

# VLBI天文学 第1回

国立天文台  
本間 希樹

## 今日の内容

今日は初回なのでお話が中心

- 自己紹介、イントロダクション
- 自分の研究紹介  
VERA、サブミリ波VLBI

(VLBI天文学の入門をかねて)

## 自己紹介など

氏名： 本間 希樹(ほんま まれき、Honma Mareki)

所属： 国立天文台水沢VLBI観測所

連絡先： 〒181-8588

三鷹市大沢2-21-1

メール： mareki.honma@nao.ac.jp

電話：0422-34-3640

HP: <http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/VERA/honma/index.htm>  
(googleに“本間 希樹”で検索)

居室： 南研2F205

## 研究テーマ

現在の主要な研究テーマ

- 超長基線電波干渉計(VLBI)の手法を用いた銀河系構造の研究
- サブミリ波VLBIを用いたブラックホール(Black Hole)の直接撮像

VLBI : Very Long Baseline Interferometer

## 主な仕事場

- 国立天文台三鷹  
オフィスがある(滞在半分くらい)
- 国立天文台水沢 (岩手県奥州市)  
VERAの運用センターがある(年間2ヶ月程度滞在)
- チリ アタカマ高地  
国立天文台のASTE望遠鏡がある。サブミリ波VLBI  
という新しいプロジェクトを推進中(年間1ヶ月?)

研究室見学など歓迎です

## この授業の進め方

- 板書+パワーポイント
- 基本的な事項を板書し、パワーポイントで補足(参加人数、参加者層などによる...)
- 評価はレポートで(何回か課題を出す)

## この授業の進め方 II

- 言語について
    - 留学生がいること
    - 総研大の国際化を目指すこと
    - などの観点から
    - 試しに英語を使用することを提案します  
(学科長もそのように推奨)
    - ただし、皆さんの理解度も考慮しながら必要に応じて日本語も交えます
- その分、レベル、進度を少し抑え目に

## 私の研究紹介

## 科学目標と手法

- 科学的興味

銀河系:

銀河系構造、動力学、ダークマター

銀河系中心の巨大ブラックホール

- 現在主に関わっている手法

VLBI (Very Long Baseline Interferometer)

超長基線電波干渉計

## VLBI観測網の例

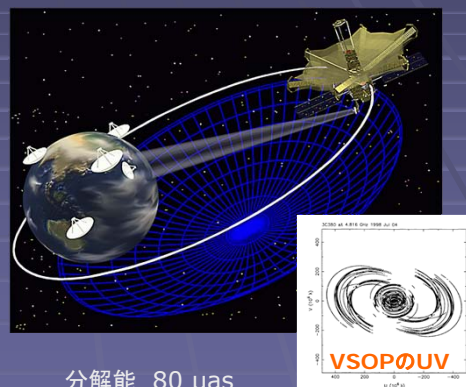
VERA

20m x 4台



分解能 1 mas  
波長1 cm,  $D = 2300$  km

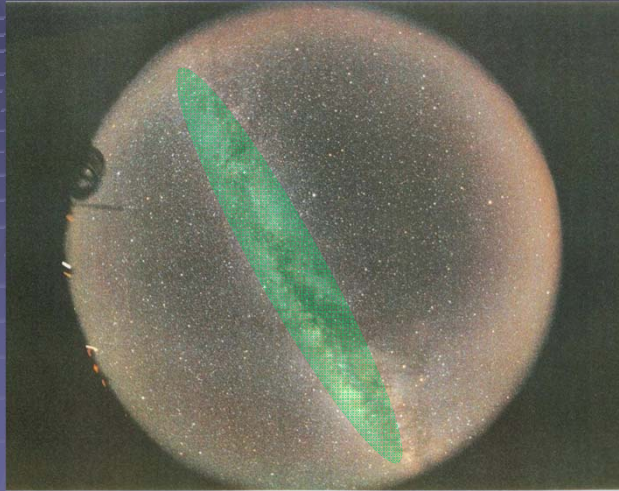
VSOP (VLBI用アンテナを  
積んだ衛星, 1997年打上)



分解能 80  $\mu$ s  
波長1 cm,  $D = 30000$  km



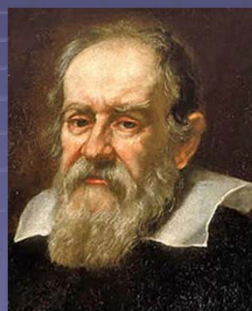
## 銀河系 = 天の川



天の川が星の集まりであることを発見したのはガリレオ

## 2009年は世界天文年でした

- 2009年:ガリレオが初めて望遠鏡で宇宙を観測(1609年)してから400年目



ガリレオ・ガリレイ  
1564-1642



ガリレオの望遠鏡

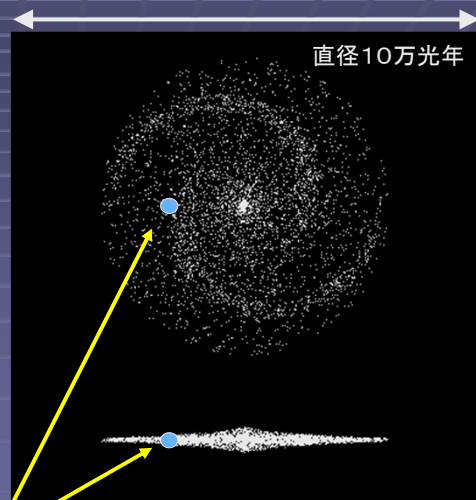
## 銀河系の想像図

### ■ 特徴

- 円盤状、渦巻きがある
- 星の数: 約2000億
- 中心にはブラックホール?



M63 銀河  
(銀河系もこんな形?)



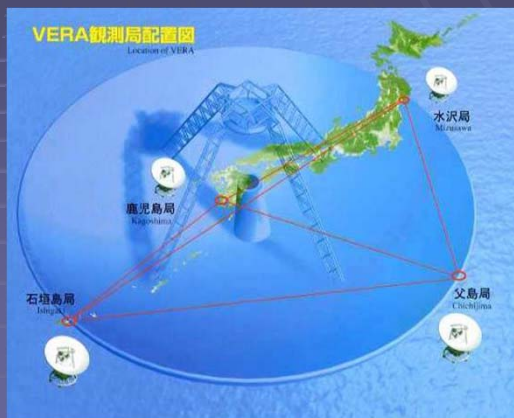
## VERA

— 銀河系の3次元測量 —



## VERAについて

- VERA: VLBI Exploration of Radio Astrometry
- 4台の望遠鏡からなる電波干渉計
- 銀河系内の天体の距離を精密に測り最新の銀河系像を描く



## 銀河系全域の測量は未知の世界



銀河系全域の測量は、まだ手付かずの未開の領域！  
これまでの100倍の精度を持つ新しい望遠鏡が必要！

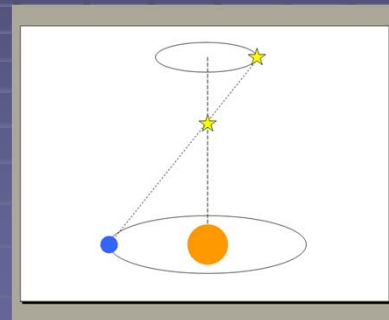
## 星の距離を測る

### ■ 年周視差法

三角測量の原理で、仮定なしに天体の距離を測る方法。

地球の公転を利用し、星の位置の年周変動を測定

基準：地球—太陽間の距離  
1天文単位=1億5000万 km



年周視差の模式図

## 年周視差は小さい

太陽に最も近い星：ケンタウルス座 $\alpha$ 星

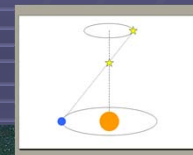
距離 4.3 光年  
(=27万天文単位)

視差 0.7 秒角  
(1/5000 度)

距離が遠い

→ 視差が小さい

→ 観測が難しい



八重山諸島からみた南天の星

## 角度の単位について

- 角度の単位

1回転 = 360度

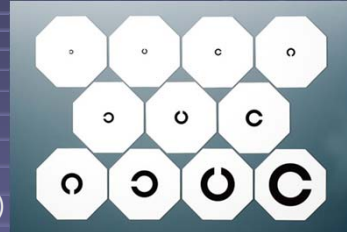
1分角 = 60分の1度

1秒角 = 60分の1分角

= 3600分の1度

(1ミリ秒角=1000分の1秒角)

(1μ秒角=100万分の1秒角)



ランドルト環

- 人間の視力

視力 1.0 : 1分角を見分けることができる  
(3m先にある大きさ1mmのものに相当。)

## 距離の単位について

- 年周視差1秒角に相当する距離を

1 pc (パーセク) と呼ぶ

- 1000 pc = 1 kpc (キロパーセク)

- 1000 kpc = 1 Mpc (メガパーセク)

- 1 pc ~  $3.09 \times 10^{13}$  km ~ 3.26 光年

- 太陽近傍の星まで ~数 pc

- 銀河系の中心まで ~8 kpc

- 隣の銀河まで ~1 Mpc

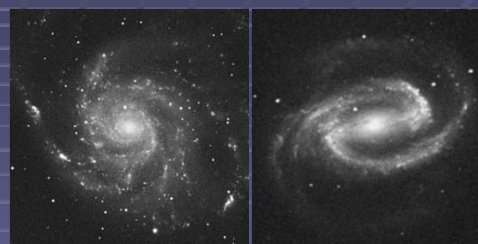
## 銀河系測量の要求精度

- 銀河系中心 8 kpc  
→ 年周視差 125  $\mu$ 秒角  
これを見分けるには 10 $\mu$ 秒角（約4億分の1度）  
レベルの測定精度が必要  
（月面上の1円玉を地球から見たときの角度）



## 銀河系の測量からわかること

- 銀河系の大きさ、構造
- 天体の距離、明るさ、大きさ 等々  
（銀河系内の天体を対象としたすべての天文学研究の基礎）



渦巻き銀河(左)と棒渦巻き銀河(右)

天の川はどっちだろう？

- 暗黒物質(光らない物質)の量と分布

# VERA: VLBI Expolration of Radio Astrometry

4台の電波干渉計で  
銀河系の測量を行う

入来



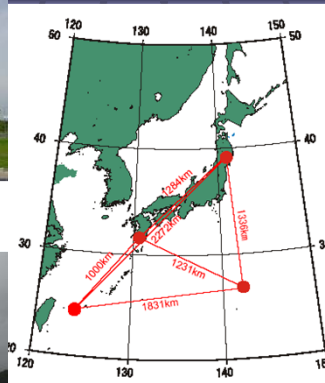
水沢



石垣島



小笠原



最長基線 : 2300 km  
完成 : 2002年春  
観測 : 2004年～

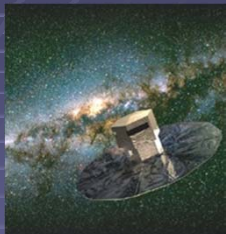
## 南の楽園 石垣島





## 銀河系測量をめぐる状況

- 国際衛星プロジェクトが複数予定されている



GAIA (ヨーロッパ)  
2013年打ち上げ



SIM (アメリカ)  
2015年打ち上げ?



JASMINE (日本)  
2018年打ち上げ?

目標はいずれも、銀河系の測量

VERAの利点: 早くから観測開始、電波  
VERAの難点: 天体数が少ない。

## 高精度位置天文ミッション

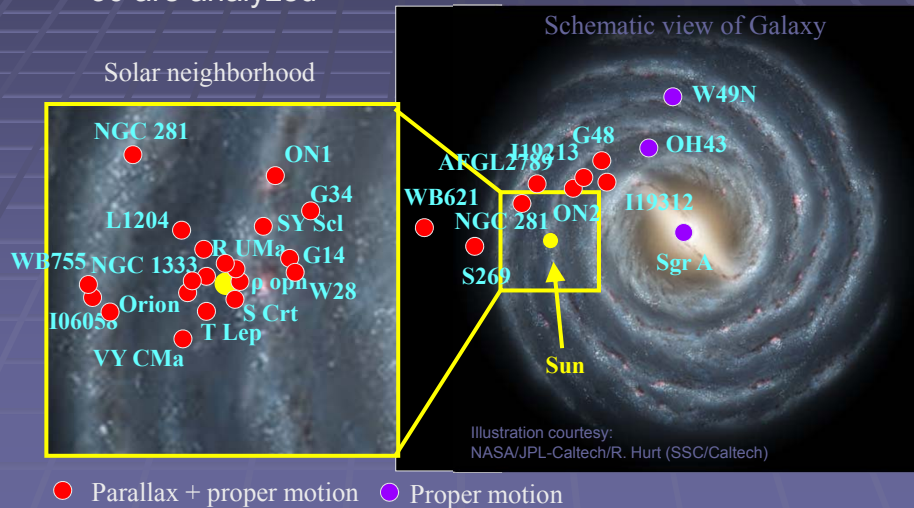
10 マイクロ秒角以下を目指した計画が複数存在

name	type	band	start year	accuracy	# of stars
<b>SIM</b>	space	opt	~2013	10 $\mu$ as or higher	10 <sup>4</sup>
<b>GAIA</b>	space	opt	~2015	10 $\mu$ as	10 <sup>9</sup>
<b>JASMINE</b>	space	IR	2018 ?	10 $\mu$ as	10 <sup>8</sup>
<b>VERA</b>	VLBI	radio	2004	10 $\mu$ as	10 <sup>3</sup>

VERAの最新の結果については別の回に

## Current status of astrometry with VERA

- ~100 sources have been monitored
- ~30 are analyzed

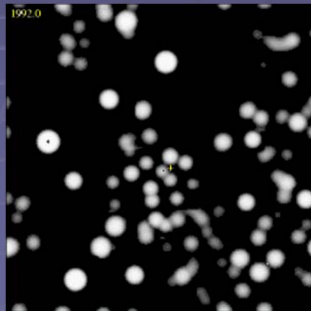


## サブミリ波VLBI

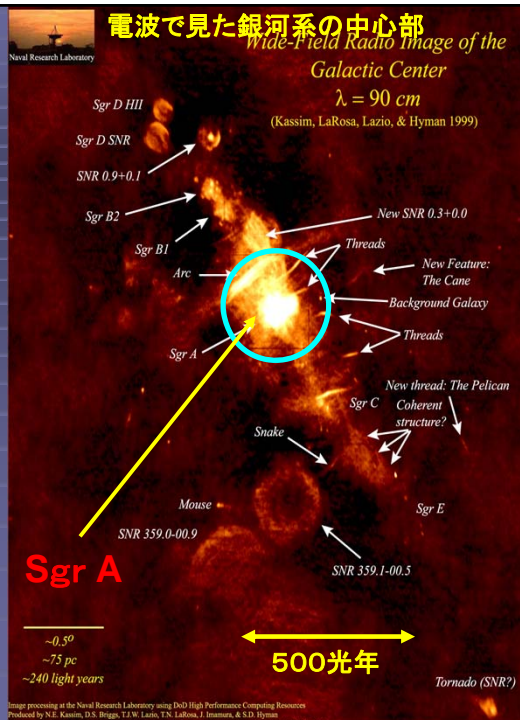
— 銀河系中心の巨大ブラックホールを見る —

## Sgr A\* : 銀河系中心の巨大ブラックホール

- Sgr A\* (射手座A星)
- ・ 銀河系中心にある巨大ブラックホール
- ・ 太陽の4百万倍の質量



赤外線で見えたSgr A\*周囲の星の運動



## ブラックホールは見える？

- ブラックホール自身は暗い(はず)  
(ブラックホールとは、強い重力により光さえ吸収)
- しかし、ブラックホールに落ち込むガスが回転しながら高温で明るく輝くので、それを背景に「黒い穴」が見えると期待される。でも、まだ誰も見ていない...



Fukue et al. (1988)

銀河系中心のブラックホールは「黒い穴」の見た目サイズが最も大きい

直径~30マイクロ秒角  
(波長の短い電波干渉計なら分解可能)

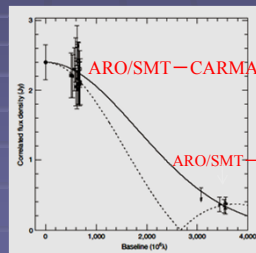
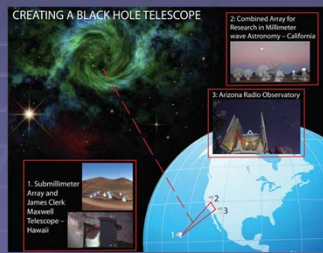


## ブラックホールを見る

望遠鏡の分解能 $\theta$ は口径 $D$ と波長 $\lambda$ で次のように書ける。

$$\theta \sim \lambda / D$$

波長 $\lambda$ が短いほど有利。 $\lambda \sim 1\text{mm}$ ,  $D \sim 8000\text{ km}$  なら $\theta \sim 25\mu\text{秒角}$



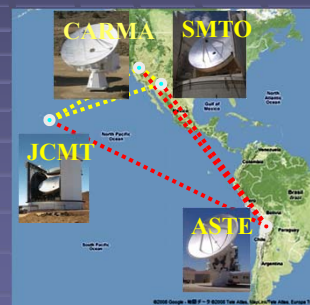
Doeleman et al.  
2008 in Nature

2008年にMITを中心とするグループが1.3mmでSgr A\*の構造を $\sim 40\mu\text{秒}$ まで分解。シャドウ分解まであと一歩？

## ASTEを用いたサブミリ波VLBI

- 国立天文台のASTE望遠鏡

サブミリ波観測に適したチリ・アタカマ砂漠(標高4860m)にある。これを米国の望遠鏡と組み合わせて銀河系中心ブラックホールの国際観測を推進中。



## 4月に初の観測

- 2010年4月3日、4日に、ASTEを用いた初のサブミリ波VLBI観測を実行

観測までの道のり



2010年1月の作業：観測用コンテナを設置し、ケーブルを敷設

## ASTE VLBI観測まで

- VLBI観測用の装置を入れるコンテナを設置
- 受信機をアンテナに搭載



数ヶ月の立上げの苦勞の後、4月初旬に2晩の観測を実行。現在結果待ち。

今後数年～10年でブラックホールの黒い穴が見えるとよい？

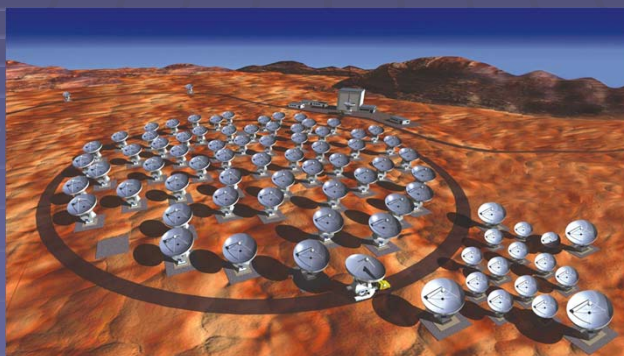
## アタカマ高地の話

- アタカマ高地(アタカマ砂漠)  
チリのアンデス山脈中に広がる  
標高5000mの砂漠地帯
- 空気が乾燥して水蒸気量が  
少ないために、天文観測に  
適している
- 最近、多数の望遠鏡が  
建設されている



## ALMA

- Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array  
(スペイン語で「魂」という意味)
- 日米欧の国際協力で66台以上のミリ波サブミリ波  
干渉計を建設(現在建設中)



# ALMAへの道



# ALMAへの道





## ALMAへの道



## ALMAへの道



## ALMAの現状



ベースキャンプ（標高2900m、ここでアンテナを組み立て調整）

## ALMAの現状



ALMA Roadでアンテナを運ぶTransporter（この日は空っぽ）とすれ違い

## ALMAの現状



サイト（標高5200m、2010年4月現在3台のアンテナが設置され試験中）

## アタカマの望遠鏡たち



ASTE（国立天文台、電波、直径10m）



TAO（東大、赤外、口径1m）



APEX（欧州、電波、直径12m）



QUIET（国際共同、電波）

## 連絡事項

- 10月の開講日  
10/6, 13, 20, 27
- 11月の開講日  
11/17
- 12月の開講日  
12/1, 15  
を予定。残りは1～2月