

## 2003 年南極周回気球実験

並 木 道 義<sup>1</sup>・松 坂 幸 彦<sup>1</sup>・斉 藤 芳 隆<sup>1</sup>・門 倉 昭<sup>2</sup>・海老原 祐 輔<sup>2</sup>  
山 岸 久 雄<sup>2</sup>・佐 藤 夏 雄<sup>2</sup>・江 尻 全 機<sup>2</sup>・飯 島 一 征<sup>1</sup>・川 崎 朋 実<sup>1</sup>  
太 田 茂 雄<sup>1</sup>・井 筒 直 樹<sup>1</sup>・山 上 隆 正<sup>1</sup>・井 上 一<sup>1</sup>・廣 澤 春 任<sup>1</sup>  
内 山 貞 幸<sup>3</sup>・紺 野 祐 司<sup>3</sup>

## Polar Patrol Balloon in 2003

By

Michiyoshi NAMIKI<sup>1</sup>, Yukihiro MATSUZAKA<sup>1</sup>, Yoshitaka SAITO<sup>1</sup>, Akira KADOKURA<sup>2</sup>, Yusuke EBIHARA<sup>2</sup>,  
Hisao YAMAGISHI<sup>2</sup>, Natsuo SATO<sup>2</sup>, Masaki EJIRI<sup>2</sup>, Issei IJIMA<sup>1</sup>, Tomomi KAWASAKI<sup>1</sup>,  
Shigeo OHTA<sup>1</sup>, Naoki IZUTSU<sup>1</sup>, Takamasa YAMAGAMI<sup>1</sup>, Hajime INOUE<sup>1</sup>, Harutou HIROSAWA<sup>1</sup>,  
Sadayuki UCHIYAMA<sup>3</sup> and Yuuji KONNO<sup>3</sup>

**Abstract :** National Institute of Polar Research, Institute of Space and Astronautical Science, and other universities carried out long-duration balloon experiment in Antarctica in January 2003. We called this experiment as "Polar Patrol Balloon (PPB)" experiment. Onboard instruments are ULF/ELF/VLF wave receiver, aurora X-ray imager, DC electric field instrument, 3-axis fluxgate magnetometer, and the ionospheric total electron content measurement using GPS. It was planned to launch three balloons with identical instrumentation from Antarctic Syowa Station with a spatial separation of 150 km, in order to study spatial and temporal variations of the phenomena occurring in the boundary regions in the magnetosphere such as plasmopause, LLBL, PSBL and the cusp. The first balloon was launched on 6th January, but the flight was terminated 2 hours after the launch due to a trouble in cut-down command system. The rest of the balloons were launched successfully on 13th January. They reached a ceiling altitude of 32 km and moved westward at a speed of about 20 km/h. When they reached halfway of their circum-polar flight on 25th January, the wind system in the stratosphere changed directions and the balloons were stagnated there, and finally moved eastward. After 17~24 days from launching, balloons and payloads landed on the sea. During these flight, the separation of the balloons changed from 150km to 1500km. Observed data were directly transferred to Japan by Iridium satellite telephone system. In this paper, we describe the summary of the housekeeping system, balloon operations in the Syowa station, and results of balloon flights.

---

<sup>1</sup>宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

<sup>2</sup>国立極地研究所

<sup>3</sup>クリアパルス株式会社

## 概 要

国立極地研究所、宇宙科学研究所および他の大学研究機関と共同で行った大気球実験は、2003年1月に南極における長時間気球実験を実施した。我々は、この気球実験を南極周回気球実験〔1〕と呼んでいる。気球に搭載された観測器は、ULF/ELF/VLF波動検出器、オーロラX線撮像装置、DC電場検出器、3軸フラックス磁場検出器とGPSを用いた電子密度検出器であった。当初は、上記の検出器を搭載した3機の気球を磁気圏の境界領域で起こる現象の空間的・時間的変動を研究するために150 km離して連続的に南極昭和基地より放球する予定であった。最初の気球は、2003年1月6日に放球されたが、気球切り離しコマンドシステムの誤動作により、放球から2時間後に飛翔を終了する事故があった。後の2機の気球は、2003年1月13日に放球され、高度32 kmで水平浮遊に入り、約20 km/hrで西方に進行した。2機の気球は、南極上空を半周した1月25日に上空の風の方向が変わり、最終的には東方に進行し、約17～24日後に着水した。この間、2機の気球は、150 kmから1500 kmの距離を保ちながら飛行を続けた。観測されたデータは、イリジウム衛星回線システムを用いて、日本に直接伝送した。

本稿では、気球に搭載したHKシステムの概要、昭和基地における気球放球作業、気球飛翔状況およびHKデータの解析結果について述べる。

**重要語：**長時間観測、南極周回気球、クラスターバルーン、HKシステム

## 1. 放球設備

### 1.1. 放球場

気球の放球場は昭和基地からおおよそ東へ1 km離れた新ヘリポート（Cヘリポート）を使用した。この場所は昭和基地からはやや離れているものの全長110 m、幅30 mの平らな場所であり、周囲には高い建物等がないため放球には適している場所である。図1に見晴らしから見た昭和基地の全景を示す。

ほぼ中央の平らな部分が放球場として使用した部分である。この放球場の両側面にヘリウムガスカードル8本組66カードルを配置した。予備のヘリウムガスボンベ30本を入れると合計558本のヘリウムボンベが使用された。また今回、観測器の組み立て、調整等を行う場所は第43次隊で建設された第2廃棄物保管庫を使用した。中央左隅の半円筒型の建物が観測器等を組み立て調整した第2廃棄物保管庫である。この第2廃棄物保管庫は幅10



図1 「見晴らし」から見た昭和基地全景



m、奥行き17 m、中央高さ5.15 mのかまぼこ型の建物であり、庫内の床面はコンクリート製であるため観測器の移動等が楽に行える構造である。外部には大型の発電機を備えており、持ち込んだ全ての機器の調整および試験に役立ち、出入り口も幅4 m、高さ3.5 mと大きな開口部を有しているため観測器の出入り等も楽で便利な建物であった。図2に第二廃棄物保管庫の内部様子を表し、図3に飛揚場側面に並べたヘリウムカードルの配置の様子を示した。



図2 第2廃棄物保管庫の内部



図3 飛揚場側面に並べたヘリウムカードル

## 1. 2. 受信設備

受信設備は主に昭和基地の西側に位置するロケットテレメータセンター（RT棟）に設置した。この設備は製作からすでに30年以上経過しているものであるが、直径2 m  $\phi$  のアンテナ本体はFRP製のドーム内に収納されており、30年以上経過しているものとは思えないほど状態はよく、また受信装置そのものも保存状態がよく安定に動作をしていた。

今回、このRT棟を使用するにあたって、かなり以前に電力線が撤去されていたが、第43次南極観測隊で越冬された宙空の田口氏に状態を調査していただいた結果、使用に問題なしとのことであったので同氏の越冬中に電力線の敷設をお願いした。その結果、電気ヒーターも使用できる電力線の敷設をしていただいたため、快適な気球の追尾受信を行うことができた。ただし、コマンド等の送信装置には新しいタイプの送信機を搬入して使用した。また、以前のコマンド送信用のアンテナタワーは根本から倒壊していたため、RT棟の屋上に新規に搬入した5素子八木アンテナを設置した。図4にRT棟内部の設置状況を示す。

受信装置の予備として持ち込んだ簡易型の小型受信機（AOR製：AR 3000）に10素子の円形八木アンテナおよびビットシンクロ、パソコン等の予備機を使用して第2廃棄物保管庫内でチェックできるように配置した。図5に昭和基地での受信およびデータ記録の模式図を示す。

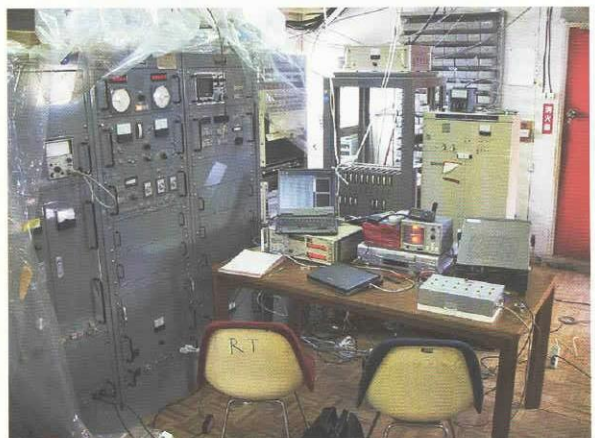


図4 RT棟内部

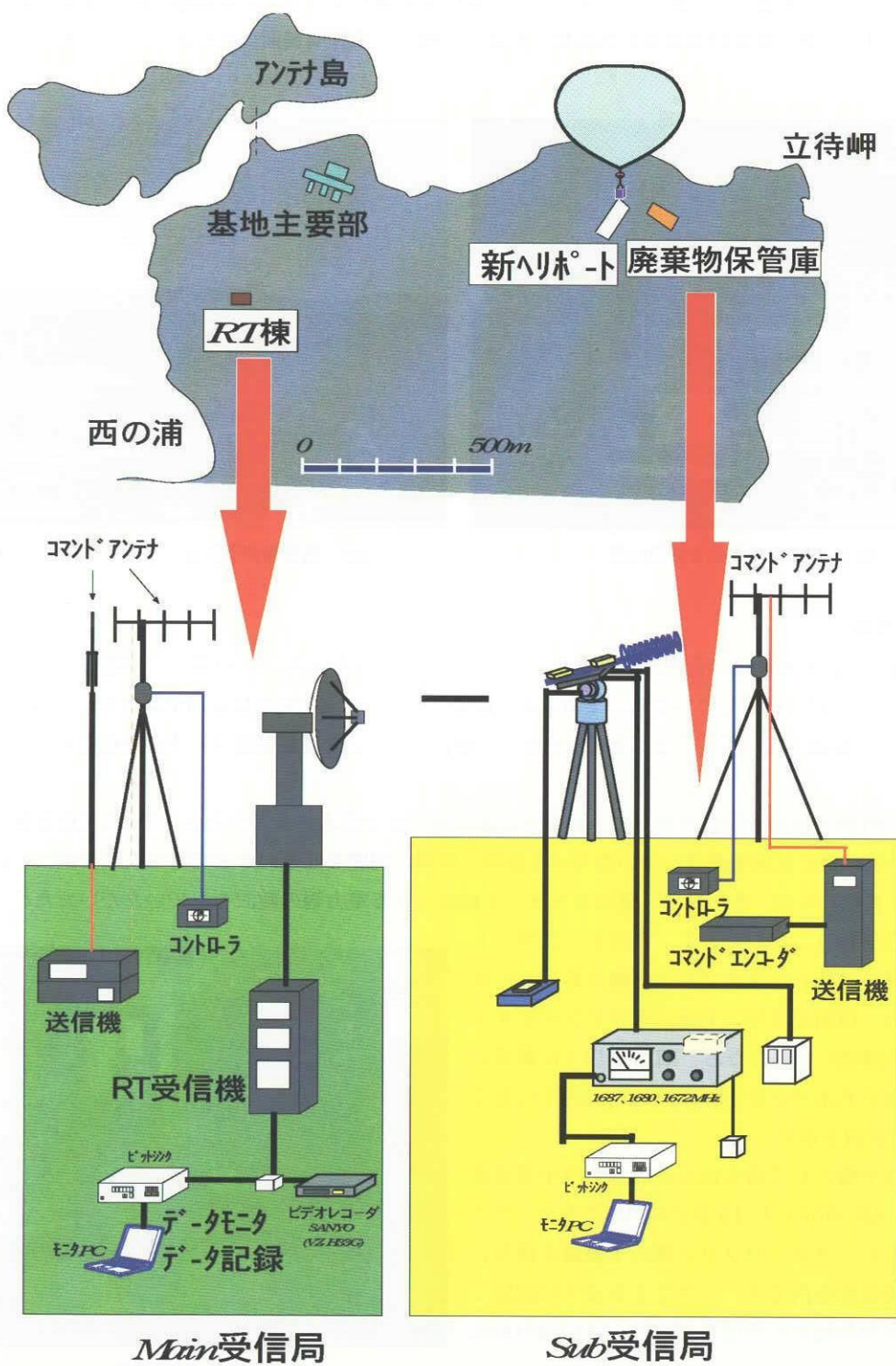


図5 昭和基地での受信およびデータ記録





地球物理観測器はオーロラX線観測、地場観測、電場観測、VLF観測、GPS/TEC観測と5つの観測器が搭載されており、気球との干渉をさけるため気球から100m離す巻き下げ装置も搭載しており、荷姿としても複雑な観測器である。また、この観測器は同じ観測器を3機製作され、可能な限り短い時期に連続して放球を行い3機のクラスター観測を目的としている。このため、1日で3機を放球しなければならず最良の気象条件を選ばなければならない。国内では1機放球するのに要する時間は2～3時間であるが極地であるということとほとんどの作業人員は観測隊員であり、4～5時間がかかることが予想され、3機の放球タイミングを午前、午後、夜として対応することにした。

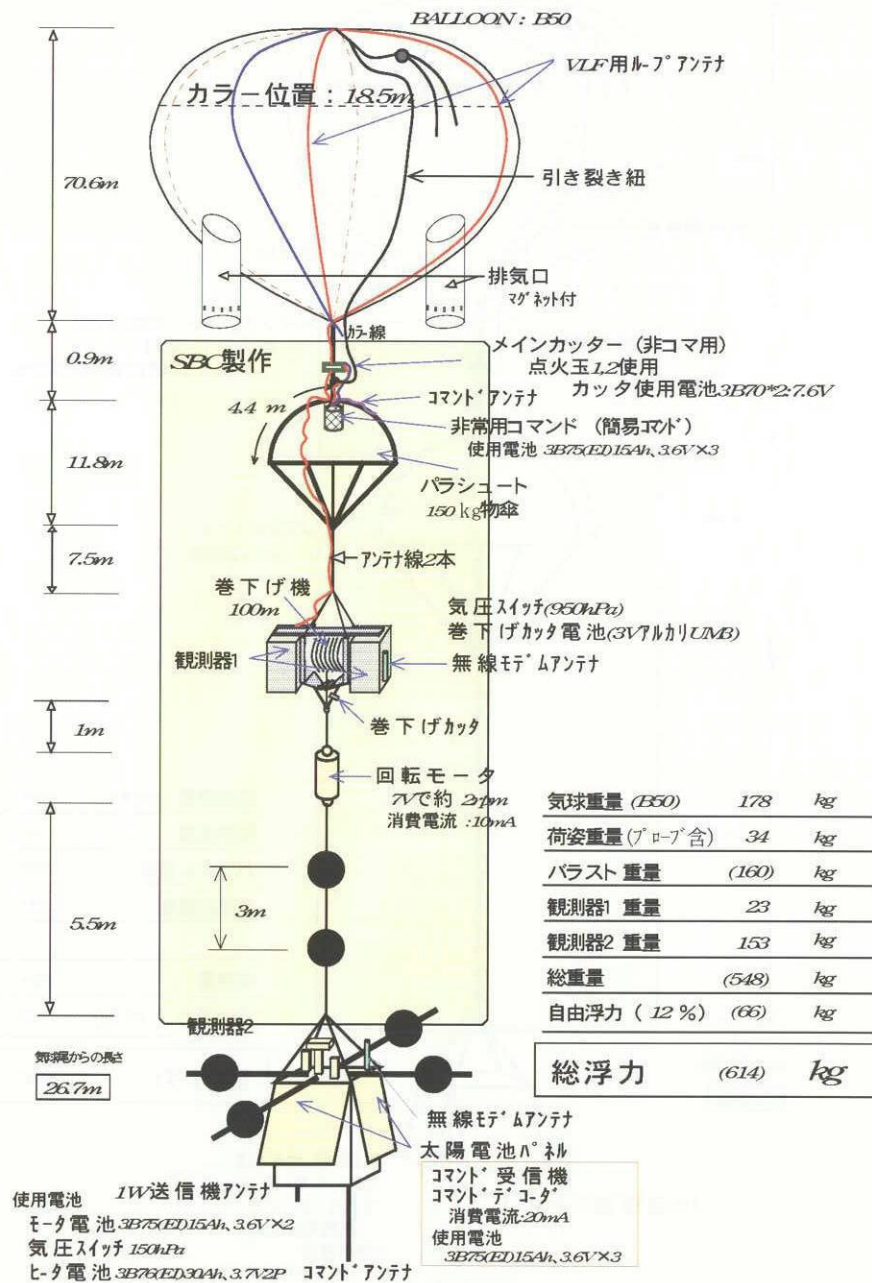


図7 地球物理観測器の飛翔荷姿

## 2.2. 気球工学機器

PPB 7号機からPPB 10号機の4機の共通気球工学搭載機器を以下に示す。

### 1. GPSアルゴス送信機

GPS測位間隔・・・UTCの正時を基準に30分毎  
 GPSデータ蓄積・・・30分毎8個の緯度、経度、高度データを蓄積  
 ARGOS送信周波数・401.630～401.656 MHz  
 ARGOS送信電力・・・1 W  
 ARGOS送信間隔・・・90秒間隔  
 稼働時間・・・・・・・・1ヶ月以上  
 稼働方法・・・・・・・・下部に取り付けてある磁石を取り除く  
 動作温度範囲・・・・・・・・-15℃～+50℃  
 ID番号・・・・・・・・宇宙物理(28835), 地球物理1号(28832),  
 地球物理2号(28833), 地球物理3号(28834)

### 2. イリジウム送信機

送信周波数・・・・・・・・1621.35～1626.5 MHz  
 送信電力・・・・・・・・500 mW  
 電力供給・・・・・・・・太陽電池  
 伝送レート・・・・・・・・地上実験の実績から平均1700 bps

### 3. 太陽電池

1面最大発電量・・・・・・・・225 W (シャープ製ソーラーカー用5枚)  
 最大出力電圧・・・・・・・・24 V  
 温度・照射の影響・・・60%まで低下しても使用電力を満足

### 4. ニッケル水素電池(4個搭載)

電圧・・・・・・・・12 V  
 電流・・・・・・・・7.5 V  
 電力・・・・・・・・90 W  
 満充電時・・・・・・・・4個で約4時間稼働可能(平均3時間程度)  
 通常充電電流・・・・・・・・1.2～1.5 A

### 5. 1.6 GHz送信機

送信周波数・・・・・・・・宇宙物理, 地球物理1号:(1672 MHz)  
 地球物理2号:(1680 MHz),  
 地球物理3号:(1687 MHz)  
 送信電力・・・・・・・・1 W  
 送信信号・・・・・・・・65.5 kbpsのPCM  
 電源・・・・・・・・12 V, 400 mA (太陽電池)  
 製作・・・・・・・・三協特殊無線株式会社

### 6. 72.3 MHz Main コマンドデコーダ

コマンド受信機・・・・・・・・三協特殊無線株式会社  
 電源・・・・・・・・11 V, 20 mA (リチウム一次電池)  
 稼働期間・・・・・・・・1ヶ月程度  
 使用デコーダ・・・・・・・・宇宙物理(600 bps), 地球物理1号(1200 bps)

地球物理 2 号 (2400 bps), 地球物理 3 号 (2400 bps)

#### 7. 72.3 Mhz Sub コマンドデコーダ

使用 . . . . . 地球物理観測器のみ切り離しに使用する

コマンド受信機 . . . . . 三協特殊無線株式会社

電源 . . . . . 11 V, 20 mA (リチウム一次電池)

使用デコーダ . . . . . 地球物理 1, 2, 3 号共 (1200 bps)

#### 8. オートレベルコントローラ

新オートバラスト回路と従来方式のオートバラスト回路が搭載されている.

##### 新オートバラスト回路

使用気圧計 . . . . . MSK バラトロノ気圧計 (100 torr)

気圧電源 . . . . .  $\pm 15$  V, 35 mA (リチウム一次電池)

回路電源 . . . . . 15 V, 120 mA (リチウム一次電池)

投下設定高度 . . . . . 水平浮遊高度 (H)  $\times 1.15$  (hPa) . . . 水平高度の約 1 km 下, 日毎に設定高度が高くなり, 低くなることはない

投下禁止法 . . . . . 電源投入より 2 時間と高度が 20 torr 以上の両方の条件満足

サンプル間隔 . . . . . 4 分に 1 回, その時の高度が設定高度以下の場合約 2 kg のバラストを投下

強制禁止 . . . . . コマンドにより新オートバラスト稼働と停止を選択

##### 旧オートバラスト回路

使用気圧計 . . . . . 新オートバラストと共用

回路電源 . . . . . 10 V, 30 mA (リチウム一次電池)

投下設定高度 . . . . . 1 日目の予想水平浮遊高度  $H_{km}$  ー 約 2 km 下, 日毎に設定高度と水平高度の差は大きくなる

投下禁止法 . . . . . 電源投入より 10 時間

サンプル間隔 . . . . . 4 分に 1 回, その時の高度が設定高度以下の場合バラスト投下

バラスト投下量 . . . . . 1 回に 10 秒間隔で約 2 kg

#### 9. 精密気圧計 (1000 torr 用)

使用気圧計 . . . . . セトラ製 1000 torr 気圧計

気圧計電源 . . . . . 24 V, 10 mA (リチウム一次電池)

#### 10. 巻き下げ器

製作会社 . . . . . 有限会社フラミンゴ

巻き下げ方式 . . . . . 遠心ブレーキ方式

使用ロープ . . . . . 6 mm  $\phi$  ケブラーロープ (100 m)

巻き下げ開始 . . . . . 気圧スイッチ (950 hPa)

#### 11. 回転モータ

製作会社 . . . . . 有限会社フラミンゴ

使用電源 . . . . . 7 V, 20 mA (リチウム一次電池)

回転周期 . . . . . 1.5 ~ 2.0 rpm

回転開始 . . . . . 気圧スイッチ (150 hPa) で開始する

モータヒータ . . . . . サーモスタットで 8  $^{\circ}$ C に設定 (リチウム一次電池)



### 3. ヘリウムガス注入量の決定

ヘリウムガスの注入量は1992年の南極実験では簡単に行えるように表を作成して対応したが、もし観測器の重量が大幅に変更することになると表では対応できなくなる。そこで今回は全てに対応可能な計算式による方法[2]を採用することにした。

#### 3.1. ヘリウムガス量の計算

宇宙線観測器の場合

気球 (270 kg) + 観測器 (230 kg) + 荷姿 (15 kg) + バラスト (250 kg) = 総重量 (765 kg)

総重量 (765 kg) + 自由浮力 (10 %, 77 kg) = 総浮力 (842 kg)

19 カードル (152 本) を使用するとして試算する。

$152 \times 0.04725 = 7.182 \text{ kg/1 気圧}$  の浮力が得られる。

最終圧力は、

$$P_f = (273 + T_0) Y (1 - AP_0) / (293 - 5.23 \times 10^{-4} \times (273 + T_0) Y) \quad (1)$$

最終温度は、

$$T_f = T_0 - A (P_0 - P_f) (273 + T_0) \quad (2)$$

で求まる。

$$\text{ここで、} Y = Z / (1 - GZ) \quad (3)$$

$$Z = X / (1 + GX) - F / 7.182 \quad (4)$$

$$X = 293 P_0 / (273 + T_0) \quad (5)$$

$$G = 5.35 \times 10^{-4}$$

$$A = 5.23 \times 10^{-4}$$

F: 総浮力

$P_0$ : 初期ガス圧

$T_0$ : 初期温度

計算例:

$P_0 = 135 \text{ 気圧}$ ,  $T_0 = 5^\circ\text{C}$ , 使用ポンベ = 152 本,  $F = 842 \text{ kg}$  の場合

$$(5) \text{ 式より } X = 293 \times 135 / (273 + 5) = 142.28$$

$$(4) \text{ 式より } Z = 142.28 / (1 + 5.35 \times 10^{-4} \times 142.28) - 842 / 7.182 = 14.98$$

$$(3) \text{ 式より } Y = 14.98 / (1 + 5.35 \times 10^{-4} \times 14.98) = 15.10$$

最終圧力は (1) 式より

$$P_f = 278 \times 15.10 (1 - 5.23 \times 10^{-4} \times 135) / (293 - 5.23 \times 10^{-4} \times 278 \times 15.10) \\ = 13.41 \text{ 気圧}$$

最終温度は (2) 式より

$$T_f = 5 - 5.23 \times 10^{-4} \times (135 - 13.41) \times 278 = -12.7^\circ\text{C}$$

となる

注意 1) 最初圧力計の較正を行う時、大気開放時を  $1 \text{ kg/cm}^2$  に合わせること。

2) ガス注入終了後、5 分程度はガス圧を確認し、上記の最終ガス圧まで必ず注入する。

3) 最終温度は、環境によるので、温度をあまり気にする必要はない。

地球物理観測器の場合

気球 (178 kg) + 観測器 (155 kg) + 荷姿 (55 kg) + バラスト (200 kg) = 総重量 (588 kg)

総重量 (588 kg) + 自由浮力 (10%, 59 kg) = 総浮力 (647 kg)

14 カードル (112 本) を使用するとして試算する.

$112 \times 0.04725 = 5.29 \text{ kg/1 気圧}$  の浮力が得られる.

最終圧力は,

$$P_f = (273 + T_0) Y (1 - A P_0) / (293 - A (273 + T_0) Y) \dots\dots\dots (1)$$

最終温度は,

$$T_f = T_0 - A (P_0 - P_f) (273 + T_0) \dots\dots\dots (2)$$

で求まる.

$$\text{ここで, } Y = Z / (1 - GZ) \dots\dots\dots (3)$$

$$Z = X / (1 + GX) - F / 5.29 \dots\dots\dots (4)$$

$$X = 293 P_0 / (273 + T_0) \dots\dots\dots (5)$$

$$G = 5.35 \times 10^{-4}$$

$$A = 5.23 \times 10^{-4}$$

F: 総浮力

$P_0$ : 初期ガス圧

$T_0$ : 初期温度

計算例:

$P_0 = 136 \text{ 気圧}$ ,  $T_0 = 1^\circ\text{C}$ , 使用ボンベ = 112 本,  $F = 647 \text{ kg}$  の場合

$$(5) \text{ 式より } X = 293 \times 136 / (273 + 1) = 145.43$$

$$(4) \text{ 式より } Z = 145.43 / (1 + 5.35 \times 10^{-4} \times 145.43) - 647 / 5.29 = 12.63$$

$$(3) \text{ 式より } Y = 12.63 / (1 + 5.35 \times 10^{-4} \times 12.63) = 12.72$$

最終圧力は (1) 式より

$$\begin{aligned} P_f &= 274 \times 12.72 (1 - 5.23 \times 10^{-4} \times 136) / (293 - 5.23 \times 10^{-4} \times 274 \times 12.72) \\ &= 11.12 \text{ 気圧} \end{aligned}$$

最終温度は (2) 式より

$$T_f = 1 - 5.23 \times 10^{-4} \times (136 - 11.12) \times 274 = -16.9^\circ\text{C}$$

となる

この計算式を手帳型計算機に覚えさせてヘリウムガスを実際に注入する場所で計算し、注入量を決定した。さらにランチャーに設置されているロードセル張力計により、気球が立ち上がった時の浮力の再確認と気球本体からの漏れのチェックも行った。

図8は宇宙線の観測器に使用したヘリウムガス160本のボンベを接続した状態を示しており、全本数を一度に注入可能であるが、漏れチェックを完全に行うことが必要である。



図8 ヘリウムガスボンベの接続

## 4. 気球放球作業

### 4.1. 役割分担

図9に大気球放球作業の役割分担図を示す。第44次観測隊11名と第33次観測隊3名合計14名で大気球の放球作業を行った。

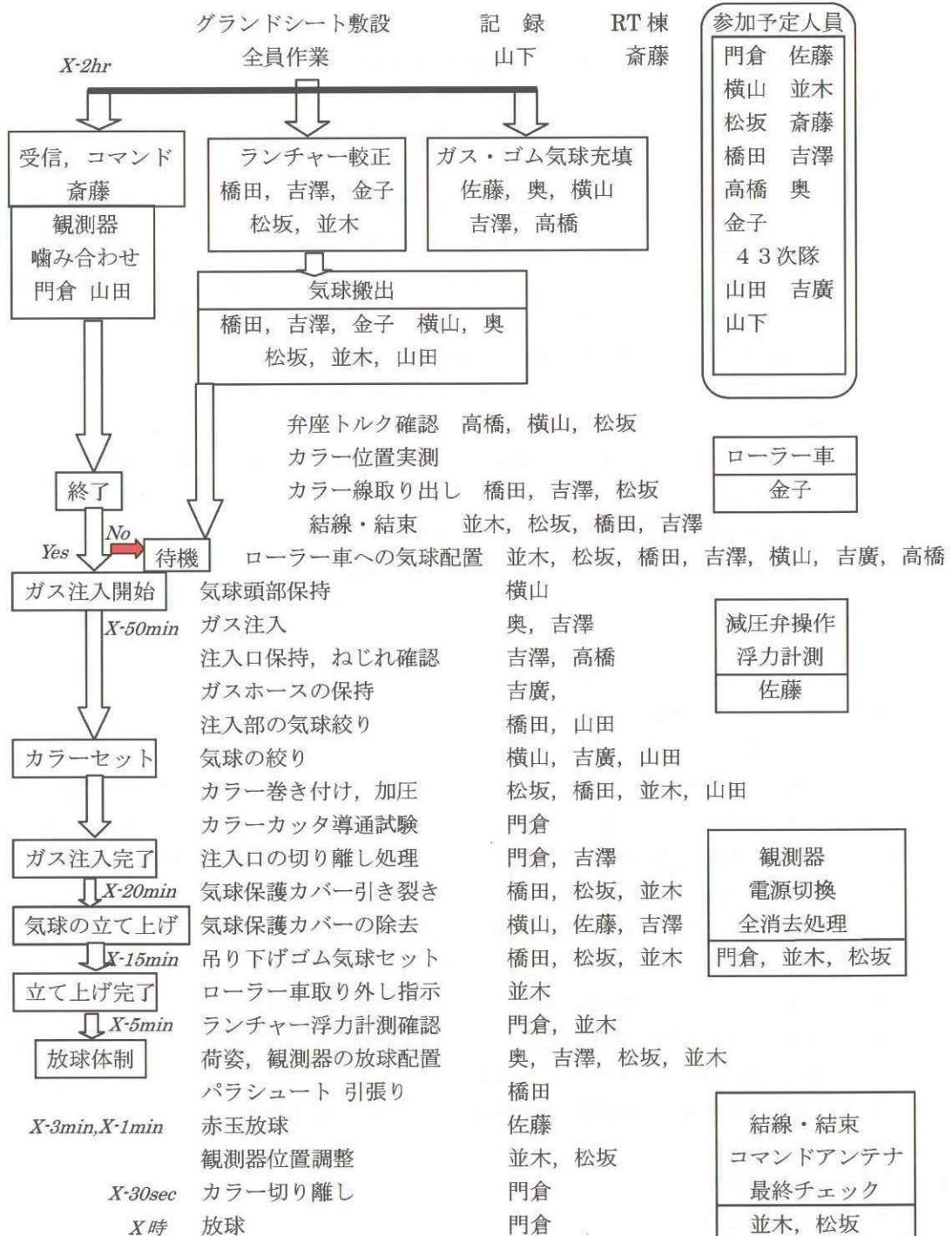


図9 役割分担図



12月17日に第1便としてのヘリコプターが昭和基地に向かった。気球班としては昭和基地での緊急物資搬入のため門倉氏を先に昭和基地に送り、残った我々は、そのままでは大きすぎてヘリコプターに搭載できない観測器の開梱作業のため「しらせ」甲板上で開梱作業を行い、昭和基地へは最後に向かうことになった。以下に実施作業項目を示す。

#### 実施作業項目

12月

17日(火)

18日(水) 昭和基地入りする予定であったが強風のため延期

19日(木)

20日(金) 3日遅れてヘリコプターで昭和基地へ、緊急物資も搬入→第2廃棄物保管庫

21日(土) ヘリウムカードル24基搬入

22日(日) ガス系配管作業、ランチャー設置、荷物開梱作業

23日(月) 宇宙線観測器組み立て、バラスト搭載、太陽電池パネル取り付け、ガス配管漏れ修復

24日(火) 宇宙線観測器工学系チェック、RT棟コマンド、テレメータ組み立て、太陽電池配線修正、フィールド養生→アルミ製コンパネ70m敷設、7号機と気球4機重量測定

25日(水) 太陽電池にて搭載電池充電試験、宇宙線観測器最終チェック

26日(木) 放球の準備作業、5～6m/sの地上風で放球延期、観測器の画像データ要再チェック

27日(金) 画像データ回路再チェック、夜間氷上輸送にてヘリウムカードル44基搬入

28日(土) 地上風やや強く放球延期、8号機電源投入、調整開始、極地研との通信準備作業

29日(日) 午後放球作業を開始したが地上風強く放球延期

30日(月) ◎午前8時放球関係者放球場へ出発、7号機タイムスケジュール入り  
放球直後切り離しカッター作動、気球のみが放球された

31日(火) コマンド装置部にモニターカッターを接続し外部電源にて1月2日まで継続試験

2003年1月

1日(水) 「しらせ」にて1日休日

2日(木) 8, 9, 10号機動作試験、噛み合わせ等を行い全て正常動作確認

3日(金) 9号機にバラスト200kgを搭載したが、フレームの強度不足で補強作業(3機共)

4日(土) 3機に太陽電池パネル取り付け、コマンド電源系改良、観測器重量計測、配管接続替え

5日(月) ガス配管接続替え、漏れチェック、3機の荷姿装着、3機共コマンドの正常動作確認

6日(火) ◎午前7時30分放球場へ、タイムスケジュール入り、10時35分9号機放球

高度15kmで下降開始→基地より南西15km地点に着氷、8, 10号機放球中止

17時OHヘリにて観測器の搜索(飛行長、門倉、松坂、並木) 海氷上にて観測器発見  
着陸後パラシュートのみを切り離し、回収

7日(水) 午後「しらせ」にて飛行科と回収打ち合わせ、観測器の重量が軽いため揚収決定

8日(木) 午後2時40分門倉、松坂、並木、小田の4氏回収へ観測器下部のバラスト搭載部は金鋸にて切断、上部のみヘリのホイストにて揚収

9日(金) 地上風やや強く放球延期、2機分のヘリウムガスの配管接続替え

10日(土) 放球延期

11日(日) 放球延期

12日(月) 放球延期

13日(火) ◎午前7時30分放球場へ、タイムスケジュール入り、9時40分：8号機放球  
15時00分：10号機放球、その後配管系撤収

翌12月18日順次、観測隊員が昭和基地に運ばれて行き、最後に我々がヘリコプターに搭乗する直前に風が20 m強と強くなり昭和基地に入ったのは2日後の12月20日となった。

#### 4. 2. 地上風速の予測

南極、昭和基地の地上風向は卓越風と呼ばれる北または北東の風が主風向であり、南極の夏の時期は比較のおだやかで風速も少ない日が多いようである [3]。海岸に近いので風がありそうだが氷に覆われているせいか日本のような風がないため風速を読むのが非常に難しい。ここ数年来以前とは変わり昭和基地でもメールの機能が確立され、各部門でホームページを作成している。その中で昭和気象チームのホームページでは毎日の昭和基地の気象を自動で更新しており、その中で図10に示すような風速分布を見ることができる。昭和基地の時間で朝6時にその日の風速を推定しなければならず毎日この風速分布を見ることが重要である。図10は1月13日に地球物理観測器を2機放球した時の前日の夕方から真夜中までの風速分布図である。8号機10号機とも最良の地上風速の中で放球できたことがわかり、予定していた3機目も放球に適した日であったと思われる。

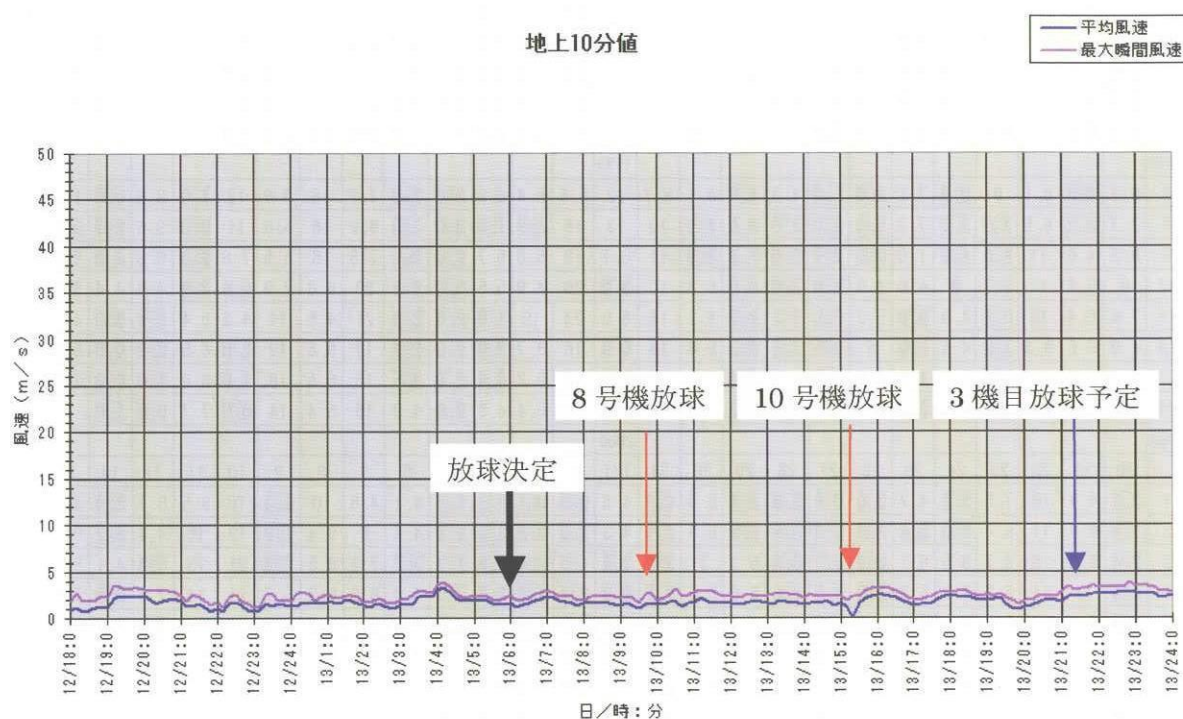


図10 昭和気象が自動更新している地上風速

表2に1996年度から1999年度の夏期昭和基地における地上風速データ平均値の一覧表を示す。図の横軸は、月日を表し、縦軸には1日の時刻を表す。1999年以前は3時間分の平均値であるが、それ以降は1時間毎の平均値が示されている。文字に網掛けの入っている部分は風速4 m/s以下の状態を示し、文字を強調している部分は風速3 m/s以下の状態を示す。

この図より昭和基地の夏期における地上気象は安定しているように思われ、年によっては多少違いがあるものの観測気球を放球する予定の12月23日頃から翌年の1月6日頃までは比較的地上風速が低く穏やかな日の多いことがわかる。

[illegible]



表3 2002年度の夏期昭和基地地上風速

	2002							⑦	2003							⑨	⑧⑩									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	5.0	18	4.2	8.0	7.0	6.7	7.1	4.0	2.8	2.8	5.7	10	7.3	5.2	4.3	3.6	1.3	2.9	1.8	3.8	2.7	2.1	3.3	1.7	2.2	4.5
2	4.9	16	2.9	12	8.3	8.0	5.7	2.9	2.9	2.3	5.2	8.6	7.9	5.6	4.1	1.8	2.4	1.9	0.8	1.2	2.1	2.1	2.7	1.4	3.7	8.1
3	10	19	5.6	8.4	9.0	7.4	7.0	3.8	2.6	1.2	7.9	8.9	6.7	1.9	5.0	1.5	1.8	3.1	2.4	0.8	2.1	1.7	4.6	1.4	2.4	6.1
4	12	16	6.1	9.5	8.1	7.6	8.0	5.8	3.0	1.4	8.7	8.5	7.0	5.9	4.9	1.3	1.1	1.4	0.4	1.5	0.7	1.4	3.0	2.9	2.2	6.7
5	12	14	3.5	12	12	7.8	5.8	5.7	2.5	1.3	9.0	6.8	8.2	3.0	5.2	1.1	0.6	3.1	0.6	2.2	1.2	1.7	3.3	2.0	1.1	6.1
6	11	18	1.1	12	11	8.6	3.3	5.3	3.2	0.1	8.5	9.3	9.0	4.6	3.4	1.1	1.5	1.7	1.7	2.7	2.3	2.4	4.3	1.6	0.6	8.5
7	9.5	15	0.7	11	9.4	6.7	1.8	6.0	4.3	1.4	8.2	3.3	8.6	6.0	2.2	1.4	3.0	1.0	1.3	3.3	3.3	1.6	4.5	2.2	0.8	7.6
8	11	16	3.0	9.1	6.2	7.2	0.7	6.7	3.6	1.8	8.2	1.1	7.5	7.2	1.8	1.1	2.2	2.0	0.8	4.2	4.5	1.6	4.7	1.5	0.9	6.9
9	11	17	3.4	9.1	6.0	5.3	1.0	6.9	3.1	1.1	6.0	2.2	8.0	4.9	1.6	1.6	3.8	1.2	1.0	3.7	4.2	2.9	5.2	1.3	1.4	8.5
10	10	14	2.7	6.7	3.4	4.2	2.1	6.4	3.6	1.3	6.6	1.6	7.6	7.2	1.3	2.3	1.1	1.9	1.3	4.2	3.7	5.4	4.3	1.4	0.8	7.9
11	3.8	15	2.7	2.9	1.0	5.2	2.2	5.0	3.9	1.2	4.3	3.2	1.7	5.8	1.5	1.6	1.1	2.8	2.3	4.8	3.8	5.8	3.4	1.6	1.3	6.8
12	2.2	14	3.9	2.3	2.3	4.4	2.4	5.5	3.8	1.7	3.1	2.2	2.3	4.6	1.4	1.6	1.0	2.7	2.9	4.4	2.7	4.4	4.0	1.5	1.7	1.7
13	1.4	15	3.4	2.4	1.1	4.5	3.5	3.4	3.7	1.8	1.6	2.1	1.2	4.8	1.2	1.4	1.1	2.0	2.6	4.6	2.6	3.7	3.0	1.6	1.5	4.1
14	1.6	15	2.4	1.2	2.5	5.9	3.7	2.8	3.2	1.4	1.9	1.7	2.7	4.3	1.3	1.4	1.8	1.7	1.9	4.7	2.2	3.2	1.9	1.4	1.5	2.3
15	3.8	14	3.6	1.9	3.3	7.4	4.2	2.5	4.3	1.7	1.7	1.6	1.8	2.3	2.8	1.4	1.1	1.2	3.4	5.2	1.6	1.5	1.3	1.6	2.1	1.8
16	5.2	14	2.3	2.7	2.3	6.2	4.1	2.7	3.0	1.2	1.6	2.0	3.6	2.4	2.7	1.1	2.0	1.3	2.8	4.3	2.0	1.5	1.2	2.4	1.8	3.2
17	5.2	12	4.3	2.9	1.6	5.1	3.3	2.8	3.6	1.7	3.4	2.5	4.7	1.5	3.8	3.6	1.3	1.7	3.0	4.1	2.2	1.8	1.0	1.3	3.7	2.1
18	3.6	13	3.6	1.4	1.4	4.1	3.4	2.3	3.5	1.5	2.1	2.9	4.5	1.5	4.2	4.1	1.5	1.9	3.2	4.0	2.0	1.8	0.9	2.4	2.6	2.4
19	3.8	13	3.7	2.2	1.3	3.5	2.9	1.4	3.8	1.8	0.9	3.0	5.0	2.8	4.6	4.5	1.1	2.2	3.6	4.1	2.1	3.8	1.2	1.9	1.9	1.3
20	2.9	12	3.3	1.2	3.5	3.1	2.9	3.9	4.1	2.3	3.1	3.0	4.5	3.2	4.9	4.0	1.8	1.4	3.2	3.2	2.0	3.2	2.4	1.2	1.7	3.9
21	8.7	12	2.0	1.9	3.2	4.4	2.6	3.9	4.1	2.9	6.5	1.9	2.5	3.5	4.6	4.0	3.2	1.2	3.1	2.2	1.2	3.0	1.9	1.7	1.2	1.9
22	16	10	1.4	2.1	4.3	4.5	3.1	2.3	4.2	2.0	9.6	4.4	2.1	3.3	5.0	2.8	2.0	1.2	3.0	2.3	1.0	2.4	1.0	2.6	1.1	1.6
23	16	12	1.1	7.7	3.8	3.4	2.8	2.7	2.1	3.3	9.4	6.1	3.0	2.2	4.1	1.3	1.8	0.7	1.8	2.0	2.9	2.6	0.7	2.7	2.4	2.8
24	18	8.0	7.5	7.0	2.0	3.1	4.3	2.8	3.0	6.7	10	7.0	3.3	3.5	3.7	0.9	3.4	1.1	1.7	2.5	2.8	1.8	1.3	2.2	4.4	3.4

○数字は放球した号機, ○は放球した時間帯を示す

表3は本年度12月21日から1月15日までの夏期昭和基地における地上風速データ平均値の一覧を示す。横軸は月日を表し、縦軸は1日の時刻を表す。放球する予定の日は朝6時までの地上風速から放球の可否を決定しなければならないが、今年度に関しては朝6時の時点で地上風速が2 m/s以下であれば放球可能な日であったことがわかる。放球は7号機（宇宙物理観測器）、9号機（地球物理観測器）8号機、10号機の順序で行われた。気球放球は44次隊11名、43次隊3名の総計14名が携わったが、三陸では2度にわたる訓練を行ってきたがほとんどが経験不足の人たちであり、最初の気球放球ではおよそ3時間30分を費やした。気球放球そのものは全て順調にいき2機目は3時間、3機目は2時間15分、4機目は2時間15分と早くなり、片付け等もなれてきて全てが早く行えるようになった。

## 5. 実験結果

### 5.1. 經過

2002年12月21日からヘリコプターによる緊急物資の搬入も始まり、放球場となるCヘリポートおよび受信所となるRT棟（ロケット・テレメータ棟）等の整備調整が行われた。各場所の整備および気球、観測器等の準備も整った12月下旬には最初のフライト（宇宙物理観測器）が行われたが、コマンドシステムの誤作動により放球直後に切り離し装置が動作してしまうアクシデント等があり、気球のみが放球された。さらに翌年1月6日には改良を加えた気球（地球物理観測）の放球を行ったが、高度15kmに達した時、観測器は下降を始め昭和基地南西35km地点に氷着した。現地で回収した搭載機器試験および各種電波等の調査を行ったが原因を特定するには至らなかった。

1月9日には修正を施した次の気球の準備も整い放球を行う準備に入ったが、午前中は風の強い日が続き12日まで延期が続いた。1月13日によりやく地上風もおさまり午前7時30分に放球支援者たちと共に放球場であるCヘリポートへ向かった。午前9時40分8号機を放球、水平浮遊した同機を確認後15時00分には10号機を続けて放球し、クラスター気球となる2機同時飛翔を開始した。

表4に気球実験結果の概要を示す。

表4 実験結果概要

	7号機	8号機	9号機	10号機
気球容積	100,000 m <sup>3</sup>	50,000 m <sup>3</sup>	50,000 m <sup>3</sup>	50,000 m <sup>3</sup>
気球全長	89.0 m	70.6 m	70.6 m	70.6 m
ランチャー線	20.5 m	18.5 m	18.5 m	18.5 m
放球日(UTC)	2002/12/30 8:20	2003/ 1/13 6:49	2003/ 1/ 6 7:35	2003/ 1/13 12:15
地上温度	-1.8℃	1.5℃	1.7℃	1.7℃
地上気圧	991.8 hPa	990.9 hPa	993.4 hPa	989.1 hPa
地上風速	1.9 m/s	1.5 m/s	1.4 m/s	1.2 m/s
地上風向	45 度	310 度	60 度	360 度
天気	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ
気球重量	270.0 kg	177.55 kg	179.0 kg	180.5 kg
観測器重量	230.0 kg	153.0 kg	142.0 kg	146.0 kg
子ゴンドラ(その他)	14.0 kg	53.0 kg	53.0 kg	53.0 kg
バラスト	225.0 kg	204.0 kg	200.0 kg	200.0 kg
総重量	739.0 kg	587.55 kg	574.0 kg	579.5 kg
自由浮力	89 kg(12%)	71 kg(12%)	63 kg(11%)	75 kg(13%)
総浮力	828.0 kg	658.55 kg	619.3 kg	654.8 kg
最終ランチャー浮力	560.0 kg	496.0 kg	456.0 kg	488.0 kg
ボンベ本数	160 本	116 本	112 本	120 本
初期ガス圧力	133.5 kg/cm	136.3 kg/cm	134.3 kg/cm	138.2 kg/cm
最終ガス圧力	20.1 kg/cm	11.0 kg/cm	14.0 kg/cm	16.4 kg/cm
初期ガス温度	0.7 ℃	6.0 ℃	2.6 ℃	8.3 ℃
最終ガス温度	-8.3 ℃	—	-8.6 ℃	-4.4 ℃
到達高度	—	31.6 km	15.2 km	31.8 km
到達圧力	—	10.4 hPa	123 hPa	10.2 hPa

## 5.2. PPB9号機観測器の回収

2003年1月6日、高度15kmで下降を始めた9号機は昭和基地南西35kmの海水上に降下を確認、観測装置の原因調査のため「しらせ」側にヘリコプターにて回収を要請した。「しらせ」飛行科と交渉の結果、ヘリコプターの横上部についているホイストで観測器等の吊り上げを行う事となった(揚収重量は最大180kg)。バラストを落とすことにより観測器重量は142kgとなり揚収重量には問題ないが、ヘリコプターの貨物搭載開口部の大きさが観測器とほぼ同程度であった。そこで観測器をヘリコプターへ収納する作業を簡単に行うため、降下現場で観測器下部を切り離した。ゴンドラの足を含めた高さ60cmを切り離し、約70cm部分の高さとなった主観測部のみとしさらに各コーナーにはヘリコプターの胴体に傷が付かないように布を巻き付けた。その結果、ヘリコプター内へ観測器の収納が楽になった。



### 5.3. 飛翔結果

図11 にクラスター飛翔となる気球の航跡図を示す。

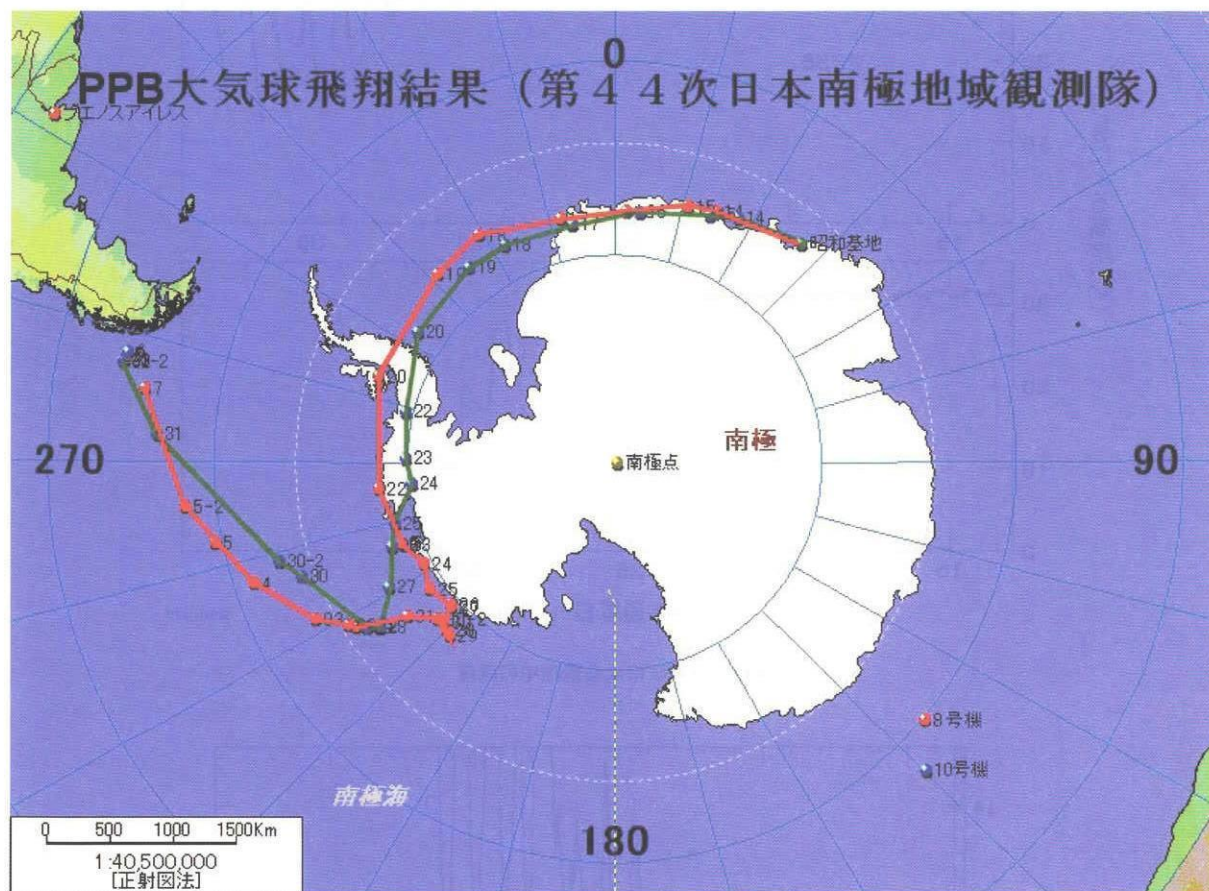


図11 クラスター飛翔となった8号機, 10号機の航跡図

放球時期が1月13日と遅くなり、上空の風系が1月の24日頃が変わってしまい、最終的には反対方向に飛行する結果となった。

### 5.4. HKデータ結果

HKデータとしてはGPS、各部温度、精密気圧計、各部電圧、パラスト投下回数、パラスト残量等を計測する機器が搭載されている。また、観測機器のデータは送信レートおよそ2300 bpsの速度でイリジウム衛星電話により直接日本へ伝送した。図11からわかるように両機とも南極大陸をほぼ半周した所で反対向きにコースを変えている。これは10号機では1月23日、8号機では1月24日に両機ともパラストを使い果たしたために高度が低下し、低い高度での反対方向の風向きによるものである。また、気球が飛翔する高度とパラストを投下する高度の差を750 mと狭くしたためパラストの投下量が早くなり消費したと思われる。8号機の飛翔結果は、放球10日後の1月23日にパラストを使い果たし、24日以降気球内の温度変化により気球の上昇下降が少しずつ大きくなり始め、29日を境に気球は低緯度側に移動したため夜の間隔が長くなり気球の上昇下降もさらに大きくなり2月7日にチリ沖300 km海上に降下した。

図12には8号機および10号機のGPSによる飛翔中の高度を表し、図13には8号機におけるパラストの投下状況およびそれに伴う搭載した気圧計の値すなわち気球の高度変化を表す。パラストの投下量としては平均でおよそ4%/日であり、1992年度におこなったPPB実験[4]の2倍となる量を消費したことになる。



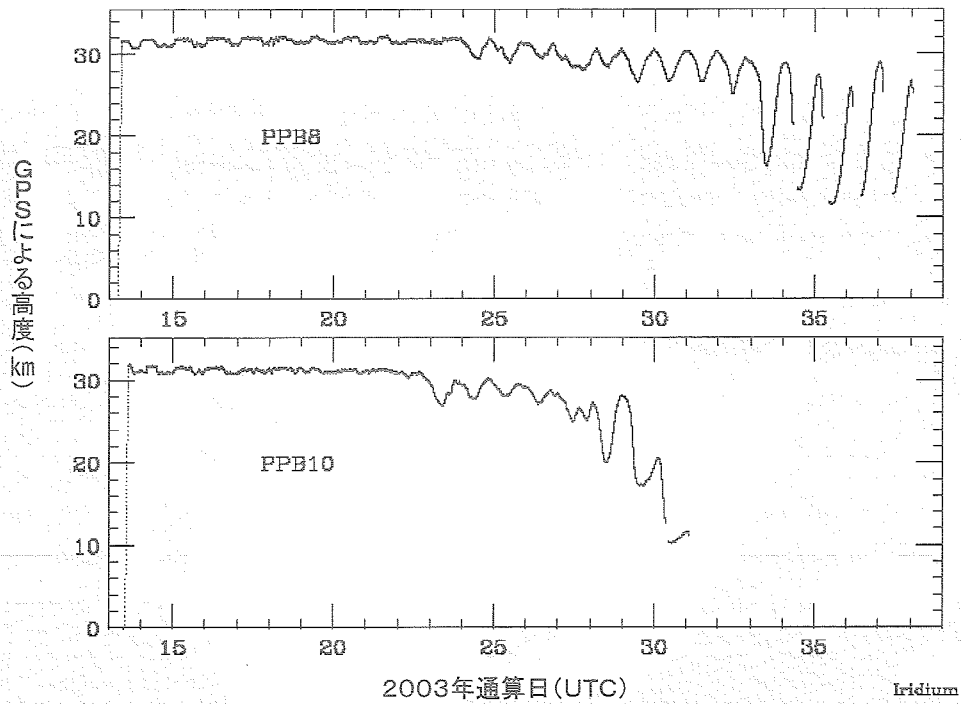


図12 GPSによる飛翔中の高度

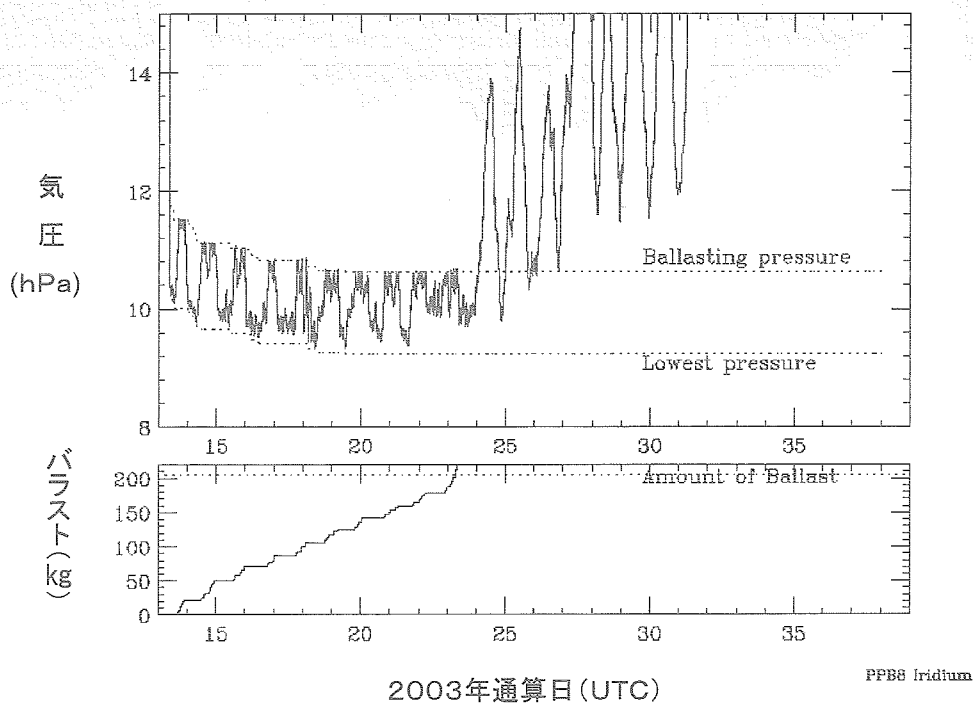


図13 8号機のパラスト投下および気圧計の変化

図14に8号機に取り付けた太陽電池パネル4枚の飛翔中における全温度を示している。太陽電池パネルの温度は、気球が水平浮遊に入った後は気球の回転に従って変動しており、太陽に正対したときはパネル温度が80℃から90℃を示し、反対側のパネル温度は-30℃から-40℃の値を示していた。2月3日までは、完全に太陽電池

パネルからの電力で全て駆動されていたが、2月4日の気球の上下運動が激しくなってからは完全に夜のモードに入った時2次電池から電力を供給するようになり、予想通りの働きをした。

図15に太陽の高度角を示す。太陽の高度角からもしっかりと夜のモードになったことがわかる。

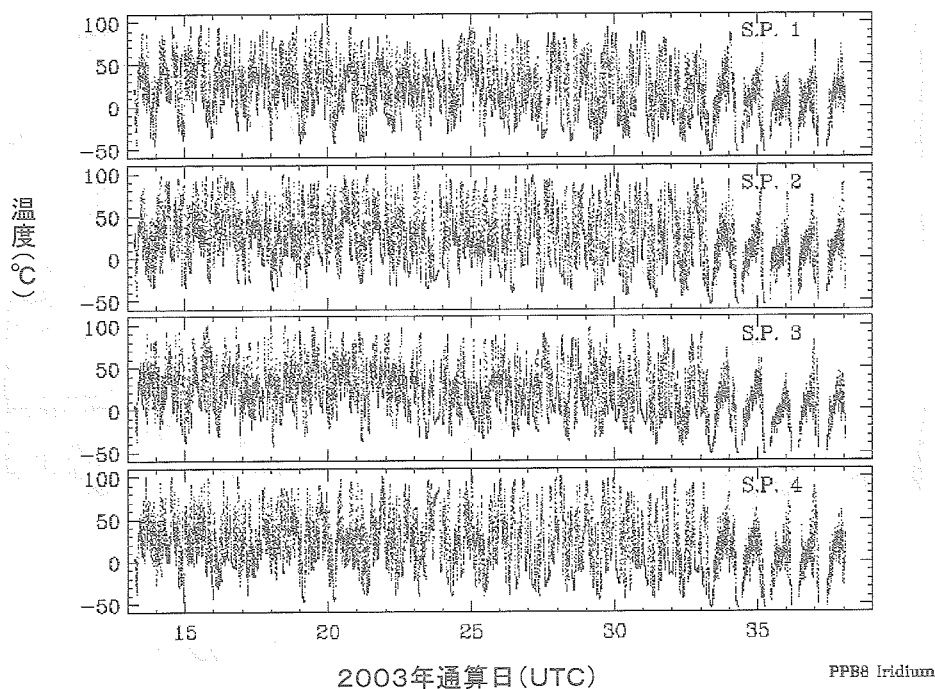


図14 8号機の太陽電池パネル全温度

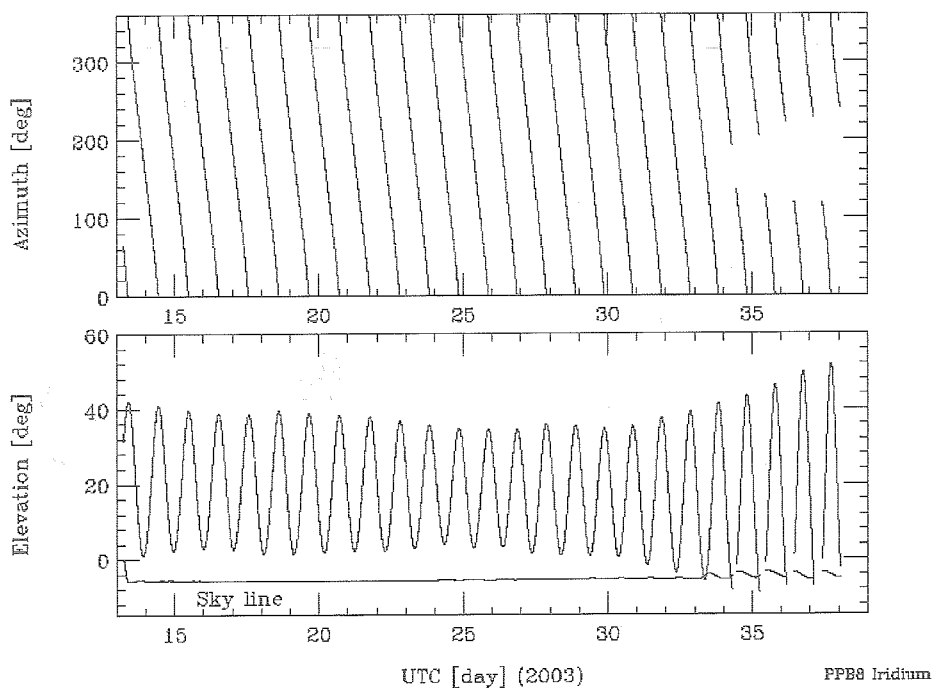


図15 太陽の高度角

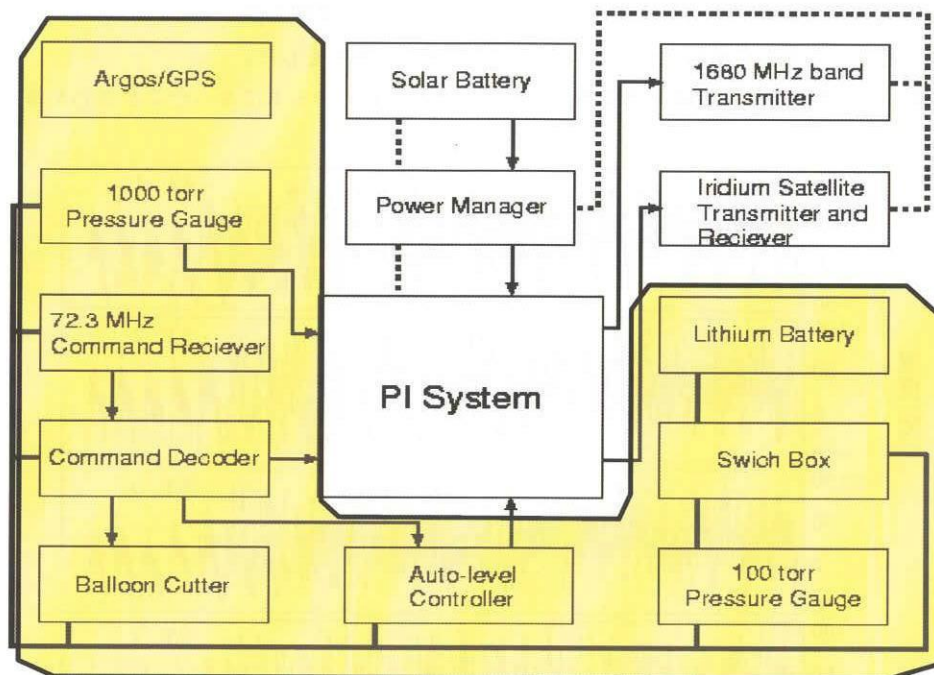


図16 システム概要

図16に搭載システムの概要を示した。

ハッチのかかっている部分は、1次電池のリチウム電池を使用しており、その他は全て太陽電池から電源を供給した。

今回の不具合を検討した結果、45次隊での観測器の切り離し方式は安全・確実・誤動作を起こさない方法をとることにした。図17に次期45次隊で行う宇宙物理観測器の切り離し方法を示す。その方式は2系統の点火玉を持つ切り離しカッターを2本、4系統の点火系を使用し、安全回路内蔵のダブルトーン方式のコマンドを2系統、イリジウム電話によるコマンド1系統、スクイープタイマー1系統による方式である。さらに10日間の誤作動防止用の長時間タイマーを内蔵させた。切り離し動作は10日後から行うことが可能となり、長時間タイマー作動後に全てのコマンドが動作可能となる。動作はダブルトーンコマンドの場合、一度切り離しコマンドを送信すると安全回路が作動し始め40秒後から10秒以内に同じコマンドが送信されないとリセットされる。イリジウムコマンドは、一度切り離しコマンド1を送信し、もう一度30分以内に切り離しコマンド2を送信すると動作し、この順序が変わったり、他のコマンドが入った場合は作動しない。また、コマンド1を受信してから30分過ぎても

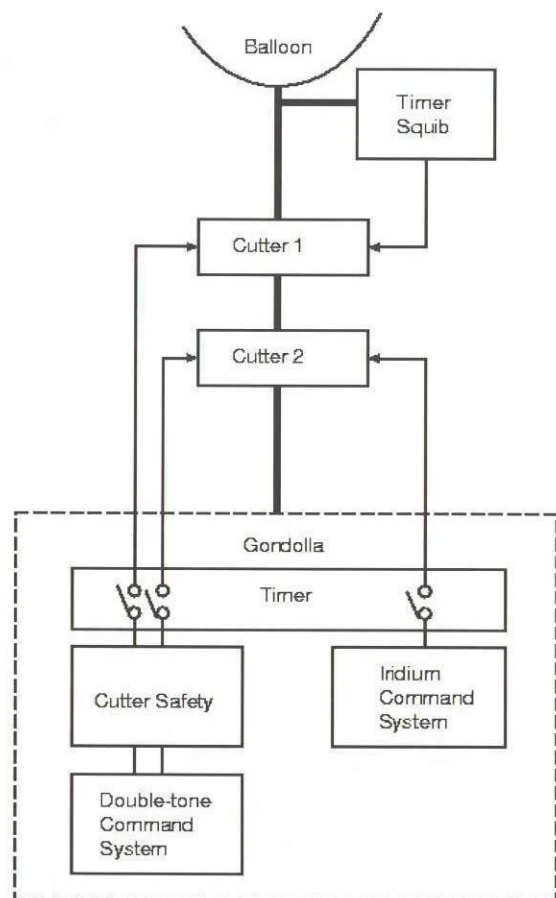


図17 切り離し改良方法



コマンド2を受信しない場合はリセットがかかる。スクイープタイマーは、タイマーにより10時間後に切り離し動作が可能になるが、さらに気圧スイッチにより高度20 km以下になった時のみ切り離し動作が行われる。

## 6. おわりに

2003年南極周回気球実験では、2機の気球は残念な結果に終わったが、1日で2機の気球の放球に成功し、150 kmから1500 kmの距離を保ちながら飛翔を続け、南極大陸をほぼ半周した。その間、多くの地磁気変動現象の観測が成功し、その解析結果が待たれる所である。回収されたコマンドデコーダを国内で精密に検査し、調査した結果、南極特有の乾燥した状況下で静電気放電による誤動作であることが判明した。その結果を基に搭載機器に改良を加え、次期45次隊に再観測を行えることとなった。今回の観測では、伝送方式としてイリジウム衛星電話を使用した。日本で約2.3 kbpsのビットレートで直接観測データを取得することができた。さらに宇宙研気球実験班3人が同行することにより、昭和基地ではこれまでにない大きさの100,000 m<sup>3</sup>の気球の放球も行うことができ、1日に2機の大型気球の放球に成功した。最後に国内で観測装置を調整していただいた方々に感謝する次第である。

## 参 考 文 献

- [1] J. Nishimura, M. Fukunishi and Co-members of PPB Working Group, "Feasibility Studies of Polar Patrol Balloon," *Adv. Space Res.* Vol. 5, 1985, pp. 87-90.
- [2] 西村 準：ヘリウムガスの浮力推定，宇宙科学研究所報告，特集第13号，1985，pp. 73-86.
- [3] M. Yamanaka, K. Yamazaki and H. Kanazawa, "Studies of Middle Atmosphere Dynamics under the Polar Patrol balloon (PPB) Project: Present Status and Future Plans," *Proc. NIPR Symp. Upper Atmos. Phys.*, 1, 1998, pp. 65-74.
- [4] 並木道義，利根川 豊，佐藤夏雄他 PPBワーキンググループ：1992年度南極周回気球実験，宇宙科学研究所報告，特集第32号，1995，pp. 3-22.