

長波帯における空電強度測定(第2報)

鎌田 哲夫 中島 淳

I. ま え が き

報告(I)(空研報, 第3巻1~2号)において, 主として空電強度測定を意図した理由や測定装置の概要を報告してからすでに1年を経過した. この間試験観測を終り, 充分満足すべきものではないが一応連続観測が可能な状態になし得たので, ひきつづき連続観測を実施してきた.

本文では1953年10月迄の記録結果を整理して長波帯の空電強度に関して現在迄に報告されている諸事実について再検討を行った結果を述べ併せて2,3気の付いた点を報告する.

使用した空中線の実効高としては, 依佐美の17 kc/sの電波を使用して置換法により測定した4.5 mという値を採用して記録された積分レベルを電界強度に換算した.

本邦中部(北緯35度附近)における空電強度は10

~30 kc/sの周波数帯では1年を通じて, 昼間は大概50~30 db, 夜間は大概65~55 db, 昼夜のレベル差は約5~15 dbの範囲内におさまる. 観測周波数帯の上限と下限におけるレベル差は, 夜間高々5 dbであるに対して昼間は10~12 dbと大きくひらいている.

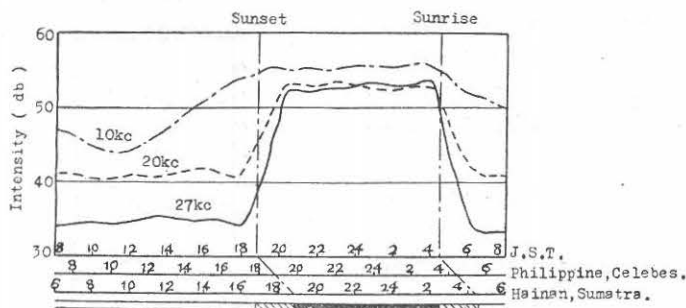
日没時現象の一つの境界点が20 kc/s附近にあることが認められた. 又, 日出時における二次的反射の影響は30 kc/s帯で一番多く20 kc/s帯がこれに次ぎ10 kc/s帯では認められなかった.

II. 観測結果並びに解釈

1. 空電強度の日変化

空電強度レベルの日変化の模様を知るために, 受信点を中心として, 1000 軒以内には全然空電源になりうるような大気の擾乱層も, 発雷地もなく且電波伝播上も異常現象が認められなかった日を選んで第1図に例示した. この図から直ちに判ることは,

第1図 空電強度日変化図



(a) 空電電波の10 kc/sの成分の強度は正午附近を極小値として, 徐々に増加を始め, 受信点の日没附近でも殆ど減衰することなく夜のレベルへと上昇する. 夜間は高いレベルを維持し, 受信点の夜明附近から徐々に減少を始め, 日出時現象による減衰も殆どなく, 正午附近の極小値へと下降する.

20 kc/s及び30 kc/sの成分の強度は, 昼間は変動の割合少ない略, 一定のレベルを示し, 日没附近から上昇を始め, 夜間は高いレベルを維持し日出附近でやや急激に下降して昼間のレベルに復帰する. ここに注目すべきことは, 20 kc/sの成分の強度の日変化は静

穏日であるのに, 10 kc/sの強度の日変化と等しい様相を夫々指示する場合が屢, 観測されることである. このことは所謂, 日没時現象による影響の認めにくくなる下限が10~20 kc/sの間にあるらしいことを暗示しているものと推察される.

(b) 強度レベルは一般に周波数が低い程高い, 特に昼間のレベルに対してこの傾向がはっきりと覗われる. この事実は電離層のD領域における吸収に大いに関係することのようである.

(c) 20 kc/s及び30 kc/sではっきり認められる昼間レベルから夜間レベルへの上昇及び夜間レベルから

昼間レベルへの下降は共に exponential な様相を呈している。しかしてその傾度は前者において緩かで、後者においては急である。このことは1年を通じて近距離に雷活動の旺盛なものが存しない限り、殆ど例外なく観測された。

ここで考えられることは、若し空電の源における強度スペクトルが長波帯において一様であるとする、受信強度レベルが観測した範囲では周波数が低い程高いことは、10 kc/s 付近では D 領域による吸収が少ないことを示す。従って 10 kc/s の成分は D 領域の電離密度の最大となる正午において最も吸収をうけることになりここに第1図に見られるようなただ1回の最小レベルの出現となるのだらうということである。又(c)で述べたことも D 領域の出現が太陽の紫外線輻射によることを考えると、日没時の D 領域の出現及び消滅の様相に或る程度比例したものをあらわすと考えることも可能のようである。従ってレベルの日変化図は近くに空電源がない限り D 領域の電離状態曲線を或る程度迄暗示していると見做し得よう。

2. 季節変化

季節変化を調べるために、前記の3つの周波数に対する日変化の月平均をとって図示したのが第2図、第3図及び第4図である。これ等の図から次のことがわかる。

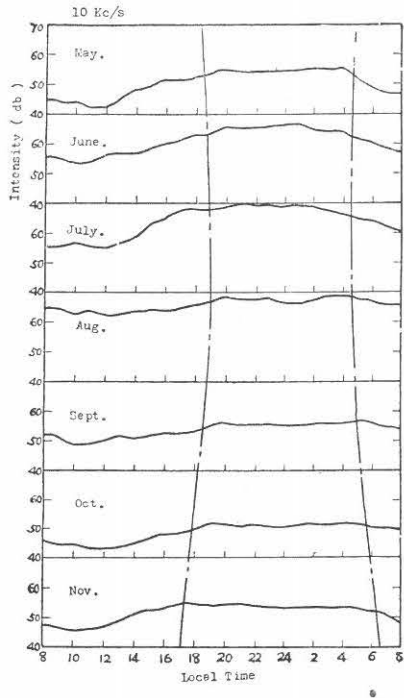
(a) 夜間のレベルの値は、各周波数とも四季を通じて大体同じであり豊川においては、 60 ± 5 db の範囲に大体おさまるようである。これに対して昼間のレベルは、一般に低く、1年を通じて平均 40 db 位で ± 15 db 位の変動が認められる。

(b) 夜間のレベルへの上昇は、夏季は豊川の日没頃にはじまり約2時間後に夜間のレベルに達する。冬季は豊川の日没より、約1時間程早くはじまり、約2時間後に夜間のレベルに達するという偏差が認められる。同じような偏差は日出時にも認められるが、夏季と冬季の関係は反対になる。このことは 10 kc/s の記録に対しては明瞭さが少ない。

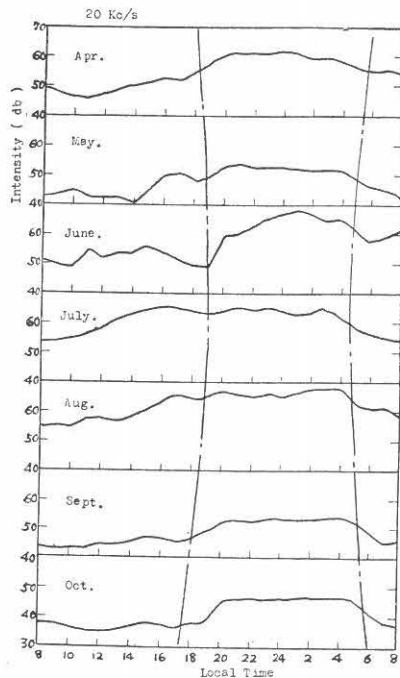
第2図～第4図に明示されているように受信地の日没は高い夜間のレベルへの昇降を支配しないことが判る。

この事実は、すでに多くの人々によって述べられている如く⁽¹⁾、本邦で受信される定期的空電源の季節的分布模様とその間の伝播路に対する日没線並びに太陽高度等を考えれば説明される。即ち、夏季に受信される定期的空電源は主としてフィリピン、ボルネオ、ジャワを結ぶ線より西側にあり、しかも日没

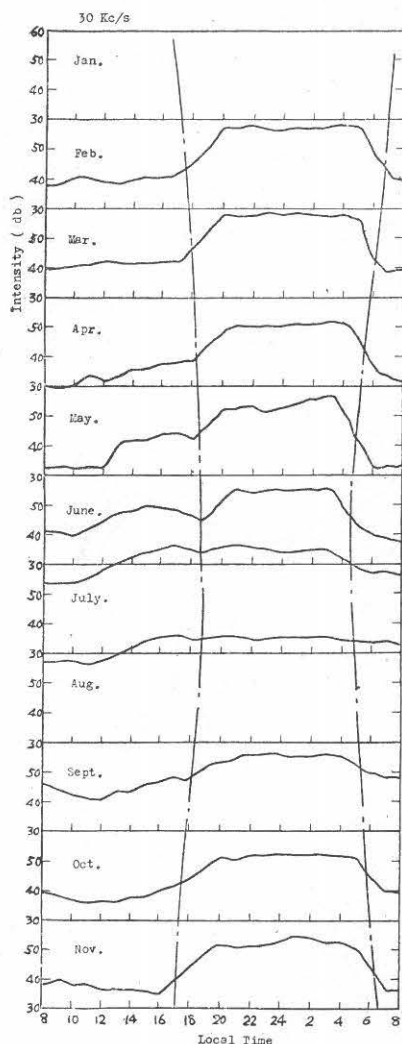
第2図 空電強度日変化の月平均



第3図 空電強度日変化の月平均



第4図 空電強度日変化の月平均



線は略豊川とフィリピン、ボルネオ、ジャワを結ぶ線と一致する。しかし2時間後には、その西側の雷雨最頻地区は大体夜に入る。又冬季の周期性空電源は上記の線の東側にその主力が移動し、南洋諸島での雷活動が盛んになって来る。しかし日没線がジャワをすぎるのは豊川の日没後約2時間半近くかかる。日出線の影響の関係は丁度反対である。ここで問題になるのは、日没時と日出時において夫々豊川における日出没時より前に上昇や下降が始まるという点である。今この点について考えて見よう。

先ず日出時について考えよう。今第5図-3に示した模型図においてRを受信点、Aを主要空電源群の位置とする。又簡単のためB地区からの電波の内図の如

く1回反射波のみと考えることとする。

扱多くの研究結果により10~30 kc/sの周波数帯における夜間の見掛けの反射高として90~95 kmなる値が報告されている。この見掛けの反射高の値とD領域は夜間は存在しないということから、10~30 kc/sの周波数帯の電波はE層の下端部で反射が行われていると考えられる。R点の地上の日出1時間前の太陽光線はCC'にて示される。この光線によりR点の上空約100 km附近は、すでに夜明けの状態になっており、従って厚い空気層の通過により吸収をうけない低い紫外域の周波数を有する光子はE層下端部において負イオンの電離をおこさしめ、所謂D領域を急激に形成せしめる。このイオンの生成により、ここを通過する電磁エネルギーの一部はイオンの運動エネルギーに変換され、イオンは空気分子との衝突を起し、ここにおいてE層下部での反射は大いなる吸収を蒙り、紫外線の量が増加し、イオンの生成が盛んになるにつれて殆ど完全吸収をうけるに至ると考えることは可能のようである。かかる過程は一年を通じて考えられることであり、第3図、第4図に明らかにあらわれている。ここに見られるいくらかの偏差は季節による太陽高度の差にもとづく電離度の差に基付くものらしいことは暗示される。次に日没時においては、夜の領域が近付いてくるのであるが、第5図-1に示したように、地上の日没線RR₁より以前の時刻においては日没線はCC₂にあり従って受信点の上空は昼の状態にあり、D領域は存在しているわけである。しかし今考えるべき空電源がCC₂及びRR₁ではさまれる地域内にも存在していると考え、BからAへの電波の反射は地表に対して略、平行に近いような斜の光線にさらされたD領域によることとなる。従ってD領域の単位体積あたりへの紫外線の量は、太陽の南中時に比べると大いに減少して来ており、この領域の電子密度は減少の状態にあることは、とりもなおさず電磁エネルギーの損失即ち吸収の低下を意味するからD領域で吸収を受けていた周波数の電波は徐々に強度の増加を開始するのであると考えられるようである。このことは勿論、周期性空電源の位置及びその季節的な変化による影響も考えるべきである。この点については受信方位の変遷について述べたように(空研報、第3号及びこの号の受信方位についての報告参照)周期性空電源の季節的な変化と日出没線の傾きの季節的な変化との関係は相対的に一年を通じて同一の状況の下におかれており、従って上記の如き考え方の一般性は或る程度成立する。又第3,4図に見られるように、豊川の

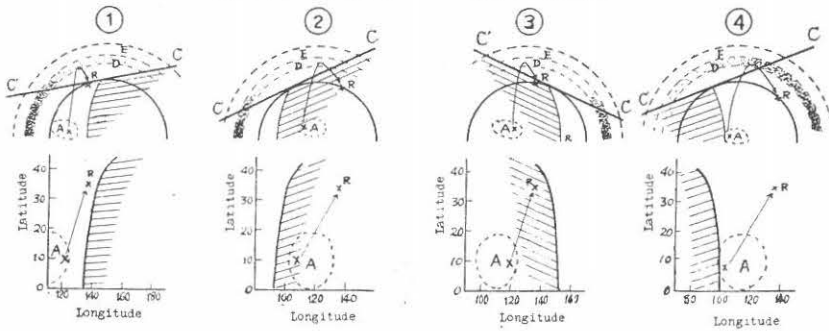
日没後夜のレベルに上昇しきる迄の時間差及び豊川の日出とレベルが下降をはじめる時との時間差が一年を通じて略、一定で、前者で約2時間、後で約1時間であることも上記の源と日出没線の傾きとの相対的關係が略、一定であることを示すものと考えうる。しかして日没時のレベル上昇開始時刻は夏至のある6月に又日出時のレベルが下降しきる時刻は冬至のある12月に夫々豊川の日出没時と一致する傾向は実に前記の事実を明らかにする(第10図参照)。

(c) 特に長波帯においては、日出没線を考えることは定期性空電源の熱帯地方における大略の範囲を決定

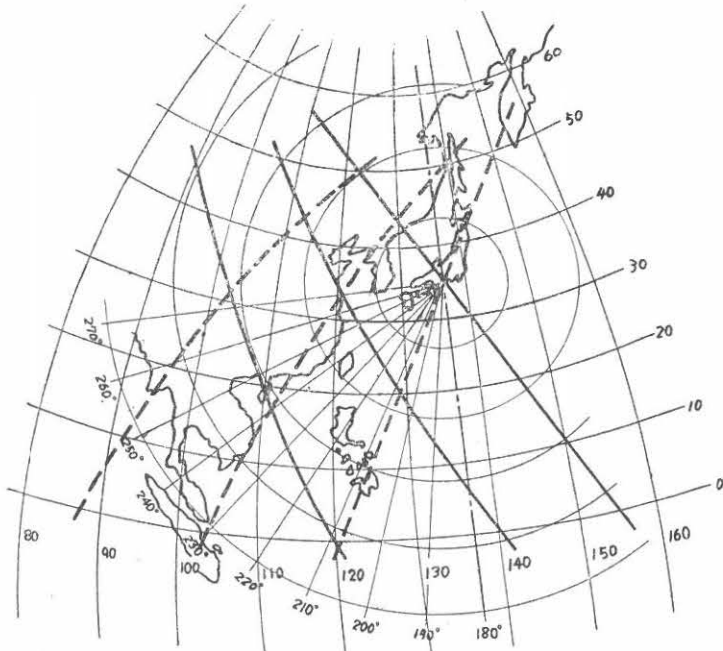
するに大切であるということ⁽¹⁾を再確認すると共に、単方向性空電方位測定機の結果を併用することにより、一段と明確な限界をあたえうることがわかった。1例として、夏季における日出没線ではさまれた夜間における定期性空電源の分布範囲を豊川における日出没線と2時間後の日出没線及び単向性方位受信記録とより推定したものを第6図に示した。この図を見ると多くの研究報告⁽²⁾で指摘された雷帯地区と一致した結果をあらわすことがわかる。

次に夜間レベルと昼間レベルの月変化の様相を第7図に示した。これによると、3月と8月に極大、5月

第5図 日出没時のレベル昇降の説明図

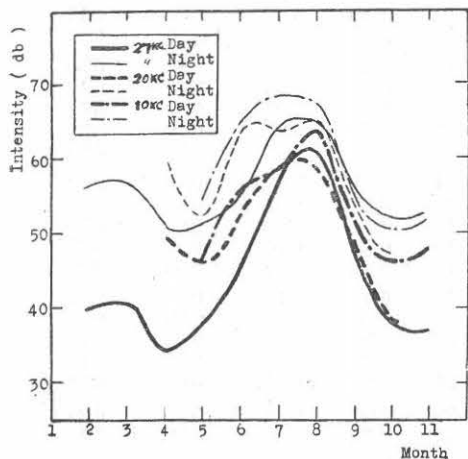


第6図 夏季受信している定期性空電源

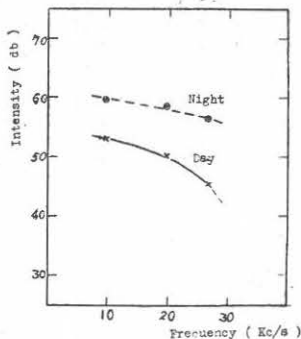


に極小を示している。本邦における朝倉氏の7月極大にて2月極小という研究報告⁽⁴⁾と異った結果を示したが、低緯度地方の雷活動が例年と異ったのかどうか今の処不明である。7,8,9月は昼間レベルが各周波数に対して大体同じで差が認められないのは、本邦内の雷活動が昼間レベルを決定する主要なものであったためと考えている。

第7図 空電強度月変化



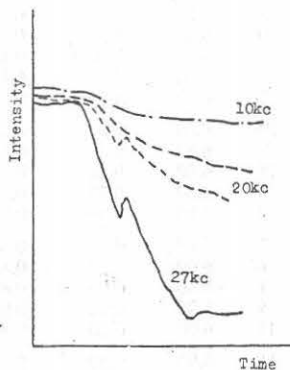
第8図 空電強度の周波数分布



第8図には昼夜レベルの周波数特性を示した。この結果は、Espenschied 氏⁽¹⁾により報告された結果と同じ傾向を示した。又測定法が異なるため厳密な比較は不可能であるが、強度は大略 order が一桁上である。このことは Noise level が緯度と逆数的関係になっている⁽¹⁾という事実を示すものといえよう。上のよう考えることの妥当性は空電レベルを決定する源が赤道附近の低緯度地方に集中していることからいえるように思う。

3. 日出時における現象

日出時に夜間の高いレベルから昼間のレベルへ急速に下降する途上、再び強度の急激な上層が屢、観測された(第9図参照)。これは電離層の影響と思われる。このことに関しては通常の長波の観測においても斜入射波に対してなされており、これに対しては二次的反射のためであろう⁽⁶⁾と報告されている。

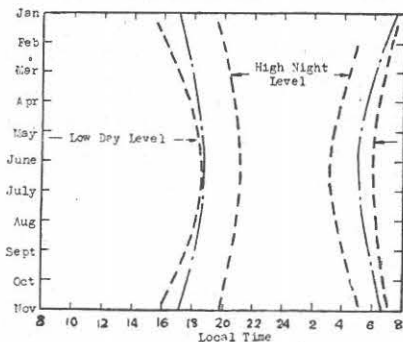


第9図 日出時の現象

しかして前述したように、D 領域における電離は主として太陽からの紫外線の周波数を有する光子に起因し、且この領域は大気中で充分低い位置にあり、再結合は迅速に起るから、この領域での吸収は、太陽の水平線からの高度と共に週期的に変化すると考えられており、⁽³⁾ D 領域の電離過程とも関連がある現象のようにも考えられ今後に残された問題であると思う。

第1表に Gardner 氏の解析法にならって、(第一次増大レベル)/(夜間レベル)の比の値を示した。この値は平均 0.55 となる。今 Gardner 氏の結果より夜間の減衰係数を略、1 と考えると、このときの減衰係数は 0.55 となる。これは S.I.D. の場合について Gardner 氏が示した値と略、一致することは興味深い点である。このことはこの増大の機構を考える上に非常な暗示をあたえうる。

第10図 日没線と昼夜レベルとの関係



第 1 表

月 日	下 降 時 刻	上 昇 時 刻	最 大 夜 間 レベル	継 続 時 刻	月 日	下 降 時 刻	上 昇 時 刻	最 大 夜 間 レベル	継 続 時 刻
	h m	h m		h m	(27 kc)	h m	h m		h m
(27 kc)									
2. 4	6.00	6.40	0.50	0.10	5. 6	4.45	5.20	0.30	0.45
12	5.30	6.00	0.70	0.05	8	4.20	4.30	0.65	0.10
13	6.20	7.00	0.54	0.20	15	4.53	4.45	0.90	0.05
15	6.25	6.40	0.97	0.10	16	5.00	5.05	0.74	0.05
16	6.50	7.00	0.48	0.10	6. 2	4.35	5.15	0.44	1.00
20	6.30	6.45	0.36	0.05	11	4.30	4.40	0.80	0.02
21	6.10	6.20	0.83	0.10	12	4.30	5.10	0.28	1.00
23	6.20	7.00	0.47	0.15	13	4.10	4.20	0.60	0.02
24	6.00	6.30	0.17	0.25	7. 21	4.40	4.45	0.50	0.15
25	6.00	6.20	0.65	0.10	9. 2	5.30	6.00	0.55	0.10
26	6.00	6.50	0.20	0.15	10	5.45	5.50	0.80	0.30
27	6.10	6.40	0.35	0.15	23	5.25	5.35	0.66	0.10
28	6.00	6.20	0.45	0.05	24	5.30	5.32	0.60	0.10
3. 1	6.00	6.15	0.79	0.10	10. 1	5.30	5.35	0.70	0.05
4	4.00	4.30	0.35	0.25	2	5.30	5.35	0.70	0.05
5	6.15	6.30	0.37	0.10	4	5.40	5.40	0.50	0.30
6	6.00	6.10	0.82	0.05	12	5.45	6.00	0.58	0.45
7	5.40	6.05	0.86	0.10	13	5.40	6.00	0.60	0.50
9	5.45	6.00	0.95	0.10	14	6.00	6.20	0.55	0.25
11	6.00	6.20	0.37	0.20	17	5.30	6.30	0.66	0.45
12	5.50	6.40	0.12	0.15	18	6.00	6.10	0.72	0.25
13	5.45	6.25	0.25	0.15	23	5.50	6.10	0.50	0.10
15	5.40	6.30	0.16	0.10	24	5.50	6.20	0.30	0.10
16	5.45	6.20	0.30	0.20	25	5.50	6.00	0.79	0.15
26	5.40	5.55	0.80	0.05	26	5.55	6.05	0.65	0.03
27	5.30	6.02	0.56	0.35	29	6.07	6.22	0.47	0.25
4. 2	5.20	5.50	0.28	0.10	30	5.45	5.55	0.68	0.10
3	5.20	6.00	0.80	0.25	(20 kc)				
4	5.45	6.10	0.37	0.05	7. 9	5.15	4.35	0.69	1.15
5	5.50	5.55	0.95	0.05	17	4.25	5.00	0.72	0.30
6	4.40	4.45	0.70	0.05	29	4.45	4.55	0.48	0.05
7	5.20	5.50	0.63	0.05	8. 29	5.00	5.25	0.88	0.45
8	5.20	5.50	0.90	0.25	9. 20	5.45	5.50	0.45	0.10
13	5.15	5.30	0.44	0.10	10. 10	5.30	6.05	0.90	0.15
14	5.15	5.30	0.90	0.10	11	5.45	5.55	0.62	0.40
15	5.10	5.30	0.15	0.10	19	5.45	6.10	0.60	0.30
16	5.20	5.45	0.14	0.30	20	5.50	6.05	0.78	0.10
17	5.20	5.45	0.37	0.05	21	5.45	6.45	0.36	0.30
18	5.45	5.55	0.50	0.05	22	5.45	6.15	0.50	0.25
19	4.40	4.45	0.60	0.05					

4. 太陽面爆発時の異常増大

現在は太陽活動の静穏な時期なので、太陽面爆発による太陽雑音の増大、デカンジャー現象との相関性に対しては、この時の長波強度の増大に対する観測例が現在迄に 1952 年 11 月 22 日及び 1953 年 10 月 25 日の 2 例しかなく何もわかっていない現状である。この現象を説明するのに現在考えられている解釈は、太陽爆発から放射される突発性の強烈な紫外線爆発が原因となって、D 領域に異常に大なる電離を起させ、その領域は良い導体となり長波帯の電波の強度が増大される⁽³⁾ というのである。

このことは、爆発時における異常増大現象が 20~30 kc の間で最も顕著に観測されるという Beureau 氏の

報告やその時のレベルが殆ど夜間のレベルに近い附近にまで上昇することなどから考えると、D 領域における空気分子密度に対するイオン密度が通常の状態に比して異常に増加した結果、イオンが附近の空気分子と衝突することによって失われる電波エネルギーは相対的に減少したのと同じことになり、D 領域における吸収は減少し、この領域で反射される電波の強度が増すのだという考え方であると思われるが、かかる解釈の妥当性はかなり大きいと思われる。従って上昇の度合は太陽高度により支配されることも考えられる。

猶これ等の点に関しては更に多くの例を得て究明して行きたいと考えている。

III. あとがき

現在も引き続き観測を継続しているが、1953年2月以降、10月までの空電強度測定結果を一応整理して判明した点を述べた。

本報告ではふれなかったが、空電強度レベルと気象要素との関係、短波の強度変化と長波の強度変化との関係、突発性電離層擾乱時の諸問題等に対しては、現在記録の整理に追われているのと浅学のため、疑問に感じている問題も多くあるが、その解釈に未だ自信がもてない状態であり、更に多くの記録を得て一日も早く確信のもてるものになりたいと努力している。

猶、予算の許される範囲内で来年度からは、測定周波数の範囲を拡張し、且、各周波数帯の記録を同時に記録するように装置の増設をして行き度いと希っている。これにより、現段階で疑問となっている問題に対して一層明確な解釈が可能となるものと信じている。

IV. 謝 辞

筆を潤くにあたり、本観測の継続に対して多大の助力をおしまれない文部省の方々をはじめ、金原所長の御好意を深く感謝する。又測定機に対して常に意を用いていただく沖電気の方々に謝意を捧げると共に、記録の整理に当たった熊谷嬢の御骨折を多とする次第です。

V. 文 献

- (1) Espenschied, Anderson and Bailey: Proc. I.R.E. **14**, 7 (1926).
- (2) Espenschied: Proc. I.R.E. **19**, 11 (1936).
- (3) U.S. Department of Commerce: Ionospheric Radio Propagation (1948).
- (4) 朝倉重郎: 気象集誌, 第二輯, **9**, 2.
- (5) F. F. Gardner: Pylo. Maog **41**, 129 (1950).
- (6) R.N. Rraceavell, Burden, Ratcliffe and Others: Proc. I. E. E. May, 1951.