

次世代 VLBI 観測システム (VGOS) 実現のための研究

実施期間	令和元年度
測地部宇宙測地課	中久喜 智一 林 京之介 石倉 信広 梅井 迪子 松本 紗歩 吉川 忠男 湯通堂 亨 宗包 浩志
情報通信研究機構	関戸 衛

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 (2GHz 帯及び 8GHz 帯) による国際 VLBI 観測に参加している. また, IVS が推進している次世代の VLBI 観測システムである VGOS (受信帯域が 2-14GHz) による観測にも参加している.

石岡局では, 従来の S/X 帯観測 (従来型観測) と VGOS 仕様の広帯域観測で異なる受信機を使用しているため, 従来型観測と広帯域観測の切替え時に受信機の交換が必要になる. 現在の石岡局では, 受信機の交換及び調整に一週間程度要し, 頻繁に交換を行えないことから, 年間スケジュールのうち約 3 か月間の連続した期間は広帯域観測を, それ以外の期間は日本の測地基準系を維持するための従来型観測を実施している. 国土地理院では両方の観測を, 年間を通じて定常的に実施するために, VGOS 仕様の広帯域受信機で従来型観測に参加する「mixed-mode 観測」の実現に向けて準備を進めている. mixed-mode 観測の実現のためには, 広帯域受信機の改良が必要となる. 石岡局周辺では, 強い人工電波による S 帯 (2-3GHz) での電波干渉 (以下「RFI」という.) が確認されているため, 現在の石岡局の広帯域受信機では, 低雑音増幅器 (以下「LNA」という.) 後段の信号回路に 3GHz のハイパスフィルタを挿入し, 3GHz 以下の信号をカットしてデータを取得している. そのため, S 帯のデータを必要とする mixed-mode 観測に参加することはできない. 広帯域受信機で mixed-mode に参加するためには, S 帯において信号の飽和の原因となる強力な人工電波を特定し, 受信機にその信号のみ抑圧可能なフィルタを導入する必要がある.

今回は, 石岡局の広帯域受信機を用いた観測において, 人工的な電波による電波干渉の調査及びその抑圧方法に関する検討を実施した.

2. 研究内容

2.1 石岡局周辺の RFI 環境の調査

石岡局で観測される RFI の特徴を把握するために, 情報通信研究機構から借用した「放射電力測定技術高感度受信システム」を用いた RFI 環境の調査を行った. 調査当時, 石岡局では IVS のスケジュールに基づき S/X 受信機での観測を実施していたことから, 広帯域受信機で調査することによる欠測を最小限にするため, まずは 4 方位 (東西南北) におけるスペクトルを高感度受信システムで測定し, この傾向を調査した. 図-1 はこの調査で検出された石岡局周辺の RFI のスペクトルである. 特に, 2-3GHz の S 帯で強い RFI が受信された. その中でも東方向から飛来する 2.840GHz のレーダー信号が最も強い RFI であった.

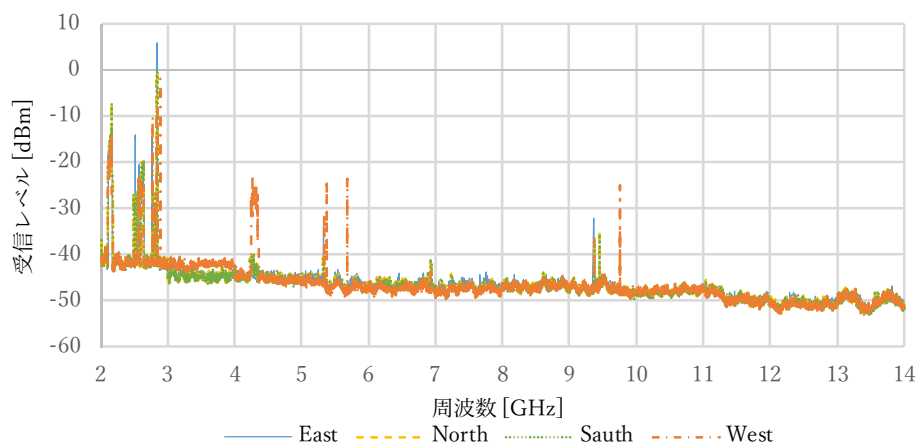


図-1 高感度受信システム 2-14GHz 4 方向

2.2 石岡局 VLBI アンテナを用いた詳細調査

広帯域受信機を搭載した石岡局の VLBI アンテナを用いて、最も電波の強かった東方向に重点をおいてスペクトルを取得した。測定では Agilent 社のスペクトルアナライザ (N9010-XPA) を広帯域受信機の LNA の出力に接続した。アンテナの方向角 (北方向を 0 度, 時計回りの回転とする) を 90 度に向けた状態で仰角 (水平方向を 0 度, 天頂方向を 90 度とする) を変えながら観測を行った。図-2 は仰角 5 度の状態の 2~15GHz における受信信号レベルである。

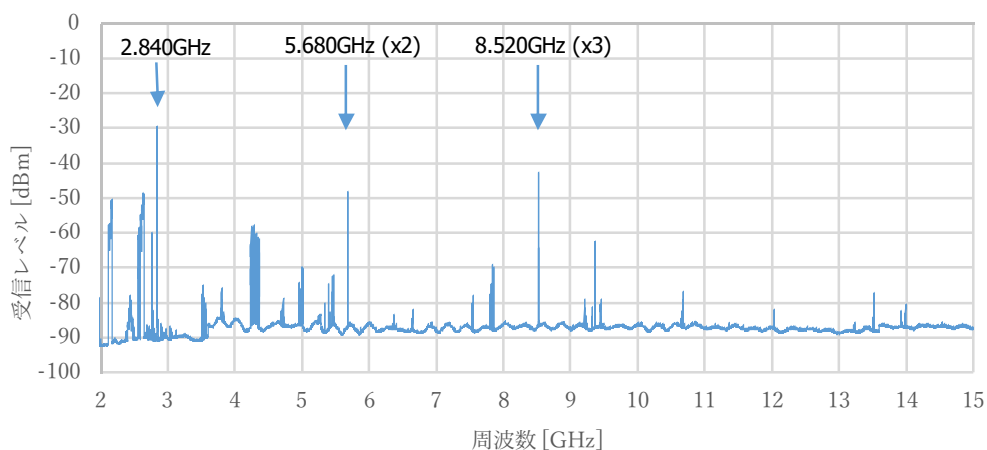


図-2 2-15GHz 仰角 5 度 方向角 90 度の受信信号レベル

石岡局 VLBI アンテナを用いた詳細調査では、高感度受信システムよりも受信感度が高いため、より多くの RFI が検出された。特に、2.840GHz のレーダー信号は高感度受信システムの調査と同様に非常に強い強度で検出された。さらに高周波数では等間隔に狭帯域の信号が見られ、周波数が 2.840GHz の整数倍であることから、これらの信号は 2.840GHz の高調波であると考えられる。よって、このレーダー信号によって LNA が飽和していることが示唆された。また、方向角を 250 度に向けた際、携帯電話 (4G) 等で使用される 2.168GHz で強い RFI が検出された (図-3 (1))。このとき、4.336GHz で信号が見られ、2.168GHz の 2 倍に

あたるため、この信号は 2.168GHz の高調波であると考えられる (図-3 (2)).

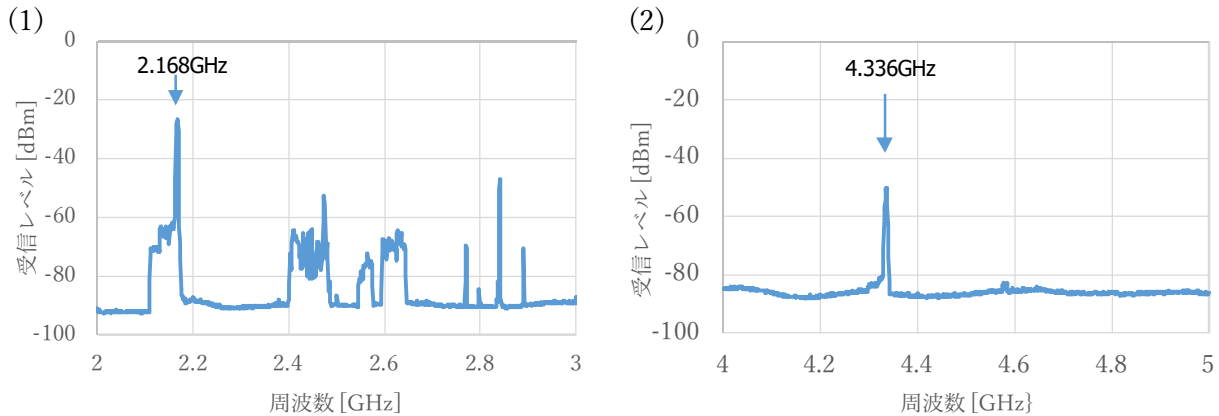


図-3 仰角 0 度 方向角 250 度 の受信信号レベル. (1)2-3GHz. (2)4-5GHz.

2.3 飽和信号の通過レベルと抑圧レベルの推定

LNA の飽和を引き起こす 2.840GHz の信号はフィルタによって抑圧する必要がある. フィルタが有すべき抑圧レベルを推定するため, LNA の P1dB (アンプの理想特性に対し, 利得が 1dB 低下した出力パワー) と出力信号の基本波及び 3 次高調波のパワーの関係式[1] (Sekido, 2013) を用いたところ, 約 2.16dB 超過していることが推定された. ここで, 関係式の左辺は飽和信号の超過レベルである.

$$\left(\frac{A}{A_{P1dB}}\right)^2 = \frac{4\sqrt{\frac{P_3}{P_1}}}{0.145\left(1 + 3\sqrt{\frac{P_3}{P_1}}\right)} \quad [1]$$

P_1 : 基本波の出力パワー

P_3 : 3 次高調波の出力パワー

A : RFI 信号の入力パワー

石岡局の広帯域観測システムでは, LNA の後段に 4 個の増幅器があるため, それらのゲインと P1dB を考慮すると, 信号の飽和を防ぐためには LNA の前段で約 30dB 抑圧する必要がある. また, 2.168GHz の信号についてもレーダー信号と同様に上記の式から, 約 1.72dB 超過していることが推定された. こちらも後段の増幅器ゲインや P1dB を考慮すると約 30dB 抑圧する必要がある. 従来型観測に使用される帯域と抑圧すべき RFI の帯域が非常に近いことから, 観測に使用する帯域に影響を与えない, より急峻なカットオフ特性を持つ超伝導フィルタを導入することが望ましい.

携帯電話 (4G) と思われる幅広の RFI はバンドパスフィルタ, レーダーと思われる 2.840GHz の鋭い RFI はノッチフィルタで除去することで, 観測に必要な電波の正常な受信が期待できる.

3. 結論

VGOS 対応の広帯域受信機を用いた従来型観測を実現するために混信調査を行い, レーダーや携帯電話

等からの強い RFI と， LNA での飽和を確認した．石岡局の観測システムを踏まえた上で，飽和を抑制するために必要な信号減衰レベルを推定し，それぞれ約 30dB の抑圧が必要であることを確認した．

超伝導フィルタは年度内に広帯域受信機内に組み込まれる予定である．次年度は， **mixed-mode** 観測の実現に向けて，超伝導フィルタを搭載した広帯域受信機を用いての性能測定，RFI 調査及び試験観測を実施する．

参考文献

Sekido Mamoru, NICT (2013) : RFI Sources, Identification, Mitigation (Part2),

<http://www2.nict.go.jp/sts/stmg/ivstdc/siryou/2013/TOW/TOW-RFI-sekido2.pdf> (accessed 20 Aug. 2019).