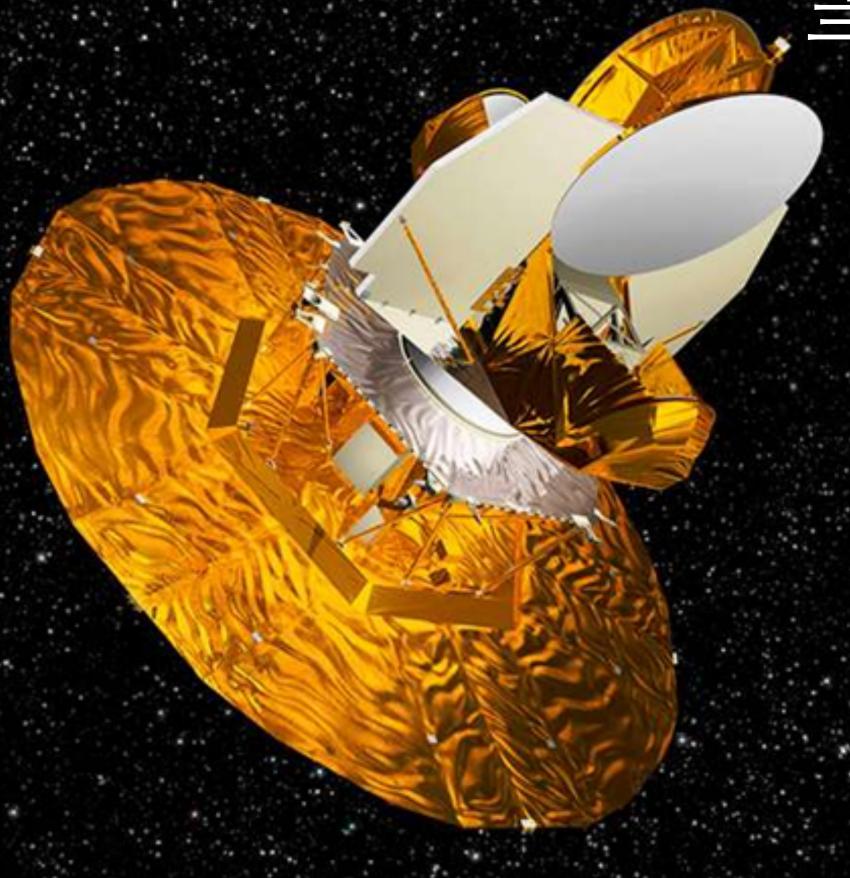
宇宙の始まり、そして終わり

2022年6月8日

聖光学院

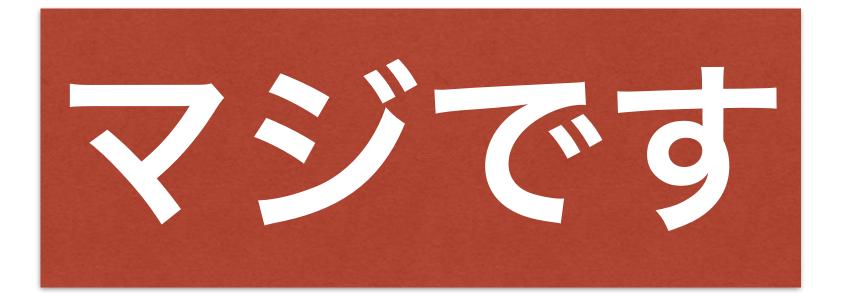


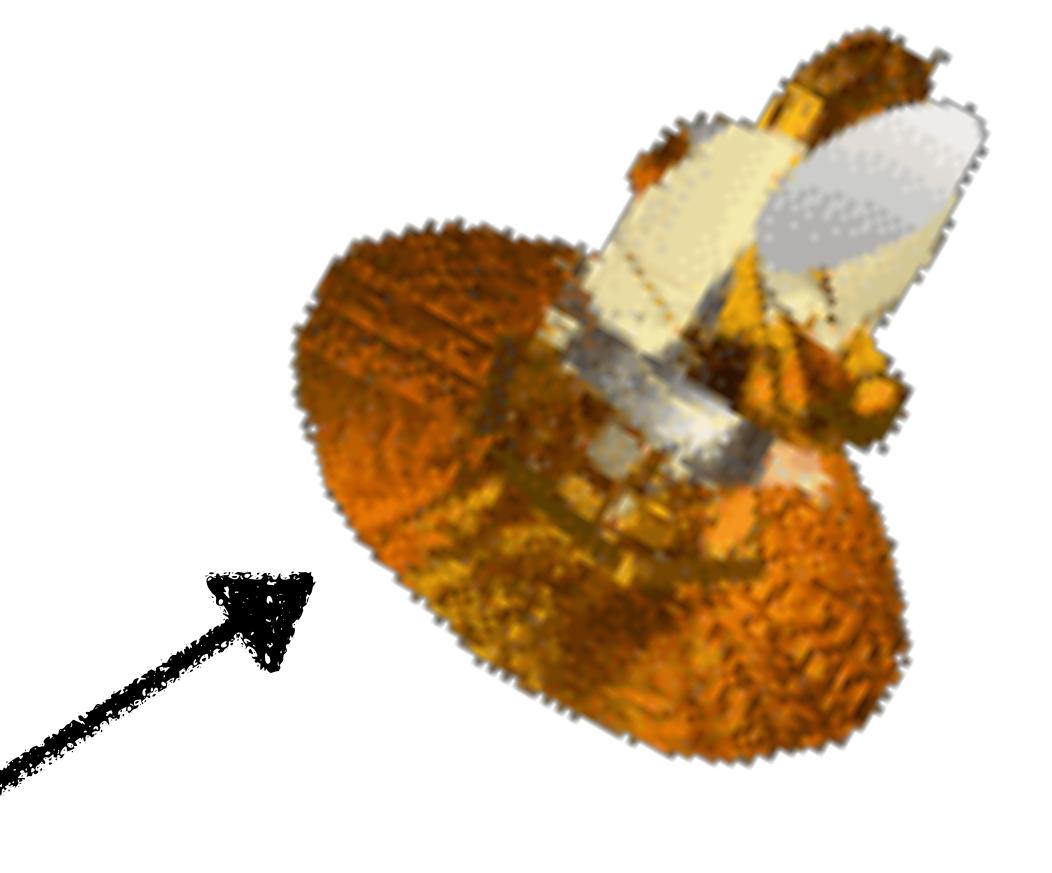
ドイツ マックス・プランク宇宙物理学研究所所長

小龙英:即



僕は、このNASAの宇宙望遠鏡「WMAP」を 使って、**宇宙の始まりの時期**を見てきました。 大事なんで最初に 言っときますが、





僕は、このNASAの宇宙望遠鏡「WMAP」を 使って、**宇宙の始まりの時期**を見てきました。

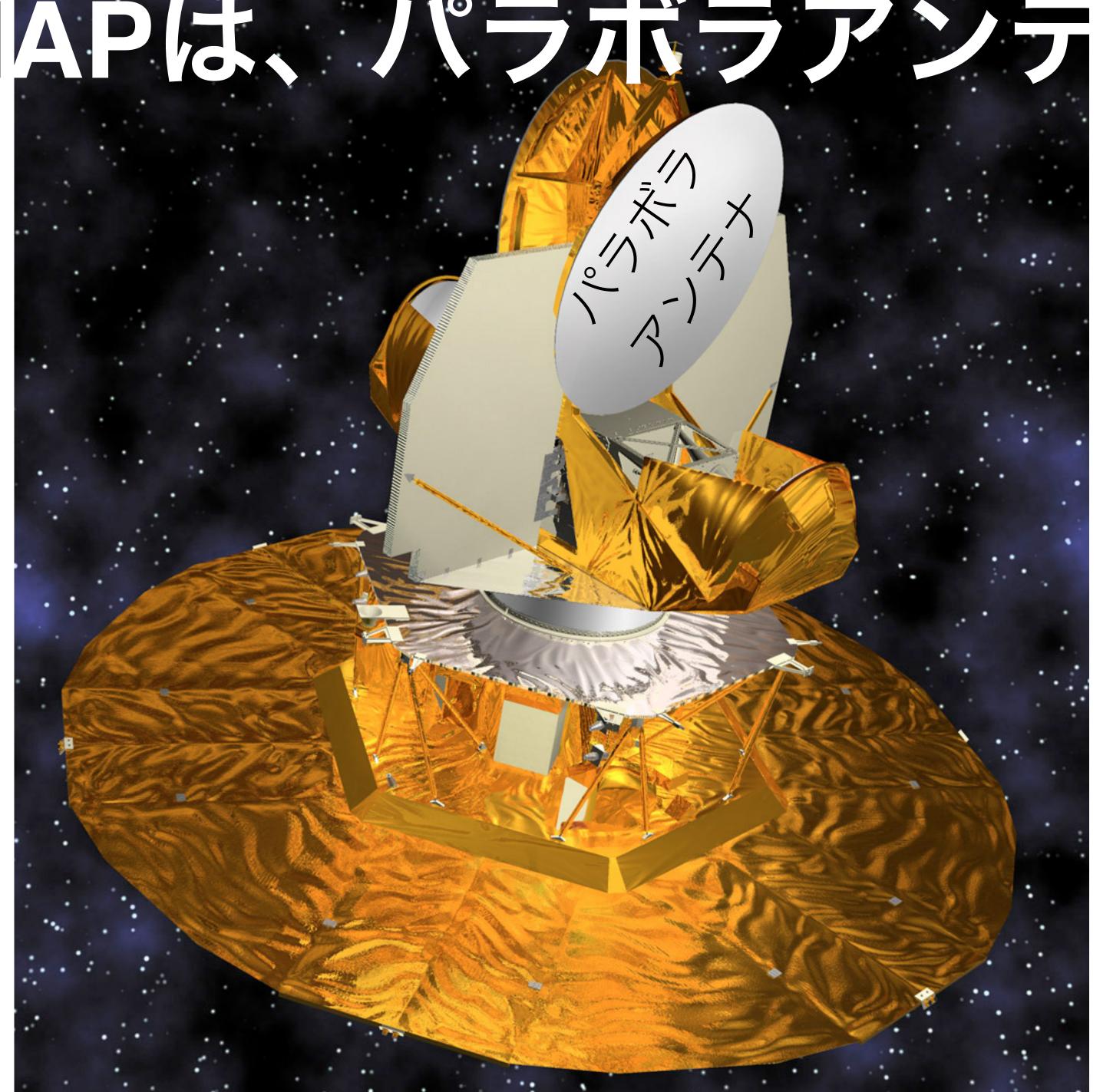
#### はあ?この人は、何を言っているの?

- …って、思った方も、いらっしゃるでしょう。
- ・今日の講演の一番の目的は、「宇宙の始まり、そして終わり」は、実験・観測・ 測定を伴った実証科学であり、そこに空想や妄想の入り混む余地はない。つまり、「宇宙の始まりをまるで見てきたかのように喋ったり、まことしやかに宇宙の将来を語る小松英一郎は、頭がおかしいのではなくて、どうやら本当のことを言っているらしい。」と、納得してもらうことです。
- 過去100年以上に渡って人類が積み上げてきた、確固とした観測データ(エビデンス)に基づいた知見です。でっち上げではないですよ! さあ、準備は良いですか?

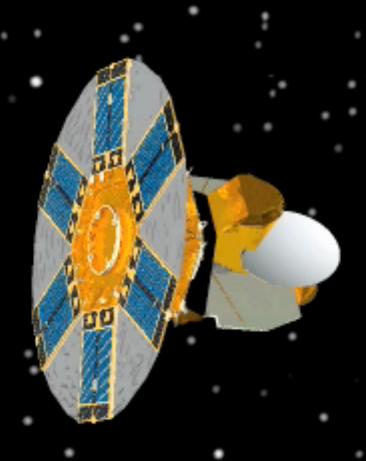
#### そうは言っても

- 内容は、きっと、難しいです。無理に理解しようとしないでください。
  - 本当に理解したければ、天文学者になりましょう。
- ありがちな感想:
  - 難しかったけど、面白かった。
- 正しい感想:
  - ・何これ、天文学者すげえええ!

WMAPは、パラボラアンラナ







#### WMAPは地球を離れる

# WMAPIJE

#### WMAPは、月までの距離の4倍にある 「ラグランジュ点」を回る



#### 地球から1500000キロ

#### 本日の予定

- 宇宙の始まり、そして終わり(40分)
  - WMAPから得られた、僕たちの研究成果をお見せします。
- なぜ、天文学を研究するのか? (20分)
  - 天文学の研究は、より広くは基礎科学の研究は、生活の役に立つのか?
- 質疑応答 (25分)
- ラスト・メッセージ(5分)
  - こんな時代だからこそ。

#### 宇宙の始まり:灼熱の火の玉宇宙

## 138億年前:灼熱でプラズマ状態の宇宙 不透明な宇宙から、 冷えて晴れ上がった宇宙へ

不透明な宇宙から、 冷えて晴れ上がった宇宙へ

#### 2つの疑問

#### 今回の講演から学んでほしい二つのポイント

- 灼熱の宇宙を満たしていた光はどこへ行ったのか?
  - 今でも宇宙を満たしている!

- ・ 宇宙の構造の起源は何か?
  - 私たちの研究成果によって、かなりわかってきた。決定的な証拠までは、 あと一息。

#### 火の玉宇宙

時間

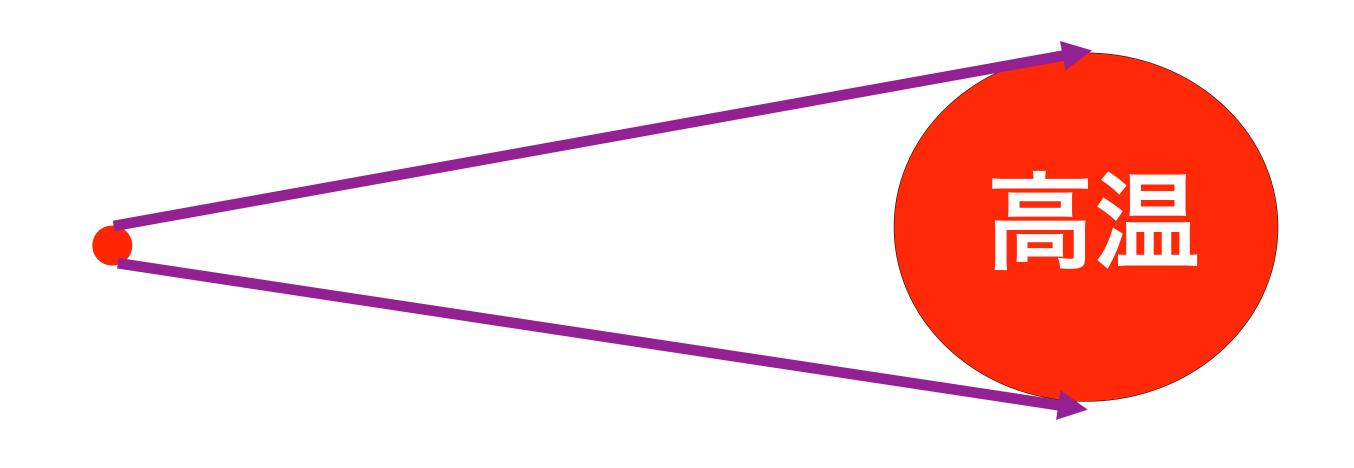
見ることのできる範囲 (光が届く範囲)

上門

#### 火の玉宇宙

時間

#### 宇宙膨張ー空間の広がり



空間

#### 火の玉宇宙

時間

宇宙膨張で冷える

高温

冷えて 今の宇宙に

空間

#### 驚愕の事実

- 灼熱の宇宙を満たしていた光は消え去ることなく、今も宇宙を満たしている。
  - 今、この瞬間も、あふれんばかりの当時の光が地球に降り注いでいる! こうし
- ・ 光の粒(光子)を数えてみると、角砂糖一個分の大きさ(1立方センチメートル)に、灼熱宇宙の頃の光子が410個もある。
  - 今は、空気中には新型コロナウィルスがうようよしているように見えるかも しれませんが、私たちはいつも、灼熱の宇宙を満たしていた光に囲まれてい るのです。









#### 上坂浩光監督の全天周ドーム映画

#### HORIZON

宇宙の果てにあるもの

登場人物は人間、他はCGで、音楽も全てオリジナル







2:27 / 2:51





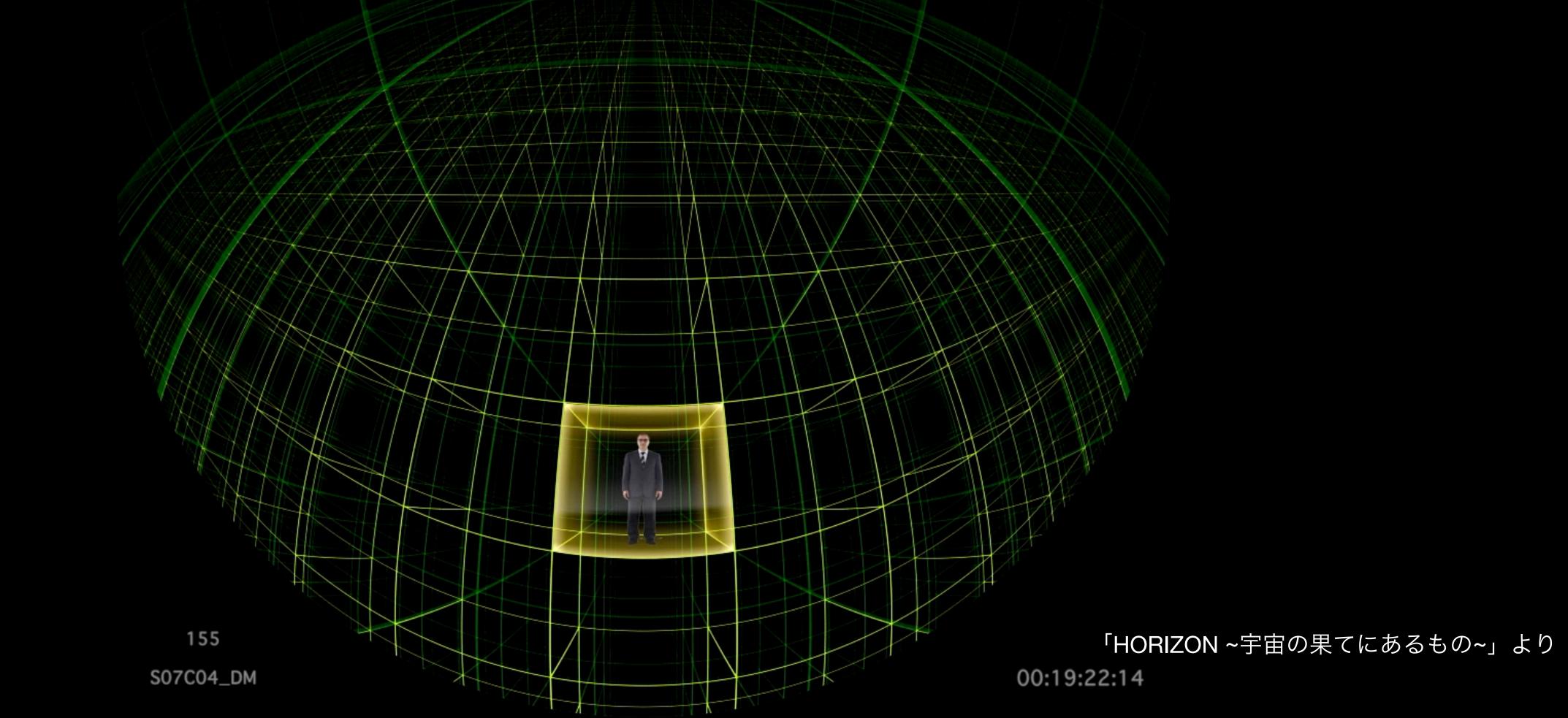






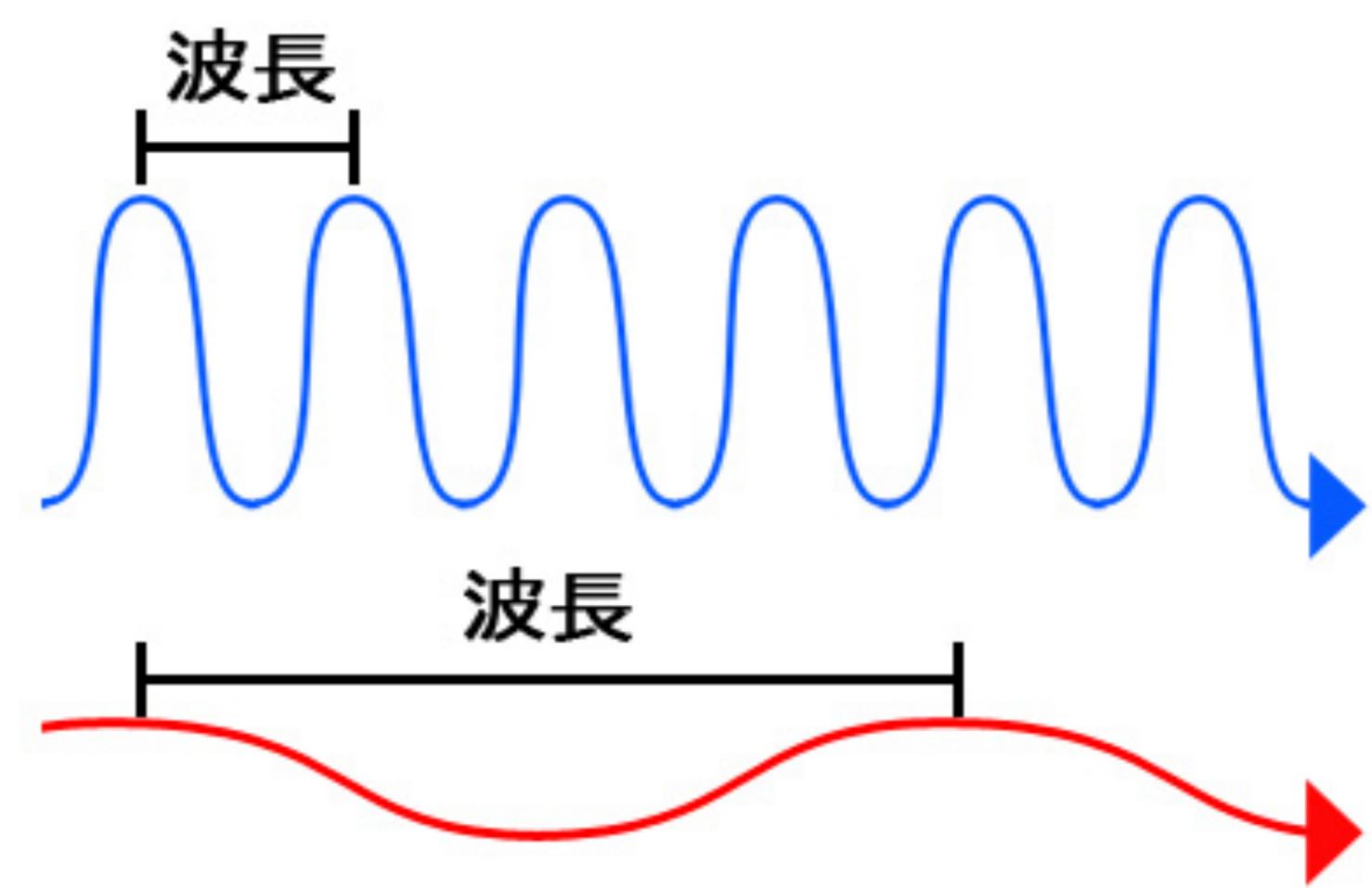


#### 私たちが今見ている灼熱宇宙の光は、 どこから来たのか?



#### 光の種類と波長

- ・目で見える光は...
  - かしこうせん
  - 可視光線
  - ・波長が短い
- ・ 電波は...
  - ・波長が長い



• 目では見えないので、専用の測定装置を使う

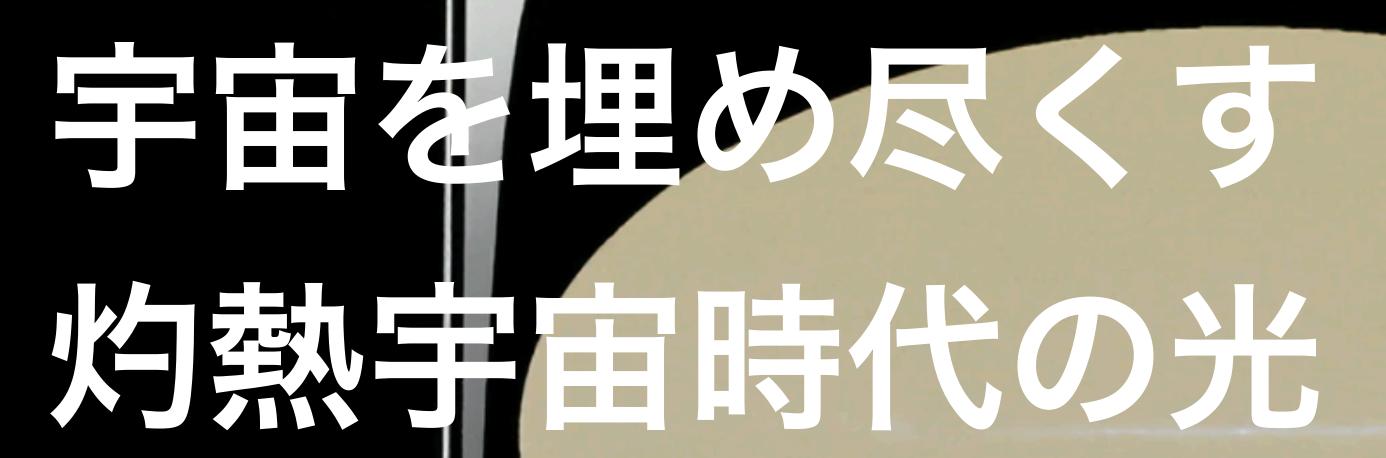


異なる波長で見た空:可視光 -> 近赤外線 -> 遠赤外線 -> サブミリ波 -> マイクロ波

### 宇宙を埋め尽くすり熱宇宙時代の光

手由又一ク口波背景放射

異なる波長で見た空:可視光 -> 近赤外線 -> 遠赤外線 -> サブミリ波 -> マイクロ波





本格的な教科書がある。

一大研究分野です。





宇宙之行沙背景放射

Cosmic Microwave Background Radiation

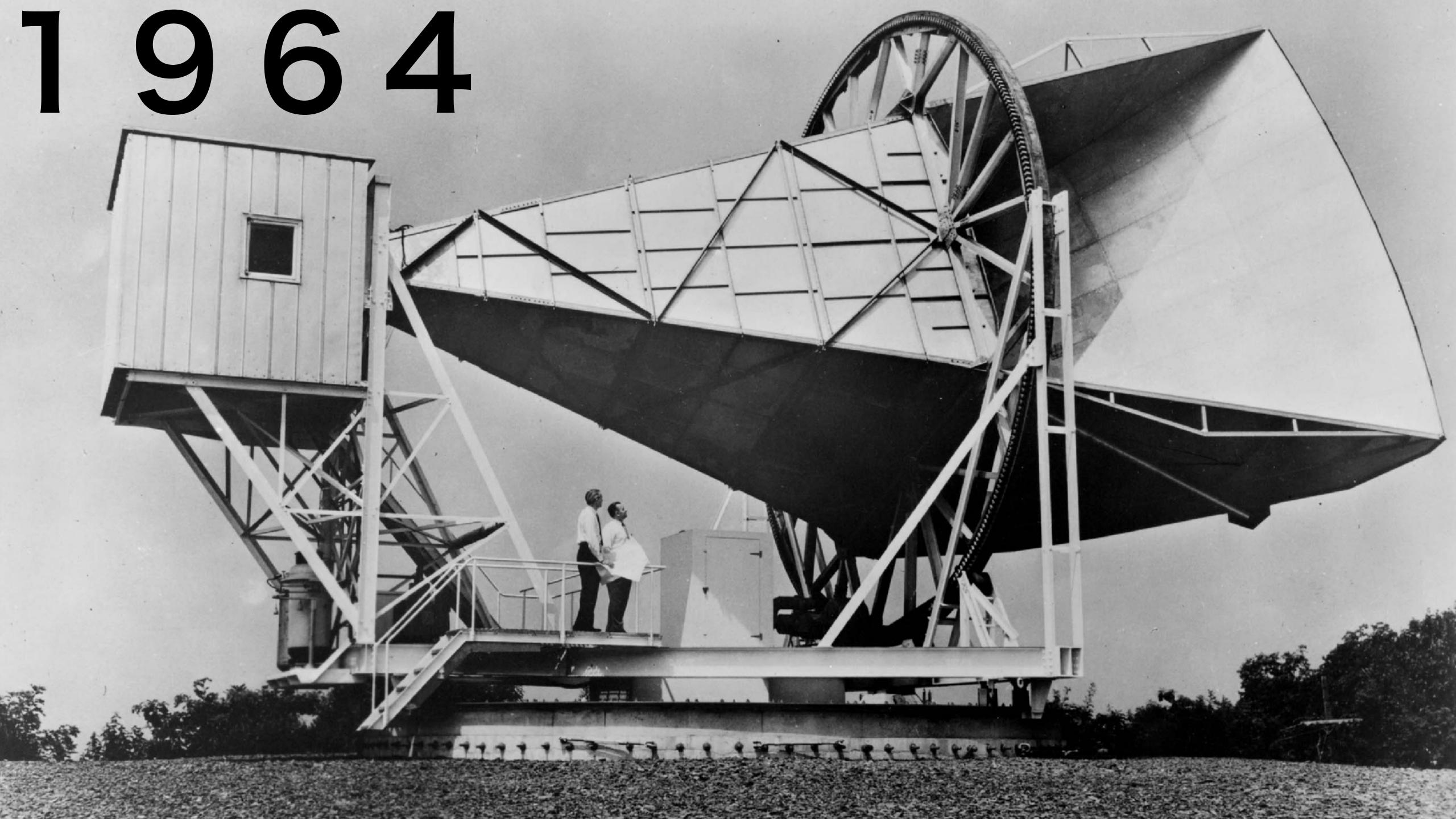
小松英一郎 Komatau Filishico

#### かつて、宇宙は灼熱の火の玉であった

現代宇宙論の柱である宇宙マイクロ波背景放射研究のトップランナーによる本書を読破すれば、この一冊だけで、世界の最先端に追いつける! [第5回配本] 日本評論社



たとえば、テレビの雑音のうち、1%は 灼熱宇宙の光! <sup>27</sup>





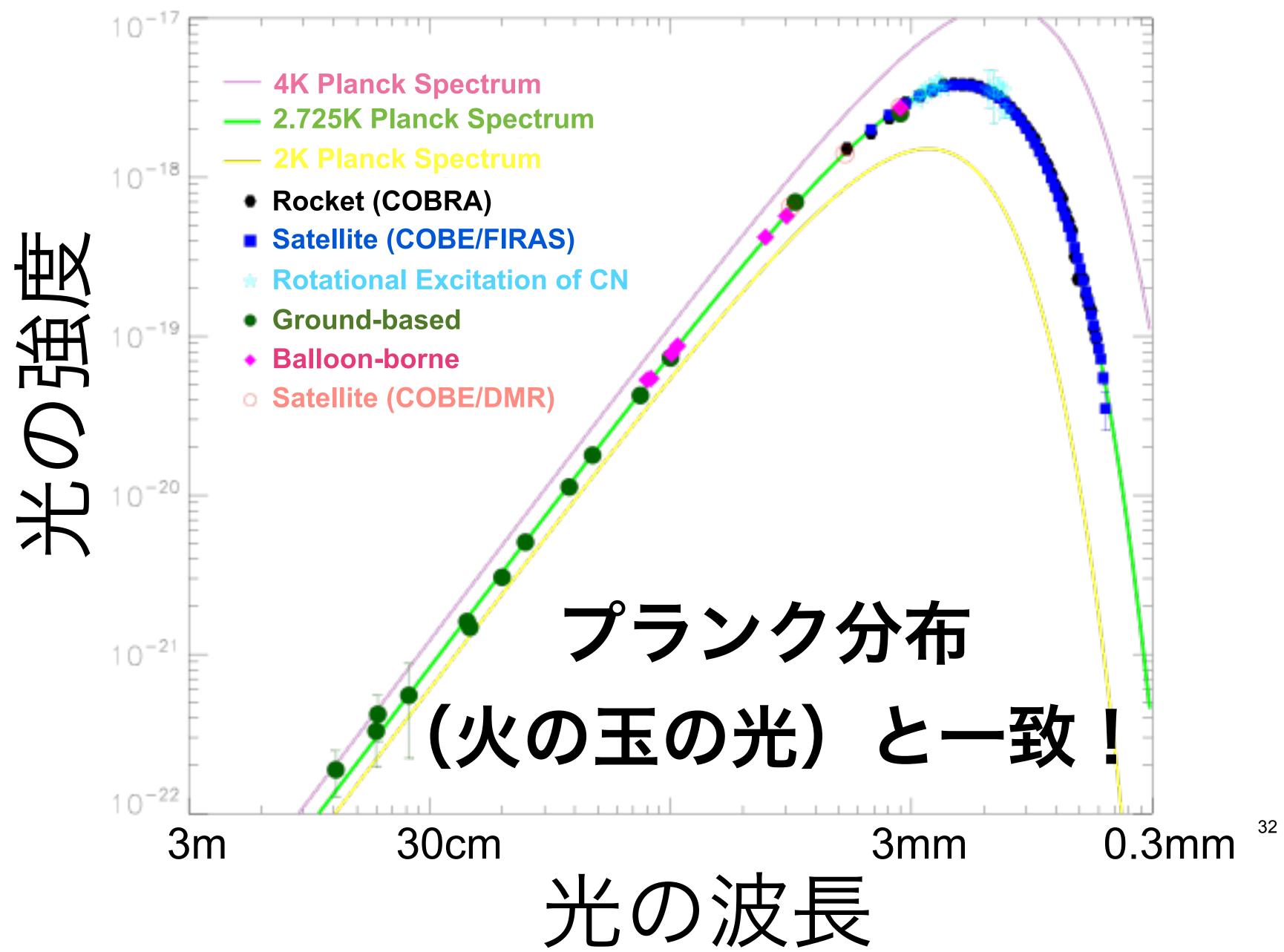


ミュンへンは ペンジアスの 故郷。

自分の装置を ドイツ博物館 に寄贈した。



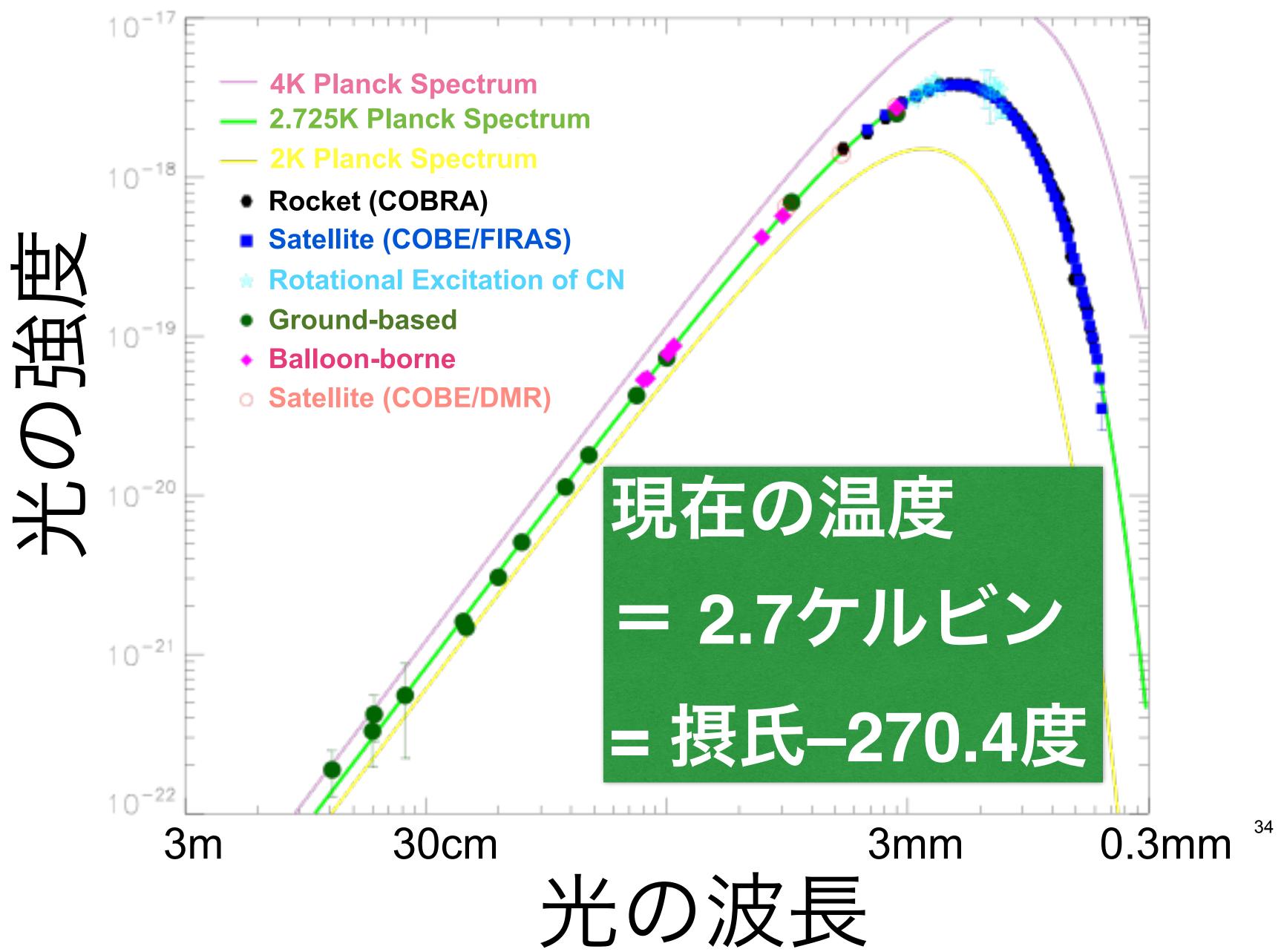
#### 宇宙マイクロ波背景放射のスペクトルの測定データ



#### 宇宙マイクロ波背景放射のスペクトルの測定データ **4K Planck Spectrum** 2.725K Planck Spectrum **2K Planck Spectrum** Rocket (COBRA) Satellite (COBE/FIRAS) 強厥 Rotational Excitation of CN Ground-based **Balloon-borne** Satellite (COBE/DMR) c: 光の速度 光の強度= V = C / 波長「プランクの公式」 温度 h: プランク定数 3mm 0.3mm 30cm 3m

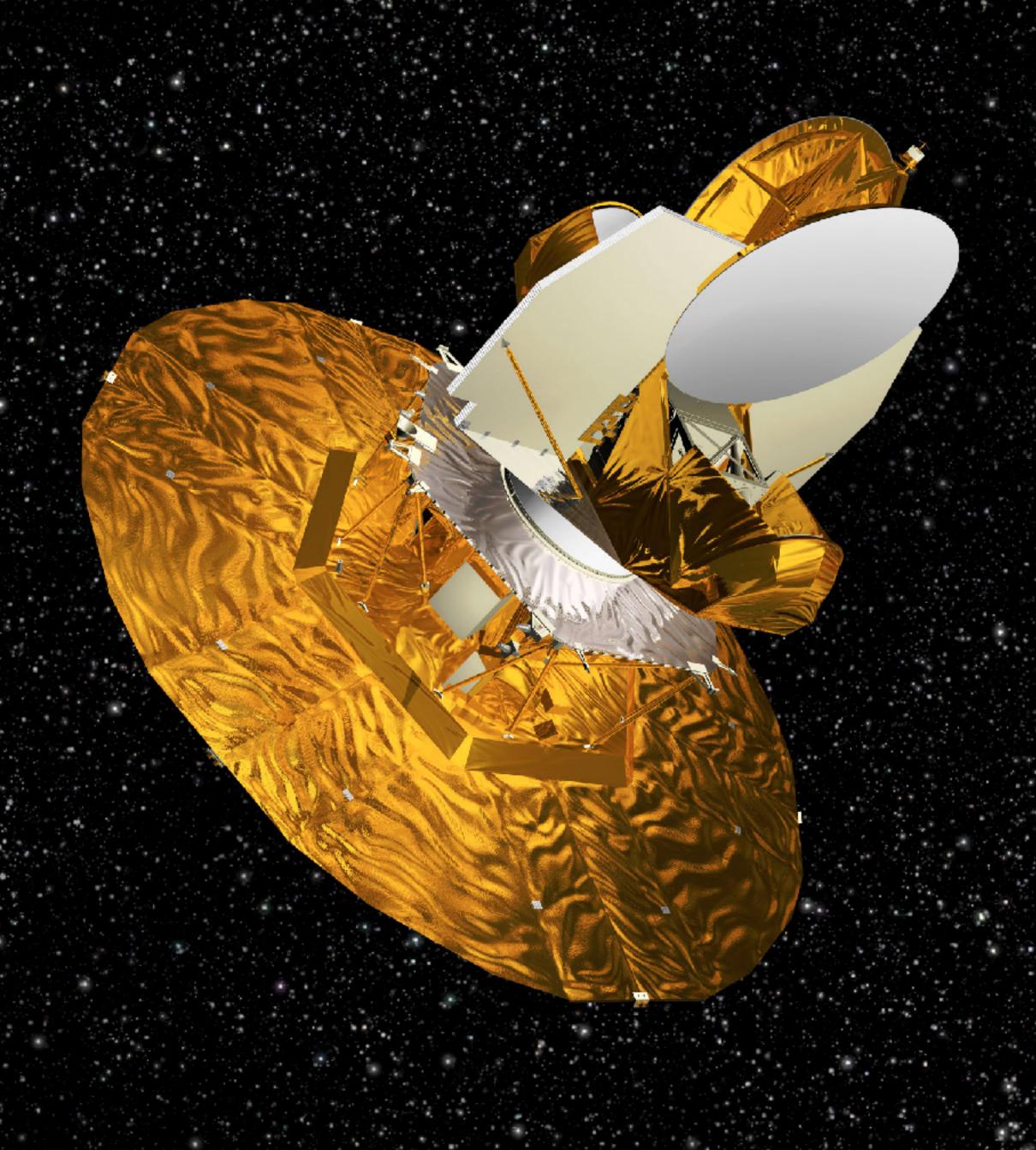
光の波長

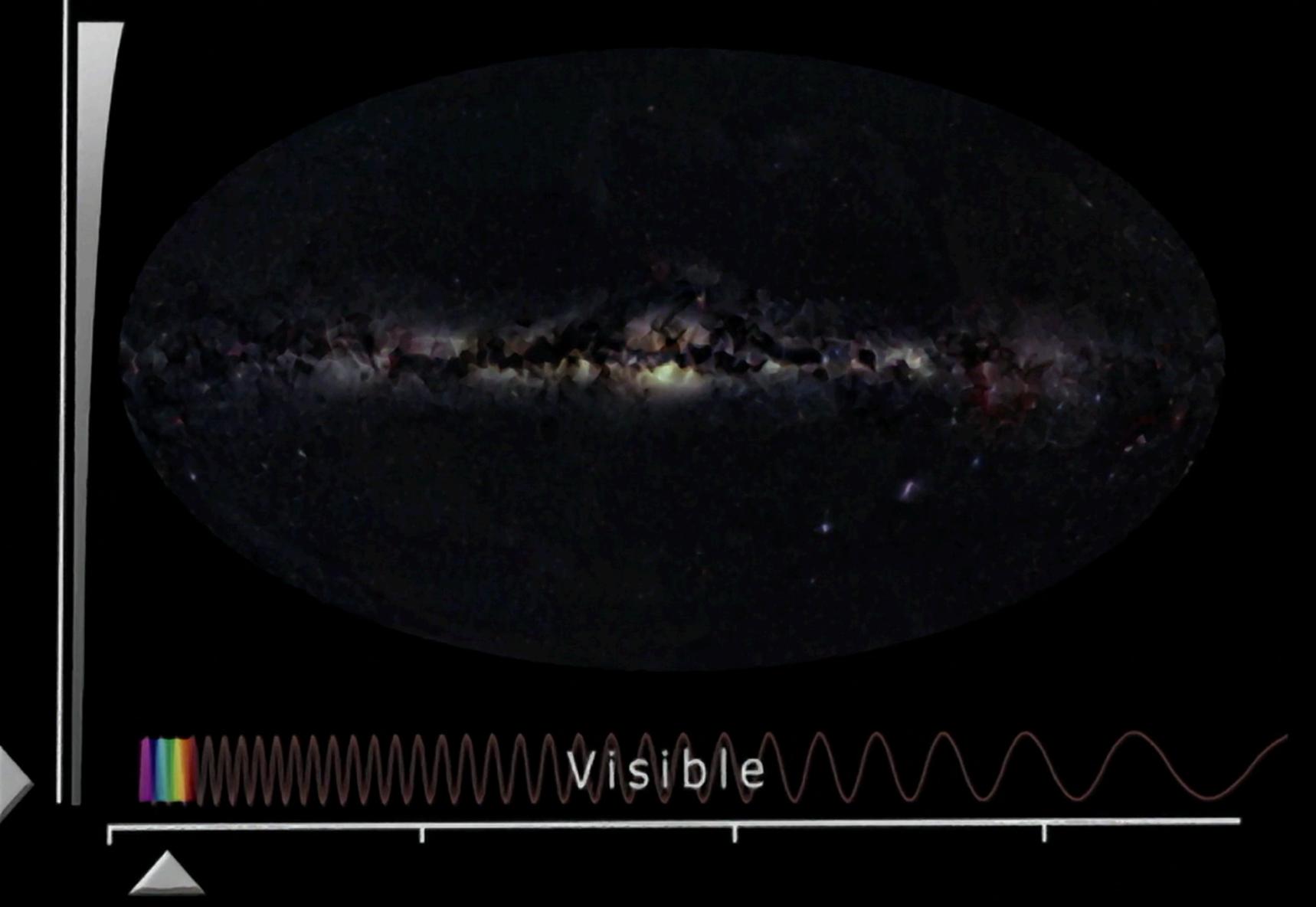
#### 宇宙マイクロ波背景放射のスペクトルの測定データ



#### 2001 ダブリュ・マップ MAAP



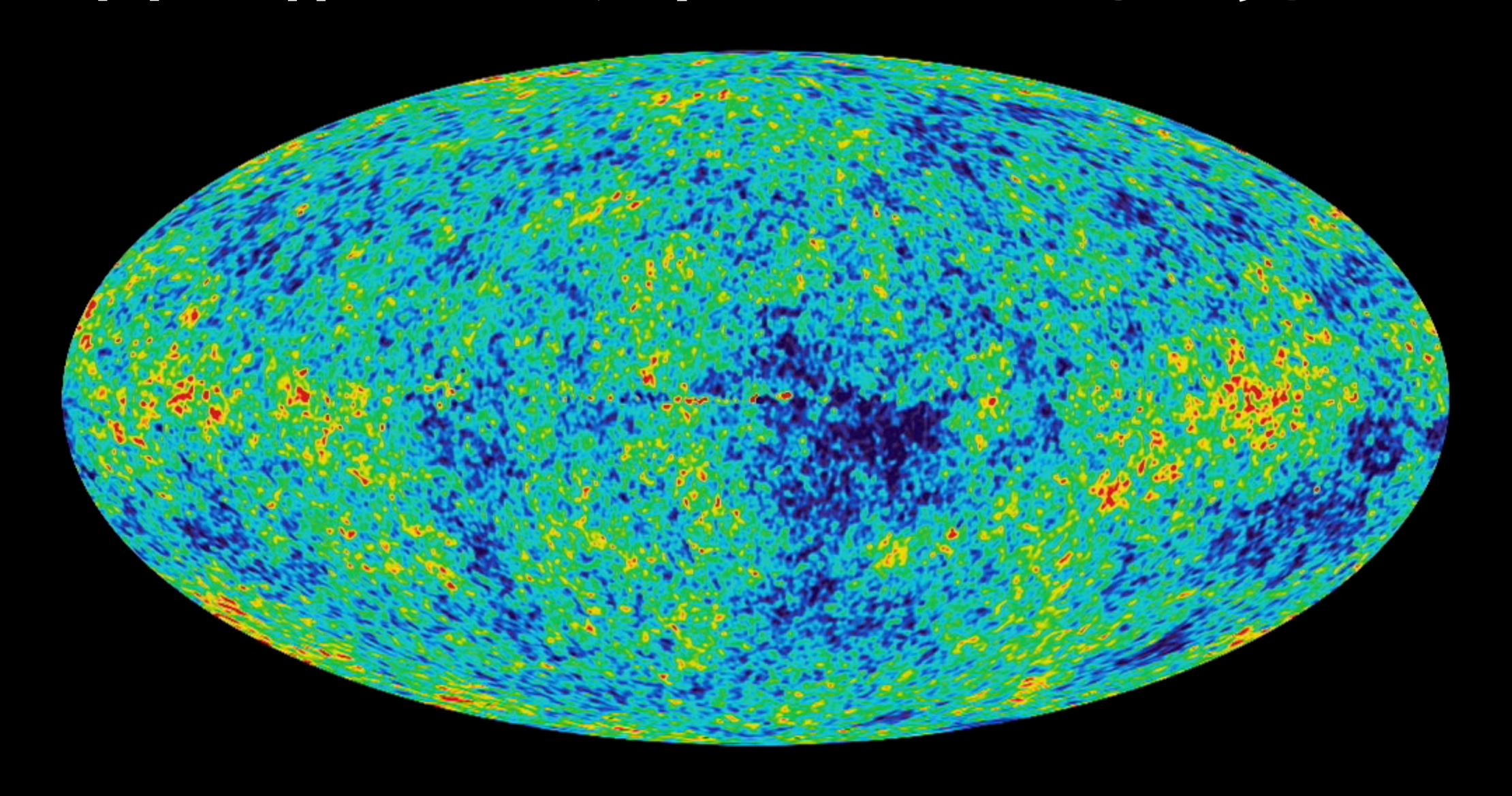




測定データのコントラストを上げて、わずかな温度の変化を捉える



# 宇宙の始まりに、私たちの起源が見えた



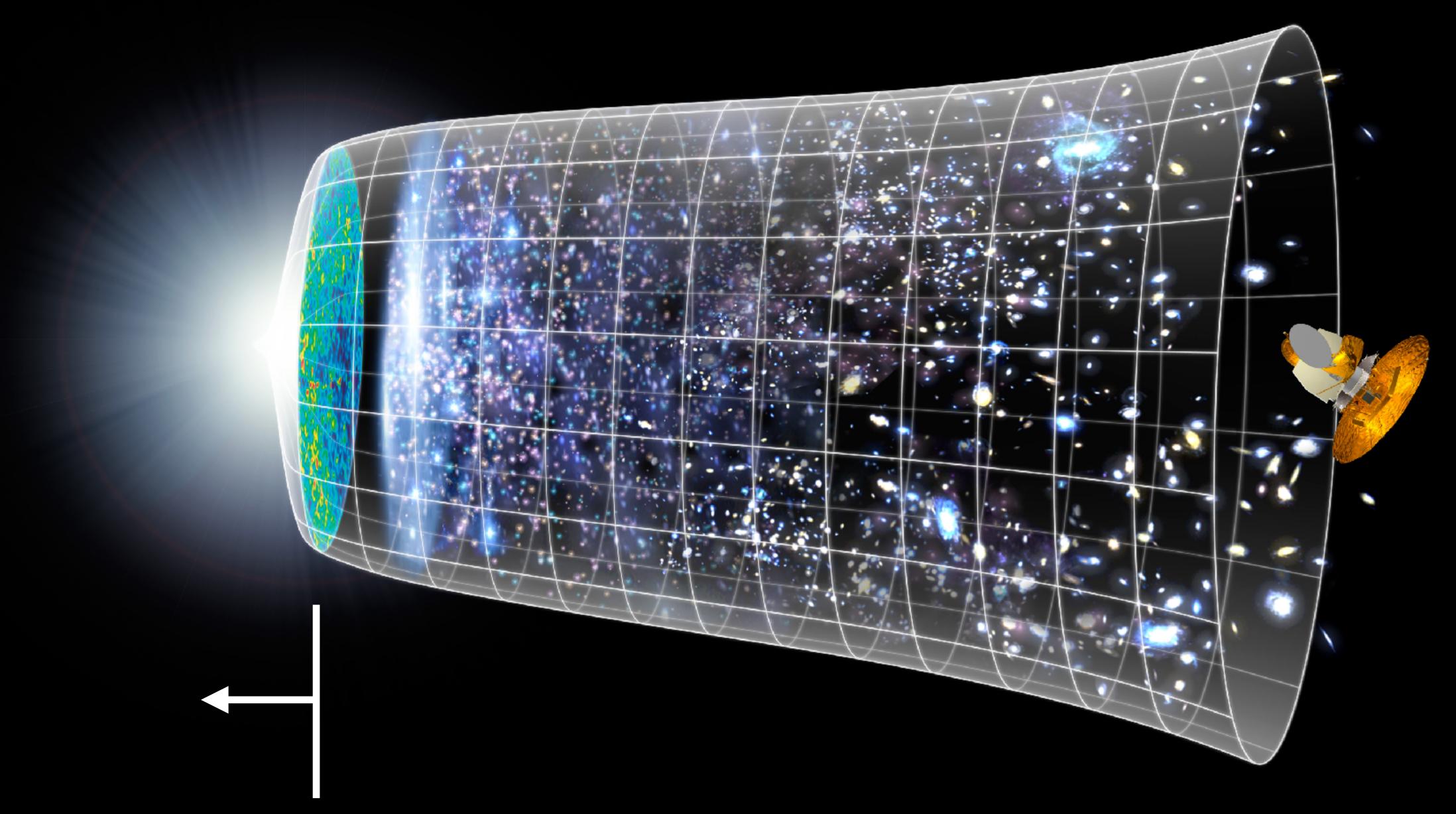
# 私たちの起源

・WMAPが教えてくれたこと。 それは、銀河、星、惑星、 そして私たちの起源は、宇宙 の始まりの時期に、すでに 刻印されていたこと。

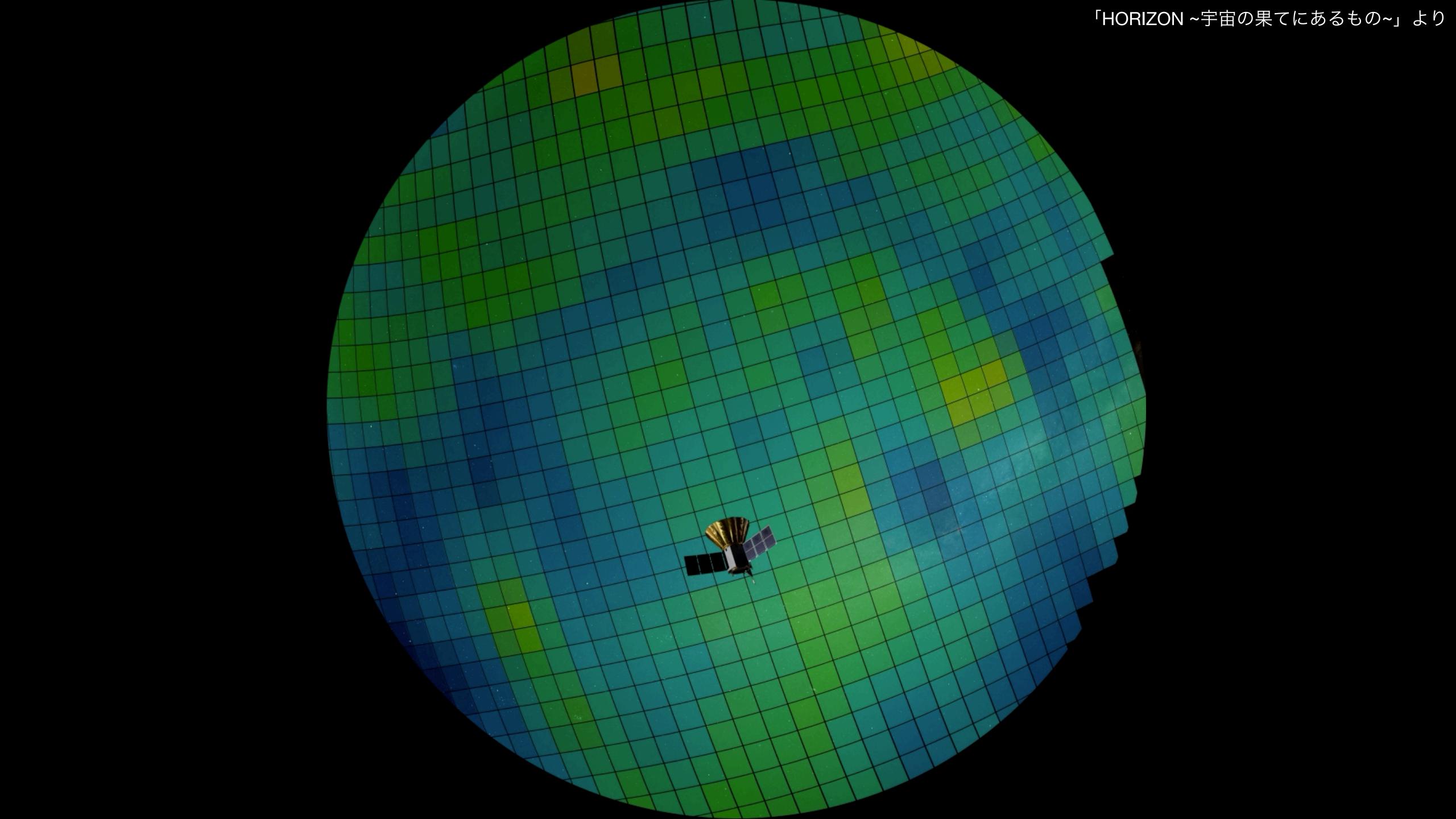
# その他の主な研究成果

・宇宙の年齢は、138億歳。

・宇宙空間には、何がどれくらい 詰まっているかを測定した。



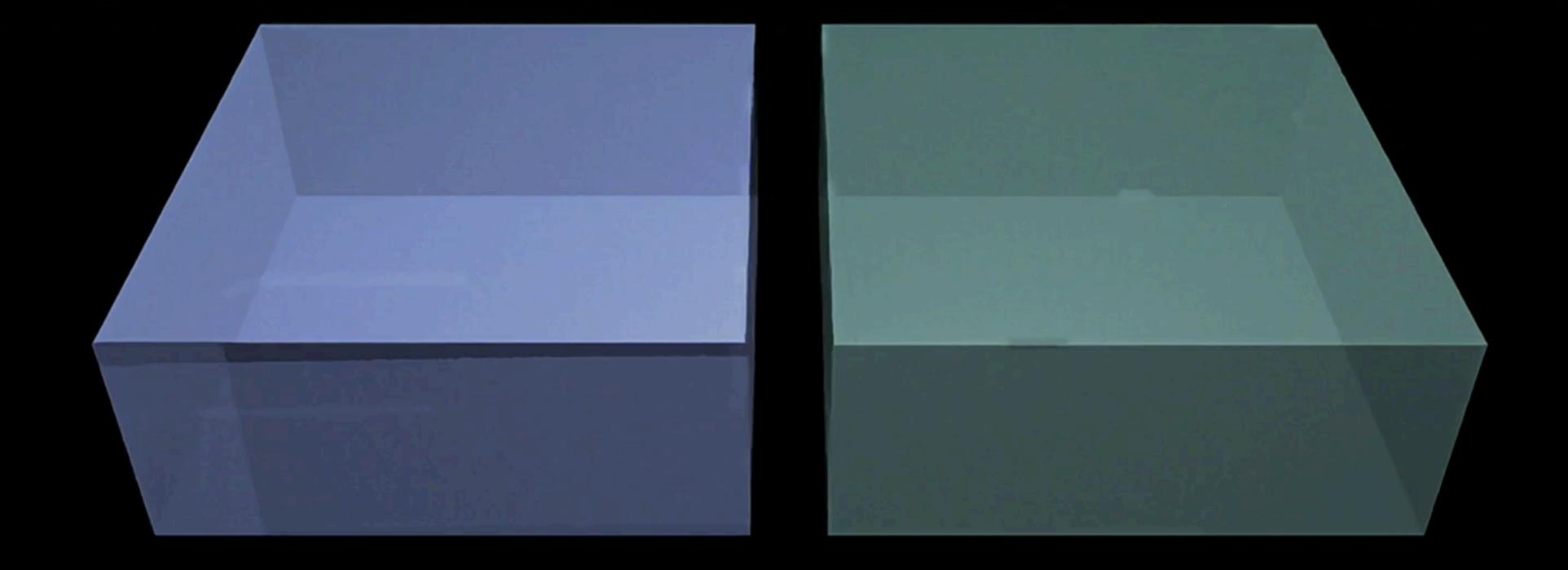
この先は、どうやって見れば良いのか?

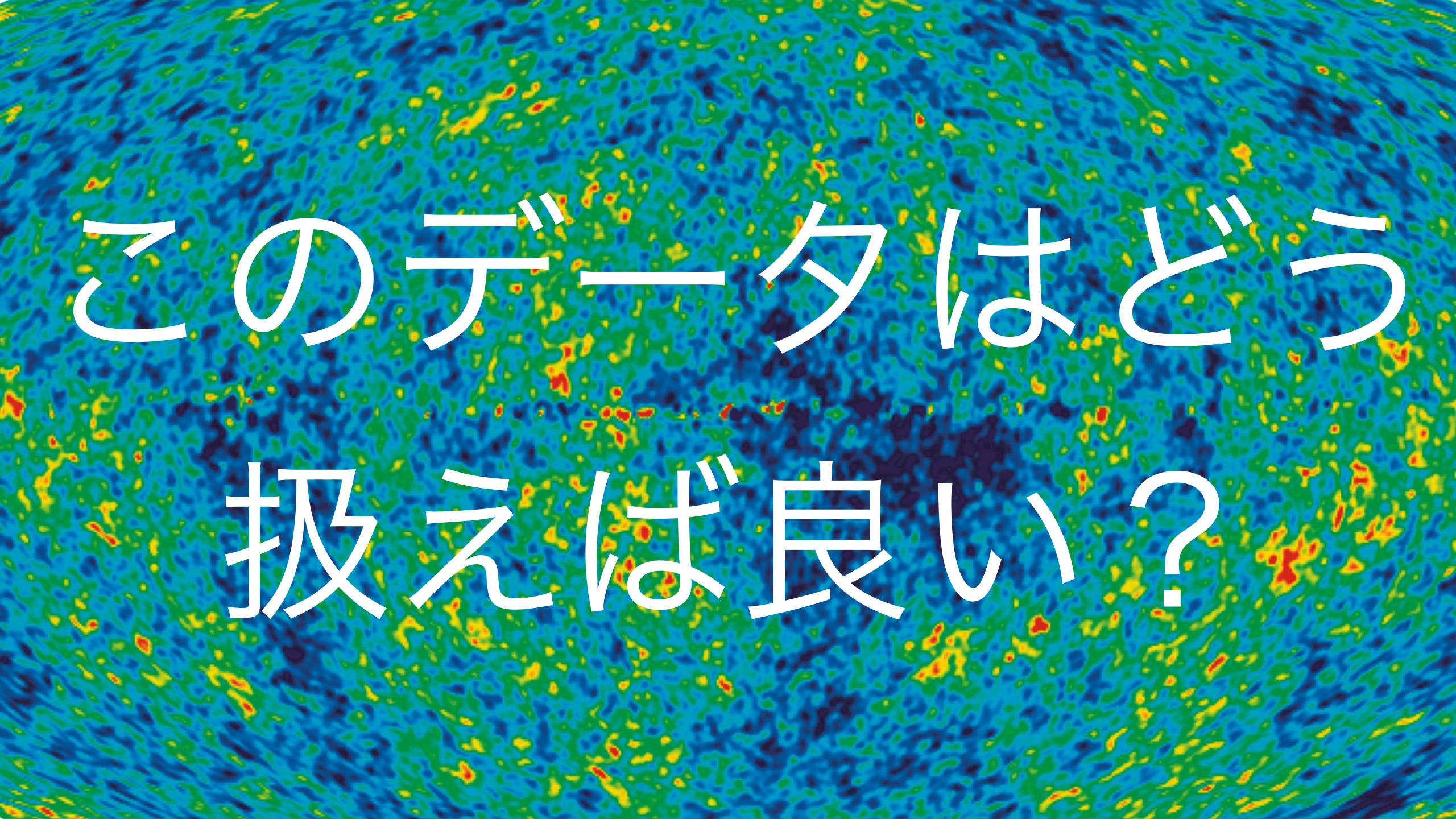




# 宇宙味噌汁

- 宇宙が3000K以上の高温状態にあるとき、宇宙空間の物質はプラズマ状態(電離状態)にあり、それはまるで、味噌汁のように振る舞う。
- 味噌汁に、お豆腐を投げ入れたり、味噌の濃さを変 えてみたりしてみよう。
- そして、味噌汁にたつさざ波を観測する姿を想像してみよう。

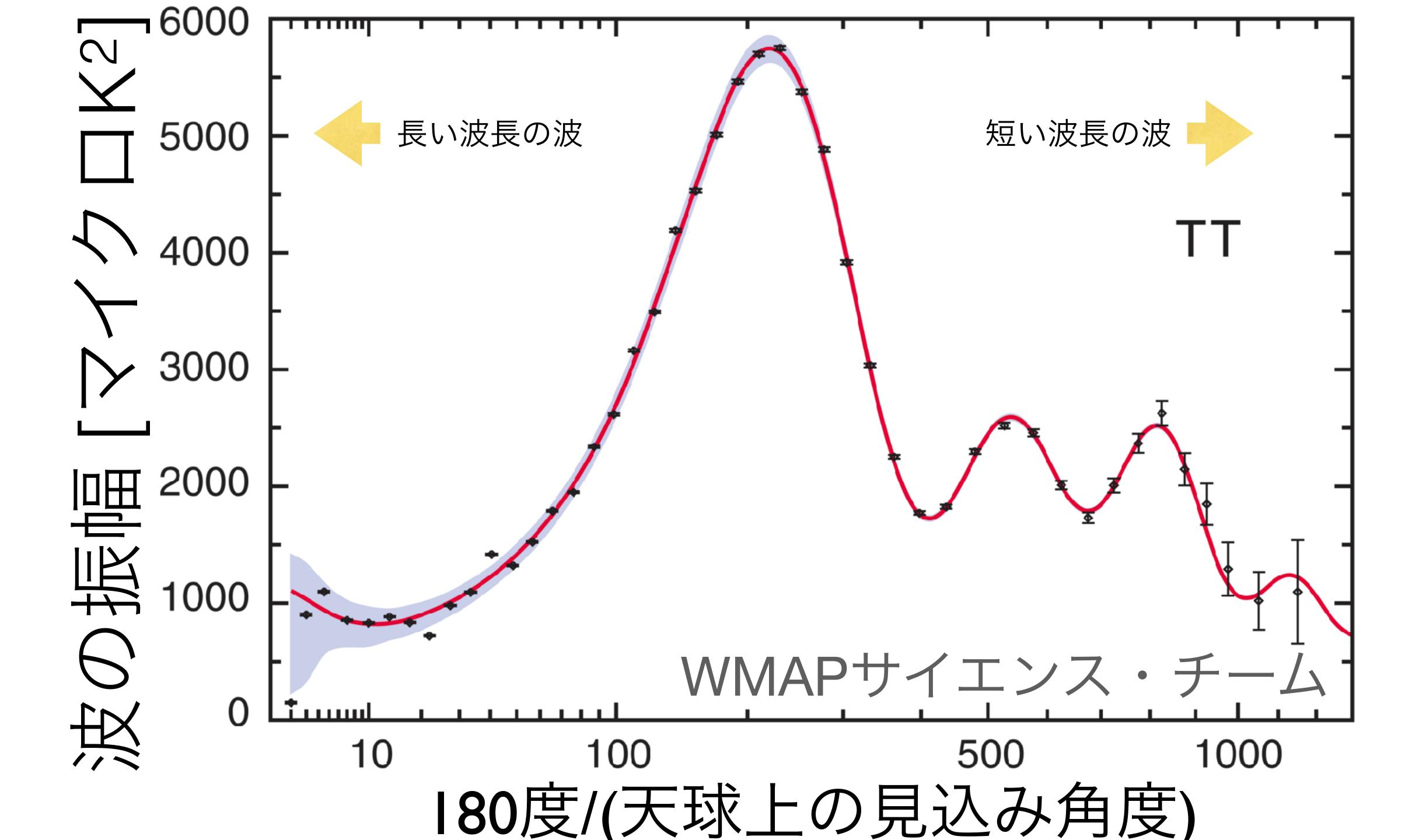




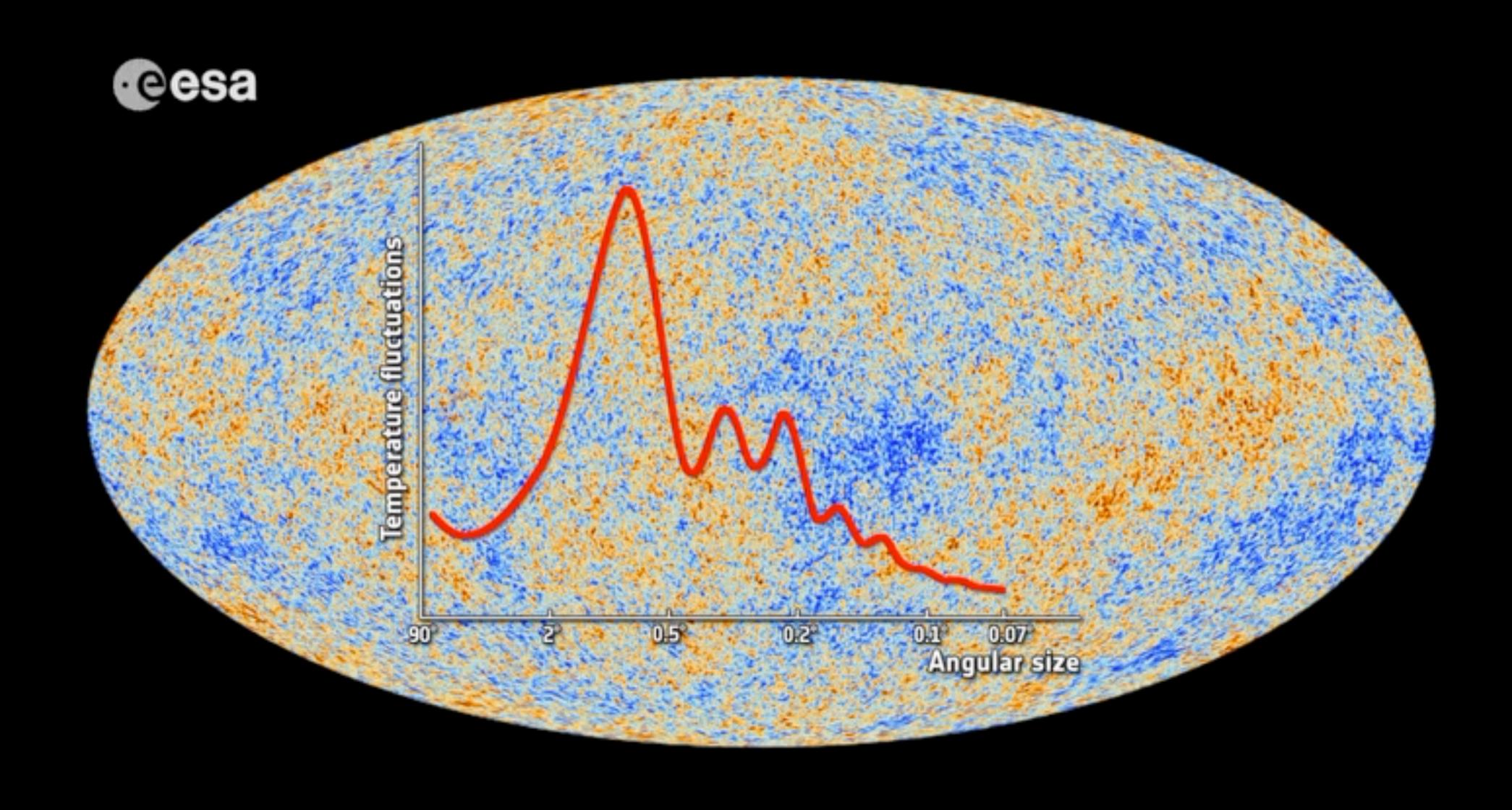
# 一夕解析

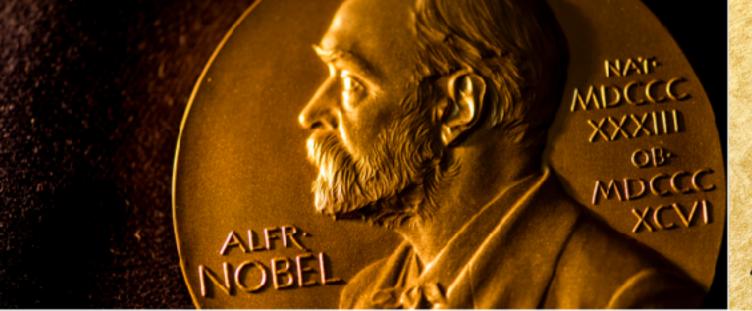
・天球の場所ごとの温度の違い を、様々な波長を持つ波に分 解して、

それぞれの波長の振幅を図に してみます。



### データ解析:温度の分布を波に分解する





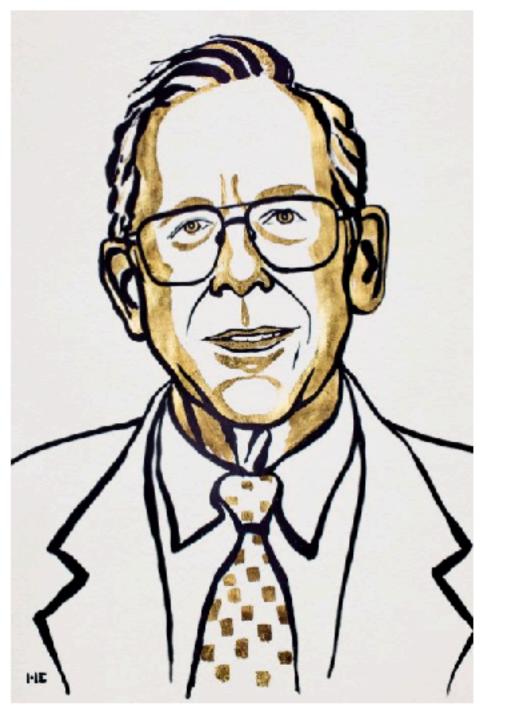
The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the 2019 Nobel Prize in Physics to

#### JAMES PEEBLES

"for theoretical discoveries in physical cosmology"

## 灼熱の宇宙を伝わる音波 の存在は、理論的に予言 されていた(1970年)

# James Peebles (ジェームズ・ピーブルズ) Facts



James Peebles
The Nobel Prize in Physics 2019

Born: 1935, Winnipeg, Canada

Affiliation at the time of the award: I Princeton, NJ, USA

Prize motivation: "for theoretical dis cosmology."

Prize share: 1/2

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 162:815-836, December 1970 © 1970 The University of Chicago All rights reserved Printed in U S.A.

PRIMEVAL ADIABATIC PERTURBATION IN AN EXPANDING UNIVERSE\*

P. J. E. PEEBLES†

Joseph Henry Laboratories, Princeton University

AND

J. T. Yu‡

Goddard Institute for Space Studies, NASA, New York
Received 1970 January 5; revised 1970 April 1

III. Niklas Elmedhed. © Nobel

Media. https://www.nobelprize.org



Astrophysics and Space Science 7 (1970) 3–19. All Rights Reserved Copyright © 1970 by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland

#### SMALL-SCALE FLUCTUATIONS OF RELIC RADIATION\*

#### R. A. SUNYAEV and YA. B. ZELDOVICH

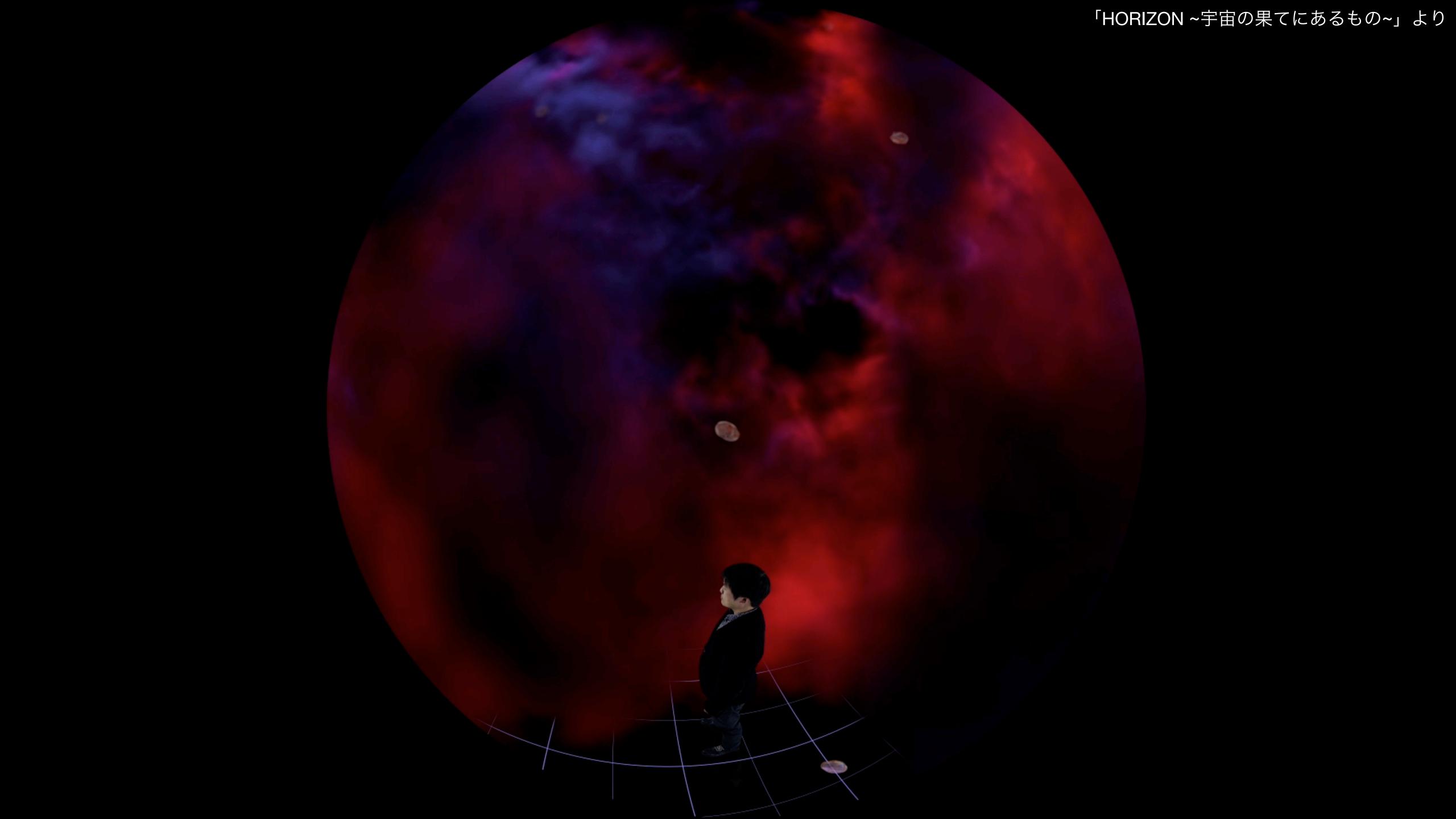
Institute of Applied Mathematics, Academy of Sciences of the U.S.S.R., Moscow, U.S.S.R.

(Received 11 September, 1969)

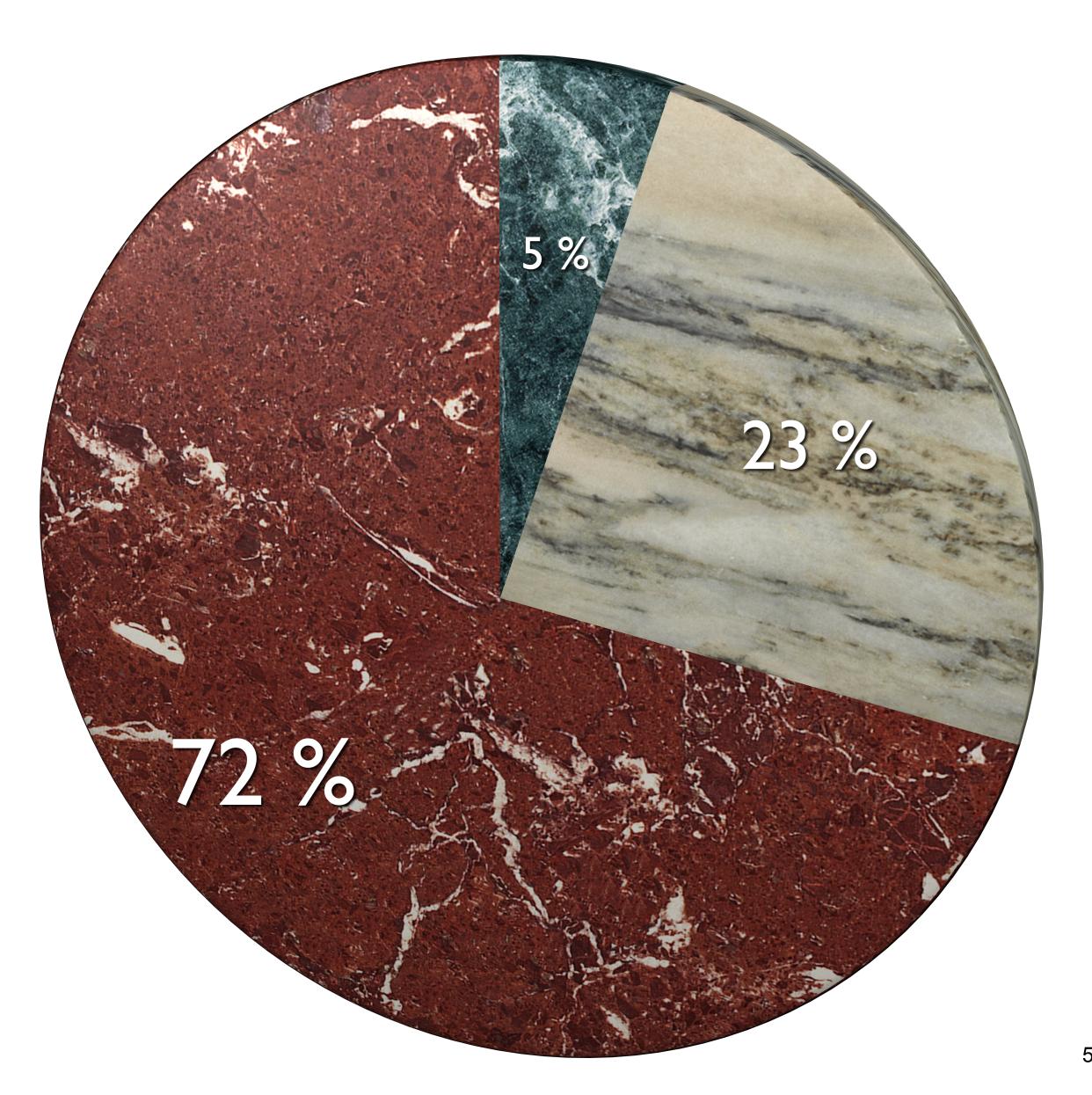


# 灼熱の宇宙を伝わる音波 の存在は、理論的に予言 されていた (1970年)





#### 宇宙の組成表

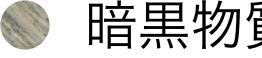


- ・WMAPにより、宇宙の 組成が決められた。
  - ・結果、我々は、宇宙の 組成の95%を理解でき ていない事を知ってし まった.

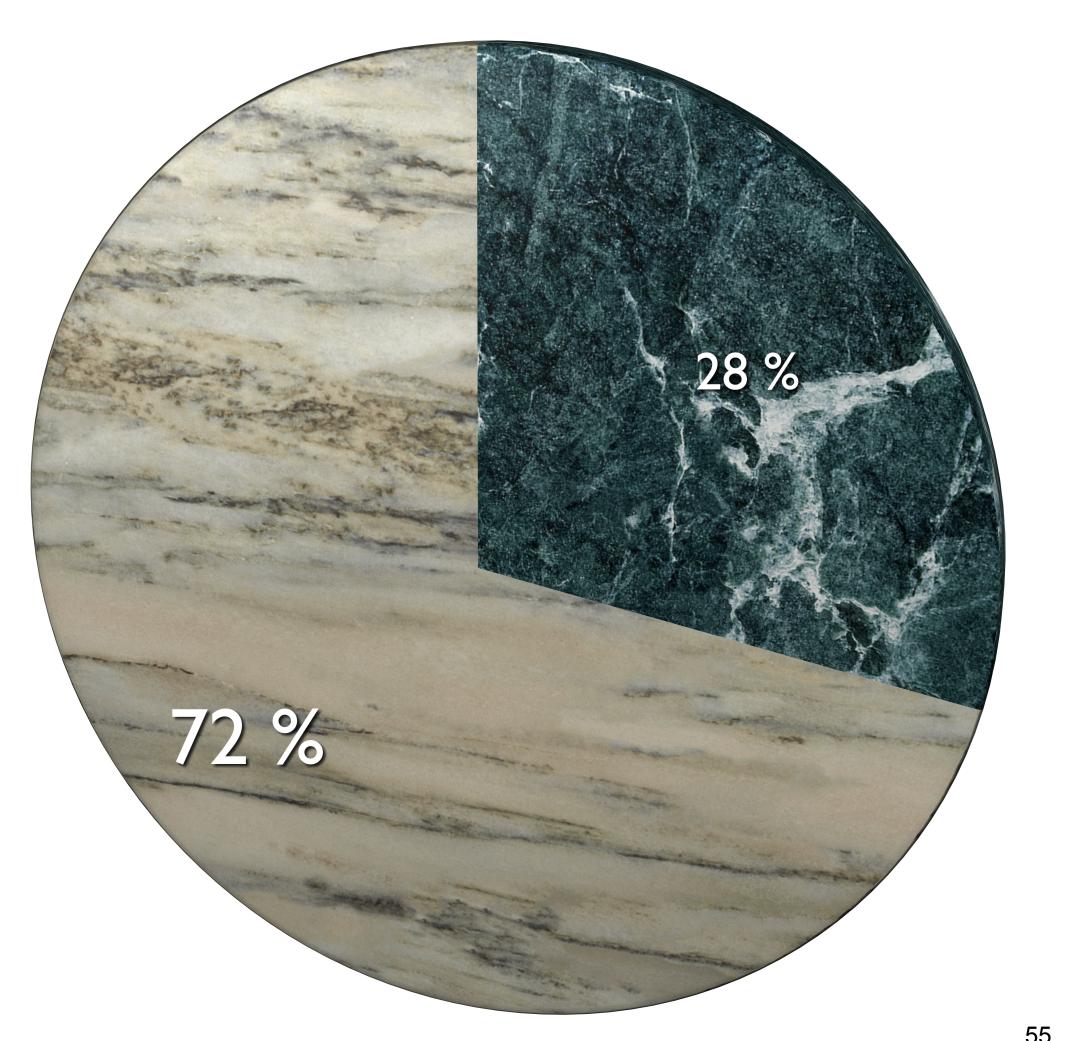


 54
 水素とヘリウム
 暗黒物質

 6
 暗黒エネルギー



# 宇宙の組成



現在の宇宙の組成の7割は、 物質ですらない 不可思議なエネルギーで 満ちている!





物質・ボルギー・

### 物質と宇宙膨張

・物質のない、空っぽの宇宙はどのように膨張する?

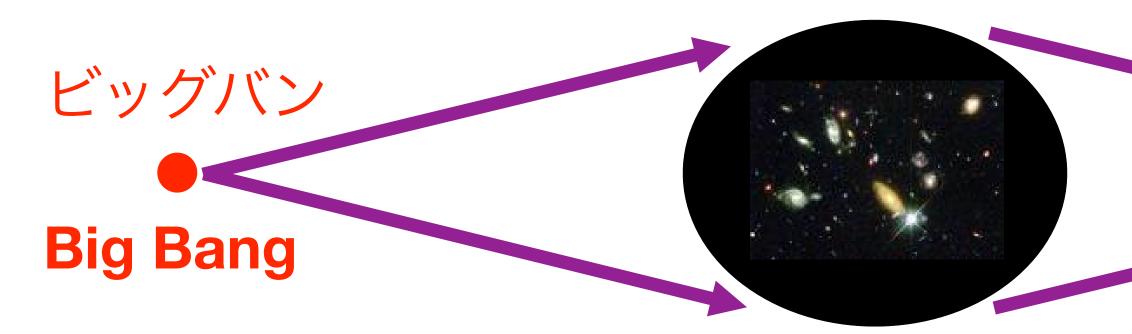
-答:膨らむ速さが一定のまま膨張する。

・物質のある宇宙はどのように膨張する?

-答:物質の重力に引っ張られ、速さはだんだん遅くなる。

•物質のありすぎる宇宙は、いずれつぶれてしまう。

-火の玉宇宙に逆戻り!



ビッグクランチ

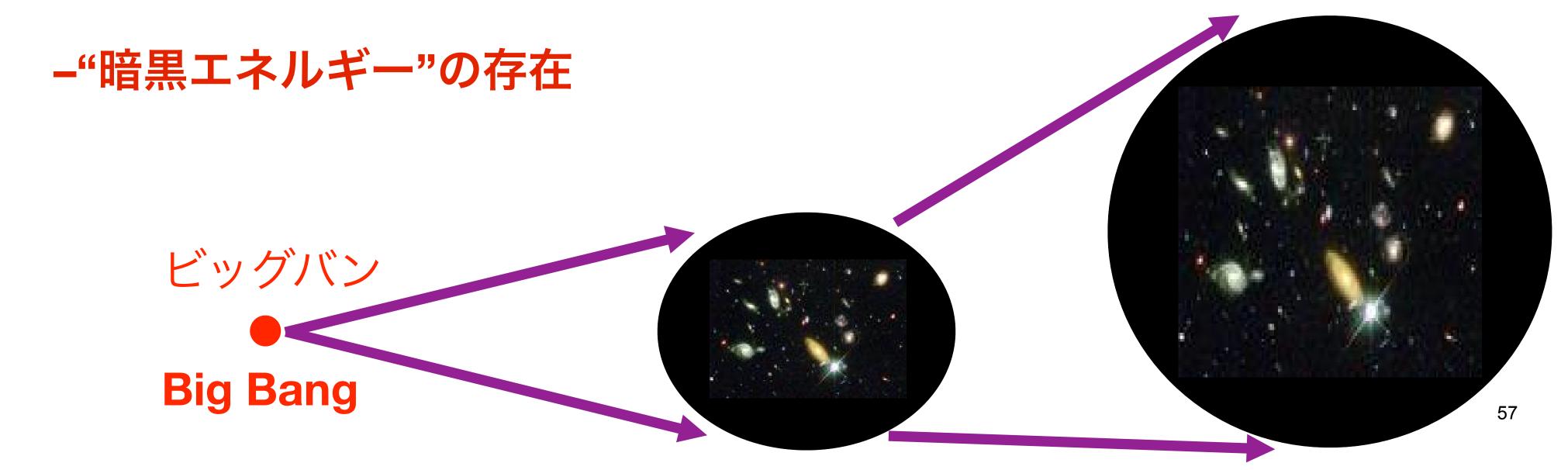


### 加速膨張する宇宙

・物質のある宇宙はどのように膨張する?

-答:物質の重力に引っ張られ、速さはだんだん遅くなる。

- しかし、観測は宇宙膨張がどんどん速くなっていると示している。
  - -その原因は、物質ではあり得ない。



# リンゴを投げ上げる事 を想像してみよう





# 大問題

- 宇宙の加速膨張が何で引き起こされているか、まだ全くわかっていない
  - わかっているのは、「物質では不可能」という ことだけ
- 天文学・物理学最大の難問といわれている

# 宇宙の終わりを決める鍵

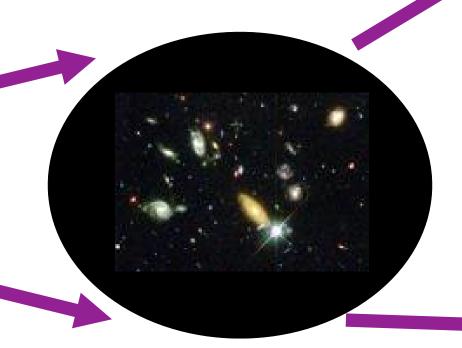
- 宇宙の将来を決めるのは、暗黒エネルギーの性質による。
  - しかし、それは分かっていないので、宇宙の将来はまだはっきりしない。
- 宇宙は、本当にうまい具合に調整されているのか?
- 宇宙に終わりがあるとするなら、どう終わるのか?
- 鍵は、暗黒エネルギーが時間と共にどう変化するのか。

# ここで初めて、不確実な、推測の 話をします。

# (Big)

**J** (Rip)





65

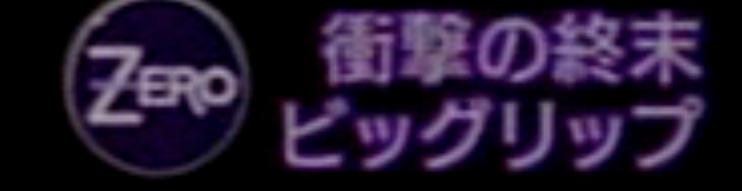


暗黒エネルギーで 引き起こされる

(かもしれない)

宇宙の破滅的未来





### 次の課題 宇宙の始まり、そして終わり

• 僕たちの研究チームでは、以下の問いに答えるために、新しいプロジェクト を進めています。

• 宇宙の始まり: 灼熱の宇宙に存在した物質の不均一性はどこから来たのか?

宇宙の終わり:暗黒エネルギーはどのように時間変化するのか?





2029 Lite BIRD ライトバード JAXA主導:

日本主導では初の

宇宙背景放射探查機



日本経済新聞出版社より発売中。 Kindle版もあります。

今日お話しした内容を、 小説家の川端裕人さんの 文章でお楽しみ頂けます



# なぜ、天文学を研究するのか?

なぜ、天文学を研究するのか?

答え:宇宙が好きでたまらなくて、宇宙のことなら全部知りたいから。

#### 宇宙のことを知りたいなら、ネットで検索すれば?

- ネットで得られる程度の知識は、すでに全部頭に入っています。
   ていうか、ネットで得られる知識の一部は、僕たちの発見です。
  - でも、全然足りない。もっと知りたい。
  - 今日お話しした、宇宙はどうやって始まったのか? 宇宙は何からできているのか? 宇宙に終わりがあるとするならば、どのように終わるのか?これらは、まだ分かっていないことばかりでした。
- ・ 誰も知らないのだから、自分で知るしかないでしょう?
- それが研究です。勉強ではありません。

73

• 勉強とは、すでに誰かによって得られた知識を学ぶこと。

もっと勉強して おけば良かったなと

思う教科は何?

僕は、まだ誰も知らないことを 自分の手で解明する研究は大好きなのですが、

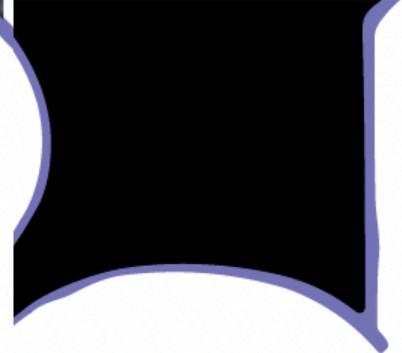
誰かが見つけた知識を 吸収するだけの勉強は 好きではないのですよね。

なので、「もっと勉強しておけば良かった」 と思うことはなくて、

必要になった時に、必要に応じて学んでいます。

東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構 (カブリIPMU)

ものしり新聞第12号, 2021年9月



今の研究の 役に立っている 教科は何?

この世には 「役に立たないもの」など、 ありません。

#### 一つの質問と、二つの答え

• 天文学の研究は、生活の役に立つのですか?

- 僕は、答えを二つ用意しています。
- しっくり来た方を選んでもらえれば結構です。

#### 天文学の研究は、生活の役に立つのですか?

答え: その1

• 答え:「もちろん、役には立ちません。」



## 生活の役には立ちません

- もし、あなたが、空を見上げたことがあって、
- 太陽や月や星を見たことがあって、
- ・何も感じなかったのであれば、
- ・天文学者は、あなたにとって、意味のない存在です。





## でも、

- ・もし、あなたが、空を見上げたことがあって、
- ・太陽や月や星を見たことがあって、
- ・宇宙の成り立ちについて不思議に思ったのなら、
- 天文学者は、その不思議(のほとんど)を解決することができます。

# 素晴らしきかな、役に立たないもの

- ・ 絵画、彫刻、音楽、演劇、TVドラマ、お笑い芸人などなど。
- たとえば、これら「エンターテイメント」と呼ばれるものは、実生活の役にはたちませんが、それに興味がある人にとってみれば、生活にうるおいを与えてくれるもの、ですよね。

- 天文学が役に立つか、立たないか、と考えたときは、天文学も、 エンタメのようなものだと思ってくれれば結構です。
- 「宇宙ってどうなっているんだろう」と、不思議に思ったなら...
  - 宇宙のことを必要以上に良く知っていて、最先端の知識を喜んで共有してくれる人たち、それが天文学者です。
  - 必要なときに、必要なだけ、使ってもらえれば幸いです。

## —例

- たとえば、ふと、「宇宙に始まりがあるなら、今の 宇宙は何歳なんだろう?」と思ったとします。
- 今の、インターネットな世の中では、検索するだけで、答えは「138億歳」とわかると思います。
  - みなさんは、一瞬で答えを知ることができます。

## ——例

でも、宇宙年齢は138億歳ってことを、誰が見つけたと思います?

- 天文学者が、一から宇宙望遠鏡を作って、それを用いて何年も観測して、がんばって見つけたものです。
- 宇宙の年齢なんて、知らなくても生きていけるけど、 知ってたらちょっと嬉しい。そんなささいな喜びの 積み重ねがないと、人生、やってられないと思いま せんか?

## 学者のよろこが

- ほとんどの人にとってみれば、とるに足らないささいなことが、好きで、好きで、好きで、好きで、好きで、あまりにも好きすぎて、その追求を仕事にしてしまった人たちのことです。
- 僕たち学者のよろこびは、自分が知りたいことを、 自分の手で明らかにすることです。

## 学者のよろこが

- 僕たち学者のよろこびは、自分が知りたいことを、 自分の手で明らかにすることです。
- そして、僕たちが発見したささいなことは、インターネットなり、書籍なりの形をとって、一般の方々の手の届く場所に供給されます。
- そして、その発見は、人類共有の財産として**消費**されます。それは、学者のよろこびです。

#### 天文学の研究は、生活の役に立つのですか?

答え: その2

答え:「もちろん、役に立ちます。」

#### 天文学の研究は、生活の役に立つのですか?

答え: その2

• 答え:「もちろん、役に立ちます。」

• ただし、いつ、何に役立たせることができるかは、社会次第です。

## 一例

- 僕たちの研究分野では、これまで人類が見たことの ないような、めちゃくちゃ高感度な超伝導マイクロ波 センサーが開発されています。
  - 宇宙マイクロ波背景放射の測定のためだけに開発されたものです。
- この様な最先端技術は、社会の役に立たないわけがないのですが、社会は、まだその応用方法を思いついていません。

- スマートフォンを使うには、
  - 電波
  - 半導体
  - GPS

が必要です。

- **電波:**1864年、マクスウェル(イギリス)は電気と磁気を統一した電磁気理論を提唱し、光は電磁波であることを示しました。
  - 当時、マクスウェルに「それは生活の役に立ちますか?」と聞いたら、「さあ?」と言ったでしょう。
- 電磁波が電波通信に使えることがわかったのは、1895年。

- 半導体: 1900年、プランク(ドイツ)によって提唱された、 放射強度のプランクの公式は、その後、電子などのミクロの世界 を記述する「量子力学」を生み出しました。
  - プランクの公式は、溶鉱炉の温度を正確に測るのに役に立ちましたが、量子力学によってもたらされた半導体は、現在「**産業 のコメ**」と呼ばれ、生活になくてはならないものとなっています。プランクは、そんなことは夢にも思わなかったでしょう。

- **GPS:**1915年、アインシュタイン(ドイツ)は、物体の重力があると、物体の周りの時空(時間・空間)が歪むことを理論的に示した「一般相対性理論」を発表しました。
  - 地球の重力によって時空は歪み、GPS衛星に搭載された時計と、地球表面上の時計の進み方は変わります。これを補正しなければ、GPSが示す位置の誤差が大きすぎて役に立ちません。
  - 上記の「物体の重力があると…」の説明を聞いて、生活の役に 立ちそうだと思った人はいますか?

#### そんな昔のことを言われても...

#### では、最新の話をしましょう。

- 基礎研究とは、役に立とうが立つまいが、学者が自分の信念に基づいて、人類の知識の地平線 を広げる活動です。
- 最新の例:新型コロナウィルスのワクチン
  - ずっと誰にも見向きもされなかった、ある一人の研究者の物語です。
- 世界が、新型コロナウィルスのパンデミックの脅威に晒されることは、誰にも予想できませんでした。そして、彼女の技術(メッセンジャーRNA)が、こんなにも短期でワクチンとして実用化できることも、誰にも予想できませんでした。
- しかし、彼女がコツコツと研究していなかったなら、世界は今頃どうなっていたのでしょう?
  - 何が役に立つかなんて、誰にもわからないのです。しかし、世界のどこかで、誰かが基礎研究をしていることの重要性は、実感してもらえるのではないでしょうか?

#### お金(だけ)ではない!

- 新型コロナウィルスワクチンが短期間でできたのは、アメリカが多額の資金を 投入したからだと言われています。
  - 全然、違います! 研究者が、何十年間もコツコツと基礎研究を積み上げてきたからです。なんでもお金で解決できると思ったら、大間違いです。
- 日本はワクチンに関しては何もできず、お金で買うことしかできませんでした。 それと、日本では基礎科学が危機に瀕していることとは、繋がっています。
  - しかし、結局は「ワクチンをお金で買って感染を収束できた」ということが 成功体験として残ってしまい、今後も基礎研究がおろそかにされてしまうの ではないかと、心配しています。

#### よく聞かれること

• 研究をつづけたいと思う情熱はどこからきていますか。ほかの仕事をしたいと おもったことはありませんでしたか?

- 回答:「好きだから」に尽きます。他にやりたかった仕事は、両親が養護学校と小学校の先生だったこともあって、子供を教える仕事につきたかったです。 ですので、聖光学院の生徒さんに話している今は、すごく楽しいです。
  - 聞いている生徒の皆さんが楽しいかはわかりませんが。。

~子どもたちに贈るメッセージ~

# 今、君たちにこと

「道徳と特別活動」 2019年6月号

なれる あなた ださい は、 好きなことはあ りますか 好きなことで があるとで ることが

# 質疑心答

# ラスト・メッセージ

# さて、ここで、これまでのことを 一旦忘れてください。

- いろいろ言いましたが、原点に戻ります。今日、僕が、 一番伝えたかったことに。
  - 今度、空を見上げた時、できれば覚えていてください。私たちは、宇宙の始まりの光に囲まれて、日々過ごしていることを。
- ・ この研究は、みなさまの税金で支えられています。いつ もありがとうございます。本当に、感謝しています。