

成層圏バルーンを使ったリモートセンシング

Research for Remote sensing using Radiosonde Balloon

宇宙教育研究所：佐藤奈穂子、吉住千亜紀、秋山演亮、
観光学部/学生自主創造科学センター：○尾久土正己、
システム工学部/学生自主創造科学センター：藤垣元治、
システム工学部：曾我真人、
教育学部：石塚互、富田晃彦、
観光学部：中串孝志、
学生自主創造科学センター：荻原文恵

N. SATO, C. YOSHIKUMI, H. AKIYAMA,
M. OKYUDO, M. FUJIGAKI, M. SOGA,
W. ISHIZUKA, A. TOMITA, T. NAKAKUSHI,
and F. OGIHARA

○印研究代表者連絡先：okyudo@center.wakayama-u.ac.jp、電話073-457-8503
本研究に関連するホームページURL：http://www.wakayama-u.ac.jp/ifes/

要約：リモートセンシングの技術開発のため、成層圏バルーンの放球実験を行った。結果、信号の一部受信に成功した。この実験は、学生教育の一環として大学生が主体となって行った。また、成層圏から撮影された映像を用いたデジタルドーム用のコンテンツの開発も行った。これらのセンシング機器実験は、将来的に超小型衛星との通信技術を獲得することを目指している。その基礎実験として超小型衛星UNITEC-1の受信実験を行い、受信に成功した。現在、宇宙教育研究所が発足し、超小型衛星網UNIFORMの開発研究が始まっている。

1. はじめに

科学離れの中にあっても、宇宙は一般に関心の高い分野である。そのため、宇宙を素材とした科学教育により、魅力ある教材の開発が可能である。我々は、これまで、宇宙科学や宇宙開発を題材とし、科学コミュニケーションやロケット製作などを通じた学生教育や教育普及に取り組んで来ている。

そのひとつとしてリモートセンシング技術開発のための成層圏バルーンの放球実験をおこなった。成層圏は宇宙の入り口という位置づけができるにもかかわらず、まだ十分に注目されていないため、宇宙開発における格好のフィールドである。成層圏(上空30km)は、航空機(10km)と衛星(数100km)の隙間を埋め

る高度であり、そこにセンシング機器を取り付けたバルーン(気球)を上げることで、災害時の被災状況の把握や通信インフラのアクセスポイントとして活用できる。

また、成層圏バルーンを実際に製作し、各種計測装置を成層圏で使ってみることで、成層圏からの通信や画像撮影、各種センシングの実現可能性を検証する。また、この実験では、過去に採択されたオンリーワン事業で培った、パラボラアンテナを用いた通信技術を利用し、飛行中のバルーンの撮像画像をリアルタイムで伝送する技術にも挑戦した。さらに、これらの実験・開発は、将来の小型衛星打ち上げの際の通信技術を獲得する技術修練となる。



図1 BEARの撮影した上空30kmの映像([1]参照)

また、観光学部に整備されたデジタルドームシアターを用いて、撮像画像をデジタルドーム用のコンテンツの素材として利用することで、近い将来に開始される民間の準軌道旅行の疑似体験システムを構築する。これらのリモートセンシング研究を通して、学生だけでなく理科教員や中高生の教材として活用することで、他に例のない科学教育方法を提案し、理解増進の効果を検証したい。

2. 成層圏バルーンによる実験

2.1 背景

日本の主な大学で研究・教育を目的として、宇宙までの空間の様々な利用が始まっている。輸送系としては、2000年に高度数百mまで飛翔した学生の手作りサウンディングロケットを皮切りに、これまで数kmまでの打ち上げが行われている。搭載物としては、学生の手による人工衛星が、既存の大型ロケットを利用して、2003年より既に十数個、高度数百kmの宇宙空間を飛翔している。しかし、その高度差を繋ぐ10km（航空機の限界）～50kmの成層圏は、JAXAの先端研究でしか利用されてこなかった。しかし現在、そのギャップを埋める物として、また通信・観測インフラを展開する空間として、成層圏の利用価値が大きく認められ始めている。

2.2 成層圏バルーンとは

成層圏バルーンとは、気象庁も利用している高高度観測用バルーンに、位置情報を得るためのGPSや通信機器、ビデオカメラを荷物として搭載し、成層圏（高度30km上空）からの様子を撮影する小型自律機器である。図1にアメリカのバルーンチームが撮影した、高

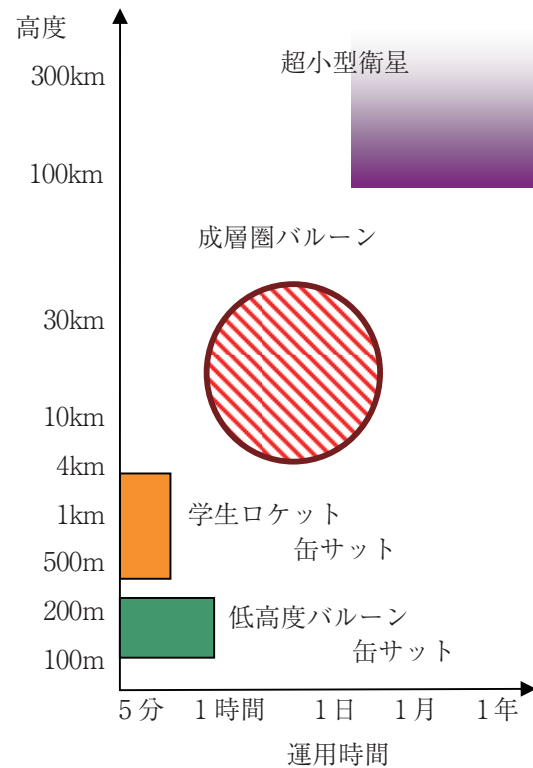


図2 宇宙実験フィールド

度30kmあたりでの地球の姿を示す(参考文献[1])。

成層圏バルーンと他の測定機器との一番の違いは到達高度である。図2に、様々な機器の利用高度を示す。缶サットは高度100m、学生ロケットが高度200mから3kmまでしか届かないのに対し、バルーンサットは30kmまで到達可能なため、実際に宇宙（高度100km以上）で活動する超小型衛星に一番近い。そのため、必要な技術レベルや可能なミッションにおいて、超小型衛星の前段階として捉えることが可能である。例えば、超小型衛星は長期の自律運用を行う高度な技術が必要とされるのに対し、成層圏バルーンは運用時間が半日程度であり、その間に装置が晒される温度、気圧、宇宙線等の運用環境も緩やかで、超小型衛星開発の基礎実験が可能である。

成層圏バルーンの放球から着水までの実験の流れを図3に示す。バルーンサットはヘリウムガスの浮力を用いて上昇し、成層圏に達したバルーンが破裂した後、パラシュートを用いて下降する。成層圏バルーンの構成は、上から順にバルーン、パラシュート、搭載物（ペイロード）が紐で繋がっている。バルーンは地上（1気圧）でヘリウムを入れると直径7m程度の大きさであるが、成層圏の低気圧下では直径10m以上に膨

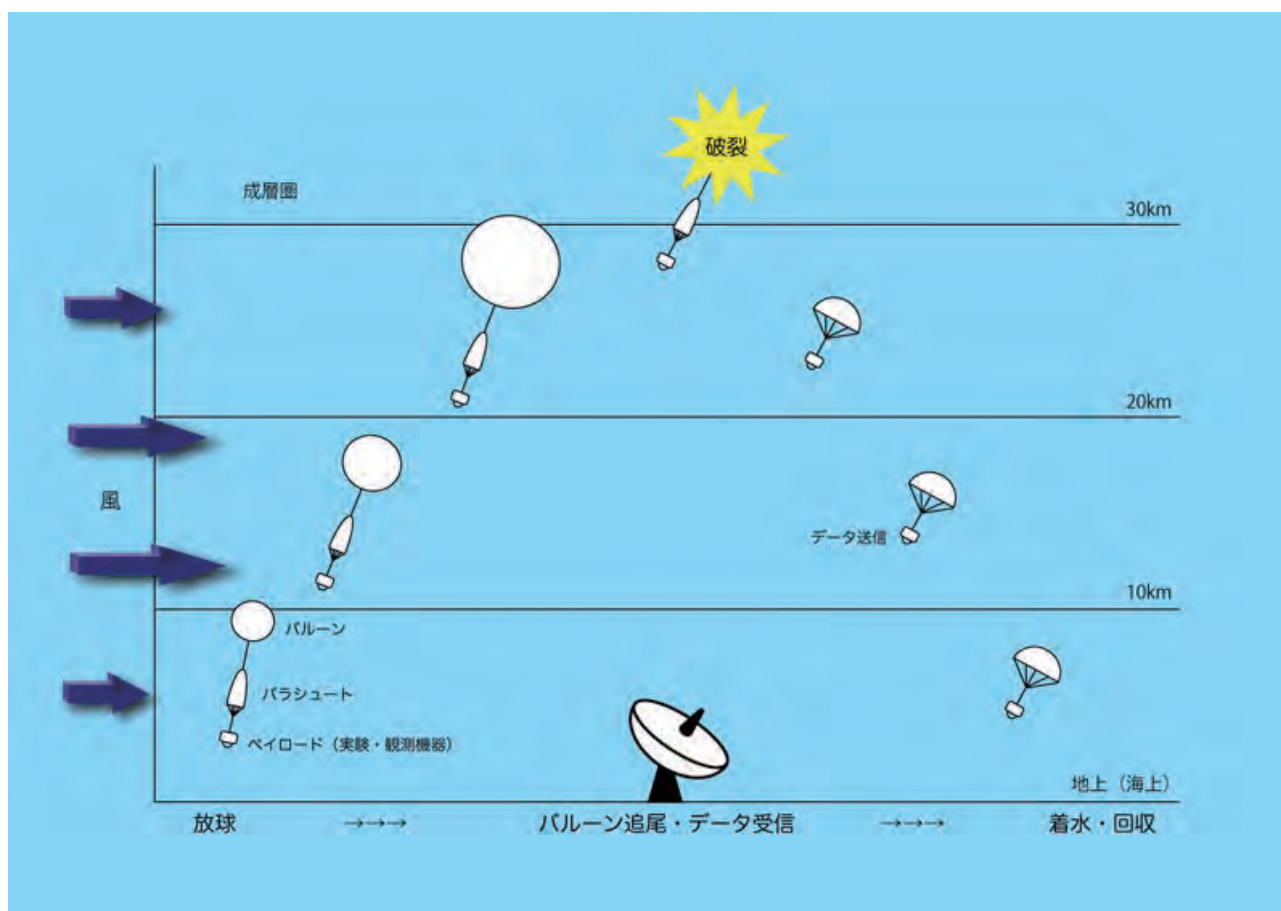


図3 バルーンサット放球実験の流れ

らみ、破裂に至る。パラシュートは、落下時の速度を調整するために用いる。日本におけるバルーンサット実験の着水は海上を計画し、船による探索・回収を行う。気象庁の発表する過去の気象データ解析と、高層大気の天気予報を基に、バルーンサットの飛行航路予測を行い、海上へ落下するような飛行計画を立てる。

搭載物の総重量は3kg以内で、一辺50cm程度の立方体の防水・断熱素材の箱の中に、GPSや無線機とともに、ビデオカメラ等のセンシング機器が納められている。バルーンサットの飛行中、陸上班は、バルーンサットに搭載された無線機の送信するGPSデータを受信解析することにより、バルーンの現在位置をリアルタイムで知る事が出来る。また、この位置情報を着水場所予測へ反映させる事により、予測精度の向上が期待でき、より確実な回収のため該当場所へ迅速に船を向かわせることが可能となる。着水後のバルーンサットは船で回収するため、海水に浮くための防水処理が必要である。また、海上での発見を容易にするための発見機構の工夫も必要である。

2.3 放球実験計画

2009年7月22日に日本で起こる皆既日食にあわせてバルーンサットを放球し、地球に映る月の影の移動を高度30km上空からハイビジョン映像で撮影する計画を立てた。この計画の新規性は、だれもが一度は見たことのある欠けゆく太陽のズーム映像ではなく、太陽が欠ける原因となる月の影が地球上を移動してゆく様子を、魚眼ビデオカメラを用いて高精細映像として撮影しようという点である。理科の教科書にてポンチ絵にて説明されるが、実際の映像を見たことがある人は殆ど無い。これは、日食現象の理解増進のための強力なツールとなるはずである。また、この実験は、学生教育の一環として、学生が主体となって進められた(和歌山大学学生宇宙開発プロジェクト)。実験装置の製作だけではなく、公的機関への放球許可の申請やマスコミ対応なども学生が行った。

今回の日食は、九州の一部を通るため、放球実験は鹿児島県薩摩半島での実施とし、回収場所は薩摩半島西側の東シナ海海上とした。鹿児島での最大食となる

表1 バルーンサット 諸元

名称	バルーンサット1		バルーンサット2	
重量	3.5kg、		3.8kg、	
搭載物	ハイビジョンハンディビデオカメラ 高度制限解除 GPS 無線機(430MHz) 無線機(1.2GHz)		デジタルカメラ GPS 無線機(430MHz)	
浮力	バルーン大：2.5kg、 バルーン小：2.0kg、		バルーン大：3.6kg、 バルーン小：1.7kg、	
活動 (内は推定)	09:47	放球	09:51	放球
		位置/動画データ受信		
	11:02	位置データ途切れる	11:00	最高点到達：14km
	(11:45)	(最東端：宮崎沖到達)	12:40	(宮崎沖 100km 着水)
	12:52	最高点到達(30km)		
		電送データ中断		
	(14:10)	(最西端到達)		
	(16:30)	(着陸：都城市北部)		

時間である11時頃に、バルーンサットが最高到達高度になるようにするため、2時間程度の上昇時間を考慮し、鹿児島市内から9時頃の放球を計画した。また、当日の風向きを考慮して、他の放球点候補も押さえた。この計画では、同日15時頃に着水する予定である。

陸上班は、東シナ海を一望できる鹿児島県日置市の遠見番山に設置した。今回使用したアンテナの写真を図4に示す。GPS情報の受信には、八木アンテナを使用した。これと同時に、ビデオ映像の伝送は、直径2mのパラボラアンテナを用いて受信した。このパラボラは、八木アンテナの架台に同架されており、この架台の制御は、八木アンテナで取得したGPS位置情報を基に、アンテナの向きを自動制御する追尾するプログラムによって駆動する。

海上班も八木アンテナを用いて、または陸上班から衛星電話・無線機にて、現在位置情報や落下予測位置予測を取得する。

2.4 実験結果

今回放球したバルーンサットの諸元を表1に示す。バルーンサットは2機準備しており、一機目は高度制限を解除したGPS、動画撮影装置、位置情報と動画転送のための2種類の無線機を搭載した。もう一機は通常GPSと連続撮影カメラを搭載し、位置情報のみを送信する無線機を搭載した。バルーン部分は共に大小の

2球を利用し、着水（着陸）後の発見が容易となるような工夫をした。

前日まで、気象データの解析を続けた結果、放球点を阿久根市番所丘公園駐車場に決定した。過去の気象解析では、7月のこの時期には太平洋高気圧が強まり、バルーンは西に流されると予測していた。しかし、今



図4 日置市に設置した陸上班

年は梅雨前線がこの時期まで留まり、風向は予測から大きくはずれ、南東に流される予測となった。その結果、西向きの風が吹く高層までバルーンサットの最高到達点を上げることで、最良でも真南に落とす事しか出来ない状況となり、放球点を鹿児島県阿久根市に設定した。放球の様子を図5に示す。

以上2つのバルーンサットの辿った推定航路を添図6に示す。また、実験全体の結果や放球後の主な動きを表1・表2にまとめた。

バルーンサット1は、飛行自体は予定通りの飛行（高度30km付近で片側のバルーンが破裂・その後降下）となったと考えられる。送信機の保温対策が十分で無かったため、GPSによる位置情報が上空12km付近で途絶し、バルーン位置の特定が不可能となった。しかし、画像データの無線信号は、バルーン位置が不明になった後も受信し続け、この電波強度を追うことにより手動追尾にて最高点（予測高度は30,363m）までの追尾に成功した。その後、バルーン破裂による急激な落下により、追尾不能となった。当日の風向や上



図5 阿久根市の放球班の様子

昇・下降速度から推定し、16時30分頃に、宮崎県都城市北方の山中に落下した物と考えられる。

表2 実験結果

項目名	内容	結果
法令関連	自治体/関係官庁との事前調整、及び法令の遵守	○
回収準備	船舶等の手配	○
フライト予測	フライト軌跡の予測手法の確立	△ 上昇/下降速度、風速と水平移動量に関し更なるデータ蓄積が必要。
防水機体の製作	着水後も防水可能な機体の製作	△ 放球前試験は成功。回収できなかったため、不明。
熱対策	機体の熱環境保持と、電子機器の正常動作	× バルーン1で電池が低温で放電したと考えられる。
曇止め対策	レンズの曇止め対策	○ (電送映像を見る限り)
遠征隊の組織・運用	遠征隊のスケジュール管理	○
フライト	バルーンの正常飛行	△ バルーン2にて、低高度で破裂。バルーン配置に問題有り
位置データの取得	GPSデータの電送	△ ただし原因は電力と考えられる
動画データの取得	動画データの電送	○
機体の回収	機体の回収	×
マスコミ対応	実験とマスコミ対応の両立	○

2009年7月22日 放球実験 フライト軌跡

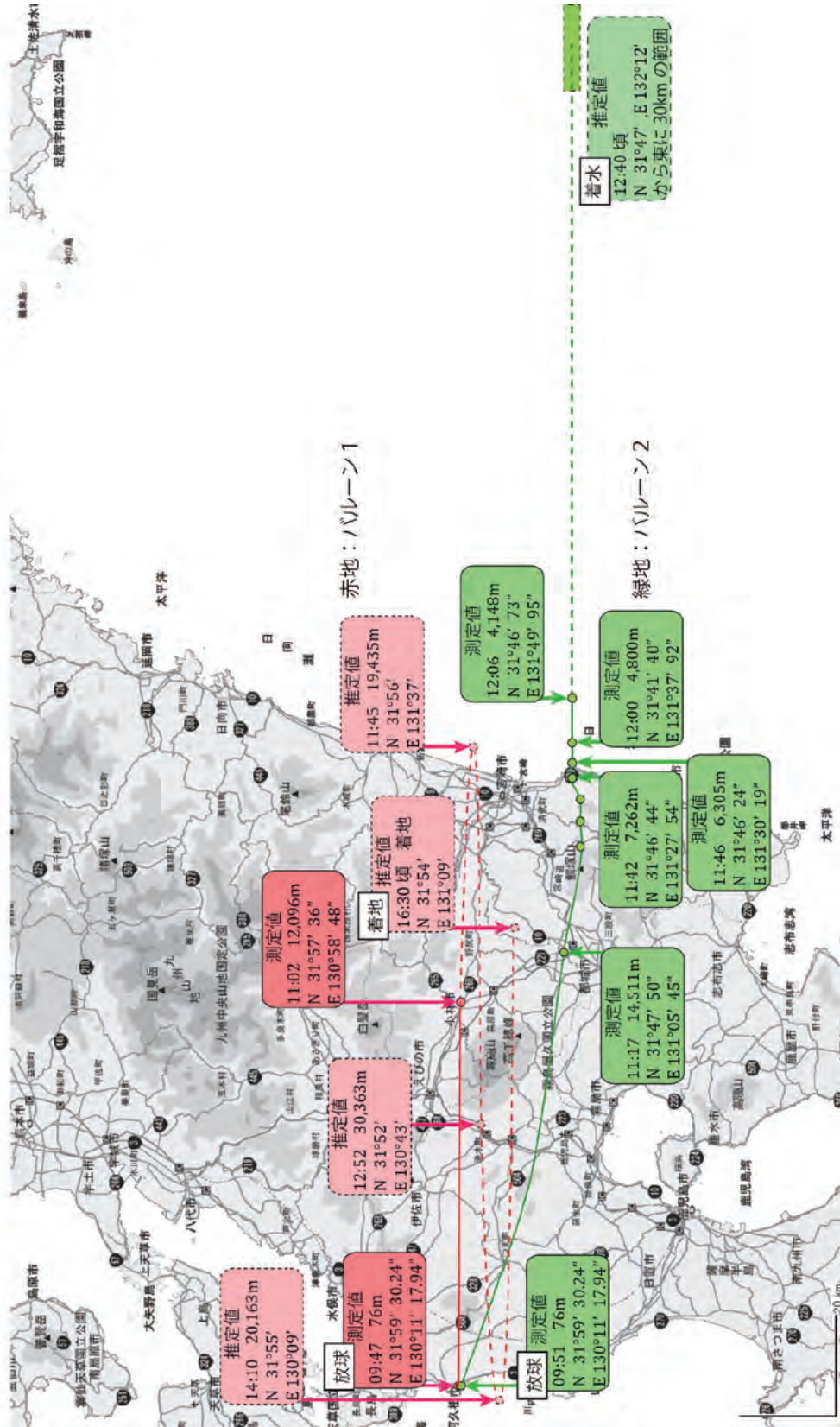


図6 バルーンサットの推定軌跡

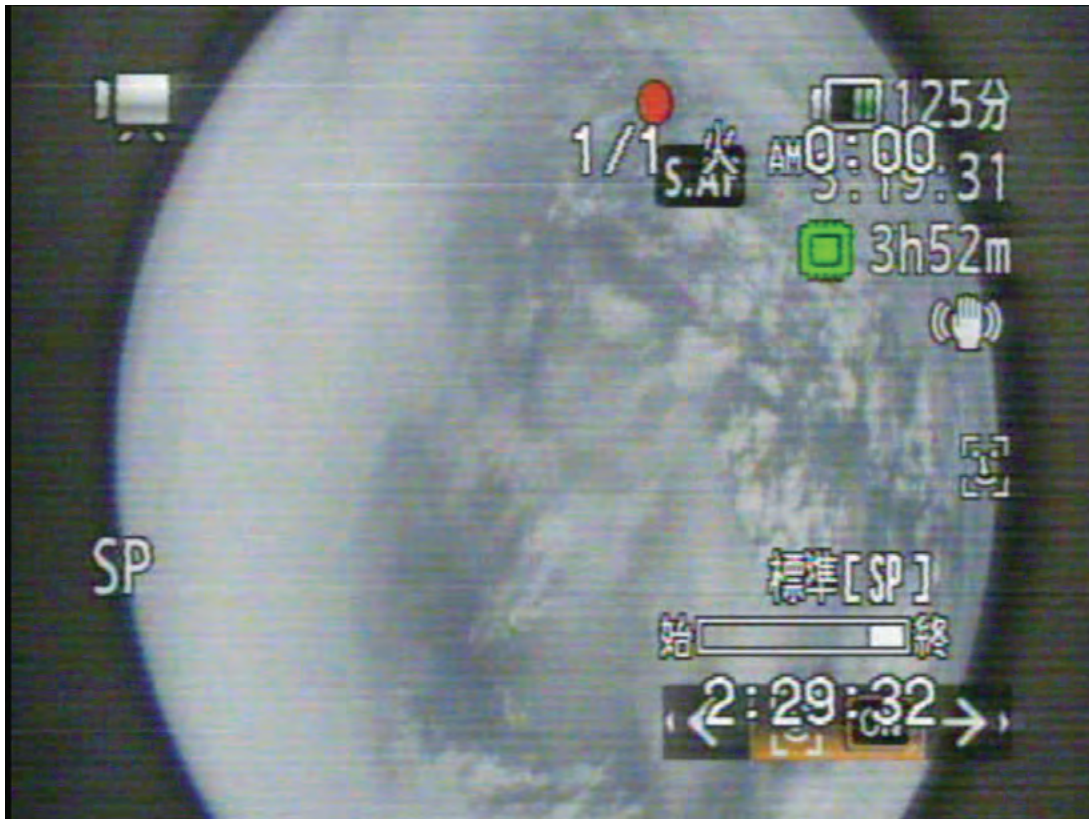


図7 バルーンサット1の地球の電送画像。12:40頃（最高点到達時刻の約12分前）、高度約30kmより撮影。

バルーンサット2は上昇中、高度14km程度で予定外に片方のバルーンが破裂したと考えられる。このため高度20km以上で吹いていた西向きの風に乗ることなく東に流され続け、宮崎沖100～160kmの地点に着水したと考えられる。最後に送られた位置情報は12時06分、高度4,148mの位置だった。

以上、2機のバルーンサットの放球を行った。どちらの回収にも失敗したが、搭載機器からの伝送情報の受信には成功している。また、バルーンサット1では、撮影動画のリアルタイム伝送に挑戦し、成功した。撮影した画像を図7に示す。しかし、この映像は、送受信の回線速度のため、解像度を落として伝送されている。高解像度の映像を手に入れるためには、やはりバルーンサットの回収が不可欠である。

2.5 その後

その後、バルーンサットの高分解像度映像の回収を目指して、以下の放球実験をおこなった。

2009年12月26日に2度目の放球実験を行った。高知県での放球を行い、和歌山県に地上局を設置、冬特有

の強い東向きのジェット気流に乗せて、和歌山沖での回収を目指した。搭載機器は、GPSの位置情報送信機のみであった。結果は、放球直後から無線信号の受信に成功したが、信号にGPS情報が乗っておらず、電波強度のみでの位置特定を試みたが、回収には至らなかった。

2010年7月の放球計画を立てた。回収に主眼を置き、GPS情報の伝送に冗長性をもたせる機構を盛り込んだ。しかし、気象状況と装置製作スケジュールの調整ができず、放球することが出来なかった。

2011年現在、新年度となり学生メンバーの大幅な更新を経て、再度、放球実験を計画中である。

3. 宇宙観光の研究シアターとは

3.1 デジタルドーム

和歌山大学では2008年度に観光学部を開設し、その研究・教育施設の一つとして「観光デジタルドームシアター」を2008年度末に設置した。ここでは県内の世界遺産をはじめとする観光を軸にしたコンテンツの収集・制作及び様々な分野でのドーム映像表現の活用

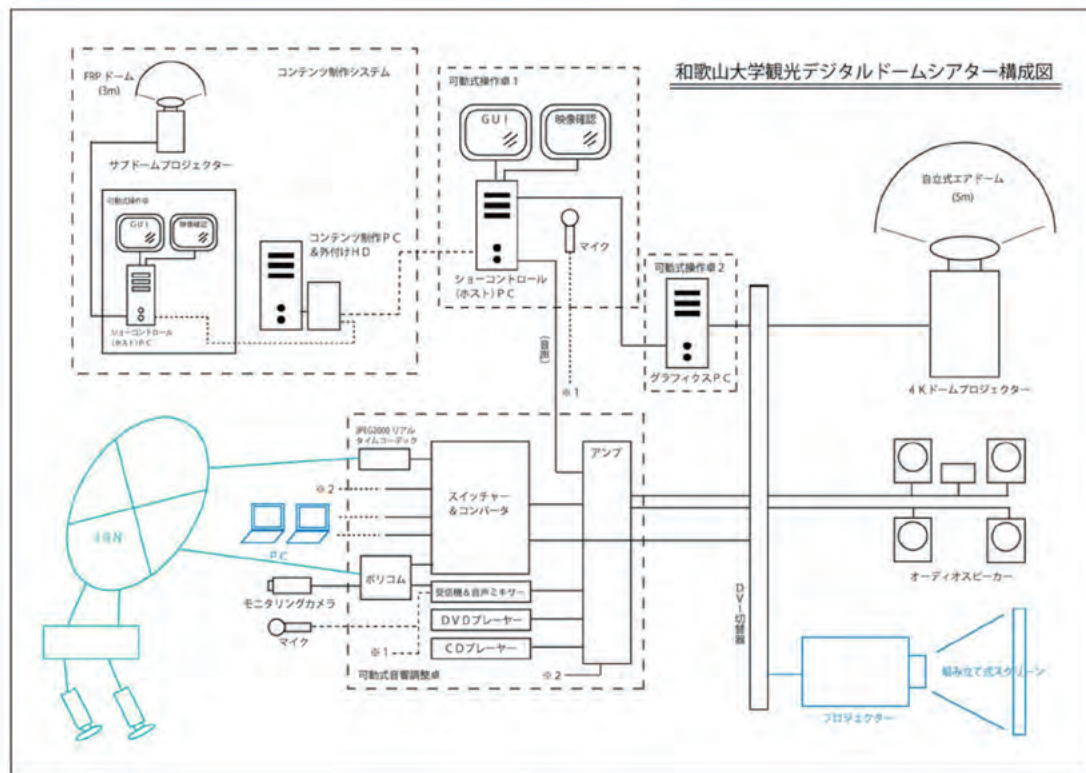


図8 デジタルドームシアターの概要

とその効果について研究を行っている。

図8に観光デジタルドームシアターの概要を示す。日本は世界有数のプラネタリウム保有国であり、また近年、デジタル化が進んでいる。本学のシステムの特徴は、「画像につなぎ目のない単眼式であること」と「高コントラスト」が挙げられる。これにより、美しく、より鮮やかで引き締まった風景が表現できるとともに、複眼式に見られる各種の画像処理が不要な利点を活かし、リアルタイム中継等にも対応できるシステムとなっている。この超高精細デジタルドームシアターシステムを用いて、周囲360度・ドームの天井いっばいに、高画質の映像を映し出すことにより、観客はより臨場感・没入感あふれる体験が可能である。

3.2 大気球からの映像コンテンツ制作

和歌山大学による成層圏バルーンの放球実験では、無線通信による画像伝送は成功したが、ペイロード回収による高画質な映像の取得には失敗した。一方で、和歌山大学が協力関係を結んでいる宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が、2009年5月に大樹航空宇宙実験場 (北海道大樹町) にて実施した大気球放球実験にて、

ハイビジョンカメラを用いた成層圏での撮像に成功した。この映像をコンテンツとして活用することにより、これまでになかった迫力を伴った映像表現が可能になった。

今回の実験では、気球落下式無重力実験のモニタリングのために、魚眼レンズ付きのハイビジョンビデオカメラを搭載し、上空40kmまでの上昇から着水に至るまでの過程の録画に成功した。大気球の放球実験の様子を図9・図10に示す。カメラは下向きに設置され、映像はペイロードに搭載された実験機器の様子をモニタリングすると同時に、遠ざかりゆく地表の様子が映っている。この映像をデジタルドームシアターに投影すると、気球から見た眼下の風景が頭上360度にひろがり、また、ビデオカメラには実験装置が発する音も録音されているため、まさに自分が地上40kmの世界にいるかのような体感ができる。

3.3 その後

和歌山大学の学生プロジェクトが行っている成層圏バルーンの回収に成功すれば、より安価な手段で、このような映像コンテンツの制作が可能となる。



図9 大気球の放球準備の様子

右の透明なバルーンに、赤白パラシュートとロケット型のペイロードが繋がれている。



図10 大気球の放球直後の様子。地上(1気圧)では、バルーンはしぼんでいるが、成層圏では直径10m以上に膨らむ。

宇宙が観光資源となりつつある近年、宇宙をより身近に手軽に体感できる空間としてのデジタルドームシアターの可能性を探るため、新しいコンテンツの検討・制作を行っている。

4. 小型衛星からのダウンリンク

4.1 背景

成層圏バルーン放球実験によるセンシング機器との通信実験の目標は、将来打ちあがる超小型衛星との通信技術の確立である。今回、日食での放球実験において、映像伝送に成功した。その次段階として、超小型衛星からのダウンリンク受信を試みた。

受信に用いたアンテナは、みさと天文台に設置されている口径8mのパラボラアンテナである(図11)。このアンテナは、過去に採択されたオンリーワン事業で和歌山大学が装置開発を行い、1.4GHzの宇宙電波観測を行っている。成層圏バルーン放球実験での2mアンテナでの映像伝送に成功したのは、この8mアンテナでの電波通信技術の獲得に依るところが大きい。

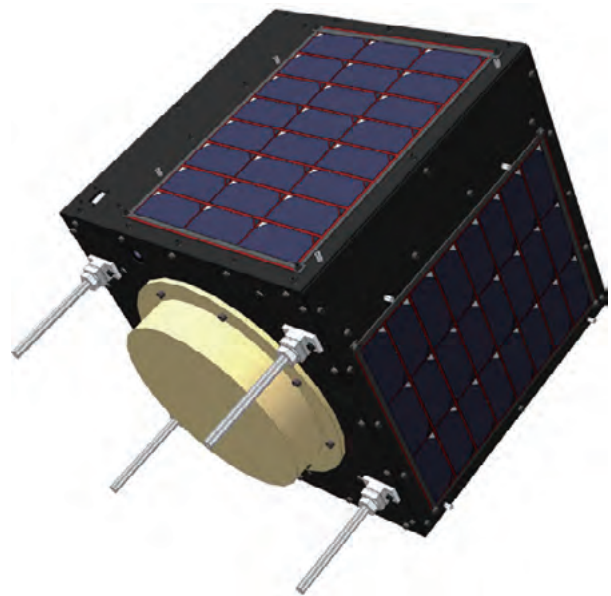
この8mアンテナを用いて、2010年5月に打ち上げられた、超小型衛星UNITEC-1からのダウンリンク受信を試みた。

4.2 超小型衛星UNITEC-1とは

UNITEC-1は、金星探査衛星「あかつき」の相乗り衛星で、愛称を「しんえん」と言い、大学宇宙工学コン



図11 みさと天文台 8 mパラボラアンテナ



サイズ： 一辺が約35cmの立方体
重量： 約20kg

図12 UNITEC-1 イメージ図 (参考文献[2]より)

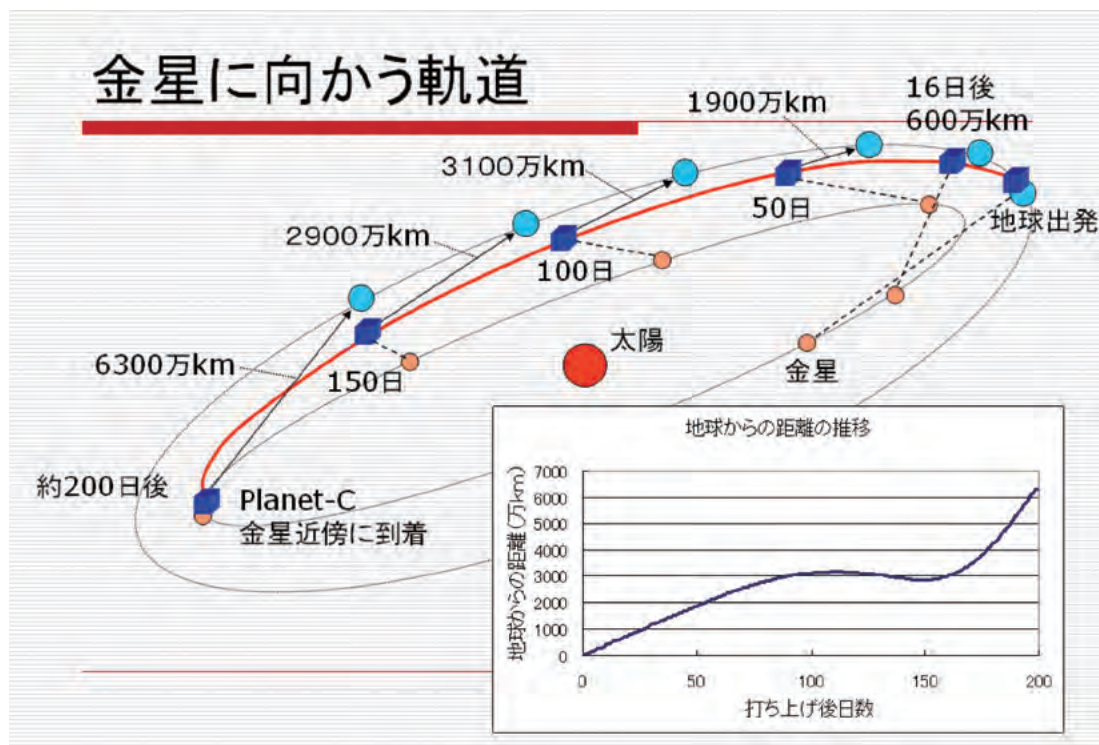


図13 UNITEC-1 の予定軌道(参考文献[2]より)

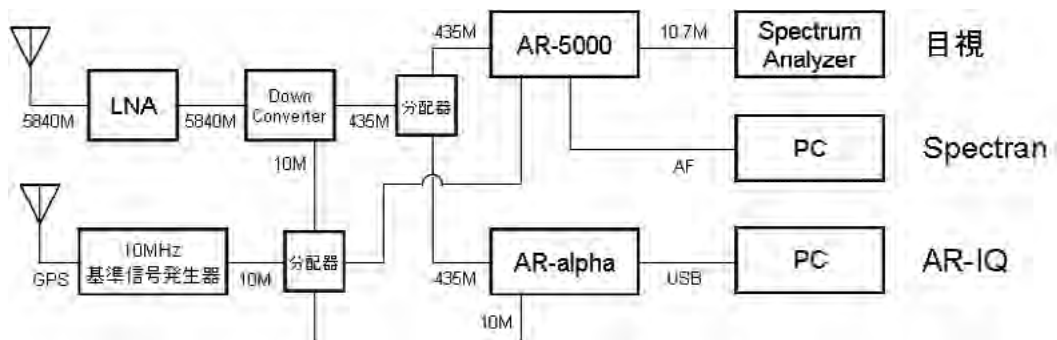


図14 受信システムの概要

ソーシアム (UNISEC) が開発を行った(図12参照)。この衛星は、大学が製作した衛星で、初めて惑星軌道へ投入される衛星となる(図13参照)。打ち上げは2010年5月18日(火)である。

UNITEC-1のミッションは、搭載されたオンボードコンピュータの生き残りコンペ(大学対抗)を深宇宙環境下で行い、その結果を電波にて発信をする。我々は、その信号の受信とデコードを目指す。周波数は5.8 GHzのアマチュアバンドである。

4.3 受信準備

UNITEC-1からの信号は、5.84 GHzであり、8mアンテナにオリジナルでつけられている1.4 GHz用の受信機器では受信ができない。そのため、受信機器の総入れ替えを行った。

今回用いた受信システムを図14に示す。用いた装置のうち、フィードおよびダウンコンバータは、UNISECよりの借用である。今回、3つの方法で受信信号の確認を行った。用いたのは、(1) 高分解能受信器AR-5000からのIF信号をスペクトルアナライザによる監視(目視のみ)、(2) AR-5000からのAF信号をSpectran(参考文献[3])を用いて録音および記録、(3) 広帯域受信器AR-alphaによる記録、の3通りである。

アンテナの駆動は、事前の衛星軌道予測に基づく赤経赤緯に固定し、日周運動に沿った追尾で行った。加えて、大幅なアンテナ駆動精度の向上をおこなった。過去の望遠鏡駆動のポインティング精度測定の結果、平均1.5度の誤差がみられる事が判明している。この誤差測定は、2008年8月~2010年3月の間に行った観測13回、計57点のデータを用いた。この測定に用いた天体は、太陽・Tau A・Cas Aの3天体である。この結果を図15(上)に示す。この結果に、補正式を適用し、再度計算をおこなった結果、平均誤差を0.6度まで下げ

ることに成功した(図15(中)参照)。この補正式を実装したアンテナ駆動プログラムを学生が開発し、今回の受信に使用した。これにより駆動精度は ± 0.6 degが達成できている。

今回のダウンリンク信号受信には、和歌山8mアンテナの他に、東北大局2.4m、勝浦局18m、山口大局32m、九州大局2.4mが参加した。また、このダウンリンク周波数はアマチュアバンドのため、広くアマチュア無線家への受信協力も呼びかけた。

4.4 受信結果

UNITEC-1を載せたHII-Aロケット17号機は、2010年5月18日の打ち上げを予定していたが、天候不順により打ち上げ延期となった。3日後の21日に打ち上げを行い、無事打ち上げ、衛星の切り離しに成功した。

この衛星からのダウンリンク信号は、大きく分けて2種類のタイプがある。衛星からの情報をCW信号で送る通信(メジャー通信・マイナー通信)と、2分間にわたり連続した信号を送り続ける通信(軌道推定通信)である。これらの通信を、6時間をひとサイクルとして繰り返している。

観測は、衛星の高度が、8mアンテナの最小観測高度である15度より上になる時間帯において行った。打ち上げ初日である21日は、18:04 ~ 24:25 (JST)において観測を行い、その間に衛星が送信した計6回の通信受信に成功した。その中には、4回の軌道推定通信と各1回のメジャー通信とマイナー通信が含まれる。その中の、軌道推定通信の様子を解析した結果を図16、図17に示す。図16は、信号強度 2σ 以上のデータの電波強度を時間方向にプロットしたものである。この図から、衛星のタンプリングにより、衛星の送信アンテナの向きが周期的に変化した結果、受信強度が周期的に変化している様子が見られる。また、図17は、

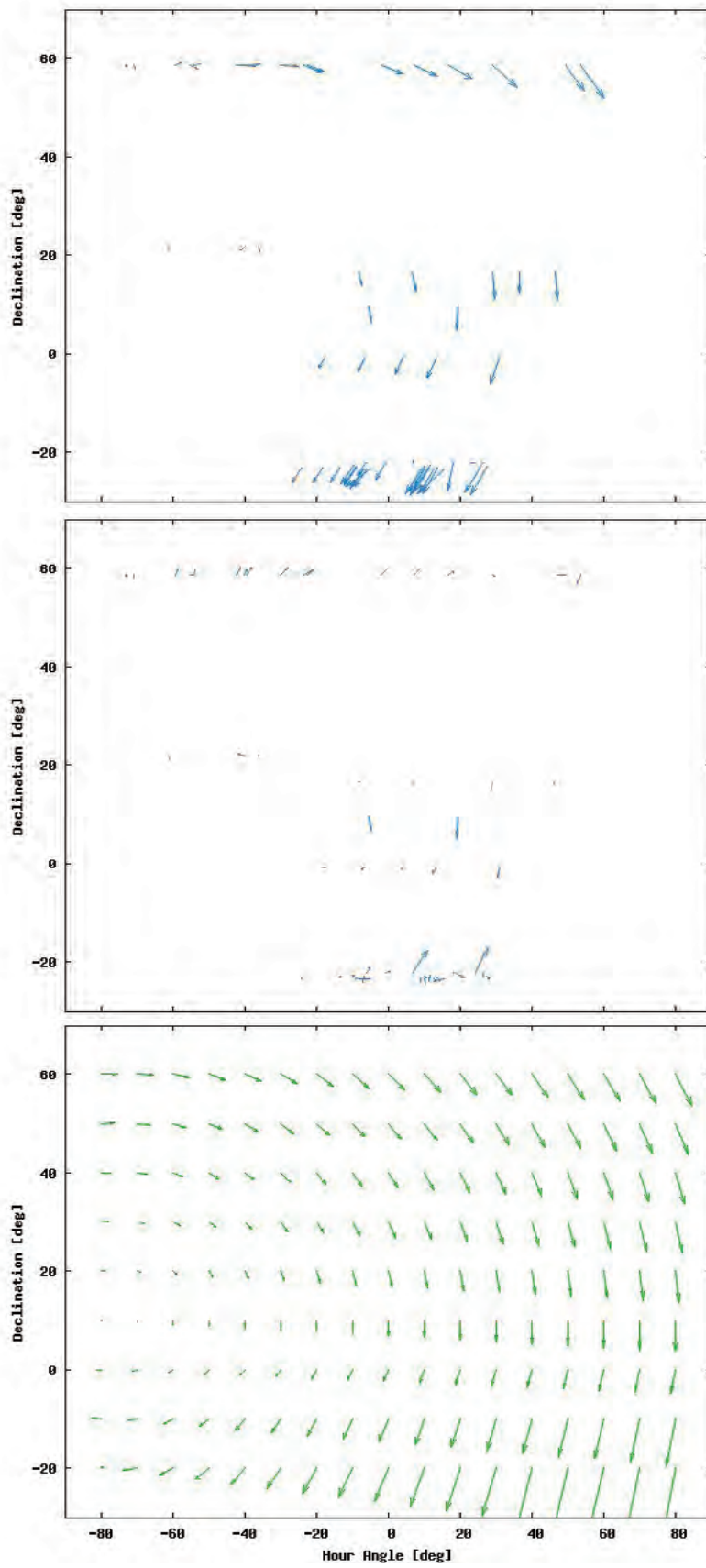


図15 (上)測定した補正前の位置のずれ (中) 補正式適用後のずれ (下) 適用した補正值

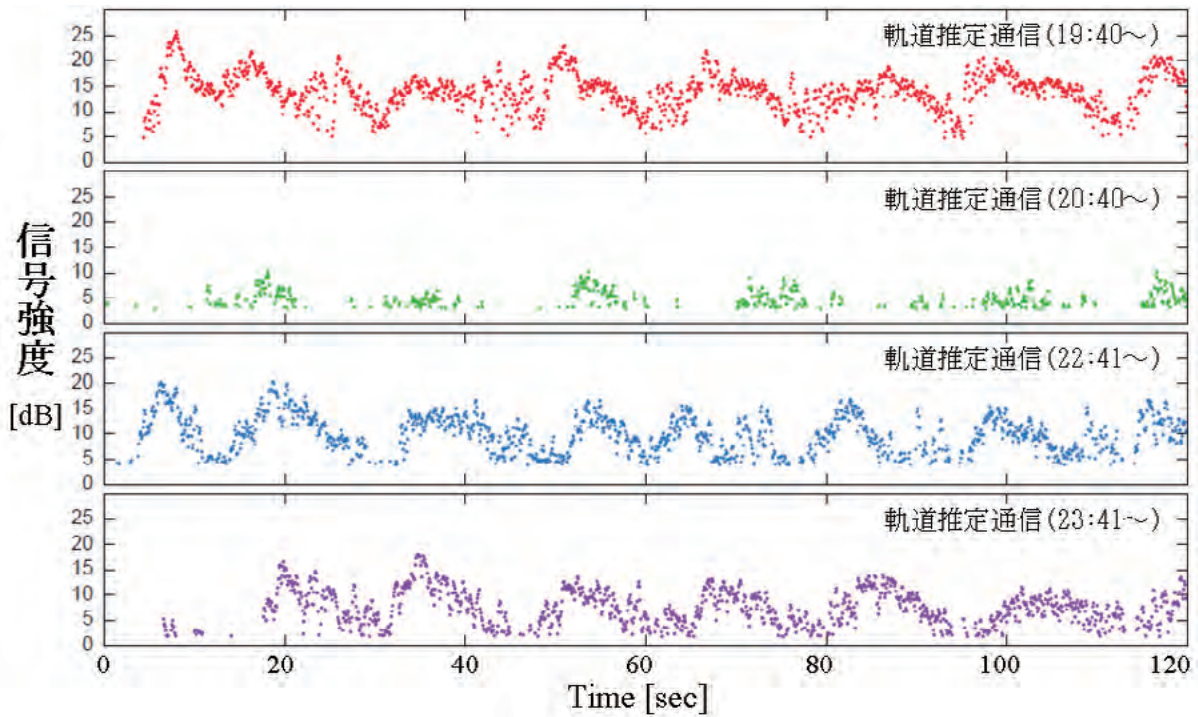


図16 軌道推定通信の信号強度変化

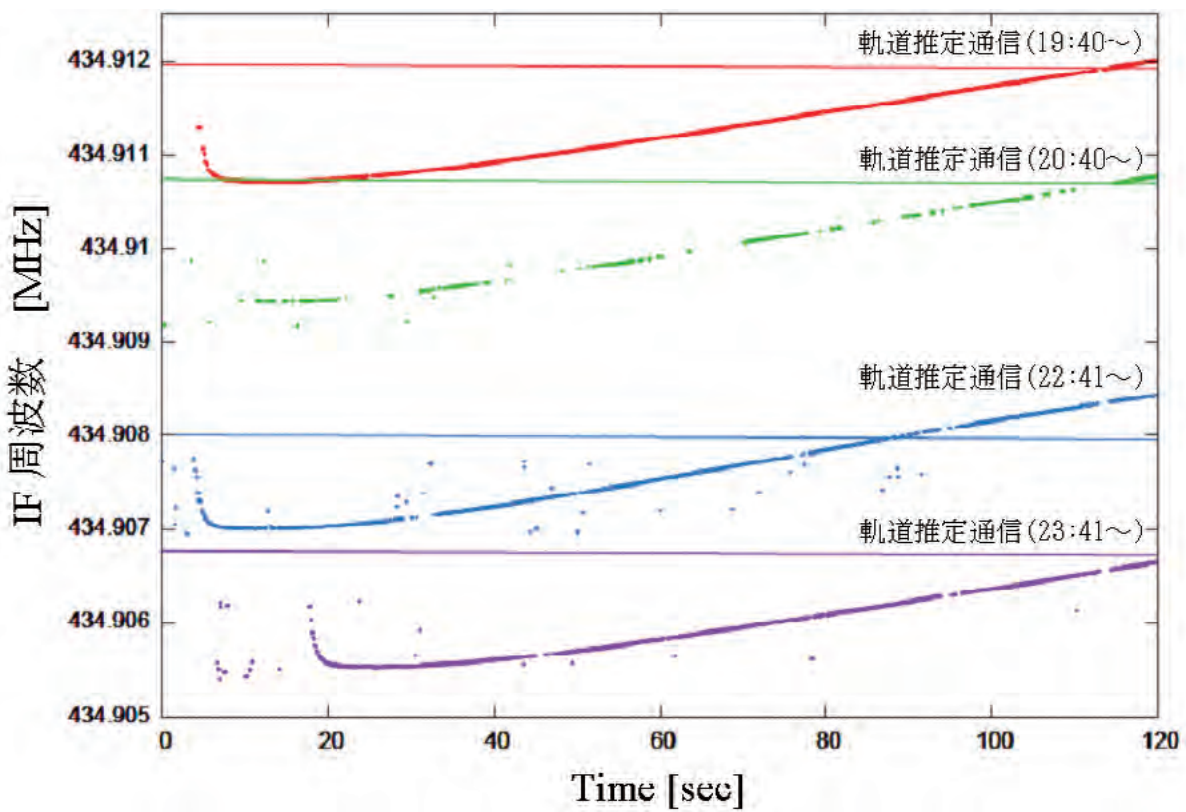


図17 軌道推定通信の周波数変動

同じく信号強度 2σ 以上のデータの周波数を時間方向にプロットしたものである。この図からは、衛星の送信周波数が時間とともに変化している事がわかる。同色の直線は、事前の予測周波数を示す。

残念ながら、2日目以降の信号の受信は、全ての地上局において成功していない。見えなくなった衛星の探査のため、初日のデータ解析やCW解読、故障原因の探求議論などが行われた。また、和歌山局を含む、地上局において、衛星消失後から一週間以上にわたって、探査のサーチ観測が行われたが衛星からの信号受信には至らなかった。故障解析の議論の結果からは、衛星復活の可能性がまだ残っていると判断され、現在も大口径の勝浦局において信号受信の試みが続けられている。

4.5 その後

現在、文科省超小型衛星研究開発事業に和歌山大学宇宙教育研究所が代表機関となった「日本主導の超小型衛星網 UNIFORM の基盤技術研究開発と海外への教育貢献」が採択された。

和歌山大学は、8 mアンテナでの UNITEC-1 受信実績を生かし、衛星通信の地上局が設置される事となった。2010年11月より、新たに直径12mと3mの2台のパラボラアンテナの整備がすすんでいる。

5. その他の活動

5.1 全国同時SETI観測実験

SETI観測とは、Search for Extra-Terrestrial Intelligenceの略で、地球外の知的生命の探査を目的とし、地球外の文明が放射している電磁波の検出を目指す研究である。1960年にアメリカのFrank Drake氏が実施したオズマ計画を初めとし、その後アメリカを中心に観測が継続されている。最もよく用いられる手法は、電波望遠鏡で受信した電波信号を解析し、その中に地球外知的生命から発せられたものがないか探すというものである。過去の観測において、いくつかの疑わしい信号の受信の報告はされている。しかし、この手法の問題点として、人間活動に由来する電波との切り分けが難しいという点がある。

西はりま天文台の鳴沢真也氏の提唱する同時SETI観測は、地球上の離れた多地点での同時観測する事により、人間活動由来の電波の影響を極力排除でき、地球外からの電波信号の同定が可能となる。2009年、鳴沢氏の呼びかけにより、全国同時SETI観測実験『さざんか計画』が行われ、みさと8 mアンテナも参加した。この計画には、14台の電波観測アンテナ（8箇所施設）と27箇所の光学観測望遠鏡を合わせて41の観測装置が参加した(図18参照)。

さざんか計画の概要について説明する。この全国同

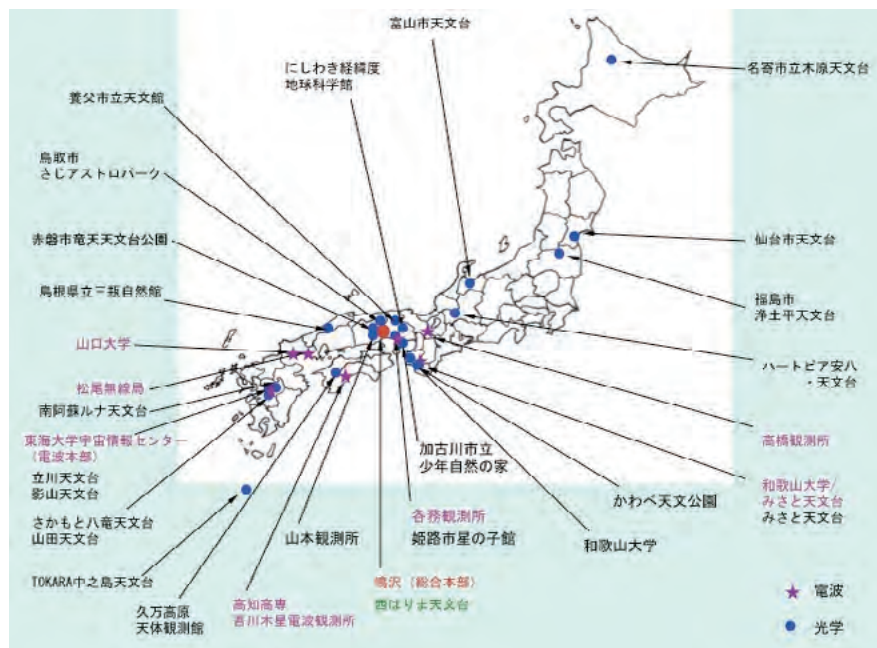


図18 さざんか計画 参加施設 (参考文献[5])

時SETI観測実験は、2009年3月28日に行われたリハーサル観測に続き、2009年11月11日～12日に本観測が行われた。計画名は、この時期に咲くさざんかの花にちなんで名づけられた。観測ターゲットは、カシオペア座の領域で、過去に行われたSETI観測「META」において、この領域からノイズの7倍の強度の信号が検出されている(参考文献[4])。この信号は1989年11月17日(UT 4:12)に、周波数は1420 MHzにて検出されている。今回、さざんか計画で用いた中心座標は、以下の通りである。

赤経 (J2000): 03h 07m

赤緯 (J2000): +58d 02m

観測は、電波と可視光の多波長を用いて行われた。我々は、みさと天文台 8 m電波望遠鏡を用いて参加した。観測周波数は、過去の検出と同様の1.42 GHzである。

以上の実験の様子は、NHK教育『サイエンス・ZERO』(2010年1月9日)や、TBS『夢の扉』(2009年12月27日)などのマスメディアにも紹介された。(図19参照)。

その後、このさざんか計画を足がかりとして、2010年11月から、オズマ計画50周年記念・世界合同SETI(ドロシー計画)が世界15カ国の参加をもって行われている。

5.2 理科年表への掲載

みさと天文台 8 m電波望遠鏡が、2011年度理科年表のおもな電波望遠鏡の一覧に掲載された(図20参照)。

6. まとめ・今後

リモートセンシングの技術開発のため、成層圏バルーンの放球実験を行った。結果、信号の一部受信に成功した。この実験は、学生教育の一環として大学生が主体となって行った。また、成層圏から撮影された映像を用いたデジタルドーム用のコンテンツの開発も行った。これらのセンシング機器実験は、超小型衛星との通信の基礎技術の獲得を目指している。その基礎実験として超小型衛星UNITEC-1の受信実験を行い、受信に成功した。現在、宇宙教育研究所が発足し、超小型衛星網UNIFORMの開発研究が始まっている。これらのリモートセンシング機器の開発研究を通して、学生だけでなく理科教員や中高生の教材として活用することにより、他に例のない科学教育方法を提案し、理解増進の効果を検証したい。



図19 TBS放送「夢の扉」の映像

本研究の以上の結果は、以下の研究会(査読無)にて成果報告を行った。

- 第 53 回宇宙科学技術連合講演会：「バルーンサット」(秋山 他) 2009. 9. 10
- 第 53 回宇宙科学技術連合講演会：「デジタルドームシアターで体感する高度 30km-バルーンから見る地球-」(吉住 他) 2009. 9. 11
- 日本天文学会 2010 年春季年会：「みさと 8 m 電波望遠鏡の現状報告と今後の計画」(佐藤 他) 2010. 3
- 2009 年度 第 39 回天文天体物理若手 夏の学校：「みさと 8 m 電波望遠鏡性能評価」(宮崎 他) 2009. 7.
- 第 54 回宇宙科学技術連合講演会：「和歌山大学での小型衛星 UNITEC-1 からのダウンリンク受信の試み」(佐藤 他) 2010. 11. 19

謝辞

成層圏バルーン放球実験に際しまして、国土交通省・海上保安庁・鹿児島県庁・日置市役所・阿久根市役所の皆様、また、イオン(株)様・鹿児島リビング様、海上回収船の船主の今村一也様、(株)気球製作所様、紀州エア・ウォーター(株)様の御協力・御尽力に深

く感謝と御礼を申し上げます。

デジタルドームシアターのコンテンツ制作にあたりまして、JAXA(宇宙航空開発機構)の皆様のご協力で感謝の意を表します。

UNITEC-1受信実験を遂行するにあたっては、多くのご支援ご協力を頂いたUNISEC、JAMSAT、みさと天文台、みさと天文台友の会の皆様に感謝の意を表します。

全国同時SETI観測実験におきましては、西はりま天文台の皆様、また、さざんか計画の皆様に感謝と御礼を申し上げます。

参考文献

- [1] BEAR(Balloon Experiments with Amateur Radio) <http://www.sbszoo.com/bear/>
- [2] UNITEC-1 <http://www.unisec.jp/unitec-1/ja/top.html>
- [3] Spectran 製作者Alberto I2PHD氏 <http://www.weaksignals.com/>
- [4] Horowitz, P. & Sagan, C. 1993 Astrophysical Journal 415, 218.
- [5] Project SAZANKA <http://www.nhao.jp/~narusawa/oseti/project-sazanka.html>

おもな電波望遠鏡											
単一アンテナの望遠鏡											
名称	所在地	口径	分解能(観測周波数) ¹⁾	名称	所在地	口径	分解能(観測周波数) ¹⁾				
Effelsberg	ドイツ	100 m	40" (22 GHz)	岐阜大学	日本	11 m	5" (22 GHz)	天 文 台 86(162)			
GBT	アメリカ	100	34" (22 GHz)	CSO	アメリカ	10.4	20" (345 GHz)				
Parkes	オーストラリア	64	4.4" (5 GHz)	国立天文台(ASTE)	チリ	10	22" (345 GHz)				
LMT	メキシコ	50	建設中	HHT	アメリカ	10	22" (345 GHz)				
国立天文台(野辺山)	日本	45	15" (115 GHz)	国立天文台(水沢)	日本	10	5" (22 GHz)				
Haystack	アメリカ	37	49" (43 GHz)	みさと天文台/和歌山大学	日本	8	1.5" (1.4 GHz)				
情報通信研究機構(鹿島)	日本	34	50" (43 GHz)	国立天文台(鹿児島)	日本	6	8.3" (22 GHz)				
山口大学/国立天文台	日本	32	4" (8 GHz)	名古屋大学(なんてん)	チリ	4	2.7" (115 GHz)				
IRAM(Pico Veleta)	スペイン	30	13" (230 GHz)	名古屋大学	日本	4	2.7" (115 GHz)				
Onsala	スウェーデン	20	33" (115 GHz)	KOSMA	スイス	3	56" (490 GHz)				
JCMT	アメリカ	15	14" (345 GHz)	AST/RO	南極	1.7	2" (490 GHz)				
FCRAO	アメリカ	13.7	45" (115 GHz)	CIA	アメリカ	1.2	8" (115 GHz)				
大徳電波天文台	韓国	13.7	46" (115 GHz)	東京大学 VST-1	日本	0.6	8" (230 GHz)				
紫金山天文台	中国	13.7	46" (115 GHz)	Areclibo	プエルトリコ	305 ^m	600 ^m			3"	(1.4 GHz)
APEX	チリ	12	18" (345 GHz)	RATAN-600	ロシア	600 ^m	3"			(1.4 GHz)	
Kitt Peak	アメリカ	12	30" (230 GHz)	Oortacumund	インド	529×30 ^m	2.3"×3.3" (330 MHz)				
北海道大学	日本	11	5" (22 GHz)	Nançay	フランス	300×35 ^m	3.5"×19" (1.6 GHz)				

開口合成望遠鏡									
名称	所在地	全体の大きさ	アンテナ	分解能(周波数) ¹⁾	名称	所在地	全体の大きさ	アンテナ	分解能(周波数) ¹⁾
VLBA	アメリカ	8000 km	25m 10 台	0.0003" (22GHz)	CARMA	アメリカ	2	10.4m 6 台	0.1" (230GHz)
VERA	日本	2300	20m 4 台	0.001" (22GHz)	SMA	アメリカ	508m(リング状)	6m 8 台	0.3" (345GHz)
JVN	日本	2300	64~11m 計10 台	0.001" (22GHz)	国立天文台(野辺山)	日本	570m×545m (T字)	10m 6 台	1" (115GHz)
MERLIN	イギリス	217	76~15m 計7 台	0.35" (1.6GHz)	IRAM(Plateau de Bure)	フランス	160m×288m (T字)	15m 6 台	1" (115GHz)
GMRT	インド	25	45m 30 台	9" (330 MHz)	早稲田大学	日本	20m×20m	2.4m 64 台	6" (10.6 GHz)
VLA	アメリカ	21(Y字) (拡張中)	25m 27 台	0.4" (5GHz)	国立天文台(野辺山) ²⁾	日本	489m×220m (T字)	0.8m 84 台	10" (17 GHz)
ALMA	チリ	14	12m 68 台	建設中	CBI	チリ	5.5m(同架型)	0.9m 13 台	5" (31 GHz)
ATCA	オーストラリア	6	22m 6 台	1" (10 GHz)	SSRT ³⁾	ロシア	622m×622m	2.5m 256 台	15" (5.73 GHz)
Cambridge	イギリス	5	13m 8 台	4" (2.7 GHz)	Owens Valley Solar Array ⁴⁾	アメリカ	670m×366m	27m 2 台	5.1" (18 GHz)
Westerbork	オランダ	3.2	25m 14 台	3.9" (5GHz)				3m 3 台	

1) 代表的な値のみを示した。他の周波数でも使えることが多い。 2) 固定口径面鏡 3) 特殊固定鏡 4) 半固定鏡

図 20 理科年表への掲載