

# 電離層攪亂에 관한 研究

## 目 次

I. 電離層 形成에 관한 理論 .....	59
1. 太陽光에 의한 電離 .....	59
2. X-線에 의한 電離 .....	66
3. 宇宙線粒子에 의한 電離 .....	66
II. 調和分析 .....	67
III. 資料의 選擇 및 分析方法 .....	76
1. 電離層 .....	76
2. 太陽黑点数 .....	79
3. 地磁氣 .....	81
4. 太陽電波 .....	83
5. 宇宙線 .....	84
IV. 結果 및 論議 .....	84
1. 正常狀態의 電離層 .....	84
2. 亂亂狀態의 電離層 .....	97
V. 結 論 .....	102
參考文獻 .....	103
附錄 1 .....	104

전리층각란에 관한 연구

서강대학교

박 병 소

전파연구소

김 영 재

전파연구소

장 건

전파연구소

길 영 석

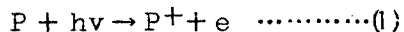
# I. 電離層攪亂에 관한 研究

## 1. 電離層形成에 관한 理論

### 1) 太陽光에 의한 電離

電離層의 狀態는 두가지로 区分 될수 있다. 하나는 正常狀態요 또 하나는 擾亂狀態이다. 正常狀態라고 하더라도 太陽活動 (例컨데 黑点数라던지 10.7 cm 波長의 太陽電波強度 등으로 표시될수 있는). 季節, 낮과밤에 따라 다르고 黑点의 增減에 따라 11年 周期의 rise time 이나 decline time 이나에 따라 또 다르다. 太陽으로부터의 紫外線이 高空의 空氣分子를 電離시켜서 電離層形成의 主成分을 이룬다는것은 널리 알려진 사실이다. 空氣의 密度는 高度에 따라 減少함으로 地表面에 가까울수록 紫外線이 吸收되어 버려서 電離度가 減少될 것이다. 따라서 우리는 高空의 어느 높이에서 電離된 電子의 密度가 最高가 될것인가를 찾을 수 있을 것이다.

太陽으로부터의 紫外線이 空氣分子를 電離시킨다. 즉 이 光電離의 過程은 다음과 같다.



여기서 P는 空氣分子, 혹은 原子 그렇지않으면 이온粒자를 表示하고  $h\nu$ 는 電離시키는데 必要한 太陽光의 에너지이다.

$h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$  (프랑크의 常数),  $\nu$  = 太陽光의 振動數. 一価의 陽이온이 形成되면  $P^+$ 이고 二価, 三価이면  $P^{++}$  혹은  $P^{+++}$ 이다. 空氣를 電離시키는데 가장 效果的인 紫外線의 波長은  $1300\text{\AA}$ 에서  $800\text{\AA}$ 과 그 以下の 波長을 가진것들이다.

새로形成된 이온雙 (電子와 陽이온)의 數는 空氣의 單位體積當 吸收된 에너지의 量에 比例한다. 즉

$$J = \frac{1}{\epsilon_i} \cdot \frac{ds}{dl} = \frac{1}{\epsilon_i} \cdot \frac{ds}{dz} \cos X \text{ electrons/cm}^2 - \text{sec} \dots\dots (2)$$

$J$  : ion 雙의 數,

$S$  : 高度  $z$ 에서의 太陽光의 에너지束,  $dl$ 는 太陽光이 通過한 距離,

$\epsilon_i = h\nu_i$  : 電離 포텐셜,

$X$  : 太陽光의 入射角

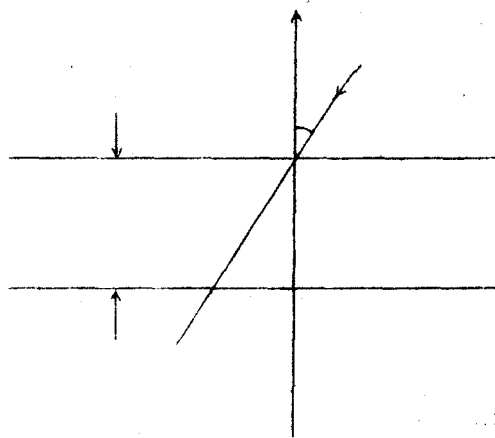


그림 1 - 1

위의 方程式을 電離平衡方程式이라 하고 이의解가 電離層의 形成을 計算하는데 있어서 중요한 구실을 한다. 그러나 이 方程式의 解가 여러가지 過程들이 속에 內包되어 있고 必要한 資料가 결핍되어 있어서 바로 풀 수가 없다. 그러나 電離層이 發見되던 初期부터 空氣의 中性粒子的 高度分布 關係를 이용해서 單純한 電離層形成 理論이 만들어졌었다. 즉 高度에 따른 大氣壓力公式을 使用하고 溫度는 一定하다고 하면 그리고 한가지 種類만의 電離된 粒子만이 存在하고 또 入射光을 單色光으로 假定하면 소위 單一層(Simple Layer)에 관한 式을 만들 수가 있다. 실제로 이 式은 觀測 値와 잘 一致했다.

이렇게 해서 얻은 公式은 다음과 같다.

$$J = J_{M0} \exp \{ 1 - h - \sec \chi e^{-h} \} \dots\dots\dots(3)$$

$$= J(\delta, \theta, Z, t)$$

여기서  $J$ 는 高度  $Z$ , 太陽의 傾角  $\theta$ , 北極으로부터 觀測點까지의 弧의 길이를 표시하는 角度  $\theta$  등의 函數가 된다. 그러나 여기서  $\delta$  와  $\theta$  는 時間  $t$ 의 函數가 되기도 한다. 즉

$$\chi = \frac{\pi}{2} - (\theta + \delta) \dots\dots\dots(4)$$

이것은 그래프로 표시한 것이 아래와 같다.

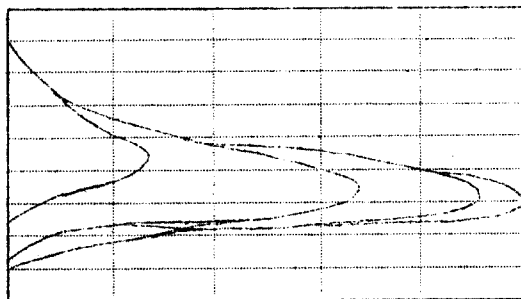


그림 1 - 2

위에서 보는 J曲線은 極大點을 中心으로 위, 아래가 對稱이 아니다. 즉 위로는 천천히 줄어듬에 비해서 아래로는 급격히 줄어든다. 이것은 中性空氣分子의 密度差로 해서 생기는 것이다.

위 식으로부터 電離層 電子密度의 緯度效果를 計算할 수 있다.  
즉,

$$N_M = N_{M0} \sqrt{\cos \chi} \dots\dots\dots (5)$$

여기서  $N_{M0}$ 는  $\chi = 0$  되는 곳에서의 電子密度 最大의 값을 표시한다. 지금까지는 地球를 평면으로 보고 그 위에 形成되는 單一層만에 대한 公式을 計算했다.

즉,  $\chi$ 의 값이 적을 때에는 地球의 球形性을 考慮할 必要가 없다. 그러나 日出時와 日沒時처럼  $\chi$ 의 값이 클 때에는 위의 結果는 맞지 않는다. 이것을 球形의 地球에 對해서 擴張해야 한다. 몇개의 徑數變換을 하면

$$J = J_0 \exp \{ 1 - h - f(R, \chi) e^{-h} \} \dots\dots\dots (6)$$

로 주어지고 여기서

$$f(R, \chi) = R \sin \chi \int_0^\chi \exp \left\{ R \left( 1 - \frac{\sin \chi}{\sin \varphi} \right) \right\} \operatorname{Cosec}^2 \varphi \, d\varphi \dots\dots\dots (7)$$

그리고

$$R = \frac{R_0 + Z}{H}$$

$H$  = Scale Height,

$R_0$  = 地球半徑,

$Z$  = 垂直高度,

$\varphi$  = 地球中心으로부터 임의 高度까지 그은 線과 光線이 들어오는 方向과의 사이의 角度이며 이 값은  $h$ 과  $\chi$  사이의 값을 갖는다

다.

위 식과 (3)式을 비교하면  $\sec\chi$  대신에 函数  $f(R, \chi)$ 를 바꾸어 놓은 것에 불과하다. 아래 表는  $\chi$ 와 高度에 따른  $f(R, \chi)$ 의 값의 變化를 보여주고 있다.

$f(R, \chi)$ 의 값

$\chi =$ 高度	30	45	60	80	90	95	100
100	1.151	1.401	1.946	4.608	12.58	29.67	106.9
300	1.153	1.410	1.981	5.281	21.74	12.59	4108
500	1.154	1.411	1.988	5.439	28.05	365.9	110800
$\sec\chi$	1.155	1.414	2.000	5.758	$\infty$	—	—

위 表를 보면 알수 있듯이  $\chi$ 의 값이  $30^\circ - 75^\circ$ 까지일 때는  $\sec$ 의 값을 써도 좋지만 그보다 커지면  $f(R, \chi)$ 의 값을 써야 한다는 것을 알수 있다. 지금까지는 단순한 模型을 써서 生成되는 이온쌍의 數를 計算했다. 그러나 이들 이온들은 다시 電子와 再結合하여 消失되어 버린다.

다시 말하면 임의 時間에 存在한 이온의 數는 生成數와 消失數의 平衡아래 있게 된다. 電離平衡方程式은

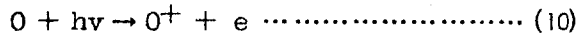
$$\frac{dN}{dt} = J_0 - \alpha_0 N^2 \quad (9)$$

로 주어지며 여기서  $\alpha_0$ 를 再結合係數라고 부른다. 가령 예를들어

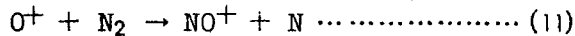


다음과 같은 反應을 생각해 보자.

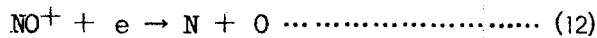
처음에 太陽光의 에너지  $h\nu$  를 吸收하여 中性酸素原子가



로 되고 中性窒素分子와 結合하여



로 分解되고 이것은 自由電子와 作用하여



로 되어 원래의 中成酸素原子와 窒素原子로 되돌아가 버렸다가 다시 太陽光으로부터 에너지를 받아 (10)  $\rightarrow$  (11)  $\rightarrow$  (12) 式의 과정을 밟아 내려온다.

(11) 式과 (12) 式에 포함된 粒子的 密度가  $n(O^+)$ ,  $n(N_2)$ ,  $n(NO)$  및  $n(NO^+)$  이라면 그리고 (11) 式과 (12) 式의 過程들이 일어나는 係數가 각각  $\alpha_1$  과  $\alpha_2$  라면 (11) 式의 荷電交換過程은

$$\frac{dn(O^+)}{dt} = J - \alpha_1 n(O^+) n(NO) \dots\dots\dots (13)$$

이 되고 (12) 式의 解離過程은

$$\frac{dN}{dt} = J - \alpha_2 n(NO^+) N \dots\dots\dots (14)$$

으로 된다. 그리고 一面로 電離된 酸素原子와 酸化窒素分子의 數가 될것임으로

$$n(O^+) + n(NO^+) = N \dots\dots\dots (15)$$

가 된다.

따라서 이 過程의 條件으로부터

$$J = \frac{\alpha_1 \alpha_2 n(NO)}{\alpha_1 n(NO) + \alpha_2 N} N^2 \dots\dots\dots (17)$$

를 얻고 이로부터

$$\alpha_1 n(N_0) = \alpha_2 N \dots\dots\dots (17)$$

를 얻는다. (9) 式의 結果는 이온의 發生과 再結合에 의한 消失만을 생각하고 있지만 여기에다 電子들의 垂直運動에 의한 擴散을 생각하여야 하므로 결국 모든 電離層의 電離平衡方程式 (혹은 連續方程式) 으로서

$$\frac{dN}{dt} = J_0 - X_0 N^2 - \text{div}(\bar{N}\bar{v}) \dots\dots\dots (18)$$

를 쓰게 된다.

위에서 보아온것처럼 電離層은  $N$ 의 統計的 不規則性 때문에 可變的性格을 갖게 된다. 임의의 어떤 場所에서의 電子密度는 平均値  $\bar{N}$ 을 中心으로  $\pm \delta N$ 의 요동을 보여준다. 물론  $\pm \delta N$ 는  $\bar{N}$ 에 비해서 훨씬 적다. 그리고 이들 값들은 平均的으로 規則的인 혹은 不規則的 變化를 하게 된다. 이들은 全体的으로 大氣의 狀態에 따르게 된다. 특히 이들은 太陽光 때문에 日變化 緯度變化, 그리고 季節變化를 하게 되고 太陽의 活動 때문에 심하게 요동을 하게 된다. 太陽光 때문에 正常狀態가 생기고 規則的인 혹은 不規則的 變化를 각각 正常電離層, 電離層擾動이라고 부른다. 電子密度에 따른 變化는 近來 高空로켓트와 人工衛星에 의하여 활발히 이루어지고 있다. 그러나 이들 資料들은 連續觀測들이 어렵기 때문에 時間變化를 研究하기에는 불편하다.

따라서 一定한 高度에서의  $N(h)$  特性和 같은 것은 아직도 Ionograms 에 의존하지 않을 수 없는 狀態이다. 한편 Ionograms 으로부터  $N(h)$ 를 計算하는 문제도 쉬운 것은 아니다. 왜냐하면 電離層에서의 屈折率과 電波의 群速度에 미치는 地球磁氣의 效果 때문에 計算이 아주 複雜해진다. 차라리 地球磁場을 無視하면

計算은 쉬워진다. 그러나 正確度가 問題가 된다.

## 2. X-線에 의한 電離

紫 外 線에 의한 光電離는 主로 原子의 外殼電子를 떼어냄으로 해서 생기지만 X-線의 電離는 內殼電子를 떼어냄으로 해서 생긴다. 따라서 이들 內殼電子에 의한 二次電離도 생긴다.  $0.1\text{\AA} \sim 1\text{\AA}$  사이의 硬 X-線과  $1\text{\AA} - 100\text{\AA}$  사이의 X-線은 200Km - 100Km 사이의 E層生成과 그의 變化에 크게 奇与하고 있다.

특히 Solar Flares時에 나오는  $1\text{\AA}$  以下の 硬 X-線은 남쪽에 面하고 있는 地球上 어디에나 低域電離層의 電子密度의 異常增加를 이르고 이 때문에 電波減衰效果를 가져와서 長距離短波通信障害을 일으킨다. 電離度로 보면 Flare에 따라 다르지만 正常時의 100 倍를 超過하는 경우도 흔하다.

## 3. 宇宙線粒자에 의한 電離

宇宙線粒자의 에너지는  $10^8\text{ev}$  以上으로 매우 높기 때문에 高度 500Km 以上에서는 大氣를 거의 電離시키지 못한다. 따라서 電離生成率은 大氣密度에 거의 比例한다고 볼 수 있다. 즉 大氣密度가 크면 電離生成率도 커진다. 宇宙線 強度는 緯度效果를 보여주고 있음으로 電離生成率도 緯度效果를 보여줄 것이다. 이 外에도 夜間 電離層의 生成은 GEOCORONA와 宇宙線, 그리고 VAN Allen帶의 放射線性粒자에 의해서 이루어지고 있다. 特히 PROTON FLARE가 일어났을 때는 極地方의 異常電離를 이르게서 宇宙雜音을 減衰시키기도 하고 90 km 以下の D層에서 심한 擾亂이 일어나서 短波 超短波電波의 障害을 일으킨다.

## 2. 調和分析

物理学, 天文学, 気象学 및 地球 物理学에서 週期的 現象을 分

## II. 調 和 分 析

物理学, 天文学, 気象学 및 地球物理学에서 週期的 現象을 分析하여 振幅, 位相, Harmonics를 求하는데 調和分析을 사용한다.

Fourier 級數는

$$u(\theta) = a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 \cos 2\theta + a_3 \cos 3\theta + \dots + a_r \cos r\theta \\ + b_1 \sin \theta + b_2 \sin 2\theta + b_3 \sin 3\theta + \dots + b_r \sin r\theta \dots \dots (18)$$

로 주어지며 여기서  $a_0, a_1, b_1, a_2, b_2$  등은  $\theta$ 에 無関한 常數이다.

$\mu(\theta)$ 를  $\mu_0, \mu_1, \mu_2 \dots \dots \mu_{n-1}$  로 각각 分해하며  $\theta$ 가 0,

$\frac{2\pi}{n} \dots \dots \frac{2(n-1)\pi}{n}$  를 갖도록 하고 여기서  $n$ 은  $2r$ 보다 큰 常數이다. 그러면 問題는  $a_0, a_1, b_1, a_2, b_2 \dots \dots a_r, b_r$  등  $(2r+1)$ 개의 常數를 決定하는 問題로 귀착된다. 그러므로 (19)式은  $\theta$ 를  $0, \frac{2\pi}{n} \dots \dots \frac{2(n-1)\pi}{n}$   $\pi$ 로 했을 때  $\mu_0, \mu_1 \dots \dots \mu_{n-1}$  등  $n$ 개의 값을 定하면 된다.

이 條件들은

$$\begin{aligned} \mu_0 &= a_0 + a_1 + \dots + a_r \\ \mu_1 &= a_0 + a_1 \cos \frac{2\pi}{n} + a_2 \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{n} + \dots + a_r \cos \frac{r \cdot 2\pi}{n} \\ &\quad + b_1 \sin \frac{2\pi}{n} + b_2 \sin \frac{2 \cdot 2\pi}{n} + \dots + b_r \sin \frac{r \cdot 2\pi}{n} \\ \mu_2 &= a_0 + a_1 \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{n} + a_2 \cos \frac{4 \cdot 2\pi}{n} + \dots + a_r \cos \frac{2r \cdot 2\pi}{n} \\ &\quad + b_1 \sin \frac{2 \cdot 2\pi}{n} + b_2 \sin \frac{4 \cdot 2\pi}{n} + \dots + b_r \sin \frac{2r \cdot 2\pi}{n} \\ \mu_{n-1} &= a_0 + a_1 \cos \frac{(n-1)2\pi}{n} + \dots + a_r \cos \frac{r(n-1)2\pi}{n} \\ &\quad + b_1 \sin \frac{(n-1)2\pi}{n} + \dots + b_r \sin \frac{r(n-1)2\pi}{n} \end{aligned} \quad (20)$$

(1)  $a_0$ 의 正規方程式

$$\begin{aligned}
 & \mu_0 + \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_{n-1} \\
 &= na_0 + a_1 \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi}{n} + \dots + \cos \frac{(n-1)2\pi}{n} \right\} \\
 & \quad + a_2 \left\{ 1 + \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{n} + \dots + \cos \frac{2(n-1)2\pi}{n} \right\} \\
 & \quad + \dots \\
 & \quad + a_r \left\{ 1 + \cos \frac{r \cdot 2\pi}{n} + \dots + \cos \frac{r(n-1)2\pi}{n} \right\} \\
 & \quad + b_1 \left\{ \sin \frac{2\pi}{n} + \sin \frac{2 \cdot 2\pi}{n} + \dots + \sin \frac{(n-1)2\pi}{n} \right\} \\
 & \quad + \dots \\
 & \quad + b_r \left\{ \sin \frac{r \cdot 2\pi}{n} + \dots + \sin \frac{r(n-1)2\pi}{n} \right\}
 \end{aligned} \quad (21)$$

여기서

$$1 + \cos \frac{2h\pi}{n} + \cos \frac{4h\pi}{n} + \dots + \cos \frac{2(n-1)h\pi}{n} = 0$$

또  $h$ 는  $n$ 보다는 작고 零보다 큰 整数이며

$$\sin \frac{2h\pi}{n} + \sin \frac{4h\pi}{n} + \dots + \sin \frac{2(n-1)h\pi}{n} = 0$$

그러므로 결국

$$\mu_0 + \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots + \mu_{n-1} = na_0 \quad (22)$$

(2)  $a_1$ 의 正規方程式

$$\begin{aligned}
 & \mu_0 + \mu_1 \cos \frac{2\pi}{n} + \mu_2 \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{n} + \dots + \mu_{n-1} \cos \frac{(n-1)2\pi}{n} \\
 &= a_0 \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi}{n} + \dots + \cos \frac{(n-1)2\pi}{n} \right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + a_1 \left\{ 1 + \cos^2 \frac{2\pi}{n} + \dots + \cos^2 \frac{(n-1)2\pi}{n} \right\} \\
& + a_2 \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi}{n} \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{n} + \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{n} \cos \frac{4 \cdot 2\pi}{n} + \dots \right. \\
& \quad \left. + \cos \frac{(n-1)2\pi}{n} \cos \frac{2(n-1)2\pi}{n} \varphi \right. \\
& + \dots \dots \dots \left. \right\} \\
& + b_1 \left\{ \cos \frac{2\pi}{n} \sin \frac{2\pi}{n} + \dots + \cos \frac{(n-1)2\pi}{n} \sin \frac{(n-1)2\pi}{n} \right\} \\
& + \dots \dots \dots \left. \right\} \quad (23)
\end{aligned}$$

三角函数의 몇 가지 관계식을 써서 整理하면 결국 위식은

$$\mu_0 + \mu_1 \cos \frac{2\pi}{n} + \mu_2 \cos \frac{4\pi}{n} + \dots + \mu_{n-1} \cos \frac{2(n-1)\pi}{n} = \frac{1}{2} n a \dots (24)$$

다른 값들의 正規方程式들도 마찬가지로 求해서 연립방정식을 만  
들고 풀면

$$\begin{aligned}
a_0 &= \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \mu_k \\
a_1 &= \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \mu_k \cos \frac{2k\pi}{n} \\
&\dots \dots \dots \\
a_r &= \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \mu_k \cos \frac{2\pi k r}{n} \\
b_1 &= \frac{2}{\pi} \sum_{k=0}^{n-1} \mu_k \sin \frac{2k\pi}{n} \\
&\dots \dots \dots \\
b_r &= \frac{2}{\pi} \sum_{k=0}^{n-1} \mu_k \sin \frac{2\pi k r}{n}
\end{aligned} \quad \dots \dots \dots (25)$$

여기서  $r = \frac{1}{2} n$  이다.

보고자 하는 現象을 24等分하면  $r = \frac{24}{2} = 12$  임으로 Fourier 級數는 다음과 같이 表現된다.

$$\left. \begin{aligned} a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 \cos 2\theta + \dots + a_{12} \cos 12\theta \\ + b_1 \sin \theta + b_2 \sin 2\theta + \dots + a_{11} \cos 11\theta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (26)$$

여기서  $\mu_0, \mu_1 \dots \dots \mu_{23}$  의 값은  $\theta = 0, \frac{\pi}{12}, \dots, \frac{23}{12} \pi$  의 값을 갖게된다.

$\mu$  의 合과 差를

$\mu_0$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\dots$	$\mu_{11}$	$\mu_{12}$
	$\mu_{23}$	$\mu_{22}$	$\mu_{21}$	$\dots$	$\mu_{13}$	
<hr/>						
合 $V_0$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$\dots$	$V_{11}$	$V_{12}$
差	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$\dots$	$W_{11}$	

(25) 式 適用하면

$$24 a_0 = V_0 + V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9 + V_{10} + V_{11} + V_{12}$$

$$12 a_1 = V_0 + V_1 \cos 15^\circ + V_2 \cos 30^\circ + V_3 \cos 45^\circ + V_4 \cos 60^\circ + V_5 \cos 75^\circ + V_6 \cos 90^\circ + V_7 \cos 105^\circ + V_8 \cos 120^\circ + V_9 \cos 135^\circ + V_{10} \cos 150^\circ + V_{11} \cos 165^\circ + V_{12} \cos 180^\circ$$

.....

$$12 b_1 = W_1 \sin 15^\circ + W_2 \sin 30^\circ + W_3 \sin 45^\circ + W_4 \sin 60^\circ + W_5 \sin 75^\circ + W_6 \sin 90^\circ + W_7 \sin 105^\circ + W_8 \sin 120^\circ + W_9 \sin 135^\circ + W_{10} \sin 150^\circ + W_{11} \sin 165^\circ$$

.....

$V$  의 合과 差를 求하면

	V <sub>0</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>
	V <sub>12</sub>	V <sub>11</sub>	V <sub>10</sub>	V <sub>9</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>7</sub>	
合	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
差	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>

W의 합과 差는

	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>6</sub>
	W <sub>11</sub>	W <sub>10</sub>	W <sub>9</sub>	W <sub>8</sub>	W <sub>7</sub>	
合	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>	r <sub>5</sub>	r <sub>6</sub>
差	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>	s <sub>4</sub>	s <sub>5</sub>	

P의 합과 差는

	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
	P <sub>6</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>4</sub>	
合	ℓ <sub>0</sub>	ℓ <sub>1</sub>	ℓ <sub>2</sub>	ℓ <sub>3</sub>
差	m <sub>0</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	

S의 합과 差는

	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>
	s <sub>5</sub>	s <sub>4</sub>	
合	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>
差	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	

그리고

$$\frac{1}{2} \ell_1 = \ell_1', \quad \frac{1}{2} \ell_2 = \ell_2', \quad \frac{1}{2} m_2 = m_2',$$

$$\frac{1}{2} k_1 = k_1', \quad \frac{1}{2} \sqrt{3} m_1 = m_1', \quad \frac{1}{2} \sqrt{3} k_2 = h_2'$$

$$\frac{1}{2} \sqrt{3} n_1 = n_1', \quad \frac{1}{2} \sqrt{3} n_2 = n_2'$$

이라고 바꿔쓰면



$$\left. \begin{aligned}
24 a_0 &= (\ell_0 + \ell_2) + (\ell_1 + \ell_3) \\
24 a_{12} &= (\ell_0 + \ell_2) - (\ell_1 + \ell_3) \\
12 a_4 &= (\ell_0 + \ell_1') - (\ell_2' + \ell_3) \\
12 a_8 &= (\ell_0 + \ell_3) - (\ell_1' + \ell_2') \\
12 a_2 &= (m_0 + m_2') + m_1' \\
12 a_6 &= m_0 - m_2 \\
12 b_2 &= (k_1' + k_3) + k_2' \\
12 b_{10} &= (k_1' + k_3) - k_2' \\
12 b_6 &= k_1 - k_3 \\
12 b_4 &= n_1' + n_2' \\
12 b_8 &= n_1' - n_2'
\end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

寄数添字를 갖는 項을 計算하기 위해서 15° 대신에 (45°-30°) 라고 쓰고

$$\begin{aligned}
\frac{q_1}{\sqrt{2}} &= q_1', & \frac{q_3}{\sqrt{2}} &= q_3', & \frac{q_5}{\sqrt{2}} &= q_5' \\
q_1' + q_5' &= t_1, & \frac{1}{2} t_2 &= q_4', & \frac{\sqrt{3}}{2} t_1 &= q_2' \\
q_1' - q_5' &= t_2, & \frac{1}{2} t_2 &= t_2', & \frac{\sqrt{3}}{2} t_1 &= t_1' \\
t_1' + t_2' &= f_1, & q_4' + q_2' &= e_1 \\
t_1' - t_2' &= f_2, & q_4' - q_2' &= e_2
\end{aligned}$$

라고 바꾸어 쓰면

$$\begin{aligned}
12 a_1 &= q_0 + e_1 + q_3' + f_1 \\
12 a_{11} &= q_0 + e_1 - q_3' - f_1 \\
12 a_3 &= q_0 - q_4 + t_2 - q_3'
\end{aligned}$$

$$12a_9 = q_0 - q_4 - t_2 + q_3' \dots\dots\dots (29)$$

$$12a_5 = q_0 + e_2 - q_3' + f_2$$

$$12a_7 = q_0 + e_2 + q_3' - f_2$$

그리고

$$r_1' + r_5' = h_1, \quad \frac{1}{2}k_2 = h_2', \quad \frac{\sqrt{3}}{2}h_1 = h_1',$$

$$r_3' - h_2' = j_1,$$

$$r_1' - r_5' = h_2, \quad \frac{1}{2}r_2 = r_2', \quad \frac{\sqrt{3}}{2}r_4 = r_4',$$

$$r_6 + r_2' = j_2$$

라고 바꿔쓰면

$$\left. \begin{aligned} 12b_1 &= (j_1 + h_1') + (j_2 + r_4') \\ 12b_{11} &= (j_1 + h_1') - (j_2 + r_4') \\ 12b_3 &= (h_2 + r_3') + (r_2 - r_6) \\ 12b_9 &= (h_2 + r_3') - (r_2 - r_6) \\ 12b_5 &= (h_1' - j_1) + (j_2 - r_4') \\ 12b_7 &= (h_1' - j_1) - (j_2 - r_4') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (30)$$

로 計算된다.

Computer로 計算할 때는 (25)을 바로쓰면 된다. 즉

$$a_0 = \frac{1}{24} \sum_{k=0}^{23} \mu_k$$

$$a_1 = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{23} \mu_k \cos \frac{k\pi}{12}$$

$$a_r = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{23} \mu_k \cos k\pi$$

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{23} \mu_k \sin \frac{k\pi}{12} \dots\dots\dots \\ b_r &= \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{23} \mu_k \sin k\pi \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} (31)$$

위 식을 사용하고  $\theta$  대신 우리는 時間  $t$ 로 바꿔놓으면 (19)은

$$\mu(t) = \frac{a_0}{2} + R_k \sin \left( \frac{2\pi kt}{T} + \varphi_1 \right) + \dots\dots\dots \\ + R_k \sin \left( \frac{2\pi kt}{T} + \varphi_k \right) + \dots\dots\dots$$

가 되고 여기서

$$R_k \sin \left( \frac{2\pi kt}{T} + \varphi_k \right) = a_k \cos \frac{2\pi kT}{T} + b_k \sin \frac{2\pi kt}{T} \text{가 된다.}$$

그리고  $k$ 번째 harmonic의 振幅은

$$R_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

가 되며 位相은

$$\tan \varphi_k = \frac{a_k}{b_k}$$

로 주어진다.  $a_k$ 와  $b_k$ 의 符号에 따라  $\varphi_k$ 의 값은 다음과 같이 주어진다.

$a_k$	$b_k$	$\varphi_k$
+	+	$\varphi_k$
+	-	$180^\circ - \varphi_k$
-	-	$180^\circ + \varphi_k$
-	+	$360^\circ - \varphi_k$

그리고 위의  $\varphi_k$ 의 값은 時間으로 換算된다. 標準 差는 第1 Harmonic과 第二 Harmonic을 合成한 값과 各개 觀측치 ( $\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_{23}$ )와 residual의 差로부터 計算된다. 즉

$$\sigma^2 = \frac{2}{n} \frac{1}{n-5} \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} (\mu_1)^2 - \frac{n}{2} (R_1)^2 - \frac{n}{2} (R_2)^2 \right\}$$

이 값은 分으로 표시된다.

### III. 資料의 選擇 및 分析方法

#### 1. 電離層

서울의 電離層 觀測은 1967年부터 시작되었으나 調和分析을 할 수 있을만한 24時間 連續觀測은 1969年부터 었으므로 1969年 8月부터의  $f_oF_2$  資料를 選定하였다. 그리고 比較를 위해서 日本 KOKUBUNJI의  $f_oF_2$  資料도 함께 分析을 했다. 다음 表는 이들 두 觀測所의 位置와 其他 事項을 보여주고 있는 것이다.

觀 測 所	位 置		周波數 범위	觀 測 時 間
	위 도	경 도		
서 울	37°23'N	126°57'E	1 ~ 20 M Hz	매 30分마다 20초
KOKUBUNJI	35°42'N	139°29'E	1 ~ 20 M Hz	매 30分마다 20초

觀測은 두觀測所가 함께 每 30分마다 20秒씩 實施하고 있지만 每月 Report에는 每時의 값을 주고 있다. 그리고 機械의 故障 등 其他의 原因으로 欠測值가 있는것과 電離層의 狀況으로 인어난 例를 들면 임계주파수 近處에서의 吸收, Spread Echoes 등이 나타남으로 해서 생기는 欠測值등에 대해서는 內挿法을 使用했다. 4時間以上の 內挿은 月別中央値를 基準으로해서 그 變化를 보아가면서 實施했다. 그리고 日變化의 極大時間(位相)과 振幅을 보기위해서 每日每日의 平均値를 基準으로 그날의 값을 Normalization 했다. 아래에 Computer로 資料를 處理한 順序( Program의 Flow Chart )를 든다.

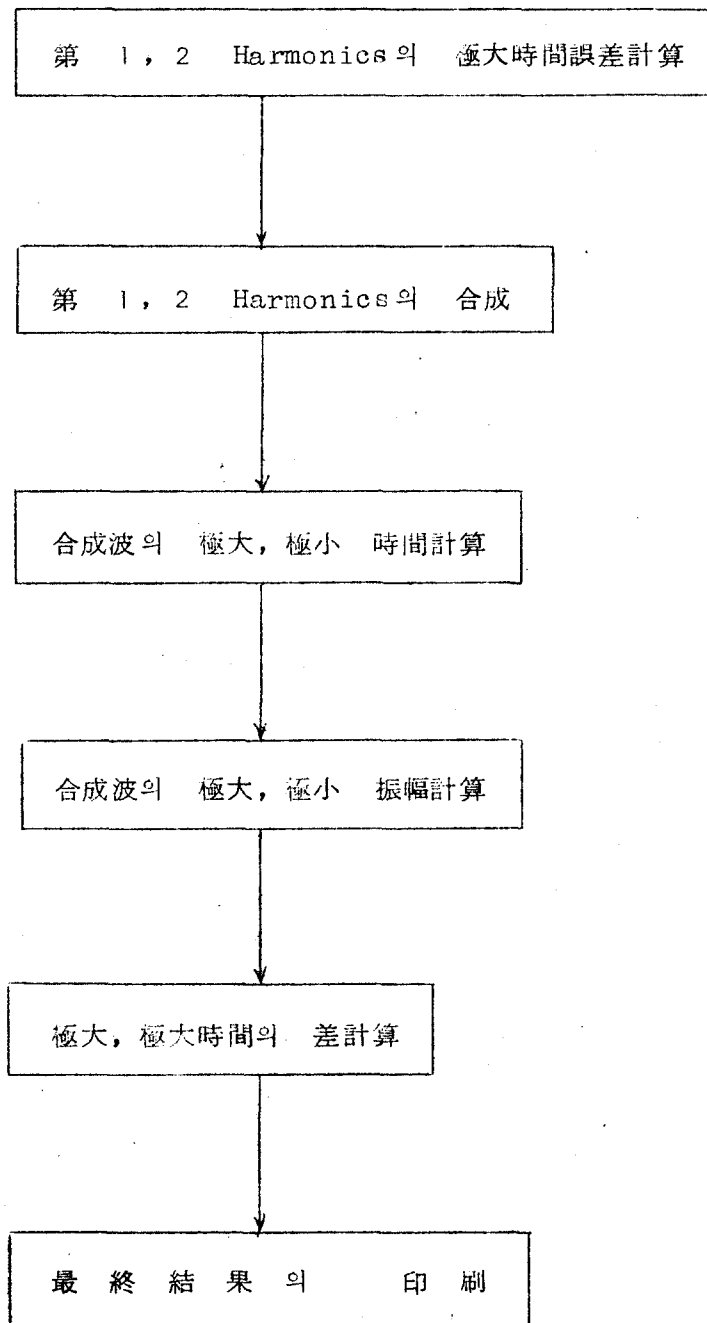
日 平 均 の 計 算

NORMALIZATION

第 1, 2, 3, 4 Harmonics の 振幅計算

第 1, 2, 3, 4 Harmonics の 極大時間計算

第 1, 2 振幅の 誤差計算



調和分析의 結果는 極大時間만을 주고 極小時間은 自動的으로 Harmonics에 따라 12時間 前後, 6時間 前後, 4時間 前後, 3時間 前後等으로 一意的으로 決定된다. 그러나 日變化의 모양은 各 Harmonics들이 주어지면 極大, 極小의 差가 반드시 一定間隔으로 주어지지 않으므로 日變化에 近似한 모양으로 표시하려면 最小한 第1 Harmonic과 第2 Harmonic의 合成波를 求한 다음 遂次 比較法에 依하여 極大, 極小을 다시 求하여야 한다. 그래서 위 計算의 뒷 部分에 이것을 包含시켰다. 實際로는 이렇게 해본 結果 極大, 極小時間의 差는 12時間이 아니라 9時間에서 16時間까지의 값을 갖고 있음을 알게 됐다.

## 2. 太陽黑点数

太陽黑点은 太陽面 現象中에서 가장 현저한 것으로 18世紀부터 망원경을 통한 觀測이 全世界的으로 행해져 왔다. 黑点이 겹쳐 보이는 것은 周圍의 光球에 비해서 溫度가 낮기 때문이며 溫度가 낮음에도 不拘하고 表面으로 떠올라가서 짧으면 2-3日에서, 길면 몇개월까지 顯存할 수 있다는 것은 黑点 内部에 강한 磁場이 있어서 黑点部分의 낮은 溫度의 電離氣體를 떠 받쳐주고 있기 때문이다. 磁場은 작은 黑点에서는 100g gauss, 큰것에서는 5,000 g gauss까지에 이르고 黑点의 강도와 큰 關係를 갖고 있다. Dipole型 黑点은 한쌍의 黑点이 東西로 늘어선고 한쪽 黑点에서 磁力線이 나와서 다른 한쪽으로 들어가고 있다.

黑点磁場의 極性은 太陽周期과 깊은 關係가 있다. 즉 어느 周期에 北半球에서 先行하는 黑点의 磁場이 N極이면 뒤따라 오는 것은 반듯이 S極이며 南半球에서는 이것과 反對로 되어있다. 다음 11年 周期에서는 兩半球의 極性이 뒤바뀐다.



따라서 黒点数의 성쇠로 보면 太陽活動의 周期은 11年이지만 黒点磁場の 極性만으로 본다면 22年 周期가 된다.

太陽黒点의 活動은 周期에 따라 다르지만 대략 11.1年이고 이것은 黒点数로 定義된다. 黒点数의 年變化는 極小期에는 10 ~ 0이지만 極大期에는 200 以上の 값을 갖고 있는 때도 있다. 그리고 이들은 太陽兩半球에서 적도를 中心으로  $5^{\circ} - 40^{\circ}$  以內에서 감소, 伸長한다. 太陽周期の 初期에는 高緯度地域에서 發生하고 太陽周期가 發達함에 따라 赤道地域으로 내려왔다가 새로운 周期가 始作되면 다시 高緯度地域에서 發生한다. 黒点数가 많은 太陽周期에는 3年만에 極大期가 되었다가 7 - 8年 걸려서 極小期로 줄어든다. 반대로 黒点数가 적은 周期에는 昇降期과 下降期の 期間이 同一해진다. Solar Flare는 黒点近處의 光球面이 갑자기 밝아져서 30分에서 數時間동안 持續되었다가 꺼지는 現象을 말한다.

이 때는 모든 Spectrum 領域에서 莫大한 電磁波의 放射가 일어난다. 可視, 紫外線等은 光球全体에서 나오는 빛量에 比하면 無視할 수 있을만큼 적지만 EUV (Extra Ultraviolet) 領域에서는 數10%, X線領域에서는 平常時의 數倍에서 數100倍로 늘어가고 高에너지 電子, 陽子等도 放出되어 所謂 太陽宇宙線으로서 地球表面까지 到達한다. 이렇게 되면 地磁氣擾亂, 電離層擾亂, 宇宙線強度減少等 所謂 Earth Storm이 發展한다. Solar Flare의 發生은 擾亂의 發生을 豫知케 해준다는 점에서 正常狀態와는 다르다. 黒点数는 Swiss의 Zürich에서 나오는 所謂 Wolf 黒点数과 American 黒点数가 많이 使用되고 있다. 이것은 單純한 黒点과 黒点群을 나누어 헤아리고 黒点群에는 10개의 黒点이 있다고 하고 計算된다. 여기서는 電離層과의 相關關係를 보기 위하여 電離層과의

同一期間동안의 Zurich 黒点數를 使用했다. 여기서는 移動平均을 取하지 않은 單純黒点數를 말한다.

### 3. 地磁氣

地球磁場의 主要部分은 地球内部로부터 나오는 것이고 大部分의 값은 安定되어있어서 아무리 큰 擾亂이 있어도 主磁場 (Main Field)의 約 4% 以上은 거의 變化하지 않는다. Main Field의 原因은 地球内部에서 흐르고 있는 導電性流体에 의한 發電作用의 結果 생기는 것으로 判斷되고 있다. 太陽風의 磁氣圈 浸入이나 電離層의 電流가 없는 조용한 狀態의 地磁氣는

$$\mathbf{H} = \text{Grad } W$$

로 쓸 수 있고  $\mu \sim \mu_0$  이라고 쓰면

$$\mathbf{B} = - \text{Grad } w$$

이고 Maxwell의 方程式에 이것을 代入하면

$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$

$$\therefore - \text{div grad } w = 0$$

가 된다. 여기서  $W$ 는 球座標로 表示되는 Scalar Potential이다.  $W$ 는 Legendre 陪函數  $P_n^m(\cos \theta)$ 를 써서

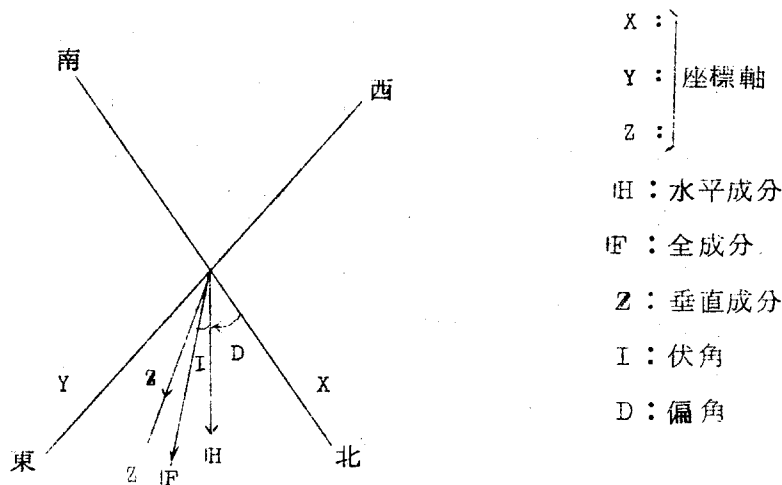
$$W(r, \theta, \phi) = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \left( g \frac{m}{n} \cos m \phi + h \frac{m}{n} \sin m \phi \right) P \frac{m}{n}(\cos \theta)$$

로 쓸수있다.  $g \frac{m}{n}$ 와  $h \frac{m}{n}$  값은  $n$ 와  $m$ 의

값에 따라 다르고  $n=1, m=0$ 일때는 dipole 磁場을 表示한다.

그리고 이 係數들은 어떤 特定한 해에 全世界的인 地磁氣相對觀測한 結果를 Curve fitting에 의해서 決定하여 例를들면 1957. 0 Epoch 혹은 1964. 0 Epoch 등의 이름을 붙여 地磁氣觀測所가

없는 곳에서의 地磁氣의 세기로 한다. 地磁氣 Vector의 表現方法은 아래 그림과 같이 表示한다. 즉



이들 사이에는

$$H = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

$$D = \tan^{-1} \left( \frac{Y}{X} \right)$$

$$X = H \cos D$$

$$Y = H \sin D$$

$$F = (H^2 + Z^2)^{1/2} = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$$

$$I = \tan^{-1} \left( \frac{Z}{H} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{Z}{(X^2 + Y^2)^{1/2}} \right)$$

로 표시된다.

地球磁場은 規則的인 日變化를 하고 있다. 이것은 日變化를 만드는 電流係가 電離層內에 存在하고 있어서 이것이 中性大氣의 潮汐運動에 의하여 起電力이 된다는 所謂 地磁氣 Dynamo 理論이 있다. 조용한 때의 地磁氣日變化에는 太陽時에 따르는 太陽日變化和 太陰時에 의한 變化의 두가지가 있다. 太陰時變化는 太陽時變化에 비하면 거의 無視할만큼 적다. 太陽時變化의 振幅變化를 보면 日照時間에 크게 影響을 받고 있는 點으로 보아 電離層의 E層內的

電流點과 密接한 關係가 있는 듯 하다는것이 通說로 되어 있다. 地磁氣攪亂은 一次的으로는 太陽의 活動에 의해서 이루어진다. 太陽 Corona의 膨脹에 의해서 만들어지는 太陽風이 항상 地球磁氣圈 밖을 흐르고 있기 때문에 이것에 의한 電場이 電離層에 電流를 만들고 地上에서는 地磁氣攪亂으로 나타난다. 이 以外의 큰 攪亂은 強度가 增加된 太陽風粒자가 磁氣圈으로 도입하여 直接 電流係를 形成하기 때문에 생긴다.

全世界의으로 보면 이들 電流係가 各各 다르므로 地磁氣觀測記錄이 달라진다. 그래서 觀測所의 日變化形成成分을 除外한 나머지 變化分만을 취해서 Kp 指數 ( Three hourly Planetary Magnetic Index )를 만들어 地球의 地磁氣變化로 삼고있다. 이 Kp 指數를 만드는데 參與하고 있는 觀測所는 南北緯  $42^{\circ} \sim 53^{\circ}$ 까지의 範圍內에 드는 곳만을 選拔하여 獨逸의 Göttingen大學에서 만들고 있다. 赤道를 中心으로 南北緯度  $15^{\circ}$ 以內에 드는 觀測所의 資料를 모아서 美國의 Boulder의 Essa에서 Dst指數도 發行하고 있다. 이것은 放射線帶에 있는 電流係에 의해서 만들어지는 所謂 環狀電流係의 모양이 잘 나타내는 地磁氣指數의 一種이다. 分析에서는 電離層의 攪亂時에 나오는 地磁氣의 相關關係만을 보기위하여 Kp 指數를 採했다. 이 指數는 攪亂에 따라  $0^{\circ}$ 로부터  $9^{+}$ 에 이르는 27個의 等級符號로 되어있다.

#### 4. 太陽電波

太陽電波의 에너지는 現在로서는 地球의 어떤 現象에 影響을 줄만큼 큰것이 아니며 따라서 太陽黑點과 마찬가지로 太陽活動을 表示하는 指數의 一種으로 받아 들여지고 있다. 太陽電波에는

· 地上에서 觀測可能한 Microwave (波長 1 cm) Decimetre wave (波長 10 cm) 그리고 Metric wave (波長 1 m) 등 세 가지가 있다. 太陽電波의 周波數 Spectrum은 太陽의 活動에 따라 敏感하게 變한다. 특히 Solar flare가 發生할때는 Burst라고 불리워지는 太陽電波의 急激한 增加가 記錄되고 있다. 여기서는 Canada의 Ottawa에서 常時 觀測되는 10.7 cm (2800 MHz) 波의 強度를 太陽 黑點과 함께 電離層變化의 相關關係를 調查하는데 使用했다.

## 5. 宇宙線

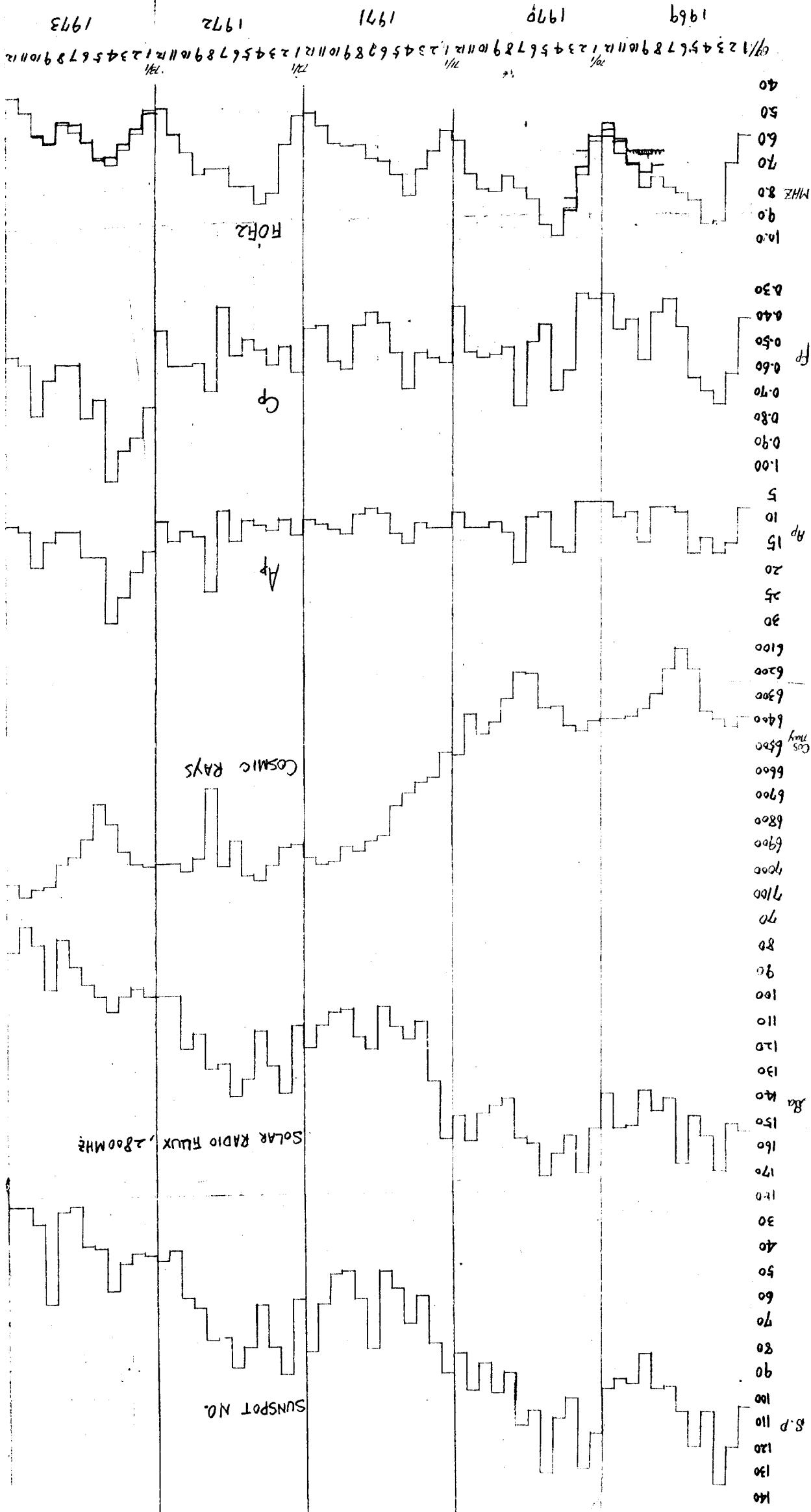
Solar flare에 의한 太陽風이 地球를 돌러싸면 宇宙線의 減少가 나타난다. 이것을 最初의 発見者의 이름을 따서 Forbush 減少라고 부른다.

이것은 갑자기 강해진 感星間空間의 磁氣場때문에 宇宙線粒子的 侵入을 막는 차폐效果가 일어나기 때문이라는 것이 定說로 되어있다. 一般的으로 Magnetic Storm의 크기와 Forbush 效果의 크기에는 1對1의 対応關係가 전혀없고 各各 減少를 이끄는 機構가 전혀 다른 것으로 받아 들여지고 있다.

電離層攪亂과의 關係는 아직도 전혀 研究者가 없는 形편이다. 그러나 Magnetic Storm, 電離層攪亂, Forbush 減少사이에는 우연의 一致라 보기에는 전혀 납득하기가 힘든 時間의 一致를 볼 수 있다. 本分析에서는 世界 約60個所의 觀測所中 가장 施設이 잘 되어있어서 統計的 요동이 가장 적은 Canada의 Deep River 宇宙線觀測所의 資料를 使用하였다.

## IV. 結果 및 論議

### 1. 正常狀態의 電離層



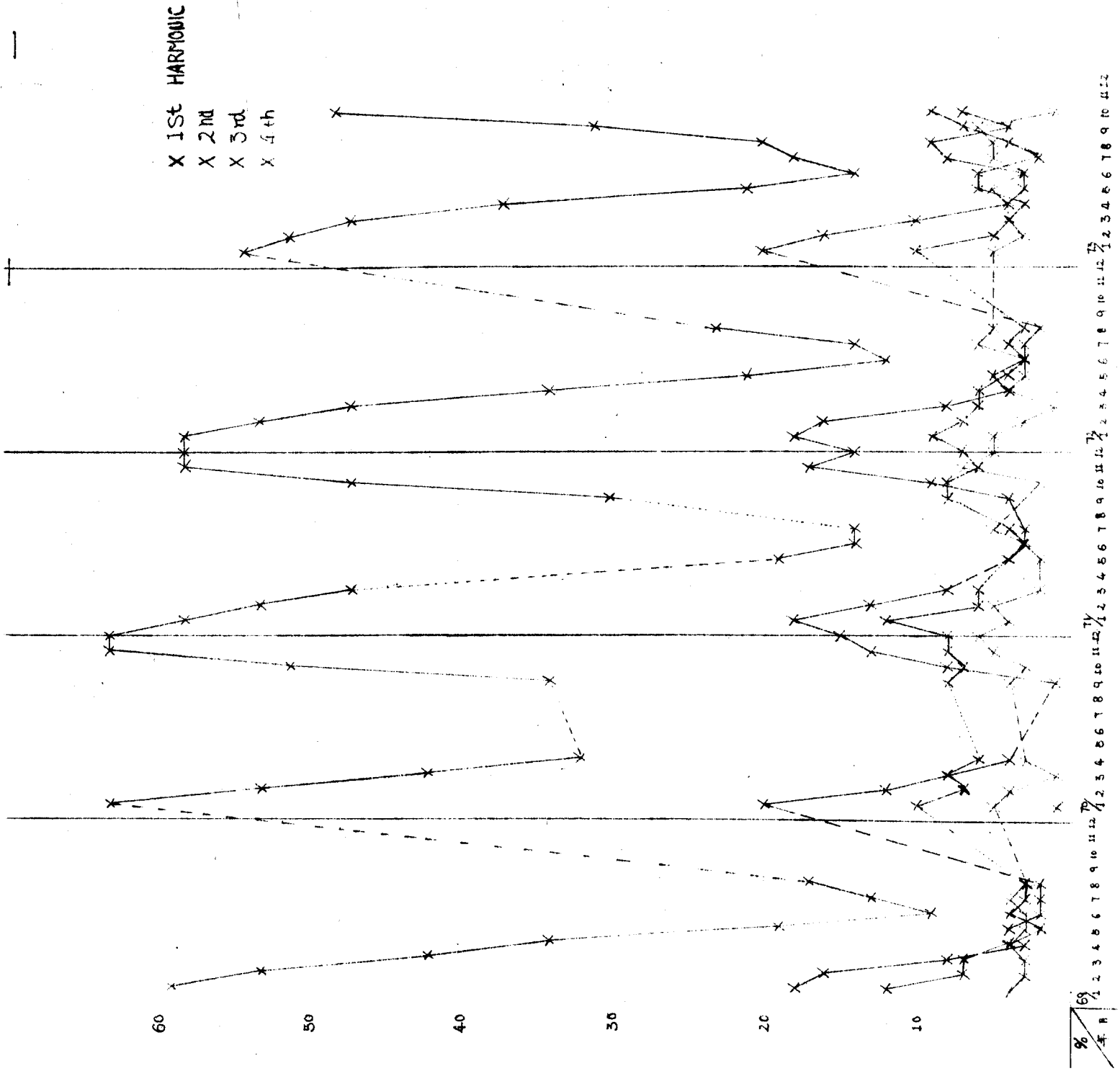
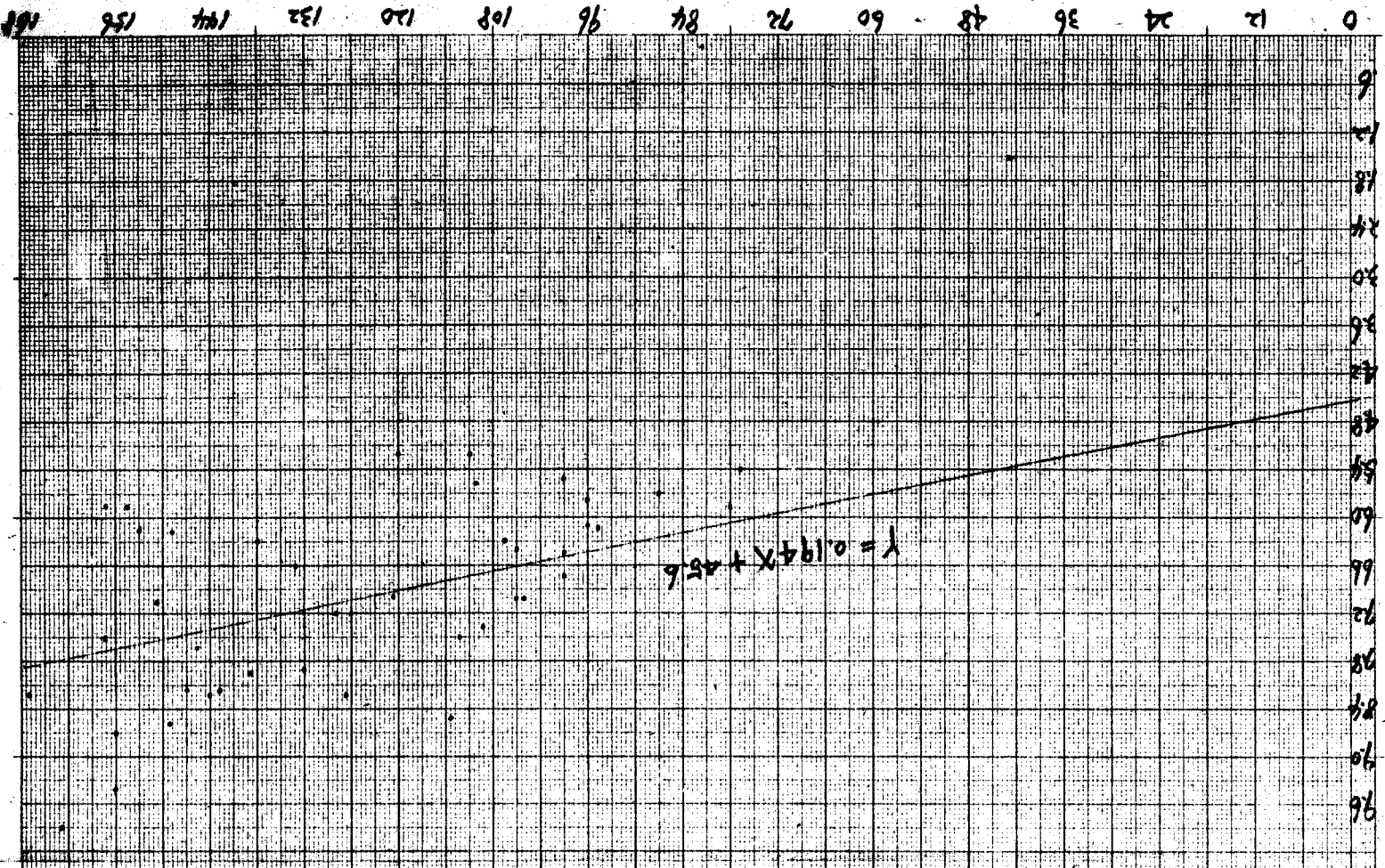


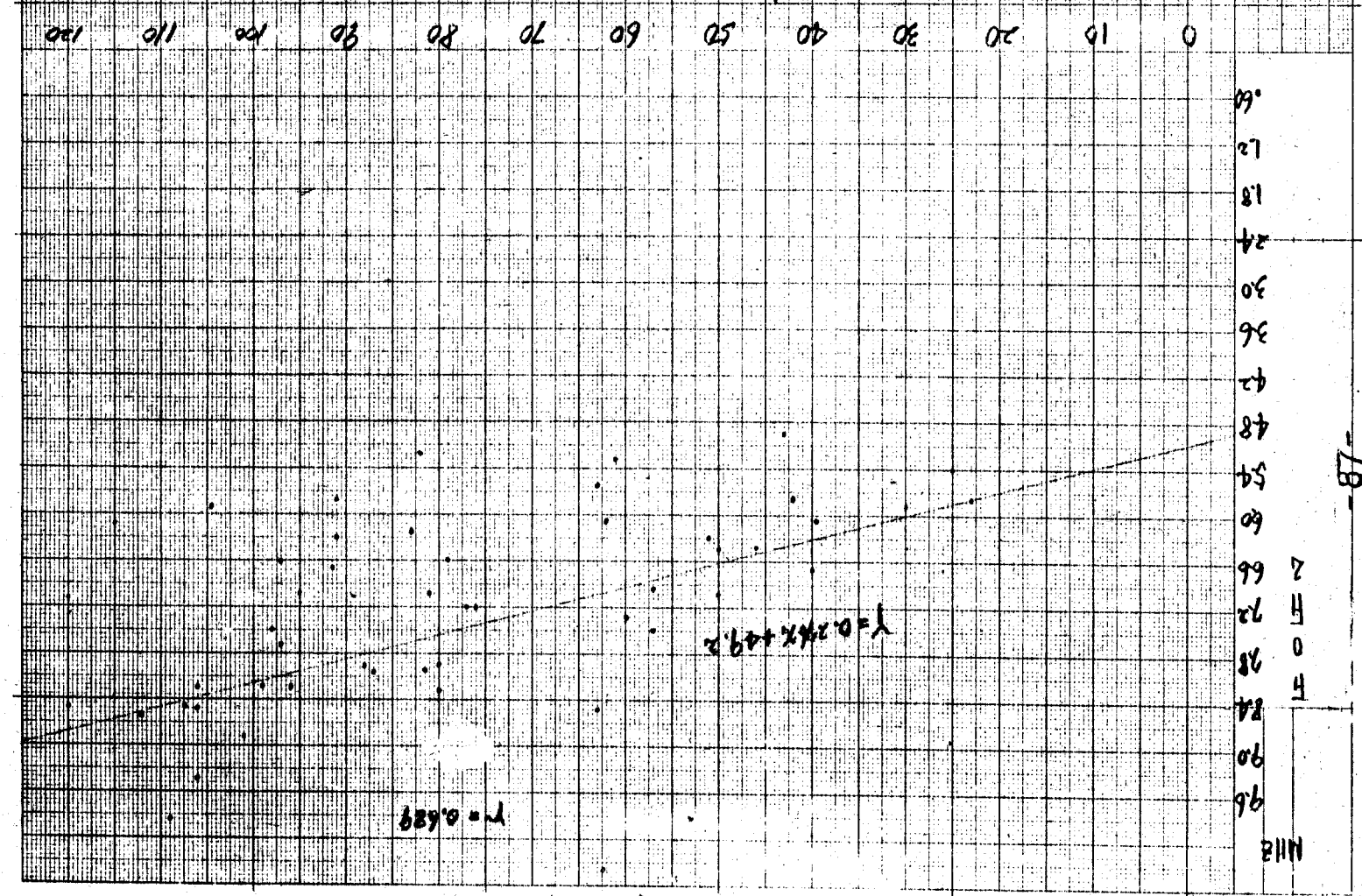
Fig 3-2

SOLAR RADIO FLUX at 2800 MHz



$r = 0.417$

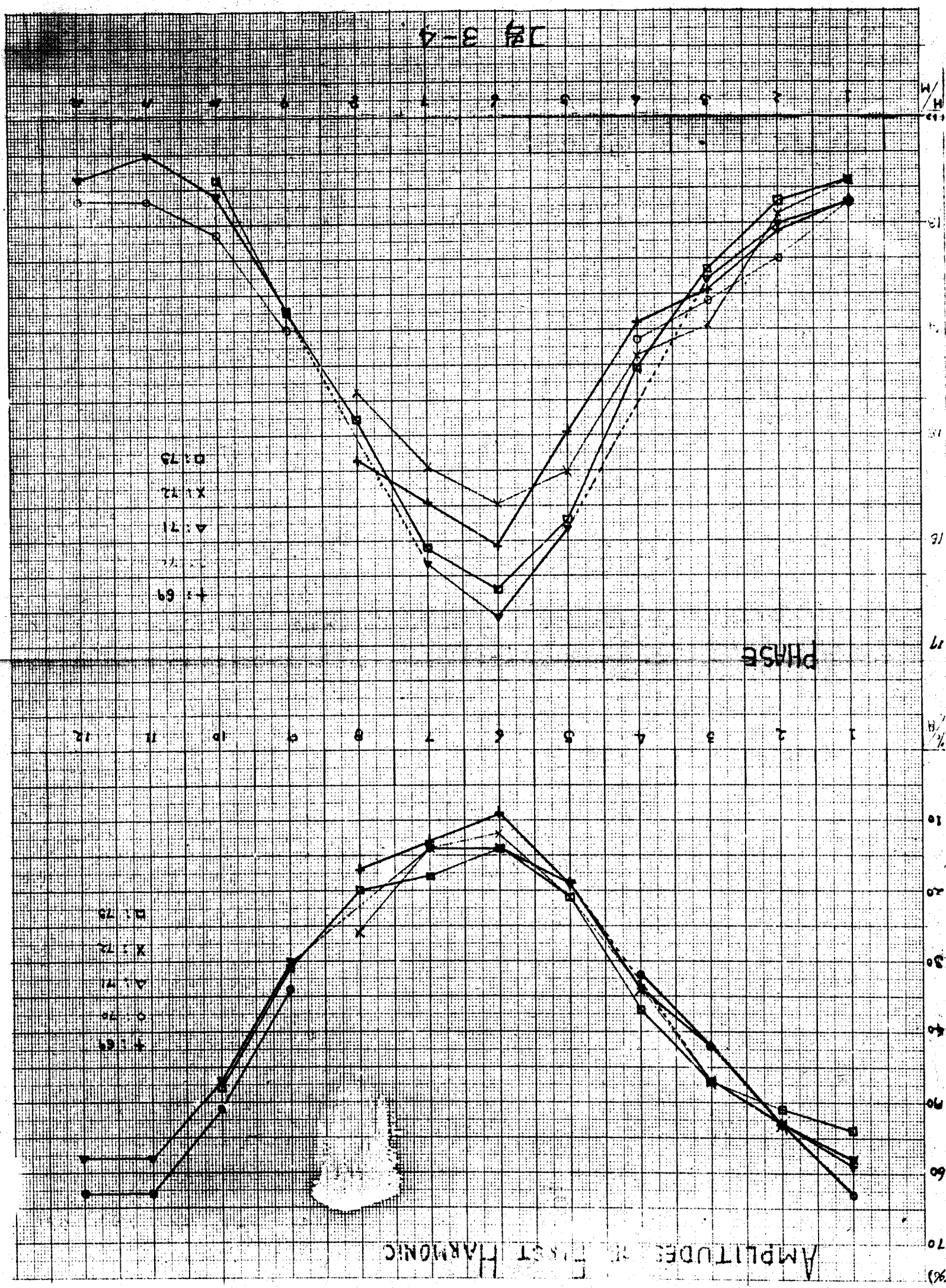
SUNSPOT NO.

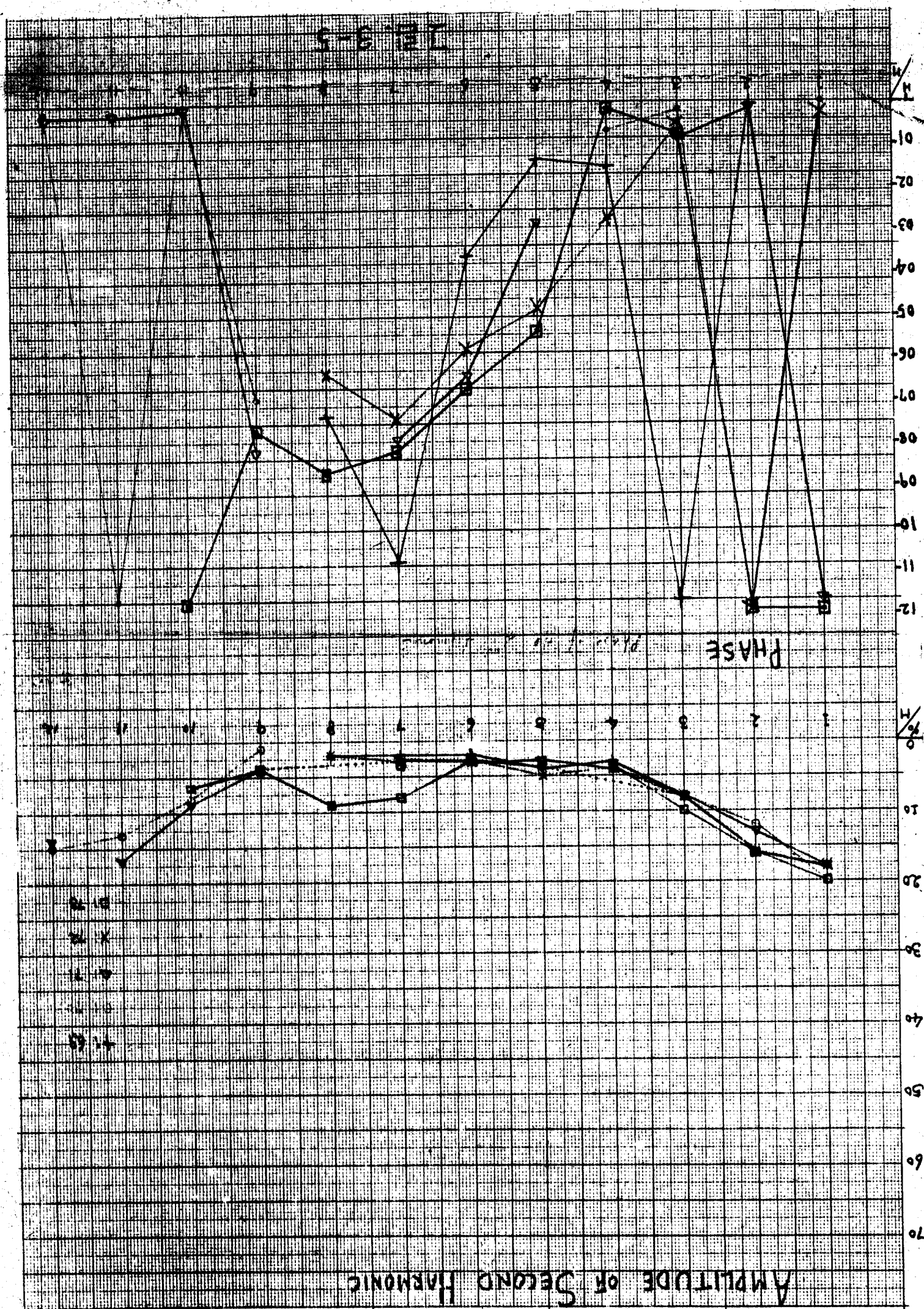


$r = 0.629$

2800 MHz

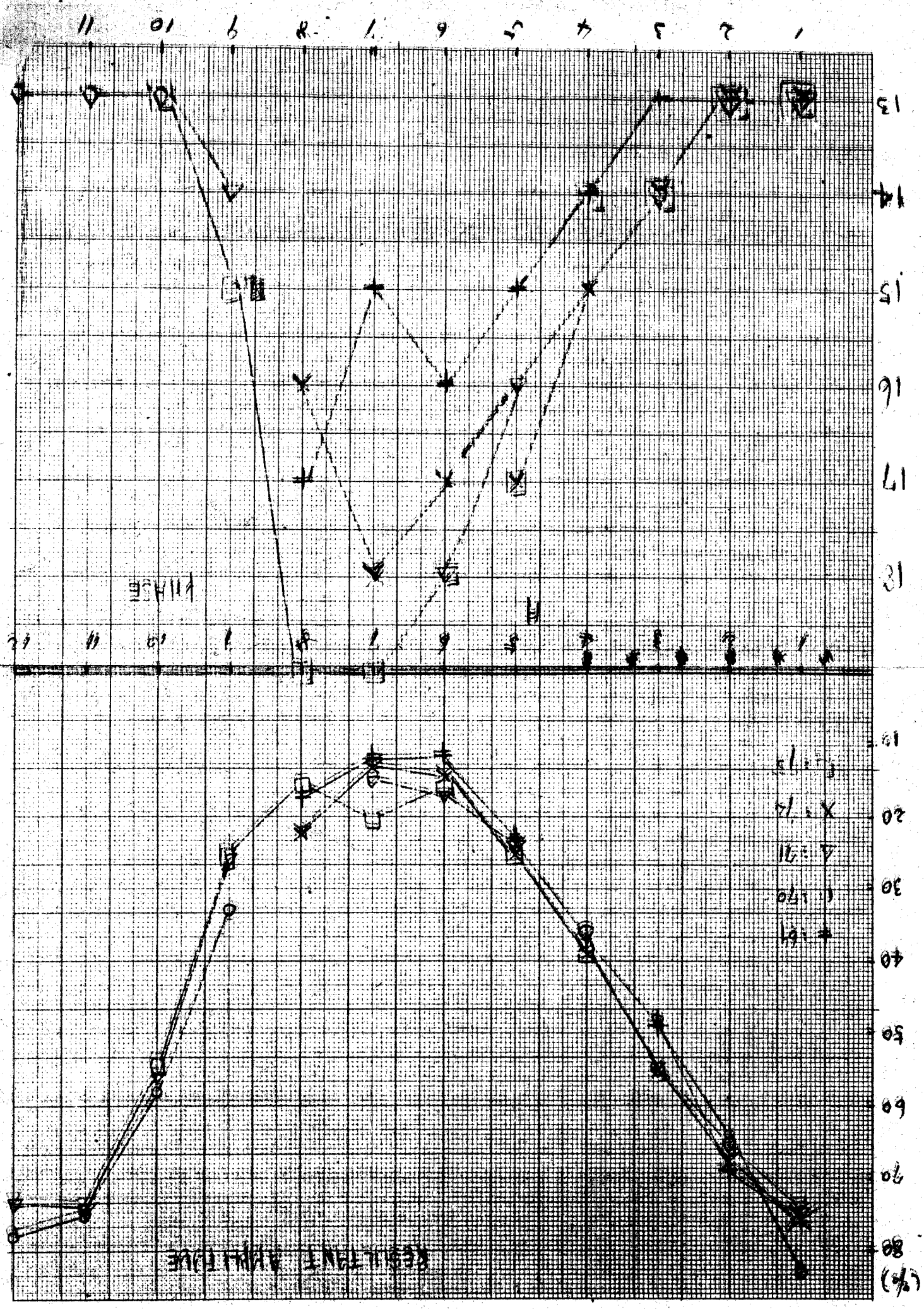




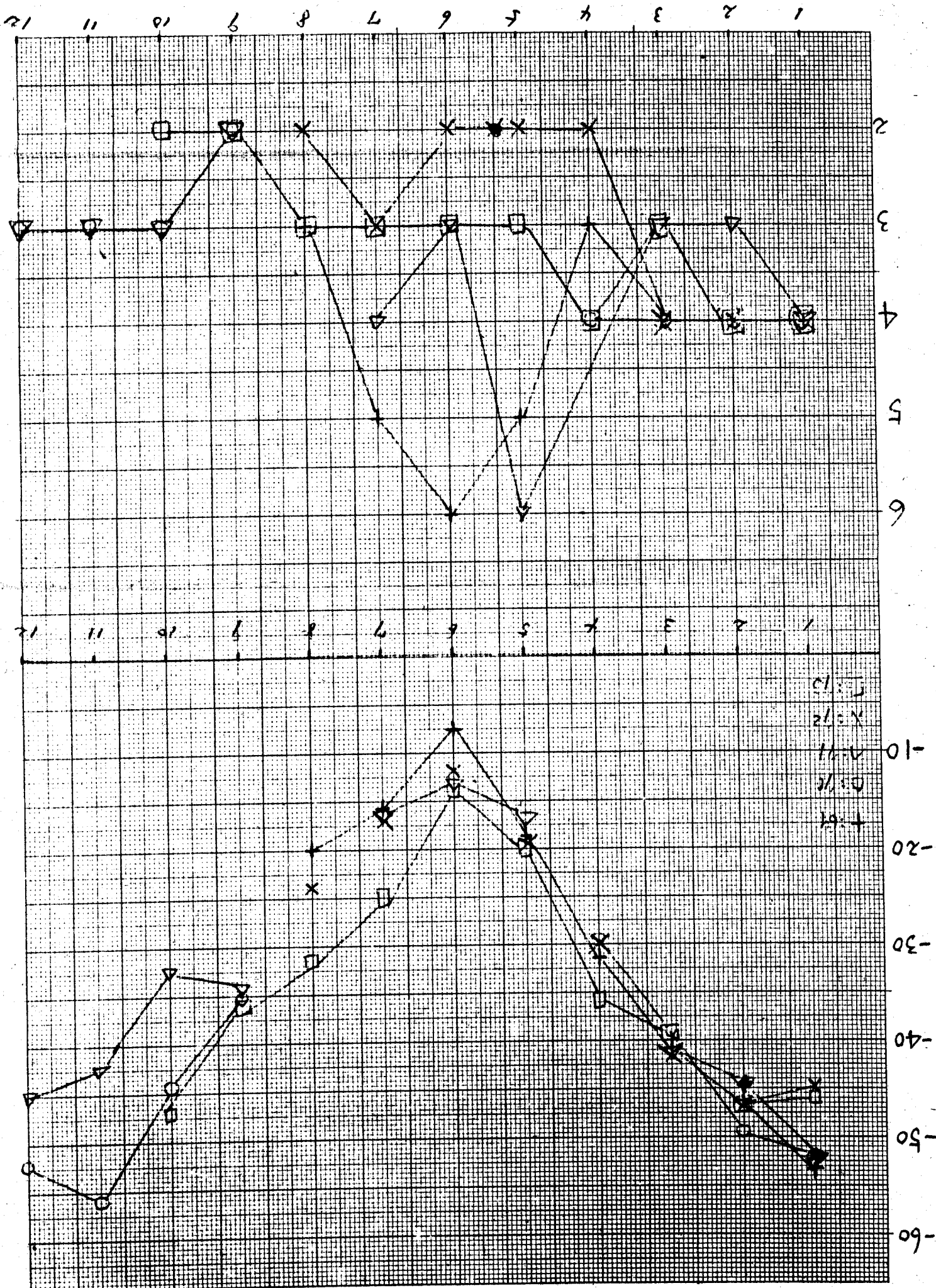




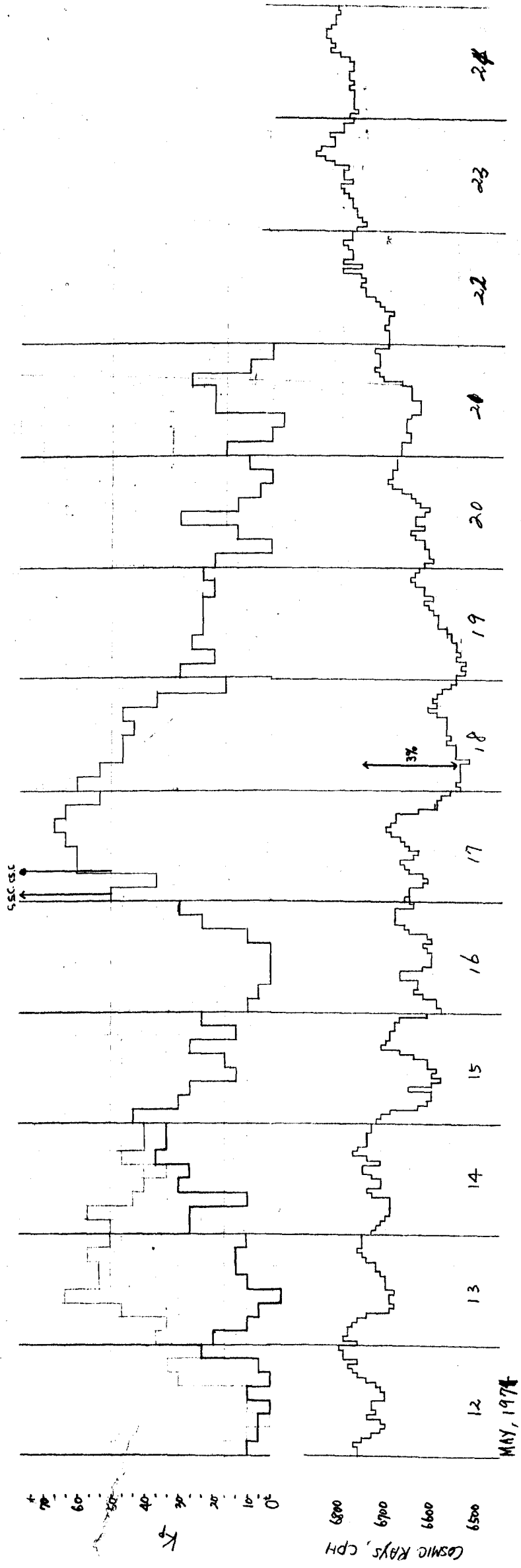
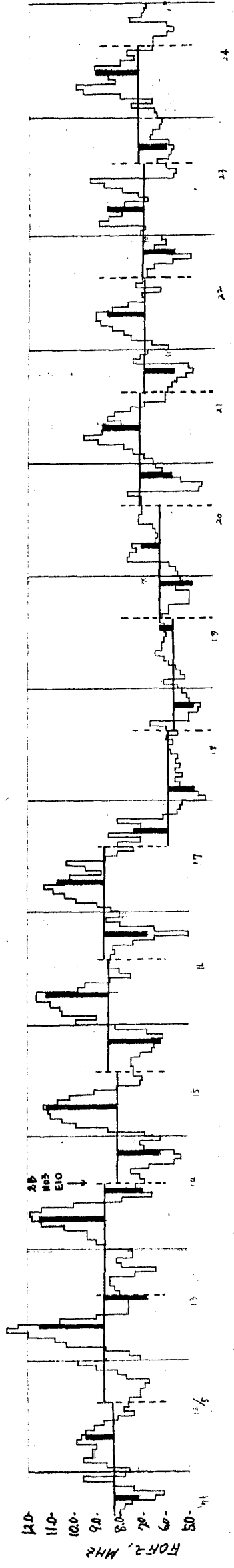
24 3-3



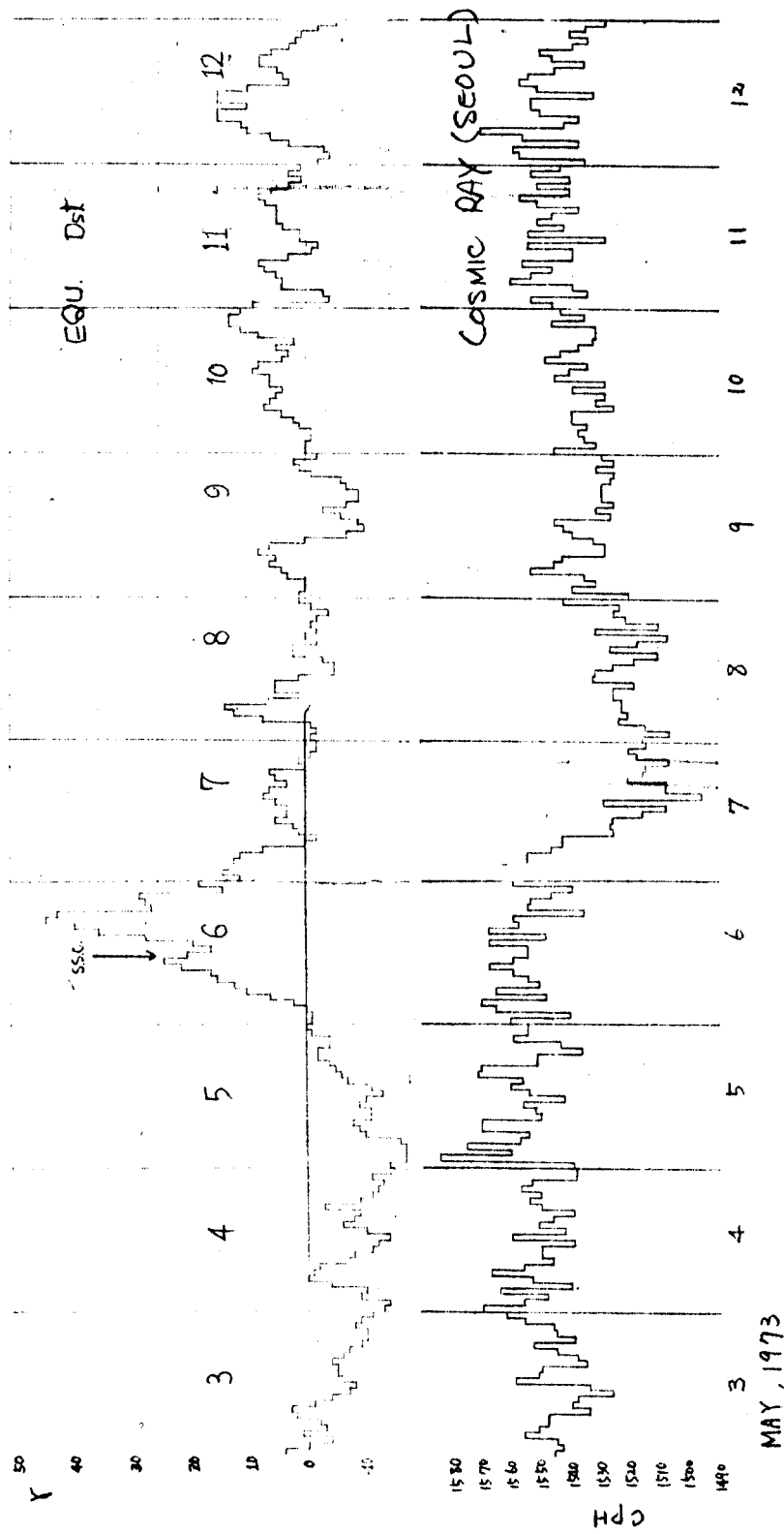
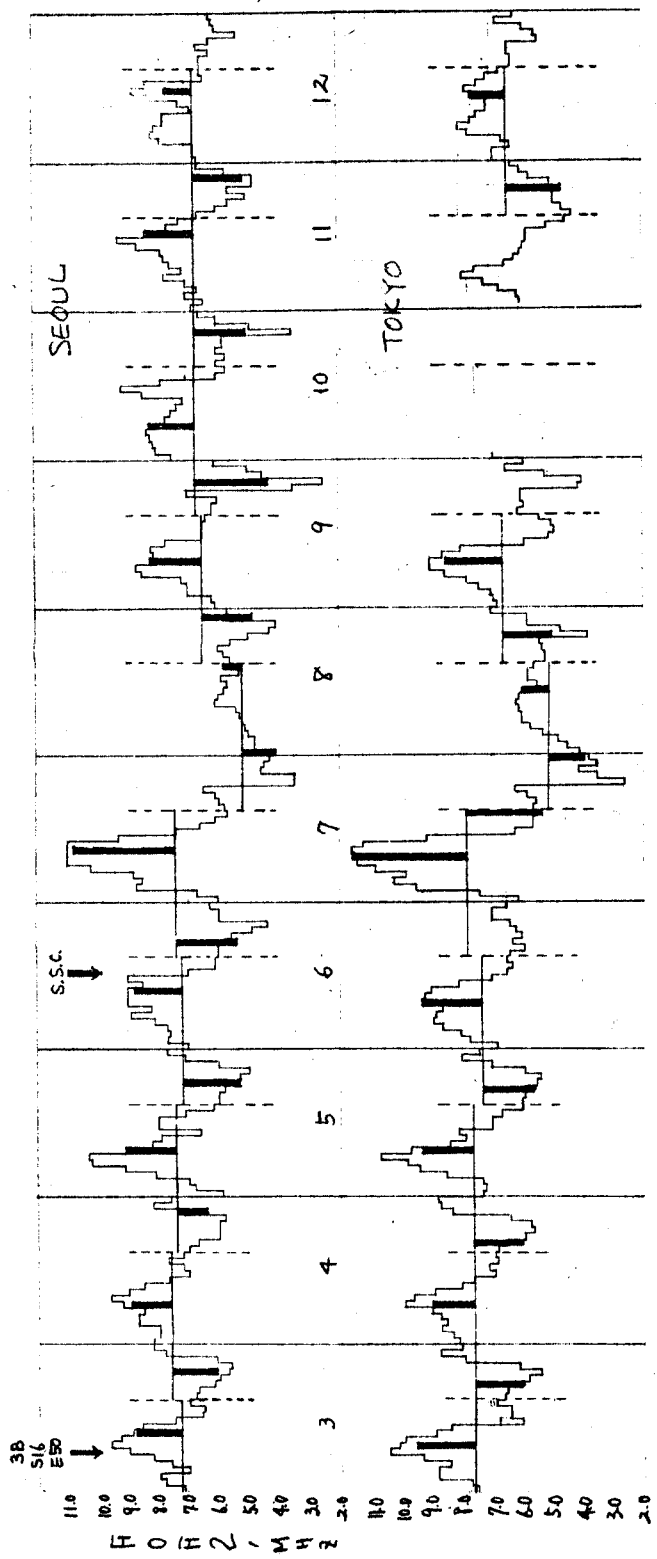
1-3 日







工 司 . 9



二二 10

그림 3 - 1 은 本分析에서 使用한 全期間동안의 太陽黑点数, 2800 M HZ 의 太陽電波, 宇宙線, 地磁氣의  $A_p$  指數 및  $C_p$  指數 그리고 電離層의  $f_o F_2$  資料의 月別 平均値를 보여주고 있다.  $f_o F_2$  의 實線은 Kokubunji이며 點線은 Seoul의 資料이다. 太陽黑点数과 太陽電波는 正의 相關이 있고 黑点数과 宇宙線強度는 逆相關이며 地磁氣의  $A_p$  및  $C_p$  指數는 별로 相關을 보이지 않고 있다.  $f_o F_2$  는 季節變化를 除外한다면 다시 말해서 年平均 같은것을 使用하면 좋은 正의 相關을 보여줄것 같다. 그림 3 - 2 에 太陽黑点数과  $f_o F_2$  그리고 太陽電波強度와  $f_o F_2$  의 相關度를 그려 놓았다. 黑点数과  $f_o F_2$  사이에는 0.689 의 상당히 큰 相關係數를 갖고 있는 것으로 보아 層은 相關에 있다할 것이다. 그러나 이것은 어디까지나 月別平均値의 統計的 性質이고 個個의 날이나 現象으로 본다면 반드시 層은 相關을 보여주고 있다고 못할 것이다. 앞에서 쓴것처럼 太陽電波는 에너지가 적어서 어떤 現象에 影響을 주지 못하지만 太陽의 活動의 하나의 指數로서는 쓸만할것 같다는 것이 그림 3 - 2 의 아래 相關도로부터 알수 있다. 즉 年平均値로 본다면 相關係數의 값은 훨씬 더 커질것 같다.  $f_o F_2$  의 값의 太陽黑点数에 대한 關係式은  $f_o F_2$  의 값 =  $0.26 \times \text{黑点数} + 4.9 \text{ M HZ}$ ,  $f_o F_2$  의 값의 太陽電波에 대한 關係式은  $f_o F_2$  의 값 =  $0.19 \times \text{太陽電波의 세기} + 4.5 \text{ M HZ}$  와 같이 주어진다. 이것이 太陽黑点数의 極大數에서 下降期에  $f_o F_2$  의 값과 相關임으로 주의를 요한다. 黑点数上昇期에는 또 다른 값을 갖게 될 것이다. 자세한 개개의 값은 附錄에 주어지고 있다. 그림 3 - 3 은 月別中央値의 分析의 結果를 보여주고 있다. 이것은 구한 Harmonic 의 振幅의 값이 全期間을 通해서 어떻게 변하는가



를 보여주고 있다. 一年동안의 變化는 63 %에서 12 %의 큰 값을 第一 Harmonic 이 보여주고 있으며 第二 Harmonic 은 最高 20 % 最低 1 %까지의 값을 나타내고 있다. 第三, 第四 Harmonic 에 비해 微少하다. 그리고 黑点数가 減少함에 따라 第一 Harmonic 의 振幅도 역시 減少하는 傾向을 나타내고 있는데 반해서 第二 Harmonic 이상의 高調成分은 黑点数 相關이 없다. 또 하나 特記할 事項은 第二 Harmonic 의 값이 冬節에만 현저하고 夏節에는 例外없이 第三 第四 Harmonic 의 값과 大同小異하게 작다는 点이다. 그림 3 - 4 는 第一 Harmonic 의 값이 全期間동안 一年 變化를 어떻게 하고 있는가를 보여주고 있는 것이다. 北半球에 있는 觀測所이기 때문에 日射時間이 많은 夏節에 振幅이 작아지고 位相은 늦어질 것이라는 것은 豫測했던 대로이다. 그림 3 - 1 에 의하면  $f_0$ ,  $F_2$  값의 最大值는 4 월에 나타내는데 반해서 日中變化의 振幅의 最大는 11 월, 12 월과 1 월에 있음을 알 수 있다. 位相이 늦어짐에 따라 振幅은 줄고 6 월에 振幅은 最少가 되고 位相은 늦어진다. 位相이 빨라짐에 따라 다시 振幅은 커지기 시작한다. 電子密度가  $\cos \chi$  에 비례하는 (5) 式의 結果를 잘 보여주고 있다. 그림 3 - 5 는 第二 Harmonic 의 日中變化의 振幅을 一年 變化로 표시한 것이다. 그리고 아래 그림은 位相의 變化를 보여주고 있다. 一年中 振幅變化가 2.5 % ~ 20 %로서 第一 Harmonic 의 값의 9 % ~ 40 %가 되며 季節變化를 보여주고 있다. 그러나 位相은 10 월, 11 월, 12 월, 1 월, 2 월, 3 월 등 6 個月間의 대략 冬節에 해당하는 期間에 심하게 요동을 하고 있어서 定義하기가 어렵다. 반면 夏節期間동안 즉 振幅이 적을 동안은 定義하기가 쉬움다. 그러나 이 期間동안은 第一 Harmonic

에 비해서 第二 Harmonic의 값이 매우적다. 그러나 規則的인 變化는 認定될 수 있다. 그림 3-6은 第一 Harmonic과 第二 Harmonic의 合成의 結果를 表示한 것이다. 위그림은 合成波의 振幅이고 아래것은 位相이다. 振幅에 비해 位相은 훨씬 덜 定義되고 散亂이 심한 것은 日中變化의 變化性 (Variability)에 더욱 가까운 表示方法을 使用했기 때문일 것이다. 이것은 極小時間을 보여주는 그림 3-7의 아래 그림을 보면 더 심한 것을 알 수 있다. 黑点数가 큰 期間인 69年, 70年, 71年은 (5)式的  $\cos x$  法則을 잘 만족한것 같으나 黑点数가 적어지는 72年, 73年에는 전혀 만족치 않고 散亂이 심하다. 電離層의 形成 特히  $F_2$  層은 거의 日射에 의존하고 있으므로 (第 Harmonic로 보아) 其他 例를 들면 X-線이나 宇宙線 혹은 이들로 해서 생기는 中性大氣의 바람系 (Wind System) 등의 日射以外の 電素들이 第二 Harmonic 以上の 高調項에 미치는 影響은 추후에 더 檢討되어야 할 것이다.

## 2. 擾亂狀態의 電離層

電離層 擾亂에는 두가지가 있다. 첫째는 Solar flare 直後 30分 以内に 일어나는 所謂 SID (Sudden Ionospheric Disturbances)로서 flare로 생긴 極紫外線과 X-線 및 太陽宇宙線의 增加로 D層의 電離가 增加하여 생기는 短波帶吸收 (Short wave fade out) 즉 SWF 極域에서의 宇宙雜音의 強度低下 (Sudden Cosmic Noise Absorption) SCNA, 空電強度의 增加 (Sudden Enhancement of Atmospherics) SEA 등이 일어난다. 이것은 Solar flare가 꺼지고 나면 따라서 消滅되는 短期間の 現象이다. 이 SID 現象은 주로 낮은 D層에서의 効果이고 높은

F層에서는 별로 影響이 나타나지 않는 것이다. Solar flare로부터 惑星間 空間內로 放出되는 強한 磁場과 太陽風이 地球磁氣圈內로 도입해 들어옴으로 해서 생기는 F層攪亂은 오래전부터 많이 研究되어 왔다. 이곳을 支配하는 物理的 要素 즉 大氣密度와 組成 및 溫度, 侵入해 들어오는 粒子들 그리고 이들 사이의 電磁氣學的 過程들은 아직껏 잘 理解되지 못하고 있다. 그러나 지금까지 나온것 中에서 가장 그럴듯한 理論은 이 項에서 Magnetic storm이 일어날때 大氣溫度的 上昇이 일어나고 이것 때문에 電子密度的 變化가 생기는데 하다는 理論이다. 이 때의 溫度上昇이 電離層內에서 생기는 電流系의 Joule 熱에 의한 것인지 侵入해 들어온 粒子나 磁氣圈에서의 熱의 흐름에 의해서 인지는 그 理由를 아직은 잘 모르고 있다. 地磁氣攪亂, 電離層攪亂 그리고 宇宙線의 Forbush 減少 사이에는 時間의 一致 다시 말하면 이들의 同時에 일어나고 있다는 큰 特色을 갖고있다.

時間의 前後關係를 살펴보기 위해서 몇개의 Case Study를 해보겠다.

(1) 1969年 6月3日 ~ 22日 (그림 3 - 8)

이期間이 現太陽周期 第20 동안에 가장 黑點數가 많았던 때로 최고 190에 이르던 때이다. 이때의 F<sub>2</sub> 層의 臨界周波數와 地磁氣의 Kp 指數 그리고 宇宙線의 強度 變化를 時間에 對해서 비교하여 그린것이 그림 3이다. 臨界周波數위에 쓴것은 Solar flares의 Importance와 發生緯度 經度 그리고 화살표로 發生時間을 표시하고 있다. 實線은 GMT 時間을 표시하며, 點線은 KST 時間을 表示한다. 하루에 하나씩 그려진 橫線들은 그날의 平均值를 말하며 이것을 基準으로 日中變化의 調和分析를 했고 第1 harmonics와 第2 harmonics의 合成波의 極大振幅과 位相 그리고

極小振幅과 位相의 값이, 작은 垂線으로 每日每日에 그려져 있다.  
 위로 그린것이 極大를 표시하고 아래로 내린 垂線은 極小를 말한다.  
 Kp 指數는 3時間마다의 값이고 宇宙線은 時間當計數値를 그린  
 것이다. Solar flares는 5日 10時와 14時 (GMT)에 가장 큰  
 것중의 하나인 3 B와 2 B가 바로 이웃한 곳에서 發生했다. 그  
 리고 또 하나 6日날 16時에 조금 떨어진 곳에서 flares가 發  
 生했다. 첫번째 flares로부터 68時間만에 그리고 세번째것으로  
 부터는 38時間만에 강해진 太陽風이 磁氣圈의 前後에 도달하여  
 磁氣圈에 S.S.C (Sudden Storm Commencement)를 8日 05時에  
 이르고 있다. 그러나 宇宙線減少는 S.S.C 보다 7時間 빠른  
 7日 22時에는 4日, 5日 頃부터 거의 攪亂에 가까운 狀態가 始  
 作되었고 攪亂의 시작을 定義하기가 困難하다. 그러나 이미 8日  
 서부터 臨界周波數의 값이 낮아지고 9日 (KST)에는 極大時間과  
 極小時間이 뒤바뀌는 所謂 位相反轉이 나타나고 있다. 이것은 10  
 日에는 다시 攪亂狀態以前으로 回復되고 있으므로 13日까지 繼續  
 되고 있다. 그러나 地磁氣와 宇宙線은 아직도 繼續해서 攪亂狀態  
 에 있다. 11日 16時 (GMT)에 다시 큰 flare가 發生했다.  
 이것은 5日, 6日에 flare를 만든 部分이 太陽의 自轉으로  
 West 20度에 도달해서 다시 爆發했다. 이것은 43時間만에 13日  
 19時에 S.S.C를 만들었고 첫번째보다 振幅이 크지는 않지만  
 14日~18日까지 持續되는 攪亂을 만들고 있다. 14, 15, 16,  
 17日까지 연사활동동안 位相反轉이 일어나고 있지만 地磁氣攪亂과  
 宇宙線減少等은 여전히 첫번째 flare의 影響을 그대로 받고있다.  
 세번째 電離層攪亂은 21日에 일어나고 역시 位相反轉이 일어나고  
 있으며 이것을 만든 Solar flare는 18日 17時 (GMT)에

中間程度의 크기로 일어나고 있다. 地磁氣는 S.S.C 도 擾亂도 별로 없다.

(2) 1971年 5月12日~24日(그림 3-9)

이 期間동안은 단 한개의 Solar flare 만이 나타났다. 그것은 黑点数 70 정도 中位의 Solar activity 를 나타내주고 있을 때이기 때문이다. 14日14時(GMT)에 太陽面 北緯3°, 東經 10°에서 重要度 2B로 일어난 Solar flare 는 55時間에 磁氣圈에 도달하여 S.S.C를 일으키고 20時間後인 17日 21時부터 F<sub>2</sub>層의 擾亂을 일으키고 있다. 18日, 19日, 20日 사흘 동안 位相反轉과 f<sub>o</sub>F<sub>2</sub>의 約42% 減少가 나타나다가 21日부터 正常으로 回復되어가고 있다. 地磁氣指數 Kp는 Case(1) 때와 마찬가지로 初期에만 擾亂을 보여주다가 후에는 원상으로 거의 回復되고 있다. 宇宙線은 이번에는 二段階減少를 보여주고 있다. 즉 Solar flare로부터 13時間後인 15日3時(GMT)부터 減少가 시작되고 현저한 日變化를 보여 주다가 F<sub>2</sub>層의 減少 시작과 거의 同時에 즉 17日 20時(GMT)에 다시 擾亂이 시작되고 있다.

(3) 1973年 5月3日~12日(그림 3-10)

여기에서는 Seoul의 電離層과 宇宙線資料가 쓰이고 있고 地磁氣指數도 Kp가 아니고 D<sub>st</sub>를使用했다. 이 時期에는 平均太陽黑点数 30으로서 거의 太陽活動을 보기가 어려운 시기이다. 그림에도不拘하고 3日6時(GMT)에 南緯7°, 東經50°에서 近来 가장 큰 太陽面爆發(Solar flare)이 일어났다. 78時間만인 6日12時(GMT)에 S.S.C를 만들고 19時間後에는 宇宙線減少가 始作된다. 서울의 宇宙線은 約3%, f<sub>o</sub>F<sub>2</sub>는 50%의

減少와 位相反轉을 보여준다. 지금까지의 Case study를 보면 경우에 따라 여러가지 形態로 擾亂이 發生하는 것을 보았다. 그러나 여기에서 몇가지의 共通點을 내 본다면

① Solar flare는 東半球에서 보다 西半球에서 잘 發生하는 것이 地球上에 더 빨리 전달된다. 그러나 東半球의 flare가 보다 큰 擾亂을 만든다.

② 地磁氣의 擾亂이 가장 빨리 나타나고 다음의 宇宙線 막으로 F<sub>2</sub>層에 온다.

③ F<sub>2</sub>層의 擾亂中에는 例外없이 位相이 反轉된다.

④ F<sub>2</sub>層의 f<sub>o</sub>F<sub>2</sub> 減少는 언제나 40%以上에 달한다. 반면 宇宙線은 3%内外의 減少가 있을 뿐이다.

⑤ 가장 回復이 빠른것은 地磁氣 Kp 指數, F<sub>2</sub>層 그리고 宇宙線의 順이다.

⑥ S.S.C나 宇宙線 減少를 隨反하지 않는 F<sub>2</sub>層 擾亂도 있다.

지금까지 살펴본대로 地磁氣, 電離層, 宇宙線등의 擾亂은 太陽活動에 의해서 커진 太陽風 에너지가 惑星間空間과 地球의 超高層大氣에 傳達됨으로 해서 생긴다는 것을 알았다. 에너지 面에서 볼때 擾亂동안 磁氣圈尾部和 前面部の 中性點을 통해서 들어오는 에너지가 각각  $10^{18}$  erg/秒로 대개 環狀電流系와 極光에 供給되는 量과 비슷하여 說明이 된다.

地球의 表面과 磁氣圈에서의 磁氣場의 變化는 磁氣圈 바로 밖에서의 電流, 環狀電流, 尾部電流, 電離層電流 그리고 磁氣圈과 電離層 사이에서 흐르는 電流등이 關여한다. 電離層의 擾亂은 세가지로 알려져 있다. 즉 f<sub>o</sub>F<sub>2</sub>의 減少(따라서 NmF<sub>2</sub>의 減少)와 增加 이것은 S.S.C가 나타나고 나서 곧 바로 나타나는 것이고 세번

제는 S.S.C가 있고 나서 여러 시간이 지나고 나서 나타나는 擾亂이다. 우리가 本分析에서 다룬 問題는 세 번째 것이다. 超高層大氣의 溫度가 地磁氣擾亂과 함께 上昇하는 것이 가장 중요한 理由가 된다. 溫度에 銳敏한 電離이온의 解離와 再結合係數 그리고 上昇하는 溫度때문에 高層大氣의 膨脹이 電子密度的 減少를 가져온다. 超高層大氣溫度的 上昇은 荷電粒子的 侵入으로 짐작할 수 있지만 그 理由를 잘 모르고 있다.

#### V. 結 論

太陽光中 紫外線에 의하여 主로 形成된 電離層은 X一線, 宇宙線粒子 및 太陽風粒子들에 의해서 擾亂된다. 이들 荷電粒子가 超高層大氣에서 어떤 구실을 함으로서, 아마도 Joule 加熱에 의한 것으로 일어나는 것으로 생각된다.

이때 磁氣場과 電離層의 이온이나 電子들의 運動과는 密接한 關係가 있다.

이들 荷電粒子들은 Solar flare로부터 나온것으로 에너지에 따라 여러가지 形態로 傳達되온다. 그리고 傳達機構에 크게 關여하는 것은 惑星間空間의 磁氣場이다. 地磁氣, 電離層, 宇宙線등은 擾亂의 形態, 始作 時間 및 持續時間, 回復狀態등에 깊은 類似性이 있다. 이들의 觀測結果는 서로 相補的이기 때문에 共同의 努力이 기울여져야 한다.

参考文献

1. RADIO WAVE PROPAGATION AND THE IONOSPHERE, by YA. L. ALPERT, USSR ACADEMY OF SCIENCES PRESS, MOSKOW, (1960)
2. PHYSICS OF THE UPPER ATMOSPHERE, by J. A. RATCLIFFE, ACADEMIC PRESS, NEW YORK (1960)
3. PHYSICS OF GEOMAGNETIC PHENOMENA, by MATSUSHITA AND CAMPBELL VOL. I ACADEMIC PRESS, NEW YORK (1967)
4. COSMIC ELECTRODYNAMICS, by J. H. PIDDINGTON, JOHN WILEY & SONS, INC, NEW YORK. (1969)
5. 宇宙空間物理学, 大林辰蔵著, 裳華房刊 東京, (1974)
6. 超高層大気の物理学, 永田式, 等松隆夫著, 裳華房刊, 東京, (1974)
7. A STUDY OF THE MORPHOLOGY OF IONOSPHERIC STORMS, S. MATSUSHITA, JOUR OF GEOPHY, RES, 64, 305 (1959)
8. THEORETICAL MODELS OF IONOSPHERIC STORMS, N. MATUURA SPACE SCIENCE REVIEW, 13, 124 (1972)
9. ON THE EXPLAINING THE BEHAVIOUR OF THE IONOSPHERIC F-REGION, H. RISHBETH, REVIEWS OF GEOPHYSICS, 6, 33 (1968)
10. THE CALCULUS OF OBSERVATIONS, E. T. WHITTAKER, G. ROBINSON, 2ND EDITION, D. VAN NOSTRAND CO. INC, NEW YORK, (1948)



附錄 1

年 月	月中央值(MHZ)	黑 点 数	太陽電波束	宇宙線強度
1	5.9	104	154	6394
2	7.0	120	151	6430
3	9.3	135	170	6398
4	9.4	106	156	6372
5	8.5	120	148	6198
6	8.2	106	167	6122
7	8.0	96	141	6199
8	7.6	67	146	6299
9	8.0	83	138	6363
1970. 10	7.0	95	152	6391
11	6.7	93	153	6401
12	6.0	97	139	6399
1	6.2	115	153	6407
2	7.5	129	171	6454
3	8.8	101	156	6427
4	9.9	109	163	6354
5	9.4	131	172	6358
6	8.4	106	159	6216
7	8.0	112	157	6215
8	7.5	91	141	6316
9	8.2	99	144	6414
10	8.1	87	147	6458
11	7.5	98	158	6377
12	6.3	83	148	6537
1971. 1	5.8	91	157	6534
2	6.6	79	134	6630
3	7.3	60	110	6654
4	8.3	71	117	6687

年 月	月中央値 (MHZ)	黒 点 数	太陽電波束	宇宙線強度
1971. 5	7.5	57	112	6741
6	7.0	50	104	6855
7	6.9	81	121	6876
8	6.3	61	116	6915
9	6.4	50	105	6897
10	6.3	51	106	6956
11	5.6	63	111	6967
12	5.1	82	120	6935
1972. 1	5.2	61	111	6889
2	6.3	91	138	6897
3	8.2	80	127	6971
4	8.6	63	113	7032
5	7.9	80	132	7006
6	7.9	88	139	6872
7	7.2	76	126	6973
8	7.2	77	128	6664
9	7.4	64	114	6937
10	6.5	60	120	6988
11	5.8	41	99	6964
12	4.8	45	99	6963
1973. 1	4.9	43	99	6970
2	5.8	42	96	6962
3	6.4	46	99	6910
4	7.0	57	105	6797
5	6.7	40	99	6719
6	6.1	39	94	6857
7	5.7	23	87	6929
8	5.4	25	76	6961
9	6.1	62	96	7047
10	5.8	30	78	7058
11	4.9	23	71	7083
12	4.3	23	81	7038