

宇宙開発委員会報告資料

昭和52年8月10日

技術試験衛星II型(すく2号)のミリ波伝搬実験

(遠報)

郵政省 電波研究所

## 技術試験衛星Ⅱ型(E T S - Ⅱ)によるミリ波伝搬実験計画

### 電波研究所 通信・放送衛星計画推進本部

衛星通信の進展に伴い、電波の利用は一段と拡大し多様性を増してきたが、その反面、有限な資源としようべき周波数スペクトラムの需給事情は一段と逼迫し、その有効利用技術並びに新周波数帯の開発は現下の急務となっている。

すなわち、10 GHz (センチ波) 以下の周波数帯は、既に地上通信業務を稠密に使用されておき、衛星通信業務として特に広帯域性を必要とする固定衛星業務では、地上マイクロ網と共用の6/4 GHz バンドを除いて、総て10 GHz 以上275 GHz 帯の新しい周波数が割当てられている。

これらの新周波数帯においては、技術的にも未開発の問題が多く、世界におけるここ数年の精力的な研究にも拘らず未だに実用の域には達していないのが現状である。特に30 GHz (ミリ波) 以上では、地表の降雨減衰や大気吸収のために、信頼性のある無線通信回線を設定することが困難で、これが新周波数帯の利用を妨げる根本的な障害となっている。

しかし、衛星通信の場合、地上の無線中継回線に比較して減衰域の貫通距離が短くなり、上記の障害は緩和され、特にサイトダイバシティー等の技術を適用することによって安定な通信回線を設定し得る可能性がある。

このため電波研究所では、昭和41年頃からミリ波帯衛星通信を主目的とした実験用静止通信衛星(E C S)計画を樹て、その前段階として宇宙開発事業団の技術試験衛星Ⅱ型(E T S - Ⅱ)によって、先ず衛星・地上間のミリ波伝搬実験を行うこととし、1.7 GHz, 11.5 GHz, 34.5 GHz の3波の発振器の衛星搭載を依頼し、また鹿児島支所内にその受信実験施設を整備した。なお電波研究所内に通信・放送衛星計画推進本部(L B E 本部)を設置し、実験用中容量静止通信衛星(C S)及び実験用中型放送衛星(B S)計画と共に、E T S - Ⅱ及びE C S計画も統合して、一連の衛星通信実験を総合的かつ効率的に推進することとなった。

E T S - Ⅱは我が国最初の静止を目指した衛星として、本年(昭和52年)2月に種子島から打上げられた。衛星の設計寿命及び後続のE C S実験を考慮して、実験期間は6ヶ月間とし比較的短期間ではあるが、本実験計画をさらに充実したものとすべく、この機会に概要を報告し、諸賢の御批判を仰ぐ次第である。

ETS-II (KIKU-2) 実験経過及び予定

- 2月23日            打上げ"            1.7GHz ビ-コン受信
- 2月26日            アポジ-モ-7点火            "
- 3月5日            静止            "
- 3月11日            伝搬実験用送信機 (PET) on  
1.7, 11.5, 34.5GHz 共良好に受信
- 3月28日~31日      NASDAと共同でPETとMDAのテスト.  
MDAは±4°回転させる. オフセット発見. 3月30日豪雨あり.
- 4月11日~14日      PET連続運用テスト  
鹿島地上局で衛星電波によるアンテナ特性測定
- 4月25日 ~          定常運用と同じ状態でテスト
- 5月9日            定常運用に入る
- 8月23日            NASDAミッション終了
- 10月31日           RRL 実験終了予定
- 52年度末           実験報告書作成

ETS-II/ECS 実験スケジュール

1977 8 9 10 11 12 1978 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1979 1 2 3 4 5 6 7 8

ETS-II 実験

ETS-II 実験報告書



ECS

ECS 予備実験

ECS 定常実験

ECS 実験施設整備

単体調整完了



総合調整

訓練

ECS 実験計画検討

ECS 実験計画書



ECS 実験運用計画検討

ECS 実験運用計画書



## ミリ波帯衛星通信の利点

- (1) 本質的に広帯域性を有しており、通信容量の増大が期待できる。
- (2) 鋭いビームを持つアンテナが得易く、等価的な EIRP の増大により地上アンテナを小型化し得る (電力の有効利用)
- (3) マルチスポットビーム化により TDMA/SS/SDMA 等のシステムが可能である。
- (4) アンテナや回路素子が小型軽量となり衛星の高信頼化を図り得る。
- (5) 地上マイクロ波通信との干渉を考慮しなくともよいので、任意の場所に地上局を設置し得る。
- (6) 狭ビーム特性により衛星間隔をせばめることができ、静止衛星軌道の有効利用が図れる。

## ミリ波帯衛星通信の問題点

- (1) 大気吸収や降雨減衰等伝搬上の制約が厳しい。
- (2) 周波数が高くなる程、背景雑音レベルが高くなる。
- (3) 回路素子、特に衛星搭載用高効率高出力素子が未だ研究開発段階にある。
- (4) 衛星側、地上側何れもコストが高い。
- (5) 高精度な衛星姿勢及び位置の保持が要求される。

# ETS-II ミリ波伝搬実験項目

## I 衛星・地上間ミリ波伝搬特性の測定

(a) 降雨によるミリ波減衰特性  
電波伝搬路上の降雨状態の差異によるCWミリ波の減衰特性のデータを得るとともに、ECSミリ波通信実験の資料を得る

(b) ミリ波の伝搬路上で受ける位相変動特性  
衛星からのミリ波信号の晴天時、降雨時における位相変動特性のデータを決定の資料とする  
通信回線マシンの決定の資料とする

(c) ミリ波の伝搬路上で発生する交差偏波特性  
伝搬路上の気象状態ととも、基礎資料を得る  
性の周波数再利用率に肉する基礎資料を得る  
波交差偏波特性の測定

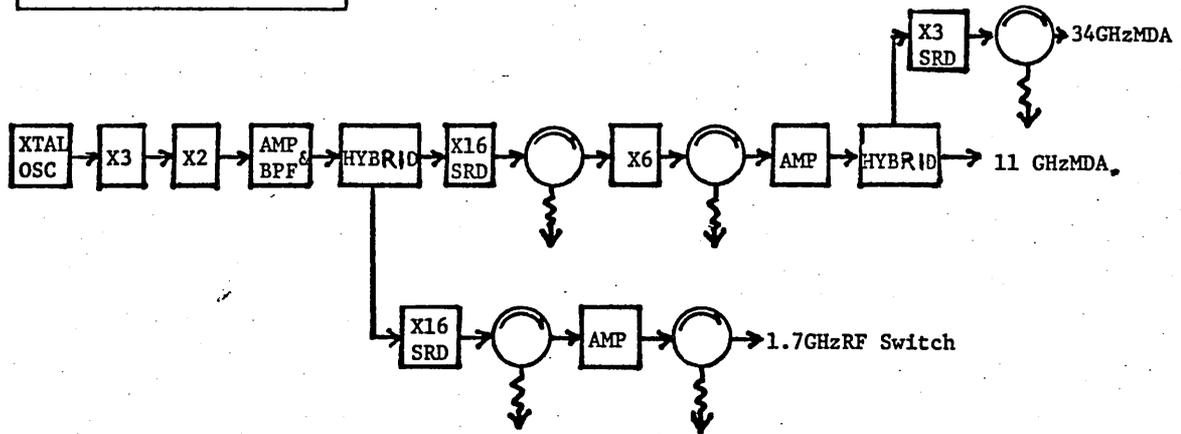


# ETS-II の概略諸元

打上げ年月	昭和52年2月
打上げロケット	Nロケット
形状	直経 1.4 m 高さ 1.82 m
質量	軌道上 134 kg ; 打上げ時 254 kg
目標静止経度	東経 130°
姿勢安定法	スピン安定 (100 ± 15 rpm)
ミッション機器	(1) 伝搬実験用発振器 S, X, Kバンド (2) 打上げ環境測定器 1.7 GHz (3) Sバンド中継器 2.1 GHz / 1.7 GHz
TT & C系	テレメトリ 136 MHz, 2 W, 128 BPS コマンド 148 MHz, 128チャンネル
電源系	太陽電池電力 初期 107 W, 1年後 92.2 W
アンテナ指向精度	0.5°
ミッション期間	76ヶ月

## ETS-II 伝搬実験用コヒーレント発振器 (PET)

Frequency (GHz)	EIRP (dbm)
1.70500	+28.0
11.50875	+46.0
34.52625	+50.0

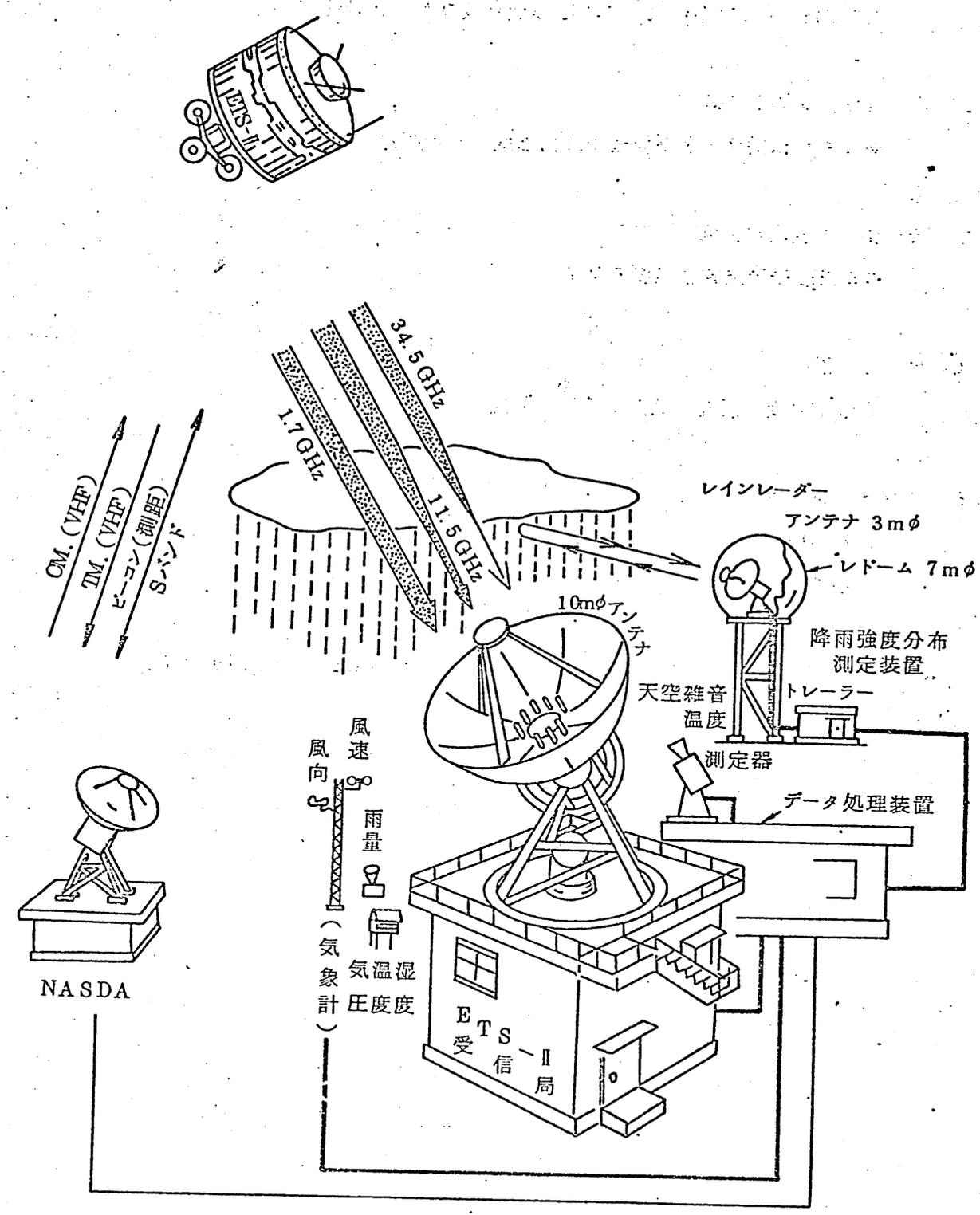


## ETS-II PET の放射電力 (EIRP)

周波数 GHz	出力 dBm (w)	損失 dB	アテ利得 dB	EIRP <sup>(1)</sup> dBm	EIRP <sup>(2)</sup> dBm	EIRP <sup>(3)</sup> dBm
34.5	23.0 (0.2)	1.6	35.0	56.4	50.0	54.3
11.5	27.8 (0.6)	1.6	25.5	51.7	46.0	50.1
1.7	27.0 (0.5)	2.6	9.0	33.4	28.0	36.5

- (1) 初期設計値
- (2) PDRの結果変更された値
- (3) FMの実測値

# ETS-II 伝搬実験用地上施設概念図



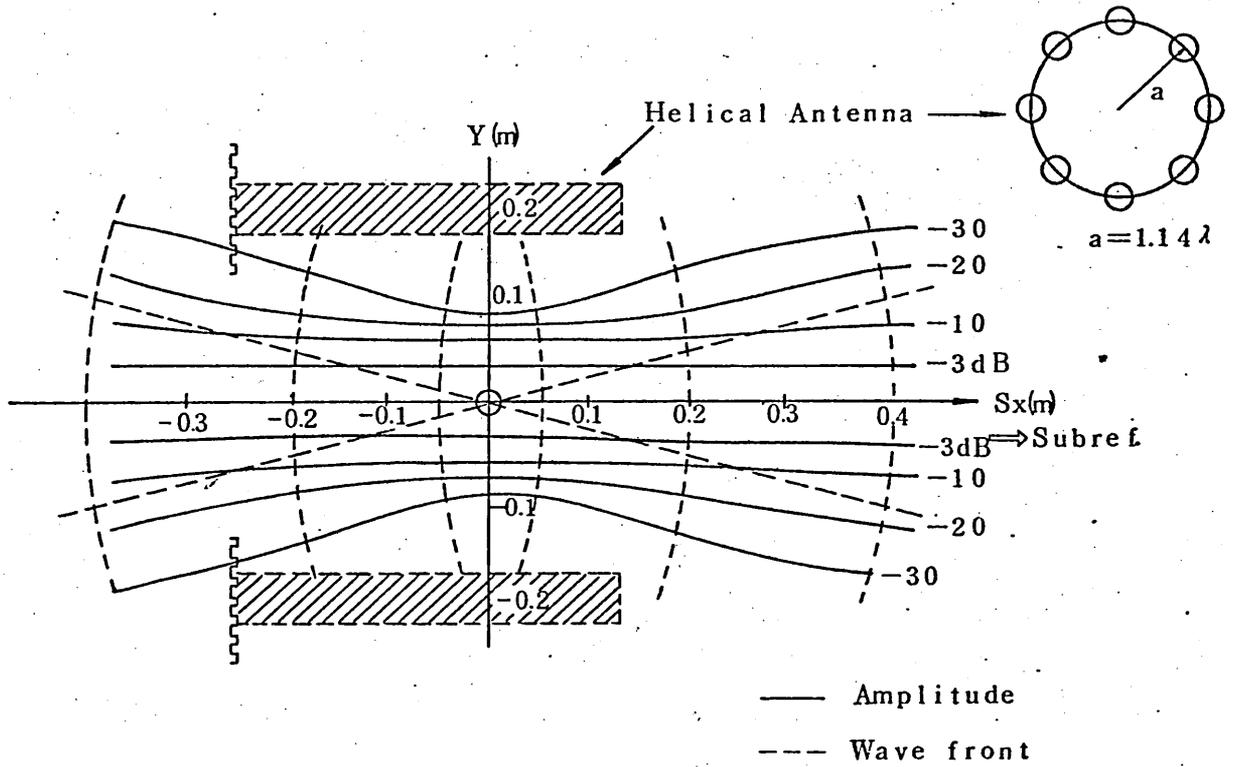
## ETS-II 観測データ

装置	データ	測定頻度	測定範囲	量子化単位	
受信装置	位相同期型受信 (CWモード)	34.5GHz 受信信号 CW波出力レベル	200mSec毎	0~40dB	1dB
		" 交差偏波 " "	"	"	"
		11.5GHz 受信信号 " "	"	"	"
		" 交差偏波 " "	"	"	"
		1.7GHz 受信信号 " "	"	0~-30dB	"
		34.5GHz 受信信号/交差偏波 位相差	"	-180°~+180°	2°
		11.5GHz " " " "	"	"	"
		1.7GHz 受信信号/34.5GHz 受信信号位相差 " " /11.5GHz " "	"	"	"
受信装置	振幅変調高感度受信 (FAM)	34.5GHz 受信信号 AM波出力レベル	200mSec毎	0~-50dB	1dB
		" 交差偏波 " " "	"	"	"
		11.5GHz 受信信号 CW波 " "	"	0~-40dB	"
		" 交差偏波 " " "	"	"	"
		1.7GHz 受信信号 AM波 " "	"	0~-30dB	"
" 11.5GHz 受信信号/交差偏波 位相差	"	-180°~+180°	2°		
測定装置	天空雑音温度	標準抵抗雑音温度出力	200mSec毎	293~303°K	1°K
		35GHz 天空雑音温度出力	"	160~70°K	5°K
		"	"	70~40°K	3°K
		"	"	40~0°K	1°K
測定装置	降雨強度分布	Pm データ	1分毎	0~150 mm/h	0.1 mm/h
		CAPPI データ	12分毎	"	10段階表示
		RHI データ	"	"	"
気象計	風光, 風速, 温度, 湿度, 雨量 (主局の位置) 雨量 (佐搬路下に2点)	1分毎 打点記録計			

# ETS-II/ECS 用 10mφ パラボラアンテナ

Field near Beam Waist of 11.5GHz Dual Ref. Feed

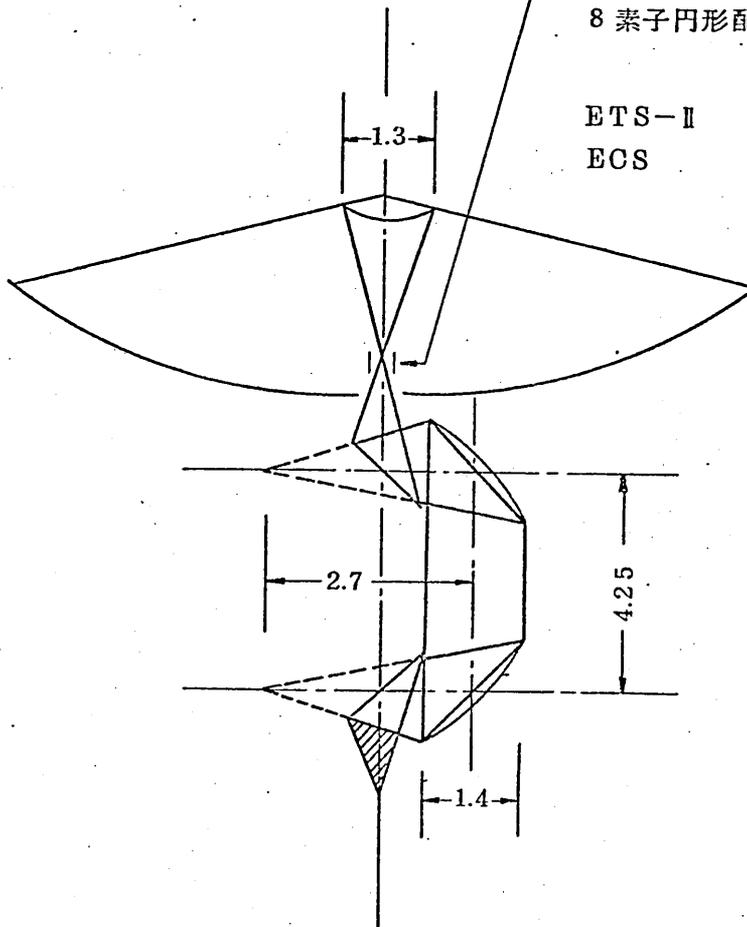
— on  $\angle YX'$  ( $\theta = 90^\circ$ , H-plane) —



## 低周波部放射素子

8 素子円形配列ヘリカル  
アンテナアレイ

ETS-II 1.7GHz  
ECS 4 GHz  
(for Beacon)



単位：m

# 降雨強度分布測定装置 (降雨レーダ) 機能概念図

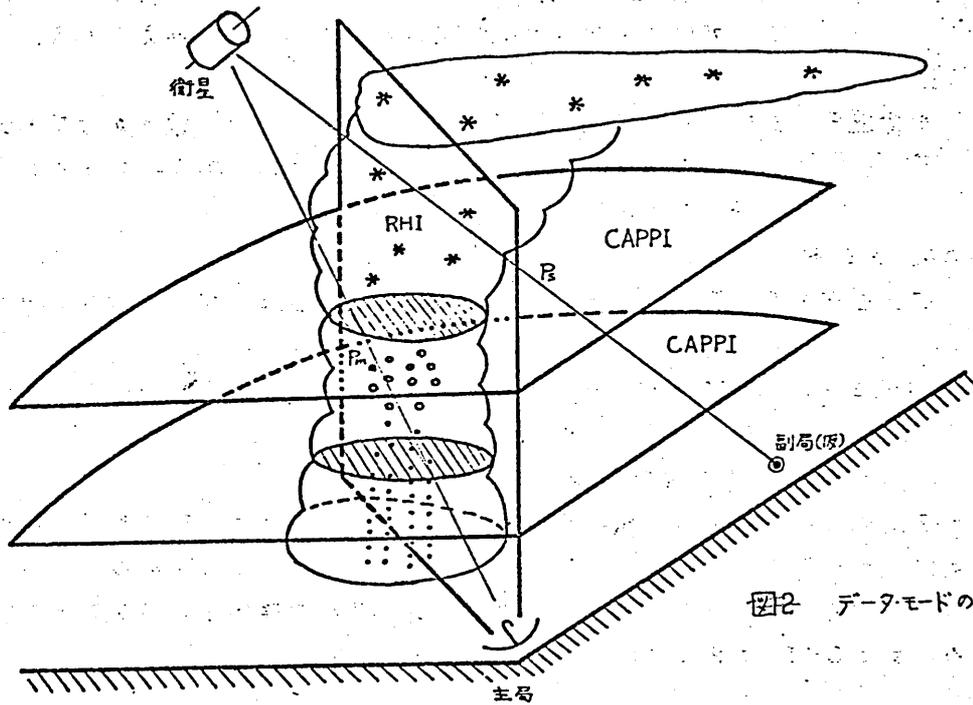


図2 データモードの説明図

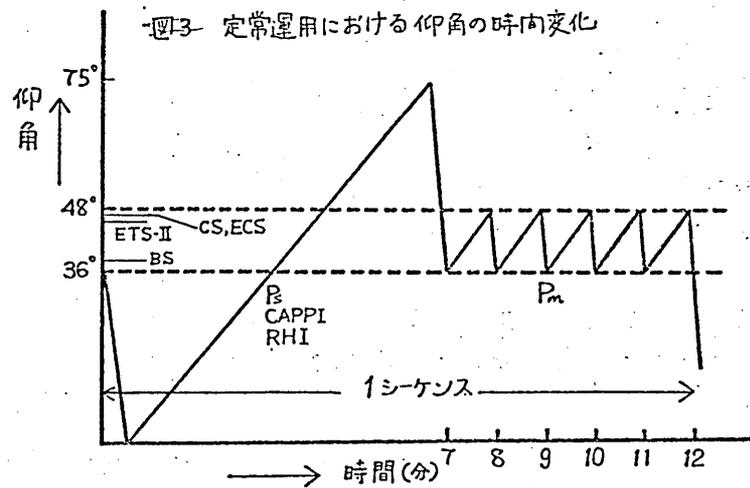
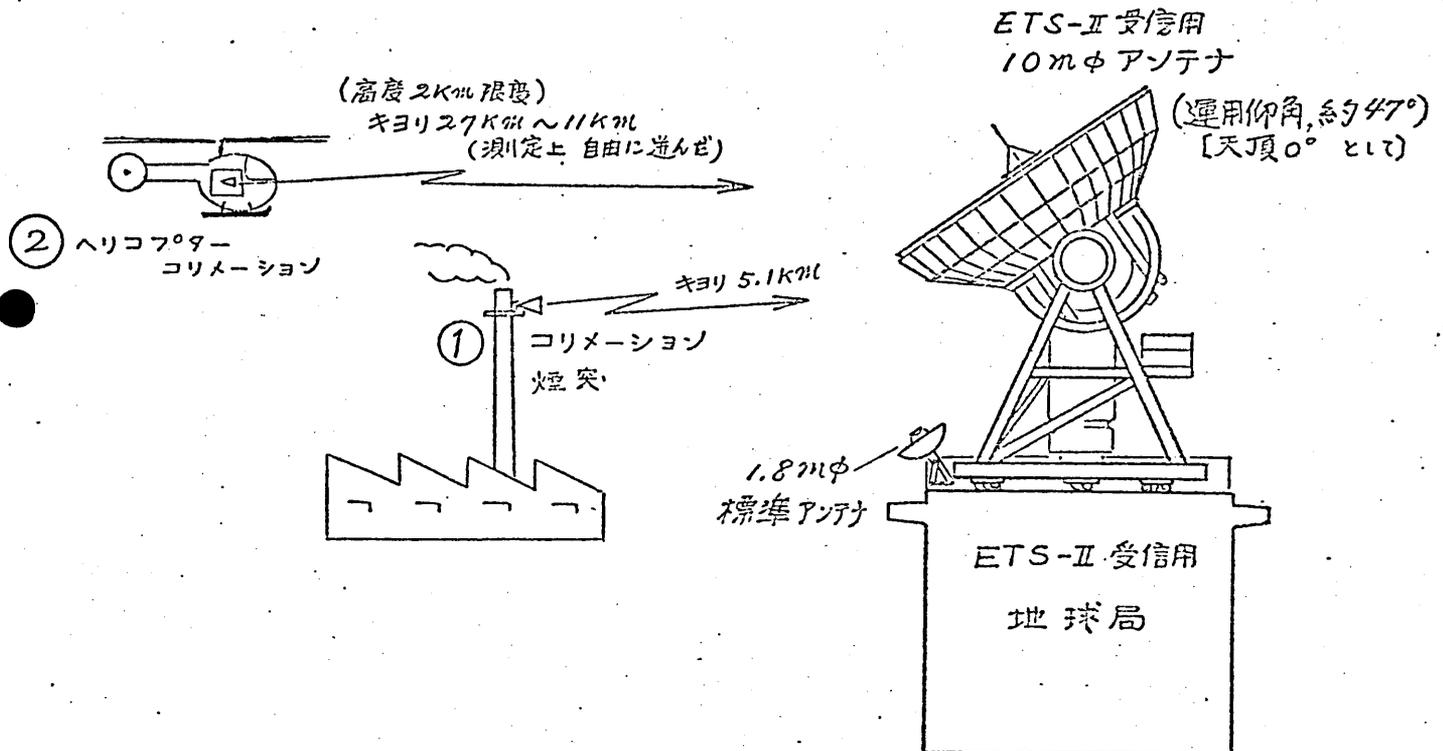
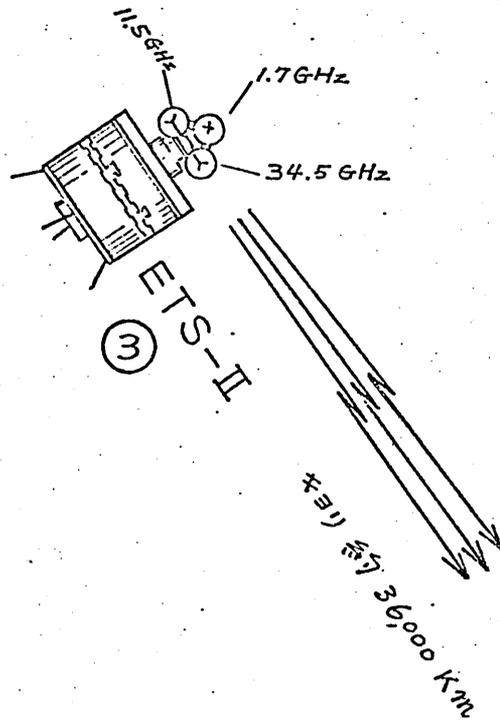


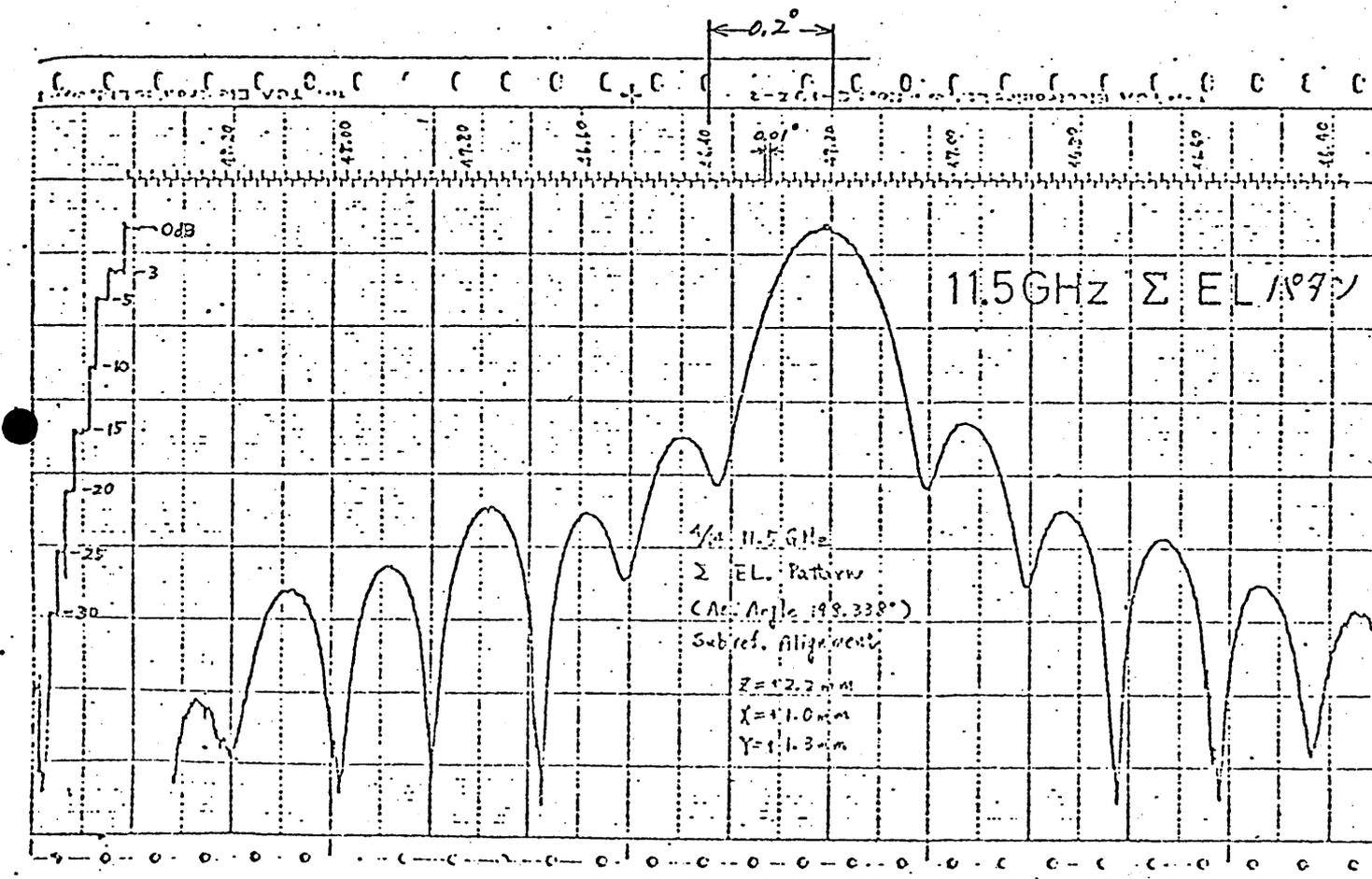
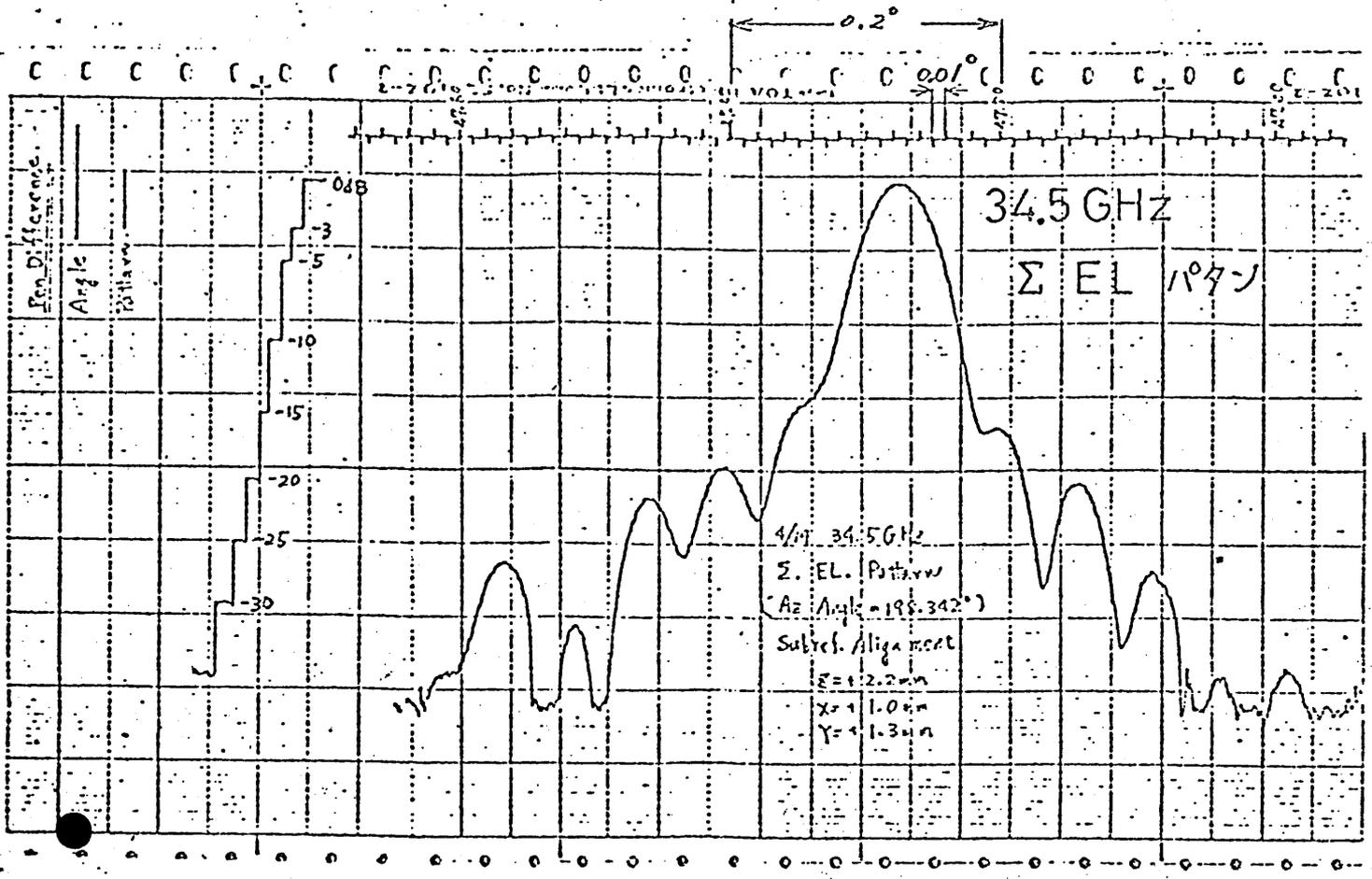
図3 定常運用における仰角の時間変化

# ETS-II 電波受信用

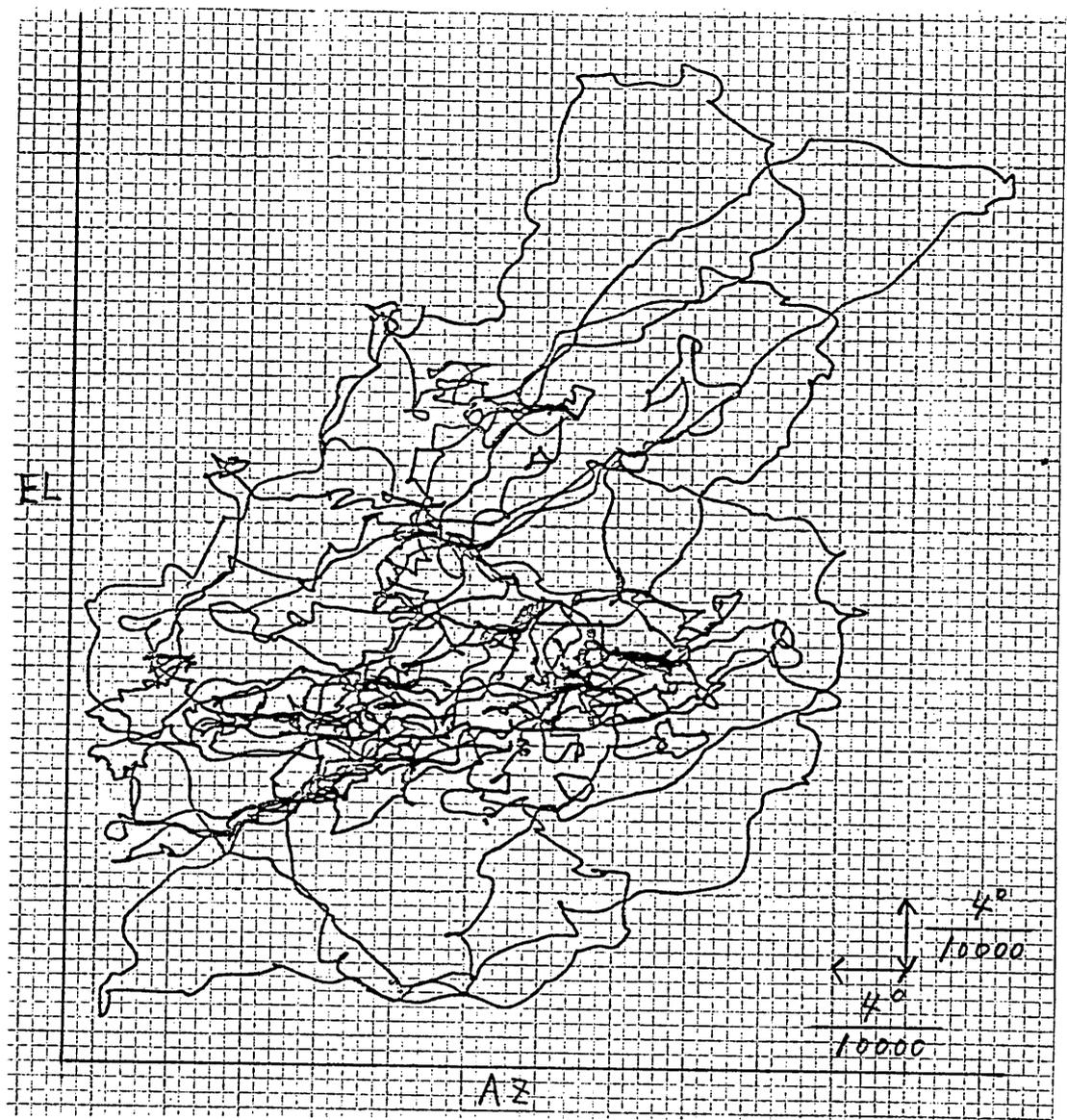
## ミリ波 大口径アンテナの特性

### 測定法





No.



34.5GHzでETS-IIを自動追尾したときの  
 追尾誤差 (スケールは下へ軸, 横軸は  
 $\frac{4^\circ}{10000} / \text{cm}$ )

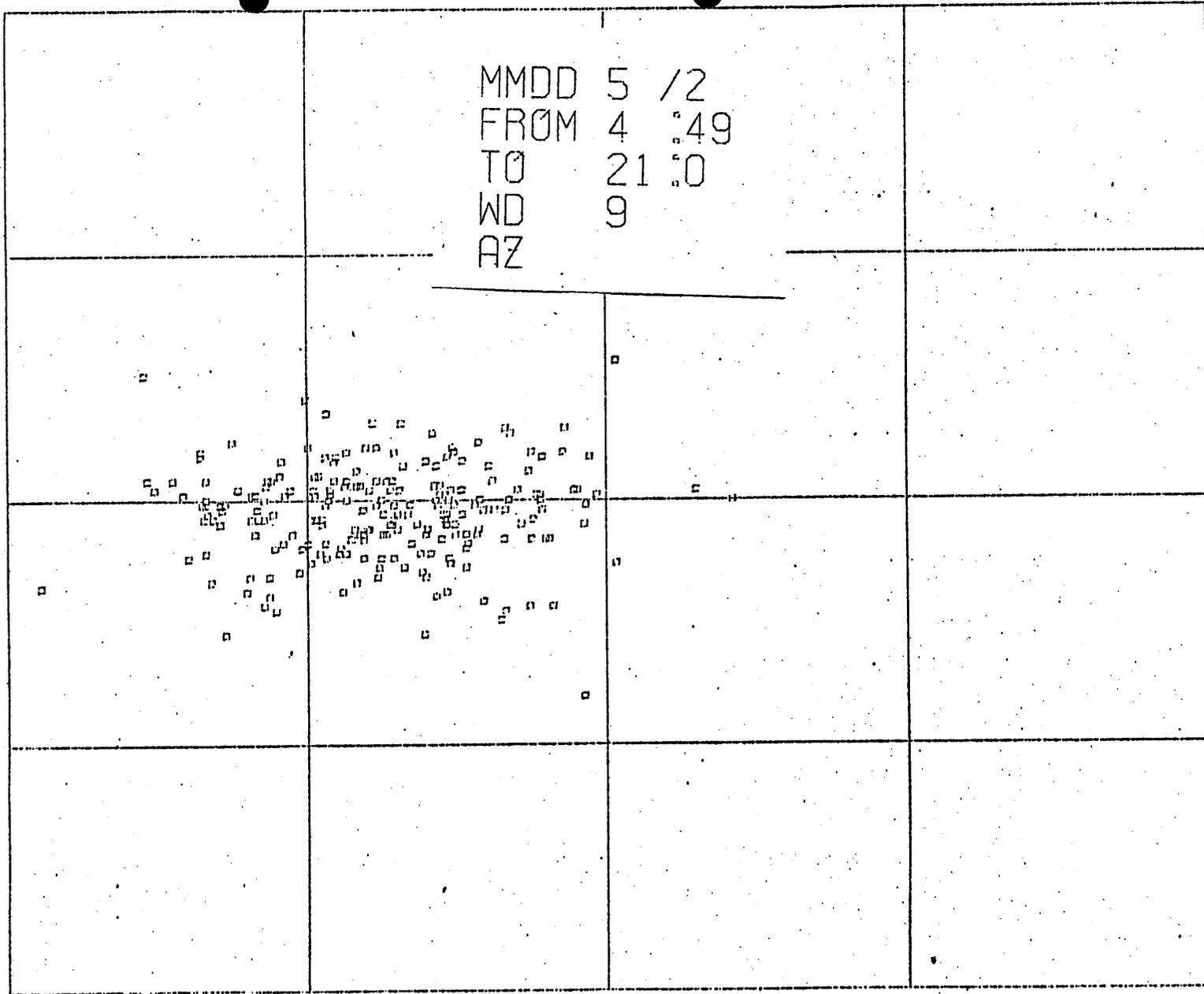
DEG

0.01

方位角方向の追尾誤差

0.00

-0.01

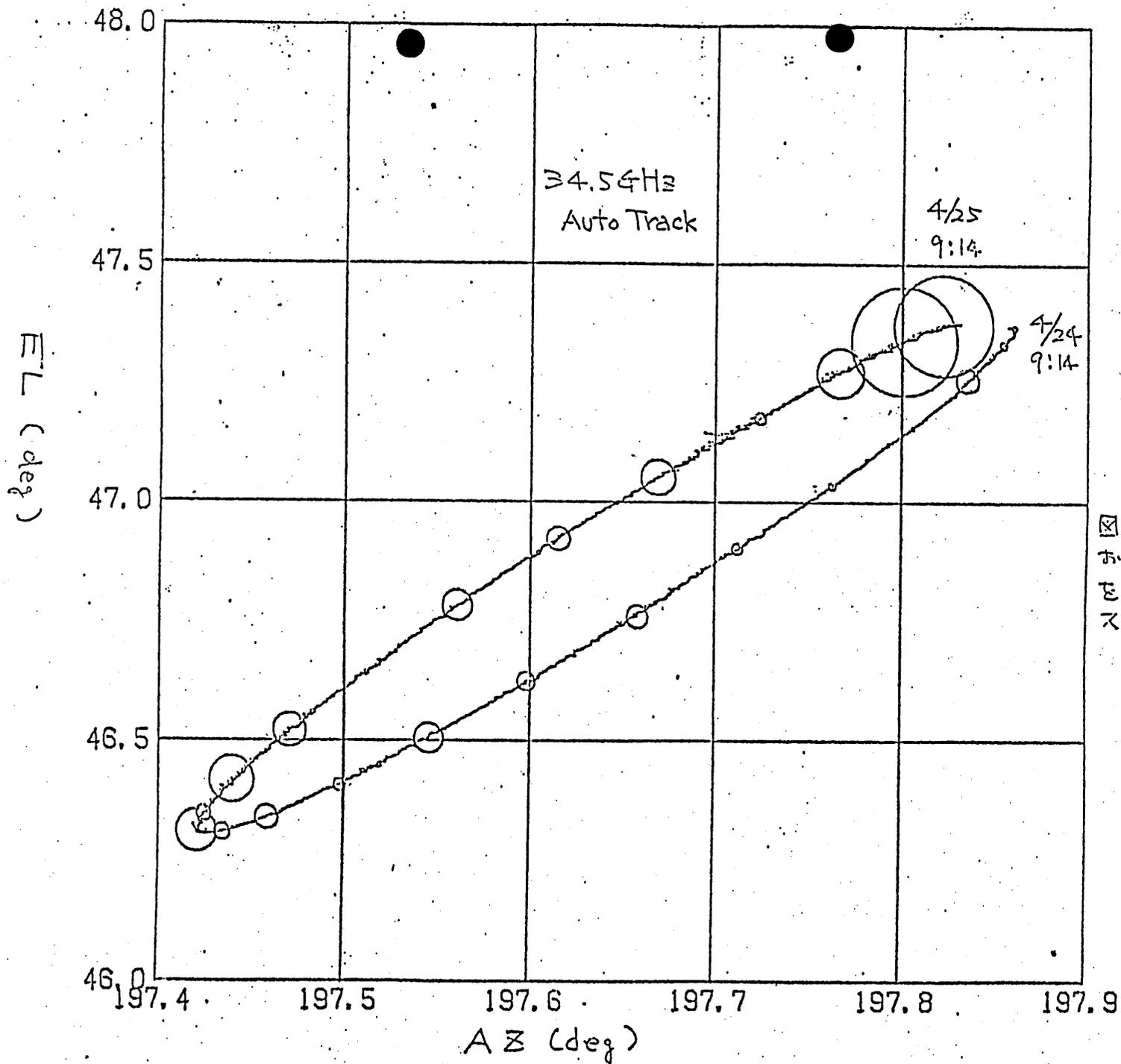


MMDD 5 / 2  
 FROM 4 : 49  
 TO 21 : 0  
 WD 9  
 AZ

風向が南の場合の風速と追尾誤差の関係

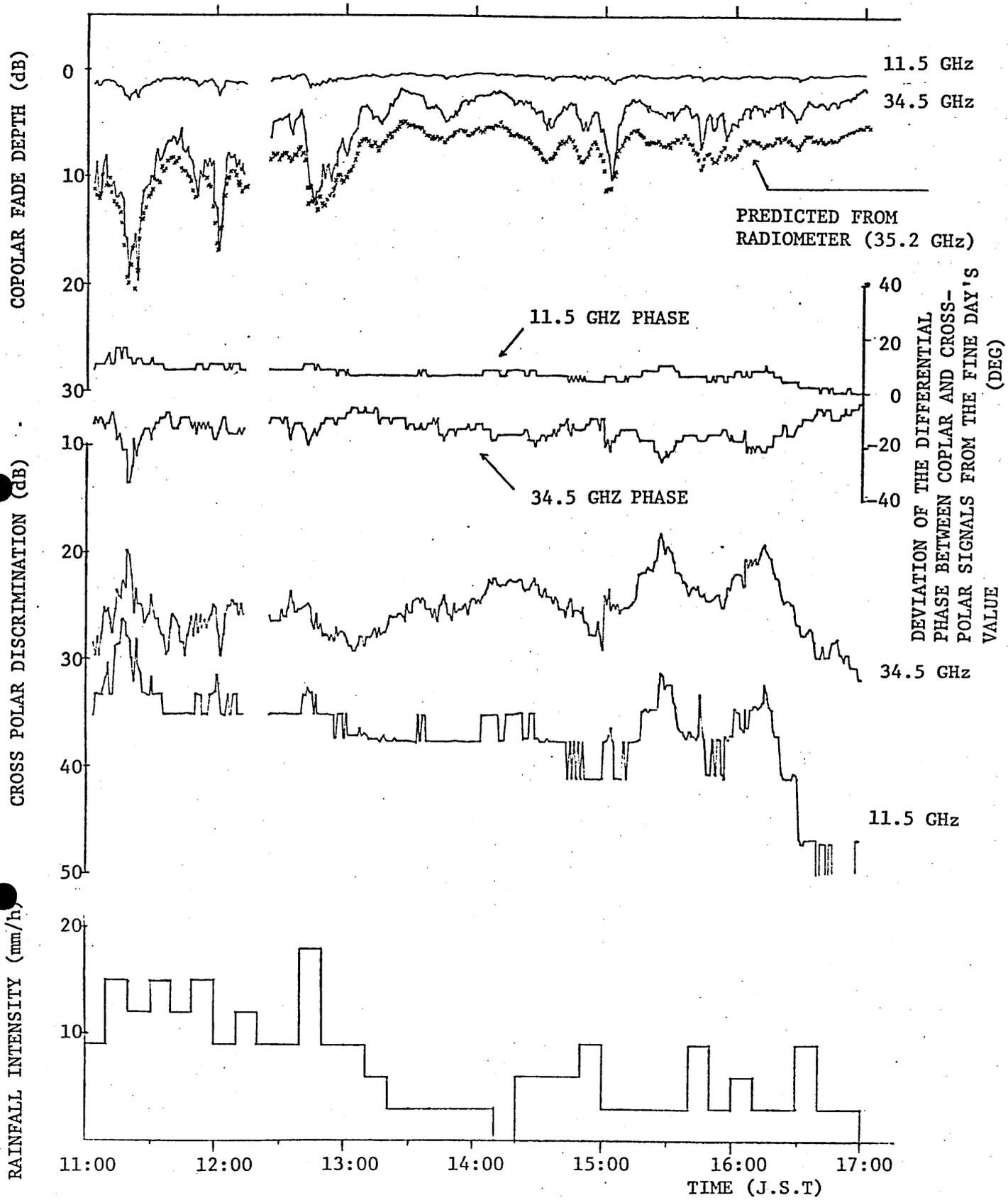
風速

20 M/S

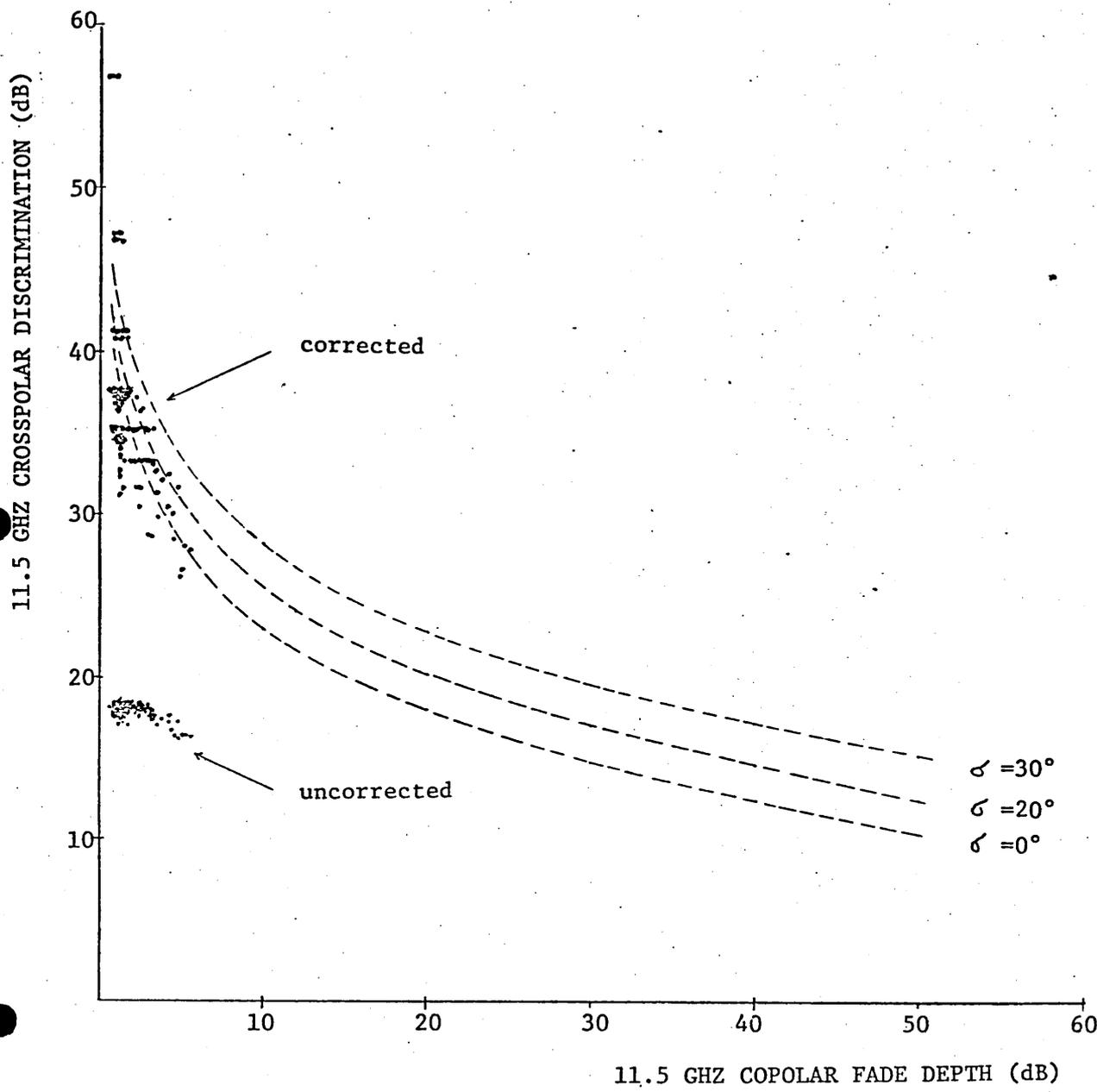


図中の円は正時に  
おける  $\sqrt{(4A_z)^2 + (4E)^2}$   
を半径とする円で、個し  
スタイルは10倍。

行星位置変動



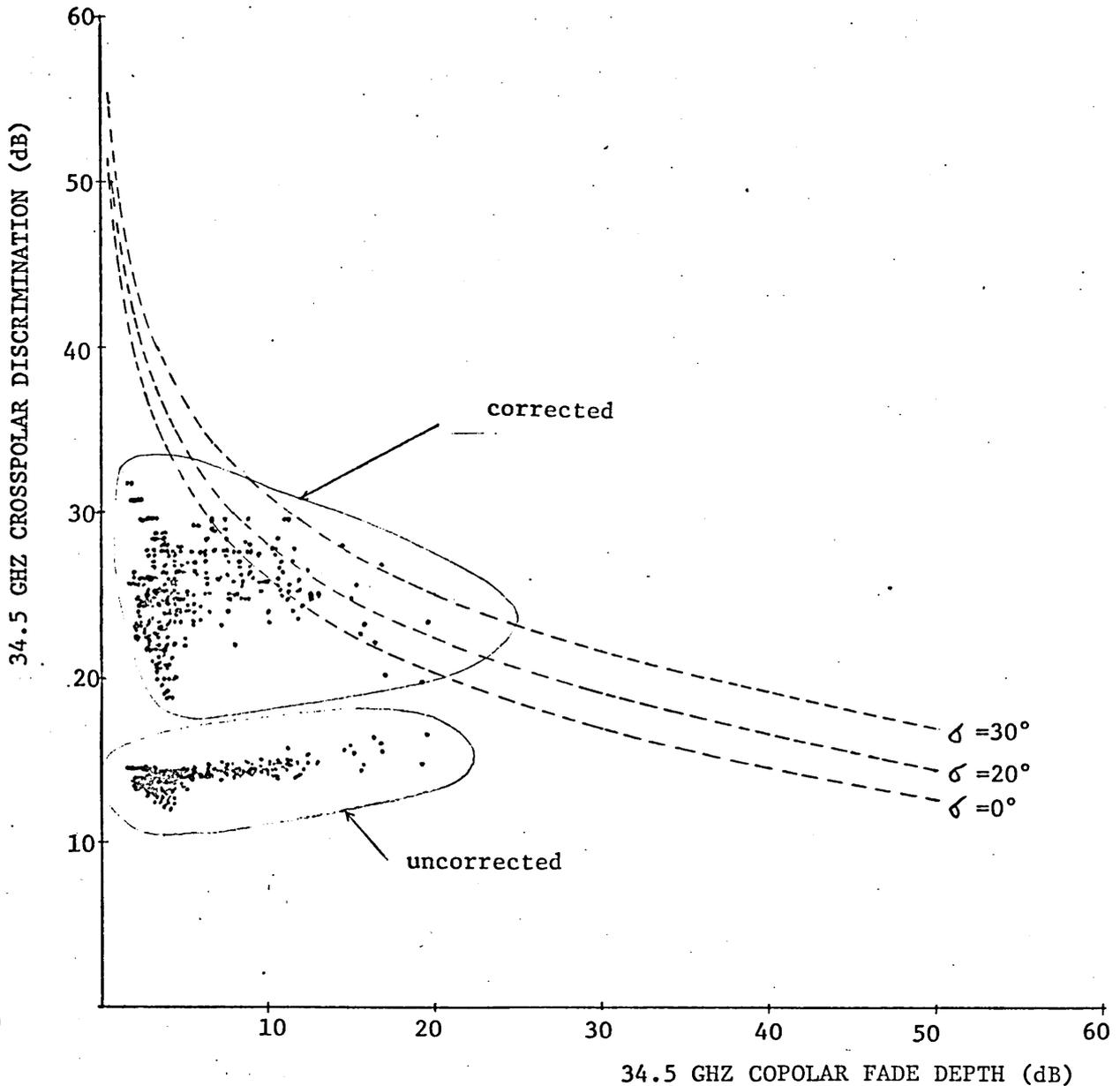
Variation of copolar fade depth, x.p.d., and rainfall intensity with time for the event occurred on 30 March 1977



Result of 11.5 GHz depolarization measurement for the event which occurred on 30 March 1977.

Broken lines show theoretical curves for Laws and Parsons dropsize distribution. Elevation angle is 47 degrees, and  $\sigma$  is the standard deviation of raindrop canting angles.

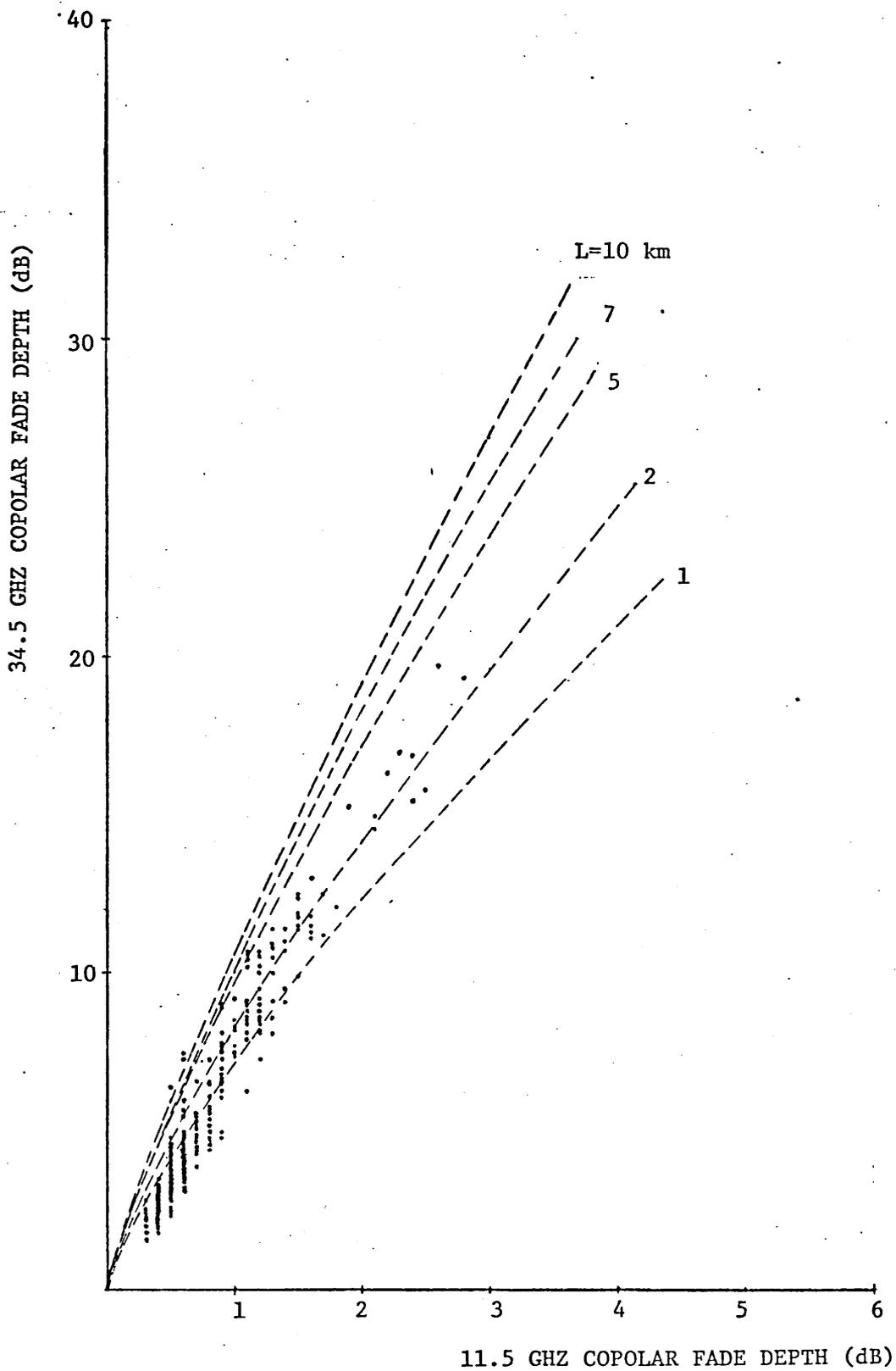
Measured x.p.d. data, degraded by the depolarization due to the system characteristics, are corrected to evaluate the x.p.d. due to precipitation alone, and both corrected and uncorrected x.p.d. data are shown.



Result of 34.5 GHz depolarization measurement for the event which occurred on 30 March 1977.

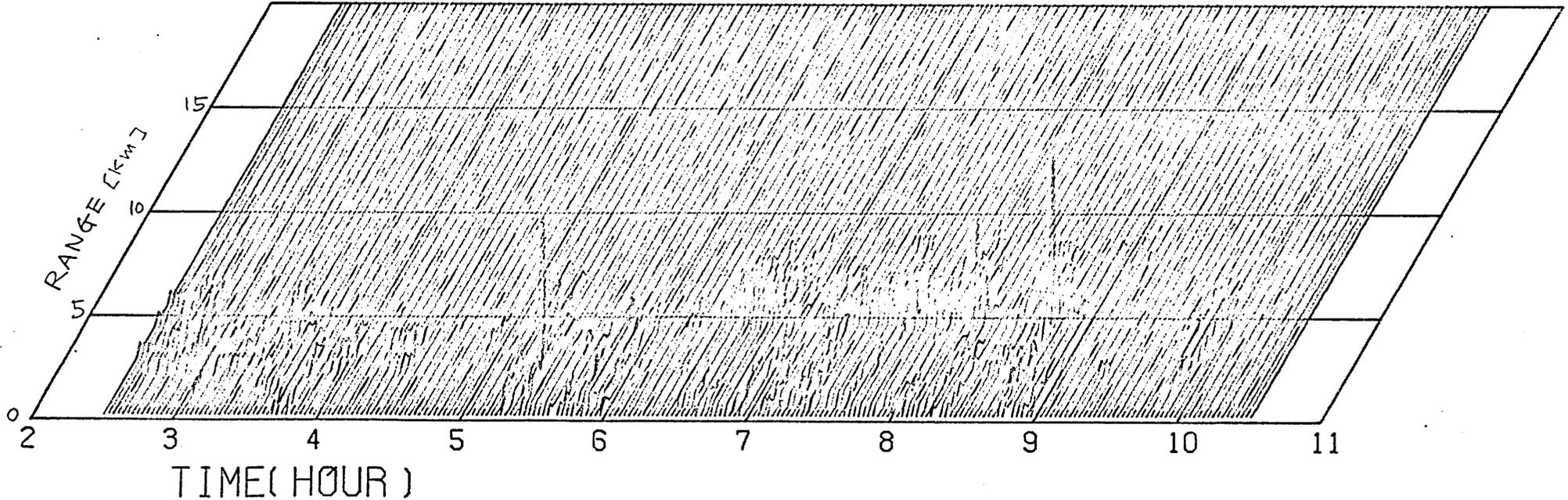
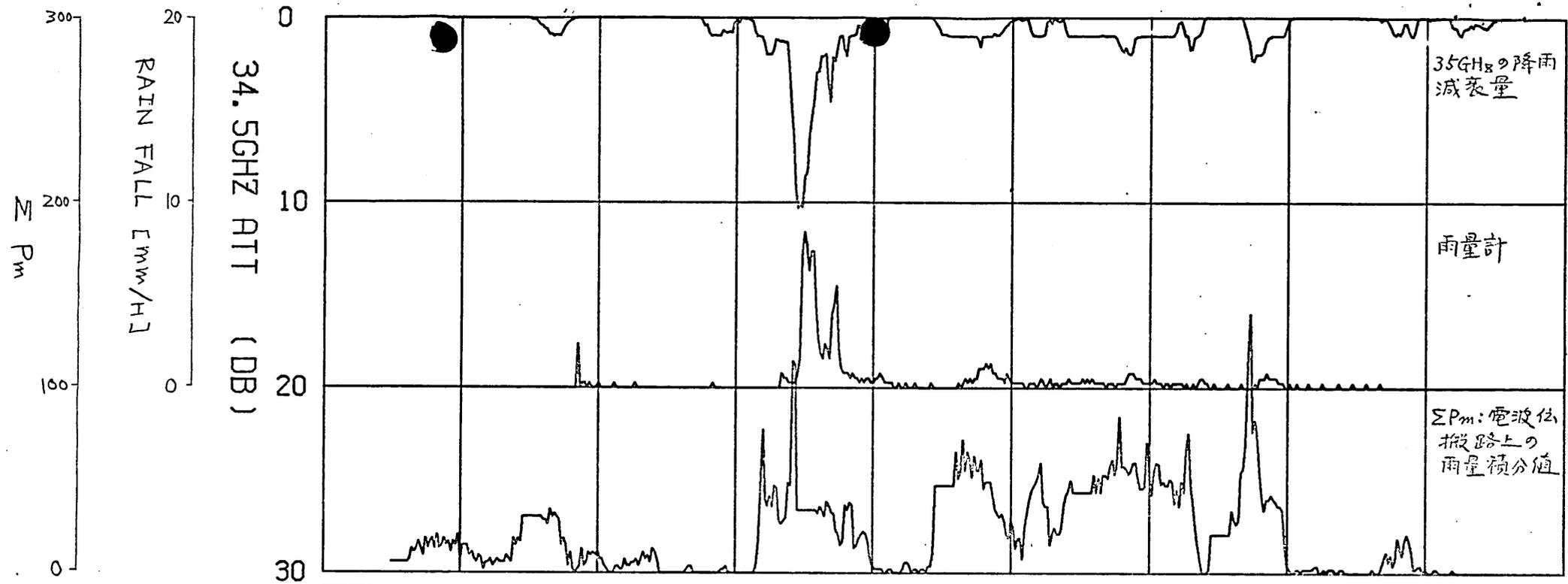
Broken lines show theoretical curves for Laws and Parsons dropsize distribution. Elevation angle is 47 degrees, and  $\sigma$  is the standard deviation of raindrop canting angles.

Measured x.p.d. data, degraded by the depolarization due to the system characteristics, are corrected to evaluate the x.p.d. due to precipitation alone, and both corrected and uncorrected x.p.d. data are shown.

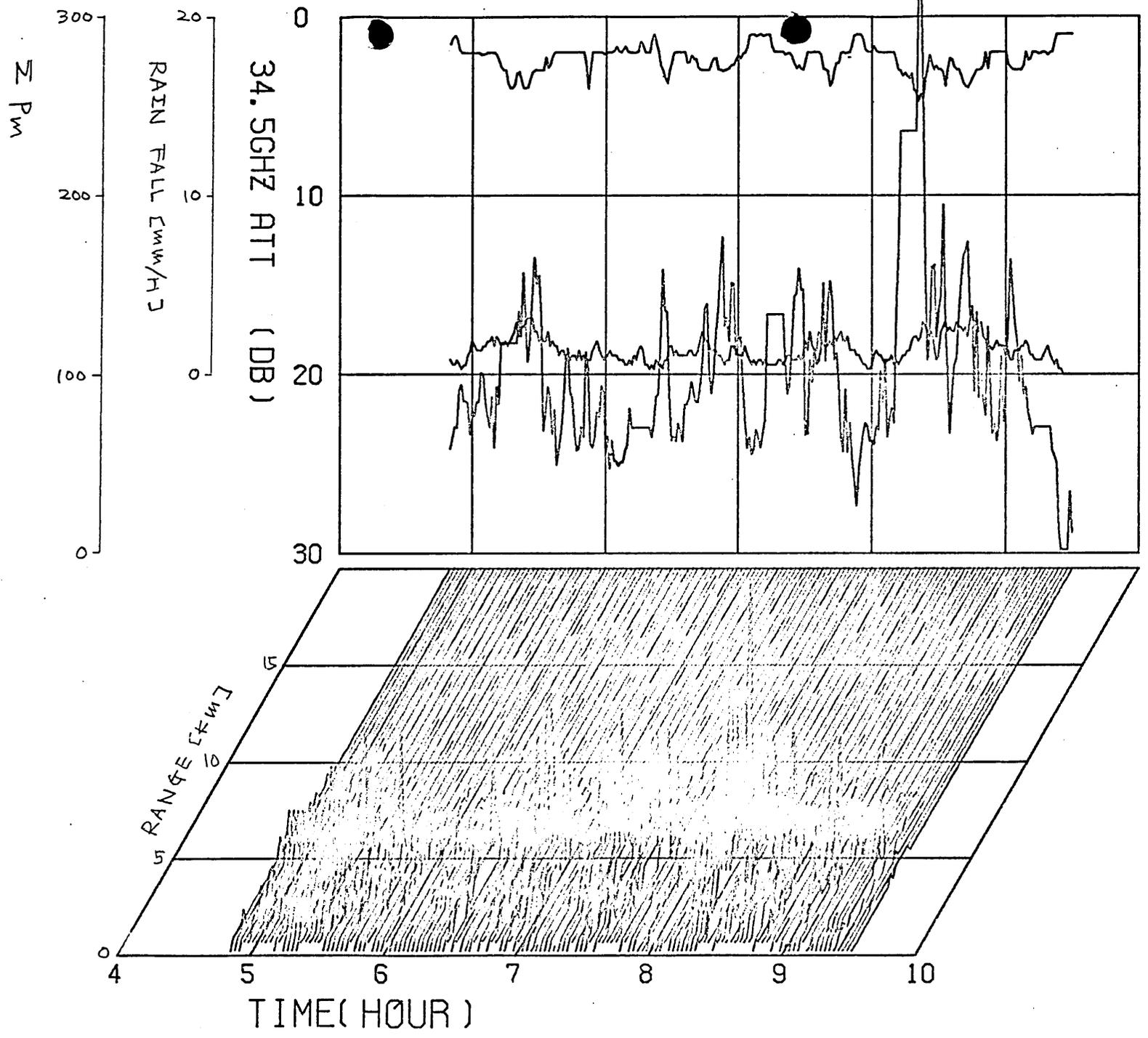


Correlation of 11.5 and 34.5 GHz fade depth for the event which occurred on 30 March 1977.

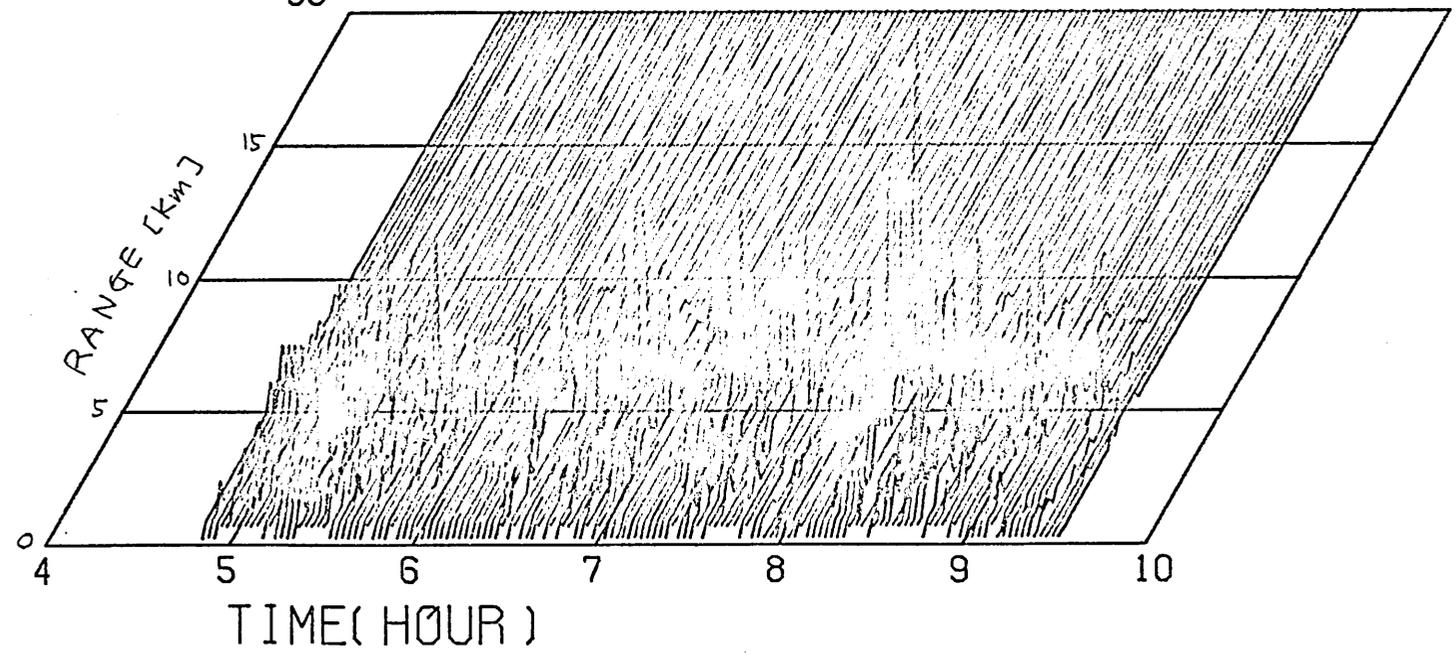
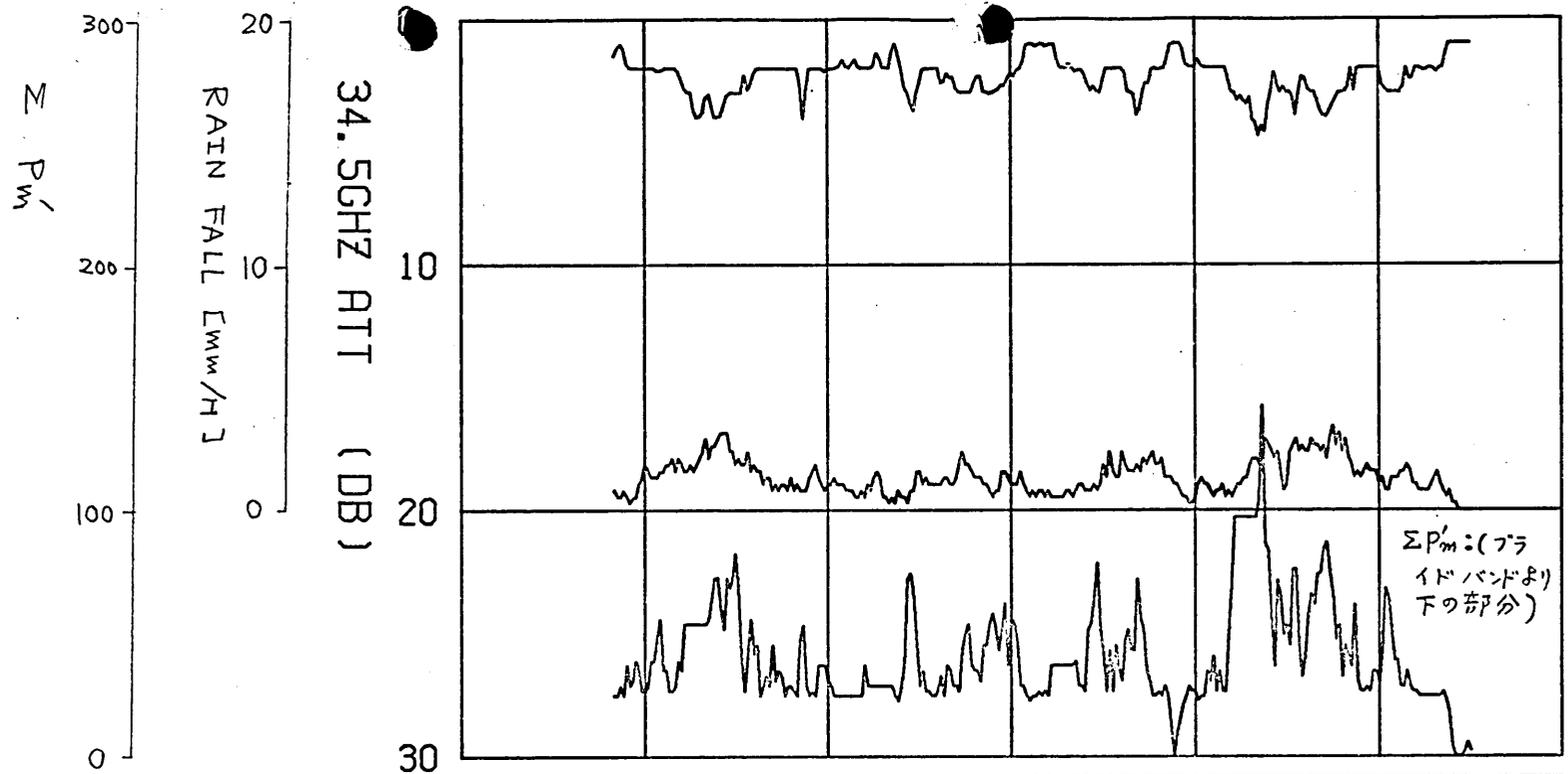
Broken lines show theoretical curves for Laws and Parsons dropsize distribution, and  $L$  is the path length in kilometers.



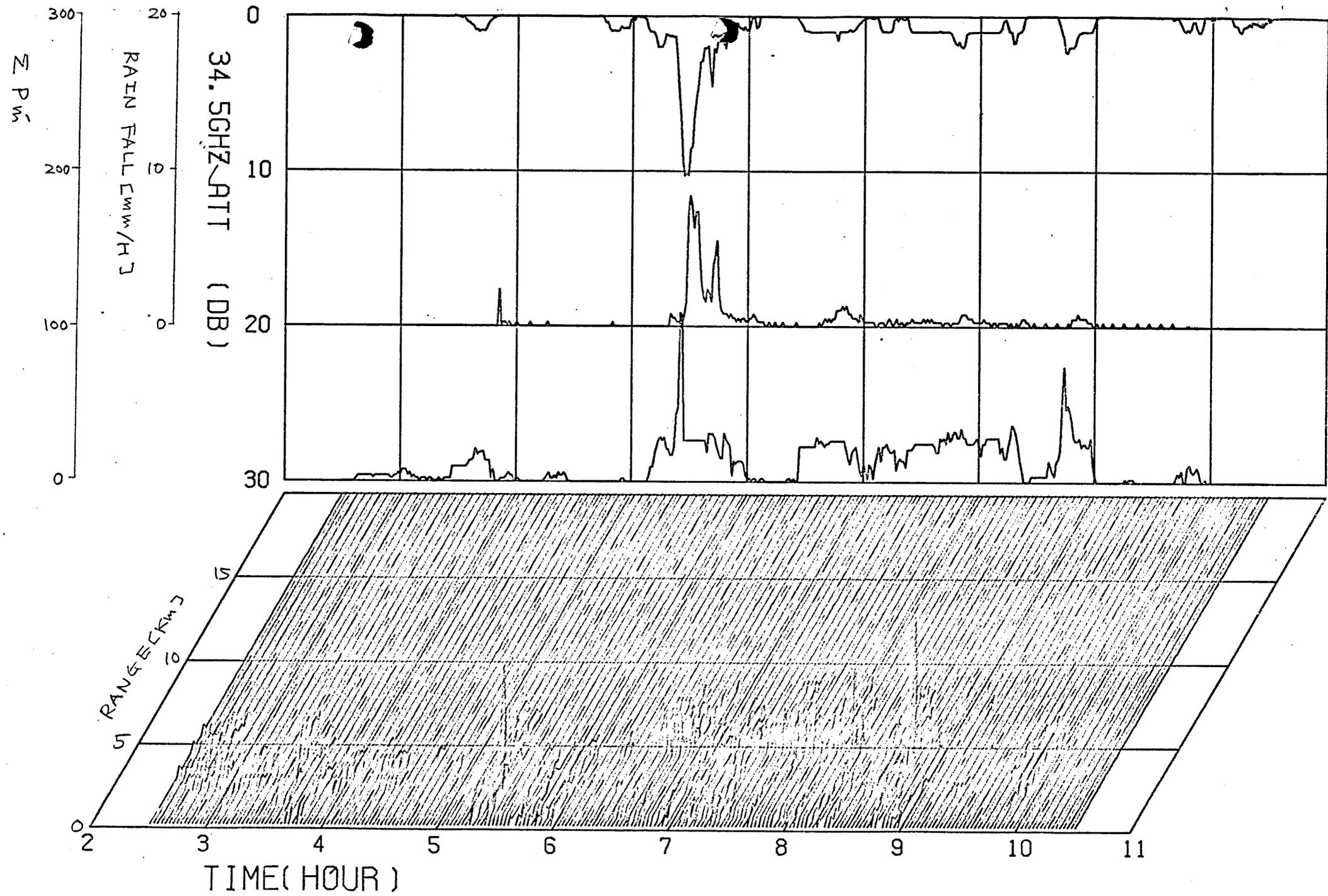
34.5GHzの減衰と対応型雨量計T-Rと $\Sigma P_m$ および $P_m$ 鳥瞰図(4/25のT-R)



34.5GHzの減衰と降雨量との関係とΣPmおよびPmの時間変化図(5/29付)

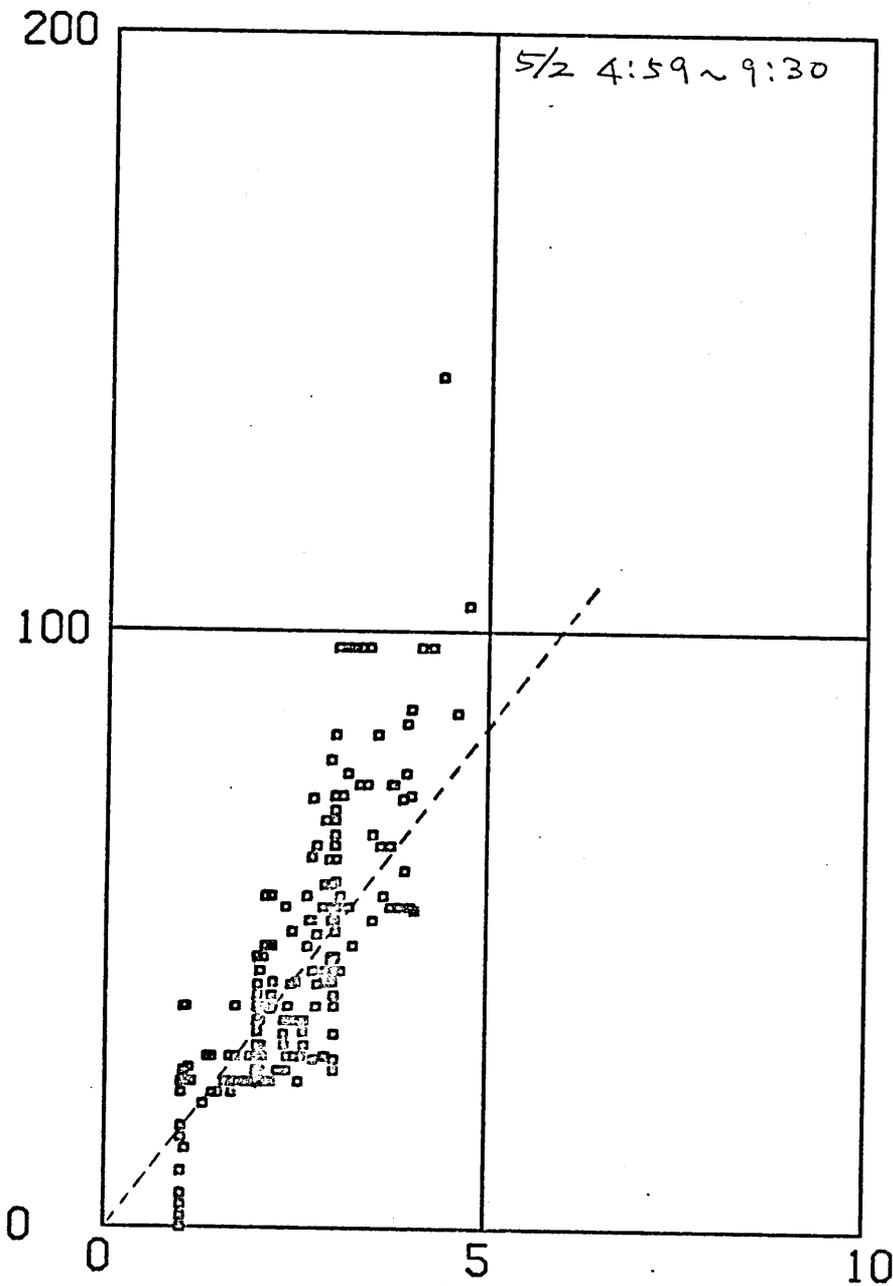


34.5GHzの減衰と回線型雨量計データと  $\Sigma P_m$  の  $P_m$  の関係図 (5/20のデータ)



34.5GHzの波'窓と即応型雨量計でΣ P<sub>m</sub>および P<sub>m</sub> の観測図 (4/25 a 7-9)

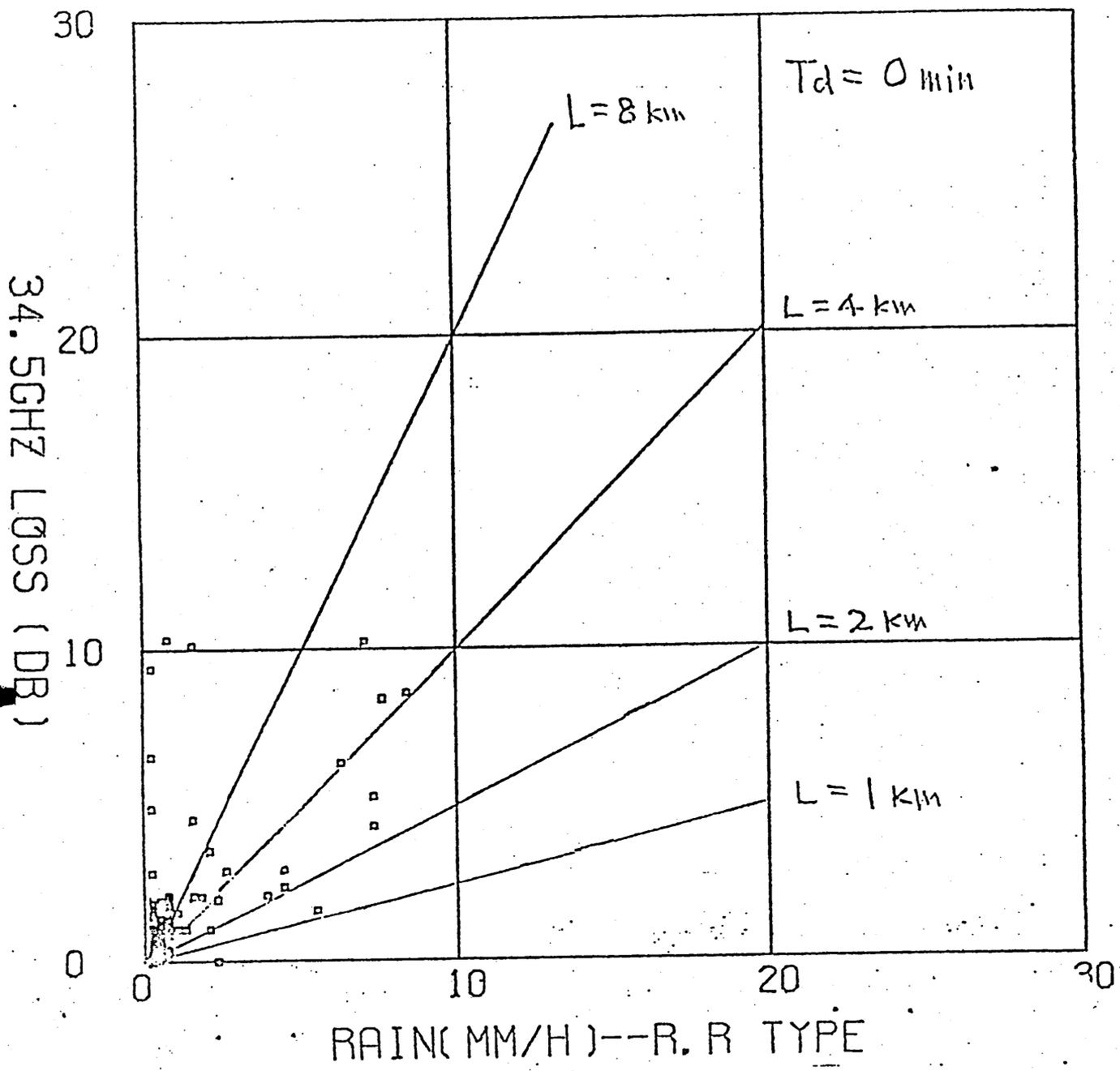
$\Sigma P_m$  [mm/H.km]



破線は近似式  
 $Att = 0.06 \Sigma P_m$  (dB)  
 を書いたもの

34.5 GHz ATT (dB)

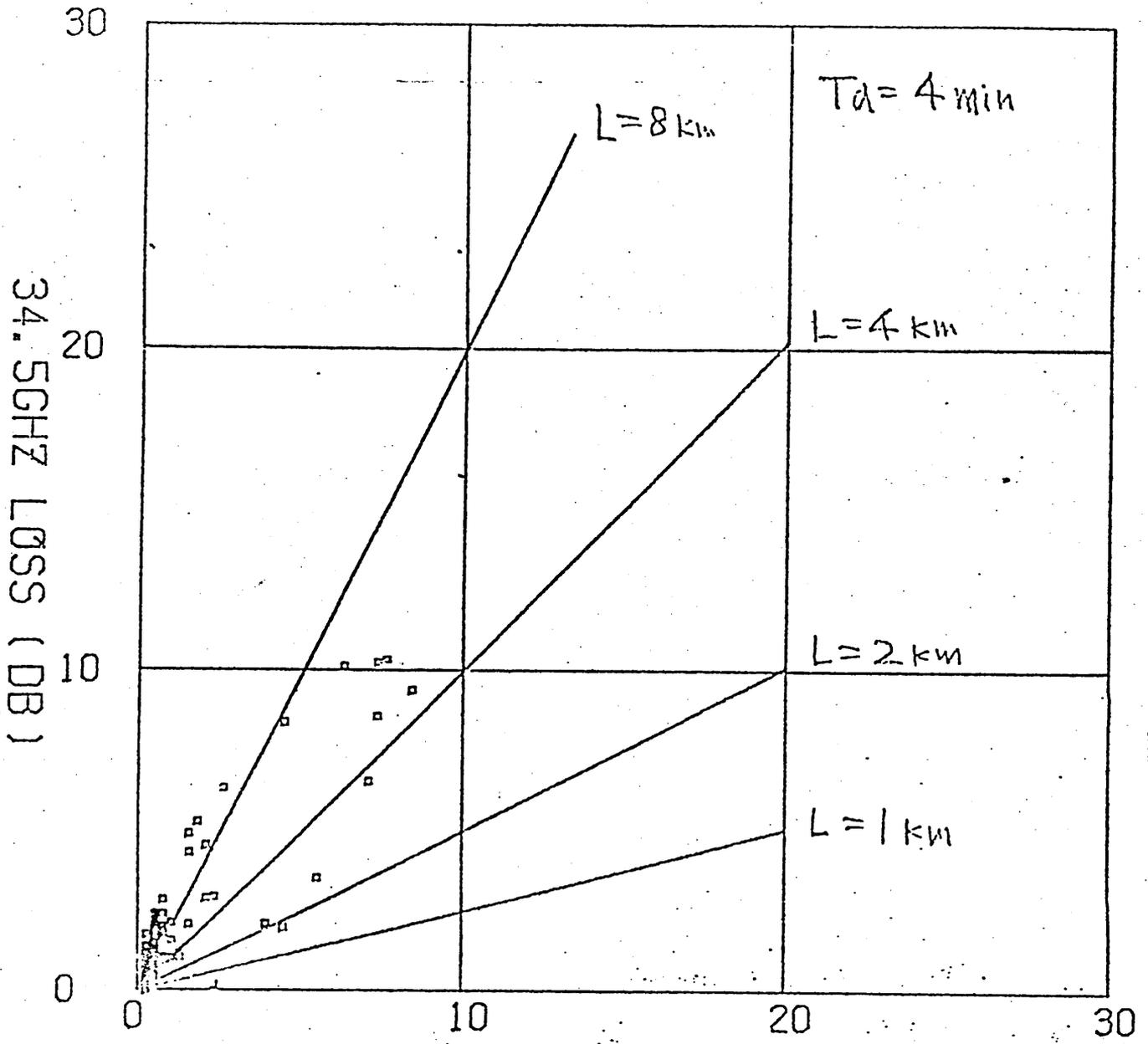
34.5 GHzの減衰と $\Sigma P_m$ の関係 (5/2の日)



34.5GHzの減衰と雨量計データ

- 横軸雨量は受信器区チ75mに設置した即応型雨量のデータ。
- $T_d$ は減衰のあった時刻と雨量測定時刻の遅れ時間(分)。
- 実線は貫通距離Lを仮定した時の近似式  

$$Att = 0.2369 R^{1.022} L$$
 を書いたもの。
- データは4/25 2:30から10:30のを利用した。



RAIN (MM/H) -- R. R TYPE

34.5GHzの減衰と雨量計データ

。図の説明は前図と同じ。

# ETS-II VHFシンチレーションとフレアローテーション

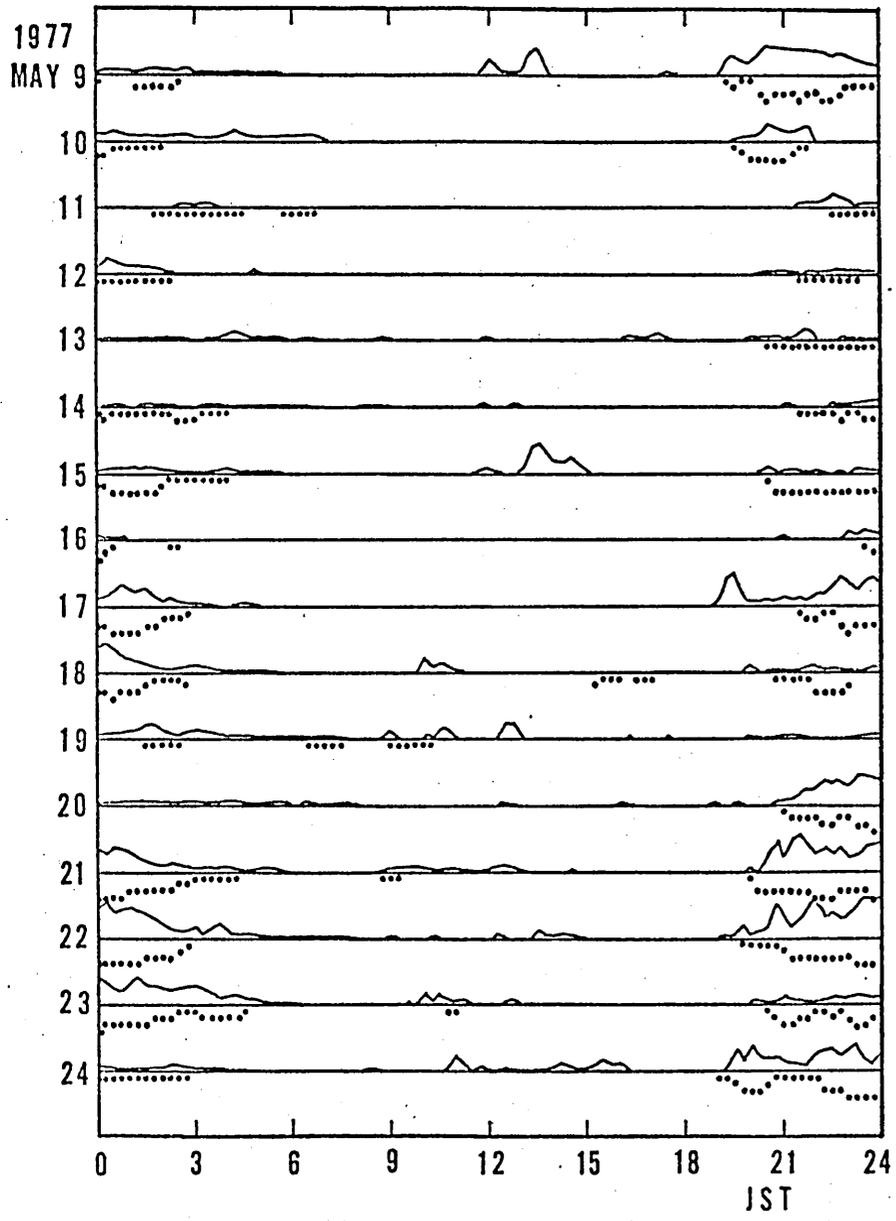
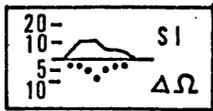


Fig. Range of the amplitude scintillations ( $SI = P_{max} - P_{min}$  in dB) and the fluctuations of Faraday rotation ( $\Delta\Omega$ ) during from 23 April to 24 May, 1977, 136 MHz of ETS-2 at Kokubunji.

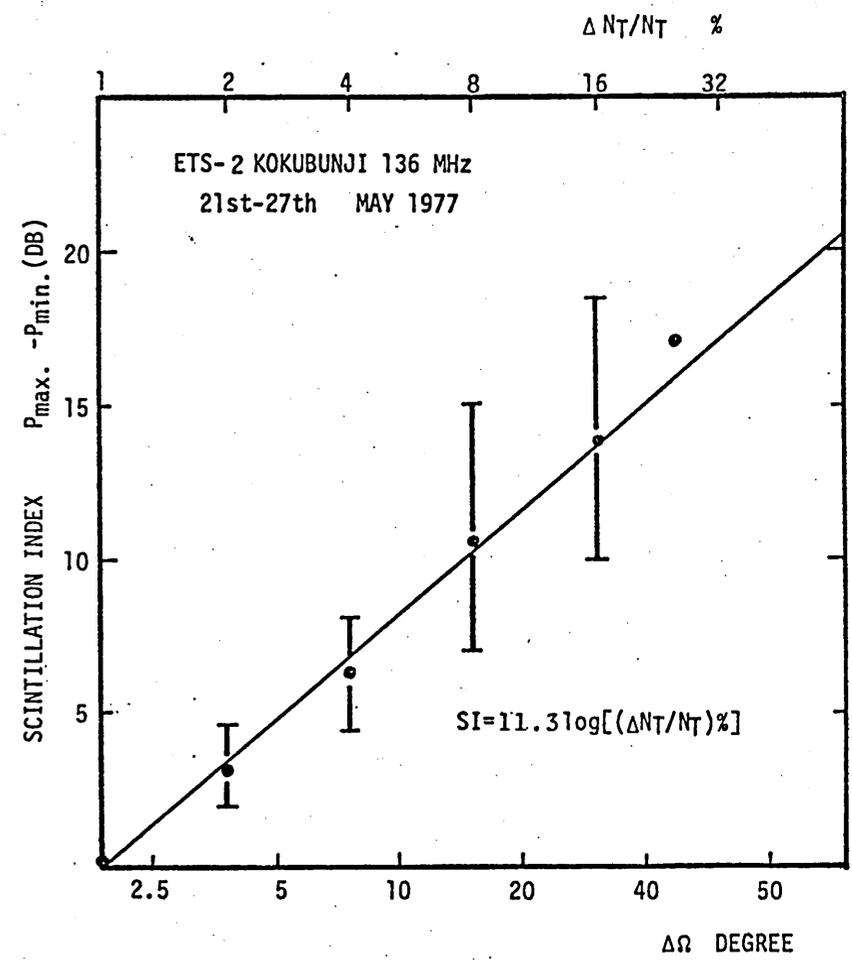
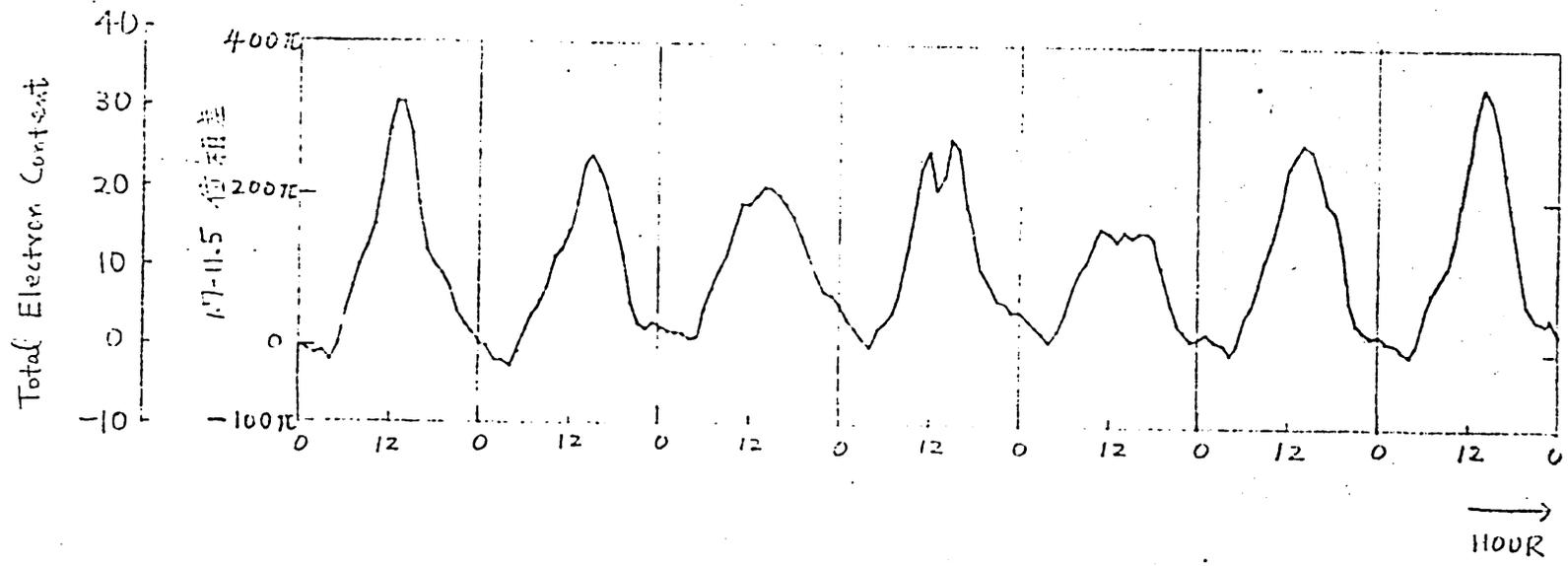
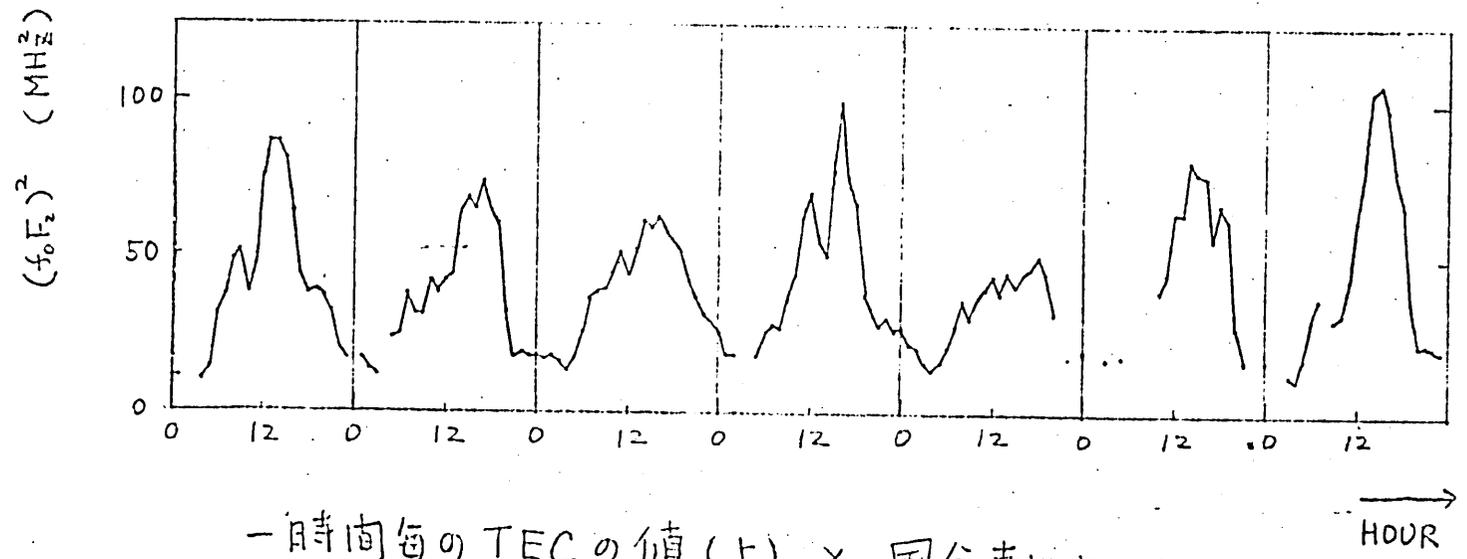


Fig. Scintillation index ( $P_{max} - P_{min}$  in dB) vs. fluctuation range of the total electron content  $\Delta NT/NT$  (Faraday rotation,  $\Delta\Omega$ ), 136 MHz of ETS-2 at Kokubunji.

4/22    4/23    4/24    4/25    4/26    4/27    4/28



1.7-11.5  
 位相差  
 (ローカル再生 1.7 GHz)  
 4/22 0% を 0 とした  
 相対値



国分寺  $(f_oF_2)^2$   
 (電波予報研究室  
 大山氏提供のデ  
 ータをプロットしたもの)

一時間毎の TEC の値 (上) と 国分寺における  $(f_oF_2)^2$  の値 (下)