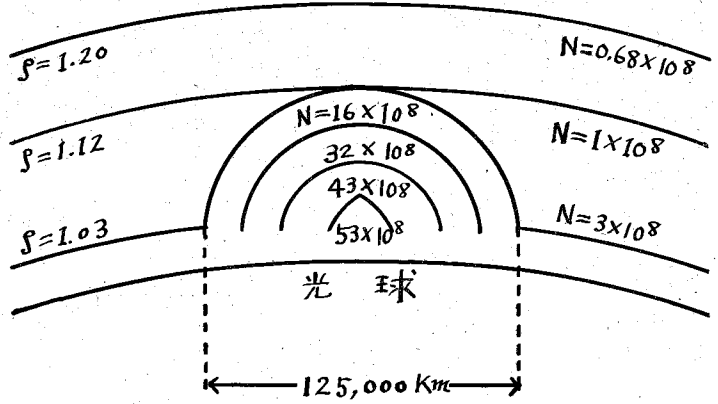


# 太陽電波 S 成分

田 中 利 一 郎\*

## 1. S 成分の概要

太陽から放出される電磁波のなかで、特にラジオ波と呼ばれるものは、太陽電波として知られている。太陽電波は次第に太陽の活動が活発となって、コロナ (corona) の電子密度が上がってくると、コロナで吸収される割合が増えるために、見掛上の温度が上昇して電波強度も上昇してくる。この現象は太陽の活動周期にしたがって変動するが、これを太陽電波の B 成分 (basic component) と呼んでいる。黒点が出現するとさらに電波強度が増加して、その強さは 1 日の間にわずかに変化する程度ゆっくりとした変動を行う。この現象は cm 波 dm 波領域におこる場合が普通である。さらに電波強度の変化は 27 日周期で変動し、数日から数カ月の寿命がある。この変動を S 成分 (slowly varying component) と呼んでいる。その他にもっと短い数秒から数分まれには



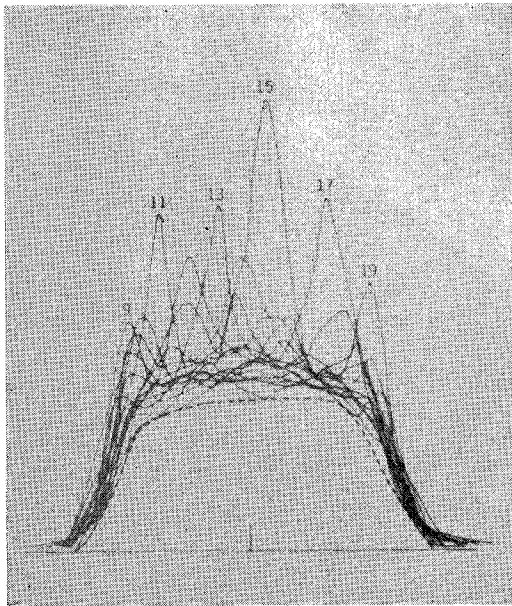
第 2 図 Waldmeier と Müller (1950) によるコロナ・コンデンセーションのモデル。電子密度  $N$  は、 $1 \text{ cm}^3$  当りである。  $\rho$  は太陽中心からの距離である。 ( $R_{\odot} = 1$ )

数時間にわたる電波強度の増強が観測されるが、これをバースト (burst) と呼んでいる、

最初に Covington (1949) や Lehany と Yabsley (1949) が S 成分の観測結果を見出してより、すでに太陽活動周期の 1 サイクルが過ぎ、S 成分の様相が非常に明らかにされて来たので、その初期の様子や最近の知られていることを述べて見ることにしよう。

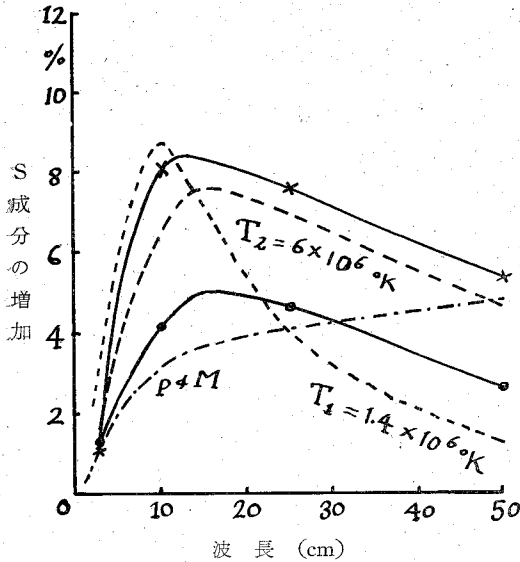
1 Piddington と Minnett (1951) は Covington, Lehany と Yabsley による 1947 年 8 月から 11 月迄の間の太陽黒点面積と各周波数における見掛上の輝度温度の変化とをしらべて、各の間の相関が高いことを発見した。さらに 10 cm の波長において少い偏波率をもつ円偏波成分があり、その円偏波の向きは黒点の位置に関係があるらしい結果を見出した。

2 Covington は 1946 年の 11 月 23 日におこった日食の観測において、太陽表面上の大きな黒点群が掩蔽される時、太陽面上の残りよりずっと明るい電波放射が、一時的に消滅することを観測した。このような結果は Christiansen, Yabsley, や Mills (1949) によつても観測された。そうしてこのような平均の輝度面積は太陽表面上の約 4000 分の 1 くらいであつて、輝度温度は約 500 万 °K であることも知られた。輝度部分の多くは実際に黒点がある所か、又は前の自転周期に黒点があったような場所、もう一つは定常的なプロミネンス (Prominence) があるリム (limb) にあることが発見された。このようにして日食の観測は S 成分発生源が太陽表面上の局所的な輝度部分にあり、そこから放射されることを教えてくれた。



第 1 図 Nançay の 16 エレメント干渉計で波長 3 cm で観測した値を 15 個重ねたもの、図上の数字は日付を表す。(Pick-Gutmann)

\* 新潟大教養学部、京大花山天文台  
R. Tanaka; Slowly varying component of the solar radio radiation.



第3図 Christiansen と Hindman の観測における S 成分のスペクトル, ×印は 1947 年, ○印は 1949-50 年の値である. 破線は Waldmeier と Müller による理論値, 鎖線は Piddington と Minnett の理論値である.

3 もつとも直接的に局所的な輝いた領域を観測したのは Christiansen (1953) で, 彼は 32 エレメントの干渉計の観測によって S 成分が太陽表面上の局所的輝度領域より放射されることを明らかにした. (第1図) は例として Pick-Gutmann (1959) が 3 cm の波長で行ったものを示してあるが, この図は毎日の干渉計の測定値を重ね合わせたもので, 輝度領域は数日間から数週間もつづき太陽表面上で, その位置を東のリムから 2 週間の周期で西のリムに移動させ消えることがわかる.

## 2. 初期の S 成分に対する理論

S 成分の単純な解釈としては, 太陽黒点上部のコロナが特に高い放射を行い得る性質をもち, この領域からの熱放射によって発生されるという仮定である. Waldmeier と Müller (1950), Denisse (1950) 等は上の考え方で電子密度が特に濃いコロナ・コンデンセーション (coronal condensation) のモデルを使用して電波強度を計算した. コロナ・コンデンセーションについての研究は斎藤氏によって天文月報 7 月号 (1964) にくわしく記載されているので, ここでは簡単に述べることにするが, (第2図) は Waldmeier 等のモデルの電子密度の分布を示したものである. 一定の温度  $T_1 = 140$  万 °K,  $T_2 = 600$  万 °K とし計算を行った値は (第3図) に Christiansen と Hindman が 1947 年から 1950 年の間に観測した値と共に図示してある.

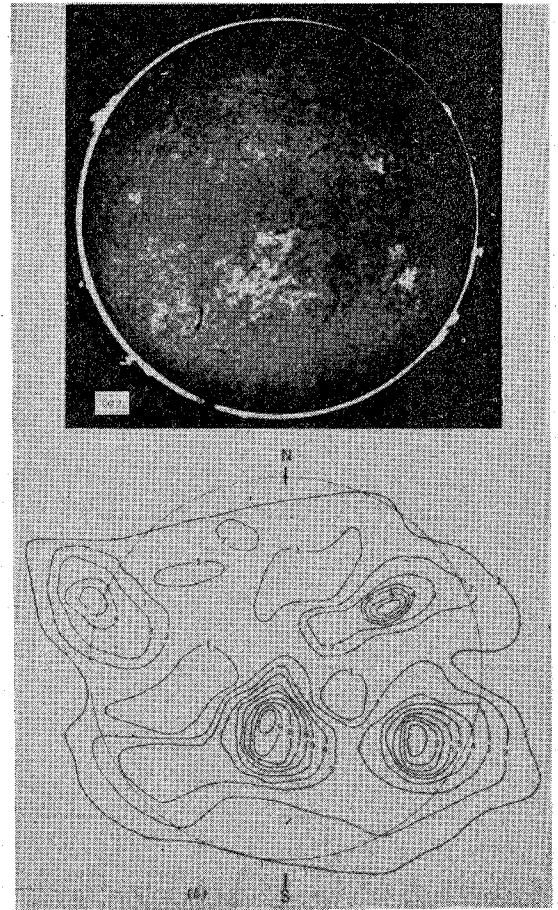
初期の観測によつても知られていた S 成分の円偏波成分については, Waldmeier 等のモデルでは説明が出来

ないので, Piddington と Minnett (1951) は  $2 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$  の電子密度と 1000 万 °K の温度を仮定し, さらに黒点上部の磁場を考慮して磁場の効果によつて熱放射の特性がマグネト・イオン理論 (magneto-ionic theory) により円偏波成分をもつから S 成分の偏波が解決されることを発表した. この結果も (第3図) に鎖線として図示してある.

## 3. 最近の観測による結果

S 成分の問題はコロナ・コンデンセーションのモデルによつて解決したように見えたが, マイクロ波領域の干渉計の分解能が向上するにつれて, S 成分の詳細が判明し統計的研究が行なわれるにしたがつて様相は複雑になつて来た. つまり 1 次元アンテナ (fan-beam) の分解能の向上, 2 次元アンテナ (pencil beam) の開発によつて, 局所的な電波輝度分布が詳細に観測されその電波マップが作られると, 光学的な観測との比較が容易になるので, 情報量が多くなり複雑性も増えて来るようになった.

(第4図) は  $H_\alpha$  線による光学的観測と, 同日の 21cm



第4図 (a)  $H_\alpha$  線による太陽の写真, 12月3日 1957年. (Sydney)  
(b)  $\lambda = 21$  cm における同日の電波マップ. 単位は  $10^5$  °K である. (Sydney)

第 1 表

周波数 Mc	9400	3750	2000	1000
輝度 °K	$0.98 \times 10^5$	$0.94 \times 10^6$	$1.9 \times 10^8$	$3.3 \times 10^6$

波による電波マップである。一見してアクティブ領域 (active region) が輝いたプラージュ (plage) や、黒点に対応していることが知られる。Stanford の 9 cm 波によるマップからは更に詳細な黒点・プラージュの関係が見られるが、コロナ・コンデンセーションに対応する領域はプラージュの方がよく一致することがわかった。河鱒氏 (1960) はプラージュの強さと S 成分の強さの統計的研究によつて、その相関がよいことを見出している。田中・柿沼の両氏によつて 1958 年 4 月 19 日の日食による観測が行なわれた、それは豊川において 9400, 3750, 2000, 1000 Mc の 4 つの周波数による強度と偏波及び 4000 Mc の干渉計による東西方向輝度分布の観測を行い、さらに特に重点をおいた 3750 Mc の装置を新たに準備して八丈島で金環食を観測したが、この中で 1000 から 9400 Mc 迄の周波数による偏波の観測は世界最初のものであり特に興味ある結果が得られたと考えられる。その結果を簡単に列挙すれば次のようである。

1) 当日南半球にあつた大黒点に附随する S 成分発生源では、その大きさがカルシウム・プラージュと同じで様な輝度を有するとすれば、各周波数における明るさは温度で表わせば (第 1 表) のようになる。しかし 100 Mc における発生源の大きさは他の周波数にくらべて大きいことが観測的に知られているので、明るさは (第 1 表) の値よりもっと小さくなるだろう。S 成分が熱放射であるとすれば発生源の平均の電子温度はたかだか 200 万から 300 万 °K と考えられる。

2) 東のリムにあつた S 成分発生源がかくされる時の食曲線より、3750 Mc では発生源が光球表面上 70,000 km 位迄広がっていることが見出されているが (第 1 表) の明るさから電子密度が  $5 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$  程度となり通常のコロナの値に比べて極めて大きいことが知られる。

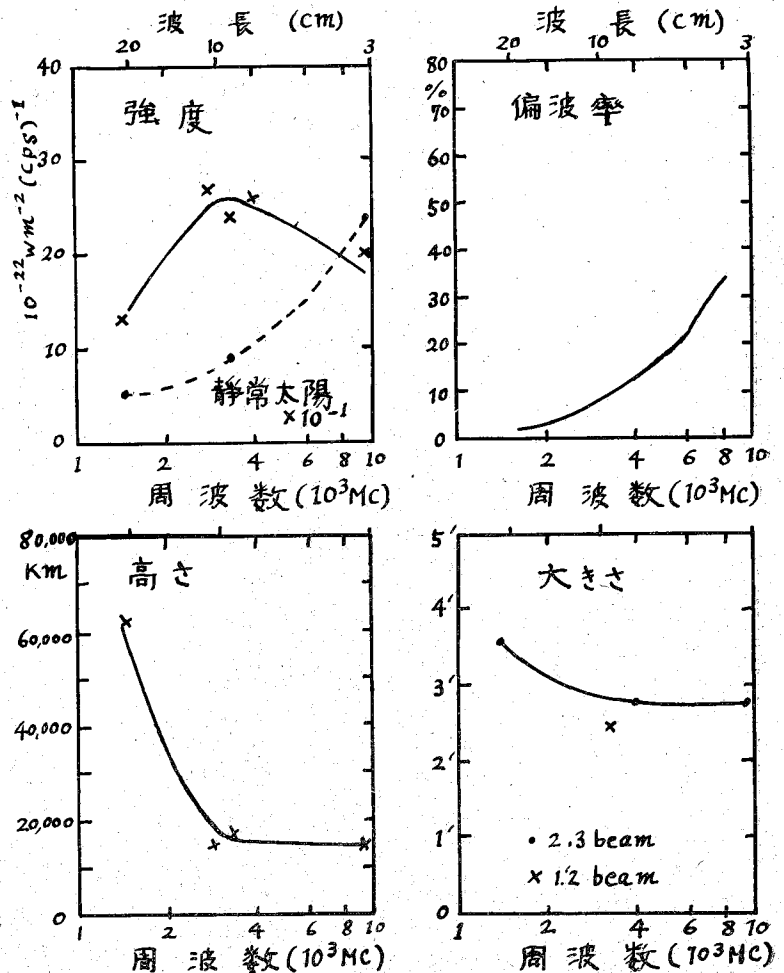
3) 偏波成分の源は黒点上層の極めて狭い範囲に限られている。

4) バイポーラー黒点 (bipolar sunspot) の群に附随する発生源では、それぞれの極から異なる向きの偏波が出ている。その向きは異常波成分 (sense of extraordinary wave) の向きと一致する。又南半球の大きな S 成分発生源では偏波の向きは全体として通常の法則に従うが、子午線通過附近で逆転した。

5) 偏波率は周波数と共に増加する、1000 Mc では偏波は殆んど観測されない。

これらの結果はその後の干渉計等の観測によつても確かめられる様になつた。その後、田中氏 (1961) は 9400 Mc における 16 エレメントの干渉計の観測から、この周波数による S 成分の発生源の大きさはプラージュの大きさよりも、もっと小さくむしろ光学的な黒点の大きさに殆んど等しいという興味のある結果を見出している。

Swarup その他 (1963) は強い S 成分の 3 cm から 21 cm の波長域にわたる統計的研究を行い、S 成分発生源の決定版ともいえるまとめを発表した。これは豊川・オ



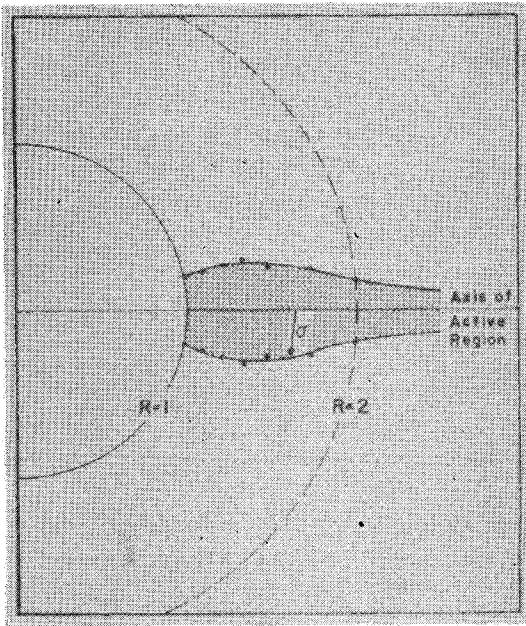
第 5 図 S 成分の特性 (Swarup, Kakinuma, Covington, Harvey, Mullaly と Rome による)

ッタワ・スタンホード・シドニーにおける観測をもととして行われたものであるが、それらの結果は(第5図)に示したようになってい

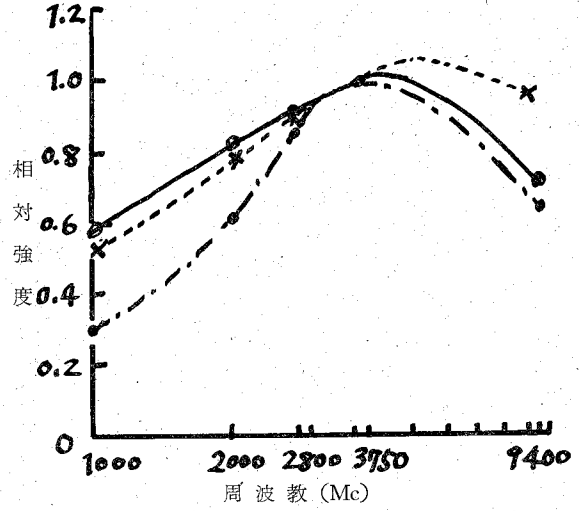
- 1) S成分の電波の強さは3cmや21cmよりも10cmの近くの方が強くなっていることが多い。
- 2) 3cm, 10cmの波長によるものは2'から3'位の大きさであるが、21cm波では3'から4'位の大きさである。
- 3) 発生源の高さは3cmから10cmで10,000kmから20,000kmであり21cmでは40,000kmから90,000kmである。
- 4) 偏波率は3cmで30%, 10cmで10%, 21cmで2%以下であることが知られる。

5) 10.7cmでの電波輝度温度は1.6から $3.8 \times 10^6$ °Kである。その他短い波長では電波輝度領域が太陽黒点の大きさに比べて小さく、3cm位の波長では磁場が強くこのような磁場をもつには、太陽黒点では2000 Gaussから3000 Gaussの磁場の強さが必要であろうとしている。

長い波長域側では88cmのFiror(1959)の観測によつて、S成分とノイズ・ストーム(noise storm)と呼ばれるm波における放射との発生源の間に変移領域があり、このあたりより88cm帯の放射が行なわれることが知られている。すなわち88cm帯の周波数での放射は真のコロナ・コンデンセーションとコロナ領域との間にある領域からやってくるのであろうといわれる。もっと変わった結果はm波でBoischoyやSimonによつて見出されている。これは1.77mでS成分の存在を発見し



第6図 Newkirkのコロナ・コンデンセーションのモデル



第7図 3つの特別な周期の間のS成分の強度のスペクトル。●印は最盛期に近い1958年1月から6月迄これは鎖線で示す。×印は中位の時で1960年7月から12月迄で破線。○印は1962年1月から1963年5月の間で最小期に近い実線で示す。縦軸は3750 Mcを1として比で表わしてある。

たことである。もっともこのm波のS成分は光学的に観測されたものとか、cm・dm波との決定的な相関は見出されていない。数カ月又は数年のゆっくりした周期で20%ぐらい変化をするといわれている。もっとはっきりしたことは1964年のIQSYの間に答が出るだろうと期待されている。

4. S成分の最近のモデル

赤羽氏(1958)は9500 Mcと3000 Mcにおける日食の観測をもとにしてパイポラー黒点の上部を蔽う5'×5'の電子の増強された領域を仮定し、電子密度 $10^{10}$  cm<sup>-3</sup>, 電子温度 $10^6$ °Kを仮定してアクティブ領域を考えた。さらにその領域に30度傾いた磁力線をもつて観測との一致を説明しようとした。Newkirk(1961)はWaldmeier等によつて考えられたような $6 \times 10^6$ °Kの温度は光学的な観測にくらべて高すぎる、すなわちコロナに於てもっとも温度の高い領域は5694Åのコロナ線(Ca XV)を放出する所であり、そのline profileからこのような領域の温度はBillings(1957)の $T_e = 3.5 \times 10^6$ °KとZirin(1959)の $T_e = 4.0 \times 10^6$ °Kであるという結果と非常に遠いこと、ならびにWaldmeier等によつて考えられた領域の直径は約 $10^5$  kmであるが、ラジオ図で見られるものは12cm波では約 $2.5 \times 10^5$  km(ChristiansenとMathewson 1959)である事等の理由から彼自身のKコロナメーター(K-coronameter)のClimaxにおける観測をもとにしてコロナ・コンデンセーションのモデルを作つた。それによると $N(R, \beta) = N_0(R) [1 + C_1 e^{-(\beta^2/2\sigma^2)}]$ で決定される電子密度をもつアクティ

領域を有する(第6図)に示されるようなモデルになる。ここで  $N_Q(R)$  は静常なコロナの電子密度で  $N_Q(R) = N_0 \times 10^{4.82/R}$ ,  $N_0 = 4.2 \times 10^4$ ,  $R$  は太陽の中心からの距離である。さらに  $\beta$  はアクティブ領域の軸からの距離,  $C_1$  は常数,  $\sigma = \sigma(R)$  は分散因子 (dispersion parameter) である。このモデルから温度として  $T_e = 10^6$  °K,  $2 \times 10^6$  °K,  $2 \times 10^8$  °K ( $\tau/2$ ) の3つのモデルを計算しそれがS成分の直径・高さ・スペクトル・方向性を説明し得ることを示した。以上はS成分のモデルとして解決をあたえてくれるものではあるが観測との完全な一致はむづかしいようにみえる。高倉氏(1961)は理論的にS成分の偏波を研究して観測の結果との比較を行っている。もし黒点がバイポーラーであれば、一定の周波数で円偏波の方向は太陽の自転のために黒点が或る日面経度を通過するとき逆転をするだろう。その偏波の逆転は先行黒点から放射される電波に対しては西側の半面で、後行黒点では東側の半面でおこることを導いた。この結果は1958年の日食の結果と比較されたが観測の値と一致しなかつた。しかしこれはその時に使用したダイポール磁場の仮定が充分でなかつたのであり、理論的には欠点がないのではないかと考えている。柿沼氏と Swarup (1962) はS成分の電波の強さが6cmくらいで最大であること、これは観測される7.5cm, 9.1cmの偏波率が3.2cmにおける偏波率よりも小さいことの原因により、これまでのモデルはその両方を同時に説明することが出来ないことを強調している。この矛盾を解決するためには太陽黒点群上のコンデンセーション領域

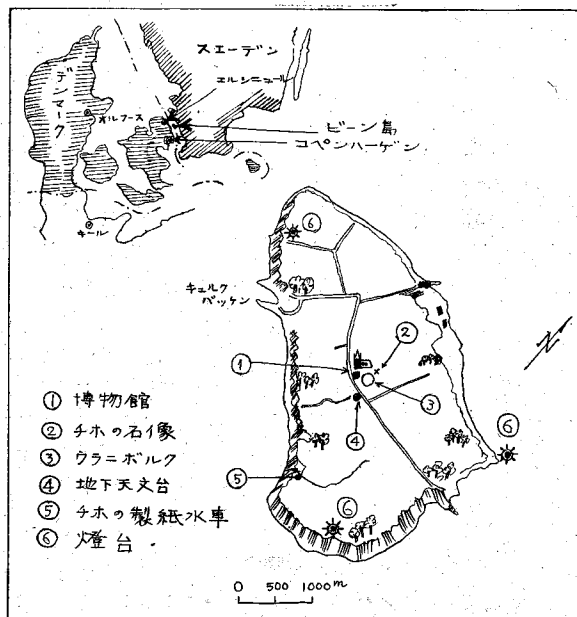
で熱電子によって放出されるジャイロ周波数 (gyro-frequency) とその高調波 (harmonics) の放射が是非とも考えられなければならない。この放射の共鳴吸収のメカニズムが行なわれるには光球上20,000kmの高さで約600ガウス、40,000kmで250ガウスの平均の磁場の強さが必要であることを示している。その他にマグネット・イオン理論では10cmで100万°Kから400万°Kの輝度温度を説明するためには、静常コロナの20倍から40倍の電子密度が必要であるが、彼等のジャイロ理論 (gyro-theory) では高々5倍から10倍位の電子密度で十分に説明がつくし、その上3cmから10cmの範囲のS成分の大きさが狭い範囲である観測的な事実も説明されて都合がよい。しかし磁場の強さが大きいという批判もあるようである。

以上大体のS成分に関する観測と理論の概要を羅列したが、最近、田中氏(1964)は11年間の観測の変化を調べて太陽黒点の最初期、中間期、最盛期等におけるS成分のスペクトルを統計的に解析し、(第7図)に示すような結果を発表した。これは豊川の空電研究所において観測されたものと、2800Mcのオッタワにおける観測を加えて行なわれたものであるが、S成分の発生メカニズムやモデルの上に興味ある事実を与えてくれるものと思われる。

最後にいろいろの資料をいただき御指導下さった、田中春夫・柿沼隆清両先生(空電研究所)に深く感謝の意を表したい。

## チホ・ブラーエの故地を訪れて

広瀬 秀雄\*



### プロローグ

ただ今日本からヨーロッパへ行く近路は、いわゆる北極経由の飛行機によることである。この航路を最初に開いたスカンジナビヤ航空の飛行機だと、終点がコペンハーゲンになっている。私も今夏のIAU出席はこの径路により、デンマークに数日滞在する予定であった。コペンハーゲン天文台の天文電報中央局長とIAU総会前に懇談するのが公式の目的であったが、この機会に350年以前にチホ・ブラーエが近代観測天文学を開いたあのビーン島(Hven)を訪れ、ウラニボルクの故地をこの目で是非見たいものだったのである。

### 第1話 ビーン島

現代のデンマーク語ではチューフ・ブラーというらしい。またHvenはVenともHveenともまたVeenとも綴っている。何れもビーンとよむ。

コペンハーゲン天文台を訪れるまで、私はビーン島がどこにあるのやら、どんな島やら、チホのことを除いてはさっぱり何も知らなかつた。幸いにも天文電報中央局長のテルノエ氏が、親切に種々調査して下さつたの

\* 東京天文台