

—報告—

Report

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次隊実験報告

森本真司^{1,2*}・浅野 比³・青山朋樹⁴・吉見英史⁵・内田洋子⁵・望月隆史⁵・
岩淵真海⁵・水野大治⁵・堤 雅基^{1,2}・本田秀之⁶・飯嶋一征⁶・吉田哲也⁶・
山内 恭^{1,2}・和田 誠^{1,2}

Stratospheric whole air sampling experiments at Syowa Station with compact cryogenic air samplers in JARE-49

Shinji Morimoto^{1,2*}, Hitoshi Asano³, Tomoki Aoyama⁴, Hideshi Yoshimi⁵, Hiroko Uchida⁵,
Takashi Mochizuki⁵, Masami Iwabuchi⁵, Taiji Mizuno⁵, Masaki Tsutsumi^{1,2}, Hideyuki Honda⁶,
Issei Iijima⁶, Tetsuya Yoshida⁶, Takashi Yamanouchi^{1,2} and Makoto Wada^{1,2}

(2009年1月7日受付; 2009年1月21日受理)

Abstract: As a part of summer observations of the 49th Japanese Antarctic Research Expedition, stratospheric whole air sampling experiments were conducted at Syowa Station using newly developed compact cryogenic air samplers. The compact sampler uses liquefied neon (produced in-situ) as a refrigerant to solidify or liquefy atmospheric constituents. Because of its reduced size and weight, the sampler can be launched using small-size balloons (1000–2000 m³ in volume). On December 30, 2007 and January 4, 2008, a total of 4 samplers were launched from Syowa Station and recovered on the same day as their launches. Two of them functioned as designed and collected stratospheric air samples at altitudes of 18 and 25 km. The air samples were analyzed for greenhouse gas concentrations and stable isotopes after return to Japan.

要旨: 第49次南極地域観測隊(第49次隊)夏期間に昭和基地において、新たに開発した小型クライオサンプラーを用いた成層圏大気採取実験を実施した。小

¹ 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

² 総合研究大学院大学複合科学研究科極域科学専攻. Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

³ 山口東京理科大学. Tokyo University of Science Yamaguchi, 1-1-1 Daigaku-dori, Sanyo-Onoda, Yamaguchi 756-0884.

⁴ 堀場製作所. Horiba Co., 2 Miyanohigashi-cho, Kisshoin Minami-ku, Kyoto 601-8510.

⁵ 気象庁. Japan Meteorological Agency, Otemachi, 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8122.

⁶ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部. Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1 Yoshinodai, Sagami-hara, Kanagawa 229-8510.

* Corresponding author. E-mail: mon@nipr.ac.jp

型クライオサンプラーは高圧ネオンガスを断熱膨張させて液体ネオンを製造し、希薄な成層圏大気を固化・液化採取するものであり、既存の大型サンプラーが必要とした液体ヘリウムが不要であること、小型軽量であるために満膨張時容積 1000–2000 m³ の小型プラスチック気球を用いて成層圏まで飛揚させることが可能であるという特徴がある。2007 年 12 月 30 日と 2008 年 1 月 4 日に計 4 機の小型サンプラーを放球し、すべて回収に成功した。そのうち、2 機は高度 18 km 及び 25 km の成層圏大気の採取に成功した。採取された大気試料は国内に持ち帰られた後、各種温室効果気体濃度と同位体比の分析が行われた。

1. はじめに

南極域成層圏における温室効果気体・オゾン破壊関連気体の分布と変動を明らかにするために、1998 年 1 月（第 39 次隊）と 2003 年 12 月～2004 年 1 月（第 45 次隊）に、昭和基地において成層圏大気クライオサンプリング（液体ヘリウムを用いて成層圏大気を固化採取）実験が実施された（Honda *et al.*, 2000; 菅原ら, 2005）。すでに報告されている通り、これらの実験では高度 10–30 km の 11 高度において成層圏大気試料の大量採取に成功し、各種気体濃度・同位体比の詳細な鉛直分布と経年変化傾向が明らかになっている（Aoki *et al.*, 2003; Ishidoya *et al.*, 2006, 2008; Nakazawa *et al.*, 2002; Toyoda *et al.*, 2004）。今後、南極域成層圏での温室効果関連気体の挙動を明らかにし、その経年変化を追跡するために、成層圏大気の直接採取による観測を継続することが重要である。しかし、これまでの実験は、液体ヘリウムを搭載した重量 350 kg のクライオサンプラーを満膨張時容積 30000 m³ の大気球で飛揚するという非常に大規模なものであり、同様の実験を昭和基地で継続実施するためには多くの困難が伴うことが問題であった。

我々は、液体ヘリウムを使用せず、満膨張時容積 1000–2000 m³ の小型気球で放球が可能な小型クライオサンプラーを新たに開発した。そして第 49 次隊夏期間に、小型クライオサンプラー計 4 機を昭和基地から小型気球を用いて成層圏まで飛揚させ、成層圏大気採取実験を行った。本稿では、観測方法を簡単にまとめた後、昭和基地現地での実験オペレーションについて報告する。

2. 観測方法

小型クライオサンプラーの詳細と搭載コントローラ・テレメトリーシステムについては、それぞれ、森本ら（2009）及び Honda *et al.*（1996）によって報告されているため、ここでは簡潔に述べる。

新しく開発した小型サンプラーは、液体窒素温度に予冷した高圧ネオンガスを Joule-Thomson (J-T) ミニクーラー（大陽日酸, NCS-50）で膨張させて液体ネオンを製造し、成層圏の希薄な大気を固化・液化採取する装置である。これまでのクライオサンプリング実験が必要であった液体ヘリウムが不要であること、そして本体重量が 22 kg 程度であるため満

膨張時容積 1000–2000 m³ の小型気球によって放球可能であることから、比較的小規模の気球実験によって成層圏大気の採取が可能になった。

小型クライオサンプラーの構成図と外観図を図 1, 2 に示す。J-T ミニクーラーによる寒冷発生部分を内部に組み込んだ試料採取容器、ネオンガス予冷部・採取大気予冷部などのサンプラー本体部分は、市販の円筒形液体窒素容器（容積 6 l: 200 mm φ×300 mm）に組み込まれて一体化されており、その容器に液体窒素を充填することで、ネオンガス・採取試料大気の液体窒素温度への予冷と外部からの熱侵入の軽減を図っている。ネオンガスは、空気圧作動付きのカーボン FRP 製高压容器（容積 2 l）から圧力調整を行わずに直接小型サンプラーに供給され、J-T ミニクーラーでの膨張後は大気中に放出される。大気試料容器はあらかじめ 10⁴Pa 台まで真空排気しておき、J-T ミニクーラーで液体ネオンを製造した後に大気採取口の空気圧作動真空バルブ（大気採取バルブ）を開くことにより、成層圏大気試料を固化・液化採取する。ネオンガス用バルブ及び大気採取バルブの開閉は、容積 100 ml の小型高压容器に充填された窒素ガスを、小型電磁弁を介してそれぞれの空気圧作動バルブに供給・排出することによって行う。成層圏大気の採取終了後、気球を切り離して小型サンプラーを地

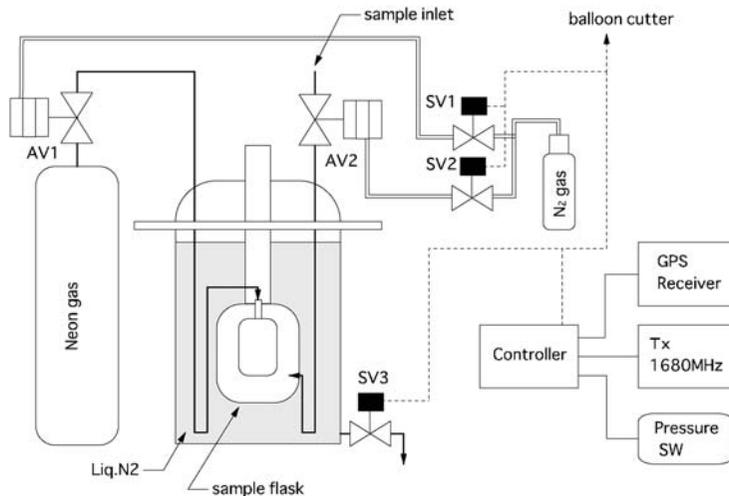


図 1 小型クライオサンプラーの構成図。図中の略号は以下の通り：
 AV1：ネオンガス用空気圧作動弁 AV2：大気採取用空気圧作動弁
 SV1：AV1 制御用小型電磁弁 SV2：AV2 制御用小型電磁弁
 SV3：液体窒素排出用電磁弁 TX：送信機
 SW：スイッチ

Fig. 1. Schematic diagram of the compact sampler. Abbreviations in the figure are as follows:
 AV1: pneumatic valve for neon gas AV2: pneumatic valve for air sampling
 SV1: solenoid valve for AV1 SV2: solenoid valve for AV2
 SV3: solenoid valve for liquid nitrogen exhaust TX: transmitter
 SW: switch

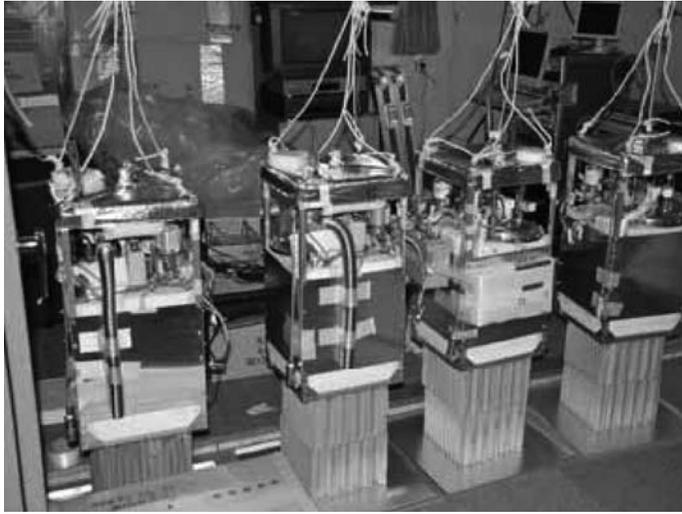


図 2 小型クライオサンプラーの外観図。サンプラー本体下部に、紙ハニカム製クラッシュパッドを取り付けている。

Fig. 2. Photos of the compact samplers. Crash-pad made of paper honeycomb is attached beneath the compact sampler.

上までパラシュートで降下させるが、地上に着地する際の衝撃を緩和するために、サンプラーを納めたアルミフレーム製ゴンドラの下部に紙ハニカム製のクラッシュパッド（昭和航空機製）を付加している。小型サンプラーに搭載する液体窒素、アルミフレーム、クラッシュパッドの重量も含めた小型サンプラー・ゴンドラの総重量は、21.9 kgであった。

小型サンプラーによる大気採取動作制御は、地上局からのコマンド送信方式ではなく、サンプラーに搭載した GPS 受信機（ソニー、IPS-5000U）による高度データをトリガーに用いて自律的に大気採取を実行する仕様とした。すなわち、搭載コントローラがあらかじめ設定した高度に達したかどうかを判断し、ネオンガスの供給と大気採取バルブの開閉、そして大気採集後の気球切り離しを制御するものである。サンプラー搭載 GPS による位置情報とサンプラーの状態データは、搭載コントローラ上で SDLC プロトコルデータの NRZI コード化と FSK 変調後、周波数 1680 MHz、出力 0.5 W の FM 送信機（三協特殊無線、TM-1680）によって常時地上に送信した。また、サンプラー搭載 GPS 受信機のバックアップとして、すべてのサンプラーにバイサラ製 GPS ソンデを付加した。

地上でのデータ受信には、第 39 次、第 45 次回収気球実験で使用した簡易型受信システムを使用した。簡易型システムは、15 エレメント八木アンテナ、2 軸ローテーターとローテーター用コントローラ、CCD カメラ、CCD カメラ用モニター、W-FM 受信機、データ・デコーダー、気球追尾用 PC、そしてクイックルック及びデータ保存用 PC で構成されている。八木アンテナとローテーター、CCD カメラは昭和基地観測棟屋上に設置したルーフタワーに取

付け、その他の機器は観測棟内に設置した。バックアップ用 GPS ゾンデ信号の受信は、気象棟で既設の受信設備を使用して行った。

実験に使用した気球の荷姿を図3に、各小型サンプラーの大気採取設定高度と荷姿重量、使用したヘリウムガスボンベ数を表1に示す。大気採取高度（到達高度）に応じて、容積1000 m³と2000 m³のプラスチック気球を使い分けた。サンプラー重量が多少異なっているのは、サンプラーAとDにサンプラー各部分の温度データ収録用データロガーを搭載したことによる。

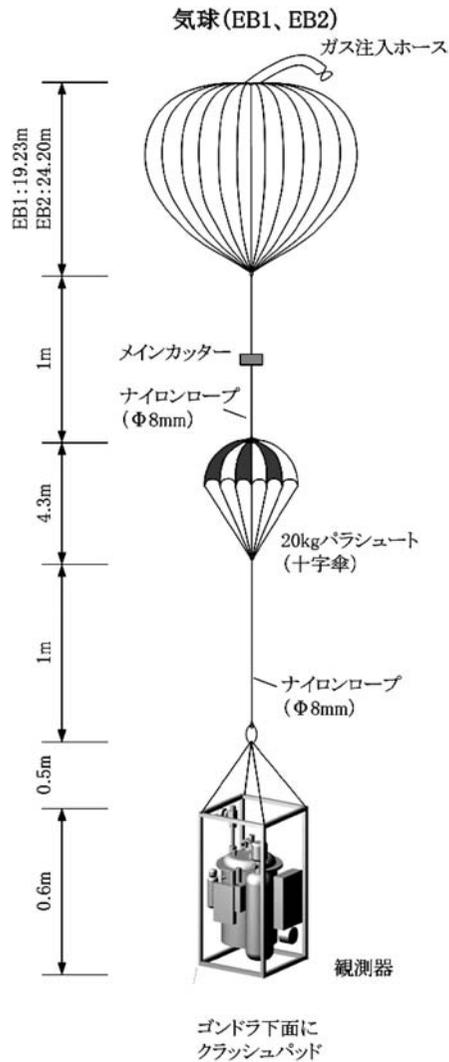


図3 気球荷姿

Fig. 3. Schematic of the compact sampler system with balloon and parachute.

表 1 気球—サンプラー概要

Table 1. Summary of the samplers and balloons used in the balloon experiments in JARE-49.

サンプラー ID	A	B	C	D
放球日	2007年12月30日		2008年1月4日	
気球容積 (m ³)	1000	2000	2000	1000
大気採取高度 (km)	15	25	25	18
観測機重量 (kg)	25.2	24.3	24.3	25.2
総重量 (kg)	42.9	50.3	51.3	41.7
総浮力 (kg)	51.9	60.4	61.6	50.5
ヘリウムガス容器数	11	13	13	11

表 2 気球実験準備作業経過

Table 2. Summary of the preparation work for the balloon experiments.

	サンプラー準備	受信系準備	放球場準備
2007年			
12月20日	気球実験関連物資 空輸、陸送		
12月21日	開梱 サンプラー組立・真空排気 液体窒素製造	開梱 設置、受信試験	開梱 ヘリウムガス配管
12月22日	サンプラー組立・真空排気 動作試験 液体窒素製造		配管リークチェック 放球リハーサル
12月23日	サンプラー組立 動作試験 液体窒素製造		
12月24日	動作試験		
12月25日	データ通信試験	データ通信試験 S16 受信試験	データ通信試験
12月26日	GPS 受信試験、動作試験		
12月27日	準備完了 待機		

3. 実験経過

3.1. 気球実験準備作業

気球実験物資の昭和基地到着から実験準備完了までの作業進行状況を表2に示す。ヘリウムガスカードルを含む実験関係物資計5.8tすべては、緊急物資として昭和基地Aヘリポー

トに空輸された。第48次隊の協力により、物資の昭和基地到着後直ちに、気球放球に必要な物資（ヘリウムガスカードル、放球装置、ヘリウムガス充填配管等）を今回放球場として使用したCヘリポートへ、受信システム関連物資及び小型サンプラーとその周辺物資を観測棟へ輸送した。

小型サンプラー放球前に必要であった準備作業は、梱包のために取り外した部品類の再組立て、試料容器の真空再排気、動作試験、データ通信試験（かみ合わせ）等である。国内での梱包後の検討により、一部仕様の変更（電磁弁保温用ヒーターへの供給電圧変更など）が必要であったため、現地での準備中に仕様変更に対応した。前述の通り小型サンプラー本体は小型軽量であり準備作業に重機を使用する必要がないことから、上記作業はすべて観測棟内で行った。また、これまで使用してきた大型クライオサンプラーの準備作業で最も大きな負担になっていた、サンプラーへの液体ヘリウム充填に関わる作業が今回は不要であったため、現地での準備作業は大幅に軽減された。

観測棟屋上へのルーフトワーと受信アンテナ設置、観測棟内への受信システムの設置は、1日（2人日）で完了した。観測棟内の小型サンプラーからテレメトリーデータを送信して受信システムの動作試験を行った後、定常気象部門が南極大陸上のS16地点に設置している気象ロボットの電波（1658 MHz）を受信して、アンテナ駆動用ローテーターの方向校正を行った。

放球場に輸送されたヘリウムカードル（8本組み）計7基への高圧ホース配管とリークチェックは12月21日午後と22日午前中のほぼ1日（5人日）をかけて実施した。22日午後からは放球作業を行う全員（8名）が放球場に集合し、あらかじめ準備した放球作業手順書に基づいて、放球日当日の各人の役割を再確認した。気球放球作業については、すでに2007年8月に宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部（JAXA/ISAS）・三陸大気球観測所において、昭和基地で使用する気球へのヘリウムガス充填と放球訓練を受けていたことから、昭和基地では気球を使用したりハーサルは省略した。

3.2. 気球の航跡予測

気球実験が実施可能かどうかは、1) 放球時の地上風速が3 m/s 以下であること、2) 小型サンプラーのパラシュート降下予測地点が昭和基地から60 km 以内の安定した海氷上であること、の2条件を基に判断した。1) は気球実験に不慣れな観測隊員のみでプラスチック気球の放球を安全に行うため、2) は成層圏大気採集後地上に降下した小型サンプラーを「しらせ」ヘリコプターで回収するための条件である。

気球実験実施の可否を判断するため、地上風については昭和基地気象棟での現況データとwebで入手した予報データ（Antarctic Mesoscale Prediction System (AMPS) : <http://www.mmm.ucar.edu/rt/mm5/amps/>）を、サンプラー降下地点予測については、昭和基地レーウィンゾンデ

データ（現況データ）を使用した気球航跡予測計算結果と上層風の予報データによる気球航跡計算結果（Balloon Trajectory Forecasts, Univ. of Wyoming (UOW) : http://weather.uwyo.edu/polar/balloon_traj.html) を参考にした。第 48 次隊定常気象部門により、昭和基地でのレーウィンゾンデ観測終了後直ちにデータを国内サポートチーム（JAXA/ISAS）へ送信してもらい、国内での航跡計算結果は昭和基地宛メールにて受け取った。気球実験準備が完了した 12 月 26 日以降、待機期間中の日課を表 3 に示す。

昭和基地のレーウィンゾンデデータを使用して計算したサンプラーの着地地点予測結果の時系列を図 4 に示す。第 49 次夏期間の昭和基地上空は一般に風が弱く、昭和基地からサンプラーの降下予測地点までの距離が 60 km 以内に収まることが多かったが、東風成分の弱い日が続いたため、昭和基地南方から西方の安定した海水上にサンプラーを降下させられる日の選択に苦労した。2007 年 12 月 30 日 0230 LT 放球のレーウィンゾンデデータと上層風の予報データから、当日は昭和基地南南西方向の海水上にサンプラーが着地すると判断し、第 1 回の気球実験を実施した。しかし後述の通り、気球実験実施時には上空の東風成分が急に弱まり、サンプラーは昭和基地南南東方向の大陸沿岸部に着地することになった。元旦の休み

表 3 待機中の日課

Table 3. Daily routine during the waiting period for the balloon experiment.

現地時間	作業内容
0600	0230LT 放球のレーウィンゾンデデータによる気球航跡予測結果検討 web ページ (AMPS) で地上風・上層風の予報確認 web ページ (UOW) で上層風予報値による気球航跡予測検討 実験実施、待機、延期の判断
0630	第 48 次、第 49 次隊関係者に実験実施・待機を連絡 第 49 次隊長経由で「しらせ」に実験実施・待機を連絡
0800	実験実施の場合、関係者配置につく
1700	1430LT 放球のレーウィンゾンデデータによる気球航跡予測結果検討 web ページ (AMPS) で地上風・上層風の予報確認 web ページ (UOW) で上層風予報値による気球航跡予測検討
1730	気象棟で第 48 次隊気象隊員によるブリーフィング
1800	翌日の気球実験実施可能性の有無を、第 48 次、第 49 次隊関係者に連絡 翌日の気球実験実施可能性の有無を、第 49 次隊長経由で「しらせ」に連絡
2400	web ページ (AMPS) で地上風・上層風の予報確認 web ページ (UOW) で上層風予報値による気球航跡予測確認

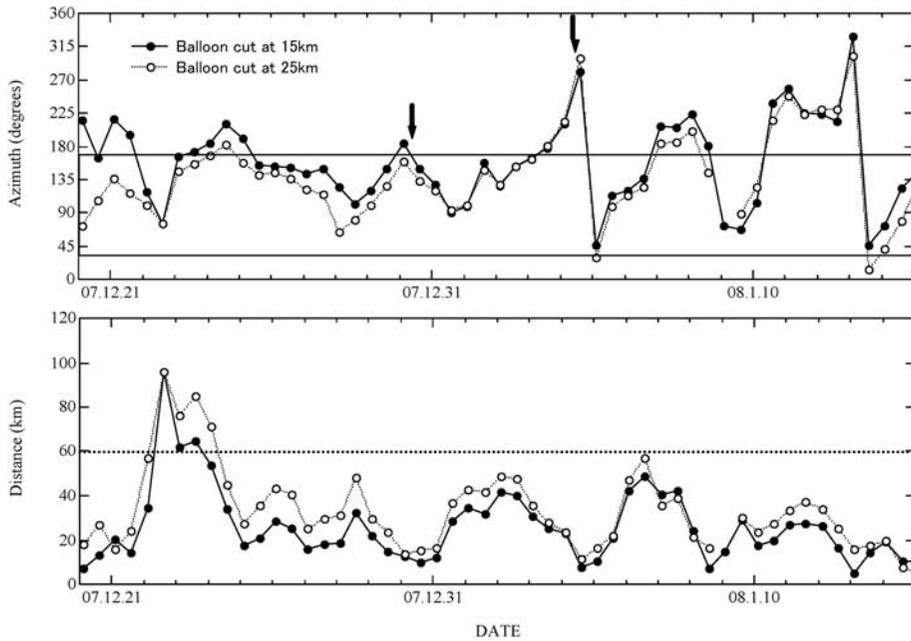


図 4 昭和基地レーウィンゾンデデータから計算したサンプラーの着地予想地点。上図は昭和基地からの方位角，下図は距離を示す。気球実験実施日を上図の矢印で示す。
 Fig. 4. Expected landing points calculated by using rawinsonde data observed over Syowa Station. Upper and lower panels show azimuth and distance of the landing points, respectively, from Syowa Station. Solid arrows indicate the dates when the balloon experiments were carried out.

を挟んでサンプラー着地地点が昭和基地の南・西方向へ変化するまで待ち，2008年1月4日に第2回の気球実験を実施した。

3.3. 気球の飛揚と追尾

気球実験当日は，放球場に8名（気球放球，サンプラー担当），観測棟に1名（気球追尾・テレメータ受信担当）を配置した。他に，気象棟でのGPSゾンデデータ受信と観測棟でのデータ受信補助，そして放球場での記録担当として第48次隊気水圏・気象部門越冬隊員計4名の支援を得た。放球場・観測棟での作業手順書（の一部）を図5に，放球作業の時系列と放球後の各気球の高度変化を図6に示す。

第1回実験を実施した2007年12月30日は，放球場の準備を始めた0830LTにはまだ地上風速が8m/sであったため，シート展長やヘリウムガス充填配管準備などの放球場準備が完了した後そのまま放球場で待機し，風速が3 m/s以下になった1130 LT頃から気球放球準備を再開した。小型サンプラー1号機（サンプラーA）の放球後，直ちに2号機（サンプラーB）本体の準備を開始し，1号機が地上付近までパラシュート降下してテレメータ信号が消感し

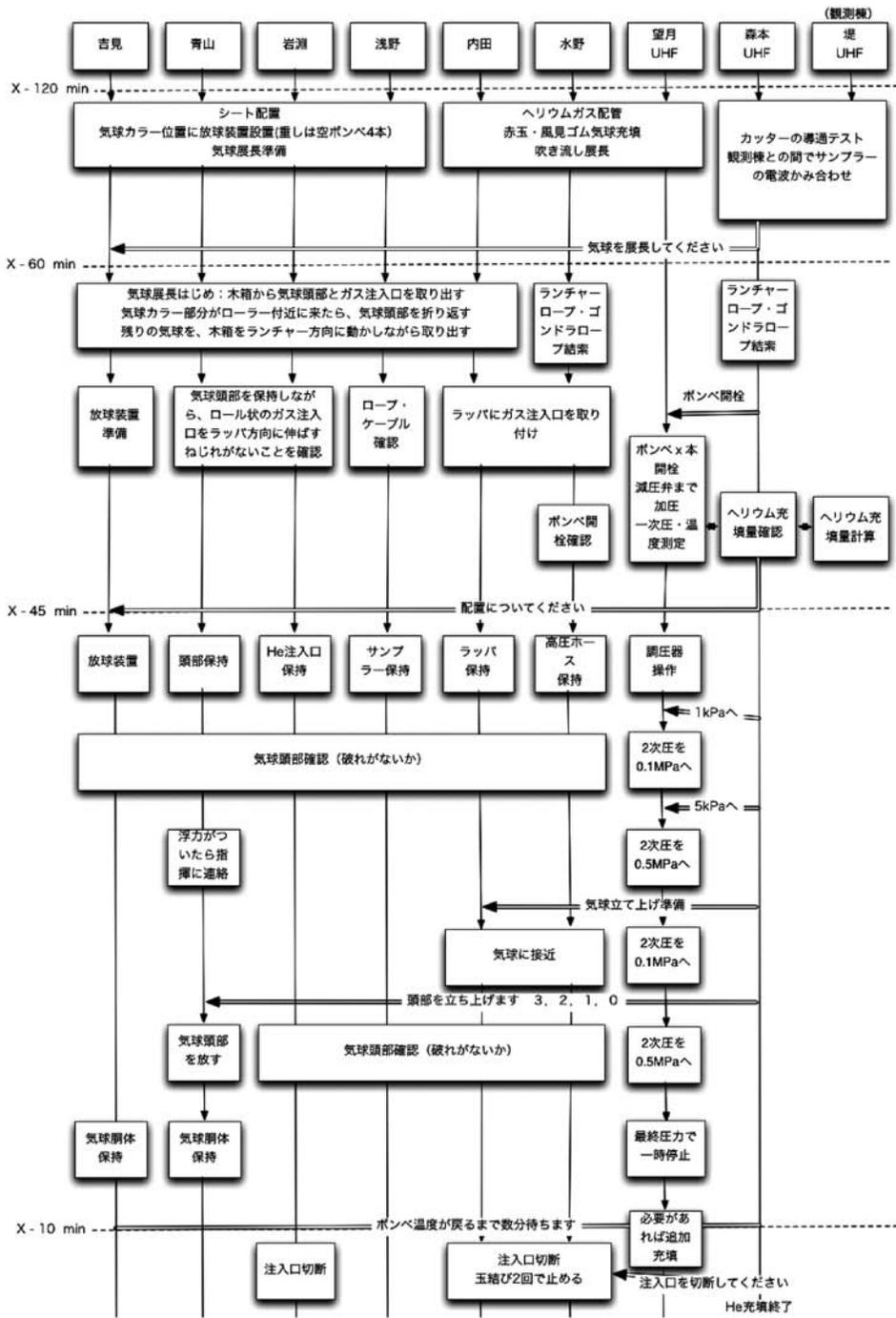


図 5 放球手順書の一部

Fig. 5. A part of the balloon launching procedures.

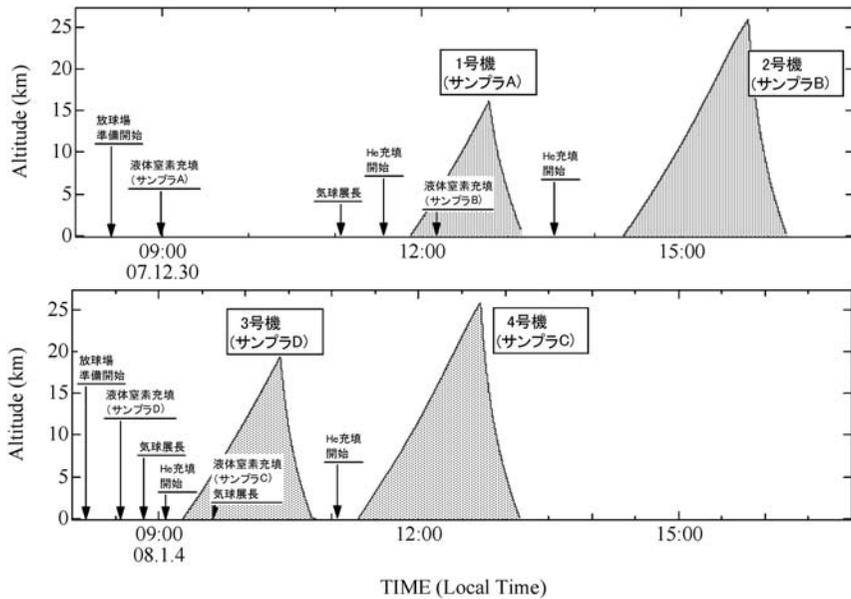


図 6 放球作業の時系列と放球後の各気球の高度変化

Fig. 6. Progress of the balloon launching and time-series of altitude for each compact sampler.

た後に、2号機用気球へのヘリウムガス充填と放球を行った。2号機のテレメータ信号が消感したのは、1612 LTであった。第2回実験を実施した2008年1月4日は早朝から風の弱い状態が続いていたため、8時に放球場に集合後直ちに3号機（サンプラーD）の放球準備を開始した。0915 LTに3号機を、1115 LTに4号機（サンプラーC）を放球し、4号機のテレメータ信号は1310 LTに消感した。第1回、第2回実験を通じて、気球放球準備とヘリウムガス充填・気球放球は問題なく行われ、すべての気球は予定通り300 m/minの速度で上昇した。

観測棟でのテレメータ受信はおおむね順調であった。しかし、2号機（サンプラーB）の放球後、搭載GPS受信機に不具合が発生し、2号機の位置データが更新されなくなったため、バックアップとして連結していたGPSゾンデによる位置データを使用して気球の追尾を行った。また、4号機のデータを受信中に一時データ・デコーダーが受信データにロックしなくなったが、デコーダーの再起動により復旧した。

計4機の小型サンプラーの航跡を図7に示す。第1回実験で放球した2機のサンプラーは、事前の航跡予測よりもかなり東に流されて、昭和基地の南南東約12-16 kmの大陸沿岸部に着地した。第2回実験の2機は、航跡予測計算通り昭和基地の西～西南西方向約14 kmの安定した海氷上に着地した。

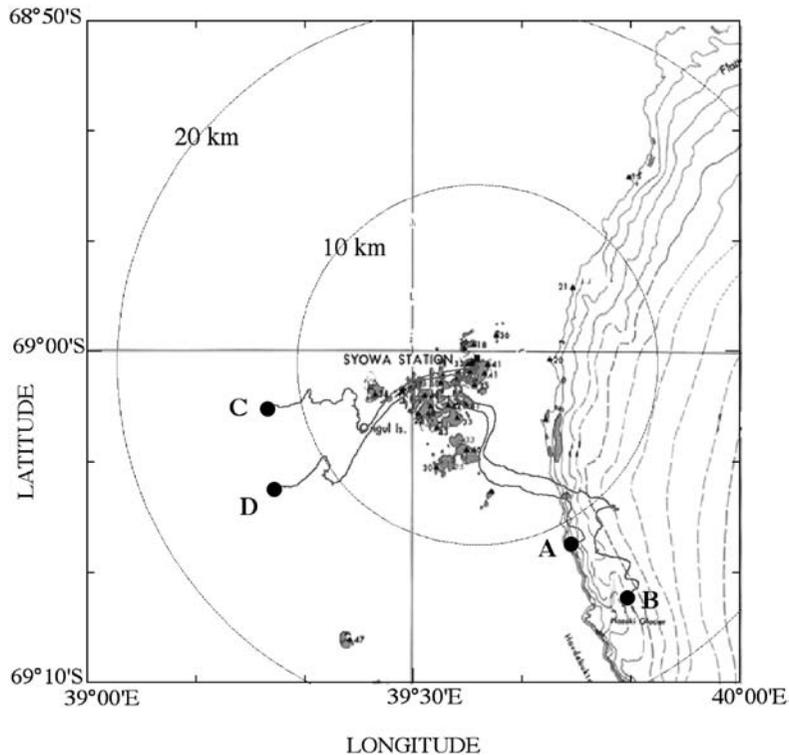


図 7 各サンプラーの航跡（実線）と降下地点（黒丸）

Fig. 7. Trajectories of the compact samplers (solid lines) and their landing points (solid circles).

3.4. 小型サンプラーの回収

地上に降下した小型サンプラーの回収は「しらせ」ヘリコプター2機によって行われた。「しらせ」飛行科及び第49次隊との事前の検討によって決定したサンプラーの回収手順は以下の通りである。1) 先発ヘリコプターが、昭和基地で最後に受信した各サンプラーのGPS位置方向に向かう。2) 先発ヘリコプターに搭乗した3名（堤、浅野、青山）が、ヘリコプター機上に持ち込んだ簡易受信セット（8エレープ八木アンテナと小型受信機・デコーダー）で地上のサンプラーから送信されるテレメータ電波の方向へヘリを誘導しつつ、目視で地上のサンプラーを捜索する。3) 先発ヘリコプターによるサンプラー発見後、後発ヘリコプターへサンプラー位置を連絡する。4) 後発ヘリコプターに第49次隊牛尾副隊長他3名（内田、水野、森本）が搭乗し、牛尾副隊長がサンプラー周辺の状況をヘリ機上から目視で確認して地上での回収作業の可否を判断する。5) 後発ヘリコプターからホイストで観測隊2名が地上に降下し、小型サンプラーの回収作業を行う。6) 小型サンプラーと観測隊2名をホイストでヘリコプターに揚収する。

第1回実験ではサンプラー2機が大陸沿岸のクレバス帯に降下したため、人員のホイスト降下によるサンプラー回収は不可能になった。幸いホバリング中のヘリコプターからロープでフックを下ろし、地上のパラシュートを引っかけることで、無事に2機とも回収することに成功した。第2回実験で放球した2機は、昭和基地西方の安定した海氷上に降下したため、事前の打ち合わせ通り人員のホイスト降下と海氷上での作業を行い、サンプラーを回収した。第2回実験時の回収作業の経過を表4に示す。ヘリコプターが海氷上のサンプラー上空に到着し機上からの安全確認後、人員2名と回収作業に必要な工具類をホイストで海氷上に降下、海氷上でのサンプラー回収作業、そして人員2名とサンプラー、工具類の揚収までの一連の作業に要した時間は、約20分であった。

これまでの大型クライオサンプラーによる成層圏大気採取実験（第39次、第45回収収気球実験）では、サンプラー重量が350kgであったため、海氷上でサンプラーを解体し試料容器のみ回収（第45次1号機）、あるいはヘリでサンプラー全体のスリング輸送（第45次2号機）を行った（第39次実験ではサンプラーが開水面に降下したため、「しらせ」を回航して回収）。今回使用した小型サンプラーは小型軽量であるため、ホイストクレーンでの揚収とヘリコプター・キャビンへの収納を容易に実行可能であり、回収作業が非常に簡単になった。

表4 第2回実験時の回収作業の経過

Table 4. Progress of the sampler recovery operation by using helicopters on January 4, 2008.

時刻	経過時間 (分)	後発ヘリコプターでの作業内容
14:53		昭和基地発
15:05	+0	海氷上のサンプラー視認(1機目)
15:07	+2	観測隊2名がホイスト降下開始
15:16	+11	海氷上での作業終了
15:26	+21	サンプラー・人員揚収完了
15:32	+0	海氷上のサンプラー視認(2機目)
15:34	+2	観測隊2名がホイスト降下開始
15:43	+11	海氷上での作業終了
15:51	+19	サンプラー・人員揚収完了
16:01		昭和基地着

4. 実験結果とまとめ

回収された小型サンプラーを国内に持ち帰った後、東北大学理学研究科大気海洋変動観測研究センターと東京工業大学総合理工学研究科において、採取サンプル量の測定と、温室効

果気体 (CO_2 , CH_4 , N_2O , SF_6) の濃度と安定同位体比, 大気主成分 (N_2 , O_2) 同位体比と酸素濃度 ($\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$) の分析が行われた. 1号機 (サンプラーA) については, 空気圧作動弁駆動用の加圧窒素にリークが発生したためバルブを開くことができず, 残念ながら大気試料は採取されなかった. 2号機 (サンプラーB) は, 搭載 GPS 受信機の不具合によって大気採取トリガーがかからず, 大気採取は実行されていない. 残る2機については, $2.2 \text{ L}_{\text{STP}}$ (サンプラーC: 高度 25 km) 及び $5.0 \text{ L}_{\text{STP}}$ (サンプラーD: 高度 18 km) の成層圏大気が採取されており, 採取量はおおむね予定通りであった. 採取された成層圏大気試料の分析結果の詳細については別稿に譲るが, SF_6 と CO_2 濃度の経年増加傾向が捉えられていること, CH_4 と N_2O 濃度が高度と共に減少し両者の減少率に一定の関係があること, そして N_2 と O_2 の同位体比に重力分離効果の影響が見られるなど, 興味深い結果が出つつある.

今回使用した小型サンプラーは液体ヘリウムを使用せず, かつ小型軽量であるため, 昭和基地での実験準備と気球放球作業, そしてヘリコプターによる回収作業は, これまでの大型サンプラーによる成層圏大気採取実験と比較して非常に簡略化することができた. 今後, さらに小型サンプラーの信頼性を高め, 南極成層圏での温室効果気体観測を継続することにより, 南極域成層圏での温室効果気体の挙動と南極域への物質輸送に関する知見が得られると考えられる.

謝 辞

本実験の実施にあたり, 三陸大気球観測所での小型サンプラー予備実験と第49次隊員の気球放球訓練にご協力頂きました宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部大気球観測センターの皆様には感謝いたします. 昭和基地現地での物資輸送, 気球実験準備, 気球放球・データ受信・サンプラー回収作業において, 第48次越冬隊の皆様には様々な作業を分担して頂きました. また, サンプラーの回収にあたって, 「しらせ」乗員の皆様にご協力頂きました. ここに心よりお礼申し上げます.

文 献

- Aoki, S., Nakazawa, T., Machida, T., Sugawara, S., Morimoto, S., Hashida, G., Yamanouchi, T., Kawamura, K. and Honda, H. (2003): Carbon dioxide variations in the stratosphere over Japan, Scandinavia and Antarctica. *Tellus*, **55B**, 178–186.
- Honda, H., Morimoto, S., Akiyama, H., Hashida, G., Aoki, S., Ui, H., Nakazawa, T., Yajima, N. and Yamanouchi, T. (1996): A newly developed grab sampling system for collecting stratospheric air over Antarctica. *Nankyo Shiryô (Antarct. Rec.)*, **40**, 156–168.
- Honda, H., Yajima, N., Yamagami, T., Aoki, S., Hashida, G., Machida, T. and Morimoto, S. (2000): Balloon operation for stratospheric air sampling at Antarctica. *Adv. Space Res.*, **26**, 1369–1372.
- Ishidoya, S., Sugawara, S., Hashida, G., Morimoto, S., Aoki, S., Nakazawa, T. and Yamanouchi, T. (2006): Vertical profiles of the O_2/N_2 ratio in the stratosphere over Japan and Antarctica. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L13701, doi:10.1029/2006GL025886.
- Ishidoya, S., Sugawara, S., Morimoto, S., Aoki, S. and Nakazawa, T. (2008): Gravitational separation of major

- atmospheric components of nitrogen and oxygen in the stratosphere. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L03811, doi:10.1029/2007GL030456.
- 森本真司・山内 恭・本田秀之・青木周司・中澤高清・菅原 敏・石戸谷重之・飯嶋一征・吉田哲也 (2009): J-T クーラーを用いた小型成層圏大気クライオサンプラーの開発. 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, 印刷中.
- Nakazawa, T., Aoki, S., Kawamura, K., Saeki, T., Sugawara, S., Honda, H., Hashida, G., Morimoto, S., Yoshida, N., Toyaoda, S., Makide, Y. and Shirai, T. (2002): Variations of stratospheric trace gases measured using a balloon-borne cryogenic sampler. *Adv. Space Res.*, **30**, 1349–1357.
- 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 (2005): 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, **RR-04-015**, 77–88.
- Toyoda, S., Yoshida, N., Urabe, T., Nakayama, Y., Suzuki, T., Tsuji, K., Shibuya, K., Aoki, S., Nakazawa, T., Ishidoya, S., Ishijima, K., Sugawara, S., Machida, T., Hashida, G., Morimoto, S. and Honda, H. (2004): Temporal and latitudinal distributions of stratospheric N₂O isotopomers. *J. Geophys. Res.*, **109**, D08308, doi:10.1029/2003JD004316.