

第45次南極地域観測隊による クライオジェニックサンプラー回収気球実験

菅原 敏¹・橋田 元²・石戸谷 重之³・並木 道義⁴
飯嶋 一征⁴・森本 真司²・青木 周司³・本田 秀之⁴
井筒 直樹⁴・中澤 高清³・山内 恭²

Stratospheric Air Sampling Using a Balloon-borne Cryogenic Sampler Over Syowa Station, Antarctica by the 45th Japanese Antarctic Research Expedition Team

By

Satoshi SUGAWARA¹, Gen HASHIDA², Shigeyuki ISHIDOYA³, Michiyoshi NAMIKI⁴
Issei IJIMA⁴, Shinji MORIMOTO², Shuji AOKI³, Hideyuki HONDA⁴
Naoki IZUTSU⁴, Takakiyo NAKAZAWA³, Takashi YAMANOUCHI²

Abstract : Balloon-borne cryogenic samplers were launched from Japanese Antarctic Station, Syowa, on December 26, 2003 and January 5, 2004 by the 45th Japanese Antarctic Research Expedition team. Stratospheric air samples were successfully collected at 11 different altitudes from 10 to 30 km. After air sampling, the cryogenic samplers descended using a parachute and landed safely on sea ice near the station, and then they were recovered by using a helicopter. By measuring the pressures of air samples collected, it was found that their amounts were 9-18 L_{STP}, which are enough to analyze many atmospheric components. It is expected that long-term variations of the atmospheric components in the Antarctic stratosphere are elucidated by comparing the present analysis results with those of a similar measurement made in 1998.

概 要

第45次南極地域観測隊行動の一環として、南極昭和基地においてクライオジェニックサンプラー回収気球実験が実施された。実験は2回実施され、2003年12月26日と2004年1月5日にそれぞれ気球が放球され、高度10kmから30kmにおいて成層圏の大気サンプルを採取することに成功した。大気サンプルの採取が終了した後、観測器はパラシュートによって海氷上に着地し、無事にヘリコプターで回収された。日本に持帰った後にサンプル容器の内圧を計測したところ、採取された成層圏大気サンプルの量は、9～18L (STP) であり、さまざまな大気成分の分析をするために十分な量のサンプルが得られていた。今後進められる分析の結果を、1998年の実験

¹宮城教育大学

²国立極地研究所

³東北大学大学院理学研究科

⁴宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

結果と比較することにより、南極成層圏における大気成分の長期変動などが明らかにされるものと期待される。

重要語：成層圏大気微量成分，クライオジェニックサンプラー，南極観測

1. はじめに

クライオジェニックサンプラー回収気球実験は、南極地域観測事業の第VI期5カ年計画プロジェクト研究観測『南極域からみた地球規模環境変化の総合研究』におけるサブプログラム「南極域における地球規模大気変化観測」の研究課題である成層圏-対流圏間の物質輸送の研究の一環として、南極成層圏内の様々な大気成分の挙動を調べるために、高度10kmから30kmにおいて大気サンプルを採取することを目的としている。この実験の特徴は、直接成層圏の大気を採取し、国内に持帰ることによって、国内の研究機関の最先端技術を駆使した様々な分析が可能になることである。持帰った大気サンプルは、国内六つの大学や研究機関に分配され、温室効果気体の濃度や同位体比、フロン類の濃度など、20項目以上にわたってガス分析が行われる。これにより、南極成層圏大気中の物質の輸送や、光化学反応過程について重要な知見が得られるものと期待されている。この回収気球実験は39次隊において一度実施されており、当時の観測結果と今回のものを比較することで、大気成分の変化の長期傾向なども解明されるものと期待される。

今回の回収気球実験に用いられた観測機器や実験方法は、基本的に前回の39次隊において用いられたものと同様であるが[1][2]、今回はクライオサンプラーを2機放球することが最大の特徴であった。この第一の理由は、39次隊における困難な回収オペレーションの経験を踏まえて、万が一1機が回収不可能になったとしても、再度実験を実施できるようにするためであり、第二の理由は、採取した大気サンプルをより多くの分析に使用できるように、できるだけサンプル量を増やしたいという要求があるためである。結果的には、今回の回収気球実験では二度とも成層圏大気サンプルの採取に成功し、サンプルの量も十分であると推定されており、上記の目的は達せられたと言える。

2. 回収気球実験の準備作業

2.1. 観測器の準備

1号機と2号機について、実験準備の開始から放球までの作業の進行状況を、それぞれ表1と表2にまとめた。クライオサンプラー本体と搭載装置、および地上装置は全て緊急空輸によりCヘリポートに輸送され、第2廃棄物保管庫において観測準備が進められた。クライオサンプラー本体の詳細については他の文献に述べられているので[3]、ここでは省略する。クライオサンプラーの準備は、主に、液体ヘリウムデュワーの排気、大気サンプル接ガス部配管の排気、搭載回路の動作チェック、搭載および地上の送受信システムのチェック、液体ヘリウム転送、サンプラーの最終組立の順に行われた。上層風や、地上風、液体ヘリウムの残量など、様々な制約条件のために、昭和基地において回収気球の放球が可能となるチャンスは極めて限られている。したがって、早い時期の放球チャンスを逃さないために、最短の日数でサンプラーの準備を完了できるように、国内において主要部分を組み立てた状態で持ち込むとともに、事前に十分な最終組み立て練習を実施していた。その結果、サンプラーの準備作業は極めて順調に進められた。なお、第2廃棄物保管庫内の電源はヤンマー製の10kVA発動発電機を用いた。ゴンドラなどの重量物の吊り下げには、主にクローラクレーンを使用した。

2.2. 液体ヘリウムの輸送と製造

本観測が用いているクライオジェニックサンプリング法では、試料容器を液体ヘリウムで4°Kまで冷却するこ

表1 1号機の準備作業進行状況

日付	サンプラー関係	放球関係
12月18日	回収気球緊急物資空輸	
19日	物資開梱、作業スペース設置、排気装置立ち上げ、FRPデューワー排気開始、サンプラー予備取入口バルブまでの加熱排気	ランチャー設置、ローラー車走行路用アルミ道板敷設、放球関連物資を2廃からCへりに移動
20日	試料取入口ホースまで排気、搭載回路・モーター動作確認、2廃内でのテレメトリー・コマンド動作確認を行うための諸準備、第1夏宿とRT棟に無線LANアンテナ設置	カードル6基空輸
21日	試料容器まで排気、容器内の真空度チェック、2廃内でのテレメトリー復調、コマンド送信による噛合せ実施、アルゴス送信機1号機国内テスト	カードル20基について8枝管を配管
22日	取入口ホース排気継続、テレメトリー・コマンド関連物資を2廃からRT棟に運搬し、設置作業、アルゴス送信機2号機国内テスト、液体ヘリウム氷上輸送、MVE容器重力計室に輸送し、製造した液体ヘリウム88Lを注ぎ足、RT棟にてWS立ち上げ	カードル36基氷上輸送
23日	電波噛み合わせ	リハーサル（高高度気球）放球
24日	液体窒素予冷、送信機とテレメトリーの再確認、氷状偵察フライト、しらせにて回収オペ検討会	
25日	液体窒素汲みだし、液体ヘリウムトランスファー、ゴンドラ内装置組み込み、クラッシュパッドフレーム取り付け作業	
26日	1号機放球、着地点偵察フライト、回収方法検討	

表2 2号機の準備作業進行状況

日付	サンプラー関係	放球関係
12月28日	デューワー排気開始、予備取入口排気開始、バルブ開閉機構、搭載回路等組み込み部品の準備	
29日	デューワー排気継続、予備取入口までの加熱排気、バルブ開閉機構、搭載回路の動作確認、液面センサー断線対策用変換コネクタ製作	
30日	デューワー排気継続、試料容器排気、試料取り入れホース排気、電波噛み合わせ	
31日	デューワー排気終了、試料取り入れホース排気終了、バルブ開閉機構の取り付け、液体窒素予冷準備、TMエンコーダ基盤チェック	バックドパラシュート改造
1月1日	液体窒素予冷開始	バックドパラシュートの引っ張り試験
2日	デューワー液体窒素予冷継続、電波噛み合わせ、しらせにて回収オペ打合せ、	
3日	デューワー液体窒素予冷継続、電波噛み合わせ	
4日	液体窒素汲みだし、液体ヘリウム移充填、ゴンドラ内装置組み込み、クラッシュパッドフレーム取り付け作業	(PPB放球) ヘリウムガスカードル8枝管取替え
5日	2号機放球、スリング回収	

とにより、希薄な成層圏大気を固体として捕集する。したがって、十分な量の液体ヘリウムの入手・保持が実験遂行の大前提となる。液体ヘリウムは専用の保存容器に入れて輸送されるが、気化することによって徐々にその量は減ってゆく。39次隊の実験においては、国内から液体ヘリウムを入れた保存容器250L 2台と100L 1台、合計3台をしらせに積込み、さらにフリーマントルにおいて、この3本の保存容器に液体ヘリウムを補充した後に昭和基地に輸送した。基本的にはこの輸送方法によって、大量の液体ヘリウムを必要とするクライオ実験が南極でも可能となることが裏付けられたが、いくつかの問題点があった。この輸送方法では、国内からフリーマントルまでの輸送中に失われる液体ヘリウムが無駄になった上に、3本の保存容器の内の250L容器1本の真空断熱性能が悪く、昭和基地での氷上輸送までに全て蒸発して失ってしまう結果となった。今回の実験では、2回の放球分を確保しなければならないために、前回の教訓を生かして、オーストラリアにて液体ヘリウムの入った保存容器を入手することとし、事前に入念な保存性能試験をパスした250Lの保存容器2台をフリーマントルから積込んだ。図1は、このようにして12月1日にフリーマントルにて積込んだ液体ヘリウムの残量の推移を表したものである。フリーマントルを出航してから氷上輸送までの2つの保存容器の平均の蒸発率は、それぞれ1.0、および1.6%/dayであった。一方の保存容器の断熱性能がやや悪かったものの、昭和基地に輸送された時点での液体ヘリウムの総量が約360Lであり、当初から予定されていた日程通りに放球が行われるならば、十分な量を確保することができた。ただし、天候によって放球の日程が大幅に延期される場合に備えて、さらに昭和基地においても液体ヘリウムの製造を実施した。なお、このために、液化用のヘリウムガスシリンダー25本も緊急空輸により基地に持ち込んだ。44次越冬隊地学・池田隊員の協力により、重力計室において12月3日から12月22日にかけて合計230Lの液体ヘリウムを製造し、基地に残置されていた100Lの保存容器と、氷上輸送された250L容器1台に移充填された。これにより、液化終了時点では、総量約540Lの液体ヘリウムを確保するに至った。

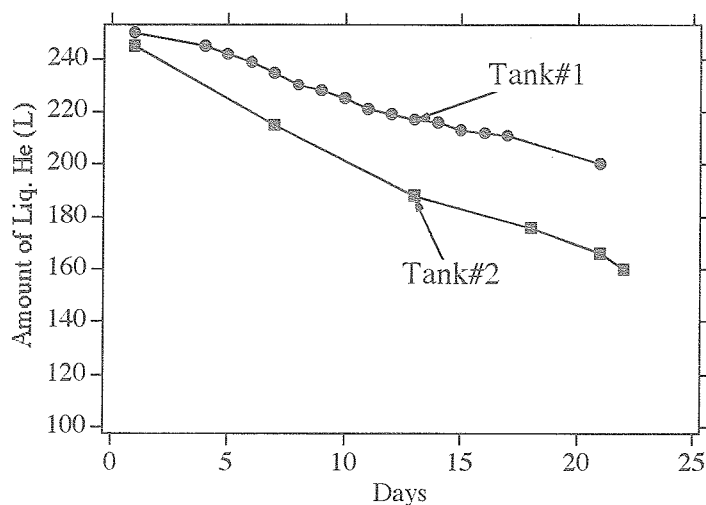


図1 フリーマントル出航後の2台の液体ヘリウム保存容器の液残量の推移

2.3. 地上送受信システムの準備

地上送受信システムは39次隊で使用したものと同一のものであり、主に送受信アンテナ、追尾のためのエモテータとそのコントローラ、CCDカメラ、受信機、復調機、コマンド送信機、PCなどで構成されている。今回は、これらの機材を第2廃棄物保管庫からRT棟に輸送し設置した。送受信機器および追尾コントローラなどをRT棟室内に、また、送受信アンテナ、エモテータを架台に固定してRT棟屋上に設置した。回収気球放球に先立って12月23日に実施された高高度気球の放球を利用して、追尾システムのマニュアル駆動動作と受信機のチェックを実施した。さらに、実際にサンプラーに搭載する送受信機器を第2廃棄物保管庫の入口付近の屋外に持ち出し、RT棟

との間で電波噛み合わせテストを行った。今回、この噛み合わせテスト時に、テレメータ信号の復調が十分に確認されない現象がしばしばみられた。なお、RT棟屋上から、放球場所であるCヘリポート、および第2廃棄物保管庫までの見通しは、途中の丘によって遮られている。このため、電波噛み合わせテスト時に、テレメータ信号強度が弱く、サンプラーデータの復調が不調であった問題の原因が、単に見通しがないためなのか、あるいはサンプラー側のテレメータエンコーダや送信機などのハードウェアの問題のためなのかを判断するのにかなりの時間を費やした。最終的には、1号機については送信機を交換することによって、また2号機についてはテレメータエンコーダを交換することによって、この問題は解決した。また、1回目の実験では、テレメータのGPS情報に頻繁に欠落が見られたが、国内サポートチームの的確な解析によって、地上設備の不具合が原因であることが判明し、機器を交換することで2回目の実験では良好なGPSデータが取得された。なお、サンプラーから送られるGPSデータをもとに自動追尾によりアンテナを駆動する予定であったが、ほぼ快晴の天候であったことから、CCDカメラにより目視確認できたので、放球時から高高度飛行中まで、モニターで気球を確認しながら手でアンテナ駆動モーターをコントロールした。

2.4. ネットワークを利用した国内へのデータ送信

クライオサンプラー放球・飛行時のQLデータを国内側サポートチームと共有するために、昭和基地と国内間のQLデータ通信システムを構築した。その概要を図2に示す。RT棟に設置された昭和基地側QLデータ通信ワークステーション (balloon1) と昭和基地有線LAN間は、RT棟と第一夏宿舎間に無線LAN (関西電気: AirLink) を設置して接続した。昭和基地有線LANと極地研LAN間の接続は、情報科学センターが維持しているインマルサットHSD回線によるデータ通信を使用した。balloon1と極地研側データサーバー (arcpc) 間のデータ伝送に使用したプロトコルはTCP/IP上のuucpである。データ送信要求は極地研側arcpcが30秒に1度発行し、昭和基地側balloon1に蓄積されている最新のQLデータをarcpcにダウンロードした。国内側では更に、arcpcからQL表示プログラムのインストールされたWindowsPCに、ftpでデータをダウンロードし、QLデータの画面表示を行った。実験当日は、極地研にクライオサンプラー関係者が、宇宙研に気球工学関係者が待機し、回収気球実験QLデータの監視を行った。残念ながら全体の1/3の時間は通信の不具合によって同時監視は出来なかったが、幸いなことに、トラブル発生の可能性が高いと考えられる気球の放球直後と気球カット・パラシュート降下時には国内側での完全な監視に成功した。今回のデータ通信不具合の原因は、arcpc-isch9-south1-balloon1の経路上をバケツリレー式でデータ伝送を行ったことによる。今後同様な準リアルタイムデータ伝送を行う場合は、ftp等のプロトコルを使用するか、あるいはサーバー間 (balloon1-arcpc) を直接接続とした上でuucpを使用する必要がある。

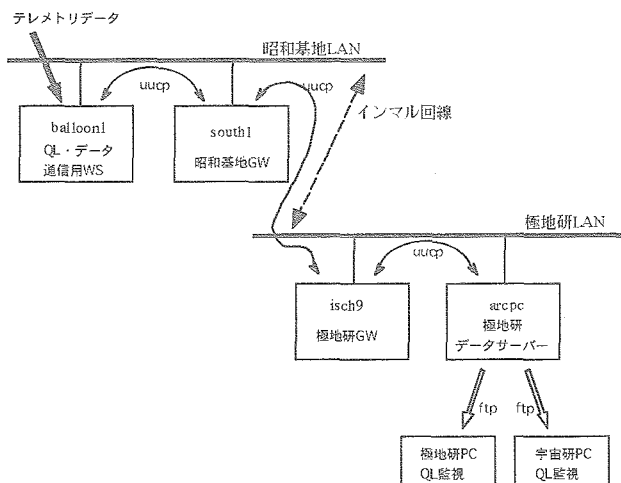


図2 昭和基地と国内との間の気球飛行データ通信システムの概略

3. 放球作業

放球の可否の判断は、主に地上風速が4m/s以下であること、上層風速が弱く着地予想地点が昭和基地より60km以内になること、着地地点の海水が回収可能な状態であること、であった。後者2点については、後述のように12月24日に氷状偵察飛行を実施し、ゴンドラが着地する可能性が高い半径60km円内の西側半分の領域を中心に調査した上で、定常気象から提供された高層気象データを逐次国内に送り、その時点での風向・風速による気球航跡および着地位置を予測し、回収可否を判断した。図3に着地予想地点の推移を示す。昭和基地から見た着地予想地点の方位と距離は、12月24日頃までは、西方約40km前後で比較的落ち着いていたが、25日以降上層風の傾向が変化し、北向きの成分が強まった。その後緩やかに再び西向き成分が回復してきたが、これと同時に上層の風速が強まり、当初2回目の放球が予定されていた1月3日には、西方100kmまで流されてしまう予想となっていた。結果的には、回収気球の放球は、12月26日と1月5日に実施され、上層の風向・風速の変化が激しい期間の中でも、地上風と上層風の条件がともに比較的良くなった極めて限られたタイミングで実施された。事前の氷状偵察において、基地の北方の領域は、部分的にパドルの発達が見られ、氷山の分布が密であることが判っていたため、回収を難しくする要因として危惧されたが、放球のチャンスが限られていることを鑑みて実行することを決定した。第1回、および第2回の放球日当日の時間的な作業の流れを表3、4に示す。放球作業は45次隊宇宙・並木隊員の指示の元に進められ、44次隊と45次隊の気水圏・宙空・電離層・定常気象・機械の各部門の隊員らで構成された放球作業チームによって実施された。特に、44次隊の関係者は、44次夏期の大気球実験や越冬中の高高度気球の放球の経験を積んでいたため、ガス注入などの主要な作業が極めて円滑に進められた。放球時には3名がRT棟に配置され、テレメータ監視、記録、追尾などを行った。なお、GPSアルゴスとレーウィンゾンデも放球場においてロープで結索、あるいは状況に応じてサンプラー自体に固定された状態で放球された。

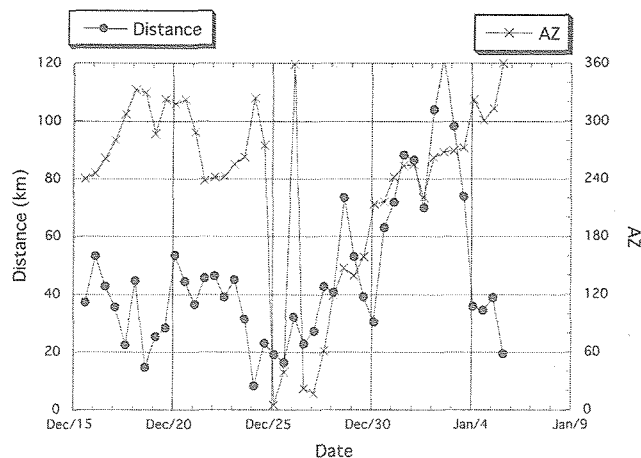


図3 高層気象データをもとに計算されたクライオサンプラーの着地予想地点の推移。
AZとDistanceはそれぞれ基地からみた着地点の方位と距離。

4. 気球の飛揚と大気サンプリング

放球時の地上風は、2回ともにほぼ無風に近く、放球に理想的な状態であった。気球はほぼ予定通りに5m/sの速度で上昇し、高度30kmで25分間程度の水平浮遊をした後、カットコマンドにより気球とゴンドラが切り離された。この間、気球上昇中と水平浮遊中に、予定していた11の高度において、大気サンプリング実行のコマンドを送信し、モーター駆動バルブの開閉を行うサンプリングシーケンスが順調に実施された。この気球の航跡と大気サンプリングが実施された位置を、図4、および図5に示した。どちらの気球飛揚についても、高度30km付近では

表3 2003年12月26日に実施された1号機の放球作業の時間的な流れ(時刻はLT)

08:15	実験関係者Cヘリポート集合、作業開始
09:10	サンプラー第2廃棄物保管庫からCヘリポートへ移動、噛み合わせ開始
09:47	噛み合わせ終了
10:21	ガス注入開始
10:24	頭部立て上げ
10:57	ガス注入終了
11:05	スクウィープタイマーON ランチャーロードセル浮力447kg
11:18	放球(地上風:N, 2.0m/s)
13:18	気球カット
13:27	着陸 QL最終表示; S68° 51' 15.3" E39° 31' 16.5"

表4 2004年1月5日に実施された2号機の放球作業の時間的な流れ(時刻はLT)

07:15	サンプラー第2廃棄物保管庫からCヘリポートへ移動
08:15	放球準備開始
08:56	PIかみ合わせ終了
09:34	気球展開、結線・結索終了
09:57	ガス注入開始
10:05	気球頭部立て上げ
10:17	ガス注入70%、カラー取り付け
10:27	ガス注入終了
10:35	気球立て上げ終了、総浮力460kg
10:36	スクウィープタイマーON
10:42	安全ベルト解除、カラー取り外し、放球
12:24	高度29.4km レベルフライト開始
12:43	気球カット、パラシュート降下開始
13:15	着陸 S68° 49' 46.8" E39° 19' 44.1" (昭和基地から333° 22km)

西向きの風であったが、上昇およびパラシュート下降中の高度10kmから20km付近において、北東から東北東の風が卓越しており、これによって最終的な着地点は、基地の北方となった。1号機では、気球カット後のバックドパラシュートの開傘が不完全となり、予定の降下速度をはるかに超える速度で落下するというトラブルが発生した。この結果、正常な開傘によって降下した2号機では、気球カットから着地までに30分程度かかっているのに対して、トラブルのあった1号機では約10分間で30kmを降下した。このため、着地衝撃による1号機の破壊が懸念されたが、次節で述べるように無事大気サンプルは回収されるに至った。1号機の実験終了後に回収されたパラシュートを入念に調べた結果、パラシュートに内蔵されているグラウンドディスクコネクと呼ばれる装置に何らかの原因があった可能性が疑われた。この装置は、着地後にパラシュートが風によってあおられるのを防ぐために、着地後に自動的に結索の一部を切断する装置である。このバックドパラシュートのトラブルについては、即座に国内と情報を交換し、2号機の実施に向けた対策を検討した。その結果、2号機のパラシュートではグラウンドディスクコネクを取り外して使用することにした。

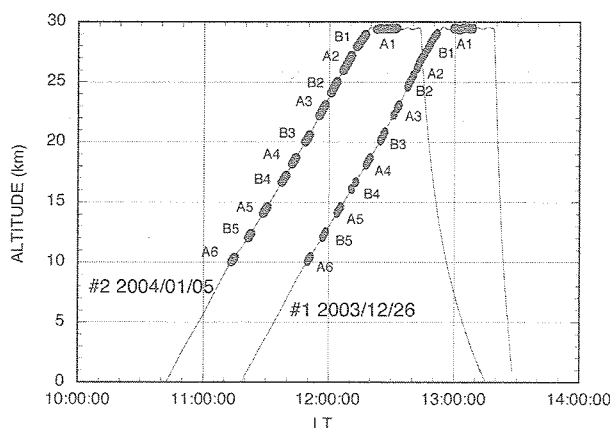


図4 気球の高度の時間変化。黒丸は大気サンプリングの高度を示す。

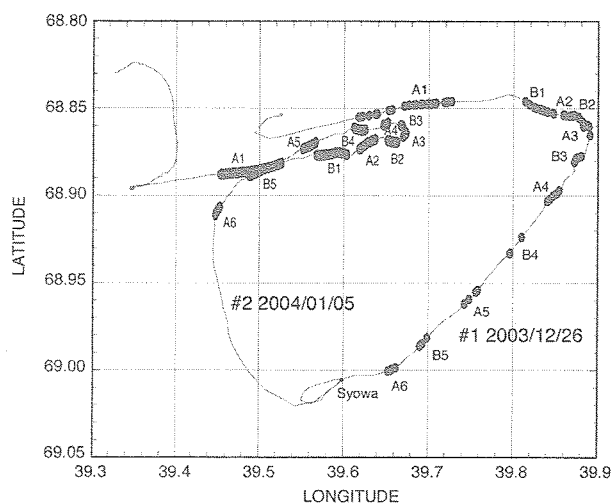


図5 気球の航跡。黒丸は大気サンプリングの位置を示す。

5. 回収オペレーション

5.1. 氷状偵察フライト

回収気球の放球に先立ち、12月24日に海氷の状態を把握するためにしらせのヘリコプターによる海氷偵察フライトを実施した。約3時間にわたって、昭和基地から半径60kmの圏内の海域を、約20kmの走査幅でジグザグに飛行した。基地より西側の海域では比較的海氷は安定しており、その表面も一様な積雪で覆われ、ゴンドラの氷上回収にとって有利な領域であると判断された。一方、基地より北側の領域では、安定した海氷の面積比率も高いものの、冰山が数多く分布し、また部分的にパドルの発達が見られた。また、海氷が開いて大きく海水面が現われている領域も見られた。以上の偵察結果を総合的に検討し、安定した海氷上へのゴンドラの着地、および海氷上での回収の可能性は十分にあると判断された。

5.2. 1号機の着地点偵察フライトと氷上解体回収

1号機の回収にあたっては、まずゴンドラ着地後、直ちにゴンドラの搜索と着地点の氷状を確認するためのヘリフライトが実施され、実際の回収作業は翌日となった。これらの一連の時間的な作業の流れを表5に示した。ゴンドラの搜索は、RT棟にて最後に受信されたテレメータのGPS情報をもとに行われた。このGPSで示された地点付近を目視により搜索し、間もなく海氷上にサンプラーが発見された。なお、簡易アンテナとハンディー受信機を

捜索用に準備し、現場に向かうヘリコプター機内において、ゴンドラから1680MHzの信号が送出されていることを確認した。ゴンドラは、平坦な海氷上の積雪に直立の状態でも半分以上埋もれており、不完全なパラシュート開傘による大きな着地衝撃を、積雪がかなり吸収したものと考えられた。現場付近の映像を記録し、しらせにて回収方法を検討することにした。

しらせに帰艦後、観測隊回収班としらせ飛行科との間で検討会を開き、現場の海氷状況について、氷上の回収作業が可能であるという共通の認識を持った。しかし、当初から希望していたヘリによるゴンドラのスリング輸送については、スリング作業のための飛行科員を海氷上に降下させるためには安全確認が不十分である、とのしらせ側の判断により見送られた。これにより、ゴンドラ自体およびその外側を覆っているショックアブソーバーの回収は不可能となり、観測隊回収班がゴンドラ内外部を海氷上で解体・梱包し、ホイストによってヘリに揚収するという方針を決定した。

表5 2003年12月26日に実施された1号機着地地点の偵察フライトと、翌27日に実施された氷上解体回収の時間的な流れ（時刻はLT）

12月26日
14:00 偵察班、AヘリP/U（橋田、菅原、石戸谷、小田）
14:05 着地地点着
14:10 サンプラー確認、ホバリングによりサンプラーおよび氷状況確認
14:30 しらせへ帰艦
14:45 しらせにて回収方法を検討 氷上にて解体しホイスト揚収を決定
12月27日
08:30 ヘリしらせ発艦
08:35 Aヘリポート P/U（橋田、菅原、石戸谷）
08:45 ゴンドラ着地地点到着 人員3名・タイコン1袋（工具等）ホイスト降下
09:00 解体作業開始
15:00 ヘリ着地地点到着、人員3名、タイコン4袋（試料容器、工学回路、パラシュート、工具）揚収
15:30 着地地点発
15:40 Aヘリポート着、人員3名・タイコン4袋降ろし

表6 2004年1月5日に実施されたスリング輸送による2号機の回収の時間的な流れ（時刻はLT）

14:00 回収班昭和発（86号機；橋田、小田、菅原）
14:10 着陸地点着、サンプラー発見
14:15 小田隊員ホイスト降下、安全確認開始
14:30 スリング実施決定、橋田、菅原ホイスト降下
15:12 87号機 着陸地点着
15:30 87号機サンプラーをスリング、着陸地点発
15:35 86号機、菅原、橋田、小田、パラシュートをホイスト揚収
15:42 87号機昭和着
15:50 86号機昭和着

翌日12月27日、回収班3名がヘリで着地現場に向かい、ホイストにより海氷上に降下して解体作業にあたった。海氷上の積雪はザラメ状で固く、歩行にもほとんど支障のない状態であった。始めにパラシュートの開傘や結索、グラウンドディスコネクトの状態を入念に調べ、記録写真を撮って梱包した。その後、ゴンドラを解体し、最も重要な試料容器が一体となっているデュワーをはじめ、搭載回路、工学回路ボックス、配管と配線、GPSアルゴスなど、ゴンドラから取り外せる物を全て回収した。部分的に着地衝撃のための破損や変型が見られたが、重要な部分には損傷は見られなかった。なお、GPSアルゴスはゴンドラを囲むアルミフレームに固定されていたが、着地時に雪面上に出ているために、その位置データは衛星経由で順調に送信され、国内サポートチームもゴンドラの正確な位置を把握できた。約6時間にわたって解体・梱包作業を行った後、ホイストによりヘリに物資と人員を揚収し、ゴンドラのみを現地に残して帰還した。

5.3. 2号機のスリング輸送

1月2日にしらせにおいて、2号機の回収オペレーションに関する検討会を開いた。席上、しらせ側より、条件が良い場合にはスリング輸送を実施するとの基本方針が示され、その手順の詳細を決めた。氷上でのスリング作業は観測隊回収班が行うことにし、スリング用の吊下棒にワイヤーを連結したものを発艦するヘリのスリングフックに予めセットしておくことで、海氷上での作業を単純化することにした。この方法により、海氷上の回収班は、ゴンドラに結索されているスリング用ベルトと、ヘリ側の吊下ワイヤー末端のシャックルをカラビナで連結するだけでよくなった。1月6日に実施された回収作業の流れを表6に示す。1号機と同様に2号機でも着地直前までGPS情報を受信することができたため、ゴンドラは容易に発見された。着地地点付近の海氷は、パドルが無数に散在しているものの、その底は浅く、氷盤は安定していた。ゴンドラは積雪に埋まらずに、雪面に倒れた状態であった。始めに44次の小田隊員がホイストにより降下し、海氷の状態を確認した上で、スリング輸送実施の決定が下された。続く2名が降下した後、パラシュートの切り離しと梱包、ゴンドラの処理を行った。ゴンドラの外枠とクラッシュパッドは、着地衝撃を吸収してかなり変型しており、直立させられない状態であった。スリング輸送中に外枠が脱落するのを防ぐためにベルトで外枠を固定し、ゴンドラを倒した状態でスリングワイヤーの連結を行った。ホバリングによるヘリの接近から、ワイヤーへのゴンドラの連結、ゴンドラ吊り上げまで、極めてスムーズに作業は進められた。吊り上げ時にゴンドラが大きく揺れるようなことはなかった。その後ヘリはゴンドラをAヘリポートに運び、着地後にスリングフックを切り離して、帰艦した。スリング輸送による回収オペレーションはヘリ発艦から2時間内に全てを終了した。

6. まとめ

南極昭和基地における二度のクライオジェニックサンプラー回収気球実験により、南極成層圏の貴重な大気サンプルを大量に採取することに成功した。採取された試料は、しらせによって国内に輸送された後に、東北大学においてそれらのサンプルの量の計測が行われた。その結果、各高度で採取されたそれぞれのサンプル量は9～18L-STP（標準温度標準気圧）であり、概ね予定通りの採取量であることがわかった。特に観測された最高高度である30km付近で採取されたサンプル量が最も多かったことは大きな成果と言える。今後国内で進められる分析作業によって、多くの新たな事実が明らかにされるものと期待される。

謝 辞

本研究の計画、国内準備、遂行にあたり、多大なご助力を賜りました。三陸大気球観測所の皆様に感謝いたします。また、昭和基地での気球実験の実施に際し、あらゆる面で協力を頂いた44次、および45次観測隊の皆様、しらせ飛行科の皆様にご感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] Honda, H., S. Aoki, T. Nakazawa, S. Morimoto, N. Yajima, Cryogenic air sampling system for measurements of the concentrations of stratospheric trace gases and their isotopic ratios over Antarctica, *J. Geomag. Geoelectr.*, 48, 1145-1155, 1996.
- [2] 青木周司, 橋田 元, 町田敏暢, 岡野章一, 山内 恭, 森本真司, 本田秀之, 並木道義, 井筒直樹, 矢島信之, 中澤高清, 川村賢二, 南極昭和基地における大気球を用いた成層圏大気クライオジェニックサンプリング実験—実験経過と分析結果—, *大気球シンポジウム*, 92 - 95, 1998.
- [3] 本田秀之, 成層圏大気中の多種の微量成分観測を目的とした気球搭載用大気採取装置の研究, *宇宙科学研究所報告*, 第115号, 1-93, 2001.