

## 日射ゾンデ\*

嘉納宗靖\*\* 鈴木 正\*\*

## 要旨

下向き(全天)および上向き(反射)水平面日射量の高度分布を測定する目的で、日射ゾンデを試作し、その野外試験を兼ねて、約1 kmの高度までの水平面日射量の高度分布を測定した。その結果、晴天の場合には、下向き水平面日射量は高度が増加するにつれて、増加する傾向を示した。上向き水平面日射量は地上数十米の高さまでは高度とともに減少し、それ以後はほぼ一定値を示した。薄い積雲のある場合には、雲の下では、晴天の場合と殆んど同じ傾向がみられたが、雲頂付近では、上向き水平面日射量は高度とともに急に増加する傾向がみられた。下向き水平面日射量にはこのような急速な変化はみられなかった。下向き水平面日射量の測定精度は測器の動揺に大きく左右されることがわかった。

## 1. はしがき

現在、放射ゾンデによる水平面長波長放射量の高度分布の測定はわが国をはじめ、アメリカ、ソビエト等で定期的におこなわれている。水平面日射(短波長放射)量の高度分布の測定は長波長放射のそれに劣らず重要であるに拘らず、少数の研究観測例(Kondratyev et al. 1964, 1967; Paltridge and Sargent 1971)を除いて殆どおこなわれていない。

大気熱収支におよぼす放射収支の寄与がかなり大きいことは周知の事実である。この放射収支項のなかで、大気の加熱に寄与する日射の大気による吸収の大きさが最も不確かである。その主な原因はエアロゾルによる吸収の不確かさにある。このエアロゾルによる吸収は水蒸気による吸収と量において殆ど同程度で重要であるが、その光学的性質(複素屈折率)に依存するところが大きい(Robinson, 1966; Roach 1961; Möller and Dogers, 1970)。現在この光学的性質は十分に究明されていない。またエアロゾルの量およびその光学的性質も時間的、空間的に変動が大きい。このため、エアロゾルによる日射吸収の理論的評価が困難である。それ故、下向きおよび上向き水平面日射量の高度分布を直接測定し、それによって、日射の大気による吸収量(同時にエアロゾルによる吸収量)を測定することは、大気熱収支を究明するうえで重要である。

地表面および地表・大気系のアルベードを測定すること

とは、これらの熱収支の究明にとって重要であるが、露場等で測定される地表面アルベードの値は芝生等測定場所の極く狭い地表面の局所的特性に大きく左右され、その地域の平均のアルベードを測定するには不適當である。地上数百米までの高度における上向き水平面日射量は殆ど地表面からの反射日射量で、介在する大気の影響は殆どない。また、これらの高度では直径1~2 km程度範囲の地表面からの反射日射が測定される。それ故、日射ゾンデによるこれらの高度での上向きおよび下向き水平面日射量の測定から、その地域の地表面の平均のアルベードが測定できる。広域の地表・大気系の平均のアルベードは人工衛星から測定できるが、現在これらの測定はかなり広い地域(直径数百 km程度)の平均値に対応し、都市の大気汚染等による地表・大気系のアルベードの変動等「中間規模」のアルベードを測定できない。日射ゾンデによる水平面日射量の測定から推定される地表・大気系のアルベードは人工衛星で測定されるそれに較べて狭い直径数十 km以下の地域の平均値に相当するこの「中間規模」のアルベードである。一方、この「中間規模」のアルベードの広域にわたる平均値と人工衛星による値との比較から、人工衛星によるアルベードの測定値の検証が可能となる。

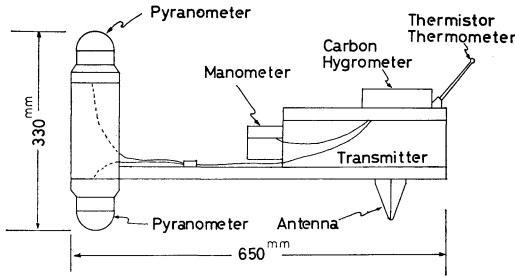
日射ゾンデが、その上に横たわる空気による日射の吸収が無視出来る位の高い高度に達すると、そこでの下向き水平面日射量の測定から、太陽常数を直接推定することが可能となる。

以上で、日射ゾンデによる水平面日射量の高度分布の測定の方法について簡単に述べた。この目的で、今回、

\* Solar Radiation Sonde

\*\* M. Kano and M. Suzuki 気象研究所

—1973年7月31日受理—



第1図 日射ゾンデ概観図

日射ゾンデを初めて試作した。この報告では、われわれの試作した日射ゾンデの構造、作動原理の概要、野外実験の結果および日射ゾンデの今後改良すべき問題点などにつき議論する。

2. 構造および作動原理

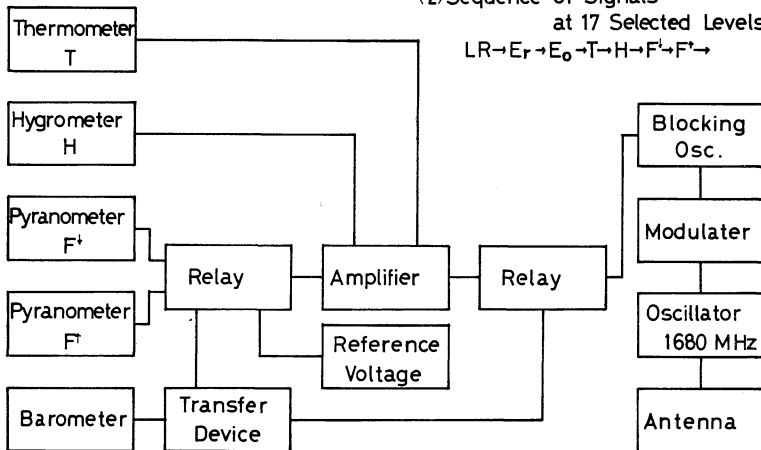
第1図に示されるように、試作された日射ゾンデは1.5 cm 角のアルミ・アングルを用いた65 cm×15 cmの細長い架台の一端に二つの水平面日射計が上向きおよび下向きに取付けられ、他端に温度、湿度、気圧センサーおよび発信機等がとりつけられたもので、全重量は約2.8kgである。水平面日射計の受光面は6角形の平板で、白色および黒色各々3板の3角形受光板が、それらの頂点を受光面の中心に置き、白黒交互に放射状に配置されたものである。このような配置は測定精度が入射光の天頂角に殆ど無関係である（いわゆる余弦特性が良い）とされている。

使用した日射計の感度は両方とも  $5.35\text{mV/ly}\cdot\text{min}^{-1}$  である。他端のスチロフォーム製の箱の中には増巾、発信、電源安定や切替の各回路および電池が收容されており、箱の下にはアンテナがとりつけられている。増巾器の入力抵抗は  $100\text{k}\Omega$ 、入力電圧は  $0\sim 10\text{mV}$  である。変調周波数は  $50\sim 1,000\text{Hz}$  で、搬送周波数は  $1,680\text{MHz}$  である。また箱の上部（蓋）に温度および湿度センサーそして側面には気圧センサーがとりつけられている。これらのセンサーは気圧高度の検証および各高度の温度や水蒸気量を測定する目的でとりつけられている。これらの測定から、各高度における日射の水蒸気による吸収を独立に理論的に評価することができる。

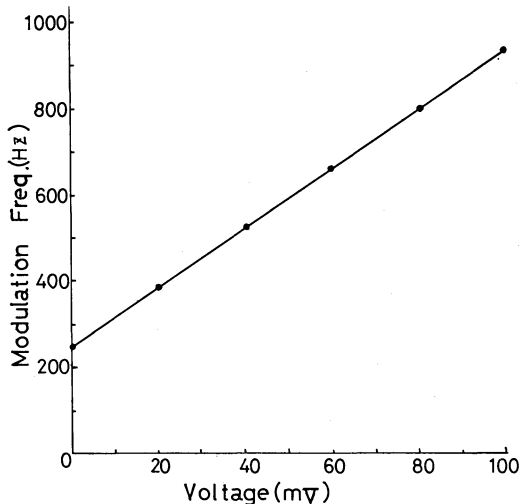
使用した気圧、湿度および温度センサーは各々次のようなものである。気圧センサー：気象庁仕様のP64型断続気圧計、湿度センサー：RSII69型レーウィンゾンデと同規格のカーボン湿度計、温度センサー：RSII69型レーウィンゾンデと同規格のガラス・サーミスターである。

日射ゾンデの作動原理の概要は第2図に示される。日射計の出力変化、温度計および湿度計の抵抗変化はプロッキング発振器によって  $50\sim 1,000\text{Hz}$  の変調周波数に変換される。この変調波は  $1,680\text{MHz}$  を AM 変調する。温度 ( $T$ )、湿度 ( $H$ )、下向きおよび上向き水平面日射量 ( $F^{\downarrow}$ ,  $F^{\uparrow}$ ) の四つの信号は電気回路により、 $T\rightarrow H\rightarrow F^{\downarrow}\rightarrow F^{\uparrow}\rightarrow\dots$  の順序で3秒毎に切換えられ、送信される。また17接点高度断続器によって、ゾンデが

- (1) Regular Sequence of Signals  
 $T\rightarrow H\rightarrow F^{\downarrow}\rightarrow F^{\uparrow}\rightarrow$
- (2) Sequence of Signals  
at 17 Selected Levels  
 $LR\rightarrow E_r\rightarrow E_o\rightarrow T\rightarrow H\rightarrow F^{\downarrow}\rightarrow F^{\uparrow}\rightarrow$



第2図 日射ゾンデの出力変換および送信系統図



第3図 日射計出力と変調周波数との関係

指定気圧面に達すると、信号がやみ、新たに温度、湿度の校正信号および増巾器の校正信号 (8.42mV, 0mV) の3信号が3秒間ずつ続けて送信される。この校正信号のあと、信号は再び上述の  $T \rightarrow H \rightarrow \dots$  の順序で送られる。

変調周波数  $f$  は、第3図に示されるように、放射計の出力 (mV) の一次関数として表わされる。すなわち

$$f = aV + b \quad (1)$$

ここで、 $a$  および  $b$  は定数で、使用した日射ゾンデでは、それぞれ 68.65Hz/mV および 248.89Hz の値をもつ。水平面日射量  $F$  ( $\text{ly} \cdot \text{min}^{-1}$ ) はその出力電圧  $V$  に比例する。

$$F = KV \quad (2)$$

ここで、 $K$  は電圧・放射量変換係数で、 $0.187\text{mV}/\text{ly} \cdot \text{min}^{-1}$  の値をもつ。

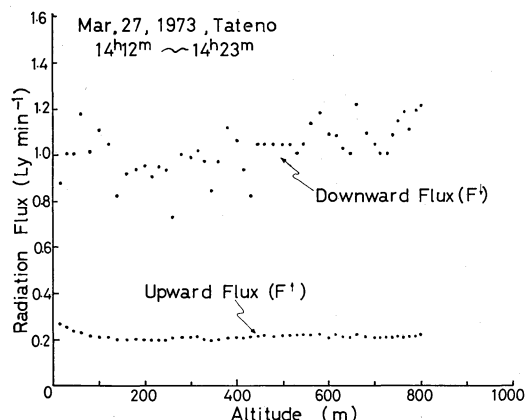
(1) および (2) 式から、

$$F = \alpha f + \beta \quad (3)$$

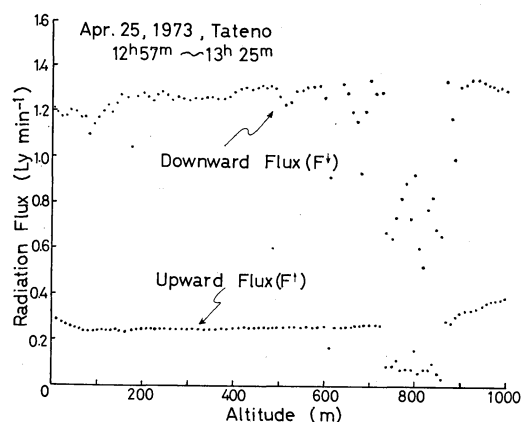
ここで、 $\alpha$  および  $\beta$  は定数で、それぞれ次のような値をもつ。 $\alpha = K/a = 0.00273\text{ly} \cdot \text{min}^{-1}/\text{Hz}$  および  $\beta = -bK/a = -0.68/\text{ly} \cdot \text{min}^{-1}$ 。以下で述べる野外試験では、日射量を周波数で記録させ、それをを用いて (3) 式から、日射量が評価された。

### 3. 水平面日射量の高度分布の測定

試作した日射ゾンデの性能等を試験する目的で、1973年3月27日と同4月25日の2回にわたって、茨城県館野の高層気象台構内で、下向きおよび上向き水平面日射量の高度分布の測定を日射ゾンデによっておこなった。実際の測定は日射ゾンデを同気象台所有の繫留気球に吊し



第4図 下向き(全天)および上向き(反射)水平面日射量の高度分布(晴天時)



第5図 下向き(全天)および上向き(反射)水平面日射量の高度分布(一部曇天時)

て、約1kmの高度までおこなった。

1973年3月27日は晴天で、実験は13h50m頃より開始し、繫留気球を約20分間で約1kmの高度まで上昇させ、その後約10分間で、地上まで降下させた。日射量の測定は繫留気球の上昇および下降時の両方にわたって連続的におこなわれたが、第4図には下降時の測定結果を示す。下向き水平面日射量の測定値は非常にばらついているが、高度の増加とともに増加している傾向がみられる。測定値がばらついているのは測器の動揺および測器が気球の影に時々出入りしたことなどによる。上向き水平面日射量は地上数十mの高度までは高度とともに減少し、それ以後はほぼ一定値を示している。地上数十mまで、上向き水平面日射量が高度とともに減少しているのは、実験をおこなった場所は枯れた(黄色くなった)芝

生で覆われ、比較的アルベードが大きい、気象台構内および周辺の地域は林や黒土の裸地等が入り混っているところで、アルベードが比較的小さいことによると考えられる。このことから、露場等で測定される地表面のアルベードは必ずしもその地域の平均のアルベードを代表してないことが分る。下向き水平面日射量の測定値と比較して、上向き水平面日射量の測定値のばらつきが小さいのは、この場合、太陽という一方の強い放射源からの入射がなく、ほぼ様な地表面からの反射散光をうけているために、測器の動揺の影響が非常に小さくなることによると考えられる。

1973年4月25日におこなった測定例を第5図に示す。この場合、地上約600mの高度までは、下向きおよび上向き水平面日射量の高度分布の一般的傾向は第4図のそれと同じである。すなわち、下向き水平面日射量は高度とともに増加する傾向がみられ、他方上向き水平面日射量は地上数十mまでは高度とともに減少し、以後ほぼ一定値を示している。高度600~900mにかけて比較的薄い積雲が現われ、測器がこの雲を通過するとき、測定値が急に乱れ、かつ減少した。この減少の原因は日射が雲に遮られたことなどによると思われる。その後、測器が雲頂付近を通過し始めたと思われる約900mの高度から上向き水平面日射量の値は急激に増加し始め、この増加は約1kmの高度まで続いた。これは雲頂付近を通過する際にアルベードの大きい雲からの反射日射量の増加に伴って上向き水平面日射量が増加したためと考えられる。下向き水平面日射量については、このような顕著な変化はみられなかった。これは測器の動揺などの影響が重ったことによると思われる。

#### 4. 考察

以上、われわれの試作した日射ゾンデの構造、その作動原理およびそれを用いておこなった水平面日射量の高度分布の測定結果について述べた。これらの測定結果から、上向き（反射）水平面日射量の測定値はばらつきが非常に小さく、かなり良い精度で測定されることおよび下向き（全天）水平面日射量については測定値のばらつきが大きく、測定精度が悪いことがわかった。上述のように、このちらばりの大きな原因は測器の動揺や気球の影の影響等であると思われる。日射ゾンデの製作上最も

重要な点の一つはこの測器の動揺を最少にすることにある。この動揺の除去法につき、目下種々の実験をおこなっている。さらに、定期的測定に使用するには製作費を低廉にすることが肝要である。

日射ゾンデの動揺が殆ど除去され、これによって、精度の良い下向きおよび上向き水平面日射量の高度分布が測定されるようになると、上述の目的——大気熱収支の解明等——に日射ゾンデの測定が大いに寄与することが期待できる。

本研究に当って、日射ゾンデの野外試験の際、種々のご援助を頂いた高層気象台山崎台長、同気象台經沼観測第1課長、同竹内観測第2課長、本庁高層課中島調査官および気象研究所境界層研究グループの方々に深く感謝の意を表します。またゾンデについて種々ご教示を頂いた気象研究所村松主任研究官、測定でご協力を頂いた同宮内研究官、本論文の図を作成して頂いた同小川研究官に厚く謝意を表します。

#### 文 献

- 1) Kondratyev, K. Ya., I.Y. Badinov, G.N. Gaevskaya, G.A. Nikolsky and M.P. Fedorova, 1964: Balloon Investigations of Radiative Fluxes in the Free Atmosphere, *Pure Appl. Geophys.* **58**, 187-203.
- 2) Kondratyev, K. Ya., G.A. Nicolsky, I. Ya. Badinov and S.D. Andreev, 1967: Direct Solar Radiation up to 30km and Stratification of Attenuation Components in the Stratosphere, *Appl. Opt.* **6**, 197-207.
- 3) Möller, F. and C.D. Rogers, 1970: Problems of Atmospheric Radiation in GARP, *GARP Pub. Series No. 5*, pp. 18.
- 4) Paltridge, G.W. and S.L. Sargent, 1971: Solar and Thermal Radiation Measurements to 32 km at Low Solar Elevations, *Jour. Atmo. Sci.* **28**, 242-253.
- 5) Roach, W.I., 1961: Some Aircraft Observations of Fluxes of Solar Radiation in the Atmosphere, *Quart. J.R. Meteor. Soc.* **87**, 346-363.
- 6) Robinson, G.D., 1966: Some Determinations of Atmospheric Absorption by Measurement of Solar Radiation from Aircraft and Surface, *Quart. J.R. Meteor. Soc.* **92**, 263-269.