

## 超薄膜型高高度気球の開発 (BT'30-1)

斎藤芳隆<sup>1</sup>・松坂幸彦<sup>1</sup>・並木道義<sup>1</sup>・太田茂雄<sup>1</sup>・鳥海道彦<sup>1</sup>・  
山上隆正<sup>1</sup>・横田力男<sup>1</sup>・松島清穂<sup>2</sup>

## Development of the High Altitude Balloon Made of the Ultra-thin Polyethylene Film (BT' 30-1)

By

Yoshitaka SAITO<sup>1</sup>, Yukihiro MATSUZAKA<sup>1</sup>, Michiyoshi NAMIKI<sup>1</sup>,  
Shigeo OHTA<sup>1</sup>, Michihiko TORIUMI<sup>1</sup>, Takamasa YAMAGAMI<sup>1</sup>,  
Rikio YOKOTA<sup>1</sup> and Kiyoho MATSUSHIMA<sup>2</sup>

**Abstract :** The ISAS balloon group has been engaged in the development of the high altitude balloon with a thin film for a light payload of 10kg since 1991. In 1998, we developed the ultra-thin film with the thickness of  $3.4\mu\text{m}$ , which is much thinner than the previous film with the thickness of  $5.8\mu\text{m}$ . This film has the potential to develop a balloon exceeding the highest balloon altitude. In 1999, we made the first small balloon with the volume of  $1,000\text{m}^3$  using the film and it successfully reached the altitude of 37km, as reported before.

This paper introduce our trial to the highest altitude after the balloon. We have launched two  $5,000\text{m}^3$  balloons in 2000, and one  $30,000\text{m}^3$  balloon in 2001, successfully. The latter balloon reached the highest altitude of 50.7km, which is the highest altitude ever reached by Japanese balloons. We also begin to develop a balloon with the exhaust valve to fly in a level altitude. The first balloon with a volume of  $1,000\text{m}^3$  was also launched in 2001, and it stayed in a level altitude successfully.

---

<sup>1</sup> 宇宙科学研究所

<sup>2</sup> 藤倉航装株式会社

## 概 要

宇宙科学研究所気球部門では、10kg程度の観測器をより高高度に到達させる気球を開発している。従来、気球用フィルムは既存の5.8 $\mu$ m厚のものをを用いてきたが、1998年に厚み3.4 $\mu$ mの気球用ポリエチレンフィルムを開発し、かつてない高高度を飛翔する気球開発が可能となった。これを受け、1999年にはこのフィルムを用いた最初の気球の製作し、飛翔させることに成功している。その後、順次、気球の大型化を行ない、2000年に二機の体積5,000m<sup>3</sup>の気球飛翔を成功させ、2001年には、体積30,000m<sup>3</sup>の気球を用いて遂に日本最高到達高度を更新し、高度50.7kmまで到達するに至った。また、排気口をつけた気球の開発も開始しており、こちらも2001年に最初の体積1,000m<sup>3</sup>の気球を水平浮遊させることに成功した。本論文では、これらの飛翔性能試験の結果について報告する。

重要語: 科学観測用気球, 高高度気球, 超薄膜型ポリエチレンフィルム

### 1. はじめに

高高度を飛翔する気球は科学観測の新たな可能性を提供する飛翔体である。40kmを越える高度に観測装置を送り込むことは、従来はロケットによってのみ可能であり、人工衛星の高度である数100kmの高度までの間を長時間にわたり飛翔することは不可能であった。しかし、この高度に観測装置を飛翔させることは科学観測にとっては、この高度における大気成分の直接観測や、大気による吸収の強いバンドでの天体観測などを可能にするものである。われわれ、宇宙科学研究所気球部門は、これらの要求に応えるため、10kg程度の観測器をより高い高度に飛翔させる高高度気球の開発を一つのテーマとしてきた。

高高度気球の開発は1991年にはじまり、気球フィルム接着装置の開発、搭載機器の軽量化、放球装置や方法の開発を順次行なってきた。1997年には、集大成として体積120,000m<sup>3</sup>の気球を製作し、高度50.2kmに到達させることに成功した[1]。その後、気球フィルム自体の開発を手掛け、宇部興産、柴田屋加工紙の協力により、1998年には、厚さ3.4 $\mu$ mのポリエチレンフィルムの製作に成功した。これは、メタロセンを触媒として製作したレジンをを用いたものである。

メタロセンは金属原子とシクロペンタジエチル環を含む化合物の総称である。1950年代の初めに鉄系メタロセン(フェロセン)が合成されたのが最初で、近年、ポリオレフィン製造用の触媒としても利用価値が見出され、脚光を浴びている。触媒の活性点が一つであるため、生成されるポリマーの分子量分布や短鎖分岐の割合などの物理的性質が均一となり、生成物質の設計がしやすいことが最大の特徴である。この利点を生かして、既存製品の品質管理の向上や、密度の小さなポリマーなど新しい製品の開拓に役立てられている。これらの中でも、我々が着目したのは、分子量分布が小さいことによって、ドロウダウン性がよく、フィルム成形時にダイスから高速でドロウすることが可能となり薄いフィルムを成形しやすい点であった。実際、従来になく薄いフィルムを製作することに成功した。

このフィルムは機械的特性は申し分ないのだが、折径が80cm程度までしかとれないことが気球製作の上で問題である。これも分子量分布が小さいことに起因しており、メルトテンションが小さくインフレーション成形において、ダイスの大きさから大きく広げることが難しいことによるものである。しかしこの問題点は、急速冷却を行なうことで改善することが知られており、将来的には折径を大きくとることも不可能ではなく、我々の課題の一つである。

この3.4 $\mu$ mフィルムを用いて1999年に初めて気球が製作、飛翔された。気球の体積は、1,000m<sup>3</sup>であり、高

度37kmに到達することに成功し[2], 実際に気球用フィルムとして使えることが実証された。この時点で残った課題は、気球の大型化と、水平浮遊可能な排気口付きの気球の開発であった。

我々は、順次気球を大型化し、2000年に二つの体積5,000m<sup>3</sup>の気球、2001年に一つの体積30,000m<sup>3</sup>の飛翔に成功してきた。特に、後者の気球は高度50.7kmに到達し、日本最高到達高度を塗り変えるものであった。我々は、さらに、排気口付きの気球の開発もはじめ、2001年8月に飛翔試験に成功している。本論文ではこれらの気球の飛翔について報告する。

## 2. 5,000m<sup>3</sup>気球への挑戦 —— BT5-19 ——

今回製作した体積5,000m<sup>3</sup>の超薄型高高度気球の諸元を表1にまとめた。補強テープ、ガス注入口の構造、および、気球頭部の処理は、前年に製作した1,000m<sup>3</sup>のものと同一とした。この気球は、排気口を持たない気球であり、満膨張後に破壊するように作られている。

飛翔実験は、2000年6月7日に行われた。気球は新組立室内でガス注入を行った。ガス注入量の測定は、従来の軽量気球の場合と同様に、気球全体、および、観測重量や自由浮力分のダミーウェイトを電子天秤に載せて計測しながら規定量を注入する方法をとった<sup>1)</sup>。当日の地上風はおだやか(1 m/s程度)であり、従来の小型高高度気球と同様にダイナミック放球法で放球した。

図2, 3に航跡図と高度曲線を示す。高度曲線から、この気球の上昇速度は平均的には300m/minであり、薄型高高度気球でよくみられるように後半加速したことがわかる。この気球の最高到達高度は43kmであった。

最高高度に到達した気球は徐々に降下を始めたために、気球切り離しコマンドを送信し、気球を引き裂き紐で破壊した。気球の様子は、ITVカメラでモニターしていたが、1,000m<sup>3</sup>の気球の時のように一気に破壊しなかった。

表1 BT5-19 気球諸元

名称	BT'5-5
製造年月	平成12年5月
気球メーカー	藤倉航装株式会社
フィルム名称	ユメリット極薄フィルム
フィルム厚み	3.4 μm
フィルムメーカー	柴田屋加工紙株式会社
パネル数	48
直径	22.9 m
全長	33.1 m
ガス注入口	20 m×1本
重量	6.72 kg
ロンチャー線	6 m
引き裂き	あり
吊り手	セルブ方式

a) 頭部0.3mの締め付け部分のみウインゼン社製の19μm厚のStrato Filmを溶接した。

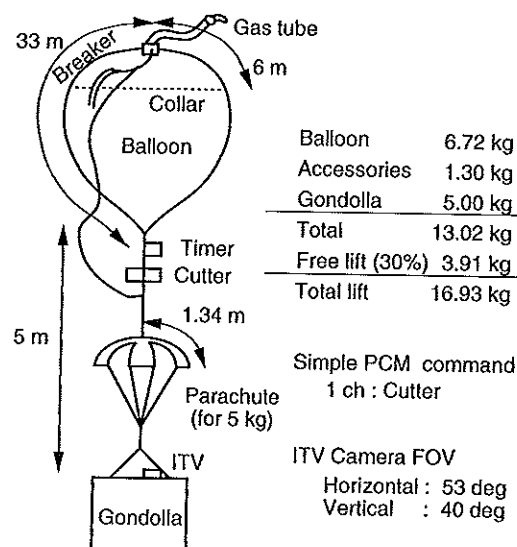


図1 BT5-19 気球の飛翔構成。

<sup>1)</sup> 大型気球の場合はボンベ温度とガス圧より決定している。

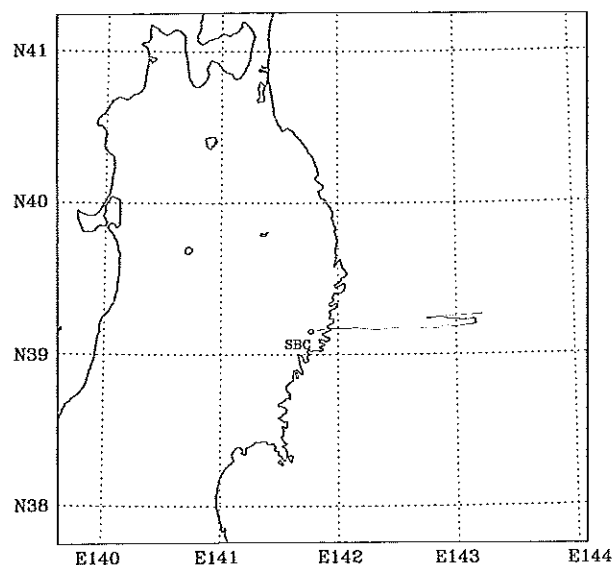


図2 BT5-19 飛翔航跡図.

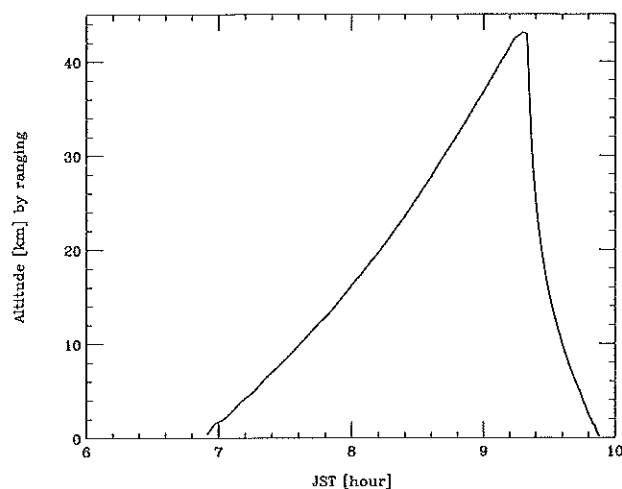


図3 BT5-19 高度曲線.

### 3. 5,000m<sup>3</sup>気球への挑戦2 —— BS00-04p ——

二回目の体積5,000m<sup>3</sup>の超薄型高高度気球の飛翔実験は、測風気球として2000年9月1日に行われた。諸元を表2にまとめた。この気球では新たに開発した巻き下げ器の試験もあわせて行った[4]。

本気球も同様に、新組立室内でガス注入を行った。この気球は、大型高高度気球放球装置を用いて放球した。これは、エアバックで気球を押さえる方法であり、より浮力の大きい大型高高度気球も放球できる方法である[1]。将来の大型気球の放球に向けて、より薄くなったフィルムでも問題ないことを確かめるため、この方法を用いた。放球装置はロボコン(電動移動車)の上にセットされ、気球を放球装置に固定した上でガスが詰められた。ガス注入が終了した後、ロボコンを操作して、気球を新組立室から放球場に移動させた。気球下部から観測器までは、

表2 BS00-04p 気球諸元

名称	BT <sup>5</sup> -4
製造年月	平成12年5月
気球メーカー	藤倉航装株式会社
フィルム名称	ユメリット極薄フィルム
フィルム厚み	3.4 μm
フィルムメーカー	柴田屋加工紙株式会社
パネル数	48
直径	22.9 m
全長	33.1 m
ガス注入口	20 m × 1 本
重量	6.82 kg
ロンチャー線	6 m
引き裂き	あり
吊り手	セルフ方式

a) 頭部0.3mの締め付け部分のみウインゼン社製の19μm厚のStrato Filmを溶接した。

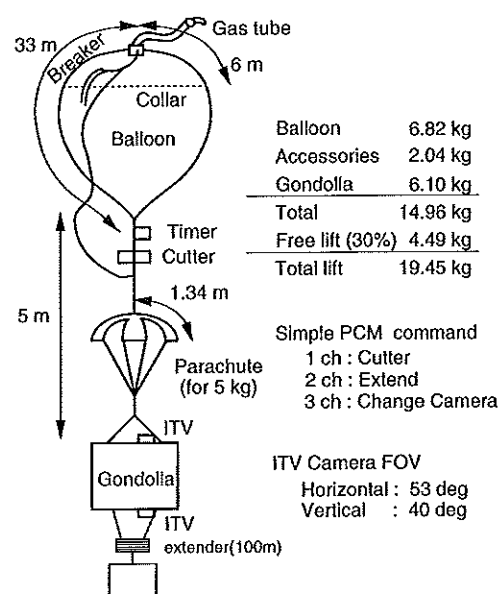


図4 BS00-04p 気球の飛翔構成.

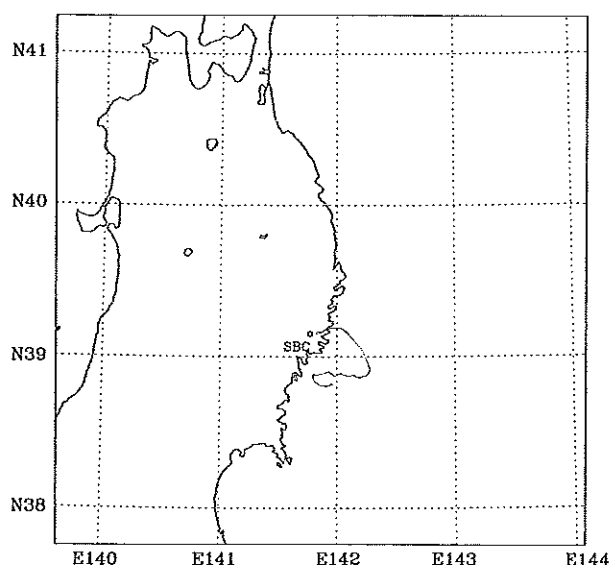


図5 BS00-04p 飛行航跡図.

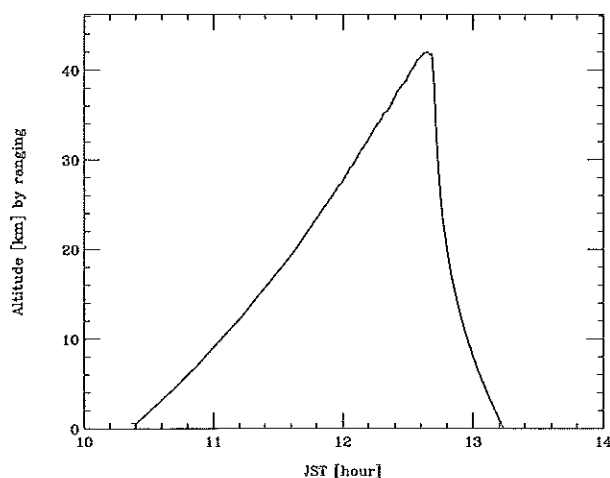


図6 BS00-04p 高度曲線.

従来どおり、ダイナミック放球法で放球した。

図5, 6に航跡図と高度曲線を示す。この気球も平均的速度300m/minで上昇し、後半加速していたことがわかる。また、最高到達高度は搭載機器が重かったため42kmであった。この気球も気球切り離しコマンドを送信し、気球を引き裂き紐で破壊し実験を終了させた。

#### 4. 日本最高気球高度への挑戦 —— BT' 30-1 ——

これらの5,000m<sup>3</sup>気球の成功を踏まえ、2001年には、体積30,000m<sup>3</sup>の気球を製作し、飛行実験を行なった。気球の諸元を表3に、飛行構成を図7に示す。ITVカメラが気球の全系を眺められるように、ゴンドラと気球との

表3 BT' 30-1 気球諸元

名称	BT'30-1
製造年月	平成13年5月
気球メーカー	藤倉航装株式会社
フィルム名称	ユメリット極薄フィルム
フィルム厚み	3.4 $\mu$ m
フィルムメーカー	柴田屋加工紙株式会社
パネル数	90
直径	42.7 m
全長	59.1 m
ガス注入口	40 m $\times$ 1本
重量	22.9 kg
ロンチャー線	17 m
引き裂き	あり
吊り手	セルフ方式

a) 頭部0.3mの締め付け部分のみウインゼン社製の19 $\mu$ m厚のStrato Filmを溶接した。

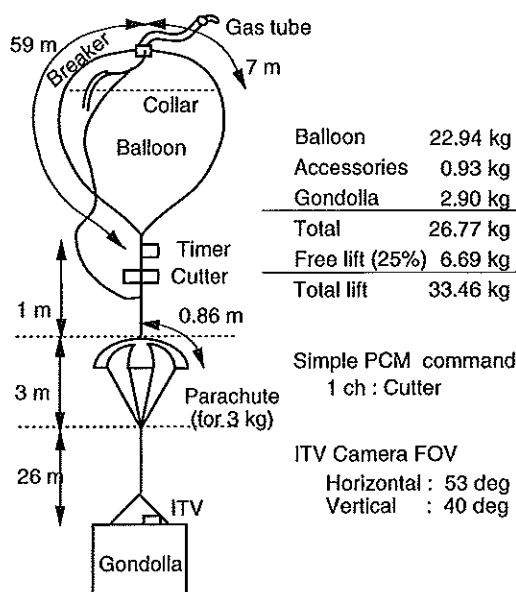


図7 BT' 30-1 気球の飛行構成.

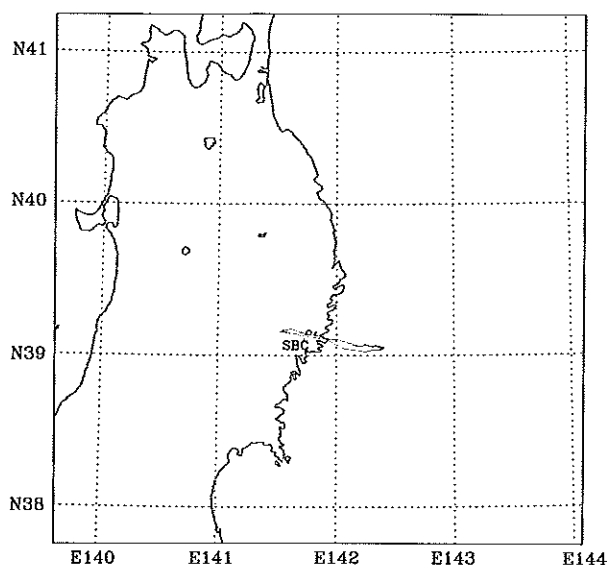


図8 BT' 30-1 飛翔航跡図.

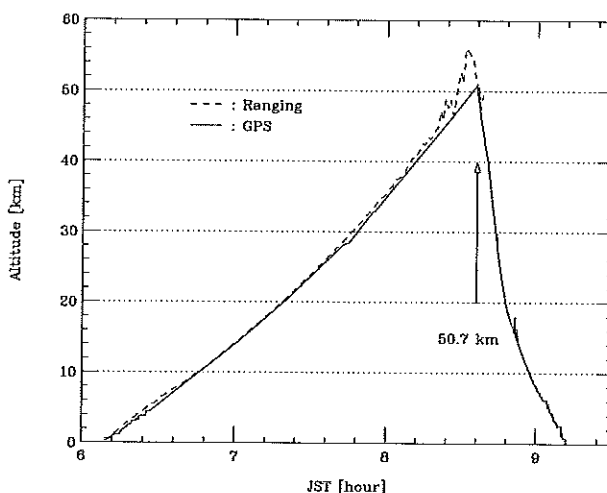


図9 BT' 30-1 高度曲線. GPS によるものと測距によるもの. GPS は受信状態の悪い時間帯があり, 一部の時間で高度が正しく表示されていない. また, 測距は, 高度45kmを越えたあたりから, 受信点との距離が近く仰角が大きくなったため, 精度が悪化している.

距離を離している. この他, 正確に高度を測定する目的でGPS受信器も搭載している.

飛翔試験は2001年9月6日に行なった. 大きさの制限から, 5,000m<sup>3</sup>クラスの気球のように, 屋内でガスつめはできないため, 早朝の風の時間に放球するよう計画した. 放球に際しては, 前回の気球と同様に, ロボコンに固定された大型高高度気球用放球装置を用い, ダイナミック放球法で放球した. 当日の風速は1 m/s程度と非常に穏やかであった.

気球は6時9分に放球され, 順調に上昇した. 航跡図を図8に, 高度曲線を図9に載せる. 当初, 上昇速度は, 270m/minと遅めであったが, 上昇するにつれて速度が増し, 最終的には440m/minにも達している. 後半は気球が戻り風によって, 受信点である大嶺山に近付き, 仰角が高くなったため, 測距の精度が低下してデータの分散が大きくなっている. これは, ダイポールアンテナをつかっているため, 鉛直方向に強度のヌル点が存在することによるものである. また, GPSの受信状況も悪く, 高度が更新されないデータ点が時々あった. このため, 圧力がかかって, 上昇速度が変化する様子は, 測距, GPS, とともに測定できていない. しかし, 幸いながら, 最高到達高度付近では回復し, 高度50.7kmに到達したと計測することができた. この高度は, 1997年に120,000m<sup>3</sup>の気球でつくられた日本最高到達高度50.2kmを4年ぶりに更新するものであった. なお, この気球は最高高度に到達した後, 破裂したため, コマンドによる気球破壊の必要はなかった.

## 5. 排気口付きの気球の開発 —— BS01-05p ——

科学観測の目的によっては, 気球を水平浮遊させる必要があり, このためには排気口付きの気球が必要である. 薄型高高度気球の排気口は, 山上, 他, 1996[3]で議論されているように, 柔軟バンド型が優れていることが知られている. 3.4  $\mu$ m厚フィルムによる気球の場合もこの考え方を踏襲した.

この気球のゴンドラでは, FPGAを用いたコマンドデコーダーの搭載機器試験, および, CdTe検出器の試験が行なわれた. コマンドは11chの簡易PCMコマンドを用いている. 気球実験は, 2001年8月26日に測風気球として行なわれた. ガス注入は屋内で行なわれ, ダイナミック放球法により, 10時28分に放球された.

高度曲線を図12に, 航跡図を図11に示す. 気球は順調に上昇し, 他の薄型気球と同様に高度が上昇するにつれて上昇速度は加速していった. 放球後, 2時間ほど経過した12時22分頃に水平浮遊高度30.8kmに入った. この

高度は、予想高度30.4kmとほぼ一致する。その後、気球は東風にのり、宮古付近の陸地に近付いたため、12時39分に気球切り離しコマンドを送信し、ゴンドラを緩降下させた。なお、水平浮遊中の高度データにジャンプがみられるが、これは、アンテナ制御系が故障したことによるものであり、実際に高度変化があったものではない。

表4 BS01-05p 気球諸元

名称	BT'1-3
製造年月	平成12年5月
気球メーカー	藤倉航装株式会社
フィルム名称	ユメリット極薄フィルム
フィルム厚み	3.4 $\mu\text{m}$
フィルムメーカー	柴田屋加工紙株式会社
パネル数	28
直径	13.4 m
全長	19.4 m
ガス注入口	10 m $\times$ 1 本
重量	2.86 kg
ロンチャー線	5 m
引き裂き	あり
吊り手	テープ

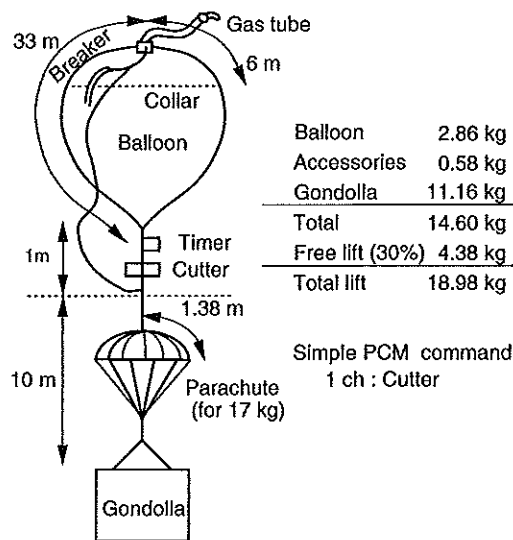


図10 BS01-05p 気球の飛翔構成。

- a) 頭部0.3mの締め付け部分のみウインゼン社製の19 $\mu\text{m}$ 厚の Strato Film を溶接した。  
b) 排気口つきである。

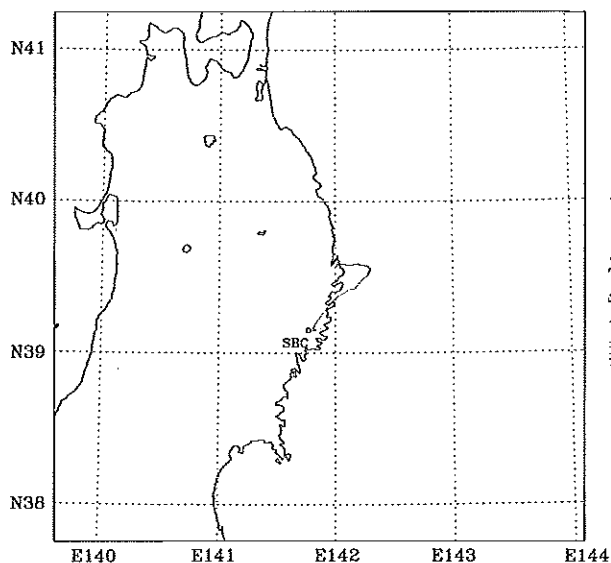


図11 BS01-05p 飛翔航跡図。

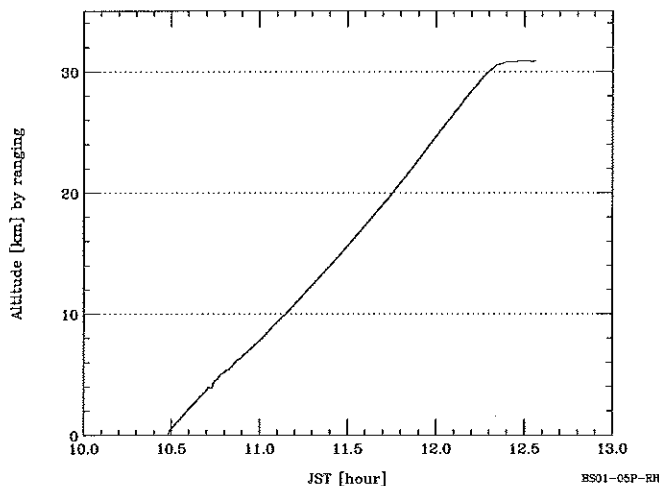


図12 BS01-05p の高度曲線。

## 6. 薄型高高度気球の最高到達高度

これまでに、3.4 $\mu\text{m}$ 厚のフィルムを用いた気球は3機放球され、いずれも最高到達高度まで上昇させることに成功している。これらの結果を5.8 $\mu\text{m}$ 厚フィルムを用いた気球の結果とともに表5にまとめた。表中の高度と気圧、気温の関係は綾里の気象ロケット観測で得られた、1992年から1994年の5月、および9月の月別平均（図13、14）にしたがって求めた。また、満膨張高度は、斎藤、他1998、式(22) [3]を用い、ヘリウムガス温

表5 薄型高高度気球到達高度一覧

気球番号	放球日	体積 [m <sup>3</sup> ]	全重量 [kg]	自由浮力 [%]	到達高度 $P_0$ [hPa] <sup>b)</sup> ([km])	満膨張高度 <sup>a)</sup> $P_t$ [hPa] <sup>b)</sup> ([km])	$P_0/P_t$
3.4 $\mu$ m 厚フィルム							
BT1-3	99/9/1	1,000	5.11	30	4.48 (37.1)	5.10 (36.2)	0.878
BT5-19	00/6/7	5,000	13.02	30	2.05 (43.0)	2.73 (40.7)	0.751
BS00-04P	00/9/1	5,000	14.96	30	2.30 (42.0)	3.10 (39.8)	0.742
BT30-1	00/9/6	30,000	26.80	25	0.75 (50.7)	0.95 (48.9)	0.789
5.8 $\mu$ m 厚フィルム							
BT5-3	93/6/9	5,000	14.55	30	2.79 (40.6)	3.13 (39.7)	0.891
BT5-4	93/6/9	5,000	13.90	30	2.27 (42.2)	2.99 (40.1)	0.759
BT5-5	94/5/30	5,000	14.30	40	2.05 (43.0)	3.29 (39.3)	0.623
BT5-7	94/8/27	5,000	14.20	30	1.91 (43.4)	2.96 (40.1)	0.645
BT5-9	95/9/2	5,000	14.07	30	2.45 (41.5)	2.94 (40.2)	0.833
BT5-13	96/9/10	5,000	14.46	30	2.73 (40.7)	3.01 (40.0)	0.907
BT5-14	97/9/5	5,000	16.48	30	2.45 (41.5)	3.39 (39.1)	0.723
BT5-16	98/9/4	5,000	16.68	30	2.66 (40.9)	3.43 (39.0)	0.776
BT5-18	99/8/31	5,000	15.60	30	2.33 (41.9)	3.23 (39.5)	0.721
BT15-1	93/5/24	15,000	26.30	30	1.41 (46.0)	1.96 (43.4)	0.719
BT30-2	95/9/8	30,000	38.26	25	1.09 (47.8)	1.36 (46.0)	0.801
BT120-1	97/1/27	120,000	98.82	12	0.69 (50.2)	0.77 (49.4)	0.901

a) 斎藤、他 1998、式 (22)[2] を用い、ヘリウムガス温度を大気温度よりも 10 °C 低いとして計算した。

b) 高度と気圧、気温の関係は綾里の気象ロケット観測データの 1992 年から 1994 年の月別平均の平均値にしたがって求めた。

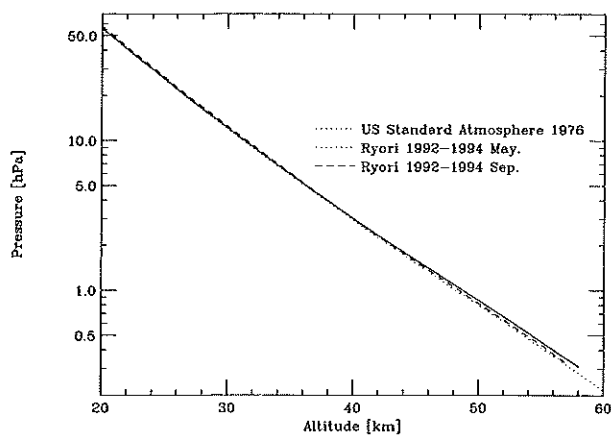


図13 高度と気圧の関係。綾里の気象ロケット観測データの 1992 年から 1994 年の月別平均値。

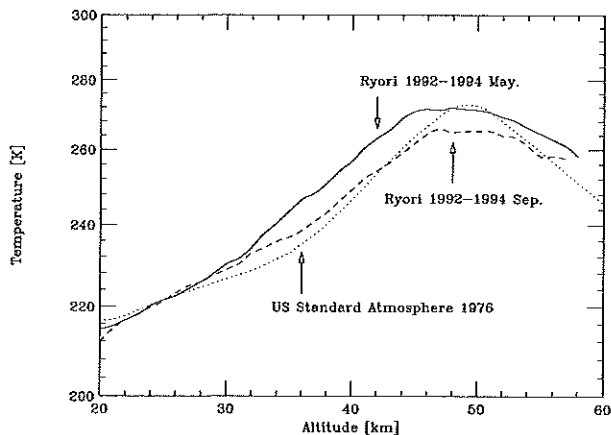


図14 高度と気温の関係。綾里の気象ロケット観測データの 1992 年から 1994 年の月別平均値。

度を大気温度よりも 10 °C 低いとして計算している。

この表をみると、大雑把にいて 2 割程度、満膨張時の気圧よりも高いところまで上昇していることがわかる。これは、気球の体積が膨張したためである。また、5.8  $\mu$ m 厚のフィルムの気球と 3.4  $\mu$ m 厚のフィルムの気球とで同程度であるように見える。

この理由は定性的には以下のように説明できる。気球フィルムの伸びは、応力とひずみの関係と、気球の体積と内外圧力差の関係を連立させることによって解くことができる。後者において、体積は、フィルムの伸びの関数であり、内外圧力差はフィルムにかかる張力の関数であるから、両方の式は応力-ひずみに関する二本の式ととらえることができ、図15のように、二本の線の交点として解が求められる。気球の体積と内外圧力差の関係式の傾きが大きいため、3.4  $\mu$ m 厚フィルムと 5.8  $\mu$ m 厚フィルムとで伸びの大きさがほとんど変わらないことに



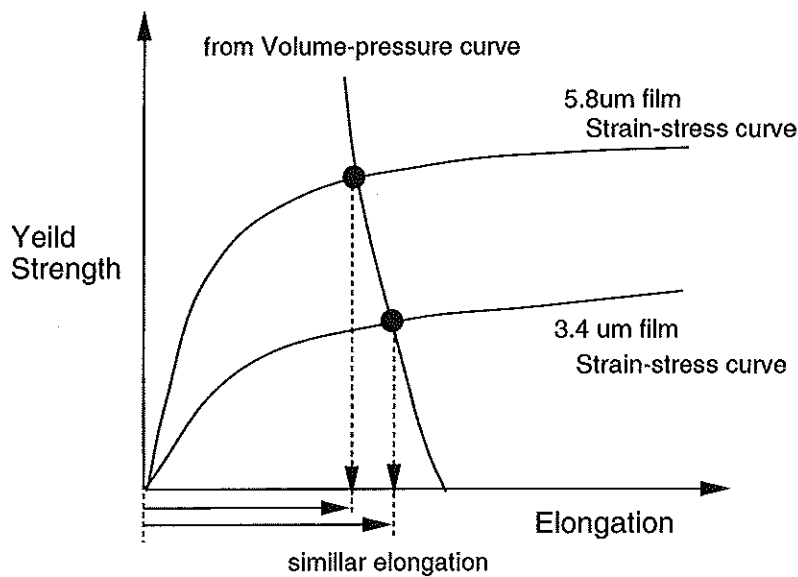


図 15 縦軸を応力、横軸をひずみにとって、 $3.4\mu\text{m}$  厚と  $5.8\mu\text{m}$  厚のフィルムの応力-ひずみ曲線、体積と内外圧力差の関係から導かれる応力とひずみの関係式を模式的に表した図。後者の曲線の傾きが急であるため、フィルムの伸びは、二種類のフィルムで同程度になると考えられる。

なり、結局、伸びの最大点において気球は破壊することになる。両者の破断強度は厚みを反映して 2 倍程度異なっているものの、伸びは同程度であるため、気球が破壊するまでに伸びる量は、両方のフィルムで同程度になる。この場合、気球の体積にもよらないことになるが<sup>2)</sup>、実際にそのようにデータを見ることもできる。

## 7. おわりに

われわれは、超薄型気球の大型化をすすめ、 $5,000\text{m}^3$ の気球二機、 $30,000\text{m}^3$ の気球一機の飛翔に成功した。また、排気口付きの気球を製作し、水平浮遊させることにも成功した。これにより、従来、高高度観測用に用いていた  $5.8\mu\text{m}$  厚フィルムを使った高高度気球にかわる気球が製作できたものと考えており、2002 年からは実際の科学観測に用いることを検討している。

さらなる気球の大型化も大きなテーマである。今回の気球実験によって、気球がかつて飛翔したことのない高高度に到達可能な気球の製作の目処がたった。順次、気球の大型化を行い、より高高度を目指して行く所存である。

## 参 考 文 献

- [1] 松坂幸彦, 他, 宇宙科学研究所報告特集第 37 号, 1, 1998
- [2] 斎藤芳隆, 他, 宇宙科学研究所報告特集第 40 号, 1, 2000
- [3] 山上隆正, 他, 宇宙科学研究所報告特集第 33 号, 3, 1996
- [4] 松坂幸彦, 他, 大気球シンポジウム, 27, 2000

<sup>2)</sup> 気球の体積と内外圧力差の関係式の傾きが変化するが、急であることに変わりはない

補遺A. 20  $\mu$ m厚気球用フィルムの開発

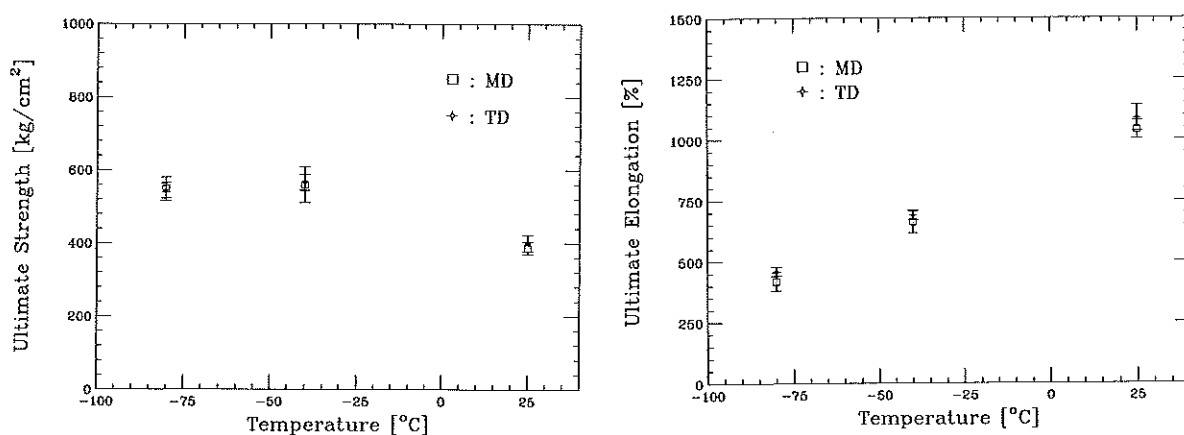
超薄型フィルムは順調に開発が進み、飛翔性能試験の結果、高高度気球への利用の目処も立ち、国産化への道を開くことができた。ところで、通常の大気球に使用している20  $\mu$ m厚ポリエチレンフィルムは、国産の6776フィルム、および、アメリカのAstro-Eフィルムを併用し、使い分けてきた。今回開発した超薄型3.4  $\mu$ m厚フィルムの単位厚みあたりの強度は、これらのフィルムと同程度の値であり、超薄型フィルムと同一のレジン(1520F/2525F=50/50)を用いて20  $\mu$ m厚のフィルムを製作も行った。フィルムの折径は従来とあわせて1.5mとした。なお、フィルムの製作は3.4  $\mu$ m厚フィルムと同じ柴田屋加工紙に依頼した。

フィルムの最大強度、最大伸びの温度依存性を図16、表6に示す。3.4  $\mu$ m厚フィルムでは縦横の伸びが異なっていたが、今回のフィルムでは両方の特性が非常によくそろっている。また、従来使われてきたAstro-Eフィルムと比較すると、強度は小さめであるが、伸びの点で優れていることがわかる。実際に気球用材料としても問題ないものが製作できたと思われる。

このフィルムを用いた最初の気球は、体積15,000m<sup>3</sup>の気球であり、オートレベルコントローラーの試験(BT15-82)に用いられた。この飛翔試験は2000年6月2日に行なわれた。5時58分に放球された気球は7時30分頃、高

表6 気球用フィルムの最大強度と伸びの温度依存性の比較

フィルム名	厚み ( $\mu\text{m}$ )	MD		TD	
		破断強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	破断伸び <sup>o</sup> (%)	破断強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	破断伸び <sup>o</sup> (%)
25 °C					
柴田屋フィルム	3.4	410 ± 40	520 ± 50	370 ± 30	960 ± 60
	20	390 ± 20	1040 ± 40	400 ± 20	1090 ± 50
ASTRO-E	16	400 ± 20	840 ± 20	440 ± 30	1230 ± 70
−40 °C					
柴田屋フィルム	3.4	610 ± 80	340 ± 30	460 ± 20	570 ± 30
	20	560 ± 50	660 ± 50	570 ± 20	690 ± 20
ASTRO-E	16	760 ± 50	580 ± 40	810 ± 30	840 ± 20
−80 °C					
柴田屋フィルム	3.4	690 ± 50	220 ± 20	640 ± 70	380 ± 30
	20	550 ± 30	420 ± 40	540 ± 20	460 ± 20
ASTRO-E	16	910 ± 100	370 ± 50	660 ± 30	280 ± 30

図16 3.4  $\mu$ m厚フィルムと同一のレジンでつくった20  $\mu$ m厚フィルムの最大強度と伸びの温度依存性。

度28.5kmの水平浮遊に到達した。その後、排気弁を開くことで疑似日没状態とし、オートレベルコントローラーの試験を12回に分けて行なった。さらに、実際の日没にも遭遇している。この気球はこれらの上下運動に伴うショックによって損傷を受けた様子はなく、バラストを投下することで常に水平浮遊状態に復帰することが確かめられた。この気球は23時30分に気球切り離しコマンドが送られ、23時47分に日本海に着水した。この飛翔試験によって、フィルムの安全性が確かめられ、以後、科学観測気球にも用いられはじめている。

