

## 新たな宇宙技術者教育プログラム Fuji-sat の実践と評価

新田 英智<sup>1)2)</sup>・織原 義明<sup>1)3)</sup>・東郷 翔帆<sup>1)2)</sup>・高橋 周作<sup>1)2)</sup>・  
富田 悠登<sup>1)2)</sup>・稲崎 弘次<sup>4)</sup>・藤原 博伸<sup>5)</sup>・鴨川 仁<sup>1)2)</sup>\*

### New Education Program for Space Science and Technology, Fuji-sat

Hidetoshi Nitta<sup>1)2)</sup>, Yoshiaki Orihara<sup>1)3)</sup>, Shoho Togo<sup>1)2)</sup>, Shusaku Takahashi<sup>1)2)</sup>,  
Yuto Tomida<sup>1)2)</sup>, Koji Inazaki<sup>4)</sup>, Hironobu Fujiwara<sup>5)</sup>, and Masashi Kamogawa<sup>1)2)</sup>\*

#### Abstract

Can-sat, Balloon-sat, Cube-sat and Micro/Nano-satellite are popular education programs for space science and technology in the high school and university. Cube-sat and Micro/Nano-satellite are real satellite in the space, while Can-sat and Balloon-sat are a simulated satellite operated in atmosphere. There is a large gap of required skills between the real and simulated satellites. In order to fill the gap, we propose a Fuji-sat education program which is the long-term simulated satellite operation at the summit of Mt Fuji. In our observation of 2016, Fuji-sat is operating, using solar panel and telecommunication. For our first 4-months observation, our Fuji-sat operated well.

---

1) 東京学芸大学教育学部物理科学分野 〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

Department of Physics, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikitamachi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

2) NPO 富士山測候所を活用する会 〒102-0083 東京都千代田区麹町 1-6-9 DIK 麹町ビル 901

NPO Valid Utilization of Mt. Fuji Weather Station, DIK Koujimachi Building #901, 1-6-9 Koujimachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0083 Japan

3) 東海大学海洋研究所 〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1

Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizu-ku, Shizuoka 424-8610, Japan

4) 東山技研 〒669-1353 兵庫県三田市東山 222-2

Higashiyama Technical Research, 222-2 Higashiyama, Sanda-shi, Hyogo, 669-1353 Japan

5) 私立女子聖学院高等学校 〒114-8574 東京都北区中里 3-12-2

Joshiseigakuin High School, 3-12-2 Nakazato, Kita-ku, Tokyo 114-8574, Japan

\* Corresponding author : Masashi Kamogawa (kamogawa@u-gakugei.ac.jp)

(2017年1月25日受付 / 2017年2月3日受理)

## 緒 言

高校生および大学生のための衛星製作・運用の教育・学習課程として、学生らのレベルに合わせた Can-sat や Cube-sat などの教育プログラムが用意されている(宮崎, 2011)。しかし既存の教育プログラム間には、難易度の点において隔たりがあると指摘されている(Togo et al., 2017)。

Can-sat とは、1998年にスタンフォード大学宇宙開発研究所の Bob Twiggs 教授が提案した教育プログラムで、350 ml 缶の中に機器を搭載し、落下中に科学観測などを行うものである。運用期間が数秒～数分であり、太陽パネル等は必要ない(大学宇宙工学コンソーシアム編, 中須賀他, 2014)。Balloon-sat とは、運用期間が数時間であり、こちらも太陽パネル等は必要ない。運用空間は Can-sat よりも宇宙に近い環境で観測を行う。これらに対して、Cube-sat は、実際に宇宙空間に打ち上げられる衛星であり、科学データの取得や技術実証を行う。運用期間は、運用される軌道によるが、おおよそ 30 日前後である。同様に、宇宙空間に打ち上げられる Micro/Nano-satellite は、運用期間が数か月～数年となるので、いずれも太陽パネルによる給電が必要になる(大学宇宙工学コンソーシアム編, 中須賀他, 2014)。この二つは、それ自体がすでに衛星開発とそん色ないため、宇宙技術者教育としては非常に有効であるが、それができる学生は限られている。Table 1 に Can-sat, balloon-sat, Cube-sat, Micro/Nano-satellite の特徴をそれぞれまとめた。この表を見ると、運用期間と給電方式の面で、Can-

sat や balloon-sat と、Cube-sat や Micro/Nano-satellite との間に大きな隔たりがある。Cube-sat や Micro/Nano-satellite は実際に宇宙空間に衛星を上げることから、実衛星教育プログラムといえることができる。一方 Can-sat, balloon-sat は、実際に衛星を宇宙空間に上げないので、模擬衛星教育プログラムと呼ぶことができる。

そこで我々は、Can-sat や Balloon-sat と、Cube-sat や Micro/Nano-satellite の隔たりを埋めるような教育プログラムが必要であると考えた。その教育プログラムには、太陽パネルによる給電方式を用いた長期間運用実験であることが求められる。

我々は、NPO 富士山測候所を活用する会の一員として、富士山測候所での越冬観測を 2013 年から行っている。中学、高校の授業で使えるような安価で扱いやすいロガーの開発を目的とし、2013 年 8 月から 2014 年 6 月に越冬観測を行った。富士山測候所は、閉鎖環境で電源が確保できず、冬には室内であっても -20 度近くまで気温が下がる。この環境で、太陽パネルの電圧、気温、自身のバッテリー電圧を測定し、安定して信頼できるデータを取得できていることを確かめた(新田他, 2016)。この試みを通して、我々は、太陽パネルによる充電システムによって、富士山測候所の越冬観測が十分に行えることを確認した。そこで、Can-sat や Balloon-sat と、Cube-sat や Micro/Nano-satellite の間を埋める試みとして、富士山測候所を利用することが有効と考え、その教育プログラムの研究として NPO 富士山測候所を活用する会の学生公募研究に応募し、これを Fuji-sat プロジェクトと名付けた。本稿では、Fuji-sat プロジェクトの結果の報告と評価を行う。

Table 1 Comparison between simulated satellite education program and real satellite education program

	Can-sat	Balloon-sat	Cubu-sat & Micro/Nano-sattelite
Observation period	A few minite	A few hour	Several month to several year
Observation site	Troposphere	Troposphere and stratosphere	Space
Power supply	Battery	Battery	Solar panel and battery
Communication	Radiocommunication (Down-link)	Radiocommunication (Down-link)	Radiocommunication (Down-link and up-link)

## 富士山山頂の環境を生かした Fuji-sat プロジェクトの概要

Fuji-sat は、富士山の閉鎖環境を利用した長期データ取得の訓練であり、Can-sat や Balloon-sat などと比べて、運用期間が長くなるという特徴がある。非常に有効な教育プログラムとして確立された Can-sat や Balloon-sat に加えて、Fuji-sat を導入することによって、いままでの模擬衛星教育プログラムだけでは経験できなかった部分を補うことができる。

2013 年の越冬観測では、富士山山頂が東京都市部などに比べ、晴天率が高いことが示されている(新田他, 2016)。したがって、電力計算などがしやすく、富士山山頂では、実衛星により近い太陽パネルによる運用が可能であるといえる。

閉鎖環境は、例えば冷蔵庫に入れたり、屋上を立ち入り禁止にしたりすることで再現できるが、得られる観測データの価値といった面では富士山山頂は非常に優れた場所であるといえる。富士山で取得されるデータは、大気化学や大気電気の研究をはじめ、科学的に非常に価値が高い。富士山は孤立峰で遮蔽物がなく、人工ノイズも少ない。頂上は自由対流圏にあるため、自然に立つ灯台のように様々な観測に適している。例として、国立環境研究所によって数年にわたり実施された CO<sub>2</sub> 濃度の連続計測は、地球温暖化研究のための世界第一級データとなっており、測候所における観測研究はいずれも学術的価値が極めて高い(Nomura et al., 2016)。したがって、Fuji-sat で取得されたデータは二次的活用も期待できる。Can-sat や Balloon-sat は、運用期間で得られるデータよりも、その機器が動くかどうか重点が置かれるが、Cube-sat や Micro/Nano-satellite は、得られるデータにも重点が置かれる。Fuji-sat は得られたデータの活用という面においても、これまでの模擬衛星教育プログラムより、実衛星教育プログラムに近いといえる。

そこで、Fuji-sat プロジェクトの目的は、1) 現在短期的な観測や運用に偏っている模擬衛星教育プログラムに、長期観測を導入すること、2) 無線によるデータのダウンリンクやアップリンクといった工学的な学習活動を行うこと、さらに 3) 取得されたデータ自体を対象とする理学的な学習活動を付け加えることである。

このようなモチベーションで、Fuji-sat プロジェクトは 2014 年の夏と 2015 年の夏に行われた。これらを Fuji-sat1, Fuji-sat2 とする。この観測は、東京学芸大学、創価大学、芝浦工業大学、東海大学の学生らによって行われた。この観測では、機器をより衛星環境に近づけるため、無線通信によるデータのダウンリンクと、アップリンクによる電源オンオフをする仕様とした。しかし、これらの技術は学生には難易度が高く、また、無線資格取得などの困難があり、いずれもデータ取得には失敗している(東郷他, 2014)。

## Fuji-sat3 の仕様

Fuji-sat1, 2 では、三つある Fuji-sat プロジェクトの目的をいずれも達成できなかった。そこで 2016 年度の Fuji-sat3 では、1) 長期観測に加え、2) 無線によるデータのやり取りを SMS 通信によるデータダウンリンクに機能を絞る、3) 放射線のデータを取得し、大気圧との関係を調べることにした。

雷雲と放射線の関係は近年注目され、第三の自然放射線として研究がすすめられている。まだ発生メカニズムなど未解明な点が多いが、雷雲接近に伴う強い電場が、放射線を生み出す可能性が考えられている(Gurevich et al., 2005)。また、片倉他(2012)によれば、富士山山頂での夏季約 1 ヶ月の観測で、大気圧と放射線全カウント数は逆相関であるとしている。これらの研究の一環として、2016 年夏から富士山頂では、落雷と放射線との関係を探るための観測が行われている。この研究には 1 秒サンプリング以下の分解能を持つ計測が必要である。しかし、Fuji-sat3 の通信能力では、全データをダウンリンクすることは困難である。富士山頂における大気圧データは気象庁のホームページから取得することができる。また、大気圧と放射線カウント数の関係を調べるには日ごとの総カウント数で十分確かめられる。そこで、本研究では日ごとの総カウント数をダウンリンクし、大気圧との関係を調べることにした。また参考データとして、日ごとの落雷数もダウンリンクすることとした。

本研究では、放射線の総カウント数の計測にガイガーカウンター(CPI-SR002)を用いた。データロガーは自作のものを使用し、マイコンは ATOM-



Fig. 1 Observation system of Fuji-sat3 in the Mount Fuji Research Station

EGA1294 を使った。計測されているデータは放射線カウント数と、電源電圧である。放射線カウント数は1秒間にガイガー管に侵入した放射線の数を数えている。電源電圧は離散的に1秒ごとに記録されている。また、時刻データは他の研究データとの比較などで活用しやすくするため、開始時にGPS時刻同期を行う。その後はリアルタイムクロックモジュールによって時刻を取得する。さらに本研究のために、1日に1回集計したデータを、3GIM通信機を使ってSMS送信する。送信されるデータは各日のデータで、放射線カウント数は最大値、最小値、平均値、および1日の総量、電源電圧は1日の平均値である。太陽パネルは、SY-M30W-12太陽電池モ

ジュールを使用し、逆流を防ぐため、ソーラー充電コントローラー (CM042.1) を使用した。2013年のデータ (新田他, 2016) より、日照時間を見積もり、太陽パネル2枚、蓄電池3個が必要であると判断した。蓄電池は、冬季の過酷な環境に耐えうるものを選ぶ必要があるため、国立環境研が山頂で使用しているサイクロン G42EP をお借りした。設置状況を Fig. 1 に示す。

## 中間評価

観測を開始した2016年8月30日から同年12月31日までの約4ヶ月間のFuji-sat3の動作について評価を行った。SMS送信されたデータは、受信用の携帯端末で受信され、自動的にmailに添付されて転送される。そのメールにより、日ごとのデータ取得状況が確認できる。4ヶ月間のうち、通信によるデータ取得率は82パーセントであった。月ごとに見てみると、5日前後通信によるデータ取得に失敗している。今回のシステムでは、毎日0時に一度通信を行うが、これに失敗してしまうとデータが送信されない。これは3GIM送信機と、基地局と通信がうまくいかなかったことが原因と考えられる。データ取得率を上げるためには、失敗した場合のリトライ機能を付ける必要がある事が判明した。また、長期観測については、12月31日まで良好なデータが継続して取得されているので、おおむね成功しているといえる。

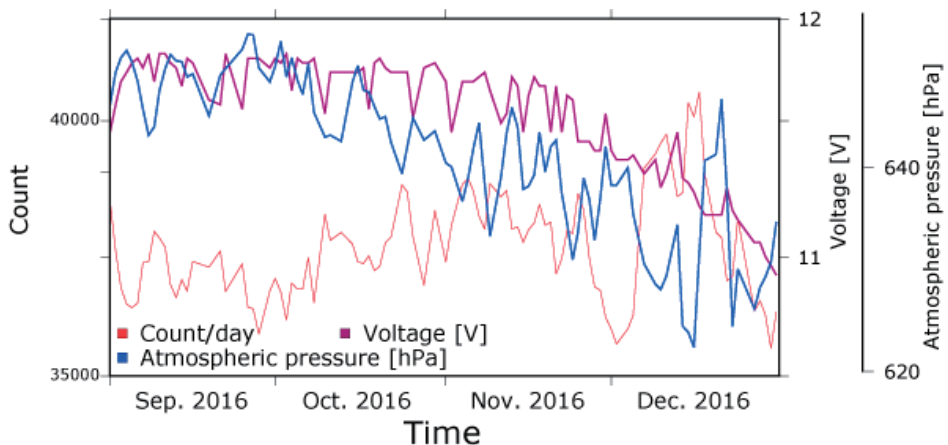


Fig. 2 Four-month variation of total amount of radiation, battery voltage and atmospheric pressure (JMA)

Fig. 2 は、2016 年 9 月 1 日 から 2016 年 12 月 31 日までの電源電圧と、一日の放射線総量、気象庁が提供している一日ごとの平均大気圧 (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>) である。これを見ると、11 月後半ごろから電源電圧が下がっていることがわかる。考えられる原因として、雪が太陽パネルを設置した窓に付着している、又は山頂で日が当たらない日が続いている可能性が考えられる。12 月中旬ごろに一度電源電圧が 11.5 V ほどまで上昇していることから、給電システムに異常はないと考えられる。大気圧と放射線量に注目すると、Fig. 2 の時系列では逆相関があるように見える。しかし、相関係数を取ると  $-0.2$  であり相関係数からは相関性が高いとは言えない。電源電圧と気圧に注目するとどちらも右肩下がりであり、相関係数を取ると  $0.5$  であった。これは、太陽パネルに日が当たらないような天気の良い日が、気圧が低い傾向があるためと考えられる。

12 月 15 日から放射線量が 4000 個を超える日が 3 日続いており、これは大気圧が最も低い 3 日間と同じ期間である。この三日間は雷雲の接近による気圧の降下で、それに伴う放射線量の増加も考えられるが、現時点では断定できない。

## 結 論

今回の実験で、富士山山頂の環境を利用して、長期データ取得、太陽パネルによる給電、SMS 通信によるデータダウンリンク、さらに取得データの活用といった面において、balloon-sat や Can-sat と、Cubu-sat や Micro/Nano-satellite の隔たりを埋められることが確認できた。2017 年 1 月現在も順調にデータ取得と送信が行われている。今後の展望として、富士山山頂では、電氣的に特異な現象が起こる場所として知られているため (Kamogawa et al., 2015)、電場計などを導入することにより、さらに価値のあるデータが取得できると考えている。また、教育的な面では、データアップリンクの機能を導入することによって、Fuji-sat は、balloon-sat や Can-sat と、Cubu-sat や Micro/Nano-satellite の隔たりを埋める教育プログラムとして、さらに充実すると考えられる。

## 謝 辞

本研究は文部科学省科学研究費挑戦的萌芽研究「富士山頂の宇宙環境類似性を活用した模擬衛星製作・運用の宇宙科学技術教育プログラム」、平成 28 年度地球環境基金助成金による援助を受けたものである。また、NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行なわれた。

## 引用文献

- Gurevich, A. V., and K. P. Zybin (2005) Runaway breakdown and the mysteries of lightning, *Physics Today*, 58, 37–43.
- Kamogawa, M., Y. Suzuki, R. Sakai, H. Fujiwara, T. Torii, Y. Kakunami, Y. Watanabe, R. Sato, S. Hashimoto, H. Okochi, K. Miura, H. Yasuda, Y. Orihara, and T. Suzuki (2015) Diurnal variation of atmospheric electric field at the summit of Mount Fuji, Japan, distinctly different from the Carnegie curve in the summertime, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 3019–3023, doi:10.1002/2015GL063677.
- 片倉翔・鳥居建男・杉田武志・保田浩志・鴨川仁 (2012) 富士山山頂における雷雲発生時における高エネルギー放射線の観測, *大気電気学会誌*, 80, 105–106.
- 宮崎康行 (2011) 人工衛星をつくる：設計から打ち上げまで, オーム社, 東京, 232p.
- 大学宇宙工学コンソーシアム編, 中須賀真一他著 (2014) *CanSat: 超小型模擬人工衛星*, オーム社, 東京, 240p.
- 新田英智・織原義明・東郷翔帆・須藤雄志・鈴木裕子・藤原博伸・稲崎弘次・鴨川仁 (2016) 学校教育に導入可能な小型測定機器を用いた富士山頂における長期測定実証実験, *東海大学海洋研究所研究報告*, 37, 15–20.
- Nomura, S., H. Mukai, Y. Terao, T. Machida, and Y. Nojiri (2016) Recent six-year atmospheric CO<sub>2</sub> concentration at the summit of Mt. Fuji observed by a battery-powered CO<sub>2</sub> measurement system, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, doi:10.5194/amt-2016-284.
- Togo, S., H. Nitta, Y. Tomida, K. Inazaki, Y. Orihara, H. Fujiwara, E. Arakawa, and M. Kamogawa (2017) GachaSat Space Education Program for Elementary Schools, UNISEC Space Takumi J., submitted.
- 東郷翔帆・須藤雄志・門倉美幸・松井一吹・川本直樹・菊池優太・枝灯里・郭哲也・熊川遼太郎・山田明美・石垣健介・梅澤洋輝・松島祐将・栗原健人・師岡幹雄・相羽亮・伊藤有紀・阿由葉翔・平山亮・新田英智・伊与田健敏・鴨川仁 (2014) 富士山山頂の極地高所環境および気球を利用した模擬衛星のミッションデータ解析, 第 59 回宇宙科学技術連合大会予稿集, IN17.