

S001-01

B会場：11/25 AM2 (10:30-12:00)

10:40～11:00

GRUAN：気候監視のための基準高層気象観測ネットワーク

#藤原 正智¹⁾

⁽¹⁾ 北大地球環境

GRUAN: A reference upper-air sounding network for climate monitoring

#Masatomo Fujiwara¹⁾

⁽¹⁾ Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

The Global Climate Observing System (GCOS) Reference Upper-Air Network (GRUAN, <https://www.gruan.org/>) is an international reference observing network of sites measuring essential climate variables above Earth's surface, designed to fill an important gap in the current global observing system. GRUAN measurements are providing long-term, high-quality climate data records from the surface, through the troposphere, and into the stratosphere. These are being used to determine trends, constrain and calibrate data from more spatially-comprehensive observing systems (including satellites and current radiosonde networks), and provide appropriate data for studying atmospheric processes. GRUAN is envisaged as a global network of eventually 30-40 sites that, to the extent possible, builds on existing observational networks and capabilities. In the presentation, an overview of GRUAN as well as GRUAN data products for radiosondes will be given.

S001-02

B 会場 : 11/25 AM2 (10:30-12:00)

11:00~11:20

高層気象観測の高度化を目指した気象用ゴム気球による高度制御技術

#清水 健作¹⁾, 杉立 卓治¹⁾

(¹⁾ 明星

Altitude Control Technique with Latex Balloons for Advanced Upper Air Observations

#KENSAKU SHIMIZU¹⁾, TAKUJI SUGIDACHI¹⁾

(¹⁾ MEISEI ELECTRIC CO., LTD

For over a century, latex weather balloons have served as a crucial tool for launching radiosondes into the stratosphere, providing fundamental data that supports current weather and climate observation and forecast systems. These balloons are characterized by their low cost and ease of handling. A latex weather balloon costs less than 1/100th of the price of a plastic film balloon carrying the same payload and can be launched anywhere in the world without the need for special facilities. Additionally, as they are primarily made of natural rubber, they are expected to be biodegradable after falling. However, latex weather balloons can only lift payloads of a few to 10 kg and can only fly for a few hours as they expand due to the low pressure in the upper atmosphere and eventually burst.

Until now, long-duration flights of more than a day have only been possible with plastic film balloons. However, if a latex weather balloon could be used for long-duration flights, weather observation from the stratosphere could be achieved at an unprecedentedly low cost. Meisei Electric is developed a buoyancy control system (BCS) with a payload of less than 1 kg to enable long-duration flights in latex weather balloons.

According to the "Rule of the Air" in ICAO, light balloon category can launch with up to a 4kg payload. Therefore, a latex weather balloon equipped with a BCS can launch up to 3kg of mission payload and fly for more than a day. The BCS can reduce or increase the balloon's buoyancy, allowing the latex weather balloon to be stopped at the target altitude, re-ascended, and re-descended.

Currently, this technology is intended for use in inexpensive drop-sonde observations over ocean and for use a communication relay hub.

100年以上にわたり、ゴム製の気象観測用気球は、ラジオゾンデを成層圏に打ち上げるための重要なツールとして活用されてきました。この気球によるラジオゾンデ観測は、現在の気象・気候観測・予報システムを支える基本的で重要なデータを提供しています。この気球の特徴は、低コストで取り扱いが容易であることで、同じペイロードを持つプラスチック製のフィルム気球の1/100以下のコストで製造可能であり、特別な設備なしに世界中のどこでも打ち上げることが挙げられます。さらに、主に天然ゴムで作られているため、落下後には生物分解性を持っていると考えら環境負荷も小さいです。しかし、ゴム製の気象観測用気球は、数 kg から 10kg のペイロードしか持ち上げることができず、上層大気の低圧により膨張し、最終的に破裂するため、数時間しか飛行できません。

これまで、1日以上の上長時間飛行が可能だったのは、プラスチック製のフィルム気球だけでした。しかし、ゴム製の気象観測用気球が長時間飛行に利用できれば、成層圏からの気象観測がこれまでにない低コストで可能になることが期待されます。明星電気は、ゴム製の気象観測用気球での長時間飛行を可能にするため、1kg未満の重量で浮力制御システム(BCS)を開発しました。

ICAOの「Rule of the Air」によれば、軽気球のカテゴリーに分類される気球は最大4kgのペイロードを打ち上げることができます。したがって、BCSを搭載したゴム製の気象観測用気球は、最大3kgの観測機器を打ち上げ、1日以上飛行することができます。BCSは気球自身の浮力を増減させることができるため、観測機器を搭載したこの気球は、目標の高度で停止させたり、再上昇、再下降させるなど、自由に気球の高度を変更することができます。

現在、明星電気ではこの技術を利用して太平洋や東シナ海での低コストなドロップゾンデ観測や、各種通信機器の中継装置としての利用を目指しています。



S001-03

B会場：11/25 AM2 (10:30-12:00)

11:20～11:40

大型ゴム気球を用いた高高度ラジオゾンデ観測で得られた中上部成層圏の擾乱活動について

#木下 武也¹⁾, 荻野 慎也¹⁾, 鈴木 順子¹⁾, 城岡 竜一¹⁾

¹⁾ 海洋研究開発機構

On perturbations in middle and upper stratosphere obtained from high-altitude radiosonde observations using large rubber balloons

#Takenari Kinoshita¹⁾, Shin-Ya Ogino¹⁾, Junko Suzuki¹⁾, Ryuichi Shirooka¹⁾

¹⁾ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

The stratosphere, especially above 30 km altitude, is a region with fewer in-situ observations compared to lower altitude regions since the end of standard rocketsonde observations in the 1990s. Consequently, progress in understanding interaction between wave activities and dynamical general circulation in the middle and upper stratosphere has been delayed. With the purpose to evaluate the interaction, we have been conducting high-altitude radiosonde observations using large rubber balloons to obtain in-situ observation data in the middle and upper stratosphere. In this presentation, we will present the results of our investigation of the remarkable temperature-depleted layer and waves observed during the intensive observations in Okinawa since 2022, the initial results of the high-altitude radiosonde observations conducted from June to July 2024 on the Oceanographic Research Vessel “MIRAI”, and future observations.

成層圏、特に高度 30km 以上の領域は、1990 年代にロケットゾンデによる定常観測が終わって以降、それ以下の高度域に比べ直接観測の少ない領域である。そのため中上部成層圏の子午面循環と、それを駆動する擾乱活動の相互作用に関する理解は遅れている。そこで、我々は中上部成層圏の直接観測データを取得し、大気波動とそれに伴う物質輸送を評価する目的で、大型ゴム気球を用いた高高度ラジオゾンデ観測を実施してきた。本発表では 2022 年から実施している沖縄での集中観測で見られた顕著な温度低下層と波について調べた結果、そして 2024 年 6～7 月に実施した海洋地球研究船「みらい」における高高度ラジオゾンデ観測の初期結果、今後の観測について発表する。

S001-04

B会場：11/25 AM2 (10:30-12:00)

11:40～12:00

取下げ

S001-05

B会場：11/25 PM1 (13:15-15:15)

13:15～13:35

成層圏気球実験を用いた継続的な人材育成の取り組み

#前田 恵介¹⁾, 秋山 演亮²⁾

(¹九州工業大学, (²和歌山大学

Continuous Human Resource Development Initiatives using Stratospheric Balloon Experiments.

#KEISUKE MAEDA¹⁾, HIROAKI AKIYAMA²⁾

(¹Kyushu Institute of Technology, (²Wakayama University

We have been conducting a stratospheric balloon experiment with Institute of Engineering and Technology (IET) and Mongol Kosen College of Technology in Mongolia since 2016. Based on these results, we have conducted space education activities in Japan using stratospheric balloon experiments as space education tool. We have successfully conducted three stratospheric balloon experiments in Fukuoka, Kochi, and Ehime prefectures. From September 2022, we have held a joint stratospheric balloon experiment for university students and a stratospheric balloon KOSHIEN for high school and technical college students in Ehime Prefecture. And starting in 2023, we have conducted a joint stratospheric balloon experiment project for Japanese and Mongolian students. This paper is study of capability of stratospheric balloon experiment as space education tool in Japan and abroad.

2016年からモンゴル工科大学、モンゴル高専と連携し成層圏気球実験を実施しており、この成果を踏まえ、日本国内でも成層圏気球実験を教材として宇宙教育活動を実施してきた。これまでに福岡県、高知県、愛媛県で3回の成層圏気球実験を実施し、2022年9月から愛媛県で大学生を対象とした成層圏気球共同実験と高校生・高専生を対象とした気球甲子園を実施している。また、2023年から日本とモンゴルの学生を対象とした成層圏気球共同実験プロジェクトを実施している。本稿では、それら成層圏気球実験の宇宙教育教材として用いた継続的な人材育成の取り組みについて報告する。

S001-06

B会場：11/25 PM1 (13:15-15:15)

13:35～13:55

JAXA 大気球実験の概要と展望

#福家 英之¹⁾

⁽¹⁾ 宇宙航空研究開発機構

Recent Progress and Future Prospect of JAXA Scientific Balloon Program

#Hideyuki Fuke¹⁾

⁽¹⁾ Japan Aerospace Exploration Agency

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は宇宙科学用の飛翔機として大気球実験を運用している。北海道大樹町での毎夏のキャンペーンに加え、数年おきにオーストラリア等の海外でも実験を実施しており、広範な学術分野にて活用されている。本発表では、JAXA の大気球実験事業の近況を概報するとともに、気球実験に係る JAXA 内外の展望を述べる。

S001-07

B会場：11/25 PM1 (13:15-15:15)

13:55~14:15

#田口 真¹⁾, 河野 大輔¹⁾, 江口 倫太郎¹⁾, 高橋 幸弘²⁾, 佐藤 光輝²⁾, 高木 聖子²⁾, 大野 辰遼²⁾, 濱本 昂²⁾, 莊司 泰弘³⁾, 皿井 元葵³⁾, 中野 壽彦⁴⁾, 今井 正堯⁵⁾

(¹⁾立教大・理, (²⁾北大・理, (³⁾金沢大・理工, (⁴⁾大分高専, (⁵⁾東大・理

Long-duration continuous observation of planets by the circumpolar stratospheric telescope FUJIN

#Makoto Taguchi¹⁾, Daisuke Kohno¹⁾, Rintaro Eguchi¹⁾, Yukihiro Takahashi²⁾, Mitsuteru SATO²⁾, Seiko Takagi²⁾, Tatsuharu Ono²⁾, Ko Hamamoto²⁾, Yasuhiro Shoji³⁾, Motoki Sarai³⁾, Toshihiko Nakano⁴⁾, Masataka Imai⁵⁾

(¹⁾College of Science, Rikkyo. University, (²⁾Graduate School of Science, Hokkaido University, (³⁾Graduate School of Science and Engineering, Kanazawa University, (⁴⁾National Institute of Technology, Oita College, (⁵⁾Graduate School of Science, The University of Tokyo

It is essentially important to capture temporal and spatial variations for a long period for understanding phenomena in planetary atmospheres and plasmas. A balloon-borne telescope FUJIN has been developed for a long-duration continuous observation of planets from the polar stratosphere which is the ideal place for an optical observation of planets. It will be possible to utilize FUJIN as a quasi-permanent observatory floating in the stratosphere, if a durable super-pressure balloon is available. This paper describes an overview of FUJIN and expectation for practical application of the super-pressure balloon.

The initial goal of the FUJIN project is to achieve success with a short flight, lasting about half a day, over Australia [Imai et al., 2023]. In this experiment, a zero-pressure balloon will be sufficient to meet the flight requirements.

The next step for FUJIN is to aim for long-term continuous observation of planets through a polar orbit experiment. Potential locations for balloon experiments include the Arctic and Antarctic regions. For experiments in the Arctic region, the balloon will be launched from ESRANGE in Kiruna, Sweden. The scenarios considered include a 1-2 day flight within the Scandinavian Peninsula during the period when the stratospheric wind direction changes and wind speed weakens, as well as a polar orbit flight or part of its route during summer or winter, when the east-west wind speed is stable. The polar orbit flight could last up to about two weeks. For experiments in the Antarctic region, a flight circling the continent during summer is envisioned, similar to the Polar Patrol Balloon experiment previously conducted at Showa Station.

Except for experiments confined to the Scandinavian Peninsula, all of these scenarios can utilize super pressure balloons. Unlike zero-pressure balloons, where the flight duration is limited by the amount of helium gas and ballast, the use of super pressure balloons greatly increases the freedom of the experiment. This also allows for the possibility of multiple circumnavigations in the polar jet stream.

As a conceptual idea, there is also the vision of a semi-permanent floating observatory in the stratosphere using super pressure balloons. In the stratosphere near the poles, high-pressure or low-pressure vortices (polar vortices) form depending on the season. Since the horizontal wind speed at the center of a polar vortex is zero, a balloon could be floated there to remain stationary at the center of the vortex. If a gondola, lifted into the stratosphere by a super pressure balloon, is equipped with a propulsion mechanism to actively move horizontally in the air, it could be moved to the center of the polar vortex, realizing a floating observatory. This floating observatory would be launched at the appropriate time of year and would take about a month to move to the center of the polar vortex. It would then conduct regular observations of various celestial bodies and, after six months to a year, would be brought back to its home base over a period of about a month for recovery. The recovered gondola would undergo maintenance and be prepared for the next flight. In this scenario, the super pressure balloon would need to be durable enough to last for more than a year.

A floating observatory would offer far better seeing conditions than large telescopes installed at high altitudes on the ground, allowing observations under conditions with almost no infrared absorption from water vapor or carbon dioxide. Additionally, it would benefit from regular maintenance services on the ground, something that is not possible for satellite telescopes. The practical application of highly durable super pressure balloons is a key technology for realizing a floating observatory.

References

Imai et al.: Spectroscopic and Imaging Observation of the Venus Atmosphere by a Balloon-Borne Stratospheric Telescope FUJIN-2, JESA / 33rd ISTS, 2023.

S001-08

B会場：11/25 PM1 (13:15-15:15)

14:15~14:35

成層圏大気の直接採取による温室効果気体及び関連気体の高精度観測

#森本 真司¹⁾, 菅原 敏²⁾, 石戸谷 重之³⁾, 豊田 栄⁴⁾, 後藤 大輔⁵⁾, 亀崎 和輝³⁾, 本田 秀之¹⁾

¹⁾ 東北大・院理, ²⁾ 宮城教育大, ³⁾ 産業技術総合研究所, ⁴⁾ 東京工業大, ⁵⁾ 極地研

Systematic observations of greenhouse gases and related constituents in the stratosphere by using balloon-borne air sampler

#Shinji Morimoto¹⁾, Satoshi Sugawara²⁾, Shigeyuki Ishidoya³⁾, Sakae Toyoda⁴⁾, Daisuke Goto⁵⁾, Kazuki Kamezaki³⁾, Hideyuki Honda¹⁾

¹⁾ Graduate School of Science, Tohoku University, ²⁾ Miyagi U. of Education, ³⁾ AIST, ⁴⁾ Tokyo Institute of Technology, ⁵⁾ NIPR

To understand the current state of greenhouse gases in the atmosphere and predict future changes in the atmospheric environment, it is necessary to figure out their spatiotemporal variations in the stratosphere. Observations by direct sampling of stratospheric air using scientific balloons have great advantages in terms of a number of analyzable components and measurement accuracy. In Japan, our group developed a cryogenic air sampler (cryo-sampler) using liquid helium in the 1980s and has used it in Japan and overseas experiments. In particular, the observations over Japan have continued every 1 to 5 years for about 40 years since 1985. In addition, the "J-T sampler" was developed also by our group by 2007 to collect stratospheric air using liquid neon produced from high-pressure neon gas, and has been used in overseas experiments. The observations have revealed the vertical distribution and secular changes of greenhouse gases, major atmospheric components such as oxygen and argon, and their isotope ratios in the stratosphere. Using these results, we have obtained new findings such as long-term changes in the time elapsed after air parcels are transported from the troposphere to the stratosphere (atmospheric age), the existence of vertical distributions of the composition of major atmospheric components, and estimation of the photolysis and reaction pathways of CH₄ and N₂O.

To clarify the temporal variations in physical and chemical processes in the stratosphere from the long-term changes in greenhouse gases and major atmospheric components, it is crucial to continue observations by direct air sampling of stratospheric air using scientific balloons. To this end, it is necessary to reduce the man-powers required for balloon observations by improving cryo-samplers, and to improve the accuracy and efficiency of atmospheric component analysis. In addition, observations of new atmospheric components are expected to provide information on air transport in the stratosphere and material exchange between the troposphere and stratosphere.

大気中の温室効果気体の現状を把握し、将来の大気環境の変化を予測するためには、対流圏だけでなく成層圏におけるそれらの時空間的変動を詳細に監視する必要がある。成層圏大気の観測には、分析装置を成層圏に持ち上げて観測するその場観測やリモートセンシングなどの方法もあるが、大気球を用いた成層圏大気の詳細採取による観測は測定項目と精度の面で大きなメリットがある。日本では1980年代に宇宙科学研究所によって液体ヘリウムを用いたクライオサンプラー（冷却した真空容器を飛ばさせ、観測高度でバルブを開いて成層圏大気試料を固化・液化採取）が実用化され、国内実験や海外実験（キルナ、昭和基地）で使用してきた。特に日本上空の観測は1985年から現在まで約40年にわたって、1～5年の間隔で継続している。また、2007年までに高圧ネオンガスを断熱膨張させて生成した液体ネオンを用いて成層圏の大気採取を行う「J-T サンプラー」を実用化し、海外実験（昭和基地、インドネシア、白鳳丸船上）で使用してきた。

これまでの観測により、日本上空の成層圏における温室効果気体や酸素・アルゴンなどの大気主成分、そしてそれらの同位体比の鉛直分布と経年変化が明らかになり、それらを用いて空気塊が対流圏から成層圏に輸送された後の経過時間（大気年齢）の長期変化や、大気主成分組成の鉛直分布の存在、CH₄ や N₂O の光分解・反応経路の推定等の成果が得られている。さらに、両極域や赤道域での観測から、温室効果気体や大気年齢の緯度分布なども検出され、成層圏における大気物質輸送に関する研究に貢献している。

今後、成層圏における温室効果気体や大気主成分の長期変化から物理・化学的な諸過程の変動を明らかにするために、まず、大気球を用いた成層圏大気の詳細採取による観測の継続が重要である。そのためには、クライオサンプラー、J-T サンプラーの改良による気球観測の省力化を進めるとともに、大気成分分析の高精度化・効率化など、サンプル分析面での高度化も必要である。さらに、新たな大気成分の観測により、成層圏での物質輸送や、対流圏と成層圏の物質交換に関する情報が得られると期待される。

S001-09

B会場：11/25 PM1 (13:15-15:15)

14:35~14:55

長時間飛翔用スーパープレッシャー気球の開発

#齋藤 芳隆¹⁾

(¹JAXA

Development status of super-pressure balloons for long-duration flight

#Yoshitaka Saito¹⁾

(¹Japan Aerospace Exploration Agency

The super pressure balloon is a new type of balloon that maintains a constant volume regardless of sunlight, for stable buoyancy and long-duration flights. Conventional zero-pressure balloons, which have been widely used in scientific experiments, are equipped with exhaust ports at their tails to equalize the internal gas pressure with atmospheric pressure, preventing rupture due to gas expansion caused by ascent or sunlight. However, zero-pressure balloons have the limitation of reduced volume and buoyancy loss at sunset, making long-duration flights difficult. The super pressure balloon was designed to solve these problems, requiring both pressure resistance to withstand increased gas pressure due to sunlight and gas-tightness to keep gas over long periods. Large super-pressure balloons have been used in scientific experiments by NASA since 2016, but their flight altitude remains limited to 33.5 km, indicating that the technology is still in its developmental stages. From a scientific perspective, their ability to maintain a constant altitude makes them suitable for atmospheric science experiments, and their capacity to carry approximately one ton of equipment and remain in the upper

atmosphere holds potential for applications in astronomy and cosmic ray science experiments. In 2010, we succeeded in developing a lightweight, pressure-resistant balloon by covering the membrane with a high-tensile-strength fiber net, and we have continued to develop this type of balloon since then. In 2018, we further enhanced gas-tightness by introducing double-layered membrane structure, and in 2022, we conducted the first scientific experiment in Japan using a super pressure balloon with a volume of 200 m³ in Antarctica. We also tried a flight test of a 2,000 m³ balloon in 2024. In this presentation, we will introduce the principles of this type of balloon and report on the current status of its development.

スーパープレッシャー気球は、日照の有無にかかわらず気球の体積を一定に保つことで浮力を維持し、長時間の飛翔が可能となる新しい気球である。これまで広く科学実験に利用されてきたゼロプレッシャー気球は、気球の尾部に排気口を設けることで内部のガスを大気圧と等圧にし、気球の上昇や日照によるガスの膨張での破裂を防いでいた。しかし、日没に伴い体積が減少し浮力が低下するため、長時間の飛翔が難しいという課題があった。スーパープレッシャー気球は、この課題を解消する気球であり、その成立には、日照によるガス圧の上昇に耐える耐圧性と、長時間にわたりガスを封じ込める気密性が必要である。大型のスーパープレッシャー気球は、NASAによって2016年から科学実験に使用されているが、飛翔高度は33.5 kmに留まり、依然として技術は発展途上である。科学実験の観点から見ると、同一高度を飛翔できることから大気科学実験に適しており、また、約1トンの装置を搭載して大気の上層に留まれるようにし、天文学や宇宙線科学実験で利用することも計画されている。我々は2010年に、皮膜に高張力繊維の網をかぶせることで軽量かつ耐圧性能を持たせる方法を見だし、以降、この型の気球の開発を進めてきた。2018年には、皮膜を二層にすることで気密性能を向上させることに成功し、2022年には体積200 m³の気球を南極で飛翔させ、日本初のスーパープレッシャー気球を用いた科学実験を開始した。そして2024年には、体積2,000 m³の気球の飛翔試験に挑戦している。本講演では、この型の気球の原理について紹介し、現在の開発状況を報告する。

S001-10

B会場：11/25 PM1 (13:15-15:15)

14:55～15:10

南極域における大気重力波のスーパープレッシャー気球観測 (LODEWAVE: Long-Duration balloon Experiment of gravity WAVE over Antarctica)：第2回キャンペーン観測の報告

#富川 喜弘^{1,10}, 齋藤 芳隆², 村田 功³, 佐藤 薫⁴, 平沢 尚彦¹, 高麗 正史⁴, 中篠 恭一⁵, 秋田 大輔⁶, 松尾 卓摩⁷, 藤原 正智⁸, 加保 貴奈⁹, 吉田 理人¹⁰, 川上 莉奈¹¹

(¹ 極地研, (²JAXA, (³ 東北大院・環境, (⁴ 東大院理, (⁵ 東海大工学部, (⁶ 東京工業大学環境・社会理工学院, (⁷ 明治大学理工学部, (⁸ 北海道大学大学院地球環境科学研究院, (⁹ 湘南工科大学大学院工学研究科, (¹⁰ 総研大先端学術院, (¹¹ 明大

Preliminary results of LODEWAVE Phase II

#Yoshihiro Tomikawa^{1,10}, yoshitaka saito², Isao Murata³, Kaoru Sato⁴, Naohiko Hirasawa¹, Masashi Kohma⁴, Kyoichi Nakashino⁵, Daisuke Akita⁶, Takuma Matsuo⁷, Masatomo Fujiwara⁸, Takana Kaho⁹, Lihito Yoshida¹⁰, RINA KAWAKAMI¹¹

(¹National Institute of Polar Research, (²Japan Aerospace Exploration Agency, (³Department of Environmental Studies, Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, (⁴Graduate School of Science, The University of Tokyo, (⁵School of Engineering, Tokai University, (⁶School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, (⁷School of Science and Technology, Meiji University, (⁸Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, (⁹Graduate School of Engineering, Shonan Institute of Technology, (¹⁰The Graduate Institute for Advanced Studies, SOKENDAI, (¹¹Meiji University

The second observation campaign of LODEWAVE (Long-Duration balloon Experiment of gravity WAVE over Antarctica) was conducted at Syowa Station, Antarctica from January to February 2024. Based on the results of the first observation campaign, in which the flight duration was less than 3 days, we improved the balloons and succeeded in releasing two new balloons, but the flight duration was less than 3 days in both cases. In this presentation, we will report the results of the preliminary analysis of the data obtained from this observation and our future plan.

南極域における大気重力波のスーパープレッシャー気球観測計画 (LODEWAVE: Long-Duration balloon Experiment of gravity WAVE over Antarctica) の第2回の集中観測を、2024年1月～2月に南極昭和基地において実施した。飛行期間が3日以下にとどまった第1回集中観測の結果をもとに、気球の改良を実施し、2機の新型気球を放球することに成功したが、飛行期間はいずれも3日以内にとどまった。本発表では、同観測で得られたデータの初期解析結果と、今後の方針・計画について報告する。

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¹⁾, 高田 拓²⁾, 加藤 恵輔¹⁾, 生亀 弘務^{2,3)}, 鈴木 悠泰²⁾, 遠藤 哲歩¹⁾, 吉田 理人⁴⁾, 富川 喜弘^{4,5)}, 津田 卓雄⁶⁾, 石井 智士⁷⁾, 鈴木 秀彦¹⁾

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

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

#Rina Kawakami¹⁾, Taku Takada²⁾, Keisuke Kato¹⁾, Hiromu Ikigame^{2,3)}, Yuta Suzuki²⁾, Akiho Endo¹⁾, Lihito Yoshida⁴⁾, Yoshihiro Tomikawa^{4,5)}, Takuo Tsuda⁶⁾, Satoshi Ishii⁷⁾, Hidehiko Suzuki¹⁾

(¹Meiji university, (²Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, (³Shinshu University, (⁴The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI, (⁵National Institute of Polar Research, (⁶University of Electro-Communications, (⁷Rikkyo 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 m³ 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 m³/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。