

新しい高層風観測装置（エコー方式）について*

鈴木 茂**

内容概要 新しく高層風観測装置として1959年1月より根室、八丈、館野、鹿児島で使用しているエコーレーウィンについて次の各項を解説する。

- (1) エコー方式観測装置の製作経過
- (2) エコーレーウィン観測装置の概要
- (3) 直距離測定誤差に関する実験
- (4) エコーレーウィン観測の実際
- (5) エコーレーウィン観測の結果と考察
- (6) 今後の計画

1. まえがき

高層風を観測するには経緯儀によって上昇中の気球を追跡する観測が古くから用いられてきた。其の後、無線方向探知機の発達により天候不良にかかわらず、観測が出来るようになった。方向探知方式に於ては種々の誤差をとともうが、次第にレーダーの発達にともない気球に吊した反射体（リフレクター）を追跡して、直距離を測定する方式が実用化されるに至った。更に同じくレーダー方式のうち観測可能距離を増大する為、所謂二次レーダー方式又はトランスポンダー方式が実験的に各国で行なわれ、その一つの方式としてエコー方式が発達した。

以下、我が国のエコー方式の発達の経過、観測装置、観測資料について記すことにする。

2. エコー方式観測装置の製作経過

我が国で始めて、エコー方式という言葉が用いられたのは、1953年カナダ、トロントにおけるWMO会議に、スイス気象台ルジヨン博士によって提案された。この方式の言葉から採用されたものである。我々はこの方式について、高層測器分科会において検討を行なったが、充分な資料はなく、発展には幾多の困難があった。久保田気象測器の大家技師は理論的にこの方式の可能性や採用すべき方式について発表を行なった。一方、地上観測機に用いる測距装置の基本回路は明星電気の倉茂技師等

によって研究が進められた。

1955年米空軍が使用していたGMD-1A無線方向探知機が貸与になり、輪島、秋田、潮岬にて使用されるに至った。その精度は縦来使用されていたD49E型無線方向探知機よりも遥かに優れている事がわかったが、この方式の採用にあたって北岡高層課長は更にエコー方式による精度向上を期待して、同機を一部改造して周波数1680MCによるエコー方式の採用を計画した²⁾。

1955年11月にはGMD-1Aとほぼ同型のD55無線方向探知機が国産化されたので、かねて要望されていたエコー方式、即ちパルス発射装置の製作に入った。当時ロケット観測に使用される測距装置として、東大生産技術研究所でも同機と同型の装置を製作することに力をいれ、何れも明星電気にて受注した。

一方飛揚に用いるゾンデにも幾多の困難があった。最大測距可能直距離200km、精度30mという目標には重量、機能の安定性等、当初は計画さえ立たなかったが、一応スーパーヘテロダイン方式、クリスタルビデオ方式、超再生方式の三種について検討し、結局クリスタルビデオ方式は明星電気で、超再生方式は久保田気象測器でほぼ完成し、1956年11月はじめて180kmの直距離観測に成功した。この第一号機による実験は翌1957年2月に比較観測をかねて、館野高層気象台に於て行なった三点観測に或程度の成果を得たが、その精度は充分なものではなかった。飛揚ゾンデの受信感度の不足、測距装置の追尾感度、サーボ系の不安定が特に問題とされた。

1957年IGY観測にあたって更に4台の装置の購入を進め、すでに完成していた国産D55A型無線方向探知機

* On New Observation Equipment of Upper Wind

** Sigeru Suzuki 気象庁高層課
—1962年3月23日受理—
第3回高層気象シンポジウム

に、追加製作する事になった。観測地点は種々の理由から、館野、八丈、鹿兒島、根室に設置ときまり、1958年3月および6月には無事、無線施設として関係官庁の検査にも合格した。しかし乍ら問題はだ解決してはならず、測距と同時に高層の気圧気温湿度を同時に測定する為、計器部を同時に用いた符号式エコーゾンデに於ては符号の不明瞭さ、角度の追跡の不良が目出つたので実用にならなかつた。同年6月以来館野高層気象台の観測機を使用して、ゾンデについて、先に記した方式の決定、感度性能試験、測距精度の確認等種々の実験を重ねた。1958年11月下旬より発振器も量産化され、各地にて試験観測を行なった結果、測風のみを用いるエコーレーウイン方式がルーチン化し得る見とおしがつき、1959年1月1日より正式に使用するに至つた。現地の人の労力からも1日1回昼間15時に行ない、その精度の検討を本庁に於いて行なう事になった。又秋田地方気象台にも一号機の改造を行なって設置する事になった。引き続き高層風自動計算記録装置を試作し、計算の自動化を行ない精度の向上と資料の迅速な集収に務める計画がなされた。

この電波を再び地上送信空中線でうけて、測距装置におくり、送信パルスより返信パルスまでの時間間隔を直距離になおし、これを記録紙上に観測時(通常1分間隔)と共に記録する。この関係は一般のレーダーと同じで直距離 R_m 、時間間隔 $t\mu s$ とすれば、 $R_m=150tm$ にて示される。しかし、後述するようにエコーレーウインの受信送信機間に生ずるパルス伝送の遅れがこのままでは固定誤差となるので補正が必要である。

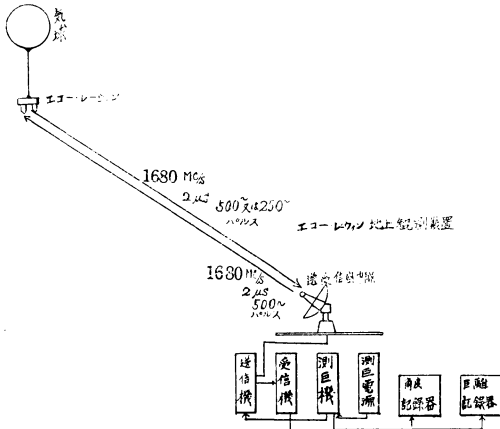
また、エコーレーウインは地上送信機より電波を送らない場合にも電波を放射し続けていないと飛揚後地上装置に近い位置即ち約1 km 迄は測距出来ない為、以下に示すように絶えず自走発振を行つていて、方向探知を可能としている。

1. エコーレーウイン

第2図はエコーレーウインの系統図を示す。この方式は超再生方式と言われている。JMA-EW 58型という名称である。

(1) 送信機部

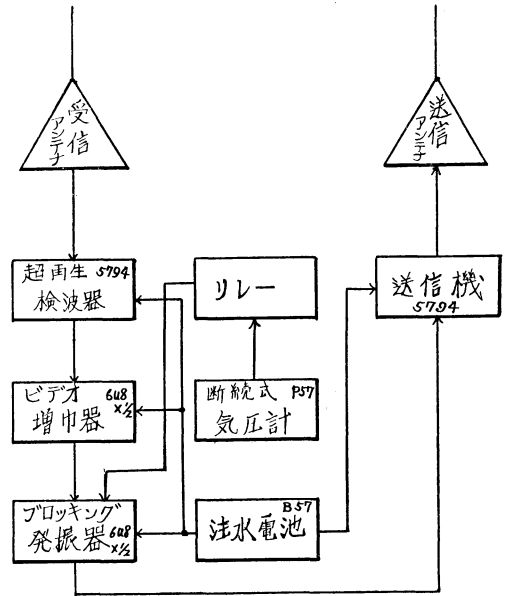
5794 空洞発振器を用い、1680 MC のパルスを発振す



第1図 エコーレーウイン観測装置概要図

3. エコーレーウイン観測装置の概要

エコーレーウイン観測方法としては第1図に示すように地上送信機から1680MC、パルス巾2μs、繰返し周波数500サイクルの電波を放射する。飛揚するエコーレーウインの受信空中線に電波が達すると、受信電波は検波増巾され、すでに発振している発振回路を500サイクルのパルスにてトリガーをかけ、送信空中線からは断続式気圧計が断の時には500サイクル、接のときには250サイクルの1680MC、パルス巾2μsの電波を送り返してくる。



第2図 エコーレーウイン系統図 JMA-EW 58型

る。この発振の駆動はプロッキング発振器6U8の三極管部であつて、受信パルスのない場合には460~490サイクル、又は230~245サイクルの発振を繰返す。

(2) 受信機部

受信機部は5794空洞共振器を使用し、自己抑振型超再生受信を行なう。この受信パルスを6U8の五極管部で増巾した後、プロツキング発振器をトリガーする。

(3) 断続式気圧計回路

此の回路は理論的には必要がないが、後記のように精度の問題、および感度不足で同期のとれない場合に方向と気圧を知って計算するため、従来のレーウン用と同様気圧により回路を断続し、上記パルス繰返周波数を変えする役目をする。

(4) 電源

注水型でA 6.5V, B₁ 130V, B₂ 350V。使用可能継続時間約2時間であり、この放電特性は第3図に示す。

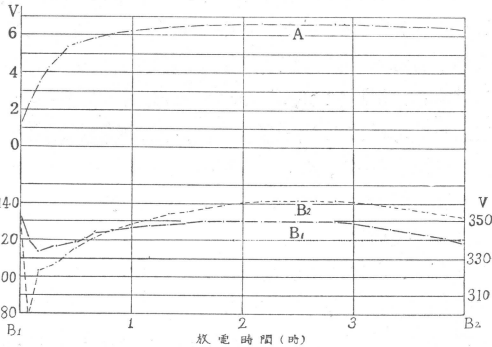
(5) エコーレーウンの性能

このエコーレーウンの定格は概ね下記のとおりで、直距離 200km の測定を目標としている。

第4図はエコーレーウンの外観写真で右が送信機部左が受信機部、中央箱内に電池、左小箱に断続式気圧計が入っている。第5図は電池の外観を示す。手前がA, 向側がB電池。

2. エコーゾンデ(エコーレーウン)地上観測装置

(1) 概要、この装置は JMA-RD 56 型エコーゾンデ観測装置といているが、先にも記したように、D55A 無線方向探知機と組合せ、気球につり下げた上記エコー



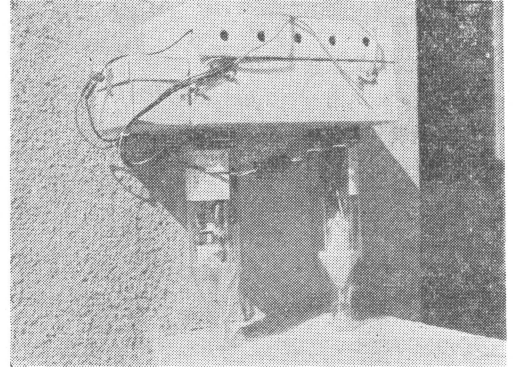
第3図 注水電池 B57型 放電特性 エコーレーウン負荷時 重量 975gr

送信機部

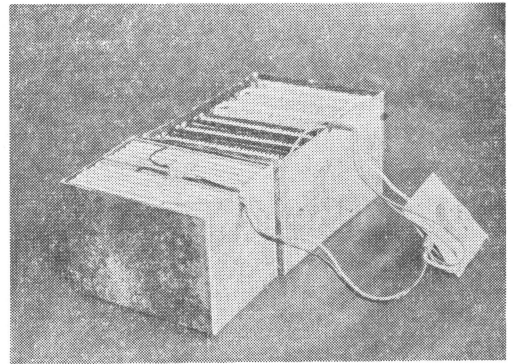
- 周波数 1680MC ± 1.5MC
- 出力電力 尖頭値 5-10W
- パルス巾 2.0 ± 0.5 μs (半値巾)
- 立上り時間 (0~90%) 0.4 μs 以内

受信機部

- 抑振周波数 3 MC ~ 6 MC
- パルス繰返周波数 460~490 サイクル, 又は 230~245 サイクル
- 受信周波数 1680MC ± 4 MC
- 受信感度 S G により試験を行ない、空中線間隔 10cm にて -35dbm 以上の感度にて同期すること
- 機内の遅延時間 0 ~ -35dbm にて 3 μs 以内
- 重量 電池を含み 1.6kg



第4図 エコーレーウン



第5図 電池

レーウンの飛揚する方角を自動追跡し、高度角、方位角を記録すると同時に、直距離を自動的に追跡して記録する装置である。日本電気型、明星型と細部については異っているが、以下明星型についてのみ記すことにする。

(2) 構成と特性

この装置を大別すると、送信機、受信装置(D55A)、測距機、測距電源部、距離記録器、制御記録器(D55A)、送受信空中線(D55A)となっている。D55AについてはGMD-1A とほぼ同一であるが若干回路が追加されている。

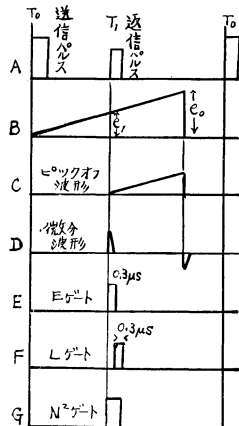
装置の概略図は先にかかげた第1図に示してあり、総合特性は下記のとおりである。

- i 電 源 100V ± 5% AC50サイクル
- ii 消費電力 送信機 500W
測距機 1.0KW
距離記録器 100W
D55A 関係 1.5KW
- iii 電気的特性
送信出力 尖頭値 10KW
送信周波数 1680MC
送信繰返周波数 500C
送信パルス巾 2 μs
測距最小距離 約 2 km
送受信空中線指向性ビーム巾 6°
同上走査角度 ±1.5°
空中線利得 25db
受信中間周波数帯域巾 2.5MC

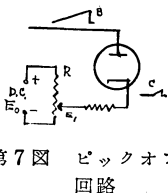
3. 地上観測装置の動作概要

測距の原理については一般のレーダーと同様、送信パルスと返信パルスの時間間隔を正確に測定することにあるが、この装置に使われるパルスの基準は、150KCの水晶発振で、この周波数によって制御された時間軸が全ての系に用いられている。此の測距装置は最大180m/secにて移動する目標を精密に測距する為、特に次のような特殊回路を用いて自動追跡し得ようになっている。

第6図(A)のように送信パルスが地上観測装置の空中線から T_0 に発射し、返信パルスがT秒後の T_1 に受信空中線に達したとする。測距機 ART 部にはピックオフ



第6図 パルス自動追跡原理図

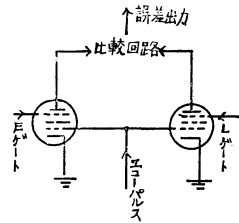


第7図 ピックオフ回路

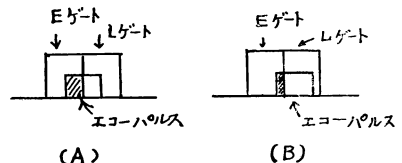
ダイオードV、(第7図)があって、このプレートには(B)に示すような鋸歯状波を入れておく、カソードはポテンシオメーター R_1 の接点位置できまる電圧 E_1 を興える。このようにすると(B)の波形は e_1 によって切りとられた波形(C)のようになる。此の鋸歯状波を微分回路に通せば(D)の如くなるが、+側のみを取り出して、更に2段の同時回路を経て、(E)のごとき $0.3\mu S$ のアーリーゲート(Eゲート)(F)のごとき(E)より $0.3\mu S$ おくれたレートゲート(Lゲート)を作り、両者を合せて(G)の N^2 ゲートが出来る。

従ってこの N^2 ゲートの出来る時間はポテンシオメーターの接点位置によってきまり、この接点の位置が距離を示すことになる、さらにこれに連動したギヤ、移相器によって返信パルスを見出して、これに一致させれば測距が可能となる。

自動追跡には此のような返信エコーパルスの位置に N^2 ゲートを自動的に合せてやればよい。これには第8図のような2つの真空管 V_1 と V_2 (6AS6) の第1グリッドには同時に $2\mu S$ のエコーパルスがピーキングされ巾を $0.3\mu S$ にした波形を入れ、両真空管の第3グリッド V_1 にEゲート、 V_2 にLゲートが入っているとす。第9図(A)に於いてはエコーパルスが N^2 ゲートの中央に合致している場合で誤差電圧は比較回路で打消されて0となる。(B)に於いてはエコーパルスが N^2 ゲートより遅れている場合で V_1 と V_2 には両方の差に相当する誤差電圧が比較回路を通して得られ、この電圧はサーボ



第8図 同時回路



第9図 エコーパルスとELゲートによる比較
(A) エコーパルスがELゲートの中央にあるとき
(B) エコーパルスが遅れている場合第8図

一系を作動して、絶えず誤差が0となるよう追跡する。
この動作はギヤを経て、セルシンの発電機を動かして
記録器のセルシンに距離目盛を伝達する。

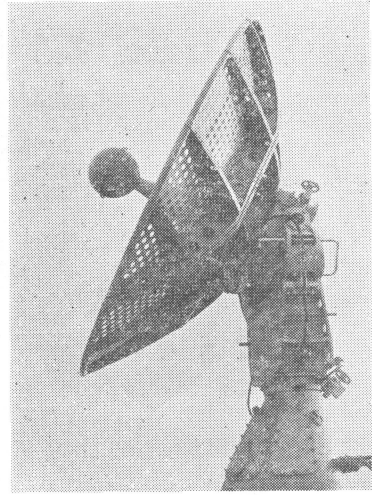
各部の動作は次のとおりで、外観は第10図写真にしめ
す。

(1) 送信機

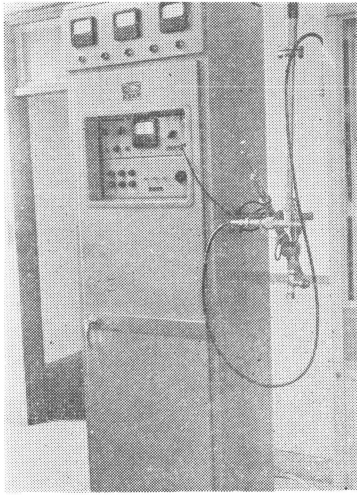
送信機は次の部分からなっている。第11図に系統図を
示すように、パルス整形部、変調部、送信部、T. R. Box、
電源部、出力計よりなっている。

i) パルス整形部では12BH7によりトリガー増巾を
2段行った後、カソードフオロワー、次にパルス波形
を入射波と反射波で整形する $2\mu\text{S}$ ディレイラインがあり、
波形は $2\mu\text{S}$ の矩形波に整形される。

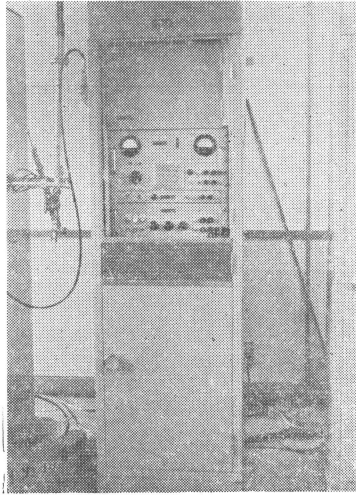
ii) 変調部にはブロッキング発振管 2B29 と変調管
715B ダンピングダイオード 1K24 がある、立上りの鋭



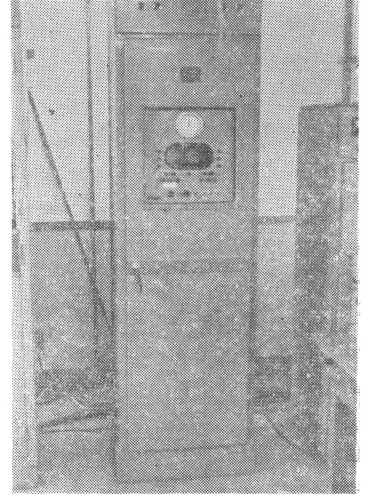
第10図 (A) 空中線系



(B) 送信機



(C) 受信機



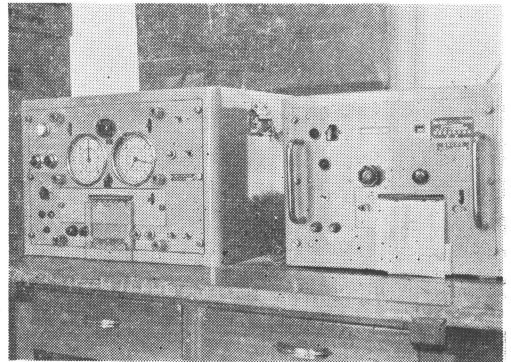
(D) 測距機

い $2\mu\text{S}$ 巾の高電圧がブロッキング発振器で得られ、変
調を行なう。

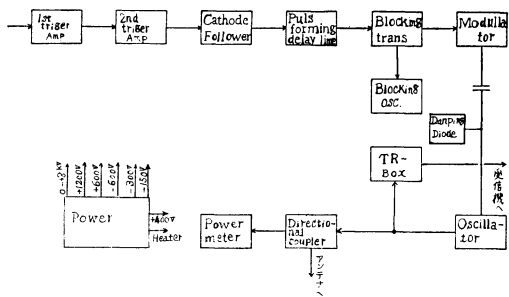
iii) 送信部 送信管は5946を用い、この球は尖頭出力
10KW の板極管で、その出力は T. R. Box に接続され
る。

iv) T. R. Box 空洞共振器付 721A で送信パルスが来
た時には放電して、受信機入力側には電波を伝送せず受
信機側を安全に保ち、パルスが消えると受信回路が空中
線からの微弱電波をうけられる状態にもどす。

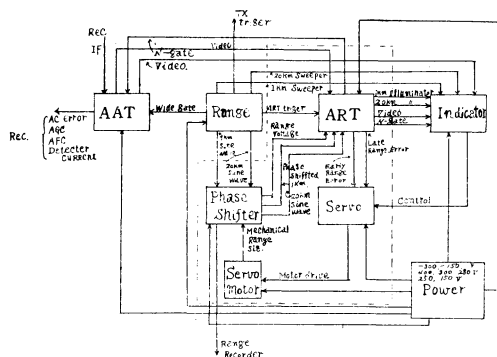
v) 電源部 7 kv. 1200V, 600V, 400V, -600V,
-300V, -150V, およびヒーター電源6.3V, 5V, 26V
を発生する。



(E) 記録器



第11図 送信機系統図



第12図 測距機系統図

vi) 出力計と方向性結合器 送信出力を測定する為、同軸の一部に方向性結合器をつけ出力計に接続する。

(2) 測距機

測距機は第12図に示すように下記部分からなっている。

A.A.T. unit, Range unit, A.R.T. unit, Indicator unit, Servo unit, Phase shift unit.

i) A.A.T. unit

D55A 受信装置の中間周波部より入力を受け A.R.T. unit からは Ngate と Range unit からは widegate pulse の供給を受けて、A.C. エラー（方向探知に必要な信号）、AFC 信号、AGC 電圧、同調メーターの電流、およびモルス符号（又は低周波信号）を D55A の各部に供給し、ビデオ信号を A.R.T. unit と Indicator unit に供給する。

ii) Range unit

ここでは送信機のパルス入力となる 500~トリガーパルス、Indicator unit のブラウン管のスイープ用の 20km と 1 km のスイーパーとして夫々 7.5KC、150KC の正弦波、Phase shifter unit に距離目盛の動きをする 7.5KC 150KC の正弦波、A.R.T. unit の 300km 距離ダイヤル目盛の零点規正を行う A.R.T. トリガーパルス、A.A.T. unit へ送信パルスのもれによる影響を防止する。wide gate トリガーパルス等をつくりだす。

iii) A.R.T. unit はエコーレーウインまでの距離を自動的に追跡する部分で、誤差距離に比例し、又極性即ち遅れがあるかすすんでいるかにより発生する電圧をうる部分である。即ち A.A.T. unit からのビデオ信号と A.R.T. トリガーパルス、フェーズシフトされた 7.5KC と 150KC の正弦波、300km 距離目盛の電圧とによって来る N² gate とを時間的に比較する。これによって時出間差のある時は直流電圧が early range エラーまた

は late range エラー電圧として発生し、この信号をサーボモーターにおくり、距離追跡を行なう。この部分では Indicator unit へ 1km と 20km の Illuminating gate とビデオ信号をおくってブラウン管上でビデオの位置を監視するに便利になっている。

iv) Indicator unit この部分は直接自動距離追跡には関係しないが、原点の点検や固定反射物の有無や追跡の良否の判定、又観測中は追跡を監視しようになっている。又制御回路があって手動追跡の切換 AGC の手動切換スイッチ、リレー等がある。

v) Servo unit ART unit からの誤差電圧でモーターを駆動する。このモーターは Phase shift unit の一部をなして、ギヤボックスをもって適当な回転比で距離のパルスの移相を行なう。

vi) Phase shift unit

この部分は電氣的目盛を機械的目盛に変換する。位相の遅れを機械的な回転角度の変化になおす、さきに記した A.R.T. unit の N² gate がビデオ信号より近い距離にあれば遅れる方向へ、又その逆の場合には進む方向へ移相運動を行なう。即ち丁度一致している時には止まっている事になり、モーターの回転ただけ目盛は動き、この時の目盛が正しい距離の指示となる。この出力は記録器におくられる。

(3) 測距機電源部

測距機の電源は極めて安定でなければならないので、特に、この測距機の電源は安定回路をもつ電源部から供給される。No. 1 から -300V、-150V、No. 2 から +450V、+300V、No. 3 から +250V、+150V が夫々電圧自動制御回路を通り、又 No. 2 から +28V の電圧が得られる。

(4) 記録器

測距機により作られた距離を現わすところの回転角度はセルシン発信部を動作させ、その出力はこの記録器のセルシン受信部に送られる。ギヤ系をへて記録用ホイールおよび指示目盛を回転する。最小目盛は20mである。印字機構は記録紙とリボンをハンマーでホイールの数字にたたいて印字するD55A記録器と同様であり、同時にD55Aの時計機構より、おくれる信号によって時刻を記録するようになっている。

4. 直距離測定誤差に関する実験結果

先に記したように、1958年9月館野高層気象台で地上実験および飛揚実験を行なった結果は次のとおりであった。

(1) 地上に於ける固定誤差の実験

予め三角測量で得られた直距離3.57kmの地点に気球に錫板を吊して約10米の高さにあげて測定を行なった結果直距離約60mの誤差があった。一応測距機は正しいものと仮定した。次にエコーレーウインを動作して、同様測定を行なった結果は器械の種類や電源電圧、発射送信機の出力によって、測定距離に変化の生ずることがわかった。そしてこの値は実際の距離よりも150~700m遠方になることを示した。

測定値をたしかめる為、標準信号発信器で飛揚前に行なう試験と同様の方法で行なった結果、殆ど同様の結果が得られたが発信器によっては安定性をかき200m程度変動のあるものがあつた。電源として用いられた注水電池は充分容量があり電圧は安定であるが、B₁電池の電圧変化が約130~150Vでは40m程度の差を生じた。これはエコーレーウイン内のパルス受信から返信までの時間の遅れで大体了解できる問題である。実際には飛揚中の受信空中線の入力は器械の動揺で変化しやすいので、この遅れの時間も正確に知る事は困難で結局現段階では地上で予め測定した時に得られた値で補正することにした。これは1 μ Sの遅れを150mとして計算してある。先に示した規格でこの遅れが他の条件で変化する割合は約2 μ S、距離にして300mであつて、レーダー方式の測風資料に及ぼす誤差はこの距離の急激な変化によって増大することになる。

(2) 飛揚による直距離誤差の実験

(1)と同期間に、一辺約1.7mのコーナーリフレクターと400mcラジオゾンデとを同時に飛ばし、高度角と直距離から計算した高さと同様に飛ばし、高度角と直距離から計算した高さとの比較を行なったもの、および経緯儀二点観測との比較を行な

たものがある。この結果は充分な遠距離までの比較が得られていないが、前者に於てはゾンデによる高さが5kmで約30mエコーの計算より高い値を示し、最大値170mを示し、変動が可成りあつた。後者については(ゾンデの高さ)-(エコーの高さ)は12kmで-100m, 15kmで-270m, 18kmで+58mであり、前者と比し大きい変動のあつたのはゾンデ符号によって角度追跡の誤差が大きくなる為であつた考えられる。

5. エコーレーウイン観測の実際

昨年1958年12月より根室、八丈、鹿児島、館野に於いて、15時のエコーレーウイン観測をはじめた。12月中は大体世界日を除き、15回の予定で各現地の観測員の訓練をかね、且つ精度の検討資料を得る為もあつて、従来行なわれている方位角、高度および気圧計による高さの三要素から求める所謂レーウイン方式、と直距離、高度角および方位角の要素から風を求めるエコー方式との両者の計算を行ない、正式資料としては前者を用いた。1月以降は毎日15時に実施、資料はエコー方式のものを採用報告する事とした。

飛揚の前には発信器の試験として、送信周波数、送信出力、エコーレーウインのなかの遅れ時間、送信パルス中、受信感度、受信周波数、ブロッキング自走線返周波数を測定し、電池は1時間前から準備する。気球は600gr2ケを用い上昇中発信機のゆれによるフェーディング現象を出来るだけ少くするようにした。

整理は飛揚後3~6分(直距離2km程度)遠方に発信器が離れるまではレーウイン方式で、以後地上送信をはじめて、自動測距が可能になったならば、直距離記録紙から資料を読んでエコー方式の計算をする。勿論途中でエコーレーウインからの同期パルスが返って来ない時には、方向探知のみを行なってレーウイン方式により計算する事が出来る。

高度の算出はこのエコーレーウインの資料からも得られるが精度を確認するまではP57断続式気圧計の資料を用いる。

そして報告には、エコー方式の場合はEcho-Wとし、半分以上又は全部レーウイン方式のときにはRawinとすることとした。

6. エコーレーウイン観測の結果と考察

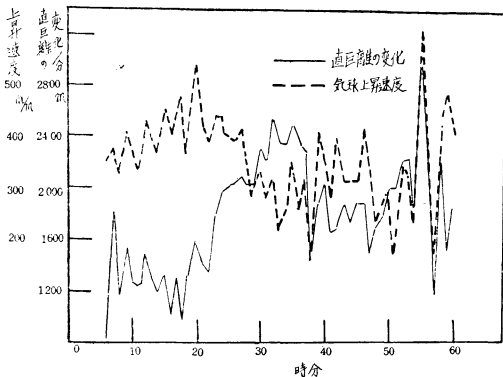
(1) 概説, 32年12月, 33年1月中に観測した資料によって、一部の整理を行なった結果を記し検討してみた。

検討方法として、第1にエコー方式から測距した、直

距離、およびその計算から得た高さが毎分どの様に変化するのか、即ち追跡の状況を判定し特定なうごきを示すかどうかを調べた。第2に従来の資料とのつながりを知る為レーウイン方式とエコー方式に差があるかどうかを、両者の水平距離の差を、5分毎にとって比較した。

直距離の毎分の変化状況は第13図に一例を示すが、直距離は風の変化に対応して変化する筈で、これだけを見て結論を出す事はむずかしいが、同時に直距離、高度角から高さを計算で求めその変動をとると、変化状態が非常によく似た点が見られる。此は直距離の自動追尾動作に問題があり、その為に生じたものと考えられる。

次に水平距離をエコー方式とレーウイン方式で計算し



第13図 エコーレーウインの観測結果
1分間の距離の変化及び上昇速度の変化

た差を示したのが第14図で直距離が遠くなる程大きくなる様に思われる。此の原因については1つは現在のレーウイン計算の計算方式は高度角の誤りで生ずる誤差が大きく、0.5°程度のレベルの誤差で此の程度の差が生ずる。エコー方式では直距離の測定精度が水平距離の計算には非常にきいくるわけであるが理論的には此の様に大きな誤差は出ない筈である。

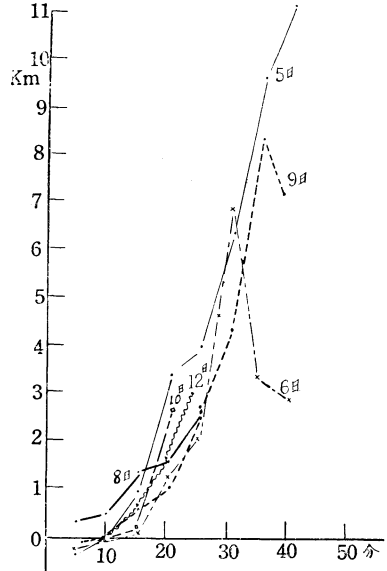
しかし、此の差が次第に大きくなる場合は平均的にエコー方式の風速が大きくなる事がわかる。

此等の問題については更に検討を行なう予定である。

7. 今後の計画

1月以降の資料について、更に此等の問題を検討すると共に、固定目標による直距離精度の確認、距離追尾感度、角度追跡の精度の向上、ラジオゾンデ符号の伝送の

問題の解決、さらに最近完成した。高層風自動計算記録装置の実用試験等が計画されている。ルーチン観測としては春と秋は半数、夏季は6分の1に減じ、器材の点検をかねて実施し、33年12月より再び毎日1回観測を行なう予定である。



第14図 水平距離の差（エコー）—（レーウイン）

9. むすび

エコーレーウインのルーチン観測実施になるまで多くの日時を費し、又今後も残された問題が山積しているが現段階について以上簡単に本装置の概要について紹介した。本稿は各器械の製作にあたった技術者による研究成果についてくわしく述べる余裕がなかったが、ここに深く感射の意を表します。又本庁高層測器分科会の諸委員、資料の整理にあたった高層課、指導係の諸官にお礼をのべます。

参考文献

- 1) Dr. Jean. Lugeon CIMO(1)/DOC. 122 (17, VIII 1953) (紹介高層気象. 2巻, 2号)
- 2) 高層気象 1956, 4. 2巻. 4号. 北岡GMD-1 A引受けの経緯とこの方式採用の理由

* 高層気象. 1954, 5, 3号, 測風観測の誤差北岡