

## 夜光雲観測のための小型係留気球システムの開発—南極昭和基地における試験観測

#川上 莉奈<sup>1)</sup>, 高田 拓<sup>2)</sup>, 加藤 恵輔<sup>1)</sup>, 生亀 弘務<sup>2,3)</sup>, 鈴木 悠泰<sup>2)</sup>, 遠藤 哲歩<sup>1)</sup>, 吉田 理人<sup>4)</sup>, 富川 喜弘<sup>4,5)</sup>, 津田 卓雄<sup>6)</sup>, 石井 智士<sup>7)</sup>, 鈴木 秀彦<sup>1)</sup>

(<sup>1</sup> 明治大, (<sup>2</sup> 産技高専, (<sup>3</sup> 信州大, (<sup>4</sup> 総研大, (<sup>5</sup> 極地研, (<sup>6</sup> 電通大, (<sup>7</sup> 立教大)

## Development of a small tethered balloon system for NLC observation. -Result of the test operation in Syowa Station, Antarctica

#Rina Kawakami<sup>1)</sup>, Taku Takada<sup>2)</sup>, Keisuke Kato<sup>1)</sup>, Hiromu Ikigame<sup>2,3)</sup>, Yuta Suzuki<sup>2)</sup>, Akiho Endo<sup>1)</sup>, Lihito Yoshida<sup>4)</sup>, Yoshihiro Tomikawa<sup>4,5)</sup>, Takuo Tsuda<sup>6)</sup>, Satoshi Ishii<sup>7)</sup>, Hidehiko Suzuki<sup>1)</sup>

(<sup>1</sup>Meiji university, (<sup>2</sup>Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, (<sup>3</sup>Shinshu University, (<sup>4</sup>The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI, (<sup>5</sup>National Institute of Polar Research, (<sup>6</sup>University of Electro-Communications, (<sup>7</sup>Rikkyo University)

We are developing a small tethered balloon system to observe noctilucent clouds (NLCs) above lower clouds, which often prevent NLCs observation from the ground. The first test observation using a small action camera held in Hokkaido, Japan revealed that twisting motion around the tethering wire caused significant blurring in most images taken during nighttime. In addition, unexpected wire cutting occurred several times due to an over-tension caused by the manually operated winch [Ishii et al., 2023]. The second test observation was conducted by introducing the simple stabilizer with the camera and an electric reel as a new winch in a coastal area of Ibaraki, Japan in September 2022 [Kawakami et al., 2022]. In this test observation, we made a round-trip flight up to 2 km altitude in 77 minutes. The performance of the stabilizer was also verified in this experiment. As a next step, we have conducted the 3rd test observation in Syowa Station, Antarctica during the summer operation period of the 65th Japanese Antarctic Research Expedition from December 2023 to February 2024. In this paper, we present the results of the first test observation held in a cold circumstance.

The system consists of a rubber balloon (350 g), a small action camera (GoPro HERO10), a simple stabilizer with 4 wings, an environmental monitoring module with a transmitter, tethering wire (a polyethylene line No.8 for fishing), the winch (Miyaepoch CZ-15), and a receiver system on the ground. The net weight of the payload is 1.1 kg and the environmental monitoring module consists of several sensors (GPS, atmospheric pressure, temperature, UV irradiance, 9-axis motion) and the transmitter (LoRa band) to send these parameters to the ground receiver. We consume helium gas for 1.7 m<sup>3</sup> in typical.

We conducted test observations in the main area of Syowa Station only during nighttime (20:00-23:00 in the local time) and under calm ground weather conditions. We interrupt observation when the angle between the tethering wire and the ground surface is below 45 degrees or the ground wind speed exceeds 3 m/s for safety reasons. Totally 6 times flights were carried out between the end of December 2023 and beginning of February, 2024. The highest flight altitude was 1,987 m from the ground and it cost 98 minutes for round-trip. If we exclude the time for intentional dwell at several levels it shrinks to 65 minutes. We verified the effect of the stabilizer by evaluating a variation of an angular velocity around the wire (i.e. yaw axis) recorded by the motion sensor. As a result, the angular velocity was limited within the allowance value which is defined based on the typical exposure time for the NLC imaging (1 sec [Suzuki et al., 2022]) for 2066 seconds of total flight time (2922 seconds) at the highest altitude during the flight on Jan 21.

We verified the ability of the stabilizer under relatively calm weather conditions. However, we need additional ingenuity to surely aim the camera to a poleward direction since our stabilizer is passive to the upper wind. The upper range of the flight altitude is also required to be extended since the lower clouds were distributed up to 3~4 km in the Antarctic region according to the lidar data. We need to consider the technical solution to extend the upper limit of the altitude of our system as a next step.

地球大気中で最も高高度 (高度 85 km) に発生する雲である「夜光雲」の観測数を増やすため、低層雲に観測が阻まれない小型係留気球による夜光雲観測システムの開発を行っている。先行研究 [石井他, 2023] では係留索のねじれによってカメラが回転してしまい、夜光雲を検出できないほどの画像のブレが生じてしまった。また、自作の巻き上げ機を使用した。係留索を巻き取る際のトルクの微調節が困難であり、複数回の係留索断裂を起こしてしまう等多くの課題が生じた。そこで簡易姿勢安定装置 (スタビライザー) を開発し、観測システムに搭載した。また、係留索巻き取り機構は釣り用の電動リールを用いて 2022 年 9 月に茨城県大洗海岸にて試験を実施し、高度 2 km までの往復飛揚を 77 分で実現することができた [川上他, 2022]。本発表では寒冷地における小型係留気球による観測オペレーションを確立するために 2023 年 12 月から 2024 年 2 月にかけて南極昭和基地で実施した飛揚試験の報告を行う。

観測システムは、風船、パラシュート、アクションカメラ (GoPro HERO10)、4 本羽式スタビライザー、環境計測装置及び送信機からなる観測装置、係留索、巻き取り機、地上用データ受信機で構成される。ペイロード (風船以外の搭載機器) 重量は 1.1 kg であり、観測装置には各種センサ (GPS、気圧、気温、紫外光、9 軸センサ)、地上と通信するためのモジュールが搭載されている。風船は気球製作所製の 350 g ゴム気球を用いており、典型的なヘリウム量は 1.7 m<sup>3</sup>/回である。係留索は PE ラインの 8 号を使用した。

実験は南極昭和基地の主要部周辺で行った。安全に観測を実施するための条件は地上風速が 3 m/s 以下、地上付近での係留索の仰角を 45 度以上とした。観測は 2023 年 12 月から 2024 年 2 月にかけて計 6 回行った。観測時間は 20:00-23:00(LT) の夜間に限り、最高到達高度は 1,987 m、その際の往復飛揚時間は 98 分であった。GoPro を用いて夜光雲を観測するとき、典型的に必要な露光時間は 1 秒程度である [Suzuki et al., 2022] ことから、夜光雲を画像から識別するために必要な安定度を仮定しスタビライザーの性能評価を行った。飛揚中のカメラにとって主に問題となるのはヨー軸周りの回転である。そこでヨー軸周りの角速度の値に基づいて姿勢安定度の評価を行った。高度約 2 km まで飛揚させた 1 月 21 日の試験では 2922 秒中 2066 秒が許容角度以下であり、スタビライザーの性能が検証された。加えて高度約 2 km までの往復飛揚時間は意図的な滞留時間を除外すると約 65 分であった。

本研究で開発したスタビライザーは上空の風を利用した受動的な安定機構であり、カメラの方角を制御することはできない。しかし、夜光雲は極域側に出現するためカメラの視野方位を制御可能なシステムを導入する必要があることが課題である。また、南極昭和基地の試験で撮影された映像には、高度約 2 km まで飛揚させてもさらに上空に雲が映っていた。このことから飛揚高度は高度 2 km 以上である必要があり、今後は高度 4 km まで飛揚させ中層雲高度を超える観測の実現を目指す。