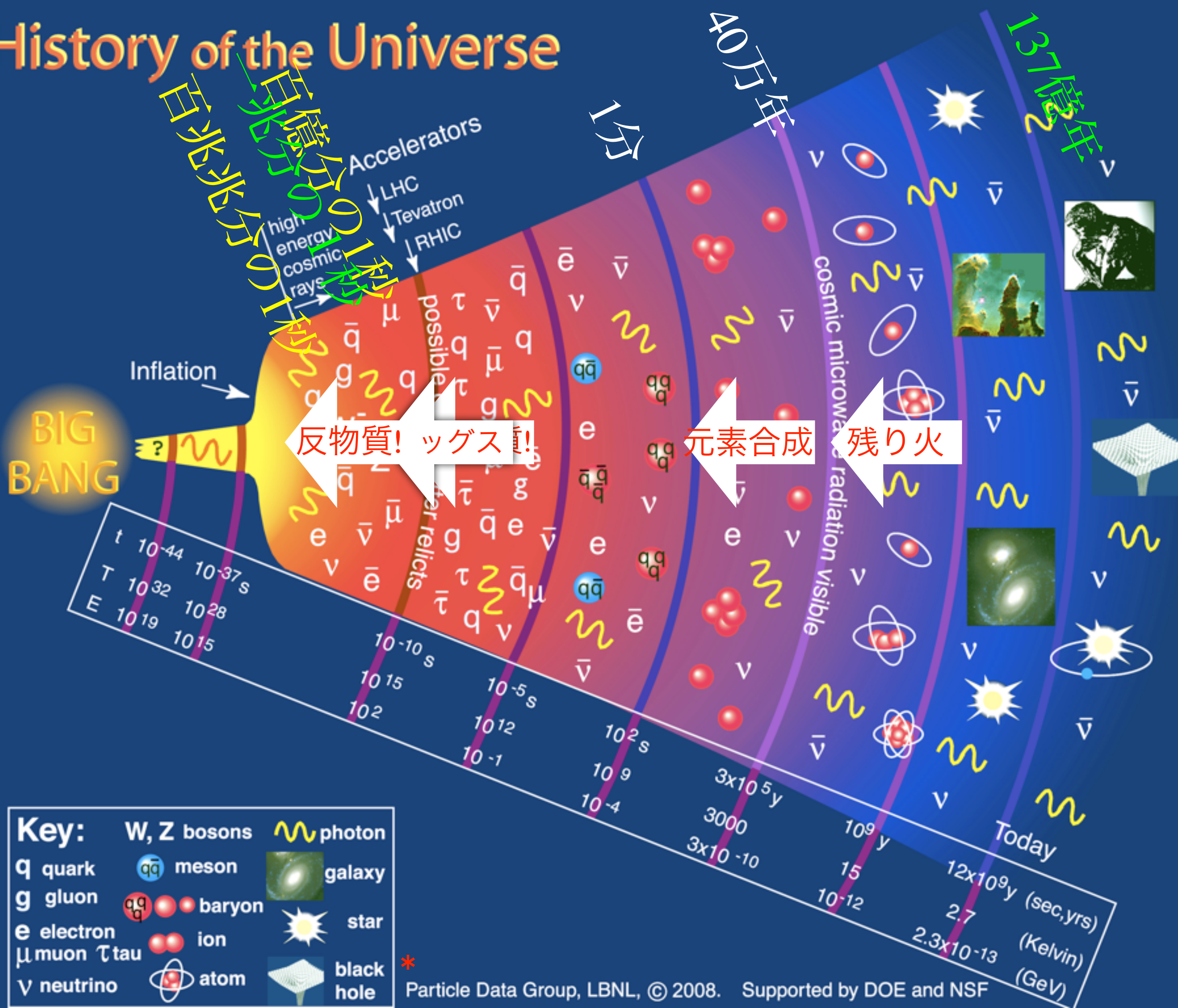
●
私たち

物質

反物質

これなら生き残れる！

History of the Universe

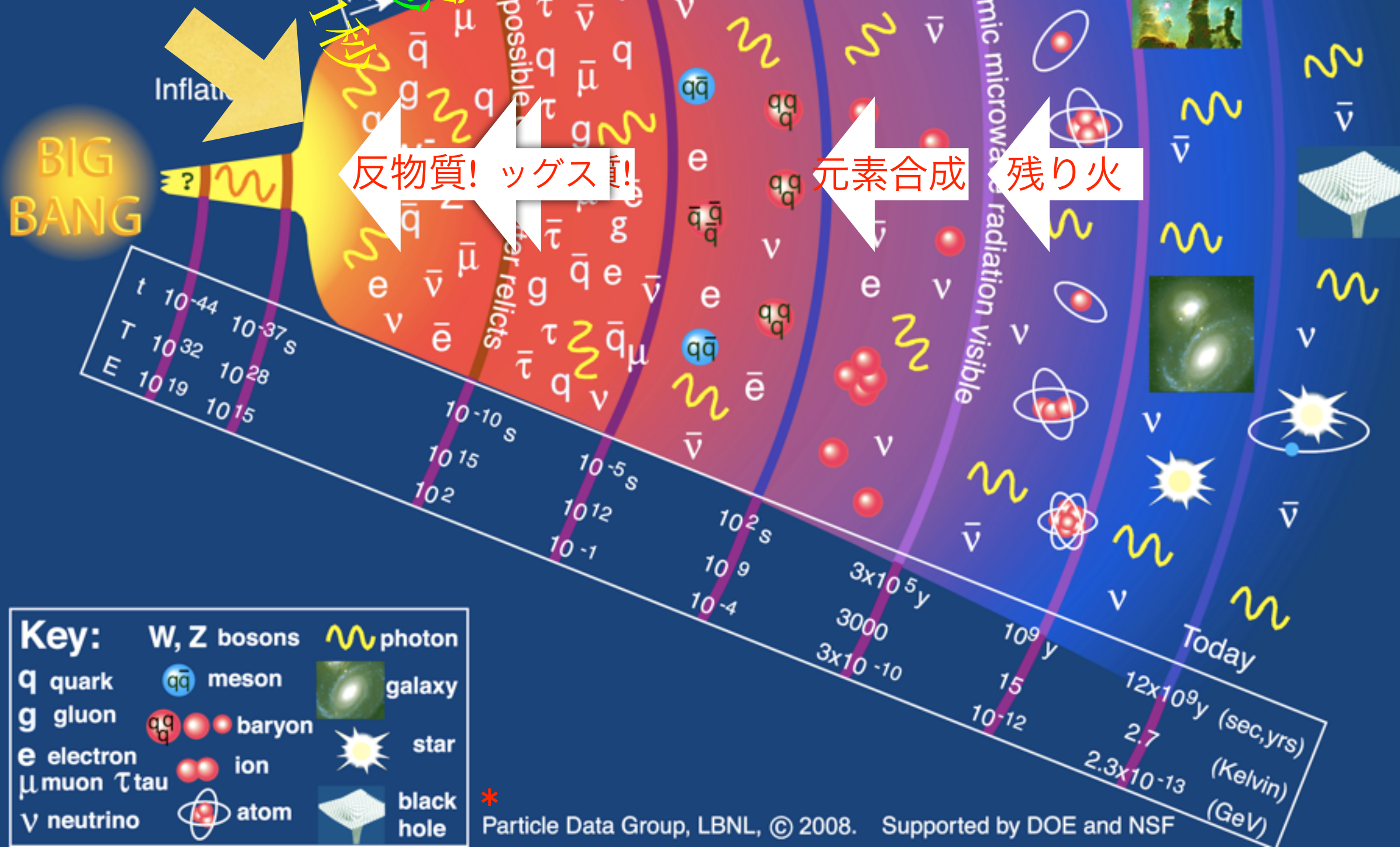


Guth

佐藤

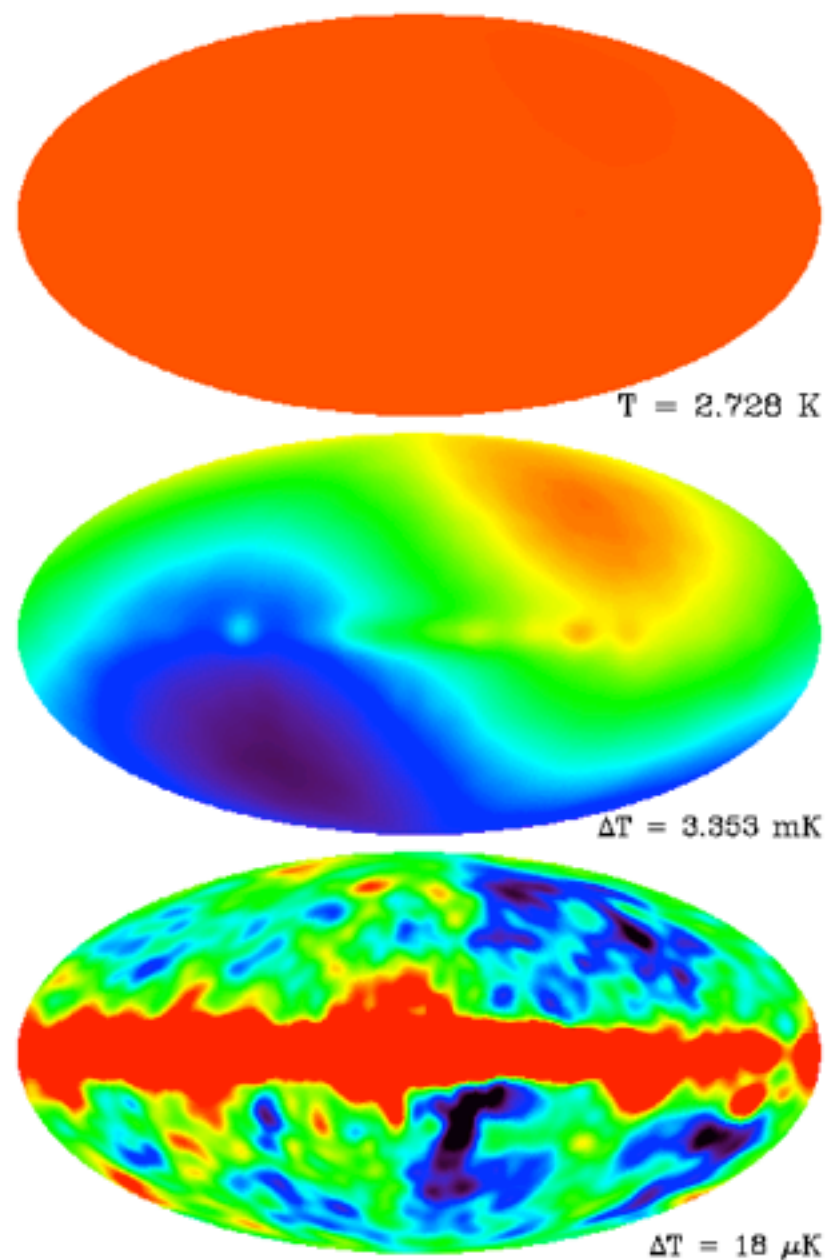
Photo of Alan Guth: Adapted from a photo by Betsy Devine, from flickr (2013/11/21)
CC BY-NC-SA 2.0
<http://www.flickr.com/photos/betsythedevine/2123046495/>

写真出典 [佐藤] : 東京大学
2005年度学術俯瞰講義ポスター



インフレーション

どうしてどちらを 向いても同じ温度？



- 地球の反対側の二つの離島を発見
- なぜか同じ言葉
- 同じ言葉どころか同じ方言：10万分の1の違いしかない
- この二つの民族は同じところから来たに違いない



Adapted from a
photo by Betsy
Devine, from
flickr (2013/11/21)

CC BY-NC-SA
2.0

[http://
www.flickr.com/
photos/
betsythedevine/
2123046495/](http://www.flickr.com/photos/betsythedevine/2123046495/)



* 出典：東京大学2005
年度学術俯瞰講義ポ
スター

インフレーション

- 宇宙は最初は物凄く小さかった
- 宇宙のどの部分も皆コミュニケーションをとっていた
- しかしその小さい宇宙はきっとしわくちゃ、とても小さい
- 全宇宙が原子よりもずっと小さい！
- どうやって平ら、滑らかで大きく？

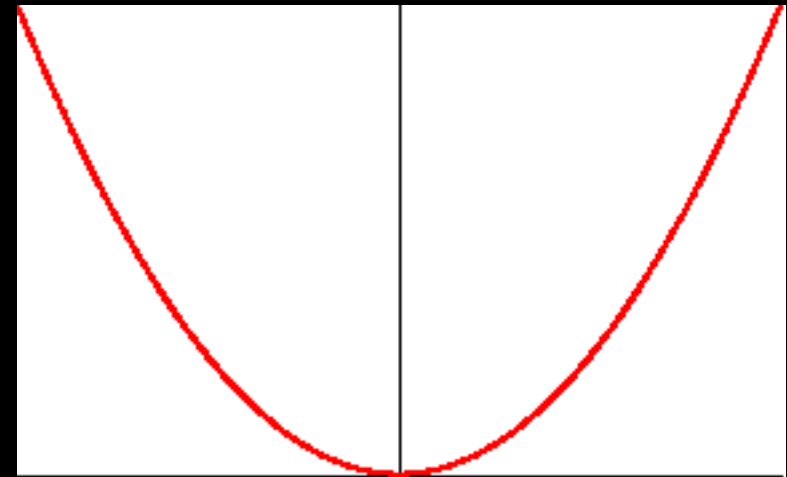




インフレーション

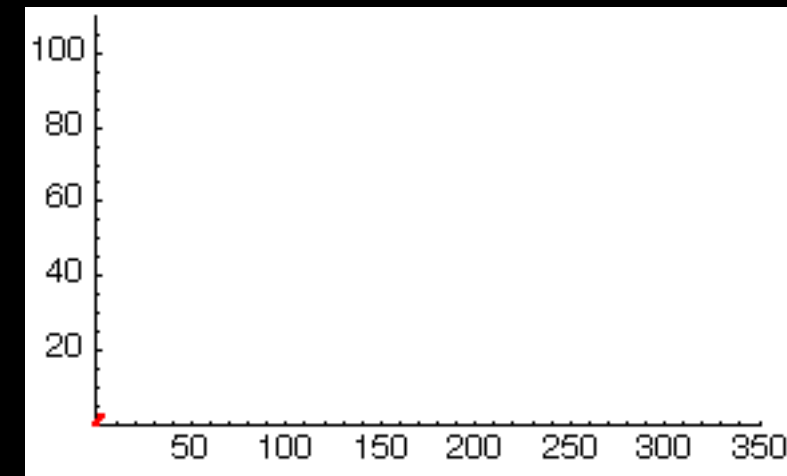
- 坂の途中から始まる粒子
- ゆっくり転がり落ちる
- 落ちている間は位置エネルギーが大きい
- 無尽蔵のエネルギー！
- そのエネルギーが宇宙膨張をどんどん加速
- 宇宙を物凄く大きくする
- 億 億 億 億 億 億 倍に！
- 引っ張ってしわを伸ばす

坂



粒子

やれやれの宇宙

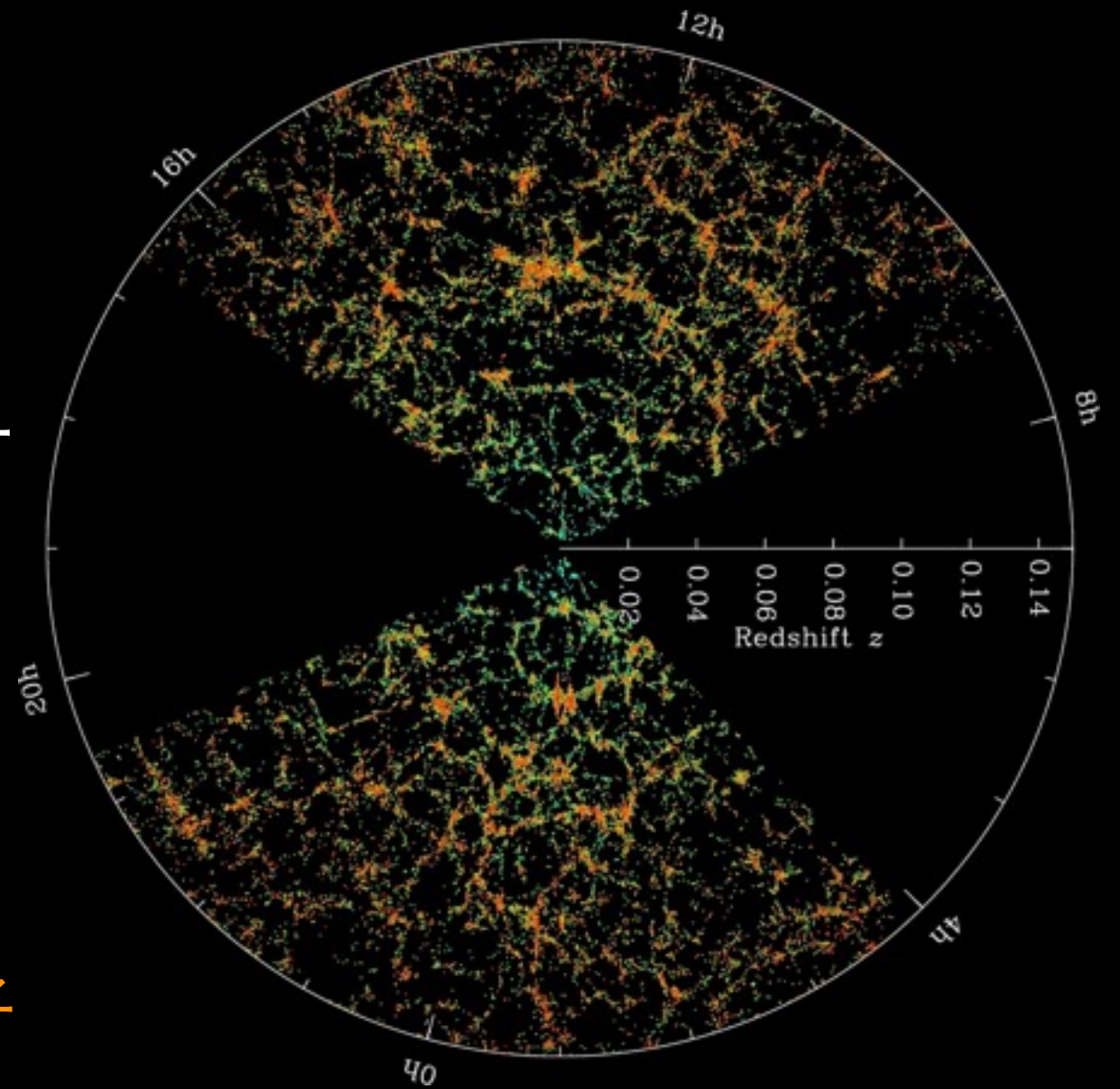


時間



インフレーションの問題？

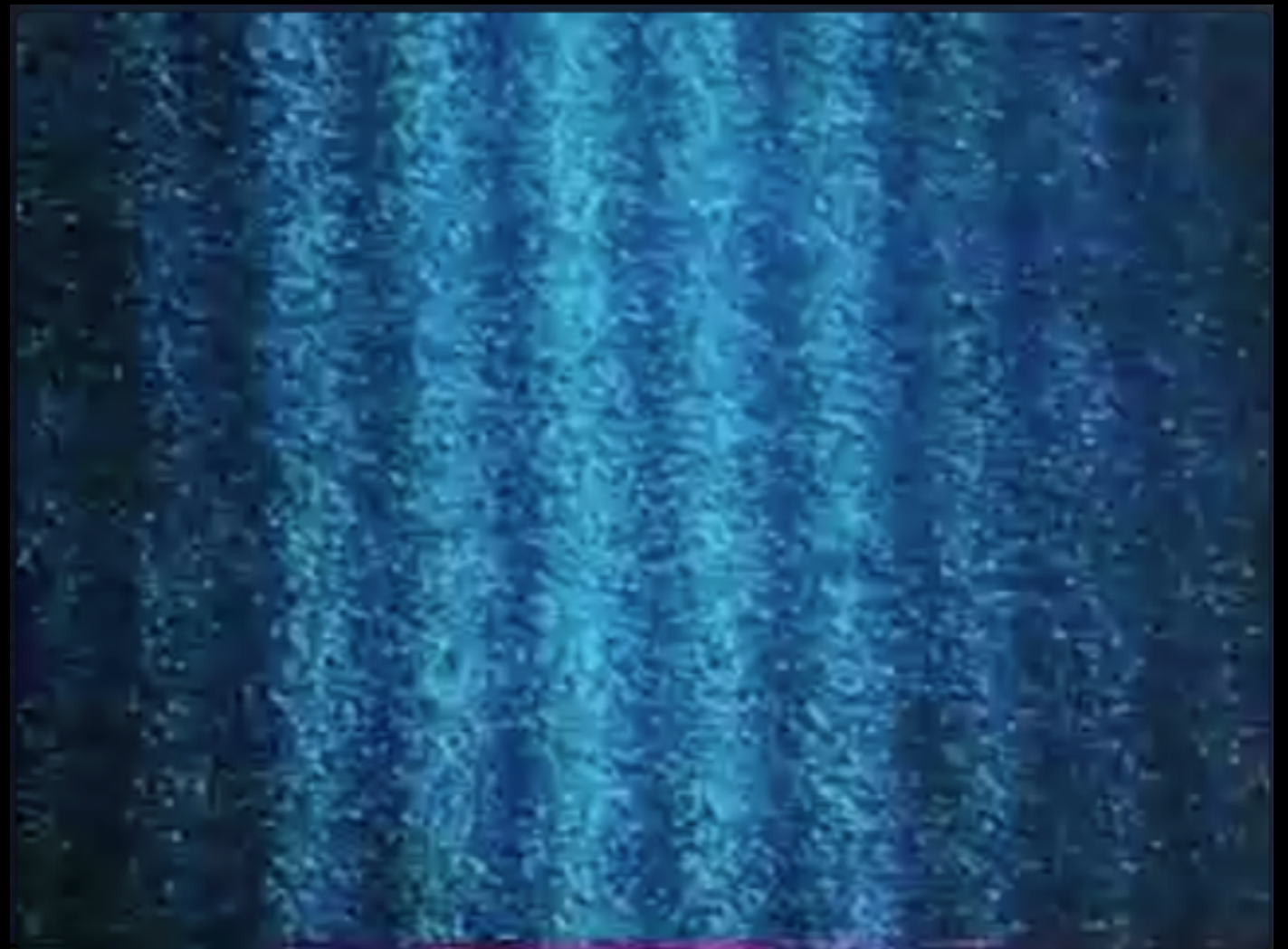
- インフレーションで
平ら、均一、等方に
- 対称的な宇宙
- 空っぽで冷たい
- インフレーションのエネルギー
を熱にかえる「ビッグバン」
- でもどうやってむら、そして
銀河、星ができた？
- 対称性を破らないといけない！
- 小さい宇宙ではミクロの素粒子
の法則：量子力学を使う



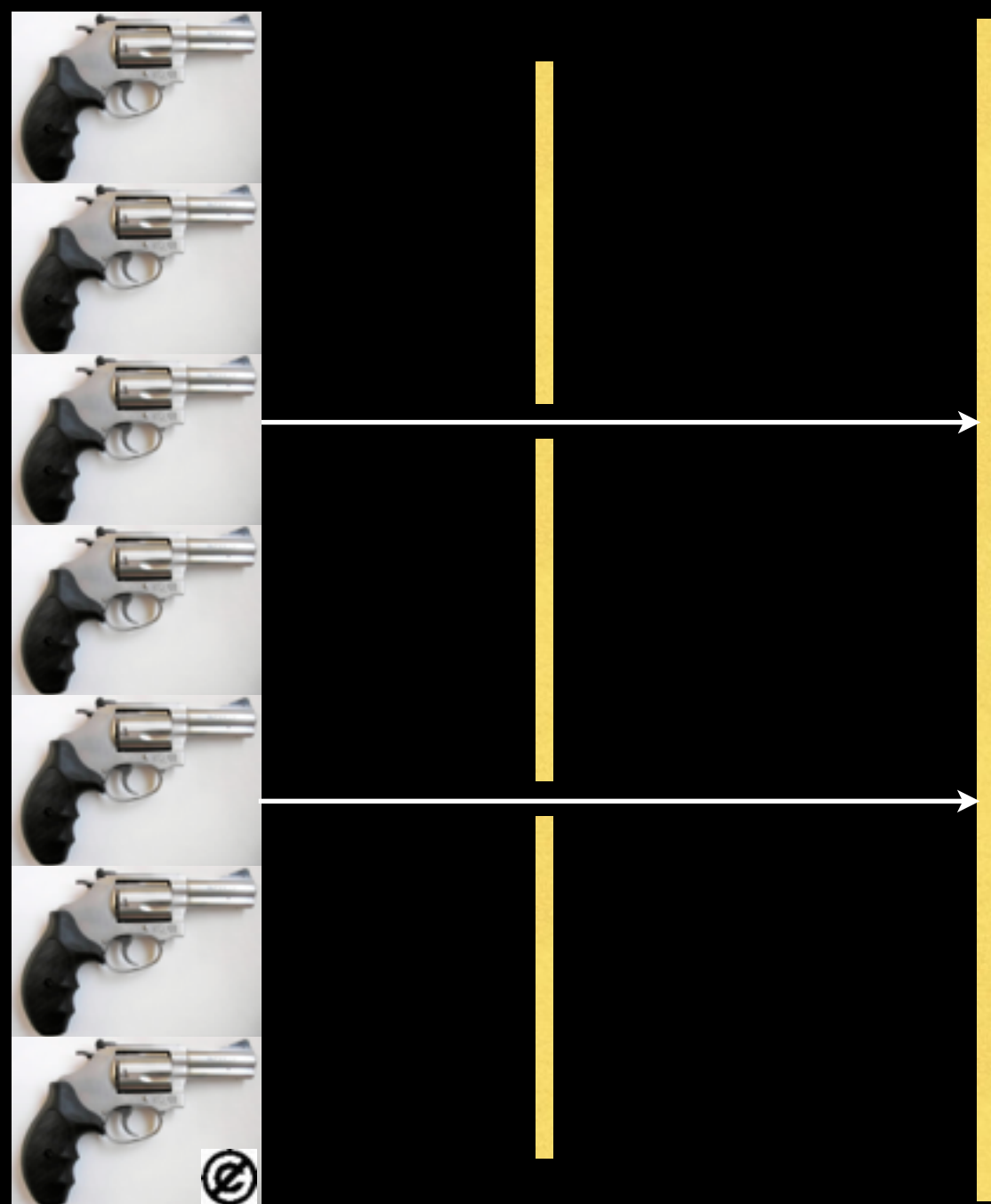
* Credit: M. Blanton and the Sloan Digital Sky Survey

粒は波

* 提供：株式会社 日立製作所中央研究所



外村彰



量子力学

- 不確定性関係
- 一回一回の結果は予言できない
- 粒子は波、波は粒子
- そして波は小さいところに押し込めると激しく揺らぐ

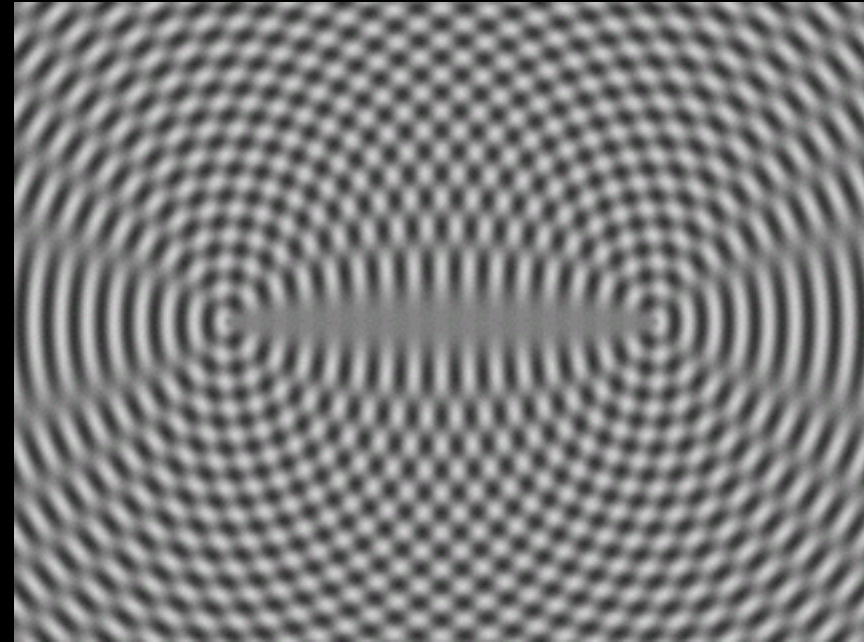
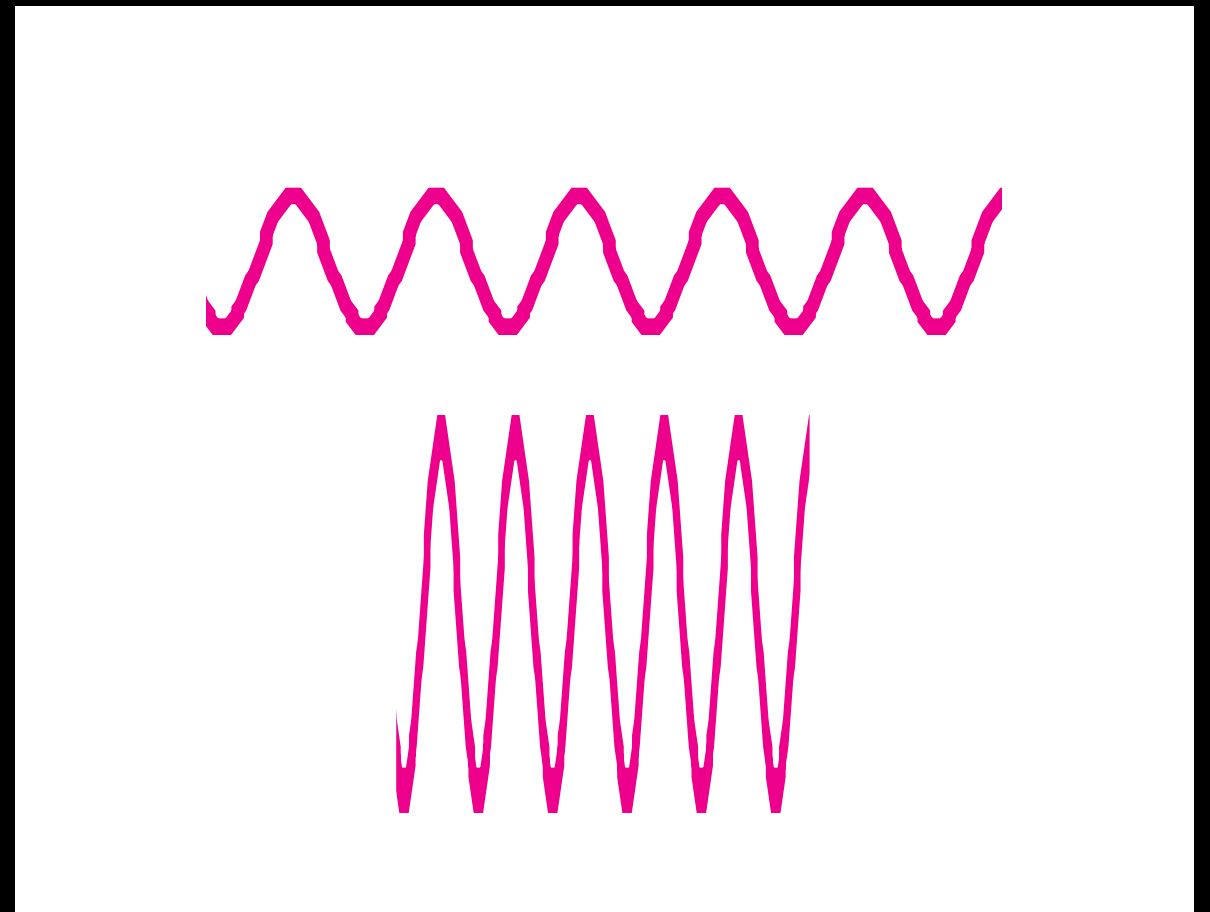


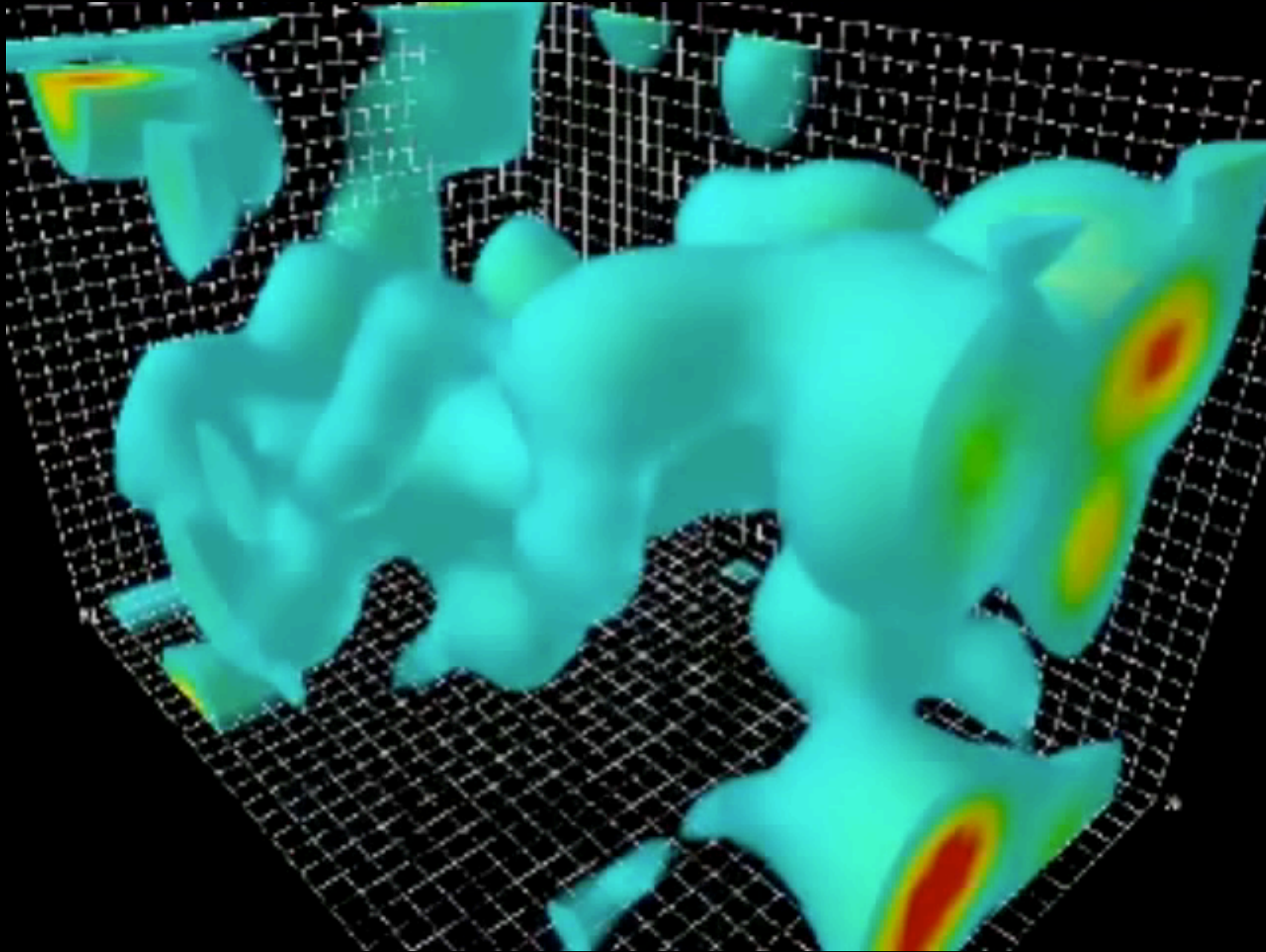
Photo by AndreaPersephone/Guanaco, from Wikimedia Commons (2013/11/26) [CC BY-SA 3.0](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interf.png)
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interf.png>



量子ゆらぎ

- ミクロ世界の不確定性関係
- エネルギーの保存を破ってもいい
- 見つかる前に返さない
- 沢山借りる程早く返さないといけない
- 粒子と反粒子のペアを作る
- $\Delta E = 2mc^2$ 、 $\Delta t = \hbar / \Delta E$
- この時間の間に消滅させる

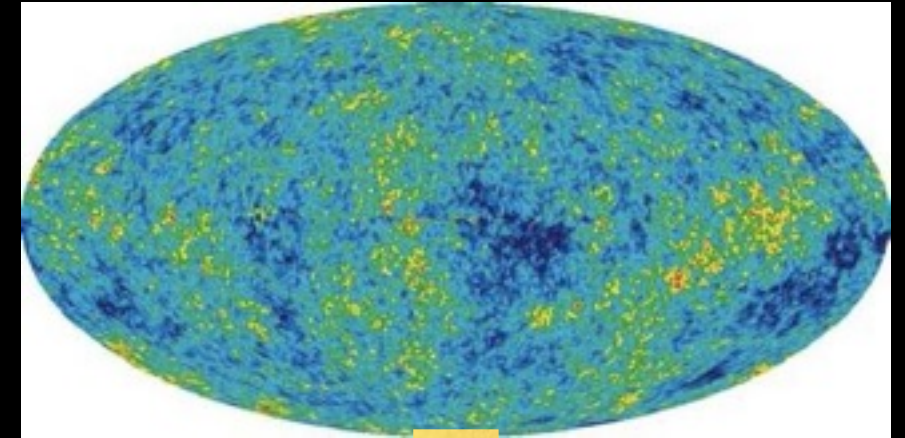
活発な真空



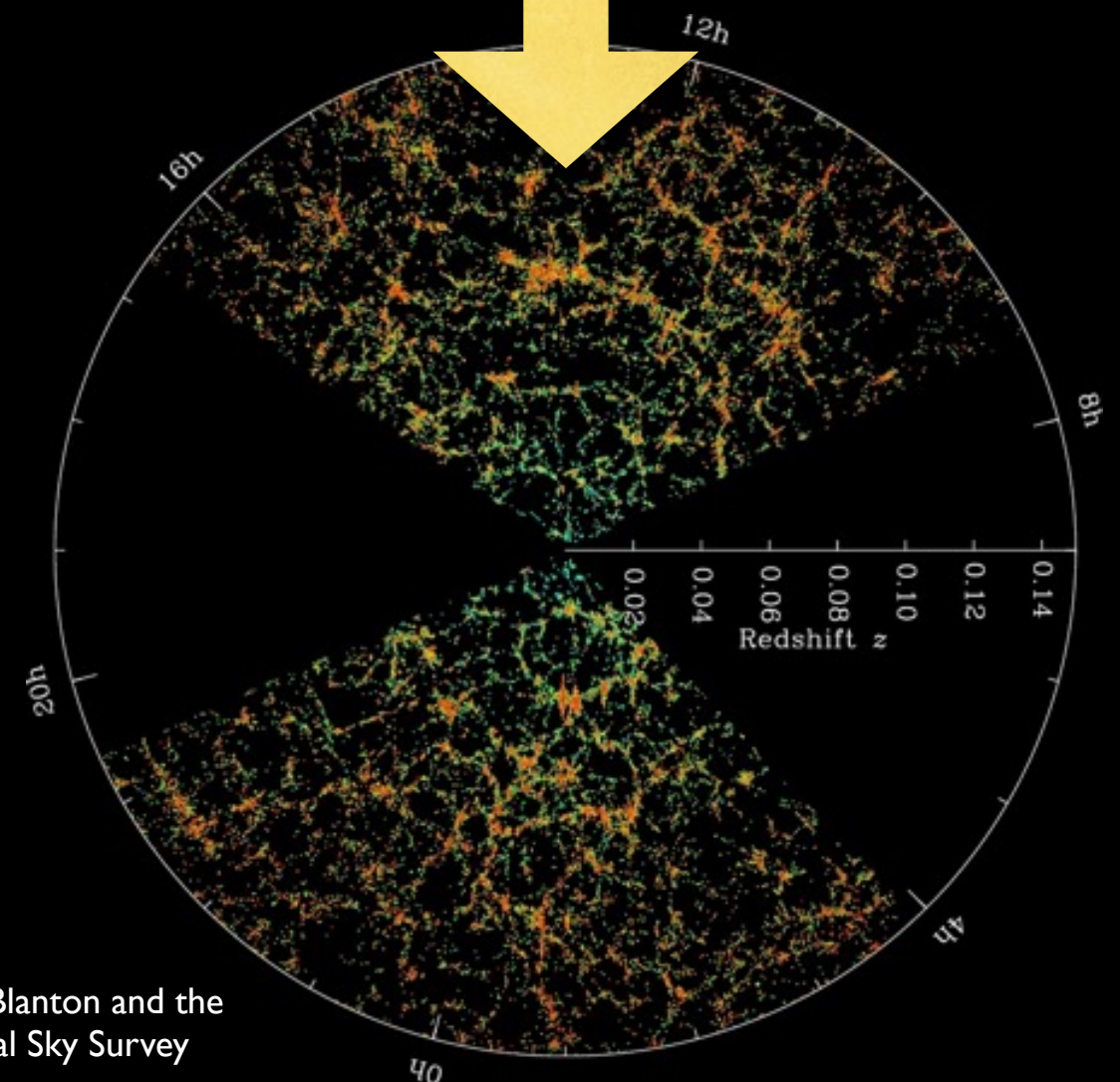
* Animation courtesy of Derek Leinweber, CSSM,
University of Adelaide
[http://www.physics.adelaide.edu.au/theory/staff/
leinweber/VisualQCD/Nobel/index.html](http://www.physics.adelaide.edu.au/theory/staff/leinweber/VisualQCD/Nobel/index.html)

インフレーション

* Credit: NASA / WMAP
Science Team



- 宇宙が生まれてすぐミクロな大きさからマクロな大きさまで引き延ばされた
- そのときに不確定性関係でゆらぎができる
- ゆらぎも宇宙規模に引き延ばされる
- 100mの海に1mmのさざ波



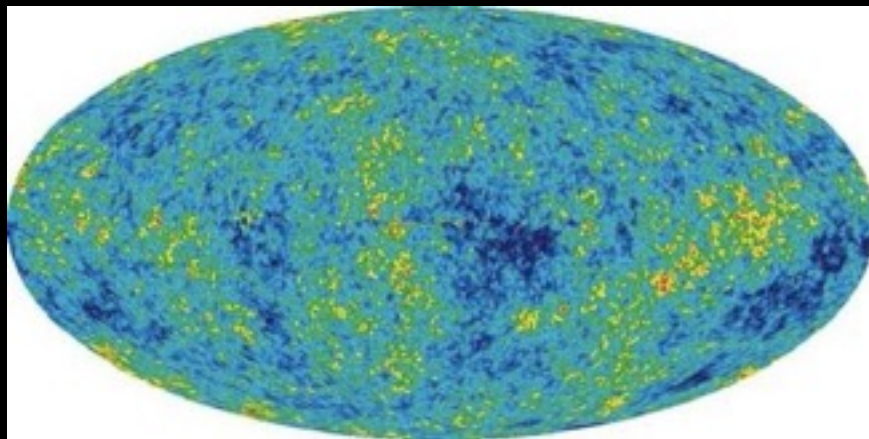
* Credit: M. Blanton and the
Sloan Digital Sky Survey



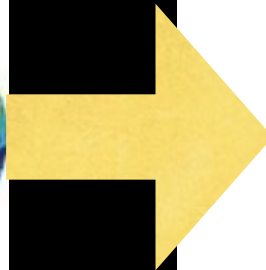
Photo by bram, from flickr
(2013/11/26)
CC BY-NC-ND 2.0
www.flickr.com/photos/bramapp/407809452/

インフレーションの 強まる証拠

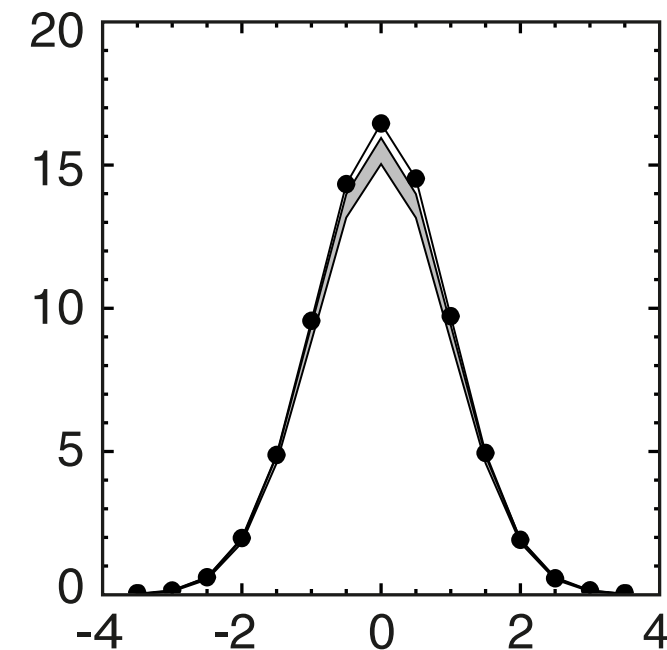
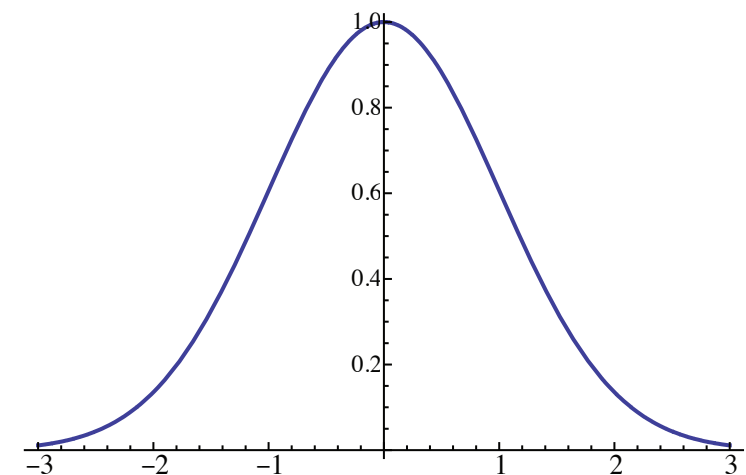
- 素粒子の量子揺らぎで
むらが出来たのなら、
むらはきれいな正規分
布のはず
- 確かに！



* Credit: NASA / WMAP
Science Team

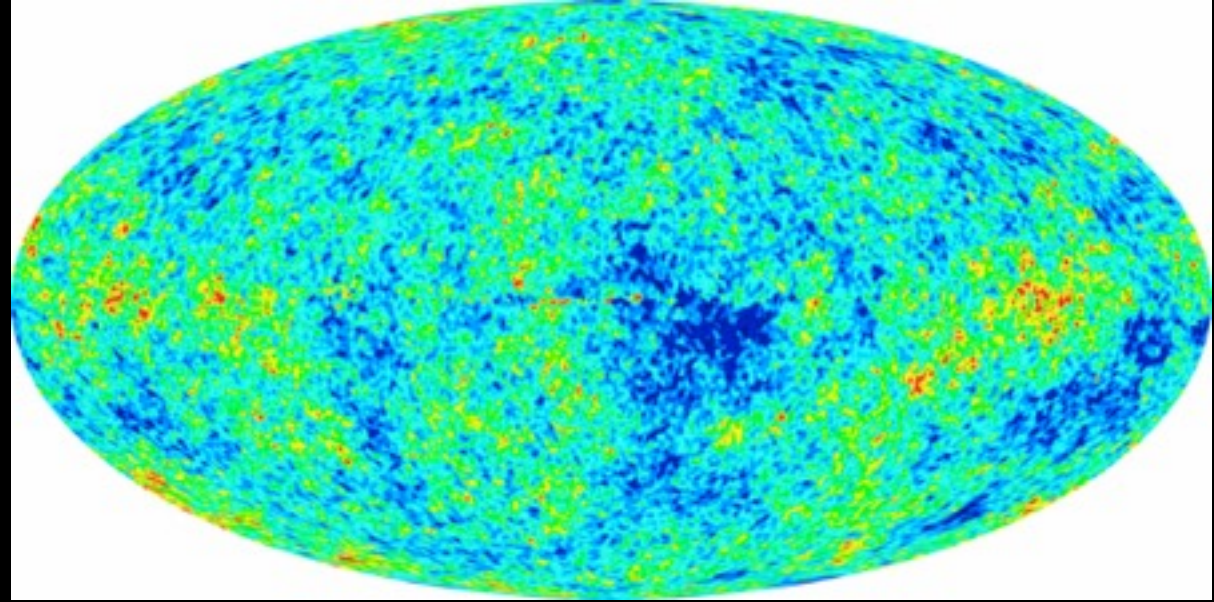


救のせい
は



温度差

宇宙の果て

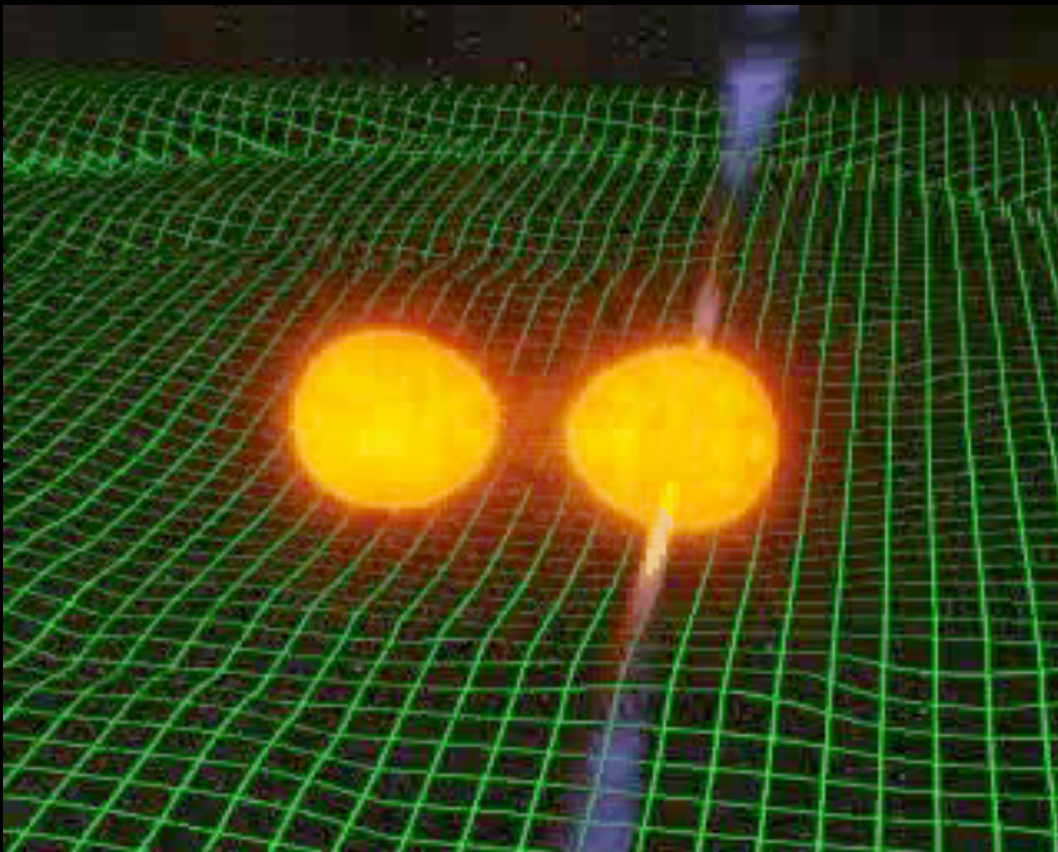


* Credit: NASA / WMAP
Science Team

- 137億光年向こうの壁
- 「果ての向こう」は光は届かない
- でも宇宙の始まりを知りたい！
- なんとか「見れ」ないか??
- 三つの手段
 - 加速器で宇宙を「作る」
 - 地下にもぐる
 - 重力波を探す

重力波

- アインシュタイン：空間は生きている



著作権の都合上

ここに挿入されていた画像を削除しました

Image from "Black hole twins spew gravitational waves" by
Colin Stuart, Physicsworld.com (Apr 11, 2010)
<http://physicsworld.com/cws/article/news/2010/apr/11/black-hole-twins-spew-gravitational-waves>

インフレーションを 直接見る

- インフレーション中は素粒子の揺らぎだけでなく、空間の揺らぎもおきた
- 重力波！
- 重力波が宇宙の残り火の電波に影響
- これを見ればインフレーションの時期が見える！

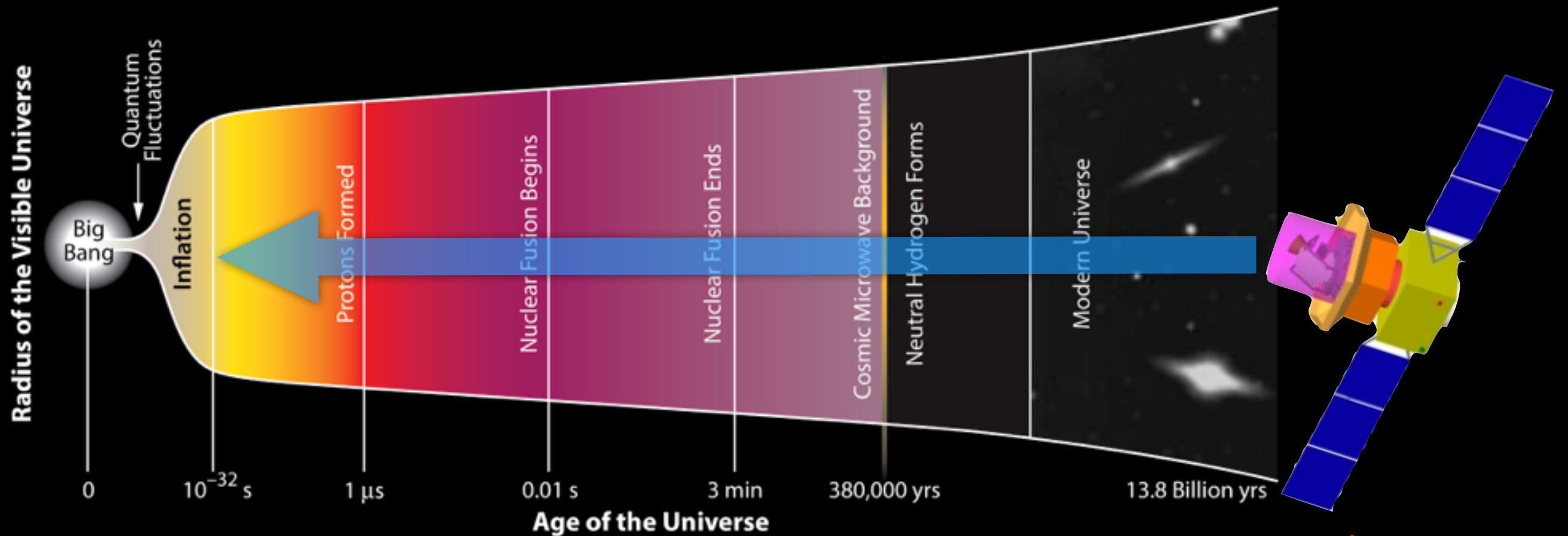
羽澄昌史

Adrian Lee PolarBear

Credit: KEK /
POLARBEAR
コラボレーション



LiteBIRD



* Image Credit: [History of Universe] BICEP2 Collaboration; [spacecraft] LiteBIRD ワーキンググループ

計画中

Planck の1000倍の感度で
インフレーションを直接「見る」

History of the Universe

加速器

40万年

137億年

BIG BANG

Inflation

重力波！ヒッグス物質！

元素合成

残り火

Key:

W, Z bosons		photon
q quark		meson
g gluon		baryon
e electron		ion
μ muon		atom
ν neutrino		black hole
		galaxy
		star

*

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

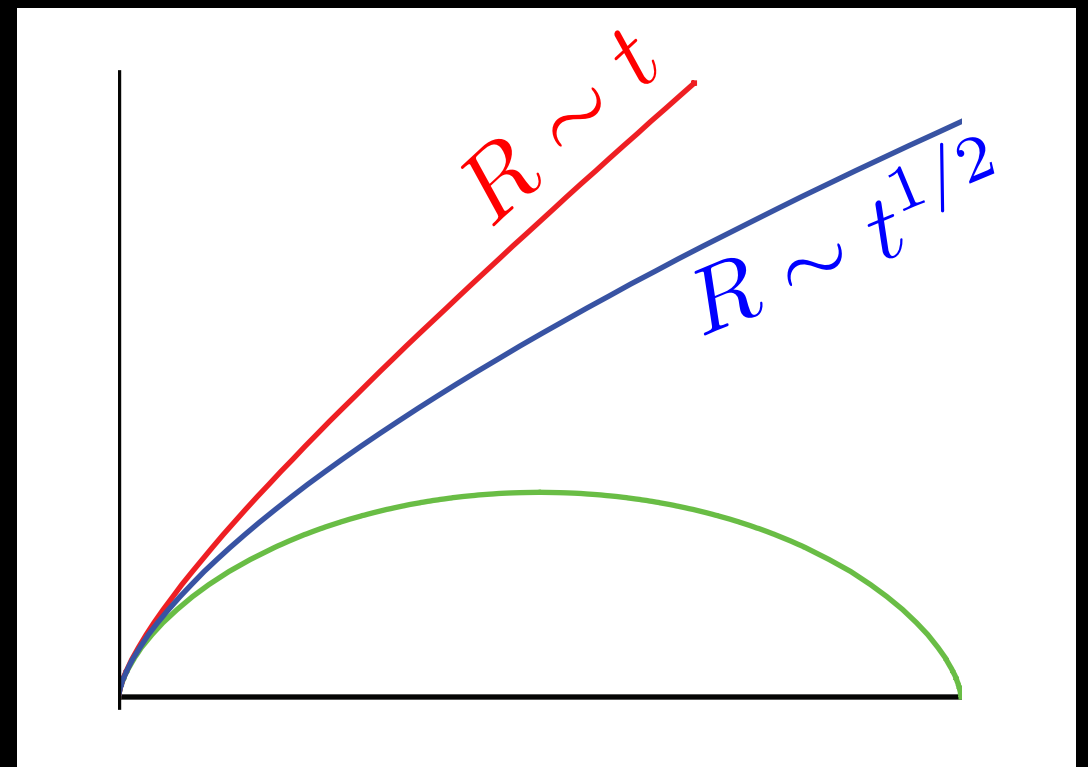
暗黒エネルギー

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。
(ビッグクラッシュ)
- 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

宇宙の膨張



時間

宇宙に終わりはあるのか??

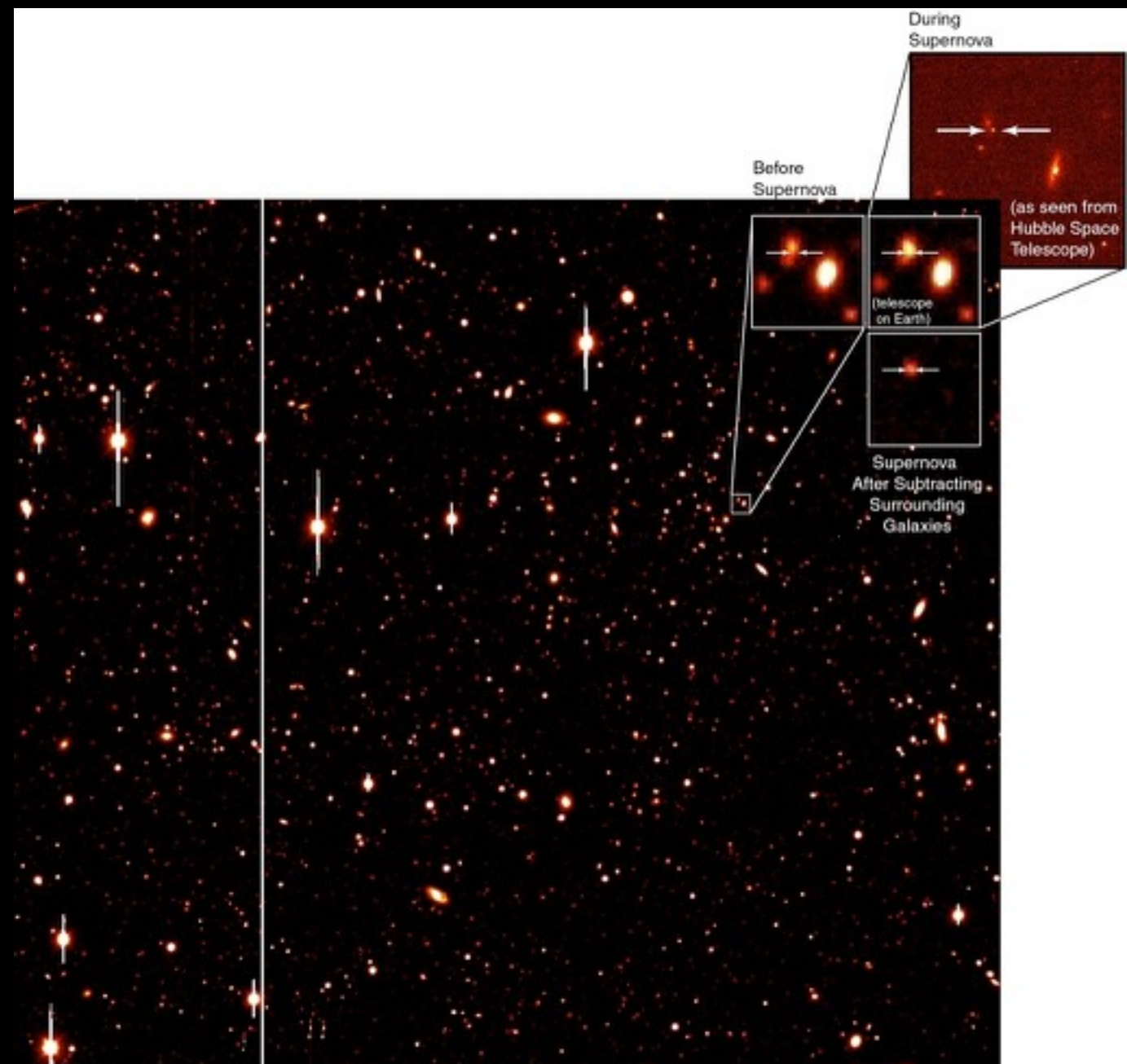


Image by KMJ, from
Wikimedia
Commons
CC BY-SA 3.0
[http://
commons.wikimedia.org/wiki/
File:Gluehlampe_01_KMJ.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gluehlampe_01_KMJ.jpg)

Ia型超新星

- Ia型超新星は星が銀河全体よりも明るくなる
- 明るさが分かっている
- どれだけ明るく見えるか
⇒ 距離（時間）
- どれだけ赤く見えるか
⇒ 宇宙の膨張
- 宇宙の膨張しかたはどんどん速くなっている！

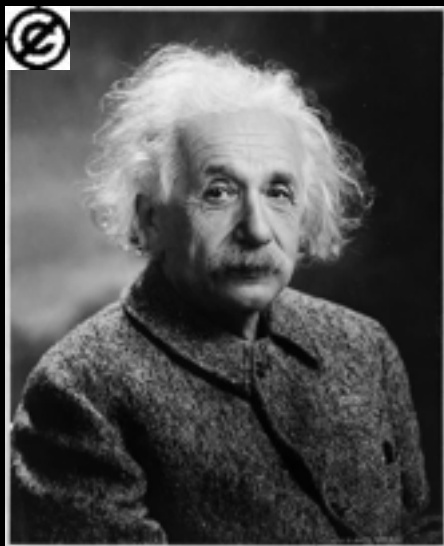
* Courtesy Saul Perlmutter and the Supernova Cosmology Project



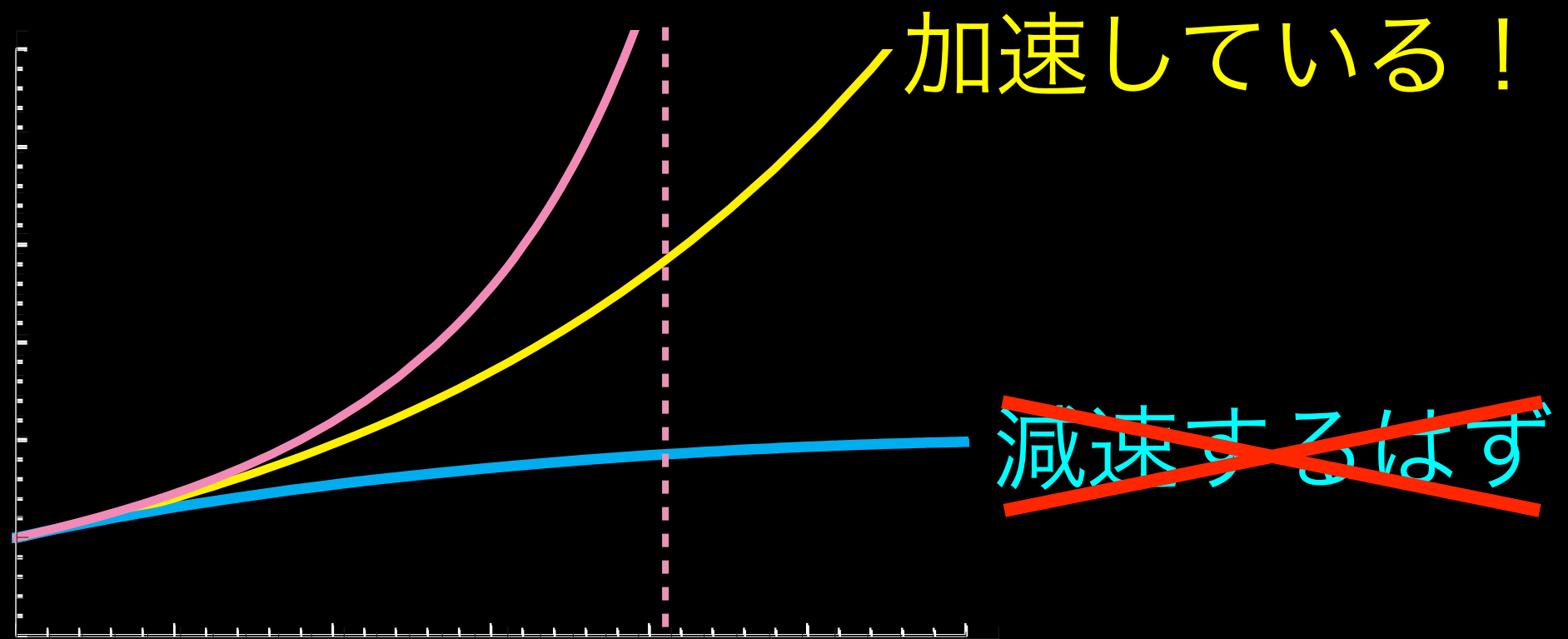
宇宙膨張



* Image Credit: NASA Goddard Space Flight Center

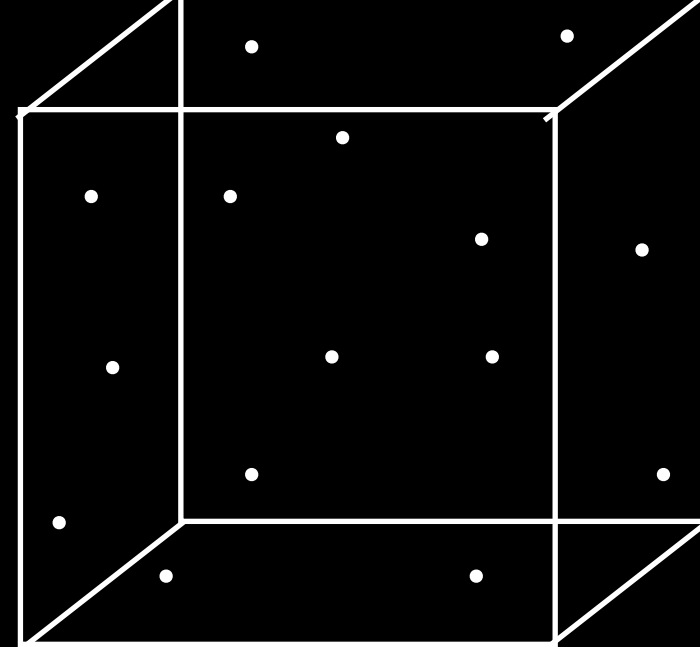
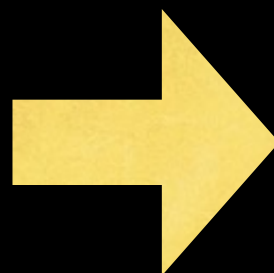
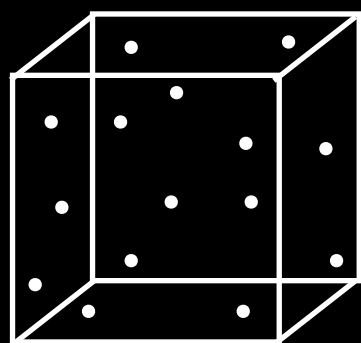


Science 282 (5394),
18 Dec. 1998, Cover
[http://www.sciencemag.org/
content/282/5397.cover-
expansion](http://www.sciencemag.org/content/282/5397.cover-expansion)

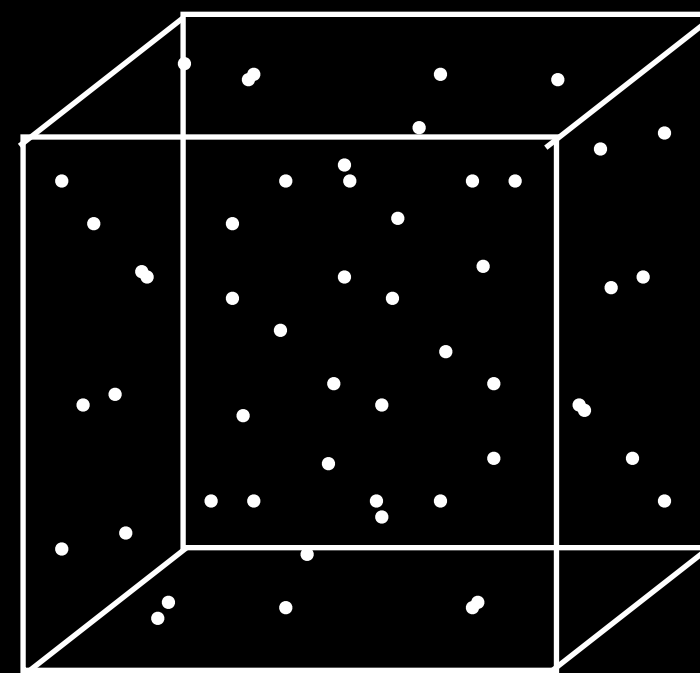
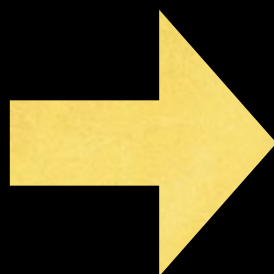
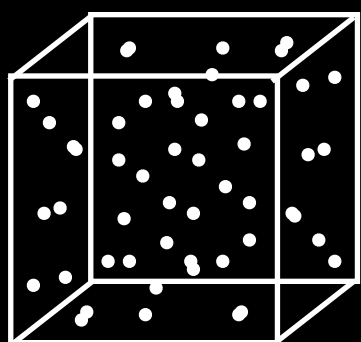


- 宇宙の膨張が最近(約70億年前)加速し始めた
- エネルギーが増えている！
- 無尽蔵のエネルギー源？？暗黒エネルギー
- アインシュタインの間違い？？
- 新しい宇宙像、基本法則
- エネルギーの増え方が速いと、いずれ膨張速度が無限大に ⇒ 宇宙が終わる？？
- 世界中で大騒ぎ

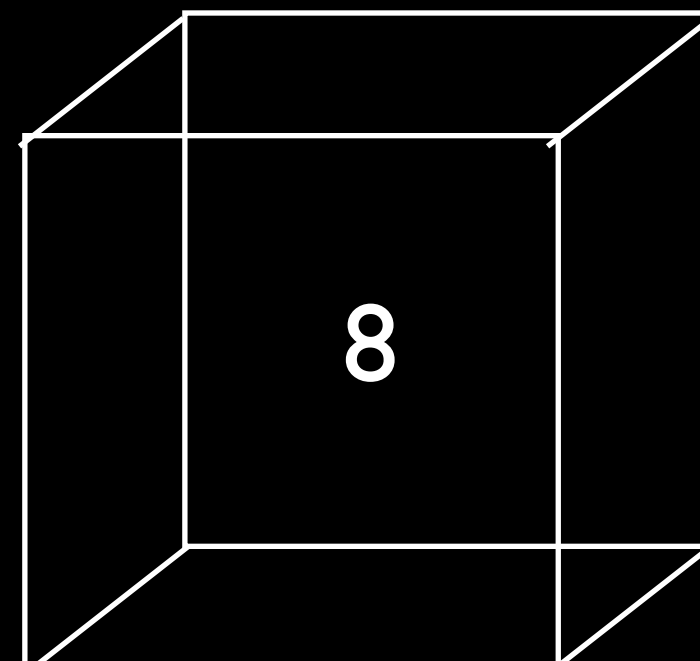
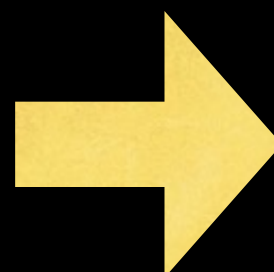
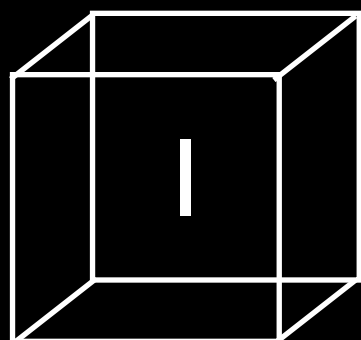
原子
4%



暗黒物質
23%



暗黒
エネルギー
73%



7? 9?





早く予算を付けましょう！

著作権の都合により
動画を削除しました

「No. 317 宇宙の未来を決める暗黒エネルギー」

『サイエンスZERO』NHK、2010年9月4日放送

<http://www.nhk.or.jp/zero/contents/dsp317.html>



宇宙の国勢調査



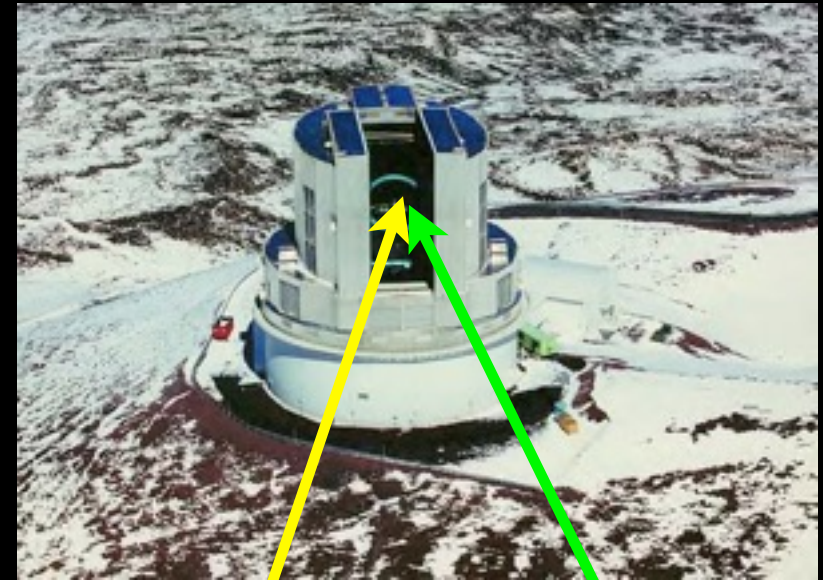
* 提供 国立天文台

出典：総務省統計局ホームページ
(<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/nyusyo.htm>)

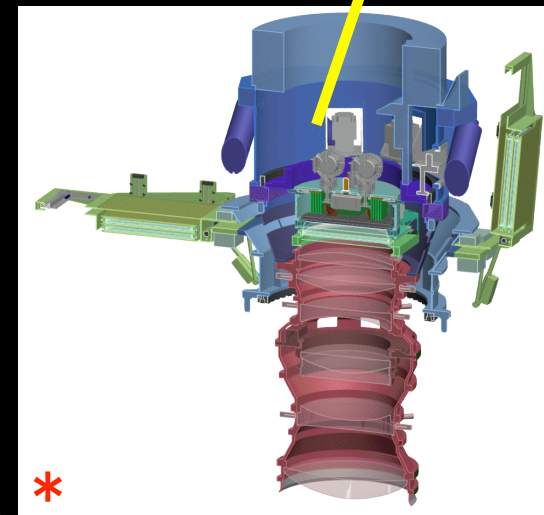
- 一つ一つの星や銀河でなく、宇宙全体の傾向を知りたい
- 歴史＝過去＝遠く⇒巨大望遠鏡が必要
- ひとつひとつ見ていたのでは何千年もかかってしまう⇒超広視野が必要
- 精密情報⇒イメージングと分光が必要

Subaru Measurements of Images and Redshifts (SuMIRe)

- すばるは国立天文台がハワイに建設
- 世界最大級の鏡 8.2m
- ハッブル宇宙望遠鏡の約1000倍の視野
- まずはイメージングのカメラ
 - 約9億ピクセル、約3トン
 - 数億個の銀河の写真
- そして分光器で距離、宇宙膨張の測定
 - 一度に2400の銀河を同時に観測
 - 百万個の銀河の性質・遠ざかる速さ

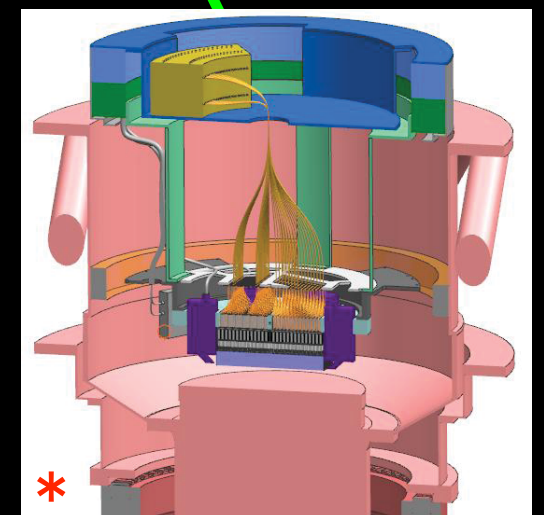


すばる (国立天文台)



超広視野カメラ

HSC



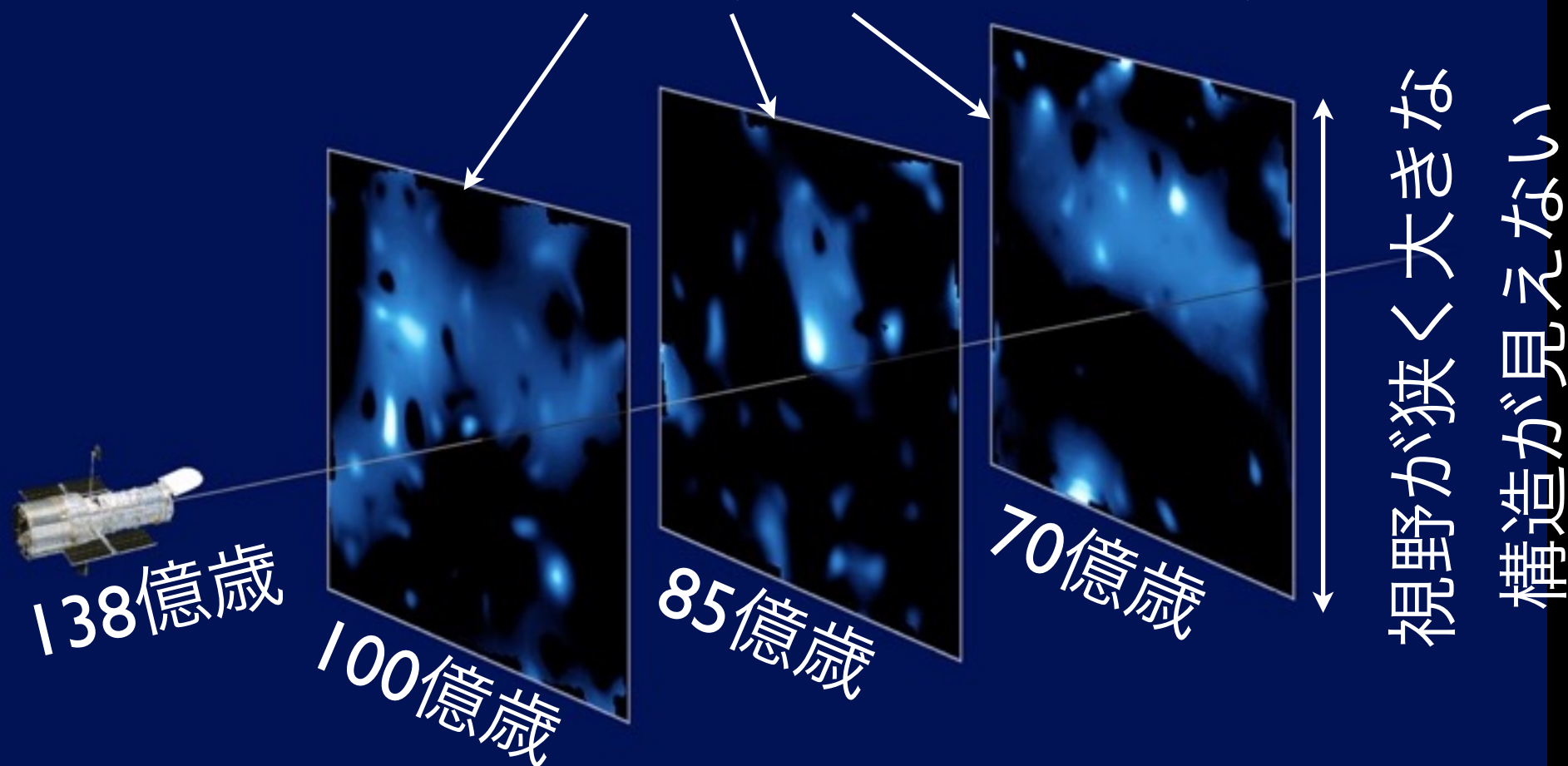
超広視野分光器

PFS

現在の世界トップ ハッブル望遠鏡 まだまだ狭く浅い

Credit: NASA, ESA and
R. Massey (California
Institute of Technology)

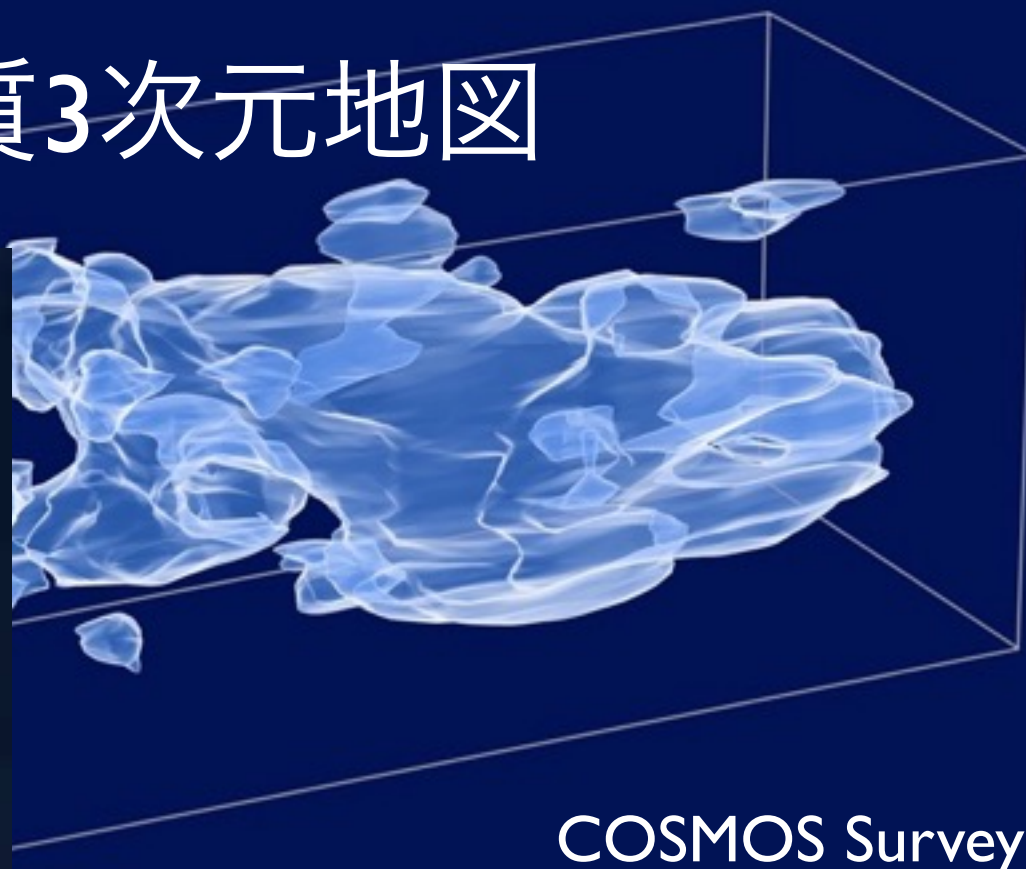
はっきりとした進化が見えるほど昔が見えない



暗黒物質3次元地図

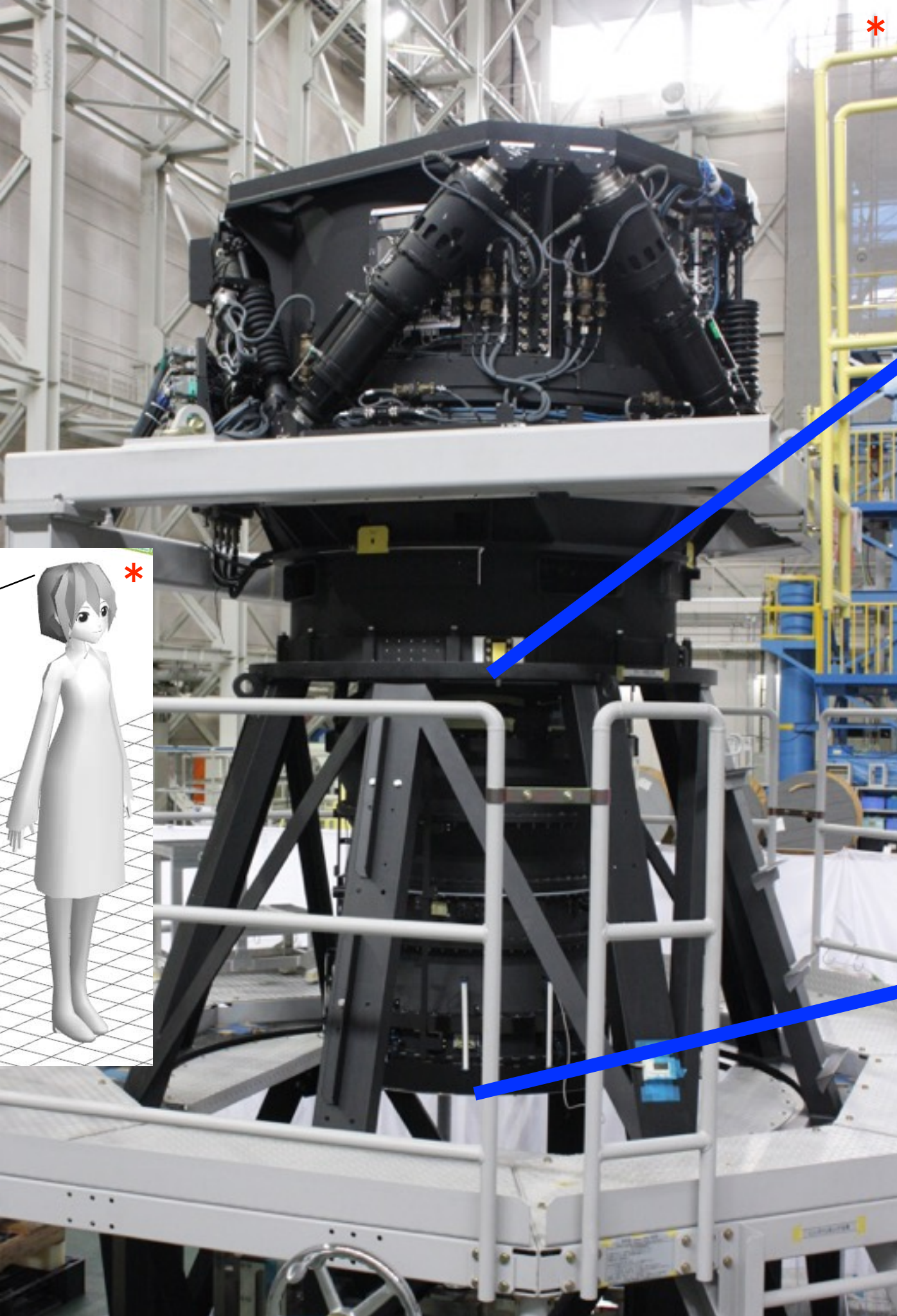


Credit: ESA/Hubble (M. Kornmesser & L. L.
Christensen) CC BY 3.0
<http://www.spacetelescope.org/videos/heic0701f/>



COSMOS Survey

Alexie
Leauthaud



HSCの高性能

HSC: 2.5時間で三色riz

HST: 500時間で一色



著作権の都合上
ここに挿入されていた画像を
削除しました

COSMOS Skywalker
[http://www.mpia.de/COSMOS/skywalker/
swcosmosV4.0.html](http://www.mpia.de/COSMOS/skywalker/swcosmosV4.0.html)

RA 149.9270°
DEC 2.5992°
Scale: 0.25 arcsec/pixel
Diameter: 180 arcsec

アイソン 彗星 H15.II

三菱電機
制御系の力



クレジット：HSC Project
／国立天文台

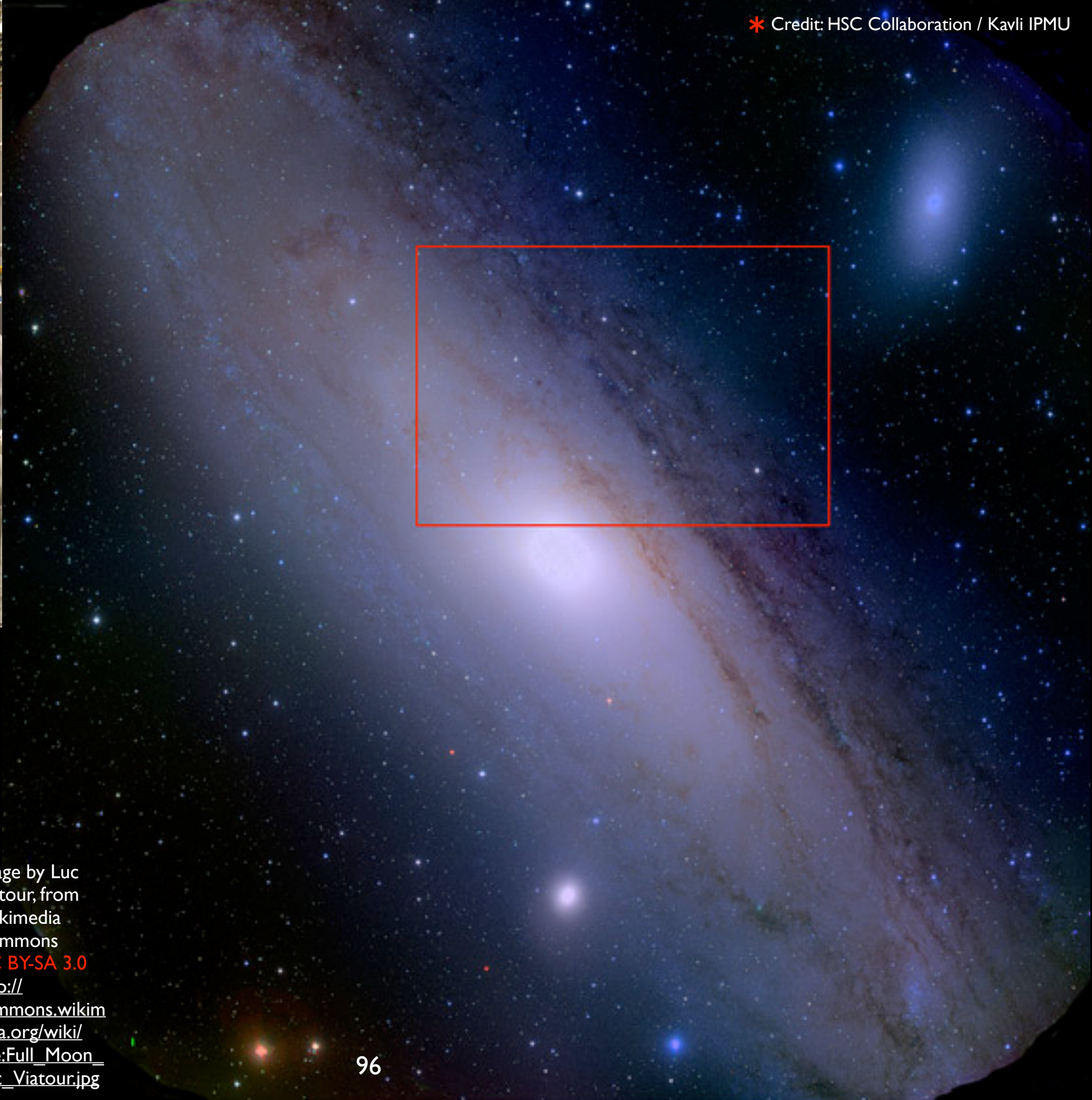


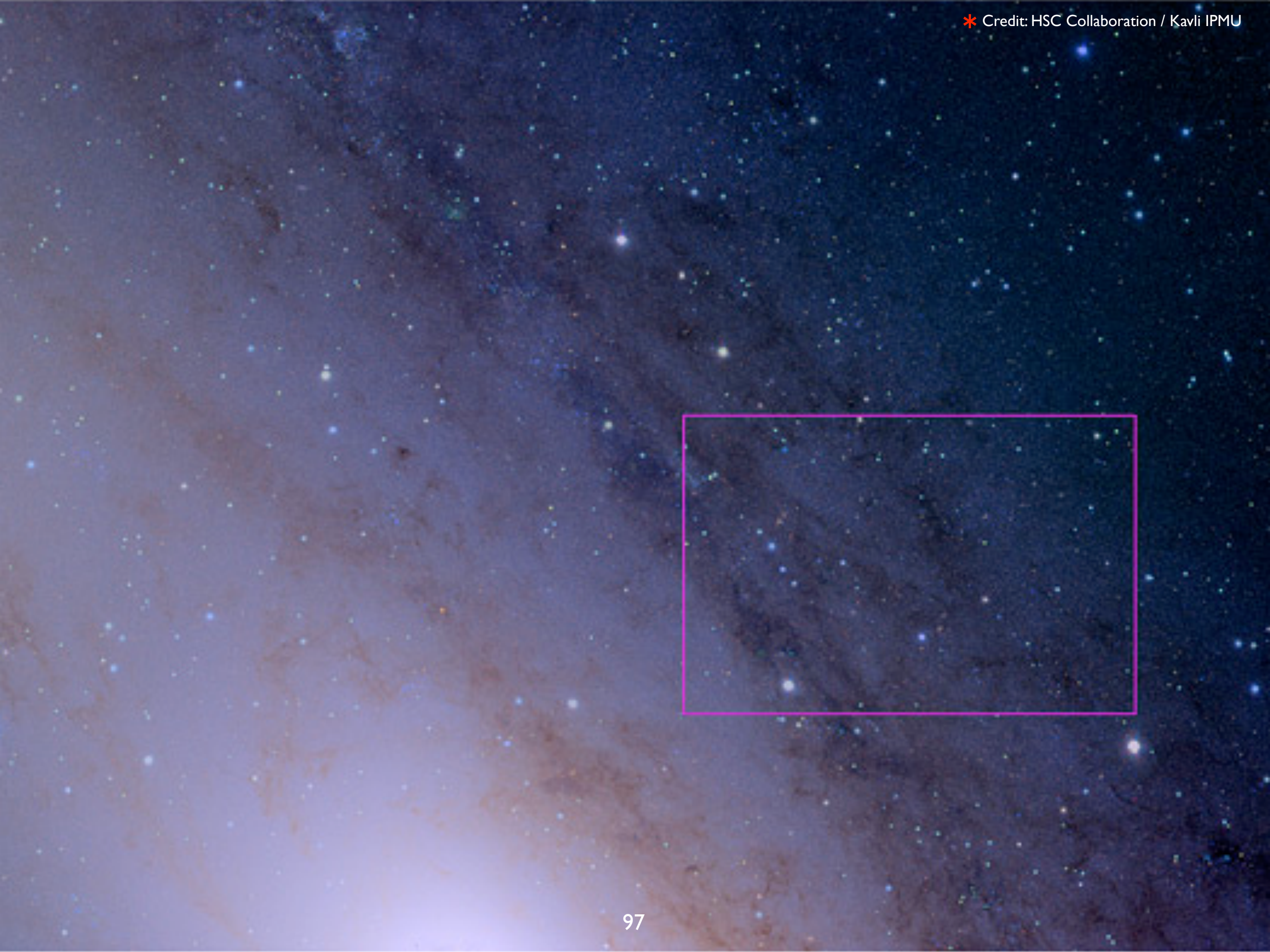
* 画像提供：国立天文台

8.7億 画素、
3t、1000xHST



Image by Luc
Viatour, from
Wikimedia
Commons
CC BY-SA 3.0
[http://
commons.wikim
edia.org/wiki/
File:Full_Moon_
Luc_Viatour.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Full_Moon_Luc_Viatour.jpg)







「アンドロメダ くっきり：
すばる高性能カメラ撮影」毎日新聞
2013年8月1日 朝刊1面

「ハワイ・すばる望遠鏡 巨大カメラ交換：
視野 世界最大」産経新聞
2013年8月1日 朝刊26面

「すばる望遠鏡に「世界最強」カメラ：
暗黒宇宙 謎解明挑む」愛媛新聞
2013年8月1日 朝刊7面

「すばる望遠鏡、新カメラで威力：
アンドロメダ銀河 鮮明」日本経済新聞
2013年8月1日 朝刊38面

「すばる アンドロメダをすっぽり撮った」
朝日新聞 2013年8月1日 朝刊39面

「超広角 アンドロメダ鮮明」読売新聞
2013年8月1日 朝刊33面

"A new look at the Andromeda Galaxy and Trask Industries gets a Web site (Innovations in 5)" (by Emi Kolawole), *Washington Post*, Jul. 31, 2013

<http://www.washingtonpost.com/blogs/innovations/wp/2013/07/31/a-new-look-at-the-andromeda-galaxy-and-trask-industries-gets-a-web-site-innovations-in-5/>

"Amazing view of Andromeda Galaxy captured" (By Nick Collins), *Telegraph*, Jul. 31, 2013

<http://www.telegraph.co.uk/news/science/space/10212980/Amazing-view-of-Andromeda-Galaxy-captured.html>

"A problem of cosmic proportions", *Economist*, Aug. 24, 2013

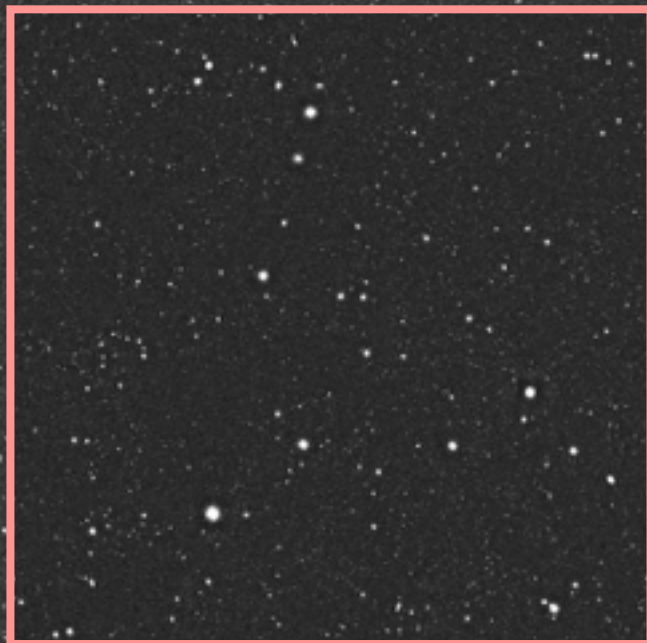
<http://www.economist.com/news/science-and-technology/21583972-three-experiments-are-starting-study-dark-energy-most-abundant-stuff>

"Super telescope captures sensational image of Andromeda galaxy" (by Christopher MacManus), CNET, Jul. 31, 2013

<http://www.cnet.com/news/super-telescope-captures-sensational-image-of-andromeda-galaxy/>

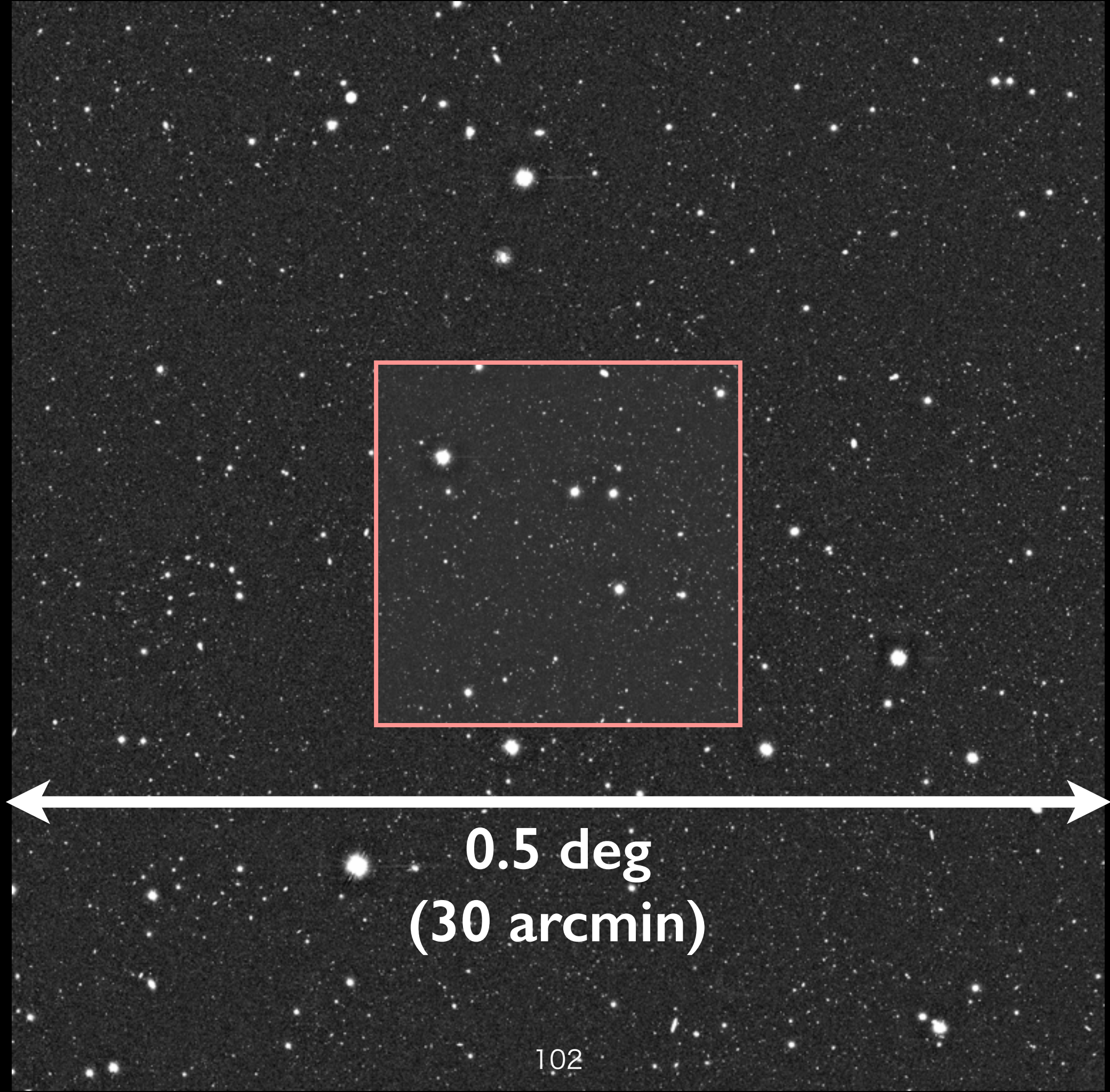
Transient survey now

**Real HSC data!
(open-use time)**



1.5 deg

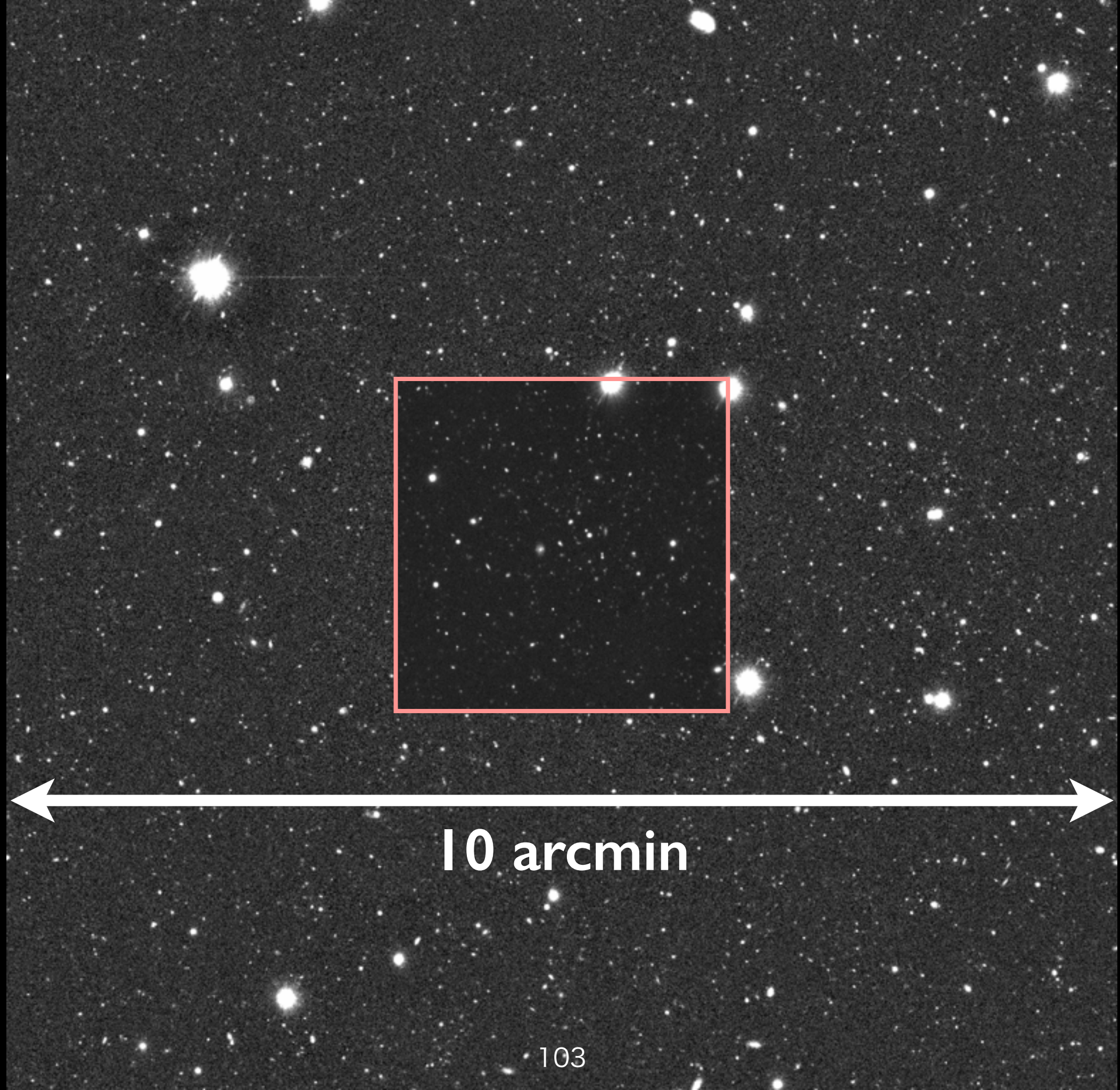
* 提供：田中雅臣 氏



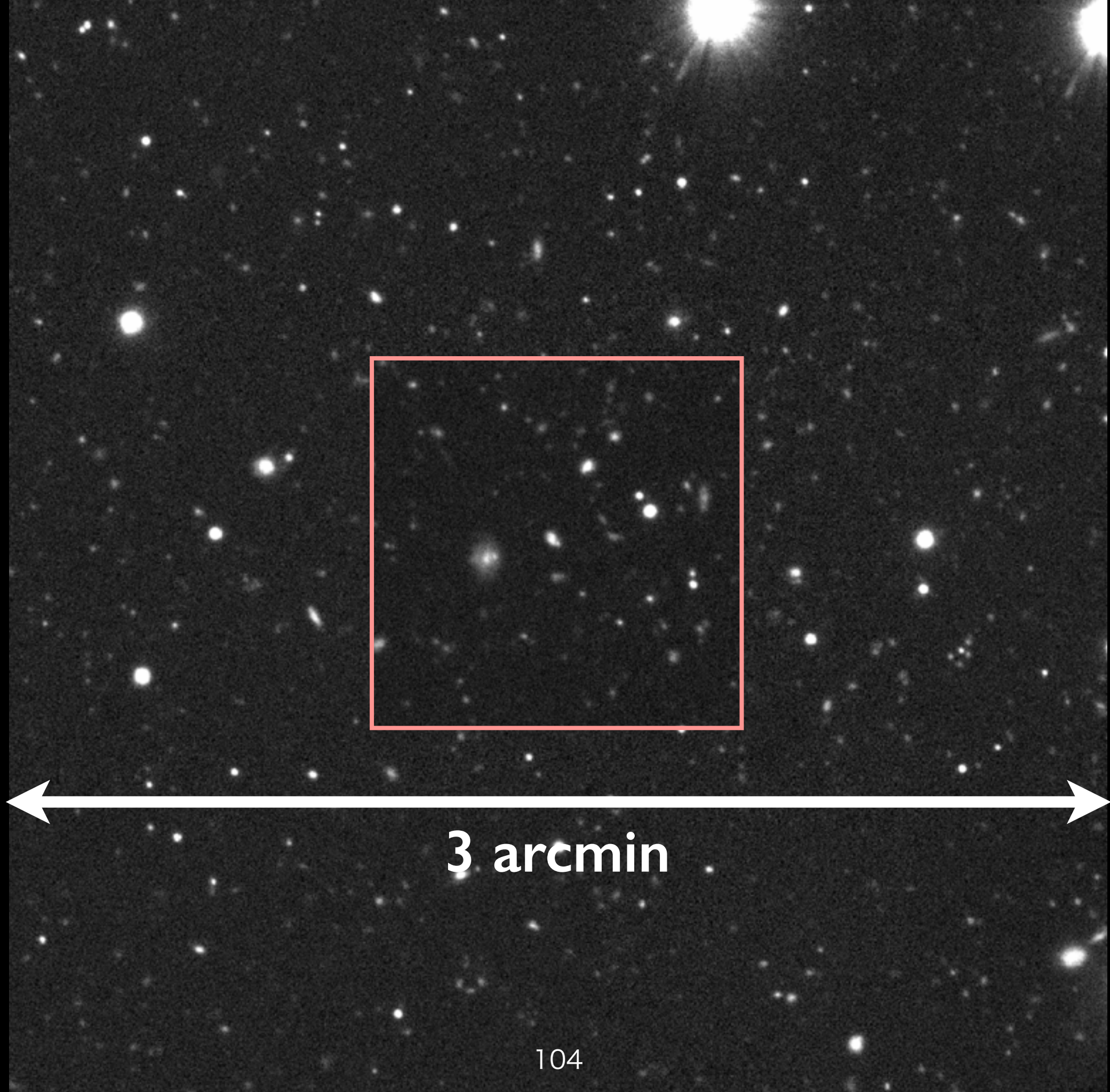
0.5 deg
(30 arcmin)

*

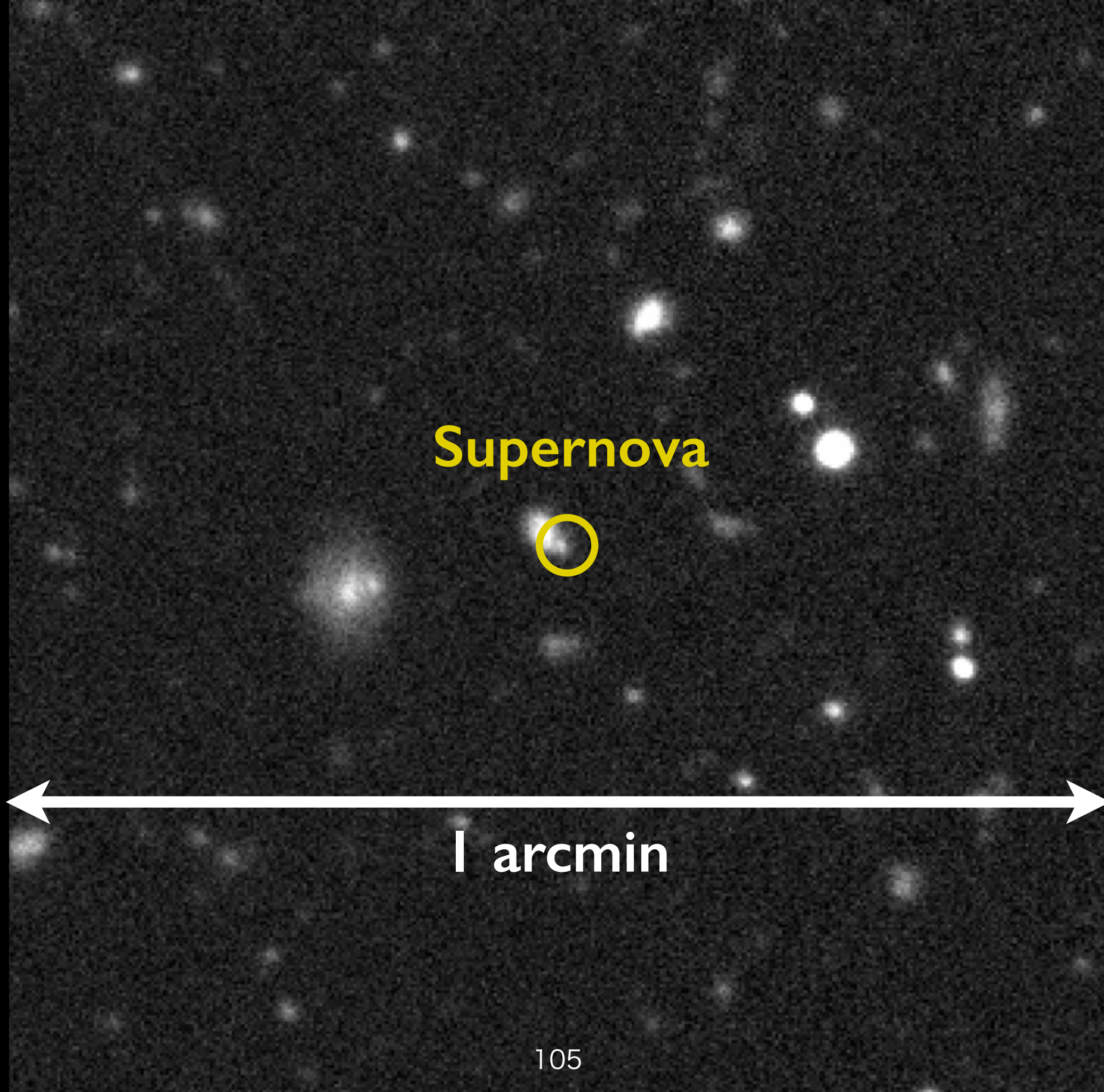
提供：
田中雅臣 氏



10 arcmin



3 arcmin



Supernova



1 arcmin

Before SN

*

提供：
田中雅臣 氏

After SN



提供：
田中雅臣 氏

Difference image

$z \sim 0.3$

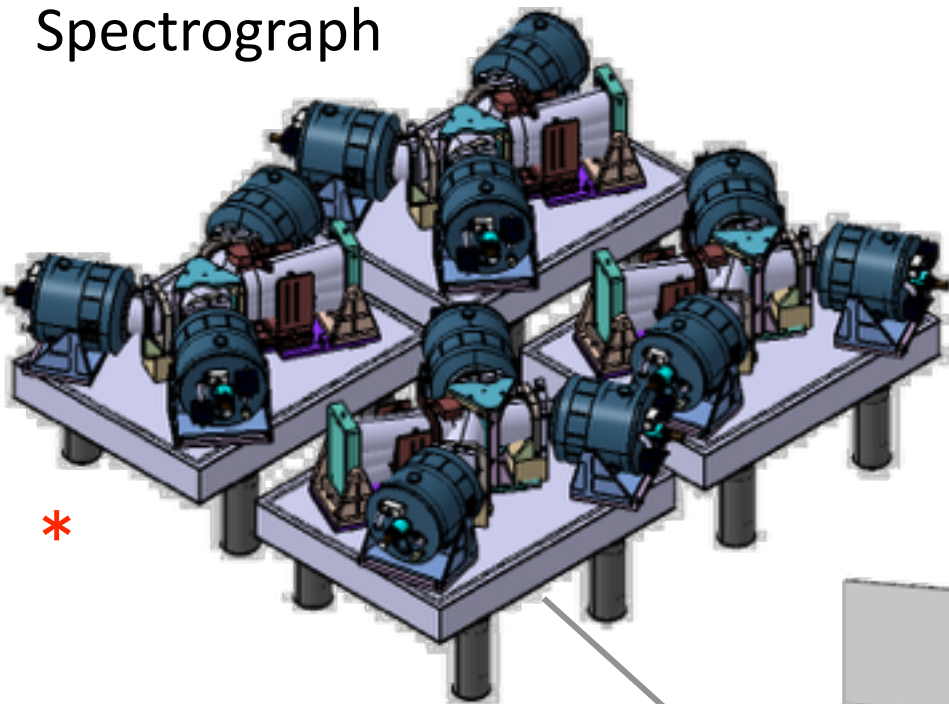
*

提供：
田中雅臣 氏

Prime Focus Spectrograph

Prime Focus Instrument

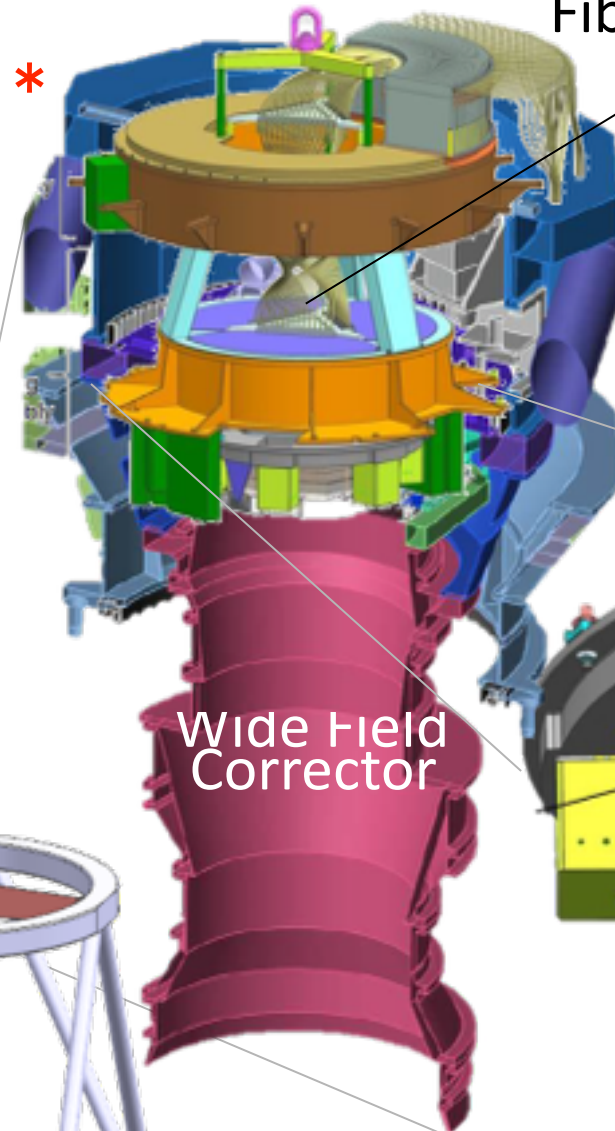
Spectrograph



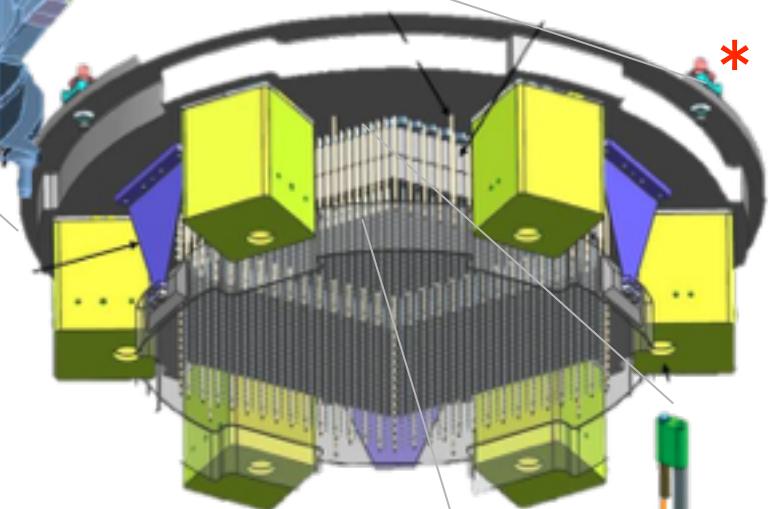
Metrology camera



Fiber Cable



Wide Field Corrector



Fiber Positioner
(from bottom)





第二回すみれ研究者会議 2012/1/8-9



* 動画提供：カブリ数物連携宇宙研究機構 / Studio LINDA



<http://sumire.ipmu.jp/pfs/intro.html>

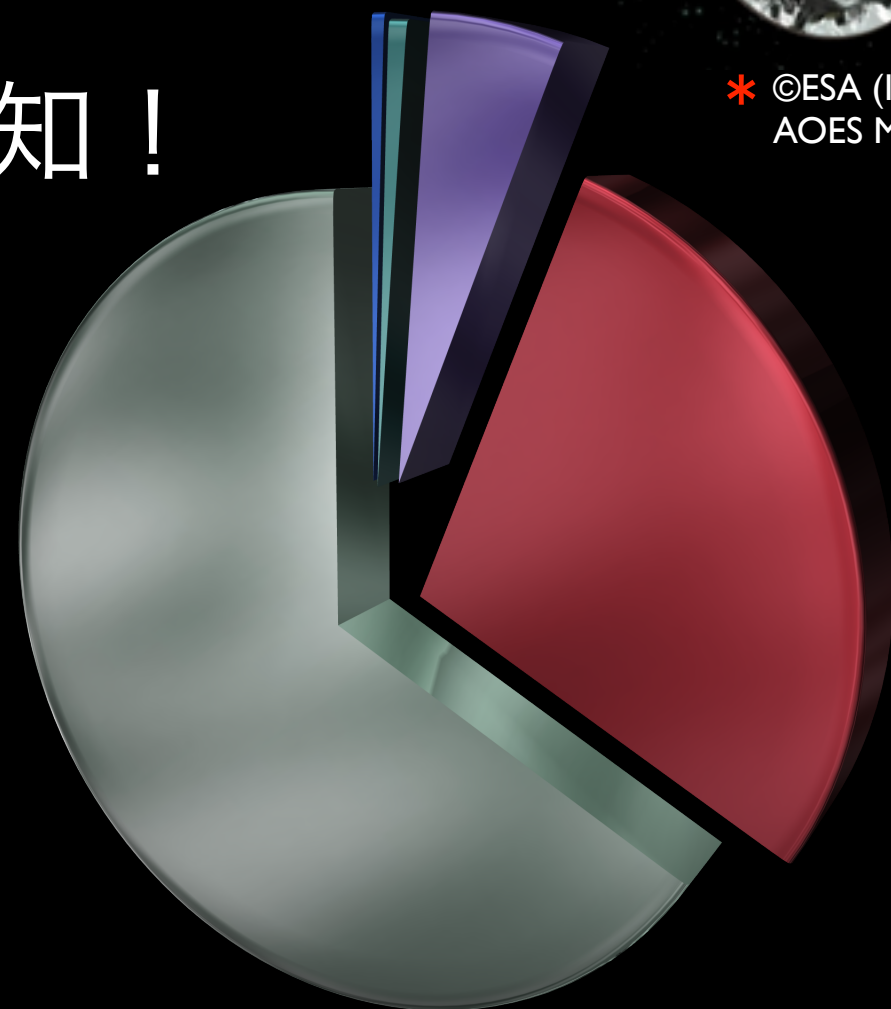
エネルギーの内訳

宇宙の95%は未知！



* ©ESA (Image by
AOES Medialab)

- 星と銀河はたったの ~0.5%
- ニュートリノ ~0.1–0.7%
- 普通の物質（原子） 4.9%
- 暗黒物質 27%
- 暗黒エネルギー 68%
- 反物質 0%



● 星
● ニュートリノ
● 原子
● 暗黒物質
● 暗黒エネルギー

