

# 大気球用測距装置

野村民也・広沢春任・太田茂雄

## 1. はじめに

従来気球観測においては、パラボラ空中線を利用したゾンデ電波の方向探知と気球に搭載した気圧計による高度データとによって気球航跡の追跡を行ってきたが、この方法では気球との距離が増し空中線の仰角が低下するとともに著しく誤差が増大し、また使用している気圧計も必ずしも十分に精度の高いものではなかった。一方、飛揚気球数の増加に伴い、保安上の要請ならびに回収の目的から、より精密な気球位置の標定を行なうことが望ましくなってきた。そこで、測距方式として気球観測実験の現状にそくしたものを検討した結果[1]、以下に述べる連続波による直距離標定方式を採用することとし、測距系の開発を行なった。

距離測定のためにパルス方式のレーダを用いることも考えられたが、トランスポンダの場合テレメータ送信との共用性を複雑化する点で問題があり、またトランスポンダとしてもあるいは一次レーダとしても地上設備が複雑化し、早急に設置する上では難点が多い。

気球実験では以前からコマンド用の回線を有しており、大部分の気球がコマンド装置を搭載している。したがって、連続波方式を採る場合にこのコマンドの回線と観測データ伝送用のテレメータの回線を測距信号の往復に利用することができ、かなり簡易に測距系を形成することができた。測定距離の精度はコマンド回線の帯域幅で決まり、およそ 300 m となったが、これは気球位置標定上の要請からみて現在のところ十分なものである。

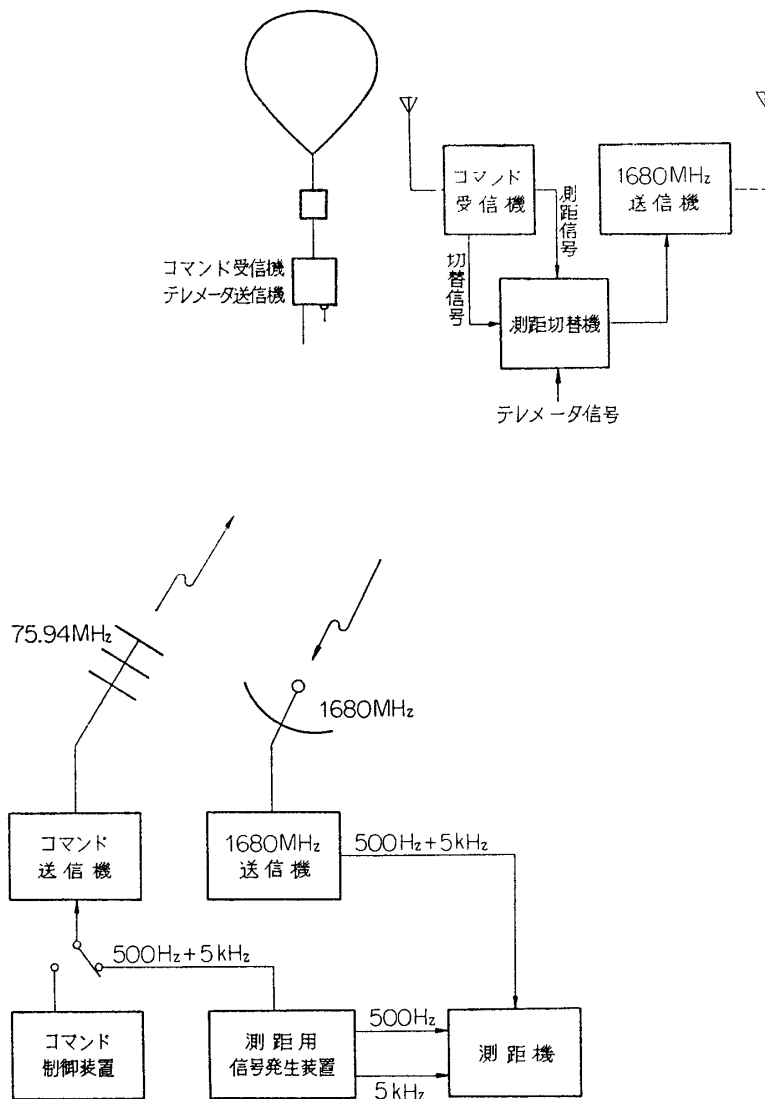
以下に測距系の概要、装置ならびに昭和 43 年度大気球実験における実験結果について述べる。

## 2. 測距系の概要

距離測定の原理は正弦波の位相比較によるもので、距離  $D$  を伝ばしてきた周波数  $f$  なる正弦波の位相が  $\varphi = 2\pi f D/c$  だけずれることを利用し、位相  $\varphi$  を求めて距離  $D$  を求めるものである。

測距系の構成を第 1 図に示す。測距用の信号は前述のように主搬送波周波数 75.94 MHz のコマンド回線と 1680 MHz のテレメータ回線にのせており返す。位相検出の精度を一定とすると、測距精度は測距用信号の周波数が高いほど上るが、コマンド回線の帯域幅の制限から 5 KHz とした。この場合、位相検出の精度を 1 % として、気球との直距離の測定精度は 300 m となる。この精度は気球実験上からの要求をみたしており、またパラボラ空中線による測角精度による円周方向の位置の不確定さともほぼ見合うものである。

一方、5 KHz の信号では直距離 30 km で位相差が  $2\pi$  となり、それ以後 30 km を単位としてその整数倍のあいまいさが残ることになる。そこでこのあいまいさを除去するために



第 1 図 測距系の構成

500 Hz の正弦波信号を同時に送っている。これにより距離 300 km までのあいまいさが除去される。気球の移動範囲はほぼ 300 km 以内と考えてよい。

500 Hz および 5 KHz からなる測距用信号は、75.94 MHz および 1680 MHz の搬送波を FM 変調して送られる。500 Hz は気球上での測距時の切替えのための制御信号をも兼ねている。測距はテレメータによる観測データの伝送を一時シャ断して行なうことになるが、気球の移動速度が小さいのでひん繁な距離の測定は行なう必要がなく、観測の支障となることはほとんど無いと言ってよい。

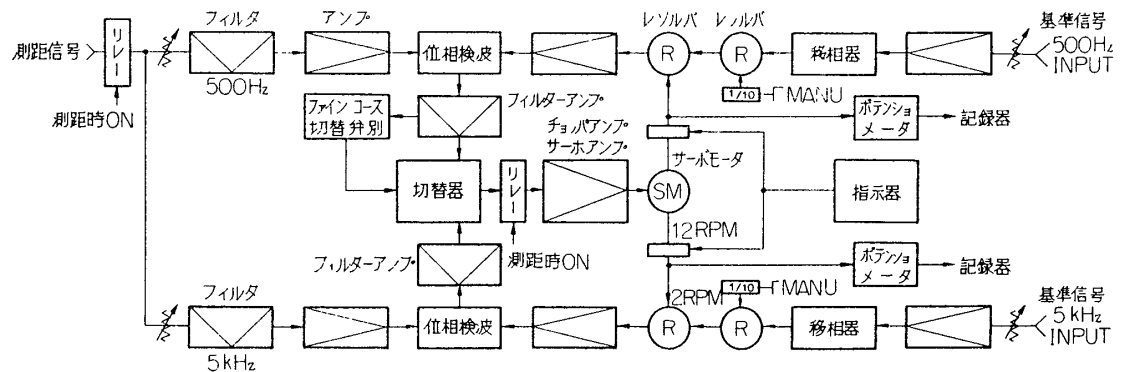
### 3. 測距系の構成

全体の構成図を第 1 図に示したが、各構成要素について次に述べる。

#### (a) 測距用信号発生装置

第 1 表 1680 MHz FM 送信機の性能

構 成	ペンシル管 5675
送信周波数範囲	1670~1690 MHz, 可変
周波数偏差	$\pm 5 \times 10^{-4}$
周波数偏移	$\pm 50$ KHz
送信出力	0.3 W
変調方式	グリッド変調
変調特性	50~25,000 Hz $\pm 3$ dB
変調入力	1 V 600 $\Omega$
変調器直線性	1 % 以下
温度範囲	-20°C ~ +40°C
電 源	120 V, 30 mA 以下 6.3 V, 180 mA 以下



第 2 図 測距機の構成

5. 12 MHz の水晶発振器から分周して 500 Hz ならびに 5 KHz を発生させている。周波数安定度は  $\pm 1 \times 10^{-5}$  である。

### (b) 伝 送 系

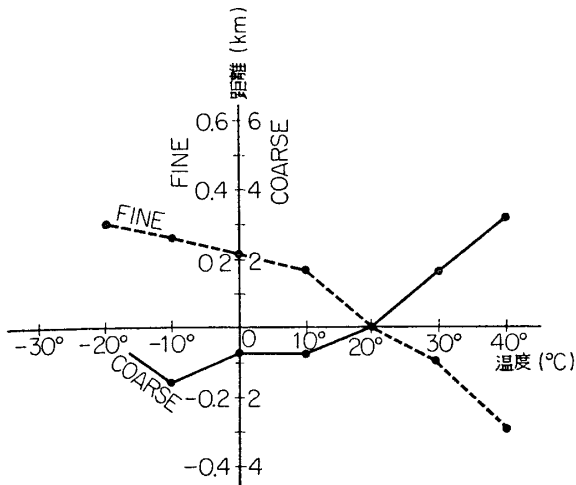
75. 94 MHz のコマンドの回線は、バラストの投下、水素弁の開閉、観測器の切離しなどの気球制御司令を送るためのものであるが、測距信号を送るために一部設備変更を行ない、最高変調周波数を 5 KHz まで拡張した。送信器出力は 3 W である。

1680 MHz 帯はゾンデとしては以前から使用している波であるが、FM のテレメータ用としては昭和 43 年度から新たに設けたものである。送信機の主要な性能を第 1 表に示す。地上での受信は直径 1 mφ のパラボラ空中線で行なう。受信機の雑音指数は 4 dB (パラメトリック増幅器)、受信周波数帯域幅は 160 KHz である。

### (c) 測 距 機

位相比較を行ない距離を求める測距機の構成を第 2 図に示す。折返されてきた測距信号を位相検波し、その出力によりサーボモータをまわす。サーボモータには基準信号の位相を移動するためのレゾルバが機械的に接続されており、測距信号と基準信号の位相差が零となったところで平衡する。測距時には、装置はまず 500 Hz の信号で作動しはじめ、500 Hz 側

の位相検波器の出力がある基準レベル（直距離 20km に対応する）以下になると自動的にファイン・コースの切替えが行なわれ、5 KHz 側の出力でサーボモータが駆動されるようになる。放球時点での距離ゼロの調整は各々前段のレゾルバによって行なう。測定された直距離は計器盤上にアナログ的に指示される。電圧として取り出し記録することも可能である。位相検出の精度は距離に変換して 300 m 以内である。



第 3 図 コマンド受信機の温度ドリフト

以上に述べた諸要素から構成される測距系の精度に対しては、各々のドリフトが大きな問題となるが、装置の地上部分については電源投入後 10 分以降におけるおよそ 12 時間内のドリフト幅が 200 m 以内であり、また搭載機器のうちで特に温度変化による位相変化を起しやすいと考えられるコマンド受信機についても 20°C から -20°C までの温度変化に対して距離指示上でおよそ 300m に相当する位相ドリフトをする程度である。

これらによるドリフトの幅は測距機の位相検出の精度と同程度であり、現在のところ大きな支障とはならない。

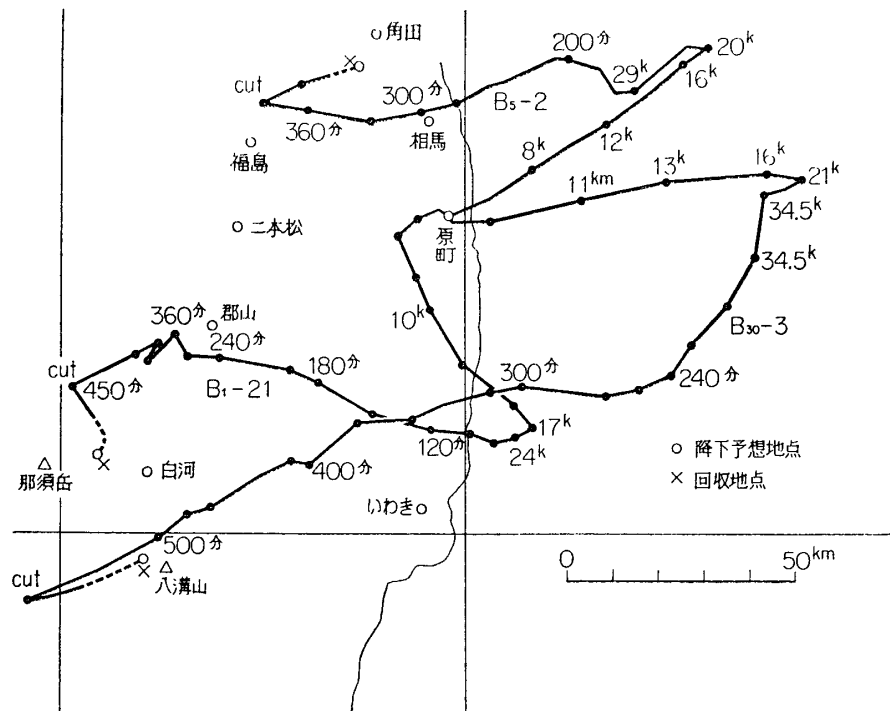
なお、第 3 図にはコマンド受信機の温度変化に対するドリフトの実測結果を示した。図において COARSE および FINE はそれぞれ 500Hz および 5 KHz による指示に対応している。

#### 4. 測距実験結果

昭和 43 年度の大気球実験において 7 回にわたる測距実験を行なったが、装置は予想通りに作動し、気球位置の正確な標定を行なう上できわめて有効であることが確認された。第 2 表に実験の概要を示す。

第 2 表 測 距 実 験 の 概 要

気球名称	実 験 日	高 度	飛しょう時間	最大直距離	備 考
	月 日	km	時間 分	km	
B <sub>1</sub> -21	9 5	23	7 33	95.8	白河に降下, 回収. 降下地点の予測誤差 2 km 以内
B <sub>30</sub> -3	9 16	34	9 11	128.9	八溝山地に降下, 回収. 予測誤差 1 km 以内
B <sub>30</sub> -4	9 19	33.5	6 15	149.1	南会津山中に降下, 未回収.
B <sub>20</sub> -5	9 23	32	9 00	153.5	鹿島灘海上に降下.
B <sub>5</sub> -2	9 24	29	6 28	63.0	阿武隈山地次郎太郎山に降下, 回収. 予測誤差 1 km 以内.
B <sub>5</sub> -9	9 27	27	6 45	40.0	福島県若宮町に降下.
B <sub>20</sub> -3	9 28	19	2 00	32.3	原町沖海上にて気球破壊.

第 4 図 B<sub>1</sub>—21, B<sub>5</sub>—2, B<sub>30</sub>—3 の航跡

気球 B<sub>30</sub>—4 および B<sub>20</sub>—5 は距離 150 km 付近に到達した時点で観測が終了し観測器の切離しが行なわれたが、150 km 付近までの測距系の動作状況は十分良好であった。

第 4 図には気球 B<sub>1</sub>—21, B<sub>30</sub>—3 および B<sub>5</sub>—2 の飛行航跡を示した。これらの気球はいずれも降下した観測器の回収されているものである。切離された後パラシュートで下降する観測器の追跡は、電波が途中の山岳によってさえぎられるためにある高度までしかできず、それ以下は高度別の風向風速の気象データによって予測を行なっているが、上記の 3 気球における降下予想地点と実際に回収された地点との誤差は 2 km 程度であった。

## 5. お わ り に

気球の飛行航跡の標定用に開発した測距方式について述べた。本年度の大気球実験における動作成績はきわめて良好であり、保安上からのあるいは回収のための要請をほぼ十分に満したものだといつてよい。昭和 44 年度以降は大部分の気球においてこの方式による測距が行なわれるものと思われる。

開発の推進および実験にあたってご協力いただいた西村教授、電波申請上の諸手続きをお願いした高中氏ならびに東京天文台、嵩地氏、実験に協力された西村研究室の各位、ならびに製作を担当された明星電気株式会社、古沢、高橋の両氏および松下通信工業株式会社の藤木氏をはじめとする無線事業部の方々に対し厚くお礼を申し上げる。

1969 年 2 月 1 日 宇宙工学

## 参 考 文 献

- [1] 野村民也：昭和 42 年度大気球シンポジウム報告，p. 199