

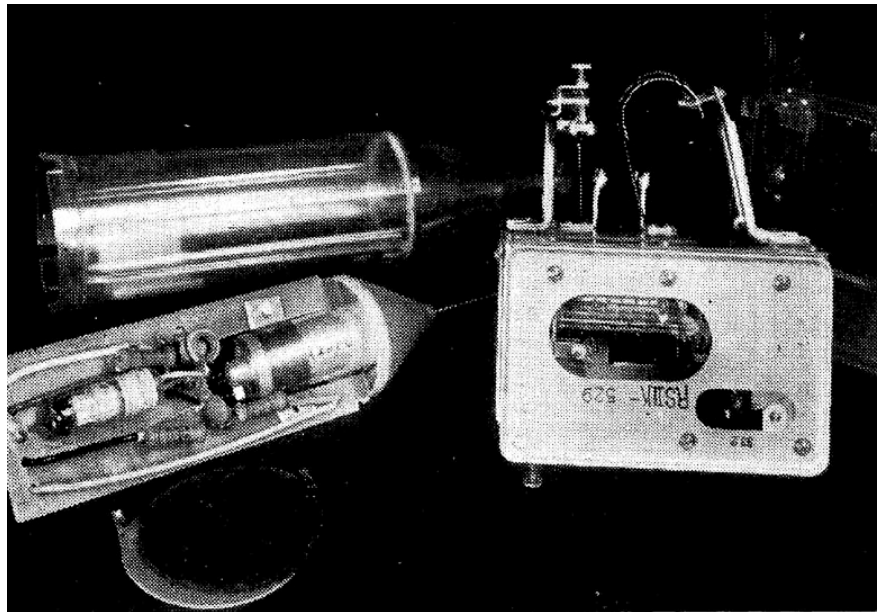
世界のラジオ・ゾンデ

関口理郎

1. ラジオ・ゾンデとは

上空の気温 (T) , 気圧 (P) , 湿度 (H) を測定するためには普通ラジオ・ゾンデという小型無線器械を使います。天気予報の方法が発達するにつれて高層気象観測 , すなわち上空の P・T・H の観測値が重要となってきました。ゾンデが誕生したのは今から約 30 年前ですが , 現在では世界のほとんどすべての国が毎日ゾンデの観測を行っています。日本の国内でも 15 ヶ所の観測所で毎日 2 回ゾンデ観測を実施しています。

ラジオ・ゾンデとは気温 , 気圧 , 湿度を測定する気象計器とその測



定値を信号に変える部分 , その信号で変調された電波を発射する発振器からできています。これを気球の下に釣るして飛ばすと、気球が上昇している間 (普通 1 分間に 300m 程度の速さで上昇します) ゾンデは P・T・H を自動的に観測して、これを信号に変えて地上に送信します。地上の観測所で受信機を使ってこの信号を受信して、解読すれば上空の気象状態が分るのです。

前に述べたようにラジオ・ゾンデの歴史は比較的新らしいのですが、世界各国がほとんど同時に競って研究を始め、それぞれ独自の型を作り、改良を加えて使用しています。現在使われているものだけでも少なくとも 10 種類以上はあります。このうちから代表的なものを選んでその機構などを説明しましょう。

2. ラジオ・ゾンデの分類

各国のゾンデはそれぞれの特徴がありますが、大別すると次の 5 つの型に分けられます。

A. 符号式ラジオ・ゾンデ

この型に属するのは日本・西ドイツ・ソ連です。この型のゾンデは P・T・H の測定値をモールス符号に変え、この符号で変調された電波を発射します。

B. 時間間隔式ラジオ・ゾンデ

スイス・インド・東ドイツ・ポーランドがこの型式に属します。これは P・T・H の測定値の変化を、基準信号からそれぞれの信号までの時間間隔の変化に変えて送信する方式です。

C. パルス数変化方式

フランスのゾンデがこの方式で、時間間隔式の変形です。時間間隔の変化のかわりにパルス数の変化を利用しています。

D．変調周波数変化方式

アメリカ・イギリス・オランダ・ベルギーなどです．これは測定値の変化を低周波の発振周波数の変化にかえます．この低周波で搬送波を変調して発射します．観測所では受信，検波して，この A-F の周波数を適当な方法で測定すれば，上空の P・T・H の値を求めることができます．

E．搬送周波数変化方式

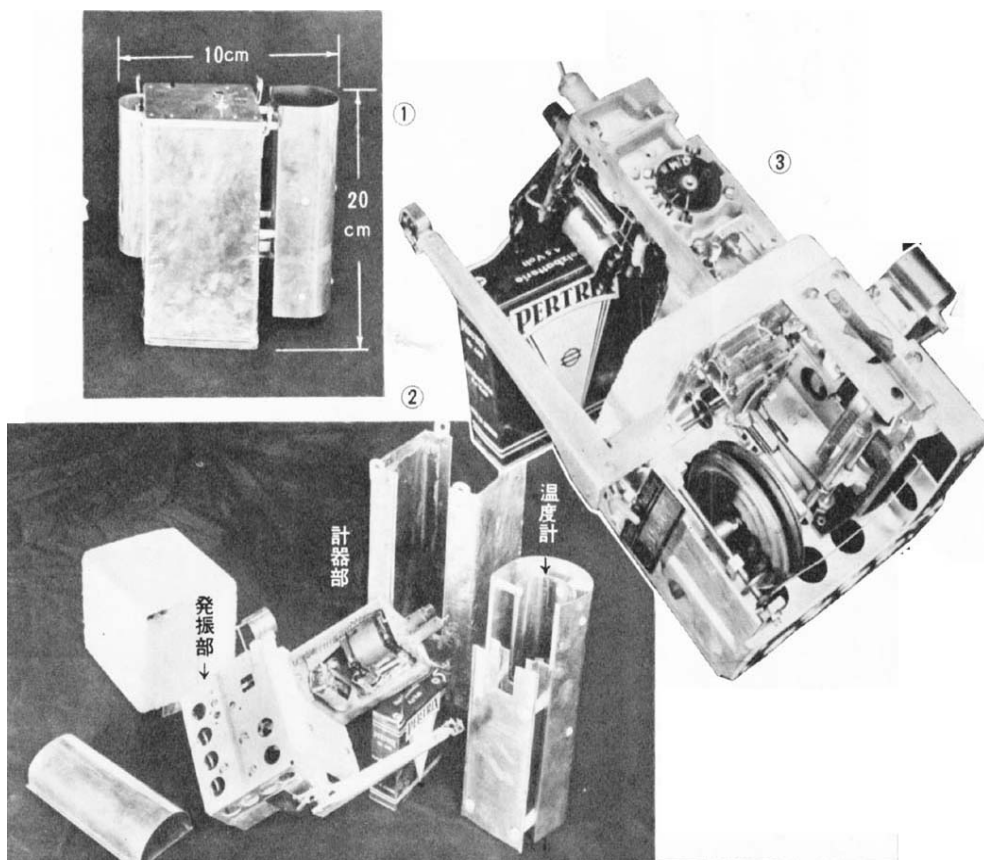
この方式を採用しているのはフィンランドだけです．測定値の変化を R-F の周波数の変化にかえる方式で，観測所では受信電波の同調をとってその周波数を測定します．

3．符号式ラジオ・ゾンデ

A．西ドイツ

高さ約 20cm，縦横約 10cm の直方体で左右両側面に通風筒がついていて，その内側に温度計，湿度計があります．通風筒の役目は温度計などに空気がよく送り込まれるためと，太陽の直射光が当たるのを防ぐためです．

第 1 図の写真②はその内部を示したもので，左手前は湿度計の通風筒，左後方は発振器や電池の保温用断熱材，中央は本体で上半分が発振器，下半分が計器です．計器の側面に温度計 (バイメタル) と湿度計 (毛髪) が突出しています．本体の下には電池 (4.5V 乾電池) が見えます．その後は外箱でボール箱にアルミ箔を張りつけてあります．右端は温度計用二重通風筒です．



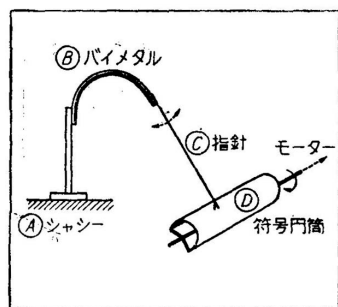
第 1 図 西ドイツ 符号式のゾンデで①の外形は 10cm×20cm という小型である．③の上半分が発振器，下半分が計器部分である

写真③には本体の内部を示しています．下方の 2 枚の円板が空盒です．その右方に符号板があり，気圧計の指針がその上に接触しています．右側面にあるのはバイメタル，左側面の柱は毛髪の支柱です．

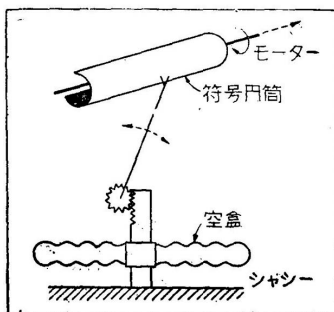
P・T・H の測定はそれぞれ空盒 (アネロイド)，バイメタル，毛髪を使います．この三つの組み合わせで測定するゾンデは，全体の半数以上あるので，その原理を簡単に説明しましょう，

バイメタルは膨脹係数の差が大きい二種類の金属，例えばインバパールと真鍮を張り合わせたものです．第 2 図はその機構をモデル的に示したのですが，バイメタル (B) はシャシー (A) の上に固定され，温度が変化するとその彎曲の程度が変り，その指針 (C) が矢印の方向に動きます．指針の先端には細い針があり，符号板が廻転するとその約 1/3 廻転の間針と符号板が接触します．

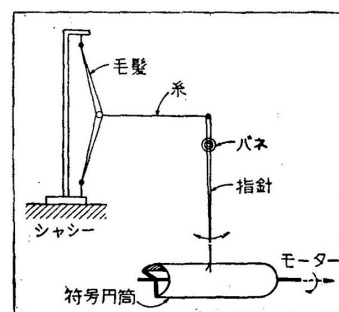
気圧計の空盒は中心部分がふくらんだ 2 枚の金属の縁を張り合せ，内部の空気を抜いたものです．第 3 図のようにシャシーに取り付けてあり，外部の気圧と金属円板の弾性が釣り合った所で静止しています．気圧が変化すると空盒



第2図 バイメタル符号円筒



第3図 空盒と符号円筒

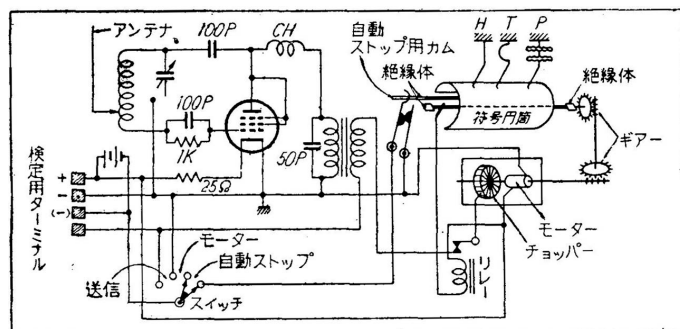


第4図 毛髪湿度計

の中心が上下して指針がその動きを拡大して動きます。湿度計は第4図のように毛髪を張り、湿度が変化する際に毛髪が伸び縮みする動きを指針の動きに変えます。空盒や毛髪の指針の先端にも細い針が取り付けられており、符号円筒が回転するとそれぞれその約 1/3 回転の間針と符号円筒が接触します。従って符号円筒が 1 回転すると P・T・H の針がちょうど 1 回ずつその表面に接触するわけです。

符号円筒はアルミニウム製で表面には 480 本の細い溝があり、溝の一部はアルマイト加工がしてあり、針がその部分に接触しても電流は流れません。

第5図の回路図に示してあるように P・T・H の指針はアースされています。一方符号円筒はリレー回路を通り電源 (4.5V) につながっています。従って指針が符号円筒のアルマイト加工してない部分に接触している時にはリレーのコイルに電流が流れ、リレーの接片が引きつけられます。一方符号円筒を回転させるためのモーターの軸にはチョッパーがあり、リレー回路が閉じるとトランスの一次側に断続する電流が流れ、二次回路には約 45V の交流電圧が生じます。



第5図 西ドイツのゾンデ回路図

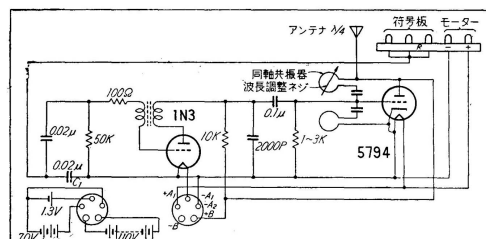
発振回路の真空管が整流作用もしているので、その整流電圧によって発振管が動作し、約 27Mc の電波を発射します。この電波はチョッパーの断続周波数によって変調されていることになり、地上では受信、検波して符号を聴くことができます。一方針がアルマイト部分の上に乗っているか、3 本とも円筒の上にはない時は発振回路には電圧が誘起されません。従って符号円筒を適当にアルマイト加工しておけばモールス符号で断続する変調電波が発射される

わけです。結局 480 本の溝がそれぞれ個有のモールス符号を発生できるので、P・T・H の測定値は地上でこのモールス符号を解読して知ることができます。1 本の溝の幅は約 0.125mm で、温度が 0.25° 変化すると針は次の溝に移ります。また、気圧 2.4mb、湿度 3.0% が 1 本の溝の幅に相当します。

検定用ターミナルは地上でバイメタル、空盒、毛髪を検定して、どの符号が何度、何ミリパー、何パーセントになるかを調べるため、その時、スイッチはモーターの位置におきます。その場合は発振回路は電流が流れません。また、スイッチを自動ストップにすると 3 本の針が何れも符号円筒上にはない場所で電源が切れるようにカムがはいっています。

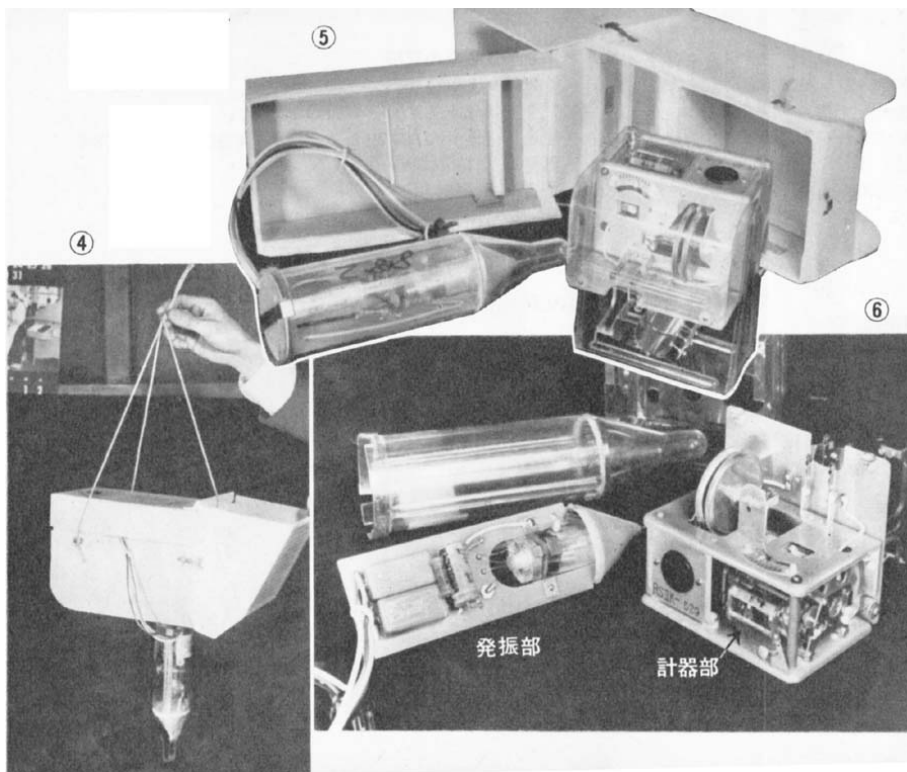
B. 日本

第7図の写真④の底についている円筒が発振器で、プラスチックの容器にはいっています。計器と電池は白色の段ボール製収容箱の中に収められています。箱の右側は通風筒になっていて、ここから空気が流れ入り、左後方の出口から出ていきます。その途中にバイメタルと毛髪があり、気温・湿度を測定します。写真⑤は計器部を取り出したところで、左側は発振器です。計器の下部にはバイメタルがみえます。また容器の内部には空盒が見えます。本文カットの写真は発振器および計器の内部です。左側の発振器の右端はアンテナ ($\lambda/4$) で、その左の円筒は発振管 5794 を内蔵した同共振器、



第6図 日本のゾンデ発振器

その左はブロッキング・オシレーター回路で 1N3 を使っています。計器の上部にはバイメタルと毛髪があります。計器部の構造は西独とよく似ています。ただ、2 本の水銀切断温度計を回路に入れ、 -30°C と -50°C でバイメタルの測定温度をチェックできるように工夫してあります。



第 7 図 日本 西独と同じく符号式である。下った円筒が発振部である

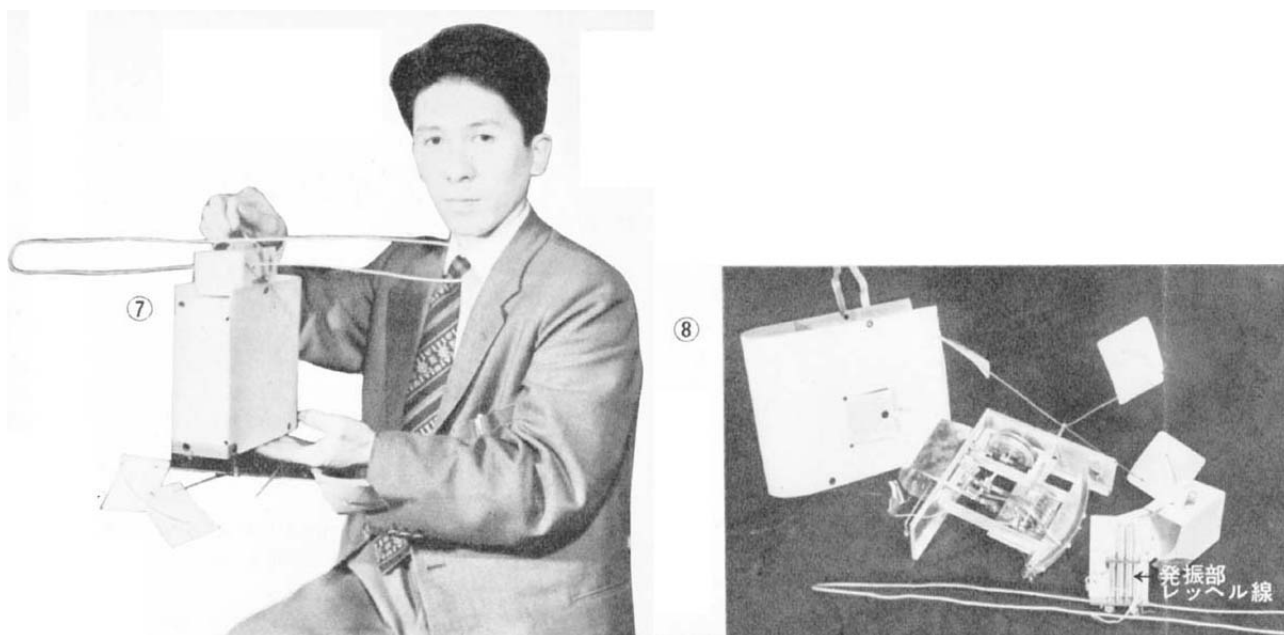
リッド電圧がカット・オフ以下になります。1N3 がブロッキングを起して電流が流れなくなると、5794 は発振します。1N3 に電流が流れている時間は非常に短かいので、ほとんど連続的に 1680Mc の電波を出しているのと同じで、GMD-1 で追跡するのに差支えないのです。地上の受信機で受信、検波した後、ローパス・フィルターを通してマークの時の音だけ取り出して符号を聴くことができます。

電池は注水電池といって水を加えると電圧が発生するもので、B110V、 $A_1 1.3\text{V}$ 、 $A_2 7.0\text{V}$ です。

周波数は 1680Mc です、この波長を使う理由は自動追跡型方向探知器でゾンドを追いかけて上空の風を測定するためです。ドイツでは上空の風はレーダーで測定するので、ゾンドは短波を使っているのです。

発振器の回路図は第 6 図に示してあります。指針が符号円筒に接触すると、すなわちマークの時は C_1 がアースされます。1N3 はブロッキング・オシレーターの発振管ですが、その繰り返し周波数は $\frac{1}{RC}$ に比例します。従って針が浮いているスペースの時は約 800% でマークの時 (約 400%) に較べて周波数は高くなっています。

1N3 に電流が流れると 5794 (ペンシル・チューブ) のゲ



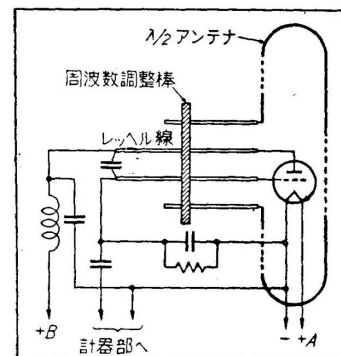
第 8 図 ソ連 符号式であるが、精度はさほどでもない。

C. ソ連

第 8 図の写真⑦はソ連ゾンデの外観です。頭部の左右に突き出ているのはアンテナです。そのつけ根が発振器、その下が計器で、その底から出ている 4 枚の羽は風車です。この風車は、日本や西独のゾンデのモーターの代りをします。すなわち測定の切り換えや符号の発生に使うので、ゾンデが上昇する時の空気の流れによって回転します。写真⑧は内部を示したもので、左から外箱、計器、発振器です。箱の左の部分は通風筒になっています。計器の左の筒の内側にバイメタル、毛髪があります。右端の弓形をしているのが符号板で、符号板の表面には気圧計の指針が接触しています。

裏側には温度計の指針が接触しています。この符号板には気圧は 38、気温は 72 の接片があって、風車によって回転する符号発生装置に接続しています。ソ連のこの部分の機構はあまり勝れたものではなく、日本や西ドイツに較べて測定精度はかなり劣ります。

発振回路は第 9 図に示しましたが、グリッドとアースの容量を変化して周波数をかえ符号を送信する簡単なものです。地上では零ビート音で符号を聞きます。周波数は 200Mc です。

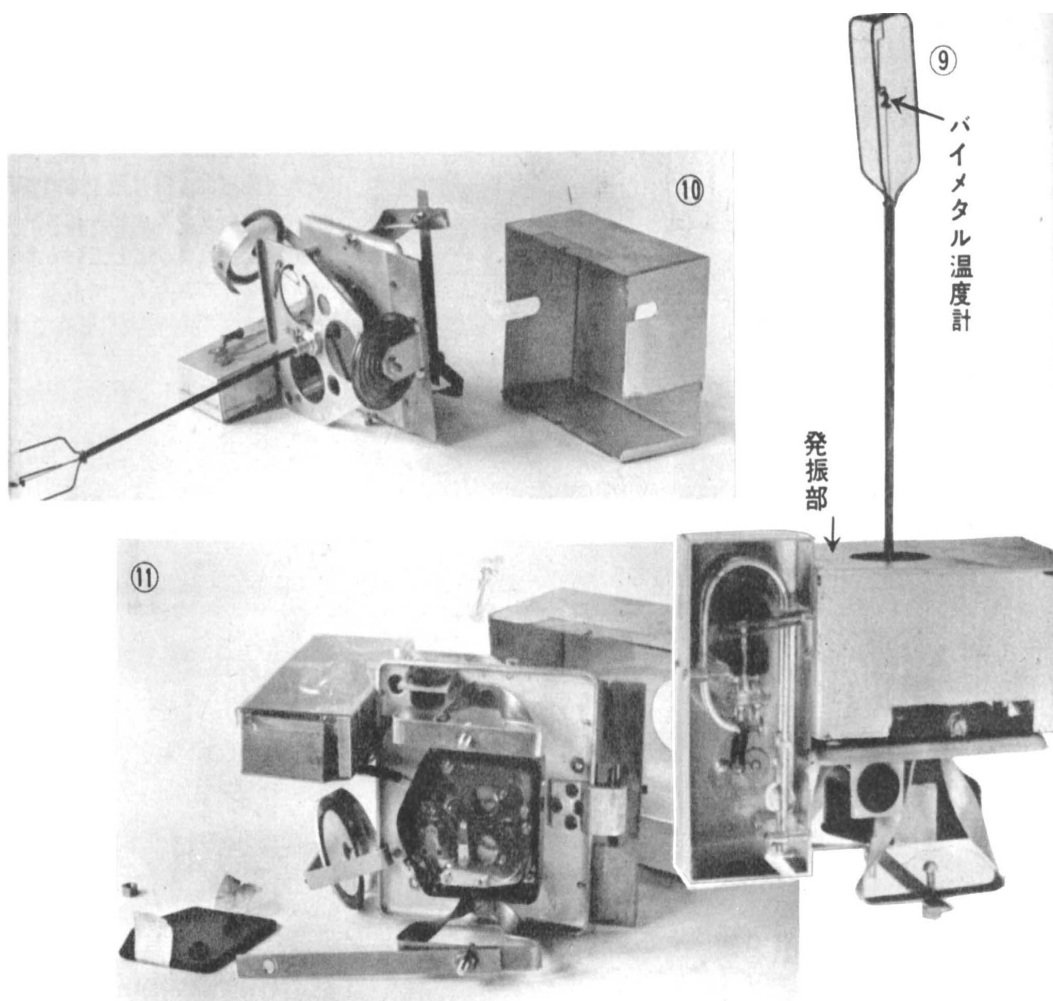


第 9 図 ソ連のゾンデ発振器

4. 時間間隔式ラジオ・ゾンデ

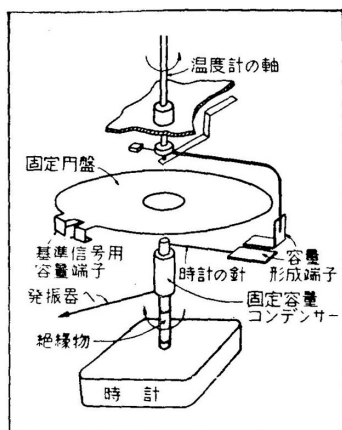
A. スイス

第 10 図の写真⑨はスイスのゾンデの外観を示したもので、上部に突出しているのがバイメタルで、他のゾンデに較べて非常に小形です。左側は発振器 (50 × 26 × 126mm³)、右側は計器部で、下面には時計があります。内部は写真⑩⑪に示してあります。⑩の左上方の円形のもは温度計で、毛髪の代りに牛の腸 (ゴールド・ピーター・スキン) を張ったものです。気圧は空盒を使っています。それぞれ指針の

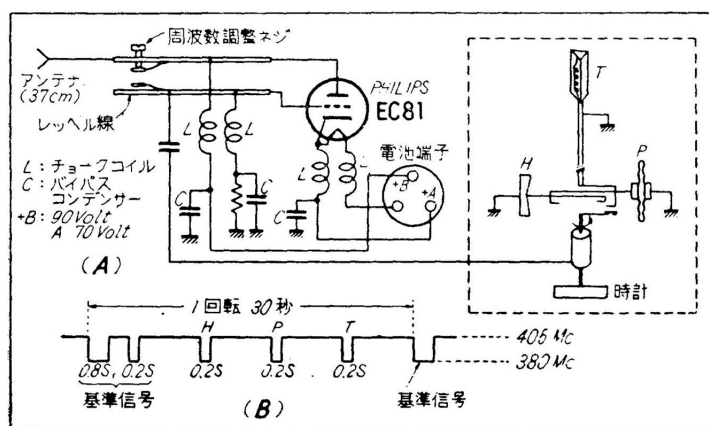


第 10 図 [スイス 時間間隔方式で、スパイラル状のバイメタルがみえる。]

先には容量形成端子がついています。測定原理は第 11 図に示してあります。例えば温度が変化するとスパイラル状のバイメタルのトルクが変化し、指針がその軸を中心に回転します。一方固定円盤にも容量形成用端子が 2 つあって、これが時間の基準となります。また時計の針の先にも容量形成端子があり、この針が 30 秒に 1 回転します。



第 11 図 スイスのゾンデの時計部分 (簡単のため温度計の針だけを示してある)

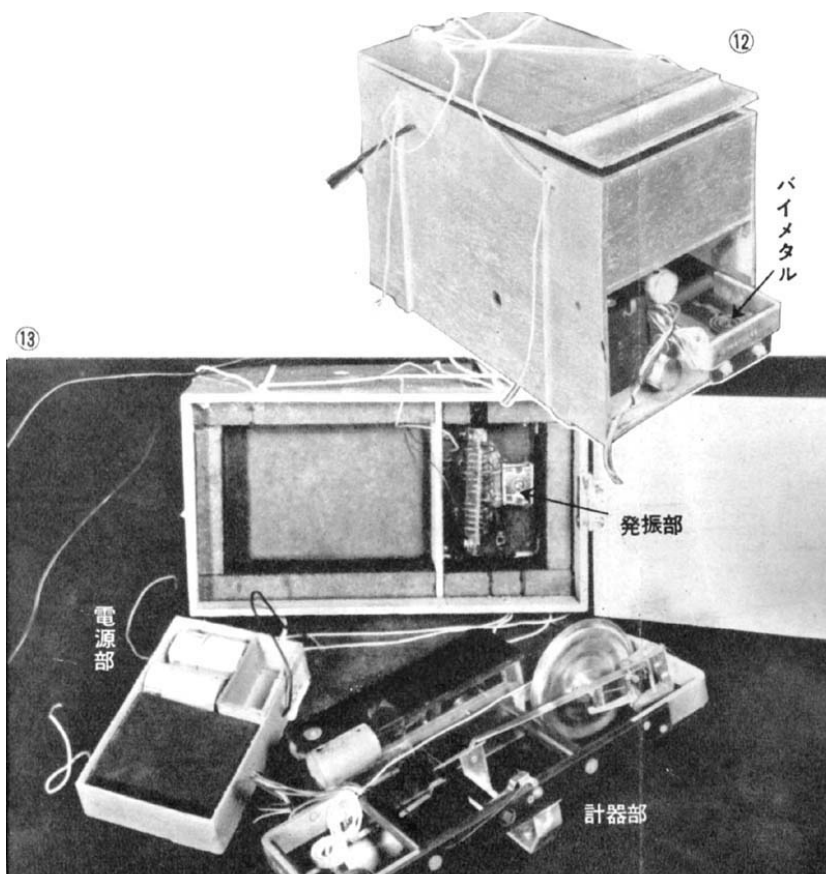


第 12 図 スイスのゾンデ

一方第 12 図の回路図に示すように気温、気圧、湿度の指針はアースしてあります。また時計の針は固定容量を通り発振回路のレッヘル線に接続しています。時計の針と各指針の先端あるいは円板の縁の容量形成端子と重なった時、アースとレッヘル線間の容量が変化し、発振周波数が変化します。針がどの容量端子とも重なっていない時は 405Mc ですが、どれかと重なると、周波数が 25Mc 低くなります。この関係は第 12 図に示してあります。基準の時間からそれぞれの指針と時計の針が重なるまでの時間間隔から P・T・H の測定値が分ります。電源は A7.5V, B90V のラクランシェ電池です。

B. インド

時間間隔式ですが、スイスと同じように時計を使っているのと時計の代りに風車を使っているのがあります。第 13 図の写真⑫は時計式の外観です。右下にみえるのがバイメタルで、1 個は普通のもので温度測定用、他の 1 つ



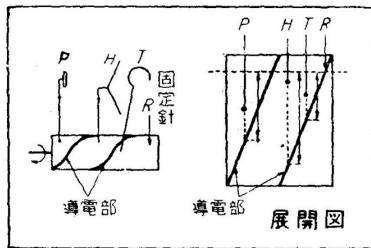
第 13 図 インド 時間間隔方式といって、P・T・H の測定値を信号間の間隔によって表わすものである。やや大きな木製の箱に入っている

は表面に木綿の布を巻きつけ、水を吸い上げさせる湿度測定用で、いわゆる湿球温度を測定しています。箱の内部の右側の部分が発振器で左側に電池がはいります。手前においてあるのが電池と計器で、計器の左端に 2 つのバイメタル、右端に空盒があります。中央側面には時計があり、各指針の接触している円筒を回転させます。

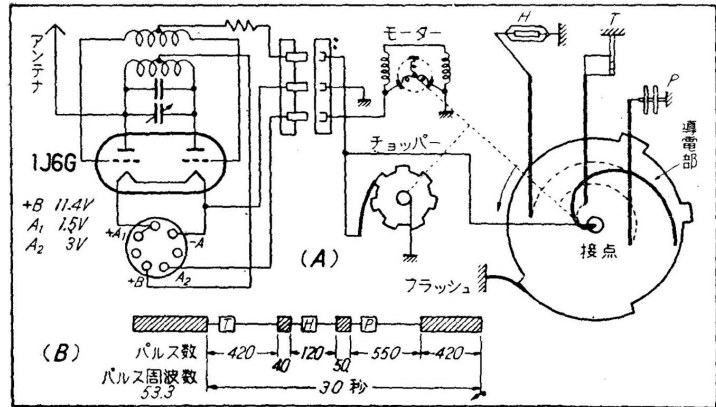
円筒は絶縁体で、その表面にらせん状に導体を埋め込んであります。この円筒面に各指針が接していて、気象要素の変動に応じて軸の方向に動き、円筒は等角速度で回転し、固定針の信号から各指針の信号までの時間は指針の位置によって定まります。この関係は第 14 図に示してあります。周波数は 73Mc と 78Mc のものがあります。

C. 東ドイツ、ポーランド

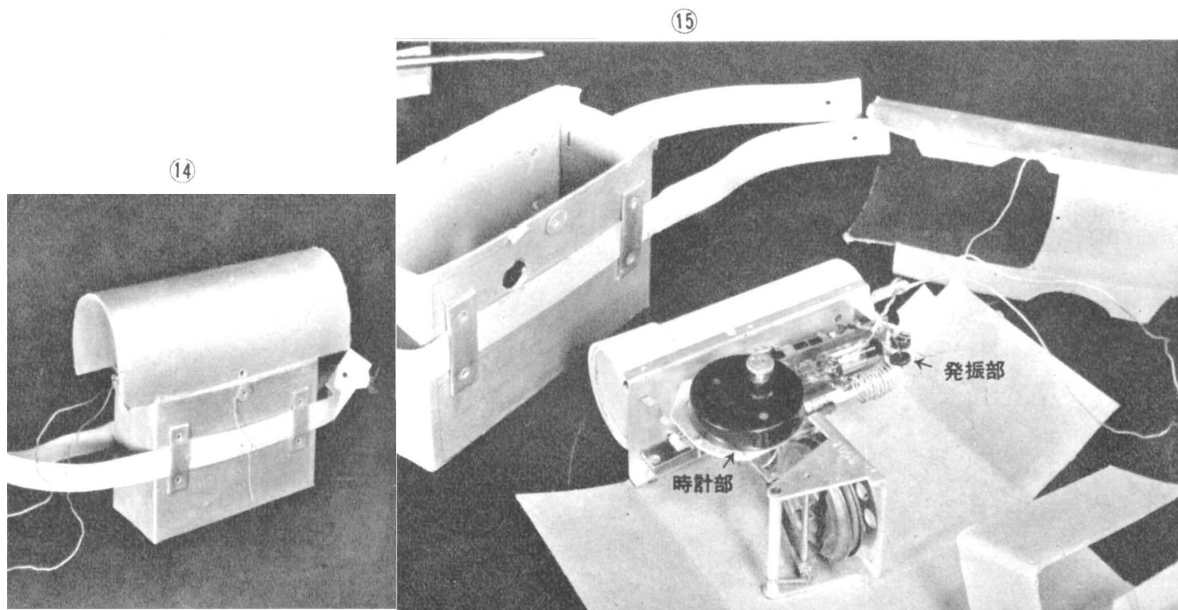
東ドイツのゾンデの外観は第 16 図の写真⑬に示してあります。上部の円筒形の部分が通風筒、下部が本体です。



第 14 図 インド・ゾンデの測定方式



第 15 図 フランスのゾンデ



第 16 図 東ドイツ スイス，インドと同じ時間間隔方式で，機構はインドのものと同じである．中央部に時計が見える

第 16 図の写真⑭は内部を示した所で，黒い円形のものが時計，その右方が発振器で，手前のわくの中に空盒がみえます．機構はインドのゾンデとほとんど変わりありません．ただ湿度は毛髪を使って測定しています．周波数は約 27Mc です．

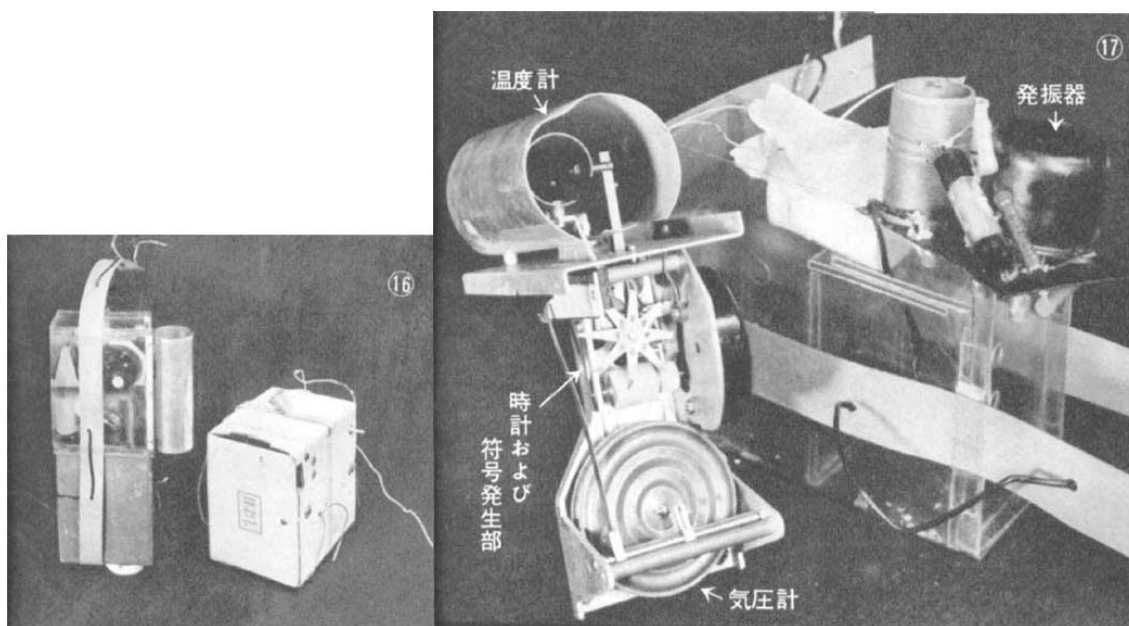
ポーランドのゾンデは第 17 図の写真⑮の左側です．内容は東ドイツのものと同じで，東ドイツを真似て作ったような感じです．

5．パルス数変化方式

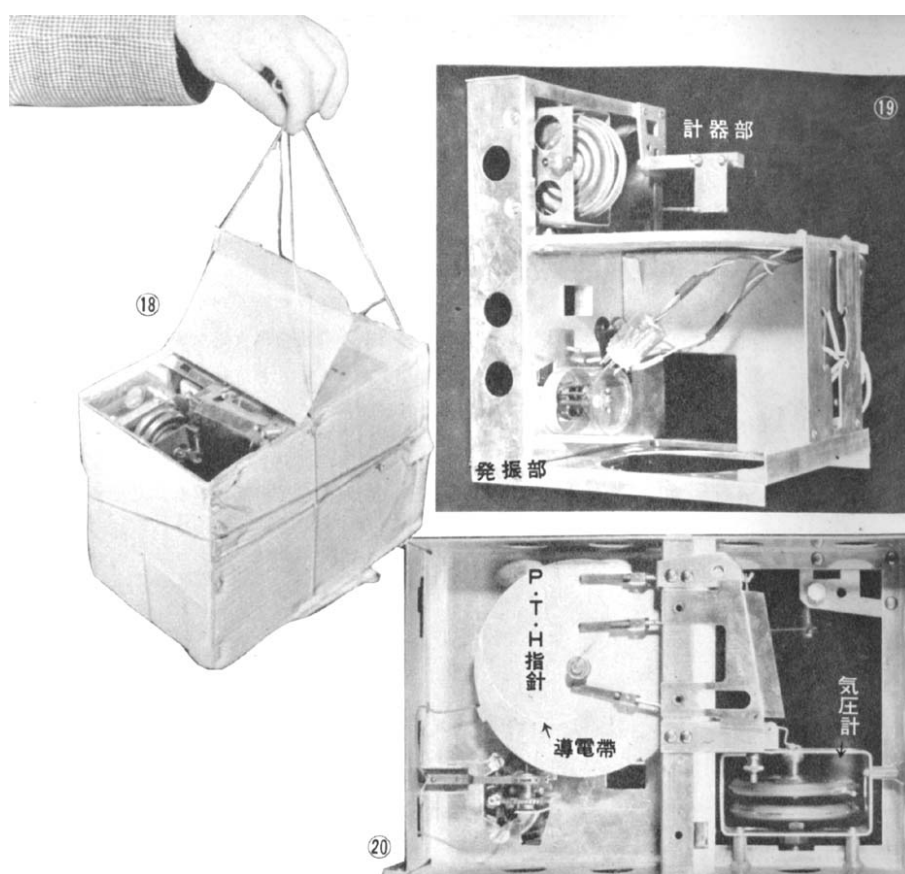
A．フランス

第 18 図の写真⑯はその外観です．白い段ボール製の箱に収容されています．その箱の口が開いている所が通風筒の役をしています．写真⑰が内部を示したもので，左後方の長方形の板がバイメタル，手前に空盒がみえます．湿度計はゴールド・ピータースキンを使っています．第 18 図の写真⑳はこの裏面を示したもので，左側の円盤は表面がアルマイト加工して絶縁されたアルミ板でモーターで回転する．その表面にはスパイラル状の線があり，この部分はアルミニウムが露出していて導電性になっています．その上に接している 3 本の指針がそれぞれ P・T・H の指針です．

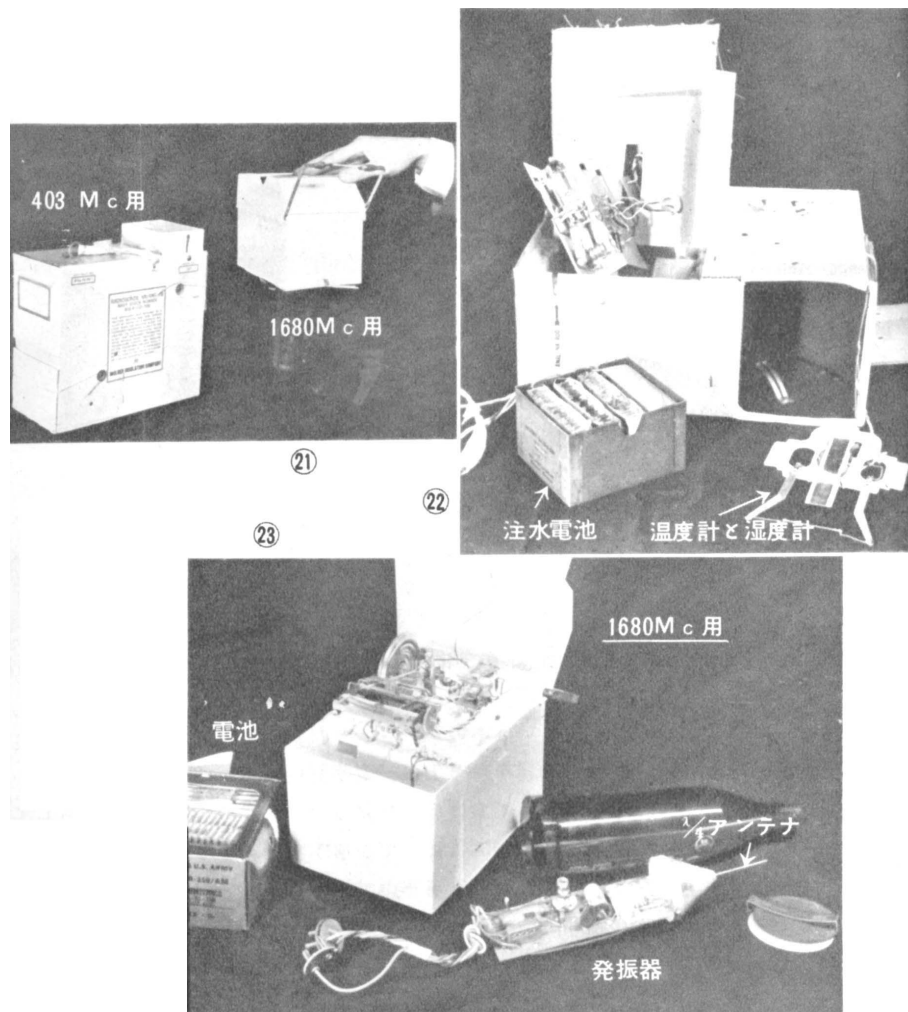
また円板の縁のアルミニウムが露出している 3 ケの突出部があります．この部分は回転中に固定ブラッシュに接触します．



第 17 図 ポーランド・オランダ 写真⑬の左がポーランド、右がオランダのものである．⑬はポーランド・ゾンデの内部で時間間隔式である．オランダのは米国と同じ方式



第 18 図 フランス これはパルス数変化方式といって、時間間隔式の変形である．ダンボール箱におさまられた、割合簡単なもので、周波数は 28Mc を使っている



第 19 図 アメリカ 変調周波数方式で、1680Mc と 403Mc の 2 種類がある

第 15 図の回路図に示すように針が線を通過するとグリッドはコイルを通してアースされるので発射電波は無変調の A_0 電波となります。またブラッシュが円板の縁に接している時も同様です。何れの針も線の上になく、ブラッシュも円板に接していない時はモーターで回転するチョッパーで電波が断続され、 A_1 電波が出ます。図解してあるように基準の A_0 電波から気圧、気温、湿度の指針が線に接触するまでのパルス数を数えれば測定値が分ります。パルス数は円板が 1 回転する間に 1660 で、平均 0.2°C 、2mb、0.5% の T・P・H の変化がパルス数 1 つの増減に相当します。

周波数は 28Mc 電池は 3V(モーター)1.5V(A)144V(B) で乾電池を使っています。

4. 変調周波数変化方式

A. アメリカ

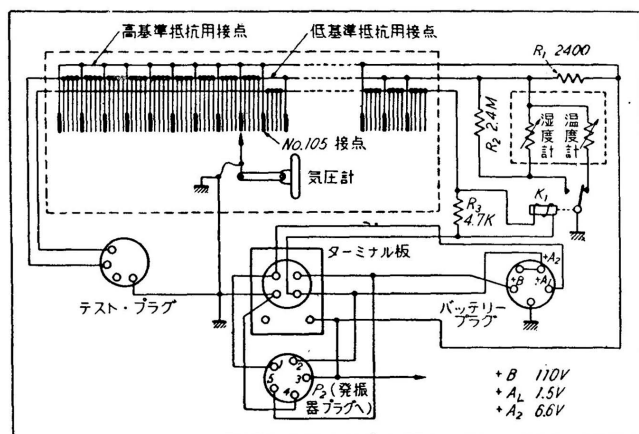
アメリカは周波数 1680Mc と 403Mc を使っています。1680Mc のものは GMD-1 方向探知機で測風するもので、403Mc は等感度方向探知機で測風観測を行います。ゾンデとしてはほとんど同じ方式のものです。1680Mc のゾンデの底部には日本のゾンデと同じ形の発振器がついていますが、写真にはよく写っていません。手前上方に突出しているのがサーミスター湿度計です。

第 19 図の写真②③ はその各部分を示したものです。電気湿度計を収めた容器は使用前に長い間露出しておくとも吸湿性物質が流れ落ちてしまうので密封してあります。実際にはゾンデ本体の収容箱の上部に取りつけます。

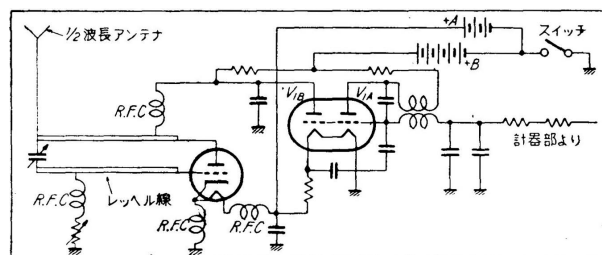
左は注水電池、その右は本体の内部で空盒気圧計と切換器、その右が発振器で右端の部分がアンテナです。

サーミスターや電気湿度計は温度、湿度が変化すると抵抗値が変化します。これをブロッキング・オシレーターのグリッド抵抗として使えば、温度や湿度の変化が繰り返し周波数の変化になります。気圧は空盒で測定するのです。

が、温度と湿度の測定の切り換えも兼ねています。第 19 図の写真㉓の空盒の手前にあるのが切り換え器で、プラスチックの表面に接点がプリントしてあります。この上を空盒の針が動いてサーミスターと湿度計が切り換えられます。その機構は第 20 図に示してあります。接点上に針がない時はサーミスターが回路に接続されます。接点は湿度計用の接点と基準の固定抵抗用の接点があります。固定抵抗は周波数のずれを監視するためにあります。湿度はある程度以上気圧が下ると測定されなくなります。



第 20 図 アメリカのゾンデの計器部



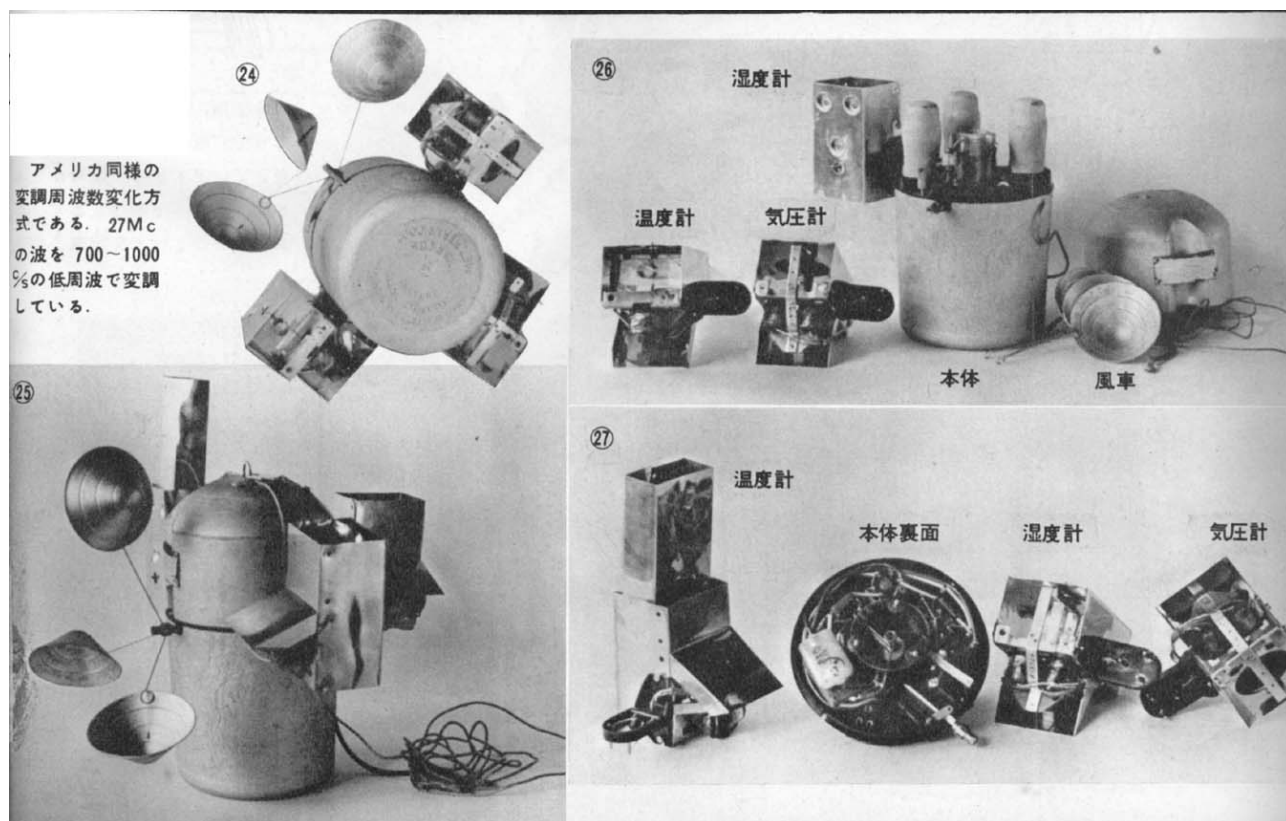
第 21 図 アメリカのゾンデ (403Mc 用)

気圧は何番目の接点は何ミリバールに当るかを予め検定しておけばよいわけです。

地上では受信、検波した後、記録機に周波数を記録して測定します。発振器は日本のものとほとんど同じで、ただ変調管に 5785 を使っています。

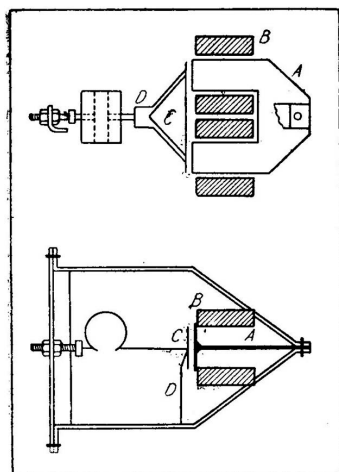
403Mc のゾンデの内部は写真㉔に示してあります。上部が発振器で、手前左が注水電池、右はサーミスターと電気湿度計とそのホルダーです。発振回路は第 21 図に示してあります。

B. イギリス

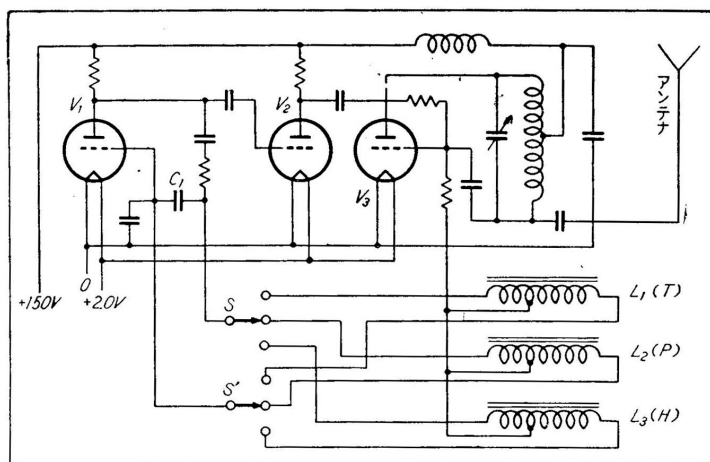


第 22 図 イギリス アメリカ同様の変調周波数変化方式である。27Mc の波を 700~1000% の低周波で変調している

側面には切り換え用風車と湿度計，気圧計，湿度計とその附属部品がついています．第 22 図㉓ はバイメタル，空盒等が通風筒の内側にみえます．風車や温度計などは取りはずしができるようになっています．第 22 図の写真㉔ は左から温度計，気圧計，湿度計だけついた本体，風車を示しています．第 22 図の写真㉕ は温度計，本体の裏側，湿度計，気圧計を並べてあります．



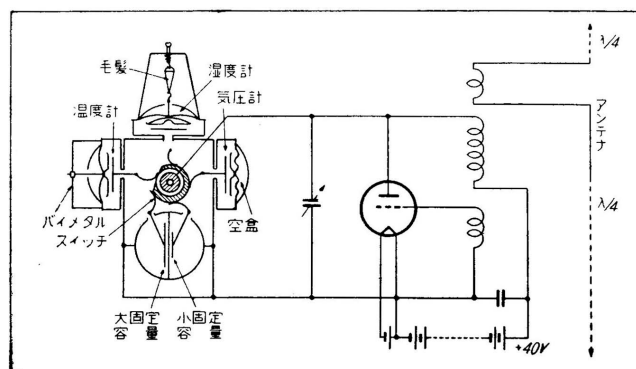
第 23 図 イギリス・ゾンの温度計機構図



第 24 図 イギリス・ゾンの回路図

測定要素の変化により低周発振回路の L を変化させて，その周波数を変えます．例えば第 23 図に気温測定部の断面図を示してありますが，バイメタルの先端は磁気回路の一部をなす薄い誘磁率 (μ) の大きい金属 C に連結していて， C は温度の変化によってバイメタルの先端とともに左右に移動します． A はやはり C と同じ種類の薄い金属 6 枚からなり， C と共に磁気回路を形成します． A と C の間隔を l_0 ， AC の磁気回路の長さを l_i とすると，インダクタンス L は

$$L = \frac{C}{\frac{l_i}{\mu} + l_0} = \frac{C}{l_0} \left(\frac{l_i}{l_0} \ll 1 \right) \quad \text{第 25 図 フィンランドのゾンデ}$$



となり， L は l_0 に反比例します．気圧計，湿度計も同じ機構です．この 3 つのコイル (L_1, L_2, L_3) は風車で動作するスイッチで順次切り換えられます．回路は第 24 図に示してありますが， V_1 は低周波発振管で周波数は 700 ~ 1000 c/s， V_2 はバッファ， V_3 は高周波発振管で，周波数は 27Mc． V_1, V_2, V_3 とともに CV1586(または HL23) を使っています．

地上では受信・検波し，低周波の出力をオシログラフへ送り，ブラウン管にリサージ曲線を描かせて，その時の掃引周波数を測定します．

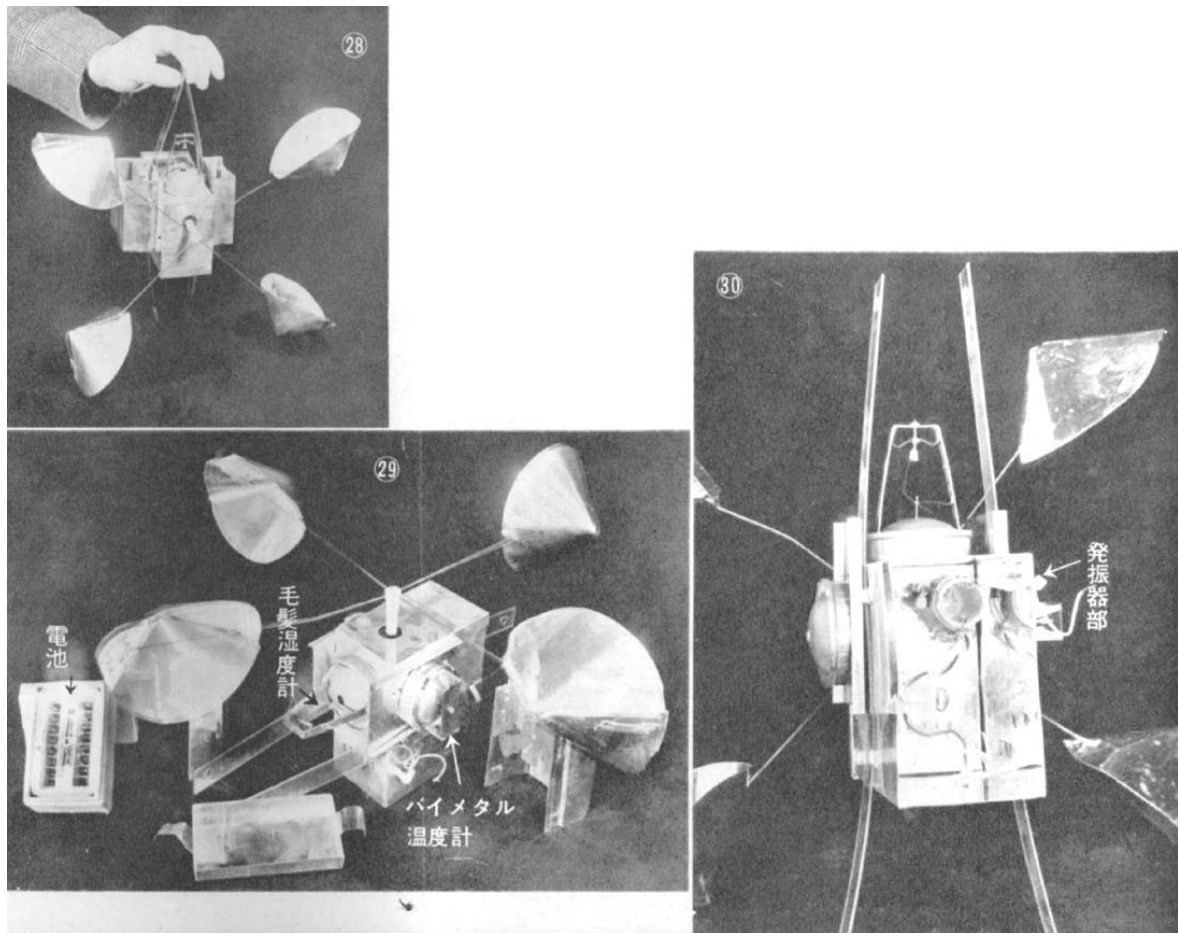
5. 搬送周波数変化方式

A. フィンランド

第 26 図の写真㉖ に示すように小型で最も軽いゾンデです．写真に示すように切換えには風車を使っています．

測定はバイメタル，毛髪，空盒で行ないます．本体の上部に突出しているのが毛髪，両側面にバイメタルと空盒がついています．空盒，バイメタル，毛髪はそれぞれコンデンサーの可動片に連結していて，その動きがコンデンサーの間隔を変化させます．

第 25 図に示すようにこれらの 3 つのコンデンサーと 2 つの基準コンデンサーが風車によって切り換えられ，交互に発振回路に挿入されます．基準コンデンサーはそれぞれ 24.0Mc と 25.6Mc の周波数を出し，P・T・H のコンデンサーは 23 ~ 26Mc の間を変化します．



第 26 図 フィンランド この国だけ搬送波周波数変化方式を使っている．各国中で最も軽いもの

写真②はバイメタルの通風筒をとりはずした所で，左側に電池が置いてあります．電池は Pb 酸電池で B38.4V，A2.4V です．

6．エコー・ゾンデ

前にもちょっと触れましたが，上空の風を測定するにはゾンデから発射される電波を方向探知機で追跡し，その方位角と仰角の変化から計算するレーウィン・ゾンデ方式と，反射板を釣るした気球を飛ばし，その仰角と方位角と気球までの直距離から風を計算する方式があります．

レーウィン・ゾンデ方式は等感度方向探知機を使って 400Mc のゾンデを追跡する方式と，自動追跡型方向探知機で 1680Mc のゾンデを追跡する方式があります．日本では現在 1680Mc のゾンデで観測しています．この方が 400Mc の方式よりずっと精度がよいのです．

レーダー方式はレーウィン・ゾンデ方式よりも精度がよいのですが，遠方に流されると反射電波が弱くなり測定ができなくなくなります．

日本で最近作られたエコー・ゾンデというのは，レーウィンとレーダーの両方の長所を持ったもので，地上から 1680Mc のパルスを発射し，気球に釣るしたトランスポンダーがこのパルスを受信して，直ちに地上にパルスを送り返します．(ピーク約 3 ワット繰り返し周波数 500%) 送信パルスと返信パルスの時間から気球までの直距離を求め，方位角，仰角とから風速を計算できます．将来このトランスポンダーを簡単にして送信を 1 本の真空管で行なえるようになった時に本当の意味のエコー・ゾンデとなるわけです．

(『無線と実験』1958 年 5 月号)