



報告

和歌山地上局における 2015 年事業報告

Report of Wakayama Ground Station for 2015

佐藤 奈穂子¹, 森田 克己¹, 秋山 演亮¹

¹ 和歌山大学宇宙教育研究所

和歌山地上局の2015年の事業報告をまとめた。前年度に引き続き、UNIFORM-1衛星の運用を行っている。さくらサイエンスプランでは、ベトナムの技術者を対象とした教育プログラムを行った。また、気象衛星NOAAやGNSS衛星、はやぶさ2など、科学研究だけでなく教育普及を目的とした受信実験も行っている。現在、九州大学GROWTHプロジェクトの下でCYGNSS衛星の受信準備を進めている。また、UNIFORM-1衛星運用の新3mアンテナへの移行を進めている。

キーワード: 超小型衛星, 地上局

1. 背景

和歌山地上局は、和歌山大学キャンパス内の電波観測通信施設に設置された直径12mと3mのパラボラアンテナと、教育学部棟屋上の直径3mパラボラアンテナ(便宜上、こちらを新3mアンテナと呼ぶ)を持つ(図1・2参照)。これらは、主にUNIFORMプロジェクト(文部科学省平成22年度超小型衛星研究開発事業採択)において、超小型衛星UNIFORM-1のための整備と運用を行ってきた。現在は、事業期間(平成22年度～26年度)は終了したが、引き続きUNIFORM-1衛星の運用を行っている¹⁾。一方で、プロジェクト期間が終了したことから、UNIFORM-1衛星の運用だけではなく、他の衛星受信やゲスト観測の受け入れ等他の取り組みも始めた。本稿では、これらの紹介を行う。

2. 事業報告

2015年から現在までの間、和歌山地上局で行った事業の報告を行う。

なお、12mアンテナを用いて進めている九州大学GROWTHプロジェクトに関しては別稿⁷⁾を参照のこと。

2.1 UNIFORM-1衛星の運用

UNIFORM-1衛星は、UNIFORMプロジェクトの打上げた超小型衛星で、森林火災の早期発見を目的とし

た熱赤外カメラおよび可視光カメラを搭載した地球観測衛星である。2014年5月24日に打ち上げに成功、現在も運用を続けている。

* 定常運用

電波観測通信施設の12mアンテナと3mアンテナを使用して、UNIFORM-1衛星の運用を行っている。12mアンテナはX-bandを用いたミッション・ダウンリンク、3mアンテナはS-bandを用いたテレメトリ・ダウンリンクとコマンド・アップリンクを行う(図3参照)。

昨年度に引き続き、今年度の地上局の運用体制は、無線従事者2名による週2回の定常運用となる。今年度



図1 12mアンテナと3mアンテナ(和歌山大学キャンパス 電波観測通信施設)



図2 新3mアンテナ (和歌山大学教育学部棟屋上)

は、月曜日および木曜日を定常運用日とした。定常運用では、12mアンテナX-bandと3mアンテナS-bandの両方を用いて行う。また、衛星トラブル等による緊急運用も何度か行っている。緊急運用においては、3mアンテナS-bandのみの運用となり、無線従事者が1名で地上局運用にあたる。

一方、衛星管制運用は、昨年と同様に、主に産業技術総合研究所の神山徹博士と加藤創史博士のどちらか1名がコマンダーとしてオペレーターに入っている。撮像オペレーションも昨年に引き続き行っており、多くの火山や月食などの撮画像が得られている⁸⁾。

* 12m アンテナ不具合

2015年4月頃より、12mアンテナでのX-bandミッションデータ受信中に不具合の発生がみられた。症状は、受信電界強度は十分であるのにLOCKがかからないというものである。特に、これまで回線状況の良好だった消感前のタイミングで頻発した。

この原因は、地上側と搭載側の2つに大きく分けて考えられる。地上側の原因としては、スプリアスの混信や接触不良などが考えられる。搭載側は、熱や電圧異常による送信機のUNLOCKが考えられる。

原因追究のため、地上局では模擬信号を入力しながらの追尾駆動の再現を行ったが、不具合は再現しなかった。また、UNIFORM-1衛星製造に携わった名古屋大学宮田喜久子博士に不具合発生時の衛星HKデータを検証してもらったが、特に不審な点は見られなかった。

さらなる原因追究のため、8月3日および6日の2回にわたり、和歌山局と宇宙科学研究所の相模原局との同時受信試験を行った。和歌山局3mアンテナで

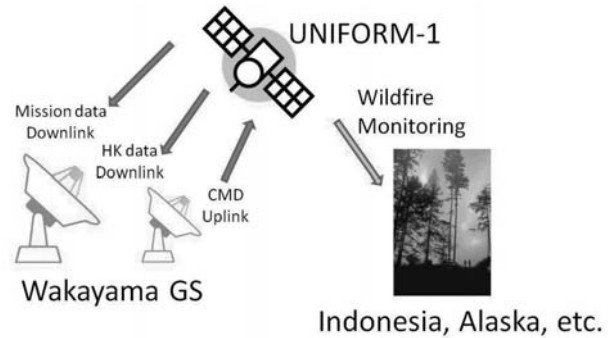


図3 和歌山局 UNIFORM-1衛星の通信概要

UNIFORM-1のオペレーションを行いつつ、和歌山局12mアンテナと宇宙研局3.8mアンテナの両方でX-bandミッションデータを受信する試みである。

結果、宇宙研局での受信は安定しており、和歌山地上局の問題と判明した。その後、アンテナメンテナンスでグリスアップを行った後にトラブルが減少し、現在は全く発生していない。なお、地上局の低い外気温などの疑いも原因として考えられている。

* 3m アンテナ不具合

2015年11月以降の衛星姿勢の回転時に、今度は3mアンテナでのS-bandテレメータ受信時に不具合の発生がみられた。症状は、同様に、受信電界強度は十分であるのに、LOCKがかからないというものである。今回は、最高高度の高いパス（特に60度以上）の天頂通過時に発生している。

現在も継続して発生しており、不具合発生のタイミングから、3mアンテナの天頂問題の一種と考えるが、さらなる調査が必要である。なお、同様の症状は新3mアンテナでも再現している。



図4 UNIFORM-1衛星打上の一周年記念のお祝い

*一周年

2015年5月24日には、打上1周年を記念して宇宙教育研究所のメンバーが集まり、打ち上げ一周年のお祝いを行った。その様子を図4に示す。この画像は、IfES公式ツイッターでも配信された（所長の秋山は、運悪く出張のため欠席）。

* 研究会

昨年度末にてUNIFORMプログラムが終了した区切りとして、プロジェクトの総括を目的とした研究会を開いた。2015年9月18日に東京都港区田町にある和歌山大学首都オフィスにて、UNIFORM-1衛星の開発および運用に携わったメンバーが集まったの成果報告および情報共有のための研究会を持った。

2.2 さくらサイエンスプラン

さくらサイエンスプランは、科学技術振興機構（JST）が募集する日本とアジアの青少年を対象とした科学技術交流事業である。UNIFORMプロジェクトの目的である海外へ向けたキャパシティ・ビルディングと目的を共にするため、プロジェクトの一環として実施した。

和歌山大学でのさくらサイエンスプランは、2015年2月23日～27日の5日間（うち1日はJST施設見学）にわたって実施された。ベトナムのVNSC（Vietnam National Satellite Center）から総勢11人の技術者が来学し、超小型衛星の地上局の整備や運用について教育プログラムを受けた。内容は座学が中心となるが、地上局の施設見学、および運用見学も含む。その時の様子を図5・6に示す。

講師として、本研究所の佐藤だけではなく、12mアンテナ設置に携わった外部のメーカーの方に協力を仰ぎ、講義をして頂いた。具体的には、NTTファシリティーズの根本摩耶氏、スカイグローブの中西靖男氏、下代組機工の下代博之氏、和歌山大学産学連携・研究支援センターの佐野和男特任教授にお話を頂いた。なお、すべての講義は日本語で行われ、ベトナム語の通訳がついた。

ベトナムでは現在、超小型衛星の打ち上げを目指しており、それに伴って新たな地上局の設置を計画している。今回のプログラムにはそのメンバーも参加しており、計画への寄与が期待される。



図5 さくらサイエンスの様子（座学）

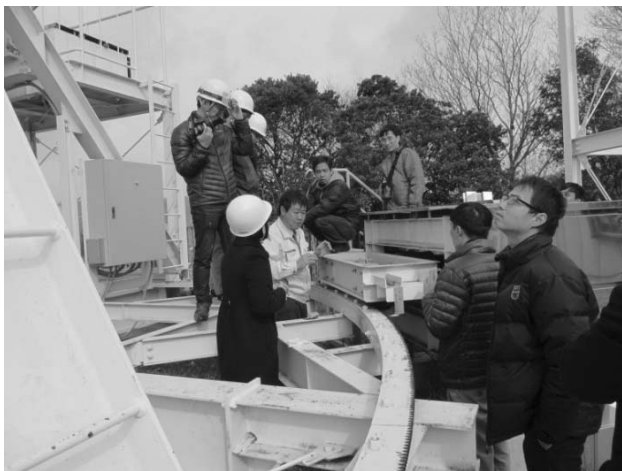


図6 さくらサイエンスの様子（施設見学）

2.3 気象衛星 NOAA 受信

12mパラボラアンテナを用いて、NOAA衛星からの受信を試みた。気象衛星NOAAとは、NASA（アメリカ航空宇宙局：National Aeronautics and Space Administration）が衛星開発および打上を行い、NOAA（アメリカ海洋大気庁：National Oceanic and Atmospheric Administration）が管理運営を行っている衛星のシリーズである。2009年に打ち上げられたNOAA-19が最終号機となる。

* NOAA衛星とは

NOAA衛星は、高度約800kmで地球を周回する低軌道衛星で、可視光から熱赤外にわたる5チャンネルのセンサーで地球観測を行う。その観測データは周波数137 MHz帯のAPT信号と、周波数1.7GHz帯のHRPT（High Resolution Picture Transmission：高解像度画像送信）信号の2系統を用いて、リアルタイムで地上のユーザーへと提供される。今回受信を行ったのは、より空間分解能の高い画像を扱うHRPT信号である。

なお、現在正常に運用を行っているNOAA衛星3機の周波数を表1に示す⁹⁾。

***受信準備**

NOAA衛星のための受信設備のブロックダイアグラムを図7に示す。12mアンテナの焦点には、現在、UNIFORM-1衛星のためのX-bandフィードが設置されており、NOAA衛星のためのL-bandフィードが設置できない。そのため、NOAA用フィードは焦点から30cm程度水平方向にずれた場所に設置した。フィードは、マキ電機製ヘリカルフィードを使用した。

受信系は、フィード直下にL-band用LNAを新たに設置し、RF信号のまま観測室に設置した受信機に信号を入力する。NOAA衛星からのHRPT信号は

表1 現在運用中のNOAA衛星の周波数

衛星名	周波数
NOAA-15	1702.500 MHz
NOAA-18	1707.000 MHz
NOAA-19	1698.000 MHz



図7 NOAA衛星受信系 ブロックダイアグラム
FeedとLNAを焦点部に設置。NOAA用受信機以降は観測室に設置。



図8 NOAA衛星用受信機

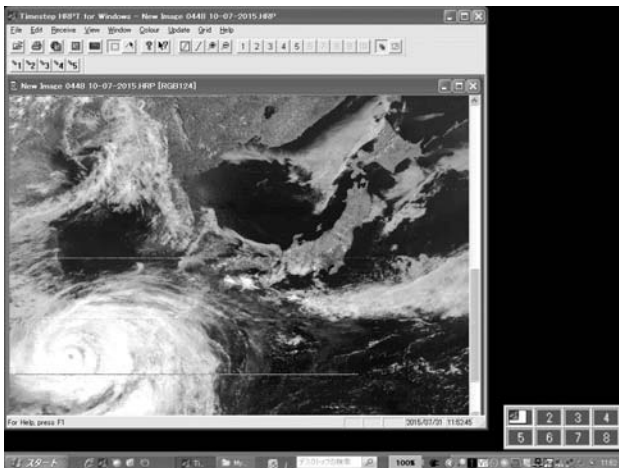


図9 NOAA衛星からの受信画像 (2015年10月7日)

位相変調方式を採用しており、受信機は青電舎よりTimeStep社開発のNOAA専用のHRPT信号の受信機を購入して使用した(図8参照)。

なお、フィードが焦点からずれた位置に設置されているため、アンテナのポインティングにもずれが生じる。そのため、太陽を用いて較正パラメータを取得したのち、NOAA衛星の位置推算表に、EL(高度)に応じたAZ(方位角)のOFFSET値を反映させた位置推算表を用意して追尾を行った。

*** 結果**

NOAA衛星の受信は、大学生教育への活用も行っている。2015年7月10日に行った秋山の授業において、NOAA衛星受信デモンストレーションを行った。授業では、2回にわたり各20人ほどの大学生が見学を訪れた。その時に受信したNOAA-19からの画像を図9に示す。日本列島と台風11号の目がくっきりと見られる。

2.4 「はやぶさ2」イベント

2015年12月3日、小惑星探査機「はやぶさ2」が小惑星RYUGUへ向かうため、地球の重力を用いたスイングバイを行い、地球近傍の軌道を通る。その際、「はやぶさ2」が発する電波を12mパラボラアンテナでとらえる試みをイベントとして行った。このイベントは、当日に開催された宇宙カフェの催しに加え、教育学部屋上の60cm光学望遠鏡の観測¹⁰⁾と合同で行った。

このイベントは、折しも開催された「はやぶさ2」地球スイングバイ観測キャンペーンにより、「はやぶさ2」の軌道情報を吉住千亜紀氏経由で取得できたことから、「はやぶさ2」が地上局と行っているX-band通信を、12mアンテナを用いてとらえ、お客さんと共にスペクトルアナライザで確認する試みとして企画さ

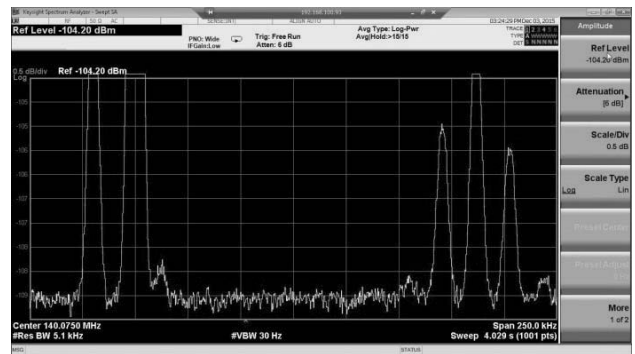


図10 スペクトルアナライザ画像 (16:20頃)
縦軸が強度、横軸が周波数。右の三つ山が「はやぶさ2」の信号。

れた。同時に、12mアンテナの指し示す方向に「はやぶさ2」が居る事から、アンテナの動きにより「はやぶさ2」の動きを体験してもらうという、もくろみもある。

当日14時30分のイベント開始より、12mアンテナは「はやぶさ2」の追尾・観測を開始した。12mアンテナは、その駆動ソフトの仕様により、連続して最大30分間の人工衛星追尾が可能である。30分ごとに軌道の更新を行い、観測を行った。また、巻き取り問題解決のため、18時から3分間ほど観測を休憩した。最終的に、19時03分に12mアンテナの駆動リミット（高度10度）で停止するまで観測を続けた。その後、「はやぶさ2」は、和歌山からは見えない（地平線の下）ハワイ上空で地球への最接近を果たし、RYUGUへと向かった。

スペクトルアナライザ画面においては、イベント開始時点から、ノイズの中に「はやぶさ2」の発する微弱な信号が確認できた。その後、時間とともに「はやぶさ2」が接近し、信号強度が強くなる。同時に、ドップラー効果により「はやぶさ2」の信号周波数が変化していく様子も確認できた。和歌山に最接近する19時頃には、「はやぶさ2」からの信号強度が最大となり、周波数変化の速度も大きくなるのが観察された。

イベントの会場となった12mパラボラアンテナの設置されている電波観測通信施設では、解説パネルやテント、60cm望遠鏡と繋いだライブ中継などを設置し、お客さんを迎えた。当日は、NHKのテレビ取材も入り、学生へインタビューなどにぎやかな雰囲気であった。これらの様子は、当日の夜9時のニュースに取り上げられた。イベントのメは、尾久土正己教授が、参加者と一緒に「いってらっしゃい！」の声とともに「はやぶさ2」を見送った。

一方で、スクリーンショットにて保存した当日のスペクトルアナライザ画像は、その後、和歌山信愛高等学校の学生の研究素材として活用され、その成果は天文学会ジュニアセッションにて発表された¹¹⁾。

2.5 GNSS衛星受信

GNSS（Global Navigation Satellite System：全地球航行衛星システム）衛星とは、GPN衛星や準天頂衛星（みちびき）などの衛星測位システムを構成する衛星である。九州大学との共同研究⁷⁾の一環として、

GPS/GNSSの研究を行っている東京海洋大学の久保信明准教授が学生2名とともに来学し、12mアンテナを用いたGNSS衛星からの信号受信試験を行った。試験は2015年12月24日に実施した。

GNSS衛星からの信号は、およそ1.2 GHz～1.6 GHzの広い周波数領域にわたる。これらの周波数は、GNSS衛星で広く使用されているため、研究目的で受信ができる受信設備が日本国内に数が少ない。和歌山局12mアンテナは、この周波数の受信に対応可能な受信局のひとつである。

今回の試験では、和歌山局で保有している1.6 GHz帯に対応するLNAとフィードを使用し、1.6 GHz付近の衛星をターゲットとした。具体的には、中国の上げた「BeiDou（北斗）」衛星と、日本のJAXAが上げた準天頂衛星「みちびき」からの信号を受信した。

フィードは、NOAA衛星受信と同じものを使用予定であったが、観測予定前日の点検にて破損がみつき、急きょ別のフィードを用意した（マキ電機製の直線偏波フィード）。NOAA衛星受信時と同様に、焦点からオフセットした場所にフィードを設置し、フィード直下にはL-band用LNAを設置し、RF信号のまま観測室へ信号を引き込む。久保准教授の持ち込んだ専用受信機にて信号の受信を行った。

また、試験前日に太陽観測により取得したオフセット値を用いて、衛星位置推算の補正も行った。但し、GNSS衛星は軌道高度が高く（およそ2～3万km以上）追尾速度が遅いため、事前のオフセット値を目安として、実際の衛星信号の強度を見ながらピークを探る方法を採用した。結果、衛星からの電波を無事記録する事ができた。

2.6 新3mアンテナ

教育学部棟屋上に設置された新3mアンテナ（図2参照）は、現在、立ち上げ作業を行っている最中である。このアンテナは、UNIFORM-1衛星運用のためのS/X共用フィードを搭載し、1基でS-bandテレメトリ・コマンド送受信とX-bandミッション受信を同時に行う事をめざす。

新3mアンテナでUNIFORM-1衛星運用を行うためには、落成検査が必要である。落成検査は総務省総合通信局が行うが、検査の判断基準となる資料作成のための登録点検を、登録点検業者のNHKアイ・テック

と和歌山大学とで行った。登録点検の内容は、S-band送信系の電波の質の測定と、UNIFORM-1衛星との通信(S-bandコマンド送信およびS-bandテレメトリ受信)を確認する総合通信試験からなる。登録点検は、2015年3月30日に実施した。結果、落成検査に合格し、現在、実験試験局としての登録を完了している。

さらに、2015年11月より、X-bandミッション受信の性能評価を進めている。X-band受信系は、S-band系と異なり、新3mアンテナへの移行によりアンテナの口径が小さくなるため、受信ゲインが低下し、通信回線が悪化する。理論的には、6 dBの受信ゲインの減少が見込まれる。そのため、UNIFORM-1衛星だけではなく、TERRAやAQUAなどのX-band送信を行っている衛星や太陽を用いて、X-band系の動作確認と受信性能の評価を進めている。2016年3月現在、すべてのUNIFORM-1衛星の運用を新3mアンテナへ集約するための、地上局機器の移行を完了し、試験運用を開始している。

4. まとめ

和歌山地上局の2015年度の事業報告をまとめた。

前年度に引き続き、UNIFORM-1衛星の運用を行っている。さくらサイエンスプランでは、ベトナムの技術者を対象とした教育プログラムを行った。また、気象衛星NOAAやGNSS衛星、はやぶさ2など、科学研究だけでなく教育普及を目的とした受信実験も行っている。現在、九州大学GROWTHプロジェクトの下でCYGNSS衛星の受信準備を進めている。また、UNIFORM-1衛星運用の新3mアンテナへの移行を進めている。

和歌山局の12mアンテナは、もともと、衛星運用だけでなく電波天文やそれらを用いた教育など、多くの目的を持って設置された。今後も機会をみつけて、さまざまなチャレンジを実施していきたい。

謝辞

UNIFORM-1運用にあたり、運用計画や管制運用を担当して頂いた神山氏、加藤氏、また、トラブル時にサポートを頂いた、宮田氏をはじめとするUNIFORMメンバーに謝意を表します。また、相模原局での同時受信実験の折は、深見氏にお手伝いを頂き大変感謝しております。

さくらサイエンスプランの遂行において、JST日本・アジア青少年サイエンス交流事業の支援を受けて行われました。また、講演頂いた根本氏、下代氏、中西氏、佐野特任教授、またコーディネーター頂いた坂本氏にも、感謝を表します。

「はやぶさ2」イベント開催にあたり、ご協力頂いた宇宙教育研究所の尾久土教授、中串氏、吉住氏、林氏、また、後藤氏をはじめとする宇宙カフェの関係者に感謝の意を表します。

引用・参考文献

- 1) 小谷朋美, 佐藤奈穂子「和歌山大学3mアンテナのUNIFORM衛星受信に向けた整備と衛星受信実験」宇宙教育研究所紀要 第2号p9-12(2012)
- 2) 佐藤奈穂子, 小谷朋美「和歌山大学地上局による国際宇宙ステーション放出衛星「RAIKO」(雷鼓)観測実験」宇宙教育研究所紀要 第2号p51-54(2012)
- 3) 小谷朋美, 佐藤奈穂子, 森田克己, 秋山演亮「UNIFORM衛星運用へ向けた実験試験局(地上局)の整備」宇宙教育研究所紀要 第3号p69-72(2013)
- 4) 小谷朋美, 佐藤奈穂子, 森田克己, 平松崇, 山浦秀作, 秋山演亮「和歌山大学における地上局システムの構築とUNIFORM-1号機の運用」第58回宇宙科学技術連合講演会(2014.11.14)
- 5) 佐藤奈穂子, 小谷朋美, 森田克己, 宮田喜久子, 山浦秀作, 秋山演亮「UNIFORM和歌山地上局における通信系機器開発及び初期運用性能評価」第58回宇宙科学技術連合講演会(2014.11.14)
- 6) 佐藤奈穂子, 森田克己, 堂野哲生, 小谷朋美, 秋山演亮「和歌山地上局における超小型衛星UNIFORM-1の運用報告」宇宙教育研究所紀要 第4号p37-42(2014)
- 7) 佐藤奈穂子, 森田克己, 秋山演亮「2015年度GROWTHプロジェクト事業報告」宇宙教育研究所紀要 第5号p29-32(2016.3)
- 8) 神山徹, 加藤創史, 佐藤奈穂子, 森田克己, 宮田喜久子, 福原哲哉, 中村良介, 秋山演亮「超小型衛星UNIFORM-1による観測成果と成果発信の取り組み」宇宙教育研究所紀要 第5号p17-21(2016.3)
- 9) <http://www.ospo.noaa.gov/Operations/POES/status.html> NOAAのHP。NOAA衛星シリーズの最新のステータスが見られる。
- 10) 富田晃彦, 吉住千亜紀「はやぶさ2地球スイングバイの光学望遠鏡での観測」宇宙教育研究所紀要 第5号p57-61(2016.3)
- 11) 西川紗布, 西村舞, 北村美優, 中口朋美「はやぶさ2の受信電波から感じるスイングバイ」日本天文学会 第18回ジュニアセッション(2016.3.14)