

昭和基地における成層圏大気採取実験

54 次隊実験報告

森本真司¹、稲飯洋一²、青木周司¹、菅原敏³、石戸谷重之⁴、豊田栄⁵、
本田秀之⁶、菊池雅行⁷、山内恭⁷、中澤高清¹、飯嶋一征⁶、井筒直樹⁶、吉田哲也⁶

¹東北大・院理、²京大生存研、³宮城教育大、⁴産総研、⁵東工大・院総合理工、

⁶極地研、⁷ISAS/JAXA

1. はじめに

南極域成層圏における温室効果気体・大気主成分の分布と変動を明らかにし、南極域への物質輸送に関する知見を得るために、我々は 1998 年（第 39 次南極観測隊）以降計 3 回にわたって南極昭和基地における成層圏大気クライオサンプリング実験を実施してきた。そのうち、最初の 2 回（1998 年、2003-2004 年）は、国内で使用されている大型クライオサンプラーが用いられたが、3 回目の昭和基地実験（2007-2008 年）では新しく開発された小型クライオサンプラー（J-T サンプラー）が使用された（Aoki et al., 2003; 菅原他, 2005; 森本他, 2009）。今回、さらに長期にわたる成層圏大気中の温室効果気体・大気主成分の変動を明らかにするため、第 54 次南極観測隊夏期観測の一部として、満膨張時容積 5,000~9,000m³の小型気球を用いて J-T サンプラーを飛ばし、昭和基地上空の成層圏大気採取を行った。ここでは、54 次隊実験の概要を報告する。

2. 小型クライオサンプラー（J-T サンプラー）

J-T サンプラーは、液体窒素温度に予冷した高圧ネオンガスが断熱膨張する際の寒冷を用いて大気試料容器内部を液体ネオン温度（27K）まで冷却し、低圧の成層圏大気試料を固化・液化して大量に採取するものである（Morimoto et al., 2009）。本サンプラーは、前回の昭和基地実験（2007-2008 年）及び 2012 年の白鳳丸による東部太平洋赤道域実験で使用され、両実験共に成層圏大気試料の採取に成功している。今回の 54 次隊実験に向けて、さらに信頼性を高め、より大量の成層圏大気試料を採取可能にするために、1) 搭載コントローラーの更新、2) 高圧ネオンガス流路に小型調圧器を付加してネオンガス流量を最適化、3) 構成部品の見直しにより保温用ヒーター取り外し、4) 1 度の気球放球で 2 高度の大気試料採取、等の改良を加えた。

54 次隊実験で使用した J-T サンプラー・ゴンドラの構成図を図 1 に、外観を図 2 に示す。これらの図から分かるとおり、1 台のゴンドラに 2 機の J-T サンプラーが搭載されており、1 回の気球放球で 2 高度の成層圏大気採取が可能である。また、搭載 GPS

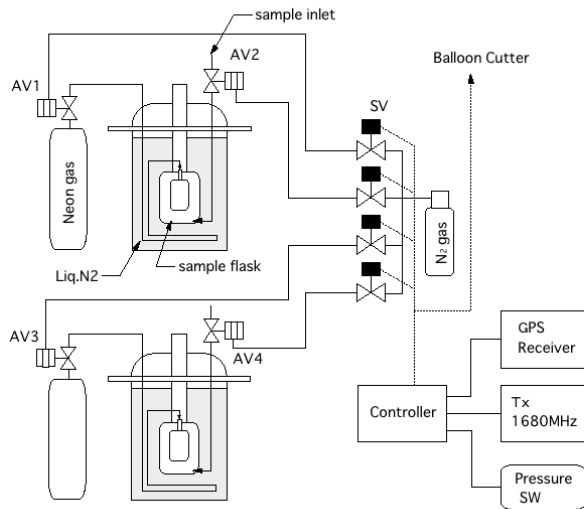


図 1
54 次隊実験で使用した J-T サンプラーの構成図。但し、液体窒素排出用バルブは省略している。AV、SV は、それぞれ空気圧作動弁、空気圧供給用電磁弁を示す。

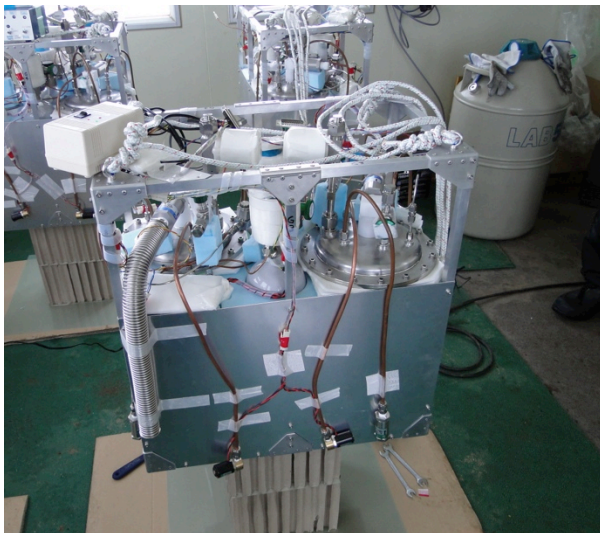


図 2
54 次隊実験で使用した J-T サンプラーの外観。

受信機による現在位置情報を用いて、あらかじめ設定した 2 高度での大気採取動作、及び大気採取終了後の液体窒素排出・気球切り離しを自律的に行う仕様とし、地上のコマンド送信設備を不要とした。ゴンドラ下部には紙ハニカム製のクラッシュパッドを付加し、海氷上への着地時の衝撃を緩和させた。搭載する液体窒素とクラッシュパッドの重量も含めたゴンドラの総重量は 39.7kg、サイズは幅 550mm x 奥行き 330mm x 高さ 950mm であった。

3. 昭和基地でのオペレーション概要

54 次隊実験で使用したサンプラー、気球と試料採取高度、気球実験実施日を表 1 に示す。2012 年 12 月 31 日に放球したサンプラーについて、一部の大気採取に不具合があったことが明らかになったため、昭和基地現地にて 2013 年 1 月 10 日実験の試料採

表 1 気球実験実施日と気球、サンプラー、浮力及び試料採取高度

放球日	気球	ゴンドラ ID	サンプラー重量 (kg)	総浮力 (kg)	採取高度 (km)
2012.12.31	B9-2P	G4	39.7	113.1	24.7
					28.5
	B9-1P	G3	39.7	113.4	22.2
					27.2
2013.1.10	B5-145	G1	39.7	91.4	14.6
					19.6
	B9-3P	G2	39.7	113.1	22.2
					27.2

取高度と使用気球を変更している。

簡易型地上支援装置（テレメータ受信・気球追尾）は、今回の実験のために新たに製作したものを持ち込み、テレメータ受信用 1680MHz 八木アンテナと共に昭和基地・観測棟に設置した。J-T サンプラー・試料容器の再真空排気や搭載回路の動作試験・GPS 受信試験等の準備作業は観測棟内で行い、放球直前の最終組み立ては C ヘリポート脇のヘリ管制棟で実施した。

2012 年 12 月 31 日と 2013 年 1 月 10 日に、計 4 基のゴンドラ（計 8 機の J-T サンプラー）を昭和基地 C ヘリポートから放球した。地上でのテレメータ監視により、全ての J-T サンプラーが正常に大気採取動作を行ったことを確認した。それぞれの放球日に、ゴンドラが 2 機とも海氷上に着地したことをテレメータによって確認した後、観測隊チャーターヘリ 2 機でゴンドラの搜索と回収を行った。昭和基地で最後に受信されたテレメータ信号に含まれるゴンドラの GPS 位置データとヘリ機上でのテレメータ信号を用いた方向探査によって着地したゴンドラを容易に発見することができ、全ゴンドラの回収に成功した。ゴンドラ G4 については気球切り離し後にパラシュートが正常に開かず、海氷上に高速で着地したが、幸い海氷上の積雪が深かったことにより、J-T サンプラー本体の破損は軽微であった。ゴンドラ G3 については海氷上のパドル（氷上湖）に着水しており、防水処理を行っていなかった搭載回路が水没したことによって大気試料が失われた。

4. 大気試料採取量と試料分析

回収した J-T サンプラーを国内に持ち帰り、採取試料量の測定と温室効果気体濃度（CO₂、CH₄、N₂O、SF₆）及び同位体比（CO₂、CH₄、N₂O）、大気主成分濃度（O₂、Ar）及び同位体比（O₂、N₂）を各研究機関が分担して実施した。

採取試料量測定の結果、計 4 機の J-T サンプラーに成層圏大気試料が採取されてお

り、採取量は高度 14.6km で 11.7L_{STP}、高度 28.5km で 8.6L_{STP}であった。これは 49 次実験の試料採取量（高度 18km で 5.0L_{STP}、25km で 2.4L_{STP}）の約 2～3 倍であり、Ne ガス流量の最適化などの改良が奏功したと考えられる。

採取された成層圏大気試料中の CH₄、N₂O 濃度の関係を調べたところ、両者は過去の昭和基地実験で得られた直線関係上に乗ることから、今回も汚染のない南極域成層圏大気試料を採取することができたと考えられる。今後、安定な成分濃度・同位体比を用いた成層圏大気の輸送過程や、化学的に活性な気体濃度・同位体比による成層圏でのそれらの消滅過程に関する研究が進められる。

謝辞

昭和基地での気球実験実施にあたり、第 53 次南極観測隊気水圏・気象部門、及び第 54 次南極観測隊気水圏・地圏・気象部門隊員各位にご協力頂きました。この場をお借りして感謝いたします。

参考文献

- Aoki, S., T. Nakazawa, T. Machida, S. Sugawara, S. Morimoto, G. Hashida, T. Yamanouchi, K. Kawamura and H. Honda, Carbon Dioxide Variations in the Stratosphere Over Japan, Scandinavia and Antarctic., *Tellus* 55B 178-186, 2003.
- 菅原敏、橋田元、石戸谷重之、並木道義、飯嶋一征、森本真司、青木周司、本田秀之、井筒直樹、中澤高清、山内恭、第 45 次南極地域観測隊行動におけるクライオジェニックサンプラー回収気球実験、宇宙航空研究開発機構研究開発報告、77-88、2005.
- 森本真司、浅野比、青山朋樹、吉見英史、内田洋子、望月隆史、岩淵真海、水野大治、堤雅基、本田秀之、飯嶋一征、吉田哲也、山内恭、和田誠、小型クライオサンプラーを用いた昭和基地での成層圏大気採取実験：第 49 次実験報告、南極資料 53, 95-109、2009.
- Morimoto, S., T. Yamanouchi, H. Honda, S. Aoki, T. Nakazawa, S. Sugawara, S. Ishidoya, I. Iijima and T. Yoshida, A new compact cryogenic air sampler and its application in stratospheric greenhouse gas observation at Syowa Station, Antarctica, *J. Atmos. Ocean. Tech.* 26, 2182-2191, 2009.