

## 4,000 MC における静かな太陽面上の 輝度分布について

柿 沼 隆 清

### I. 緒 言

静かな太陽からの電波は、彩層及びコロナでの熱輻射と考えられ、太陽大気モデルから太陽面上の輝度分布が多くの人によって計算された。もし種々の波長で輝度分布が測定されるならば、理論的計算との比較から彩層及びコロナにおける電子温度及び密度の分布を決定することが出来る。

輝度分布の測定は米波及び粉波帯において盛んであって、已に多くの興味ある結果が発表されている。(1)

オーストラリアの Christiansen (2) 等は波長 21 cm において、32 素子干渉計によって東西方向に半値角 3' の鋭い扇状ビームをつくり、これで太陽を走査した記録から輝度分布を求め、理論で予想された著しい limb-brightening が認められることを見出した。又カナダの Covington (3) も波長 10.3 cm でスロットアレーによって半値角 7.5' のビームをつくり、同様な結果を得ている。

輝波帯では現在迄この様な直接的な方法による観測結果はなく、殆ど日食の記録から求めたものである。

筆者は先に 1953 年完成した 5 素子干渉計の記録波形及び 1953 年 2 月 14 日の部分食の観測結果から分布を計算したが、干渉計の分解能が不十分で満足な結果を得ることが出来なかった。(4) 併し昨年アンテナが 8 個に増設され、分解能は約 1.5 倍になり、各アンテナに 1/4 波長板がつけられると共にラジオメーターも一部改良された。(5) そこで再びその記録波形から東西方向及び半径方向分布を計算した。

今回は観測を開始した昨年 6 月から 12 月迄の記録から求めた分布について報告する。

### II. 観 測 結 果

観測は毎日南中時刻の前後約 15 分間行い、偏波格子を廻転して左右円偏波について大体同数の記録波形が得られる様にして行っている。

記録計は 10 mA 直線型で、6.5 mA が 300°K、2.405 mA が 573°K (熱負荷の温度) になる様にしてある。

この時空のアンテナ等価温度は約 130°K になり、太陽が静かな時ビームが太陽の中心にかかるとこれより約 200°K 増加する。

記録紙の速度は 1 分間に 15 mm である。

前号の報告にある様に、毎日熱負荷によりラジオメーターを較正し、又 2 乗検波器、直線型出力増幅器、直線型記録計を用いている為に、5 素子の場合に比して測定精度は著しく向上していると考えられる。フラッキの幅は約 5°K である。記録には毎分時刻目盛を入れており、これに用いる時計は南中時刻に正午になる様に毎日合せてあるので、時刻目盛から容易に太陽の中心と主ビームの方向との関係を求めることが出来る。

記録の整理に当って先ずフラッキの影響を少なくする為に、1 日の左、右両円偏波についての記録波形を別々に透視によって重ね合せて平均をとり、更に優勢な radio spot がある場合を除いて左右で殆ど差がなかったから又その平均をとっている。

そしてこの様にして得られた毎日の記録を互に比較する為に次の様な二つの補正をしている。

第一に記録波形の長さは毎日変化する。それは前に報告した様にビームが太陽を走査する速度が太陽高度によって異なるからである。現在の記録紙の速度であると春分、秋分の時は、南中時刻附近の一つの記録波形の長さは 40 mm (2 分 40 秒) で最も短く、夏至、冬至の時は約 44 mm で最も長くなる。併し東西方向の角度で云えば常にこの長さはビーム間の間隔 40' に相当する。従って我々は記録を 40 分割し、角度にして 1' 毎にアンテナ等価温度を読みとっている。このとき記録の中心は時刻目盛から求められる。又は太陽の縁に大きな radio spot がない時は、谷と谷の間の中心をとってもよい。記録を 40 分割するには、予め 40 mm を 40 分割したものから、43.6 mm を 40 分割したものの迄 0.2 mm おきに 19 枚用意し、この中から記録にあったものを選んで透視により重ねている。

この様に読みとると同時に長さを補正している。

次に利得の補正であるがラジオメーターの利得は毎

日熱負荷によって較正を行っているから問題はない。アンテナ系の伝送損失の変化は熱負荷に対する記録だけでは分らないが、これと毎日記録しているアンテナ全部を天頂に向けた時のアンテナ等価温度から見出される。この天頂のアンテナ等価温度は気温によって変化する。記録の0レベルである空の等価温度はこれにアンテナを太陽高度に応じて傾けたときの増加分を加えたものである。又利得の変化は、一つの記録波形を積分した値は3750 MCの強度と比例関係になければならないことから見出される。置換誤差のある場合にはこの方法がよいと考えられる。

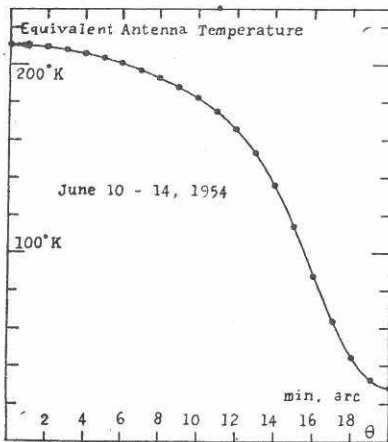
毎日の記録は大体その日の太陽の一方方向分布を表わしているが、太陽が静かである時は殆どなくて radio spot の位置を示すピークを持っている。静かな太陽

に対する記録を得る為にオーストラリアの Christensen 等<sup>(2)</sup>が行った様に毎日の記録を重ね合せてその最低包絡線をとると云う方法を用いた。

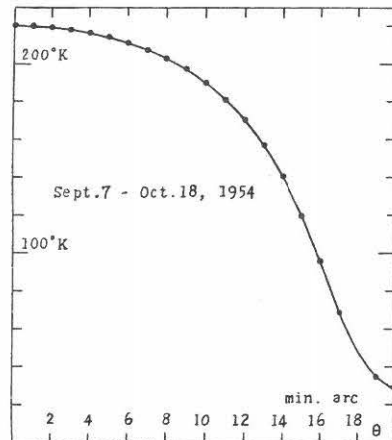
毎日の記録を重ねる場合、太陽の見掛けの大きさの変化と自転軸の傾きの変化による影響を考えねばならない。太陽の大きさの変化によって記録の高さが変わる。又自転軸の傾きの変化による影響は太陽が球対称でない場合に現われるものである。併し毎日の記録を約1ヵ月毎に区切って重ねることにすれば、これ等は極く僅かであるから無視することが出来る。そして各期間の輝度分布を求め、それ等を比較する時に前者の補正をすることにした。

最低包絡線をとる時、観測誤差があるから最低点のみを結ぶことは出来ない。これには種々問題がある

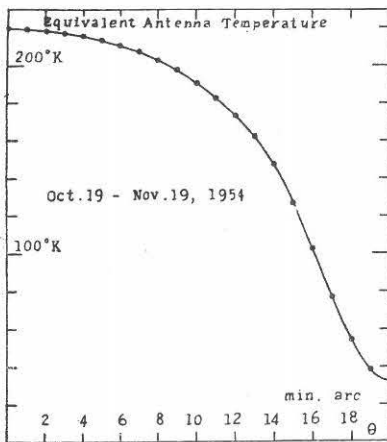
第1図 静かな太陽の記録



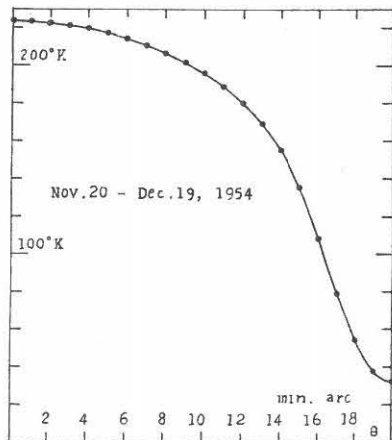
(a)



(b)



(c)



(d)

が、一応観測誤差内で最低点と一致すると考えられるすべての点の平均をとった。観測誤差は主として記録におけるフロッキと記録紙の速度の細い変化によるものであって、等価温度にして約  $\pm 2.5^\circ\text{K}$  程度であると考えられる。

第1図に各期間の最低包絡線を示す。この場合のアンテナ等価温度は太陽に基づく増加で、空のレベルを  $0^\circ\text{K}$  としたものである。皆中心に対して対称で、殆ど同じ形をしており、静かな太陽に対する記録が得られているものと考えられる。この中6月のは1ヵ月の記録を重ねたものでなく10日から14日迄の平均をとったものである。この期間は記録が対称で変化なく、又黒点も観測されていない。

又このときは記録計は円弧型であった。8月の記録がないのは9月始めに伝送線路内に水が入っているのを発見した為である。

昨年は太陽活動の最衰期に当り、9月以後にも時々殆ど静かであると思われる日があった。従って最低包絡線は大體これ等の日の記録の平均と云うことになる。太陽活動が次第に活潑になって行った時、果してこの様な方法で静かな太陽に対する記録が得られるかどうか疑問である。

### III. 輝度分布

前節で求めた記録は大略静かな太陽に対する東西方向分布を示すものであるが、主ビーム間の間隔が  $40'$  である為に太陽がこの間に来たとき同時に二つの主ビームがかかり従って谷の附近は一方方向分布とは違っている。更に記録の各点は主ビームが半値角  $4.5'$  であるから実際の分布でなくて、これで平均された値を示している。

今静かな太陽に基づくアンテナ等価温度の増加を  $T_a$ 、太陽の東西方向分布を  $D(\theta)$ 、アンテナ指向係数を  $f(\theta)$ 、アンテナ系の利得を  $G(=1920 \times 8)$ 、伝送損失係数を  $L(=0.608)$  (5)、 $\theta$  を東西方向の角、 $\chi$  を正面主ビームの方向 ( $\theta=0$ ) と太陽の中心との間の角とすれば

$$T_a(\chi) = \frac{GL}{4\pi} \int f(\theta) D(\theta - \chi) d\theta \quad (1)$$

である。このとき一つのアンテナの指向性は鈍であって、指向係数は太陽全面に亘って1であるとするのが出来るから  $f(\theta) = \frac{1 \sin^2(8\pi l \sin \theta / \lambda)}{64 \sin^2(\pi l \sin \theta / \lambda)}$  となる。又南中時刻附近のみを考える。

一方向分布  $D(\theta)$  は (1) 式を解けば求められるが、このとき問題になるのは実際のアンテナ指向性が理論

通りであるかどうかと云うことである。これは簡単にしらべることが出来ないが、radio spot に対する記録(静かな太陽の記録からの増加分)と計算値と比較して見れば、或程度確めることが出来る。11月13日の黒点に対する記録の半値角は  $4.8'$ 、12月16日のは  $4.7'$ 、12月20日のは  $4.9'$  であり(188頁参照)、大體ビームの幅  $4.5'$  に近い値を示している。更に屢々行っている位相合せ(6)の結果から略、計算通りの指向性が得られているものと考えている。

(1) 式から分布  $D$  を求めるには逐次近似の方法を用いた。(7) 即ち  $D$  を仮定し、これを走査したときの記録を (1) 式から求めて実際の記録  $T_a$  と比較すると云う方法を繰返し、観測誤差内で  $T_a$  と一致する迄続けた。このとき  $T_a, f, D$  を夫々  $0.5'$  の幅に分割し、各区間内の平均値を用いて右辺の積分を和の形にして計算した。

第1近似としては  $T_a$  を用い、右辺の値と  $T_a$  との差によってこれを修正して次の近似とする。そして以下同様に続けて行き、最後の結果が滑かな曲線になる様にした。

計算の誤差を成るべく少くする為に区間の幅を  $0.5'$  にしたが、これは記録に対しては少し細かすぎる様であり、又ビームの幅が  $4.5'$  であるからこの様に細く分ると云うのではない。この計算結果はその時の太陽に対するもので、これ等を比較するとき見掛けの大きさの異なる為の補正をしなければならない。第2図はこの補正を行ったものである。即ち計算結果を縦横共伸縮し、太陽が1天文単位の距離にある場合の分布にした。又伸縮率はその期間の中央の日の太陽距離(天文単位で表わしたもの)を用いた。6月は太陽距離は1.0154(6月12日の値)で伸ばし、9~10月はそのまま、10~11月は0.9917(11月4日の値)、11~12月は0.9856(12月4日の値)で縮めた。

次に半径方向の分布であるが、太陽が球対称であると仮定すれば近似的に東西方向分布から求めることが出来る。

半径方向分布を  $T(r)$  とすると

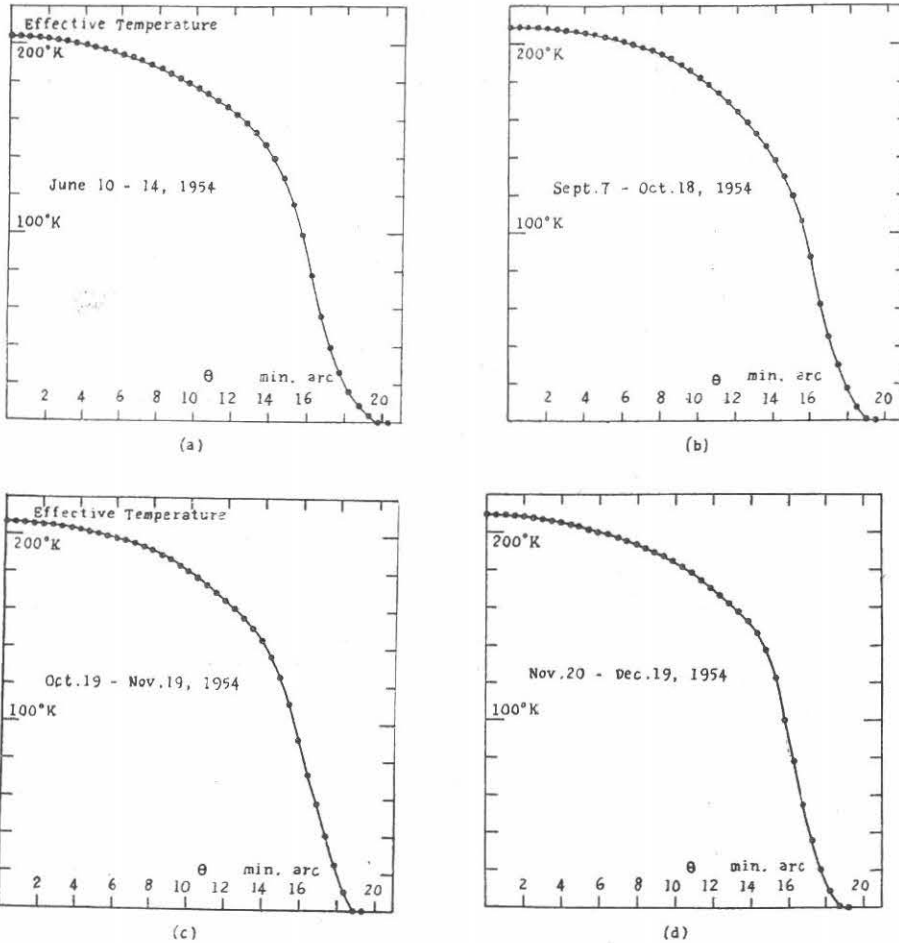
$$D(\theta) = 2 \int_0^\alpha \frac{T(r) \cdot r \cdot dr}{\sqrt{r^2 - \theta^2}} \quad (2)$$

$$T_a(\chi) = \frac{GL}{4\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) T(r) \cdot r \cdot dr d\varphi \quad (3)$$

ここで  $r, \varphi$  は太陽面上の極座標、 $\alpha$  は電波の半径、 $\theta \doteq r \cos \varphi + \chi$  で、南中時刻附近のみを考える。

東西方向分布として上に求めた分布(補正しないもの)を用い、太陽を  $0.5'$  の幅の円環に分割して (2) 式

第2図 東西方向分布



光球視半径 = 16'1.18''

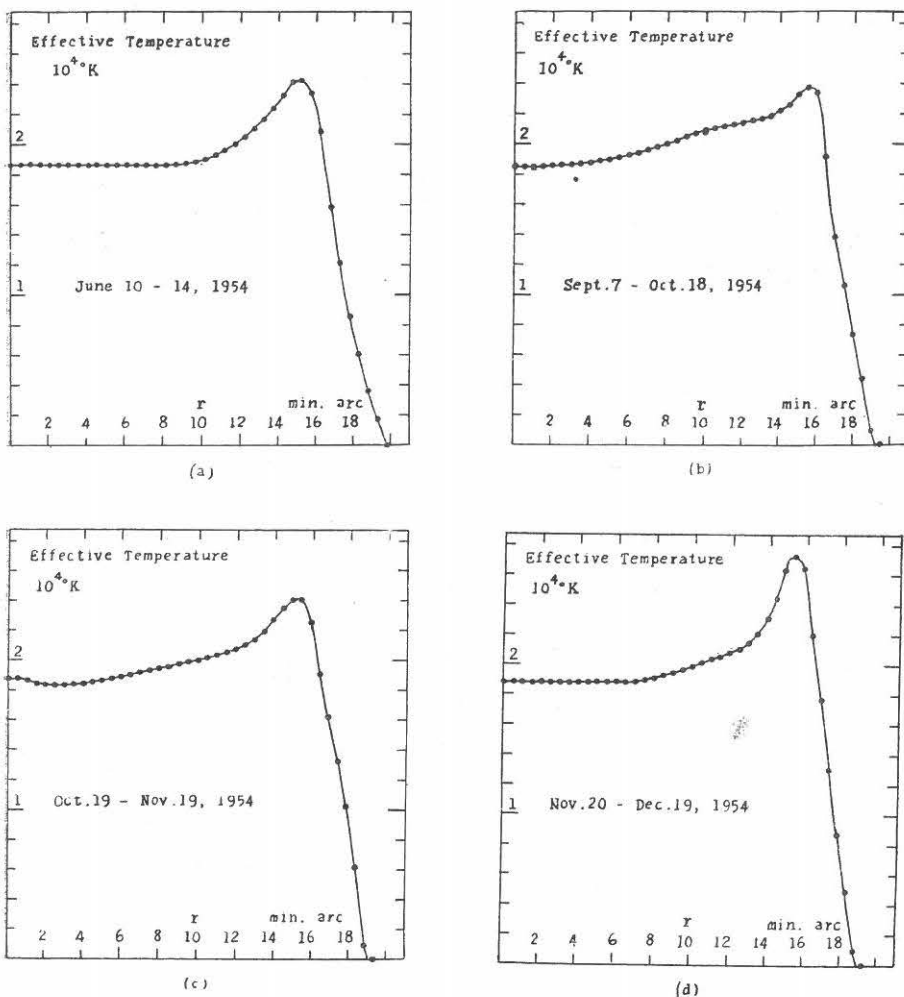
から  $T(r)$  を計算した。そしてその結果を (3) 式に入れて  $T_e(x)$  を計算し、これが観測誤差内で記録と一致することを確かめると同時に凹凸を修正した。最後に東西方向分布の場合と同様に太陽距離に応じて横方向に伸縮した。その結果は第3図のようになる。図中の点は (3) 式を計算するとき用いた  $0.5'$  おきの値を横方向にづらしたものである。各分布は何れも limb-brightening があることを示している。そして周縁の温度は 11~12 月が最も高く、他の月は大体同程度である。これは東西方向分布を見ても肩が出ていることから分る。

今迄の計算結果をまとめると第1表のようになる。表の中の  $2 \int x t(x) dx$  の値は、太陽の見掛けの温度即ち一様で光球の大きさとした時の温度が、この分布の中心の温度の何倍であるかを示すもので、 $t(x)$  は相

対半径方向分布、 $x$  は  $r$  を光球視半径を単位として表わしたものである。尚第1表の値はすべて太陽が1天文単位の距離にある場合の値である。半径方向の分布を求めるとき最も問題になるのは太陽が球対称であると云う仮定である。

太陽の自転軸の傾きは1年に約  $\pm 26^\circ$  変るから走査方向もこれだけ変る訳である。従って1年間観測してその影響が見られなければ殆ど球対称であるとしてもよいと考えられる。併し Christiansen<sup>(2)</sup> 等は前にこのことから球対称であると結論したが、最近南北方向にも干涉計をつかって分布を測定し、東西方向とは全く異なっていることを見出した。従ってこの波長で太陽が球対称であるかどうかはこの様な一方向分布の測定からは何とも云えない。

第3図 半径方向分布



光球視半径 = 16'1.18"

第1表

	東西方向分布 の中心温度 (°K)	東西方向 の大きさ (電波的半径)	半径方向分布 の中心温度 (10 <sup>4</sup> °K)	$2 \int xt(x) dx$	半径方向分布 $T_{\max}/T(0)$
6月	204	19.5'	1.86	1.35	1.30
9~10月	209	19.3'	1.85	1.38	1.29
10~11月	207	19.1'	1.88	1.36	1.29
11~12月	209	19.0'	1.88	1.38	1.46

## IV. 結 言

以上現在迄の観測結果から東西方向分布及び太陽が球対称であることを仮定して半径方向分布を求めた。

6月から12月迄の分布は何れも limb-brightening を示している。そして太陽面の縁における温度は中心の約 1.3 倍で、中心の温度は約  $1.87 \times 10^4$ °K である。

又電波的半径は(或は東西方の大きさ)は光球の約 1.2 倍である。

今後太陽活動が盛んになると共にこの分布がどの様になるかをしらべると共に、理論との比較も行って見たいと思っている。

終りに種々御指導を頂いた田中助教授に厚く御礼を申し上げます。

### 文 献

- (1) U.R.S.I. Special Report, No. 4, 1954.
- (2) Christiansen, W. N. and Warburton, J.: Aust. J. Phys., Vol. 6, p. 190; Vol. 6, p. 262, 1953.
- (3) Covington, A. E. and Broten, N. W.: Astrophys. J., Vol. 119, No. 3, 1954.
- (4) 空電研究所報告, 第4巻, 第1号, p. 36, 昭28.
- (5) 空電研究所報告, 第5巻, 第1号, p. 47, 昭29.
- (6) 空電研究所報告, 第4巻, 第1号, p. 29, 昭28.
- (7) Bolton, J. G. and Westfold, K. C.: Aust. J. Sci. Res. A 3, 19.

### 訂 正

5巻1号49頁においてアンテナ利得が約1700となっているのは、このアンテナを波長8cmで用いたときの値で7.5cmでは約1920となるので、訂正致します。