

世界のゾンデ(IV)

関 口 理 郎*

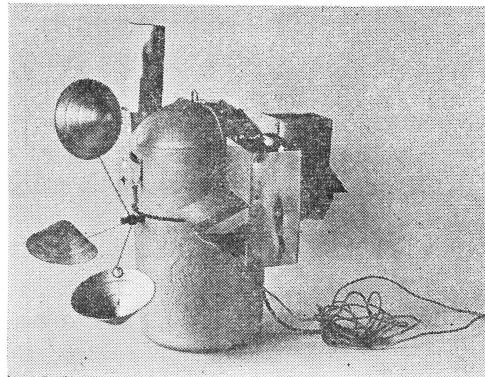
I. イギリス

最近イギリスではレーダー・ゾンデ⁽¹⁾とよばれるものを使うようになった。これは一種のレーウィン・ゾンデで、気象要素の測定部分は以前からイギリスで用いていた Kew ゾンデ⁽²⁾と殆ど同じであるが、その測風方式が従来のレーウィンとは異なりレーダーの原理に基づいている。等感度方式や GMD-I 方式のレーウィンは一種の方向探知機を使って発信器の方向を定めその高度角、方位角の変化及び上空の気圧、気温分布から求められる高度とによって発信器の位置を決定し、更にその時間的変化に依り風向風速を求めるのである。一方レーダー・ゾンデは地上の発信機からの送信パルスを受信すると同時に異なる波長の電波でこのパルスを地上に送信するトランジ・ポンダーを備えている。このパルスの往復時間を精密に求めて直距離を出し、更に GMD-I と同じ様な自動追跡装置を使って高度角、方位角を求めてゾンデの位置を決定する。この方式は従来のものと比較すると、直距離の測定精度が良ければ低高度角においては遙かに良い精度の風向風速を求める事が出来る。このレーダー・ゾンデについては佐貫亦男著気象学講座「気象機械(その1)」にくわしく紹介されているし、気象要素の測定方式は温度の測定に日射誤差の小さい細い白金線の抵抗温度計を使っている他は Kew ゾンデと大差はないので、ここでは Kew ゾンデの改良型について説明する。

測定方式はアメリカと同じで変調周波数変化方式である。Kew ゾンデは測定要素の機械的変位がハートレイ発振回路に含まれるコイルのインダクタンスを変化させその周波数を変えている。この方式は温度の変化によりインダクタンスが変動する欠点がありその補正を考えなければならずイギリス以外では採用されていない。しかしながら終始一貫してこの方式を育て上げ使用しているのは如何にもイギリスらしい進み方である。

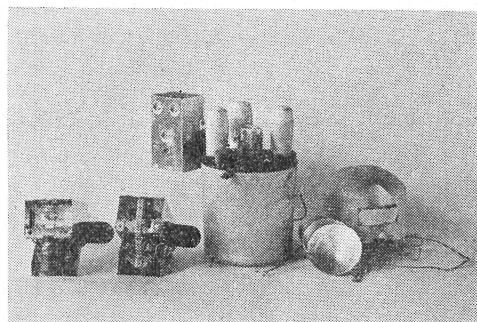
第1図は横から見た所である。気温気圧の測定エレメントは本体側面にそれぞれ取付けてある。本体は表面に反射塗料を塗ったボール紙で作られ、直径 130mm 高さ 95mm の円筒型である。その中に電池を入れ上部には発信器がはめ込まれる。発信器の基板は丈夫なベークライトで作られ、その周囲には互に 90° ずれた位置に 3 つの差込みがあって測定エレメントが取付けられる。また切換用の風車の回転軸は基板から外に突出している。発信器の上には本体と同じような紙の蓋がかぶせられる。全体

の重量は約 820g である(電池は不明)。



第1図 イギリスのゾンデの外観図。
右下の針金はアンテナ

第2図は本体の蓋と風車及び気温気圧の測定エレメントを取りはずした所である。バイメタルは幅約 15mm 長さ約 30mm 厚さ約 0.2mm で、二重通風筒の内部にある。二重通風筒はアルミニウム製で内側は断面 50×25mm² 高さ 140mm で、バイメタルの上縁迄で終わっている。外側は 48×58×100mm³ で、内側の通風筒と約 15mm 重なっている。



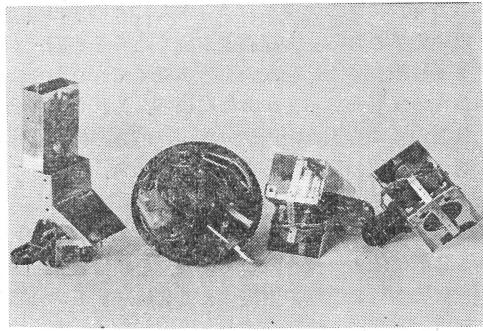
第2図 イギリスのゾンデの内部、左から温度計、気圧計温度計のついた発信器、分解した風車、ふた、アンテナ

る。温度測定に及ぼす日射の影響は相当大きいと思われるが、補正是行っていない。Scrase⁽³⁾ の理論的な計算に依ると 20km の上空で最大約 6 °C の誤差が生ずる事になる。気圧計は直径 43mm の空盒 1 個を用い、やはり通風筒をつけて直接外気にさらしている。温度計は 15×5 mm² の長方形のゴールド・ピータース・スキンを用い上方に雨よけをつけて通風筒の内部に固定される。各測定部のコ

* 気象庁高層課

イルには通風筒の一部で作られている雨よけをかぶせてある。

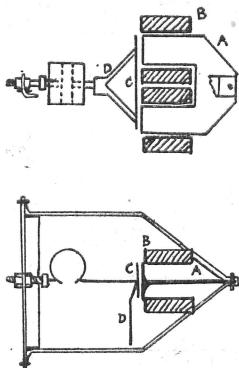
第3図は左から気温測定部、発信器の裏面、温度測定部、気圧測定部を示す。それぞれの測定部分には3本足の差込みがついているがこれはそれを本体に固定すると同時にコイルを発振回路に導くためのものである。



第3図 イギリスのゾンデの発信器の裏面と冬要素の測定部分、左端から重通風筒のある温度計、発信器の裏面、温度計、気圧計。

発信器のベークライトの縁に突出しているのは風車の回転軸であり、中央の回転子と歯車で連結している。

第4図は気温測定部の断面図を示した。バイメタルの先端は磁気回路の一部をなす薄い *mumetal* (誘磁率 μ の極めて大きい金属) *C* に連結していて *C* は温度の変化



第5図 イギリスのゾンデの温度計の断面

に依ってバイメタルの先端と共に左右に移動する。*A*は矢張 *mumetal* の薄片6枚から成り *C*と共に磁気回路を形成する。*A*と*C*の間隔を *l_a* とし *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

$$L = \frac{C}{l_i/\mu + l_a} = \frac{C}{l_a} \left(\frac{l_i}{\mu} \ll l_a \right)$$

となる。従って *L* は温度の変化と共に変化する。気圧湿度も同様に空気、ゴールド・ピータース・スキンの変位に依る *l_a* の変化に依って *L* を変えていく。これらのコ

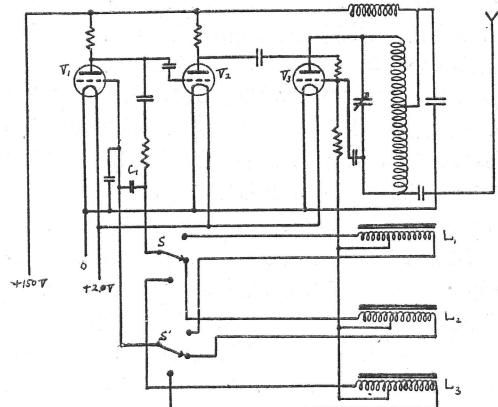
イルは第6図の配線図が示す様に発振回路に接続されるのでその時の温度、気圧又は湿度に対応した周波数の電気振動が作られる。

それぞれのコイルから導かれた回路は風車に依って回転する回転子の切換スイッチによって順次回路に挿入される。地上附近ではこの回転子は約20秒で1回転する。成層圏に達すると風車の効率が悪くなり約1分で1回転する。

日本のゾンデの区別符号に相当する物は無く3つの要素の信号が連続的に繰返される。それぞれの変化の特性から判断して対応をつけているようである。

検定の時は各要素を本体からはずして検定槽に入れ発信器とリード線によって接続する。気圧は常温の検定を行い、更に50°～60°Cにおいて300, 200, 100mbの検定を行う。常温と低温の検定値の差を統計的に求めた補正表と比較し、個々のゾンデの低温補正の値を定めている。湿度は100, 70, 40, 10%の空気を交互に検定槽に送り込んで24個ずつ検定している。

発信器の配線図は第5図に示してある。*V₁V₂V₃* は同じタイプのチューブで以前は *HL23* を用いていたが、現



第5図 イギリスのゾンデの配線図、*L₁* *L₂* *L₃* は気象測定部のコイル。SS¹ は切換スイッチ

在は *CV1586* を用いている。*(Ep150V, Ip0.05amp Ef 2.0V Eg-1V, gm1500Ω)* *V₁* は気象要素のコイル及び *C₁* と共にハートレー発振回路を形成している。周波数は 700～1000C.P.S. である。*V₂* は *a-f* 回路のカップリングを防ぎ周波数を安定させるために用いている。*L₃* は *r-f* の発振管で *a-f* のグリッド変調を受けている。発信周波数は 27 メガサイクルである。

地上では受信器が受信、検波し、低周波の出力をオシログラフへ送る。一方地上の精度の良い低周波発振器の出力を同時にオシログラフへ送る。この2つの出力によりプラウン管にリサーチ曲線を描かせる。周波数が一致すれば一つの閉じたループを描く。その時の低周波発振器のダイヤルから周波数を読み取れば検定値と比較し

て上空の気温その他が求められる。この操作はすべて観測者が行うので自記装置は使っていない。(レーダー・ゾンデの場合は総て自動化されている。)

II フィンランド

Väisälä sonde の名によって世界に知られているようにその製作と改良には Väisälä による所が大きい。このゾンデについての最初の報告⁽⁴⁾は1936年に出されているが、今日迄の20年間にこのゾンデ及び附属機器は原理的には殆ど何の変化もなく、唯技術的な点で若干の改良がなされたに過ぎない。主な改良は成層圏での太陽輻射誤差に対する補正が施される様になったことである⁽⁵⁾。このゾンデの取扱いについては1947年にハンドブックが出ている。

フィンランドのゾンデの特徴は機構が簡単で取り扱いが容易であること、極めて軽量であることがあげられる。ゾンデの重量が少なければ小型の気球を使い少し浮力しか与えなくても比較的高高度迄到達させる事が出来る。フィンランドにおいては 350gr の気球を用い 20km ~ 26km 程度迄観測しているようである。尙日本では 600gr と 800gr の気球を使用している。又測定方式は他のゾンデと異なり搬送周波数変化方式である。この方式を採用しているのはフィンランドだけである。

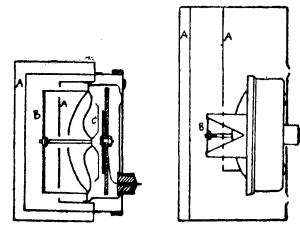
最大の欠点は日射のために生ずる誤差が大きいことである。後に述べるようにバイメタルは比較的小型のものを使っているが、日射覆いが不完全なため 20km 以高では誤差は相当に大きい。われわれの風洞実験の結果によれば、その値は日本のゾンデの約 2 倍程度と思われる⁽⁶⁾。測定値には補正を施しているが補正值の大きい事は精度の上からいってあまり望ましいことではない。又搬送周波数を変えていることは測定すべき気象要素の変化による以外の原因によつても周波数がずれる可能性があり、同様に精度を悪くする。しかしこれらの誤差は出来得る限り除かれるように改良され、又測定値にはその補正が施されているようである。従って経験の深い者が注意深く観測を行えば可成精度の良い測定も可能であろう。

総重量は約 290gr で、その内電池が 125gr である。発振器切換え器及び電池は直方体のアルミニウム製容器 ($50 \times 85 \times 105 \text{ mm}^3$) に収められる。測定エレメントの切換に使う風車はこの容器の側面に突出していて内部の切換用スイッチに接続している。又バイメタルと空盒は相対する側面に突出している。共に日射の影響を防ぐためにアルミニウムのシールドで覆われている。容器の上面からは温度計の毛髪が突出している。

温度計のバイメタルの大きさは $38 \times 15 \times 0.4 \text{ mm}^3$ の長方形の板状の物でその表面は良く磨かれている。バイメタルの 4 つの端は厚さ 0.1 mm の洋銀製のホールダーに依つてフレームに取付けてある。フレームは本体に固定されたシールド・ボックス（電気的に外部と絶縁している）

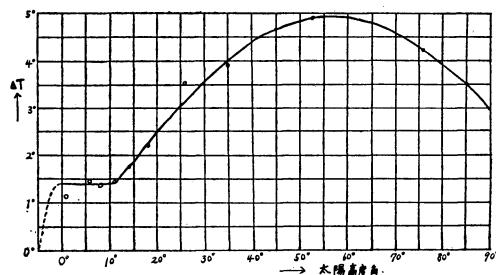
に取付けられる。従ってバイメタルと他の部分の熱的絶縁は不充分と考えられ、気温測定における誤差の原因となる可能性がある。日射覆いは厚さ 0.1 mm のアルミニウム板で作られ、バイメタルの外側は二重になっている。又バイメタルとシールドの間にも小さな日射覆いがありシールドからの反射を防いでいる。日射覆いは比較的小型でそれ自身の昇温がバイメタルに及ぼす影響は小さくないと思われる。太陽高度が高くなると直射光がバイメタルに当り易く、又太陽高度が低くても日射覆いの内面からの反射光がバイメタルに当る。これらを総合すると日射の為の昇温は相当に大きく、前述の様に日本のゾンデの 2 倍位の値になるものと思われる。

第 6 図はフィンランドのゾンデの日射誤差を示したものである。即ち上昇速度が 280 m/sec の時の 100 mb における日射に依る昇温を示している。これは昼夜の連続観測を何回か行い上空の気温の日変化は無いものと仮定して昼夜の気温の測定値の差から推定して求めたものである。実際の観測に於てはこの様な実験観測及び若干の理論的考察を基にして特別の計算器を作り、上昇速度太陽光度角及びゾンデの高度の函数として補正值を求めている。



第 6 図 フィニッシュ・ゾンデの気温測定部。A: 二重日射シールド。B: バイメタル。C: コンデンサー可動プレート

温度の変化に依るバイメタルの動きはその中央に取付けられたタップに依つて発振回路の一つのコンデンサーの可動プレートを動かしてその容量を変え、従つて発振周波数を変化させている。第 7 図は温度計の部分の略図である。

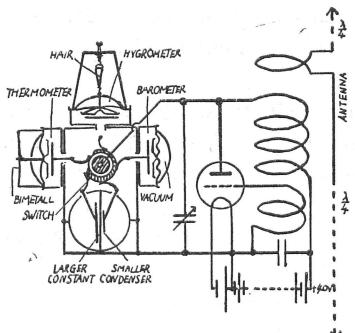


第 7 図 フィニッシュ・ゾンデの日射誤差
ΔT は 100 mb , 280 m/sec の上昇速度の時の
値を示す。

気圧計は空盒とコンデンサーに依って構成されている。気圧が減少すると空盒の動きはタップに依ってコンデンサーの一つの可動プレートを他のプレートに近づけ容量を増加させ周波数を減少させる。バイメタルと同様に日射よけシールドが付けてあるが外側に一枚あるだけである。

湿度計は毛髪をサポートとコンデンサーの可動片の各々に付いているフックの間にV字形に張ってあり、毛髪の張力とスプリングが釣合った位置で可動片が静止する様になっている。

測定方式は前述の様に搬送周波数変化方式である。即ち気温、気圧、湿度の変化はコンデンサーの容量の変化に変換され、従って発振周波数が変化する様になっている。発振器及び計器の配線図は第8図に示してある。気温気圧湿度の変化に応じて容量の変わる3つのコンデン



第8図 フィニッシュゾンデの配線図

サーの他に基準の周波数の発振用として大小2つの固定容量のコンデンサーが附属している。この2つのコンデンサーが発振回路に挿入されている時は24.0と25.6M.Cの周波数の電波が発射される。気象要素の電波の周波数は大体23~26M.Cの間を変動する。

ゾンデから地上に到達した電波は周波数の変化に応じて局部発振回路のコンデンサーの容量を変えて同調を取り零ビート音が聞える様に調節して受信される。コンデンサーの容量を調節するハンドルは又記録用の指針をも同時に移動させる。この指針は時計仕掛けで、回転する円筒の表面に巻いてある記録紙上に気象要素の記録を書く。この記録紙から特別の読み取り装置で2つの固定コンデンサーの周波数のズレを補正し乍ら記録値を読み取り地上の検定と比較して測定値を求めるのである。電池はPb酸注液型のもので38.4V(B) 2.4V(A)である。

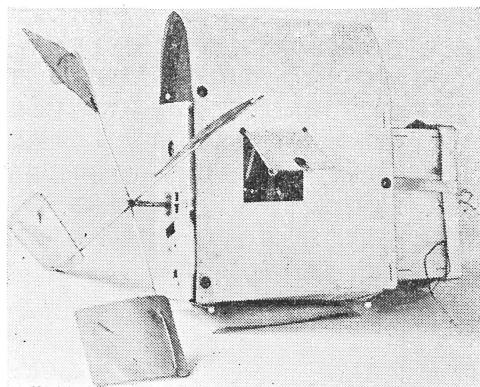
III ゾンデ

ソ聯のゾンデは製作者の名前を取って Moltchaoff ゾンデと呼ばれている。モルチャノフの最初の論文⁽⁷⁾は1928年に出ているのであるからその歴史は相当に古い。一昨年の春、秋田県の山中でソ聯のゾンデが発見されたが⁽⁸⁾、シベリヤで飛揚したものが落下したものらしい。

このゾンデを調査した結果、その後飛躍的な改良はなされずに今日に至っている様である。消耗品として出来得る限り経済的に設計されているが、性能の点では日本のゾンデと比較して可成貧弱である。他の型のゾンデが使用されているか否かは詳かでないが筆者の知る限りではルーティン観測には尙モルチャノフ・ゾンデしか使われていない様である。

測定方式は符号式で切換えには風車を使っている。日本やドイツのゾンデは各要素の符号が独立に送られるが、このゾンデは気温の符号を一部変化させる事に依って気圧温度を表現している。考え方としては仲々面白いが各要素の符号の数は少なく気温は72符号、気圧は38符号、湿度は10符号しかない。従って1符号の幅は大きく、気温、気圧湿度の符号の幅は各々1.8°C以上、13~100mb以上、8~12%であって精度はかなり悪い。

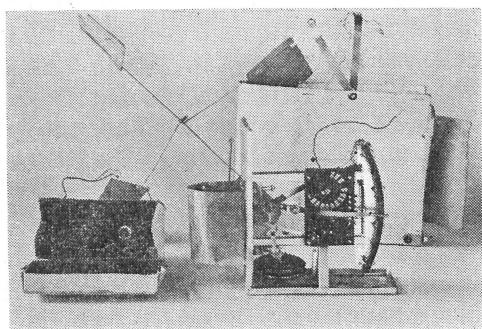
第9図は外観の写真である。下面からは切換用の風車が突出している。写真は横倒しになっているので風車は左に見える。写真の上部には通風筒の出口が見えるが、この中にはバイメタルと毛髪がある。正面の窓は内



第9図 ソ聯ゾンデの外観、上昇する時
は風車の出ている方が下になる。

部点検用の窓である。写真の右方（即ち飛揚の際には上部に）見えるのは発信器及び電池の箱である。外箱は（165×195mm²）白いボール紙で作られている。通風筒は箱の一部を代用している。開口面積は70×80mm²である。

第10図は箱から発信器及び電池と計器部を取り出した所である。計器部は図に示す様にアルミのアングルに取りつけられている。バイメタルの部分には更にアルミニウムの日射シールド（5.3×60×80mm³）がついている。その上部にみえる棒は毛髪を張るサポートである。右端の弓形の部分は温度計と気圧計の接点板、中央のベークライト板上の円形の部分は接触板で中央の針は風車が4回転する間に1回転する。ベークライト板の左下は温度計の接点板である。このベークライト板の背後には風車で回転する符号発生板がある。



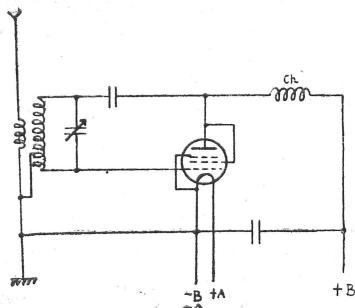
第10図 ソ連ゾンデの内部、左は電池と発信器、右前は計器部

バイメタルは $0.5 \times 35 \times 74 \text{ mm}^3$ の弧形のもので、動きをレバーで拡大している。又バイメタルの腕金部には一応熱絶縁を施している。バイメタルは直結式でないので凍結の危険がある。

又バイメタルの時定数は日本の物より大部大きいようである。

気圧計は60mm中の空盒で、バイメタルを着けて低温における温度補正を行っている。特性は気圧とリニヤになっているから高々度での精度は悪いと思われる。下層では1符号の幅が 100mb以上であり上層の符号の幅の小さい所でも 13mbになる。湿度計は毛髮 10 本を直線的に張りその伸縮をそのまま拡大している。倍率は適宜調節出来る。1符号の湿度範囲は 8~12%である。

発信器は第11図の示す通りで、ハートレー発振回路を用いた簡単なもので周波数は 10~15MC/s と思われる*。



第11図 発信器の配線図

電波型式は A₁ で B 電源を断続する事に依って電波を断続している。規格は E 3V, E_p 67.5V である。電池は注液型を使用している。

引用文献

1. Mullard Ltd., 1953 : The Radar Sonde, Century House, Shaftesbury Avenue, London,

* 昨年バイエルンの国際比較観測に使用したものは 200mc であった。

W. C. 2,

2. Dymond, E. G., 1947 : The Kew Radio-Sonde, Proc. Phy. Soc. 59.
3. Scrase, F. G. 1954 : Radiation and lag error of the meteorological Office radiosonde and the diurnal variation of upper-air temperature, Quart. J. R. Met. Soc. 80. p567.
4. Väisälä, V., 1936 : The finnish radio-sonde and its use, Societas Scientiarium Fennica, Commentisnes Physico-math. IX. 9. Helsinki, 14, 12.
5. Väisälä, V., 1941 : Den Strahlungsfehler oder finnischen, Mitteil. d. met. Inst. d. Univ. Helsingfors, Nr 47.
6. Tommila, M., Väisälä, V., 1947 : Handbook of Sounding by menas of the Finnish Radio-sonde, mettil. d. met Inst. d. Univ. Helsingfors No. 58.
7. Moltchanoff, P. A., 1928 : Zur Tecknik der Erforschung der Atmosphäre, Beitr. z. Phys. d. freien Atmosphäre, Bd. 14.
8. 宗像明夫, 島貫林治郎, 1954 : ソ連製 Radiosonde について, 高層測器分科会資料. No. 54-20.
9. Hayashi, E., Sekiguchi Y., Yada, A., 1956 : On Solar Raiation Error and its Correction of Japanese Radiosonde, 27, No. 3.

関西支部だより

(1) 12月の例会は恒例として京都で懇親会を兼ねて行うことになっている。31年度も12月15日に京都のセンター近くにある大和料理専門学校の大広間で京大助教授瀬野錦蔵博士から融雪の熱力学に関する特別講演を伺い、ひきつづいて近畿在住の会員約50名の懇親会が開かれた。

(2) 1月例会は昭和32年1月29日(火)神戸海洋会館(省線元町駅山側)で午前10時から開かれた。参加者は約百名。支部長の滑川京大教授司会の下に『海難と気象』に関して次の講演が行われた。

第1部 一般学術研究の部

東和丸遭難当時の気象状況	神戸海洋	長尾真也
12号台風に遭難した乾瑞丸の体験記	船長	上島久美
台風の進路予想	神戸海洋	川鍋安次
低気圧の発達について	神戸海洋	川鍋安次
アリューシャン低気圧について	神戸海洋	金谷光三
神戸の北風について	神戸海洋	井野英雄
海上の気圧傾度の予想について	姫路測	田口八雲

第2部 部外講演の部

海難に関する考察	神戸海上保安部	朝藤琢弥・早川音也
海難と気象	大阪商船	青山氏
北太平洋の気象	川崎汽船	小島末次郎
瀬戸内海の気象	関西汽船	原田氏
北太平洋の気象と航路選定について	山下汽船	檜垣原