

日射・放射観測の基準化と観測網の展開*

関根正幸・志村英洋・鈴木宣直**

1. はしがき

太陽を源とする放射エネルギーが、地球上の大気現象の根元をなすものであることは衆知の事実であり、それ故に放射*** は気象観測の基礎をなす極めて重要な要素であると考えられる。放射が実際に観測されるようになったのは、今世紀に入ってからで、初期においては各種測定器が開発された。この期間の観測は、その目的がかならずしも明確でなく、物理的解析の裏付けなしに観測だけが先行したために、やがて行き詰まることになった。それは、初期の頃安易に飛びついた放射観測には、固有の困難さと誤差を伴うことに気づき、経済効果を考慮した上で、必要とする信頼性をもった放射観測ができるかどうか、という疑問を持たざるを得なかったからである。その結果、急速に放射観測に対する興味が失なわれ、惰性的な観測が行なわれた期間があった。系統的な観測資料が得られないため、理論気象学や気象力学における応用には、多くの場合推定値を利用せざるを得なかったもので、理論的な研究が多くなされた。

第2次世界大戦後、測器の物理的原理の知識を明確にし、データの評価と表現方法を改善し、測定技術を世界的に統一することによって、気象学や他の分野へこの観測結果を利用しようとする多くの努力が払われるようになった。

特にこの数年、人間活動による大気環境汚染が大きな社会問題となっているが、これ等汚染が自然の気象、気候変動に影響する恐れがあり、最近の異常気象にも関連があるとされている。その因果関係は十分解明されていないが、大気汚染の進行状況の監視役として、また気候

変動の指標として、日射観測資料は極めて有能な役割を果たしている。大スケールの大気大循環の問題、あるいはミクロな局地気象の解析にしても、熱変換のプロセスにあずかる放射の比重は大きい。

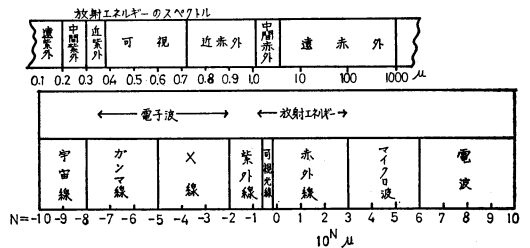
一方においては、気象衛星による地球の監視が可能になり、今後の発展が大いに期待されるようになった。しかし、気象衛星がいかに優秀高価な器材（たとえば赤外線放射温度計）を積んでいても、現在の地上での観測を代行し得るものでなく、現段階では、レーダーにおけると同様に、パターンの観測が主体となる。

気象観測は、近年急速に多様性を深めており、その中で放射は現象解析に必須なものとなって来ている。それに伴い観測資料の信頼性は強く要望されることである。

このような状況のもとで、観測の信頼性の基礎をなす測器の基準化と、ルーチンワークとしての放射観測が、気象庁においてどのように進められてきたか、その実状を述べてみよう。

2. 日射と放射

気象放射として取扱われる放射エネルギーは、第1図に示すように、X線やラジオ波と同じ電磁波であり、その帯域は、遠紫外部から遠赤外部まで、波長にして0.2~1,000 μ の範囲にわたっている。これらの放射エネルギーのうち波長の短い紫外部は、照射した物質に化学変化をおこさせる作用があり、オゾン層の生成にあずかっている。可視部から中赤外部までは、地球の大気および地表を暖め、気象現象のエネルギー源として働き、生物



第1図 電磁波の分類、数字は波長 (μ) を示す。

* Standardization of Solar and Terrestrial Radiation Measurements and Development of Those Observational Network

** M.Sekine, H.Shimura and Y.Suzuki: 気象庁観測部測候課

*** 放射および日射の違いについては、次節で述べる。

—1973年9月19日受理—

活動に寄与する。4 μ 以上の遠赤外線は、物質への吸収、浸透性が強く、熱として作用するので地球-大気の熱収支に果す役割が大きい。

一般に紫外部から中赤外部0.2 μ ~4 μ の波長域の放射を、日射(solar radiation)または短波長放射(short wave radiation)と呼び太陽エネルギーの約98%を占めている。4 μ 以上の遠赤外線は、長波長放射(long wave radiation)と呼んでいる。

通常、放射と云うときは、短波長放射から長波長放射まで、全波長にわたる総エネルギーを表わしていて、日射とは区別して使われている。

このような放射エネルギーを測定するとき気象では次のような観測種別に分類している。

(1) 短波長放射 (short wave radiation)

直達日射量 direct solar radiation
 全天日射量 global solar radiation
 散乱日射量 diffuse solar radiation
 反射日射量 reflected solar radiation
 日射収支量 net solar radiation

(2) 長波長放射 (long wave radiation)

大気放射量 downward atmospheric radiation
 地球放射量 upward terrestrial radiation
 長波長放射収支量 net terrestrial radiation

(3) 全放射 (total radiation)

下向き放射量 downward radiation
 上向き放射量 upward radiation
 放射収支量 net radiation

これらの観測に使用される測定器は、日射量を計るものを日射計、放射量を計るものを放射計と呼んでおり、両者の測定原理は殆んど同じであるが、次の理由により、長波長放射の測定は日射量の測定に較べて格段の困難さがある。

(1) 短波長放射においては、入力信号レベルが比較的大きく、信号処理が容易であるが、長波長放射では、入力信号レベルが弱く S/N 比が悪いので、周囲環境の雑音に乱され易い。

(2) 受感部の自然対流による熱損失を防ぐため、短波長放射については、透明ガラスを風防として使用できるが、長波長放射については、全波長にわたって一樣良好な透過率を有する風防材料がない。

(3) 受感部は完全黒体ではないので、吸収率が波長に対して厳密に一樣でなく、夜と昼つまり短波長と長波長に対して感度の相違を生ずる。放射計にとって、この

ことは、検定の困難さを倍加することになる。

一般に使われる日射計、放射計は、次のような名称がつけられている。

| | | |
|--------|------------------|--|
| 直達日射計 | pyrheliometer | ……直達日射量 |
| 全天日射計 | pyranometer | …… $\left\{ \begin{array}{l} \text{全天日射量} \\ \text{散乱日射量} \\ \text{反射日射量} \end{array} \right.$ |
| 日射収支計 | net pyranometer | …日射収支量 |
| 放射計 | pyradiometer | …… $\left\{ \begin{array}{l} \text{下向き放射量} \\ \text{上向き放射量} \\ \text{大気放射量} \\ \text{地球放射量} \end{array} \right.$ |
| 長波長放射計 | pyrgeometer | …… $\left\{ \begin{array}{l} \text{大気放射量} \\ \text{地球放射量} \end{array} \right.$ |
| 放射収支計 | net pyradiometer | …放射収支量 |

直達日射計は、ある限定された狭い立体角から入射するエネルギーを入射光に垂直な面で受けて計るが、他の測定器は、立体角 2π からの入射エネルギーを水平な面で受けて測定する。従って両者の構造はかなり異なる。

次に放射計のセンサーを理論上分類すると光子効果を利用したもの、熱効果を利用したもの、化学変化を利用したものがある。光子効果を利用したセンサーは、エネルギー強度よりむしろ光子数に感じるもので、光電子倍增管、光電導セル、光電池、太陽電池等がある。これらはいずれも、ある限定された波長帯に感度をもっているため、赤外線放射温度計、赤外線分光計の検知器あるいは特定波長域を利用した混濁度計等特殊な目的に使用される。

熱効果を利用したセンサーは、吸収した放射エネルギーを熱に変換し、その熱量または結果として生ずる温度上昇を測定する。熱量そのものを測定する方法は、絶対測定の可能なカロリメーターであり、温度上昇を測定する方法は、一般的に使用されている日射計、放射計で、多くは相対測器である。

化学変化を利用するものには、光度計、紫外線計のような特殊用途のものがある。

3. 日射計の基準化

観測網における観測値が価値あるものであるためには、使用される測定器の信頼性と、得られた観測資料の均質性が需要である。

測定器の精度が高いことにこしたことはないが、経済効果と目的によって必ずから限界がある。たとえ観測網に展開する測定器の絶対精度に多少の問題があったとしても、測定器相互の相対的精度が一樣に維持されているならば十分有効な資料が得られる。測定器の精度の統一すなわち基準化は、定常観測に欠かすことの出来ない間

題である。

測定器には、絶対測器 (absolut instruments) と相対測器 (relative instruments) と云う分類もある。絶対測器とは、その構成する要素の物理法則および物理定数から、十分な精度をもって、直接測定単位により測定または計算が可能な測器を指している。基準器は絶対測器であることが望ましい。これに対して相対測器は、絶対測器またはこれに代わる準器を基準にして器械定数を定めてからでない測器としての役目を果せない。

絶対測器を作ることは大変困難なことである。日射計について云うならば、吸収した放射エネルギーを熱に変換するエレメントについては、表面のスペクトル吸収特性、熱容量、温度係数、ディメンション等を精確に知る必要がある。吸収した熱は周囲と伝導、対流、放射によって熱平衡状態に達するが、その熱伝達係数を正しく評価することができるだろうか。吸収した放射を損失なく熱に変換し、高い感度と早いレスポンスを得るためには、どのような構造にしたら良いか。周囲環境から受ける外乱 (雑音) をどのようにして防ぐか。オリジナルな基準器は、何等かの方法でこれらの難問を克服しなければならない。したがって、その価格も非常に高価なものにならざるを得ないのである。

日射観測は、19世紀初頭に開始されたが、その当時開発された基準器の系列は、現在なお継承されている。その意味では日射計は古典的な測器である。

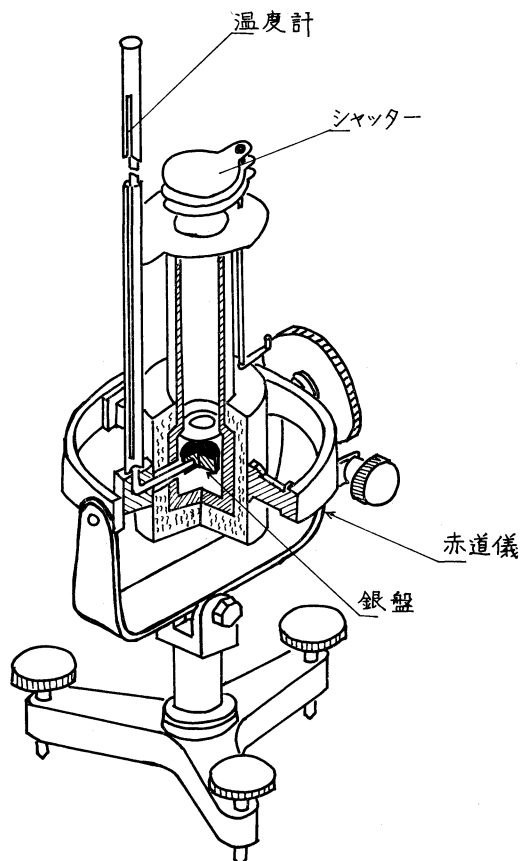
日射観測の基準化には、この当時から歴史をもつ2つの系列があった。1つは『スミソニアン日射スケール』であり他の1つは『オングストローム日射スケール』である。

スミソニアン日射スケールとその基準器

スミソニアン日射スケールは、1908年 Abbot によって作られた流水式日射計に端を発するものである。流水式日射計は、いわゆるカロリメーターで、絶対測定が可能であるとされている。1913年にはこれを改良して攪拌式日射計を作り、更に1932年に Aldrich と共に、2つの流水式または攪拌式日射計を組み合わせた補償式とも云うべき日射計を作った。これらの日射計は、操作が極めて繁雑であり定常的な観測には使用できない。1908年に Abbot と Fowle の作った銀盤式日射計を流水式日射計によって、厳密な検定を行い、この銀盤式日射計が検定用準器となった。

銀盤式日射計の構造は第2図に示す通りである。今

A : 受感部銀盤の表面積



第2図 銀盤式日射計の構造

C : 銀盤の熱容量

T : 銀盤の温度

T_c : チャンバー内壁の温度

k : 銀盤からチャンバーへの熱伝達係数

I : 単位面積当りの入射エネルギー

とすれば、銀盤の温度変化は次式で示される。

$$C \frac{dT}{dt} = IA - k(T_c - T)$$

この式の解は初期条件を

$$t=0 \dots T=T_0$$

$$t=t \dots T=T_1$$

とすると

$$T_1 - T_c = \frac{IA}{k} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t_1 k}{C}\right) \right\} + (T_0 - T_c) \exp\left(-\frac{t_1 k}{C}\right)$$

である。

$t_1 \ll 1$ であれば

$$1 - \exp\left(-\frac{t_1 k}{C}\right) \approx \frac{t_1 k}{C}$$

$$(T_0 - T_C) \exp\left(-\frac{t_1 k}{C}\right) \approx T_0 - T_C$$

であるから

$$T_1 - T_C = IA \frac{t_1}{C} + (T_0 - T_C)$$

$$I = \frac{C}{At_1} (T_1 - T_0)$$

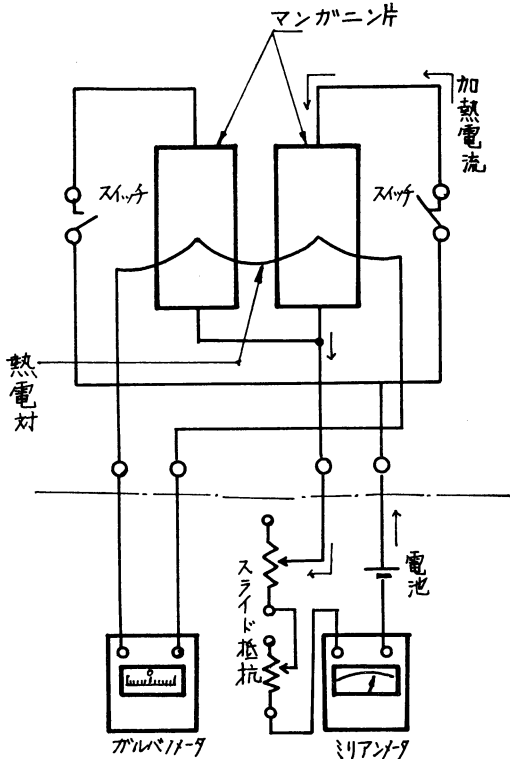
すなわち、入射エネルギーは最初の温度と t_1 後の温度の差に比例する。

検定用準器の銀盤日射計は、初期の流水式日射計によって検定されたが、1932年改良型のカロリメーターによって、初期のものがやや過大な値（約 2.5%）を示すことが判った。しかし、データーの連続性のため、スミノニアン日射スケールは、修正することなく使われた。

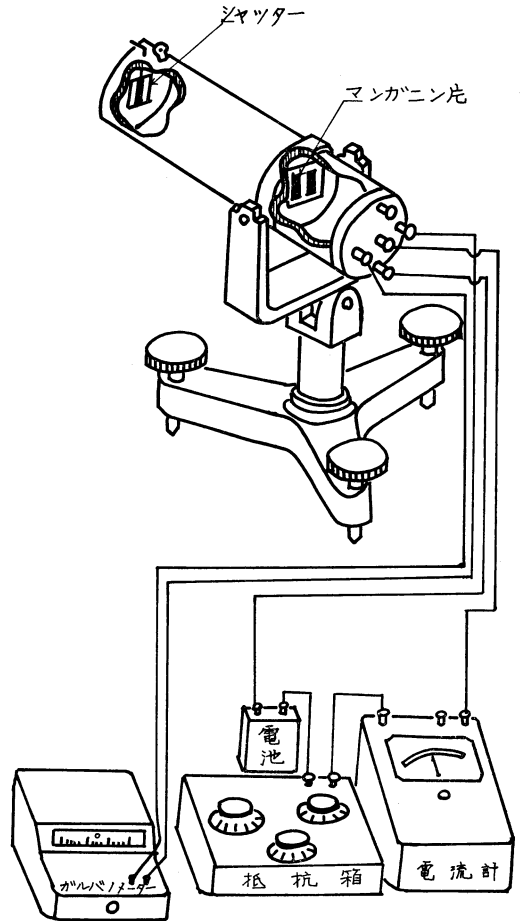
オングストローム日射スケールとその基準器

オングストローム日射スケールは、1893年 K. Ångström によって開発されたオングストローム電気補償式日射計が基準になっている系列である。

オングストローム日射計は、第3図および第4図に示すように、2枚の黒色塗装したマンガン片（長20mm、幅2mm、厚0.1mm）が感部であって、円筒の底部に取付けられている。1枚のマンガン片が太陽光に露出され、他の1片は遮へいされる。マンガン片の裏には熱電対がついていて、両片の温度差が検出できるようになっている。太陽放射 I_N が入射するとき、遮へいされているマンガン片に電流 i を流して加熱し、両辺の温度差がないようにスライド抵抗で調整する。マンガン片の幅を a 、黒色面の吸収率を β 、比抵抗を r とすると



第3図 オングストローム日射計の測定原理



第4図 オングストローム日射計の構成

$$a\beta I_N = ri^2$$

$$\begin{aligned} I_N &= \frac{r}{a\beta} i^2 \text{ (watt/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{60r}{4.186a\beta} i^2 \text{ (cal}\cdot\text{cm}^2\text{/min)} \\ &= Ki^2 \end{aligned}$$

ここで、マンガン片の幅 a 、比抵抗 r 、吸収率 β の各定数と加熱電流を正確に測定できれば、絶対測定が可能である。ストックホルムのオリジナルな国際標準器は、これらの物理定数を測定して器械定数を出している。この日射計の測定精度を左右するものは、温度差を検出するガルバノメーターと加熱電流を測定するミリアンメーターの精度である。1/100°Cの温度差を検出するには、内部抵抗10Ω、感度 5×10^{-8} amp/div 程度のガルバノメーターを必要とする。日射量の測定精度0.5%程度を望むならば、ミリアンメーターは0.2級程度のものを使わなければならない。しかし、これ程高感度のミリアンメーターは、周囲温度の影響を受けて不安定であり、0.2%の精度は維持し難い。現在では、ミリアンメーターの代りに、標準抵抗を入れ、その電圧降下を高精能デジタルボルトメーターで測定するようになり、精度の向上が図られている。この方式に走査装置を併用すると、同時に多数の日射計の比較が可能となり、隔測記録は勿論、コンピューターを導入して観測値の処理を飛躍的に向上させることもできる。

オングストローム日射計は、原理上絶対測器の特質をもつが、構造上避けがたい固有の誤差をもっている。その1つは周辺効果と云われるもので、露出されるマンガン片は、筒の開口角やダイアフラムの影響を受けて、一樣に太陽光を受けず、周辺がやや弱くなる。一方遮へいされるマンガン片は全面一樣に電流が流れて加熱されるので、結果として日射量を過小評価する傾向になる。多くの研究の結果、周辺効果による誤差は2%と推定された。他の1つは、マンガン片の材質が一樣でないために生ずる誤差であるが、これは推定が困難である。

最近 Fröhlich (1972) は、オングストローム日射計を根本的に改良し、同時に太陽追跡をサーボ機構によって自動化し、隔測記録できるものを発表した。その成果は今後の国際比較等によって明らかになるであろう。

1956年国際日射スケール (IPS-56)

銀盤式日射計に代表されるスミソニアン日射スケールと、オングストローム日射計に代表されるオングストロ

ーム日射スケールは、両者の基準器を直接比較されたことはなかったが、しばしばサブ標準器により間接的な比較がなされた。開口角やセンサーの構造の異なる両測器を、太陽を光源として、厳密に比較することは、困難である。それは、太陽周辺光の影響が異なるためで、時と場所、大気状態によって、差がでる。多くの比較の結果から、両者の差は3.5%と云う値が、平均的な値として受取られた。

1956年、ダヴォスで開かれた国際放射委員会において、これら両系列の統一を図るために新しい国際日射スケールを採用することが勧告された。これは、スミソニアン日射スケールを2%減じ、オングストローム日射スケールを1.5%増加すると云うものである。この勧告はWMOによって受入れられ、1957年1月から全世界で実施された。この新しい日射スケールは『1956年国際日射スケール (IPS-56)』と呼ばれている。この決定は、理論的と云うよりは、どちらかと云えば多分に折衷的な所があるが、前にも述べたように、観測値の均質性についての重要さを考えると、この新しい日射スケールは、改訂するに十分な根拠ができるまでは、現状のまま維持すべきであろう。

4. 放射センター

WMOは、世界各国の気象観測の標準化を目的の1つとしているが、その下部組織の測器観測法委員会 (CIMO) では、1957年、第2回会議で、日射観測の信頼性と均質性を確立し、IPS-56を維持するため、放射センターの設立を勧告した。そのための放射作業委員会が各地区に設立された。

1962年、第2地区 (アジア) では、第3回地区会議 (RA II-3) で、地区放射作業委員会が設立され、東京とブーナ (インド) が中心的役割をもつこと、各加盟国は国内放射観測網を整備し、国内放射センターを設立すべきことが決議された。

1965年、CIMO 第4回会議では、世界放射センターを早急に設立すべきことが決議され、各センターの果すべき機能、保有すべき基準日射計などについて細かい取決めがなされた。

1965年、第2地区では第4回地区会議 (RA II-4) でCIMO-IVの内容を全面的に可決し、日本と印度が第2地区放射センターとしての責務を負うことになった。

第1表は以上の経緯をまとめたものである。現在、放射センターの系列は、第5図のような形をとることにな

第1表 放射センター設立の履歴

| 年次 | 事項 | 参考資料 |
|-----------|---|---|
| 1953 昭・28 | 測器観測法委員会 (CIMO) 第1回会議 放射観測の内容と測器について暫定的な取決め | CIMO-I, Rec. 31, Annex I |
| 1957 昭・32 | 測器観測法委員会 (CIMO) 第2回会議 国際日射スケール1956を採用. 放射センターの必要性を勧告. | CIMO-II, Rec. 5 Rec. 6 |
| | 国際地球観測年 (IGY) 札幌, 仙台, 館野, 鹿児島, 鳥島で放射観測実施 | IGY Report |
| 1959 昭・34 | 第1回国際日射計比較観測 (IPC-I) 於ダヴォス, 山本教授参加 | Report 不明 |
| 1962 昭・37 | WMO 第2地区第3回会議 III-RA II 第2地区放射作業委員会設立, 第2地区放射センターとして東京とブーナが適当と認められる | III-RA II, Res. 31, 32 |
| 1963 昭・38 | 太陽活動最小年 (IQSY)) IGY と同規模の観測 | IQSY Report |
| 1964 昭・39 | 第2回国際日射計比較観測 (IPC-II) 於ダヴォス 日本不参加 | |
| | 第1回第2地区準器比較観測 於ブーナ 日本対印度の準器 | 資料測候課に保管 |
| 1965 昭・40 | 測器観測法委員会 (CIMO) 第4回会議 地区放射センターに要求される機能の内容が決められた. 放射観測所の観測内容, 測器の性能基準が決められた. | CIMO-IV, Rec. 1, Annex 1 Rec. 2, 3, 9 |
| | WMO 第2地区第4回会議 (IV-RAII) 前項を全面的に可決 日本と印度がアジア地区放射センターの責務を負うことになった | IV-RA II Rec. 20, 21 Annex VII |
| 1968 昭・43 | 日本一タイ国準器比較観測 於館野 | 資料測候課に保管 |
| 1970 昭・45 | 第3回国際日射計比較観測 (IPC-III) 第2回第2地区準器比較観測 於ダヴォス, ロカルノ 日本参加 於館野 | WMO Report 資料測候課に保管 |
| 1973 昭・48 | 測器専門委員会 (CIMO) 第6回会議 IPS-56の再検討 絶対放射計の確立 > の必要性 | CIMO-VI Doc. 36 |

っている。このうち地区放射センター15地点はすでに確立しているが、世界放射センターは明確にされていない。5年に1度各地区センターの準器を持ち寄って国際比較観測を実施し、精度の維持を行っている。過去3回の比較観測が、いずれもスイスのダヴォスで実施されたが、ダヴォスが世界放射センターとしてはっきりと承認されているのではない。オングストローム日射スケールの発祥地であるスエーデンのストックホルムおよびスミソニアン日射スケールの発祥地、アメリカのスミソニアン研究所との関連もあり、世界放射センターが確立するまでにはなお曲折があるだろう。第6図に地区放射センターの分布図を示した。

CIMO-IV で決められた各放射センターのもつべき機能は、次のようなものである。

世界放射センター

IPS-1956 を完全に維持し、準器日射計の国際比較観測のための恒久的設備をそなえ、WMO によって公式に指定されたセンターであり、その機能については、

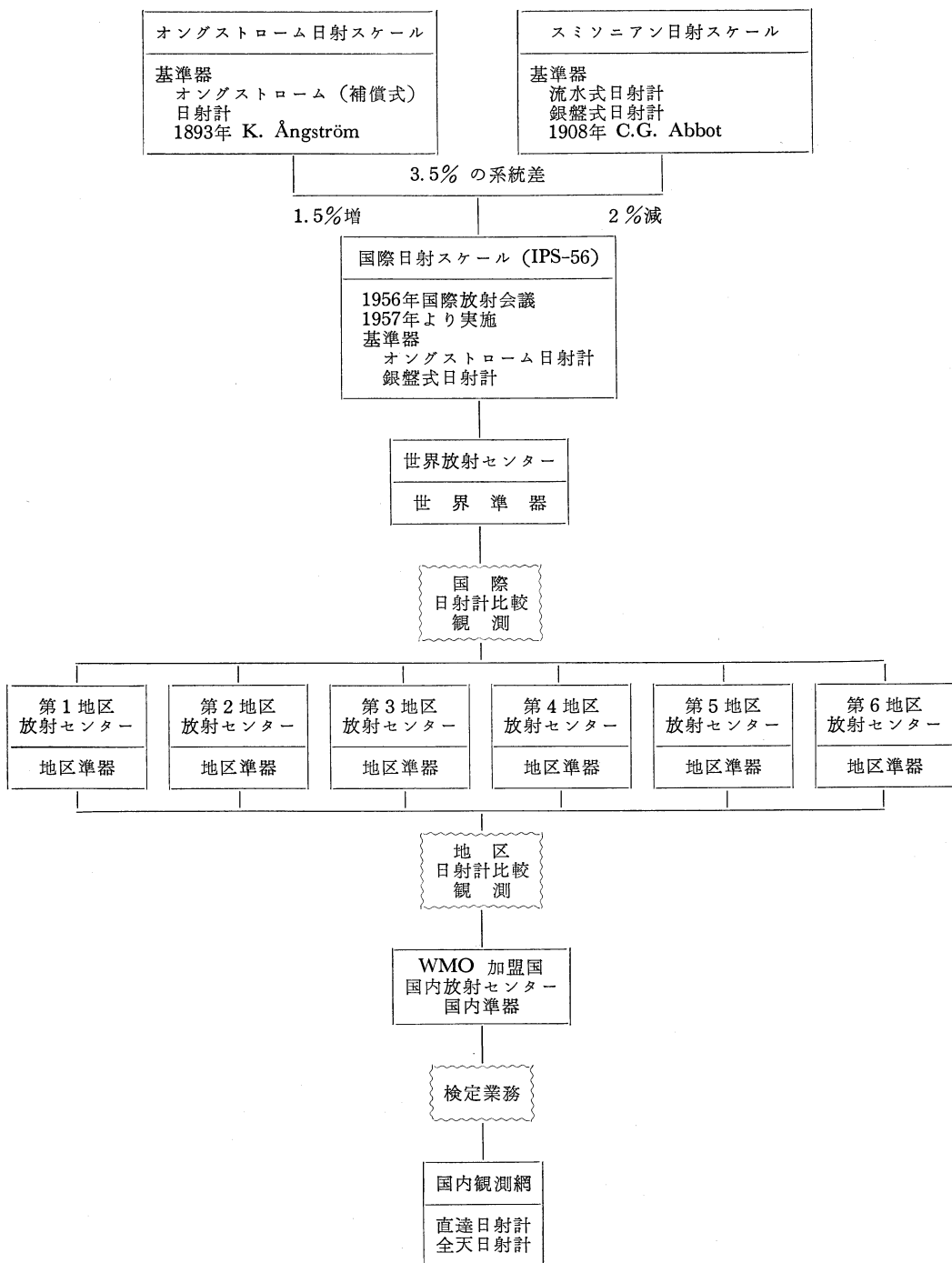
(1) 最も正確な準器日射計とその測定装置および IPS-56 の維持に必要な準器放射計とその測定装置を備えるべきこと。

(2) 日射計の地区相互、国際比較および準器の維持にあたり、またこの目的のための諸設備を有すること。

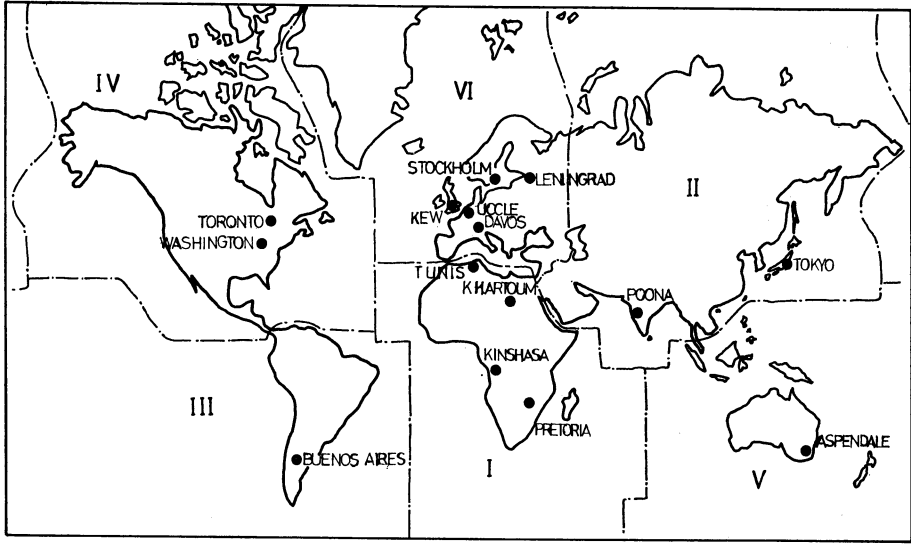
(3) 雲に妨げられる期間が少なく、安定した放射フラックスが得られる場所であること。

(4) 多数の測器の同時比較と資料の還元に必要な屋内、屋外の設備を有すること。

(5) 改良準器の開発指導に従事し、準器と試験装置を常に最高に確保するようあらゆる努力を払うこと。



第5図 WMO における日射観測の基準化系統図



第6図 WMO 地区放射センター分布図

第2表 放射センターの日射計・放射計準器

| 区分 | 種類 | 器械番号 | 購入年 | メーカー | 備考 |
|----------------|------------------|-----------|------|--------------|---|
| 地区準器 日射計 | オングストローム補償式日射計 | Å-10316 | 1970 | アメリカ・エプリー社 | }1970年、IPC-IIIにて校正 1973年1月1日修正 |
| | オングストローム補償式日射計 | Å-588 | 1969 | ストックホルム | |
| | 銀盤式日射計 | SD-132 | 1971 | 気象測器工場 | |
| 国内準器 日射計 | オングストローム補償式日射計 | Å-543 | 1959 | ストックホルム | 1973年1月1日修正 |
| | 銀盤式日射計 | SD-757 | 1932 | 中央气象台 | 〃 |
| | 自記直達日射計 | 10816 E 6 | 1971 | アメリカ・エプリー社 | 調整中 |
| | 精密全天日射計 | 10753 F 4 | 1971 | 〃 | 1973年4月1日修正 |
| | 熱電堆式全天日射計(エプリー型) | 5680 | 1964 | 〃 | 〃 |
| | 熱電堆式全天日射計(白黒) | 10764 | 1971 | 〃 | 〃 |
| | 熱電堆式全天日射計(A型) | A 70038 | 1971 | 英弘精機 | 〃 |
| | 熱電堆式全天日射計(エプリー型) | 111737 | 1973 | 石川産業 | 〃 |
| 放射計準器 (暫定的) | 全天走査型放射計 | — | 1971 | 気象測器工場 | }放射計基準器として使用中 基準化の方法を決めるため、実用試験を行っている。 |
| | 通風型放射計 | 509 | 1964 | ベックマンホイットレー社 | |
| | 風防型放射計 | — | 1963 | 英弘精機 | |
| | 成分別放射計 | 6901~6904 | 1970 | 〃 | |
| | 通風型放射収支計 | 1019 | 1964 | バッカードベル社 | |
| | 風防型放射収支計 | 364 | 1964 | オーストリア・ミドルトン | |

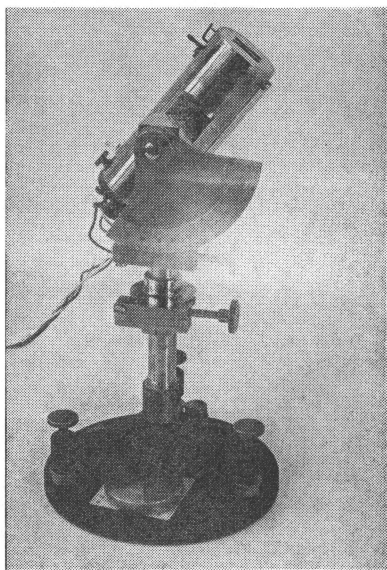
(6) 数人の放射について広い経験を有する科学者をもち、放射の専門家の養成を行うべきこと。

地区放射センター

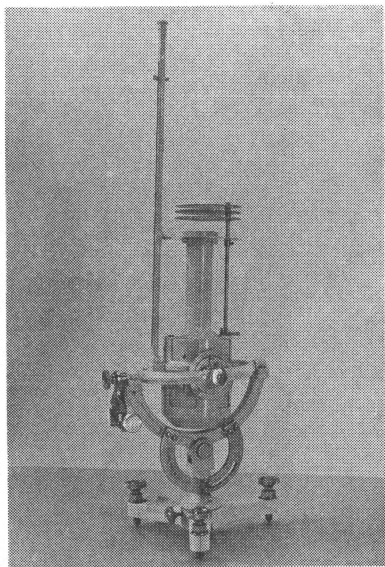
地区内での放射計準器の国際比較およびこの目的のため

の準器の維持を業務とし、地区会議によって指定を受けたセンターであり、次のような条件を必要とする。

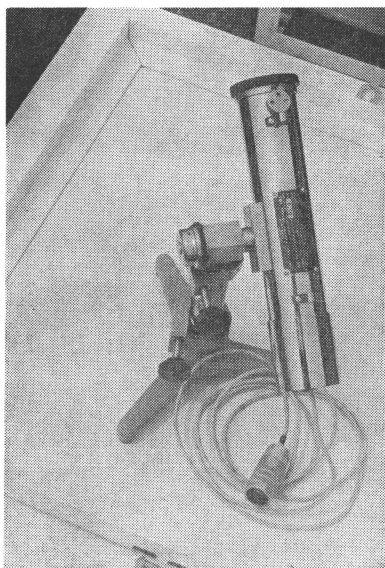
(1) オングストローム日射計または銀盤式日射計を少なくとも3台は所持していて、その中の1台は、過去



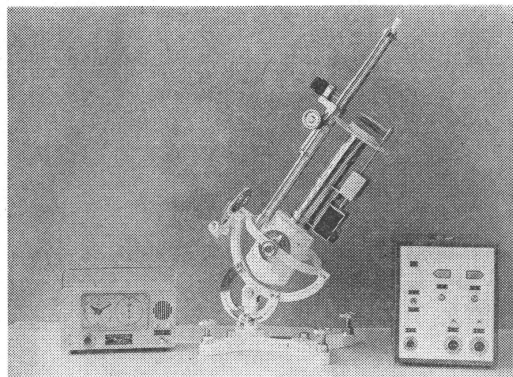
第7図(a) オングストローム日射計 (地区準器, ストックホルム製, No. 588)



第7図(b) 銀盤式日射計 (国内準器, 国産, No. 757)



第7図(c) オングストローム日射計 (地区準器, エプリー社製, No. 10316)



第7図(d) 改良銀盤式日射計 (地区準器, 気象測器工場製, No. 132)

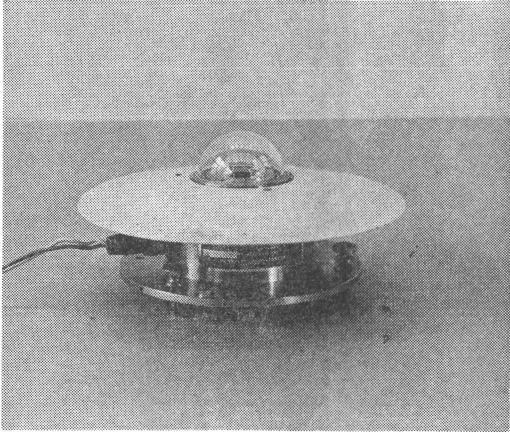
5年以内に少なくとも1度は、国際比較観測に参加したものでなければならない。準器のうち他の1台は、地区あるいは国内観測網の基準器として使用されたものでなければならない。

(2) 決められた精度の準器日射計, 測定装置および

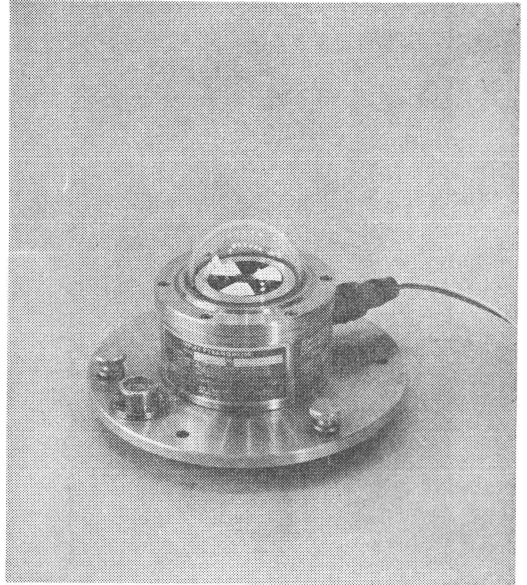
検査装置を所有すべきこと。

(3) 測定器の精度を検査, 維持するに必要な設備および実験器具をもつべきこと。

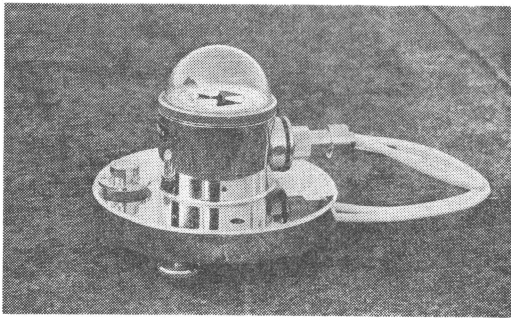
(4) 地区内での国内日射計準器について, 国際比較を実施するに必要な設備を有すること。



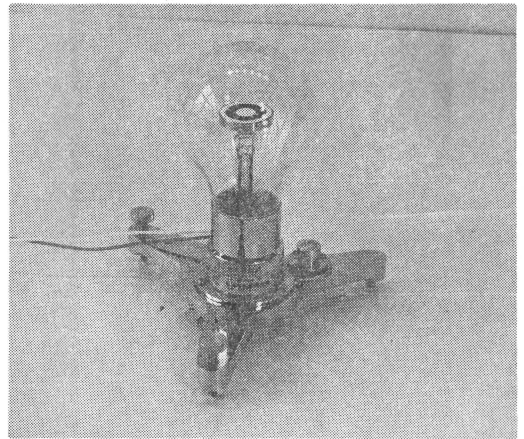
第7図(e) 精密全天日射計 (国内準器, エプリー社製, No. 10753 F4)



第7図(f) 熱電堆式全天日射計A型 (国内準器, エプリー社製, No. 10764)



第7図(g) 熱電堆式全天日射計A型 (国内準器, 国産, No. A70038)



第7図(h) 熱電堆式全天日射計A型 (国内準器, 国産, No. 111737)

(5) センターの職員は常時勤務し、放射について広い経験を有する科学者が1名含まれるべきこと。

国内放射センター

国内観測網の放射観測で使用される測器の検定、標準化、検査ならびにこの目的のための国内準器の維持を業務とする各国において指定したセンターで、次の事項を満すべきこと。

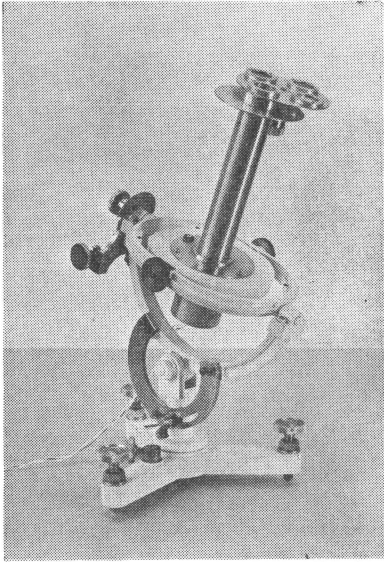
(1) 検定のための国内準器として、少なくとも1台のオングストローム日射計あるいは銀盤式日射計を所有

すること。国内準器は少なくとも5年に1度地区準器と比較すること。測定器の検定精度は、日射計と同程度以上であること。

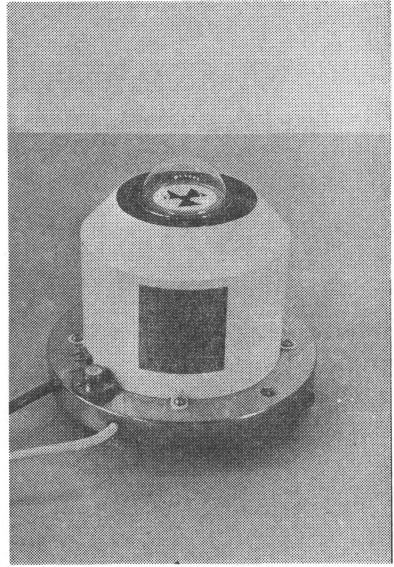
(2) 観測網で使用する測器の検査および業務の運営を調査するための器械、器具をもつこと。

(3) センターの職員は定常的に勤務し、放射について広い経験を有する科学者が1名含まれるべきこと。

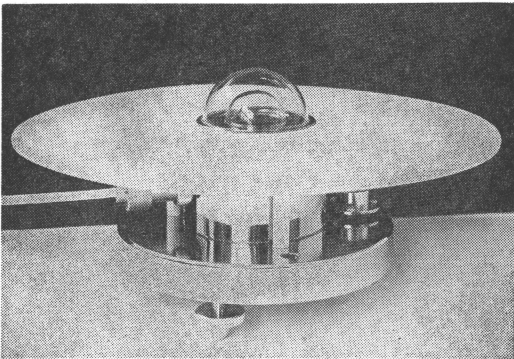
(4) 国内放射センターは、観測網の運営と維持に必要なすべての技術情報の資料を保管し、また観測結果の



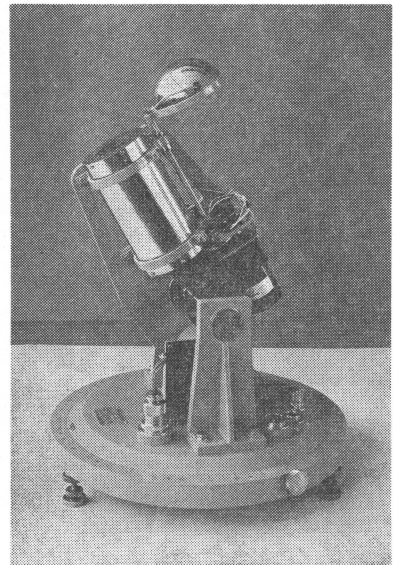
第7図(i) 自記直達日射計（国内準器，エプリー社製，No. 10816 E6）自動太陽追跡装置は気象測器工場で製作中



第7図(j) 成分別放射計（全天日射）（国内準器，国産，No. 6901）



第7図(k) 熱電堆式全天日射計B型（ゴルチンスキ型，国産，末整備）

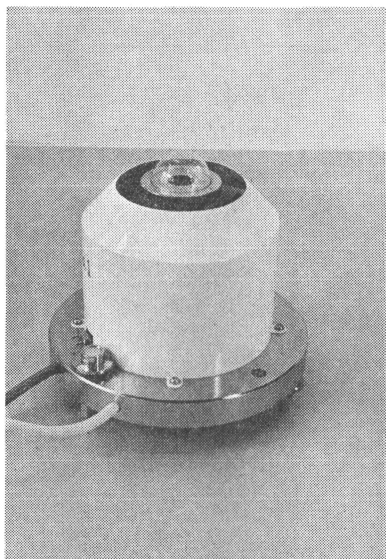


第7図(l) 全天走査型放射計（国内準器，気象測器工場製）

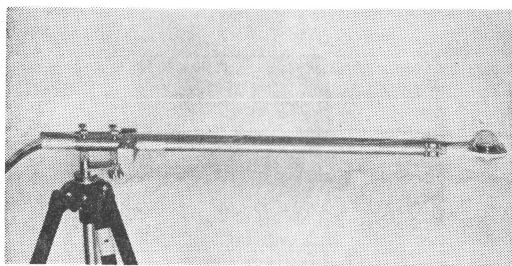
収集，精度の定期点検の責任をもつべきである。

1965年，わが国がアジア地区の放射センターとして責任を負うことになった時点では，WMO の基準に程遠い設備内容であった。国内放射センターに相当する役割は，日本の日射観測が開始された1932年以来，当然実施

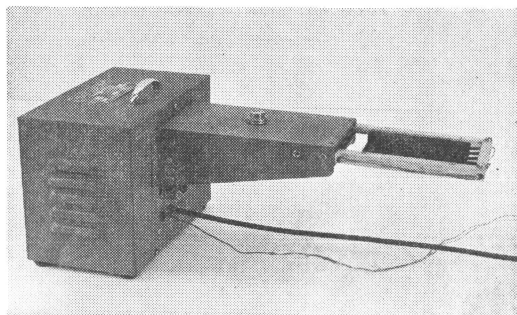
されてきたことである。その当時の基準器は，観測網に展開するために作られた銀盤式日射計のうちの1台，No. 757であった。この準器の器械定数は，ストックホルムから輸入したオングストローム日射計と比較して決定し，さらにこれをスミソニアン日射スケールに修正し



第7図(m) 成分別放射計（下向き放射）（国内準器，国産，No. 6901）

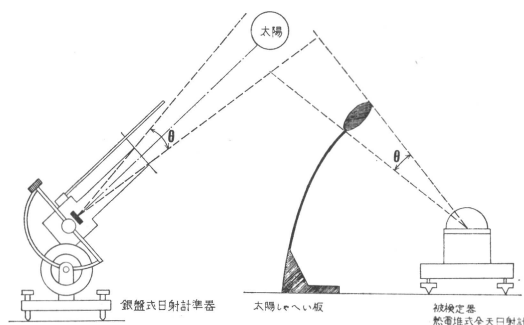


第7図(n) 風防型放射収支計（国内準器，ミドルトン製，No. 364）



第7図(o) 通風型放射計（国内準器，ベックマン社，No. 509）

第7図 日射計・放射計の各種準器（写真）



第8図 直達日射計から全天日射計への器械定数の移し換え（Shading disk method）

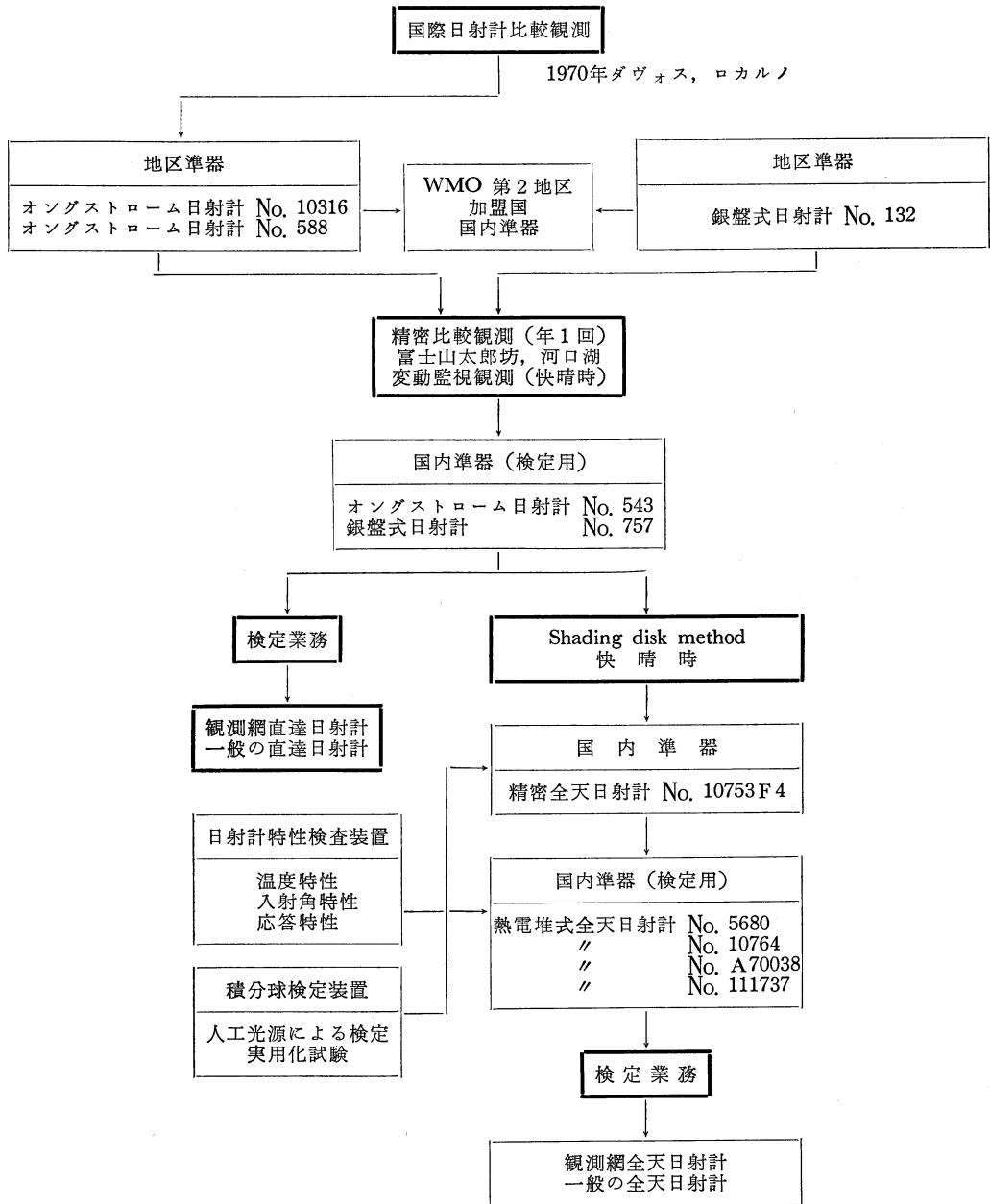
致する。第2表は、現有の日射計、放射計準器のリストであり、第7図(a)~(o)にその写真を示した。1871年（昭和46年度）には、準器の精度を維持するための日射計特性検査装置が整備された。この年、東京の大気環境悪化のため、日射計検定業務の継続が困難になったので、検定を含むすべての技術業務を、茨城県の利根町にある気象測器工場構内に移転した。

さらに、1974年（昭和49年度）には筑波研究学園都市に移転する計画になっている。

WMOで、日射計の基準器として認められているものは、オングストローム日射計と銀盤式日射計で、いずれも直達日射計である。国内の観測網で使われる日射計は、全天日射計が多く、検定を依頼される日射計も、殆んどが全天日射計である。直達日射計と全天日射計は、測定対象も、構造も異なるので、比較は単純でない。このため直達日射計準器から、次に述べるような方法（Shading disk method）によって、全天日射計に定数の移し換えを行ない、これを検定用準器とするのである。

たものであった。この値は、1957年、新しい国際日射スケール（IPS-56）に修正されるまで、使用された。銀盤日射計 No. 757 は、現在に至るもなお国内検定用準器として健在で、その器械定数も、今年初頭に、地区準器日射計との比較により、0.7%修正したに過ぎない。銀盤式日射計がいかに安定度の高い測器であるか判るであろう。

さて、地区放射センターとしての予算が認められ、整備が始まったのは、1970年（昭和45年度）からで、まず地区準器の整備がなされた。この年、スイスのダヴォスにおいて行われた第3回国際日射比較観測に、2台のオングストローム日射計をもって参加し、ダヴォス準器により校正を受けた。この2台を地区準器日射計とし、約2年間の比較観測を実施して、他の準器の合わせ込みを完了した。その結果準器相互の精度は、0.5%以内で一



第9図 日射計準器の系統と検定の流れ

第8図に示すように、全天日射計を、直達光からさえぎるための太陽遮蔽板を用意する。この遮蔽板が全天日射計のセンサーに張る角 θ は、基準になる直達日射計の開口角*の2倍に等しくしなければいけない。今

I_n : 基準器による直達日射量, $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$

E_T : 全天日射計による全天日射の出力, mV

E_D : 全天日射計による散乱日射の出力mV

Z: 太陽の天頂距離。

K: 全天日射計の器械定数, $\text{mV}/\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$

* 直達日射計の開口角は、センサーの中心に張る角の1/2と定義されている。

とすると、次の関係が成立つ。

$$I_n \cos Z = \frac{1}{K}(E_T - E_D)$$

したがって、器械定数は

$$K = (E_T - E_D) / I_n \cos Z$$

この式が成立する大気条件は、快晴で水蒸気や塵埃が少なく大気透過率の良い時である。日射計の感度は、周囲の気温、太陽高度角、大気混濁度の影響を受けるので、1年以上の資料をとった上で、器械定数を決定する。1台の全天日射計準器の器械定数が決まると、他の全天日射計準器は、すべて直接比較によって、器械定数の合わせ込みを行う。観測網に展開する日射計あるいは製作者から検定依頼に出された日射計は、これらの国内準器のいずれかと比較観測によって検定し、器械定数を決定するのである。第9図は、わが国における日射計準器の系統と検定の模様を示したものである。

5. 国際日射計比較観測 (IPC)

世界各国の日射観測値の均質性を保ち、IPS-56の精度を維持するため、5年に1度地区準器および一部国内準器を持ち寄って比較観測が行われている。現在までに、

- 第1回国際日射計比較観測 (IPC-I), 1959年
- 第2回 " (IPC-II), 1964年
- 第3回 " (IPC-III), 1970年

が実施された。いずれもスイスのダヴォスの物理気象観測所が選ばれているが、同所は北緯46°48′, 東経9°49′, 標高1,588mの地点にあり、大気混濁が少ないので、かかる比較観測には好適の地である。

わが国が地区放射センターとして参加したのは、IPC-IIIであり、石井*が2台のオングストローム日射計を持参した。この時は、比較結果が大気混濁度によってどのように影響を受けるかを調べるために、後半ロカルノ市のチチーノ気象台(標高380m)に場所が移されている。IPC-IIIには、地区放射センター15(全部)、国内放射センター4およびオブザーバー3によりオングストローム日射計が29台、銀盤式日射計が3台、新しく開発した絶対放射計が2台、(アメリカ, J.P.L. および N.B.S**) 合計34台が参加した。またダヴォス観測所の

太陽周辺光測定装置が加った。比較の基準としてダヴォス準器 Å-210が当てられ、それぞれの日射計の観測値、風、気温、気圧等の気象データおよび太陽周辺光の観測値は、オンラインでコンピューターに入れられて処理された。第3表は参加国、参加日射計、開口角、使用された器械定数、再検定値を示したものである。

日射計の比較に影響を与える要素は、太陽周辺光である。これは大気混濁度(β)、太陽高度(大気路程 m) および日射計の開口角によって影響の度合いが違ふ。一般に mβ をパラメーターとして使っている。検定定数とこれらのパラメーターのどちらが良い相関にあるかは、個々の場合で非常にばらつきがあって、まだ明確にされていない。IPC-IIIに参加した日射計について、基準値と各日射計観測値との比および mβ の相関係数 r を調べると、r ≤ 0.1 の日射計は7台、0.1 < r < 0.2 は8台、0.2 < r ≤ 0.3 は7台、0.3 < r ≤ 0.4 は5台、0.4 < r ≤ 0.5 は1台、r < 0.5 は3台となっている。

第3表でも判る通り、同じオングストローム日射計でも、開口角は全く一定していない。WMOの基準として、直達日射計の開口角は3.9度以下となっているが、基準器については明確に何度と規定すべきであろう。

ダヴォス準器 Å210 とストックホルム準器 Å158 を比較すると、Å158の方が1.14%高くなっている。そのためストックホルムにおいて検定を受けた5台の日射計は平均して1.28%高い結果になっている。日本の Å588 は1968年ストックホルム準器で検定されたものであるが、-2.15%という今回参加した日射計のうち最高の補正率が出ている。Å10316は、アメリカのエプリー社製であるが、補正率は+0.79%であった。

さて、今回の比較観測でダヴォス準器を基準にしたことに対して批判が出ている。(ベルギー, R. Dogniaux, 1971) それは、ダヴォス準器 Å210は、先程述べた mβ との相関係数が0.597で太陽周辺光の影響を最も大きく受けているものの1台であり、基準器とすることに疑問があると云うものである。

今年8月ヘルシンキで行なわれた第6回測器観測法委員会(CIMO-VI)では、基準器として使用する日射計の条件として、

- (1) IPC-II (1964) と IPC-III (1970) の両方に参加していること。
- (2) IPC-II (1964) から今回までの経年変化が±0.5%より少ないもの。
- (3) IPC-III (1970) の結果の標準偏差が0.3%を超

* 石井幸男(現千歳航空測候所丘珠管制気象課長)

** J.P.L.: Jet Propulsion Laboratory
N.B.S.: National Bureau of Standard

第3表 IPC-III における参加国および結果

Å: オングストローム日射計

SD: 銀盤式日射計

| 国名 | 日射計の型 器械番号 | 開口角 | 従来の検定値 | | | Å-ST210 を基準 | | 7台の平均値を 基準 | |
|---------|---------------|------|--------|---------|-------|-------------|-------|---------------|-------|
| | | | 検定年 | 検定場所 | 検定値 | 再検定値 | 変化率 | 再検定値 | 変化率 |
| 地区センター | | | | | | | % | | |
| アルゼンチン | Å-553 | 5.3 | 1961 | ダヴォス | 13.64 | 13.86 | +1.61 | 13.86 | +1.59 |
| オーストラリア | Å-578 | 2.7 | 1969 | ストックホルム | 8.38 | 8.21 | -2.00 | 8.22 | -1.87 |
| ベルギー | Å-7190 | 2.8 | 1965 | ニューポート | 6.42 | 6.45 | +0.50 | 6.45 | +0.48 |
| | Å-21* | 3.9 | 1964 | ダヴォス | 30.35 | 30.22 | -0.43 | 30.21 | -0.45 |
| カナダ | Å-9001 | 2.9 | 1968 | ニューポート | 6.29 | 6.32 | -0.43 | 6.32 | +0.43 |
| | SD-T 7* | 2.9 | 1964 | ダヴォス | 0.365 | 0.362 | -0.73 | 0.363 | -0.54 |
| コンゴ | Å-119* | 7.3 | 1964 | ダヴォス | 8.18 | 8.11 | -0.90 | | |
| | Å-10 | 3.9 | — | — | 5.490 | 5.486 | -0.07 | 5.50 | +0.21 |
| イギリス | Å-583 | 2.7 | 1969 | カーベントラ | 8.34 | 8.39 | +0.59 | 8.40 | +0.70 |
| インド | Å-508* | 5.3 | 1964 | ダヴォス | 8.32 | 8.35 | +0.27 | 8.35 | +0.30 |
| | Å-8418 | 2.9 | 1967 | ニューポート | 6.68 | 6.74 | +0.92 | 6.71 | +0.42 |
| 日本 | Å-588 | 2.7 | 1968 | ストックホルム | 8.53 | 8.35 | -2.15 | 8.35 | -2.11 |
| | Å-10316 | 2.9 | 1970 | ニューポート | 6.34 | 6.39 | +0.79 | 6.36 | +0.30 |
| 南アフリカ | Å-542* | 5.5 | 1964 | ダヴォス | 14.87 | 14.86 | -0.08 | 14.87 | +0.01 |
| スーダン | Å-561 | 4.0 | 1962 | ストックホルム | 8.390 | 8.386 | -0.05 | 8.38 | -0.08 |
| スウェーデン | Å-158 | 4.0 | 1940 | ウプサラ | 13.97 | 13.81 | -1.14 | 13.80 | -1.20 |
| | Å-158* | 7.5 | — | — | 13.97 | 13.82 | -1.03 | 13.83 | -0.95 |
| | Å-171 | 2.5 | 1963 | ストックホルム | 8.20 | 8.07 | -1.06 | 8.06 | -1.62 |
| スイス | Å-210* | 3.7 | 1964 | ダヴォス | 16.00 | 基準 | | 16.00 | -0.03 |
| | Å-525* | 2.5 | 1964 | ダヴォス | 14.87 | 14.92 | +0.33 | 14.92 | +0.31 |
| チュニジア | Å-205* | 5.3 | 1964 | ダヴォス | 16.06 | 16.10 | +0.24 | 16.09 | +0.19 |
| | Å-9002 | 2.9 | 1968 | ニューポート | 6.42 | 6.37 | -0.79 | 6.46 | +0.59 |
| アメリカ | Å-2273* | 2.8 | 1964 | ダヴォス | 6.26 | 6.29 | +0.46 | 6.29 | +0.43 |
| | Å-7644 | 2.9 | 1966 | ダヴォス | 6.54 | 6.55 | +0.14 | 6.56 | +0.21 |
| | SD-78* | 2.8 | 1964 | ダヴォス | 0.305 | 0.304 | -0.41 | 0.304 | -0.41 |
| ソ連 | Å-212* | 3.9 | 1964 | ダヴォス | 14.83 | 14.78 | -0.32 | 14.80 | -0.22 |
| 国内センター | | | | | | | | | |
| アルジェリア | SD-66 | 2.9 | — | — | 0.337 | | | | |
| フランス | Å-24* | 3.9 | 1964 | ダヴォス | 33.33 | 33.33 | -0.00 | 33.21 | -0.38 |
| ナイジェリア | Å-576* | 2.3 | 1964 | ダヴォス | 8.21 | 8.24 | +0.36 | 8.24 | +0.31 |
| ノルウェー | Å-204* | 4.4 | 1964 | ダヴォス | 12.43 | 12.55 | +0.99 | 12.55 | +0.97 |
| | Å-507* | 6.7 | 1964 | ダヴォス | 17.12 | 17.08 | -0.20 | 17.08 | -0.22 |
| オブザーバー | | | | | | | | | |
| J.P.L. | 絶対放射計 | 2.45 | | | | | | | |
| N.B.S. | 絶対放射計 | 2.4 | | | | | | | |
| Potsdam | Å-140* | 3.5 | 1964 | ダヴォス | 12.15 | 12.10 | -0.46 | 12.09 | -0.49 |

* 印の日射計は IPC-II (1964) に参加したもの

えないこと。

(4) $m\beta^* < 0.3$ に対して、大気混濁度の影響が 0.5% を超えないこと。

とし、これに当てはまる日射計 7 台 (Å21, Å140, Å212, Å525, Å542, Å576, Å2273) を選んだ。そして比較の基準値は、これら 7 台の観測値の平均値をもってあてべきだとした。その結果は第 3 表の最後の欄に示してある。現在われわれは、ダヴォス準器による校正値を使っているが、CIMO-VI での提案が受け入れられると、僅かであるが修正を要する。(IPC-III の Final Report による)。

このように、日射観測の基準をなす IPS-56 の維持は、絶対的な基準がなく、選ばれた複数の日射計の相互関係において支えられているのが現実の姿である。精密な絶対放射計の開発の必要性は、以前から(CIMO-IV)訴えられて来たのであるが、今回の IPC-III において、アメリカの N.B.S と J.P.L が開発した絶対放射計 2 台の成果が注目される所である。IPC-III の結果と Table Mountain での観測の結果から、現在の IPS-56 は、この絶対放射計スケールより約 2% 低い値を示している。これは 1913 年 スミソニアン日射スケールに戻ることを意味するので、多少の抵抗を感じるのではあるが、いずれにせよ IPS-56 および国際日射計比較観測の技術基準について再検討がせまられていることは事実である。

この問題の解決は、1975 年に開催を予定されている IPC-IV の結果に持ちこされることになった。(CIMO-VI/Doc. 36, Appendix C, 1973)

6. 新しい検定技術の開発

熱電堆式全天日射計の検定

現在実施されている全天日射計の検定方法は、次のようなものである。

自然光のもとで、基準器と被検定器の出力(熱起電力)の測定を同時に行ない、

$$K = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N K_X, \quad K_X = K_S \frac{E_X}{E_S}$$

K_S : 基準器の器械定数 [mV/ly·min]

E_S : 基準器の出力 [mV]

E_X : 被検定器の出力 [mV]

から被検定器の器械定数 K を求め、 K_X の午前・午後
の対称性、日によるばらつき、標準偏差を考慮して、
可否の判定を行なっている。データー数 N は、4~5 日
間の記録から、太陽高度角 $> 30^\circ$ の範囲で、午前・午後

各 20~25、計 40~50 個程度選んでいる。

以前は、アナログ記録から、日射計出力の瞬時値を読み取っていたため、検定は、大気の安定した晴天時に限られ、梅雨期から夏季には、ほとんど出来ない状態にあった。現在は、起電力-電圧変換器、電子式積算器、印字器、時計装置の組み合わせで 30 分間平均値を求めているため、天候への依存性が少なくなり、検定可能日数を大巾に増すと同時に、データー処理時間も短縮されている。

しかし、日射計は自然光による検定の場合、検定時の自然条件(気温、太陽高度、大気混濁度等)が、器械定数決定の際に大きく影響するという困難な問題が残っている。

全天日射計の器械的誤差の原因のおもなものとして、次の二つの特性をあげることができる。

(1) 高度角特性: 入射角 0° (鉛直方向) のときの出力を E_0 、入射角 θ のときの出力を E_θ とすると、

$$E_\theta/E_0 = \cos \theta \quad (\text{余弦の法則})$$

が成り立つ。しかし、実際には、受感部の塗装状態、ガラス・ドームの厚さの不均一によるレンズ効果、受感部の水平度の不完全さ、吸収・反射率の違い等が原因となり、余弦法則に完全には従わないのが普通である。

(2) 温度特性: 受感部とガラス・ドーム内の空気、基盤、日射計周囲の空気などの間で行われる複雑な熱交換が周囲温度によって異なり、出力に変化が生じる。

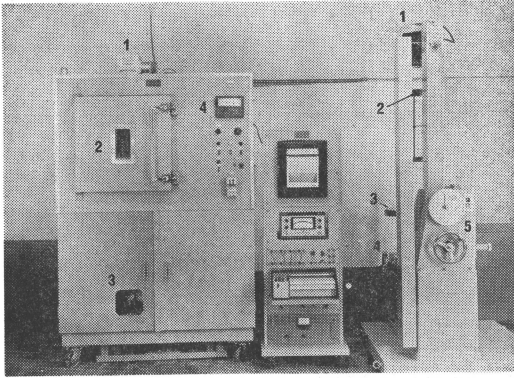
われわれが行った測定結果によると、温度特性は、 1°C の温度上昇に対して $-0.014 \sim -0.155\%$ で、 $-0.1 \sim -0.2\%$ としている McDonald (1951) や Bener (1956) の結果とほぼ一致している。一方、高度角特性の方は、タイプが異なれば勿論であるが、同一タイプの日射計でも個体差が大きいことがわかった。このようなことから、検定を行う季節によって器械定数に系統的な偏りが生じる恐れがある。

したがって、日射計の均質性および検定精度向上のため、次のことが望まれる。

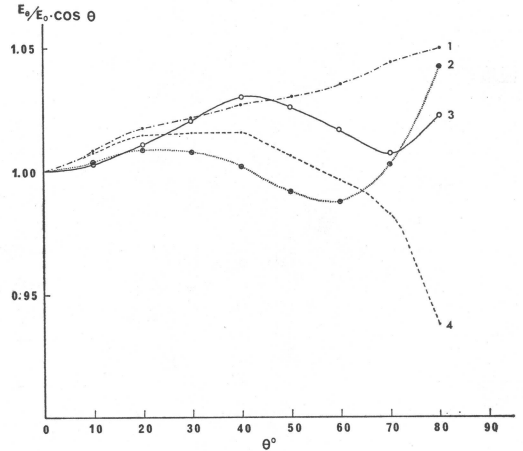
(1) 検定条件を人工的に制御できる検定装置を用いて、常に一定条件のもとで器械定数の決定を行い、

(2) 従来の目盛付の性格を持った検定方法を、日射計の精度を決める諸特性(高度角特性、温度特性、応答速度、零点漂動等)の検査に重点を置いた検定方法に改める。

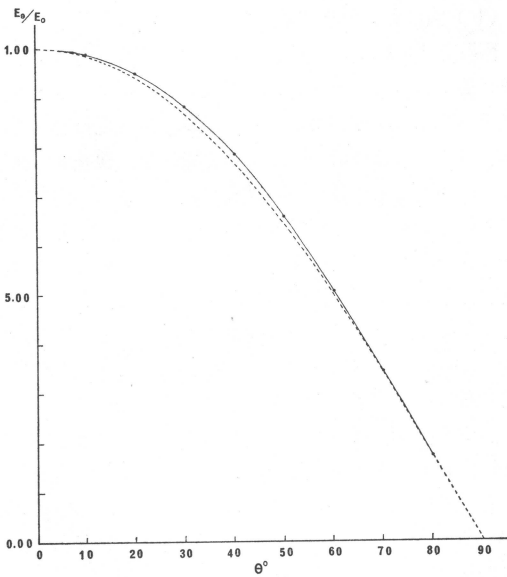
こうした理由から、日射計の検査・検定装置を試作し、現在、新しい検定方法を確立するための実用試験を



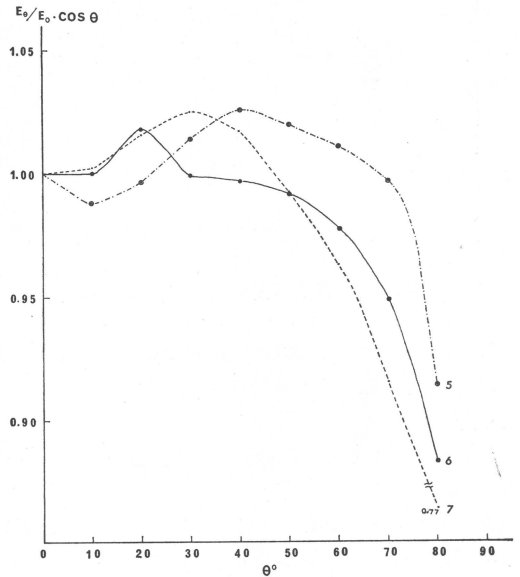
第10図 日射計特性検査装置 (写真), 右: 高度角特性検査装置—1 光源, 2 散乱光防止用マスク, 3 ターン・テーブル, 4 テーブル昇降ハンドル, 5 高度角調節ハンドル. 左: 温度特性検査装置—1 光源, 2 恒温そう, 3 冷凍機, 4 温度指示調節計. 中: 電源・記録部



第12図 a 1. エプリー社製 No. 10764, 2. 国産 A70004, 3. 国産 A70038, 4. 精密全天日射計 No. 10753 F 4



第11図 A型日射計の高度角特性 (E_{θ}/E_0 と $\cos \theta$ の関係)



第12図 b 5. 国産111732, 6. 国産ゴルチンスキー型 (旧), 7. 国産111737

第12図 a, b 各種日射計の高度角特性

行っている。

日射計検査装置

(a) 高度角・方位角特性検査装置

本装置は、第10図に示すような構造で、ターン・テーブル上に置いた日射計を、白熱電球 (100V, 500W) で照射しながら入射高度角および方位角を変え、そのときの出力変化を測定し、各日射計の高度角・方位角特性の

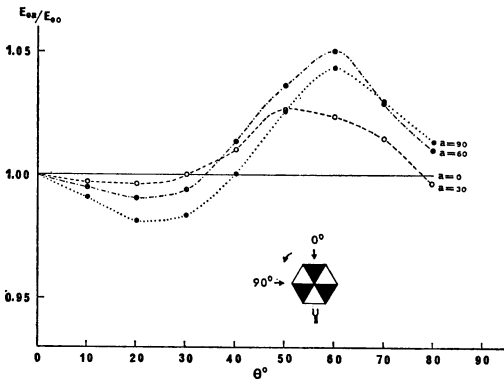
違いを定量的に求めて検査するためのものである。

入射角は、 0° (鉛直方向) から 90° (水平方向) まで、方位角は 360° 変えられる。放射エネルギー強度は、集光レンズと散乱光防止用マスク (内径70mm, 3段) を通し、1,100mm 離れた日射計受光面において、約 $1.2 \text{ ly} \cdot \text{min}$ 。放射エネルギー強度分布は、日射計受光面にお

第4表 全日射計の周囲温度による出力変化率 (%・°C⁻¹)

| 温度(°C) | 日射計 | エプリー型 準器 | A 型 | ゴルチンス キー型 | 精密型 | ゴルチンス キー型 |
|---------|-----|-------------|--------|--------------|--------|--------------|
| -20~-10 | | -0.141 | -0.070 | -0.058 | +0.108 | -0.08 |
| -9~ 0 | | -0.137 | -0.067 | -0.050 | +0.005 | -0.10 |
| +1~ 10 | | -0.095 | -0.114 | -0.089 | -0.002 | -0.08 |
| 11~ 20 | | -0.169 | -0.137 | -0.140 | -0.015 | -0.02 |
| 21~ 30 | | -0.132 | -0.054 | -0.131 | -0.008 | -0.11 |
| 31~ 40 | | -0.213 | -0.148 | -0.174 | -0.034 | -0.22 |
| 41~ 50 | | -0.199 | -0.086 | -0.066 | -0.151 | -0.15 |
| 平均 | | -0.155 | -0.098 | -0.101 | -0.014 | -0.11 |

* 出力の時間的低下率を補正してある



第13図 A型日射計の方位角特性

度角特性と同じ原因で、出力変化が生じる。これを方位角特性といい、グラフで表わすと、第13図のようになる。方位角の違いによっても、1~3%程度の差が出るのがわかる。

(b) 温度特性検査装置

恒温そう内に置いた日射計を、恒温そう上部の照射窓(石英ガラス、集光レンズ)を通して、ハロゲン・ランプ(100V, 650W)で照射しながら、温度変化を与え、周囲温度による日射計の出力変化を測定・検査する装置で、第10図で示す各部から構成されている。

日射計受光面における放射エネルギー強度は、約1 ly・min⁻¹、使用温度範囲は-40~+80°C、温度分布は、定常状態において、攪拌用ファンを用いて、±1.0°C程度に保てる。そう内容積は500cm³で、昇温・冷却速度は、常温→+80°Cで約40分、常温→-40°Cで100分程度である。

温度調節は、可動コイル型指示温度計(白金抵抗使用)とトランジスタ発振回路からなる温度指示調節計、メイン・ヒーター(1KW, 可変)、補助ヒーター(0.75KW)、水冷式冷凍機(200V, 2.2KW, フreonガスR-22使用)の組み合わせで行う。

第4表に、測定結果を示す。温度変化1°C当り0.1~0.2%程度の日射計の出力変化があり、冬季と夏季で、数%の差が出るのが予想される。

日射計検定装置(積分球)

“光を完全に散乱させるような塗料を塗った中空の球体内に光源を置いたとき、他の部分から多重反射した光のため、照射は、内表面のすべての部分で等しく、光源から放射される全フラックスに比例する”という積分球理論を日射計検定に導入したのは、T.H. McDonald と

いて、光軸中心より半径20mm以内で最大値と最小値の比が10%以下になるよう設計されている。

問題点は、

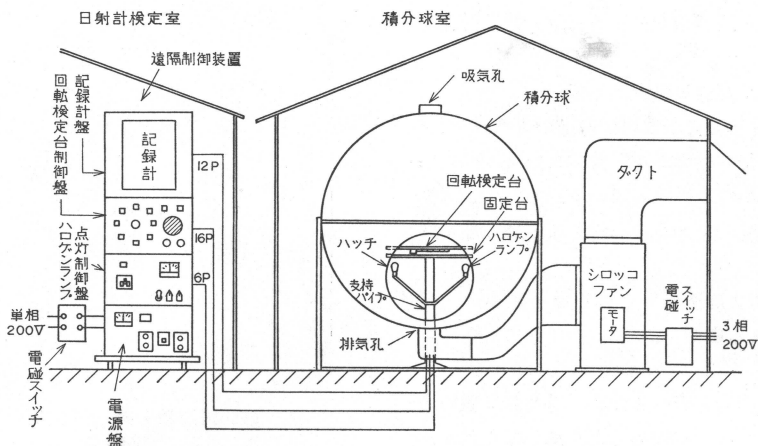
(1) 放射エネルギー強度分布が、同心円的になっていないこと、

(2) 普通の部屋で測定を行なっているため、わずかながら外界からの光の影響を受け、特に、入射角θ=70°以上で誤差が大きくなることである。

次に、本装置を用いて調べた高度角・方位角特性の実例を示す。第11図には、A型日射計(検定用基準器)のE_θ/E₀とcosθの関係が、第12図には、各種日射計のE_θ/E₀・cosθ、つまり入射角θにおける余弦法則からの偏差が示してある。

第12図からわかるように、θ=60°あたりまで、偏差は±3%以内にあるが、θ=80°になると-10%以上に達するものもある。

入射角を一定にしたまま方位角を変えた場合にも、高



第14図 日射計検定装置概略図

第5表 自然光と積分球による器械定数

| 日射計 | 自然光 mv/ly·min ⁻¹ | 積分球 mv/ly·min ⁻¹ | 差 [%] |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|
| A70038 (A型, 英弘精機) | 5.72 | 5.776 | +0.98 (-0.44) |
| A70004 (A型, 英弘精機) | 6.53 | 6.497 | -0.51 (-0.39) |
| Black & White (A型, エプリー社) | 7.92 | 8.229 | +3.90 (-0.34) |
| 石川111732 (エプリー型) | 7.77 | 7.628 | -1.83 (-1.07) |
| 石川111737 (エプリー型) | 9.78 | 9.464 | -3.23 (+1.17) |

() 内は、高度角特性を補正した値

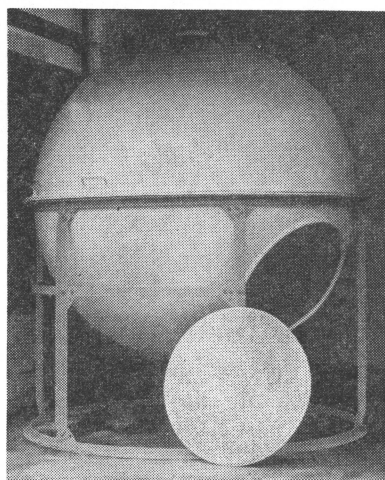
N.B. Foster であり、現在、積分球は米気象局、カナダ気象局、英国の Kew Observatory 等で使用されている。

今回、気象庁で製作した積分球は、直径2mの強化プラスチック製で、内面には硫酸バリウムを塗装し、光源としてハロゲン・ランプ(100V, 650W, 色温度3,200°K)6個を使用している。

装置の概略図と積分球本体を第14図、第15図に示す。これは、球内にある回転検定台に基準器と被検定器(同時に5台検定可能)をのせ、ランプを点灯し、そのときの日射計出力を同時に測定し、自然光の場合と同じ方法で被検定器の器械定数を決定するためのものである。

ランプ電圧は、直流安定化電源装置(3相200V, 20A)を用いて、0→100Vまで連続的に変えることができる。球内部の塗装むらなどにより起り得る位置による誤差を除くため、回転台は、45°おきに8か所で停止し、各点で測定を行ないながら、360°回転させられるようになっている。日射計受光面における放射エネルギー強度は、ランプ電圧100Vのとき、約1 ly·min⁻¹である。

次に、本装置で行なった試験結果を示す。第5表からわかるように、自然光と積分球による器械定数の差は、+3.90~-3.23%である。基準器としては、全天日射計



第15図 積分球(写真)

準器群の基準になる米国 Eppley 社精密分光型日射計を使用した。

上記の器械定数に差が出る原因として、

(1) スペクトル分布および放射場の違い：ハロゲン・ランプは太陽光に似たスペクトルを持っているとはいえ、その強度分布はかなり異なっている。また、自然光の場合、直達光+散乱光であるのに対して、積分球では散乱光だけである。

(2) 高度角特性による影響

(3) 温度特性による影響

等が考えられる。

初めに、(1)の影響を調べるため、ランプ6個の中2個の腕を延ばし、直達光が加わるようにして見たが、はっきりした変化は認められなかった。したがって、(1)については、スペクトル分布の違いによる影響の大きさと推定される。

次に、(2)の効果について調べた。ここで使用した自然光による器械定数は、昭和48年5月(入射角約20~50°相当)の平均的な値である。一方、積分球の場合、高度角特性は、入射角0~90°まで平均化されたものとなっている。したがって、20~50°の間の差は、互に相殺されると考え、10°および60~80°について補正を試みた(実際には、80°の値は、測定誤差が大きいため無視した)。

極めて大ざっぱであるが、入射角0°のときの出力を1とし、入射角 θ における出力比 $E_{\theta}/E_0 = \cos \theta$ の中で占める基準器と被検定器の高度角特性の違いによる差を求め、その積算値を補正係数 C とした(第12図参照)。

$$C_{\theta} = [(E_{\theta}/E_0)_S - (E_{\theta}/E_0)_X] \cdot \cos \theta$$

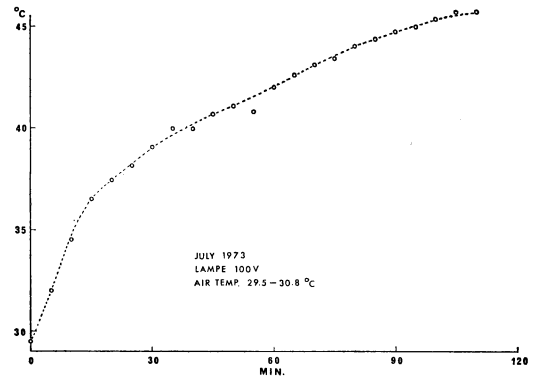
$$C = C_{10} + C_{60} + C_{70}$$

S: 基準器; X: 被検定器

補正を行った結果、すべて、補正前の値に比べて自然光による器械定数に近づき、誤差範囲が1.13~-1.05%に縮まった(第5表)。

自然光による検定でも、この程度の日または季節による器械定数の変化は認められる。したがって、今回の試験結果を見ると、高度角特性の補正をきめ細かく行い、温度特性を考慮すると、積分球による検定(器械定数の決定)は、十分実用になるといえる。

通風を行っているが、積分球内の温度は、45~50°Cに達する(第16図参照)。積分球内の温度調節が、今後の課題である。



第16図 積分球内壁温度の時間変化

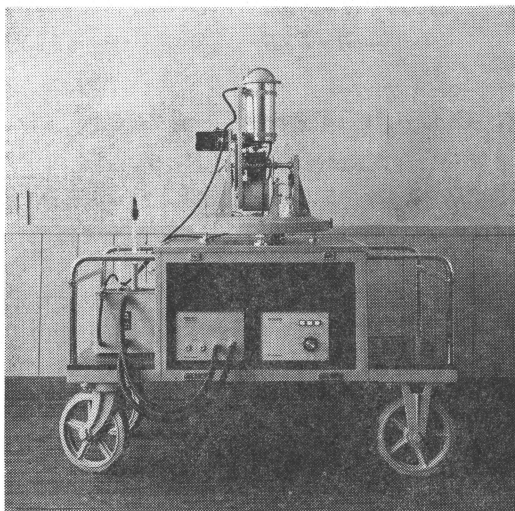
7. 放射計の基準化

基準化の問題

放射の測定は、放射エネルギーを熱エネルギーに変換し、受感部の温度(または温度差)を熱電対起電力として測定する方法が広く行われている。測定量は、最終的には器械定数を使って放射エネルギーに換算し直される。器械定数を定める作業(検定)の方法は、大別して2とおり考えられる。①基準放射計との比較測定を行う方法、②標準放射源を有する検定装置に依る方法である。①の基準放射計は絶対測定の可能な装置を有するものであることは当然である。

放射観測値の均質性を保つためには、世界各国の基準放射計、検定装置、放射計の規格・精度・測定方法を統一し、一段階精度の高い世界基準器をもって、定期的に精度維持を図る必要がある。現在各国で使われている放射計は、多種にわたっている。1955年西ドイツのHamburgでこうした各種放射計を統一する目的をもって比較観測が行われ、理論・製作・測定各方面について討議されたが、いまだに世界の基準器となり得る放射計は現れていない。

気象庁における組織的な放射観測は、IGY(1957~58年・国際地球観測年)のときに始められ、基準放射計としてアメリカ Beckman and Whitley 社の通風型放射計、放射収支計が使われた。この間、国内の基準化が試みられた。1958(昭33)年、IGY で使った通風型放射計の検定用として「輻射検定装置」が、また1964(昭39)年、風防型放射計用として同装置がそれぞれ試作された。いずれも検定方法②に属する装置であるが、欠陥として装置各部から射出される赤外放射の中から、検定に必要な標準放射源の赤外放射だけを抽出することが困難であるため実用化されなかった。1966~67(昭41~42)年、



第17図 全天走査型放射計 (写真)

前2者と同じく検定方法②に属する放射収支計検定装置が気象庁測候課の仕様に基づき気象測器工場で製作された。この装置も前2者と同様、周囲環境からのノイズを取除くことができなかつた。また、シャッターを開いた際、対流の影響を受け、これも環境を変化させてノイズの原因になることが判つた。

一方、検定方法①の基準放射計に関しては、1968~69(昭43~44)年、全天走査型放射計が製作された。これは気象研究所の地方共同研究として測候課・気象測器工場が製作にあつた。試験の結果この放射計は、一応基準放射計として使える見通しとなつたので以下これを紹介したい。

全天走査型放射計

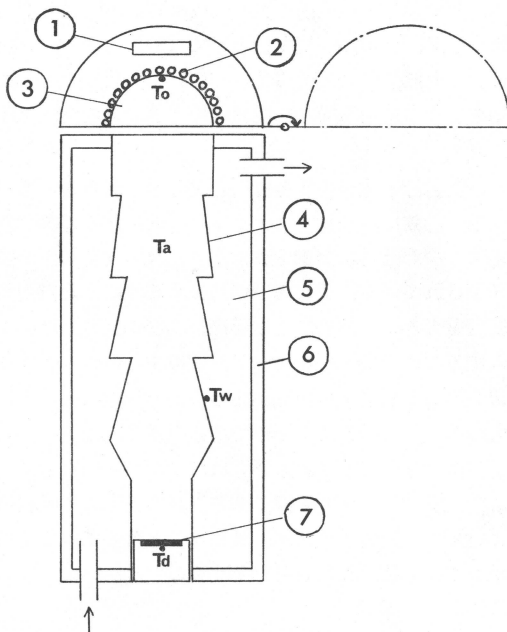
i) 全天走査型放射計とは

第17図に全天走査型放射計の全体図を示す(遠隔操作装置を除く)。

この放射計は、放射計本体に直達式放射計を採用している。直達式放射計は、狭い開口角を持ち限られた立体角の放射を測定するものであるが、全天式に比べ器械定数が求め易く、原理的に見て精度が高いと考えられる。

全天空からの大気放射は、放射計を或る方位角において天頂から水平面まで走査させ幾つかの天頂角でそれぞれ基準黒体と大気放射による出力を交互に求め、その方位角における大気放射を算出し、更に全方位角から等しい大気放射があるとし、方位について積分することによって求められる。

この放射計は特に次の点に考慮が払われている。



第18図 全天走査型放射計本体。①サーモスタット、②ヒーター、③基準黒体、④ダイアフラム、⑤循環水、⑥断熱材、⑦受感部、 T_o : 基準黒体表面温度、 T_a : 筒内空気温度、 T_w : ダイアフラム表面温度、 T_d : 受感部温度、●印は測温点

- ① 観測作業の多くは遠隔操作によって室内で行える。
- ② 筒の内壁を一定温度に保ち受感部のゼロ点漂動を防止している。
- ③ 外気温が氷点以下になつても測定可能である。
- ④ 筒の内壁温度を外気温よりやや低目に制御することで筒内の対流による受感部温度の乱れを少なくしてある。

⑤ この放射計の器械定数は、観測時における大気放射のかわりにさまざまな温度に設定した Dines の黒体による既知放射を測定することによって簡単に自ら決定できる。いわゆる self-calibrating system である。

この放射計は、その構造からして観測可能なときが、夜間・快晴・無風という条件で限定されてしまうので現場での定常的な観測には不適當であるが、以上の特長を有することから全天放射計検定のための基準放射計として使われる。

ii) 構成

この放射計は、次の各部から構成されている。第18図は、その説明図である。

イ. 基準黒体……内面を特に吸収率の高い塗料で塗装された半球. 半球の一端を軸として 180° 回転し, 放射計の筒口を開閉する. 受感部は, 筒口が閉状態のときこの基準黒体の放射を受け, 開状態のとき大気放射を受ける.

ロ. 放射計本体……放射計筒と受感部とから成っている. 放射計筒は, ウォータ・ジャケットになっており外気温より少し低目に制御された水またはアルコールが強制循環されている. 気温より低目にするのは, 筒内空気の密度を大きくし対流により受感部温度が乱されないようにするためであり, また一定温度にするのは, 受感部起電力に最も影響する内壁からの放射を一定に保って起電力のゼロ点漂動を防ぐためである. 更に, 外気温が氷点以下になると予想されるときにはアルコールを循環液として使うことにより観測できる. 筒の内壁は, 吸収率のよい塗料で塗装されたダイアフラムとなっていて受感部がここで反射された放射を受けることのないようにしてある.

受感部は, 筒の底にあって 14 対の モル型熱電堆 である.

ハ. 基台……基準黒体部, 放射計本体を保持する. モータにより基準黒体部を 180° 回転させ, また放射計本体を 12 点の天頂角の任意の位置に設定する.

ニ. 電子循環冷却装置……温度制御された水またはアルコールを観測時にはウォータ・ジャケットに, また器械定数をチェックする時には Dines の黒体に循環させる.

ホ. 遠隔操作装置……基準黒体, 放射計本体の動作, 測定を室内で行う装置.

ほかに, 測温点が第 18 図のように設けられている.

iii) 測定原理

放射計が天頂角 z , 方位角 ϕ に向いているとする. 基準黒体を閉状態にし, その時の各部の要素を次のようにすると (1) 式が立つ.

- T_0 : 基準黒体の表面温度 ($^\circ\text{K}$)
- T_w : ダイアフラムの表面温度 ($^\circ\text{K}$)
- T_a : 筒内空気の温度 ($^\circ\text{K}$)
- T_d : 受感部の温度 ($^\circ\text{K}$)
- τ : 筒内空気の透過率
- κ : 放射計の有効開口角
- σ : Stefan の定数
- K : 受感部の検定定数
- E_0 : 受感部の出力 (起電力)

$$\kappa\tau\sigma T_0^4 + (1-\tau)\kappa\sigma T_a^4 + (1-\kappa)\sigma T_w^4 - \sigma T_d^4 = KE_0 \quad (1)$$

(1) 式の左辺は

第 1 項……基準黒体から受感部に達する放射量.

第 2 項……筒内空気から受感部に達する放射量.

第 3 項……ダイアフラムから受感部に達する放射量.

第 4 項……受感部が射出する放射量.

右辺は, 受感部の放射収支を示す.

次に基準黒体を開状態とし, 大気放射 I_z を入れる. 受感部の温度を T_{dz} , 起電力を E_z とすると (2) 式が立つ.

$$\kappa I_z + (1-\tau)\kappa\sigma T_a^4 + (1-\kappa)\sigma T_w^4 - \sigma T_{dz}^4 = KE_z \quad (2)$$

(1) 式 - (2) 式

$$\kappa\kappa(\sigma T_0^4 - I_z) - \sigma(T_d^4 - T_{dz}^4) = K(E_0 - E_z) \quad (3)$$

$T_d \doteq T_{dz}$ とすれば (3) 式は

$$I_z = \frac{K}{\tau\kappa}(E_z - E_0) + \sigma T_0^4 = K(E_z - E_0) + \sigma T_0^4 \quad (4)$$

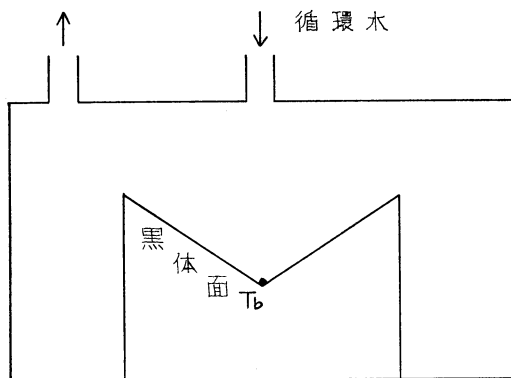
$K = K/\tau\kappa$ が放射計の器械定数である.

全天球からの下向きの大気放射量 F は,

$$F = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi/2} I_z \sin z \cdot \cos z dz \quad (5)$$

大気の状態が方位角 ϕ について一様ならば

$$F = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 I_z d(\cos 2z) \quad (6)$$



第 19 図 ダインスの黒体. T_b 黒体表面温度, ●印は測温点

第6表 放射計観測値，放射図計算値の比較

| 年月日 観測地 | 時間 hm~hm | 全天走査型 cal·cm ⁻² ·min ⁻¹ | 180°自動 cal·cm ⁻² ·min ⁻¹ | 全天と180° の差(%) | 放射図 cal·cm ⁻² ·min ⁻¹ | 全天と放射図 の差(%) |
|--------------------|--|--|---|------------------|--|-----------------|
| 1970. 11. 9 布川 | 1840~1920 2105~2145 2150~2210 | 0.420 0.411 0.416 | | | 0.400 (0.403) | (-3) |
| 1970. 11. 11 布川 | 1910~1930 1940~2005 2100~2125 2125~2150 | 0.357 0.354 0.350 0.349 | | | 0.356 (0.358) | (+2) |
| 1970. 11. 16 布川 | 2125~2145 2145~2205 | 0.348 0.348 | | | 0.315 (0.321) | (-8) |
| 1970. 12. 14 館野 | 1950~2005 2010~2045 | 0.327 0.332 | 0.328 0.328 | 0 1 | 0.319 | -3 |
| 1971. 2. 8 館野 | 1920~1940 2040~2100 2230~2250 | 0.334 0.331 0.332 | 0.336 0.332 0.332 | 1 0 0 | 0.316 | -5 |
| 1971. 2. 9 館野 | 2035~2100 2135~2150 | 0.296 0.301 | 0.296 0.297 | 0 1 | 0.293 | -2 |

全天走査型放射計，180°自動走査直達大気放射計，館野21h高層資料による山本の放射図（かっこ内は布川の地上気温に引き直した値）

第7表 全天走査型放射計の器械定数の検定結果

| 検定年月日 | 器械定数 [cal·cm ⁻² ·min ⁻¹ /mV] | | | | 室温 [°C] | ジャケット 循環水温 [°C] |
|--------------------|--|----|---------|----|------------|-----------------------|
| | 出力正の側 | | 出力負の側 | | | |
| | 定数 | 差% | 定数 | 差% | | |
| 1970. 9~10(製作当初) | 0.0055 | | 0.0052 | | 26 | 21~29 |
| 1972. 1. 26~27 | 0.00548 | -0 | 0.00527 | +1 | 5~11 | 7~10 |
| 1972. 3. 1 | 0.0056 | +2 | 0.00514 | -1 | 10 | 11 |
| 1972. 11. 29~12. 4 | 0.00521 | -5 | 0.00517 | -1 | 14 | 11~12 |

表中「差」とは製作当初からの差を表わす。出力正は昼間の観測，出力負は夜間の観測に相当する。

によって大気放射量 F が求まる。

iv) 器械定数の決定

この放射計の器械定数を求めるには Dines の黒体を放射源として使う。これは第19図に示すように円筒の内面が逆円錐状で吸収率のよい塗料で塗装されていて外部からの入射エネルギーをほぼ完全に吸収する。円筒内には電子循環冷却装置により一定温度の水またはアルコールを送る。

温度 T_b の Dines の黒体を放射計にかぶせたときの受感部の起電力を E_b ，ダイアフラム表面温度を T_{db} とすると次式が立つ。

$$\tau\kappa\sigma T_b^4 + (1-\tau)\kappa\sigma T_a^4 + (1-\kappa)\sigma T_w^4 - \sigma T_{db}^4 = KE_b \tag{7}$$

(1) 式-(7) 式から (4) 式と同様に次式が得られる。

$$K = \frac{K}{\tau\kappa} = \frac{\sigma(T_0^4 - T_b^4)}{E_0 - E_b} \tag{8}$$

いろいろな温度における T_0 , T_b , E_0 , E_b からそれらの温度域内の器械定数 K が求まる。

v) 比較観測と器械定数チェックの結果

放射計は，製作直後，同じ時期に高層气象台で製作さ

第8表 全天走査型放射計を基準とした放射計検定例

| 1972年2月 | 風防型 6903 | 風防型 6904 | 通風型 509 |
|---|-------------|-------------|------------|
| 検定定数 K | 0.0838 | 0.0914 | 0.117 |
| 標準偏差 σ | 0.0017 | 0.0011 | 0.0028 |
| 変動係数 σ/K | 0.020 | 0.012 | 0.024 |
| 1972年11月 | | | |
| K [cal·cm ⁻² ·min ⁻¹ /mV] | 0.0876 | 0.0953 | 0.1144 |
| 前回との差 % | +5 | +4 | -3 |
| σ | 0.0011 | 0.0013 | 0.0020 |
| σ/K | 0.012 | 0.014 | 0.018 |

風防型放射計 No. 6903, 同 No. 6904, 通風型放射計 No. 509 (Beckman 製)

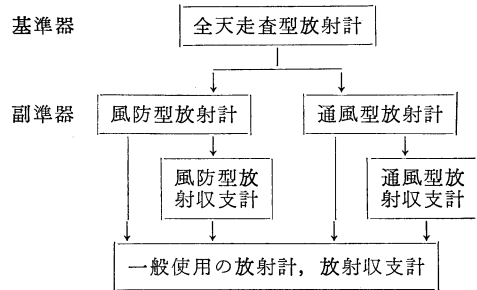
れた 180° 自動走査直達大気放射計 (池田弘ほか) と比較観測が行われた。また高層気象観測の資料を使って山本の放射図により計算された値と比較した。資料は、時間的空間的に最も近い高層気象台21時のものを使った。これらの比較結果が第6表である。放射計の2者は、測定原理の類似したものではあるが、全く独立に器械定数が決められたにもかかわらずほとんど1%以内の差となっている。また、放射図による値との差は幾分大きく出ている。更に、2年間4回にわたる器械定数の検定結果 (第7表) を見ても出力負 (通常の大気放射) においては±1%内の変化に納まっている。これらの結果を考えると、この放射計は一応の基準器として取扱っても差支えないと考えられる。

第8表には全天走査型放射計を基準としていくつかの放射計を検定した結果を示す。定数の変化は、風防型の方がやや大きく現われているが、1シリーズの測定では、風防型の方が変動係数が小さく、この2種の放射計の特性を示すものかもしれないが、これについては今後の観測結果を待ちたい。

われわれの試作した全天走査型放射計は、現在までの試験で一応の成果が得られたが、これで絶対測定の可能な放射計基準器が完成したとは考えていない。例えば、全天空からの大気放射を求める際に、方位について同一高度角からの大気放射は等しいと仮定して計算を行っているが、夜間、眼に見えない雲が出ていたり水蒸気の分布の異なるときは、正しい評価が出来ない。その名が示す通り、全天をくまなく走査するのが理想であるが、受感部のモル型熱電堆の応答速度では、天空状態の変化に

はとても追いつかない。熱電堆を利用した受感部では限界がある。このためわれわれは時定数が短く (msec のオーダー)、出力が大きい受感部の開発を試みている。(地方共同研究、真空蒸着法による放射計感部の開発)

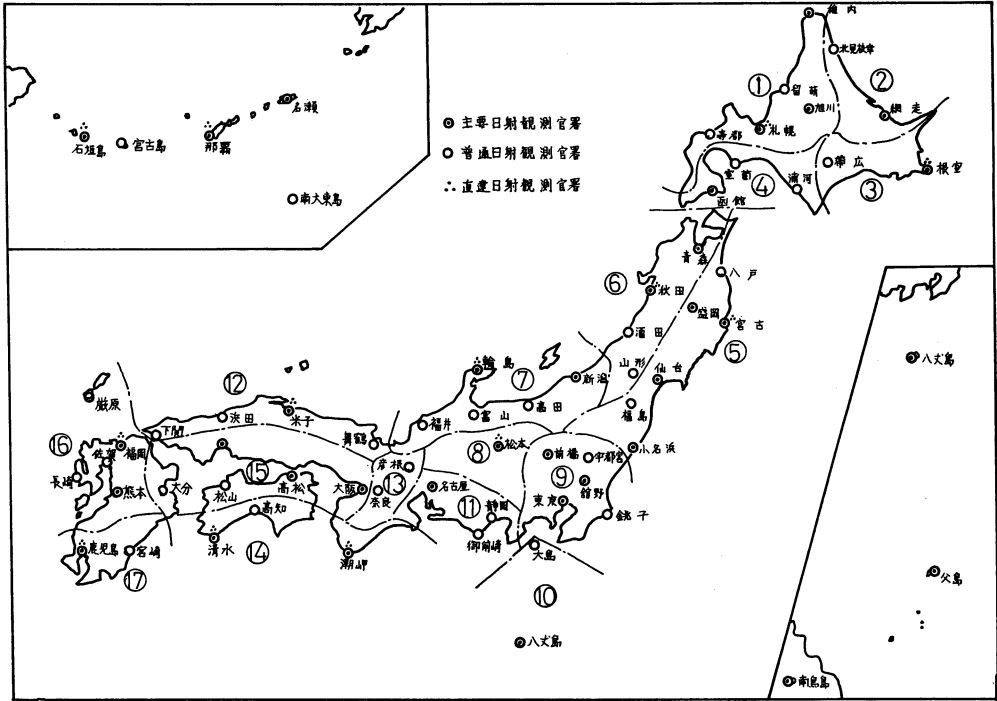
このことはさておいて、近來の社会的要望は、完全な絶対放射計の出現するまで、放射計の基準化を待つことが出来ない情勢にある。さしあたって全天走査型放射計を暫定基準器として次のような構成のもとに、試験的な基準化を進めていく考えである。



8. 日射観測網の展開

わが国の日射観測は、1932年 (昭和7年) に銀盤式日射計の全国展開によって始められ、1938年 (昭和13年) には、その観測点は79か所に及んだ。これには朝鮮、台湾、樺太、南洋諸島等当時の外地が含まれている。第2次大戦の補給困難な時期を経て、終戦時には30か所前後に減り、1953年 (昭和28年) に永年気候観測が発足し、13官署に整理された。このうち東京は1964年 (昭和39年) に永年気候観測官署から外されて、観測を中止した。那覇と石垣島は、永年気候官署ではないが、位置および環境の重要性から、特にこの観測を実施している。銀盤式日射計は、精度が良く安定度に優れて、永年蓄積されたデータは信頼性がある。このため近年大気環境の変化の推移を知る手段として、各方面から利用されるようになった。この観測点は今後も維持し、気候変動監視のトップパターとしての役割を果す必要がある。

全天日射量の観測は、バイメタル式全天日射計により、全気象官署の普通気候観測種目となっている。このバイメタル式日射計は精度が不安定で経年変化が大きく、特に測器を交換した時の不連続が目立つ。データの信頼性が乏しいので、利用にあたっては、何等かの考慮が必要であろう。また、維持困難のため中断または中止する官署が多く出て、累年統計を取る際に障害をおこす。信頼できる日射計への転換が望まれていたが、予算上実行が遅れ、1970年 (昭和45年) に始まった新しい



第20図 新しい日射観測網

地上気象観測装置の展開を機に、その中に熱電堆式日射計を組込むことにした。そして従来のアナログ記録を廃し、変換器、演算積算器、プリンターによるデジタル記録に切换え、精度の向上と読取時間の軽減を図った。

この新しい熱電堆式日射計(第7図g)を展開するに当って、日射観測網の再整備が行なわれた。本年度をもって殆んど完了するこの日射観測網は、鈴木敏文*による日射気候区分類(1963年、未発表)が基礎になっている。鈴木は、日射観測値、日照時間の資料および他の気象要素による気候区分を参照にして、日本全国を17の日射気候区に分類した。第20図にはその気候区分が示されている。

- ① 北海道日本海岸型(札幌)
- ② 北海道オーツク海岸型(網走)
- ③ 北海道太平洋岸東部型(根室)
- ④ 北海道太平洋岸西部型(室蘭)
- ⑤ 東北太平洋岸型(仙台)
- ⑥ 東北日本海岸型(秋田)

- ⑦ 北陸型(輪島)
- ⑧ 中部山地型(松本)
- ⑨ 関東型(東京)
- ⑩ 関東島嶼型(八丈島)
- ⑪ 東海型(浜松)
- ⑫ 山陰型(米子)
- ⑬ 近畿型(奈良)
- ⑭ 南海型(潮岬)
- ⑮ 瀬戸内海型(大阪)
- ⑯ 九州北西部型(福岡)
- ⑰ 九州南東部型(鹿児島)

()内は、日射気候区内の代表点である。この代表点は、資料分類上の地域的代表性に、観測官署の規模、利用上の効果を加味して決定したものである。鈴木は更に各日射気候区を細分して、計70個の小気候区に分類し、それぞれの代表点を選んでいる。

昭和45年度から開始された日射観測網の再整備は、以上の17射候区、70小気候区分類を参考にし、日射資料の利用目的から、主要日射観測官署と普通日射観測官署に分け、各気候区に1~3の主要日射観測官署に若干の普通日射観測官署を置いた。

* 鈴木敏文(現気象大学教授)

主要日射観測官署は、日本の気候統計に役立つ資料を得るためのもので、恒久的に観測を継続する。そのため、かなりの地域（県程度）を代表し、かつ情報収集に便利な地点が選ばれた。この観測点の中には、直達日射量を観測している官署が含まれている。またこの13官署に館野、父島および南鳥島を含めた16官署の日射観測結果は、国際交換資料としてレニングラードの国際放射資料センターに送られている。

普通日射観測官署は、応用気候の統計および地域サービスのための資料を得るものとして、必ずしも一地点に固定せず、将来状況によっては地点の変更もあり得る。この地点は鈴木 の分類による小気候区の中から1点選んだもので、主要日射観測点と重合している所もある。

このような分類の結果、新しい日射観測網は、主要日射観測官署31、普通日射観測官署36、合計67官署となった。第20図は日射観測網の展開図を示したものである。

以上の日射観測網は、放射観測網の第1次整備と考えている。

9. 今後の問題

放射観測網の第2次整備とは、どういう内容のものか、云うまでもなくそれは、地球一大気系の熱収支に関与する放射観測全般について考慮した整備計画と云うことになる。

日射観測値の基準化は、一応全世界的な体制が作られ、global なデータの利活用が可能になってきている。しかしながら、熱収支のバランスを左右する長波長放射の観測については、まだ基準化の技術が確立されていない。フィールドでの観測のための放射計は、IGY (1957) 以来、わが国でもすでに使用されているが、いずれも試験または研究観測のためであってルーチンワークとしては定着していない*。第7節でも述べたように、基準化の2つの方法、標準黒体炉による検定装置および精密な測定が可能な self-calibrating system の放射計は、いずれも開発途上にある。

放射観測網の展開は、このような問題の解決をまたずには実現できないが、将来実施されるべき観測網展開の基本線は、放射観測の利用面から考えるべきであろう。すなわち気象学的利用面、気候学的利用面および応用気象学的利用面があげられる。

気象学的利用面として

(1) 長期予報的利用

全地球的な大気大循環の解明には、地球一大気系の熱収支は重要なパラメーターであり長期予報の精度向上につながると思う。観測点は、国際的観測網の一環として広範な地域を代表し、人為的影響の少ない場所を選ぶ必要がある。日本全体としては3地点位であろうか。

(2) 短期予報的利用

夜間の放射冷却による最低気温の予測、霜害、霧、道路凍結の予警報等かなり局地的なものであり、観測種目も概してキメの細かいものとなる。また近年、数値予報のための初期値として、放射が1つの要素に入れられようとしているが、まだ研究段階にあり、本当に利用されるようになるのは、かなり先のことになるだろう。

気候学的利用面として

(3) 気候変動の監視役としての利用

これは現在実施している永年気候観測と同じ目的のもので、周囲環境の影響の少ない地点にあって、恒久的な連続観測を必要とする。現在は直達日射量と全天日射量が観測されているが、将来は放射収支の観測を取入れる必要がある。

(4) 大気環境保全への利用

昭和49年度から実施を計画している大気バックグラウンド汚染観測業務の観測種目に波長別直達日射計による大気混濁度の観測と成分別放射計による放射収支4成分の観測が含まれている。数点の地域観測所と1基準観測所が後年度にわたって展開される計画であるが、この観測は永年気候観測そのものと考えられるので、現在の永年気候のあり方を再検討し、それとの関連において進めるべきであろう。

応用気候学的利用面として

(5) 水文気象への利用

陸地、水面、海上からの蒸発量や融雪量の推定に利用される。放射収支の各成分が必要である。測定点は固定されたものでなく、必要な場所で、必要な時期に行なわれる。

(6) 農業気象への利用

植物の成育には、太陽エネルギーが必要で特に紫外線は光合成に重要な役割りを果たす。昼夜の放射収支、植物群生中での観測等特殊なものも含む。場所、時間は流動的に考えて良い。

(7) その他建築関係では暖冷房の負荷の計算に日射の資料が利用される。最近のエネルギー資源の枯渇の恐れから太陽エネルギーの利用が話題となっている。応用

* IGY 以後、高層気象台において放射全要素の観測を継続しているが、精度について問題があり、その意味では試験観測の域を出ていない。

気象的利用は、調査、研究的で、ルーチンワークとしての気象庁サービスエリアからはみ出ているものが多い。

1つの観測点が、上の分類の2つ以上あるいは全部を含む場合は当然生ずることになる。

放射観測の基準化、観測網の展開のどれ一つを取ってみても、問題は山積している。この方面の発展は、一歩一歩たゆまぬ技術の積み重ね以外にない。しかし観測網の展開のように予算に関係が大きいものは、時機を失してはならないので時には勇断も必要となろう。

かかる業務にたずさわる一員として、各方面からの御教示をお願いしたい。

おわりに、本稿を校閲していただいた稲村技官*に心からお礼申し上げます。

文 献

- 1) Atmospheric Radiation Working Group, 1972: Major problems in atmospheric radiation: an evaluation and recommendation for future efforts, Bulletin American Meteorol. Soc., 53, 950-956.
- 2) Bener, P., 1956: Untersuchung uber die wirkungsweise des solarigraphen Mol-Gorczyński, Archiv. Met. Geophys. Biokl. Ser. B, Bd. 2, 188-248.
- 3) Dogniaux, R., 1971: Consideration on the effect of the turbidity on the calibration constants of Pyrheliometers based on the I.P.C.-III (1970) data. (to be published)
- 4) Drummound, A.J., 1967: The absolute calibration of thermal radiation detectors, Instr. Soc. of America, 1~18.
- 5) Fröhlich, C. and H.W. Wierzejewski, 1972: Die verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit dem Kompensation-Pyrheliometer und die Entwicklung eines verbesserten Modells, Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt.
- 6) 池田 弘, 福田寿彦, 田村竹男, 1972: 180°自動走査直達大気放射計について, 研究時報, 24, 139-149.
- 7) Kendall, J.M. and C.M. Berdahl., 1970: Two Blackbody Radiometers of High Accuracy, Appl. Opt. 9, 1082-1091.
- 8) Marchgraber, R.M., 1970: The development of standard instruments for radiation measurements, Met. Monogr. 11, 302-314
- 9) McDonald, T.H., 1951: Some characteristics of the Eppley pyrheliometer, Mon. Wea. Rev., 79, 153-159
- 10) IGY Instruction manual, Part VI, 1957: Radiation instruments and measurements, Pergamon press.
- 11) 関根正幸, 1972: 人工光源による日射検定装置 (積分球法), 測候時報, 39, 113-120.
- 12) 志村英洋, 鈴木宣直, 1973: 全天日射計検査装置 測候時報, 40, 146-153.
- 13) Thekaekara, M.P., 1972: A comparison of working Standard Pyranometers, Bull. Amer. Met. Soc., 53, 8-15.
- 14) Willson, R.C., 1973: A active cavity radiometer, J. Appl. Opt. 12, 810-817.
- 15) WMO; 1965: Guide to meteorological instruments and observing practices. No. 8, TP. 3, IX. 1~IX. 55.
- 16) WMO, 1971: 3rd International Pyrheliometers Comparisons, (preliminary report).
- 17) WMO, 1973: CIMO-VI/Doc. 36, 7-17.

* 観測部産業気象課