広帯域受信機の発展的利用のための調査・研究（第 2 年次）

実施期間	令和 2 年度～令和 3 年度
測地部宇宙測地課	中久喜　智一　林　京之介
	上芝　晴香　髙木　悠
	湯通堂　亨　森　克浩
	佐藤　雄大
地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室	松本　紗歩

1. はじめに

国土地理院の石岡 VLBI 観測施設（以下「石岡局」という.）では，国際 VLBI 事業（以下「IVS」という.）が定めた年間スケジュールに基づき，従来の S/X 帯（2 GHz 帯及び 8 GHz 帯）の観測（以下「S/X 観測」という.）及び全球 VLBI 観測システム（以下「VGOS」という.）（Petrachenko et al., 2009）による観測（以下「VGOS 観測」という.）に参加している．現在，VGOS 観測では，週に 1 度実施される観測局の位置や観測局間の基線長等を求めるための 24 時間観測及び，地球姿勢パラメータの即時解算出を目的とした 1 時間観測が実施されている．現在の VGOS 観測は，2～14 GHz の範囲のうち 512 MHz の帯域幅で 4 つの周波数帯域を使用しており， S/X 観測よりも広い帯域幅で観測している（図-1）．さらに，VGOS 観測の展望として，帯域幅を 1 GHz に増やし観測の実施回数も増やしていくことが予定されているため，大容量の観測データを速やかに処理するためのサンプラーや記録装置を更新する必要がある．石岡局では，将来の VGOS の観測・相関処理にも対応するため，広帯域かつ高速処理が可能なサンプラーである「DBBC3」を新たに導入した（図-2）.

本稿では，DBBC3 の導入と本運用に向けた調整の状況について報告する.

2. DBBC3 の特徴

VLBI アンテナで受信された電波は周波数変換器で中間周波数に変換された後，サンプラーでデジタル信号に変換（A/D 変換）され，観測データとして記録される．VGOS 観測では，広帯域受信機で 2～14 GHz の電波を受信して，その中から 4 つの周波数帯域を切り出して，それぞれ水平偏波と鉛直偏波の 2 偏波の信号を記録するため，計 8 つの信号を同時に処理する必要がある.

DBBC3 は，イタリアの国立天体物理学研究所（INAF）が運営する Hat-Lab 社が製作しており，主にヨーロッパやオーストラリアの観測局で使用されているサンプラーである．DBBC3 は，周波数変換と A/D 変換の機能を有しており，これらの機能を持つボード（以下「IF ボード」という.）1 枚につき，1 つの信号を処理する．VGOS 観測に使用するには，4 周波数帯×2 偏波の計 8 枚の IF ボードが必要である．DBBC3 は，VGOS 観測に必要な 8 枚の IF ボードが 1 つのユニットに収まる設計となっている.

DBBC3 の出力データは VLBI Data Interchange Format（VDIF）という形式で記録される．VGOS の相関処理は，VDIF 形式で行われるため，DBBC3 から出力された観測データを直接相関局に転送することができる.

また，観測に使用しているソフトウェア Field System（FS）には，DBBC3 の設定や制御に関するコマンドが多く含まれており，DBBC3 の導入により観測や記録装置を統一的に制御することができる.

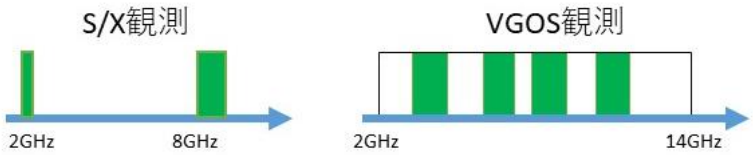

図-1　VLBI 観測の使用周波数.

図-2　DBBC3 の前景.

3. 調整内容

3.1 石岡局における DBBC3 導入の経緯

現在の石岡局では，周波数変換器とサンプラー「ADS3000+」の組み合わせで観測に参加している．周波数変換器と ADS3000+の組み合わせで 1 周波数×2 偏波の信号を処理できるため，VGOS 観測には周波数変換器と ADS3000+を 4 台ずつ使用している．しかし，ADS3000+では，VGOS 観測で使用予定の 1 GHz の帯域幅の処理に対応しないため，処理が可能である DBBC3 を令和 2 年度に導入した．

今年度は，DBBC3 を用いた VGOS 観測の実施を目指す前段階として，観測データの容量が小さい S/X 観測を用いて，DBBC3 を運用するための調整手法を確認した．

3.2 DBBC3 を用いた S/X 観測

石岡局の DBBC3 は，現時点で 2 枚の IF ボードを搭載している．S/X 観測は，S 帯と X 帯の 2 つの帯域について，1 つの偏波（右旋偏波）で観測するため，2 枚の IF ボードで観測することが可能である．

図-3 は，DBBC3 の調整のために設定した石岡局の信号経路である．本調査では，図-3 の光受信機の後段で 2 系統に分岐した信号をそれぞれ ADS3000+及び DBBC3 に入力し，両者を比較することで DBBC3 の設定の調整及び観測信号の確認を実施した．

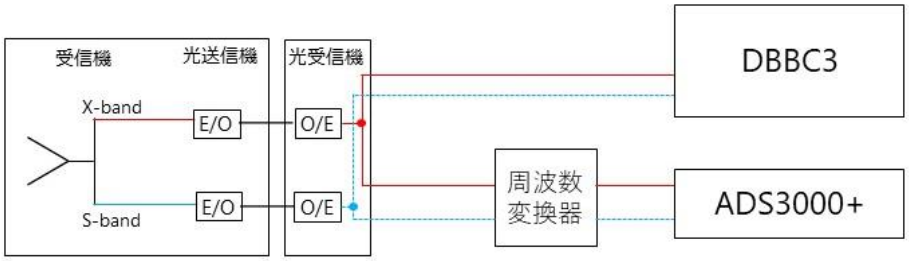

図-3　石岡局における S/X 観測の信号経路.

3.2.1 同一信号の相関処理試験

同一の信号を，ADS3000+を用いた従来の信号経路と DBBC3 で記録し，この 2 つのデータの相関処理（以下「自己相関」という.）を実施した．自己相関では，同じ信号を入力しているため，各サンプラーで適切に信号の処理ができていれば，フリンジ（観測データを相関処理した際に，相関強度が最大となることを示すピーク）が検出されるはずである． DBBC3 の設定値や記録方法に誤りがあり正しい処理ができていない場合は，ADS3000+の出力との間で正常な相関強度でのフリンジの検出ができなくなることから，フリンジ検出の可否及びフリンジの状態により記録ソフトウェアの動作・設定が正常かを判断することが可能である.

本検証では，実際の S/X 観測において 1 スキャンを記録し，自己相関を実施した．なお，DBBC3 は設定確認のため X 帯のみを入力した．試験条件及び設定は表-1 のとおりである．図-4 は，X 帯の処理結果である．図-4 では，全てのチャンネルでフリンジが検出されていることから，DBBC3 の設定が正しいことが確認された.

表-1 観測周波数

チャンネル	観測周波数 (MHz)
CH1	8212.99 ~ 8220.99
CH2	8252.99 ~ 8620.99
CH3	8352.99 ~ 8360.99
CH4	8512.99 ~ 8520.99
CH5	8732.99 ~ 8740.99
CH6	8852.99 ~ 8860.99
CH7	8912.99 ~ 8920.99
CH8	8932.99 ~ 8940.99

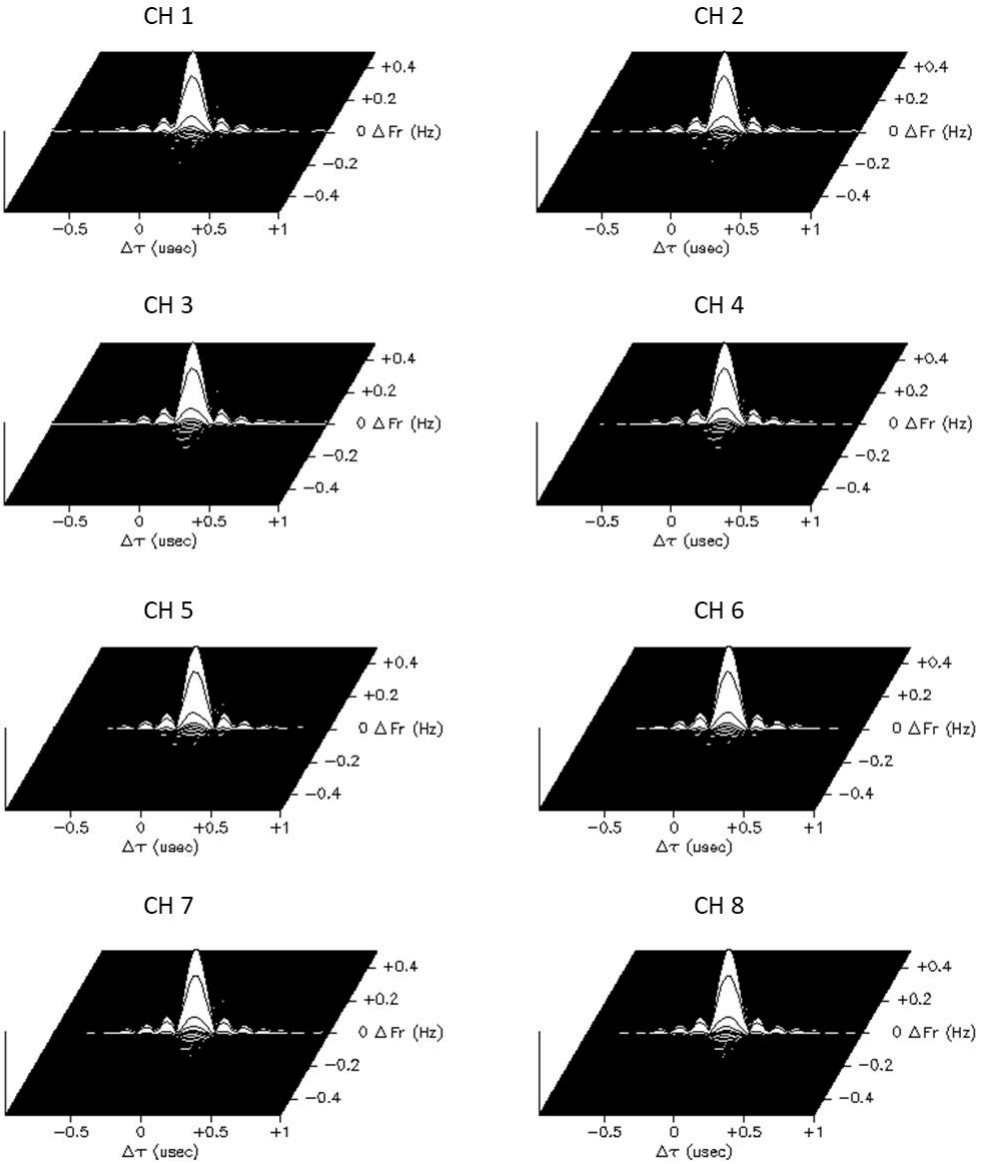

図-4　ADS3000+と DBBC3 のフリンジテスト結果．横軸は機器に信号が入力された時間差（遅延時間），奥方向は遅延時間の時間変化率（フリンジ周波数），縦軸は相関強度を示している．

3.2.2 海外局との相関処理結果の比較

DBBC3 を用いて記録した観測データと，ADS3000+で記録した観測データと，海外局で同時観測されたデータとの間でそれぞれ相関処理を行った．図-5 は，令和 4 年 2 月 14 日の石岡局とドイツの Wettzell 局との観測において，石岡局の ADS3000+と DBBC3 で記録した観測データを Wettzell 局の観測データと相関処理した結果である．DBBC3 で記録した観測データと Wettzell 局の観測データの相関処理では，ADS3000+を用いた時と同様に全てのチャンネルでフリンジが検出された．しかし，DBBC3 で記録した観測データを使用した際の相関強度は ADS3000+に比べて低い傾向があり，DBBC3 への入力信号の強度等の調整が必要であることが示唆される．今後も，IVS 相関局へ提出している ADS3000+による記録データとの比較を通して，適切なデータ取得に向けた調整を進めていく．

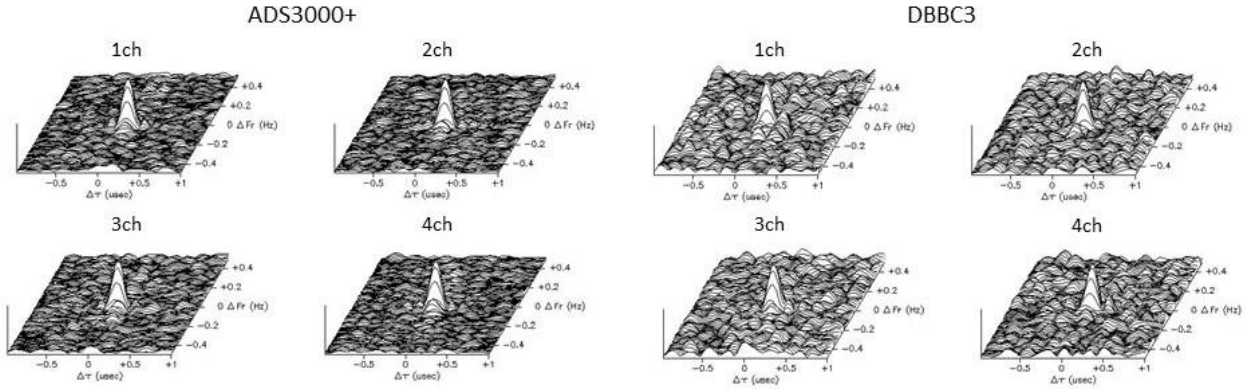

図-5　WETTELL とのフリンジテスト結果(ADS3000+，DBBC3)．横軸は 2 局間の電波の到達時間の差（遅延時間），奥方向の軸は遅延時間の時間変化率（フリンジ周波数），縦軸は相関強度を示している．

4. まとめ

石岡局ではこれからの VGOS 観測・相関処理に向けて，広帯域かつ高速処理が可能なサンプラーである DBBC3 を新たに導入し，設定及び調整を進めている．

現在の実観測で使用している ADS3000+との自己相関処理を実施し，フリンジが検出されたことを確認した．また，DBBC3，ADS3000+それぞれのサンプラーで記録された観測データと Wettzell 局の観測データでの相関処理を実施し，フリンジが検出されることを確認した．

本検証では，S/X 観測での DBBC3 の設定が概ね正しいことを確認し，同時に記録ソフトウェアも正常に動作したことを確認した．今後は，DBBC3 を使用した VGOS 観測への参加を目標に，必要な調整を進めていく．

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.