

## 南極における大気重力波のスーパープレッシャー気球観測の現況報告

国立極地研究所・総合研究大学院大学 富川喜弘  
 東京大学大学院理学系研究科 佐藤 薫  
 宇宙航空開発研究機構 宇宙科学研究所 斎藤芳隆  
 東北大学大学院環境科学研究科 村田 功  
 国立極地研究所・総合研究大学院大学 平沢尚彦  
 東京大学大学院理学系研究科 高麗正史

## 1. 研究目的

南半球成層圏の冬季に現れる極夜ジェットと呼ばれる西風は、極域と中低緯度域との間の物質・運動量交換を妨げる極渦を形成し、南極オゾンホール発生の要因ともなっている (e. g., Solomon et al., 1999)。しかし、大気の運動や化学・放射過程を全て陽に表現する最新の化学気候モデルにおいても、冬季極域成層圏の低温問題 (“cold pole”)、現実よりも1か月も遅い極渦崩壊、およびそれらに起因するオゾン破壊量の予測の不確実性といった諸問題は解決されていない (e. g., Butchart et al., 2011)。その主な原因と考えられているのが、

- ・大気重力波の水平伝播を考慮できない現在の(地形性・非地形性)重力波パラメタリゼーション
- ・大気重力波が運ぶ東西・南北風運動量の間欠性やスペクトル分布に関する観測的知見の南極域での不足
- ・現在の気候モデルでは表現できない南大洋の小さな島による大気重力波生成である。

スーパープレッシャー気球は一定の密度面を長期(>1か月)にわたって浮遊するため、大気のラグランジュ的(i. e., 同一空気塊を追跡する)観測を可能とする。そのため、背景風から見た重力波の”intrinsic”な性質(e. g., 周波数、位相速度等)を観測することができる。約30秒間隔での気温・風速データ取得と合わせ、本観測は重力波の全周期帯(約5分~十数時間)の運動量フラックスや運動・ポテンシャルエネルギーの情報を得ることができる唯一の観測である(e. g., Hertzog et al., 2012)。

一方、本発表の著者らを含むグループ(代表:佐藤薫氏)によって南極昭和基地に南極域で初めて設置された大型大気レーダー(PANSY)は、対流圏から下部成層圏の風速3成分を高時間・高鉛直分解能で観測することができ、重力波の運動量フラックスを直接推定できる唯一の測器である(Sato et al., 2014)。スーパープレッシャー気球による面的観測と大型大気レーダー観測による拠点観測を組み合わせた大気重力波研究は世界初の試みとなる。これにより、気球観測で得られる(ほぼ)一定高度での面的情報を、レーダー観測による高度方向の情報と組み合わせることで3次元に拡張することができる。

そこで本研究では、南極域でのスーパープレッシャー気球観測および南極昭和基地大型大気レーダー（PANSY）観測のデータを用いて、

- ・南極上空の重力波の水平伝播による東西・南北風運動量の水平輸送がどうなっているか
  - ・南極上空の重力波の間欠性やスペクトル分布がどうなっているか
  - ・現在の重力波パラメタリゼーションで南半球大気場の正確な再現・予測は可能か
- という問いに対する定量的な答えを与えることを目指す。

南極でのスーパープレッシャー気球観測実現のため、まず2020年度に国内試験観測として大樹航空宇宙実験場でのスーパープレッシャー気球観測を申請する。

## 2. 運動量フラックスの推定

本スーパープレッシャー気球観測での観測物理量は気温、気圧、水平風速、気球の位置座標であり、基本的に高層気象観測で取得される物理量と（相対湿度が無いことを除き）同一である。一方で、本観測が高層気象観測と大きく異なる点は、気球が等密度面上を背景風に流されて浮遊するため、大気重力波のラグランジュ的観測が可能であり、その情報を用いて大気重力波による運動量フラックスを推定できる点である。

実際の解析では、水平風速、気圧、高度の時系列データにウェーブレット変換を適用し、得られた各周波数成分について水平風速、気圧、高度の擾乱成分の複素振幅、および背景風に乗った系から見た周波数（i. e., intrinsic frequency）から運動量フラックスを推定する（Vincent and Hertzog, 2014）。本スーパープレッシャー気球観測では、大気重力波の全周波数帯について上記の解析を行うことができるため、すべての大気重力波による運動量フラックスを推定することができる。それを可能にするのが、等密度面上を背景風に流されて浮遊するというスーパープレッシャー気球の性質である。

## 3. 実験の具体的な方法

大樹航空宇宙実験場での国内試験観測では、PI側で調達するスーパープレッシャー気球に、同じくPI側で準備する観測装置を吊り下げ、高度19km付近を1時間以上浮遊させる。データは、上昇時・浮遊時・下降時すべてについて取得する。放球時刻についての希望はない。

観測装置は温度センサー、気圧センサー、GPSセンサーとし、データ送信（30秒間隔）はイリジウムSBDを予定している。電源系については、ペイロードが3kg以内となるよう、軽量のバッテリーとする方向で検討している。この場合、気球サイズは80~90m<sup>3</sup>になるものと見込んでいる。

最も早いスケジュールで南極での観測実施を2020年12月~2021年1月と想定しているため、大樹航空宇宙実験場での試験観測実施は2020年5月を希望する。

## 4. 準備状況

南極昭和基地大型大気レーダー研究グループ（代表：佐藤薫氏）は、平成23年に南極初の大型大気レーダー（PANSY）を昭和基地に設置し、数年の調整期間を経て、平成27年よりフルシステムによる3次元風速の高鉛直・時間分解能観測を開始した。現在も、通年フルシステム観測を継続中である。

南極昭和基地でのスーパープレッシャー気球観測は南極地域観測第IX期中期計画後半（第61～63次：平成31～33年度）の一般研究観測課題として採択され、第62次夏隊での実施を保証されている。

観測装置については、高層気象観測に使用するラジオゾンデを製作している国内メーカーに開発を依頼しており、今年度中に試験機を製作する予定である。データ送信とコマンド受信に使用する通信機については、他の大気球観測でも使用されているIBOモジュールを使用する方向で調整している（永田他、2015）。スーパープレッシャー気球については、過去にスーパープレッシャー気球を製作した実績のある国内メーカーに開発を依頼する方向で調整中である。

## 5. 工程表

### 2018年度の計画

- ・国内ラジオゾンデメーカーと共同で、気温・気圧測定用センサー、GPS受信機、IBOモジュールを組み合わせた観測装置を開発し、地上試験を行う。

### 2019年度の計画

- ・国内気球メーカーと共同でスーパープレッシャー気球を開発し、地上試験を行う。
- ・日本国内および南極でのスーパープレッシャー気球観測実施に必要な航空法上の手続きとフライトコントロールの方法に関する議論、および南極条約で必要とされている環境影響評価を行う。

### 2020年度の計画

- ・北海道大樹町の大樹航空宇宙実験場において、センサーおよび通信系の受信試験と放球手順の習熟のための国内試験観測を1回実施する。
- ・試験観測において不具合が発生した場合には、同年の昭和基地での観測が可能かどうか検討し、十分な試験期間を確保できない場合には次年度へ延期する。その場合は再度の国内試験を申請する。
- ・11月に日本を出発する第62次南極観測隊に夏隊員1名、同行者2名を派遣し、62次の他部門の隊員の協力により、12月～1月の夏期間中に2～3回のスーパープレッシャー気球観測を実施する。気球は最大4か月程度浮遊すると期待されることから、62次越冬隊と協力しつつ主に日本国内からフライト状況の監視とデータ取得を行う。

## 参考文献

Butchart, N., et al. (2011), Multimodel climate and variability of the stratosphere, J. Geophys. Res.

- Res., 116, D05102, doi:10.1029/2010JD014995.
- Hertzog, A., M. J. Alexander, and R. Plougonven (2012), On the intermittency of gravity wave momentum flux in the stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, 69(11), 3433-3448.
- 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. Sol. Terr. Phys.*, 118, 2–15, doi:10.1016/j.jastp.2013.08.022.
- Solomon, S. (1999), Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history, *Rev. Geophys.*, 37(3), 275–316, doi:10.1029/1999RG900008.
- Vincent, R. A., and A. Hertzog (2014), The response of superpressure balloons to gravity wave motions, *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 1043–1055, doi:10.5194/amt-7-1043-2014.
- 永田靖典, 柳瀬眞一郎, 山田和彦 (2015), 小型飛翔体実験におけるイリジウム衛星通信の活用とデータ配信システムの開発, 大気球シンポジウム: 平成27年度, isas15-sbs-012.