



やさしい解説
-気象学動静-

501 : 108 (スーパープレッシャー気球；大気重力波)

スーパープレッシャー気球は南極の空を飛ぶ

富 川 喜 弘*

1. 気球を使った大気の観測

気球は、人工衛星、ロケット、航空機に並ぶ重要な飛翔体であり、特に成層圏の大気を大きく乱すことなく直接 (in situ) 観測できるほぼ唯一の手段です。人工衛星、ロケット、航空機と比較すると、格段に低コスト (1/10~1/1000) であることや、小型の気球であれば船上など様々な場所で実験可能な高い機動性を有することが特徴です。

大気の観測には主に3種類の気球が使われています。最もよく使われているのが重さ1kg前後のゴム気球です。気象庁は毎日2回、ヘリウムまたは水素ガスを詰めたゴム気球にラジオゾンデと呼ばれる気象観測装置を吊るして飛ばし、高度30km付近までの気象データ (気温、気圧、湿度、風速) を取得する観測を日本全国の17か所 (南極昭和基地を含む) で行っています。このデータは準リアルタイムで全世界に配信され、各国の気象局が行う日々の天気予報に生かされています。

次によく使われるのが、大気球と呼ばれるポリエチレンフィルム製の大きな気球で (矢島ほか 2004)、大きいものは直径100mにも達し、搭載可能な観測装置の重量は1tを超えるものもあります。通常用いられているのがゼロプレッシャー気球と呼ばれる大気球で、気球下部の排気口を通じて外気と接しており、気球内外の圧力が等しくなっているのが特徴です。日本ではJAXA 宇宙科学研究所の大気球実験グループが国内外での大気球実験を担っており、2013年には厚さ2.8 μ m (サララップより薄い!) の超薄膜ポリエチ

レンフィルムの大気球で到達高度53.7km という世界記録を達成しました (斎藤 2014)。

そして、最近注目を集めているのがスーパープレッシャー気球と呼ばれる大気球です。スーパープレッシャー気球もポリエチレンフィルムなどの素材で作られていますが、ゼロプレッシャー気球とは異なり、気球下部の排気口がありません。ゼロプレッシャー気球は日が沈んで日射が無くなると気球内のガスの温度が下がってしぼんでしまうため、浮力を失って高度が下がります。そのため、日が沈むとバラスト (浮力調節のための重し) を投下して高度を維持しますが、搭載できるバラストの量には限界があるため、飛揚可能期間は限られています。一方、排気口を持たないスーパープレッシャー気球は、昼夜問わず体積 (つまり浮力) を一定に保つことで、ほぼ同じ高度 (厳密には等密度面) を長期間 (長ければ100日以上) 飛揚することができます。このような長期フライトを実現するために、スーパープレッシャー気球には昼の気球内外の圧力差に耐える高い耐圧性と、気球内のガスを逃がさない高い気密性が求められます。このような仕様を満たすスーパープレッシャー気球はフランスやアメリカで既に実用化され、科学観測 (例えば, Rabier *et al.* 2010) だけでなく商業利用 (例えば, Katikala 2014) も進んでいます。

2. LODEWAVE

筆者らを含む研究グループは、南極昭和基地において大型大気レーダー観測 (Sato *et al.* 2014) や各種気球観測 (Sato and Yoshiki 2008) を実施し、それらの高時間・高鉛直分解能データを生かして大気重力波に関する研究を実施してきました。大気重力波は、運動量を遠方へ輸送・供給することで全球規模の子午面循環を駆動し、成層圏・中間圏の温度・物質分布の決定

* Yoshihiro TOMIKAWA, 国立極地研究所.

〒190-8518 東京都立川市緑町10-3

tomikawa@nipr.ac.jp

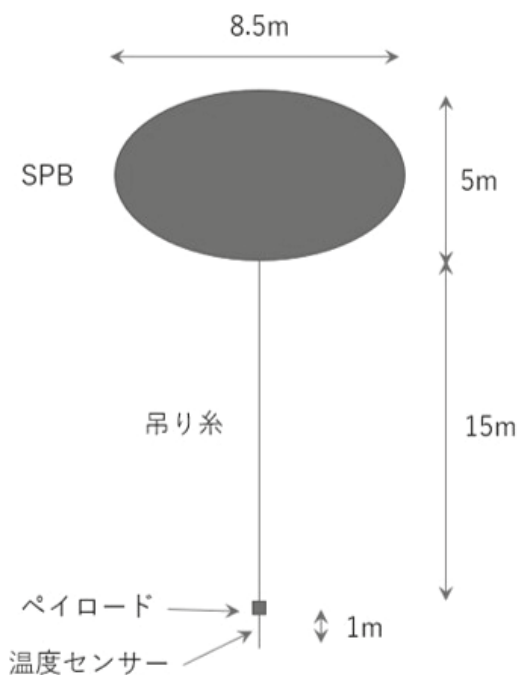
© 2023 日本気象学会

に重要な役割を果たします。しかし、昭和基地のみの観測で南極域全体の大気重力波の振る舞いをどの程度捉えているかは不明でした。一方、CNES（フランス国立宇宙研究センター）を中心とする国際研究グループは、南極域においてスーパープレッシャー気球を用いた2回のキャンペーン観測（2005、2010年）を行い、南極域全域における大気重力波の運動量輸送や水平分布を捉えることに成功しました（例えば、Hertzog *et al.* 2008, 2012）。そこで、筆者らを含む研究グループでは、スーパープレッシャー気球による南極域の重力波観測を実施し、大型大気レーダーによる観測と組み合わせて南極域の重力波の振る舞いを3次元的に捉えることを目的とするプロジェクト LODEWAVE (Long-Duration balloon Experiment of gravity WAVE over Antarctica: Tomikawa *et al.* 2023) を2018年に開始しました。

プロジェクトを開始したとき、日本ではまだスーパープレッシャー気球は実用化されていませんでした。しかし、気球に網をかぶせることで耐圧性を高め、さらに内側にゴム気球を入れて二重膜とすることで気密性を高めることに成功し、LODEWAVEに使用するスーパープレッシャー気球が完成しました（斎藤ほか2021）。そして、筆者らは2021年11月に日本を出発した第63次南極地域観測隊夏隊に参加し、2022年1月から2月にかけて南極昭和基地から計3機のスーパープレッシャー気球を放球することに成功しました（第1図）。これが日本初のスーパープレッシャー気球による科学観測となります。しかし、飛揚期間は最長で3日弱と予定していた10日以上フライトは実現しませんでした。この結果を受けて、筆者らの研究グループでは気球と観測装置の改良を進めており、新たなスーパープレッシャー気球を用いた観測を第65次南極地域観測隊夏隊により2024年1月から2月にかけて実施する予定です。

3. スーパープレッシャー気球を飛ばせるのは南極だけ？

LODEWAVEの観測を南極で実施するのは、南極域の大気重力波を研究することが目的だからです。一方で、南極以外では観測を実施することが難しいというのも事実です。気球観測には、観測装置の重量に応じて、国際的な航空法により様々な制約が課されています。LODEWAVEの観測装置は重量3 kg未満と軽いため、最も制約の緩い軽気球に分類されますが、それ



第1図 (上) 2022年2月4日の南極昭和基地でのスーパープレッシャー気球の放球の様子(63次隊撮影)。(下) スーパープレッシャー気球の概観。

でも日本国内での飛揚は難しいのが現状です。航空機と衝突しないような高度を飛ぶこと、確実に気球を落とす独立な手段を複数持つこと、十分な安全対策を行い航空局の認可を得ることなど、多数のハードルを越える必要があります。さらに、スーパープレッシャー気球は長期間飛揚するため、風に流されて容易に他国の領空に入ってしまう。そのため、上空を通過する可能性のあるすべての国々で上記の手続きを行う必要があります。現在、CNESを中心とする国際研究グループにより、熱帯域でのスーパープレッシャー気球観測 (Strateole-2) が行われていますが、彼らは60以上の国から上記の認可を得たそうです。一方、南極はほぼ無人であり、航空路線もほぼないため、飛揚が認められやすい状況にあります。南緯60度以南を飛揚させるのであれば、南極観測実施責任者評議会 (COM-NAP) の認可を得るだけで済みます。南極はスーパープレッシャー気球観測にとって楽園ともいえる場所なのです。今後、様々な国々によるスーパープレッシャー気球観測が南極で行われることになるかもしれません。

参 考 文 献

- Hertzog, A., G. Boccara, R. A. Vincent, F. Vial and P. Coqueruez, 2008: Estimation of gravity wave momentum flux and phase speeds from quasi-Lagrangian stratospheric balloon flights. Part II: Results from the Vorcore campaign in Antarctica. *J. Atmos. Sci.*, **65**, 3056-3070, doi:10.1175/2008JAS2710.1.
- Hertzog, A., M. J. Alexander and R. Plougonven, 2012: On the intermittency of gravity wave momentum flux in the stratosphere. *J. Atmos. Sci.*, **69**, 3433-3448, doi:10.1175/JAS-D-12-09.1.
- Katikala, S., 2014: Google project Loon. *InSight: Rivier Academic Journal*, **10**, 1-6, https://www2.rivier.edu/journal/ROAJ-Fall-2014/J855-Katikala_Project-Loon.pdf
- Rabier, F., *et al.*, 2010: The Concordiasi project in Antarctica. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 69-86, doi: 10.1175/2009BAMS2764.1.
- 斎藤芳隆, 2014: より高い空への挑戦, ISAS ニュース, (396), 8-10.
- 斎藤芳隆, 泉 美由美, 秋田大輔, 中篠恭一, 松尾卓摩, 富川喜弘, 橋本紘幸, 松嶋清穂, 2021: LODEWAVE 実験にむけたスーパープレッシャー気球の開発 (I), 宇宙航空研究開発機構研究開発報告: 大気球研究報告, JAXA-RR-20-009, 35-56.
- Sato K. and M. Yoshiki, 2008: Gravity wave generation around the polar vortex in the stratosphere revealed by 3-hourly radiosonde observations at Syowa Station. *J. Atmos. Sci.*, **65**, 3719-3735, doi:10.1175/2008JAS2539.1.
- Sato, K., M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, A. Saito, Y. Tomikawa, K. Nishimura, M. Kohma, H. Yamagishi and T. Yamanouchi, 2014: Program of the Antarctic Syowa MST/IS radar (PANSY). *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **118A**, 2-15, doi:10.1016/j.jastp. 2013.08.022.
- Tomikawa, Y., K. Sato, Y. Saito, I. Murata, N. Hirasawa, M. Kohma, K. Nakashino, D. Akita, T. Matsuo, M. Fujiwara, T. Kaho and L. Yoshida, 2023: LODEWAVE (Long-Duration balloon Experiment of gravity WAVE over Antarctica). *J. Evolv. Space Activ.*, **1**, 14, doi:10.57350/jesa.14.
- 矢島信之, 井筒直樹, 今村 剛, 阿部豊雄, 2004: 気球工学—成層圏および惑星大気に浮かぶ科学気球の技術—, コロナ社, 207pp.

富川喜弘

国立極地研究所先端研究推進系准教授

東京大学大学院理学系研究科修士 博士 (理学)

国立極地研究所において、観測データやシミュレーションの結果を用いて中層大気の力学や物質輸送に関する研究を行っています。

普段は完全なインドア派で機械音痴な人間ですが、なぜか南極に3回も行き (今年が4回目)、スーパープレッシャー気球観測では装置の開発にも関わっています (見てはいるのですが)、流されて流されてここに至りましたが、そんなに悪くないのかなと思う今日の頃です。