

ブラックホールを見る
--- 台湾で世界最先端の
研究を行う ---

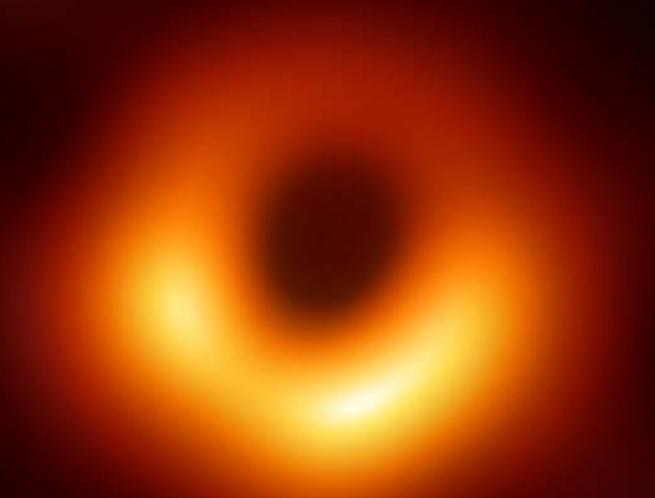
松下 聡樹

台湾中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) 研究員

グリーンランド望遠鏡 (GLT) プロジェクト代表

イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT) 台湾代表

ブラックホールはどう見える??



楕円銀河M87の
超巨大ブラックホール

2019年4月10日以後

Event Horizon Telescope (EHT) Collaboration 2019



Event
Horizon
Telescope

The Black Hole Shadow in M 87 Cover Pages



我々の銀河系の中心にある
超巨大ブラックホール



2022年5月12日

Event Horizon Telescope (EHT) Collaboration 2022

これら二つのブラックホールは ほぼ同じ見かけのサイズ

M87

M87*

Sgr A*

我々の銀河系

Credit: NASA, ESA and
the Hubble Heritage Team
(STScI/AURA)

42 マイクロ秒角
= 0.000000012 度

52 マイクロ秒角
= 0.000000015 度

Credit: ESO / B.
Trafeshi (twanight.org)

- これら2つのブラックホールの見かけのサイズは
40 – 50 マイクロ秒角。

空間分解能

- 波長が短い(周波数が高い)ほど、もしくは望遠鏡の大きさが大きい(アンテナ間の距離が大きい)ほど細かいものが見える(空間分解能が高い)。
 - **空間分解能 ~ [波長] / [望遠鏡の大きさ]**

500メートル球形望遠鏡 (FAST) @中国・貴州



FASTの空間分解能 (@1.4 GHz):
2.9分角 (= 0.048度)



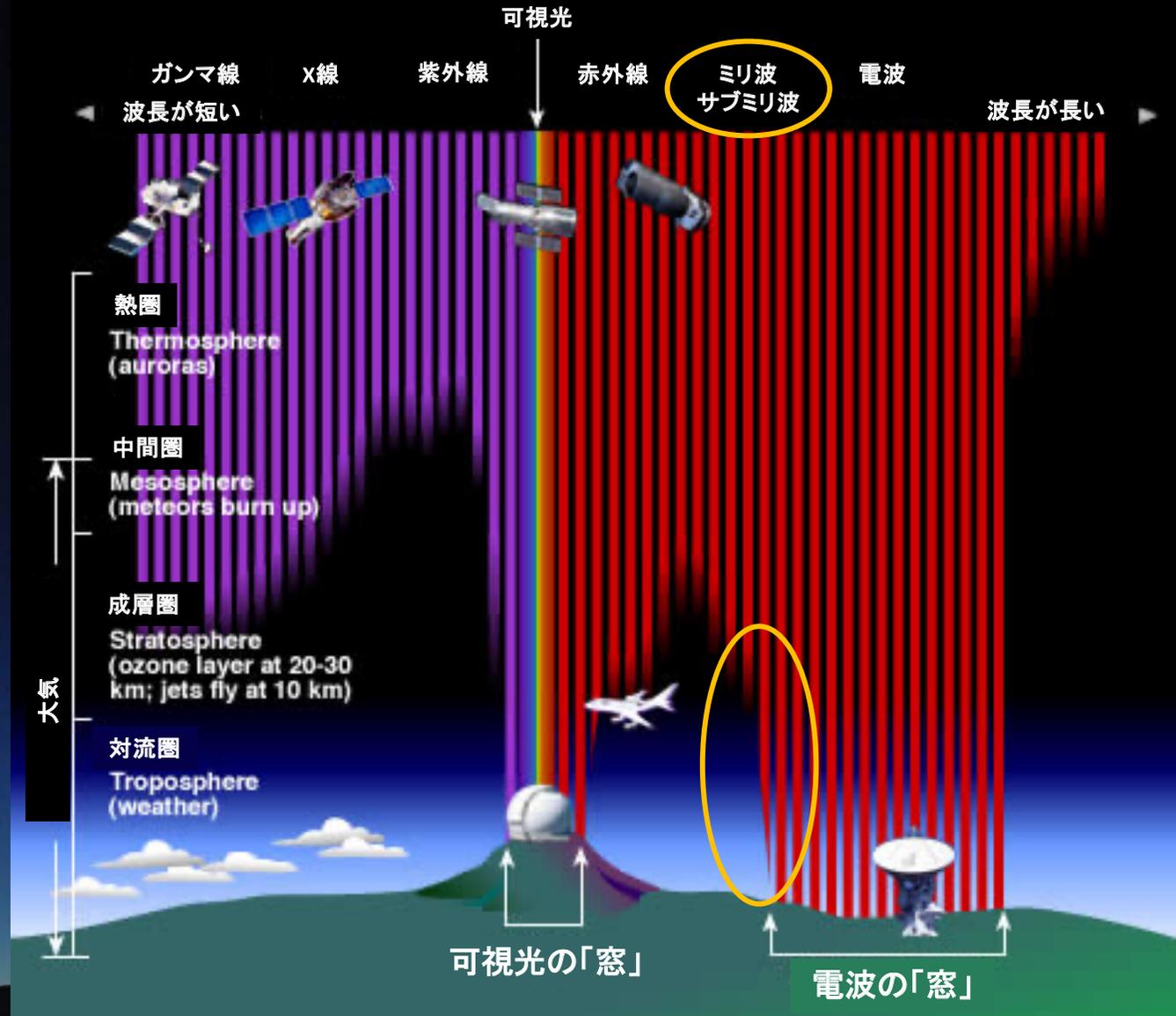
空間分解能

- 波長が短い(周波数が高い)ほど、もしくは望遠鏡の大きさが大きい(アンテナ間の距離が大きい)ほど細かいものが見える(空間分解能が高い)。
 - **空間分解能** ~ [波長] / [望遠鏡の大きさ]
 - 光赤外望遠鏡の空間分解能:
 - ハッブル宇宙望遠鏡 (HST): 40 ミリ秒角
 - ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST): 30 ミリ秒角
 - ブラックホールの見かけのサイズ:
 - 0.04 – 0.05 ミリ秒角かそれより小さいサイズ。
光赤外望遠鏡では小さすぎて見えない!!
- ⇒ **世界中のミリ波サブミリ波望遠鏡を繋げる!!!**
ミリ波サブミリ波超長基線干渉計!!!

大気の「窓」と電波

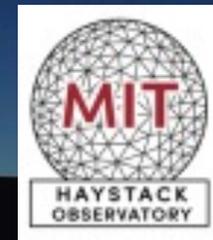
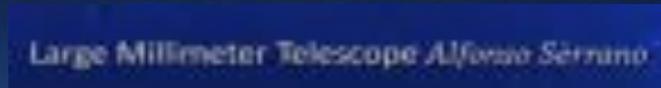
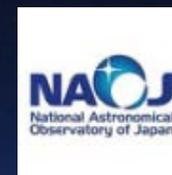
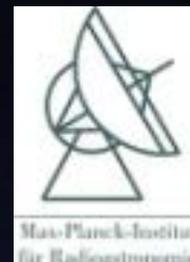
- ▶ ブラックホールを「見る」ためにはミリ波サブミリ波で観測する必要あり。
- ▶ ミリ波サブミリ波の大気の「窓」は端にあり、ここを観測するには世界最先端の技術力が必要。

STSci/JHU/NASA



イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT)

- 中央研究院天文及天文物理研究所
- アリゾナ大学
- シカゴ大学
- 東アジア観測所
- フランクフルト・ゲーテ大学
- ミリ波天文学研究所
- アルフォンソ・セラノ大型ミリ波望遠鏡
- マックス・プランク・電波天文学研究所
- 国立天文台
- 理論物理学ペリメター研究所
- マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所
- ナイメーヘン・ラドバウト大学
- スミソニアン天体物理観測所

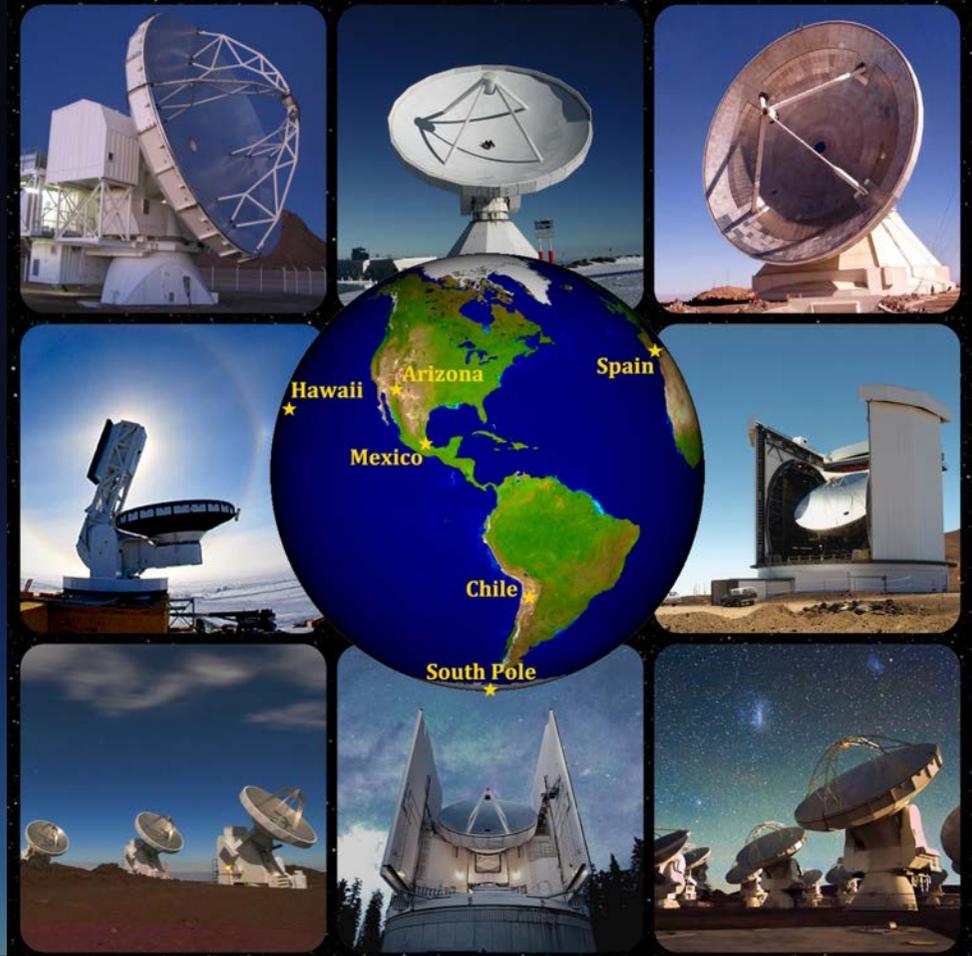




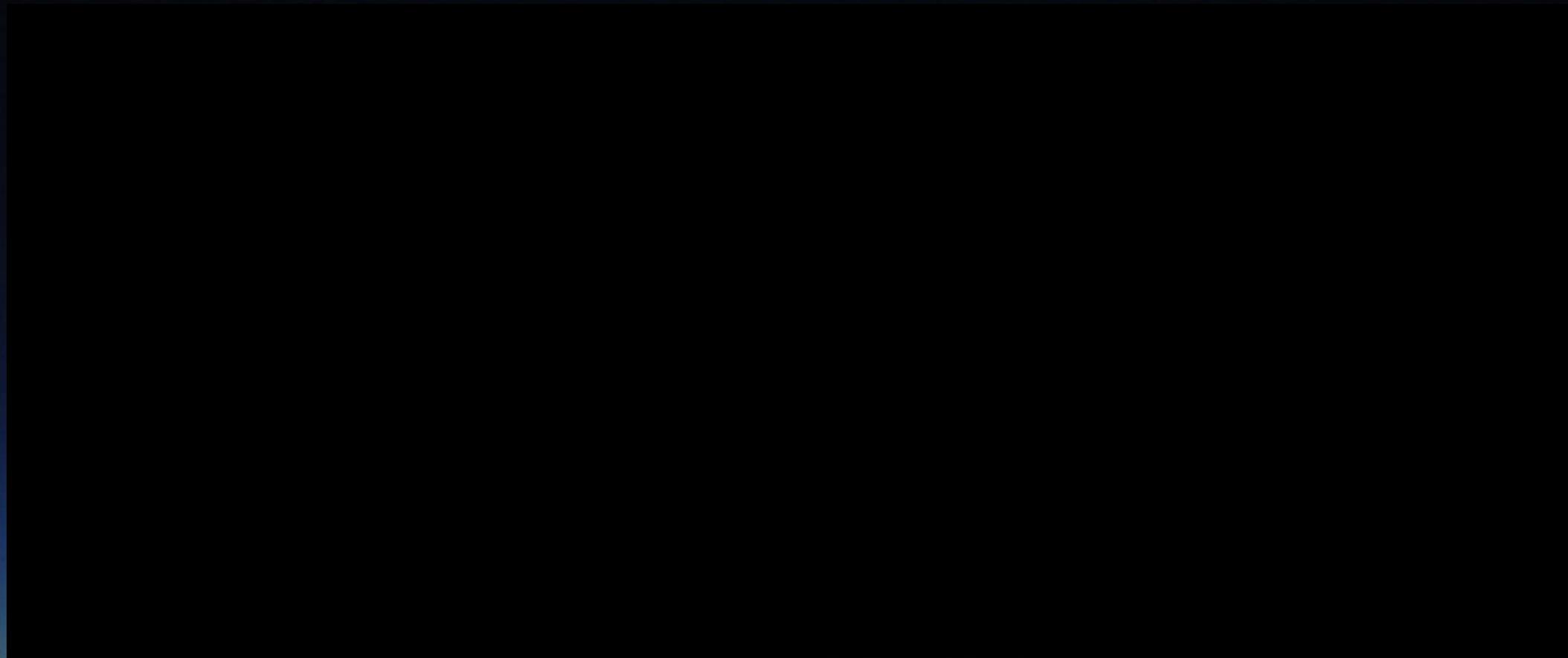
世界のミリ波サブミリ波望遠鏡 (2017)

• 230 GHz で観測可能な望遠鏡

- アタカマ ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA), チリ
- アタカマ・パスマインダー実験 (APEX), チリ
- ジェームズ・クラーク・マクスウェル望遠鏡 (JCMT), ハワイ
- 大型ミリ波望遠鏡 (LMT), メキシコ
- IRAM 30メートル望遠鏡, スペイン
- 南極望遠鏡 (SPT), 南極
- サブミリ波干渉計 (SMA), ハワイ
- サブミリ波望遠鏡 (SMT), アリゾナ



どうやってブラックホールの写真を撮る？



これら二つのブラックホールは ほぼ同じ見かけのサイズ

M87



= 0.000000012 度



= 0.000000015 度

我々の銀河系



Credit: ESO / B. Trafeshi (twanight.org)

Credit: NASA, ESA and
the Hubble Heritage Team
(STScI/AURA)

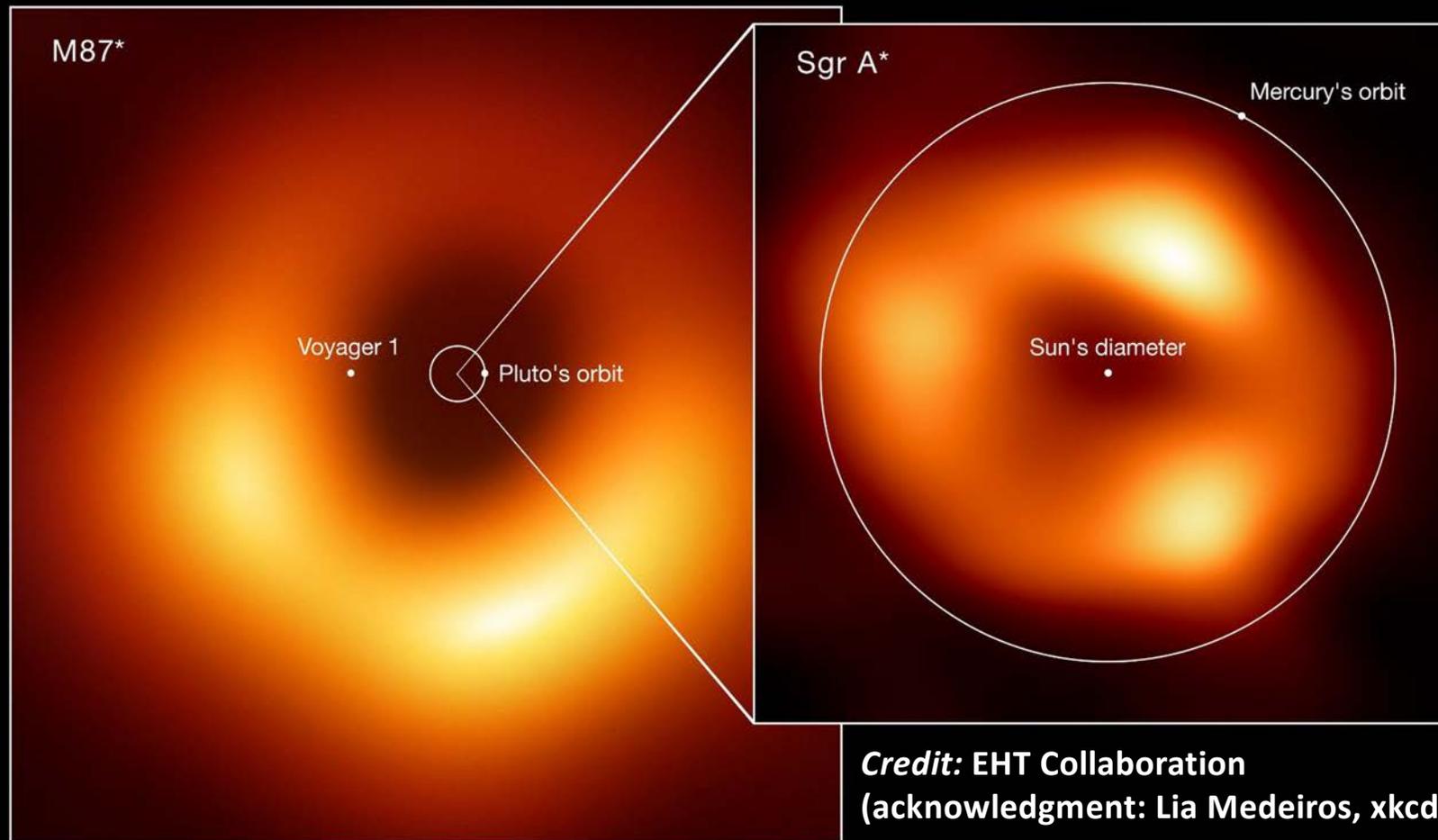
- M87の地球からの距離は**5500万光年**。
- 我々の銀河系の中心の距離は**2万7千光年**。

ブラックホール物理学 #1

- 重たいほど大きい。
- もし2倍重ければ、2倍大きくなる。
- もし10倍重ければ、10倍大きくなる。

(シュバルツシルト半径 : $r_s = 2GM_{\text{BH}} / c^2$)

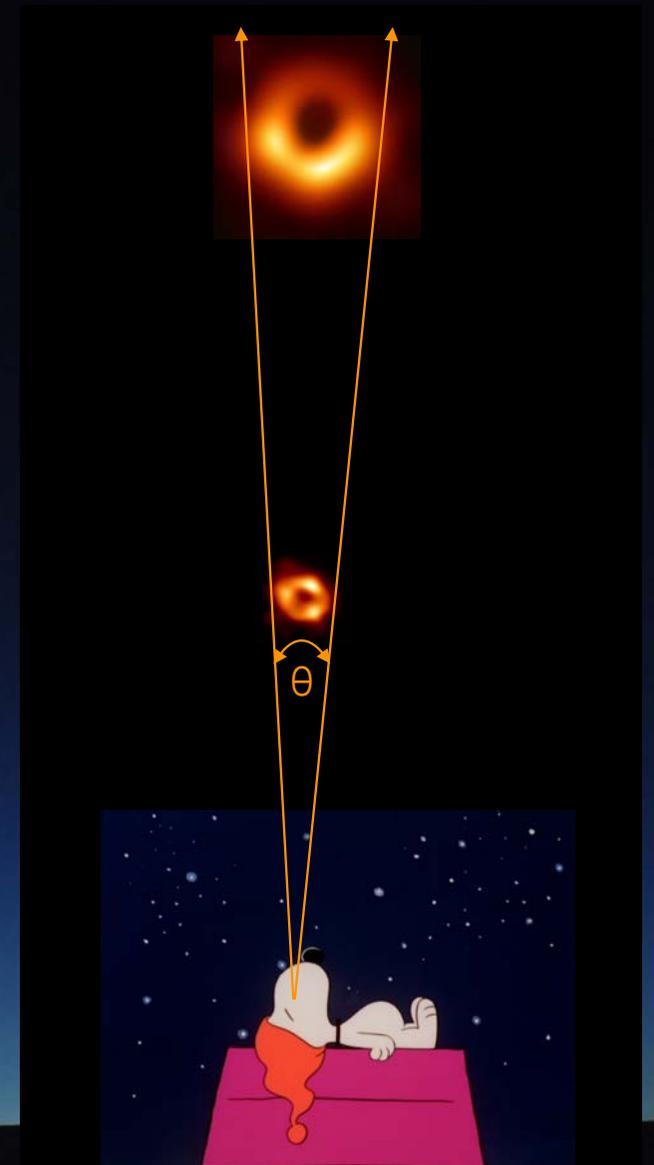
二つのブラックホールの実際の大きさの違い



なぜ同じサイズ？

- M87のブラックホールの地球からの距離は我々の銀河系の中心より約2000倍遠い。
⇒ 約2000倍小さく見える。
- M87のブラックホールの質量は我々の銀河系の中心のより約2000倍重い。
⇒ 約2000倍大きい。

⇒ 見かけの大きさ (θ):
M87も我々の銀河系のブラックホールも
ほぼ同じ大きさに見える!



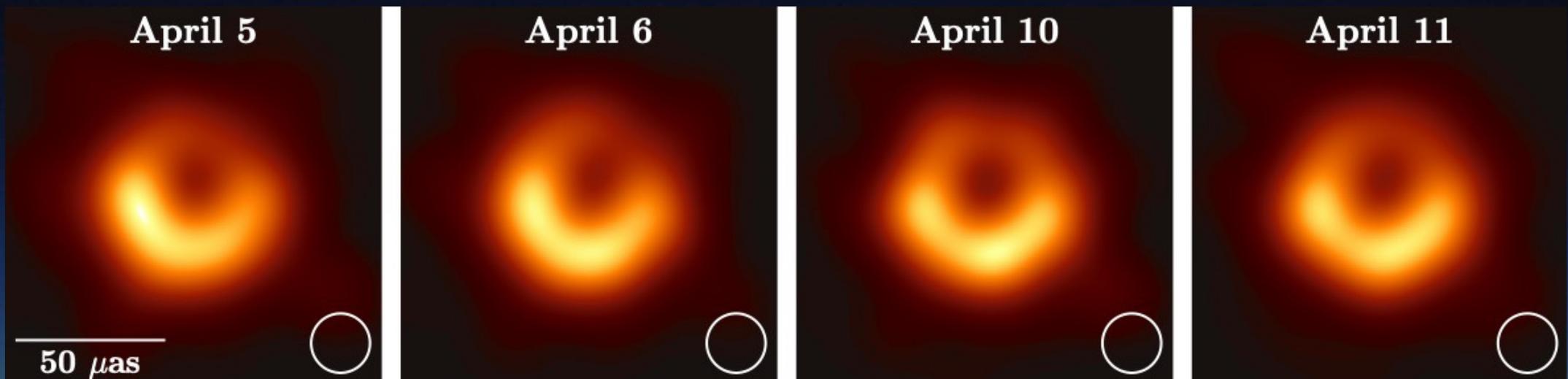
ブラックホール物理学 #2

- 重いほど、ブラックホールのサイズが大きくなり、ブラックホールの周りの物質の動きは遅くなる。
 - もし2倍重くなれば、2倍遅くなる。
 - もし10倍重くなれば、10倍遅くなる。

(光の横断時間 : $t_{\text{lct}} = r_s / c = 2GM_{\text{BH}} / c^3$)

M87のブラックホール

- ブラックホールの質量 = 65億太陽質量。
- ブラックホールの周りを回るのに数週間から数か月かかる。



我々の銀河系中心のブラックホール

- ブラックホールの質量:
M87に比べて約2000倍軽い。

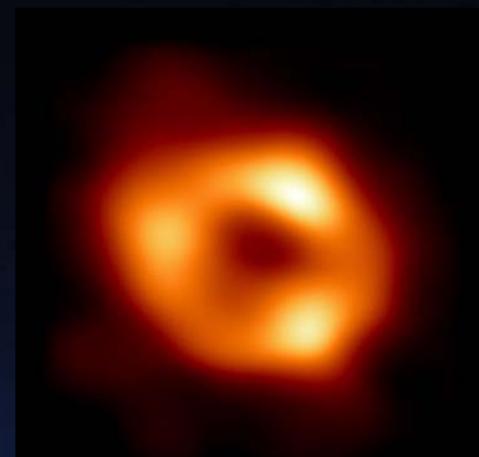
⇒ タイムスケール:

M87より約2000倍速い。

⇒ たった数分から数時間でブラックホールの周りを回る。

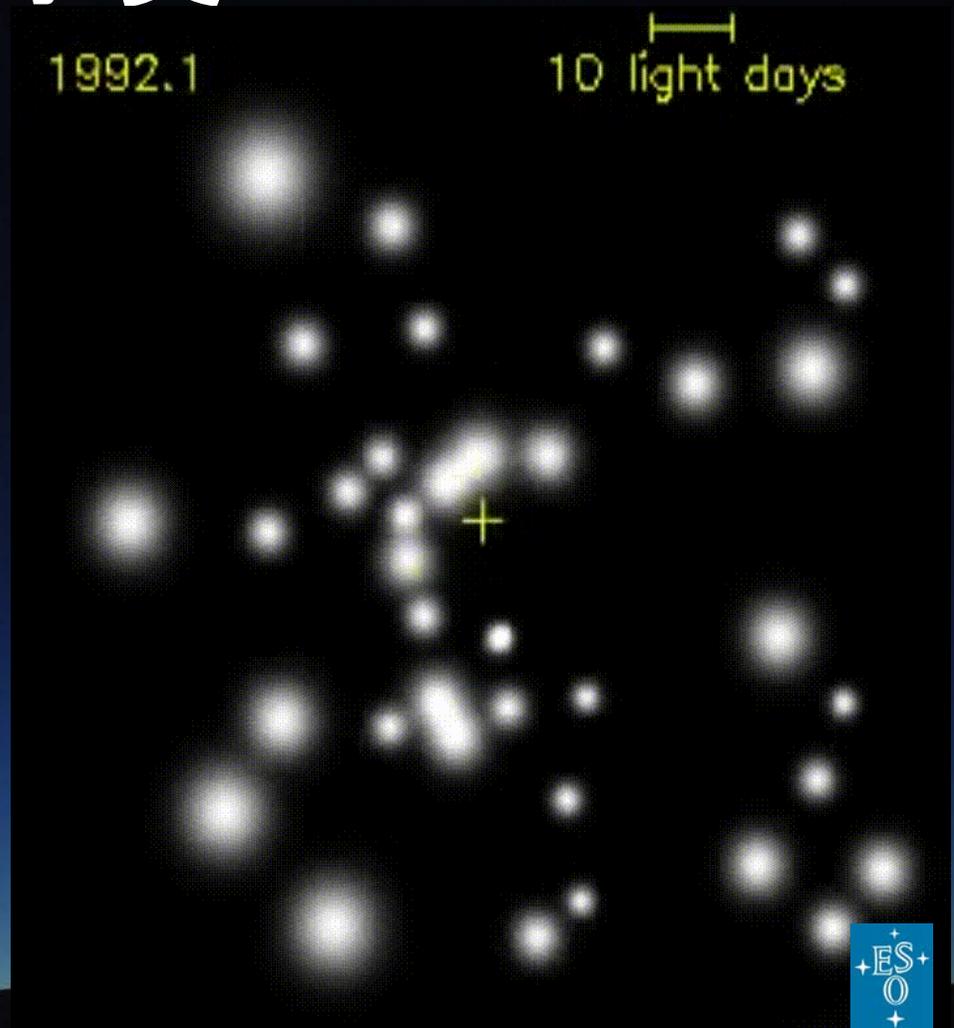
⇒ 速すぎてブラックホールの写真が撮れない!!

⇒ 我々の銀河系中心のブラックホールの写真は動かない成分のみを見せている。



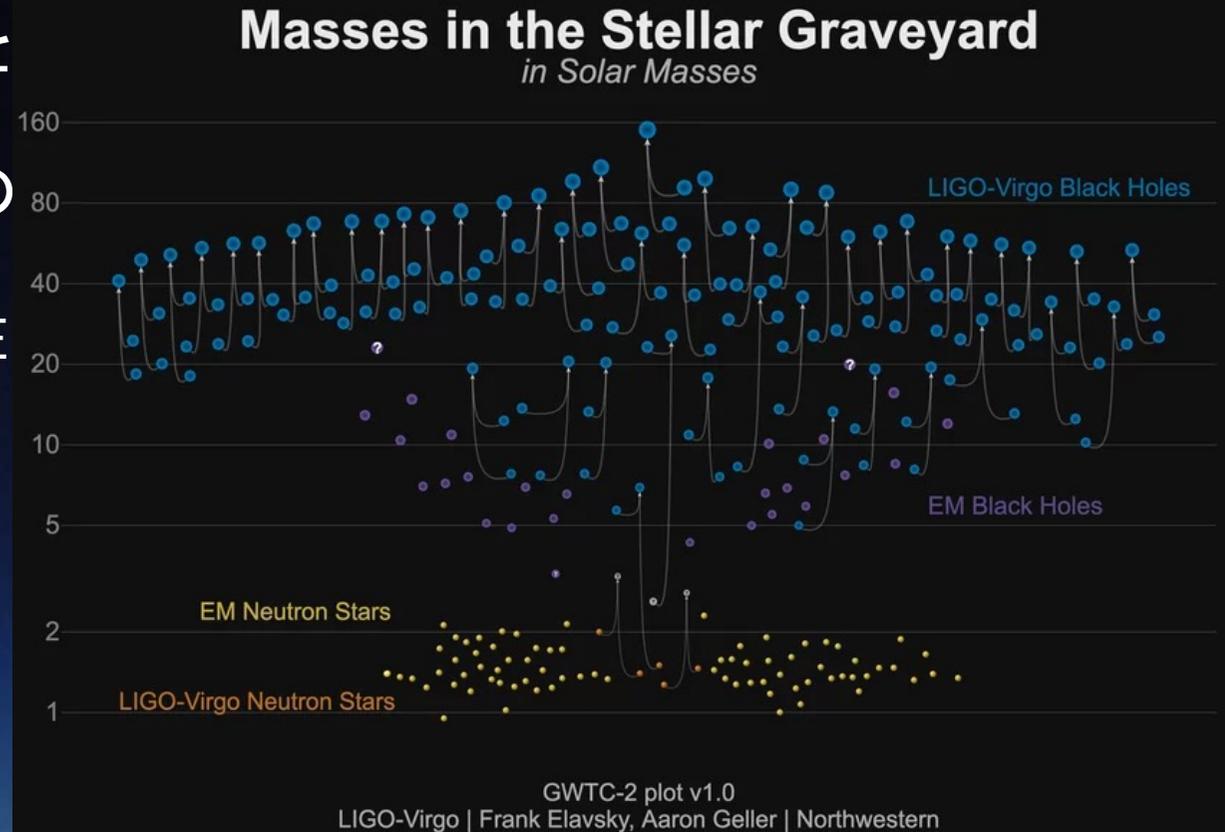
2020年ノーベル物理学賞

- Reinhard Genzel と Andrea Ghez が「我々の銀河中心にある巨大質量のコンパクト天体の発見」で受賞。
 - 最も銀河中心に近づいた星の距離は約18.8億kmで、ほぼ太陽と土星の距離。
- EHTが撮影した写真が見せたものは実際のブラックホールの影の大きさ (~5 R_s)、5180万kmで、ほぼ太陽と水星の距離。
 - ブラックホールが存在する確かな証拠。



2017年ノーベル物理学賞

- Rainer Weiss、Barry C. BarishとKip S. Thorneが「LIGO検出器への決定的な貢献と重力波の観測」で受賞。
 - 恒星質量ブラックホールの存在の確かな証拠。
- EHTによる2つのブラックホールの写真により、400万と65億太陽質量の巨大ブラックホールの存在の確かな証拠。



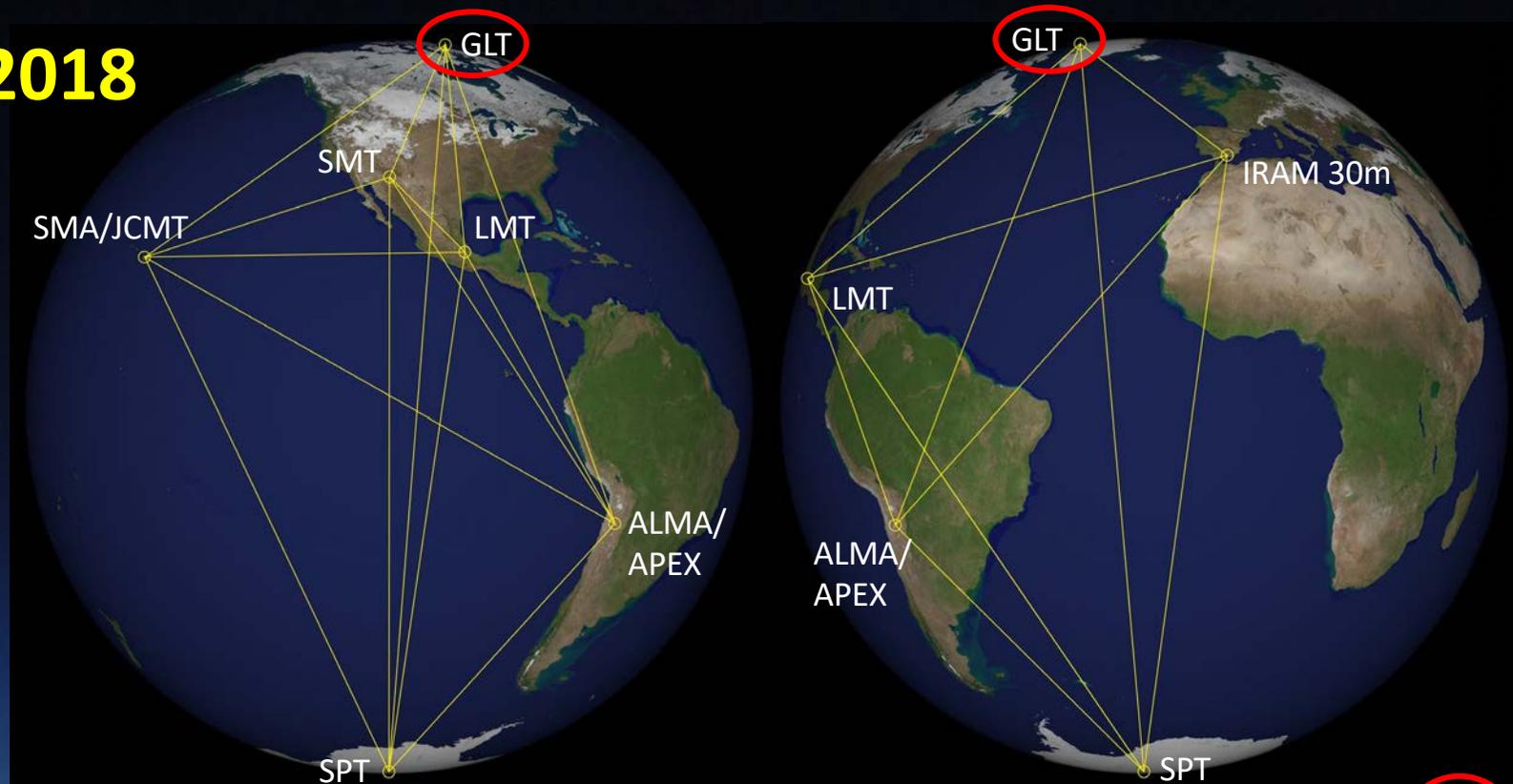
- **これまでのところ、アインシュタインの相対性理論は9桁の幅で正しい。**
(数太陽質量から65億太陽質量)。

最新の結果

EHT 2017年以降のデータ

さらに大きな「望遠鏡」に!!

EHT 2018



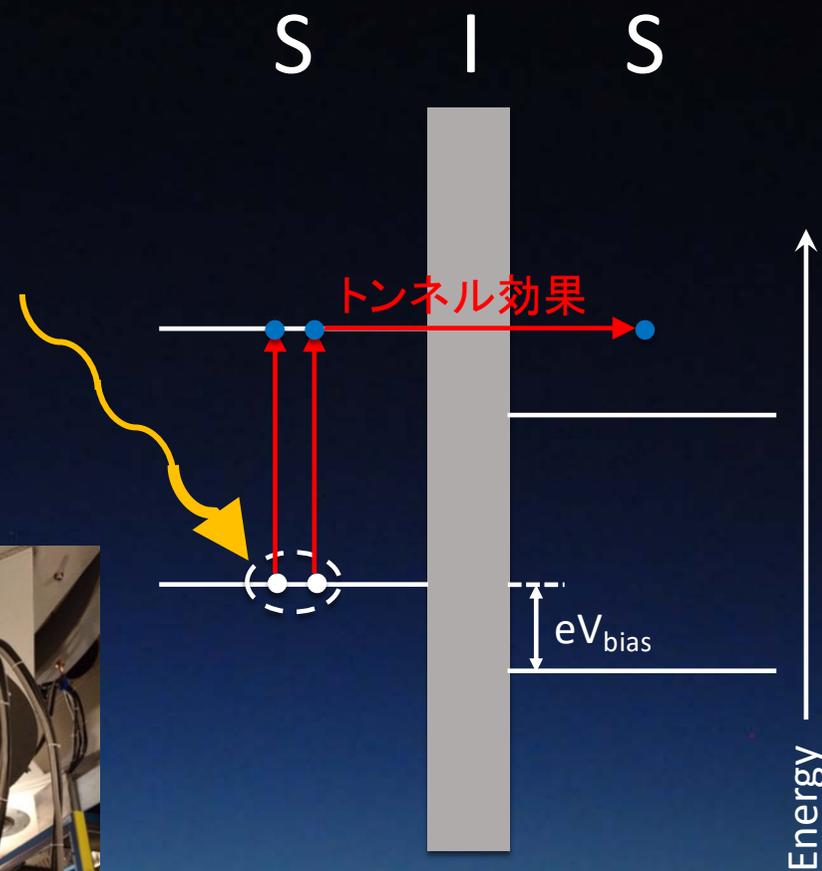
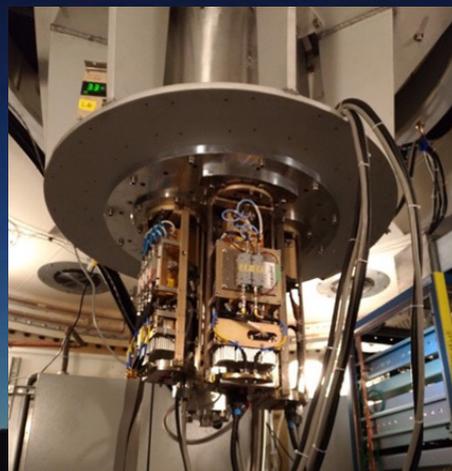
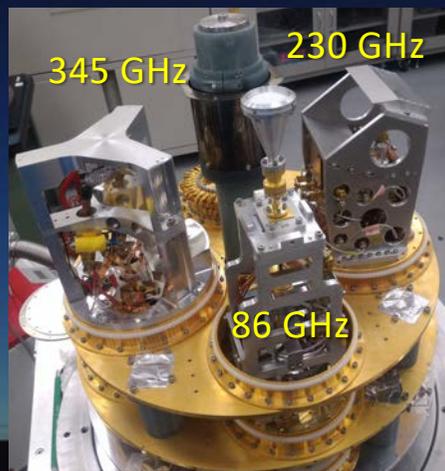
グリーンランド望遠鏡 (GLT)

- 台湾中央研究院天文及天文物理研究所が主導、スミソニアン天文物理観測所がマイナーパートナー。
- メインの科学ゴール：
ブラックホールの写真を撮る!!
- ALMA北アメリカ・プロトタイプ12m望遠鏡。
- アジアで唯一極域で運用している望遠鏡。

GLT受信機

2025年ノーベル物理学賞の技術!!

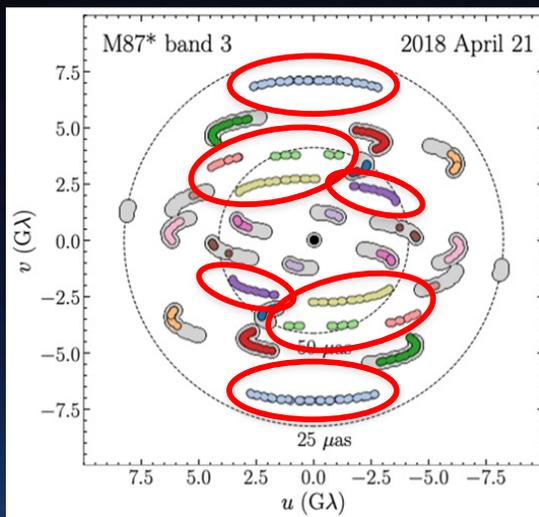
- 「位相」情報を得るには受信機が素早く反応する必要がある。
- 我々は「超電導 (Superconductor) – 絶縁体 (Insulator) – 超電導 (Superconductor)」(SIS) ヘテロダイン受信機を使用。
 - 絶対温度約4度で運用。
- 我々の研究所の受信機グループと台湾の会社で開発。



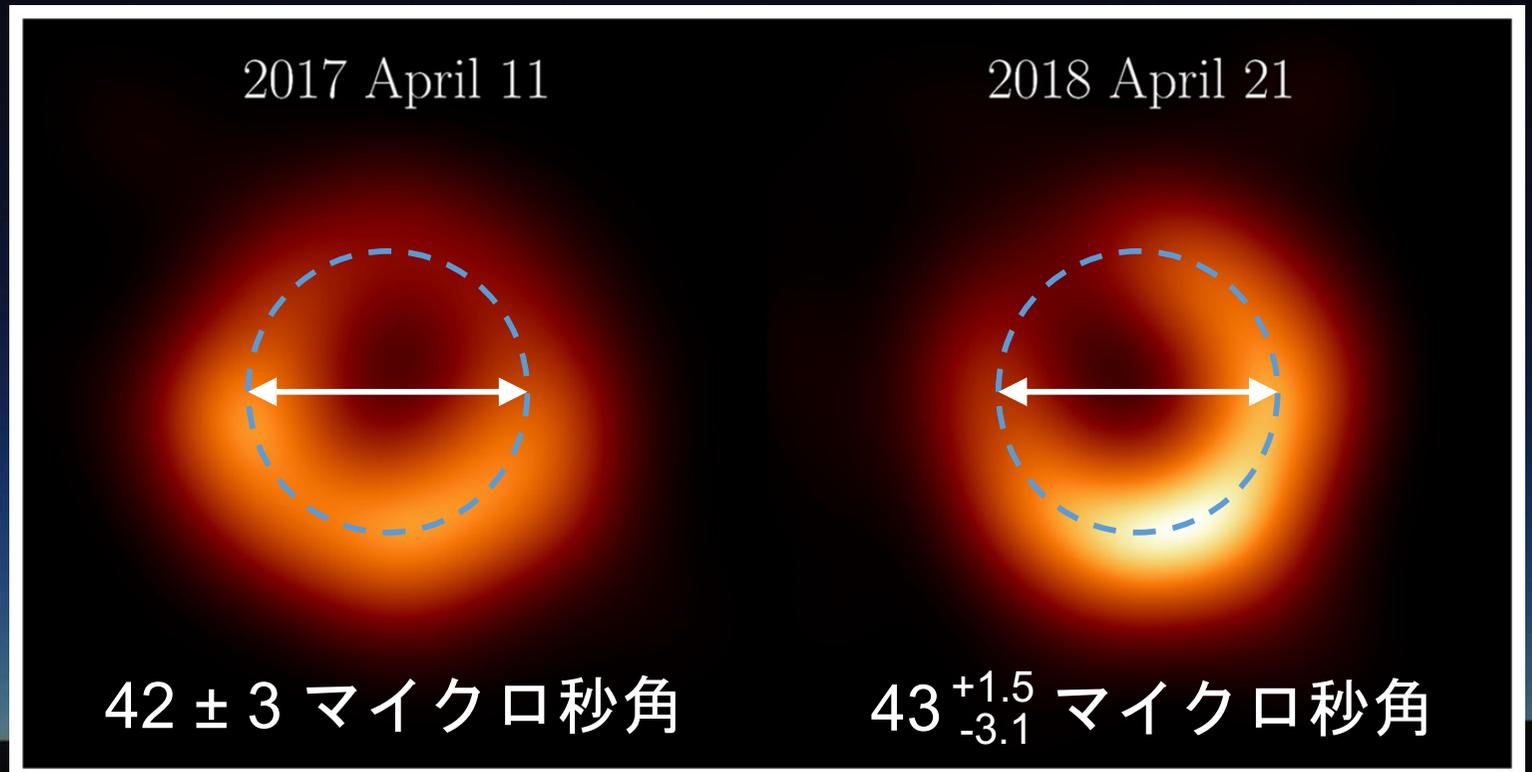
Han et al., 2018, Proc. SPIE, 10708, 1070835

M87ブラックホール、1年後

- 2018年4月にM87を再度観測 (GLTの最初のEHT観測)。
- ブラックホールの直径は1年後も変わらず。
⇒ 写真が本当にブラックホールの影である事の強い証拠。



EHT Collaboration et al.,
2024, A&A, 681, A79



42 ± 3 マイクロ秒角

$43^{+1.5}_{-3.1}$ マイクロ秒角

M87ブラックホール、1年後

- もしブラックホールが回転していると、周囲の空間が引きずられて、一方が暗くなり、もう一方が明るくなる。
⇒ ブラックホールが回転している証拠。

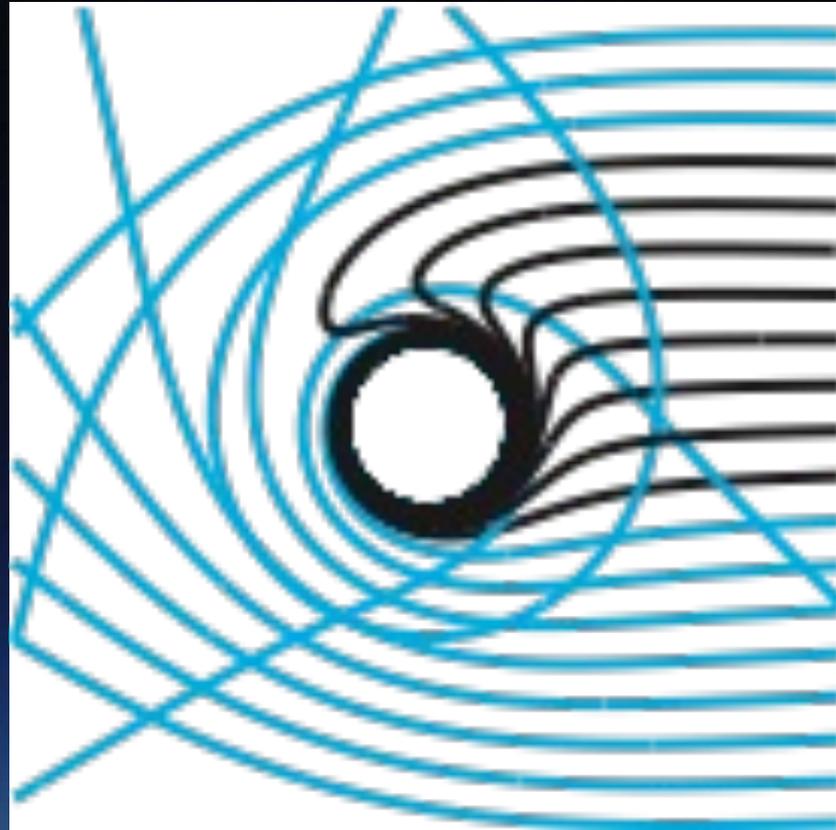
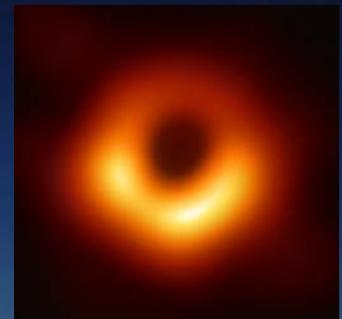


Figure Credit:
Hung-Yi Pu @ NTNU

~4.8 R_s



最速回転ブラックホールの場合

Article

A ring-like accretion structure in M87 connecting its black hole and jet

Lu, Asada, et al., 2023, Nature, 616, 686

<https://doi.org/10.1038/s41586-023-05843-w>

Received: 21 October 2022

Accepted: 14 February 2023

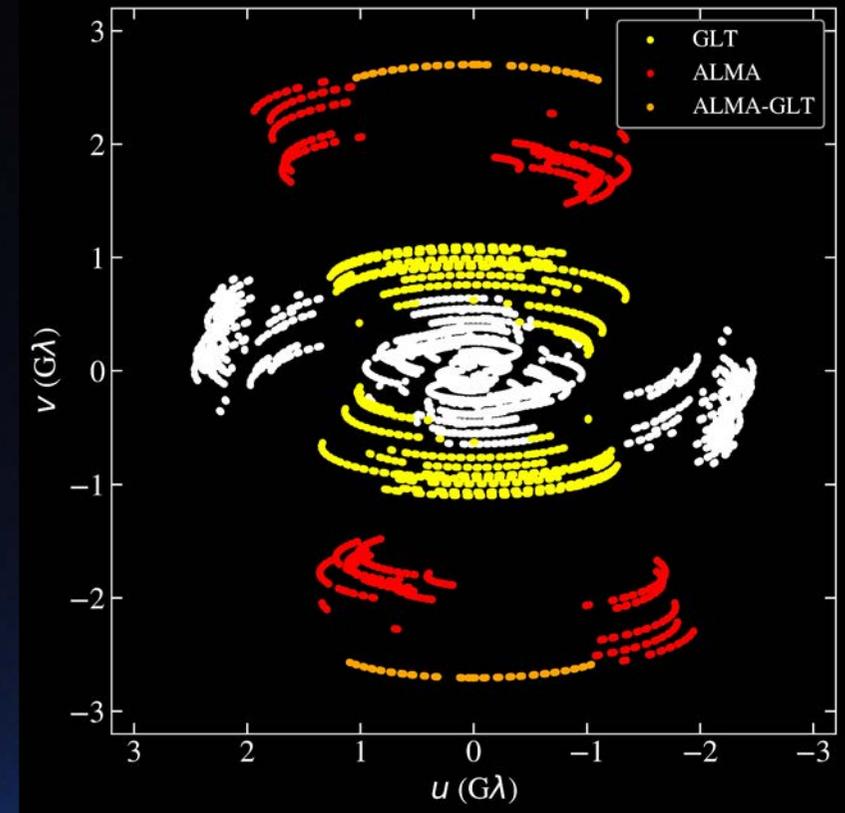
Published online: 26 April 2023

Open access

 Check for updates

Ru-Sen Lu^{1,2,3,5*}, Keiichi Asada^{4,5*}, Thomas P. Krichbaum^{3,5*}, Jongho Park^{4,5}, Fumie Tazaki^{6,7}, Hung-Yi Pu^{4,8,9}, Masanori Nakamura^{4,10}, Andrei Lobanov³, Kazuhiro Hada^{7,11,12}, Kazunori Akiyama^{12,13,14}, Jae-Young Kim^{3,5,15}, Ivan Marti-Vidal^{16,17}, José L. Gómez¹⁸, Tomohisa Kawashima¹⁹, Feng Yuan^{1,20,21}, Eduardo Ros², Walter Alef², Silke Britzen², Michael Bremer²², Avery E. Broderick^{23,24,25}, Akihiro Doi^{26,27}, Gabriele Giovannini^{28,29}, Marcello Giroletti²⁹, Paul T. P. Ho⁴, Mareki Honma^{7,11,30}, David H. Hughes³¹, Makoto Inoue⁴, Wu Jiang¹, Motoki Kino^{14,32}, Shoko Koyama^{4,33}, Michael Lindqvist²⁴, Jun Liu³, Alan P. Marscher³⁵, Satoki Matsushita⁴, Hiroshi Nagai^{11,14}, Helge Rottmann³, Tuomas Savolainen^{3,36,37}, Karl-Friedrich Schuster²², Zhi-Qiang Shen^{1,3}, Pablo de Vicente³⁸, R. Craig Walker³⁹, Hai Yang^{1,21}, J. Anton Zensus³, Juan Carlos Algaba⁴⁰, Alexander Allardi⁴¹, Uwe Bach³, Ryan Berthold⁴², Dan Bintley⁴², Do-Young Byun^{3,43}, Carolina Casadio^{44,45}, Shu-Hao Chang⁴, Chih-Cheng Chang⁴⁶, Song-Chu Chang⁴⁶, Chung-Chen Chen⁴, Ming-Tang Chen⁴⁷, Ryan Chilson⁴⁷, Tim C. Chuter⁴², John Conway³⁴, Geoffrey B. Crew¹³, Jessica T. Dempsey^{42,48}, Sven Dornbusch³, Aaron Faber⁴⁹, Per Friberg⁴², Javier González García³⁸, Miguel Gómez Garrido³⁸, Chih-Chiang Han⁴, Kuo-Chang Han⁴⁶, Yutaka Hasegawa⁵⁰, Ruben Herrero-Illana⁵¹, Yau-De Huang⁴, Chih-Wei L. Huang⁴, Violette Impellizzeri^{52,53}, Homin Jiang⁴, Hao Jinchi⁵⁴, Taehyun Jung⁵, Juha Kallunki³⁷, Petri Kirves³⁷, Kimihiro Kimura⁵⁵, Jun Yi Koay⁴, Patrick M. Koch⁴, Carsten Kramer²², Alex Kraus², Derek Kubo⁴⁷, Cheng-Yu Kuo⁵⁶, Chao-Te Li⁴, Lupin Chun-Che Lin⁵⁷, Ching-Tang Liu⁴, Kuan-Yu Liu⁴, Wen-Ping Lo^{1,58}, Li-Ming Lu⁴⁶, Nicholas MacDonald³, Pierre Martin-Cocher⁴, Hugo Messias^{51,59}, Zheng Meyer-Zhao^{4,48}, Anthony Minter⁶⁰, Dhanya G. Nair⁶¹, Hiroaki Nishioka⁴, Timothy J. Norton⁶², George Nystrom⁴⁷, Hideo Ogawa⁶⁰, Peter Oshiro⁴⁷, Nimesh A. Patel⁶², Ue-Li Pen⁴, Yurii Pidopryhora^{3,63}, Nicolas Pradel⁴, Philippe A. Raffin⁴⁷, Ramprasad Rao⁶², Ignacio Ruiz⁶⁴, Salvador Sanchez⁶⁴, Paul Shaw⁴, William Snow⁴⁷, T. K. Sridharan^{53,62}, Ranjani Srinivasan^{4,62}, Belén Tercero³⁸, Pablo Torne⁶⁴, Ethalia Traianou³¹⁸, Jan Wagner³, Craig Walther⁴², Ta-Shun Wei⁴, Jun Yang³⁴ & Chen-Yu Yu⁴

The nearby radio galaxy M87 is a prime target for studying black hole accretion and jet formation^{1,2}. Event Horizon Telescope observations of M87 in 2017, at a wavelength of 1.3 mm, revealed a ring-like structure, which was interpreted as gravitationally lensed emission around a central black hole³. Here we report images of M87 obtained in 2018, at a wavelength of 3.5 mm, showing that the compact radio core is spatially resolved. High-resolution imaging shows a ring-like structure of $8.4^{+0.5}_{-1.1}$ Schwarzschild radii in diameter, approximately 50% larger than that seen at 1.3 mm. The outer edge at 3.5 mm is also larger than that at 1.3 mm. This larger and thicker ring indicates a substantial contribution from the accretion flow with absorption effects, in addition to the gravitationally lensed ring-like emission. The images show that the edge-brightened jet connects to the accretion flow of the black hole. Close to the black hole, the emission profile of the jet-launching region is wider than the expected profile of a black-hole-driven jet, suggesting the possible presence of a wind associated with the accretion flow.



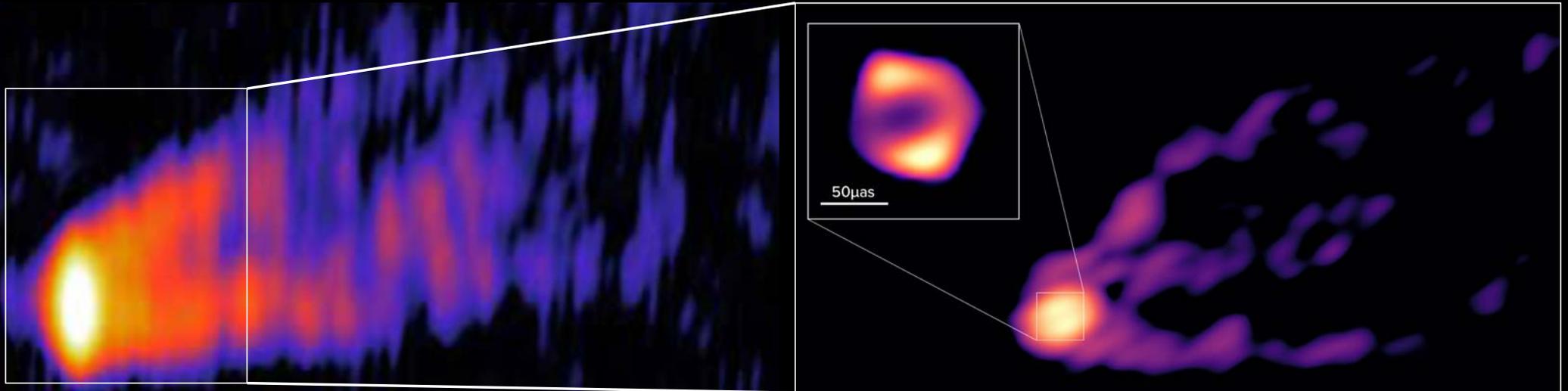
- GMVA+ALMA+GLT: April 14-15, 2018
- 86 GHz VLBI
- 3 Sources: M87, 3C273, & 3C279
- 16 Stations: Eb, On, Mh, Ys, Pv, GLT, GBT, 8 x VLBA, phased ALMA

GLTによる絶大なる貢献

M87 @ 86 GHz

Kim et al. 2018

Lu, Asada, et al. 2023



GMVA

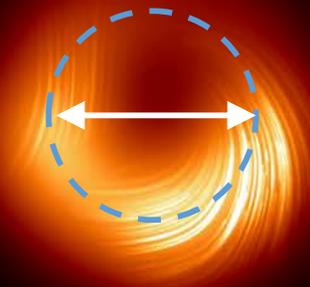
GMVA + ALMA + GLT

- 世界で初めて活動銀河核の詳細な様子をとらえた写真 (ブラックホール、膠着円盤、そしてジェット)。

最新のM87ブラックホールの様子

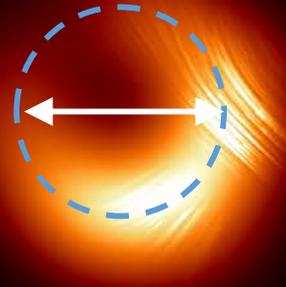
EHT Collaboration et al., 2025, A&A, in press

42 ± 3 マイクロ秒角



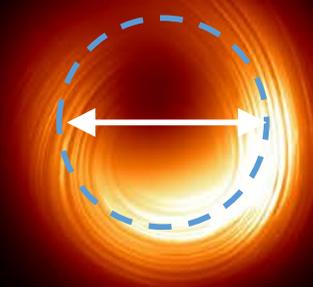
2017 April 11

$43^{+1.5}_{-3.1}$ マイクロ秒角



2018 April 21

43.9 ± 0.6 マイクロ秒角



2021 April 18

- 4年間、M87ブラックホールの直径に変化がなし。
⇒ さらなる巨大質量ブラックホールが存在する証拠。



なぜ台湾？

世界最先端の技術で研究を行う

世界最高の干渉計を求めて:

• 空間分解能

- 波長が短い(周波数が高い)ほど、もしくは望遠鏡の大きさが大きい(アンテナ間の距離が大きい)ほど細かいものが見える(空間分解能が高い)。

• **空間分解能** ~ [波長] / [望遠鏡の大きさ]

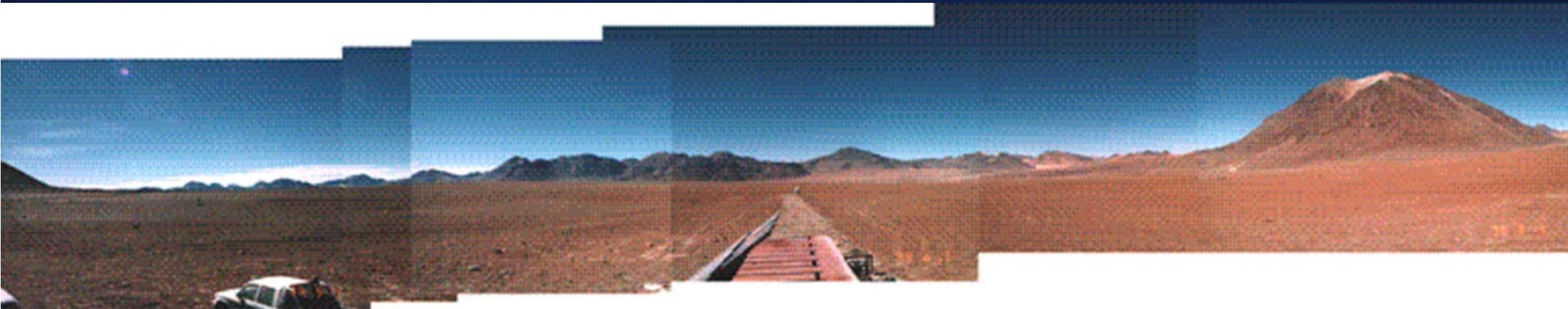
• ミリ波からサブミリ波へ。

• よりアンテナ間の距離が大きい干渉計へ。

⇒ より高分解能、つまり、詳細な情報を得る。

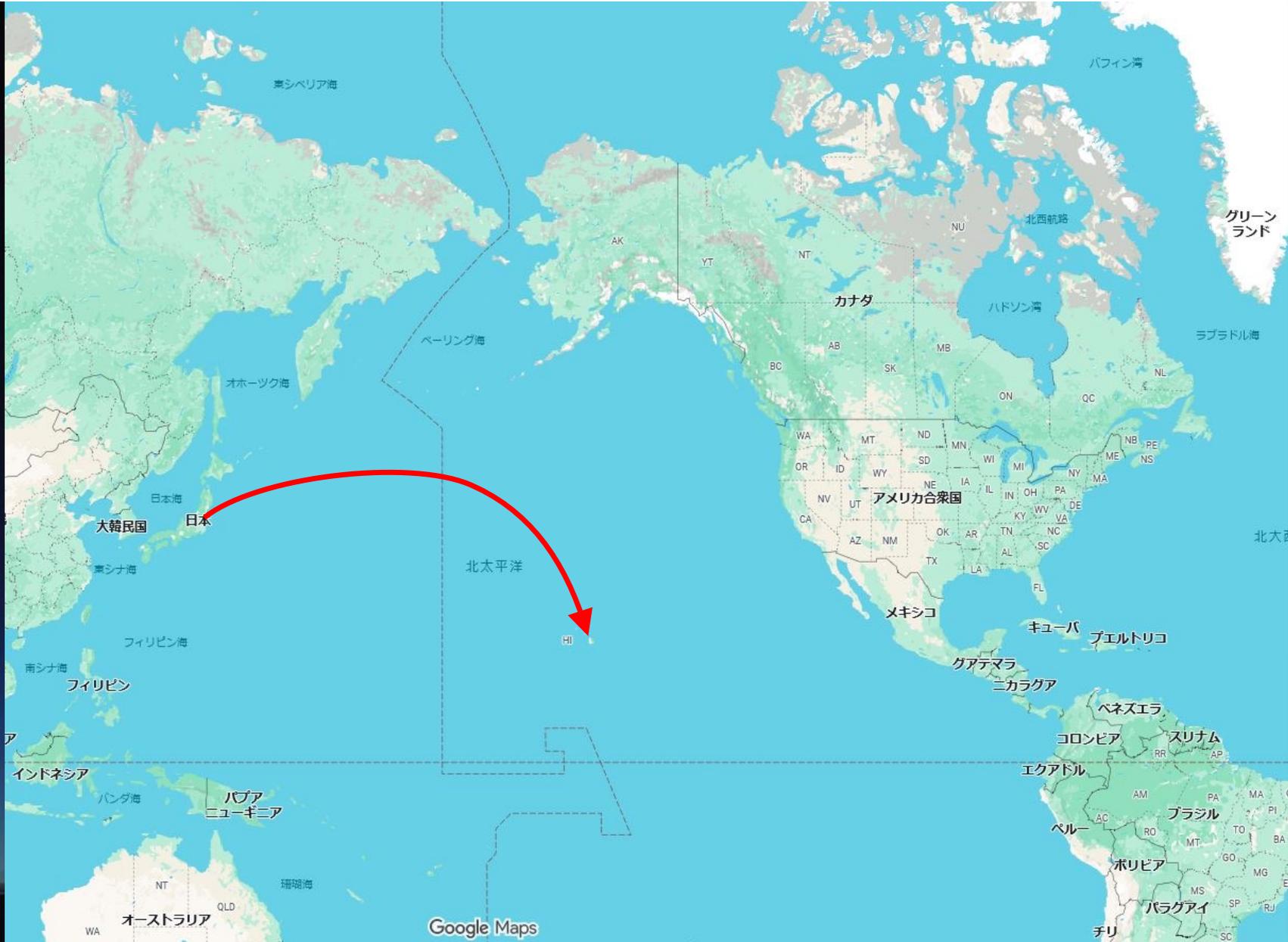
世界最高の干渉計を求めて： 野辺山ミリ波干渉計

- 東北大学(学部、修士; 1991 - 1997)、
総合研究大学院大学(博士; 1997 - 2000)
 - 国立天文台野辺山宇宙電波観測所ミリ波干渉計
- 南米チリ・アタカマ砂漠での将来のミリ波サブミリ波干渉計サイトの調査(標高4800m~5500m)



世界最高の干渉計を求めて:

- 2000年4月に総合研究大学院大学で博士号取得。
- 世界初のサブミリ波干渉計の建設・研究に携わりたかったなので、世界最先端のハワイへ。



世界最高の干渉計を求めて： サブミリ波干渉計 (Submillimeter Array; SMA)

- 博士研究員 (ポスドク)
 - ハーバード・スミソニアン天文物理学センターに所属 (2000 – 2003)。
 - 世界初のサブミリ波干渉計 Submillimeter Array (SMA) の立ち上げに携わる。

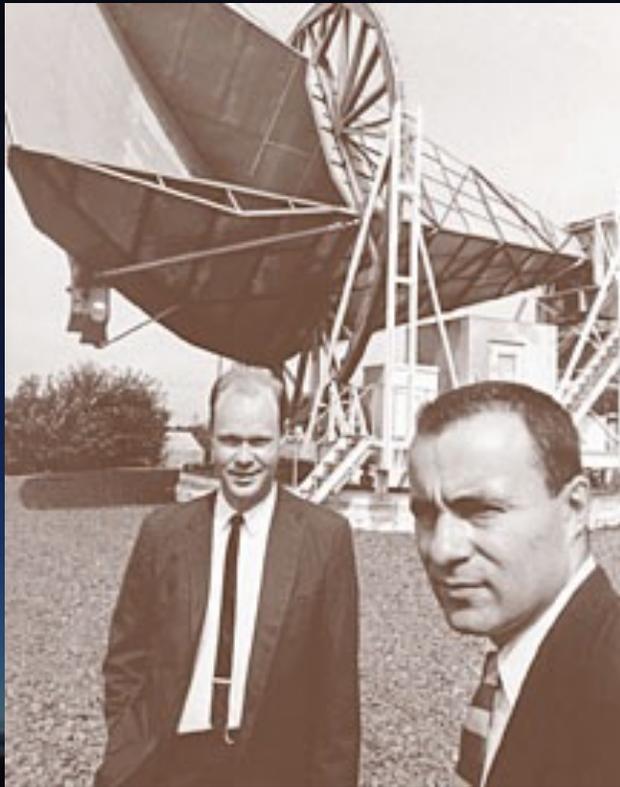
スミソニアン天文物理観測所と
台湾中央研究院天文及天文
物理研究所との共同プロジェクト。

ハワイ・マウナケア山頂 (標高4000m)



世界最高の干渉計を求めて： サブミリ波干渉計 (Submillimeter Array; SMA)

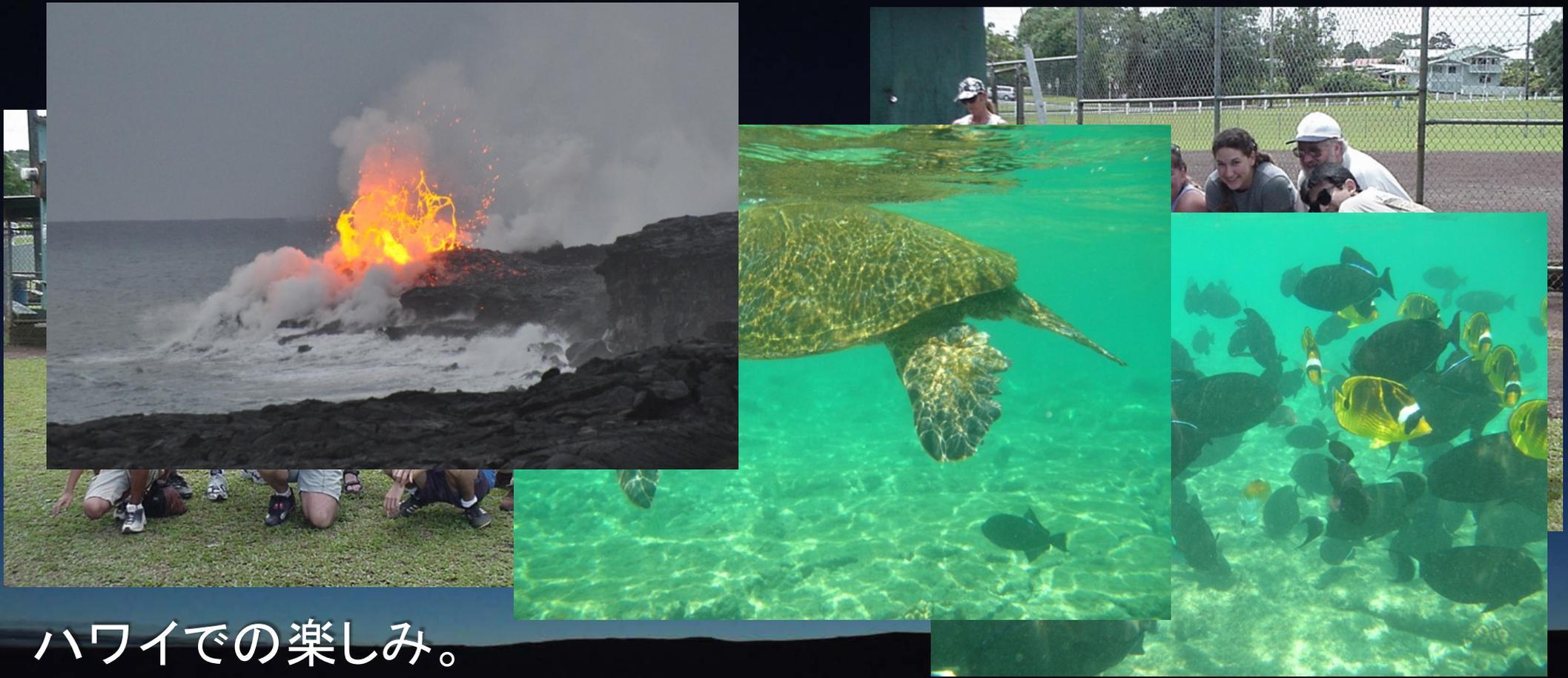
- ノーベル物理学賞受賞者とも一緒に仕事。



宇宙背景放射を発見し、ノーベル物理学賞を受賞したボブ・ウィルソンがSMAのエンジニア。



世界最高の干渉計を求めて： サブミリ波干渉計 (Submillimeter Array; SMA)

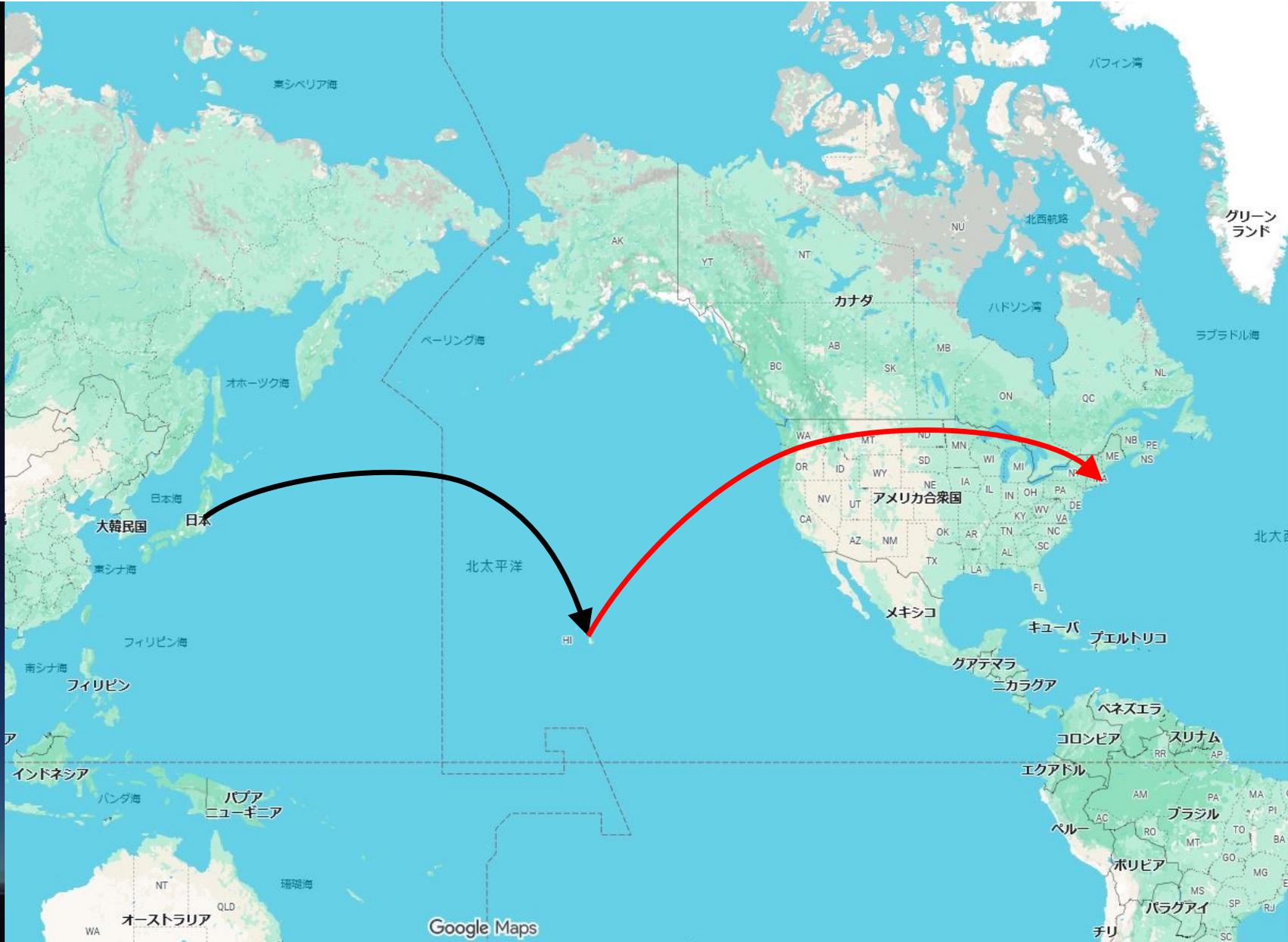


ハワイでの楽しみ。

世界最高の干渉計を求めて:

サブミリ波干渉計 (Submillimeter Array; SMA)

- ハーバード大学で研究してみたかったので、半年ほどボストンへ。



東シベリア海

バフィン湾

グリーンランド

北西航路

カナダ

ハドソン湾

ラブラドル海

ベーリング海

オホーツク海

日本海
大韓民国
日本

北太平洋

アメリカ合衆国

メキシコ

キューバ

プエルトリコ

フィリピン海

南シナ海

フィリピン

インドネシア

バブア
ニューギニア

オーストラリア

Google Maps

グアテマラ
ニカラグア

ベネズエラ

コロンビア

スリナム

エクアドル

ブラジル

ペルー

ボリビア

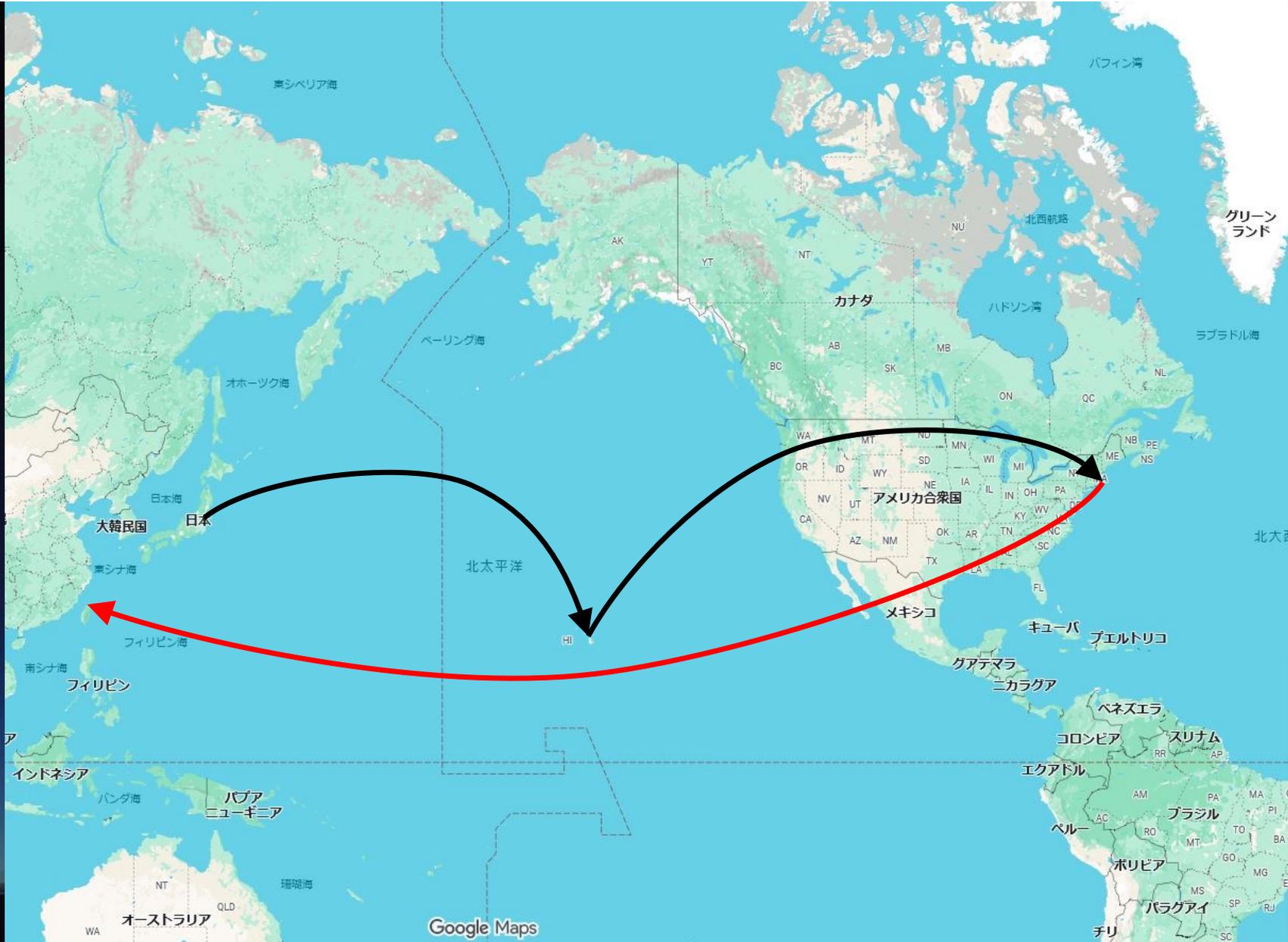
パラグアイ

チリ

世界最高の干渉計を求めて:

- ハーバード大学で研究してみたかったので、半年ほどボストンへ。
- 真冬に行ったので、あまりに寒く、ほとんど写真なし。
- ひたすら研究に没頭。寒いし暗いから外で遊べないし。
- ポスドク雇用期間3年が終わる。
- SMAを続けたかったので、台湾へ。





世界最高の干渉計を求めて： サブミリ波干渉計 (Submillimeter Array; SMA)

- 博士研究員 (ポスドク)
 - 台湾中央研究院天文及天文物理研究所 (2003 – 2005)。

2004年に建設終了。
本格的な科学観測が始まる。



世界最高の干渉計を求めて： なぜ台湾に来たのか？

- 当時(2000年代)の台湾：
 - 中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) はまだ「準備所」
 - 1993年に設立。
 - まだ若手ばかり。ほぼ経験なし。
 - スミソニアン天文物理観測所が設計したSMAの望遠鏡や受信機等の装置の設計図をもらい、その通りにASIAAや台湾の民間企業で建設。
 - 当然、性能も精度も完全コピーを要求される。
 - これにより、台湾はASIAAも企業も世界最先端の科学技術の経験を積む。

世界最高の干渉計を求めて： なぜ台湾に来たのか？

• 天文学新興国

- 天文学先進国で学んだスタッフが必要。
- 世界最先端の装置に予算をかけている。
- 公用語が英語。

• 似た文化

- カルチャーショックがあまりない。
- 非常に親日的。
- 食事がおいしい。

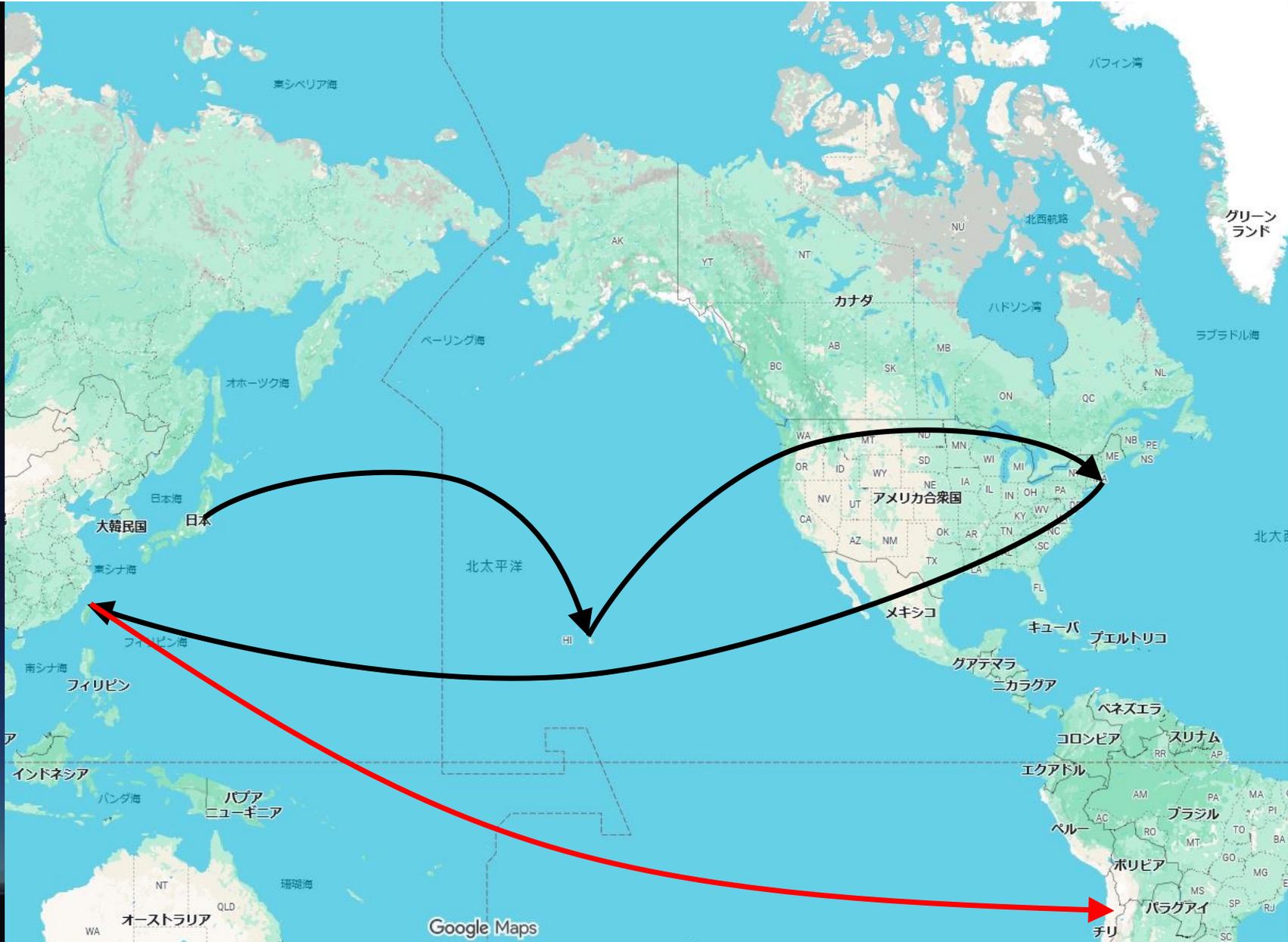
世界最高の干渉計を求めて:

サブミリ波干渉計 (Submillimeter Array; SMA)

- 2005年、中央研究院天文及天文物理研究所の正式なスタッフ (ファカルティー)になる。
- SMAで研究を続ける。

世界最高の干渉計を求めて： アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）

- 以前行っていた南米チリでの観測サイト調査の結果、アタカマ砂漠は世界でも有数のサブミリ波サイトと判明。
- 東アジア、北米、ヨーロッパが連帯して、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array; ALMA) の建設を開始。
- サブミリ波干渉計の性能チェックの経験があるのを買われ、台湾代表として、Commissioning Scientist として1年半チリへ。



東シベリア海

バフィン湾

グリーンランド

北西航路

カナダ

ラブラドル海

ベーリング海

オホーツク海

日本海
大韓民国
日本

アメリカ合衆国

北太平洋

北大西

東シナ海

メキシコ

フィリピン

キューバ
プエルトリコ

南シナ海

グアテマラ
ニカラグア

インドネシア

ベネズエラ
スリナム

パプア
ニューギニア

コロンビア
エクアドル

オーストラリア

ブラジル
ペルー

ボリビア

パラグアイ

チリ

Google Maps

世界最高の干渉計を求めて： アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(アルマ)

- Commissioning Scientist:
 - 台湾代表として2010－2011年にチリへ。
- アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(アルマ)
 - 東アジア、北アメリカ、ヨーロッパの共同計画。
 - アンテナ総計66台を南米チリ標高5000mの高地、アタカマ砂漠に並べてミリ波サブミリ波干渉計観測を行う装置。
 - アンテナ16台そろると、初期科学観測が始まる。
⇒「アンテナ16台で干渉実験を成功させれば、台湾に帰ってきて良し」の命令を下される...

世界最高の干渉計を求めて： アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）

世界最大のミリ波サブミリ波干渉計。標高5000m。
東アジア、北アメリカ、ヨーロッパの共同プロジェクト。
ASIAAは東アジアと北アメリカのマイナーパートナーとして所属。



Clem & Adri Bacri-Normier (wingsforscience.com/ESO)

世界最高の干渉計を求めて： なぜ台湾に来たのか？

- 当時(2010年代)の台湾：
 - 中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) は正式に「研究所」となる。
- サブミリ波干渉計 (SMA) で積んだ経験を元に、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (アルマ) に加わる。
 - 東アジア・フロントエンド組み立てセンターを台湾に作り、東アジアのフロントエンド組み立てを全て行う。
 - あまりに早く正確に行ったため、遅れていた北アメリカとヨーロッパのフロントエンド組み立ての一部も請け負う。

世界最高の干渉計を求めて： アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(アルマ)



世界最高の干渉計を求めて： アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）

サンチャゴ



オフィス



観測所

山麓施設



世界最高の干渉計を求めて： アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(アルマ)

サンペドロ・
デ・アタカマ



アルマサイト(標高5000m)



世界最高の干渉計を求めて： アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）



ガラパゴス諸島



マピ



一島



南米での楽しみ

世界最高の干渉計を求めて： アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）

1年半仕事して、
最後に16台での
干渉計観測成功！

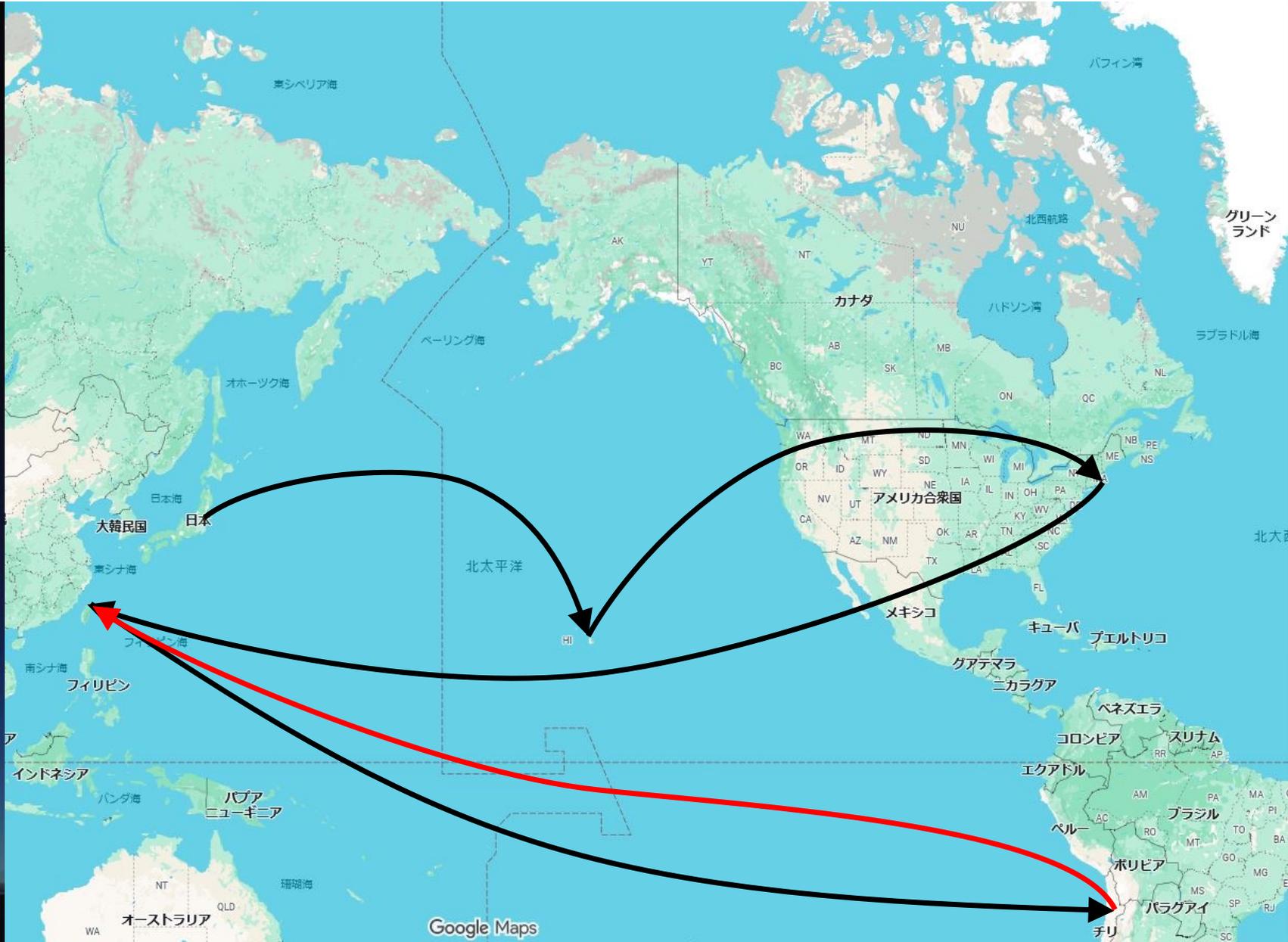


宇宙兄弟 第39巻
小山宙哉/講談社

2011年8月11日
アルマ日本ニュース

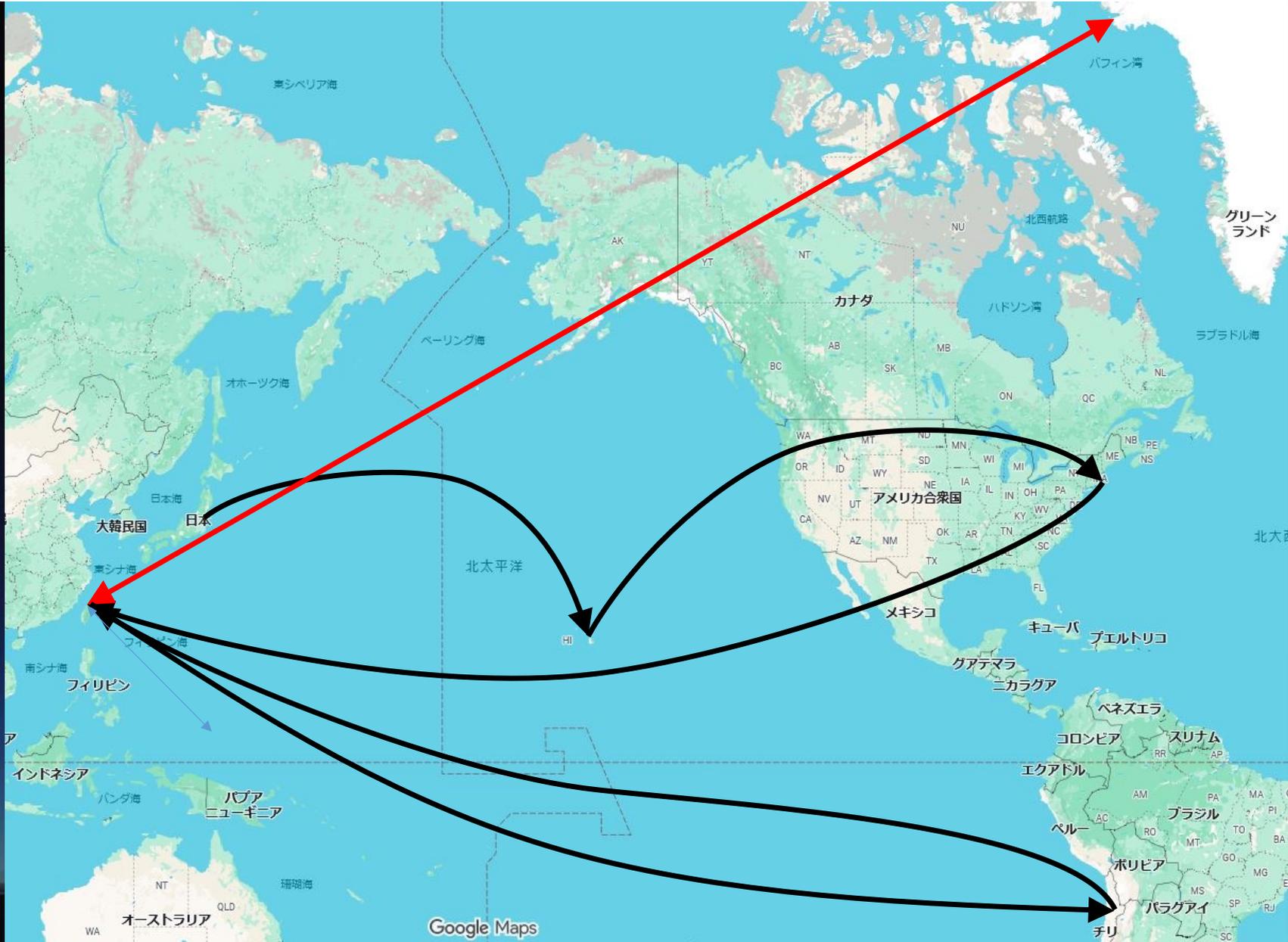
世界最高の干渉計を求めて： アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）

- Commissioning Scientist:
 - 台湾代表として2010－2011年にチリへ。
- アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）
 - 東アジア、北アメリカ、ヨーロッパの共同計画。
 - アンテナ総計66台を南米チリ標高5000mの高地、アタカマ砂漠に並べてミリ波サブミリ波干渉計観測を行う装置。
 - アンテナ16台そろると、初期科学観測が始まる。
 - ⇒ 「アンテナ16台で干渉実験を成功させれば、台湾に帰ってきてよし」の命令を下される...
 - ⇒ 成功!! ⇒ 台湾に戻れる!!



世界最高の干渉計を求めて： グリーンランド望遠鏡 (Greenland Telescope; GLT)

- 台湾に戻ってきて、新しいプロジェクトに参加。
 - グリーンランド望遠鏡 (Greenland Telescope; GLT)
 - ミリ波サブミリ波超長基線干渉計を使ってブラックホールの影の直接撮像を目指す。
 - 台湾中央研究院天文及天文物理研究所が主導、スミソニアン天文物理観測所がマイナーパートナー。



東シベリア海

バフィン湾

グリーンランド

北西航路

カナダ

ラブラドル海

ベーリング海

オホーツク海

大韓民国

日本

東シナ海

北太平洋

アメリカ合衆国

メキシコ

キューバ

プエルトリコ

南シナ海

フィリピン

グアテマラ

ニカラグア

ベネズエラ

コロンビア

スリナム

インドネシア

パプアニューギニア

エクアドル

ブラジル

オーストラリア

ペルー

ボリビア

パラグアイ

チリ

Google Maps

世界最高の干渉計を求めて： なぜ台湾に来たのか？

- 現在(2020年代)の台湾：
 - 中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) は世界中から研究者や技術者が集まる、総勢約200名の巨大研究所となる。
 - サブミリ波干渉計 (SMA) やアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (アルマ) で培った技術を元に、グリーンランド望遠鏡のほぼ全てを台湾で開発・建設。
 - 台湾が主導する数少ないプロジェクト。

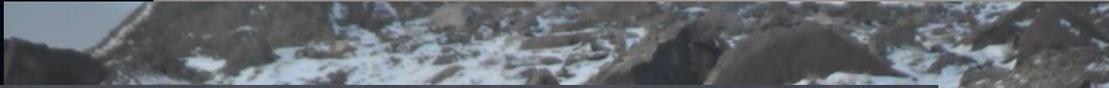
アメリカ宇宙軍ピトフィック基地



仕事



自然



世界最高の干渉計を求めて

- 世界でも希少な能力があれば、世界中で必要とされる。
- 希少な能力が何かを見極めろ！

- 世界中、楽しいことがいっぱいある！
- 英語さえ話せれば、結構どうにかなる。
- 積極的にみんなと話そう！
- あとは度胸。

