

# 広帯域受信機の発展的利用のための調査・研究

実施期間	令和2年度～令和6年度
測地部宇宙測地課	古居 晴菜 堀 草子 松本 紗歩 橋本 果歩 石井 寿樹 石垣 真史 本田 昌樹 栗原 忍

## 1. はじめに

国際 VLBI 事業 (IVS) は、S/X 帯 (2 GHz 帯及び 8 GHz 帯) の信号を取得する従来の観測から広帯域の信号を取得する全球 VLBI 観測システム (VGOS : VLBI Global Observing System) (Petrachenko *et al.*, 2009) による観測 (以下「VGOS 観測」という.) への移行を推進している。VGOS 観測における観測帯域や信号の取得幅、信号取得時の各帯域の分割数 (チャンネル数) 等の詳細な設定はまだ定まっておらず、IVS は将来的に 2-14 GHz の周波数帯を四つの帯域に分割したそれぞれ帯域において 1 GHz 幅で信号を取得することを目指している。この目標に向けて IVS は 2024 年度には複数回の試験観測を実施し、国土地理院の石岡 VLBI 観測施設 (以下「石岡局」という.) もこれの幾つかに参加をした。また石岡局は観測機器の配線変更やソフトウェアのアップデート等の作業を実施し、VGOS 観測における仕様変更に対応できる基盤を整えた。本稿では、参加した試験観測の詳細と前述した作業により石岡局が対応可能になった観測の仕様の紹介及び今後の課題について報告する。

## 2. VGOS 観測における周波数帯

IVS は、測地学に対する社会・科学の要請に応えるべく 2009 年に VGOS の仕様を定め (Petrachenko *et al.*, 2009)、位置・速度の決定精度 1 mm、0.1 mm/yr、EOP 算出のための常時連続観測、観測終了後 24 時間以内の解の算出の三つを達成することを目標として掲げている。

VGOS 観測では、2-14 GHz の広帯域の周波数を受信し、四つ以上の帯域に分割した上で帯域ごとに更に幾つかのチャンネルに分割してサンプリングを行う。2024 年度時点では、一つの帯域につき 512 MHz 幅で取得をし、1024-1536 MHz までダウンコンバートした後に各帯域をそれぞれ 8 チャンネルに分割し各 32 MHz 幅でサンプリングを実施している。IVS は将来的には更なる観測精度の向上を目的として各帯域を 1 GHz 幅で取得することを目指しており、また、取得帯域幅の増加に伴いチャンネル数若しくは各チャンネルにおけるサンプリング幅、又はその両方を拡張する必要があるのではないかという議論もなされている (図-1)。加えて、現在取得している四つの帯域 (バンド A : 3 GHz 帯、バンド B : 5 GHz 帯、C バンド : 6 GHz 帯、D バンド : 10 GHz 帯) を再検討する動きもある。このように、VGOS 観測は目標とする精度を達成するために必要な観測の設定については定まっておらず、議論と試験観測を繰り返しつつ定常観測へ反映をしていく運用がなされている。

以下では、2.1 節において 1 GHz 幅で信号を取得する試験観測について、2.2 節では四つの帯域の周波数を再検討するための試験観測について、2.3 節では各機器における設定のアップデートについてそれぞれ詳細に記載する。

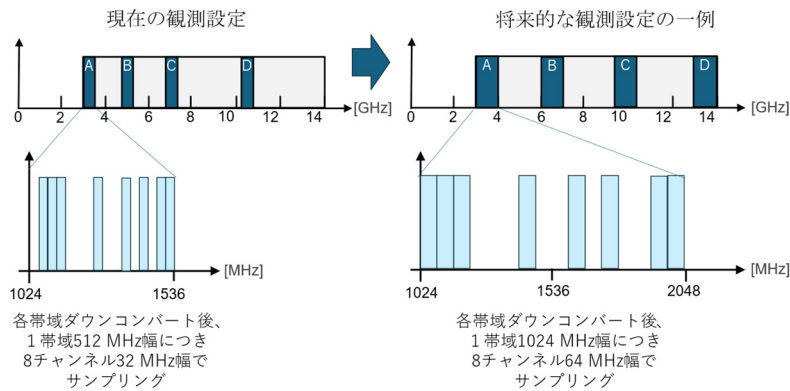


図-1 VGOS 観測における周波数設定の概要図

### 2.1 1 GHz 幅で信号を取得する試験観測

IVS では 2023 年度末から引き続き、1 GHz 幅サンプリングに関する試験観測を、VGOS 観測のうちの Research and Development セッションで実施した。しかし、当該セッションは主に欧米の一部の地域の観測局に限定して実施され、日本を含むアジア・オセアニア地域の観測局は参加できなかった。そのため石岡局は、1 GHz 幅サンプリングを実施する場合の機器の設定を確認することと、その観測の相関解析が可能であることを確認することを目的とした 1 時間の試験観測を、オーストラリアの Hobert 局及び Katherine 局と協力して 2024 年 9 月 12 日に実施した。

観測時の設定は Research and Development セッションで採用されていたものをそのまま使った。スケジュールソフトは、従来の NASA 作成の「sched」ではなく、ウィーン工科大学作成の「VieSched++」を新たに導入した。このソフトには、「sched」より直感的な操作が可能でかつ解析結果のシミュレーションを通じて複数のスケジュールから最適なものを選べるという利点がある。観測スケジュールは、国土地理院が作成してオーストラリア側に配布した。観測後の相関解析は国土地理院とオーストラリアの解析担当が並行して実施し、両者ともにFRINGEを検出した(図-2)。これにより、石岡局、Hobert 局及び Katherine 局で 1 GHz 幅で信号を取得して観測できることが確認された。

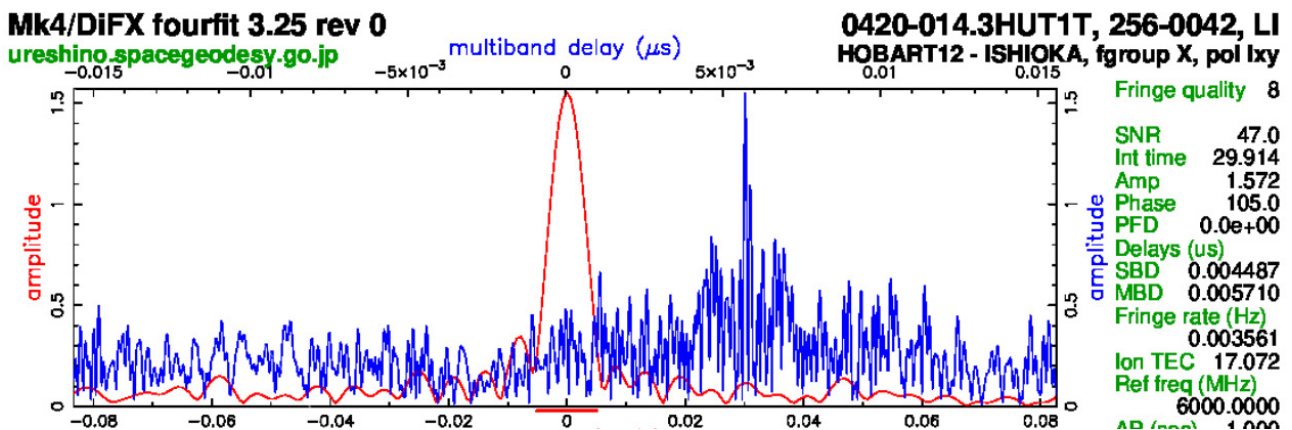


図-2 試験観測において石岡局—Hobart 局基線で検出されたFRINGE

## 2.2 四つの帯域の周波数を再検討するための試験観測

IVS 内の地域グループの一つでありヨーロッパ諸国の機関が参加をしている EU-VGOS では、研究分野の一つとして継続的に観測周波数について検討を重ねており、2024 年度には 11 月と 2 月の 2 回試験観測期間が設けられた。1 回の試験観測期間は 5 日間であり、毎日同じ時刻から 6 時間のセッションが開始されるというものである。1 回目（2024 年 11 月 25 日-29 日）と 2 回目（2025 年 2 月 3 日-7 日）の試験観測期間における周波数設定は同じであり、1 日目は現行の VGOS 観測と同様の設定で、2 日目から 5 日目までは各日異なる周波数設定でそれぞれ観測を行った（図-3）。本試験観測は EU-VGOS が主導しているが、石岡局やオーストラリア、アメリカなど一部の観測局へも参加の打診があり、石岡局は 2 回目の試験観測期間に参加した。本試験観測の結果は、特に、5 日目の試験観測は、3-14 GHz の広帯域を各帯域について 1 GHz 幅で取得するものであり、VGOS 観測において IVS が次のステップとして意識している設定でもあるため、今後の定常的な VGOS 観測における周波数設定にも大きく影響すると考えられる。今後共有される解析結果を注視しつつ、石岡局における観測に支障が出ない周波数設定が採用されるように適宜意見を出す必要がある。

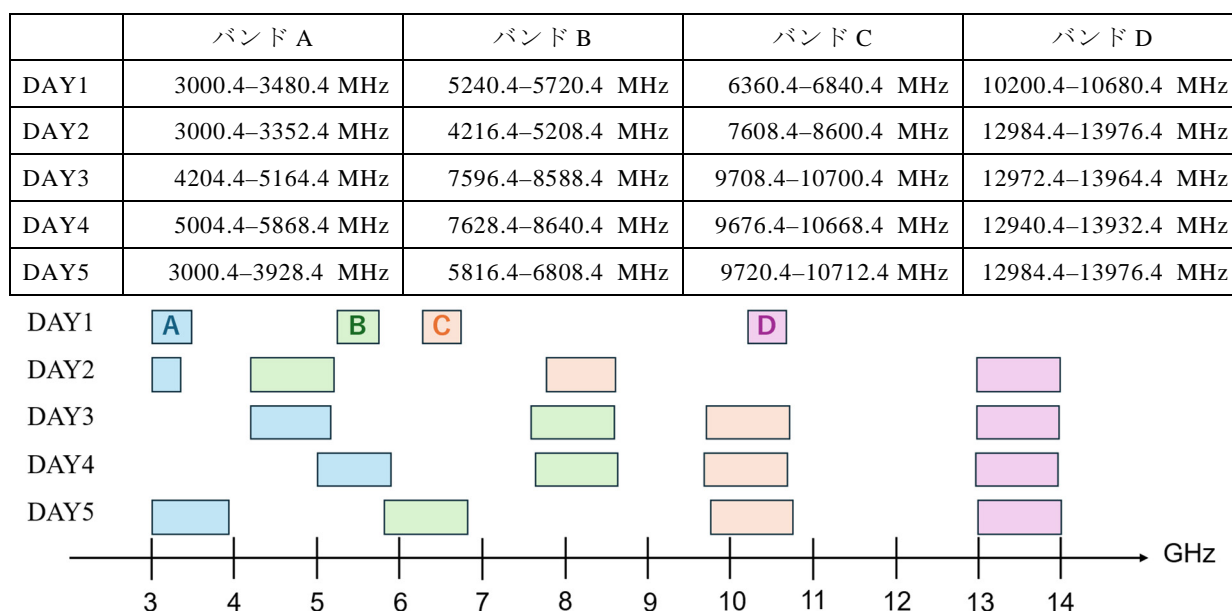


図-3 試験観測における各日の周波数設定とその分布図

## 2.3 各機器における設定のアップデート

前節までで紹介した試験観測はいずれも、各帯域を記録する際には 8 チャンネルに分割し各チャンネル 32 MHz 幅でのサンプリングを実施している。各帯域を 1 GHz 幅で取得した上でチャンネル数やサンプリング幅が変わらない場合、各帯域におけるサンプル対象となる周波数密度は半分となる。今後 VGOS 観測で掲げる目標精度を達成しようとする場合、今後はこの周波数密度を向上させることを目指すことが予想される。そこで石岡局では、石岡局で導入しているサンプラである DBBC3 の既存の機能を活用する形でチャンネル数やサンプリング幅を倍にしての観測が実施可能なように設定のアップデートと記録サーバ側の設定変更の実施した。その後、試験観測の前段階として石岡局のみでの記録試験を実施し、問題なくデータが記録されることを確認した。

これにより、石岡局では 16 チャンネルの分割及び 64 MHz 幅でのサンプリングが実施可能となり、実質的に 1 GHz 幅の帯域全てをサンプリングすることが可能な体制が整った。

### 3. 今後の課題

16チャンネルの分割及び64 MHz幅でのサンプリングの観測を実際に他局と実施する場合、記録するデータ量は現状の4倍となるため、サーバの容量や相関局への転送にかかる時間、そして相関局において相関解析にかかる時間などを考慮すると実装にはまだ課題があり、これらの課題を克服するためには、幾つかの試験観測を実施する必要がある。これに対して、今後現状とは異なるチャンネル数やサンプリング幅での試験観測の提案があった場合、石岡局は即座に参加できる状態となった。来年度以降、Hobert局などの他局と協力して小規模な試験観測を石岡局が主導することも考えたい。

### 4. 2025年の観測予定

2023年にDBBC3及び記録サーバであるFlexBuffの運用が開始されたことに加えてMixed-modeによる相関処理の導入により2023年11月から広帯域受信機のままでS/X観測に参加できるようになり、石岡局の観測頻度は増加の傾向にある。さらに、2025年は上記でも紹介した試験観測や、従来から週末に実施しているVGOS観測の1時間セッションであるB観測及びC観測に加えて、新たに実験的なセッションであるD観測も実施が予定されており、観測回数は2025年1月時点で合計377回計画されている(表-1)。

表-1 2025年の観測予定

	S/X 観測	VGOS 観測	試験観測	
1時間	18回	266回	2回	286回
6時間	-	-	5回	5回
24時間	56回	30回	-	86回
合計	74回	296回	7回	377回

### 5. まとめ

石岡局ではVGOS観測における周波数設定について試験観測の実施と機器類の設定のアップデートを実施した。これにより、将来的に実施が予想される観測の仕様にも柔軟に対応が可能な体制が整えられた。2025年には377回の観測が見込まれている。今後も1 GHz幅で信号を取得する試験観測に参加することに加え、相関処理後の解析データの分析も実施することを目指す。

### 参考文献

Petrachenko, B., A. Niell, D. Behrend, B. Corey, J. Bohm, P. Charlot, A. Collioud, J. Gipson, R. Haas, T. Hobiger, Y. Koyama, D. MacMillan, Z. Malkin, T. Nilsson, A. Pany, G. Tuccari, A. Whitney and J. Wresnik (2009) : Design Aspects of the VLBI2010 System: Progress Report of the IVS VLBI2010 Committee. NASA/TM-2009-214180, p.25.