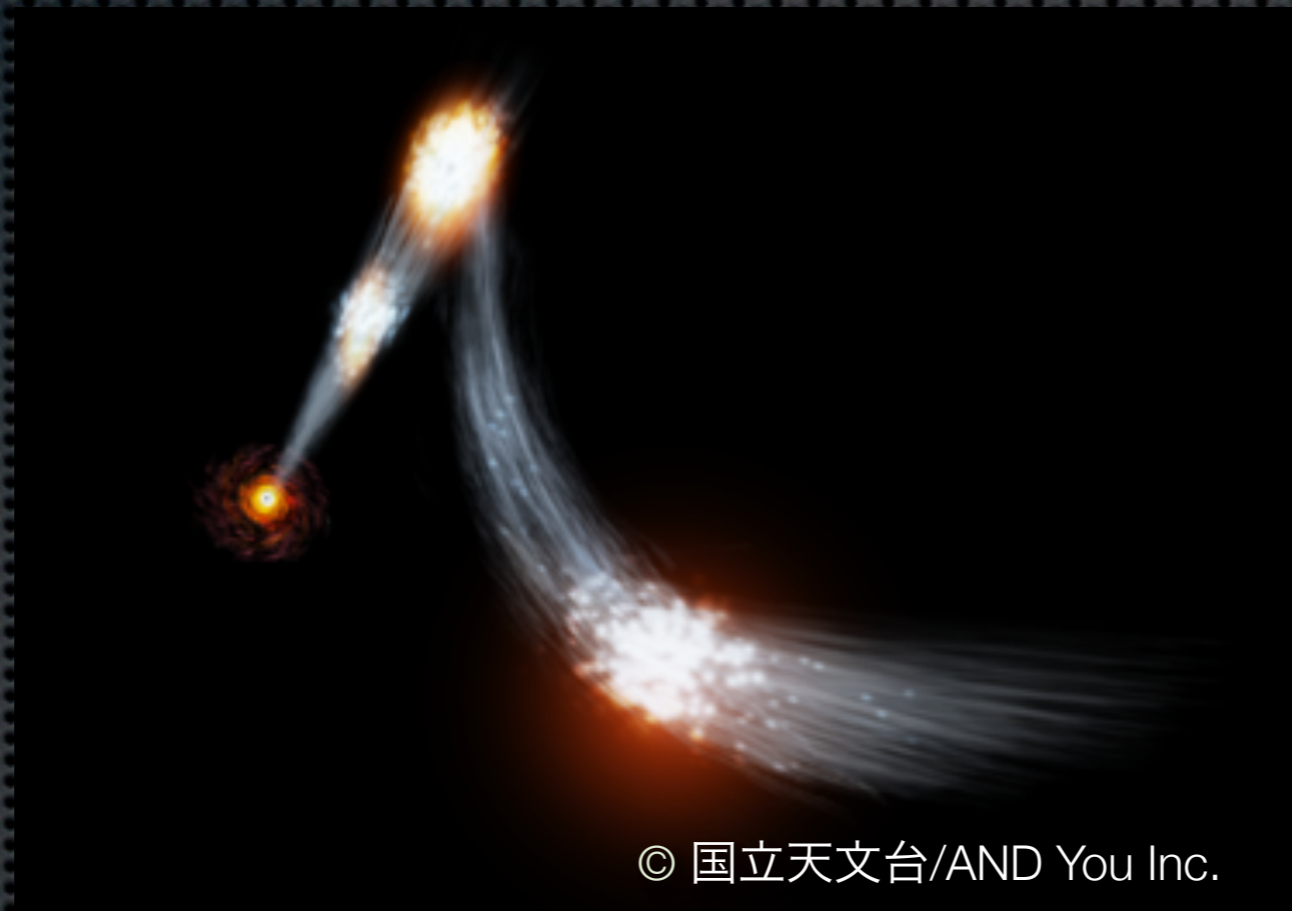


# 人類史上最高の視力でみる 超巨大ブラックホールからの噴出流



© 国立天文台/AND You Inc.

**研究代表者: 秋山 和徳 (東京大学/国立天文台)**

記者会見出席者

本間希樹 (国立天文台/総合研究大学院大学) / 永井洋 (国立天文台)

## 本研究成果の概要

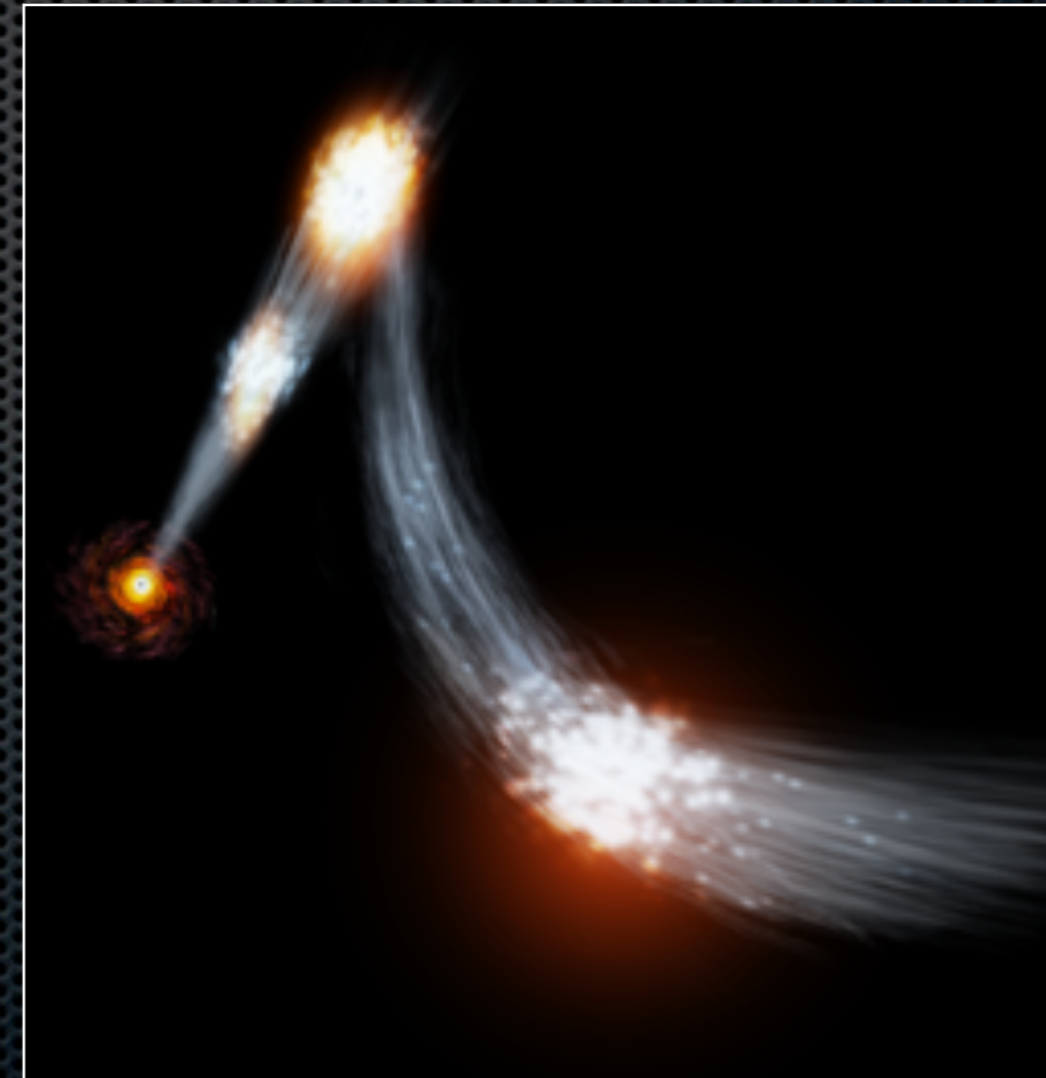
約53 億光年、約73 億光年彼方にある2つの銀河の中心にある

**超巨大ブラックホール**から噴出する**ジェット**(プラズマガスの流れ)の根元の構造を**60マイクロ秒角(6000万分の1度)**を切る解像度でとらえることに成功

明らかになったこと

科学的な意義

技術的な意義



## 本研究成果の概要

約53 億光年、約73 億光年彼方にある2つの銀河の中心にある

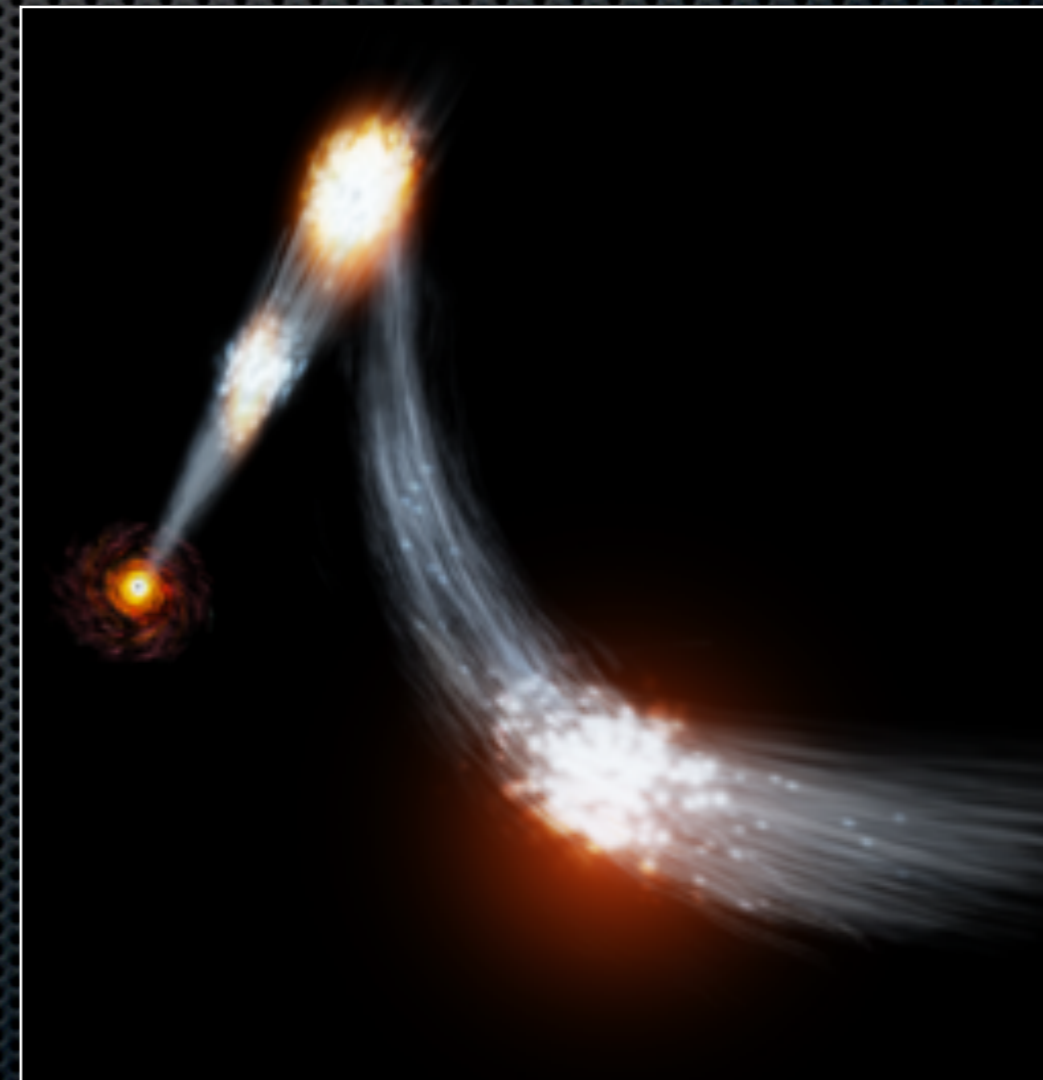
**超巨大ブラックホール**から噴出する**ジェット**(プラズマガスの流れ)の根元の構造を**60マイクロ秒角(6000万分の1度)**を切る解像度でとらえることに成功

### 明らかになったこと

ジェット噴出口の向きの変化や途中で弾道の向きが変わることが明らかに

### 科学的な意義

### 技術的な意義



## 本研究成果の概要

約53 億光年、約73 億光年彼方にある2つの銀河の中心にある  
**超巨大ブラックホール**から噴出する**ジェット**(プラズマガスの流れ)の根元の  
構造を**60マイクロ秒角(6000万分の1度)**を切る解像度でとらえることに成功

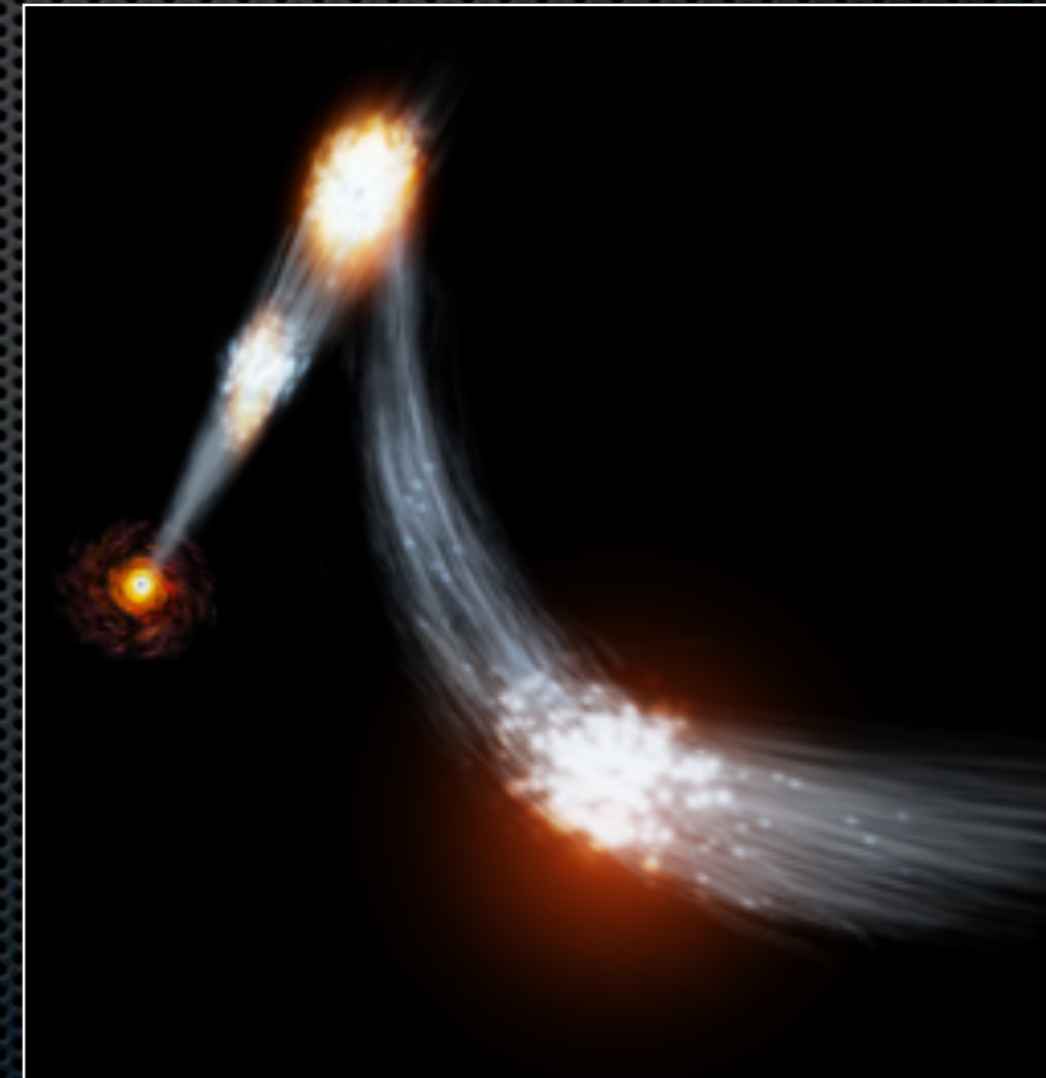
### 明らかになったこと

ジェット噴出口の向きの変化や途中で弾道の向きが  
変わることが明らかに

### 科学的な意義

- ・先月出版された我々のグループの成果に続き、  
**世界で2例目のジェットの超高解像度画像**

### 技術的な意義



# 本研究成果の概要

約53 億光年、約73 億光年彼方にある2つの銀河の中心にある  
**超巨大ブラックホール**から噴出する**ジェット**(プラズマガスの流れ)の根元の  
構造を**60マイクロ秒角(6000万分の1度)**を切る解像度でとらえることに成功

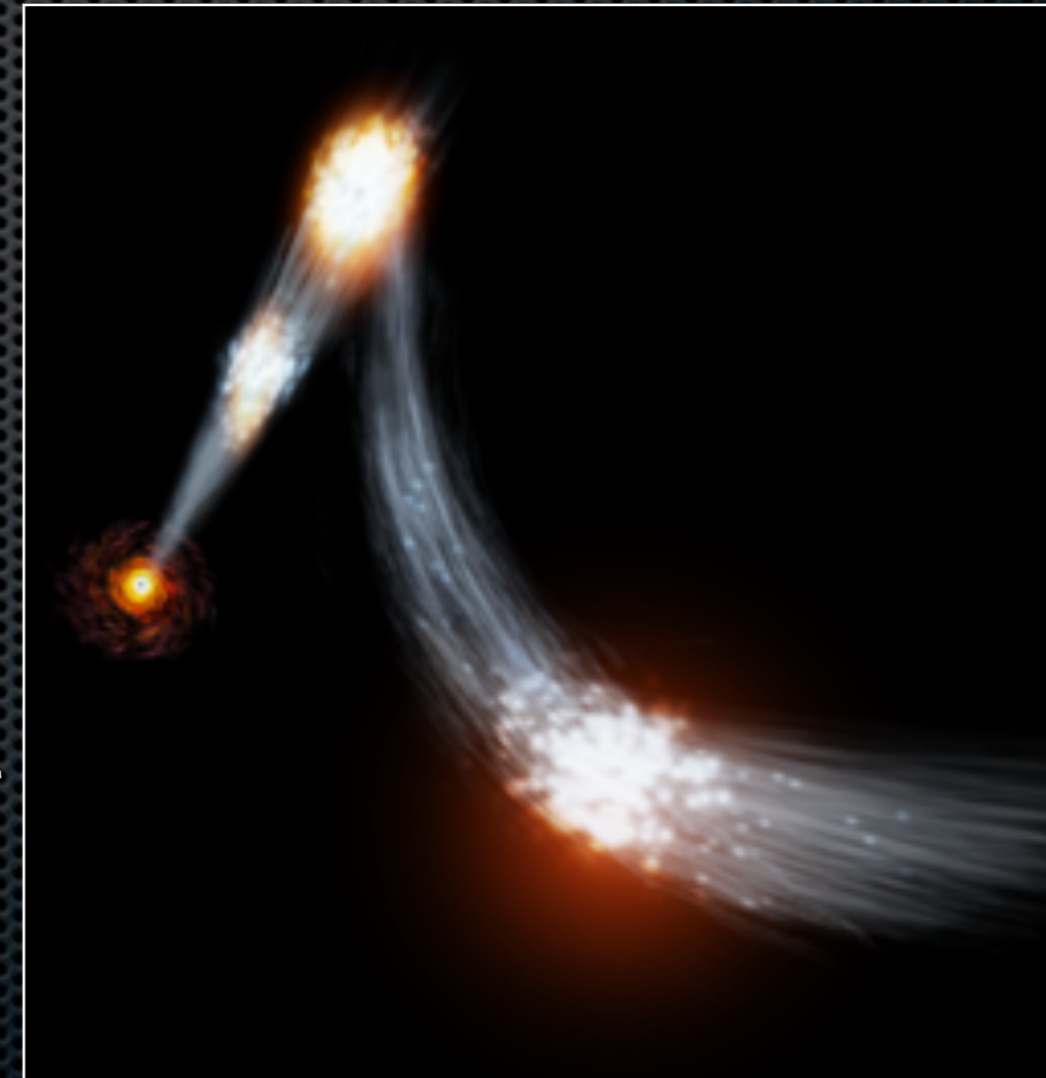
## 明らかになったこと

ジェット噴出口の向きの変化や途中で弾道の向きが  
変わることが明らかに

## 科学的な意義

- ・先月出版された我々のグループの成果に続き、  
**世界で2例目のジェットの超高解像度画像**  
→ 超高解像度でジェットを研究する時代の幕開け

## 技術的な意義



# 本研究成果の概要

約53 億光年、約73 億光年彼方にある2つの銀河の中心にある  
**超巨大ブラックホール**から噴出する**ジェット**(プラズマガスの流れ)の根元の  
構造を**60マイクロ秒角(6000万分の1度)**を切る解像度でとらえることに成功

## 明らかになったこと

ジェット噴出口の向きの変化や途中で弾道の向きが  
変わることが明らかに

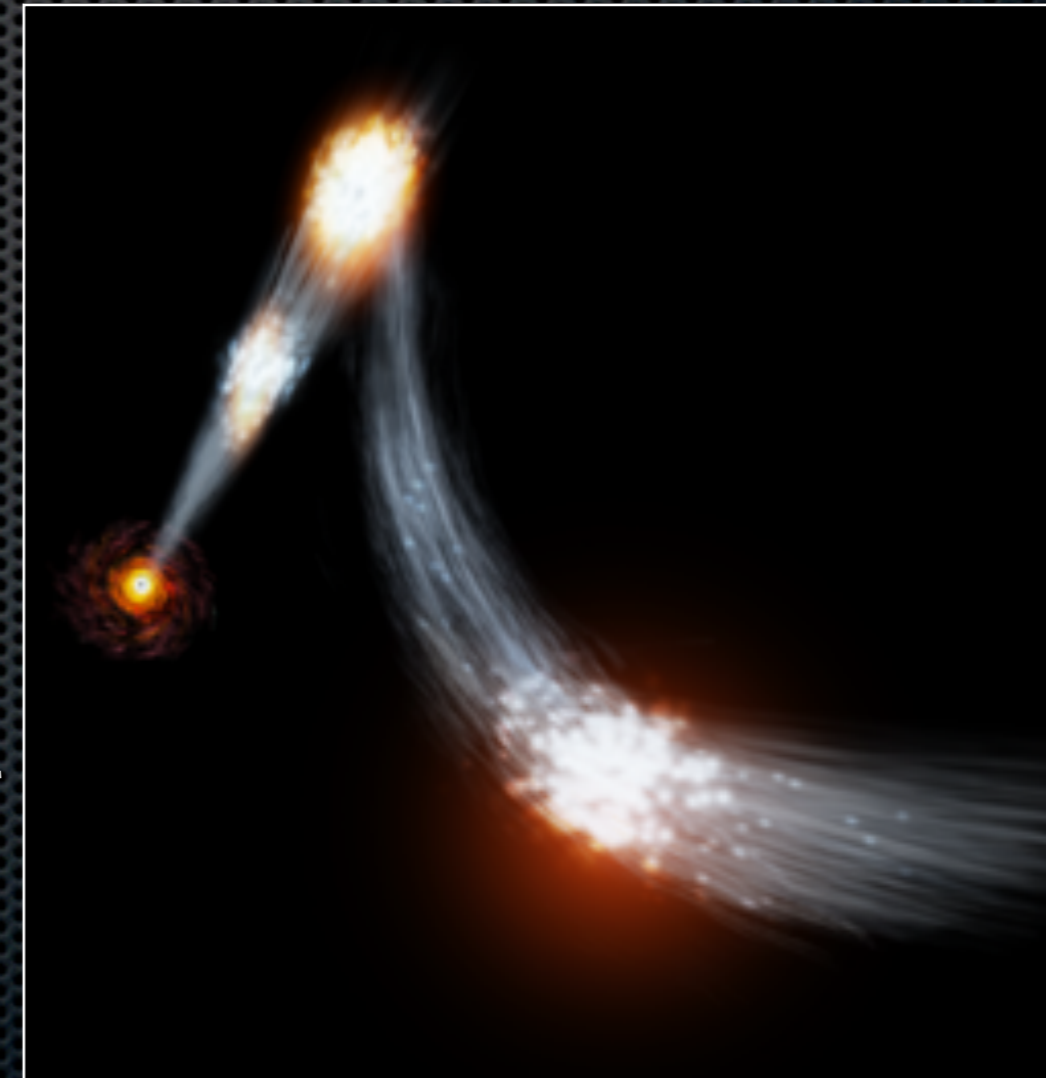
## 科学的な意義

- ・先月出版された我々のグループの成果に続き、  
**世界で2例目のジェットの超高解像度画像**  
→ **超高解像度でジェットを研究する時代の幕開け**

## 技術的な意義

本観測で達成した解像度

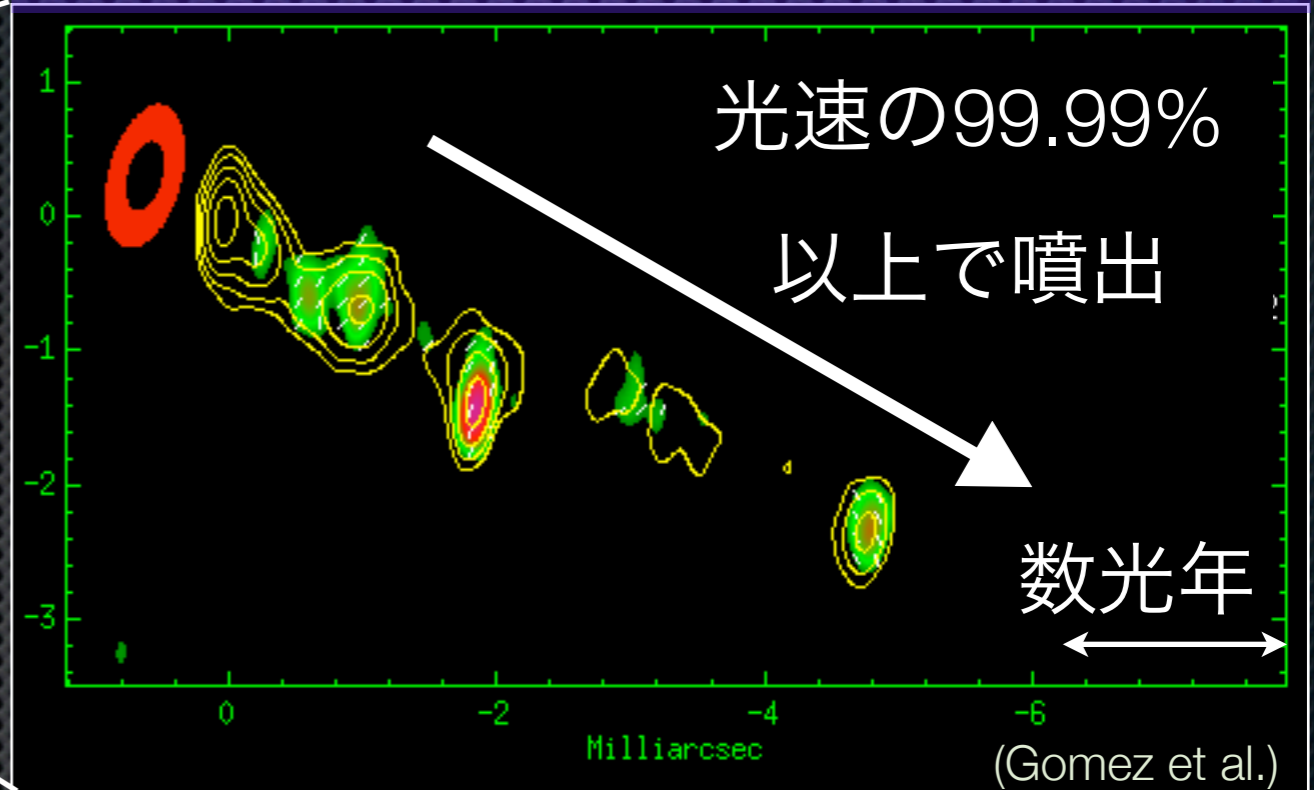
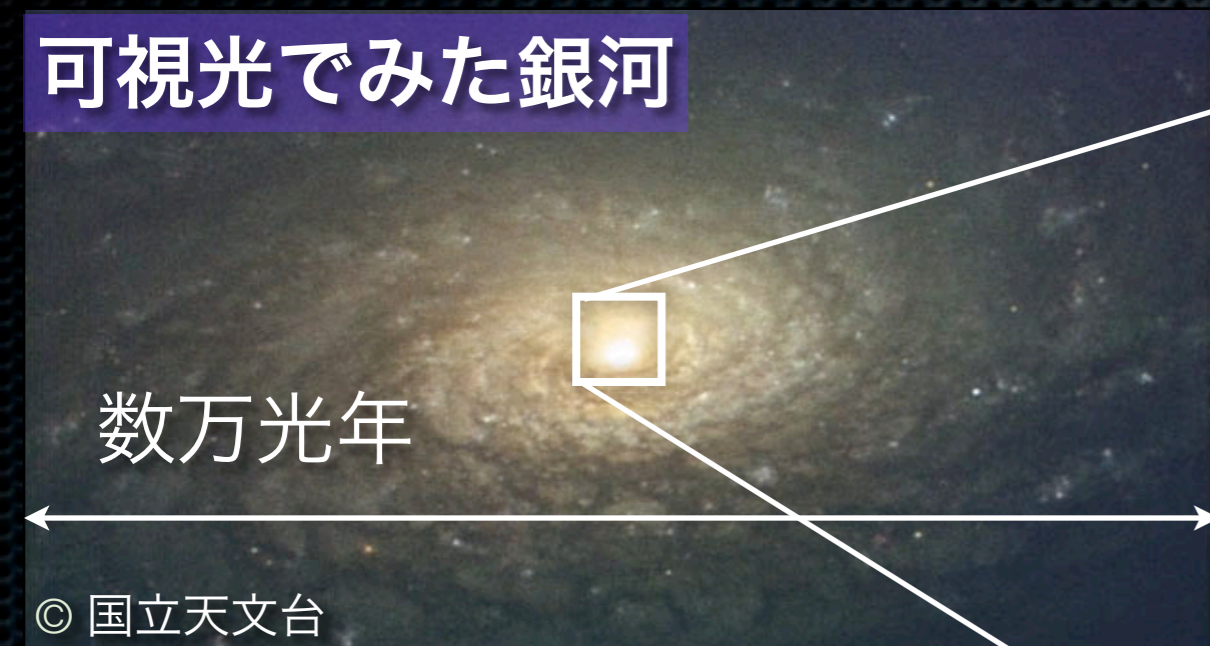
- ・地球から最も大きく見えるブラックホールの大きさに肉薄
- ・究極の目標であるブラックホールの直接撮像に向けた大きな一歩



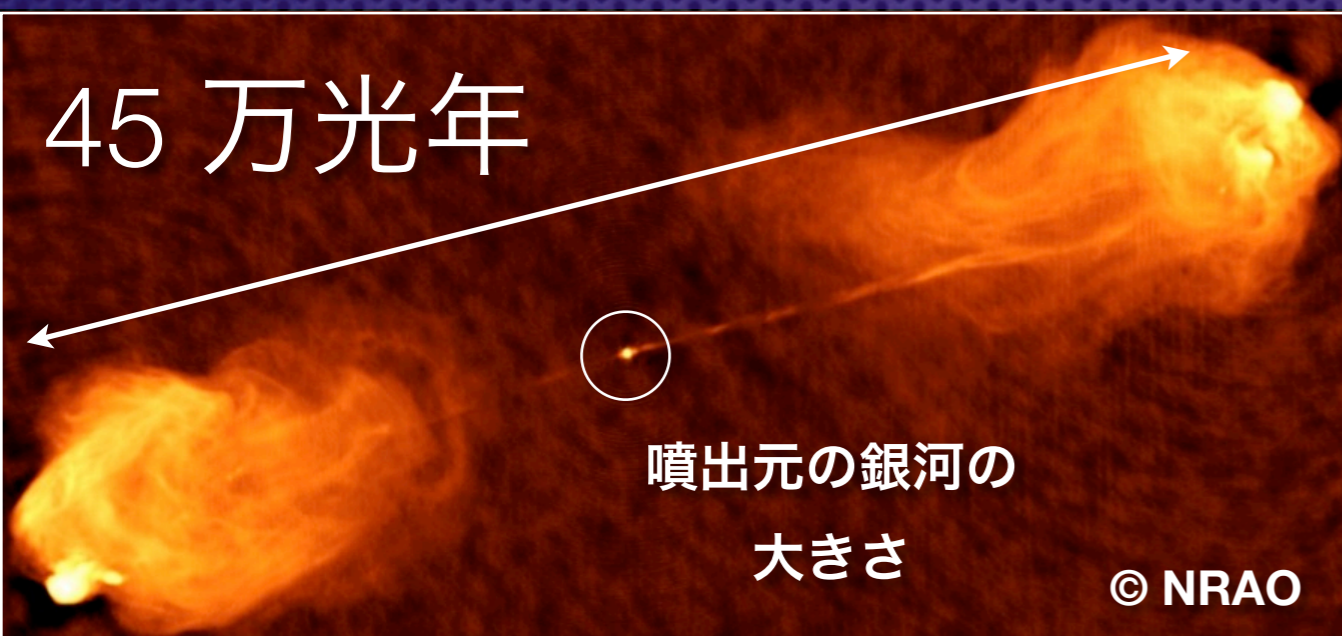
# 謎だらけの天体現象「ジェット」

## 研究背景

### 銀河の中心から噴き出すジェット



### 銀河を越える大きさを持つジェットも

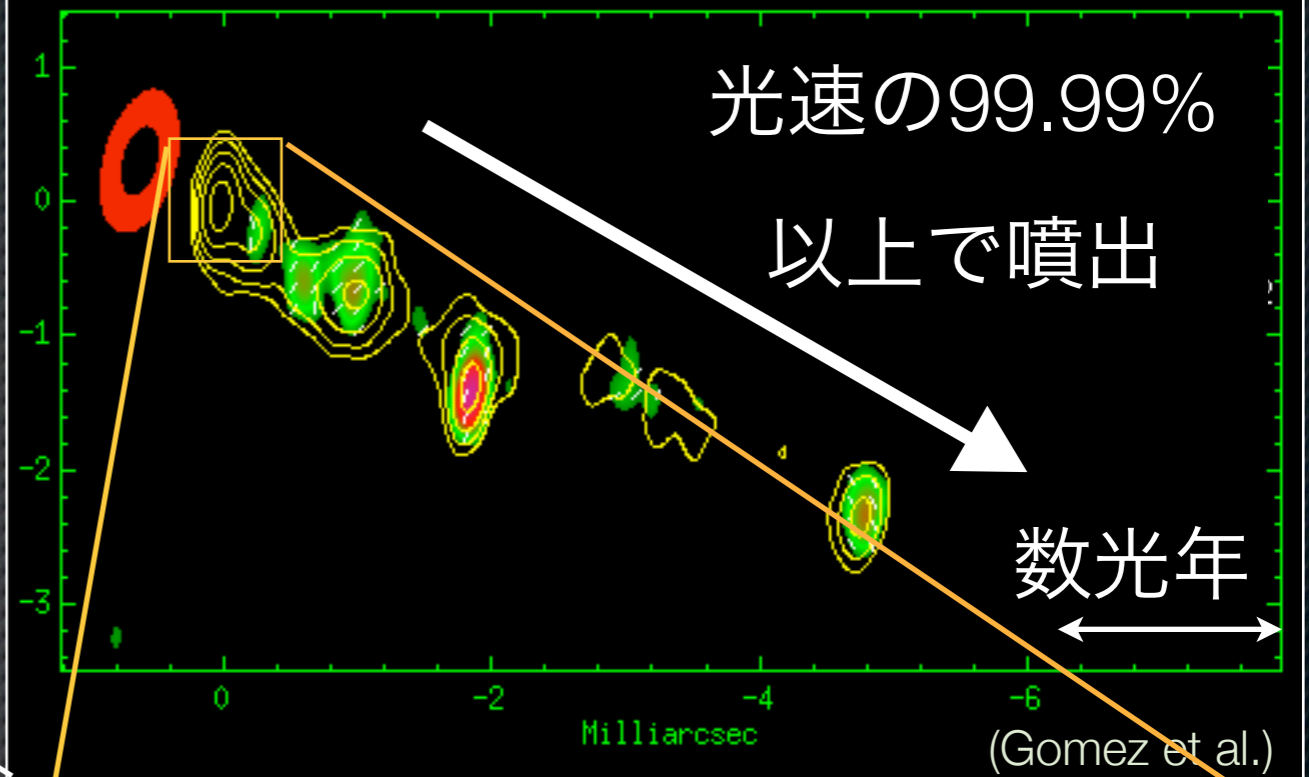
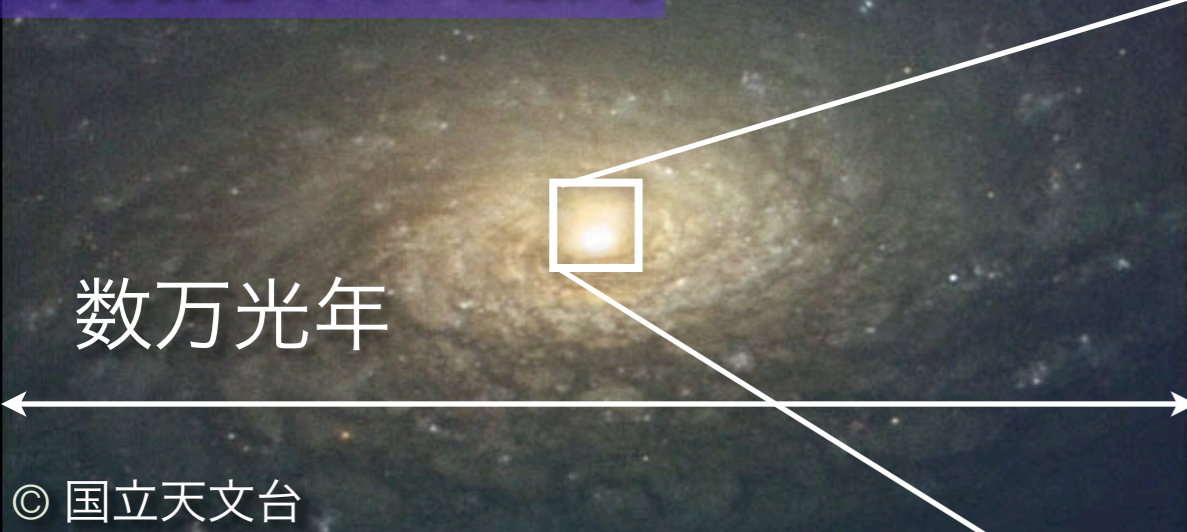


# 謎だらけの天体現象「ジェット」

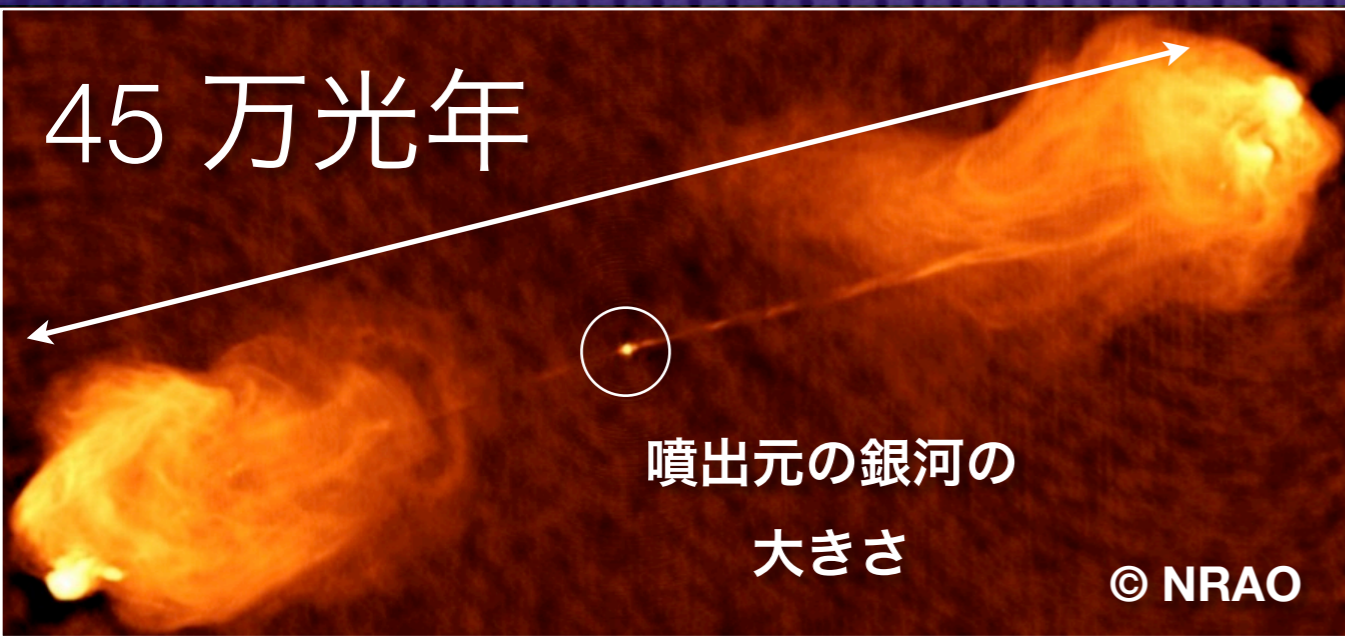
## 研究背景

### 銀河の中心から噴き出すジェット

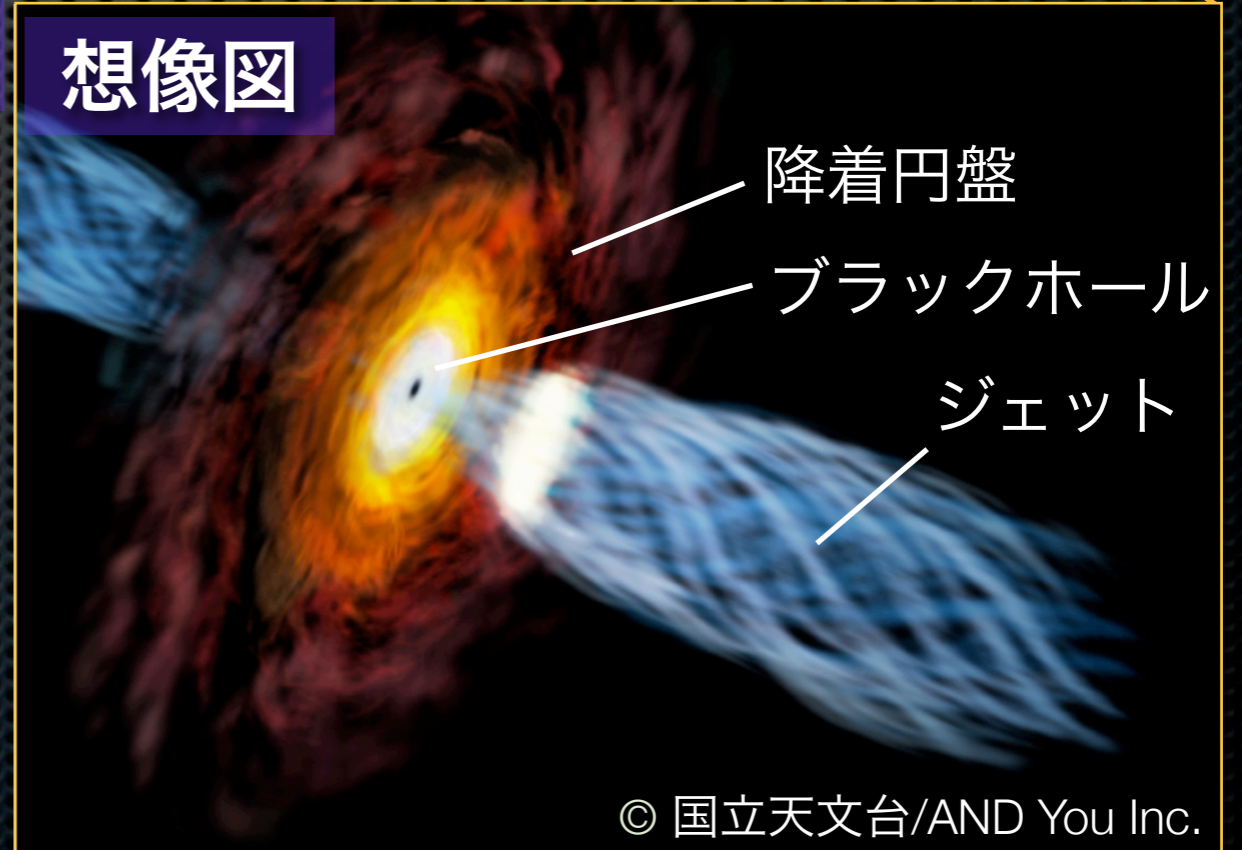
#### 可視光で見た銀河



### 銀河を越える大きさを持つジェットも



#### 想像図





# 謎だらけの天体現象「ジェット」

## 研究背景

銀河の中心から噴き出すジェット

光速の99.99%

ジェットの形成メカニズムに関して、  
多くのことが分かっていない

ブラックホールにより近い  
根元の領域をみることが重要

以上で噴出

数光年

(Gomez et al.)

降着円盤

ブラックホール

ジェット

可視光でみた銀河

数万光年

© 国立天文台

銀河を越

45万光年

噴出元の銀河の  
大きさ

© NRAO

© 国立天文台/AND You Inc.

# 問題：根元が見えない！

## 研究背景

1. 望遠鏡の解像度 (=波長÷口径) が足りない

## 問題：根元が見えない！

## 研究背景

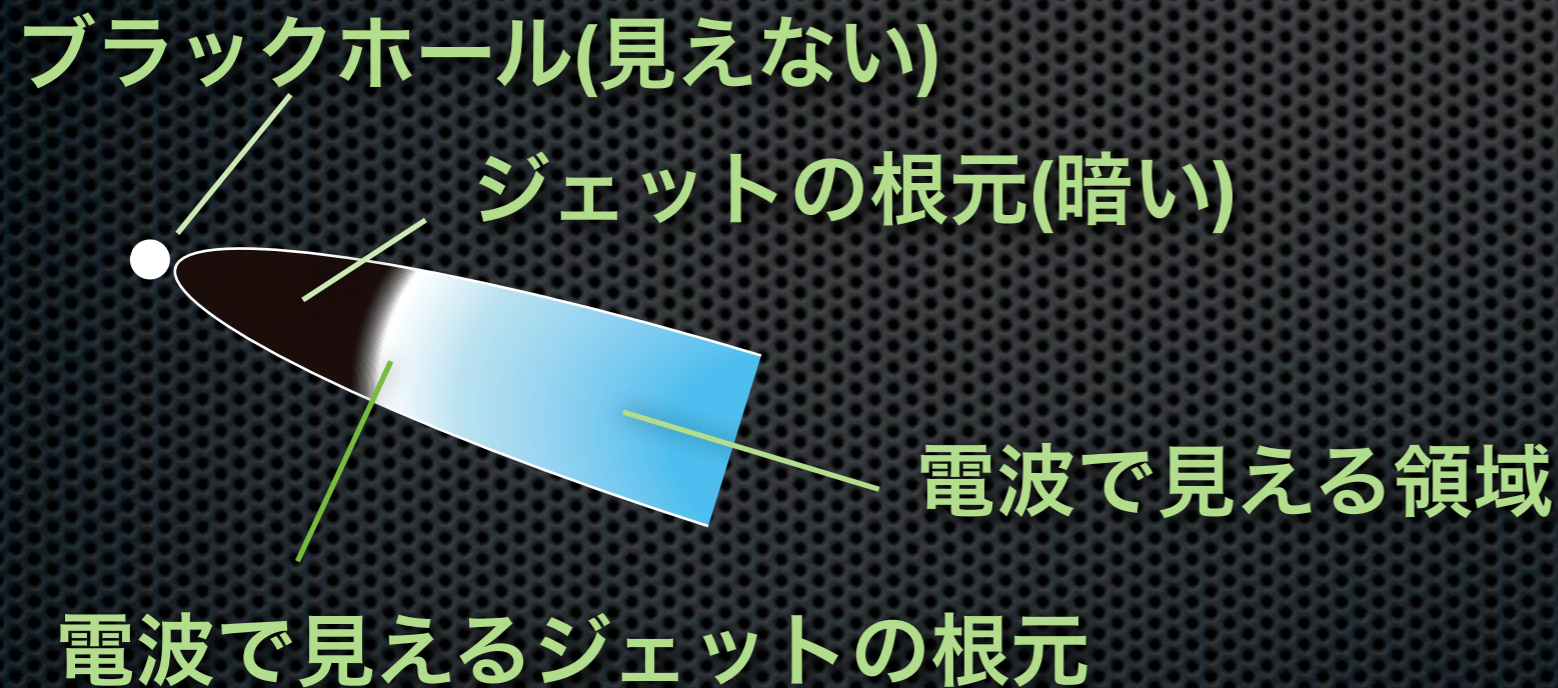
1. 望遠鏡の解像度 (=波長÷口径) が足りない

-> 波長を短くすることで解像度を上げられる。

# 問題：根元が見えない！

## 研究背景

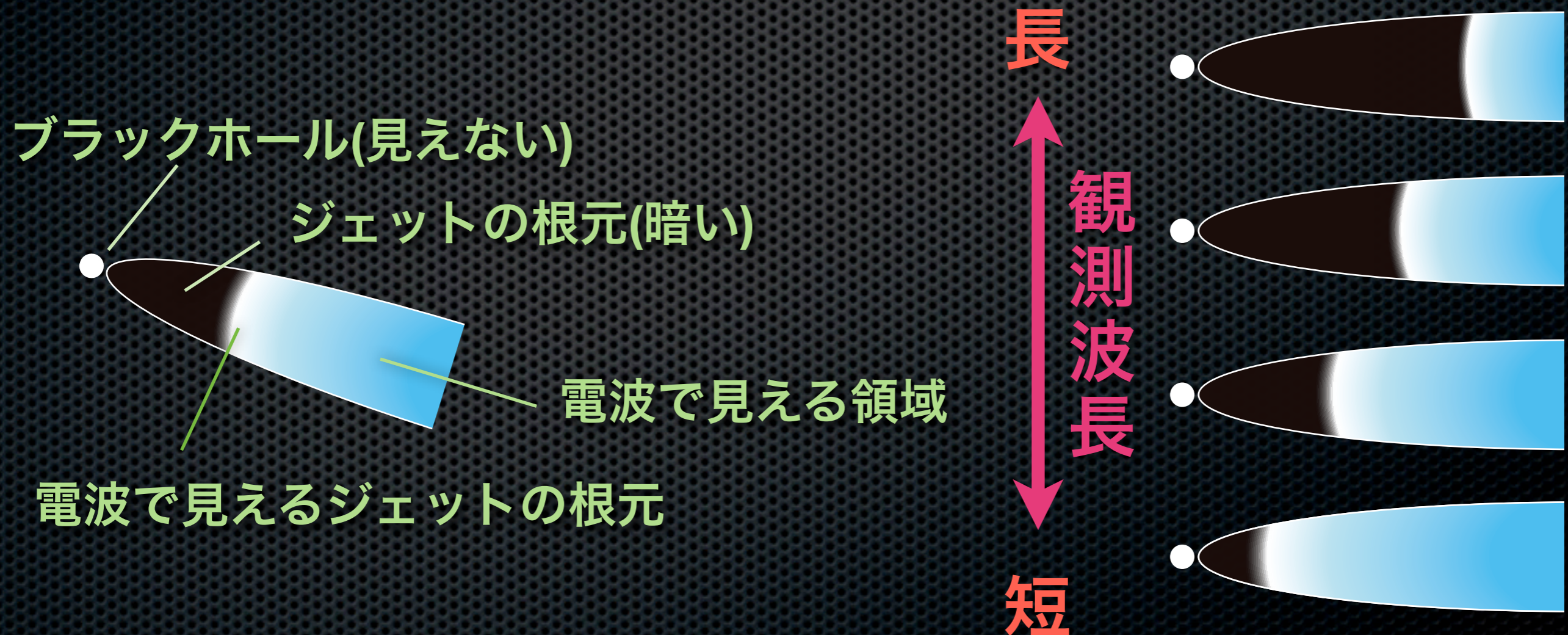
1. 望遠鏡の解像度 (=波長÷口径) が足りない  
-> **波長を短くすること**で解像度を上げられる。
2. 根元からの電波がジェット自身によって吸収されてしまう



# 問題：根元が見えない！

## 研究背景

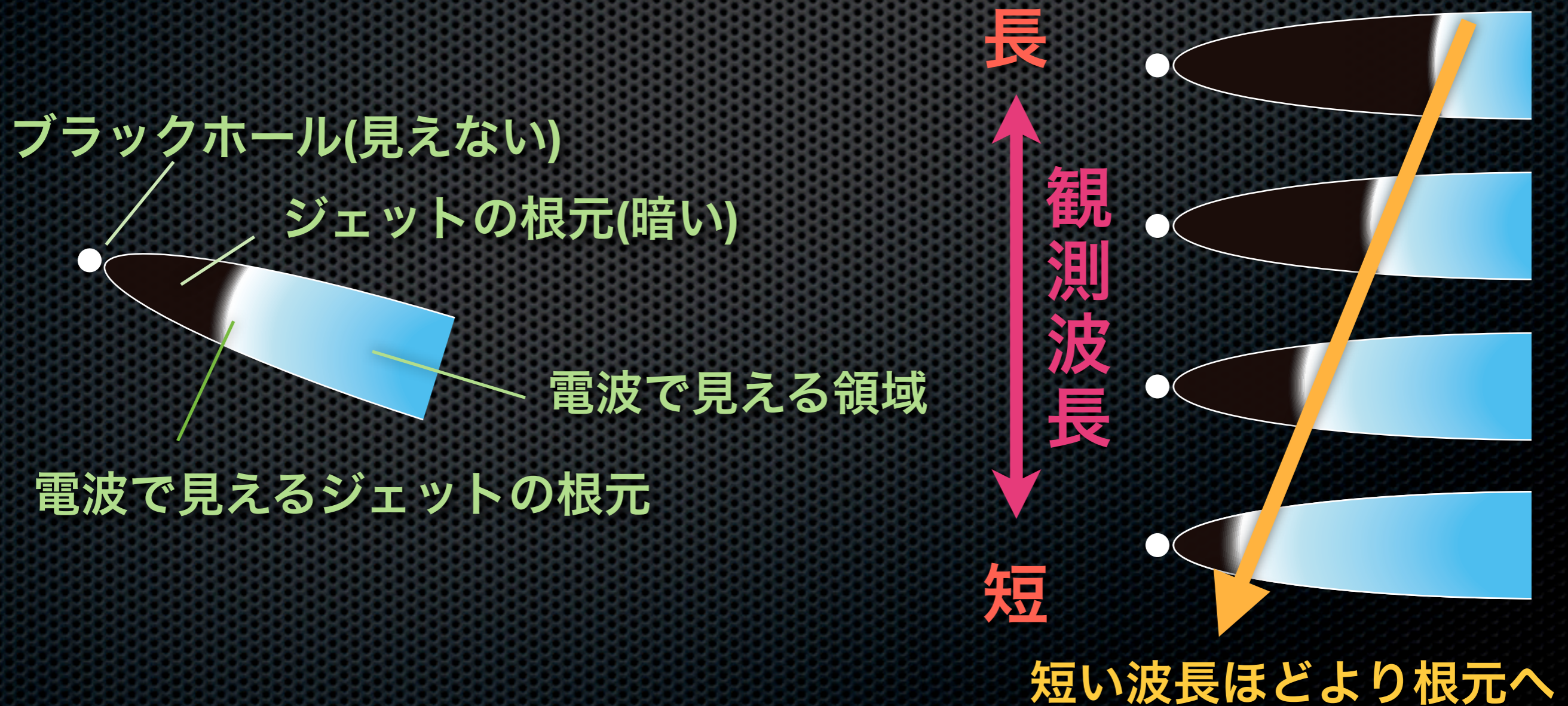
1. 望遠鏡の解像度 (=波長÷口径) が足りない  
-> **波長を短くすること**で解像度を上げられる。
2. 根元からの電波がジェット自身によって吸収されてしまう



# 問題：根元が見えない！

## 研究背景

1. 望遠鏡の解像度 (=波長÷口径) が足りない  
-> **波長を短くすること**で解像度を上げられる。
2. 根元からの電波がジェット自身によって吸収されてしまう



# Event Horizon Telescopeとは？

研究背景

# Event Horizon Telescopeとは？

研究背景

## A. 人類史上最高の視力を持つ望遠鏡



# Event Horizon Telescopeとは？

研究背景

## A. 人類史上最高の視力を持つ望遠鏡

望遠鏡の解像度 = 波長 ÷ 口径

すばる望遠鏡  $2.4 \mu\text{m} \div 8 \text{ m} = 60,000$  マイクロ秒角

Event Horizon Telescope  $1.3 \text{ mm} \div 4000 \text{ km} = 60$  マイクロ秒角

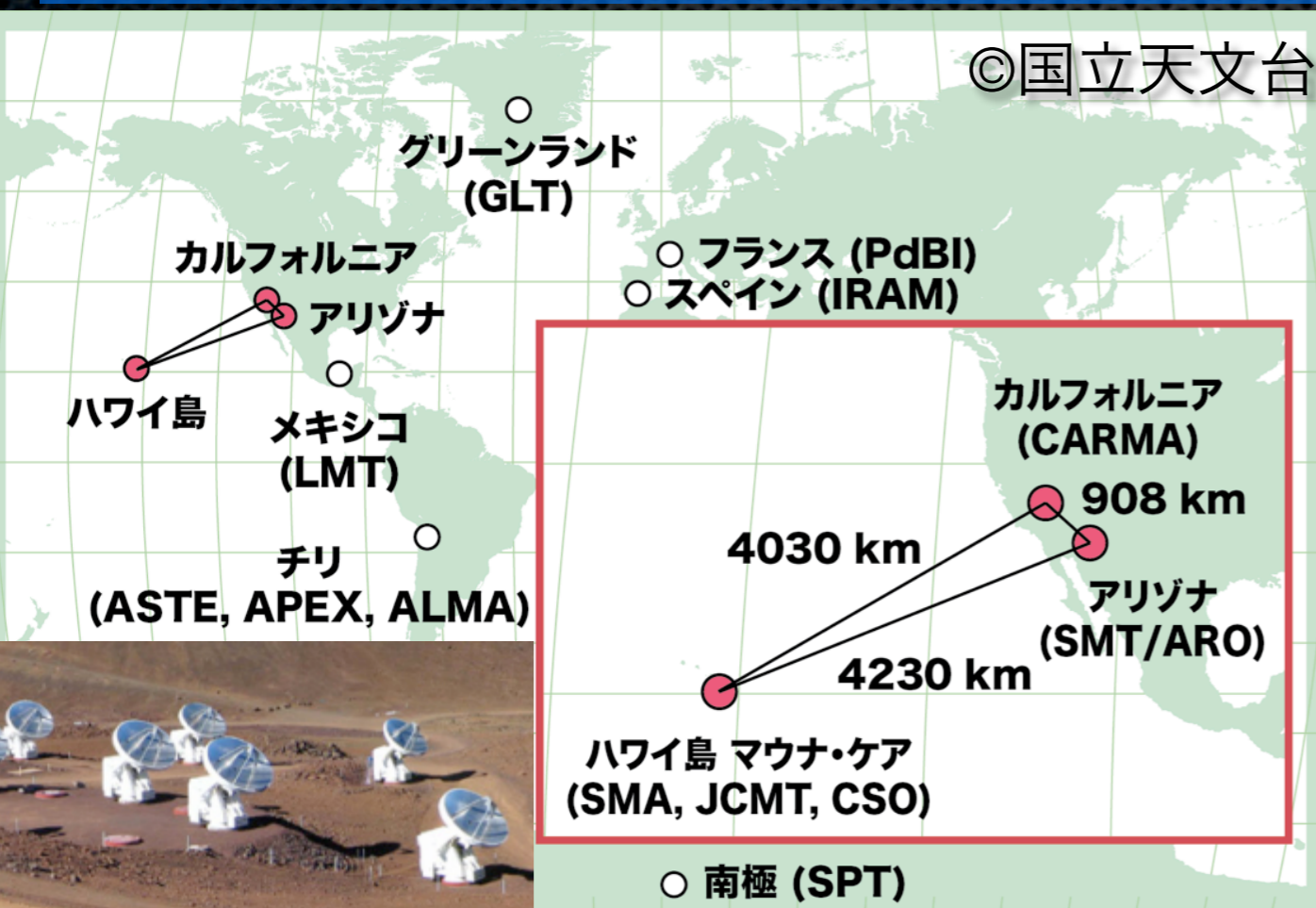
# Event Horizon Telescopeとは？

## A. 人類史上最高の視力を持つ望遠鏡

望遠鏡の解像度 = 波長 ÷ 口径

すばる望遠鏡  $2.4 \mu\text{m} \div 8 \text{ m} = 60,000$  マイクロ秒角

Event Horizon Telescope  $1.3 \text{ mm} \div 4000 \text{ km} = 60$  マイクロ秒角



- VLBI (超長基線電波干渉計)の技術を使って、世界各地のミリ波・サブミリ波電波望遠鏡を結ぶ日米欧台の国際プロジェクト

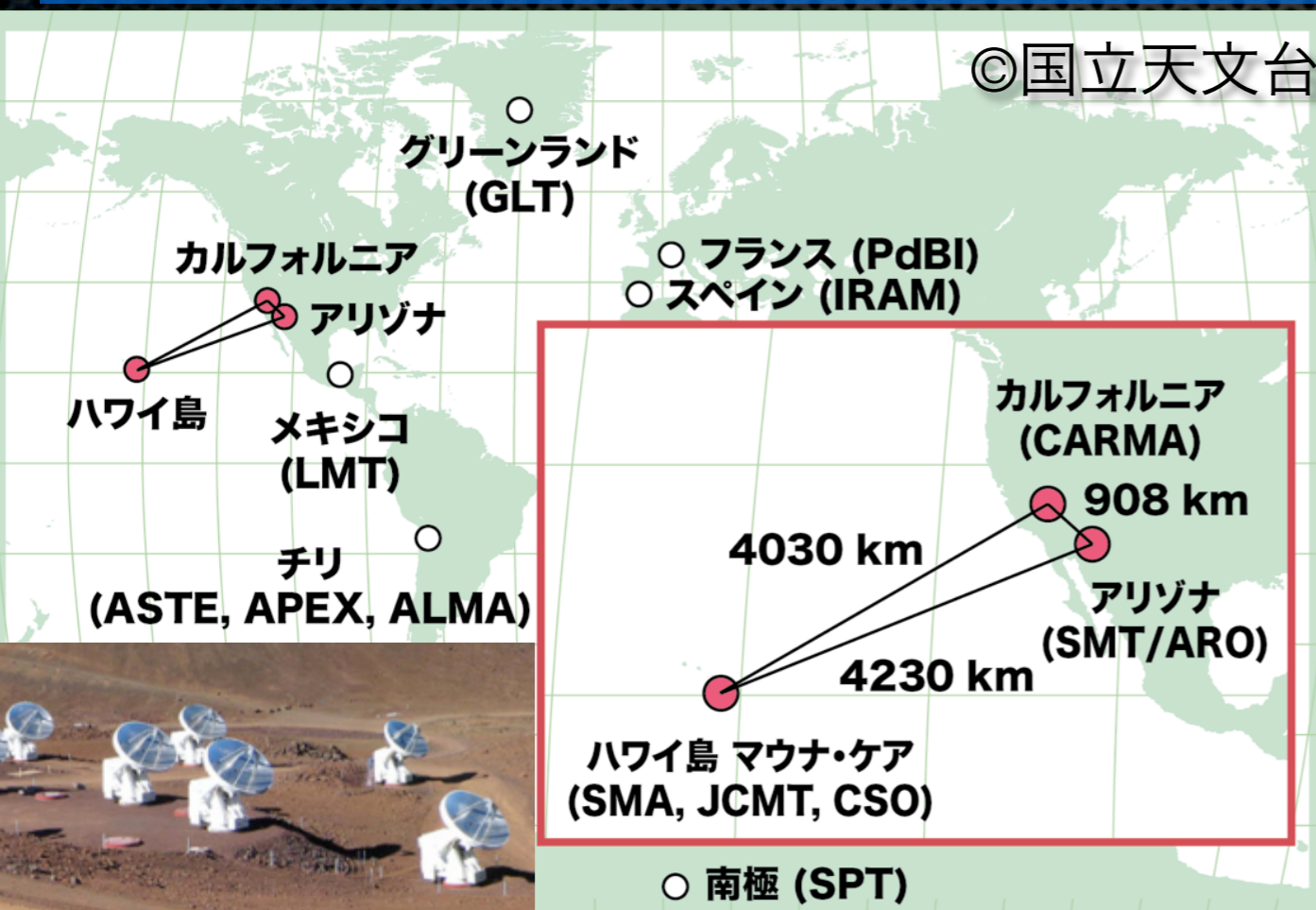
# Event Horizon Telescopeとは？

## A. 人類史上最高の視力を持つ望遠鏡

望遠鏡の解像度 = 波長 ÷ 口径

すばる望遠鏡  $2.4 \mu\text{m} \div 8 \text{ m} = 60,000$  マイクロ秒角

Event Horizon Telescope  $1.3 \text{ mm} \div 4000 \text{ km} = 60$  マイクロ秒角



- VLBI (超長基線電波干渉計)の技術を使って、世界各地のミリ波・サブミリ波電波望遠鏡を結ぶ日米欧台の国際プロジェクト

- 将来的には約20マイクロ秒角まで到達予定

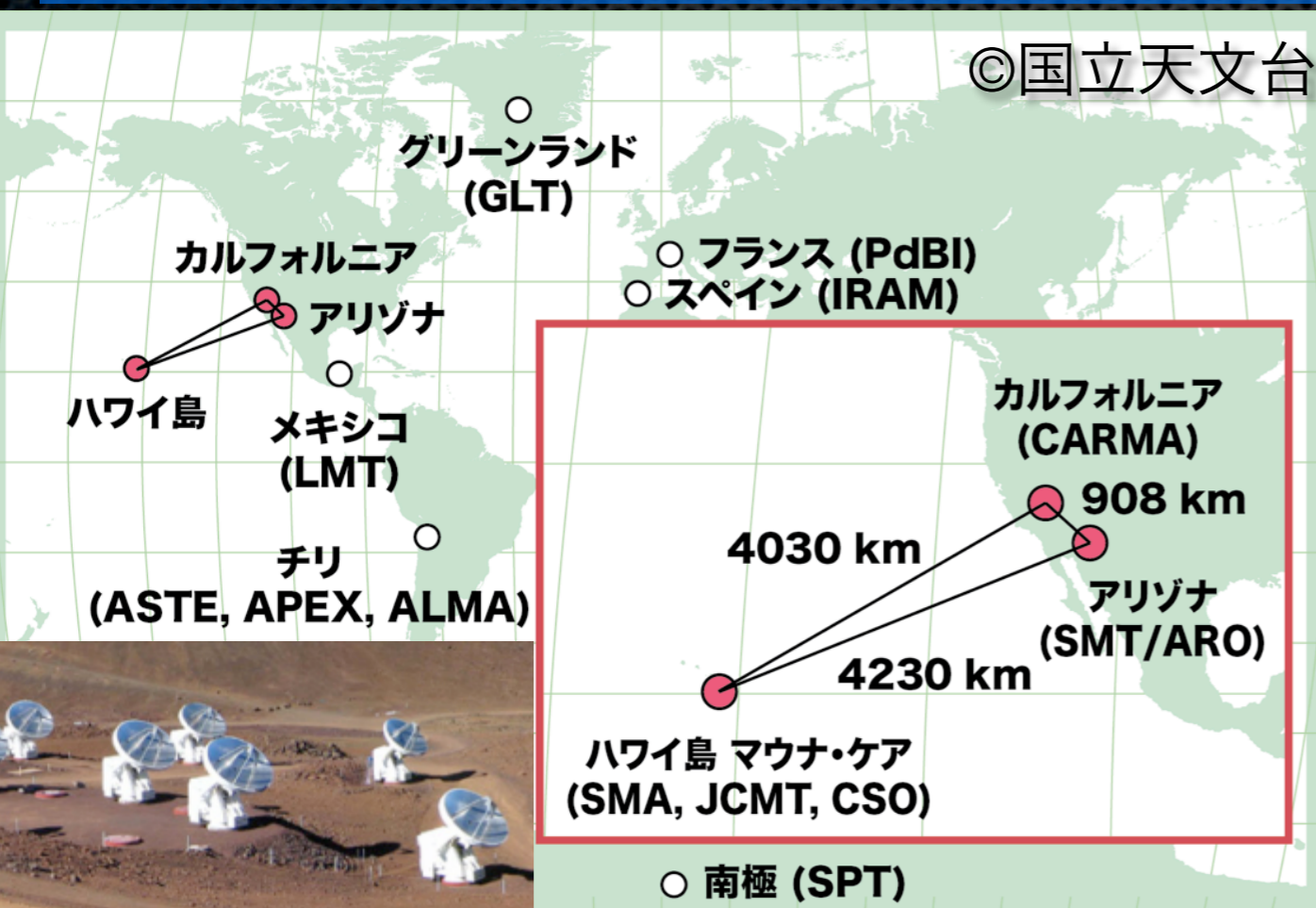
# Event Horizon Telescopeとは？

## A. 人類史上最高の視力を持つ望遠鏡

望遠鏡の解像度 = 波長 ÷ 口径

すばる望遠鏡  $2.4 \mu\text{m} \div 8 \text{m} = 60,000$  マイクロ秒角

Event Horizon Telescope  $1.3 \text{mm} \div 4000 \text{km} = 60$  マイクロ秒角



- VLBI (超長基線電波干渉計)の技術を使って、世界各地のミリ波・サブミリ波電波望遠鏡を結ぶ日米欧台の国際プロジェクト

- 将来的には約20マイクロ秒角まで到達予定

- 目標はブラックホールの直接撮像

天体：天の川銀河の中心、おとめ座A

おおよその大きさ 30~50マイクロ秒角

# 観測結果：3C 279の折れ曲がったジェット

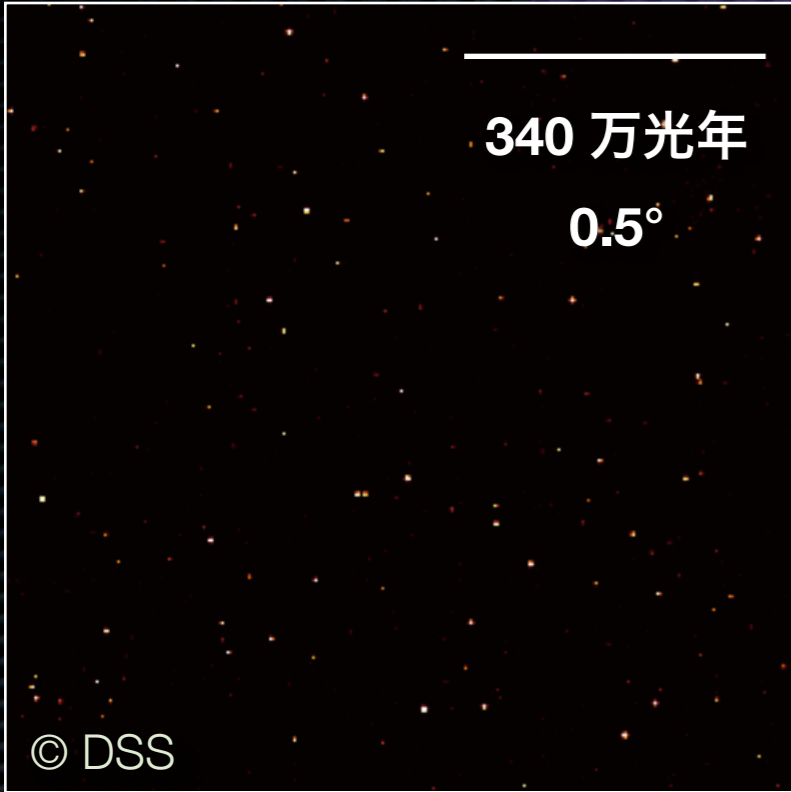
観測結果

可視光

340 万光年

0.5°

© DSS



# 観測結果：3C 279の折れ曲がったジェット

観測結果

可視光

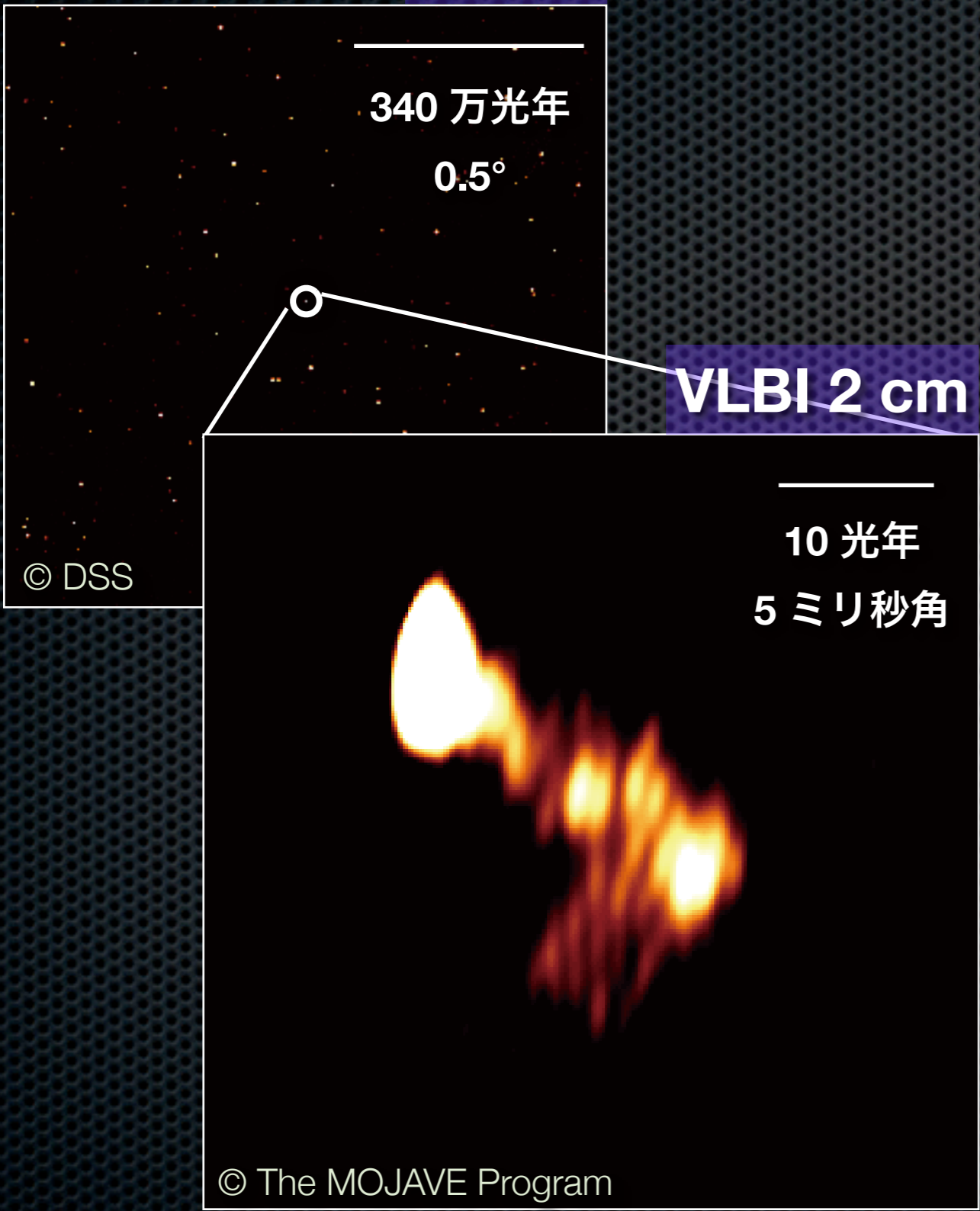
340 万光年  
0.5°

VLBI 2 cm

10 光年  
5 ミリ秒角

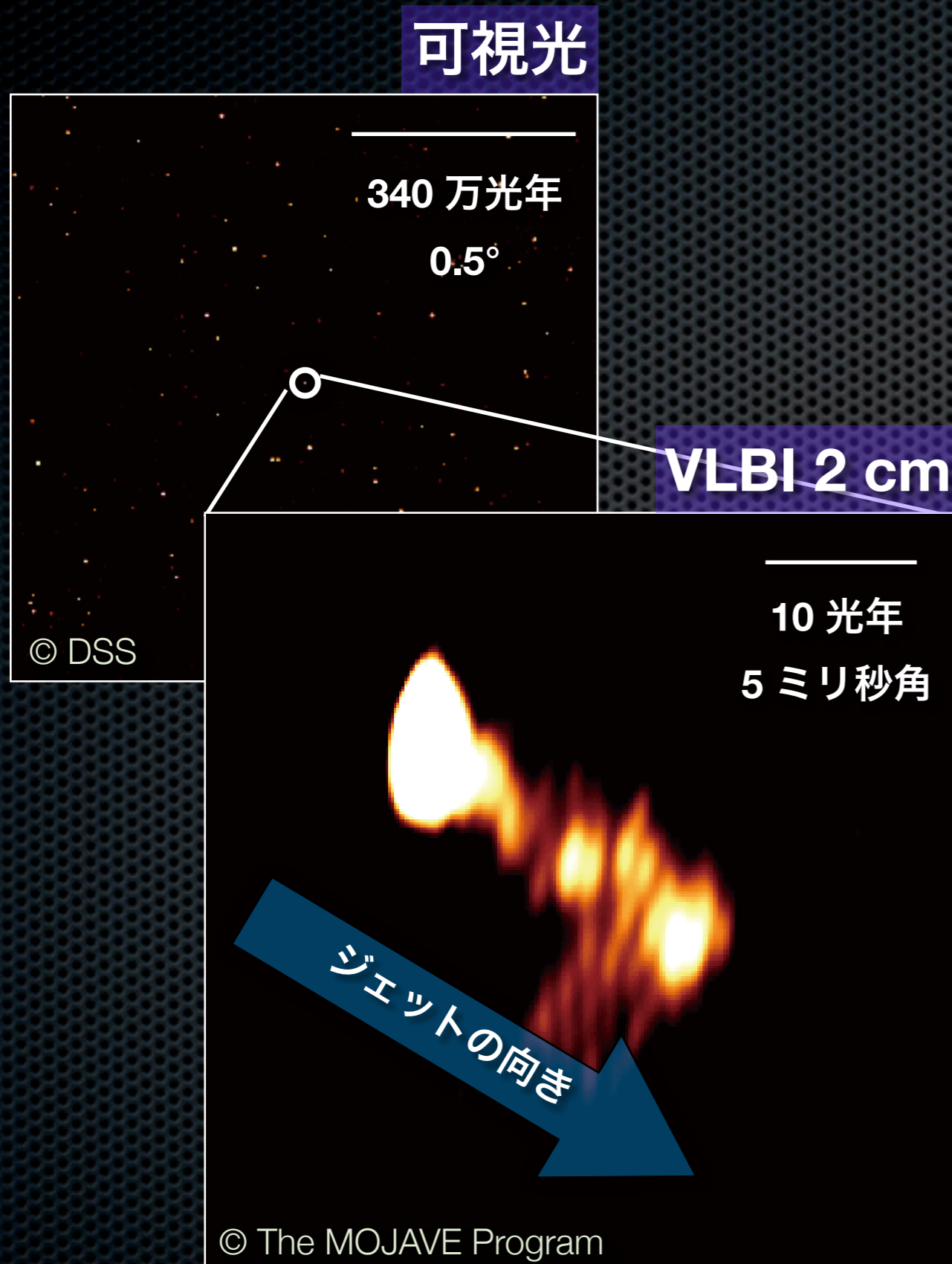
© DSS

© The MOJAVE Program



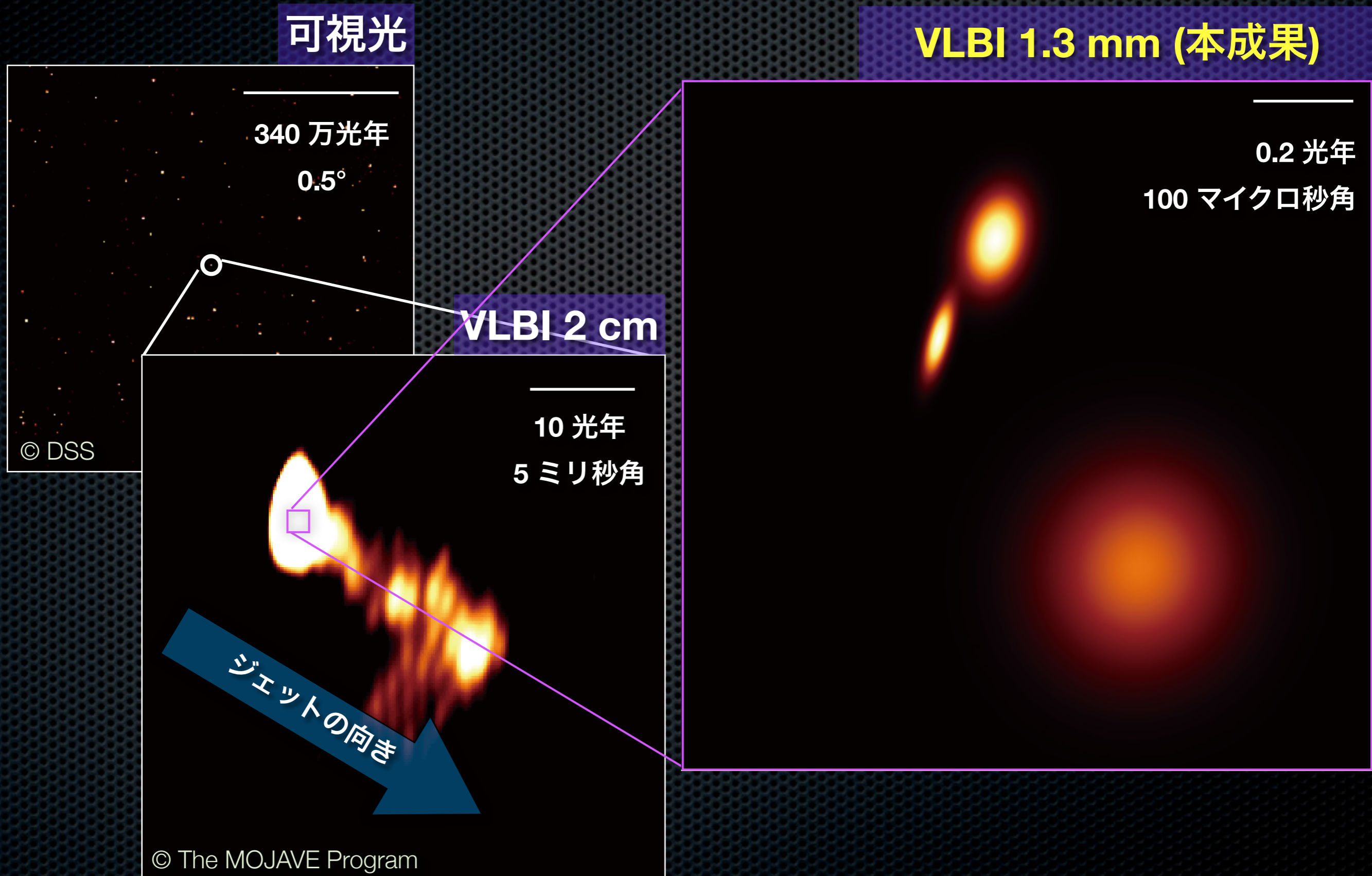
# 観測結果：3C 279の折れ曲がったジェット

観測結果



# 観測結果：3C 279の折れ曲がったジェット

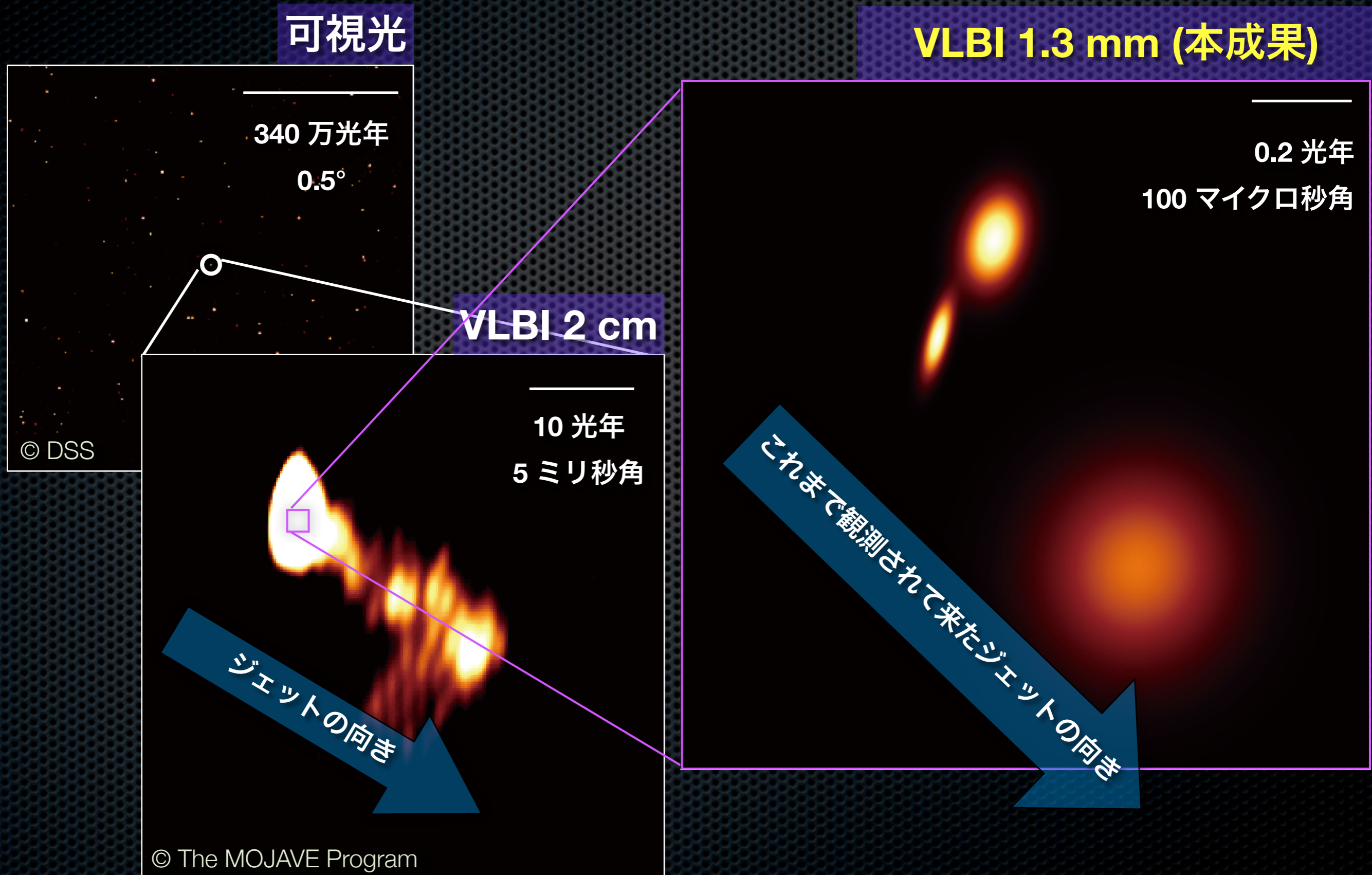
観測結果





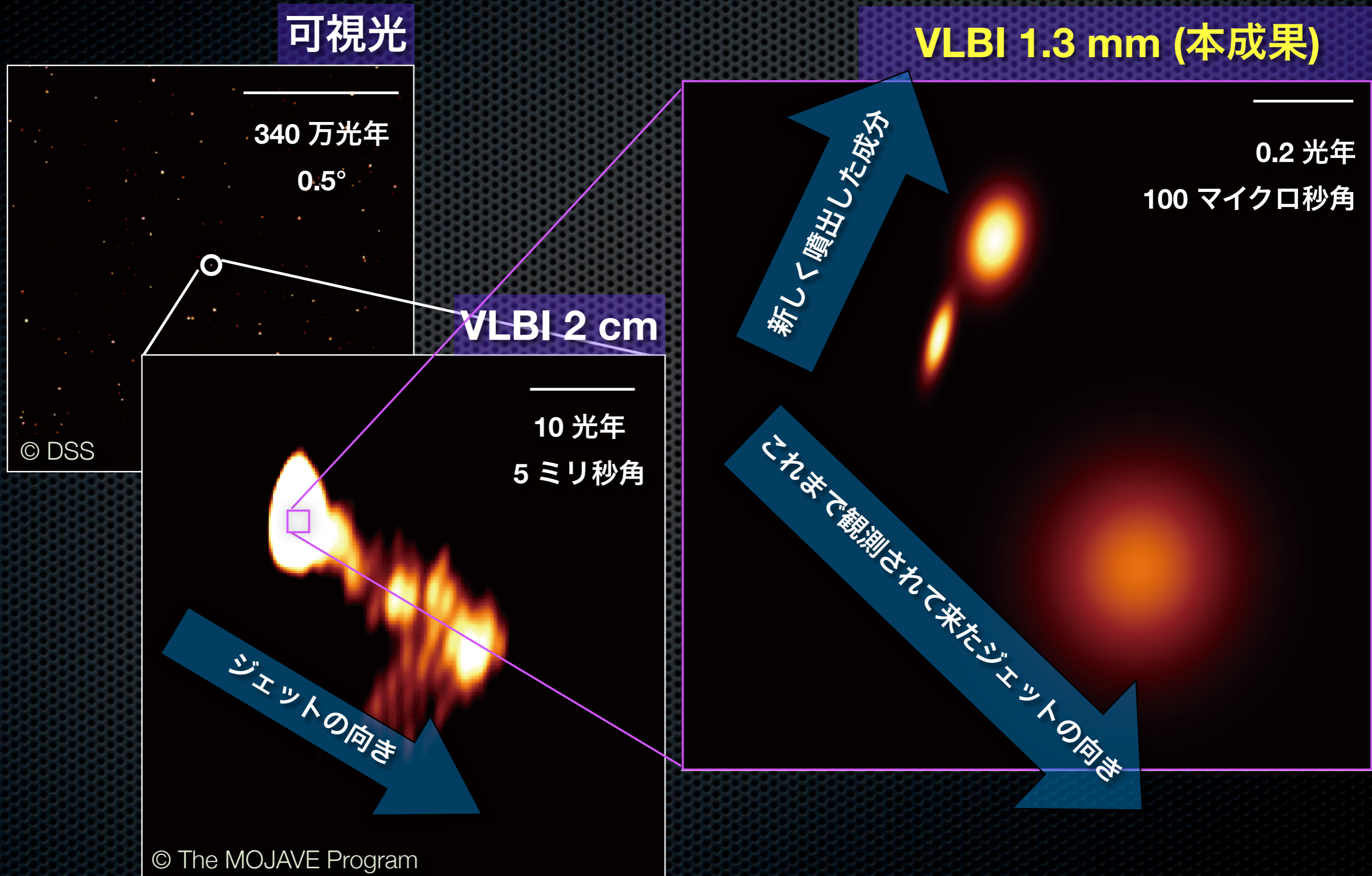
# 観測結果：3C 279の折れ曲がったジェット

観測結果



# 観測結果：3C 279の折れ曲がったジェット

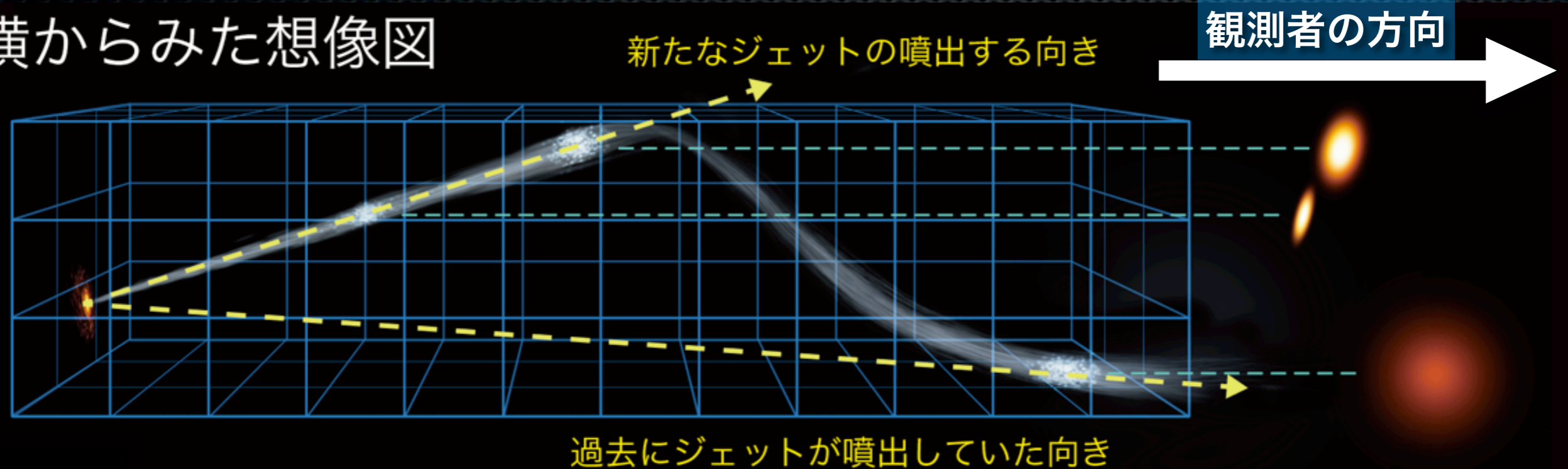
観測結果



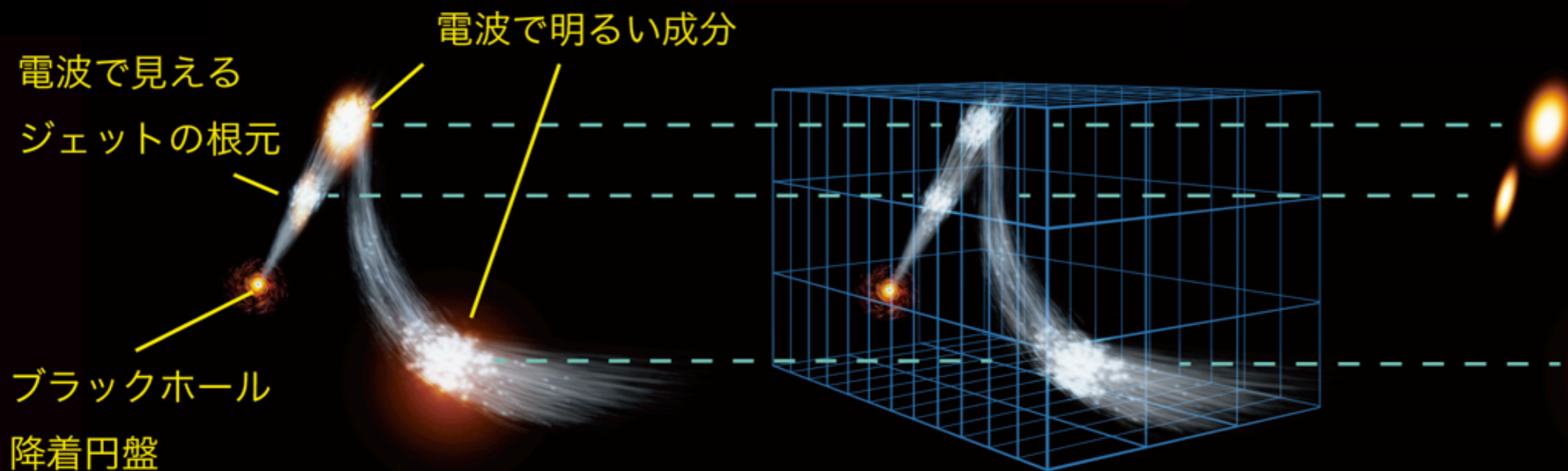
# 結果：ジェットの出る向きが変わった

観測結果

## 真横から見た想像図

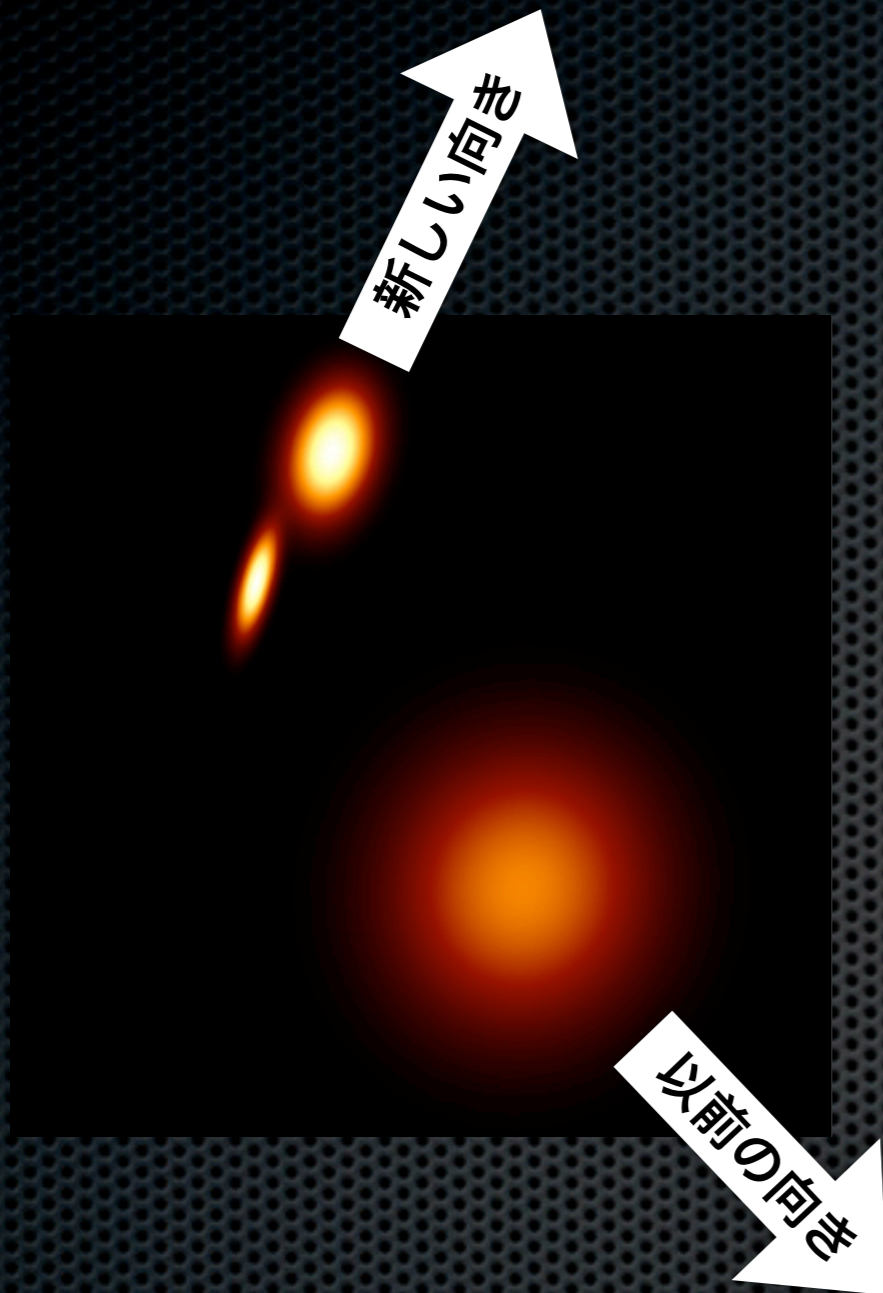


## 観測者の方向から見た想像図



# EHTが捉えたジェットの本元は全て曲がっている!

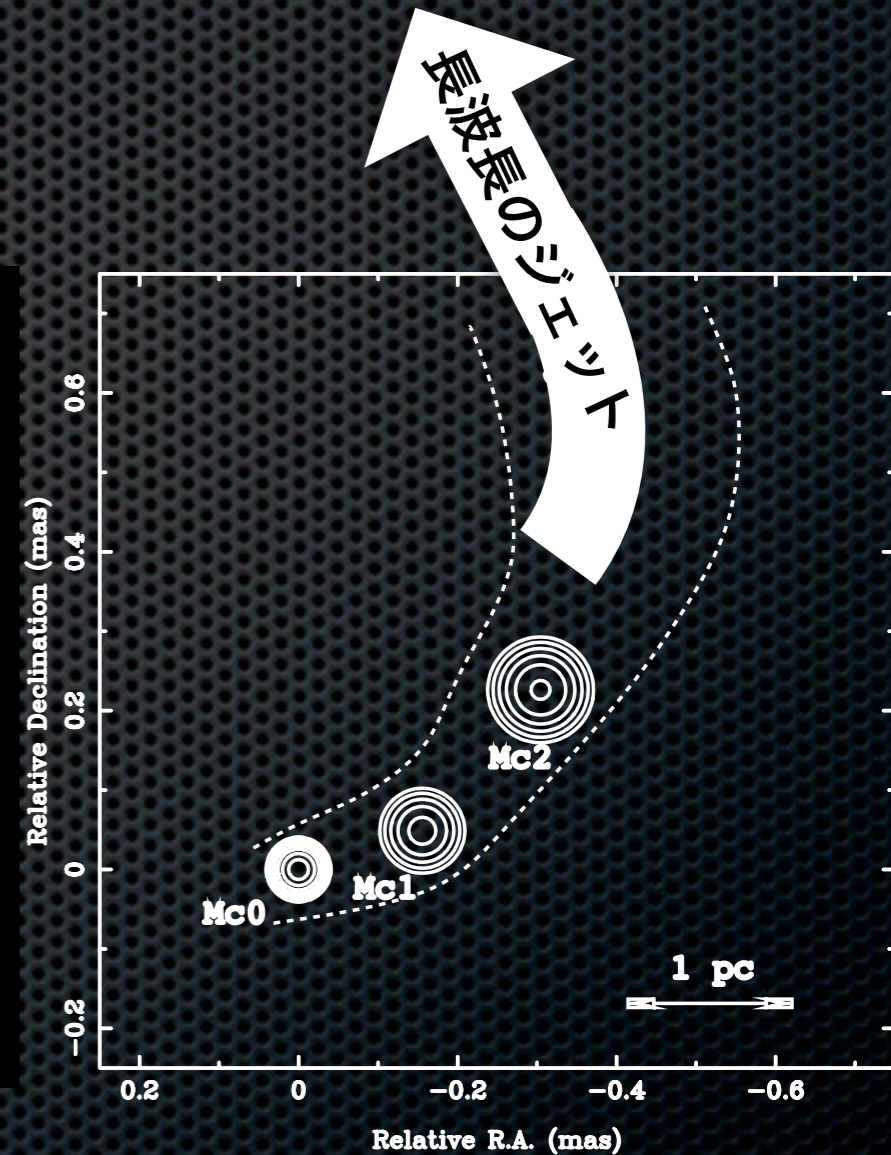
## 観測結果



3C 279 (本成果)



NRAO 530 (本成果)



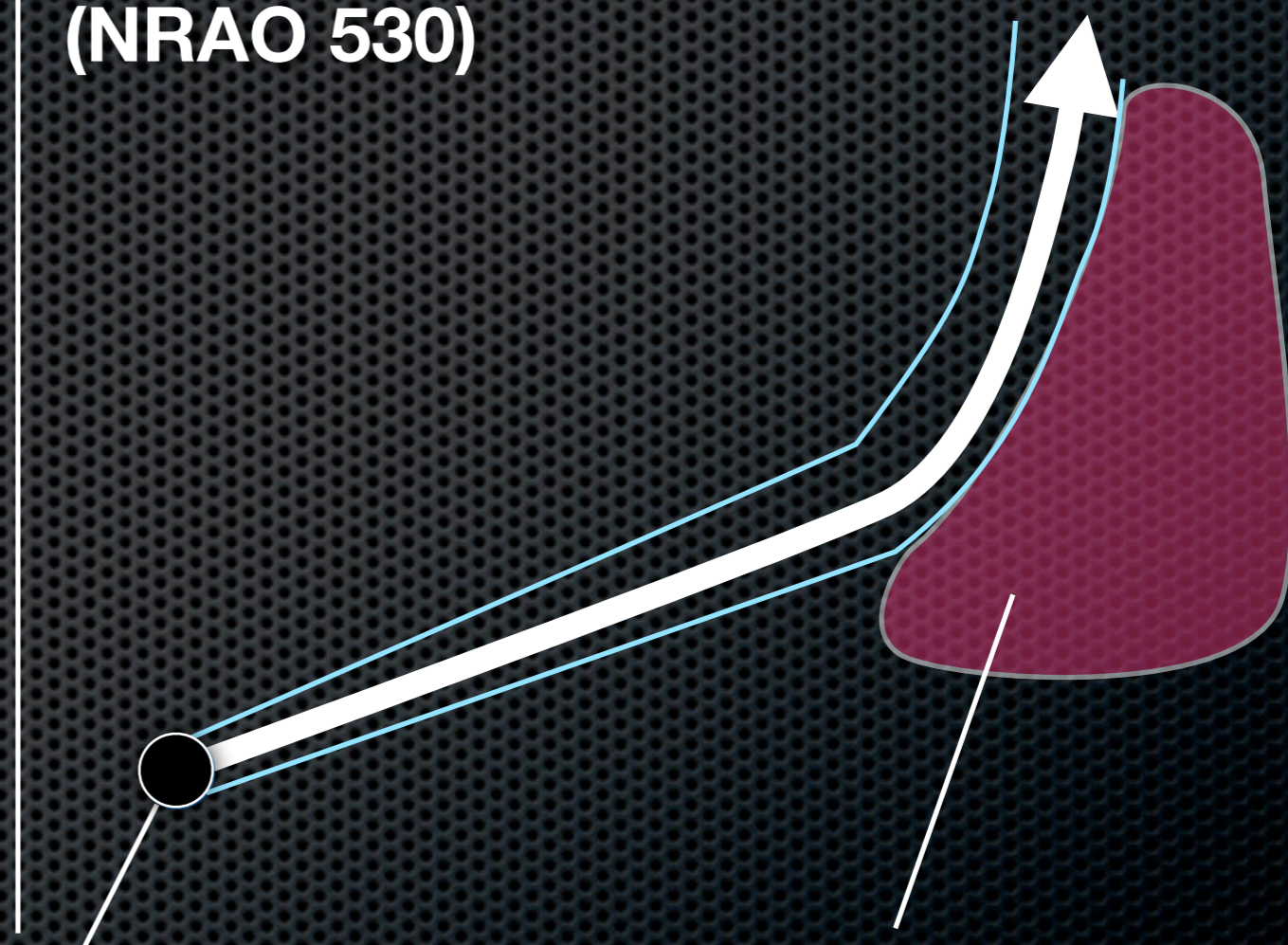
1921-293 (Lu et al. 2012)

# 結果：なぜジェットは曲がるのか？

観測結果

ジェットの噴出の仕方に起因する  
(3C 279)

ジェットのまわりの外部環境に起因  
(NRAO 530)



○ ———— ブラックホール      濃い星間物質

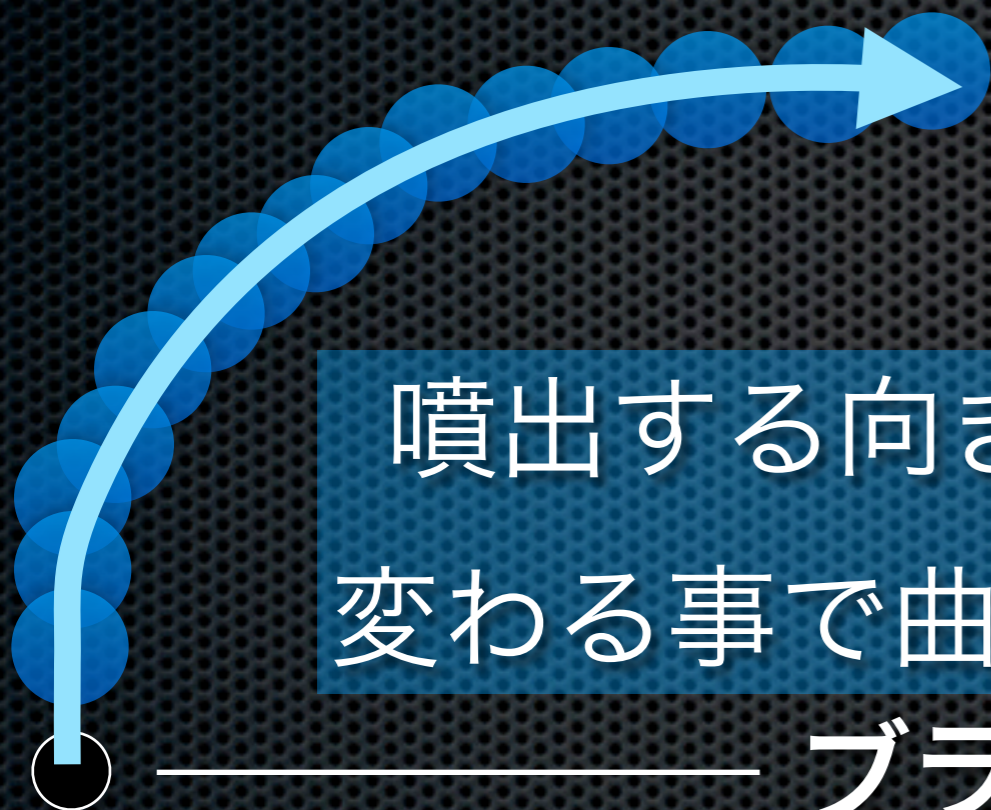
A. あまりよくわかっていない。

今後、高解像度 + 長期的 + 沢山の天体 で観測を行うことが重要

# 結果：なぜジェットは曲がるのか？

観測結果

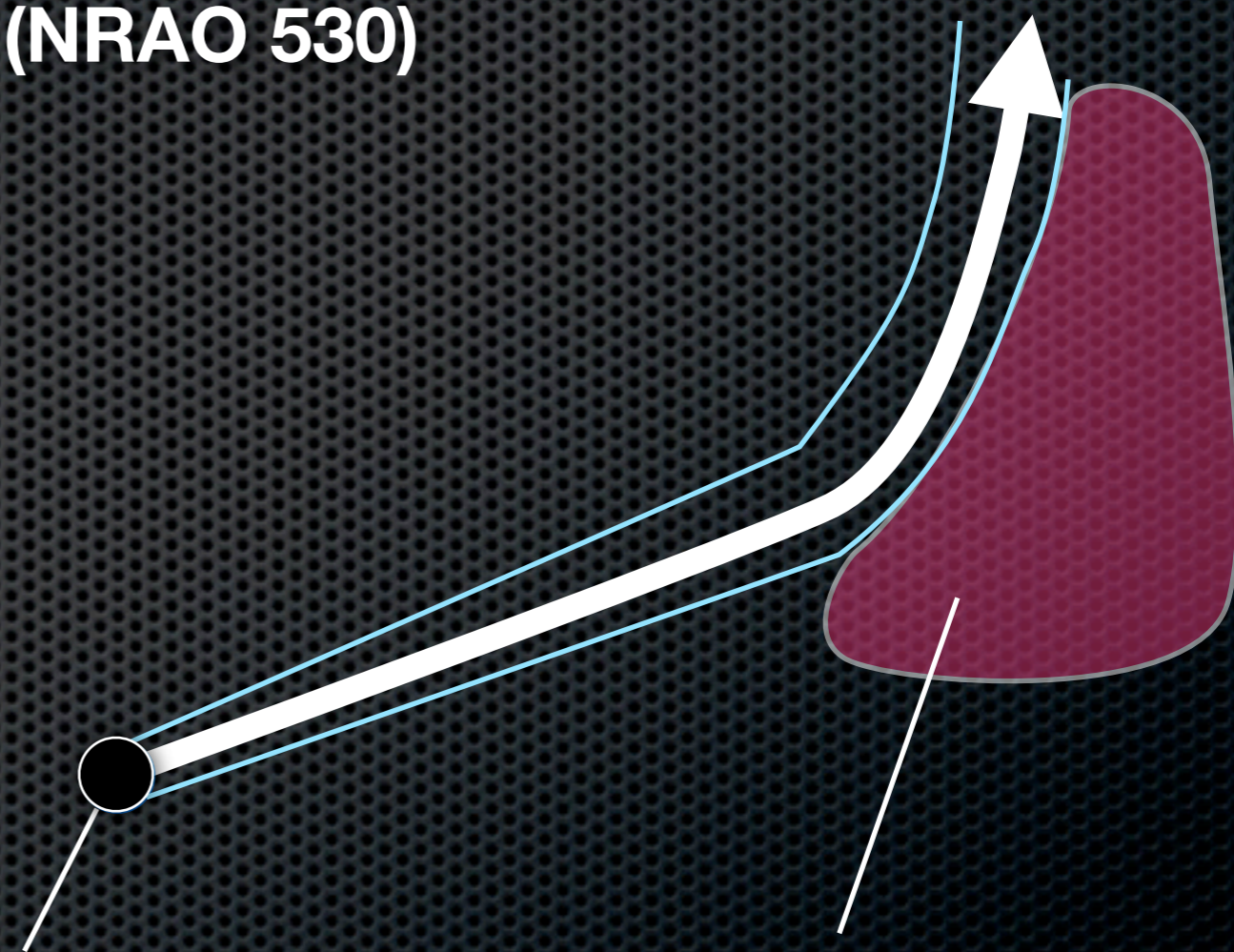
ジェットの噴出の仕方に起因する  
(3C 279)



噴出する向きが  
変わる事で曲がる

ブラックホール

ジェットのまわりの外部環境に起因  
(NRAO 530)



濃い星間物質

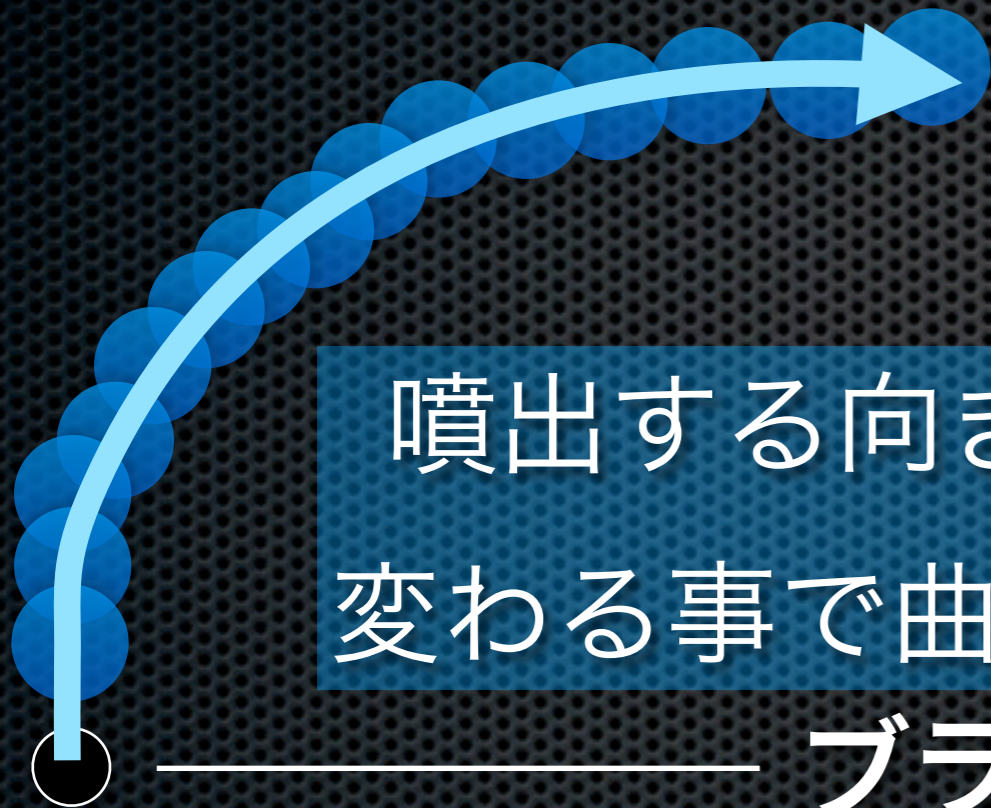
A. あまりよくわかっていない。

今後、高解像度 + 長期的 + 沢山の天体 で観測を行うことが重要

# 結果：なぜジェットは曲がるのか？

観測結果

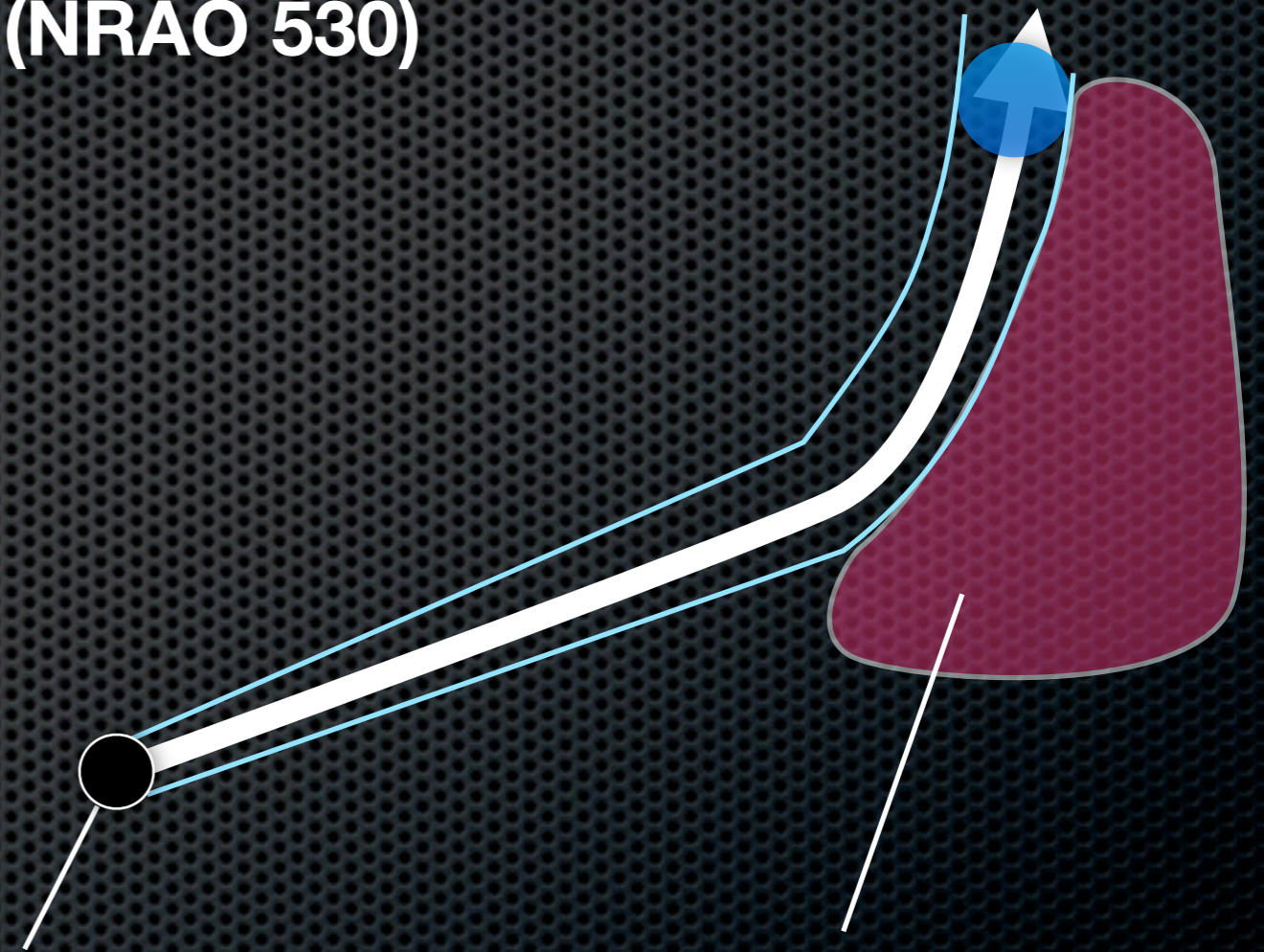
ジェットの噴出の仕方に起因する  
(3C 279)



噴出する向きが  
変わる事で曲がる

ブラックホール

ジェットのまわりの外部環境に起因  
(NRAO 530)



濃い星間物質

A. あまりよくわかっていない。

今後、高解像度 + 長期的 + 沢山の天体 で観測を行うことが重要

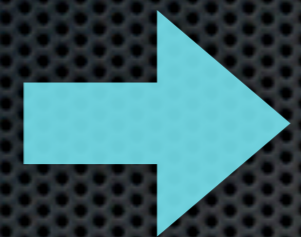
# 本研究の位置づけと今後の展望

今後の展望

ミリ波・サブミリ波VLBIによるジェット研究の幕開け

ミリ波・サブミリ波VLBIによる観測はまだはじまったばかり

装置のアップグレード + さらなる望遠鏡の参加



- ・構造のさらなる詳細を明らかに
- ・観測できる天体もより多くなる

ブラックホールの直接撮像へ向けて

いて座A\*

予想

おとめ座A

予想

今回達成した解像度

60マイクロ秒角

ブラックホールの撮像まで  
あともう少し!!

2015年までに撮像を目指す



50 マイクロ秒角



50 マイクロ秒角



**本プレゼン資料および関連資料は  
WEBで閲覧できます。**

**EHT-Japan Official Website:  
googleで”サブミリ波VLBI”と検索**

**※明日の朝、トップページにリンクが貼られます。**

## 補助資料

# 60 マイクロ秒角ってどんな大きさ？

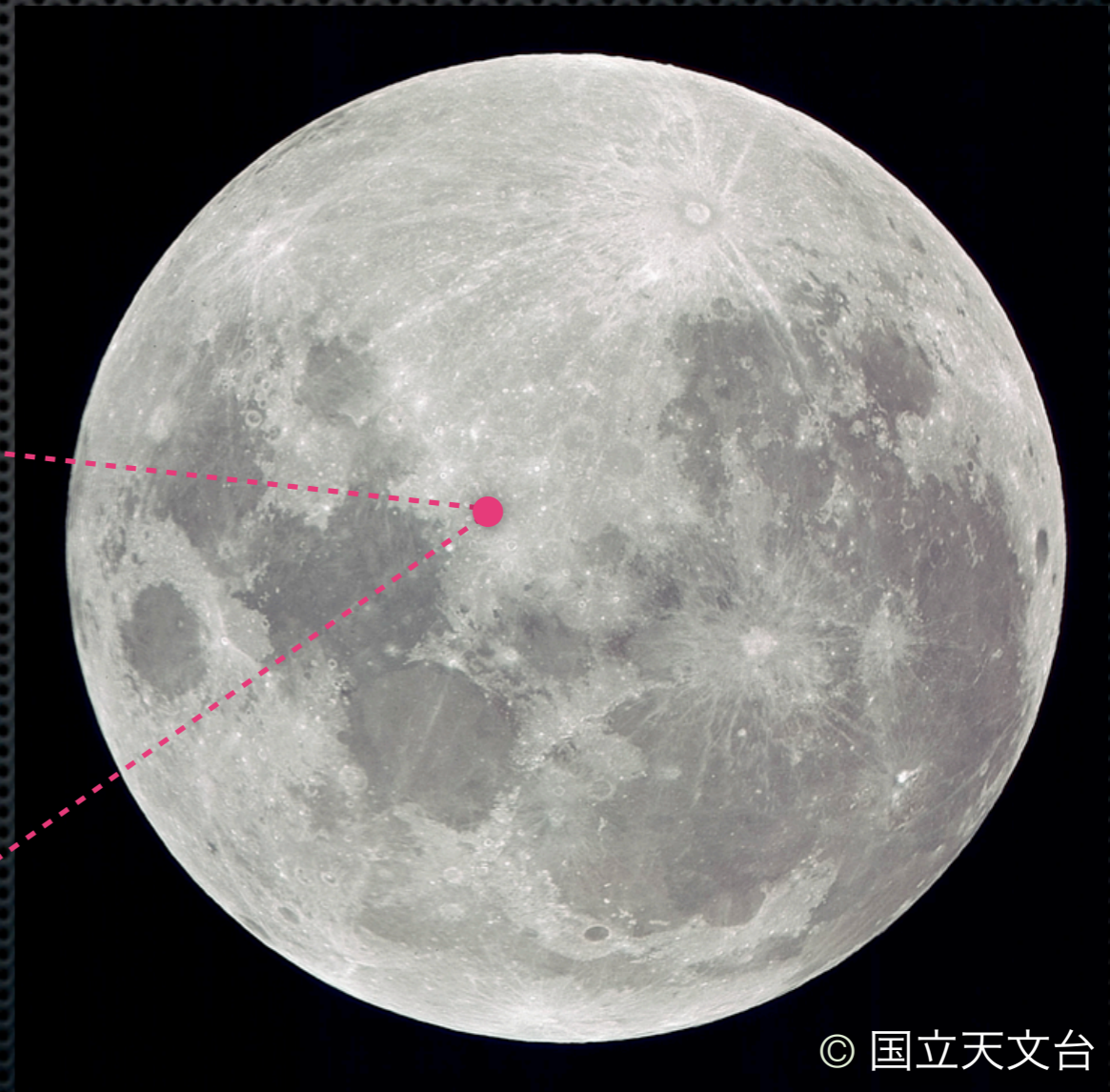
研究背景

60 マイクロ秒角 = 6000万分の1度

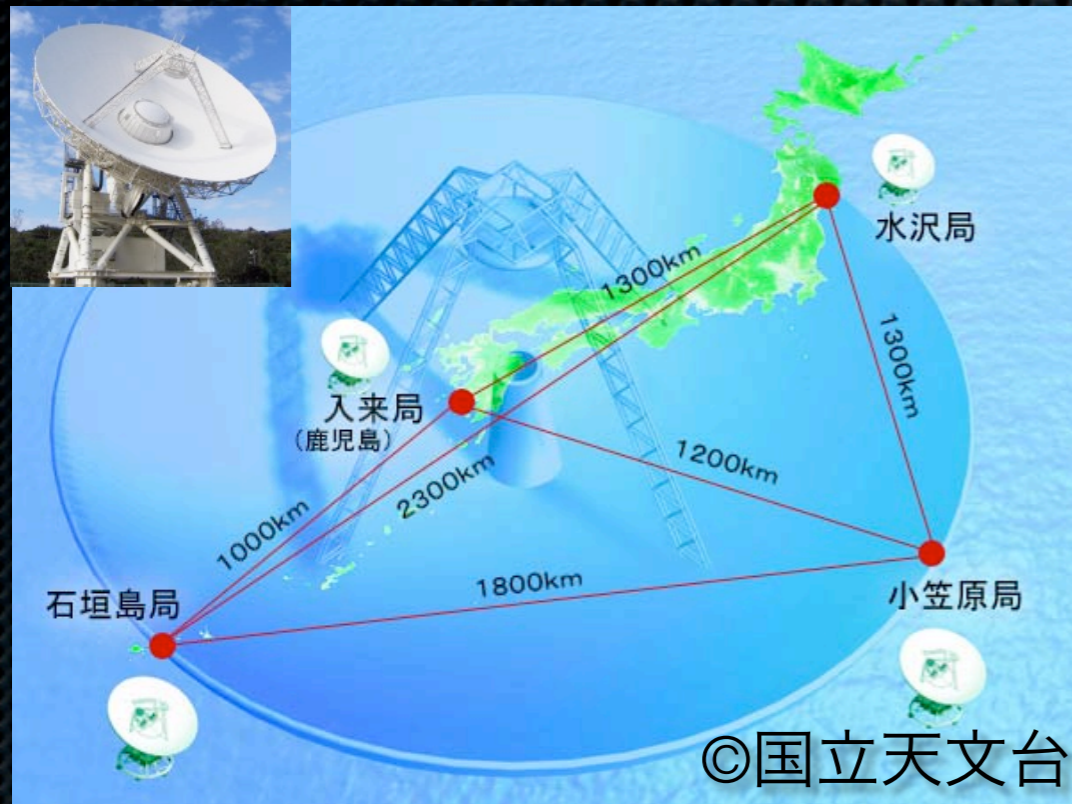
解像度 60 マイクロ秒角 = 人間の視力で100万

地上から月を見上げたときの  
月面上にある約11 cmの物の  
みかけの大きさ

CD・DVD  
直径12 cm



# 背景：観測技術 VLBIとは？



例: 日本のVLBI観測装置 (VERA)

超長基線電波干渉計

(Very Long Baseline Interferometry)

各地の電波望遠鏡を繋ぎ、地球サイズの  
実効口径を持つ巨大電波望遠鏡を実現する技術

あらゆる天文観測装置の中で  
圧倒的な解像度を実現

望遠鏡	口径 D	波長 $\lambda$	解像度 $\lambda/D$	視力: $D/\lambda$ に比例
ハッブル宇宙望遠鏡	約 2.4 m	約 550 nm	約 0.05 秒角	約 1,200
すばる望遠鏡	約 8 m	約 2.4 $\mu\text{m}$	約 0.06 秒角	約 1,000
センチ波VLBI	約 9,000 km	約 1 cm	約 0.0003 秒角	約 300,000
ミリ波・サブミリ波VLBI (現在)	約 4,000 km	約 1 mm	約 0.00005 秒角	約 1,200,000
ミリ波・サブミリ波VLBI (将来)	約 9,000 km	約 1 mm	約 0.00002 秒角	約 3,000,000

# Event Horizon Telescopeの参加研究機関

## 国内

国立天文台

総合研究大学院大学

東京大学

他

## 国外(続き)

ハーバード・スミソニアン天体物理学センター (米)

ジェームズ・クラーク・マクスウェル 望遠鏡

(英・カナダ・オランダ)

マックス・プランク天体物理学研究所 (独)

アメリカ国立電波天文台 (米)

カルフォルニア大学 バークレー校 (米)

他

## 国外

マサチューセッツ工科大学 ヘイスタック観測所 (米)

アリゾナ大学 (米)

台湾中央研究院天文及天体物理研究所 (台)

カルフォルニア工科大学 サブミリ波観測所 (米)

CARMA(カルマ)観測所 (米)

## 60 マイクロ秒角ってどれぐらいの大きさ？

60 マイクロ秒角 = 6000万分の1度

解像度 60 マイクロ秒角 = 人間の視力で100万

地上から月を見上げたときの  
月面上にある約11 cmの物の  
みかけの大きさ

CD・DVD  
直径12 cm

