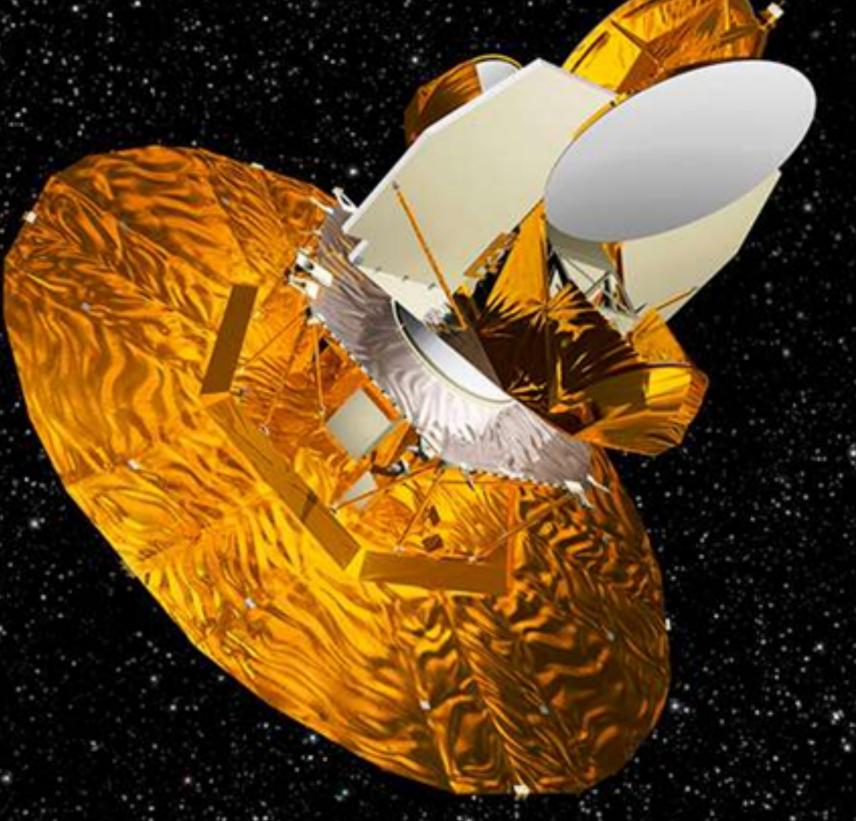
宇宙の始まり、そして終わり

2021年1月23日

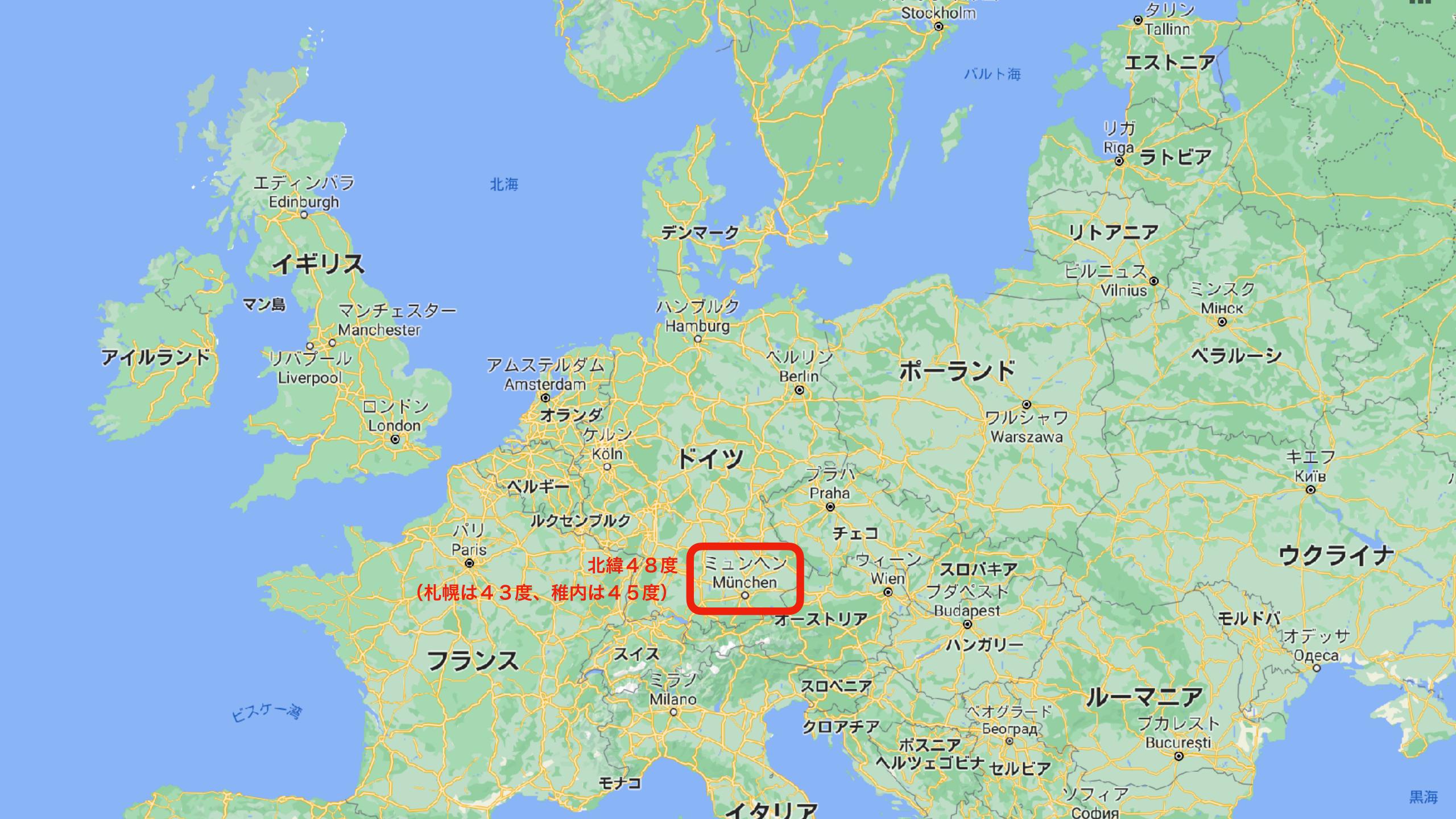
NHKカルチャー

横浜ランドマーク教室



ドイツ マックス・プランク宇宙物理学研究所所長

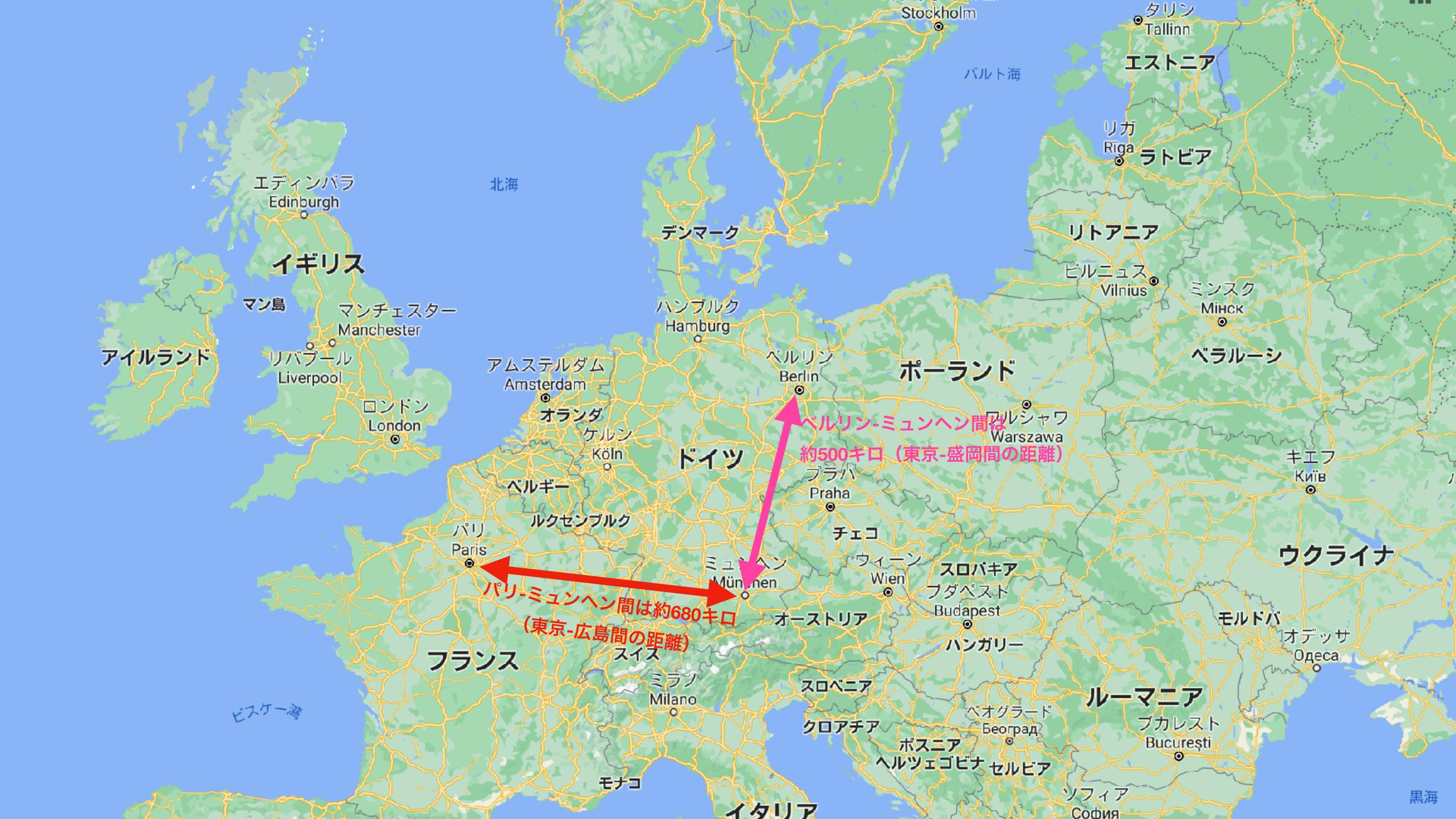
人。英美国

















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

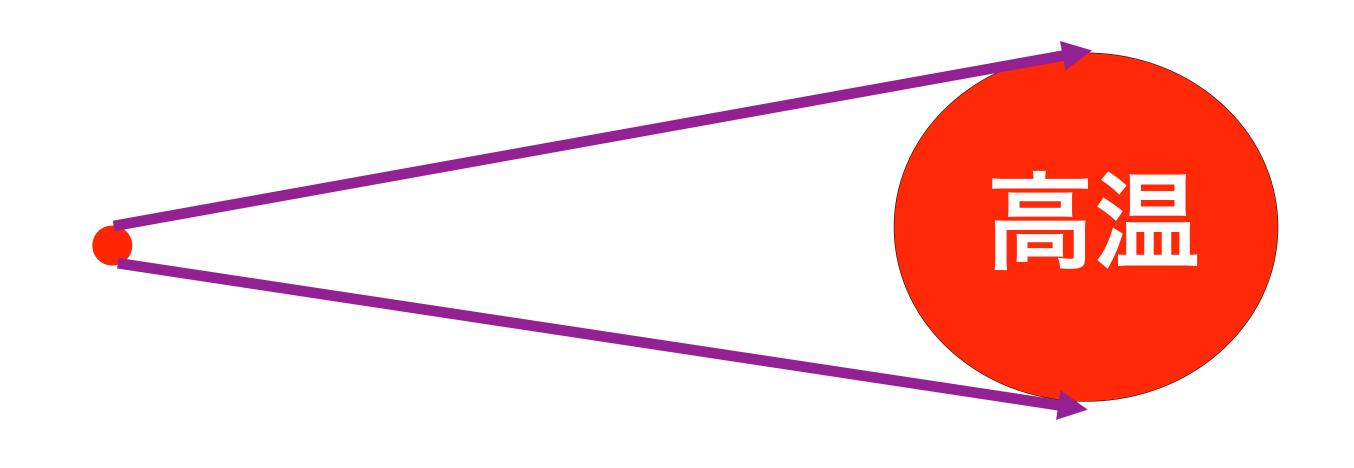
見ることのできる範囲 (光が届く範囲)

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。

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」を議論することは、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?





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





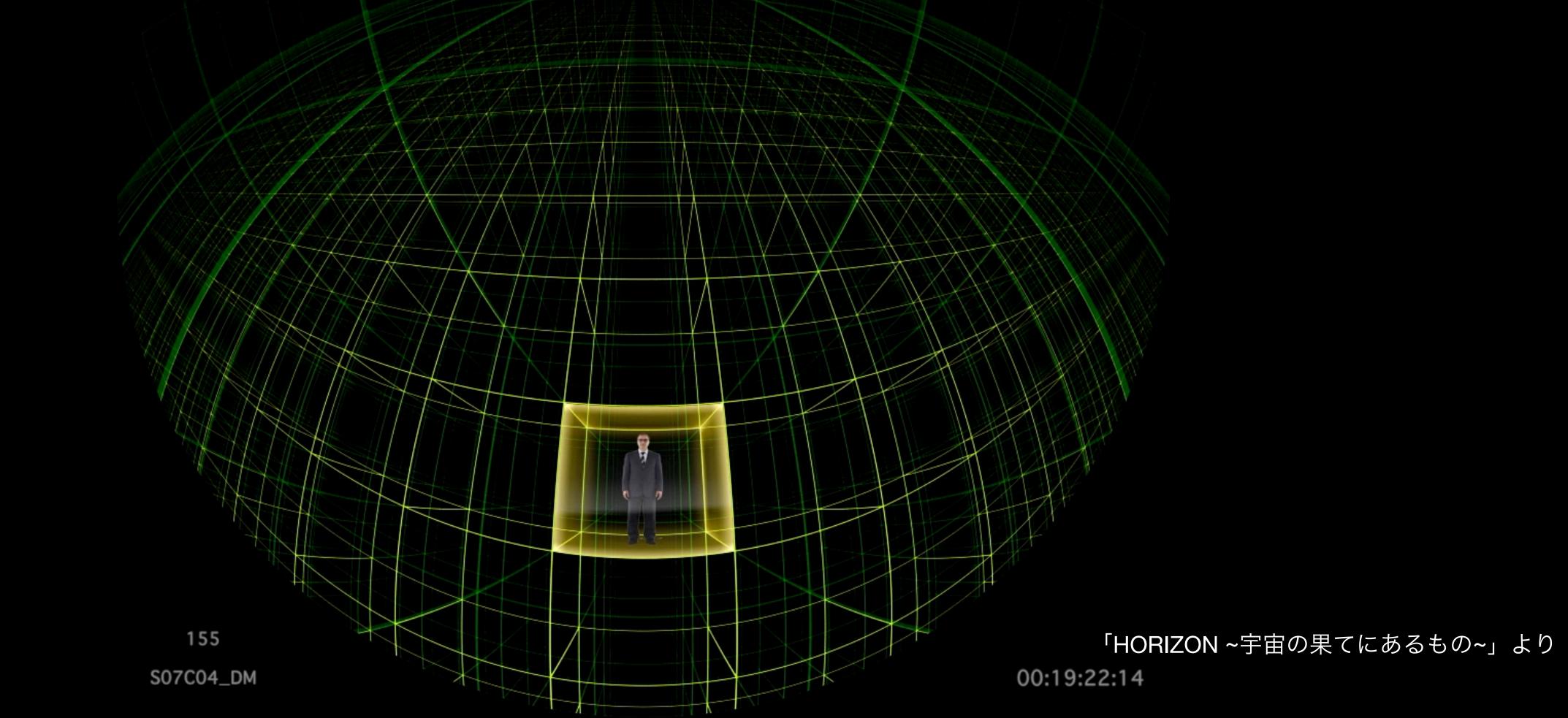






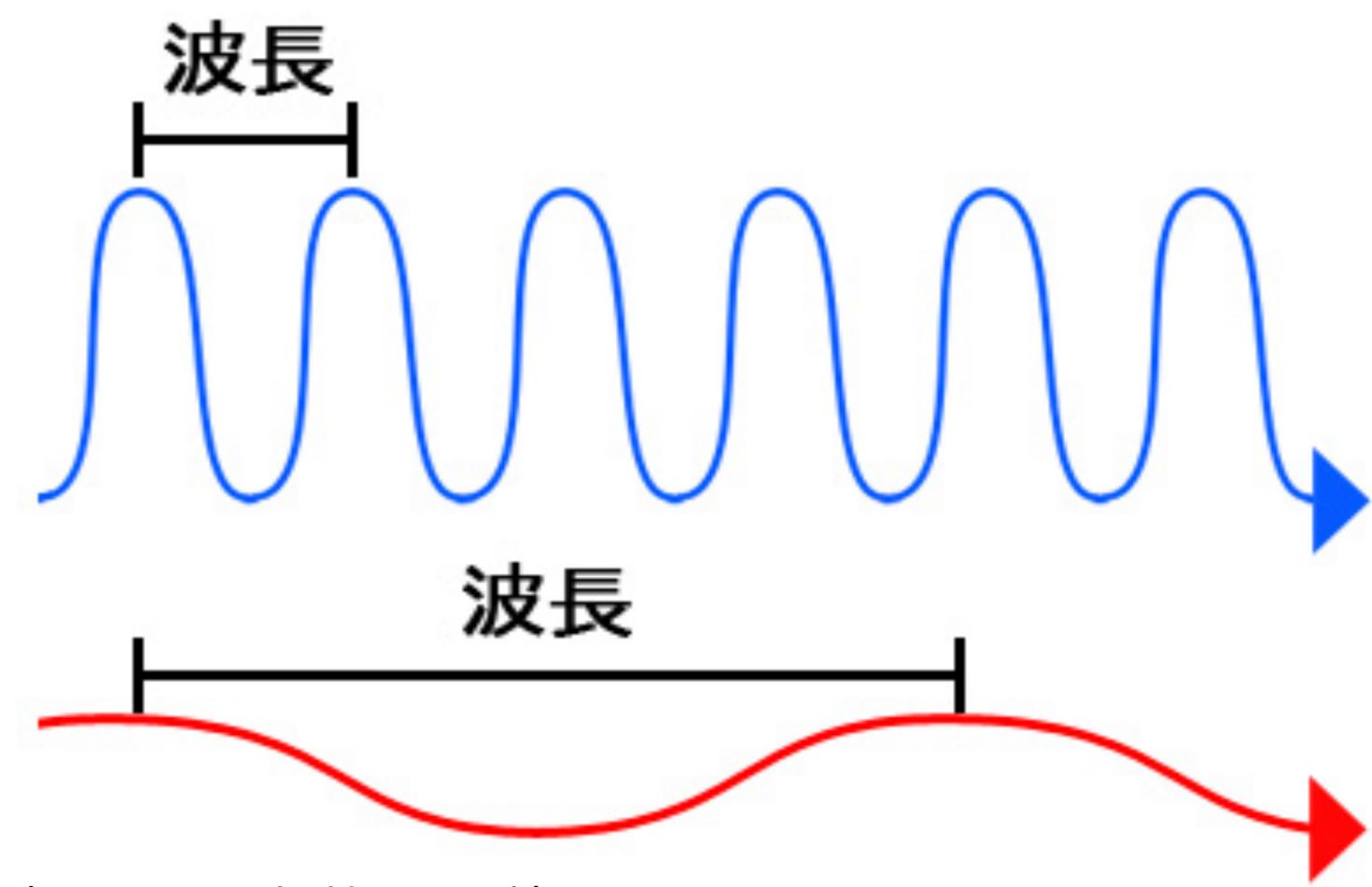


私たちが今見ている灼熱宇宙の光は、 どこから来たのか?



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

可視光で見た空 [波長は短い]



パラボラアンテナで見た空 [波長は長い]

パラボラアンテナで見た空[波長は長い]

宇宙を埋め尽くすり熱宇宙時代の光

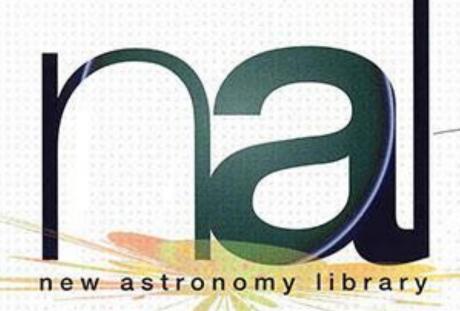
宇宙マイク口波背景放射

パラボラアンテナで見た

宇宙を埋め尽くすり熱宇宙時代の光

宇宙マイクロ波背景放射は、本格的な教科書がある

一大研究分野です。





宇宙マイクで波背景放射

Cosmic Microwave Background Radiation

小松英一郎

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!

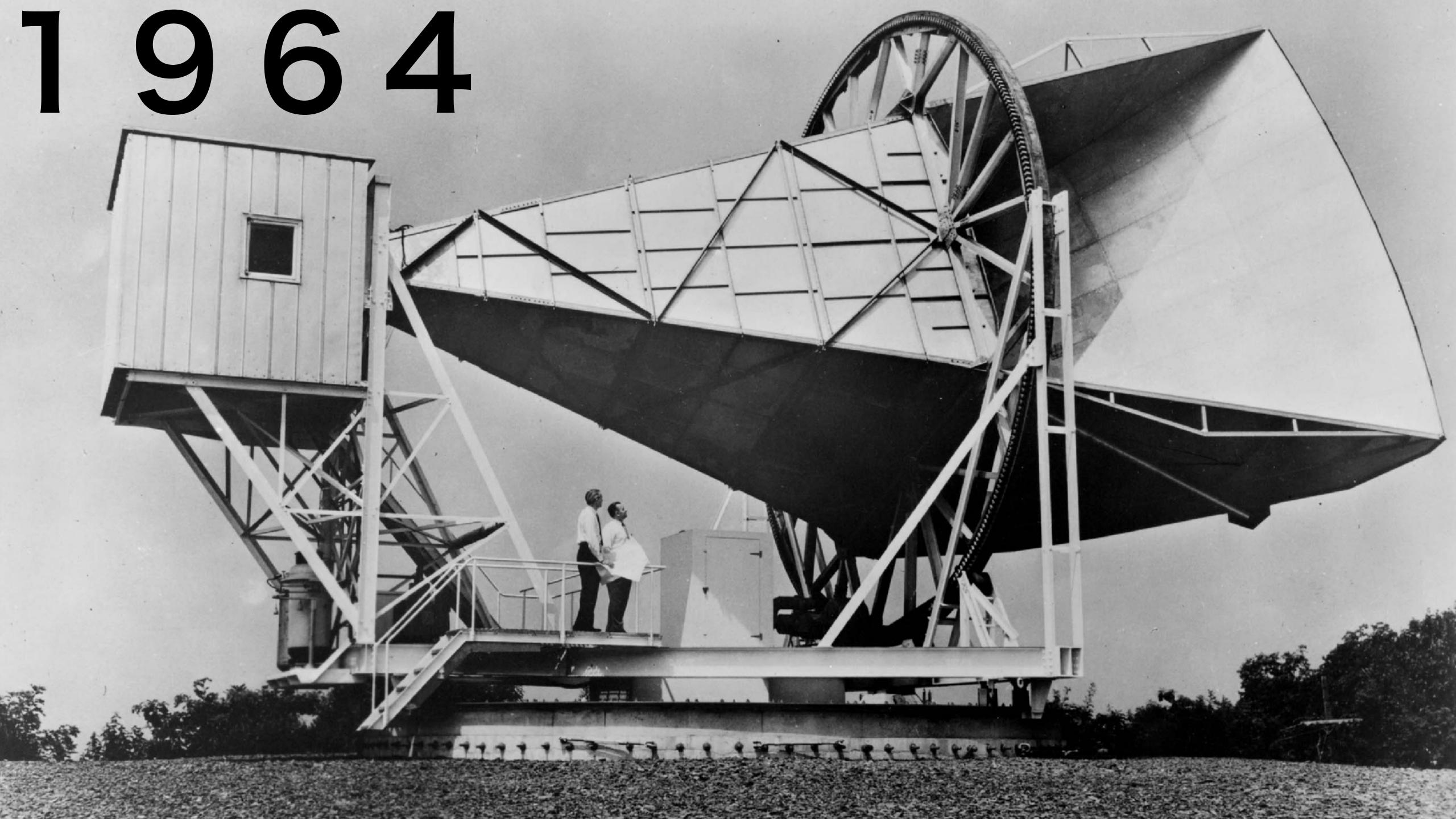
······[第5回配本]日本評論社



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



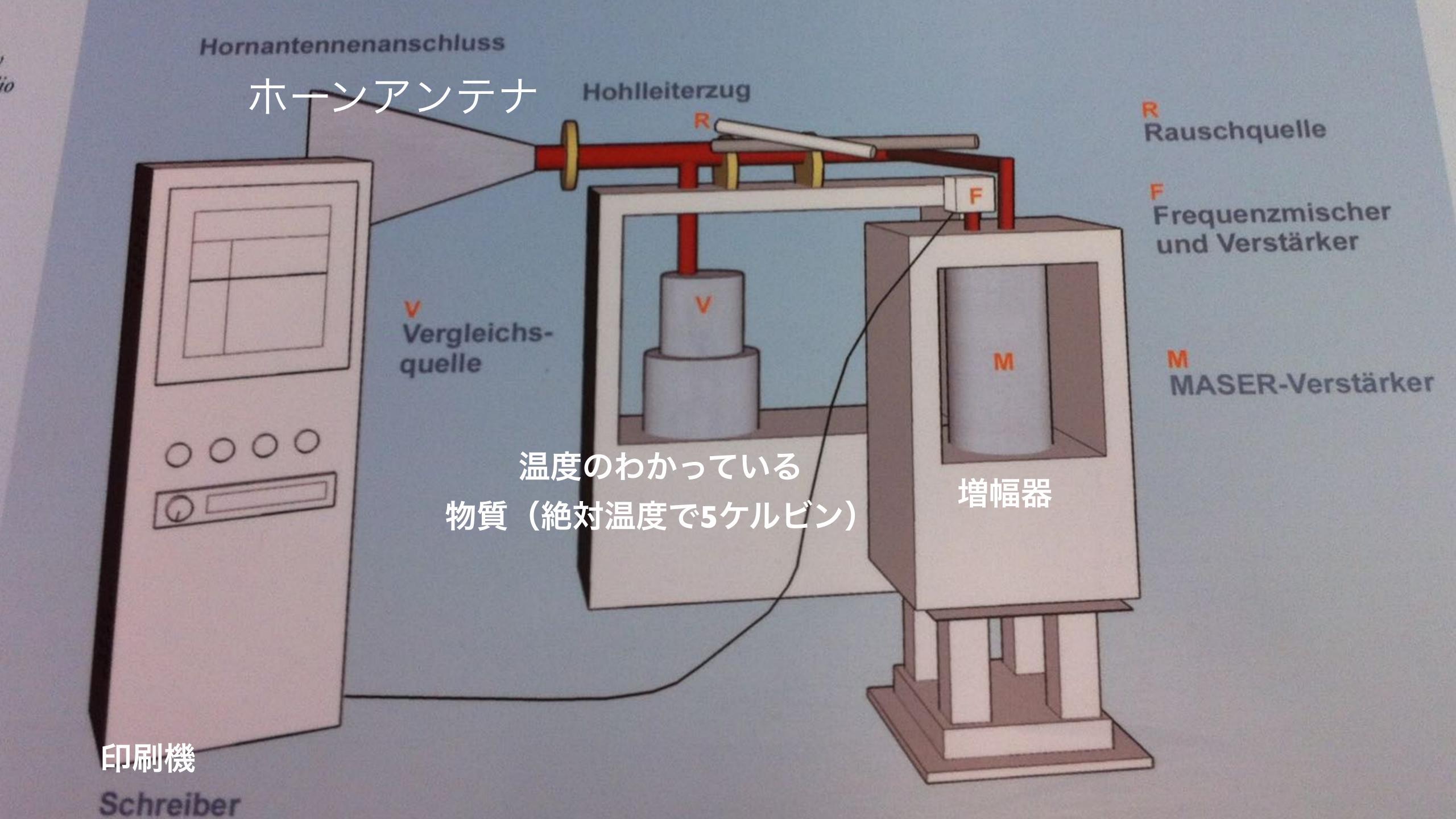
たとえば、テレビの雑音のうち、1%は 灼熱宇宙の光!

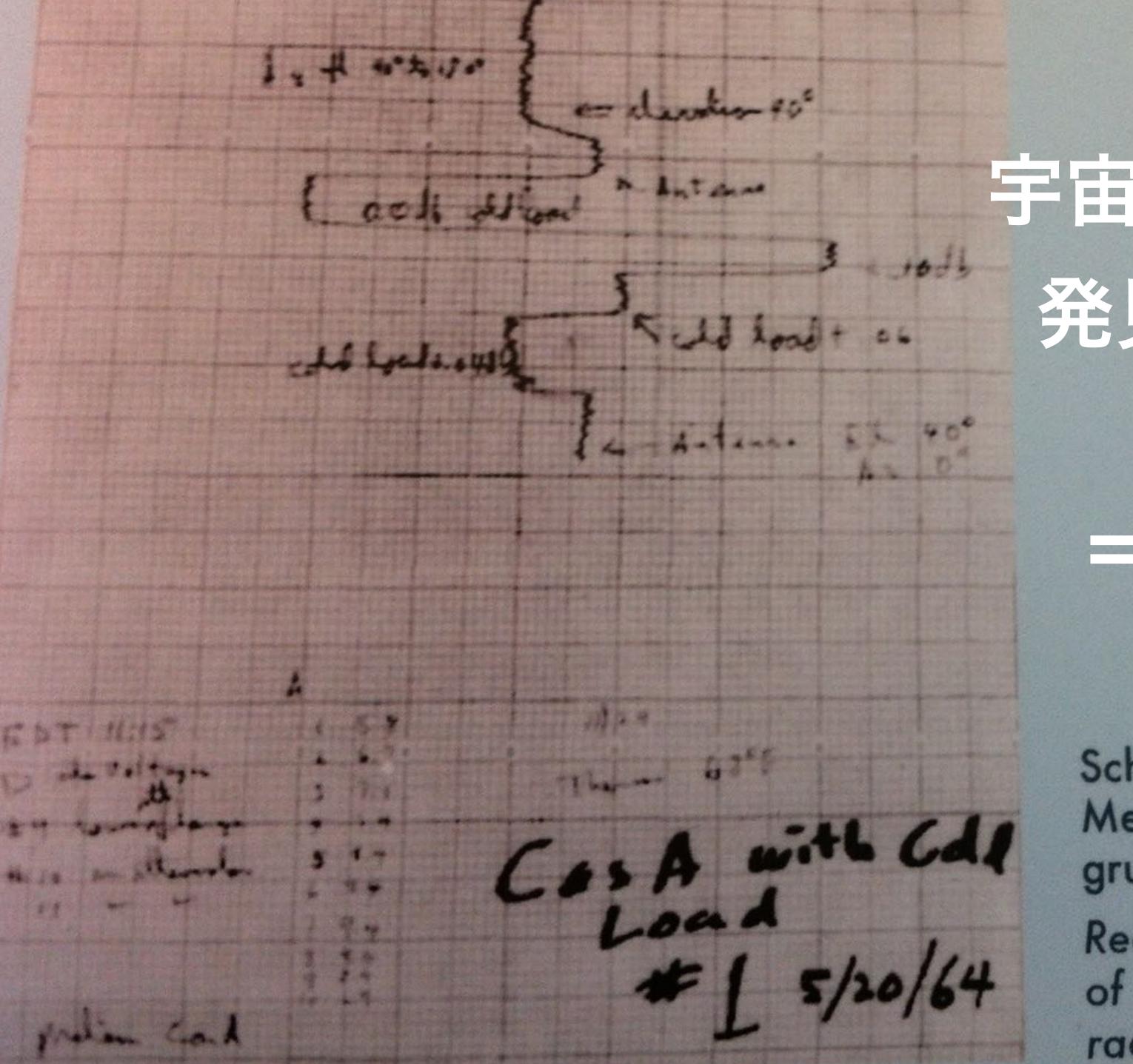












1964年5月20日

宇宙マイクロ波背景放射

発見 (波長7センチ)

6.7-2.3-0.8-0.1 = 3.5±1.0 ケルビン

(摂氏—270度!)

Schreiberaufzeichnung der ersten Messung des Mikrowellenhintergrundes am 20.5.1964

Recording of the first measurement of cosmic microwave background radiation taken on 5/20/1964.

zeig

Bei

He

Ve

Ei

SC

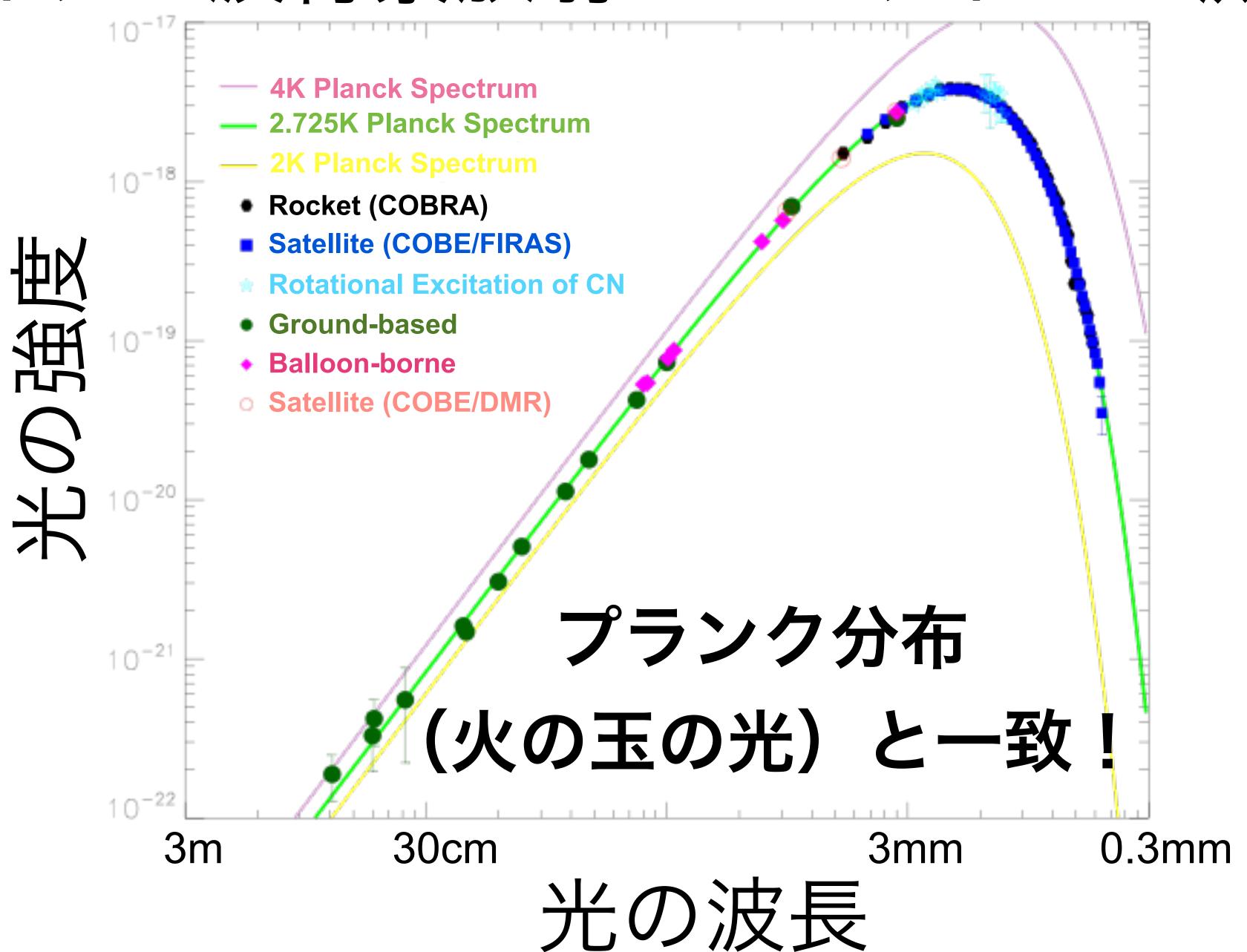
W

F

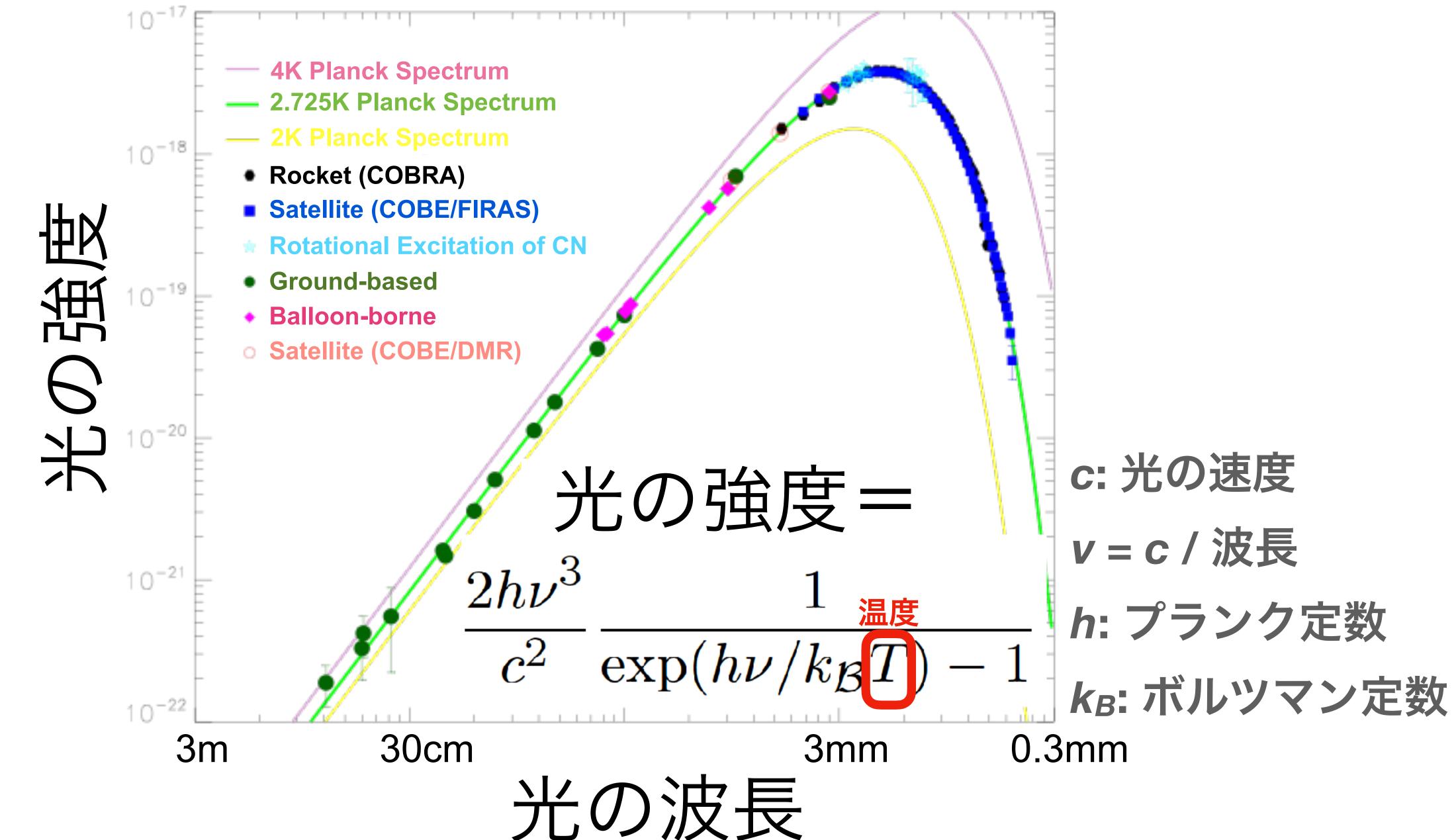
S

-

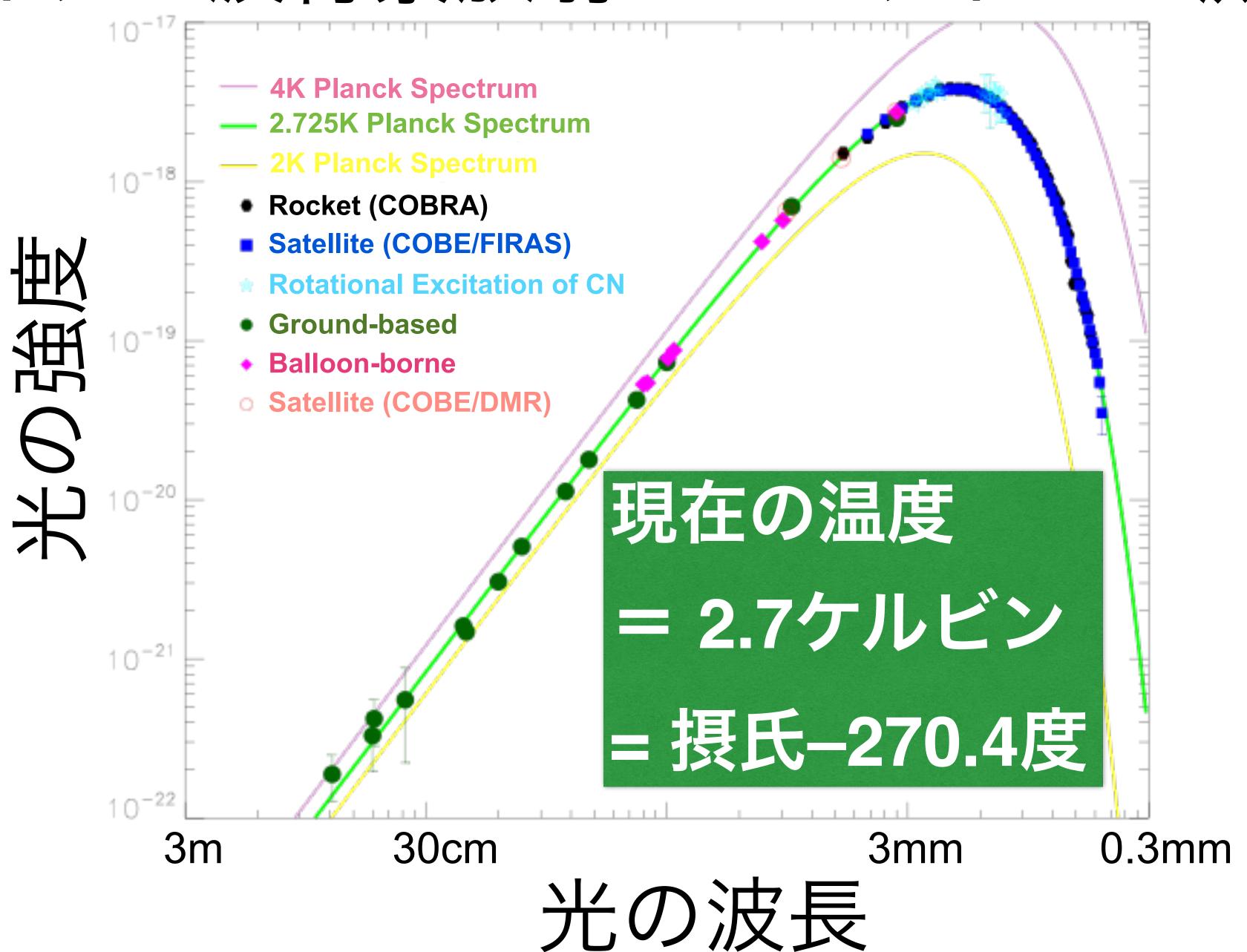
宇宙マイクロ波背景放射のスペクトルの測定データ



宇宙マイクロ波背景放射のスペクトルの測定データ



宇宙マイクロ波背景放射のスペクトルの測定データ

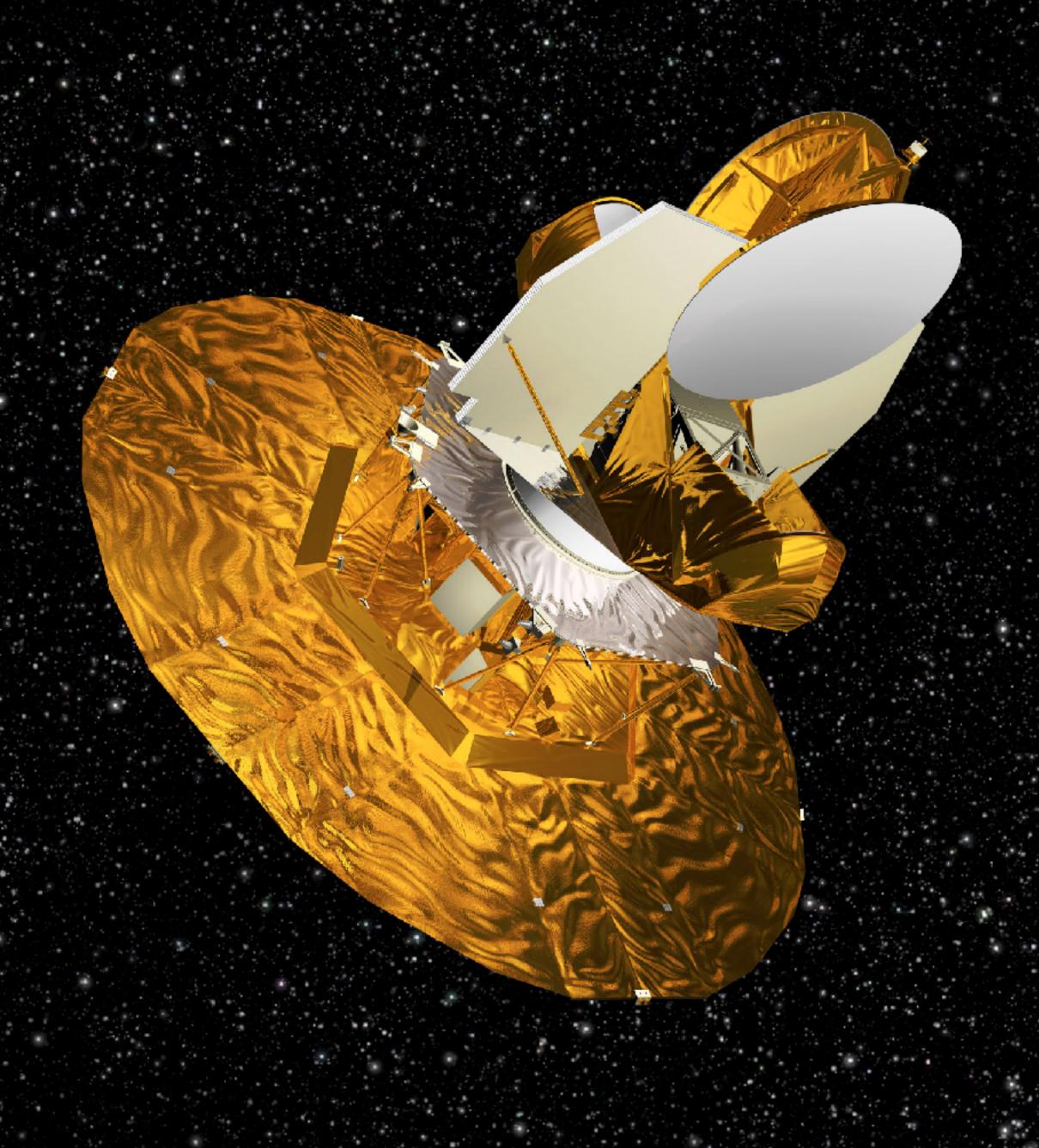


1989 COBE



2001 ダブリュ・マップ MMAP

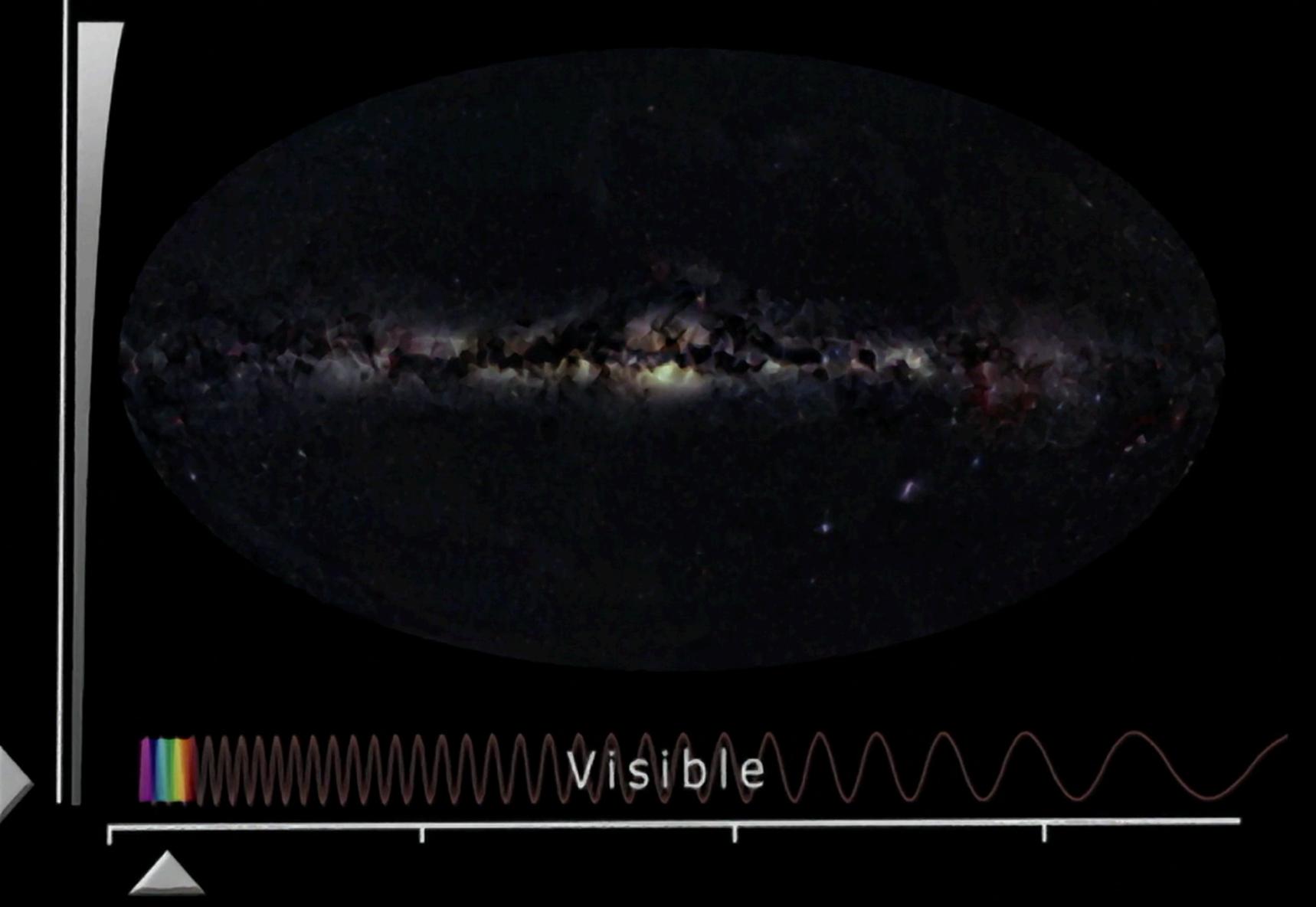






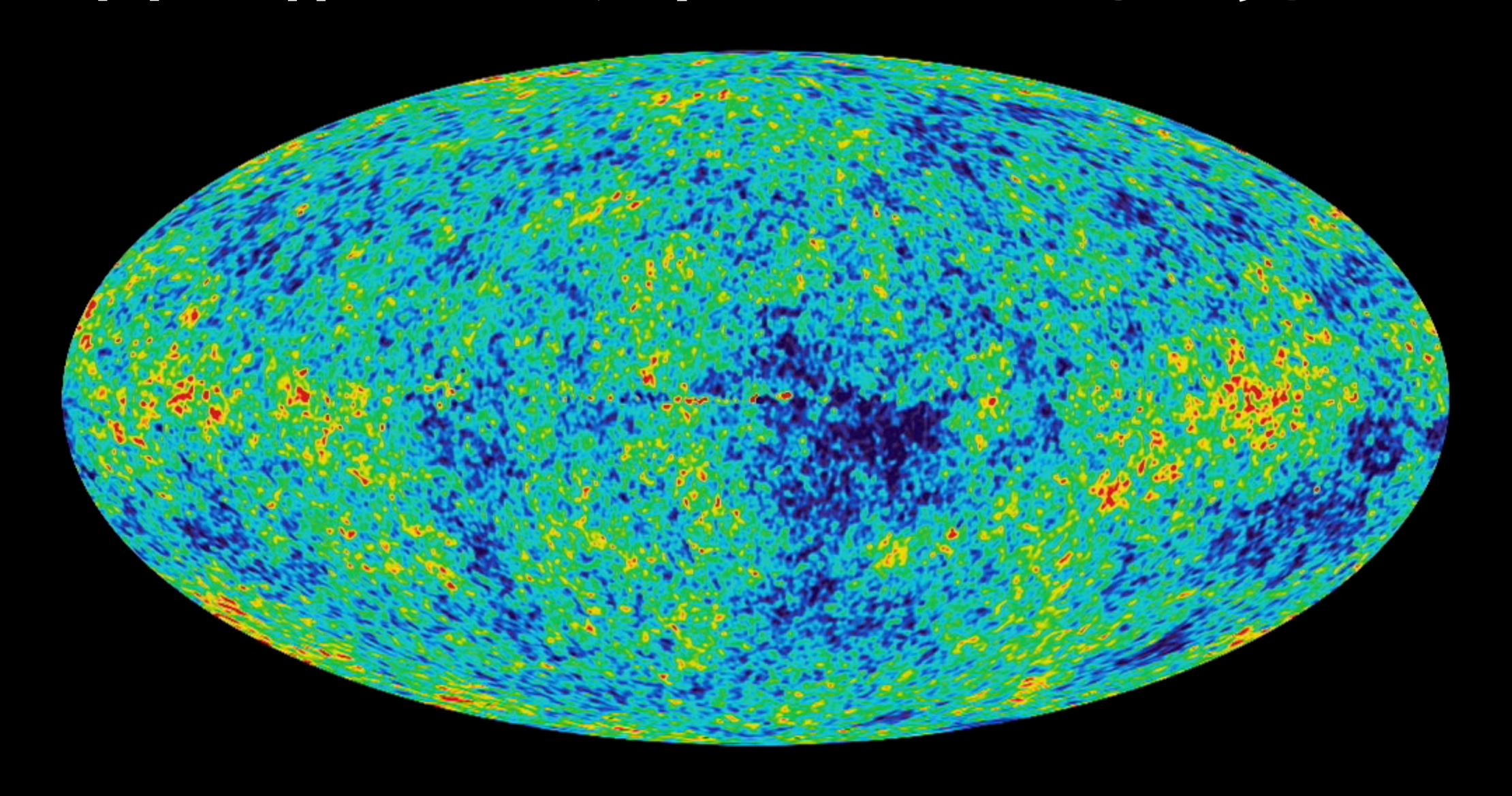
2001 ダブリュ・マップ WMAP





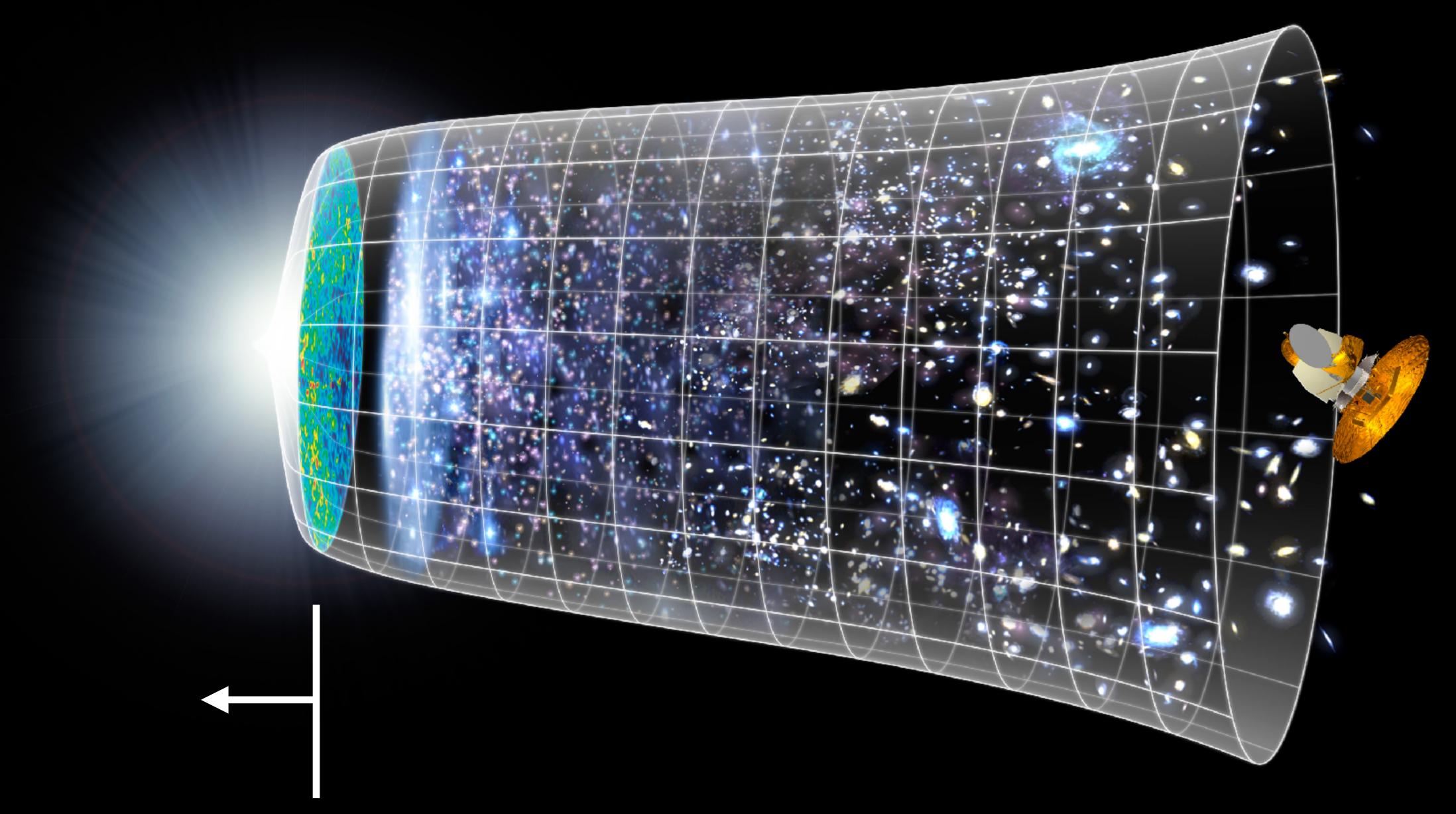
測定データのコントラストを上げて、わずかな温度の変化を捉える

宇宙の始まりに、私たちの起源が見えた

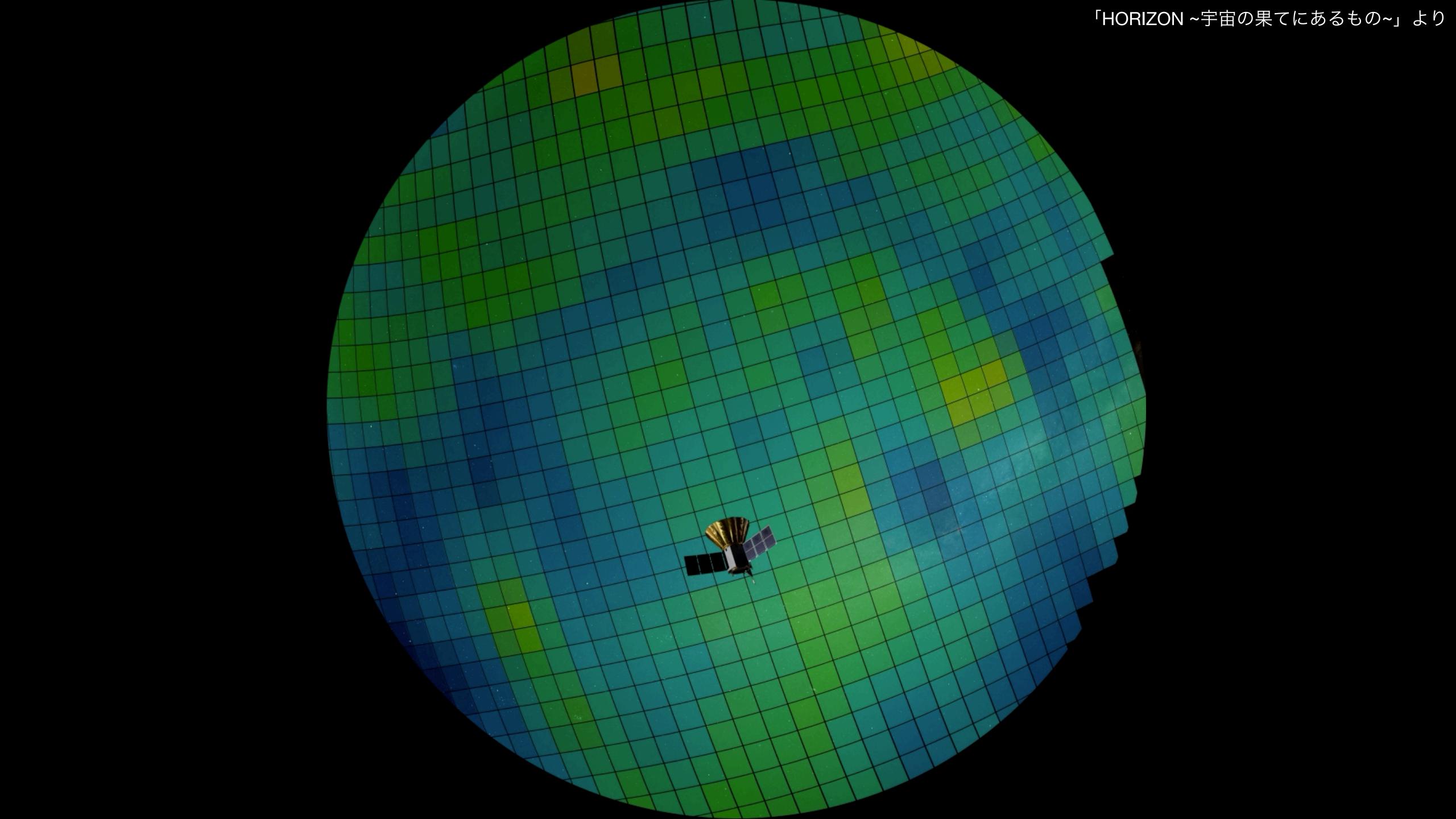


私たちの起源

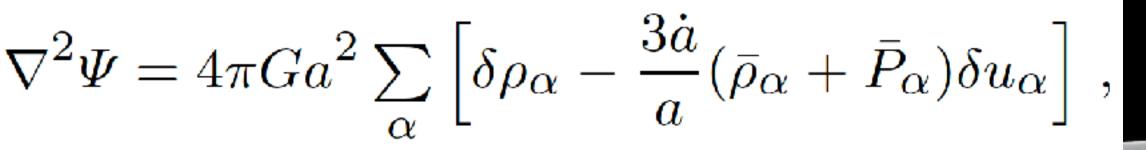
• WMAPが教えてくれたこと。 それは、銀河、星、惑星、 そして私たちの起源は、宇宙 の始まりの時期に、すでに 刻印されていたこと。



この先は、どうやって見れば良いのか?



重力場の方程式 (アインシュタイン方程式)



$$\partial_i \partial_j (\Phi - \Psi) = -8\pi G a^2 \partial_i \partial_j \sum_{\alpha} \pi_{\alpha}$$

エネルギー保着

$$rac{\partial}{\partial t}(\delta
ho_{\gamma}/ar
ho_{\gamma})-rac{4q^2}{3a^2}\delta u_{\gamma}=4\dot{\varPsi}\,,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\delta \rho_B / \bar{\rho}_B) - \frac{q^2}{a^2} \delta u_B = 3 \dot{\Psi} ,$$

運動量保存の方程式

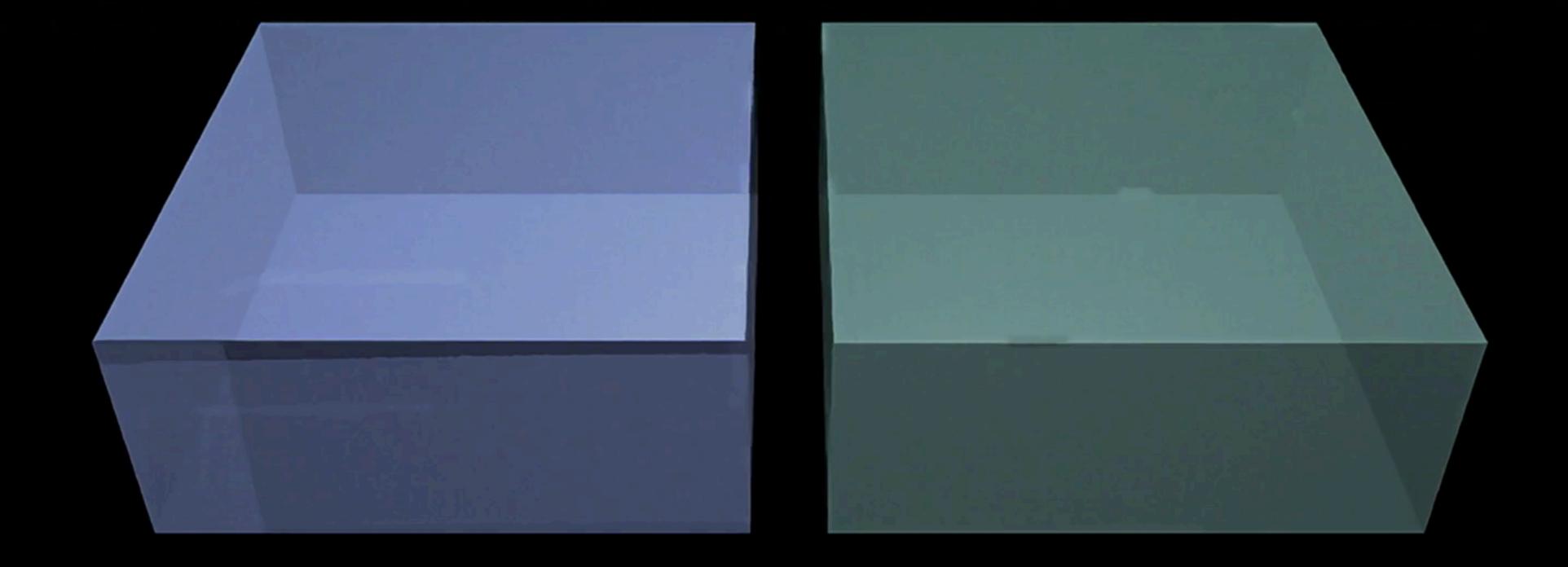
$$\frac{4}{3}\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}_{\gamma}\delta u_{\alpha}) + \frac{4\dot{a}}{a}\bar{\rho}_{\gamma}\delta u_{\gamma} + \frac{4}{3}\bar{\rho}_{\gamma}\Phi + \frac{1}{3}\delta\rho_{\gamma} = \frac{4}{3}\sigma_{\mathcal{T}}\bar{n}_{e}\bar{\rho}_{\gamma}(\delta u_{B} - \delta u_{\gamma}),$$

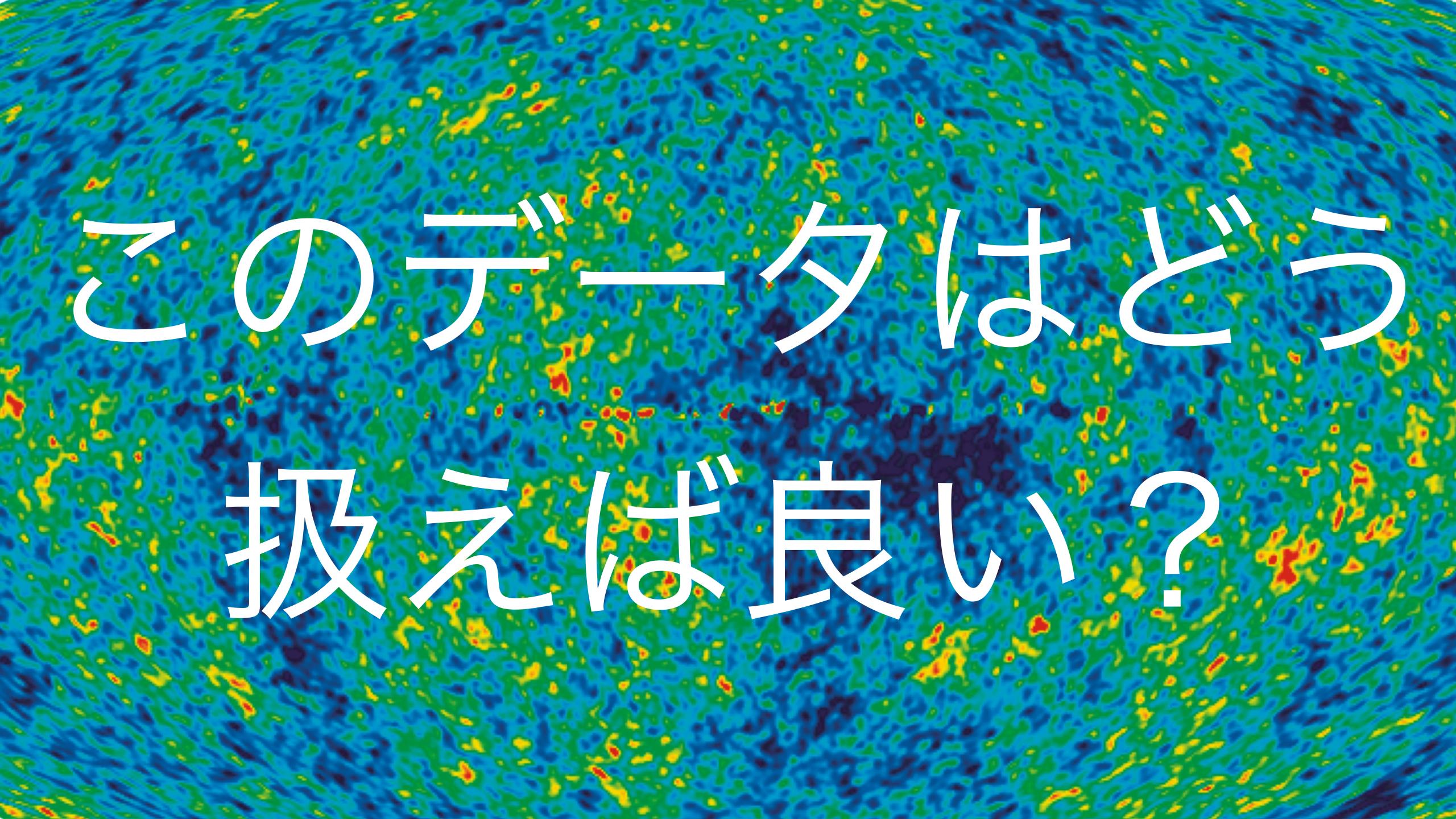
$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}_B\delta u_B) + \frac{3\dot{a}}{a}\bar{\rho}_B\delta u_B + \bar{\rho}_B\Phi = -\frac{4}{3}\sigma_{\mathcal{T}}\bar{n}_e\bar{\rho}_{\gamma}(\delta u_B - \delta u_{\gamma}),$$



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。

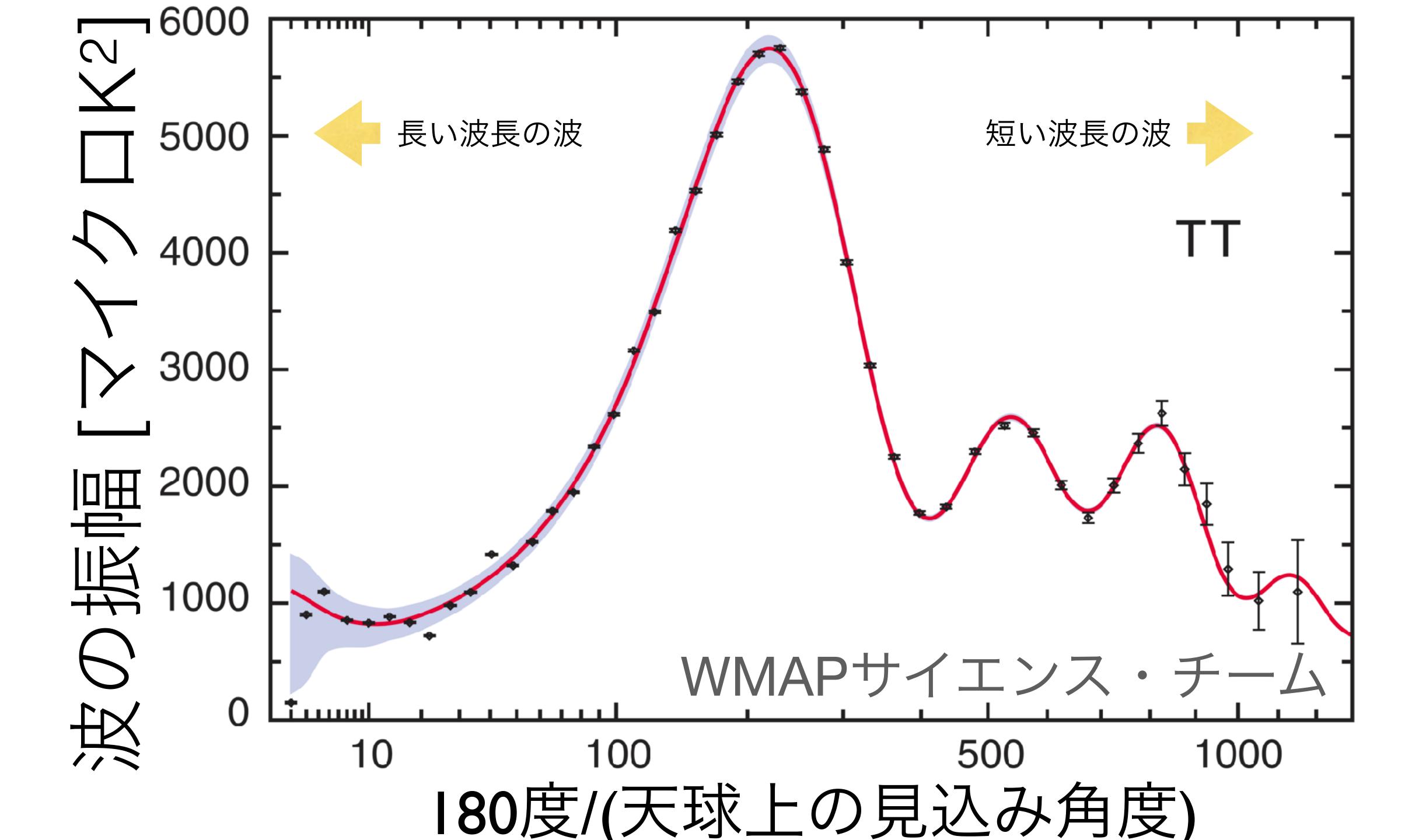




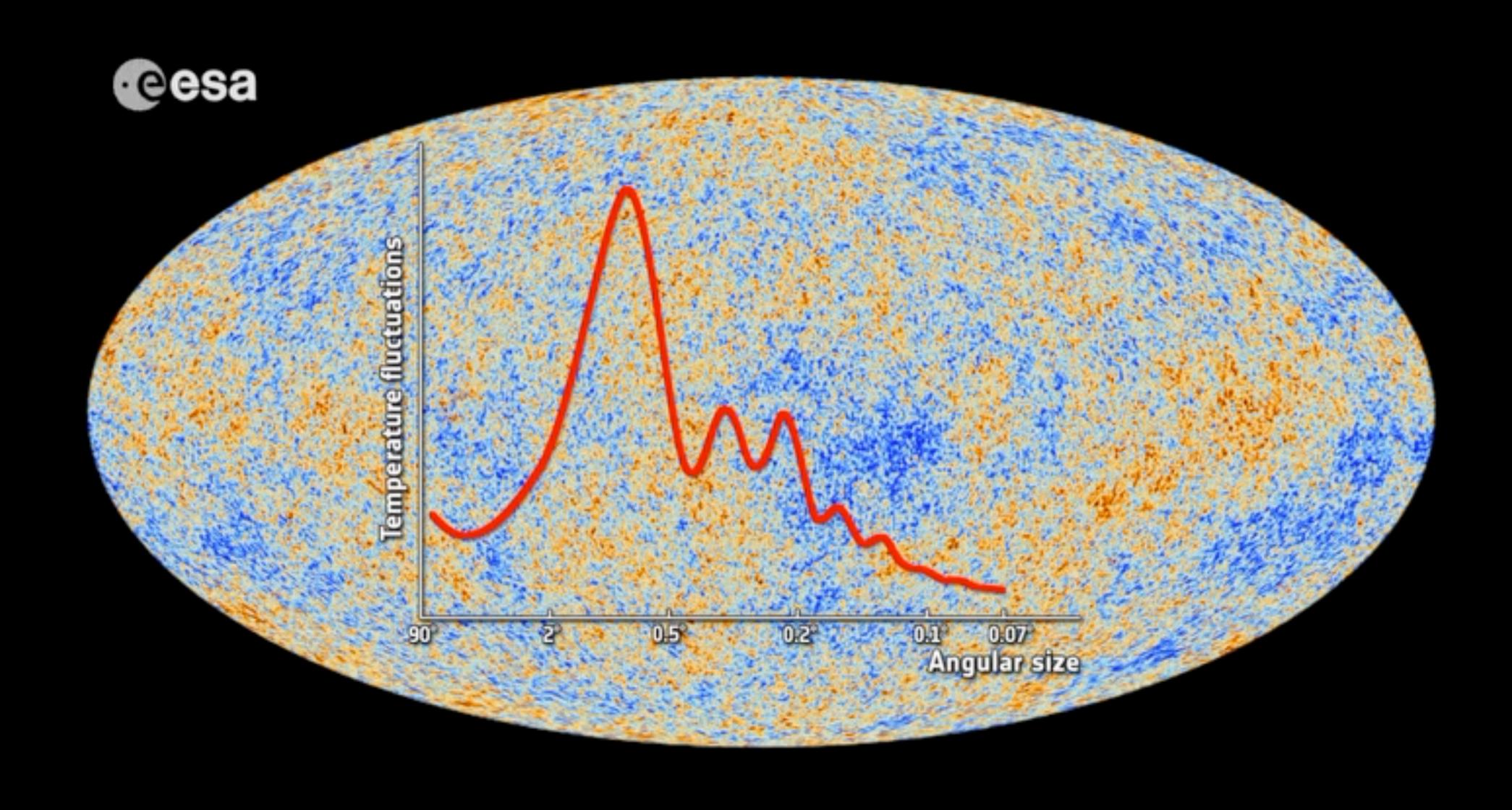
一夕解析

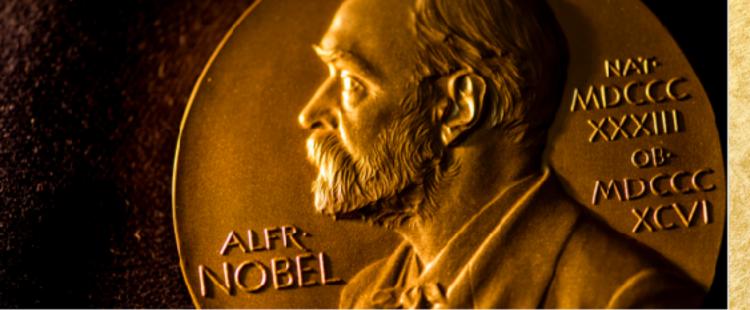
・天球の場所ごとの温度の違い を、様々な波長を持つ波に分 解して、

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



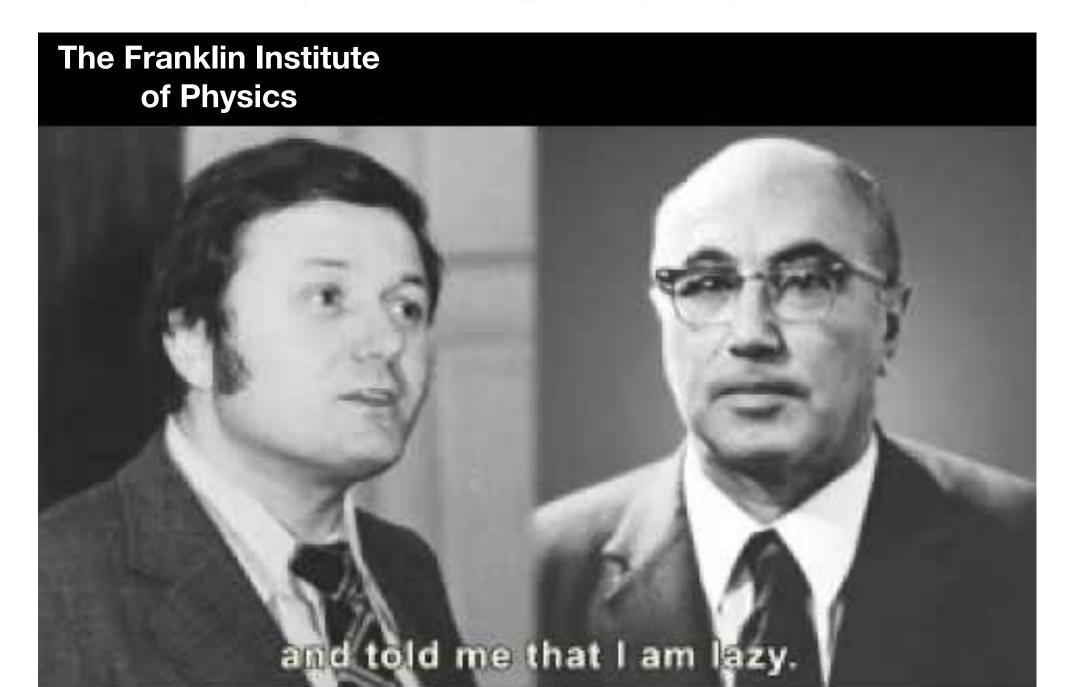
Astrophysics and Space Science 7 (1970) 3–19. All Rights Reserved Copyright © 1970 by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland

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.

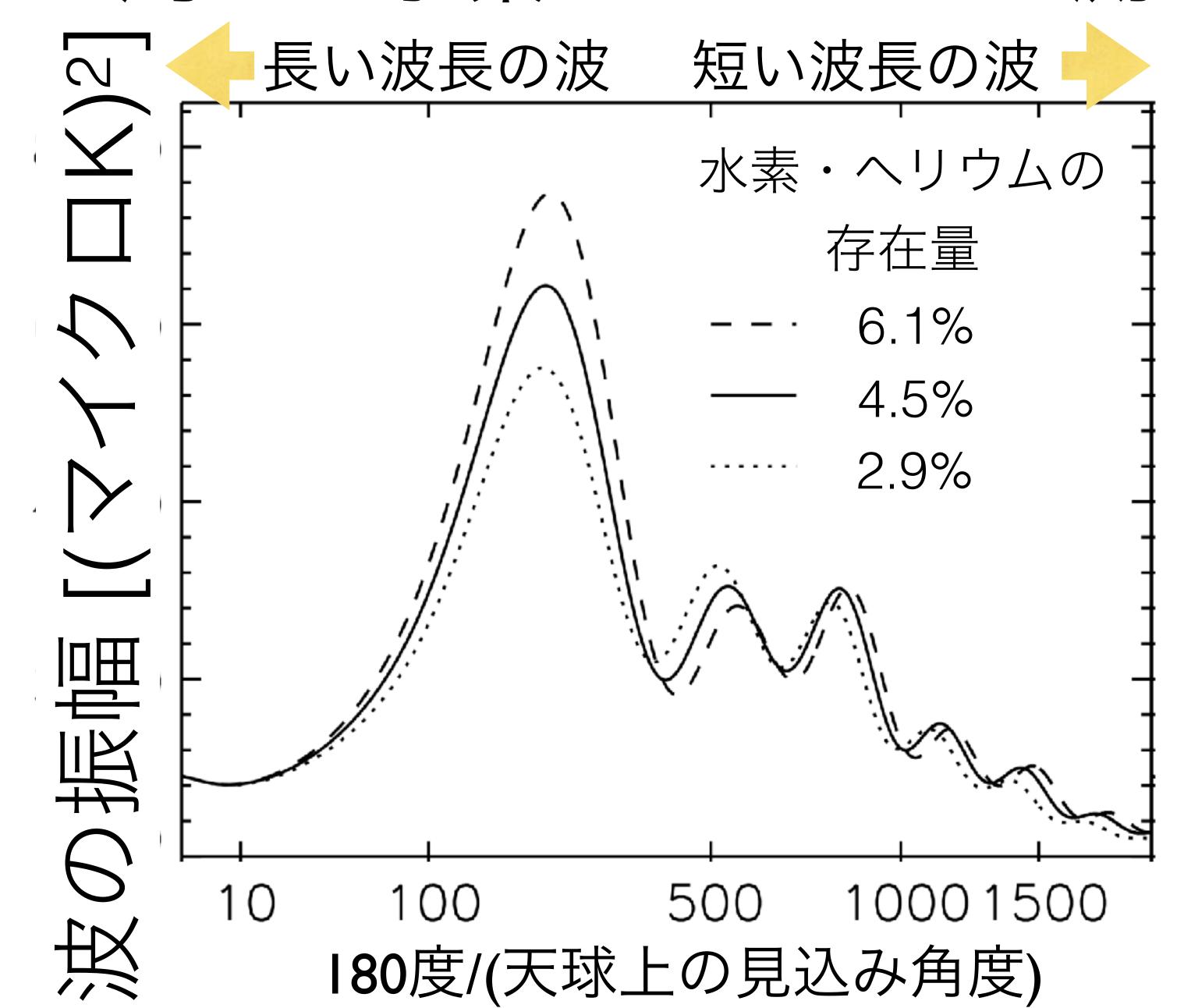
(Received 11 September, 1969)

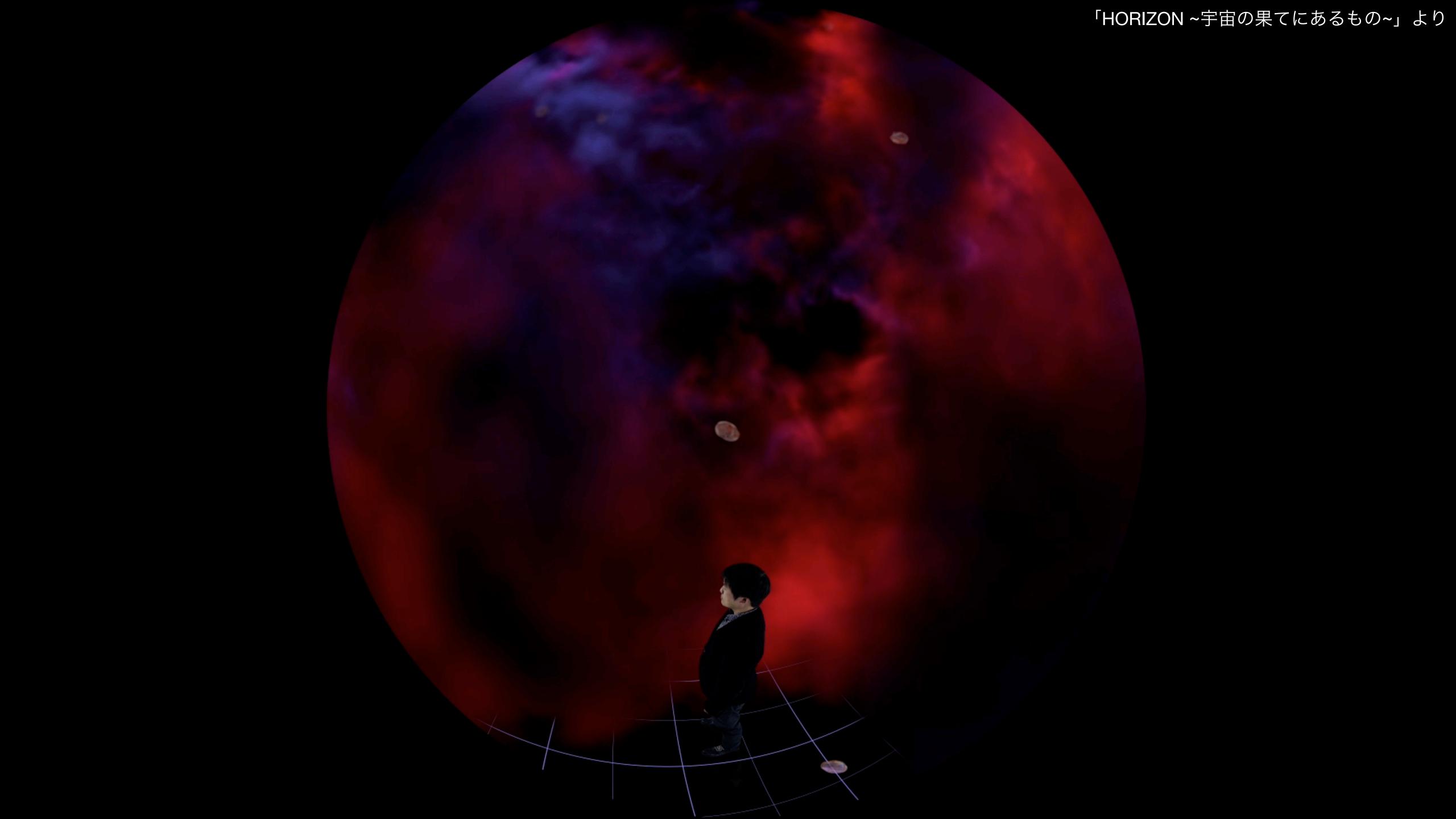


灼熱の宇宙を伝わる音波 の存在は、理論的に予言 されていた (1970年)

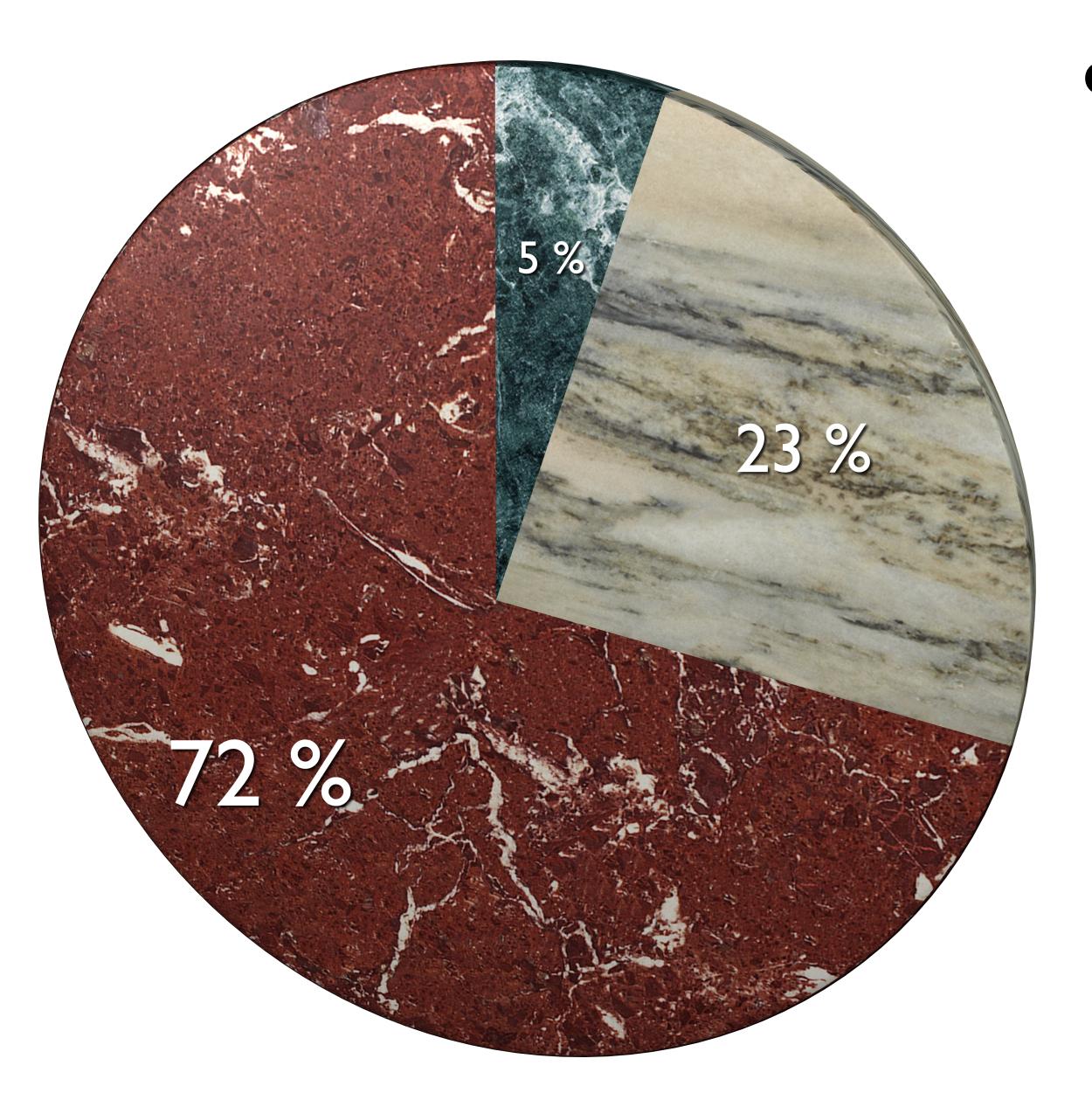


波形を用いて水素・ヘリウムを測る





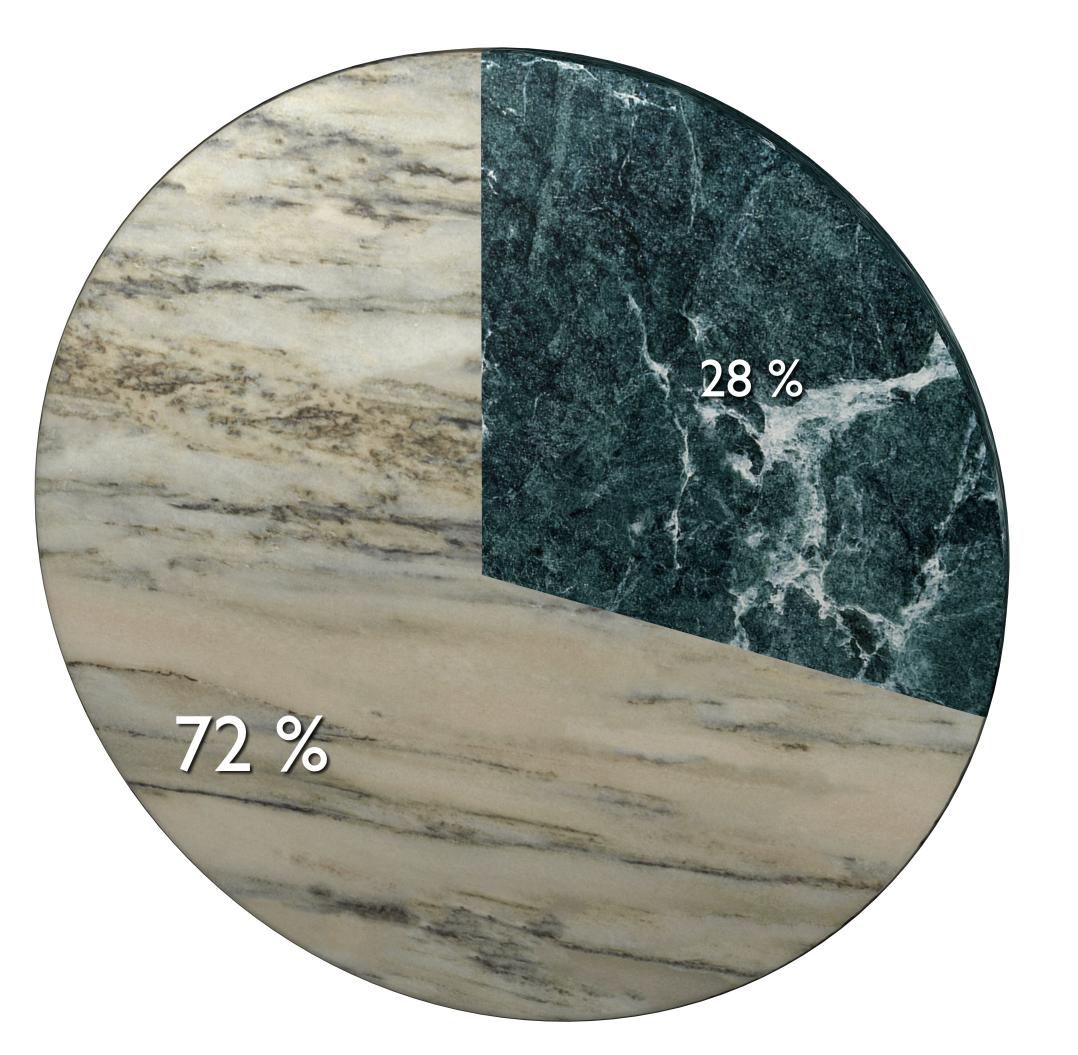
宇宙の組成表



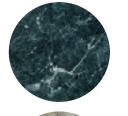
- WMAPにより、宇宙の 組成が決められた。
 - 結果、我々は、宇宙の 組成の95%を理解でき ていない事を知ってしまった。

水素とヘリウム 暗黒物質 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。

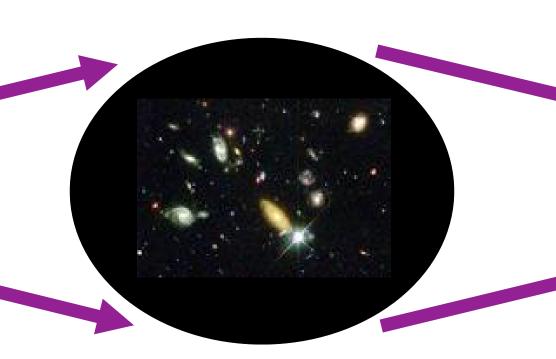
•物質のある宇宙はどのように膨張する?

-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

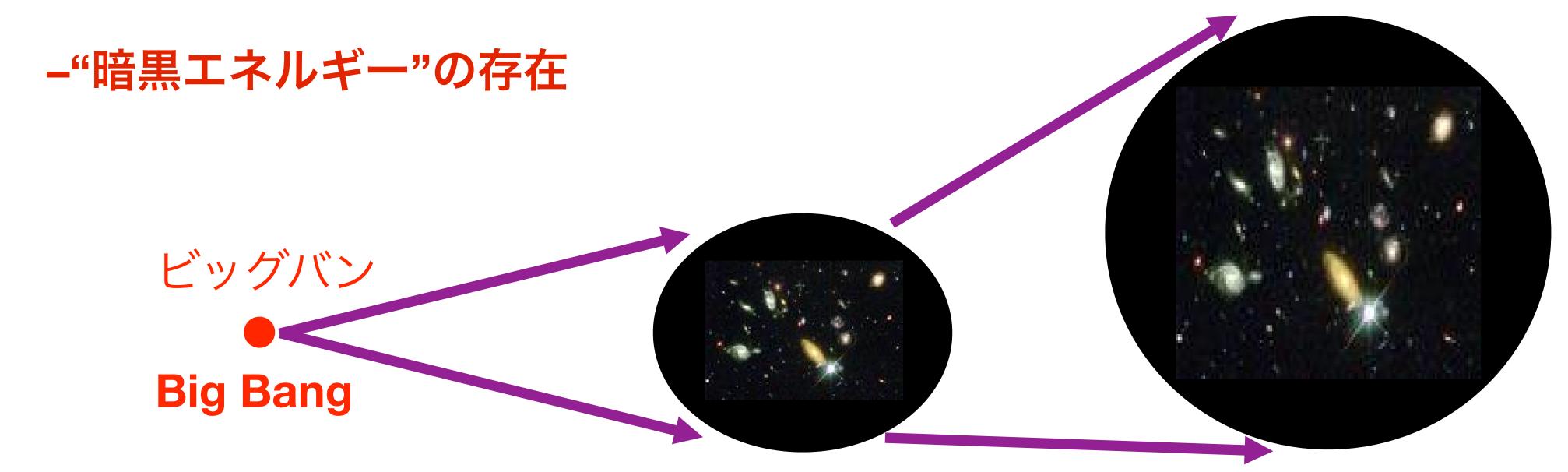


加速膨張する宇宙

・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。



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

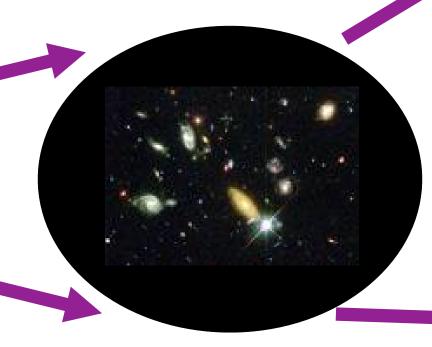
宇宙の終わりを決める鍵

- 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。

(Big)

J (Rip)



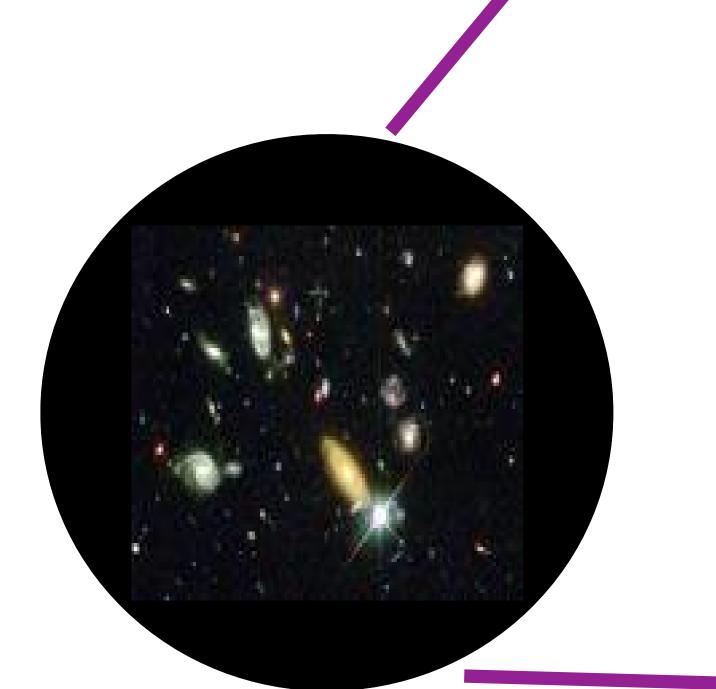




暗黒エネルギーで 引き起こされる

(かもしれない)

宇宙の破滅的未来



Big Rip

暗黒エネルギーの時間変化が決める宇宙の未来

- ・セーフのシナリオ
 - 単位体積中にある暗黒エネルギーの量は時間に関して一定、あるいは減少するならば、銀河系内で暗黒エネルギーは影響しない。つまり、今が大丈夫なのだから、これからも大丈夫。
- 最悪のシナリオ: Big Rip
 - 単位体積中にある暗黒エネルギーの量は**時間とともに増大**。いずれは、あらゆる場所において暗黒エネルギーの効果が無視できなくなる。銀河系も、太陽も、惑星も、もちるん地球も、全ては暗黒エネルギーに引き裂かれて終わる。
- 現在の測定によれば、どちらのシナリオも、測定誤差の範囲内で許される。今後の測定ではどう出るか?

次の課題 宇宙の始まり、そして終わり

• 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?

• これら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。





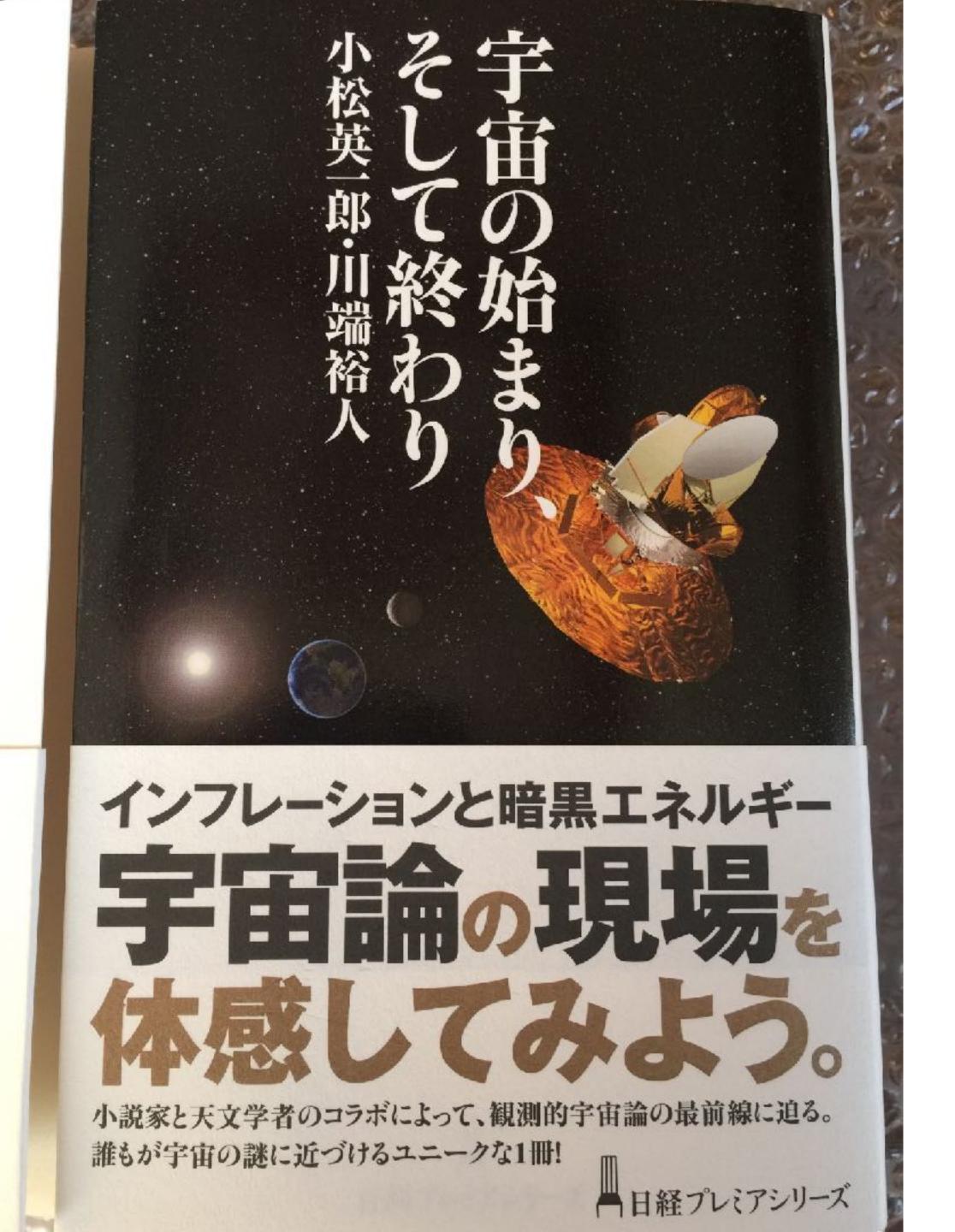
2029 Lite BIRD ライトバード JAXA主導:

日本主導では初の

宇宙背景放射探查機

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。



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

