

## プログラムブーメラン気球

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・前川 仁  
関 和 市・並木 道義・高成 定義  
丹 生 潔\*・石井 千尋\*\*

### 1. ま え が き

気球上昇中に、偏西風の強い高度で一時的に上昇を停止させると、気球は急速に東方に流される。十分東方に流したところで、再び上昇を開始させ、水平浮遊状態に入れると、上空に偏東風が吹いている時期には、気球は放球地点の方向に向って戻ってくる。これは観測開始地点を東方に移したことに相当し、通常の場合に比べて観測時間は著しく長くなる。更にまた、放球点近くで回収することも可能になる。気球の上昇をコントロールすることにより、上述のような飛しょうを行なわせた気球をブーメラン気球と呼んでいる[1]。

ブーメラン気球については、ここ数年来、コントロール装置の開発、気球コントロールに関する理論的考察、ならびに飛しょう実験を行なってきた。その結果、排気弁を用いた方式はほぼ完成し、科学観測にも応用できる段階に達した[1][2]。ブーメラン気球とした場合の効果は著しく大きいものがあり、一例を挙げると、昭和48年6月に放球された一次電子観測のためのB 50-11では、ブーメラン方式をとることにより、観測時間を倍増させることができて20時間に及ぶ観測を行うことができた[2]。

ここに述べたブーメラン気球では、気球を追跡しながらコントロールを行なうので、東方に流しうる距離は、電波の受信限界が上限となる。そこで、この限界をとり除き、観測のより一層の長時間化をはかることを目指して、気球の再上昇を電波の見通し範囲外で自動的に行なわせる方法について検討を加え、プログラムブーメラン気球と呼ぶ方式を開発した。

プログラムブーメラン気球はタイマーを利用して再上昇のためのバラストを投下するものである。特に、偏西風の強度及び方向はその時々でかわるのでタイマーの設定は気球がブーメラン高度での東進の様子を見て行なうことが重要な点となっている。

この方式をとると、一時、気球から送信される電波は受信できない状態になる。しかし、従来からのブーメラン方式に比べると、水平浮遊時間は、原理的に、著しく長くすることが可能であり、ブーメラン方式を大きく改善したものである。観測テーマとしては、テレメータによる観測データの取得を必要としないものに限られるが、将来、適当な磁気記録装置の搭載すれば、より広い分野の観測に応用できるものとおもわれる。

昭和49年6月に、このプログラムブーメラン方式の気球実験を行なったが、結果は良好で

---

\* 名古屋大学理学部

\*\* 青山学院大学理工学部

あり、この方式の基本的な部分はほぼでき上がったと考えられる。そこで、ここに、プログラムブーメラン方式について、その原理とコントロール装置の機能と構成などを中心に、気球実験の結果も含めて、述べることにする。

## 2. プログラムブーメラン方式

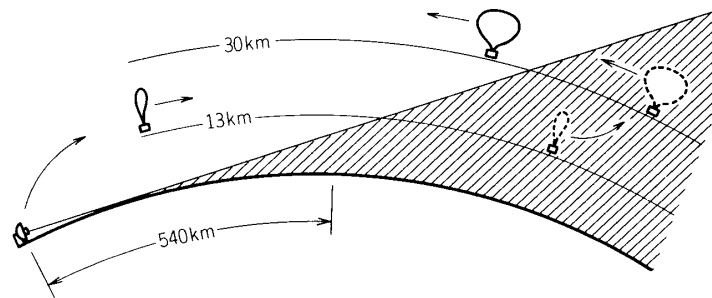
ブーメラン方式において、気球を東進させるために上昇を止めておく高度は、航空路と偏西風の関係で 13 km から 15 km の範囲である。三陸大気球観測所受信台地からの見通し距離は、高度 13 km の気球に対して約 540 km、高度 15 km に対して約 570 km である。この距離を越すと見通し範囲外となり、司令電波によるコントロールはできなくなる。見通し範囲内に気球をとどめようとする、気球が水平浮遊に入り観測を開始する位置は、たかだか東方およそ 500 km である。偏東風の風速を平均 5 m/sec 程度とすると、24 時間強で気球は放球地点近くの上空に戻ってくることになる。

ここに述べるプログラムブーメラン方式は、上に述べた制約をなくして、観測時間の大幅な拡張を目指すものであり、次のような気球コントロールを行なおうとするものである。

そのコントロール及び飛翔経過は

- (1) 放気球後上昇中の気球を、いったんブーメラン高度にとどめる。排気弁により自由浮力分のガスを放出させるもので、従来からのブーメラン方式と同じである。
- (2) ブーメラン高度で東進中に、気球高度の変化の状況および東進速度を調べて、再上昇用のバラスト投下のタイマー動作時刻を、司令電波により設定する。
- (3) 気球は見通し範囲外に達し、更に東進を続けるが、(2)において設定された時刻にタイマーが作動し、バラストを投下する。気球は再上昇を開始し、水平浮遊状態に達する。

である。第 1 図にその概念図を示した。



第 1 図 プログラムブーメラン気球

(1)の操作についての詳細は文献 [2] に述べてあるので、ここでは改めて述べない。(2)の操作については、気球飛場にあたって、必要観測時間および予想される偏東風の風速から、まず東方に流す距離を決め、高層気象データなどからタイマーの動作時刻をあらかじめある程度決めておくことは可能である。しかし、ブーメラン高度における東進速度は一般に時速数 10 km から 200 km にも及ぶ速い速度であり、また高層風は高度によって変化し、時間的にも変化する。これらの理由から、再上昇のバラスト投下時刻は、気球の飛ばし状況を見ながら、見通し範囲の限界に近づいた頃に決定するのがもっとも好ましいことになる。

(3)は自動的に行なわれるものである。テレメータ電波は受信できないので、再上昇の状況を実時間で知ることはできない。バラストの必要投下量については、すでにブーメラン気球における研究で明らかになっている〔2〕。重要な点は、一般に、上昇を止めるために排気したガス量以上のバラストを投下する必要があることである。これは、気球がブーメラン高度で東進中は、安全性の観点から一般に徐昇させるので、大気温度が高度とともにしだいに上昇する領域に入っていくためである(注1)。

又、タイマーによって自動的にバラストを投下する場合には、投下速度についての考慮が必要である。投下速度が過大であると、上昇の初期段階で上昇速度が上り過ぎ、気球の破壊を招くおそれがある。

プログラムブーメラン方式をとる場合に必要となるコントロール装置は、排気弁、タイマーおよびバラスト(オートバラストと呼ぶ)である。タイマー以外は、基本的には通常のブーメラン気球と変りはない。

### 3. コントロール装置

#### 3.1 排気弁

モータ駆動方式のものが性能が確立し、すでにブーメラン気球やその他の気球の高度コントロールに使用されている〔2. 付録〕。排気能力は、気球の総浮力  $W(\text{kg})$ 、動作高度の気圧  $P(\text{m6})$  であるときに、毎分の浮力損失として、

$$F = 40(W/150)^{1/6} (P/P_0)^{5/6} \text{ kg/min}$$

で与えられる。 $P_0$ は地上の気圧である。

#### 3.2 タイマー

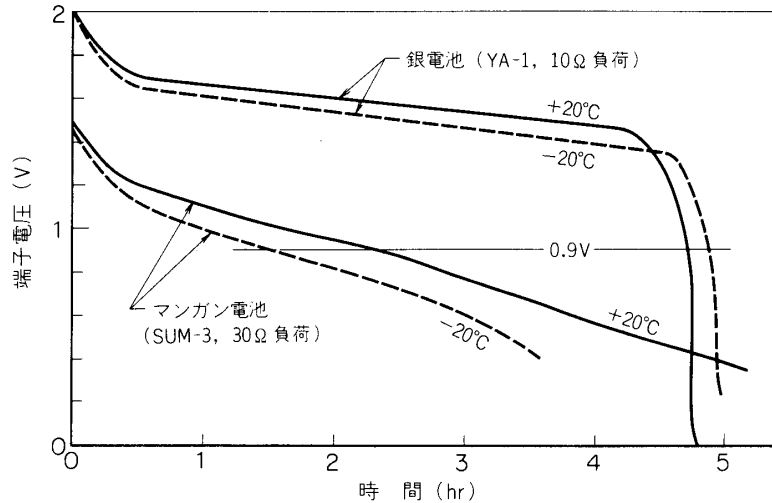
2.に述べなように、タイマーは動作時刻の設定や変更が、気球飛ばし中に行なえるものでなければならない。司令電波により設定を行なったのち、バラストを投下するまでの時間は、東進させる距離によるわけであるが、実際上は、長い場合で5時間程度である。時間の精度も厳密さは要求されず、分のオーダーで十分である。しかし、確実に動作するという点については、特に安全性の面から、高い信頼度が要求される。

タイマーとしては、さまざまな方式のものが考えられるが、単純性および新たな機構的な開発を必要としないという点から、電池の利用あるいはE-cellと呼ばれる開閉素子の応用が適当と考えられる。電池はその放電特性を利用するもので、放電電流を変えることによって動作時刻を変化させる。第2図は銀電池およびマンガン電池の放電曲線である。温度による変化が少なく、また、放電後端子電圧が急激に低下するものが好ましいので、この両者のうちでは銀電池のほうが適当である。後に述べる気球実験では、マンガン電池および銀電池を採用し、それぞれ予定した動作を行なわせることができた。E-cellは電気メッキの原理を応用した素子で、制御電流範囲が広いため、数秒から10日以上にわたる範囲のタイマーと

注1 気球が大気中を上昇して行くときには気球内ガスの断熱膨張により、ガス温度が低下する。大気温度が高度とともに増加するような領域ではこのため、大気温度と気球内ガスの温度の差が著しくなり、有効浮力が低下する。

従って排気したガス量に相当するバラストの投下では同じ上昇速度を得ることができない〔2〕。

して使用できるものである。設定時間の変更も可能であり、温度特性も良好なので、プログラムブーメラン気球に十分利用できると考えられ、室内テストを完了したので次回から使用したいと考えている。



第2図 乾電池およびマンガン電池の放電曲線

### 3.3 オートバラスト

ブーメラン高度にとどめる以前に持っていた上昇速度約  $5 \text{ m/sec}$  に等しい速度で再上昇させるには総重量の  $13 \pm 2\%$  程度のバラストを投下する必要がある [2]. そこでこれだけのバラストを、気球に本来搭載しているバラストとは別に搭載することが必要になる。気球が上昇をはじめると気球内のガスは断熱膨張してガス温度が低下して、大気との間の熱伝達である平衡温度に達する。しかし上昇の初期の段階では、このガス温度低下が充分に行なわれていない [3]. したがって再上昇用のバラストを一回に全量投下すると、気球は急激な上昇をはじめ、気球の破壊をおこすことになる。ある一定の割合で投下する必要があり、これまでのブーメラン実験の結果から、安全を見込んで毎分  $2 \text{ kg}$  程度の割合で、全量を連続的に投下するのが適当と考えられる。

## 4. 飛しょう実験

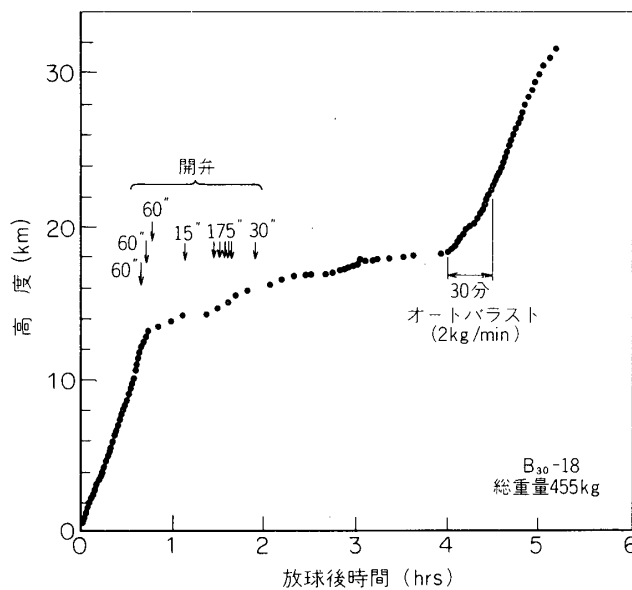
昭和49年6月に、 $B_{30-18}$  および  $B_{30-17}$  気球について、プログラムブーメラン方式の飛しょう実験を行なった。いずれの気球においても、タイマーおよびオートバラストの動作を直接確認するために、ブーメラン高度からの再上昇は、受信電波の見通し範囲内で行なわせた。各気球における実験の概要は第1表に示してある。

タイマーには、 $B_{30-18}$  ではマンガン電池(ナショナルハイトップ単3, 2個並列),  $B_{30-17}$  では酸化銀電池(湯浅YA-1型, 容量1Ah)を用い、いずれも, 20, 10, 5 および  $2.5 \Omega$  の4種類の抵抗により、放電電流を4段階に切換え時間の設定を行った。酸化銀電池は、上空での沸騰を防ぐために、充電後通気孔をアラルダイトで密閉した。再上昇用のバラストは、毎分  $2 \text{ kg}$  の割合で投下するもので、両気球とも  $60 \text{ kg}$  を搭載した。 $B_{30-18}$  の場合には総重

量の13.2%，B<sub>30</sub>-17では12.3％に相当する。

第1表 実験の概要

気球名	B <sub>30</sub> -18	B <sub>30</sub> -17
放球年月日	昭和49年6月7日	昭和49年6月13日
放球時刻	19時44分	19時39分
気球総重量	455 kg	489 kg
総浮力	496 kg	533 kg
再上昇用バラスト	60 kg (13.2%)	60 kg (12.3%)
開弁高度	12.0 km	11.2 km
再上昇開始高度	18.3 km	14.2 km
タイマー	マンガン電池 (ナショナルハイトップ単3, 2個並列)	酸化銀電池 (湯浅YA-1型, 容量1 Ah)

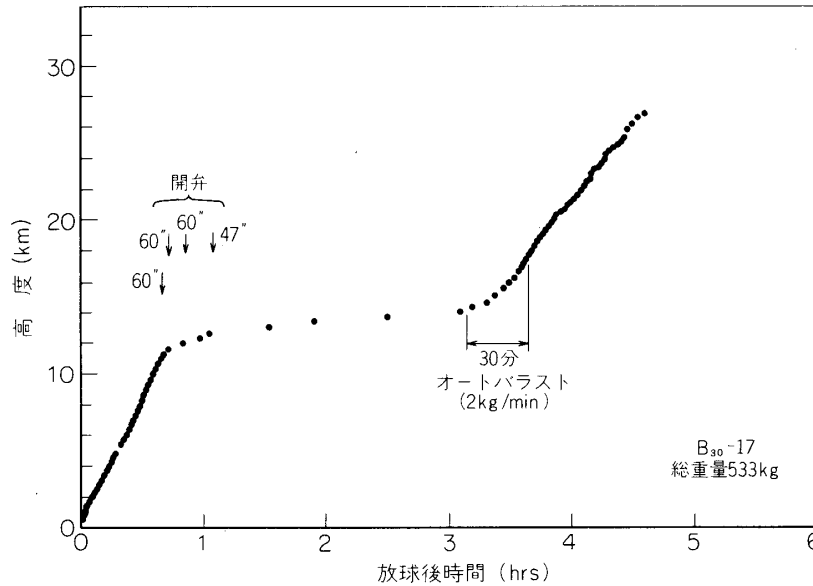


第3図 B<sub>30</sub>-18 高度曲線

B<sub>30</sub>-18の高度曲線を第3図に示す。高度12 kmで排気弁を働かせ、大体10 m/minの上昇速度におとして、ゆるやかに上昇させた。この間に気球は東進を続けたが、三陸東方300 km付近で再上昇を開始するようにタイマーを設定したところ、時間にして10分のずれで、予定通りにタイマーは作動した。再上昇開始高度は18.3 kmで、偏西風帯がほとんど終りとなる付近である。バラスト投下には30分を要したが、後に述べるように、投下の途中で気球は熱平衡状態になり、安定した上昇を行なった。投下終了後の上昇速度は250 m/minで、そのまま順調に、予定した満膨張高度31.5 kmまで上昇した。

また、B<sub>30</sub>-17の高度曲線は第4図に示すとおりである。この気球では高度11 kmから開弁

を行ない、高度11 kmから14 kmの間を、およそ8 m/minの速度で徐昇させた。タイマーは、東方200 kmの地点において、気球が東方400 km付近に達したところで再上昇を開始するように設定した。オートバラストの投下による再上昇は、第4図に示されているように、予定通り行なわれた。なお、投下終了後の平均上昇速度は約180 m/minで、やや低めであったが、これは、ブーメラン高度での徐昇速度が少なかったこと及びバラストの投下量が総重量の12.3%と、B<sub>30</sub>-18の場合に比べて少なめにしたことによると考えられる。

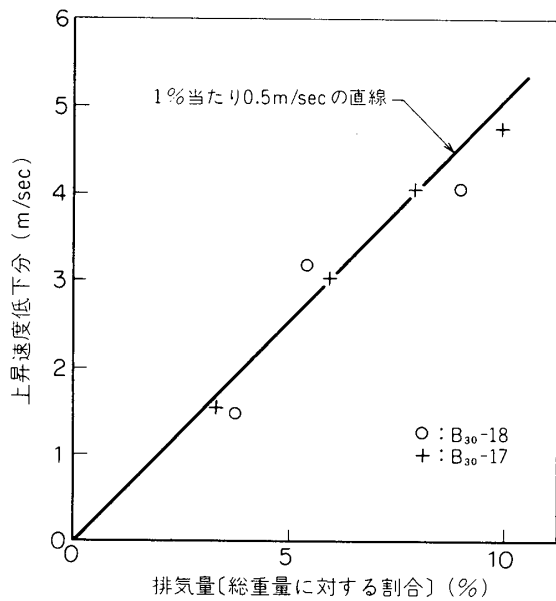


第4図 B<sub>30</sub>-17 高度曲線

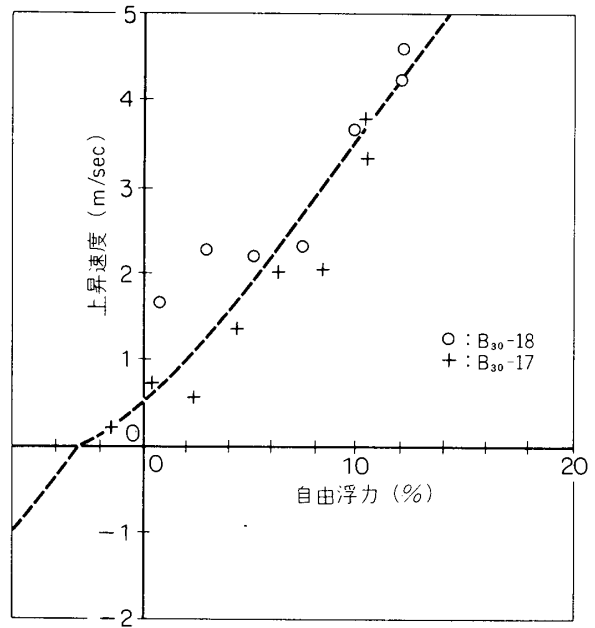
この2回の実験により、タイマーを利用して再上昇を行なわせるという方式及びこれに使用した機器については基本的には問題がないことが確かめられた。

上昇をとめるコントロールも順調に行なわれ、これまでで求められていた排気量と速度の低下の関係 [2] が、この2機の気球の場合にもほぼ成り立っていることが確かめられた。排気量と速度の低下分の関係として、高度200から100 mbの間で、上昇中の気球の速度をV (m/sec) だけ減少させるには総重量の2V%排気すればよいというのが前回の解析結果があった [2]。この関係式はやや安全側に立って作られていたものであるが、B<sub>30</sub>-18およびB<sub>30</sub>-17の両気球の場合には、第5図に示したように、この関係をちょうど満足していた。これは熱平衡状態での気球の運動の理論 [3] から考えると、気球内ガスが熱平衡に入らない状態でコントロールが引続いて行なわれたことを示すものもある。この実験結果は、排気弁によるコントロールについて、特に総重量が500 kg前後の気球の場合には、この関係式がほぼ適正であり、あまり余裕のないものであることを示している。

再上昇過程について、自由浮力の増加につれて上昇速度がどのように変化したかを、第6図に示した。この上昇過程を、熱平衡として理論的に予想される上昇速度と自由浮力との関係 [3] とを比較してみる。同図の点線は、総重量400 kg、高度100 mbの気球についての、夜間における理論曲線である。速度の低いうちは熱平衡からのずれは大きい、速度が増すにつれて熱平衡状態に近づいていくことがわかる。また上昇速度から有効自由浮力を

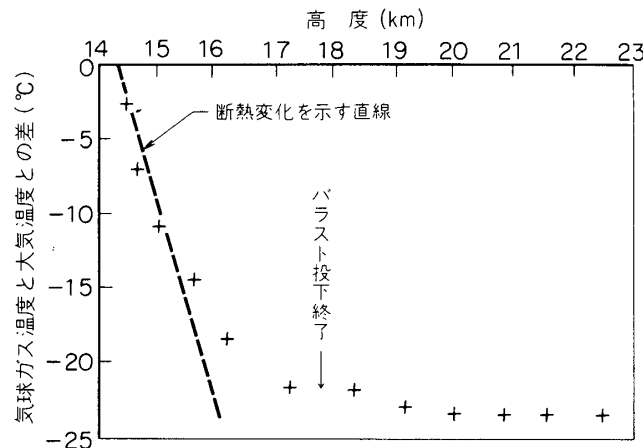


第5図 排気量と上昇速度低下分との関係



第6図 再上昇過程における自由浮力と上昇速度の関係(点線は高度100mb, 総重量400kgに対する熱平衡を仮定した理論曲線)

求めて、気球ガス温度と大気温度との差を調べることができる。第7図は、 $B_{30-17}$ の場合に、この温度差が高度とともにどのように変ったかを示したものである。図中の鎖線は断熱効果のみが効いた場合の温度差の高度変化である。図から、上昇の初期には断熱効果による温度変化が支配的であるが、バラスト投下開始後13分、高度15km付近から次第に大気との熱交換の効果が効きはじめ、高度17km付近で平衡状態に達したことがわかる。熱平衡迄の時間として13分という値は理論的に推定される値に等しい [3]。



第7図 再上昇中の気球ガス温度と大気温度の差(気球 $B_{30-17}$ )

このような熱的な振舞いは、バラストの投下速度と密接に関連するものであり、最適なバラスト投下速度を決定することと併せて、今後更に理論的に検討を進める必要があると考え

ている。

### 5. む す び

プログラムブーメラン方式は、ブーメラン気球の拡張として、電波の見通し限界を越えて気球をブーメラン飛ばせようとするものであり、著しく長い観測時間が期待できるものである。テレメータによるデータ伝送は必ずしも必要とせず、できるだけ長い観測時間と観測後の回収が必要であるような観測テーマは、気球による科学観測の分野で大きな比重を占めている。プログラムブーメラン方式はそのような観測に対してはきわめて有効なものとおもわれる。

昭和49年6月に行なった二度にわたる気球実験により、この方式を実際に実行に移す上で問題はないことが示された。引続いて、見通し範囲外まで東に流す実験と、更に科学観測への応用を進めていきたいと考えている。コントロール装置としては、基本的には本論に述べたもので十分であるが、再上昇に関しては、更に、上昇速度を検出して自動的にバラストの投下を行なう装置の開発を現在進めている。

1975年5月15日 新設部(工学)

### 参 考 文 献

- [1] 西村 純 ほか：「ブーメラン気球」 東京大学宇宙航空研究所報告，9，1(B)(1973) 186
- [2] 西村 純 ほか：「ブーメラン気球Ⅱ」 同上，10，1(B)(1974) 125.
- [3] 西村 純，藤井正美，山上隆正：「上層における気球動作の温度効果について」 同上，9，1(B)(1973) 167