

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03938

研究課題名(和文)成層圏気球VLBIのフライト実証試験II

研究課題名(英文)VLBI experiment in a stratosphere balloon II

研究代表者

河野 裕介 (Yusuke, Kono)

国立天文台・水沢VLBI観測所・助教

研究者番号：00370106

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：成層圏に電波望遠鏡を気球で打ち上げ世界初の成層圏電波干渉計を実現する。このミッションは大気の影響を受けない新たな天文学研究のサイトを切り拓き、ブラックホールシャドウの直接撮像研究のための将来のサブミリ波/テラヘルツ帯干渉計を見据える。本研究は電波干渉計に必要な技術課題の中でフライト実証が必要な技術課題を克服するために世界で初めての成層圏気球VLBI観測を行う。本研究において国内の放球場で3度のフライトに挑戦したが、3回とも気象条件等のためフライトがかなわなかった。しかしながらこの間地上試験を実施し、技術検証は進んだ。ゴンドラは放球場で待機状態であり、今後のフライトに備えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はブラックホール等の直接撮像を見据えた高分解能電波干渉計のフィールドとしての成層圏を切り拓く学術的意義があった。技術課題をフライト実証することを主とする研究は気象条件等により本期間中には実現できていないため、当初の主となる意義は果たされていないと考えている。しかし本研究は継続しており今後果たされると予想する。システム開発を通じて電波天文学のエンジニアリング教育効果的な意義がある。また施設公開日などでの市民との対話を行い科学のすそ野を広げる社会的貢献を行った。

研究成果の概要(英文)：This study is to realize a first radio interferometry on a balloon in the stratosphere. A novel observation field without the atmospheric absorption and fluctuation will be developed for direct imaging by radio interferometric studies at submm/Tera hertz. We are going to launch a radio telescope on a gondola that was hanged by a balloon as a technological feasibility study. During this study term, we had three flight operation opportunities. However every flights were cancelled because of the weather conditions and so on. Ground based tests had been performed to verify the telescope on the gondola. The result was published. our study is still valuable. Our telescope is expected to be launched in the near future.

研究分野：電波天文学

キーワード：電波干渉計 VLBI 気球

1. 研究開始当初の背景

銀河中心の超巨大ブラックホール(以下 BH)はこれまで間接的な方法で示唆されてきたが、直接撮像という本当の意味での観測的実証はまだ果たされていない。BH が本当に存在すれば、BH へ落ち込む物質(降着円盤)の放射を背景光として「黒い穴」として見えると期待される(図 1)。「黒い穴」の直接検出は、現代物理学における重要課題であり、観測天文学が果たすべき大目標の一つである。最有力候補天体 SgrA* と M87 では、全天で最大の視直径(いずれも約 50 μ 秒角)の「黒い穴」が期待される。

現在これらを空間分解できる可能性がある唯一の観測手法は、長基線電波干渉計 VLBI である。現在波長 1.3mm (230GHz) での挑戦が、研究代表者を含む国際チームにより進行中で、空間分解能 60 μ 秒角のフリッジ検出に成功している [Doeleman et al. 2012, Science 誌]。しかし撮像には成功していない。なぜなら撮像に必要な条件 (1) 標高 5000m 以上、(2) 波長 1mm 以下 (>300 GHz)、(3) 最長基線長 5000km 以上、(4) 感度のそれぞれについて、僅かに満たしていないからであり、今後もこれらをすべて地上で満たすことはほぼ不可能であると考えられる。その点人工衛星を用いたスペース VLBI または気球を用いた成層圏 VLBI は魅力的な Solution である。成層圏はテラヘルツ帯にわたってほぼ大気フリーのスペースと同等の理想的な観測条件であるだけでなく、コスト上の利点もある。大型気球ミッションの総コストは 5 億程度であり、JAXA/ISAS 大気球実験室が開発中のスーパープレッシャー気球によって 10-100 日のフライトが可能となれば、1 観測あたりのコストも数年の運用で数 100 億円ものコストを必要とする衛星ミッションを追い抜き得る。気球ミッションの短い時間サイクルを活かした、機動的なサイエンスの展開と技術的経験のフィードバックも、将来の大型衛星計画熟成の場として魅力的である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、将来の BH の直接撮像を見据えたミッション展開の中の第一段階としての技術フェージビリティの研究である。

研究代表者らはサイエンスを実現するための望遠鏡の仕様を設計した。次にこれまでの気球ミッションでの知見を踏まえてそれらの技術課題を抽出した。それらの課題には、地上実証で十分なものと、フライトでの実証試験が必要なものがあることがわかった(表 1)。そこでサイエンスを目的としたサブミリ波帯望遠鏡に先立ち、まずマイクロ波帯での技術実証ミッションを行うことにした。本研究はその技術実証ミッションのフライトを実現することを目的とする。

表 1 成層圏気球 VLBI ミッションの技術課題と対策

課題	解決方法	フライト試験で検証すべき課題
ポインティング	姿勢決定系：高精度ジャイロ、スタートラッカの搭載	振り子の詳細な振動モードの実測、スタートラッカの背景光分析
局位置揺らぎ	高精度姿勢決定装置の搭載、加速度計の搭載	振り子の詳細な振動モードの実測
周波数標準	高安定水晶周波数標準の搭載	振り子の詳細な加速度変動モードの実測
広帯域記録装置搭載化	能動的温度制御系を組み込んだ気密容器の搭載	上空での放射を含めた熱設計の確認
主鏡の搭載化	軽量鏡、SIS 受信機の搭載	(地上試験、既ミッションの成果の活用で検証可能)

3. 研究の方法

本研究は、フライトでしかなしえない技術実証を行うために VLBI 観測フライトを行う。すでにゴンドラと電波望遠鏡システムをもつフライトモデルが完成している。2014 年度にはプロトタイプモデル搭載機器を用いて、地上の VLBI 観測局との間で世界初の地上吊り下げ VLBI 観測に成功している。

フライトは、JAXA 大樹宇宙実験場を用いる。本実験場は夏期にフライトシーズンを設けている。またフライトは、早朝の時間のみとなり、この期間のこの時間帯において、気球 VLBI 観測フライトのための気象条件が整った時に打ち上げられることになる。ゴンドラは、大樹実験場の通信設備を通じて制御されるが、この回線は非常に細い回線であることから、ほぼすべてのコンポーネントは、フライト中に自律的に運用される。VLBI 観測データは、デジタルデータを搭載されたストレージメディアに保存され、リアルタイムでの相関処理は実施しない。ゴンドラは 1

時間強のレベルフライト運用ののち、パラシュートによって実験場の近くの海上に帰還する。クレーン船によって回収されたゴンドラからデータを抽出し、地上 VLBI 局のデータと相関処理が行われフリンジの解析が行われる。

地上 VLBI 局は、国立天文台水沢 10m アンテナ、茨城大学高萩 32m アンテナ、JAXA 臼田宇宙空間観測所 10m アンテナとした。大樹実験場にも 1.5m アンテナを持ち込み一時的な地上局とした。これらの局には、ゴンドラ搭載と同様の観測装置が設置されている。またフライト前の試験観測のための機能も持ち、準リアルタイムの VLBI フリンジチェック観測も可能である。

観測対象は、ThaiCom/IPSTAR もしくは Inmarsat という静止衛星で 1.9GHz 帯でのデータ伝送用広帯域信号を受信する。人口天体を使うことによって、極めて高い SNR でフリンジが観測でき短時間積分データでのフリンジ位相の変動が高精度に観測できる。このことによって 19GHz 帯の試験観測にもかかわらず将来のサブミリ波でのフィージビリティ研究を可能にする。

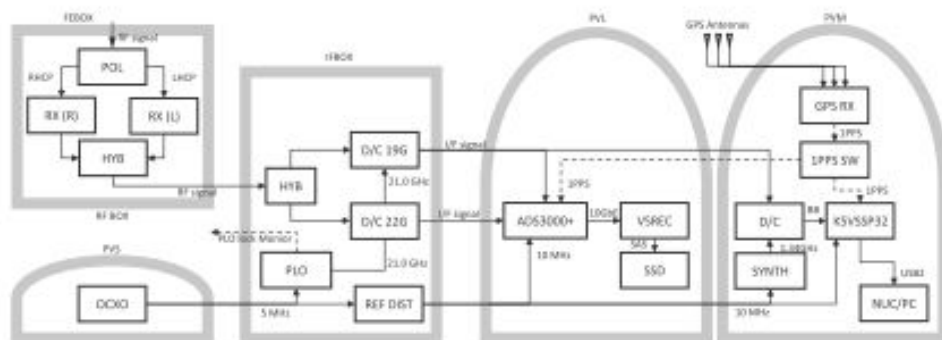


Figure 4: Block diagram of the observing systems for balloon-borne VLBI station. Abbreviations in the figure are as follows. POL: polarizer, RX: Receiver for low-noise amplifiers, HYB: hybrid coupler, D/C: downconverter, REF DIST: reference signal distributor, SYNTH: synthesizer, SW: switch, BB: base band signals.

図 1 システム図 (Doi, Kono et al, 2018, Figure4 より)

4 . 研究成果

概要

本研究は科研費基盤研究(C)「成層圏気球 VLBI のフライト実証試験」(研究代表者:河野裕介)の継続となる研究である。本先行研究でもフライト実証を目指し JAXA 大樹宇宙実験場からのフライトに 2016 年度から 2018 年度まで臨んだ。しかしながらこれらの放球機会にも関わらず、気象条件によっていずれも放球が実施されなかった。本研究はまだ人類が実現していない成層圏での電波干渉計の実現の第一段階であるフライト実証の部分を引き継ぐ。

年度ごとの成果

本科研費により 2019 年から 2021 年までの 3 年間にわたって毎年 JAXA に実験提案を行い、いずれも採択された。以下にそれぞれの年度のフライトオペレーションの概要を示す。

2019 年度

世界的なヘリウムの枯渇問題が発生し、JAXA は気球 VLBI ミッションを含め採択したほとんどの気球ミッションの放球を中止した。気球 VLBI チームは前年度よりゴンドラを実験場に保存しているため経年劣化を危惧し、システム試験のために大樹入りを行った。地上 VLBI とのフリンジ試験の結果無事



Figure 2: Photograph of the balloon-borne VLBI station during a hanging test in the assembly room in JAXA TARF. Sun shields and ballast boxes are not attached to the gondola at this time. The Taiki 1.5-m ground-based station is shown on the left.

図 2 概観図 (Doi, Kono et al, 2018, Figure2 より)

システムの健全性は確認でき、その後フライトレディの状態再度保管状態に移った。

2020 年度

新型コロナウイルスの蔓延により、通常5月上旬から開場される JAXA 大樹宇宙実験場が開場されたのが6月15日となった。またコロナウイルスにより国内の越県活動などの準備作業も制限され地上局の整備活動も困難で気球 VLBI チームの実験場入りも開場直前になった。立ち上げ作業の結果無事フライトレディになり、フライトレディネスレビュー審査を受けて通過した。その後フライトに適した気象条件を8月末まで待機したが、結局条件が整わず、実験場が閉じられ、フライトレディの状態再度保管状態に移った。

2021 年度

新型コロナウイルスの蔓延が続いていたが通年通り5月上旬から JAXA 大樹宇宙実験場は開場された。気球 VLBI チームの立ち上げ作業もパンデミック中にも関わらず順調に進められた。2021年度はフライト要求時間の削減を行い気象条件の緩和を図った。フライト時間は前年度まで60分だったが自動運用ソフトウェアを導入し、フライト要求時間を50分まで短縮した。順調な作業の結果前年までと同様にフライトレディネスレビュー審査を受けて通過した。その後フライトに適した気象条件を8月末まで待機したが、結局条件が整わず、実験場が閉じられ、フライトレディの状態再度保管状態に移った。

本科研費は、これらのフライトに関する経費に用いられた。残念ながら、気象条件と世界的なヘリウム枯渇問題により、フライトがかなわず、フライトによってフライトでしかなしえない技術実証を行うことを目的とした本研究は期間内には実施できなかった。

本期間中には完成したゴンドラのシステム検討やサイエンスメリット検討をまとめ学術論文に発表している (Doi, Kono et al, 2018)。

また本研究の意義は依然としてあり今後にもフライトに向かう予定である。本研究はこれらのフライトや将来の気球 VLBI ミッションに貴重な知見を得たと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------