

大阪府大 1.85m 電波望遠鏡(*1)、スパート 10m 電波望遠鏡(*2)
による日本初の 230GHz 電波干渉計 実験観測に成功

— ブラックホール観測に向け、一歩前進 —

【 概 要 】

ブラックホール（*3）は、光さえも捕らえて離さない、超重力の天体としてよく知られておりいくつかの手段によってその存在が間接的に確認されてきた。しかしながら、ブラックホールの存在を直接確認する事は未だに成功しておらず、重要な研究分野の一つとなっている。

ブラックホールの存在を明確に証明するには、電波干渉計（VLBI，*4）によってブラックホールが存在する事を確かめる手法が有力である。VLBI では扱う電波信号の周波数に比例して角度分解能（*5）が向上し、ブラックホールの検出のためには 230GHz 以上が必要になると計算されている。ところが、国内での VLBI 観測の実績は 86GHz 程度までと低く、世界水準と比べて遅れをとっていた。

大阪府立大学 宇宙物理学研究室では、国立天文台の協力のもとで230GHz帯電波望遠鏡－OPU 1.85m および SPART 望遠鏡を開発・運用しており(図 1)、この度これらを基地局とした国内初となる 230GHz 帯 VLBI 観測実験を成功させた。本実験は大阪府立大学、山口大学、国立天文台 (NAOJ)、宇宙科学研究所 (ISAS)、情報通信研究機構 (NICT)、茨城大学、京都大学との共同研究である。全日本規模の VLBI 天文学の力を結集したことによる本成果は、国内の VLBI 技術水準を急激に引き上げ、ブラックホール検出という世界的な研究分野に対して日本が大きく貢献できるようになるきっかけとなった。

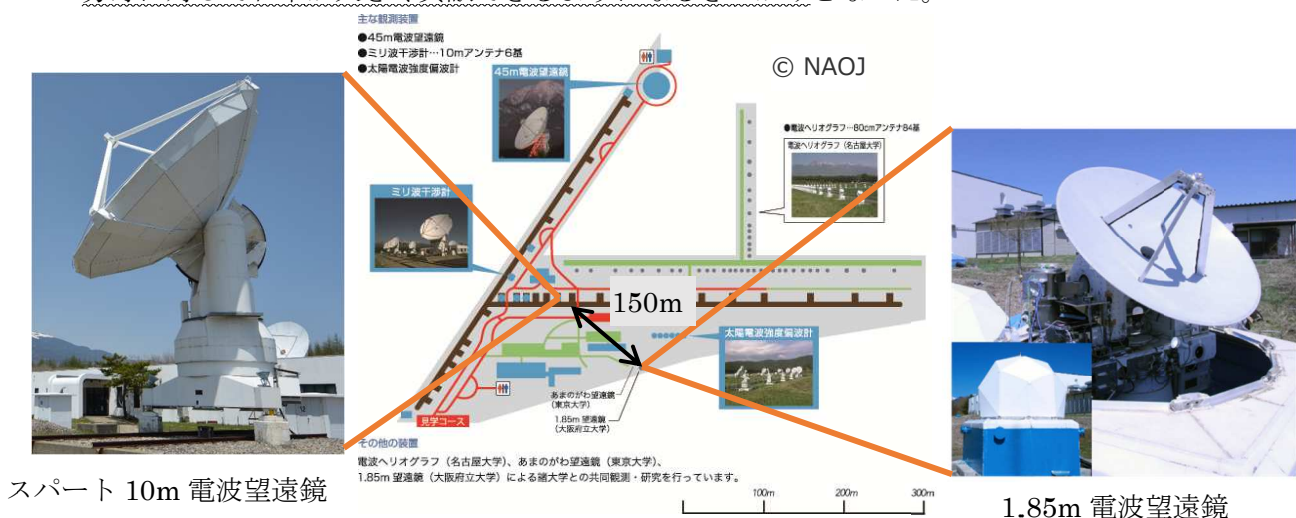


図 1 : 国立天文台野辺山観測所における VLBI 観測

野辺山宇宙電波観測所の一角に 1.85m 望遠鏡・SPART 望遠鏡が約 150m の距離で設置されており、それぞれの観測結果を上手く足し合わせる（干渉させる）ことで、極めて高い角度分解能を得る。

【 研究分担内容 】

大阪府大 宇宙物理学研究室が長野県南牧村 国立天文台 野辺山宇宙電波観測所にて開発・運用している OPU-1.85m , SPART 電波望遠鏡は、230GHz 帯での天文観測を国内で行うことが出来る唯二つの望遠鏡である。これらは共に超伝導を利用した超高感度・極低ノイズの電波検出器を搭載しており(図 2)、230GHz 帯という従来の 3 倍近くも高い周波数での VLBI 観測が可能となった。

本共同研究は、山口大学他いくつかの研究機関の協力のもとで、OPU-1.85m , SPART の 2 台の電波望遠鏡を用い、NICT , ISAS が開発した 230GHz 帯 VLBI に必要となる超高速記録 装置・相関処理ソフトウェア技術を、各機関の研究者・技術者がそれぞれの望遠鏡に導入し結果を解析するという全日本規模での共同実験を行ったものである。実験当日においては、我々は 2 台の望遠鏡の受信機状態の調整・各機器の導入・天体追尾プログラムの更新などを担当した。

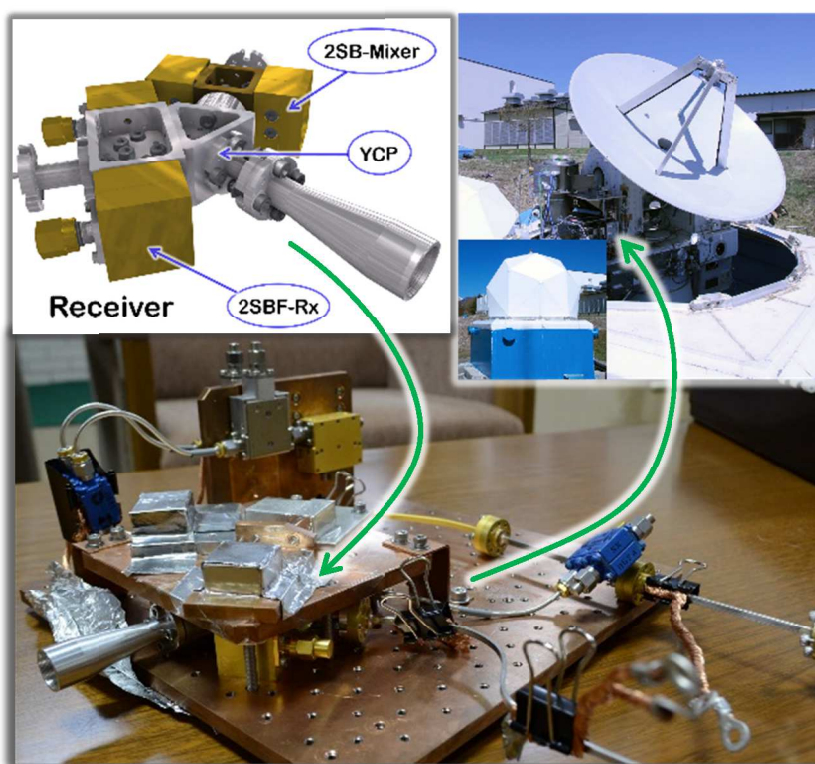


図 2 : 1.85m 望遠鏡の最新鋭超伝導受信機

1.85m 望遠鏡には、我々の研究室で開発した世界最高レベルの性能を誇る両円偏波分離器、導波管型周波数分離フィルタ、高方向性結合器、超伝導周波数混合器（SIS-Mixer）を搭載している。

これらのコンポーネントは、230GHz 帯 VLBI での 利用を念頭に置いた設計がなされており、台湾中央科学院がグリーンランドに建設中の VLBI 用望遠鏡“GLT”への搭載が決定している。

【用語解説】

*1 *2 別紙参照

*3 ブラックホール

ブラックホール（またはコラプサー）とは、極めて高密度・高質量のため光さえも脱出することができないたいへん強い重力を持った天体である。ほとんどすべての銀河の中心には、巨大なブラックホールがあるといわれており、銀河・恒星及び惑星の形成に対して重要な役割を果たしていると考えられている。また、ブラックホール付近では事象の地平線・重力の特異点といった、通常の物理法則が通用しないような現象が予言されている。

*4 VLBI（Very – Long Baseline Interferometer，超長距離基線干渉計）

電波望遠鏡を用いた電波信号の観測手法としては、一つの望遠鏡で観測が完結する単一望遠鏡観測と、複数望遠鏡の観測結果を足し合わせる（この操作を干渉という）電波干渉計という2種類の手法がある。電波干渉計のうち特に観測機器を直接接続せず、離れた場所で原子時計・GPSを用いた極めて正確な時刻合わせを行った上で干渉計を構築することをVLBIという。

VLBIの角度分解能は、構成する望遠鏡間の最長距離（最長基線という）、および観測周波数に比例して高くなり、例えば最長基線1000km、230GHzの場合ではおよそ300マイクロ秒角 – 1千万分の1度を分解することが出来る。一方で感度（どれだけ弱い信号を検出できるか）については、2台でのVLBIでは極めて低いが、構成する望遠鏡が多くなるほど高くなっていく。ブラックホールを検出するためには、多くの望遠鏡の協力が必要になる。

*5 角度分解能

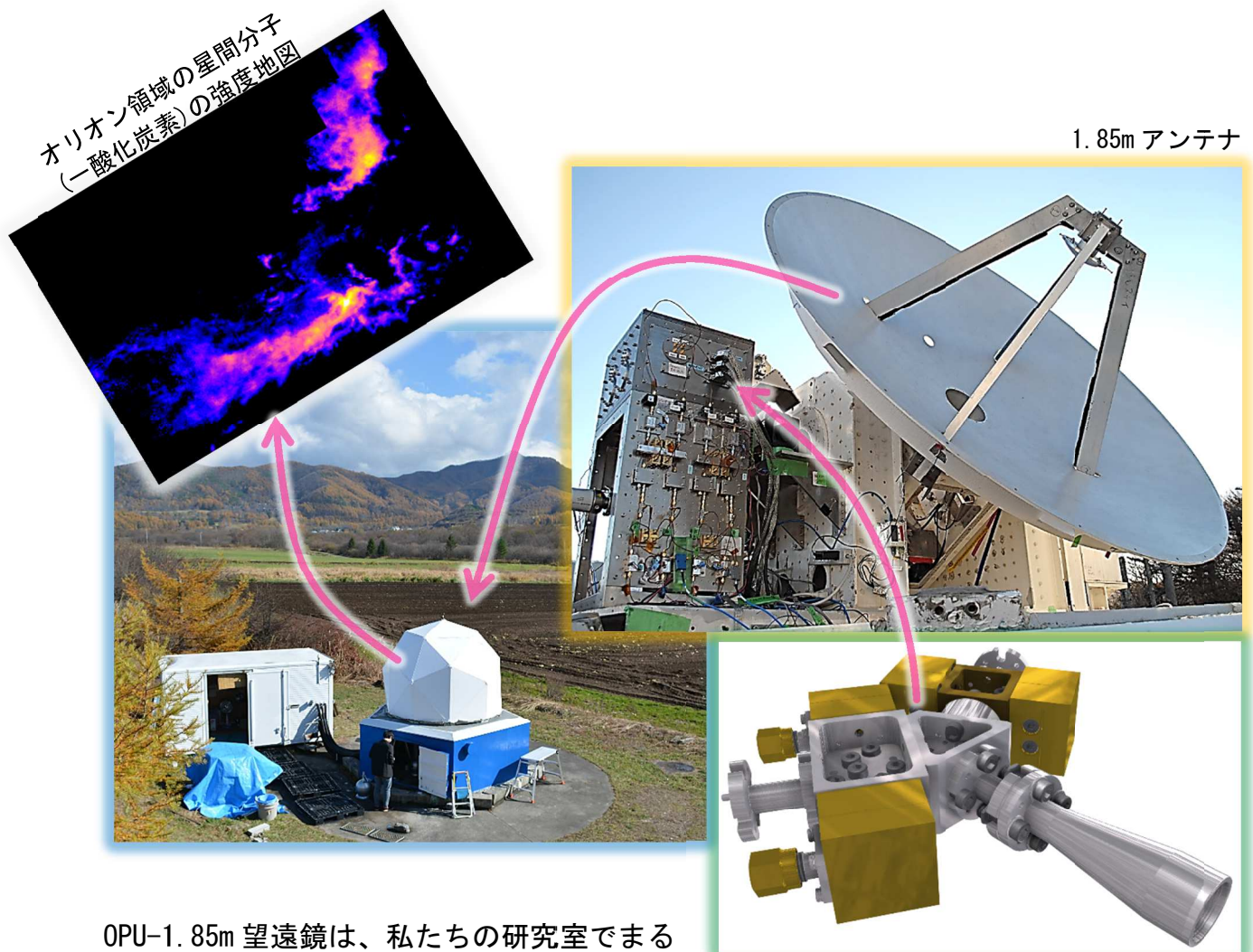
ある観測装置が、対象をどれだけ細かく識別することが出来るかをあらわす指標である。人間の目の「視力」も角度分解能で定義されており、視力1.0は1分角 = 1/60度を識別できる状態である。VLBIの場合、観測波長と基線長(望遠鏡間の距離)の比となるため極めて高い角度分解能となる。

<参考>

*1 大阪府大 (OPU) 1.85m 電波望遠鏡

この望遠鏡は、大阪府立大学所属ですが、国立天文台野辺山宇宙電波観測所内に設置されています。通常は、以下にあるように星間分子輝線を観測していますが、今回はスパート望遠鏡との VLBI 実験を行いました。この実験は、世界最小アンテナを使用した天文 VLBI 観測となりました。

OPU-1.85m 星間分子雲サーベイ電波望遠鏡



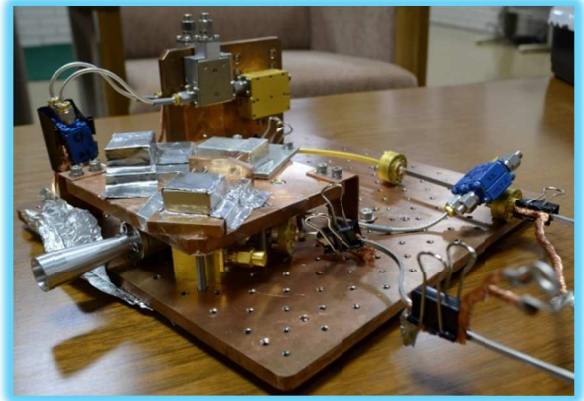
OPU-1.85m 望遠鏡は、私たちの研究室でまるごと全部を開発した、手づくりの小口径電波望遠鏡です。

「手づくり」とはとっても、望遠鏡としての能力は世界最高レベルで、しかも毎年更新され続けています。

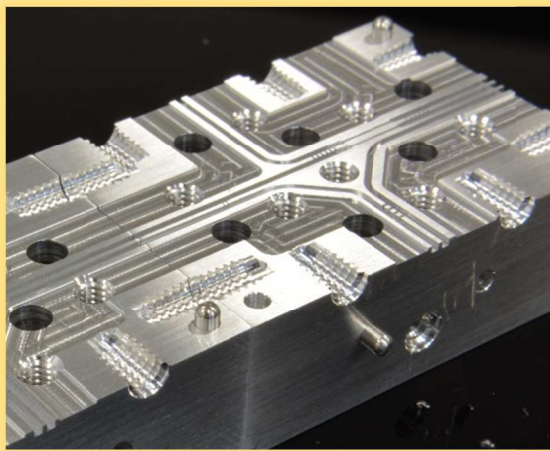
これらの特性を活かして、本望遠鏡では宇宙空間にただようガスや塵の雲を科学観測し、そこから星々がどのようにして生まれるのか？などといった宇宙物理学的研究に利用しています。

右図は、OPU-1.85mの心臓部、超伝導冷却受信機の写真です。宇宙からの電波信号はたいへん弱いため、僅かな雑音も大きな問題となります。

この受信機は、 -269°C という極低温まで冷却して、「超伝導」という電気抵抗が0となる特殊な物理状態にすることで、超低雑音を実現しています。



OPU-1.85m 電波望遠鏡搭載超伝導受信機



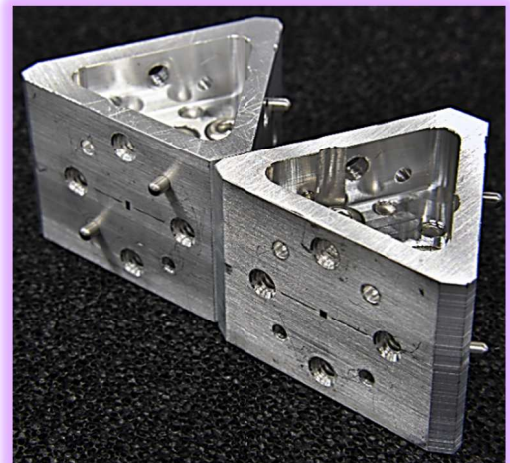
周波数フィルター

OPU-1.85mの受信機には最新の技術が世界に先駆けて搭載されており、それらの実用試験をしています。

左図は、私たちが独自に開発した、観測に必要な周波数だけを正確に分離してくれる周波数フィルターです。

右図は、円偏波ポーライザーという電波信号の振動方向の「偏り」を検出することが出来る装置です。

この装置は、VLBI観測をはじめとした各種観測にとって必須となるたいへん重要なものですが、100GHzを超える高い周波数帯でこれを実用化できたのは、私たちが世界で初めてです。



円偏波ポーライザー

また、本研究室で開発した優れた電波受信機器は、国立天文台45m電波望遠鏡、名古屋大学NANTEN2、台湾グリーンランド望遠鏡(GLT)をはじめとした世界各地の望遠鏡でも採用されています。

*2 スパート(SPART)電波望遠鏡の紹介

この望遠鏡は国立天文台所属ですが、現在大阪府大が運用しております。通常は、火星や金星等の惑星を観測しています。今回は、1.85m 鏡との VLBI 観測に使用しました。

太陽系地球型惑星大気監視望遠鏡 SPART (Solar Planetary Atmosphere Research Telescope)

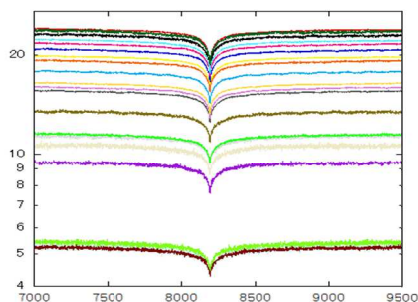
世界初の太陽系地球型惑星の観測専用の電波望遠鏡

中心星が地球型惑星の大気環境に与える影響や、その大気の進化・形成過程、化学反応素過程、物理状態/ダイナミクスの謎に迫る。

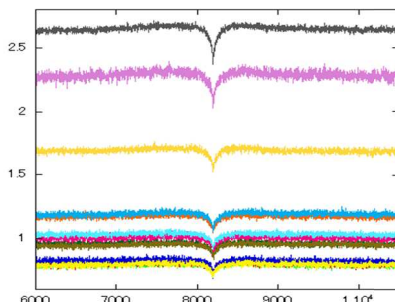


- ・国立天文台野辺山宇宙電波観測所(標高 1350 m)にある口径 10m の電波望遠鏡。
- ・100/200 GHz 帯の超高感度ヘテロダイン超伝導検出器やデジタルフーリエ分光計を搭載。
- ・大阪府立大学の大学院生が運用し、常時、大阪から遠隔リモートにより観測。

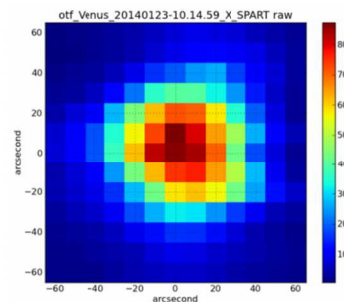
太陽系の地球型惑星(金星、火星)の大気中に含まれる微量分子を SPART でモニタリングしている様子。左は金星、中央は火星の:一酸化炭素(CO)のスペクトル線。右は金星の一酸化炭素の分布を示した2次元画像。これらのスペクトルを解析することで、例えば、磁場で守られておらず、太陽の活動/イベントに直接暴露されている惑星の大気がどのような性質を有しているのか調べることができる。



金星の CO の吸収スペクトル



火星の CO の吸収スペクトル



金星の CO 強度図