

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
- この授業について(内容、方法、評価など)
- 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

私の研究テーマ

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・運営する天文学研究の一大拠点



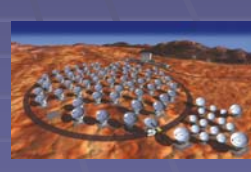
野辺山宇宙電波
観測所(長野県)



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
ALMAなどを用いたサブミリ波VLBIという新しいプロジェクトを推進中(たまに現地へ)

研究室見学など歓迎です

国立天文台三鷹＝隠れた桜の名所



この授業の進め方

- 内容: 電波天文学入門
- 方法: 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: 期末試験を実施

防災に関する諸連絡

3.11後に教養部から来た通達

- 駒場キャンパスは耐震改修済。東日本大震災の地震(ここでは震度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

過去の授業評価

- 2010年、11年はレポート4回で評価
- 10年は履修者200名程度、割とやさしめに問題設定
- 11年は「仏」との噂が広まって履修者が500名を超えてしまった
- 問題を少し難しくして、導入を授業で解説
 - 1) 提出枚数を減らすため
 - 2) 授業参加者・不参加者の差別化のため
- が、結果的には、少なくとも1)は達成できなかった
11年は合計2000枚以上のレポートを採点
一枚1分でも~30時間 (講義時間より長い!)
- 2012年は方針転換して期末試験を実施

授業および評価に関する見解

- 私は講義をしにきている(=天文学から雑多なことまで、将来を担う若者に伝えたいメッセージがある)
- 成績評価にはあまり興味がない。そもそもほとんどの人は天文学者を志すわけではないので、その理解度を厳密に測る必要性も感じていない。
- 単位生産工場に勤めているわけではない。
- 学生にはあまり負担をかけたくない(猛勉強や講義に絶対出席などの束縛はしたくない)
- こちらもあまり負担がない方がよい(e.g., 2000枚のレポート)

今年の授業評価

今年も昨年と同様にします。

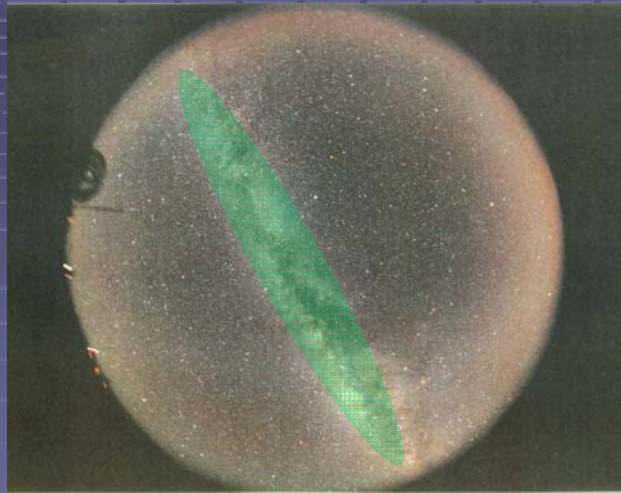
- 出席はとらない。
(とるのが大変、集計も大変)
- レポート課題は出さない。
(過去のような枚数の採点は避けたい)
- 期末試験を行う。
(講義内容を理解していれば解けるレベル)

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

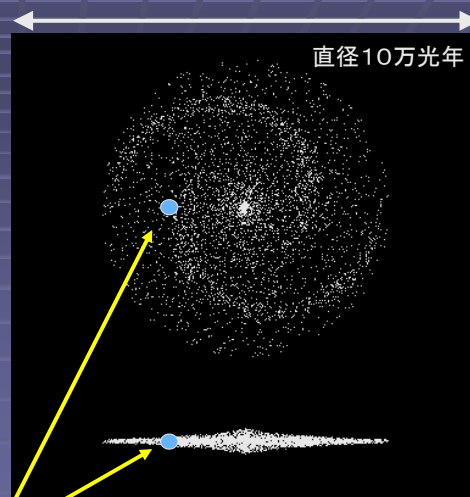
銀河系の想像図

- 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?



M 63 (NGC 5955) Suprime-Cam (B, V, Ha)
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan June 22, 2000
Copyright © 2001 National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved.

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)

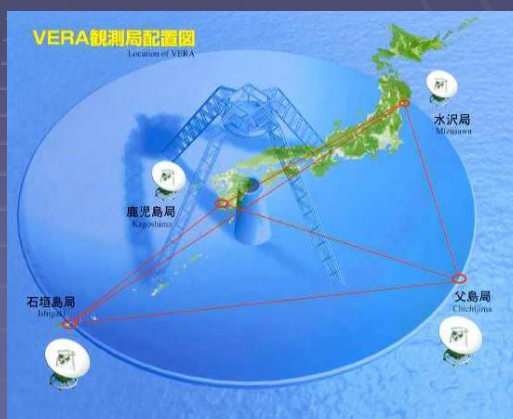
光年 : 光が一年に進む距離
キロメートルで表すと:
毎秒 30万 km x 365 x 24 x 3600 =
9460800000000 km

VERA

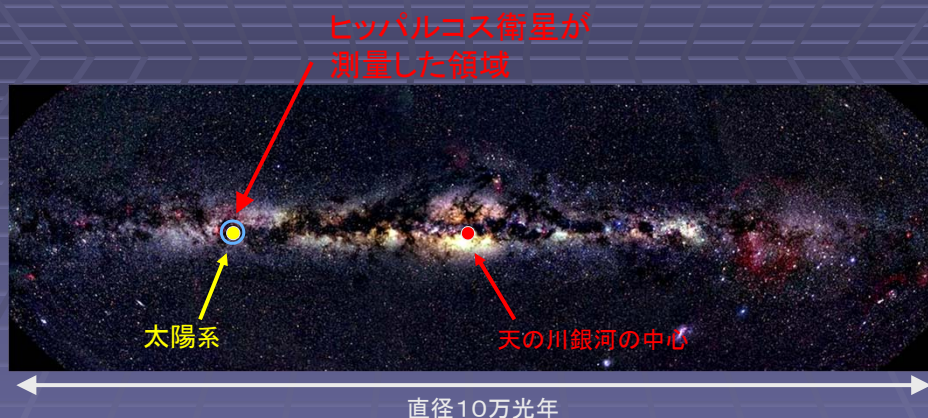
— 銀河系の3次元測量 —

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



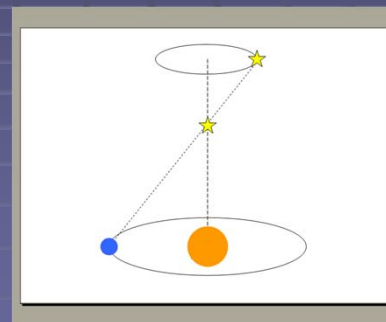
銀河系全域の測量は、まだ手付かずの未開の領域！
これまでの100倍の精度を持つ新しい望遠鏡が必要！

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

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)
- $1 \text{ pc} \sim 3.09 \times 10^{13} \text{ km} \sim 3.26 \text{ 光年}$
- 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

角度の単位について

- 角度の単位

1回転 = 360度

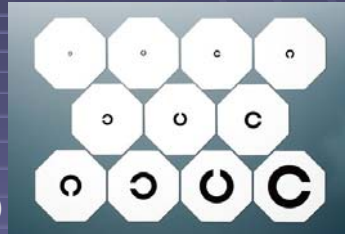
1分角 = 60分の1度

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。)

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)

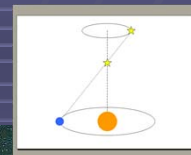
視差 0.7 秒角

(1/5000 度)

距離が遠い

→ 視差が小さい

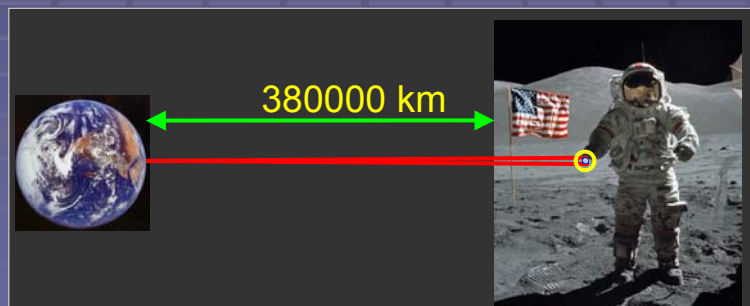
→ 観測が難しい



八重山諸島からみた南天の星

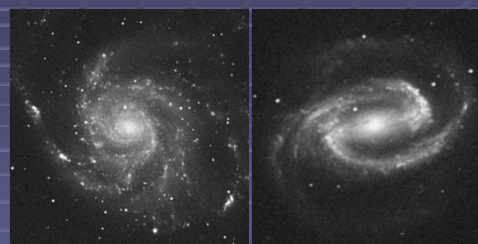
銀河系測量の要求精度

- 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



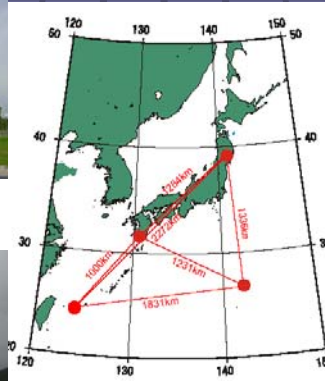
石垣島



水沢



小笠原



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

VERAの目的: 銀河系測量

- VERAは天の川銀河の3次元構造を明らかにするプロジェクト



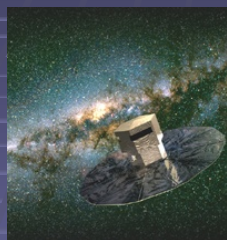
石垣島局から見上げた天の川

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)
2014年打ち上げ



JASMINE (日本)
2020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。

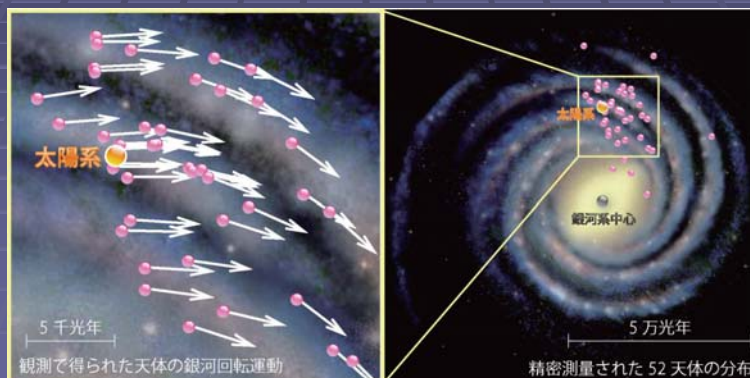
高精度位置天文ミッション

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
GAIA	space	opt	2014?	10 μ as	10 ⁹
JASMINE	space	IR	2020?	10 μ as	10 ⁸
VERA	VLBI	radio	2004	10 μ as	10 ³

銀河系の基本尺度を決める

- VERAなどの距離と運動の測定結果から、天の川銀河の回転中心と回転速度を決定

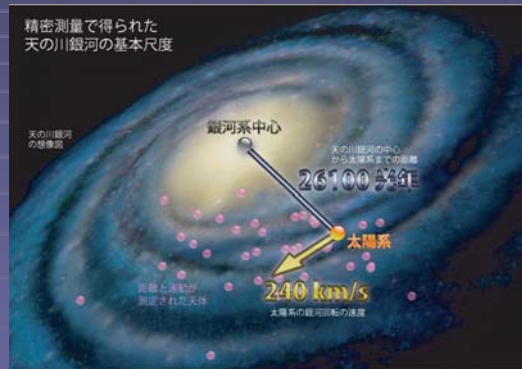


天の川の基本尺度

- 銀河中心距離 8.0 ± 0.5 kpc (26100 ± 1600 光年)
国際天文連合(IAU) 推奨値 8.5 kpc、 27700 光年)

- 銀河回転速度
 240 ± 14 km/s
IAU推奨値 220 km/s

回転速度が大きくなる。

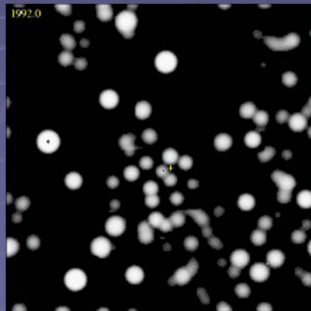


サブミリ波VLBI

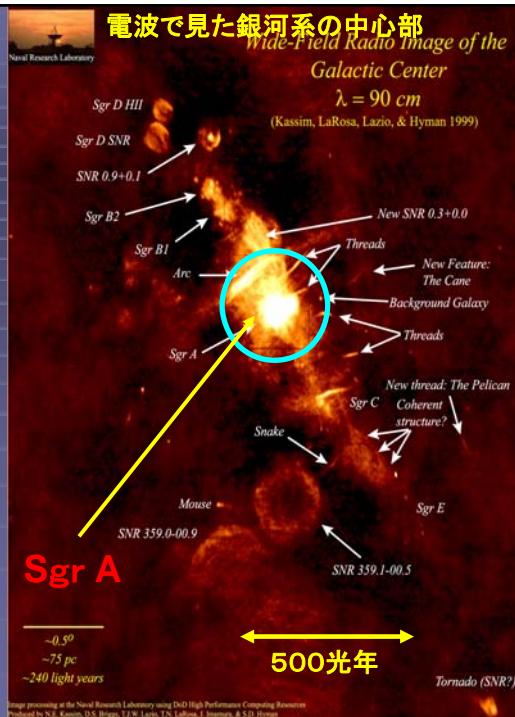
— 銀河系中心の巨大ブラックホールを見る —

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

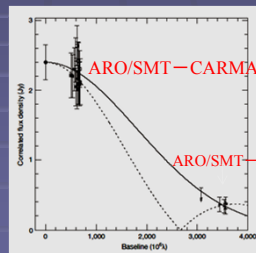
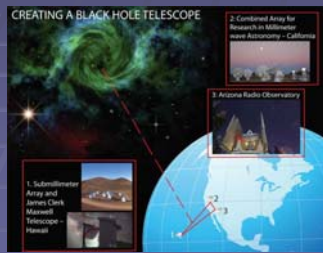
直径~30マイクロ秒角
(波長の短い電波干渉計なら分解可能)

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。



研究者の仕事は泥臭い？

- 2010年4月に、ASTEを用いた初のサブミリ波VLBI観測を実行

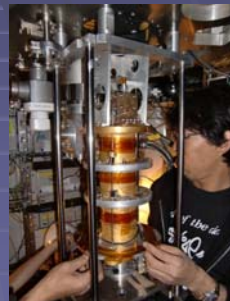
観測までの道のり



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労の後、2晩の観測を実行。が有意な信号は観測されず...

今後再挑戦およびアップグレードが必要。

近未来の展望

- ASTEによる観測の継続
- LMT : 50m 望遠鏡 (メキシコ、標高4000m)



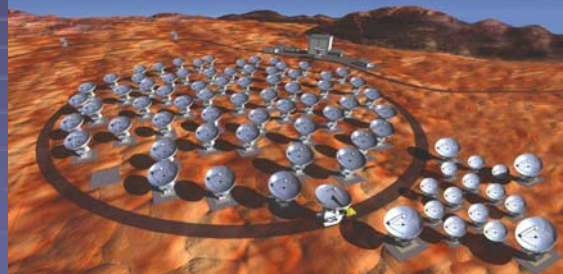
- グリーンランド望遠鏡(米国 & 台湾) :
ALMAの試作機(12m)をグリーンランドへ移設する計画
北緯 72 deg, 標高3200 m



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の想像図 (チリアタカマ砂漠 標高5200m)



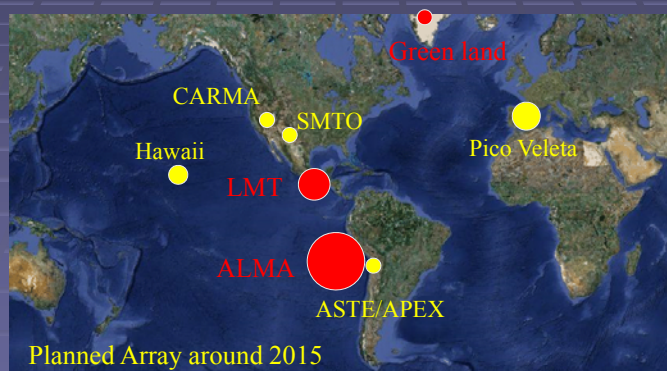
ALMAをサブミリ波VLBIに使う計画も国際協力で進行中



2015年頃のサブミリ波VLBI(予定)

新しい観測局

ALMA(チリ)、LMT(メキシコ)、GLT(グリーンランド)



ALMA VLBI : 2015年ごろに実現を予定
ブラックホール撮像が現実的に！

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への道



ALMA OSF (Operation Support Facilities)



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 OSF



ベースキャンプの全景(手前のコンテナハウスで生活)

ALMA OSF



アンテナのパネル調整をしているところ

ALMA OSF



コントロールルーム（ここから標高5000mにある望遠鏡を運用）

ALMA OSF



トランスポーターに乗ったアンテナ（この車で山頂までアンテナを運ぶ）

ALMAへの道



ALMAへの道



ALMAへの道

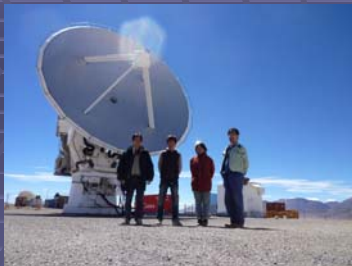


ALMAの現状

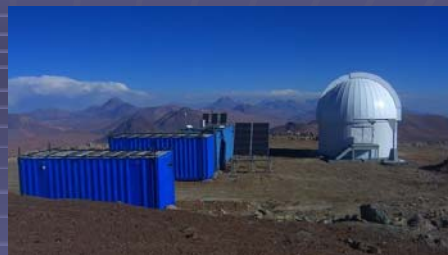


サイト（標高5200m、現在~50台のアンテナが設置され試験観測中）

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）