

ブ ー メ ラ ン 気 球

西村 純・広沢 春任・太田 茂雄・秋山 弘光
藤井 正美・山上 隆正・大塚 豊・岡部 選司
前田 太郎・丹生 潔*

1. はじめに

地上をはなれた気球は上昇して各高度での風向風速に応じて流され、これが気球の航路となる。やがて気球受信点からの受信限界領域に近づくか、または回収に適切な地点に達すると搭載機器を指令電波により気球より切りはなし落下傘で地上または海上に降下させる。

長時間浮遊そして回収を確実にこなうことは宇宙科学観測上きわめて重要なことであるが、上に述べたことに加えて、わが国が四面海に囲まれた狭い地形であることを考えると、気球航路のコントロールが重要な問題となってきた。気球に動力をつけて任意の方向に気球を進行させることは構造としては結局飛行船のようなものになり、高々度での観測を目的とする場合にはあまり実際的ではないように思われる。

日本の上空での風は、10 km 付近に偏西風がありこれが気球上昇中に作用して気球は東方に流される。さらに上層の 30 km 付近では風向は季節によって異なるが、一般には初夏から晩秋にかけて逆むきの偏東風が吹いている。

したがっていったん東方に進行した気球はこの偏東風に乗って西方に進行する。このような風向の変化を利用して長時間浮遊を行なわせようというのがサイクリング気球 [1] の考え方であった。

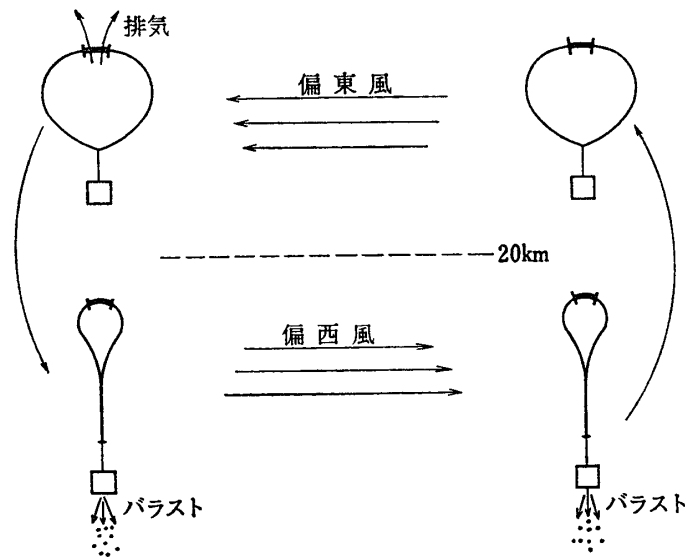
サイクリング気球ではいったん水平浮遊に入った気球が西方に進行し、西方での受信限界領域に近づくとき、指令電波により気球内ガスを排気して降下させ、偏西風の卓越した十数 km まで降下させる。第 1 図に示すように気球は東方に進行して、東方受信限界に近づくときパラストを投下して再上昇させ再び水平浮遊高度まで上昇させる。

このような操作のくりかえしにより、気球を受信点からあまり遠ざけることなしに長時間浮遊による観測が行なわれるわけである。実際この方式のテストを行なったところでは 30 時間程度の浮遊を行なうことができた [1]。

サイクリング気球では一回のサイクルごとに全重量の約 10% の浮力とパラストの損失が見られる。したがって何サイクルにもわたっての飛しょうを行なうためには、はじめに多量のパラストを積込む必要があり、気球の全重量が増加して高々度に到達したいという欠点がある。

このような欠点をさけるためにはサイクル数をすくなく、つまり一、二回程度にとどめて

* 名古屋大学理学部



第1図 サイクリングの原理

おくのが実際には、大切なことになってくる。

サイクリング気球では最初の上昇のときにコントロールをかけず、水平浮遊高度にまで上昇させるが、十数 km の偏西風が卓越する高度にいったん気球を滞停させると、気球は偏西風に乗って東方にすみやかに進行する。東方の受信限界領域付近でパラストを投下して再上昇させると、気球は水平浮遊高度に達して偏東風に乗って受信点近傍へもどってくる（第2図）。

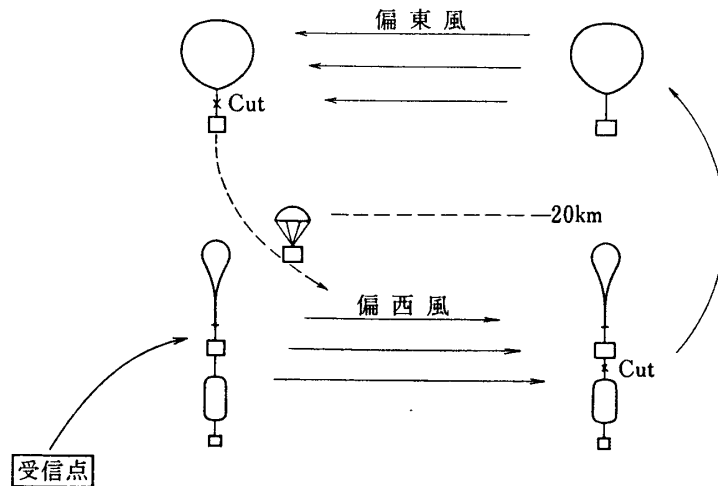
この場合は水平浮遊高度に達するときには余計なパラストは投下済みであるので、気球は高々度まで達することができる。いわば東方にはるか離れた放球場より気球を放球したことになり、気球浮遊領域として大きなスパンを取ることが可能となる。加えて三陸大気球観測所から放球した場合には、すべての操作が海上上空で行なわれるので安全性確保の上からも好ましいという利点をもっている。

この方式では気球航路が、狩猟に使うブーメランと似た形をとるので、ブーメラン気球と名づけ、その方式の検討と実験を行なった結果を以下に述べることにする。

ブーメラン方式の特徴は上に述べた通りであるが、まずこの方式に適合する気象条件と気



写真1 上が主気球，下が補助気球



第2図 ブーメランの原理

球からの電波の受信限界距離を調べ、これを第2章に述べた。

上昇する気球をいったん十数 km の高度にとどめる方式としては、ここでは補助気球方式について検討して第3章に述べ、実験の結果については第4章にまとめた。

実験の結果は良好であり、将来大重量長時間浮遊の後回収を必要とする観測については、わが国ではこの方式が適用されることになるであろう。

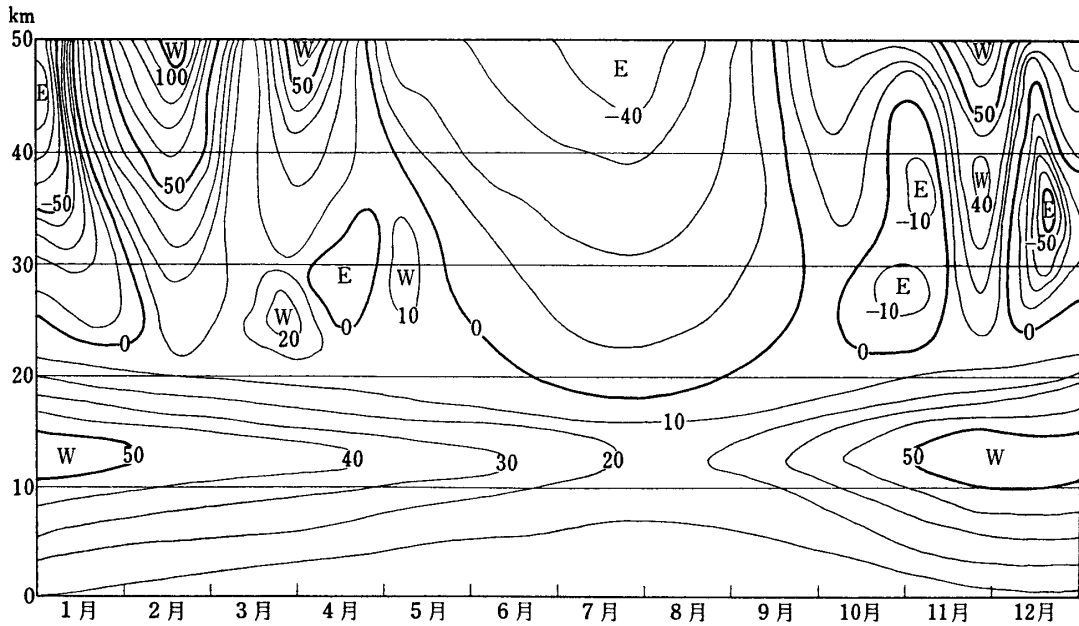
なお今回は補助気球方式によるブーメラン気球についてまとめたが、排気弁方式による上昇コントロールについては目下検討中であり、近い機会にあらためて報告する予定である。

2. 気象条件と気球からの電波の受信限界

2.1 気象条件

ブーメラン気球に適した気象条件として、まず第一に上層の東風が存在しなくてはならない。日本の上空約 20 km までは一年を通じて強い偏西風が吹いており、20 km 以上の成層圏では一般に冬は西風、夏は東風となっている。第3図に高度 50 km までの風の東西成分を示した。20 km までは仙台のゴム気球のデータ [2]、20 km 以上は綾里のロケットのデータを使わせていただいた。日本の上空 20 km 以上の詳しい風の様子は近年気象ロケットが定常的に打ち上げられるようになって初めて明らかになったものである。ここでは 1971 年のデータを使用した。一般的傾向は年によって大きく変わるものではない。この図から明らかのように上空の東風は5月中旬に出現し9月中旬に無くなる。したがって5月から9月の間に放球した気球は西風に乗って一度太平洋に出たあと、東風に乗って再びもどってくる。われわれがこれまで、長時間観測および回収を目的とした気球をこの時期に放球した理由もここにある。

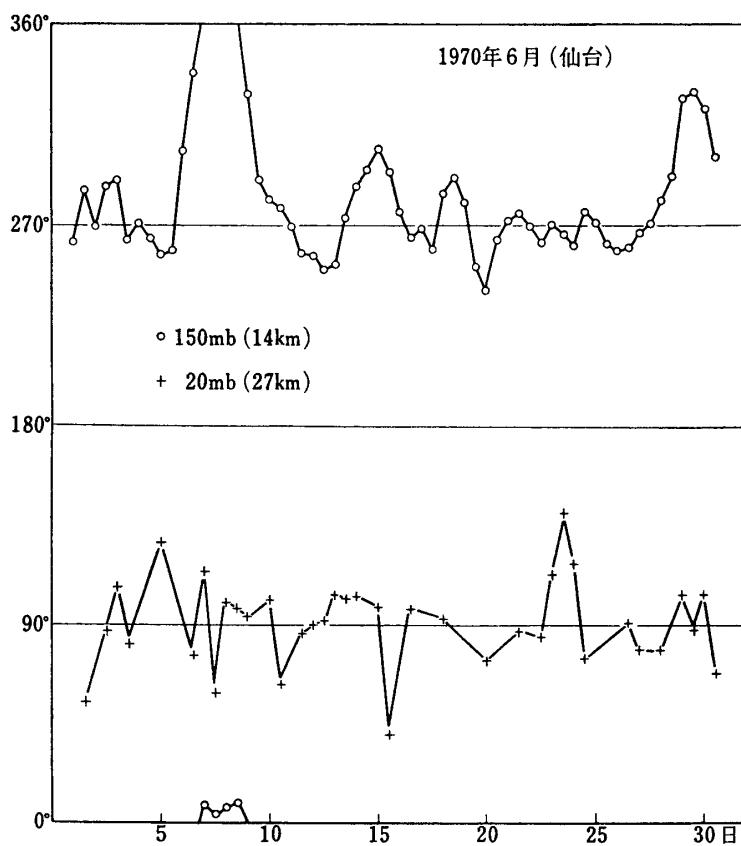
この図をもう少し詳しく見ると冬にも強い東風があるのがわかる。ただしこれはいわゆる成層圏の突然昇温として知られているもので、年によって起る時期は一定しておらず、ブーメラン気球を計画する段階では予想が立たずかならずしもあてにすることはできない。これ



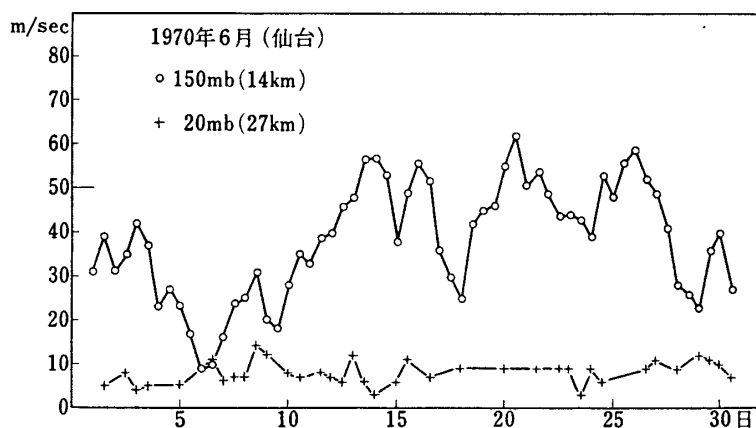
第3図 風の東西成分 (m/sec)

に反して夏の東風は出現する時期と無くなる時期は多少ばらつくが、6、7、および8月には安定して存在する。しかし7月、8月は偏西風の一番弱いときで、しかも上空の東風がかなり強いのでブーメラン気球の効率はあまり良くない。5、6月および9月は西風が比較的強く東風が弱いのでブーメラン気球には一番適していると考えられる。5月と9月は風のパターンが似ているが、変化の方向がちょうど反対で、5月は東風が強くなり安定化してくるのに反して9月は東風が無くなる向きにあり、放球に適した地上の気象条件を待っている間に、放球の機会を失すおそれもある。地上風の強さは5、6月と9月ではそれほどちがわないと思われるが、東北の梅雨が6月15日頃に始まり7月の20日頃に終わること。9月10日頃には秋霖が始まり、その後には台風の接近もあることなどを考慮して放球時期を選ぶことになろう。以上を総合して6月初めおよび9月初めが条件が一番良いと思われるが、次に6月を例にとって風向および風速の日変化を調べてみることにする。

ブーメラン気球の場合、西風に乗せて流す高度は風速の一番大きい12 kmが効率が良いが、これは航空機の高度に当るのでその少し上を選ぶことになる。東風に乗る高度すなわちレベルフライト高度は個々の気球によって異なるが、一般に30 km前後である。第4図と第5図には、仙台の高層気象データを使い、1970年6月の高度14 kmと27 kmの風向と風速の日による変化を示した。気球はあまり南北にドリフトしない方が回収その他の点で好ましいが、西風が $270^\circ \pm 10^\circ$ に収まる日を見つけることは可能であろう。その場合でも東方に400 km位まで流したときには、南北に70 km位ドリフトすることになる。この地点から東風に乗せてゆっくり気球をもどす場合には風向の適当な高度を選ぶことにより上に述べた南北のドリフトはある程度打ち消すことも可能である。第3図および第5図からわかるように、東風の風速は約10 m/sec すなわち時速36 kmで、400 kmの距離をもどる間に約10



第4図 風向の変化



第5図 風速の変化

時間から 15 時間の観測を行なうことができると思われる。一方十数 km の風速は 20 m/sec から 30 m/sec 程度であるので、この高度での滞空時間は、4 時間から 6 時間程度のもとなる。

2.2 気球からの電波の受信限界

前節に述べたようにブーメラン気球では十数 km の高度で気球を東方に流し、再上昇させ

るが、この再上昇させる位置が、受信点から離れている程長時間の観測ができることになる。

気球用電波としては現在指令用電波は 75.94 MHz, テレメータ用電波は 1,680 MHz が使用されているが、これらの電波の受信限界は事実上気球の見通し限界とよく一致している。

高度 H km にある気球の見通し距離 D km は、幾何学的な関係から

$$D = \sqrt{2HR}$$

と与えられる。ここで R は地球半径で 6,370 km とした。

三陸大気球観測所の受信点の標高が 440 m であるので、この点を加味して D について計算した結果は表 1 に示した。

この表からわかるように高度 15 km での受信限界距離は約 500 km, 高度 30 km でのそれは約 650 km となる。

したがって、指令電源で再上昇用のバラストを投下させるには幾分の予裕を見て約 400 km が東方に離し得る限界と考えられる。

もし再上昇バラストの投下をタイマで行ない気象条件にあわせてあらかじめタイマのセットをしておけば、600 km 程度までの距離では再上昇後テレメータの受信がすなわち可能となり、観測時間を数時間のばすことが可能になる。

表 1 気球の幾何学的見通し距離

気球高度 (km)	5	10	15	20	25	30	35	40
見通し距離 (km)	327	432	512	580	639	668	743	789

三陸大気球観測所の受信点の標高を 440 m とした。

3. 方式について

3.1 補助気球方式

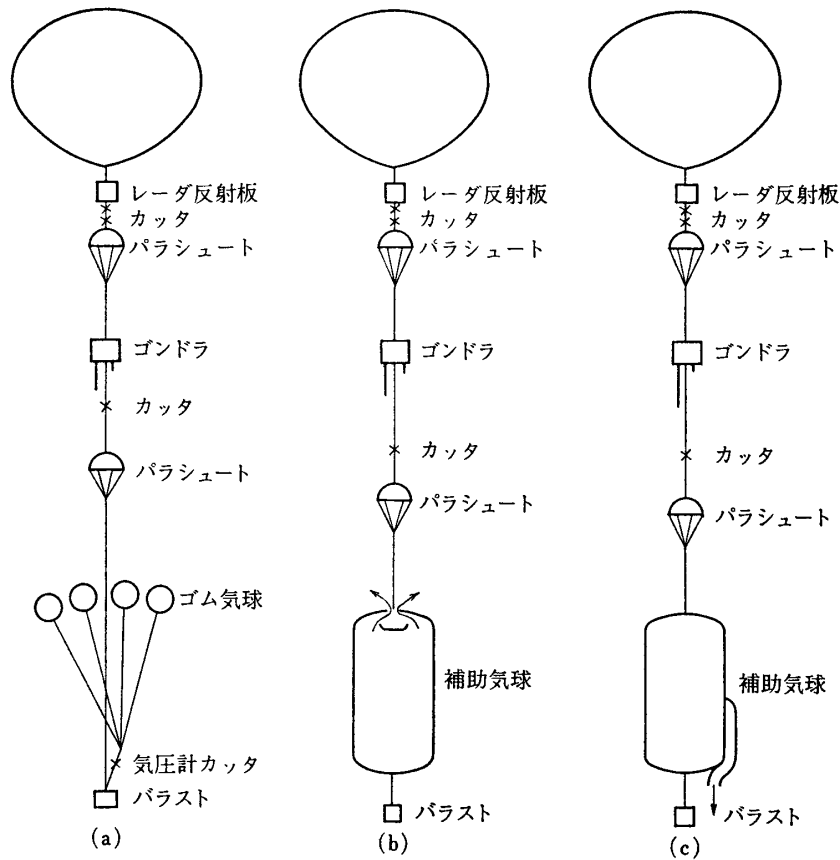
ブーメラン気球を実現するにあたっては、前節にのべたように、航空機高度よりやや高い 150 mb 付近でいったん上昇をとめ同高度に滞空させる必要がある。

上昇をとめるには自由浮力を減らし、全重量と浮力をバランスさせればよいが、その方法としては、

- 1) 排気弁によりガスを放出させて浮力を減らす
- 2) 補助気球を用いて同気球の浮力を減らす

の二方式が考えられる。

排気弁でコントロールする方式は、地上からのコマンドで指令できる利点があるが、一方排気弁は気球の頭部にとりつけられており、構造によっては上昇中に開弁すると多量の空気を気球内に押込むおそれがある。また気球ガスをヘリウムに変更したため、従来にくらべて能率のよい排気弁を作り得る可能性があり、また現在テスト中であるので、今回は 2) の方式を採用することとした。



第 6 図 補助気球方式

補助気球方式としては第 6 図に示すような三種類が考えられる。ともに主気球に落下傘、ゴンドラをとりつけてある点は通常の構成と異ならないが、その直下に投下バラスト用ゴンドラをさげ、これとバランスする補助気球をとりつける。したがって補助気球以下は最初の上昇では主気球の上昇にあまり影響をあたえない。補助気球からの浮力減少は次に述べる方法で行ない、150 mb 付近での浮遊後は補助気球以下を切捨てれば、主気球は通常の通り再上昇する仕組みとなっている。浮力減少方式としては

- a) ゴム気球方式は所定の高度で気圧計でゴム気球を切はなす。
- b) 補助気球に排気弁をつけ浮力の放出を行なう。
- c) 補助気球が満膨張となり、下の排気口から自動的にガスを排気する。

等々を考えた。a) のゴム気球方式は取扱いが簡単な利点があるので、まずテストを行なったが、上昇中にゴム気球が破壊しやすいこと、また主気球と投下バラストのみであらかじめ浮力のバランスをとるようにセットする必要がある。これは後に述べるように微妙な調整を要するので取りやめることとした。

b) の排気弁使用方式は取扱いが面倒である点を除けば地上からのコマンドが可能であるのでテストの結果も良好であった。

c) の補助気球のみによる方式は、気球が上昇しすぎると補助気球の浮力はさらに減少す

るので、一定高度にとどまるという安定性をもっている。しかもすべて自動的に行なわれるという利点をもっているので、この方式に重点をおいて解析およびテストが行なわれた。

c) の方式は以上のような特徴をもっているため、今後ブーメラン気球のみならず、特殊な宇宙科学観測にも応用することができるであろう。

以下この方式についての特性についてやや詳細に述べることにした。

3.2 補助気球の満すべき条件

補助気球のしめる役割について定性的に述べたが、具体的には主気球に対してどの程度の容積をもち、また浮力をどの程度付加すべきであるかが問題となる。

これは 150 mb 付近で補助気球が排気の結果失なった浮力が主気球の自由浮力と打消し合うこと、そしてその付近の高度で安定に水平浮遊するという二つの条件で定まる。

補助気球の容積が小さすぎる場合には、後に述べるような所定高度で浮力を打消すことができても、その高度で安定に浮遊できず、ふく射の影響により上昇または下降をおこすことになる。

a) 補助気球の容積と浮力の関係

補助気球の地上における浮力が主気球の地上における自由浮力 f の n 倍であるとする。補助気球が気圧 P_0 で満膨張になり排気をはじめ、気圧 P の高度まで上昇したとする。この高度での補助気球の浮力損失は、大気温度の補正をほどこして

$$nf\left(1 - \frac{PT_0}{P_0T}\right) \quad (1)$$

となる。ここで T_0, T はそれぞれ気圧 P_0, P における大気温度である。

一方主気球側の浮力は、気球内ガス温度と大気温度の差 σT_G によって浮力が変化する [3]。地上における全浮力は気球全重量を W とすると $W+f$ であるので、気圧 P における自由浮力分は

$$(W+f)\frac{\Delta T_G}{T} + f \quad (2)$$

となる。

気球の浮力がバランスして水平浮遊を行なうためには、上の2つの浮力が打消し合うことが必要で、

$$n\left(1 - \frac{PT_0}{P_0T}\right) = 1 + \left(1 + \frac{W}{f}\right)\frac{\Delta T_G}{T} \quad (3)$$

であればよい。 $\Delta T_G/T, W/f, P_0, P$ を定めれば、 n が求まり補助気球の浮力が定まる。

このうち $\Delta T_G/T$ は大気の様相で定まり、具体的な数値は付録に述べてある。 $1+W/f$ は一般に 10 程度の値であり、 P は 150 mb 付近と定めてあるので、結局は補助気球の満膨張高度 P_0 の関数として求めることができる。

第7図に $P=150$ mb, 200 mb の場合について P_0 と n の関係を示した。

P_0 と n の関係が求まると補助気球の容積 V は地上と P_0 の温度差を考慮して、次の関係式

$$V = \left(\frac{nf}{\rho} \right) \frac{P_1 T_0}{P_0 T_1} \quad (4)$$

から求められる。ここで ρ, P_1, T_1 は地上での単位体積あたりの浮力、気圧、温度である。

第7図の結果によると P_0 を大きくすると n が小となり、したがって補助気球の容積は小さくなり、よい傾向のように思われる。しかし、第7図における $P=200$ mb と 150 mb に対応する曲線は 600 mb 付近で交差し、地上付近では $P=200$ mb の n の値は $P=150$ mb の値より小さい値を示している。

この場合 $P_0=200$ mb で浮力が平衡するように設計された補助気球では(2)式から明らかのように、より高度の高い 150 mb で自由浮力を持ち気球は上昇をつづけることになる。

これは 150 mb 付近の高度の気球ガス温度と大気温度との差が高度とともに激しく変動するため、主気球の浮力が増加して補助気球のガス排気分では追いつかないためである。

b) 水平浮遊の安定性について

前節では水平浮遊高度が 150 mb と 200 mb の考察から水平浮遊についての安定性について述べたが、浮遊高度の安定性についてはより一般的に議論しておく必要がある。

(2) 式と (1) 式の差

$$F = f + (W + f) \frac{\Delta T_G}{T} - nf \left(1 - \frac{PT_0}{P_0 T} \right) \quad (5)$$

は水平浮遊に対する予剰浮力をあらわし、この量だけ浮力を減らせば気球が水平浮遊に移ることを示している。

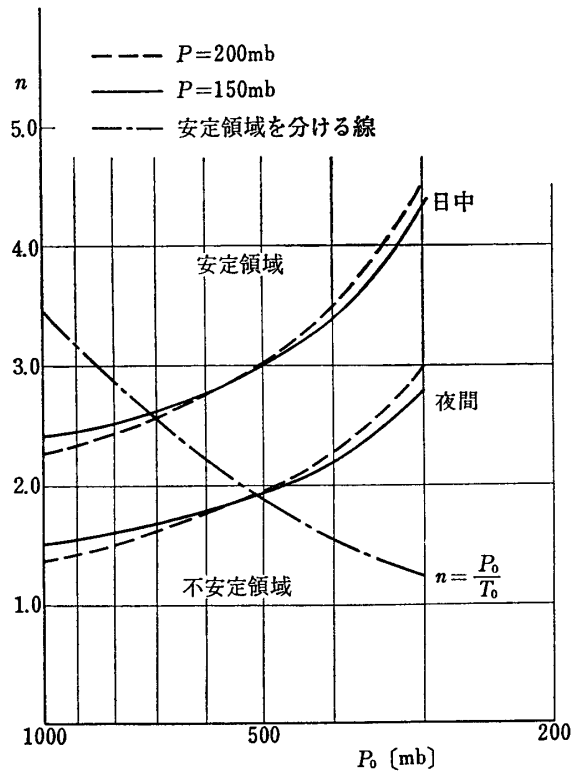
したがってある高度で水平浮遊が安定であるためには、高度とともに予剰浮力が減少すればよい。この条件は(5)式を P で微分した結果が正であればよく、式で書けば

$$\frac{dF}{dP} \cong (W + f) \frac{1}{T} \frac{d}{dP} \Delta T_G + nf \frac{T_0}{P_0} \frac{1}{T} > 0 \quad (6)$$

となる。ただし dT/dP は地上付近を除いては小さい値であるので無視することとした。

この式を変形すると

$$n > - \left(1 + \frac{W}{f} \right) \frac{P_0}{T_0} \frac{d \Delta T_G}{dP} \quad (7)$$



第7図 補助気球の満膨張高度 P_0 と必要な浮力 nf との関係 (f は主気球の自由浮力で気球全重量の 10% にとった)

が導かれるが、 $-d\Delta T_G/dP$ は第8図より 300 mb~150 mb の範囲で $0.1^\circ\text{C}/\text{mb}$ 程度の値である。 $1+W/f \approx 10$ とおけば、安定領域を与える式として

$$n > \frac{P_0}{T_0} \quad (8)$$

を得る。この関係は第7図に同時にプロットしたが、この図から水平浮遊の安定性を保証する領域はどの部分であるかは明らかである。

具体的に安定と不安定領域の付近でどの様に予剰浮力が高度とともにかわるかは第9図と第10図に示したが、ついで、ふく射温度と大気温度の差が $\pm 5^\circ\text{C}$ だけずれた場合、結果はどのように影響するかを調べるため、その計算結果をこれらの図に示した。

c) 補助気球の容積と投下バラスト

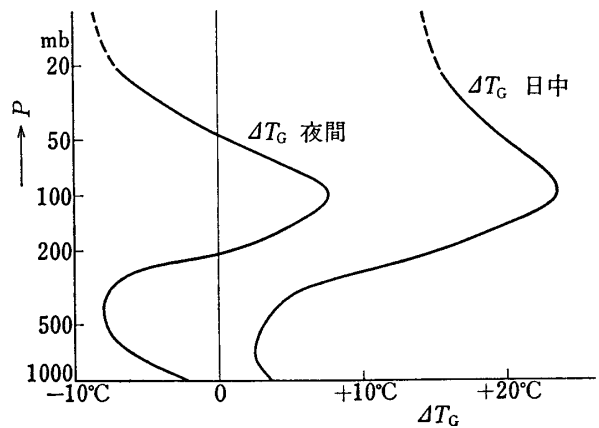
補助気球をとりつけてブーメラン気球を実現させるには実際上の理由から補助気球の容積はできるだけ小さいことが望ましい。これはすでに述べたように補助気球の満膨張高度を下げることで、つまり P_0 として大きい値をとることに対応している。

一方 150 mb 付近の水平浮遊を安定に行なうためには、 P_0 としてできるだけ小さい値をとることが望ましく、したがって大容量の気球を用意する必要にせまられる。

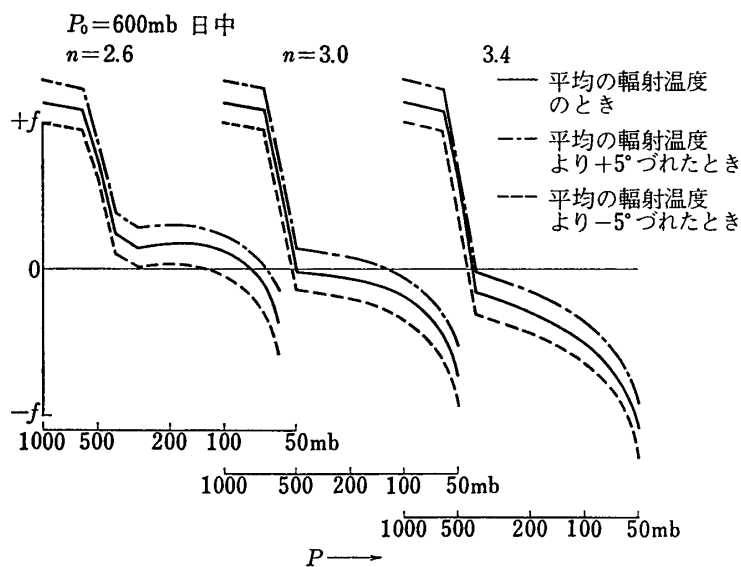
安定性の条件としては第7図の結果から、

夜間は $P_0 \leq 500 \text{ mb}$

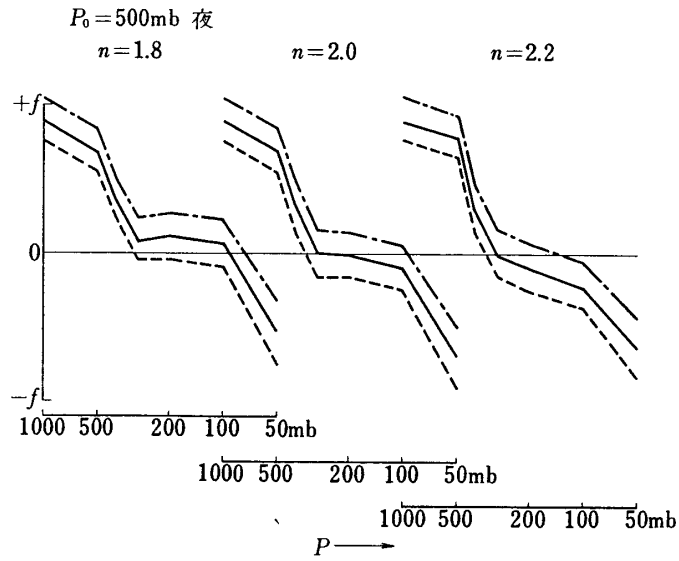
日中は $P_0 \leq 600 \text{ mb}$



第8図 一定高度に浮遊する気球のガス温度と大気温度差 (仙台9月)



第9図



第10図

である。

またふく射温度および大気温度が平均値からずれることを考えると、 P として200mbに設定しておき、水平浮遊後バラストを投下して徐々に所定の高度に達することが实际的である。

これらの条件を加味して夜間および日中補助気球として必要最小限の容積は(3)式よりまず

$$n = \frac{1 + \left(1 + \frac{W}{f}\right) \frac{\Delta T_c}{T}}{\left(1 - \frac{PT_0}{P_0 T}\right)}$$

ただし

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2.5} \quad \dots\dots \text{夜間}$$

$$\frac{1}{3.0} \quad \dots\dots \text{日中}$$

これらの値を使って容積 V は(4)式より

$$V = \frac{nf P_1 T_0}{\rho P_0 T_1}$$

が得られる。

投下バラスト量は、補助気球の浮力とバランスするものであり、

$$nf$$

である。

これらの数値については表2にまとめた。

表2 補助気球の必要最小限容積と投下バラスト量 (補助気球浮力)
 $f=10\text{ kg}$ の場合

	満膨張高度		補助気球容積	投下バラスト (浮力)
	P_0	n	V	nf
日中	500 mb	2.0	33 m ³	20 kg
夜間	600 mb	2.9	41 m ³	29 kg

この表から明らかな様に、日中は夜間と比較してふく射温度が高いため、浮力を補償する補助気球の容積および投下バラストの量が増加して望ましくない形となっている。

このため実験は放球場が明るく、また上空に達した時ふく射温度の低い日没寸前に行なうのが、実際的であるということとなる。

4. 実験とその結果について

補助気球に必要な条件をこれまで調べてきたが、ここでは実際に行なった実験の結果について述べることにする。

実験はゴム気球方式を含めて前後4回行ない、その要目については表3に示した。

表中 B₅-38, B₅-39 はゴム気球方式で行なったが、上昇中ゴム気球が破壊して予定の上昇コースをとることができなかつたので、プラスチックの補助気球方式を採用することとなった。以下この方式で行なった B₅-35 と、B₅-47 気球の実験についてやや詳しく述べるこ

表3 ブーメラン気球の実験要目

気球名	B ₅ -38	B ₅ -39	B ₅ -35	B ₅ -47
方式	ゴム気球方式	ゴム気球方式	補助気球, 排気併用方式	補助気球方式
放球日時	昭和47年2月4日 8時00分	昭和47年2月12日 7時54分	昭和47年6月29日 8時35分	昭和47年9月6日 17時31分
総重量	101.4 kg	101.8 kg	110.8 kg	169.1 kg
自由浮力	11 kg	11 kg	13 kg	17 kg
主バラスト	40 kg	40 kg	30 kg	36 kg
補助気球 V	800 g 4ヶ	800 g 4ヶ	115 m ³ 9.6 kg	50 m ³ 5.8 kg
再上昇用バラスト	14 kg	14 kg	21.2 kg	21.7 kg
補助気球浮力	14 kg	14 kg	32.8 kg	32 kg
ブーメラン高度	※	※	17 km	14 km
水平浮遊高度	28.3 km	28 km	29 km	22 km
水平浮遊時間	2時間40分	4時間40分	5時間	13時20分

※ 上昇中ゴム気球が破壊したので、予定した高度曲線に乗らなかった。

ととする。

a) B_s-35, 補助気球と排気弁の併用方式

この方式はすでに述べたように地上からコマンドで補助気球にとりつけられた排気弁を操作して浮力を補償するもので、欠点としては構成がやや複雑なことである。

放球は日中行なわれたが、排気弁があるため水平浮遊の安定条件をややゆるめて補助気球浮力を約 30 kg とした。実際は補助気球、弁、投下用バラストを含めて 30.8 kg であった。

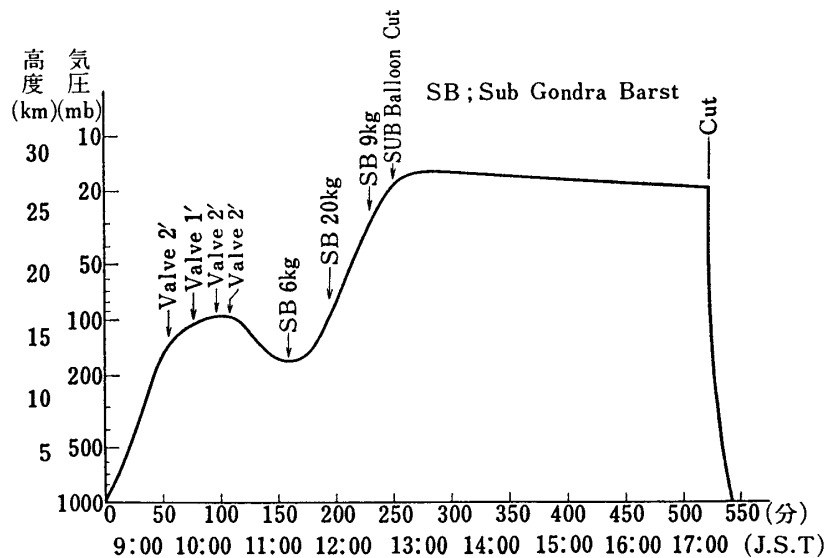
これは $n=2.4$ で、前に述べた安定条件 $n \geq 3$ を満していない。補助気球の容積については排気弁のあることを考慮して十分な余裕をとって 115 m³ とした。これは満膨張高度が 200 mb にあたり、150 mb 付近で排気弁を操作してブーメラン高度にとどめることを予定した。

表 4 排気弁の排気能力

高度 (mb)	1,000	500	200	100
損失浮力 (kg/min)	15	8.4	3.92	2.25

文献[4]に記させている排気弁はソレノイド方式で、ストローク 1 cm のものである。その後改良されストローク 2 cm のものができ、その改良された排気弁の排気能力を表4に記した。B_s-35に取りつけた排気弁もこの改良された排気弁である。

排気弁としては文献[4]に記載した従来の型のものを用いその仕様は 200 mb 付近で表4に示した通りである。したがって気球 150 mb に達したとき自然排気により、10 kg の浮力を失ない、ついで排気弁を5分間開くことにより浮力 15 kg 分排気してブーメラン高度にとどまるといのが実験予定であった。ただしこの高度での浮力推定には第8図に示したガス温度の上昇を考慮してある。



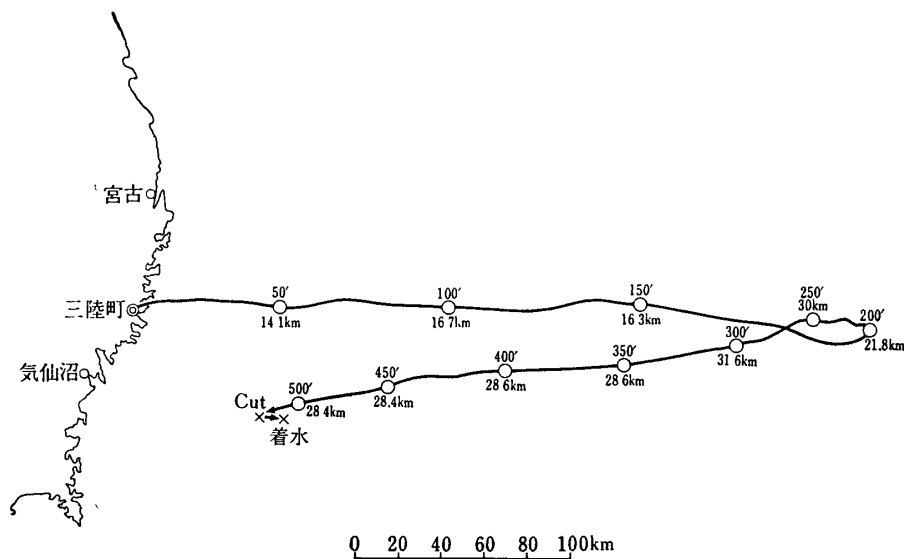
第 11 図 B_s-35 ブーメラン高度曲線 (47年6月29日放球)

上昇の様相は第11図に示したが、130mb付近で7分間開弁することにより、気球は予定通り100mb付近の高度にとどまった。

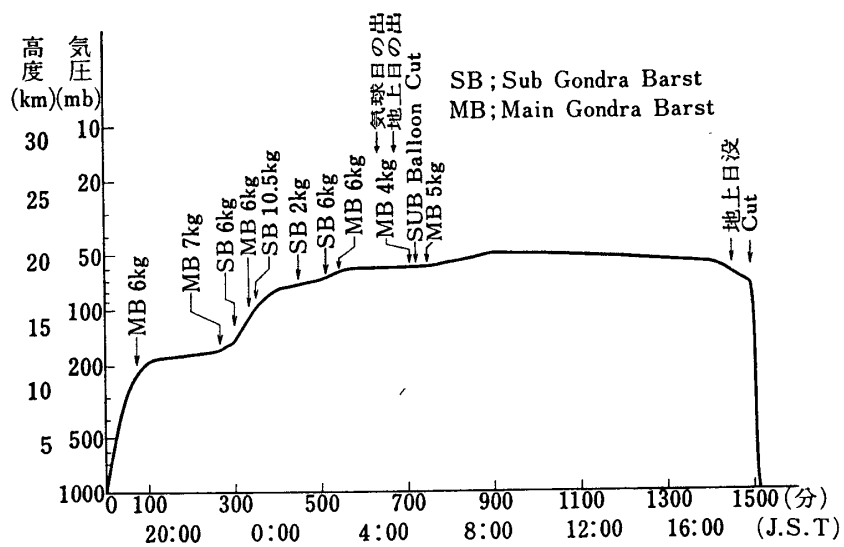
以後時速約85kmの偏西風に乗り、放球3時間後東方320kmの受信限界に近づいたため、バラストを投下再上昇して高度31kmに達した。この実験を行なった6月中旬は高々度での偏東風が強いため、この高度に5時間滞空したあと、実験所東南80kmの海上上空に達したので指令電波により搭載機器を気球より切離し落下傘で海上に降下させた。

その航跡図の詳細は第12図に示したとおりである。

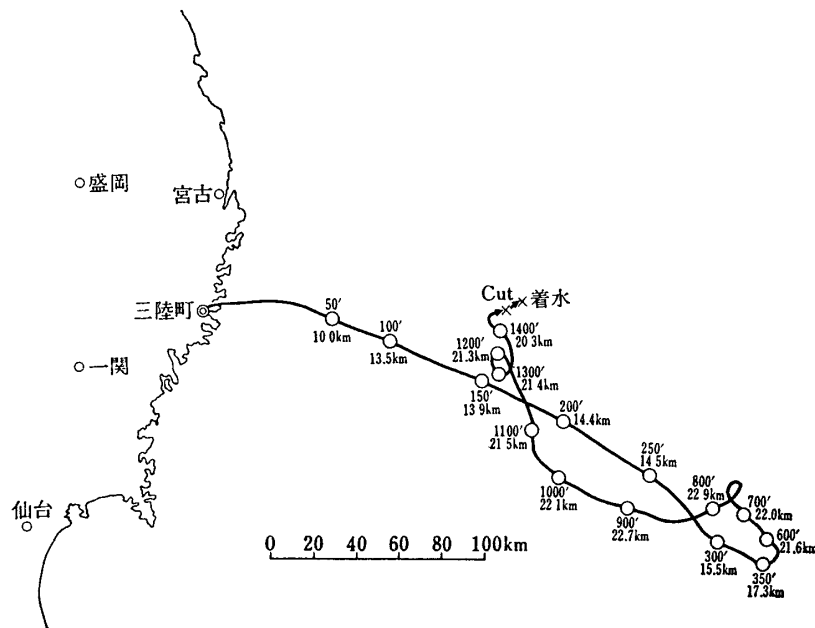
この実験の結果、補助気球によるブーメラン気球が予想通り作動することがわかったの



第12図 ブーメラン気球航跡図 B₅-35 (47年6月29日放球)



第13図 B₅-47 ブーメラン高度曲線 (47年9月6日放球)



第 14 図 ブーメラン気球航跡図 B₅-47 (47 年 6 月 29 日放球)

で、次に排気弁をつけない補助気球方式の実験にすすむこととした。

b) B₅-47, 補助気球方式

表に示したようにこの気球では主気球の自由浮力が 17 kg となっている。当初予定したときは自由浮力 15 kg 程度であったので表 2 より安定条件として $n=2$ をとり、補助気球浮力約 30 kg, 気球容積 50 m³ のものを用意した。しかし実際にはやや主気球の重量が増加したため、 n としてやや不安定領域の約 1.8 を採用した結果となった。

このためブーメラン高度付近でのバラスト投下をきわめて慎重に行なう必要があったが、150 mb 付近の水平浮遊は比較的良好な結果が得られた。その詳細は第 13 図に示した。

この高度での偏西風は時速約 50 km で、放球 6 時間後三陸東方 300 km 付近に達した。バラストを投下して再上昇させ高度 22 km の水平浮遊高度に達した後気球は弱い偏東風に乗って時速 15 km 程度で三陸実験場方向に進行した。しかし放球 24 時間後再び日没をむかえて日没効果により高度が低下しはじめたので三陸東方 140 km の海上上空に達したとき、指令電波により搭載機器を気球より切はなし落下傘で海上に降下させた。航跡の詳細は第 14 図に示した。

この実験では、ブーメラン気球の目的である長時間浮遊に成功したが、気球の到達高度が若干予想より低かった。これは 150 mb 付近での浮遊時間が比較的長かったために、主気球の下部エスケープチューブから空気を吸入した可能性があり、今後その対策を考える必要がある。

ま と め

ブーメラン気球は、長時間浮遊と放球点近傍での回収という宇宙科学観測の要請にそうよ

うに考えられた方式であり、昭和47年度の実験で近い将来実際の観測に応用できることが明らかにされた。この結果わが国における気球観測に大きな寄与をなすものと考えられる。

上昇浮力を適当な高度で補償する補助気球方式は、将来より単純な主気球と排気弁の方式に切りかえる予定であるが、ブーメラン気球のみならず、他の特殊な観測に応用される可能性があるため、その一般的性質の解析についてやや詳しく述べた。

おわりにあたってこの実験遂行について、終始協力していただいた岩手県県庁水産課の方々および同課はやちね丸の乗組員の方々に感謝の意を表する次第です。

1973年2月5日 新設部(工学)

附録1 150 mb 附近の気球内ガス温度について

150 mb 付近に気球を長時間にわたって浮遊させようとするとき、その高度付近での気球内ガス温度と大気温度差について調べておく必要がある。

この問題の取扱いは文献[3]に詳しいが、ここで補助気球方式に必要な量について述べることにする。

150 mb 付近における大気温度とふく射温度は表 A1 に示したが、気球が水平浮遊する場合には、ふく射による熱伝達と気球皮膜と大気間の熱伝達がバランスしている。

文献[5]よりふく射による熱伝達は(記号は文献[5]と同じ)

$$\Delta q = 4\sigma\kappa T^3(\Delta T_R - \Delta T_B)$$

皮膜と大気間の自由対流による熱伝達は

$$\Delta q = 0.65 \frac{K}{D} (P_r G_r)^{1/4} \Delta T_B$$

である。皮膜温度とガス温度は等しいので、ガス温度と大気温度との差は

表 A1

P	大気温度 T_{air}^*	ΔT_{Rday}^{**}	ΔT_{Gday}^\dagger	ΔT_{Rnight}	ΔT_{Gnight}
1,000 mb	293°K	6°C	4	-5	-3
600	274	4	3	-11	-7
500	266	5	3	-11	-7
400	256	5	3	-13	-8
300	241	10	6	-11	-7
200	221	25	16	2	1
150	211	31	20	7	4
100	205	36	24	12	8
50	214	26	20	1	1

* 仙台気象台の観測データの9月平均値

** ふく射温度 - 大気温度

† 気球ガス温度 - 大気温度で気球全重量 100 kg の場合について計算したが、 W にはあまりよらない量である

$$\Delta T_G = \frac{\Delta T_R}{1 + 0.65 \frac{K}{D} (P_r G_r)^{1/4} \sqrt{4\sigma\kappa T^3}}$$

で与えられる。

その結果は第8図に示したが、この図からわかるように、100 mb 付近までは高度とともに温度が上昇するので、主気球の全浮力が高度とともに増大し、小さい補助気球の浮力損失ではこれを補償しきれないことがおきうることを示している。

参 考 文 献

- [1] 西村 純: 科学, 36, No. 5 (1966) 234
丹生 潔: 東大宇宙航空研究所報告, 5, 1(C) (1966) 390
- [2] AEROLOGICAL DATA OF JAPAN: Japan Meteorological Agency Tokyo (1971)
- [3] 西村 純, 藤井正美, 山上隆正: 東大宇宙航空研究所報告 (1973)
- [4] 西村 純, 丹生 潔, 太田茂雄: 東大宇宙航空研究所報告, 2, 1(C) (1966) 438
- [5] I. O. Grigull: Die Grundgesetze der Warmenleragung (Springer-Verlag 1961)

追 記

気球頭部に排気弁をつけて、ガス量を確実にコントロールすることができれば、原理的には、本文に述べたような補助気球をもちいなくてもブーメランさせることができる。そのためには排気能力が大きく、信頼性の高い排気弁が必要であるが、従来から使用してきた排気弁をモータ駆動式に改め性能の向上をはかった結果、ほぼその要求を満たすものが得られた。

そこで昭和48年2月にこの排気弁を用いて、ブーメランのための気球コントロール実験を行なった。その結果はほぼ予定通りであった。