

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05305

研究課題名(和文)成層圏気球VLBIのフライト実証試験

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

研究代表者

河野 裕介 (Kono, Yusuke)

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) 3,600,000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を目指す将来のサブミリ波/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回とも気象条件のためフライトはかなわなかった。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。またシステム等を記述した学術論文はこれまで全くなかった成層圏での電波干渉計の可能性を示す学術的意義がある。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 interferometry 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. 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：VLBI 電波干渉計 気球

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

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は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か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ッ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、 Gondola 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 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ェージビリティ研究を可能にする。

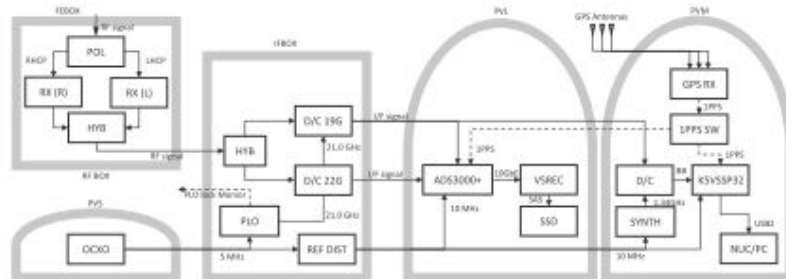


Figure 4: Block diagram of the observing systems for balloon-borne VLBI station. Abbreviations in the figure are as follows. POL: polarizer, RX: Receiver for low-noise amplifiers, HYB: hybrid coupler, D/C: downconverter, REF DIST: reference signal distributor, SYNTH: synthesizer, SW: switch, BB: base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

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

4 . 研究成果

概要

研究計画に沿って研究者チームは JAXA 大樹宇宙実験場からのフライトに臨んだ。しかしながら、これらの 4 回の放球機会にも関わらず、気象条件や、ヘリウム供給問題などによっていずれも放球は実施されなかった。

年度ごとの成果

2016 年から 2019 年までの 4 年間毎年 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。

2016 年度

7 月中旬に実験場入りし、8 月上旬まで放球場での組み立て、実験場での感度試験、かみ合わせ試験を実施した。しかしながら気象がフライトに適した条件にならずフライトシーズンの終了を迎えた。Gondola は JAXA 相模原キャンパスに持ち帰って Gondola の改修を行った。

2017 年度

7 月上旬に実験場入りし、組み立てや試験などを経て、7/24 早朝に気象条件が適する予測が出たため放球オペレーションに入った。Gondola は放球台に乗せられ、気球にはヘリウムが注入され放球タイミングを待った。しかしながら急に地上の天候が悪化し、フライトはキャンセルとなった。気球は破壊され、2017 年度のフライトは実施できなくなった。Gondola は JAXA 相模原キャンパスに持ち帰って Gondola の改修を行った。

2018 年度

5月上旬に実験場入りしかみ合わせ試験などを経て待機状態となった。しかしながら長期にわたって気象条件が良くならないことが予測されたため一旦放球チームは解散した。その後8月上旬まで気象条件は好転せず、再度大樹に戻りゴンドラを大樹実験場に保存する処置を行った。

2019 年度

世界的なヘリウムの枯渇問題が発生し、気球 VLBI ミッションを含めた採択されたほとんどの気球ミッションが放球されなかった。昨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、試験のためだけ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に再度保管状態に移った。

まとめ

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 2020 年度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。



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)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Doi Akihiro, Kono Yusuke, Kimura Kimihiro, et al.	4. 巻 63
2. 論文標題 A balloon-borne very long baseline interferometry experiment in the stratosphere: Systems design and developments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 779 ~ 793
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.asr.2018.09.020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 河野裕介
2. 発表標題 気球 VLBI 地上振り子試験
3. 学会等名 天文学会春季大会
4. 発表年 2018年

〔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
---------------------------	-----------------------	----