

宇宙科学II（電波天文学） 第1回

国立天文台
本間 希樹

今日の内容

- 自己紹介
- 今回の震災に関連して
- 自分の研究紹介
VERA、サブミリ波VLBI
(電波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)

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)

※約20年前(1990年)に東大駒場に入学

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の直接撮像

VLBI : Very Long Baseline Interferometer

国立天文台について

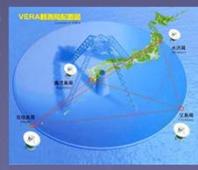
- もともとは東京大学東京天文台(1888年～)
- 1988年に国立天文台に改組
- 大学共同利用機関として、大型の望遠鏡を建設、運営



野辺山宇宙電波
観測所(長野県)



すばる望遠鏡
(ハワイ)



VERA



ALMA
(チリ アタカマ高地)

他にも多数の望遠鏡有り

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1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

- パワーポイントをベース
- 重要な事項はときどき板書
- 評価はレポートで(課題を出す。4回?)

(7月以降の講義は電力事情などで中止もあり得る?)

今回の震災に関連して

まず最初に、

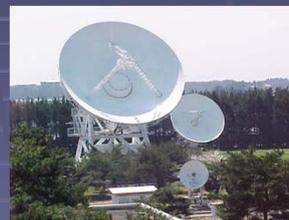
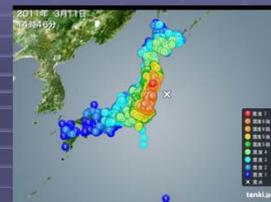
被災した方々にお見舞い申し上げます

一方、被災していない方は、復興のため各自でできることをやりましょう

節電、義援金、ボランティア...

国立天文台と震災

- 国立天文台水沢(岩手県奥州市、震度6弱)



2008年に耐震改修を終えたおかげで職員には人的被害なし
電波望遠鏡は3月11日以降停止中(現在被害を調査中)

国立天文台三鷹への影響

- 揺れによる大きな被害はなし(机の上がちらかった程度?)
- 計画停電の影響は大(現在も)
 - スパコン 停止
 - VERAのデータ処理用関連器 停止
 - データ解析計算機 停止
 - 等々

以下、関東大震災に際しての作家たちの言葉。
毎日新聞余録「震災と文化」(2011年4月7日)から。

- 「我々文芸家にとって第一の打撃は、文芸ということが生死存亡の境においては、骨董(こつとう)書画などと同じように、無用の贅沢(ぜいたく)品であることを、マザマザと知ったことである」。
— 菊池 寛
- 「芸術は生活の過剰だそうである……しかし人間を人間たらしめるものは常に生活の過剰である。僕等(ぼくら)は人間たる尊厳の為(ため)に生活の過剰を作らなければならぬ……過剰を大いなる花束に仕上げねばならぬ」。
— 芥川龍之介

「文芸」、「芸術」を「天文学」に置き換えてみても成り立つ?

震災と宇宙科学

- 地震、津波 — 地震学、地球物理学、...

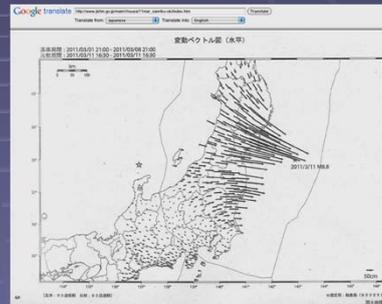
地殻変動計測:宇宙測地技術

(宇宙の観測と密接に関連)

- 原発 — 原子核物理学、...

核エネルギーは宇宙と密接

に関連



今回の地震による
地殻変動

今回の「教養」の授業では、宇宙科学と
これらの話題の関連についてもふれます

防災に関する諸連絡

教養部から来た連絡の抜粋

- 駒場キャンパスは耐震改修済。3月11日の地震(震度5強)でも問題なし
- 講義中に地震が起きたら、まずは机の下に隠れ、教室に待機する (いきなり外に逃げない)
最終避難場所:ラグビー場、陸上競技場
- 緊急地震速報を受信した場合は、皆に知らせる

私の研究紹介

主な研究対象：銀河系

- VERA
銀河系の真の姿を描き出す
- サブミリ波VLBI
銀河系中心のブラックホールを直接撮像する

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：世界天文年

- 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

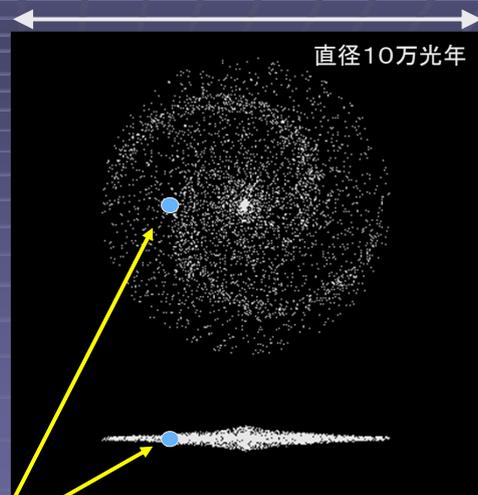
銀河系の想像図

■ 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?)



太陽系

光の速さ と 光年

光の速さ : 毎秒 30万 キロメートル
地球1週 0. 13秒
月まで 1. 3秒 (月まで38万km)

光年 : 光が一年に進む距離

キロメートルで表すと:

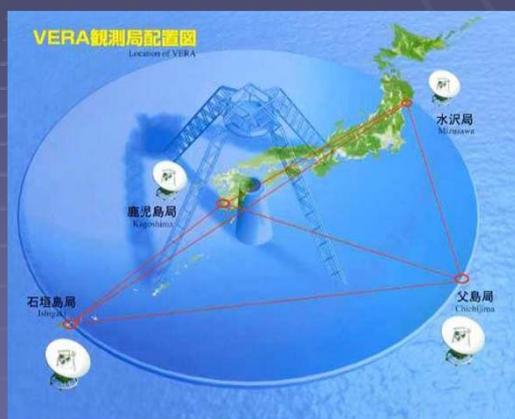
$$\begin{aligned} \text{毎秒 } 30 \text{ 万 km} \times 365 \times 24 \times 3600 &= \\ 9460800000000 \text{ km} \end{aligned}$$

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



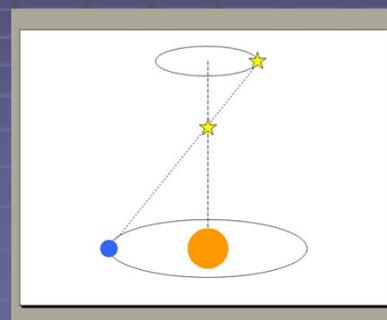
銀河系全域の測量は、まだ手付かすの未開の領域！
これまでの100倍の精度を持つ新しい望遠鏡が必要！

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 α 星

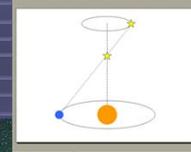
距離 4.3 光年
(=27万天文単位)

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

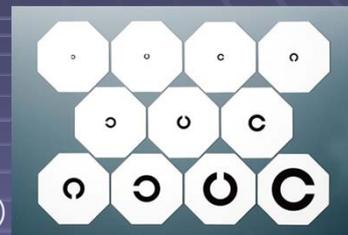
1分角 = 60分の1度

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)

(1 μ 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 \sim 3.09×10^{13} km \sim 3.26 光年

- 太陽近傍の星まで \sim 数 pc
- 銀河系の中心まで \sim 8 kpc
- 隣の銀河まで \sim 1 Mpc

銀河系測量の要求精度

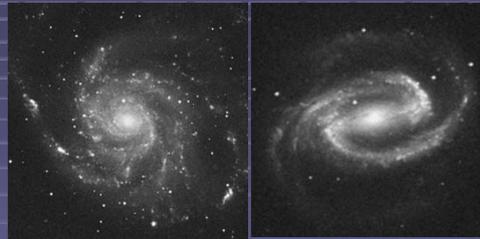
- 銀河系中心 8 kpc
→ 年周視差 125 μ 秒角
これを見分けるには 10 μ 秒角 (約4億分の1度)
レベルの測定精度が必要
(月面上の1円玉を地球から見たときの角度)



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



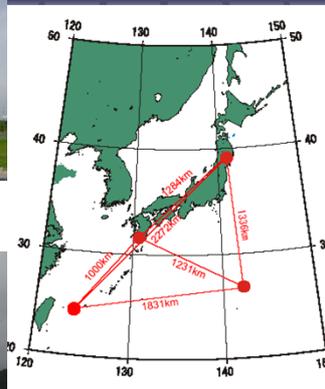
石垣島



水沢



小笠原



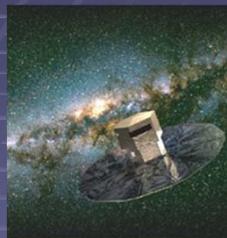
最長基線 : 2300 km
完成 : 2002年春
観測 : 2004年~

南の楽園 石垣島



銀河系測量をめぐる状況

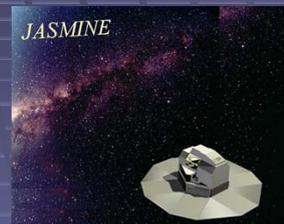
- 国際衛星プロジェクトが複数予定されている



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
<i>SIM</i>	space	opt	~2013	10 μ as or higher	10 ⁴
<i>GAIA</i>	space	opt	~2015	10 μ as	10 ⁹
<i>JASMINE</i>	space	IR	2018 ?	10 μ as	10 ⁸
<i>VERA</i>	VLBI	radio	2004	10 μ as	10 ³

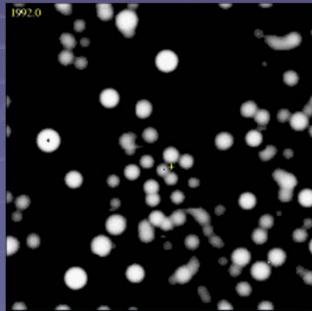
VERAの最新の結果については別の回に

サブミリ波VLBI

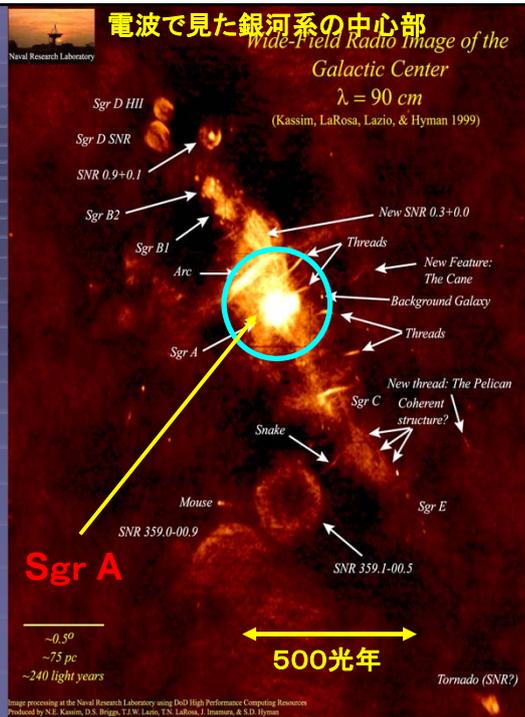
— 銀河系中心の巨大ブラックホールを見る —

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

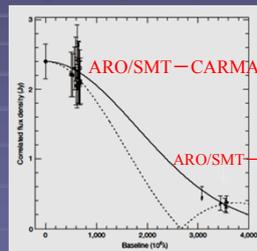
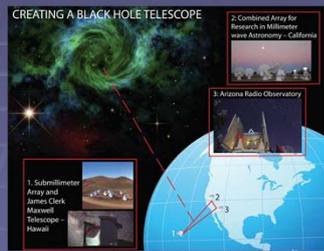
直径~30マイクロ秒角
(波長の短い電波干渉計なら分解可能)

ブラックホールを見る

望遠鏡の分解能 θ は口径 D と波長 λ で次のように書ける。

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

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



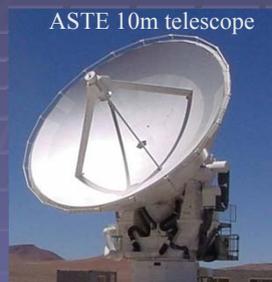
Doeleman et al.
2008 in Nature

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。



進捗状況

- 2010年4月に、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か？

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、現在~10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）