

研 究

UDC 523.746

太陽黒点相対数の統計学的根拠

前 田 力 雄*

STATISTICAL SIGNIFICATION
OF THE RELATIVE SUNSPOT NUMBER

By

Rikio MAEDA

Physical meanings of the relative sunspot number which was introduced by R. Wolf in 1849 as an index of solar activity are clarified from a statistical standpoint. The relative sunspot number is approximately deduced from an empirical representation for the entropy of sunspot distribution on the solar disc. The entropy newly proposed in sunspot statistics is as useful as the sunspot area for solar-terrestrial studies, and its efficiency is tested mainly by means of the sunspot data from Mitaka during 1957-1964.

概 要

R. Wolf の太陽黒点相対数は長期の資料に富むとはいえず、物理的意義が不明であるという重大な欠陥を持っている。そこで太陽黒点相対数を演繹できる理論的根拠として黒点分布系に蓋然性な概念を導入した。結果として、太陽黒点相対数が黒点分布系におけるエントロピーの実験的表現であったことを明らかにする。

1. 緒 言

太陽物理学や地球物理学には太陽活動指数と称する量がしばしば用いられる。とくに太陽黒点相対数と呼ばれるものは、長年月にわたる資料が蓄積されている上にきわめて簡便な指数であるため、現在も盛んに使用されている。これは1849年に R. Wolf によって提唱された太

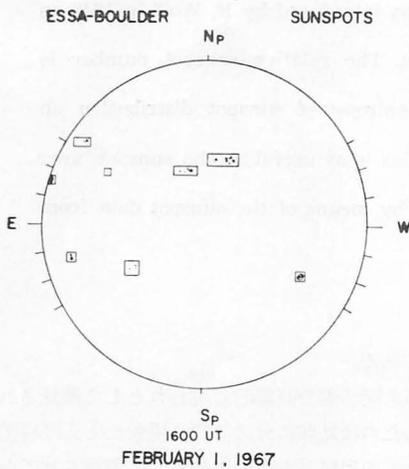
陽活動指数である。

太陽黒点が太陽活動の直接的な現われとして確認されるようになったのは地球における擾乱現象たとえば極光や地磁気嵐などの出現が太陽の影響として理解されてからである。以来超高層における大気現象の記述には黒点相対数が状況パラメータとして盛んに現われてくる。しかるに黒点相対数の概念規定はなんらなされるどころがなかった。一般に指数というものはある物理量をスカラー的に表現したものであるため本来の物理的意味を失ないがちである。よって指数を用いる場合は指数の性質を適確につかんでいて、物理的意味がじゅうぶんに保存される範囲内で使用しなければ、大きな誤りを招くことがある。この事情は太陽黒点相対数についてもよく当てはまる。そこで本文の目的は黒点相対数の物理的意味を明確にすることである。ところでここに行なおうとする考察は帰納的であるよりむしろ演繹的であることに注意しておこう。したがって結論はただ一つに決まるものではなく、ただ単に一つの可能性を示しているにすぎない。その結論の有効性は新たな問題解決に果す役割の大きさから判定されなければならない。

* 平磯支所超高層研究室

2. 太陽黒点

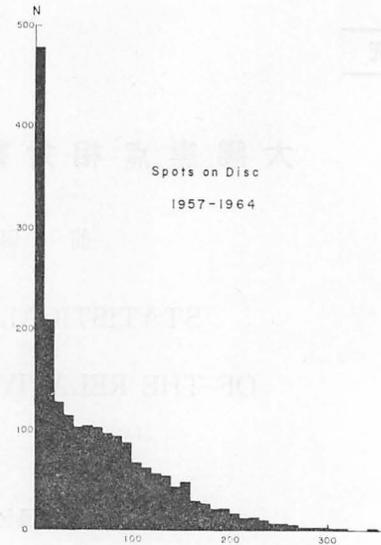
太陽黒点を望遠鏡で初めて観測したのはガリレイである。1611年以来実に多くの黒点観測がなされてきた。ふつう黒点の直径は 1000~10000 km, 寿命は1日~2カ月で, 発生場所は南北緯度30° 以内が多い。その有効温度は 6000°K の光球よりも 1000~2000°K 低いと考えられている。またその磁場の強さは数百~数千 G である。このように黒点は太陽面上においてきわめて特異な領域を形成している。したがって太陽全体の活動を黒点分布で表現することは比較的初期から行なわれた。太陽黒点には名前どおり点状のものから暗部と半暗部が区別できるほどの大きさのものまでがある。また第1図に例示されたように, 黒点は太陽面上でいくつかずつ集って



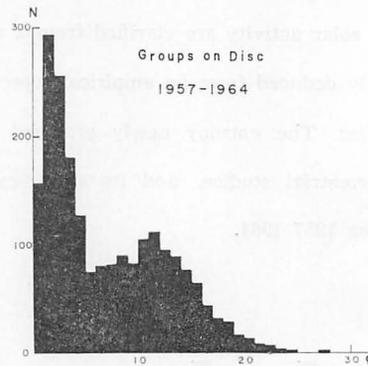
第1図
太陽面上の黒点分布

群をなす傾向がある。ここで黒点分布系の黒点総数および黒点群数を定義する。

黒点総数 f とは暗部および半暗部をそれぞれ1黒点とみなしたとき, 太陽面上に存在する黒点の数である。太陽面上の黒点はいくつかずつまとまって行動するようにみえる。その群の数を黒点群数 g とする。したがって f は観測者に, g は観測者に強く関係する量である。第2図と第3図は三鷹の東京天文台で1957~1964年に観測した黒点総数および黒点群数の頻度分布である。黒点群数の頻度は g が7~9で極小になっている。あまり明らかではないが, 黒点総数の頻度では f の50~80に対応している。このことは上図の黒点分布 (f, g) が2種類の統計母集団から抽出されたものであることを示している。つまり統計母集団には太陽活動の静穏時と擾乱時のものがあつた。したがって以下の統計結果はかなり



第2図
太陽黒点総数の出現頻度



第3図
太陽黒点群数の出現頻度

一般的なものになる。

Wolf の太陽黒点相対数 R は

$$R = k(f + 10g) \tag{1}$$

で与えられる。ここに k は観測者, 観測方法, 観測状態などによって定まる常数である。Wolf が口径 8 cm, 倍率64倍の望遠鏡を用いてチューリヒ天文台で観測した当時の k の値が1である。口径 20 cm の望遠鏡を用いている現在のチューリヒ天文台では $k=0.60$, 東京天文台では同じ口径の望遠鏡を用いているが $k=0.72$ である。太陽黒点相対数には1749年から現在に至る 200 余年の資料がそろっている。その上, 資料の入手は簡単である。

黒点相対数にみられる約11年の周期変動は他の黒点現象(たとえば黒点の発生場所, 磁場極性)の変化に同期している。さらに極光や地磁気嵐の発生頻度と相関がよいことから, 黒点相対数は形式的に太陽活動を表わすと

考えられてきた。この周期変動は厳密にいうと、7~17年の周期変動および50~200の振幅変動を受けた非線型振動とみなされる。太陽黒点相対数の周期と惑星会合の周期とにはある種の対応がみられる。そこで太陽黒点分布の盛衰を惑星潮汐の太陽面に及ぼす影響から説明しようとする試みもあるが、決定的な成功をみていない。これは物理的意義のあいまいな観測量の間の単なる相関のよし悪しから因果関係を推論しようとするのであって、かなり危険なことといわねばならない。また太陽活動の予想、つまり太陽黒点相対数の予報には現在のところ相関法あるいは周期法などの現象論的手法が用いられているが、詳細な点ではほとんど成功していない。太陽黒点相対数の概念が明らかになるならば、実体的予報も可能となるであろう。

3. 太陽活動

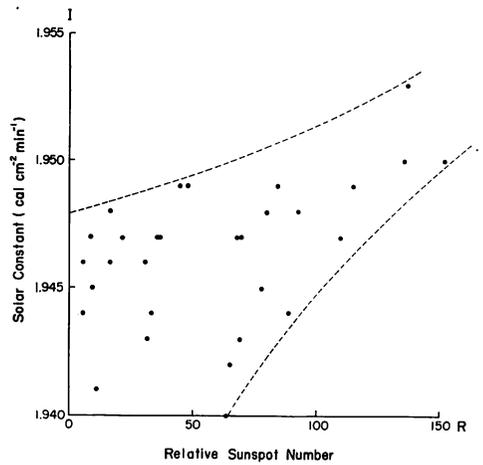
太陽が地球に与える影響は両者の相対位置に関するだけでなく、エネルギー源である太陽の状態にも依存している。したがって同一季節における地球大気でも太陽活動の盛衰によってその状態を異にすることがある。太陽活動は太陽という一つの開放系における力学および化学的变化の激しさを意味する。実際には太陽が地球に面する半球を通して地球に及ぼす影響でもって測られる。ところで太陽活動の直接的な現われは太陽面からのエネルギー放出である。これはおもに電磁波と荷電粒子の放射を通じて行なわれる。太陽放射のエネルギーフラックスはおおよそ第1表のようになる。

第1表 太陽放射のエネルギーフラックス

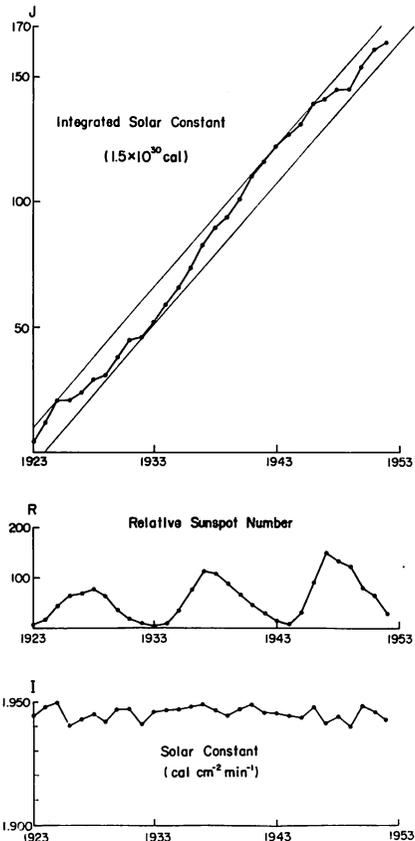
γ線, X線, 光波	$10^6 \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$
電波	10^{-7} "
高エネルギー荷電粒子	10^{-2} "
低エネルギー荷電粒子	10^1 "

このほかにエネルギー放出は伝導や対流によっても行なわれる。また中性粒子や弾性波によるエネルギー輸送もあるであろう。いずれにしてもかかるエネルギーの流入によって地球大気の解離と昇温および地球磁場の変形と反磁化が引き起こされる。

地球が太陽から1天文単位の所にあつて $1 \text{ cm}^2 \text{ min}$ あたり受けとる電磁波エネルギーは太陽常数と呼ばれている。これは $1.98 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} = 1.38 \text{ k Watt m}^{-2}$ であるから、地球は太陽の熱機関工率 4.10 kW のおよ



第4図 太陽黒点相対数と太陽常数との関係



第5図
太陽黒点相対数および太陽常数の逐年変化

そ20億分の1を平均的に受けとめている。地球大気による吸収の補正はむずかしいので、時間的な変化の小さい太陽常数がはたして太陽電磁放射量を正しく示すかどうかは疑わしいとされている。第4図は1923~1952年の太陽黒点相対数と太陽常数との間に単純な関係が存在しない

ことを示すものである。またこの関係は第5図の逐年変化でもあまりはっきりしない。しかし太陽放射エネルギーの累積偏差

$$J_i = 4\pi D^2 T \sum_{k=1}^i (I_k - 1.900) \quad (2)$$

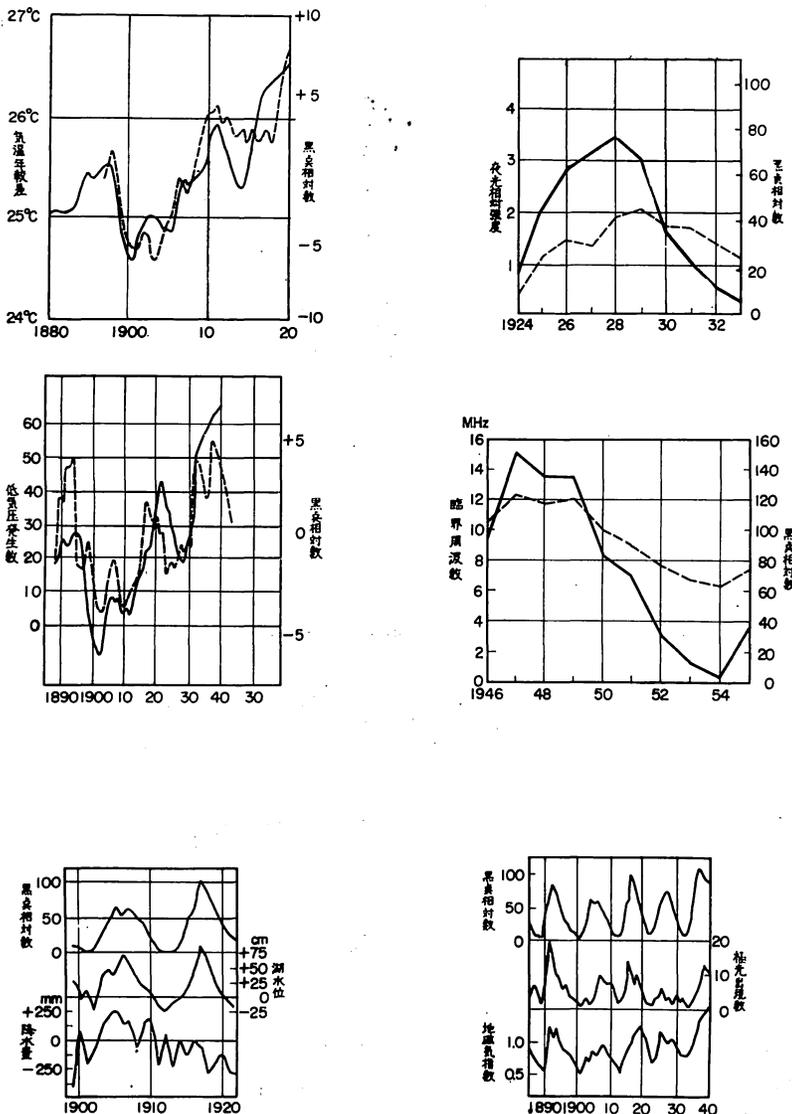
には黒点周期の2倍に近い周期があるようにみえる。ここに D は1天文単位 (cm), T は1年 (min), I_k は第 k 年次の太陽常数 ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$) である。

太陽放射エネルギーと太陽黒点相対数との間に強い関連があれば、地球現象と太陽黒点相対数との間にも関連が考えられる。地球の電離層あるいは磁場の変動周期には黒点周期に近いものが現われている。第6図には

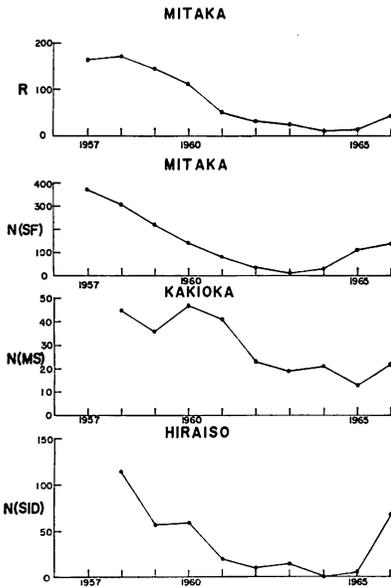
夜光強度 (点線)、電離層臨界周波数 (点線)、極光発生数、磁気擾乱指数と太陽黒点現象との相関のよさが示されている。これに反して同図にある中性大気現象は必ずしも黒点の卓越周期と一致するものを持つとは限らず、また緯度的にも相関を異にしている。たとえば気温と太陽黒点相対数とは低緯度では逆相関であるが、高緯度では相関が不明瞭になる。しかし長野の夏と冬における気温の較差 (点線) と太陽黒点相対数の11年移動平均とは非常に相関がよい。あまりはっきりしないが、気圧は太陽黒点相対数と逆相関のようである。気圧変動の指数としてカナダにおける低気圧発生数 (点線) をとってみると、それと太陽黒点相対数の11年移動平均とは相関がよい。またビクトリア湖の

水位およびウガンダ地方の降雨量も太陽黒点相対数と相関がある。一般に水位は降水量や蒸発量あるいは風速や気温などに支配される複雑な量であるが、降水量に比べて太陽黒点相対数との相関はきわめてよい。これは諸要因による複雑な効果が相乗的になって、太陽活動との相関がかえってよくなるためであろう。樹木の年輪もその好例といえる。中性大気は電離層ほどに太陽活動の影響を直接に受けていない。つまり太陽活動の状況だけでなく、地球大気の慣性もかなり大きい意義を持っていると思われる。

ところで太陽活動を直接表わしている太陽面現象としては光球における粒状組織、黒点、黒点群、半斑、白斑があり、彩層におけるスパイク、プロミネンス、サージ、ブラージ、フレアがある。黒点分布の測定は他現象の測定に比べるときわめて簡単である。黒点分布量のうちでも太陽黒点相対数は電離層状態のパラメータとしてひんばんに使われてきた。とくに電波伝搬状況の予報を無線回線の最適使用可能周波数について行なう場合にそうである。しかるにこの太陽黒点相対数は一種の



第6図 太陽活動の地球大気に及ぼす影響 (太陽黒点相対数は実線)



第7図
太陽活動（黒点
相対数、フレア
発生数）および
地球擾乱（地磁
嵐発生数、電
離層嵐発生数）
の逐年変化

実験量として導入されたものであるため、かえってその理論的根拠の不明さが意識されなかった。とはいえ、太陽黒点相対数がもたらす不鮮明さをおおい隠すことはできなかった。近年になると太陽活動指数としてはより物理的概念の明らかな太陽黒点面積あるいは太陽電波強度などが用いられ始めた。しかし太陽黒点相対数が確かな理論的根拠を有していることは太陽および地球の擾乱現象間に第7図のような対応性がみられることからむしろうぶんに想像されるであろう。したがって真に望ましいことは Wolf の太陽黒点相対数に物理的意味を付与でき

る可能性を探ることである。

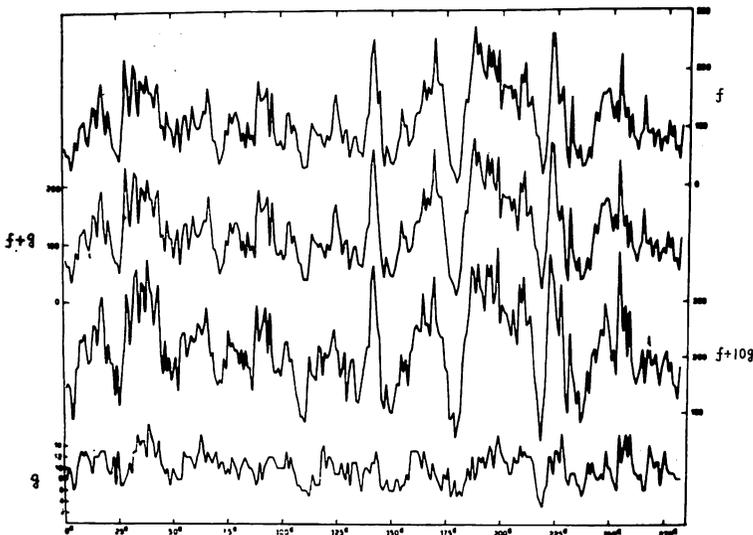
4. 太陽黒点分布

Wolf の太陽黒点相対数は太陽活動に関連する統計量として黒点分布から形式的に得られるだけであって、その概念は少しも規定されていない。しかしそれにはなんらかの理論的根拠があるはずである。なぜならば太陽活動をきわめてよく表現しているからである。そこでいったい黒点分布 (f, g) からどんな情報が得られるかを考えてみよう。つまり黒点分布系の基本的概念を用いて太陽黒点相対数の統計的意味を明らかにしよう。

太陽活動を黒点現象、それも f, g なる二つの量だけで表示する方法は必ずしも Wolf のやり方だけではない。第8図には黒点相対数を含めて f, g の一次式が4種示されている⁽¹⁾。一見したかぎりでは、 g を除くとあまり相互間の違いはないように思われる。太陽黒点相対数の意味するところは1黒点群に伴う太陽活動が1黒点に伴うものの10倍になるというだけである。この太陽活動の特性は黒点現象のもたらす情報あるいはエネルギーから決められるはずである。ここでエネルギーに関する議論を進めることはあまり適当ではない。情報に関してのみ考察することにする。いま情報の要素が黒点総数 f と黒点群数 g の2種類に限られている場合、黒点分布のいかなる性質を知りうるかが問題である。

太陽面上で黒点総数 f は g 個の黒点群にそれぞれ f_1, f_2, \dots, f_g ($\sum_{i=1}^g f_i = f$) ずつ分配されるものとし

よう。黒点総数 f が g 個の黒点群に分配される場合の数 $W_g(f-g)$ は $f-g$ 個のものを重複して g 個に分ける場合の数 ${}_{f-g}C_{f-g}$ に等しい。これは黒点総数 f 、黒点群数 g の黒点分布系に可能な状態の数を表わしている。次に任意の状態 j の出現確率を $P_j (j=1, 2, \dots, W_g)$ とすれば、その状態が実現される蓋然性はふつう $-\ln P_j$ で表わされる。これは黒点分布系が状態 j である偶然さあるいはあいまいさを表わしている。いってみれば、状態 j がもし実現されていたなら、その状態の不安定さの程度を示すことになる。ところで黒点分布 (f, g) においては、 $W_g(f-g)$ 個の状態のうちでただ一つが太陽面上に実現され



第8図 太陽黒点分布の逐日変化

ている。その場合あいまいさの期待値 $S(f, g)$ は

$$S(f, g) = -\kappa \sum_{j=1}^{W_g} P_j \ln P_j \quad (3)$$

で表わされる。ここで κ は比例常数である。各状態の出現確率は相等しいとき（実際には黒点群の発生時、発生場所などによってその黒点数が異なるから、各状態に対する等出現を仮定する）、

$$P_j = 1/W_g(f-g) \quad (4)$$

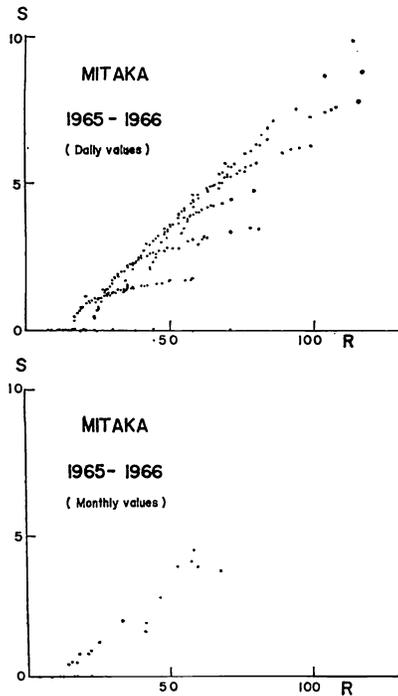
である。したがって上の期待値は次式で表わされる。

$$S(f, g) = \kappa \ln W_g(f-g) \quad (5)$$

これはいわゆる広義のエントロピーと呼ばれる量であって、

$$W_g(f-g) = \sum_{f-g} C_{f-g} = \frac{(f-1)!}{(g-1)! (f-g)!} \quad (6)$$

の数表を用いれば容易に計算できる⁽²⁾。この量が太陽活動を表示しうるかどうかは太陽黒点相対数 $R(f, g)$



第9図 太陽黒点相対数と太陽黒点エントロピーとの関係

に対する関係から調べられる。第9図は三鷹の東京天文台において観測された黒点分布から算出した $S(f, g)$ と $R(f, g)$ との関係を示すものである。比例常数は計算の便宜上 $10/\ln 10 = 4.343$ とした。上図によると、

$$0.85R + 1.00 \geq S \geq 0.85R + 40.0 \quad (7)$$

なる不等式がほぼ成立している。しかも S の上限は下限に比べてきわめて鮮明であることが特徴的である。月平均値をとると、 S と R との直線関係はより明瞭になる。分散についてみると、 $S=0$ に対する R のばらつきはかなり大きい。次に以上の統計的事実がいかに説明されるかを考えてみよう。黒点相対数 R はその値が大きいときに黒点分布系のエントロピー S に近似することを証明する。すなわち $f, g \gg 1$ のときスターリングの公式

$$\ln M! = M(\ln M - 1) \quad (8)$$

を用いると、

$$S(f, g) = \kappa \left[-f \cdot \ln(1-\varepsilon) + g \cdot \ln \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right], \quad (9)$$

$$\varepsilon = g/f \quad (10)$$

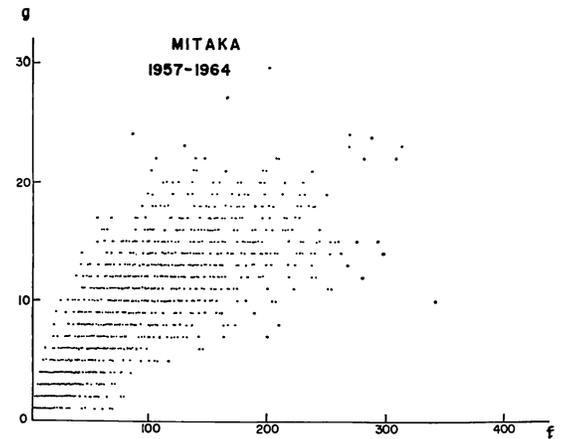
が得られる。上式が f, g に関する一次式

$$L(f, g) = l(f + c \cdot g) \quad (11)$$

と同等であるためには ε が常数であって、かつ

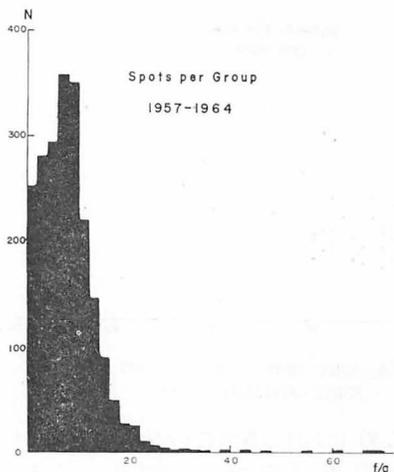
$$-\kappa \ln(1-\varepsilon) = l, \quad (12)$$

$$\ln \varepsilon = (1+c) \ln(1-\varepsilon) \quad (13)$$



第10図 太陽黒点総数と太陽黒点群数との関係

であればよい。ところで1957~1964年における ε の値は第10図に示されたように完全な常数ではない。しかしその年平均値は約 $1/8.5$ で、分散の小さいことが第11図からわかる。そのとき l は $0.54 (\kappa = 4.34)$ 、 c は 6.7 になる。ここに κ を適当に選べば、 l の値を三鷹における k の値 0.72 に一致させることができる。すなわち $\kappa = 5.76$ とおけば、 f と g で指定された黒点分布系のエントロピー S は



第11図
太陽黒点総数の
太陽黒点群数に
対する比の出現
頻度

$$S = 0.72(f + 6.6g) \tag{14}$$

で近似される。

三鷹における太陽黒点相対数は

$$R = 0.72(f + 10g) \tag{15}$$

で与えられるから、 S と R の実質的な差異は g の係数値の違いにある。一方 f, g に関する一次式のうちで、黒点面積と最もよい相関を持つものが求められている⁽³⁾。それによれば1900~1935年のグリニチにおける黒点面積 A とチューリヒにおける黒点相対数 R との間には

$$\log A = a + b \log R \tag{16}$$

なる関係が成立し、 $a = 2.00 \pm 0.13$, $b = 1.13 \pm 0.03$ である。次に $R = k(f + dg)$ とおくと、 $\log A$ と $\log R$ との相関を最もよくする常数 d の値は上記期間中の各年においては第2表のとおりになって、上で求めた c の値 6.7 とあまり変わらない。同表には $f/g = 1/\varepsilon$ の値も求められている。その値は1957~1964年の三鷹における f/g の平均値 8.5 に近い。

第2表から明らかのように、上記期間中の黒点面積と相関のよい f, g の一次式として、 $k(f + 7.1g)$ が得られる。これは前に求めた $l(f + 6.7g)$ に近いものである。したがって後者つまりエントロピー近似は黒点面積

第2表 黒点面積と相関のよい黒点分布 ($f + d \cdot g$)

時 期	d	f/g
太陽活動極大期	8.3 ± 0.6	10.3 ± 0.8
” 減小期	8.6 ± 0.6	9.2 ± 0.3
” 極小期	4.3 ± 0.8	7.3 ± 0.3
” 増大期	7.0 ± 0.7	9.6 ± 0.3
平 均	7.1 ± 0.7	8.7 ± 0.3

ともきわめて関係の強いものといえる。上の論議から黒点分布のエントロピー $S(f, g)$ は一次式 $L(f, g)$ で近似されるとともに黒点相対数 $R(f, g)$ に類似したものであることが明らかになった。このことが第9図の直線関係の意味である。以上述べたように、任意の黒点分布に対して状態量としての (f, g) が必ず求まる。しかし (f, g) で指定される黒点分布状態には $W_g(f-g)$ 個の場合がありうるから、現実の黒点分布を (f, g) から再構成することはむずかしい。エントロピーはこの困難さの度合いを表現したものであって、現実の蓋然性を示すものと考えられる。

ここでエントロピーについて一言しておこう⁽⁴⁾。エントロピーの概念は最初熱力学について統計力学に現われ、現在では情報理論にも用いられている。熱力学的エントロピーとはある熱力学的体系が外部に対してなしうる仕事の可能性つまり活動能力を示す状態量である。ふつう孤立系にあっては不可逆現象の生起によって系のポテンシャルエネルギーは束縛エネルギーに変換されて、系の仕事能力が失われるとともにエントロピーが増大する。この原理は力学的システムにはもちろん生物学的システムにも見出される。後者の場合ではエネルギーの伝達変換よりも情報の伝達変換が問題になる。統計力学的エントロピーと太陽黒点分布のエントロピーとの相違は前者におけるエネルギー分配に対して、後者においては分配されるものが黒点になることである。しかし黒点の分配形式はなんらかのエネルギー的關係を暗示している。あることに関する情報が与えられると、その情報量 $d'Q$ に比例して知識が $-dS$ だけ増大(あいまいさが減少)する。すなわち

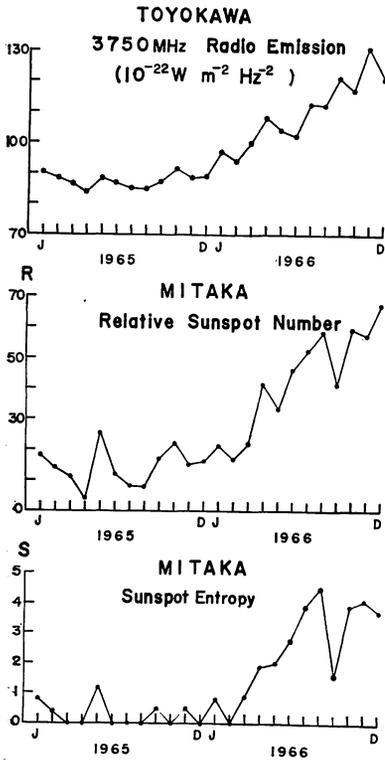
$$d'Q = -TdS. \tag{17}$$

これを黒点分布 (f, g) に関して類推すれば、温度 T は

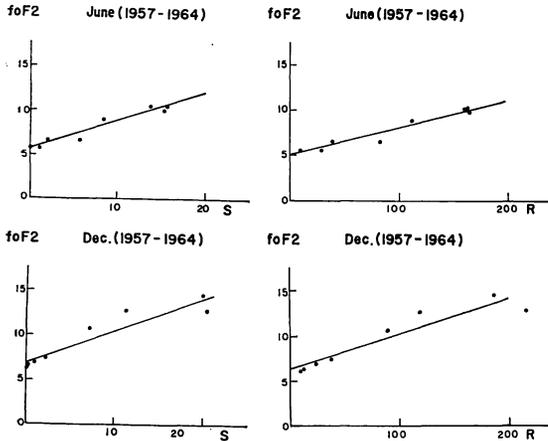
$$\begin{aligned} \frac{1}{T} &= \left(\frac{\partial S}{\partial f} \right)_g \\ &= k \ln \left(\frac{f}{f-g+1} \right) \end{aligned} \tag{18}$$

で与えられる。この量のもつ意義はまだ不明であるが、1966年6~9月のフレアは T の極大期に発生する傾向があったことを付記しておく。

上に定義した黒点分布系の R と S とは、第12図からわかるように、他の太陽活動指数である 3750 MHzの太陽電波強度 F に対してほぼ同じ時間的關係をもっている。全体的にみると、 R, S の F に対する相関にはあまり差異がない。これと似た事情にある例として、 R, S の $F2$ 層臨界周波数 $f, F2$ に対する関係を第13図



第12図 太陽黒点相対数, 太陽黒点エントロピーおよび太陽電波強度の経年変化

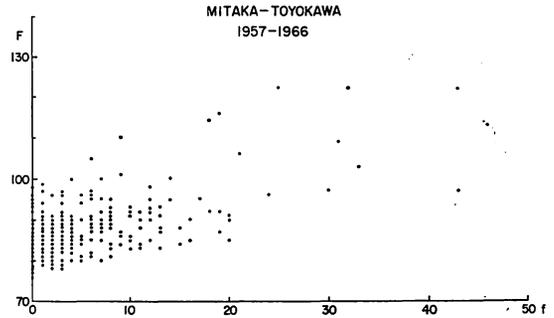


第13図 太陽黒点相対数および太陽黒点エントロピー(三鷹)と F2 層臨界周波数(国分寺)との関係

第3表 黒点相対数および黒点分布エントロピーと F2 層臨界周波数との相関係数

季節	$r(f_oF2, R)$	$r(F_oF2, S)$
6月	0.97	0.96
12月	0.94	0.95

に示す。この場合 $S=0$ に対する f_oF2 の値は $R=0$ に対するものより大きくなる。相関係数は第3表にあるようにほぼ同程度である。



第14図 太陽黒点総数 ($g=0,1$) と太陽電波強度 (3750 MHz) との関係

黒点分布 (f, g) における各黒点分配状態はいずれも等確率で出現するものと仮定すれば、現実がいかなる分配状態になっているかに関するあいまいさは平均的に $\kappa \ln W_g(f-g)$ で表わされた。それは f, g が大きい場合は黒点相対数 R に近似したものになる。しかし f, g が小さい場合は R と S の相異が大きくなる。そこで $R(0,0)$ と $R(f,1)$ つまり $S=0$ の場合における黒点総数 f と太陽電波強度 F との相関を調べてみる。第14図から明らかなように、 $g=0, 1$ のとき $f(\leq 20)$ の変動に対して F はほぼ一定となっている。つまり S が不変なら F も不変である。したがって R より S の方が太陽活動指数としてはより有効であろう。

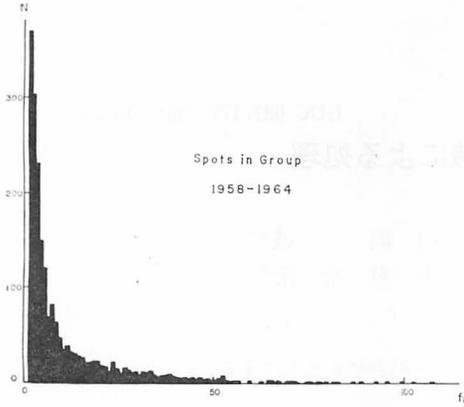
黒点分配状態の等確率出現は時間的、場所的に制約を受けているが、長期の統計をとれば近似的に許される。その根拠の一つを次に述べる。黒点分布が (f, g) のとき、ある黒点群 i の黒点数が f_i である確率 $p(f_i)$ を求めてみる。

$$p(f_i) = \frac{W_{g-1}(f-f_i-g+1)}{W_g(f-g)} = \frac{(g-1)(f-g)(f-g-1)\dots(f-g-f_i+2)}{(f-1)(f-2)\dots(f-f_i)} \quad (19)$$

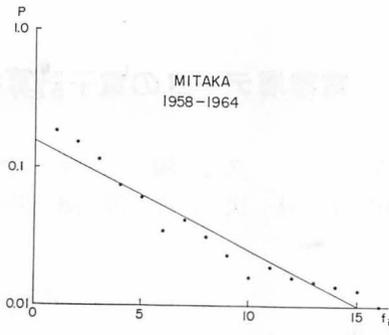
ここで $f > f_i, g > 1$ とすれば

$$p(f_i) = \frac{g}{f} \left(\frac{f-g}{f}\right)^{f_i-1} \quad (20)$$

である。したがって $p(f_i)$ は f/g に応じて変動する。つまり黒点数 f_i をもつ黒点群の出現確率はその黒点数 f_i のみならず太陽面全体の黒点分布量 f/g すなわち平均黒点数に依存する。実際の f/g は一定値ではないが、月平均あるいは年平均は分散の小さいものになる。そこで長年月の統計では f/g を一定と仮定してみる。そのとき $p(f_i)$ は黒点数 f_i をもつ黒点群の経験的な出現確率に一致するはずである。第15図は1958~1964年に出現した顕著な黒点群の黒点数 f_i に関する頻度分布である。この図から算出した経験的な出現確率は第16図



第15図 太陽黒点群における黒点数の出現頻度



第16図 太陽黒点群における黒点数の出現確率

に示してある。これによれば $f_i \leq 15$ の黒点群（出現の累積確率は約 0.9）に関する対数的出現確率は黒点数とほぼ直線関係になっていて、定性的に(20)式が満たされている。しかもこの回帰直線の截片および勾配は経験的な出現確率が(20)式において $f/g=7.7$ としたものに該当することを示している。この場合 f/g は前に求めた値 8.5 よりやや小さいとはいえ、一つの黒点分布系においてはどの黒点分配状態もほぼ等確率で出現しているといってもよい。よって黒点分布のエントロピーを定義する際の等出現仮定は適当であったことになる。

5. 結 言

地球大気および地球磁気は絶えざる太陽活動を記録する天文的尺度の計器ともいえる。電離層嵐や地磁気嵐などの特異擾乱が太陽黒点現象に関連して発生することは、黒点分布がすぐれた太陽活動指数になりうることを物語っている。さらにその指数の変動が太陽面現象の盛衰を表示できることはその利用率をいっそう高めてきた。黒点分布における f および g はいずれも太陽活動に関係する量であるから、それらの組み合わせ (f, g) は太陽活動をよりよく表示できるはずである。黒点分布 (f, g)

のあいまいさを表わすエントロピー $S(f, g)$ はかかる量の一つとして導入された。それと同時にこの黒点分布のエントロピーから黒点相対数が演繹された。それによって黒点相対数は黒点面積なみに概念化されたことになる。この黒点分布系のエントロピーが有効な量であるか否かは実際に使ってみなければわからない。

しかしそれは黒点エントロピーが黒点相対数に近似したものであるから、すでに検証済みともいえる。

今後に残された重要な課題は黒点分布エントロピーのスペクトル解析および予報、南北両半球におけるエントロピーの異同、黒点分布系のエントロピーと温度および黒点群の存在確率とフレアの発生確率との関係などである。これらの問題解決には黒点分布の観測技術や観測方法の発展が必要であろう。

終りにあたって、めんどろな黒点分布エントロピーの計算を引き受けてくれた第二特別研究室の加藤技官に謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) Kuiper, C. O., The Sun, The University of Chicago Press, Chicago & London, 1953.
- (2) 統計科学研究会編, 統計数値表, 河出書房, 1952.
- (3) 野附誠夫, 黒点多寡の表示法および黒点数と爆発との関係について, RIRJ, 2, 1, 1948.
- (4) ケネス・ポールディング, 二十世紀の意味, 岩波書店, 1967.

