

## 1960年11月の太陽電波大バーストに伴う SEA と Hiss 及び Whistlers

I 太陽電波	田中春夫
II IV型SEA	鎌田哲夫
III Hiss及びWhistlers	大津仁助・岩井章

### I 太陽電波 田中春夫

1960年11月11日, 14日および15日に当研究所において非常に大きなバーストが観測された。特に15日のは最大級に属するものである。図I-1は我が国における単一周波の観測を総合してこれらのバーストを動スペクトル的に画いたものである。800MC以下は東京天文台の高倉氏の御好意により, また200MCは主として平磯電波観測所の羽倉氏の御好意により送っていただいた資料に基づいている。図I-2はバースト中の偏波率の変化で, 図I-3および図I-4は9.4GCの16素子干渉計と4GCの8素子干渉計によるバースト源の位置と大きさの観測結果である。

さて我々の分類によると(英文報告 Vol. 8, 柿沼・田中の論文参照), これらのバーストはマイクロ波帯で次の様な構成になっているものと思われる。

日附	時刻(U.T.)	型
11	0315—0410	cm波バースト第1相
	0410—0540	〃 第2相
	0340—	dm波バースト
14	0250—0423	cm波バースト第1相
	0423—0620	〃 第2相
	0258—0430	dm波バースト

15	0210—0320	cm波バースト第1相
	0320—0420	〃 第2相
	0300—	dm波バースト(最大強度の周波数が200MC迄下っている)

cm波バースト第1相の特徴は, 周波数が高い程強度が大で, フレアーとよく一致することである。

cm波バーストの第2相では3000MC附近に最大強度があつて, これを第1相と分けたのは, フレアーとの対応があまりよくないためであるが, 更に次の様な特徴を見出したからである。即ち図I-3からわかる様に, cm波バーストの第2相に相当したところで9.4GCの偏波の源の位置がかなり動いているのである。動いたあとの方がS成分の位置と合うらしいことと, S成分と類似したスペクトルを持っていることとを考え合わせると, 輻射機構がS成分と同じらしい。このときの等価温度は11日14日15日でそれぞれ4.7, 5.0, 5.1×10<sup>7</sup>Kと見積られる。

dm波バーストの特徴は偏波率が大きく, 且強度の時間的変動が比較的はげしいことである。

(1960年12月15日)

図 I-1-a

我が国における単一周波の観測をまとめた動スペクトルの図形.

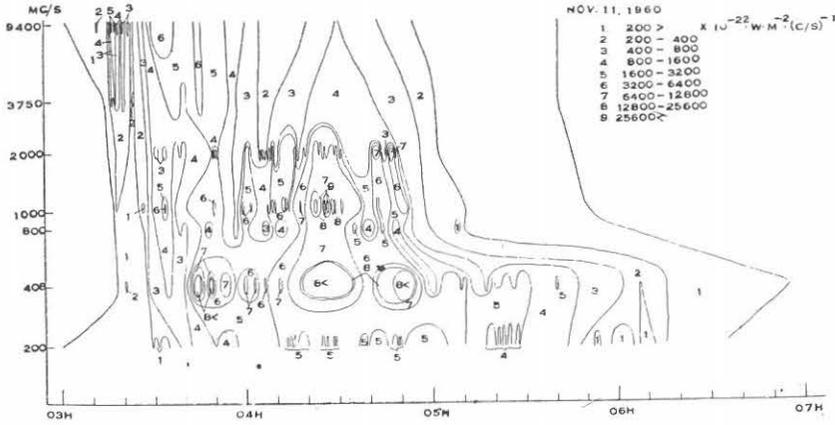


図 I-2-a

%で表わしたバースト中の偏波率の変化.

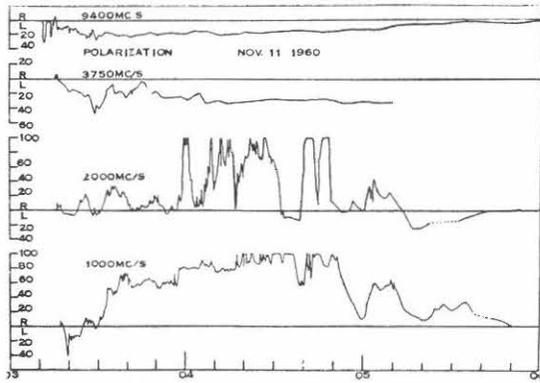


図 I-3-a

バースト源の位置と大きさ (一様な矩形状として) の変化.

9.4 GCの左回り偏波源の位置を含む, 右回り偏波成分は観測されなかった.

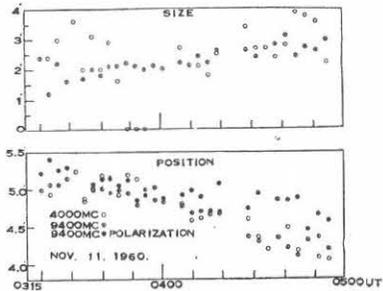


図 I-1-b

我が国における単一周波の観測をまとめた動スペクトルの図形。

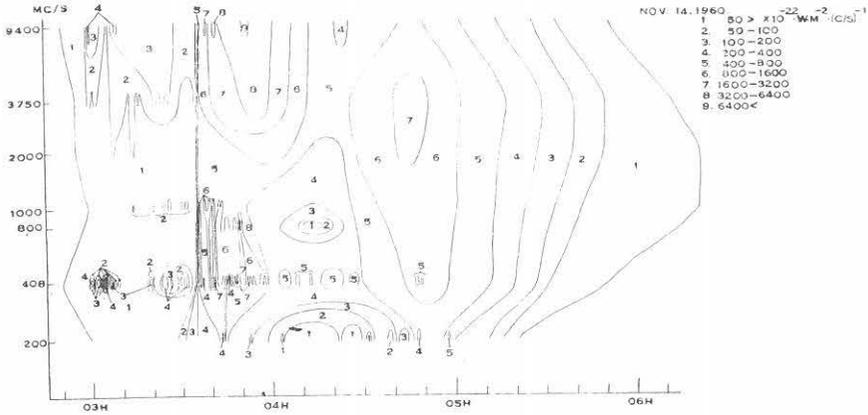


図 I-2-b

%で表わしたバースト中の偏波率の変化。

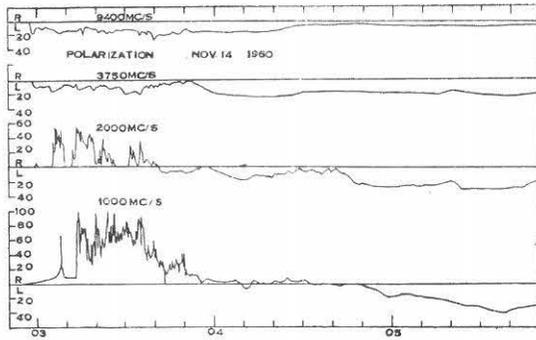


図 I-3-b

バースト源の位置と大きさ（一様な矩形状として）の変化。

9.4GCの左回り偏波源の位置を含む、右回り偏波成分は観測されなかった。

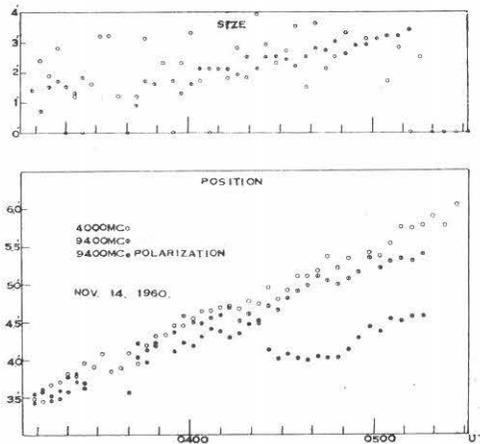


図 I-1-c

我が国における単一周波の観測をまとめた動スペクトルの図形。

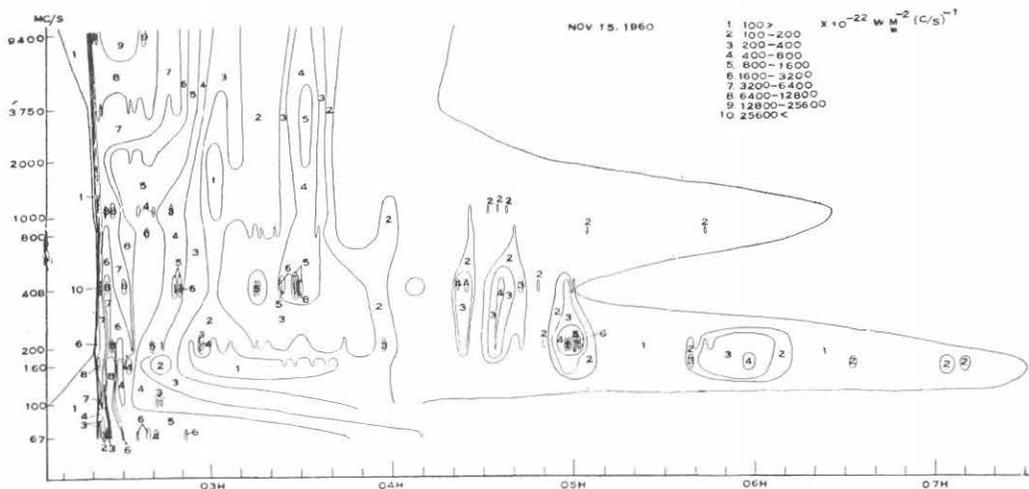


図 I-2-c

%で表わしたバースト中の偏波率の変化。

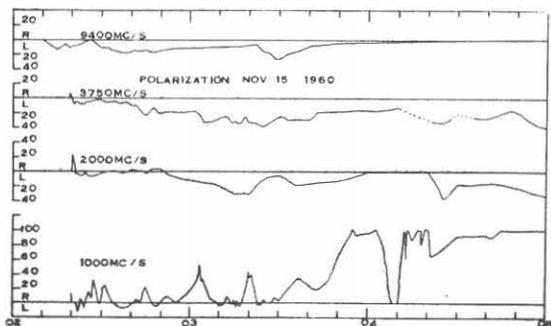


図 I-3-c

バースト源の位置と大きさ（一様な矩形形状として）の変化。

9.4GCの左回り偏波源の位置を含む、右回り偏波成分は観測されなかった。

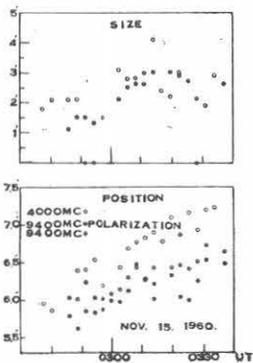
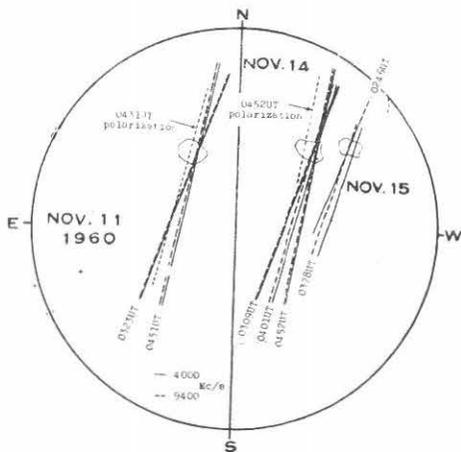


図 I-4

バースト位置を示す直線群。



§ 1. 序

Solar Flare は突発性電離層擾乱として知られている種々の現象を電離層で惹起する。之等の現象には SEA, SPA, SWF 等も含まれる。Friedman 氏と Chubb 氏(1955年)<sup>(1)</sup> や Nicolet 氏と Aikin 氏(1960年)<sup>(2)</sup> 等の多くの科学者達の研究結果によると、flare によって生ずる波長の短い紫外線輻射により D 領域にイオン化の増大現象が生じ、之が SID の原因となることが判っている。特に 1~2Å という波長の X 線輻射は、上層の電離層に影響をあたえることなく D 領域の下部に近い大気を電離する。

このような波長 10Å 以下の X 線輻射が、D 領域の擾乱の原因であると指摘している。しかし之等の諸説も或る仮定の下に成立する理論であり、今後の種々之に関聯のある現象を数多く観測し、理論の裏付けを必要としている。

この報告は、1960年11月11, 14, 15日に起った Mode IV の SEA を詳細に調査し、上記の諸説を裏付けるような観測結果をえたことを述べた。ここに Mode IV SEA というのは、SEA に関する統計結果から、<sup>(4)</sup> flare や SRO に密接に相関を有する SEA に対して筆者の名付けたもので、27, 21KC 成分で positive の SEA を、10KC 成分で Negative の SEA を示すものをいう。

§ 2. 観測結果

§ 2-1, 1960年11月11日の例

この日は、03.00 U.T. 頃、Mode IV の SEA を記録した。その模様を平常レベルからの変化分のみ着目して図示すると第1図の如くなる。この日の太陽電波異常輻射は、cm波バーストと dm波バーストに分けて考えられている。(之に関しては本報告の太陽電波の報告を参照されたい)。

扱 SRO と SEA の二三の対応点に対してその発生時刻を表にしてみたのが第1表である。

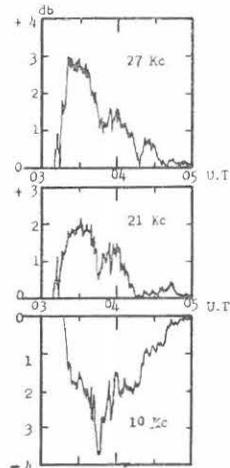
第1表からわかるように、SRO と SEA の上昇開始時間の差は平均0.5~1分である。この値は、SEA の記録の時間測定標識の誤差範囲内のものであることから、殆んど同時

であるとみなせる。次に最初の極大値に達した時間の間には、平均して3~5分程度の差がみられる。この時間差は、ここで観測している空電の三周波数成分(即 27 KC, 21KC, 10KC)が、D 領域内における電子密度の増大とそれに伴う反射層の降下に基づいて生ずるものと想像されるから、擾乱された D 領域の状態を知る有力な手掛りの一つと考えられよう。この点の詳細な討議は後述する。

更に SRO と SEA の記録を詳細にしらべると、正負 SEA は、cm波バースト第1相の初期に起り、しかもその大勢が決ってしまうことがわかる。そして引き続いて強度の強い cm波バーストが起っているにもかかわらず 27KC 並に 21KC 成分は、多少の増加を極く短時間しめすのみで、平常レベルへの復帰がはじまり、10KC では更に下降をつづけているが、或るレベル迄下降すると、やはりバーストには関係なく平常レベルへ復帰の途をたどっている。そして dm 波バースト時には、之に対応した正負の SEA は見出されず、多少のレベル変動はあっても平常レベルへ復帰の一途を辿っている。この事実は、cm波バースト時には、D 領域の電子密度を増大させる輻射があるが、dm波バースト時には、かかる輻射がなく、空電強度レベルは、D 領域の状態変化によって支配されているという考え方が妥当なように思われる。

第1図 1960年11月11日のIV型 SEA の模様

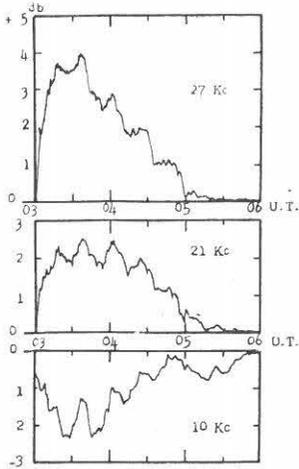
第1表 SRO と SEA の間の 2.3の対応点の出現時刻  
Nov. 11 1960



Freq	A (U.T.)	B (U.T.)	C (U.T.)
MC			
9400	0314	0316	0317.2
3750	0314.5	0316	0317.3
2000	0315	0316	0318
1000	0317	0317	0317.5
(KC)			
27	0315	0317	0320
21	0315	0317	0320
10	—	0318	0322

第2図 1960年11月14日のIV型 SEA の模様

第2表 SRO と SEA の間の 2, 3 の対応点の出現時刻  
Nov. 14 1960



Freq	A (U.T.)	B (U.T.)	C (U.T.)	D (U.T.)
(MC)				
9400	0258	0259.5	0336	0351
3750	0258	0259.4	0335.2	0354.7
2000	0257	0259.4	0336	0358.5
1000	0259	0301.8	0336	—
(KC)				
27	0300	0303	0337	0400
21	0300	0303	0338	0401
10	0300	0303	0337	0402

第2表からわかるように、上昇開始時間に対しては、SROの開始時間を規準として、SEAの開始時間は略同時刻とみなされるが、最初の極大に達した時間に対しては、SEAの方が4~9分の遅れをしめしている。この傾向は11日における例と同様である。

SEAとSROの記録の詳細な対応によると、やはりSEAは、cm波バースト第1相の初期に始って、その大勢が決められている点は11日の例と同様であるが、高いレベルを示している時間が長くなっている点に多少の相違がみられる。dm波バースト時におけるSEAの変化模様は全く11日の場

§ 2-2 1960年11月14日の例

この日も、03.00U.T.頃、Mode IVのSEAが観測された。その模様を11日の場合と同じように図示すると第2図の如くなる。太陽電波異常放射は、やはりcm波バーストとdm波バーストがみられた。11日のバーストと様相を異にする点は、cm波バーストの第1相の時間的变化模様が異なることである。第2表にSROとSEAの二三の対応点に対する発生時刻を示した。

合と同様である。

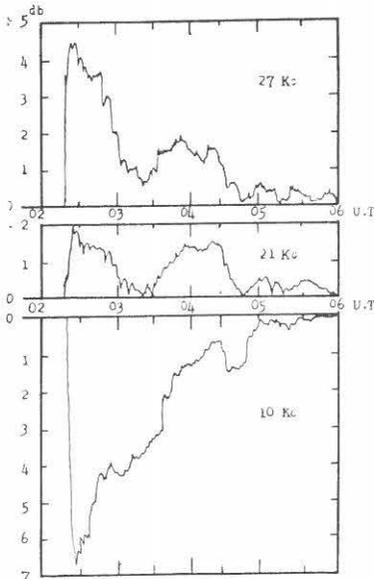
§ 2-3 1960年11月15日の例 この日は、02.00

U.T.頃稀にみる強い強度の太陽電波異常放射が観測され、之と同時に典型的なMode IVのSEAが記録された。その模様を第3図に示した。太陽電波異常放射は、やはりcm波バーストとdm波バーストからなっていた。SROとSEAの二三の対応点に対する発生時刻を

第3図 1960年11月15日のIV型 SEA の模様

第3表 SRO と SEA の間の 2, 3 の対応点の出現時刻

Nov. 15 1960



Freq	A (U.T.)	B (U.T.)	C (U.T.)	D (U.T.)	E (U.T.)
(MC)					
9400	0218	0220	—	0246	0247.6
3750	0219	0222	0225.2	0245.6	0247.5
2000	0220	0222.5	0226.5	0245.7	0248
1000	0220	0224	0231.5	0246	0247.6
(KC)					
27	0218	0224	0232	0249	0254
21	0219	0224	0233	0249	0254
10	0220	0227	0232	0249	0254

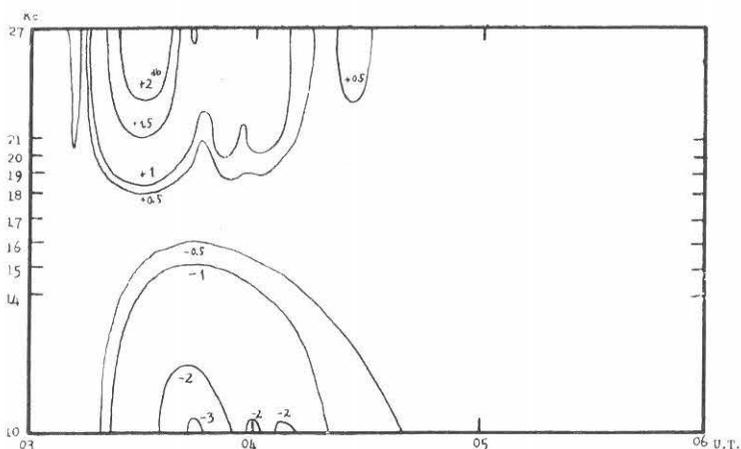
第3表に示した。

この日の場合は、SROとSEA間に、上昇開始時間の差は全くなかったが、極大に達した時間の間には6～8分の差がみられた。SEAとSROの記録の詳細な対応によると、前二例と同様に、SEAは、cm波バースト第1相の初期にその大勢を決している。しかるに空電強度レベルの再上昇が、3周波数成分に対して、dm波バースト時付近で、同時にみとめられる。この再上昇に対しては二つの原因が考えられる。その第1は、dm波バースト時において、flareからのD領域に影響をあたえるような輻射によるというものであり、第2は、速方の活発な空電源が、擾乱をうけて或程度反射率の上昇の影響が残っているD領域のために受信可能となったために生じたものという考え方である。ここに筆者の統計結果によると、(4)強度上昇の様相が、太陽擾乱によるものと異っているということと、空電強度レベルが、観測している3周波数成分(72KC, 21KC, 10KC)において同時に上昇を示すという場合のバーストに対する対応性は、最もSEAとの対応性のよい太陽電波周波数成分のバーストに対しても15%しかないということとの二つの理由から、dm波バースト時にflareからD領域に影響をあたえる輻射が全然ないとはいえないだろうが、ここであらわれた空電強度レベルの再上昇に対しては、統計結果も加味すれば、後者の原因による影響の方が大きくきいていると考えるのが自然だと思われるから、dm波バースト時には、やはり11日、14日の場合と同様に、SEAの様相は、影響をうけていないと考えた方が妥当であろう。

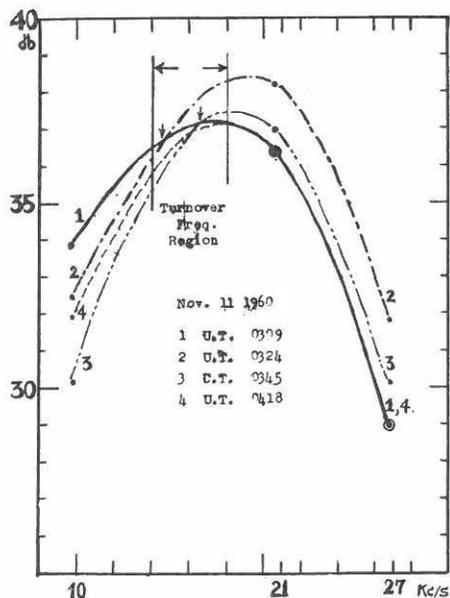
### § 3. 総合結果とその解釈

上記観測結果からえられた共通的な諸事実を総合して検討し、併せてSROのスペクトル図(本報告の太陽雑音輻射項参照)との比較を便にするため、SEAに対するスペクトル図を作成してみると、第4図a, b, cの如くなる。ここにSEAに関しては、観測周波数が3点しかないため、スペクトル図はかなり大胆な挿入法で描いてあり、詳細な点は不明確なことをおことわりしておく。

個々の観測結果から共通的にみられた諸事実を列挙し



第4図 a-1 1960年11月11日のSEAのスペクトル図

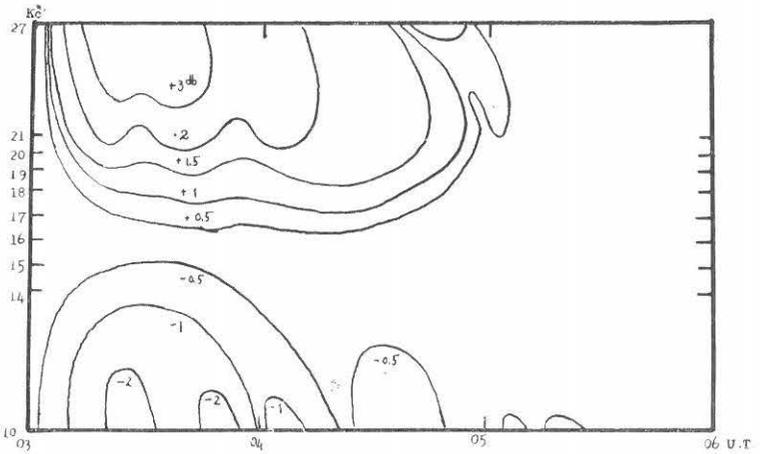


第4図 a-2 Mode IV SEAの各時刻毎の強度対周波数特性

て見ると下記の如くなる。

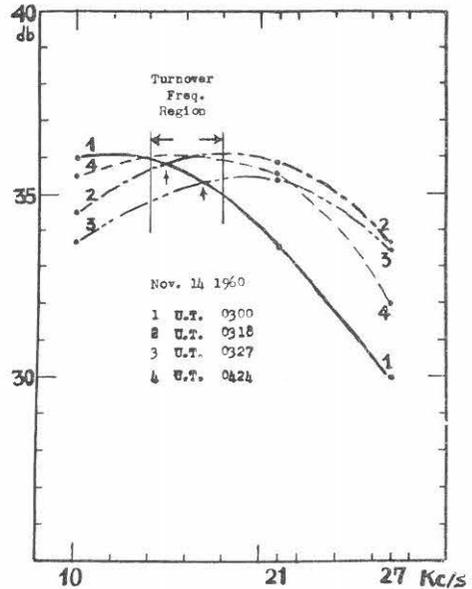
(1) 正負SEAの大勢は、cm波バースト第1相の初期に決ってしまう。この事実は、cm波バースト第1相がflareによるものであると考えられていることから、SEAはflareにより生ずるということを示すものといえよう。若しこの推定が正しいとすれば、dm波バースト時に、SEAがみられないということは、dm波バーストはflareによるものではないと考えられている事実を裏書きすることになる。

(2) SEA の記録様式に対して筆者が分類した型式から見ると、(4) 11日と15日は3周波数成分ともV型として記録されたが、14日は27と21KC成分ではU型、10KC成分ではW型として記録された。SEAの大勢を決められると思われるcm波バースト第1相の強度の時間的分布模様が、11日と15日は同一傾向であるが、14日は前2例とは大分異っている。このSEAとSROとの変化模様の違いに同傾向がみられるという点から考えると、cm波バースト第1相の強度の時間的分布模様が、SEAの型式を生ずる一因であるように思われる。しかしこの点に関しては、更に十分な統計の結果によらねばならない。



第4図b-1 1960年11月14日のSEAのスペクトル図

(3) 第4図の空電のSEA時のスペクトル図からわかることは、SEAの継続時間は、flare初期の強度又は、cm波バースト第1相の強度により支配される傾向が見られる。即ちcm波バースト第1相の強度が強くなっている順序—11日、14日、15日—に比例して、SEAの継続時間も長くなっている。



第4図b-2 Mode IV SEAの各時刻毎の強度対周波数特性

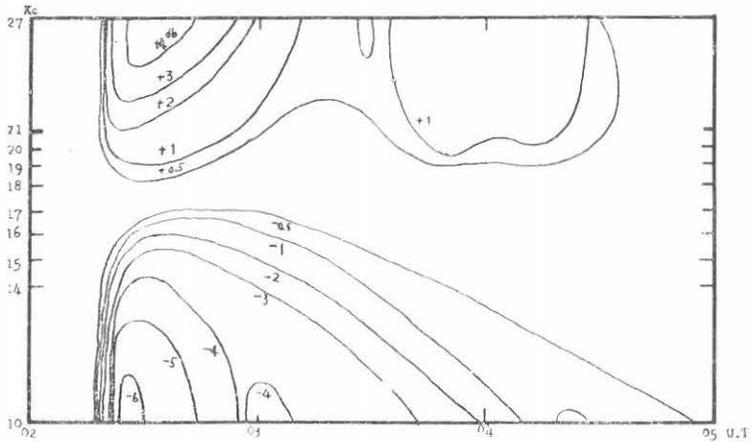
(4) SEAの開始時刻は、27KC、21KC、10KCの順(即周波数成分の高いほど早いという傾向)になっており、この三周波数間の時間差は、cm波バースト第1相の強度の強い日ほど短くなっている傾向が見られる。

(5) 27、21、10KC成分の強度擾乱が最大に達した時間の間には、27KCを基準にして、11日は21KCで10分、10KCで25分、14日には、21KCは同時、10KCで6分、15日は21KCは同時、10KCは3分の遅れをしめしている。この時間差も、cm波バースト第1相の強度の強い日ほど短くなっている。

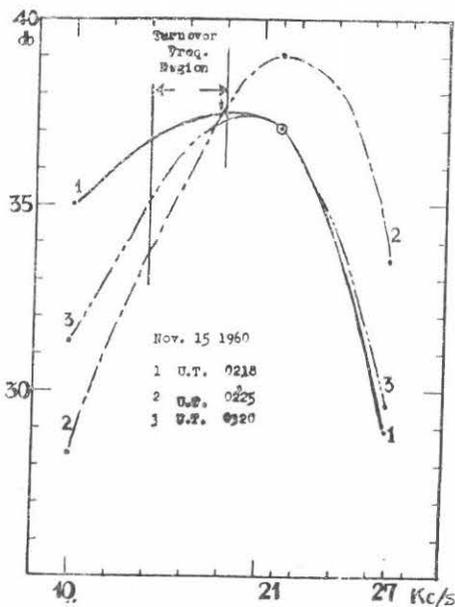
(6) SEAのスペクトル図をみると、SEA時に強度の増減をしめさない周波数、即ちTurnover Frequencyが20KCと10KCの間にあり、しかもその周波数はcm波バースト第1相の強度の違いにより移動し、強度の強いほど高い周波数の方にあるような傾向がうかがわれる。このTurnover周波数の上限は約18KC附近下限は14KC附近と想像される。

さて之等の結果を解釈するためには、flareの間のD領域の電離過程をしらべる必要がある。この問題についてはFriedman, Chubb両氏とNicol, Aikin両氏の最近の理論的研究結果を要約してみよう。flare時にD

領域の電離作用は殆んど波長が $10\text{Å}$ 以下のX線によってのみ行われる。そしてX線のこの活動性は、波長が $2\sim 6\text{Å}$ のものに対してエネルギーが $10^{-6}\sim 10^{-8}\text{ erg cm}^{-2}\text{ sec}^{-1}$ の間にあると極めて容易にあらわれて来る。従って強いflare時には、かかるX線によって電離作用の著るしい増大がおり、D領域の下降が生ずる。電離領域を5kmだけ下降させるようなflareがあれば、静かな太陽時のレベル時よりも10kmも下に同一の電子集中が見出される。又地上65km附近を電離させるためには



第4図c-1 1960年11月15日のSEAのスペクトル図



第4図c-2 Mode IV SEAの各時刻毎の強度対周波数特性

波長  $2\text{\AA}$  の X 線が、 $75\text{km}$  附近の電離には  $4\text{\AA}$  の X 線が、 $85\text{km}$  附近の電離には波長  $6\text{\AA}$  の X 線が必要である。そして最近のロケット観測から flare 時に波長  $10\text{\AA}$  以下の X 線の輻射のあることがわかった。

上述の研究結果から、flare 時には、硬 X 線輻射があり、之によって D 領域の電離作用は著るしく増大し、その結果電子密度が平常時より 1 桁乃至 2 桁も増大し、VLF 電波に対する反射層の下降が考えられる。一般に VLF 電波の伝播は、導波管理論によって説明され、

Wait 氏の理論計算結果<sup>(3)</sup> によると、電子密度の増大と反射層の下降は VLF 電波周波数に対する減衰特性が或周波数成分を境界として増減をしめすことがしめされている。従って SEA に種々の Mode が生ずるのは、Flare 時における硬 X 線の輻射量とその周波数スペクトルにより、D 領域の電子密度上昇率並に反射層の下降率が異なるために生ずると説明される。ここに SEA 観測の意義があると思われる。更に flare に最も対応性のよい Mode IV の SEA 群において、その開始時間や最大強度に

対する時間が、VLF 電波の周波数成分間で差を生じ、しかもその時間差が、cm 波バーストの強度、或いは flare 強度の大小に関係し、強度の大きい程短くなる傾向が観測されたのは、flare 時の硬 X 線輻射の状況或は D 領域の擾乱模様をうかがいしりうる有力な観測事実の一つと思われる重要な結果だといえよう。従ってこの点に関しての統計結果は重要な意義をもちうると思われる。

又上述の理論研究の結果は、強い flare 時には D 領域が下へのびると共に全体の電子密度が急上昇し、order が 1 桁以上も上ることを指摘している。この事実を、Wait 氏の VLF 電離層伝播の理論計算結果にもちいると、<sup>(3)</sup> 平常時の或る高度における周波数に対する減衰特性が変わり、Turnover 周波数が生ずることが示されており、しかも  $15\sim 30\text{KC}$  の間にあることがわかる。ここに flare 強度の大小により波長の短い X 線輻射の状態も異なるであろうと考えられるから、D 領域の電子密度も当然影響をうけることになり、Turnover 周波数も或る範囲を移動すると考えるのが妥当であろう。この範囲については現在準備中の長波スペクトル装置の観測結果によらねばならないと思う。

#### § 4. 結 語

同一季節内の数日間に観測された一聯の Mode IV の SEA を詳細に調査し、SRO との対応性について可成り判然とした事柄をしりえた。

又 SEA の観測結果から、D 領域の擾乱に対する貴重な資料がえられるという目安が、かなりはっきりしてきたように思う。更にこの周波数領域で、連続周波数ス

クトルを観測することの重要性が再認識された。

### § 5. 謝 辞

この報告をつくるにあたり、終始御討議をいただいた当所所長金原博士、田中教授、大津助手に感謝の意を表すると共に、観測に従事した中島技官、資料整理にあたった竹内嬢の労を多とする次第です。

### 参 考 文 献

- (1) H. Friedman & CHuff: The physics of the Ionosphere p. 58 1955
- (2) M. Nicolet & Aikin: J. G. R. vol 65 No. 5 p. 1469 1960
- (3) J. R. Wait: I. R. E. p. 768 1957
- (4) T. Kamada: Proc. Res. Inst. Atmos vol 7 p. 28 1960

### Ⅲ Hiss 及び Whistlers

大津 仁助 岩井 章

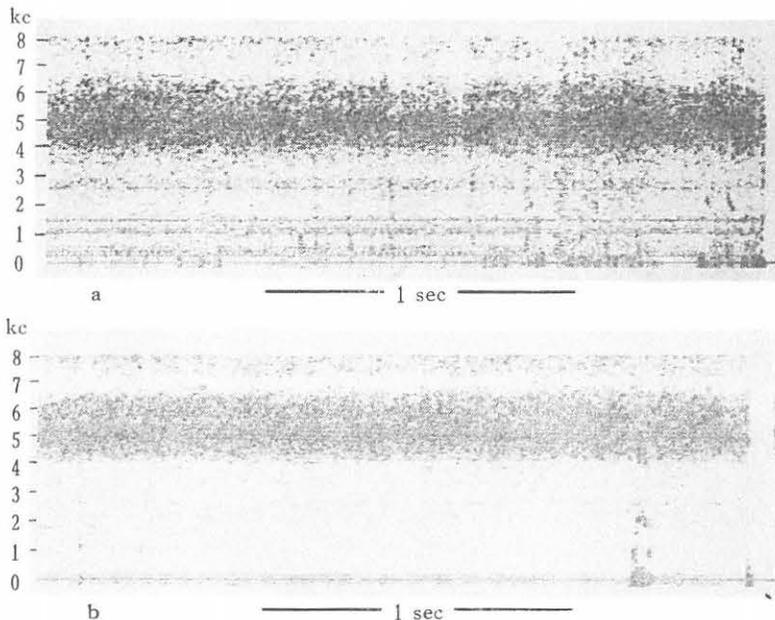
#### 1. Hiss

Hiss<sup>(1)(2)</sup> は正規電離層や超高層電離大気中で発生すると考えられている、比較的一定な雑音電波で、高緯度地方でよく発生する。然し磁気擾乱時には低い緯度でも観測される様になるが、未だ磁気緯度  $40^\circ$  以下では観測された事がない。通常可聴周波数帯に成分があるので、whistler の観測装置によって whistler と共に観測出来る。

当研究所は IGY 開始と共に、本邦最北端の稚内（磁気緯度  $34.3^\circ$ ）に於いて、30分毎に2分間のホイッスラーの観測を行って来たが、今回の太陽爆発に伴って、初めて hiss の発生を確認する事が出来た。之は恐らく今迄に最も低い磁気緯度で観測された hiss と思われるので、ここに報告を行う事にする。

2回の hiss 発生が観測されたが、第1回は13日11時20分から同日23時50分迄、毎観測時に観測された。16時20分に最大強度に達し、この時は殆んど妨害電波より強い位であった。第Ⅲ-1図aは此の時の hiss のソーナ

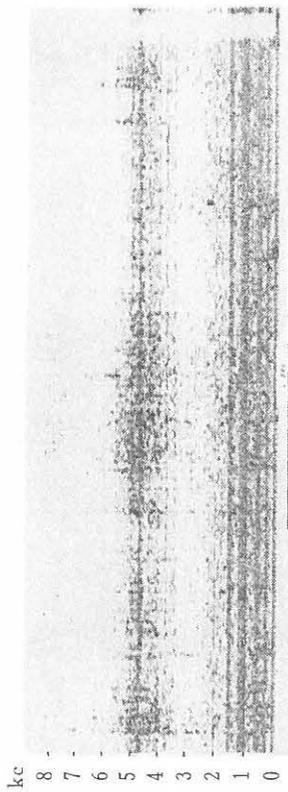
ーグラフによる周波数解析の結果を示すものである。約  $3.5\text{kc}$ より $6.5\text{kc}$ の間に見られる連続的に黒い部分がhissのエネルギーに対応するものである。図の濃淡は強度の強弱を示すので、強度の山は大体  $4-6\text{kc}$ の間に存在する事が判る。又同図bに示されている1957年11月12日2時35分UT ボルダール（磁気緯度 $49^\circ$ ）で観測された hiss と比較すれば、中心周波数、帯域巾及び時間的に一定な状態が両者でよく類似している事が知られるので、稚内で観測されたものが真に hiss である事は疑いないであろう。又全体の継続時間は約12時間半であったが、之は hiss の継続時間としては長い方に属するものである。次に時間的変化の様を第Ⅲ-2図に示すが、強度が弱い時には  $4-5\text{kc}$  附近だけが残っている。又同図の a, b, c, d, e 及び f の強度を夫々 1, 3, 5, 5, 4, 3, 2 及び 0 とすれば、全体の強度変化は第Ⅲ-1表の如くなる。之等の図中には人工雑音に基く数本の狭い横線が見られるが、之等は聴覚による hiss の判定には工合が悪く、殊に hiss と同じ周波帯にあるものは弱い hiss に対しては著しく妨害となった。



第Ⅲ-1図 稚内及びボルダールに於ける hiss の周波数スペクトルの比較。

a. 1960年11月13日16時20分 U. T. 稚内

b. 1957年11月12日2時35分 U. T. ボルダール



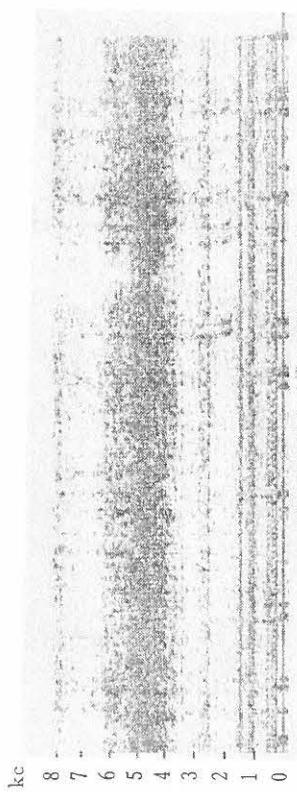
a. 13日11時20分

相対強度 1



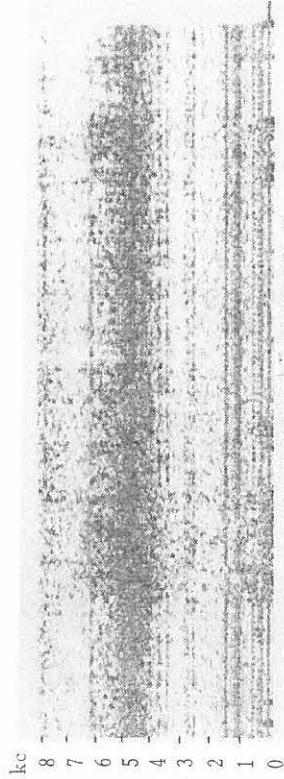
b. 13日15時50分

相対強度 3



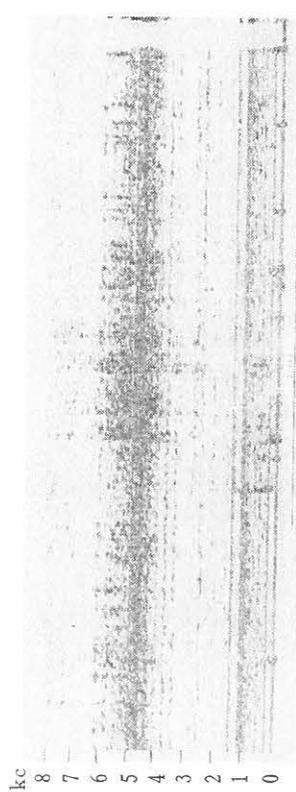
c. 13日16時50分

相対強度 5



d. 13日17時20分

相対強度 4



e. 13日23時20分

相対強度 2



f. 14日零時20分

相対強度 0

第Ⅲ-2 図 1960年11月13日11時20分より14日0時20分までに雑内で観測された hiss の周波数及び強度の変化例 時間は U. T.

第2回の hiss は15日12時20分から23時50分の間で、間歇的に観測された。然しこの時の強度は上の強度指数で云って最高2であったに過ぎず、hiss の発生の確認は困難であり且つ疑しい場合があった。

之等2回共、発生は夜間から夜明け後約2時間の間であったので、ホイッスラーの場合と同じ様に昼間は減衰のため観測され難くなる事が考えられる。

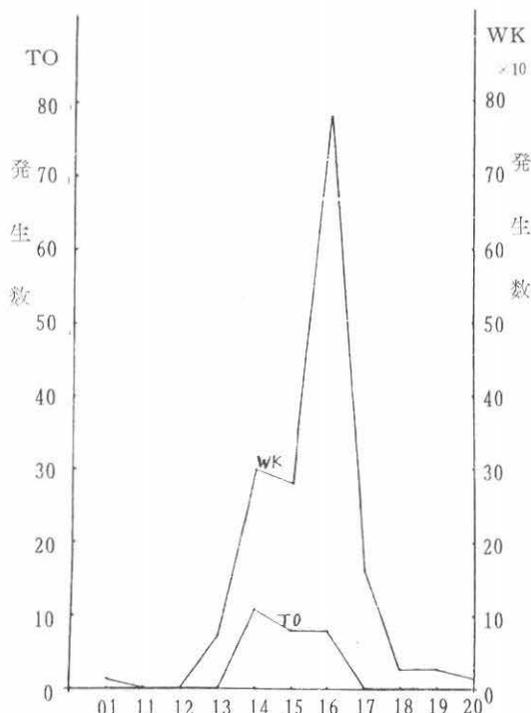
次に之等の hiss の発生の原因となった太陽爆発との時間差 (3,750MC に基いて) を調べると、13日11時20分に始まった hiss に対して、11日3時15分の burst (第1回 burst と呼ぶ) をとれば、之は約56時間後となる。又豊川では夜間のため観測出来なかったが、オランダで観測された12日13時22分の burst (第2回 burst) をとれば、約22時間後となる。之迄に知られている所では、hiss は磁気嵐の回復期に多く発生するので、どちらかと言えば第1回の burst に対応せしめる方がよいであろう。又第2回目の hiss を15日2時19分の burst (第4回 burst) に対応させると、時間差は10時間となり、之は極めて対応させ難い。従って第2回 burst をとれば約71時間後となり、14日2時58分の burst (第3回 burst) をとれば約33時間後となる。この両者のいずれによるかは決定し難い。第4回目の burst は強度最大であって、hiss の発生が最も期待されたが、之は遂に見出されなかった。4回起った burst に対して、2回の hiss しか観測されなかったが、この理由として考えられる事は、a. 対応する hiss の発生が丁度稚内の昼間になるので、減衰により観測され難くなる。b. 単に burst の強度によらずその type にもよる。c. burst の発生源となる太陽黒点の位置による。等の事が考えられるが、結論は更に観測資料の集積をまって、統計的調査により得られるであろう。

今回の稚内に於ける hiss の観測の結論としては、

- a. 磁気緯度約34.5°でも観測される事、(但し、緯度24.5°の豊川では観測されていない)。
- b. 観測された hiss は中緯度帯の hiss に似類する。
- c. 太陽爆発後約30時間から70時間の間で発生する。但し、burst と1対1に対応はしない。
- d. 日中はホイッスラー同様減衰のため受信され難く

第Ⅲ-1表 1960年11月13日11時20分より14日0時20分までに稚内で観測された hiss の相対的強度変化

U. T.																
Time		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0
min																
20		0	1	1	3	3	3	5	4	4	3	3	3	3	2	0
50		0	1	2	3	3	3	5	4	3	3	3	3	2	2	0



第Ⅲ-3図 10日より20日までの whistler の日別発生数 1960年11月豊川及び稚内

なる。

- e. 観測された hiss の強度は予想外に強く、聴覚により充分認められる。

以上であるが、此の様に強い強度から判断すると、過去に於いても太陽大爆発に伴って hiss が発生した事があったかも知れないと考えられるが、データ整理者が聴覚による hiss 音に不馴れであったために気付かなかったのであろう。今度始めて確認された hiss の音を聞く事が出来たので、今後は hiss の発生を見出す回数が増す事が期待出来る。然し、弱い hiss に対しては人工雑音が重大な妨害となるため、妨害雑音の少くない観測場所の選定と、受信アンテナを現用の垂直線型からループ型に変える事が必要である。

## 2. Whistlers

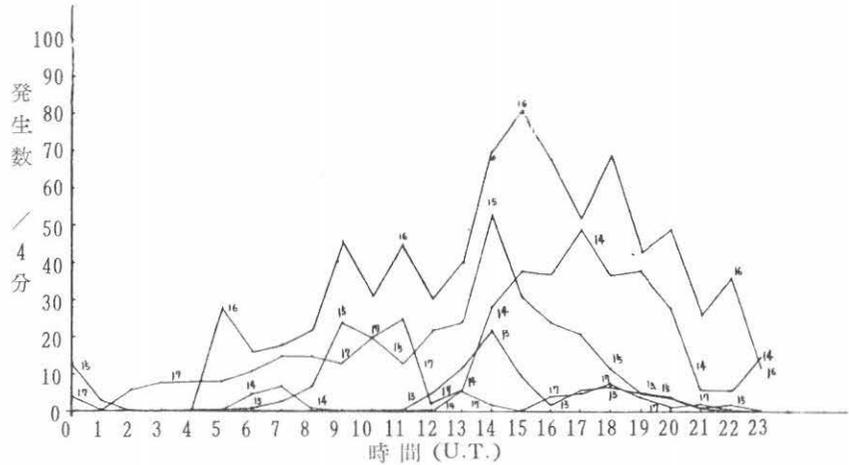
### i. 発生数

豊川及び稚内に於いて、11月10日より20日迄に観測された whistler の日別の発生数を第Ⅲ-3図に示す。(図中、豊川と稚内とで発生数の目盛が1対10になっ

ている事に注意されたい). 稚内では13日より発生の増加が始まり, 17日迄その状態が続いている. 16日に最大増加が認められるが, 此の時の発生数は1日782個であった. この値は稚内でwhistlerの観測を始めてから稀に見る大きいものであった. 此の様に著しく急峻な発生の増加は, 明かに太陽爆発の影響に帰する事が出来る. 然し, 豊川では13日から16日にかけて僅かな発生数の上昇を示したのみ

で, その影響は殆んど認められないと云ってもよい程であった.

次に太陽爆発と発生数増加の時間的關係を調べるために, 13日から17日までの発生数の時間的変化の様子を第三一四図に示す. 先ず発生数の最初の増加が認められるのは13日13時である. 之を第1回目の太陽爆発による影響と考えると, 爆発後約58時間目にその影響が現われた事になる. 又17日11時以後では発生数は略々平常時のレベルに戻っている. 最後の太陽爆発による影響は大體この時終了したものと考えられるので, 爆発後影響が終了する迄の時間は約57時間となる. 之等の結果は最初の爆発の影響が現われる迄の時間と, 最後の爆発の影響が終了する迄の時間が同程度である事を示している. 従って爆発の影響は第1回目のものに比し, 後のものは早く現われると考える事が出来る. 今, 第2, 3及び4回目の爆発を, 夫々14日14時から始まる第2回目の発生の増加, 15日9時から始まる第3回目の増加及び16日5時から始まる第4回目の増加に対応せしめると, 両者間の時間差は夫々, 約50, 29及び26時間となる. 之等はいずれも第1回目のものに比し小さくなっている. 上述の事と矛盾しない. ただ第2回目のものが, 後の2回に比し大きくなっているが, 之は爆発が

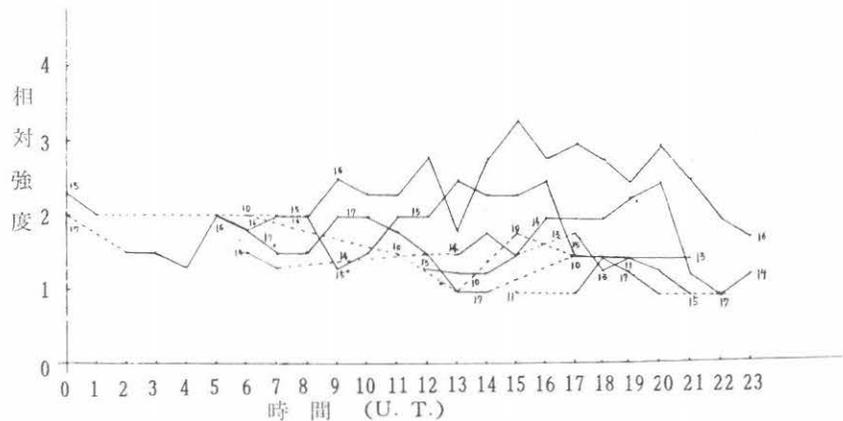


第三一四図 13日より17日までの whistler の時間毎の発生頻度  
曲線上の数字は日を示す 1960年11月 稚内

こちらの夜間に起っている事と関係しているのかも知れない.

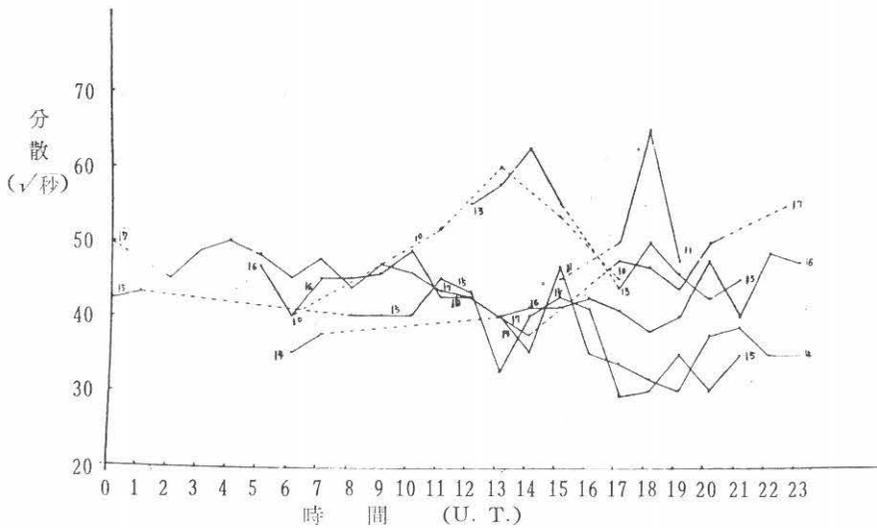
爆発の影響の持続性と, whistler 発生の日変化の組合せによっても, 1日中に或る程度の発生頻度の変化を生じ得るので, 爆発と増加とを1対1に対応せしめる事が許されるか否かについては問題があるが, 増加時に於ける発生数とその継続時間とが, 爆発回数が増すに従って増している. 上に得た時間遅れの結果と共に, 爆発と増加とを1対1に対応せしめても不自然でないと考えられる. 第4回目の発生数の増加と持続時間の長い事は極めて著しいが, 之はそれ迄の爆発の影響が重畳している他に, 此の爆発のピークエネルギーが第1, 3回目に比し約5倍も大きかった事にもよるのであろう.

ii. 相 対 強 度



第三一五図 10日より17日までの whistler の時間毎の相対強度  
1960年11月 稚内





第Ⅲ—7 図 10日より17日までの whistler の時間毎の分散値  
曲線上の数字は日を示す 1960年11月 稚内

此の様に明瞭で且つ spread した multi-path whistler と echo-train whistler の発生とそのecho数が多かった事は明かに太陽爆発の影響に帰する事が出来る。

#### iv. 分 散

whistler が受信された観測回は、各 type 毎に1個の whistler がソーナグラフによって解析され、分散が測定された。10日から17日迄の分散の時間による変化を第Ⅲ—7 図に示す。multi-path whistlerはその中の明瞭な成分について測定したものの平均値を用いてある。分散の変化曲線から、爆発前及び第1回目の爆発の影響が発生頻度に対して現われている13日15時までは夜間の分散が著しく大きい、その後分散は急に減少し、14、15日に分散の最少値に達し、次いで16、17日となるに従い次第に回復しているが、夜間の分散は猶、相当減少している事が認められる。

此の様に爆発は夜間、分散を著しく減少せしめる事が知られる。

#### v. 結論及び議論

以上の事をまとめると、whistler に対する今度の太陽爆発の影響は、a. 最初の爆発の約58時間後に発生数の増大が始まり、最後の爆発の約57時間後まで、その影響が認められ、b. その間強度も増大し、c. spread した成分を持つ multi-path whistler が発生する、但し昼間には pure なものとなる傾向を示す、d. echo-train whistler の発生及び echo 数の増加が起り、e. 分散

が減少する、又豊川では静穏時に比し著しく spread した multi-path whistler が発生する、と云う諸点に現われた。

以上の事実は、太陽爆発が超高層大気中の電子密度分布に擾乱を起し、その結果 whistler の伝播に都合のよい状態が発生した事を示すと考えてよい。最近の R. L. Smith 等<sup>(2)</sup> の説に従うと、磁力線に沿って周囲より何割か高い電子密度の分布が生ずると、之は whistler に対して良好な wave guide 的作用を行う事が出来る。従って、超高層大気中にこの様な伝播路がいくつか出来ていて、若しその中の二、三個が地上の一定の観測点へ whistler を導くとすれば、観測される whistler は multi-path 型となるわけである。又此の場合、磁力線に沿って高くなった電子密度分布の磁力線に垂直な方向の拡がり、電波の波長に比し大きければ spread した whistler となり、余り大きくなければ spread の程度が小さくなるであろうと考えられている。又良好な wave guide の作用が起るために必要な電子密度の上昇の割合は、緯度が低い程高くならねばならない。Smithの計算によれば、磁気緯度  $35^{\circ}$  では約 0.25 であるのに対し、磁気緯度  $25^{\circ}$  では約 0.48 とならねばならない。従って Smith 等が示した以上の結果から、今度我々が観測した whistler の諸性質を眺める時、恐らく太陽爆発によって、実際超高層大気中に磁力線に沿って電子密度の上昇が生じたのではないかと云う見解を強められる。稚内で極めて多くの whistler が観測されたのにも拘らず、豊川では余り観測されなかったのは、電子密度上昇の割合が不十分で

あったと考える事により説明出来る。然しここで問題となるのは、爆発前に比し分散が低下している事である。若し、爆発により単に磁力線に沿う方向の電子密度が上昇せしめられるだけであれば、分散は電子密度の平方根に比例するのであるから、増大する筈である。然るに実際には減少を来しているのであるから、之を説明するために、a. 爆発後伝播路が低緯度側へ移ったために、伝播路の全長が短くなって分散が低下したとするか、b. 地球の中心からの距離の函数と考えられる、主たる滑かな分布をなす電子密度が、爆発により低下し、之と相対的に磁力線に沿う電子密度の上昇が起ったが、之れも爆発前に比較すれば猶、密度は低いために分散の減少が起ったとするかの二つの見方が可能である。然しこのいずれをとるかに就いては、多くの検討を必要とするので、今直ちに決定出来ない。爆発によって起る磁力線沿いの電子密度の上昇が如何なる機構によって生ずるか説明される様になる時、この問題も明かにされると考えられる。更に説明を要する他の一つの問題は、夜間spreadしているものが昼間 pure なものに変る現象である。之は太陽の通常の輻射が関連している事は明瞭である。且つ磁力線に沿って高められた電子密度の磁力線に垂直な方向の拡がり狭ばめられる事、然もそれは、伝播路中の一部に起ればよいので、 $F_2$  層の直上領域で起っている可能性が大きい事が考えられる。然しその正しい機構の説明は多くの検討を要する問題である。

猶、最後に附言しなければならない事は、過去の総ての太陽爆発に対して、今度の様に明瞭な発生数の増加は現れていない事であって、之は季節的影響が加え合されるためである様に思われる。

此の研究に対して御指導を賜った当研究所長、金原教授に厚く感謝すると共に、励ましと御援助を頂いた田中教授に謝意を表する。又観測と整理に於て負う所の大きい、当研究室の全員に対し心から感謝する次第である。

## 文 献

- (1) Gallet, R. M., The very low-frequency emissions generated in the earth's exosphere, Proc. IRE, Vol. 47, No. 2, 1959
- (2) Report of U. S. Commission 4, URSI, 1960  
Radio Noise of Terrestrial Origin  
3. Summary of research on whistlers and related phenomena  
3.1 Stanford University R. A. Helliwell  
3.2 Dartmouth College M. G. Morgan
- (3) Smith, R. L., R. A. Helliwell, and I. W. Yarbrough, A theory of trapping whistlers in field-aligned columns of enhanced ionization, JGR Vol. 64, No. 3, 1960

