

超大型科学観測気球の放球

Launching a Large Scientific Balloon

宇宙科学研究本部 システム運用部 第2運用開発グループ

ISAS Space Systems Operation Department Operation Group 2

並木道義

Michiyoshi Namiki

Abstract: Launching a large balloon at a limited launching field is a long standing subject in Japan. The volume of the largest balloon ever launched successfully was 200,000 cubic meters. This type of balloon was firstly launched in 1973. A larger balloon with a volume of 500,000 cubic meters was tried to launch in 1980; however it did not succeed because of burst during the ascending phase. For launching a large balloon with a total lift more than 1 ton, the static launching method, we have used for more than 20 years, has several weak points that may result in failure. We developed a semi-dynamic launching method using a new launcher, which is fixed on the ground and has a freedom of rotation around the vertical axis and an elevation system up to 5 m, as well as a leap-up spooler system for holding a balloon bubble, in 1999. We have launched several balloons using the method. In 2003, a balloon with a volume of 500,000 cubic meters, which was made of polyethylene films of 20 micro meters in thickness, was successfully launched with the semi-dynamic launching method. It is the largest balloon ever launched in Japan.

1. 概要

三陸大気球観測所のように限られた放球場で大きな気球を上げることは長年の課題であった。これまでに打ち上げに成功した最大の気球は、1973年に上げられた容積200,000立方メートルのものである。より大きな容積500,000立方メートルの気球が1980年に打ち上げられたが、上昇中に破壊して成功には至らなかった。総浮力が1トンを超えるような大きな気球を、これまで20年以上行ってきた立て上げ放球法によって上げるには、いくつかの問題点があった。そこで、日本独自のセミダイナミック放球法が考案された。このために、回転テーブルに固定されて、自由に回転でき、5mまでペイロードを昇降させることのできる大型放球装置と自走式跳ね上げローラー車が開発された。2000年以降、この放球法によって大型気球が上げられている。2003年に、厚さ20μmのポリエチレンフィルムで作られた容積500,000立方メートルの気球の打ち上げと飛翔に成功した。この気球は日本で放球された最大容積の気球である。

2. はじめに

国産の気球は、1966年のB5型気球(容積5,000m³)、1967年にB15型(容積15,000m³)、1968年にはB30型(容積30,000m³)、1969年にB50型(容積50,000m³)と大型化され、1970年にはB100型気球(容積100,000m³)を上げるに至った。これまでに三陸大気球観測所から放球と飛翔に成功した最も大きい気球は、1973年に上げられたB200型気球(容積200,000m³)であった。これらの気球の打ち上げ方法は、スタティック放球方式[1]と呼ばれている。この方式は、ガスを充填する気球頭部の直下を3本のゴムローラーで押さえ、頭部より下の気球部分は地上に折りたたんでおいて放球する方法である。

その後、三陸大気球観測所では、1980年にこのスタティック放球法によりB500-1号機(容積500,000m³)を放球したが、高度12kmで降下をはじめ飛翔成功には至らなかった。

1982年以降、新スタティック放球法[2](立て上げ放球法)と呼ばれる放球方式が使われるようになった。観測器とパラシュート部分に力がかからっていない状態で放球するのは初期のスタティック方式と同じであるが、ランチャーから観測器までの長さが非常に短くなり、放球しやすくなった。また、500kg以上の浮力に対してもフィルムへの挫滅等の損傷はなくなった[3]。新スタティック放球方式によって、これまでに250機以上の気球の放球に成功している。しかしこれらの放球方式にはそれぞれ欠点があり、そこで新しい放球方式が開発された。まず、放球場は20m延長され、放球場の先端部に新たに大型放球装置が設けられた[4]。これにより、それまでの回転テーブルから放球場端までの有効距離90mが最大160mまで確保できるようになった。大型放球装置は回転テーブルに固定されているが、観測器の保持台は上下方向に5m昇降可能であり、回転は自由にできるようになっている。また、ガス充填の間気球頭部を保持するための跳ね上げローラー車が新規に製作された[5]。新しい放球装置と跳ね上げローラー車を用いた日本独自のセミダイナミック放球法式[6, 7]が考案され、2003年までに放球試験が繰り返され、新しい放球方法が完成した。

そこで、2003年9月に、容積500,000m³のB500-2号機の放球を再度試み、放球に成功するとともに良好な飛翔が行われた。

3. 放球方法

3.1 ダイナミック放球法

世界中で最も一般的な観測気球の放球方法は、ダイナミック放球法（Fig. 1）であり、観測装置をクレーン式の放球車に吊り下げておき、気球頭部はスプールと呼ばれるローラーにより固定されている。この状態でヘリウムガスを規定量注入し、このスプールを跳ねることにより気球本体をリリースさせ気球は上昇を始める。その後、クレーン式の放球装置を備えたランチャ一車は、ほぼ全速力で風下側へ走り、気球に追い越された時点で観測器を固定してあるフックをはずして観測装置を放球する方式がダイナミック放球法である。

3.2 補助気球使用放球方式

主にフランスが取り入れている放球方式（Fig. 2）で観測器の重量とほぼ同程度の浮力を付けた補助気球で観測器を吊り下げておき、気球頭部は跳ね上げ式のローラーにより固定されている。規定量ヘリウムガスを注入し、ローラーを跳ねることで気球本体をリリースさせる。その後、気球下部およびパラシュート部が地上を離れたのを確認し、補助気球を固定しているフックがはずされ観測器を上昇させる。気球本体およびパラシュートが垂直に伸びきった所で補助気球と観測器を固定しているフックが回転し、補助気球のみが外れ、観測器は上昇していくことになる。

3.3 スタティック放球法

日本のように狭い国土では、ダイナミック放球法は不向きであるため、わが国で気球観測が行われるようになってから日本独自となるスタティック放球法（Fig. 3）が考案された。この放球法は、大型気球に規定ガス量を詰めるのに必要な部分の気球下部を3本のゴムローラーで押さえておき、放球時は、そのゴムローラーを開放することで放球する方式である。3本のゴムローラーで押さえているため、浮力が大きくなるとポリエチレンフィルムが挫滅するおそれがあることと、また、大きな気球になると全長は100m以上にもなり、1秒間に5mの速度で上昇する気球では、観測器が地上を離れるまでの時間が20秒程かかり、地上風の有無により台車に乗せた観測器を気球の直下へ人力で押して合わせるのが難しく、この放球法では、飛揚場の端から直径12mの回転テーブルまでの90m部分に気球を展開することになり、全長112mのB200気球までが放球の限界であった。

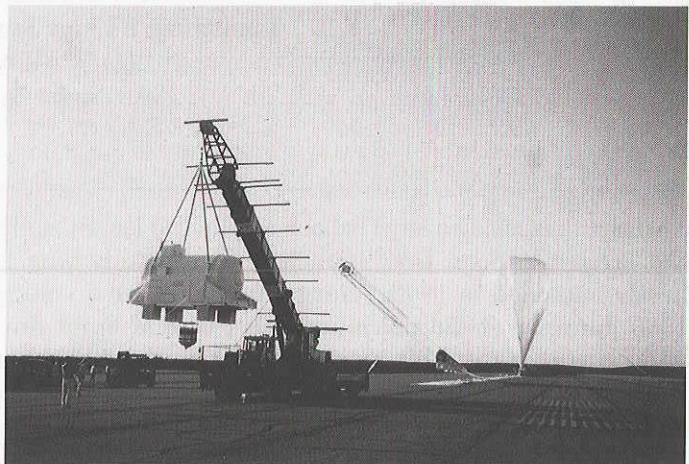


Fig. 1 dynamic launching method



Fig. 2 Sub balloon launching method

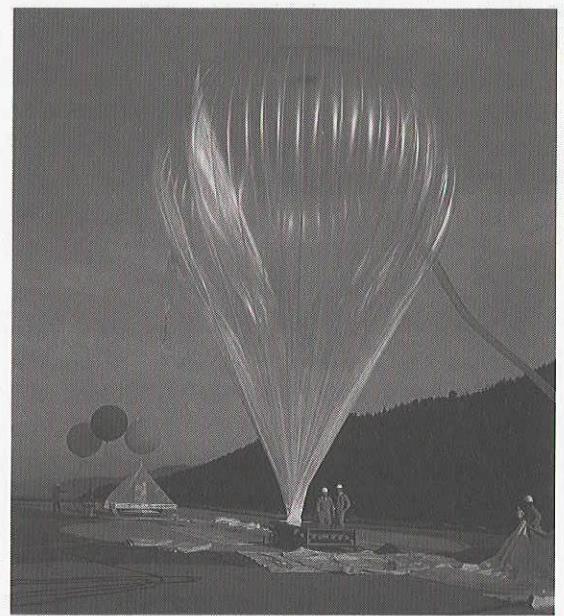


Fig. 3 static launching method

3.4 立て上げ放球法

昭和 55 年（1980 年）に立て上げ放球法 (Fig. 4) が考案されてから、本年までの 25 年間この放球法により、安全で確実な気球の放球が行われてきた。この放球法は、大型気球に規定量のヘリウムガスを注入後、気球全長をローラー車の移動によりランチャー上に立て上げるため、放球時にはランチャーから観測器までの距離がおよそ 20~30m、時間では 5~6 秒となり、放球に対する安全性と確実性が格段に改良された。ただし、この方法にも欠点があり、ヘリウムガスを注入後、全浮力のついた気球を立て上げる時に気球本体をローラーでしごいていくことになり、総浮力が 1 トン以上になると、気球本体に傷をつける恐れがあることがわかった。

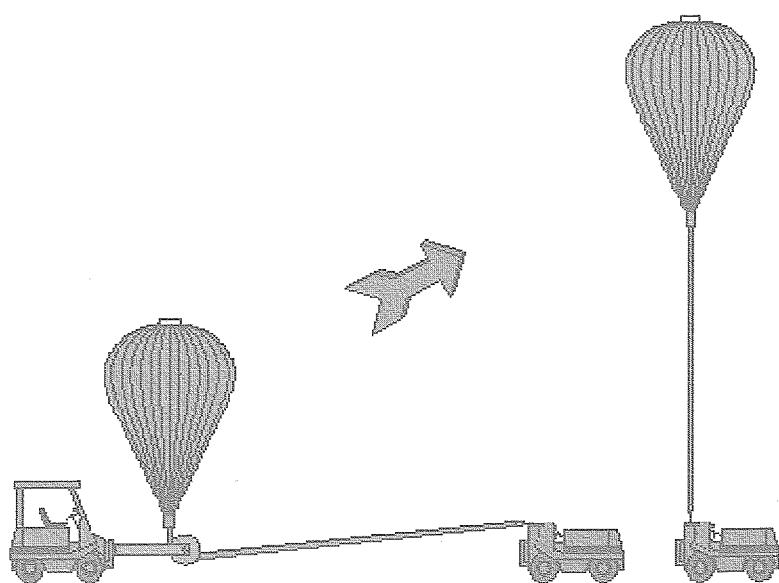


Fig. 4 New static launching method

3.5 セミダイナミック放球法

「立て上げ放球法」の短所を改良し、長所を活かす放球方式が平成 11 年(1999 年)から導入された。平成 11 年に新方式となる大型放球装置 (Fig. 5) が完成し、総浮力 1 トン以上となる気球の放球も可能となった。この放球法は、観測器を保持している大型放球装置（ランチャー）が固定式であるため、「セミダイナミック放球法」と名付けられた。特徴は、大型放球装置が 2 機の昇降リフトを備えており、観測装置は地上から 5m の高さまで持ち上げることが可能である。観測器を保持する部分は、さらに 3m 高く、地上から 8m の高さで保持することが可能である。また、この装置は水平方向に 360 度回転させることができ、強度も全ての方向に対して 4 トン以上の張力に耐えるように設計されている。放球法の模式図を Fig. 6 に示した。このランチャーによる放球は、大型気球に規定量のヘリウムガスを注入後、まずローラーを跳ね上げて気球本体をリリースさせ、気球が大型放球装置上に立ち上がる間に、観測機器が風下側となるように装置全体を回転させ、気球本体がランチャーの真上に来たとき、大型放球装置に内装された張力計によって最終浮力の確認が指令室で行われる。気球が帆を張らないように気球の首の部分に取り付けたカラーカーは、地上風の風速によってはずしてから気球を放球する場合と、風速が強い場合は気球の放球後にカラーカーをはずす場合の二通りの手順が採用されている。気球本体がランチャーの真上か、少し追い越したとき観測器を保持している金具をはずすことでの観測器の放球が行われる。これらの放球装置は技術系職員を中心に設計、開発が行われており、私自身、大型放球装置では、放球時の切り離し機構および浮力測定装置等の設計、開発を行い、セミダイナミック放球法の確立を計った。

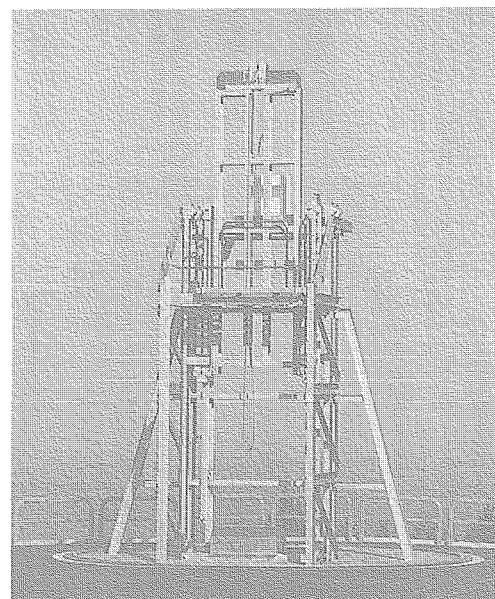


Fig. 5 Semi-Dynamic launcher

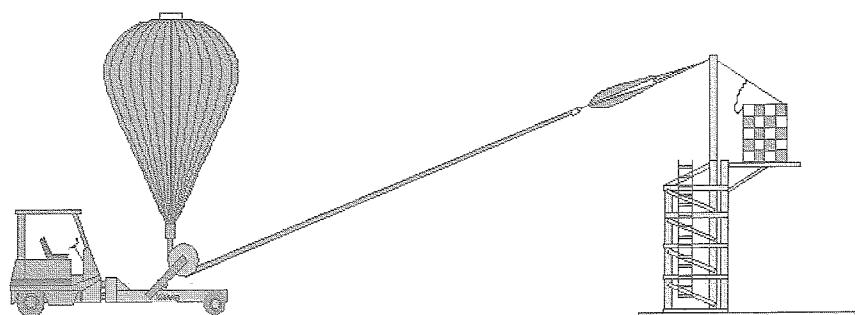


Fig. 6 Semi-Dynamic launching method

4. B 500-2号機の放球

Fig. 7 に示した B 500-2 号機の荷姿に示すように、この気球および荷姿の全長は 185m あるため、はじめから全体をそのまま展開することが不可能である。そこで放球方法の検討が行われ、以下の手順で放球は行われた (Fig. 8 参照)。

- (1) 気球全長を放球場の端から展開する。
- (2) 観測器を大型放球装置の昇降台の上に置き、観測器を吊る 4 本の吊り紐がひとつになった部分の少し上に取り付けられた放球リングと呼ばれる部分を大型放球装置の上部に設けられた切り離し装置に接続する。
- (3) 気球の尾部を移動式ランチャー付属のワインチロープと接続する。
- (4) 気球頭部からガス注入口の少し下までを跳ね上げローラーに設置する。
- (5) 気球の尾部に観測器と接続されている荷姿パラシュート頭部の接続を行う。
- (6) ヘリウムガスの注入を開始。
- (7) 跳ね上げローラー車をカラー位置まで移動させる。
- (8) カラーの取り付けを行う。
- (9) ガス注入終了後、ワインチロープを繰り出し気球を徐々にローラー上に立て上げる。
- (10) 荷姿に張力がかかりワインチがフリーになったら、気球尾部からワインチロープをはずす。
- (11) 跳ね上げローラーを開放し、気球を立て上げる。
- (12) 大型放球装置全体を回転させ、観測器が気球頭部に対して風下側になるよう調整する。
- (13) カラーを開放し、カラーの落下を確認する。
- (14) 放球機構を動作させ、放球を行う。

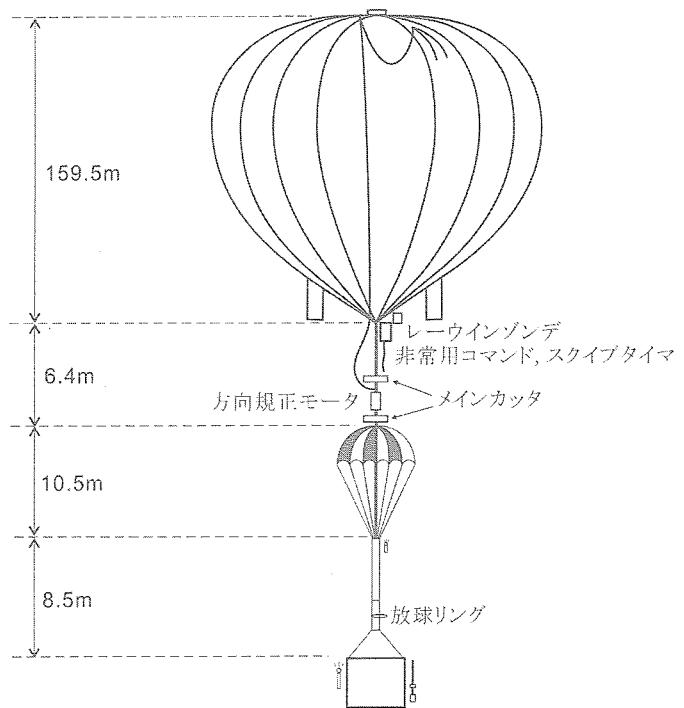


Fig. 7 Flight train of B500-2

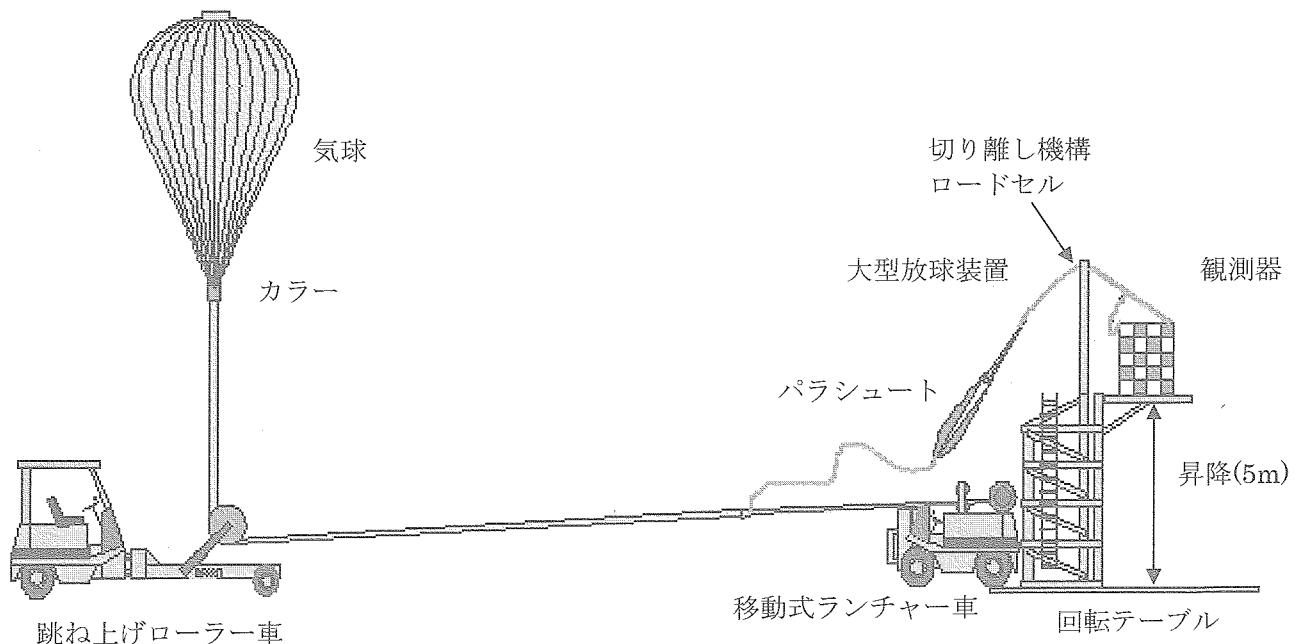


Fig. 8 Launching method of B500-2

5. 放球および飛翔結果

B 5 0 0 - 2 号機の観測目的は、中性子星やブラックホール候補星等からのガンマ線を非常に高い精度で検出する新しいテクノロジーを切り拓くことにある。新しい概念に基づいた半導体検出器とシンチレータ検出器を1台づつ搭載した。観測器の方位角の制御を行うために、方向規制用モータをパラシュートの直上に搭載しており、これより下のパラシュート、荷姿はマルチリングによる構成となっている。Table. 1 にB 5 0 0 - 2 号機の諸元を示す。

Fig. 9 は大型放球装置の昇降台に設置された観測器の写真である。観測器に接続されたパラシュートは気球尾部に接続されている。Fig. 1 0 には気球にヘリウムガスを入れている所を示す。立て上げ用ランチャーに取り付けてあるワインチロープを気球尾部に接続した。ガスをつめ終わった後の様子を Fig. 1 1 に示す。その後、ワインチロープの操作による気球の伸張は順調に行われ、跳ね上げローラーの開放時には、Fig. 1 2 に示すように三陸地方特有の霧の中に入ってしまったが、気球下部の状態を確認し、カラーの分離を行った。カラーの落下を確認した後に、放球を行った。Fig. 1 3 は霧をぬけて上昇していく気球の様子を示す。B 5 0 0 - 2 号機は、2 0 0 3 年 9 月 3 日 1 7 時 3 7 分に放球され、毎分 2 2 5 m の速度で正常に上昇した。この気球では、高度 4 3 km の風速が早いことが予測されたため、排気弁とバластによる制御を行っている。まず、高度 1 4 km に到達したところで排気弁を開き上昇速度を毎分 8 0 m まで落とし、強い西風によって東方沖合 2 0 0 km まで出した。高度 2 0 km に到達したところで、バластを投下

Table. 1 Specifications of B500-2

Film Gauge	20 μ m (Metallocene)
Balloon volume (m ³)	500000 m ³
No. of Gores (pieces)	1 3 0 pieces
Diameter (m)	1 1 5 . 2 m
Shell length (m)	1 6 0 m
Balloon Wt. (kg)	8 0 0 kg
Gross weights (kg)	1 1 4 5 . 2 kg
Payload weights (kg)	3 2 4 kg(inc. Ballast)
Total Buoyancy (kg)	1 2 6 2 kg
Nominal altitude (km)	4 3 km

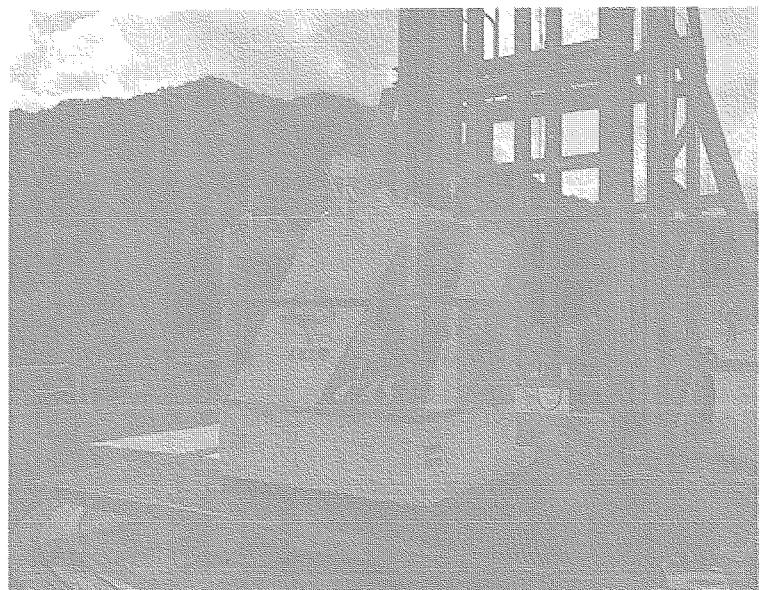


Fig. 9 Payload on the launcher

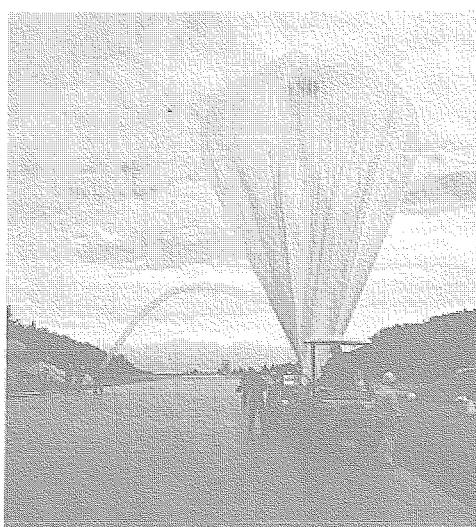


Fig. 1 0 Inflating of He gas



Fig. 1 1 Standing up top of balloon



Fig. 1 2 Just launch off Balloon

して上昇速度を上げた。気球は毎分 180 m の速度で上昇し、放球から 5 時間 53 分後に、130 km の沖合で水平浮遊状態に入った。Fig. 14 および Fig. 15 にこの気球の航跡図と飛翔高度の時間変化を示す。その後、気球は東風により西方に進み、翌日午前 1 時 25 分に三陸大気球観測所上空に到達した時点で、指令電波を送信し観測器を切り離した。観測器は三陸大気球観測所の東方 30 km の海上にパラシュートで緩降下した。観測器および気球は翌朝早くに、ヘリコプターと回収船を用いて、無事に回収された。観測システムも正常に動作し、目標天体の追尾、データ受信とともに成功した。

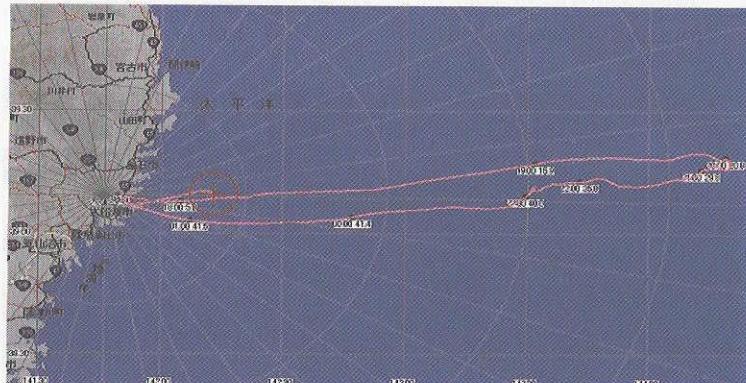


Fig. 14 Trajectory of B500-2

6. おわりに

三陸大気球観測所の放球場先端部を拡張して設けられた、回転機構と昇降台を備えた大型放球装置、ならびに、自走式跳ね上げローラー車の開発により、セミダイナミック放球法が確立された。2003 年 9 月 3 日に B500-2 号機の放球および飛翔に成功した。この気球の容積は 500,000 立方メートルであり、これまで日本において打ち上げと飛翔に成功した最大容積の気球である。この気球は、国産の気球用に最適化されて開発されたポリエチレンフィルムを用いて製作された。この気球の成功により、成層圏上部における長時間観測に道が開かれた。新しいセミダイナミック放球法により気球はより安全に打ち上げ可能となり、また、放球時にゴンドラにかかるショックもほとんどなくなった。たて上げ放球法と比較して気球頭部への最大負荷が小さくなつこととあわせて、より大型の気球を三陸大気球観測所のような狭いフィールドでも安全に打ち上げることが可能な環境が整つた。

参考文献

- [1] 秋山弘光, 他: 立て上げ放球法, 宇宙科学研究所報告 特集, Vol. 4, 3-16, 1982.
- [2] Akiyama H., et al.: A new static-launch method for plastic balloons, Adv. Space Res., Vol. 3, 97-100, 1983.
- [3] Nishimura J., et al.: The improvement of the static launch method in Japan, Adv. Space Res., Vol. 13, 63-66, 1993.
- [4] 並木道義, 他: 大型気球放球装置, 平成 11 年度大気球シンポジウム, 1999.
- [5] 並木道義, 他: 大型放球装置用跳ね上げローラー車の開発, 平成 13 年度大気球シンポジウム, 2001.
- [6] 並木道義, 他: 大型放球装置を使用した大気球の放球, 宇宙科学研究所報告 特集, Vol. 41, 25-34, 2001.
- [7] Yamagami T., et al.: Semi-dynamic launching method for scientific balloons, Adv. Space Res., Vol. 30, 1145-1148, 2002.

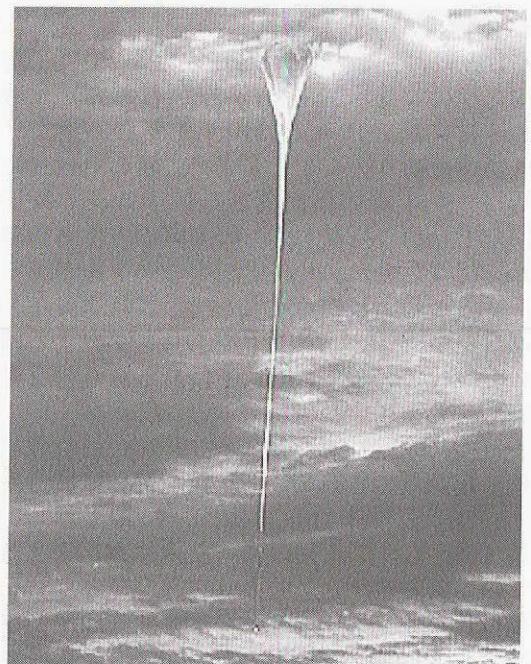


Fig. 13 The balloon ascending

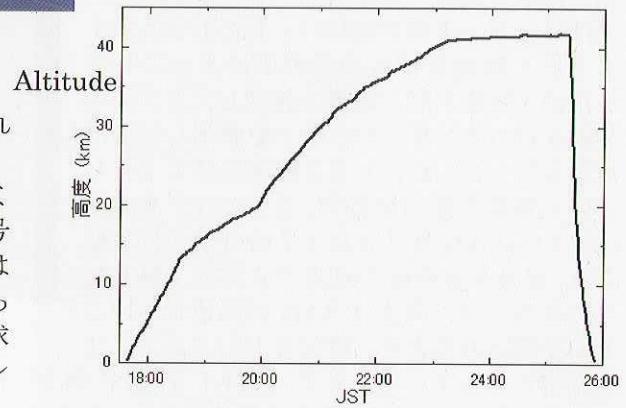


Fig. 15 Altitude curve of B500-2