

太陽活動最盛期附近における

マイクロ波太陽電波の静かな太陽成分について

柿 沼 隆 清

1. ま え が き

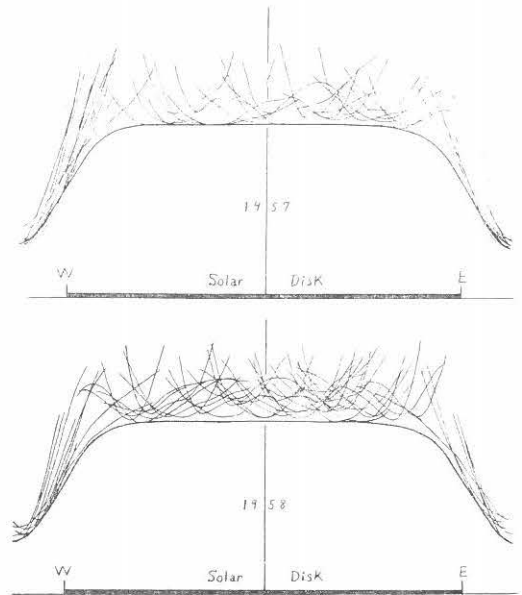
マイクロ波太陽電波にはよく知られているように異常輻射，S成分および静かな太陽成分の3つがある．これ等の中静かな太陽成分は彩層およびコロナからの熱輻射と考えられ，この成分のスペクトルはこれ等各層における電子密度，電子温度の分布を求めるために重要である．

Labrum (1) は 1420Mc/s における十字アンテナおよび南北多素子干渉計による観測結果から太陽活動最盛期附近(1958年)の静かな太陽成分を求め，強度は最衰期のときに比べて約2倍に増加したことを見出した．我々の4000Mc/s干渉計による観測結果も同様に静かな太陽成分は約1.6倍に増加したことを示しているが，9400Mc/sでは殆んど変化がないように思われる．ここでは已に一部報告したのものもあるが，1957—58年の太陽活動最盛期における4000Mc/s帯の静かな太陽成分，およびこれと日食観測(2)から求められた1000，2000，9400Mc/sの静かな太陽成分について述べる．

2. 4000 Mc/s 帯における静かな太陽

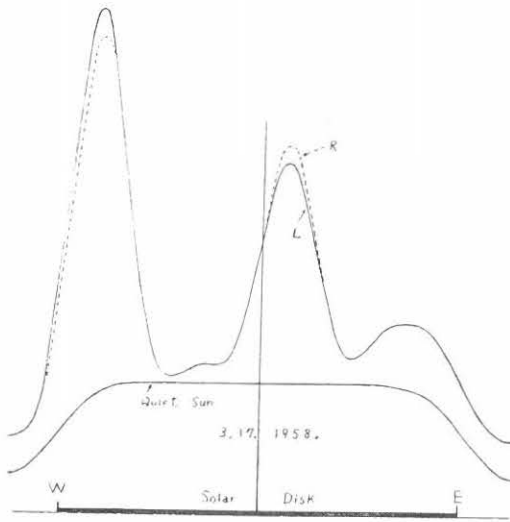
太陽活動最衰期(1954年頃)に於ける4000Mc/s干渉計(ビーム巾東西4.5', 南北4°)による静かな太陽の東西方向輝度分布の観測結果については已に報告(3)したが，この場合には太陽面にS成分源である活動域が少ないために，Christiansen等(4)の方法によって短期間の観測から容易に静かな太陽のレベル(静かな太陽のみを走査したときの記録に相当するもの)を見出すことが出来た．即ち毎日の太陽面東西方向走査記録を1ヵ月毎に区切って重ね合わせ，その最低包絡線をその月の静かな太陽のレベルとすることが出来た．併し太陽活動が活潑になるにつれ短期間の記録から静かな太陽のレベルを見出すことが困難になって来る．殊に太陽面東西の縁附近では黒点等の動きが見掛上おそくなるために次々に多くの活動域が集るようになりこの部分の静かな太陽のレベルが観測されることは極めて稀であると考えられる．従っ

て長期間の記録から静かな太陽のレベルを推定しなければならぬ．最近の高分解能のアンテナによる観測によれば，(5)4000Mc/s帯ではS成分源の大きさが小さく輻射は主として黒点の上から出ていると考えられるから，カルシウム羊毛斑の上からの輻射も強い1420Mc/sに於ける程静かな太陽のレベルを見出すことは困難ではないであろう．1957—58年で太陽面の一部が比較的静かであったと思われる日の記録を重ね合せ，その最低包絡線を求めると第1図のようになる．第1図(a)は57年，(b)は



第1図 1957—1958年の静かな太陽のレベル

58年で静かな太陽のレベルは大体同じである．又第1図には観測曲線のこのレベルに近い部分のみが書かれている．57年では1月から8月頃迄記録の一部がこのレベル近くの下まっている日があったが，9月から12月の間は太陽活動がきわめて活潑で，特に11月から12月の間は静かな太陽のレベルは更に上っていたかも知れない．併し58年2～3月頃には再びこのレベルに非常に近い部分をもつ記録が得られている．例えば3月17日の記録を第2図



第2図 1958年3月17日4000 Mc/s 干渉計の記録

に示す。光の観測(6)でも中央NS線の西側に干渉計の分解能に対し充分広い活動域のない部分があったが、アンテナのサイドビームによる西側の大きな電波源からの影響を(電波源の大きさが4~5'のとき、ピークを中心より5'以上はなれた処ではピークの値の2~3%程度)考えれば、この月の静かな太陽のレベルは第1又は2図に示されているものと考えてよいであろう。

1954年に於ける観測結果と比較すると東西方向輝度分布は正弦波形に近い形から矩形状に近くなっていったことが分る。干渉計の観測記録の下の面積は3750Mc/sで測定している太陽全体からの輻射の強さに比例しているから、静かな太陽のレベルの下の面積から3750Mc/sに於ける静かな太陽成分の強さは $122 \times 10^{-22} \cdot W \cdot m^{-2} \cdot (c/s)^{-1} \pm 5\%$ であることが見出される。太陽活動最衰期のときの値 $77 \times 10^{-22} \cdot W \cdot m^{-2} \cdot (c/s)^{-1}$ (7) に比べて約1.6倍になっている。

第1図の静かな太陽に対する記録から、東西方向分布を計算し得るが、(3) 太陽が球対称と考えられないので二次元的輝度分布をそれから計算することが出来ない。併し1958年4月19日の日食観測から或程度二次元分布を推定することが出来た。特に他の周波数と共に静かな太陽面の中心の明るさが求められ、その周波数スペクトルが得られている。

3. 日食観測結果と静かな太陽成分のスペクトル

1958年4月19日の日食観測結果については已に報告し

第1表

周波数 Mc/s	Uniform disk の大きさ (R_0)	U成分 の強さ	E成分 の強さ	B成分の強 さ(U+E)
9400	1.1	235	19	254
3750	1.15	105	17	122
2000	1.15	80	26.8	106.8
1000	1.2	70	26.4	96.4

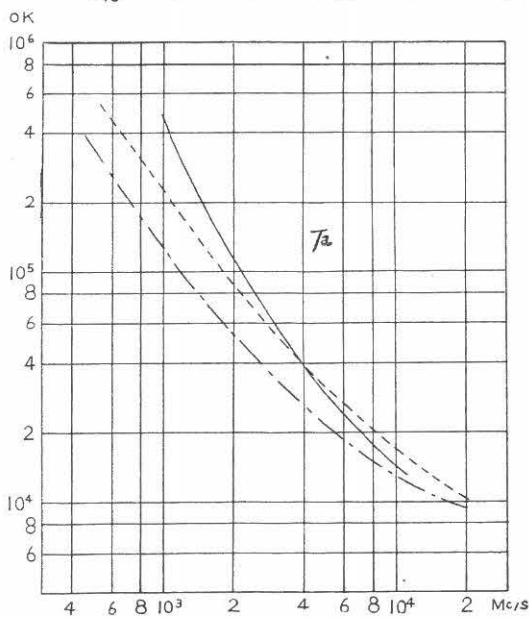
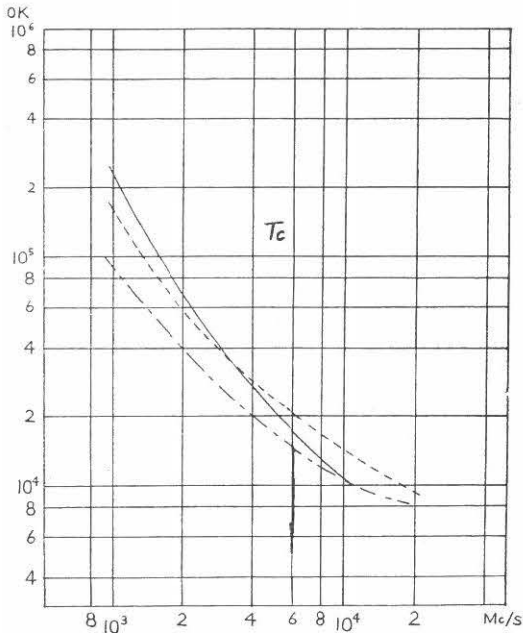
強度の単位は $10^{-22} \cdot W \cdot m^{-2} \cdot (c/s)^{-1}$

たが、静かな太陽成分(B成分)についての結果を記すと第1表のようになる。B成分をU成分とE成分に分け、U成分の源は一樣な明るさの光球に近い大きさをもった円板状のもので、E成分の源は東西の縁近く赤道附近に分布しているとした。3750 Mc/s 以外では干渉計がないのでU成分は求められるがB成分の値が直接求められない。従ってE成分の値も求められない。そのため3750 Mc/s の毎日の観測値と他の周波数の観測値が非常によい相関のあることから、3750 Mc/s の122unitsに相当する値を他の周波数のB成分とした。第1表のU及びE成分の値を用いて各周波数における日食観測結果が矛盾なく説明された。

1959年5月、9400Mc/sに於て8素子干渉計の観測が、1960年7月には16素子干渉計(8)の観測がはじめられたが、これ等の観測結果から求められた静かな太陽成分の強さは、他の周波数で大きく変化しているにも拘らず、1959年から61年迄殆んど変化していない。1961年2月の9400Mc/sの静かな太陽成分の強さは243unitsであり、このことから9400Mc/sでは太陽活動によって静かな太陽成分はほんの僅かしか変化しないと思われる。

第1表のB成分の値から太陽の見掛けの明るさ即ち電波太陽が一樣で大きさが光球と同じとしたときの明るさ T_a を、又U成分の源の大きさと強さから太陽面の中心の明るさ T_c を計算すると第3図のようなスペクトルが得られる。Labrum(4)が1958年の観測から求めた1420 Mc/sにおける T_c は約 10^{50} Kであるが、第3図のスペクトルでもこれに近い値になっている。第3図には又C. W. Allen(9)によって与えられたこの前の太陽活動最盛期および最衰期における T_a , T_c のスペクトルを比較のために示してある。 T_a 及び T_c の値が周波数の低い方で大きいことはコロナの電子密度の増加がこの前の最盛期のときに比べて大きいことを示している。

Piddington(10)は太陽活動最衰期における太陽面中心の明るさのスペクトルから彩層のモデルを計算した。彼によれば中心の明るさは600 Mc/s 以上では



第3図 T_a , T_c のスペクトル

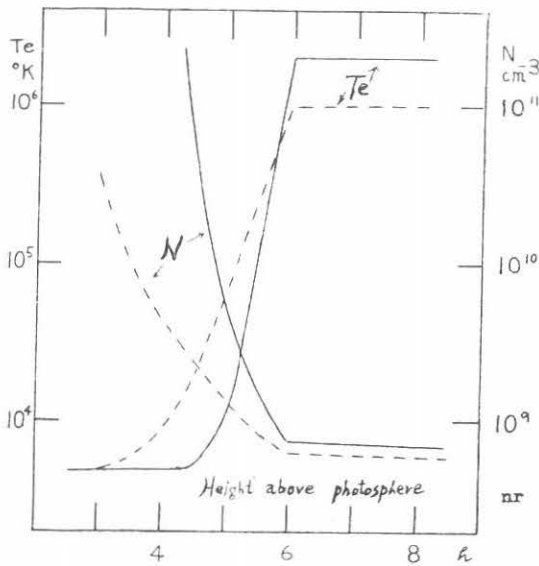
- C. W. Allen の太陽活動最盛期
- C. W. Allen の太陽活動最衰期

$T_c = a + b/f^{-1} + c/f^{-2}$ (a, b, c は常数) で表わされ、最初の2項 $a + b/f^{-1}$ は彩層および彩層とコロナの間の Transition layer からの放射を、第3項 c/f^{-2} はコロナからの放射を表わす、今第1表のU成分の値から計算した4つの周波数における T_c から a, b, c を求めると

$a = 5 \times 10^{13} \text{ }^\circ\text{K}$, $b = 4.5 \times 10^{13} \text{ }^\circ\text{K} \cdot (\text{c/s})^{-1}$, $c = 18.3 \times 10^{22} \text{ }^\circ\text{K} \cdot (\text{c/s})^{-2}$ となる。コロナの電子密度が増加し optical depth が増すと周波数の低い方で T_c は上式のように表わされなくなるが、1000 Mc/s 以上では近似的にこの関係を用いてもよいと考えられる。Piddington が統計的に求めた T_c のスペクトルから計算した太陽活動最衰期の値 $a = 5800 \text{ }^\circ\text{K}$, $b = 4.1 \times 10^{13} \text{ }^\circ\text{K} \cdot (\text{c/s})^{-1}$, $c = 1.1 \times 10^{22} \text{ }^\circ\text{K} \cdot (\text{c/s})^{-2}$ と比較すると、彩層および Transition layer からの放射は殆んど変わらないで、コロナからの放射が著しく増加していることが分る。c はコロナの電子温度を T_e 、電子密度を N 、光球表面上 h_0 の高さより上をコロナとすると $(\zeta/T_e)^{1/2} \int_{h_0}^{\infty} N^2 dh$ と表わされるから、c の値からコロナの電子密度が Allen-Baumbach の値 (van de Hulst の太陽活動最盛期の時の値と略々等しい) の何倍になっているかを簡単に計算することが出来る。今コロナの電子温度 T_e を $10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ とすれば、コロナの電子密度は約 1.6 倍に増加していることになる。この時 h_0 を 10^4 km , $\zeta = 0.145$ としている。もし $T_e = 2 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ とすれば 1.9 倍となる。Newkirk の K-コロナメーターの観測⁽¹¹⁾ によれば、コロナの電子密度は 1956-58 年で van de Hulst の値の 2.2 倍になっているが、これはコロナの電子温度を $2 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ とした場合の電波の値に略々等しいことになる。

Transition layer に於ては電子温度が急速に減少し、電子密度が増加して行くと考えられるが、この層の電子密度、温度は T_c のスペクトルのみでは決定することが出来ない。併し Piddington の様に $N^2 T^{-3/2}$ が $Ae^{-\beta h}$ の形で表わされると仮定すると彼の導いた式 $T_e = a + b/\sqrt{\pi\alpha}$, $\alpha = \zeta \int_{h_0}^{\infty} N^2 T^{-3/2} dh$, $\zeta' = 0.1$ を用いて N および T_e を計算することが出来る。今 N がコロナの値と連続であることを考えると、 h_0 を 10^4 km コロナの T_e を $2 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ とすれば、電子温度が 10^4 km から $8 \times 10^3 \text{ km}$ の 2000 km の間で $2 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ から $5 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{K}$ 迄急速に下ることになる。従って光の観測結果⁽¹²⁾ と矛盾しないために h_0 を $6 \sim 7 \times 10^3 \text{ km}$ と考える必要がある。コロナの T_e を $10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ とすると温度の傾斜はややゆるやかになる。彩層のモデルを第4図に示す。コロナの電子密度は $T_e = 2 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ の場合 Allen-Baumbach の値の 1.8 倍、 $10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ としたとき 1.5 倍となる。

Athay⁽¹³⁾ は同じく太陽活動最衰期における T_e のスペクトルから光の観測結果を用いて彩層のモデルを計算した。彼のモデルは光球表面上 4500 km 迄は温度 $6500 \text{ }^\circ\text{K}$ の低温成分が多くその中に $25000 \text{ }^\circ\text{K}$ の高温成分がある。



第4図 彩層及び Transition layer のモデル

そしてそれより上は 25000°K の低温成分である spicule が高温成分の中に入り込んでいるものである。この後の高温成分は温度が 10^6°K でコロナの一部と考えられるが、最盛期において此のコロナの温度が $2 \times 10^6^{\circ}\text{K}$ になり、電子密度が Allen-Baumbach の値の1.8倍になったとすれば T_e のスペクトルを近似的に説明することが出来る。又電子密度が Athay のモデル $3.8 \times 10^8 \times \exp(-2 \times 10^{-10}h)$ の2.2倍で温度が 10^6°K としても同じく説明出来る。第4図のモデルは Athay の2つの成分からなるモデルを平均したものと考えられる。以上のことから太陽活動最盛期に於てはコロナの電子密度は Allen-Baumbach の値の1.5~2倍程度になったと考えられる。

4. あとがき

1958年4月19日の日食観測結果報告の際簡単に述べたように、長期に亘る 4000Mc/s 干渉計の記録から1957-58年で 3750Mc/s に於ける静かな太陽成分の強さは $122 \times 10^{-22} \cdot \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (\text{c/s})^{-1}$ でこの前の太陽活動最衰期のときに比べ約1.6倍になったと推定される。一方最近の

干渉計の観測は、 9400Mc/s では数%しか変化しないらしいことを示している。日食観測結果から得られた静かな太陽面の中心の明るさのスペクトルから、コロナの電子密度が1958年頃では Allen-Baumbach の値の1.5~2倍程度になっていたと考えられる。

終りに種々御指導御討論を頂いた田中教授に厚く御礼申し上げます。

文 献

- (1) Labrum, N. R. : Aust. J. Phys, 13, 4, 700 (1960)
- (2) Tanaka, H. and Kakinuma, T. : Rep. Ionosphere Res. Japan, 12, 3, 273 (1958)
- (3) Kakinuma, T. : Proc. Res. Inst. Atmospheric, 3, 96 (1955)
- (4) Christiansen, W. N. and Warburton, J. : Aust. J. Phys. 6, 262 (1953)
- (5) Swarup, G. : Stanford Radioscience Lab. Sci. Rep. 13, (1961)
- (6) 東京天文台 I.G.Y. Solar Map.
- (7) Tanaka, H. : Proc. Res. Inst. Atmospheric, 3, 117 (1955)
- (8) Tanaka, H. : Proc. Res. Inst. Atmospheric, 8, 51 (1961)
- (9) Allen, C. W. : I. A. U. Symposium, No. 4, Radio Astronomy, ed. H. C. van de Hulst, Cambridge, 253 (1957)
- (10) Piddington, J. H. : Astrophys. J. 119, 531 (1954)
- (11) Newkirk, G. Jr. : Paris Symposium on Radio Astronomy, ed. R. N. Bracewell, Stanford, 149 (1959)
- (12) de Jager, C. : Paris Symposium on Radio Astronomy, ed. R. N. Bracewell, Stanford, 89 (1959)
- (13) Athay, R. G. : Paris Symposium on Radio Astronomy, ed. R. N. Bracewell, Stanford, 98 (1959)