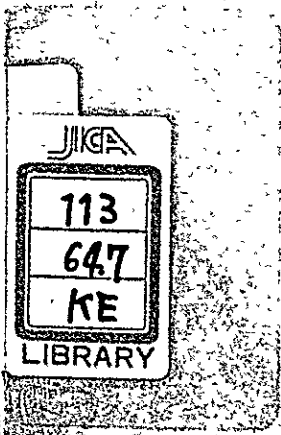



マレーシア国クチン・ジョホールバル間  
通信回線建設計画調査報告書

昭和43年2月

海外技術協力事業団



保存用  
持出禁止

JICA LIBRARY  
  
1059616[1]

国際協力事業団	
受入 月日 '84. 3. 19	1-13
登録No. 00757	64.7
	KE

## 序

日本政府はマレーシア政府の要請にもとづき、東マレーシア（サラワク）のクチンと西マレーシア（マラヤ半島）のジョホール・バルとを直接結ぶ見通し外マイクロウェーブ回線建設計画について基礎調査を行なうことになり、置局位置選定と電波伝播試験の実施を政府の機関である海外技術協力事業団に委託した。

事業団は、マレーシアにおける通信事業の発展の重要性に鑑み、その効率的実施を期して昭和42年8月7日より同年8月29日までの事前調査と昭和42年9月21日より同年11月21日までの主調査について、郵政省電波研究所第5特別研究室長平井正一博士を団長とし、9名（現地参加1名を含む）の専門技術者よりなる調査団をマレーシアに派遣した。

幸いにも現地における調査は円滑に行なわれ、調査団は全員無事帰国し、ここに調査報告書提出の運びとなった。

当事業団は日本政府の行なう海外技術協力の実施機関として昭和37年に発足し、以来開発途上にある国国に対する専門家の派遣、研修生の受入、コンサルティングサービスの提供等各種の政府ベースの技術協力を実施して着着実効を挙げているが、本調査報告書がマレーシアの重要施策である電気通信事業の推進に役立つとともに、日本、マレーシア両国間の友好親善と経済交流に寄与するならば、これにまさる喜びはない。

終りに、本調査の実施にあたり熱意ある支援と協力を惜しまれなかつたマレーシア政府関係者に対し、また現地において調査に協力された在外公館の方方、ならびに調査団の派遣に御協力いただいた外務省、郵政省、国際電信電話株式会社、日本電気株式会社および電気興業株式会社に対し、この機会に厚く御礼を申し上げます。

昭和43年2月

海外技術協力事業団

理事長 渋谷信一



セラビ山受信局

# 目 次

1. はしがき .....	1
1.1 概 要 .....	1
1.2 参 加 者 .....	1
2. 経 過 .....	4
2.1 事前調査の経過 .....	4
2.2 主調査の経過 .....	4
3. 伝搬試験地 .....	6
3.1 地図および地形 .....	6
3.2 伝 搬 路 .....	6
4. 伝搬試験装置 .....	19
4.1 送 信 装 置 .....	19
4.2 受 信 装 置 .....	24
5. 伝搬試験の結果 .....	32
5.1 基本伝送損失および地表屈折率の時間的変化の概要 .....	32
5.2 基本伝送損失および地表屈折率の日変化 .....	32
5.3 フェージングレートおよびフェージングレンジ .....	41
5.4 基本伝送損失および地表屈折率の累積百分率 .....	41
5.5 基本伝送損失と大気屈折率勾配との関係 .....	41
6. 実用通信回線の計画 .....	47
6.1 実用通信回線の設計基準 .....	47
6.2 装置の配置 .....	48
6.3 推 定 性 能 .....	48
6.4 太陽雑音の影響 .....	53
7. テレビジョン伝送の考察 .....	53
8. 結 論 .....	57

謝 辞

参 考 文 献

## 図面および図表一覧

図 1	伝搬路の地図	7
図 2	ブライ山およびジョホール・バルの地図	8
図 3	ブライ山局近傍の地形図	9
図 4	ブライ山局の地形と送信装置の配置	10
図 5	セラビ山およびクチンの地図	11
図 6	セラビ山局近傍の地形図	12
図 7	セラビ山局の地形と受信装置の配置	13
図 8	ブライ山局近傍のプロファイル	16
図 9	セラビ山局近傍のプロファイル	17
図 10	ブライ山・セラビ山間の伝搬路のプロファイル	18
図 11	送信機の系統図	22
図 12	移動式 8 mφ パラボラアンテナ	23
図 13	ブライ山局における電源の系統図	26
図 14	パラメトリック増幅器の系統図	29
図 15	受信機本体の系統図	30
図 16	セラビ山局における電源の系統図	31
図 17-a	基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動	35
図 17-b	基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動	36
図 17-c	基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動	37
図 17-d	基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動	38
図 17-e	基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動	39
図 18	基本伝送損失および地表屈折率の日変化	40
図 19	フェージングレートおよびフェージングレンジのヒストグラム	42
図 20	基本伝送損失の累積百分率	44
図 21	地表屈折率の累積百分率	45
図 22	シンガポールにおける大気屈折率の地上高分布	46
図 23	ブライ山局の装置の配置案	49
図 24	セラビ山局の装置の配置案	50
図 25	ブライ山・セラビ山間通信回線の信号対雑音比(1分間平均値)の 累積分布推定値	51
図 26	ブライ山・セラビ山間通信回線の信号対雑音比(瞬時値)の累積分 布推定値	52
図 27	ブライ山・セラビ山間のテレビジョン伝送に関する信号対雑音比 (瞬時値)の累積分布推定値	56

## 写真一覧

写真 1	ブライ山頂上附近の風景 .....	14
写真 2	クチン市からみたセラビ山 .....	15
写真 3	セラビ山局にヘリコプター輸送されるアンテナ柱 .....	14
写真 4	ブライ山送信局 .....	20
写真 5	2 GHz 1 KW 送信機 .....	21
写真 6	ブライ山局の送信装置 .....	20
写真 7	セラビ山受信局 .....	27
写真 8	2 GHz 受信機 .....	28
写真 9	セラビ山局の受信装置 .....	27
写真 10	受信信号レベルの1時間記録の例 .....	33
写真 11	受信信号レベルの5分間記録の例 .....	33



# 1. は し が き

## 1.1 概 要

東マレーシアのサラワク州から西マレーシアならびに海外へのすべての通信は、現在クチン・クアラルンプール間に施設されている弱体な短波回線を通して行なわれている。したがって、これでは、日に増大してゆく通信の需要に到底応じ得るものでなく、マラヤ半島諸州とサバ・サラワク州の政治・経済および文化の一体をはかろうとするマレーシア政府の企図に対して大きな障害となっている。ここに、マレーシア政府の関係当局の電気通信総局 (Telecommunications Department) は、1966年から1970年までのマレーシア国5ヶ年開発計画に関連して、クチンとジョホールバルとを結ぶUHF対流圏散乱波通信回線を建設するプロジェクトをとりあげた。

この回線はその伝搬距離が約740 Km に及び、これが完成すれば世界最長のマイクロ波見通し外回線となるものである。したがって、事前に周到な調査と十分な研究を行なうことが必要であり、このためマレーシア政府はこの調査についての技術的協力を日本政府に要請、これに応じて、本調査が実施される運びになった。

調査は事前調査と主調査の2段階で実施された。事前調査は1967年8月7日より29日までの23日間、日本側4名、マレーシア側1名により、現地の状況の調査、両国の協力作業の分担の打合せ、主調査の実施計画の立案などの作業を行なった。この調査は主調査の円滑な実施に大いに役立った。

主調査は正味4週間の伝搬試験を目標とし、1967年9月21日より11月21日までの62日間、日本側団員9名ならびにマレーシア側多数の人員により実施された。

送信装置をジョホール州のプライ山 (標高654.4 m) に、受信装置をサラワク州のセラピ山 (標高910.8 m) に設置し、周波数1840 MHz の電波を使用した。この測定の結果、受信信号は予想値よりかなり強く、電話48回線を目標とする実用通信回線の実現は極めて有望であるとの明るい見通しが得られた。

本報告は、本調査の実施経過、伝搬試験の結果ならびにこの試験結果に基づく実用通信回線の計画について述べ、なおこの回線を通じてテレビジョン信号を伝送することについて考察した結果についても付言する。

## 1.2 参加者

### (a) 事前調査の参加者

(日本の調査団員)

団 長	平 井 正 一	郵政省電波研究所
副 団 長	阿 部 文 蔵	郵政省電波監理局
渉 外 担 当	松 岡 義 郎	国際電信電話株式会社
業務調整担当	青 木 滋 磨	海外技術協力事業団

( マレーシアの関係者 )

(Headquarters of the Telecommunications Department)

Director,  
External Services      Mr. Koh Ah Seng

Controller,  
External Services      Dr. Lum Yun Foo

Assistant Controller: Dr. Lim Ching Hwa

(Johore Regional Telecommunications Department)

Acting Controller      Mr. David Variyan

Technical Assistant : Mr. A.J. Skelchy

(Borneo Posts and Telecommunications Department)

Deputy  
Regional Director      Mr. R. H. Allen, D.F.C.

Controller,  
Headquarters              Mr. James Lee

Controller,  
1st and 2nd Divisions: Mr. S. D. Sissons

Engineering  
Assistant                  Tuan Haji Zahari

(b) 主調査の参加者

( 日本 の 調査 団 員 )

団 長	平 井 正 一	郵政省電波研究所
副 団 長	阿 部 文 蔵	郵政省電波監理局
渉 外 担 当	松 岡 義 郎	国際電信電話株式会社
電波伝搬担当	丹 羽 俊 太 郎	郵政省電波研究所
回線設計担当	木 本 正 二	国際電信電話株式会社
アンテナ担当	工 藤 孝 之	電気興業株式会社
受信機担当	清 水 明	日本電気株式会社
送信機担当	高 尾 誠	日本電気株式会社
業務調整担当	青 木 滋 磨	海外技術協力事業団

(マレーシアの関係者)

(Headquarters of Telecommunications Department)

Director,  
External Services        Mr. Koh Ah Seng

Controller,  
External Services :     Dr. Lum Yun Foq

Controller,  
Radio Transmission :   Mr. Ng Ek Poh

Assistant Controller ·   Dr. Lim Ching Hwa

Assistant Controller ·   Mr. Norman Foo

Technician                Mr. Victor Arul

Technician ·              Mr. Soo Tuck Chew

Technician ·              Mr. S. S. Sathiathan

Technician ·              Mr. V. Veera Ralraj

(Johore Regional Telecommunications Department)

Controller                Mr. T. A. Narayanan

Assistant Controller :   Mr. David Variyan

Assistant Controller :   Mr. Ng Sui Onn

Assistant Controller ·   Mr. Lim Thian Foh

Technical Assistant :   Mr. A. J. Skelchy

Technical Assistant :   Mr. P. Senthimanikam

Technical Assistant ·   Mr. Quek Yee Nam

(Borneo Posts and Telecommunications Department)

Deputy  
Regional Director :     Mr. R.H. Allen, D.F.C.

Controller,  
Headquarters ·         Mr. James Lee

Controller, 1st and  
2nd Divisions ·         Mr. S.D. Sissons

Engineering  
Assistant                Mr. Ong Chin Yiang

Engineering  
Assistant ·              Tuan Haji Zahari

## 2. 経 過

### 2.1 事前調査の経過

予備調査団は8月7日クアラランブールに到着、ここで主調査に関する机上検討および打合せを行なったのち、ジョホール州のプライ山に行き、現地調査を行ない、試験地を選定した。ついで、サラワク州のセラビ山に赴き、現地調査を行ない、試験地を選定した。その後、クアラランブールにもどり調査結果をまとめ、主調査の計画を立案、8月28日、その報告をテレコム総局に提出した。調査団員は8月29日無事帰国した。この予備調査の経過の詳細は表1のとおりである。

表1 予 備 調 査 の 経 過

(年 月 日)	(作 業)
1967年 8月 7日(月)	調査団クアラランブール着
8日(火)	テレコム総局関係者と調査計画について打合
11日(金)	調査団ジョホールバル着
12日(土)	1) テレコム・ジョホール地方局関係者と調査計画について打合 2) プライ山の現地調査開始
16日(水)	調査団クチン着 テレコム・ボルネオ地方局の関係者と調査計画について打合
17日(木)	セラビ山の現地調査開始
20日(日)	ヘリコプタ基地および機材輸送路の調査
21日(月)	調査資料の整理。テレコム・ボルネオ地方局の関係者と打合
22日(火)	調査団クアラランブール着
23日(水)	調査資料の整理ならびに予備調査の報告書の作成に着手
28日(月)	予備調査の報告書をテレコム総局に提出
29日(火)	調査団東京着

### 2.2 主調査の経過

主調査に必要な機材はクチン向けとジョホール向けとに分けられ、それぞれ8月26日および30日に日本から発送された。主調査団は9月25日にクアラランブールに到着、翌日テレコム関係者と調査実施計画について打合せを行なった。このあと、ジョホールバルに向い、プライ山に送信局を建設、これに約8日間を要し、ついで、クチンに赴き、セラビ山に受信局を建設、これに約10日間を要した。伝搬試験は予定通り、10月13日夕刻より開始、正味4週間連続的に実施し、11月11日に終了した。その後、各局とも施設の解体を進めると同時に測定結果の解析を行ない、これを中間報告としてとりまとめ、11月20日テレコムに提出した。11月21日、全団員無事帰国。

予備報告書は12月21日に発送。この主調査の経過報告の詳細は表2に示してある。

表2 主 調 査 の 経 過

(年 月 日)	(作 業)
1967年 8月 26日(土)	クチン向け機材を横浜より発送
30日(水)	ジョホールバル向け機材を横浜より発送
9月 21日(木)	調査団員(1名)機材引取りのためシンガポール着
25日(月)	調査団(8名)クアラ Lumpur 着
26日(火)	1) テレコム総局にて挨拶および試験計画の打合 2) 調査団 ジョホールバル着
27日(水)	1) プライ山送信局の装置の設置を開始 2) 機材をクチンからセラピ山へ輸送
10月 4日(水)	1) プライ山送信局の装置設置を完了 2) 調査団クチン着
7日(土)	1) 調査団セラピ山上に到着 2) セラピ山受信局の装置の設置を開始
12日(木)	1) セラピ山受信局の装置設置を完了 2) プライ山局とセラピ山局において、アンテナの方向調整を実施
13日(金)	1) アンテナの方向調整を完了 2) 18時00分、2GHzの伝搬試験を開始
25日(水)	アンテナの方向の再調整を実施
31日(火)	アンテナの方向の精密調整を実施
11月 11日(土)	1) 06時00分、2GHzの伝搬試験を完了 2) プライ山局およびセラピ山局において装置の解体に着手
13日(月)	クアラ Lumpur において試験結果の解析を開始
17日(金)	ジョホールバルにおいて機材の梱包を完了
19日(日)	クチンにおいて機材の梱包を完了
20日(月)	試験結果の中間報告書をテレコム総局に提出
21日(火)	調査団全員無事帰国
12月 5日(火)	プライ山局の機材が横浜に到着
21日(木)	マレーシア政府へ試験結果の予備報告書を発送
1968年 1月 1日(月)	セラピ山局の機材が横浜に到着

### 3. 伝搬試験地

#### 3.1 地図および地形

伝搬試験は送信局をジョホール州のプライ山に、受信局をサラワク州のセラピ山に設置して実施した。伝搬路の地図が図1に示されている。伝搬路は全長739.1 Kmで、両局近傍の陸地を除いた約541 Kmの区間が海上である。

送信局の近傍の地図を図2、地形図を図3および4に示してある。プライ山はジョホールバル市の北西約25 Kmにあり、山頂の標高654 m、ここには既設のテレビ放送局およびマイクロ波中継局があり、頂上まで舗装された自動車道路が通じている。写真1は頂上付近の風景である。伝搬試験の送信局はプライ山頂の北東約130 mに位置し、アンテナ設置点の標高は619 mである。付近一帯は南北に走る山陵であり、実用局を設置するのにほぼ適当な広さを有している。

受信局の近傍の地図を図5に、地形図を図6および7に示してある。セラピ山はクチン市の西方約18 Kmにあり、山頂の標高は910.7 m、この近傍にマレーシア軍の監視所がある。写真2はクチン市から見たセラピ山の姿で、中央の一番高い山がそれである。山麓から頂上までは人1名がやっと歩き得る登山路があるのみであるので、実験機材の輸送はすべてヘリコプタによって行なわれた。写真3はその状況の例を示している。伝搬試験の受信局は山頂の北方約200 mに位置し、アンテナ設置点の標高は801.1 mである。付近一帯は北西に向って下り坂の山陵で、平均勾配は $\frac{1}{4}$ である。したがって、実用局を建設するときの整地工事については綿密な設計を必要とする。

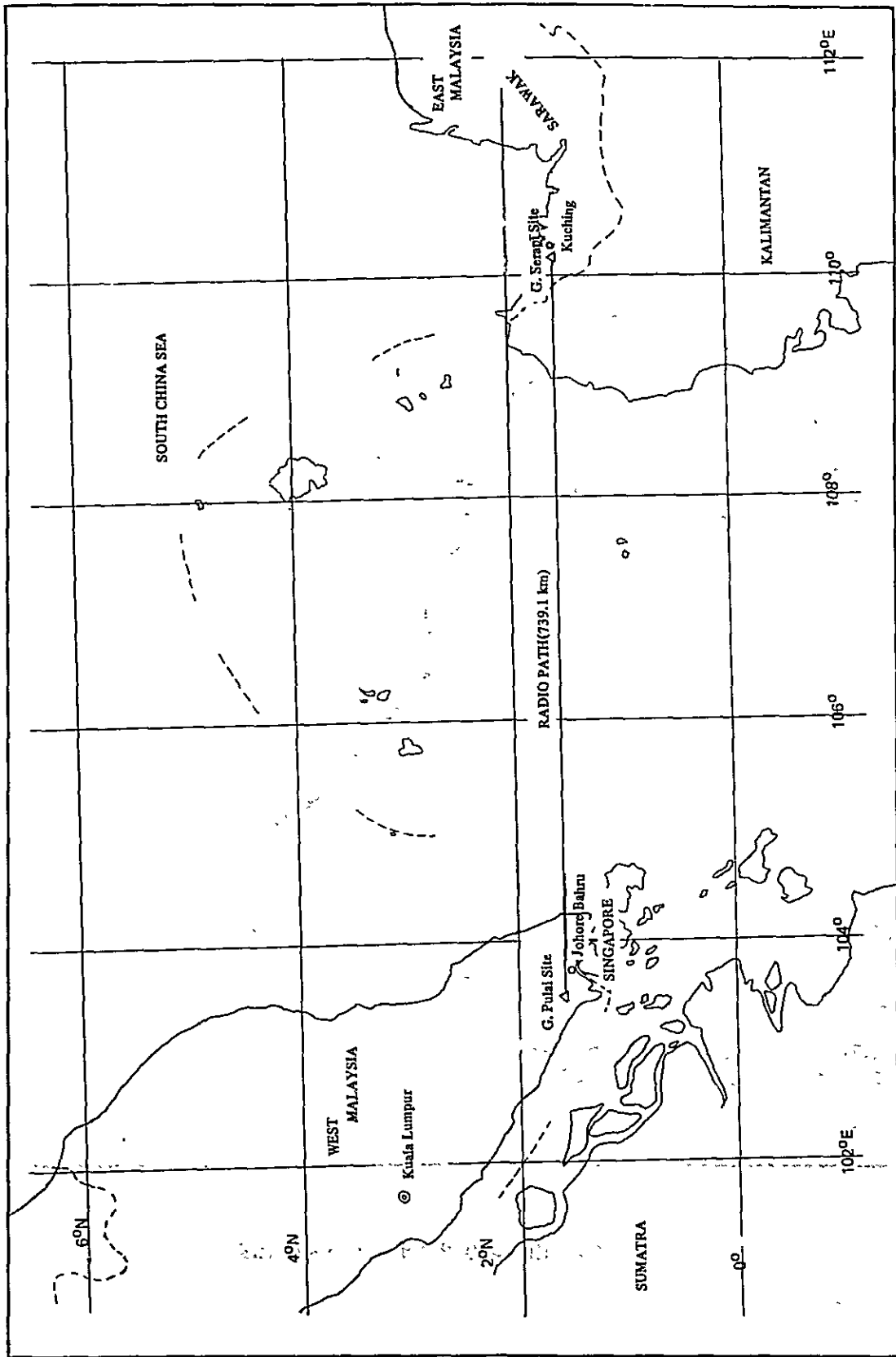
#### 3.2 伝搬路

伝搬路のプロファイルは図8,9および10に示されている。プライ山局からみた見通し限界は、図8に示されているように、海面上に位置するが、セラピ山局からの見通し限界は図9に示されているように、インドネシア国とサラワク州との国境近傍にある標高約500 mの山岳によってきまっている。

これらの資料からもとめられた伝搬路パラメータを整理してみると表3に示すようになる。ただし、ここではアンテナ中心の地上高を6.4 mにとっている。

表3 伝搬路パラメータ

項目 \ 局	プライ山局 (送信)	セラピ山局 (受信)
海拔高		
地表面	619.1 m	801.1 m
アンテナ中心	625.5 m	807.5 m
北緯	1°36'09.8"N	1°35'14.4"N
東経	103°32'52.8"E	110°11'22.1"E
見通し距離	113.4 Km	61.2 Km
見通し点の海拔高	0 m	500 m
伝搬路長	739.1 Km	
地表屈折率 (冬季)	375 N-units	
散乱角 (冬季)	$59.1 \times 10^{-3}$ rad	



Scale: 1/5,000,000

図1 伝搬路の地図

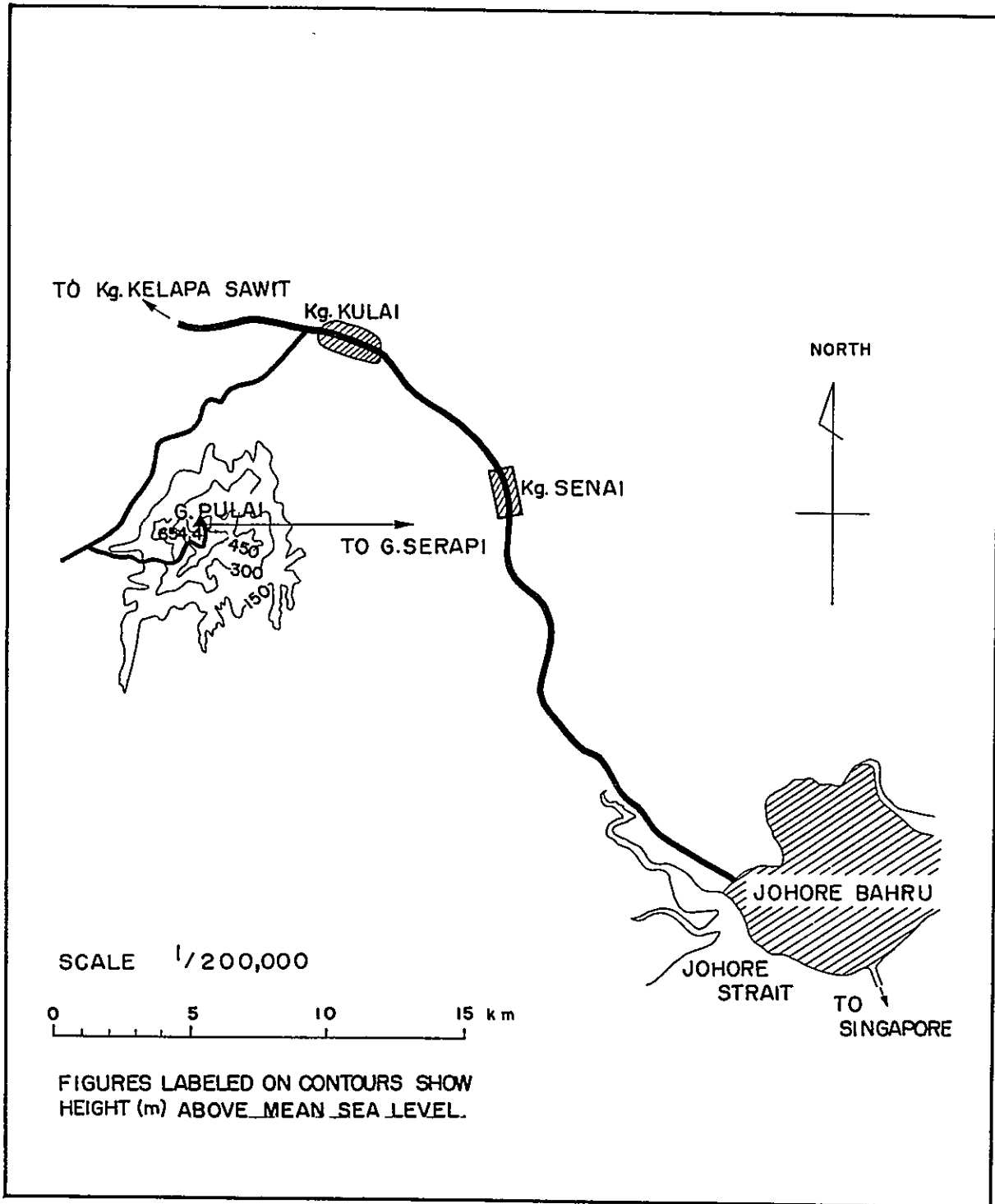


図2 プライ山およびジョホールバルの地図



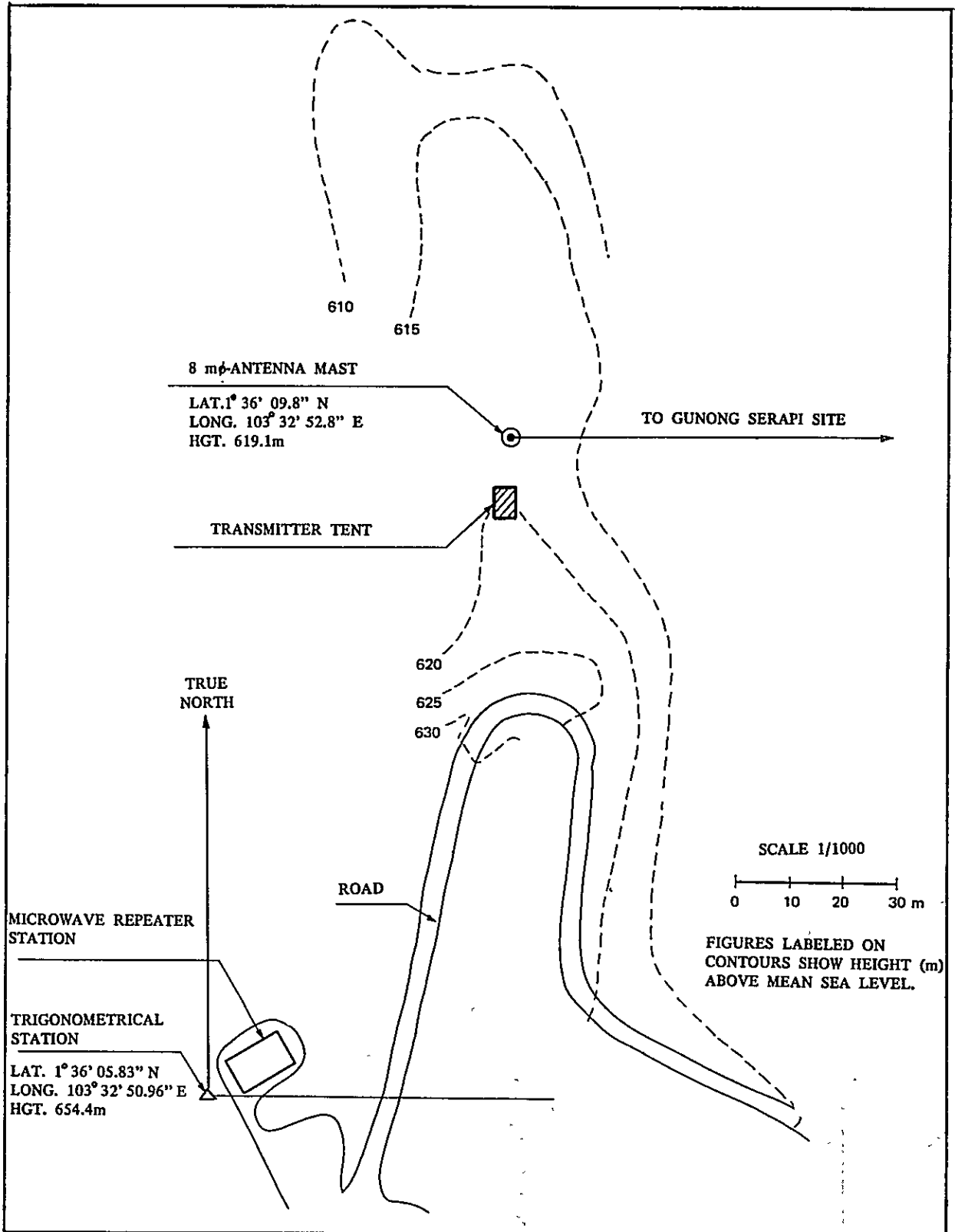


図 3 プライ山局近傍の地形図

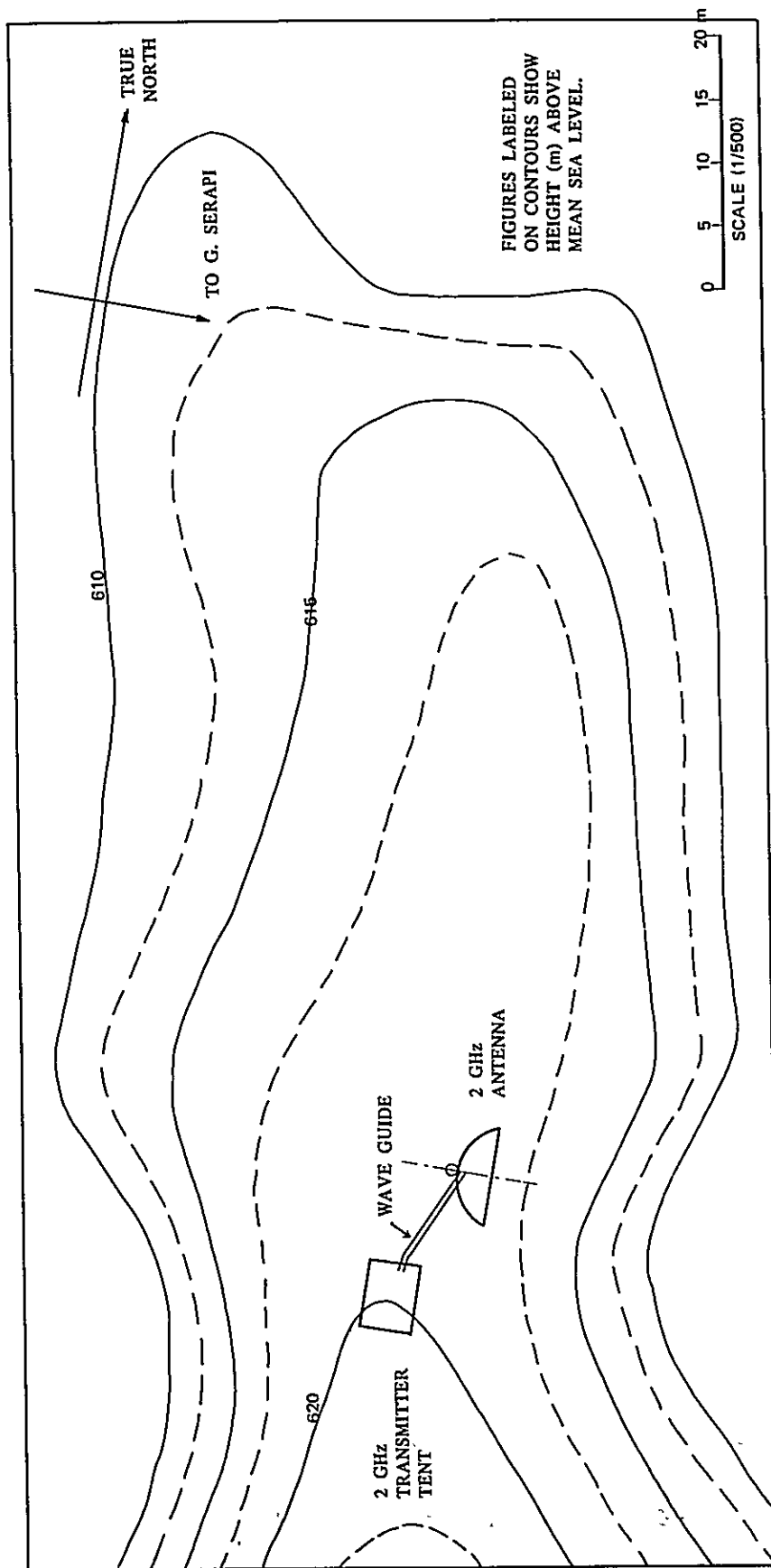


図 4 フライ山局の地形と送信装置の配置

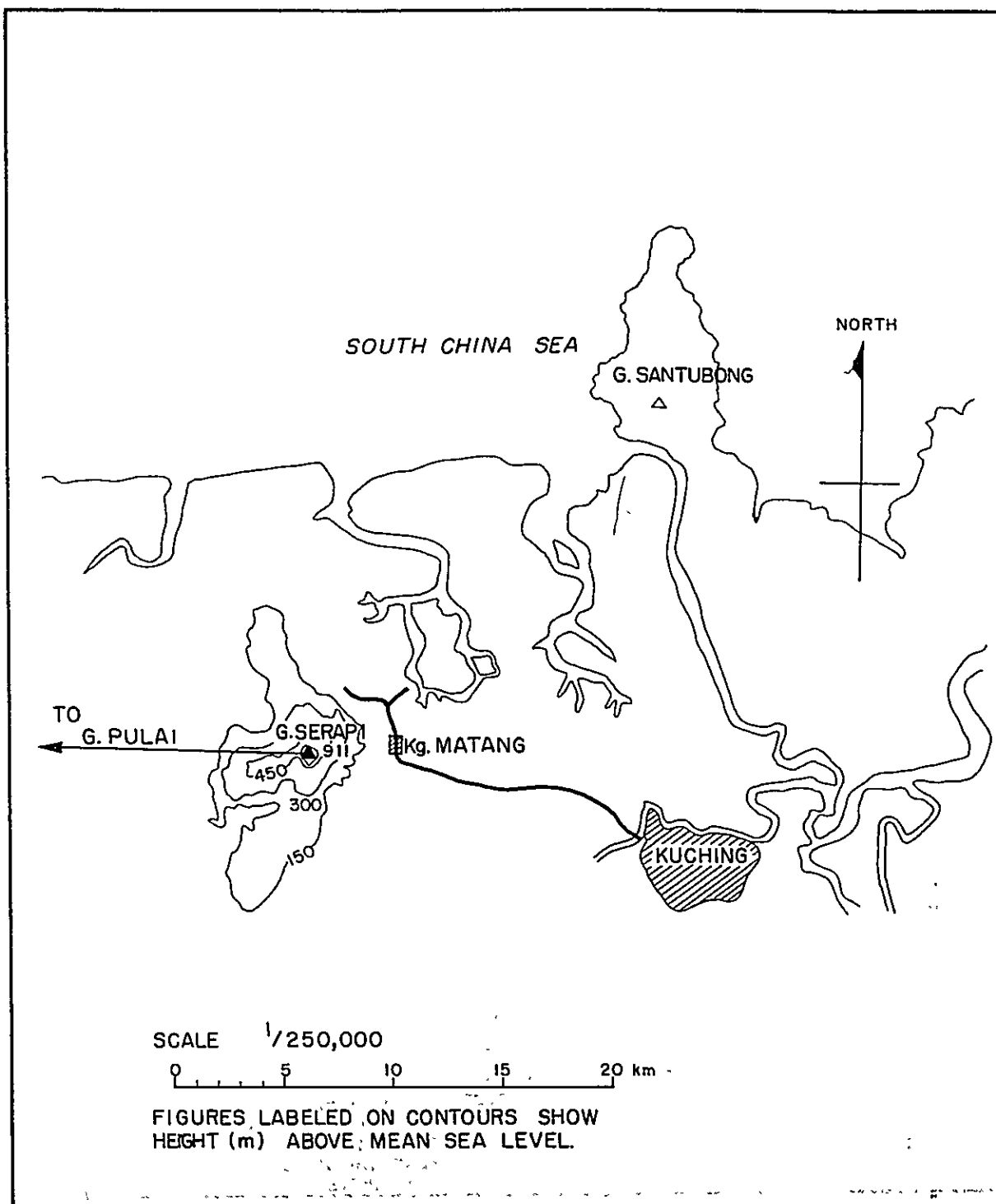


図5 セラピ山およびクチンの地図

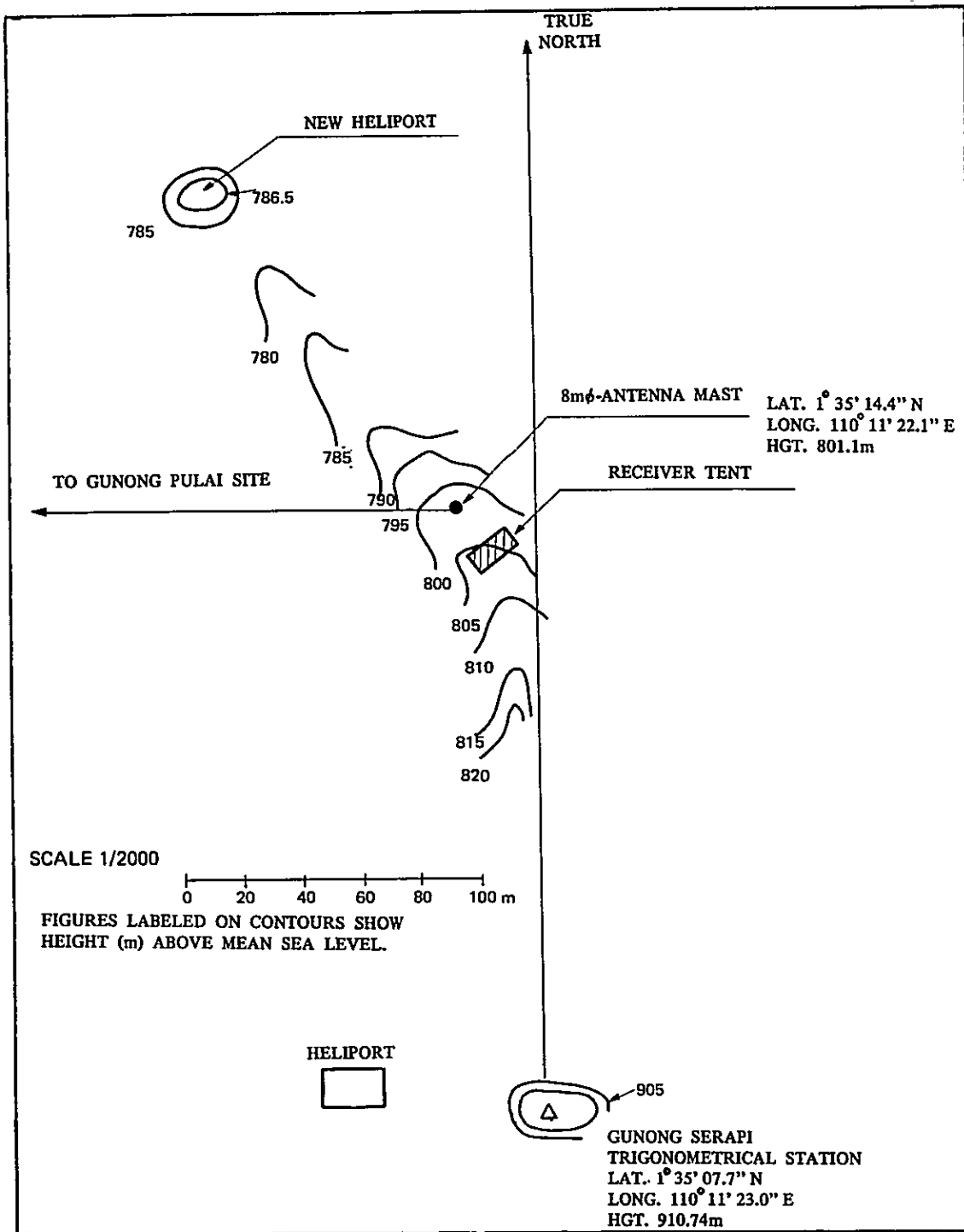


図 6 セラピ山局近傍の地形図

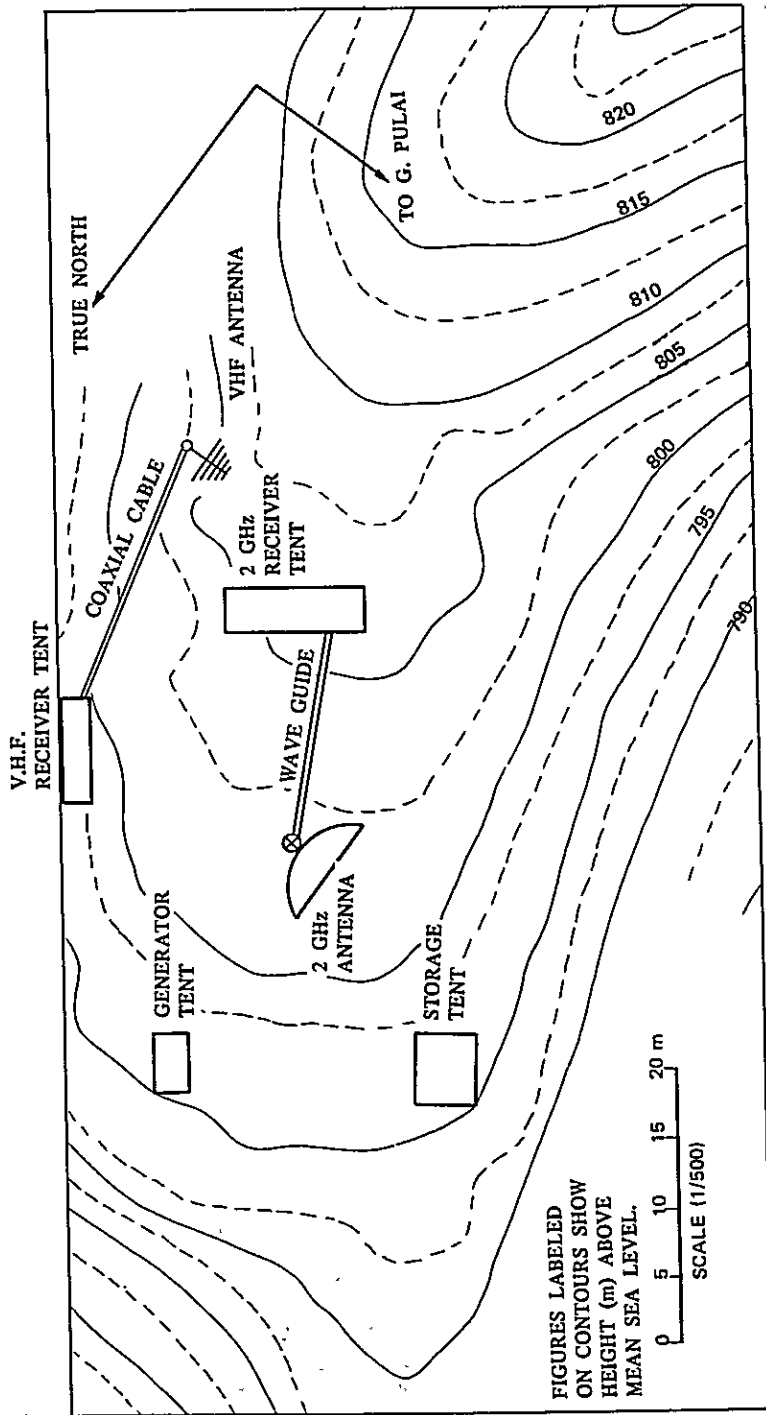


図 7 セラビ山局の地形と受信装置の配置

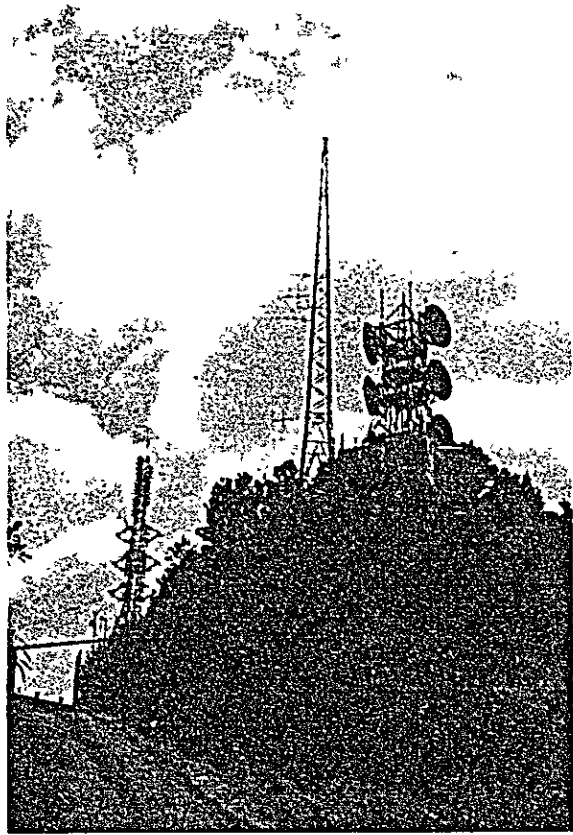


写真1 プライ山頂上附近の風景

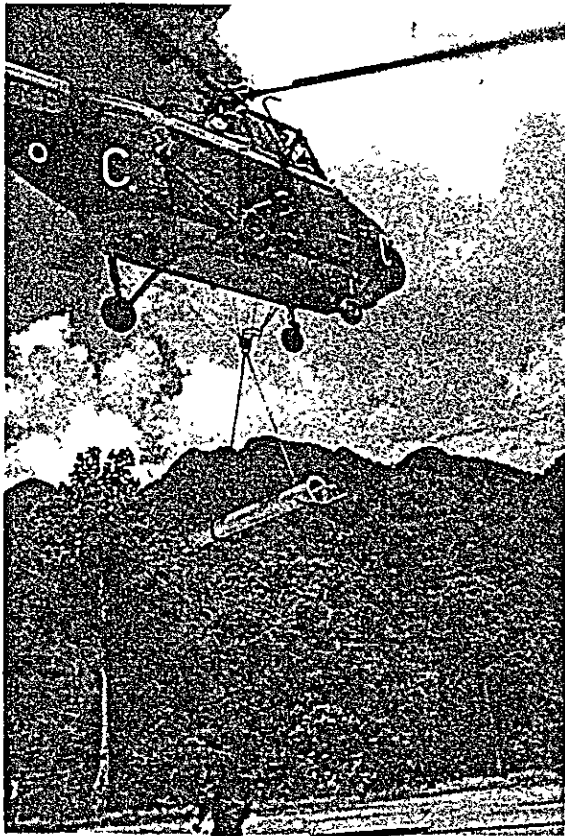


写真3 セラビ山局にヘリコプタ  
輸送されるアンテナ柱

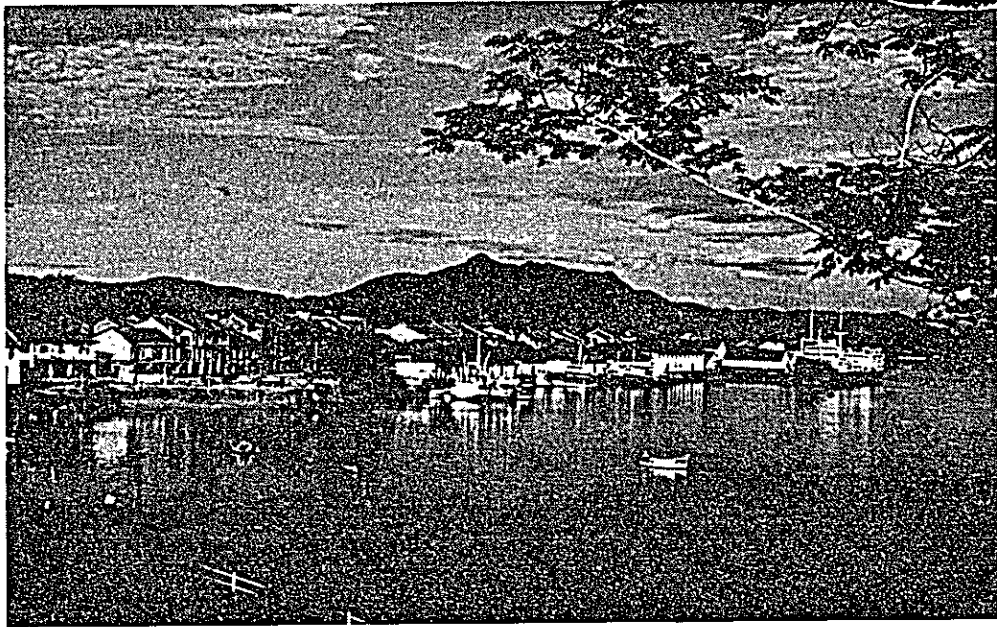


写真2 クチン市からみたセラビ山

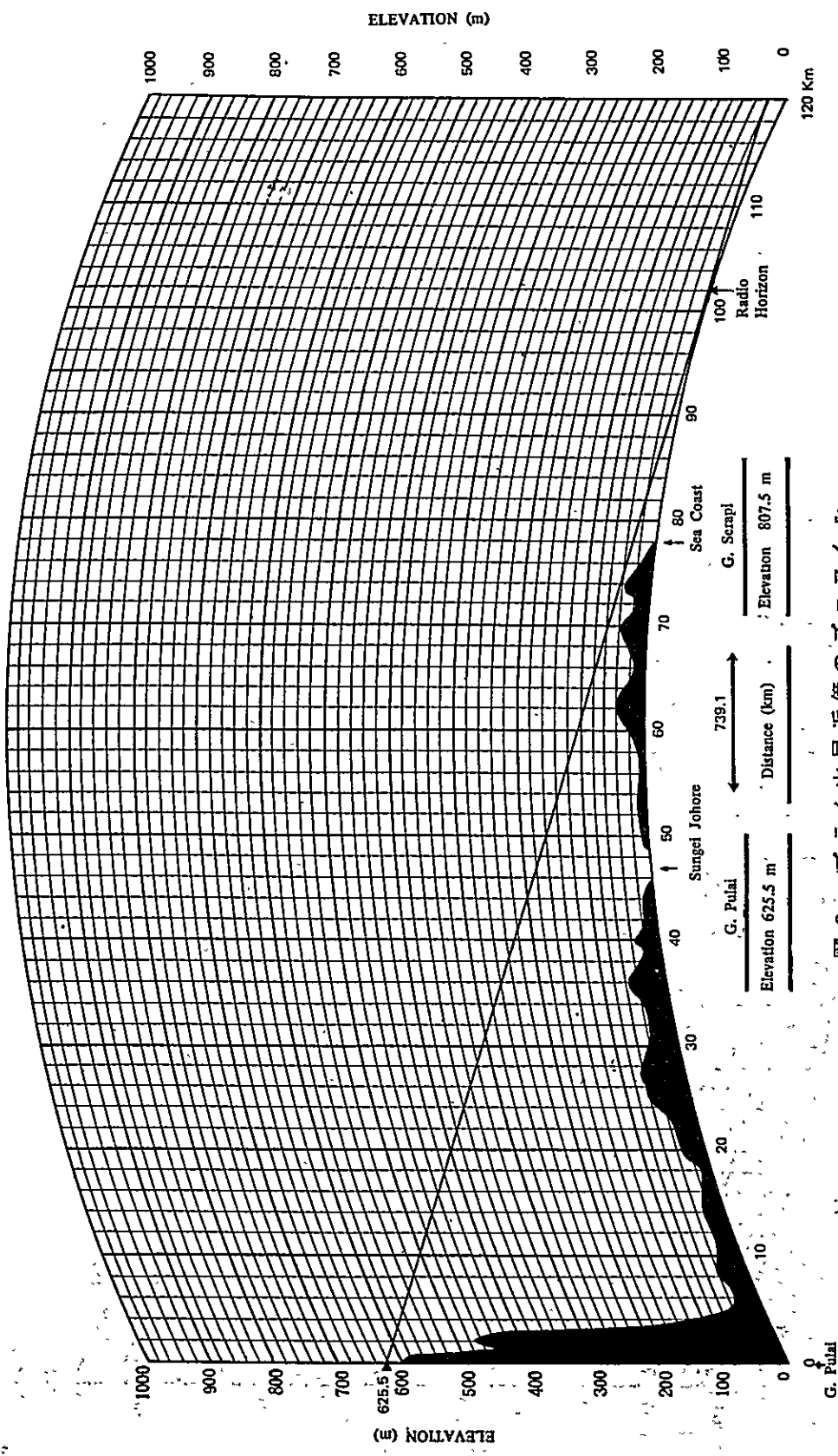


図 8 プライ山局近傍のプロファイル



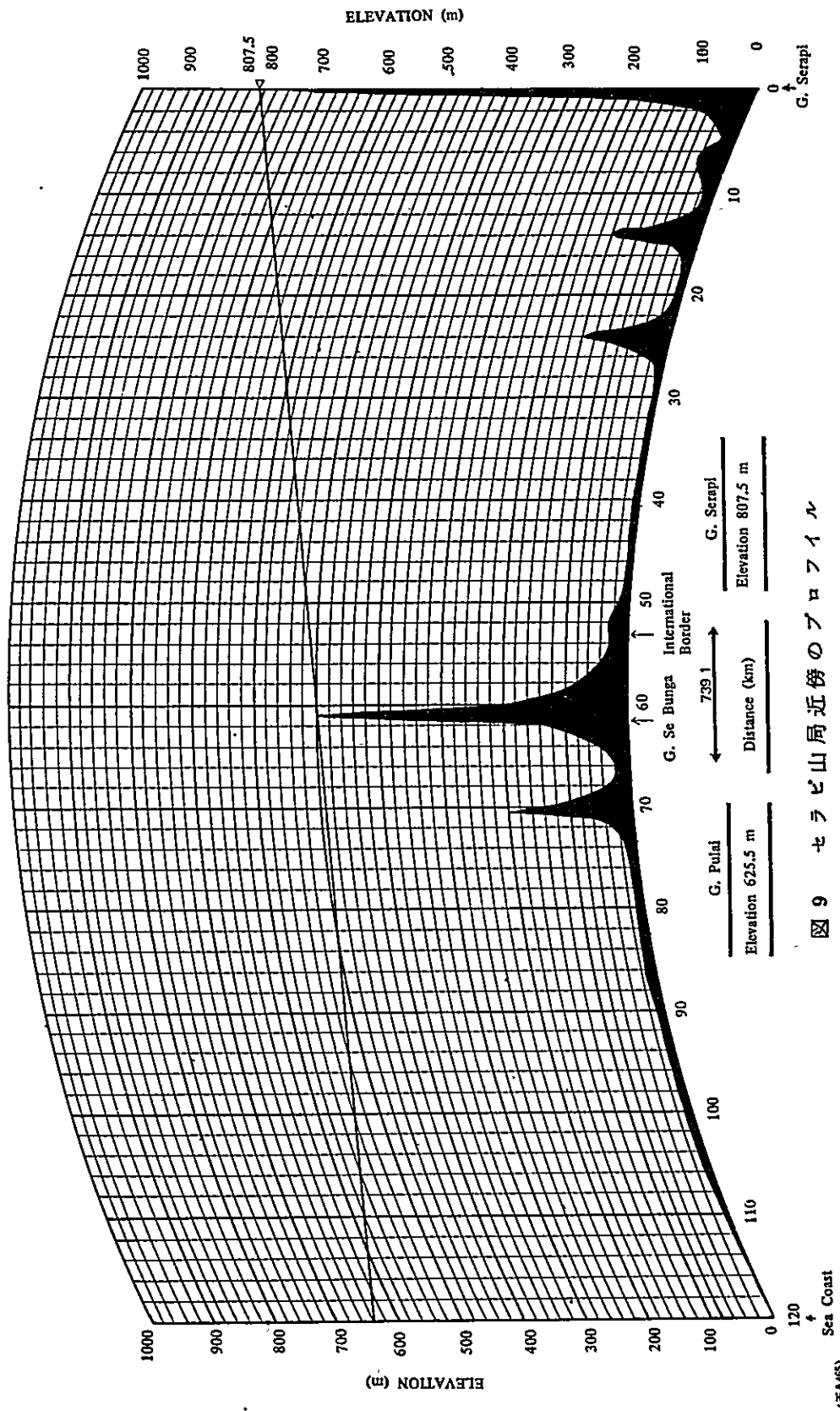


図9 セラピ山局近傍のプロファイル

(3FA465)

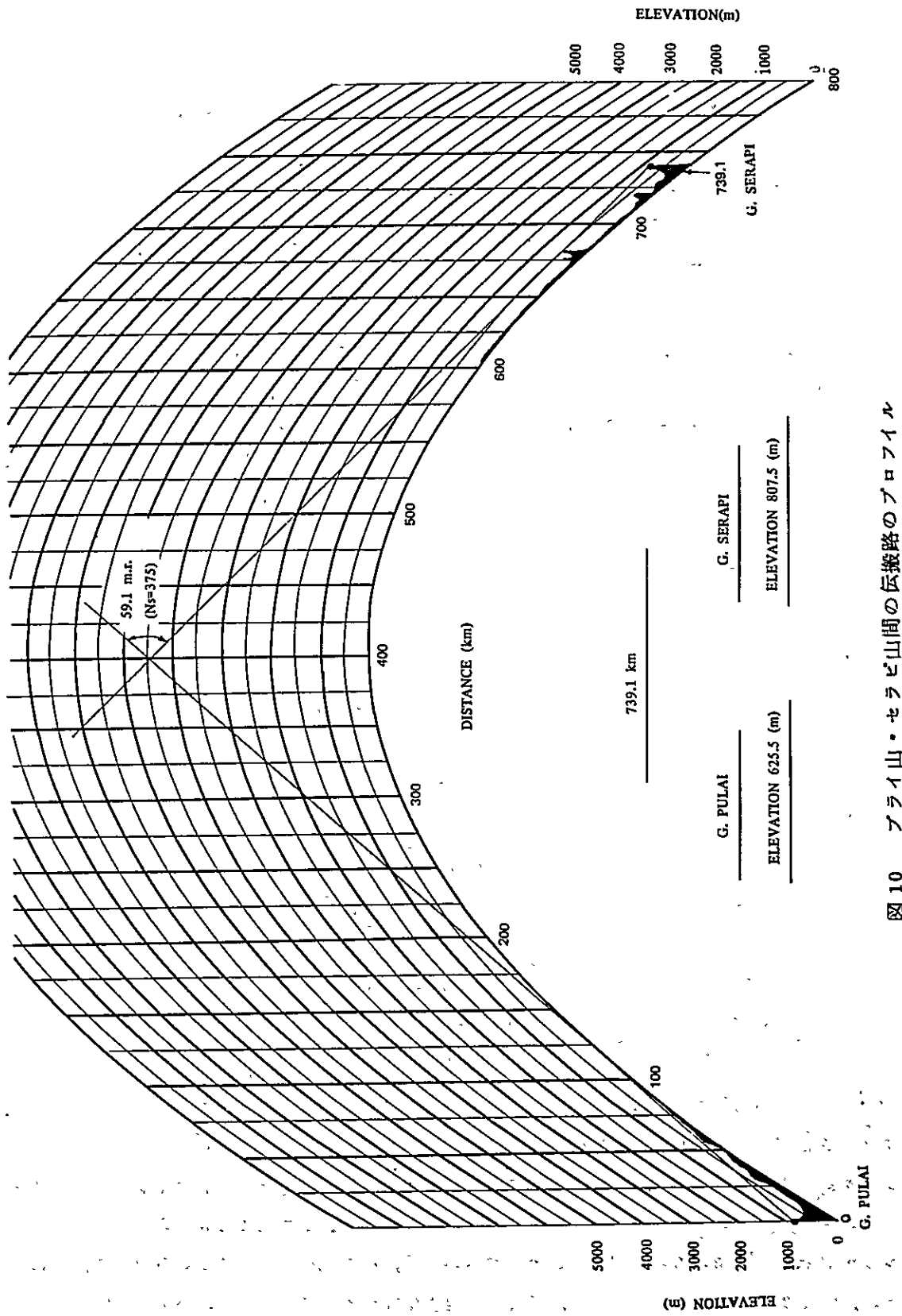


図 10 プライ山・セラピ山間の伝搬路のプロファイル

## 4. 伝 搬 試 験 装 置

### 4.1 送信装置

送信装置は、電源の供給の便宜から、ジョホール州のプライ山に設置された。この送信局の外観は写真4に示されている。

送信装置は、周波数1840MHz，出力1KW，電波型式F0(無変調波)，アンテナ利得40.1dbのもので、発振器，励振器，電力増幅器およびアンテナなどから構成される。送信機の外観図を写真5に、また、その主要な性能を表4に掲げてある。

送信機の系統図は 図 11 に示されており、その動作概要はつぎのとおりである。

発振器内の水晶発振子の発振周波数は 1.064815MHzで、その安定度は極めてよく、その変動は  $1 \times 10^{-7}/hr$  以内に保たれる。これは 受信装置の帯域幅を 1KHzに制限するために必要なことであり、このため、水晶発振子は その温度変化を  $0.01^{\circ}C$  以内に保つ極めて安定な恒温槽内に納められている。

表 4 送 信 装 置 の 主 要 特 性

送 信 機	
出 力	1 KW
周 波 数	1 8 4 0 MHz
周波数安定度	$1 \times 10^{-7}/hour$ 以内
電波型式	F0 (無変調波)
スプリアスレベル	- 6 0 db
消費電力	約 5 KVA.
アンテナ	
型 式	パラボラ型，可搬組立式
直 径	8 m
利 得	4 0.1 db
フィーダ損失	0.9 db

この原振器からの信号は 24 倍されて 25.5555MHz となり、励振器に入り、ここで、72 倍されて 1840MHz の信号となり、ついで板極管 LD-583 により増幅されたのち、帯域フィルタにより不要な射信号が除去され、電力増幅器に供給される。電力増幅器にはクライストロン VA-802B が用いられており、その利得は約 40db，出力は 1KW である。

アンテナには 直径 8m のパラボラアンテナが用いられ、その利得は 40.1db である。このアンテナは、図 12 に示されているように、可搬型、組立式のもので、建設において、格別の基礎工事を必要としないように作られており、反射面は ラス網製である。フィーダには、導波管 WRJ -

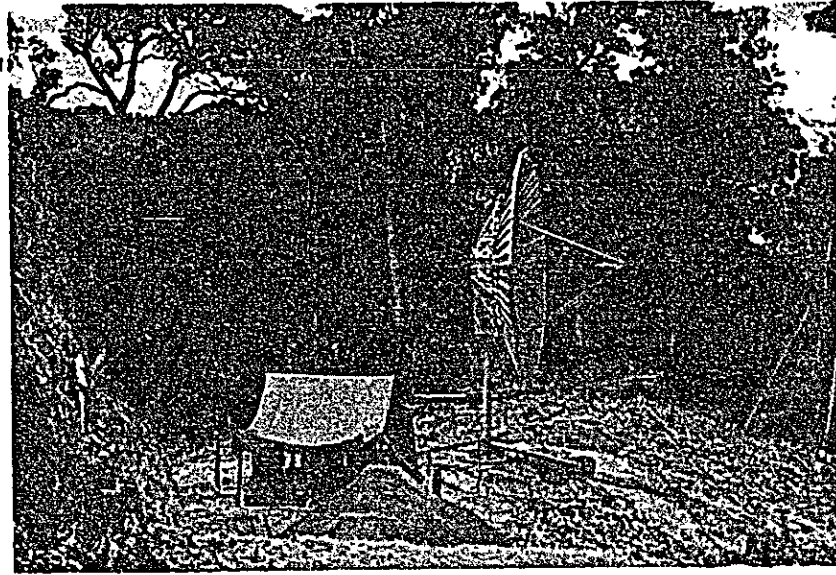


写真4 ブライ山送信局

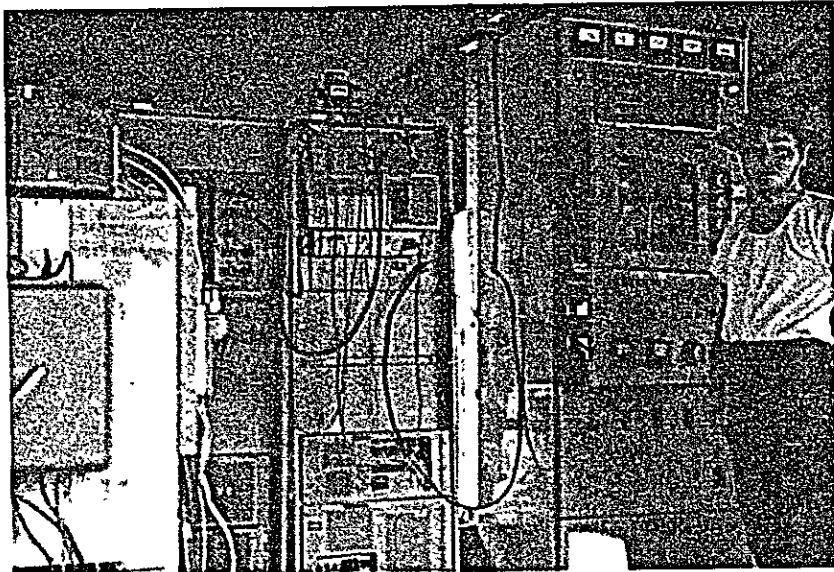


写真6 ブライ山局の送信装置

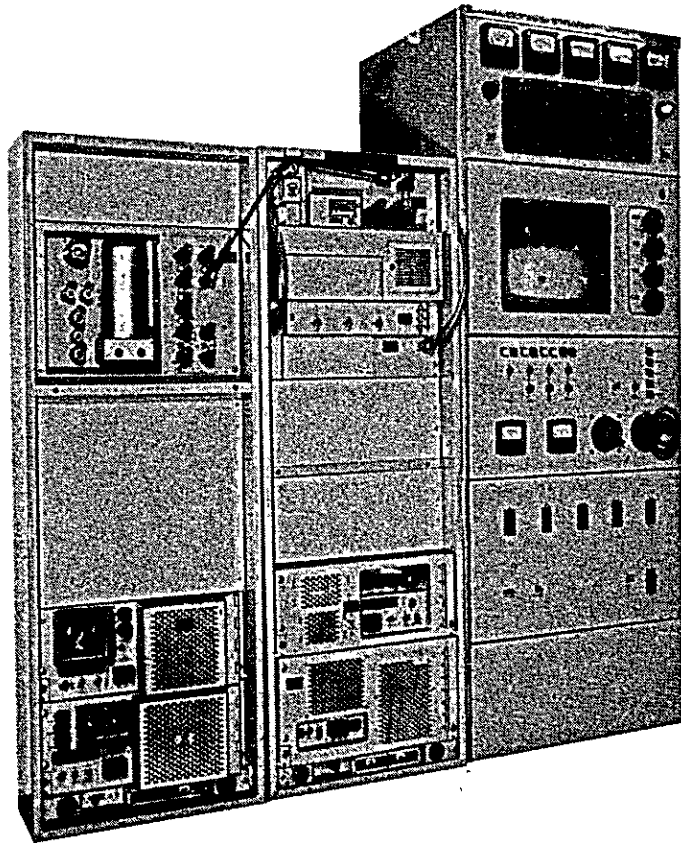


写真 5      2 GHz   1 KW 送信機

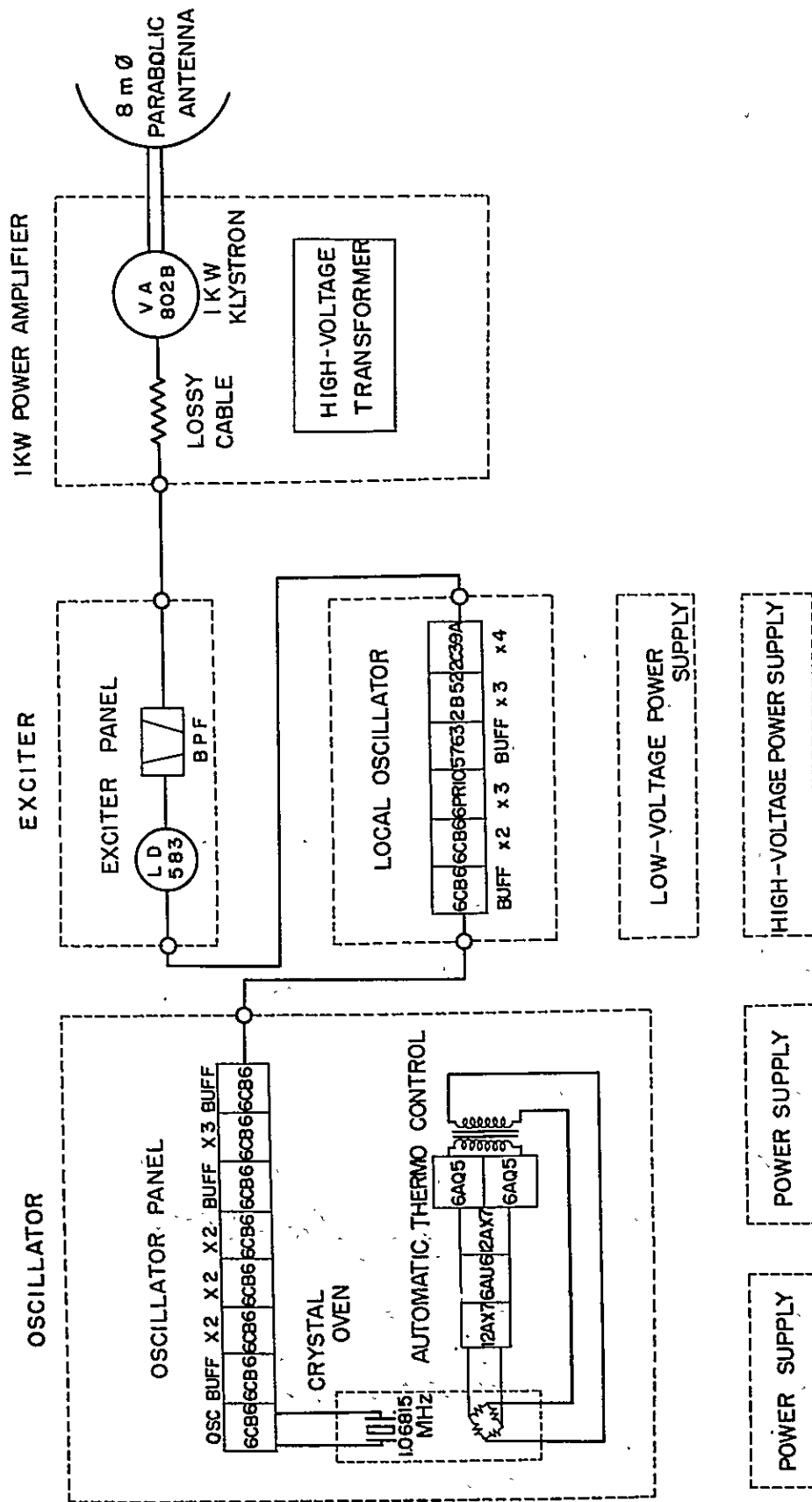


図 11 送信機の系統図

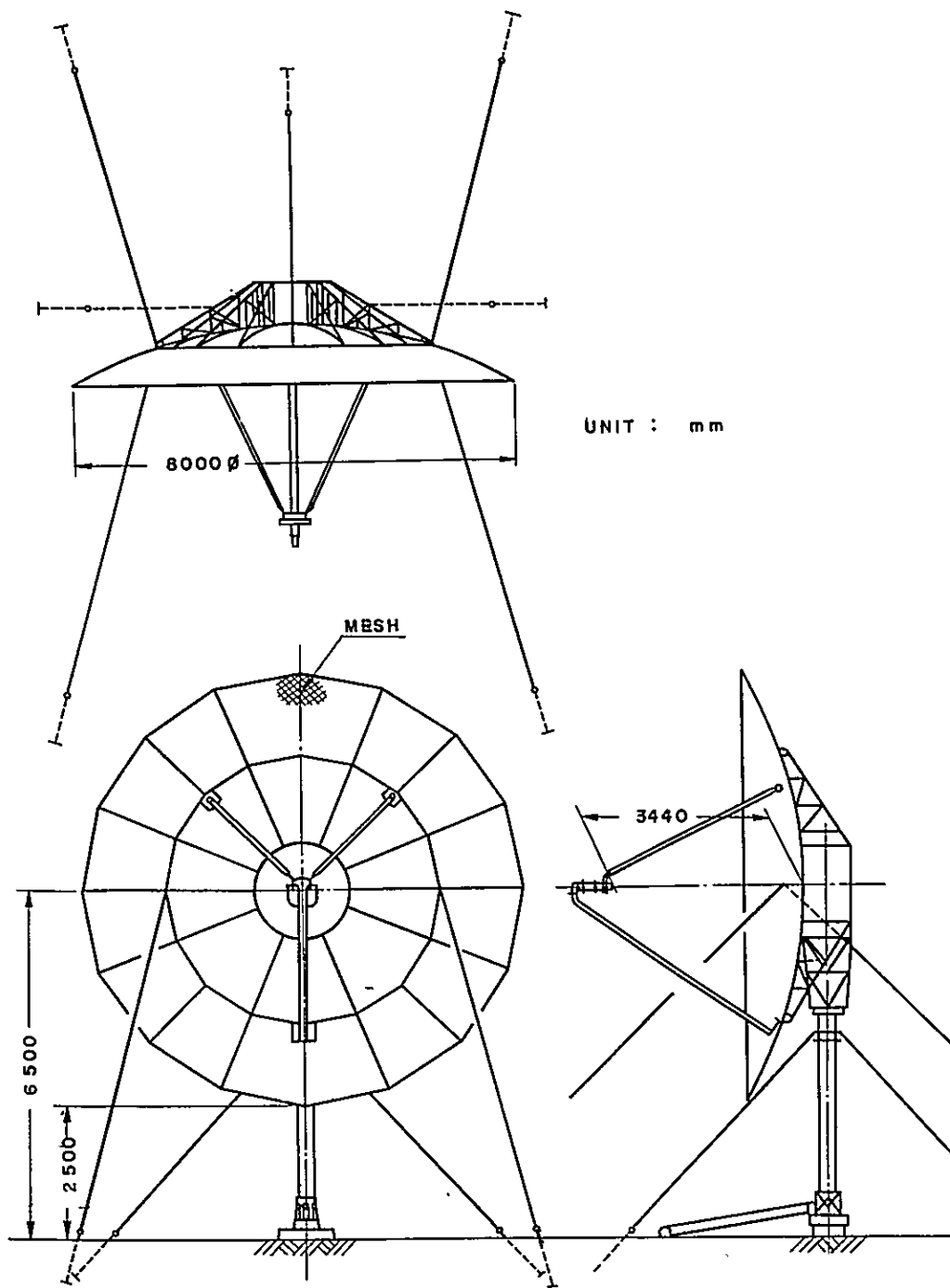


図 12 移動式 8m $\phi$  パラボラアンテナ

2 (15m) が用いられ、その損失は0.9 db とはかられている。

送信装置の電源は約150mはなれたテレビジョン放送機用のディーゼル発電機(100KVA)から供給され、その系統図が図13に示されている。

送信局全体の機器の配置図は図4に示す通りで、送信機はテントの中に写真6(前掲)に示すように収容された。

#### 4.2 受信装置

セラピ山に設置された受信局の外観は、写真7に示されている。

受信装置は、周波数1840MHz、雑音指数3db、帯域幅1KHz、アンテナ利得は40.0dbのもので、パラメトリック増幅器、前置増巾器、局部発振器、復調器、付帯測定器およびアンテナからなる。受信機の外観図を写真8に、また主要な特性を表5に示してある。受信機の系統図は、パラメトリック増幅器と受信機本体とに分け、それぞれ図14および図15に示されている。

表5 受信装置の特性

受信機	
周波数	1840MHz
雑音指数	3.0db
受信帯域幅	1KHz
周波数安定度	$1 \times 10^{-7}$ hour 以内(AFC付)
スレッシホールドレベル	-141dbm
アンテナ	
型式	パラボラ型、可搬組立式
直径	8m
利得	40.0db
フィーダ損失	3.0db

アンテナからの信号は、先ず、パラメトリック増幅器に導かれる。この増幅器は、バラクタ・ダイオード1S362を使用する反射型2段のもので、雑音指数3db、帯域幅5MHz、利得約30dbである。この出力は受信機本体に供給され、ここで周波数安定度が $10^{-7}$ /hour以内の才1局発信号と混合されて112MHzの才1中間周波信号となる。つづいて、4段の周波数変換が行なわれて、20KHzの才5中間周波信号となり、復調器に導かれる。ここで、受信レベルの検出が行なわれ、その出力は記録計に送られる。なお、このレベル検出回路と併行して周波数弁別器を介するAFCループが構成されており、これによつて才5中間周波信号がつねに20KHz $\pm$ 0.5KHz以内に保持される。パラメトリック増幅器の低雑音特性と1KHzの狭帯域の特性とによつて、受信機の雑音レベルは非常に低く、入力端換算値は-141dbmとなっている。アンテナとフィーダは送信装置のものと同種のものであるが、アンテナ利得は40.0db、フィーダ損失は3.0db(21m)



である。

受信装置の電源には3 K V Aの可搬型ディーゼル発電機3台が用いられた。その系統図が図16に示されている。

受信装置全体の配置は図7(前掲)に示す通りで、このなかには本調査と並行して実施されたVHF伝搬試験の諸装置の配置も記入されている。受信装置はテントの中に納められ、その様子が、写真9(前掲)に示されている。

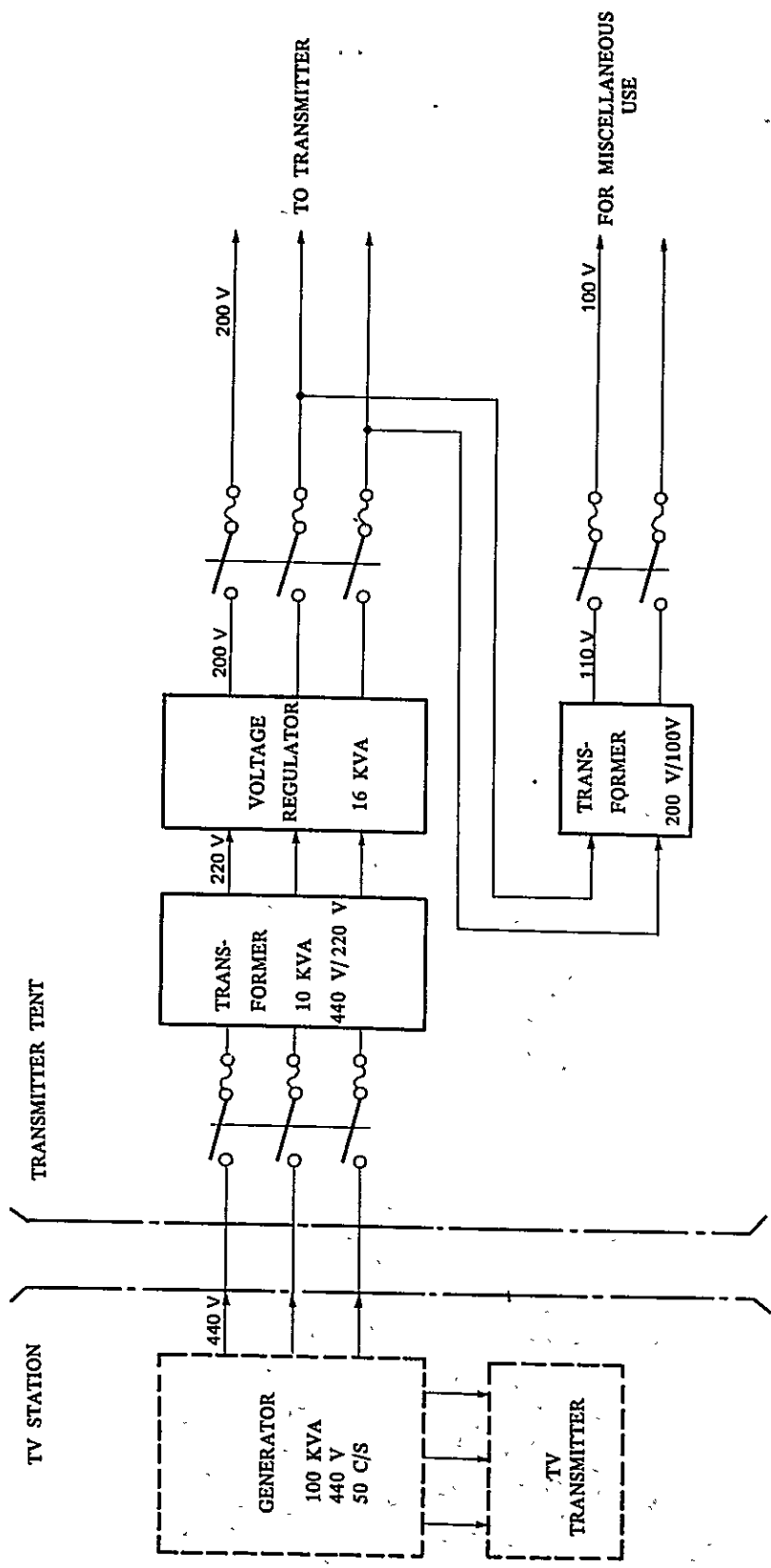


図 13 プライ山局における電源の系統図



写真7 セラビ山受信局

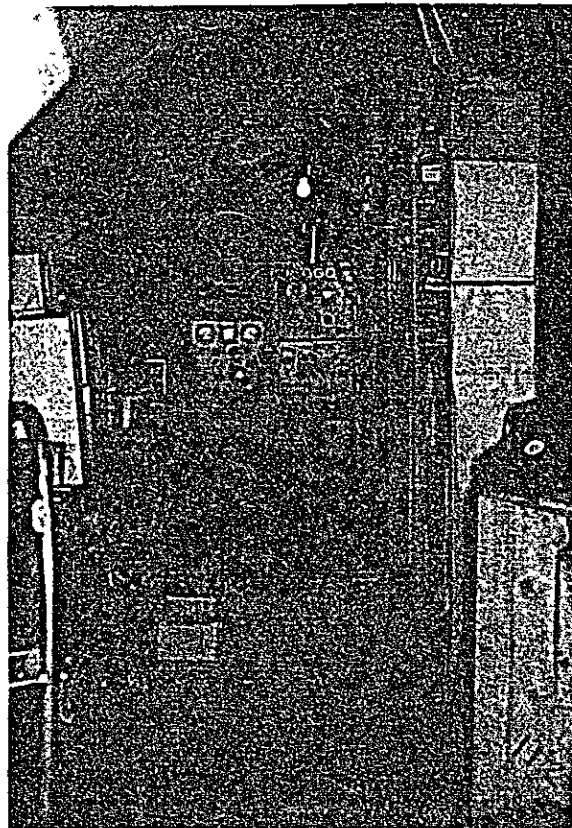


写真9 セラビ山局の受信装置

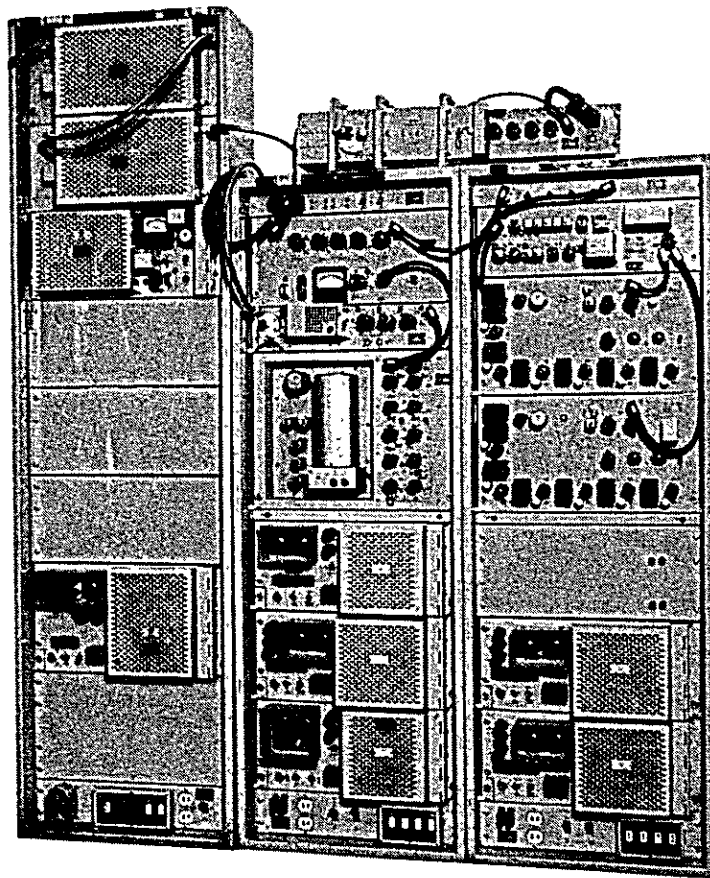


写真 8 2 GHz 受信機

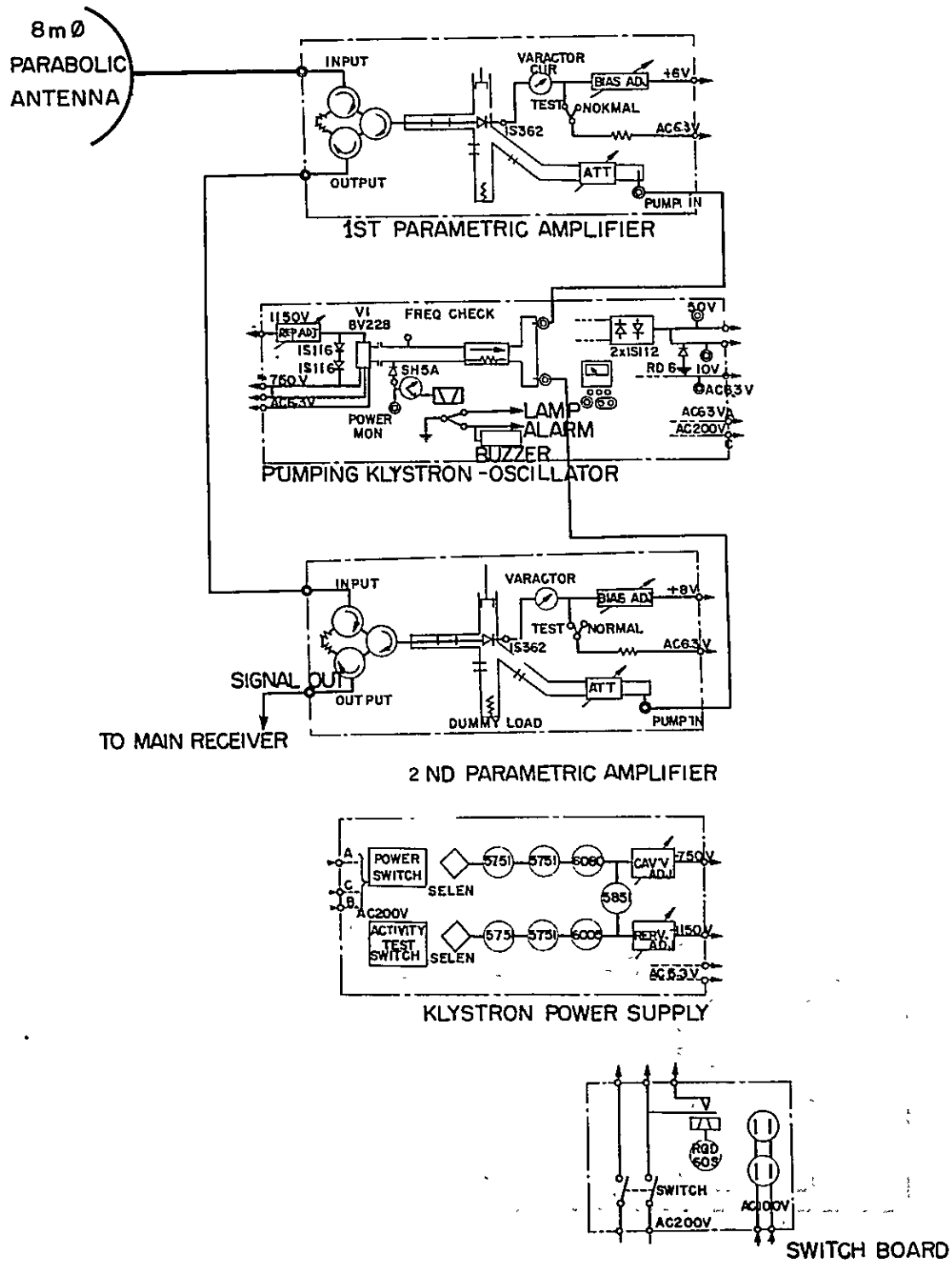


図 14 パラメトリック増幅器の系統図



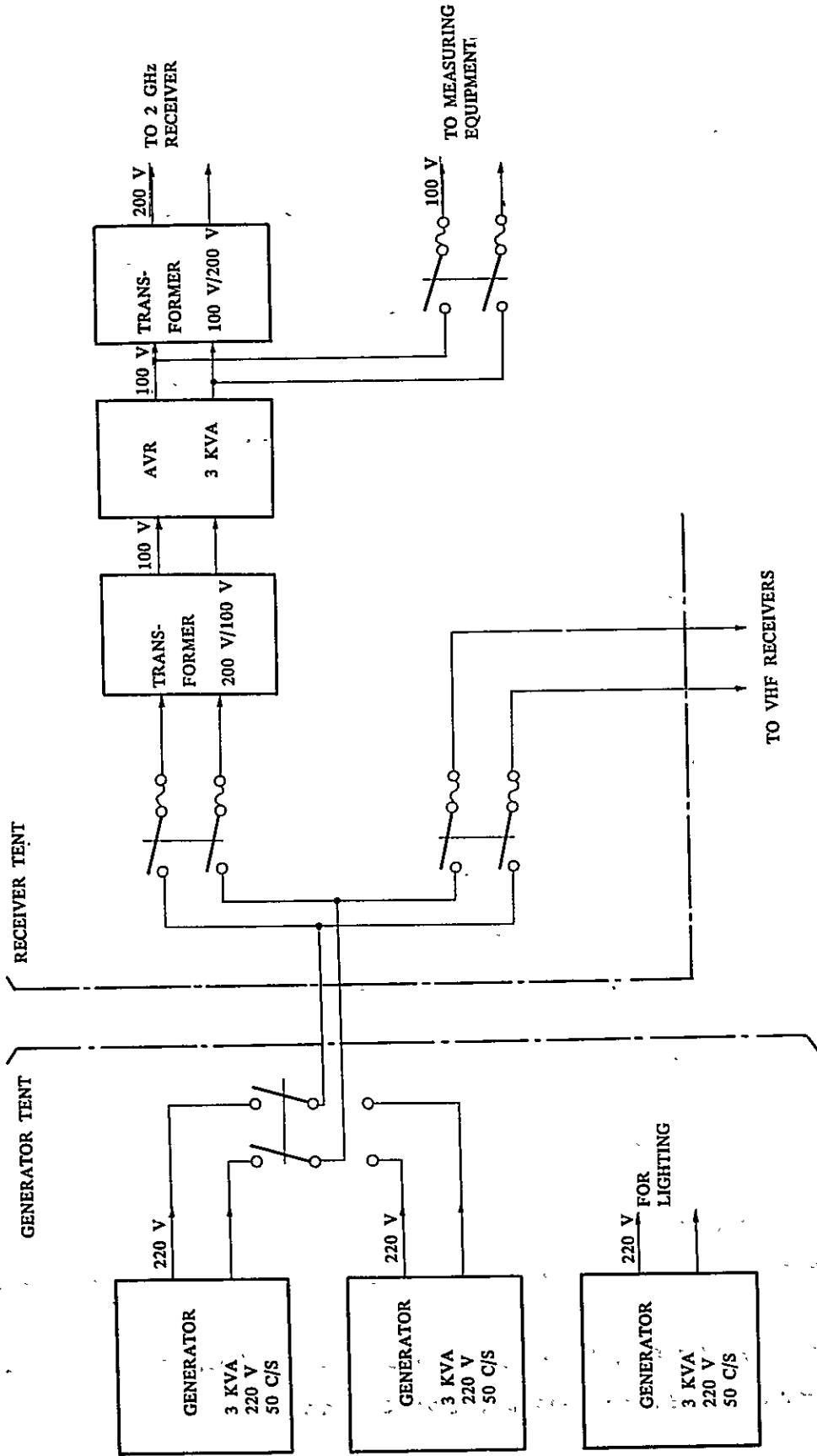


図 16 セラビ局における電源の系統図

## 5. 伝搬試験の結果

### 5.1 基本伝送損失および地表屈折率の時間的変化の概要

写真10および11は受信信号強度の記録の例を示す。写真10のなかの3種の記録は各1時間のもので、変動がゆっくりしている場合、中間的なはやさの場合およびはやい場合の例である。これを見ると、刻刻の変動のはやさは種種であるが、1分間の中央値あるいは平均値というような値は1時間程度の時間内では、ほとんど変動しないことがわかる。写真11のなかの3種の記録はいずれも5分間のもので、変動のはやさが異なる典型的な例を示している。

このような受信電力レベルの記録から、基本伝送損失の1時間中央値を求め、この中央値についての時間的変化を調べた結果が図17-a～17-eに示されている。この場合の基本伝送損失値はアンテナ媒質間結合損失として6.9 dbの値を仮定してもとめた値である。この結果から、基本伝送損失(1時間中央値)は日によってかなりの範囲にわたって変動していること、またこの伝送損失にはいつも日中に大きくなるというかなりはっきりした日変化のあることがわかる。

これらの図には伝搬路の両端に近いシンガポールとクチンとにおいて、1時間毎に観測された地表屈折率の値もプロットしてある。この地表屈折率は355～395の間に変動し、日中に低い値になっている。地表屈折率が日中に低い値となるのは、日照によって大気温度が高くなり、かつ相対湿度が低くなるためである。

基本伝送損失の変化と地表屈折率の変化との間には、よい相関があるように見える。しかし、両者の間にかなりの時間的ずれがあることに留意する必要がある。

### 5.2 基本伝送損失および地表屈折率の日変化

基本伝送損失の日変化を調べるために、基本伝送損失の1時間中央値に関し、毎日の同じ時刻における値についての累積百分率を求め、その10%値、50%値および90%値をクチン地方時に対してプロットした結果が図18(上部)に示されている。

同様のことをシンガポールとクチン間で観測された地表屈折率について行なった結果も図18(下部)に示してある。ただし、地表屈折率の値は1時間中央値でなく各正時毎に観測された瞬時値であることに留意する必要がある。

この図をみるとつぎのことが注目事項として指摘される。

- (a) 基本伝送損失および地表屈折率は日中にそれぞれ最大および最小になる。しかし、その変化相互間には時間差がある。ここで基本伝送損失の最大値が電話トラフィックの多い日中にあらわれることは回線設計上注目すべき特性である。
- (b) 基本伝送損失の各時間毎の変動巾(90%値と10%値との差)は約15 dbで、時刻による差は少ない。
- (c) 地表屈折率の変動巾(10%値と90%値との差)は時刻により変化し、朝夕の変動巾は10 N-units程度であるが、日中に30 N-units程度の値に達している。



RECEIVED SIGNAL POWER (dbm)

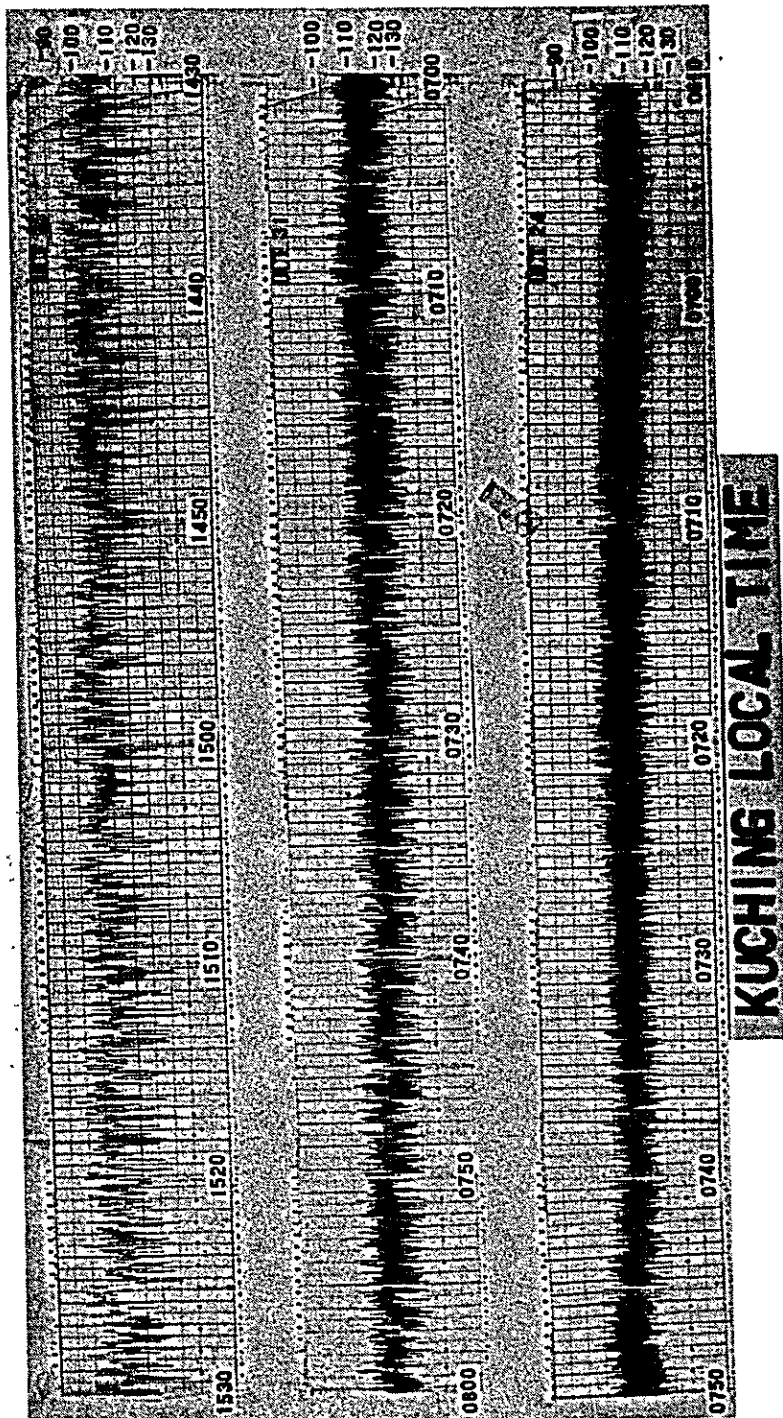


写真10 受信信号レベルの1時間記録の例

RECEIVED SIGNAL POWER (dbm)

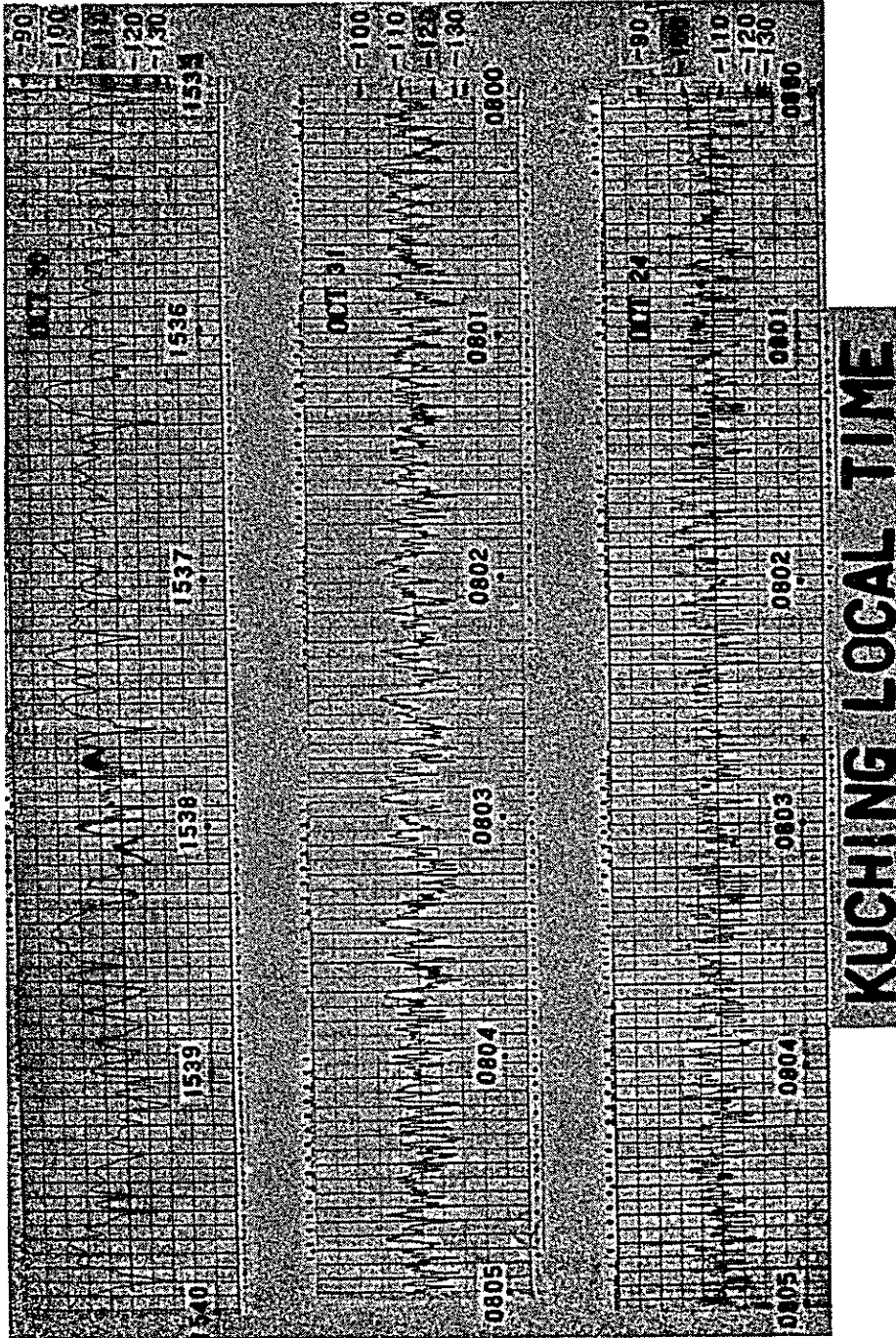


写真 11 受信信号レベルの 5 分間記録の例

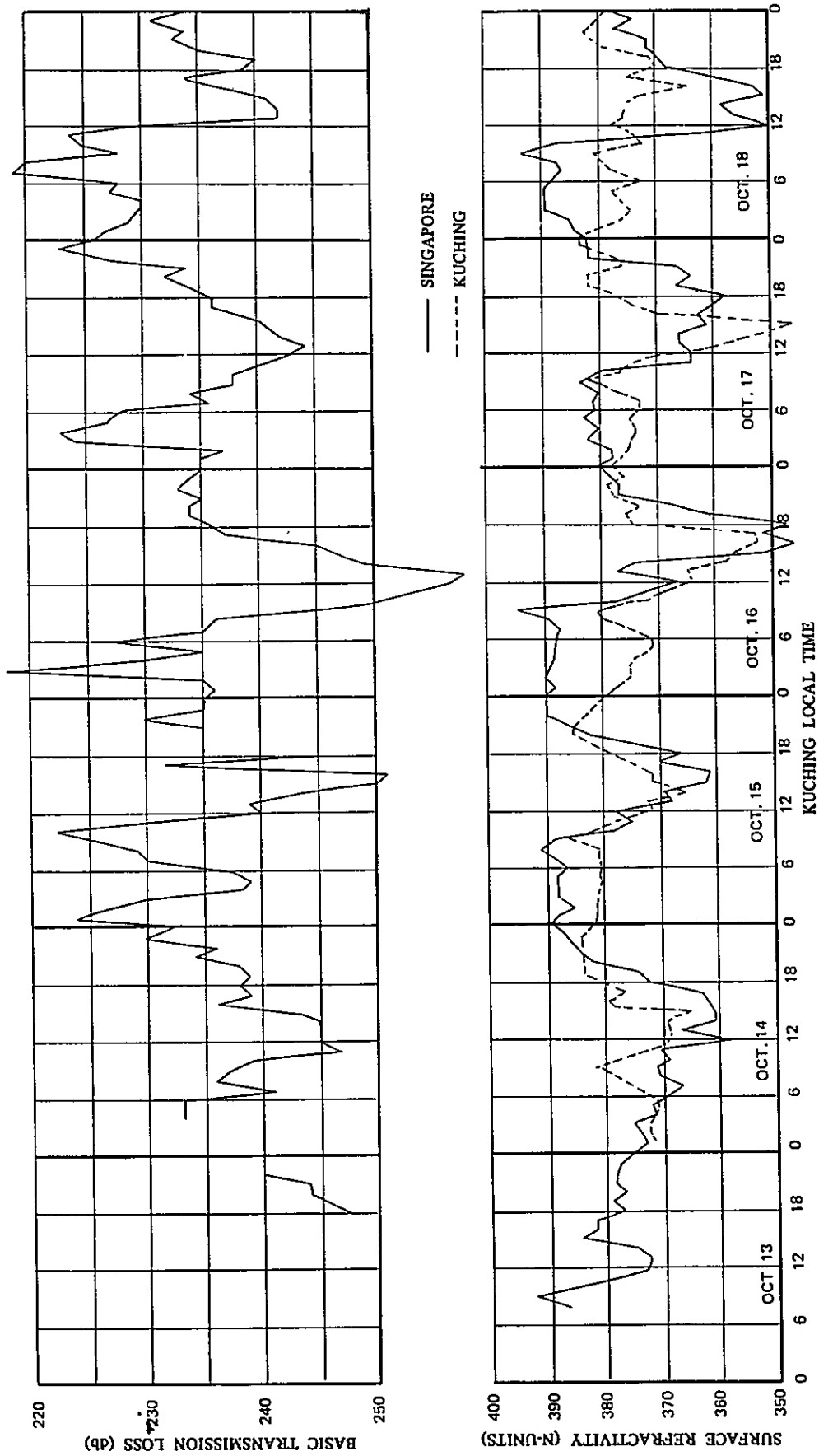


図 17-a 基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動

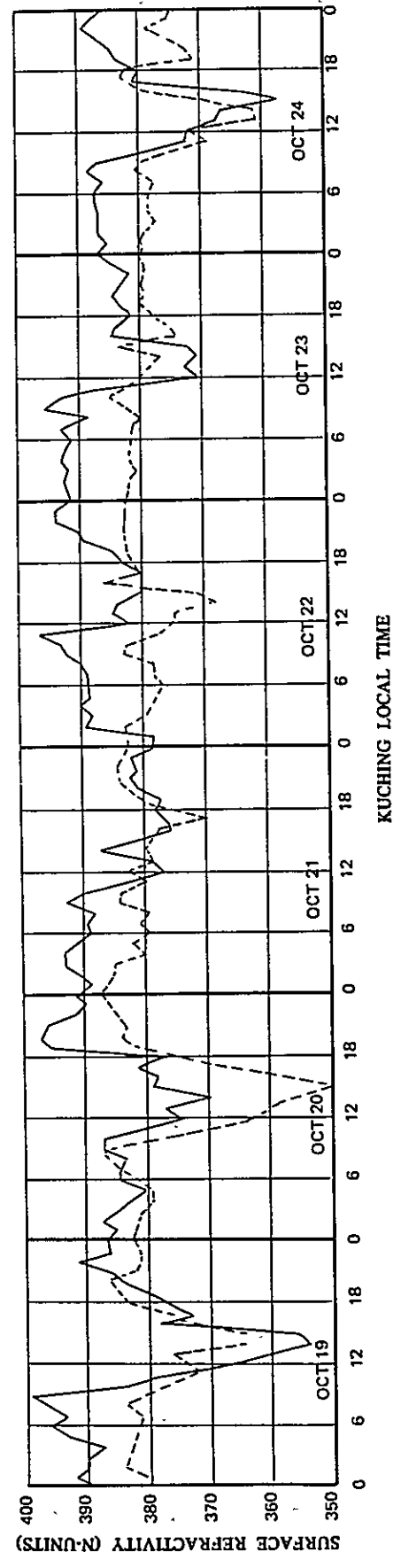
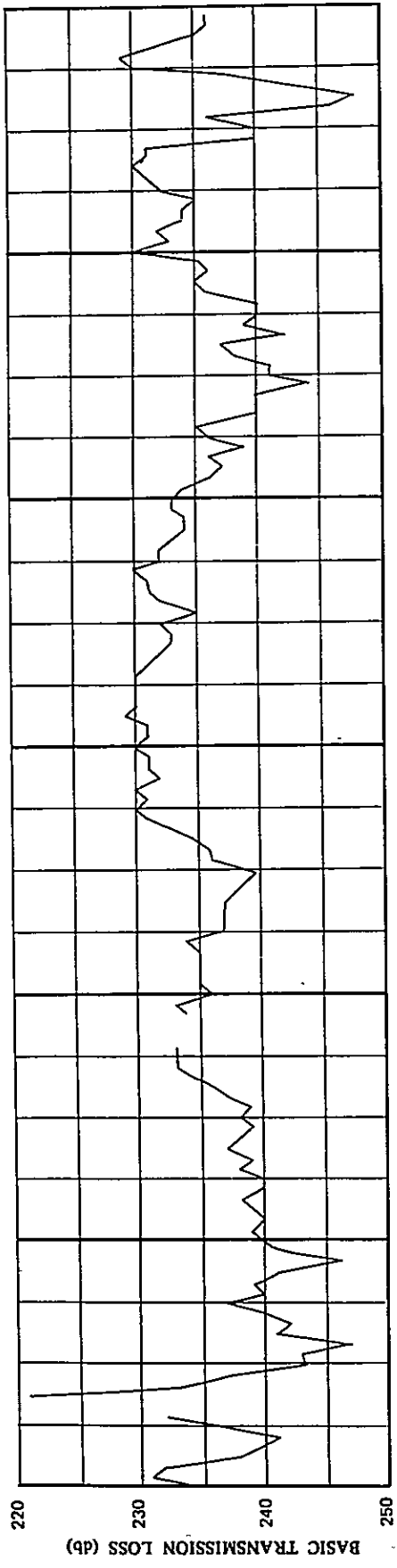


图 17-b 基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動

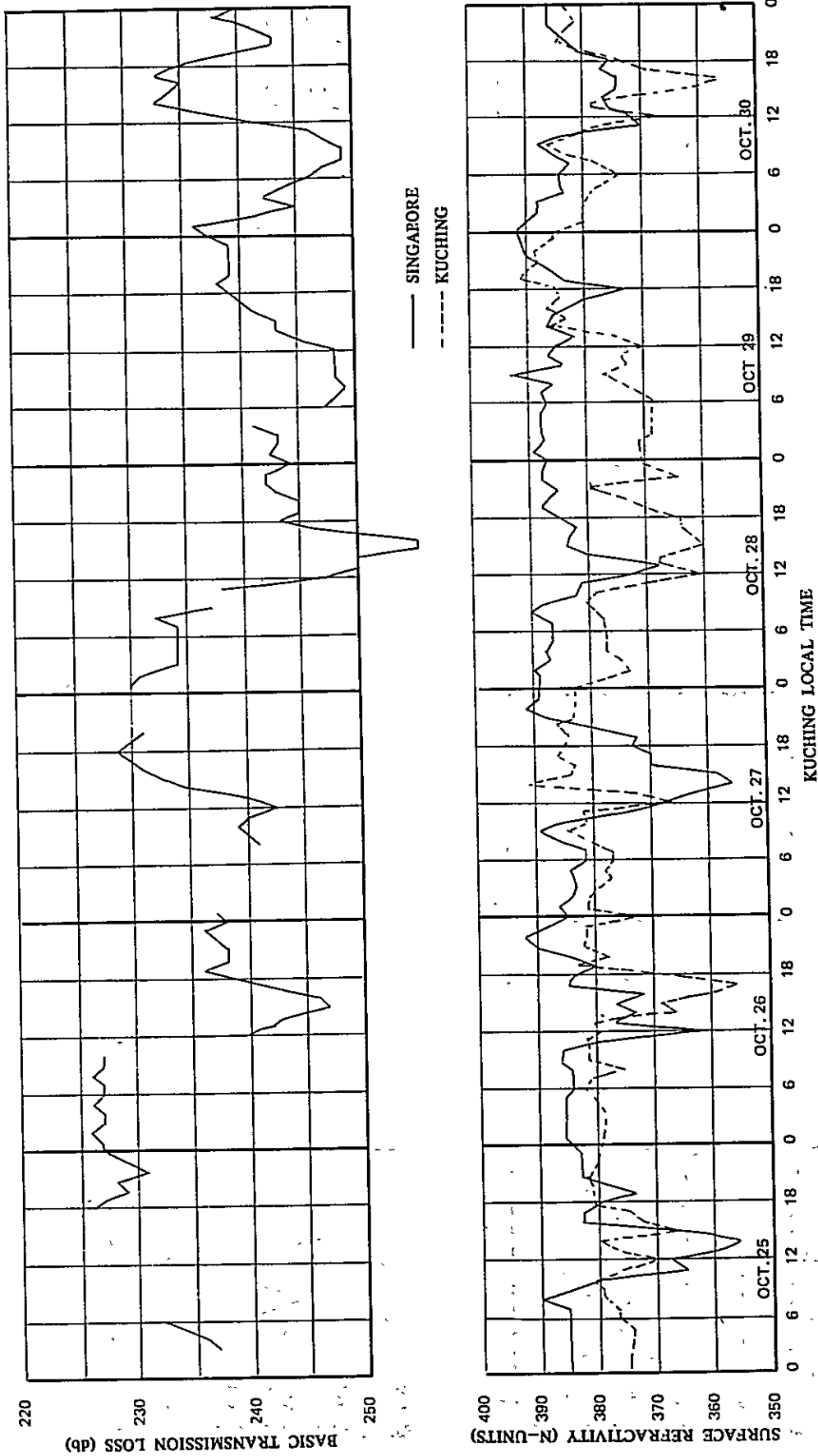


図 17-c 基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動

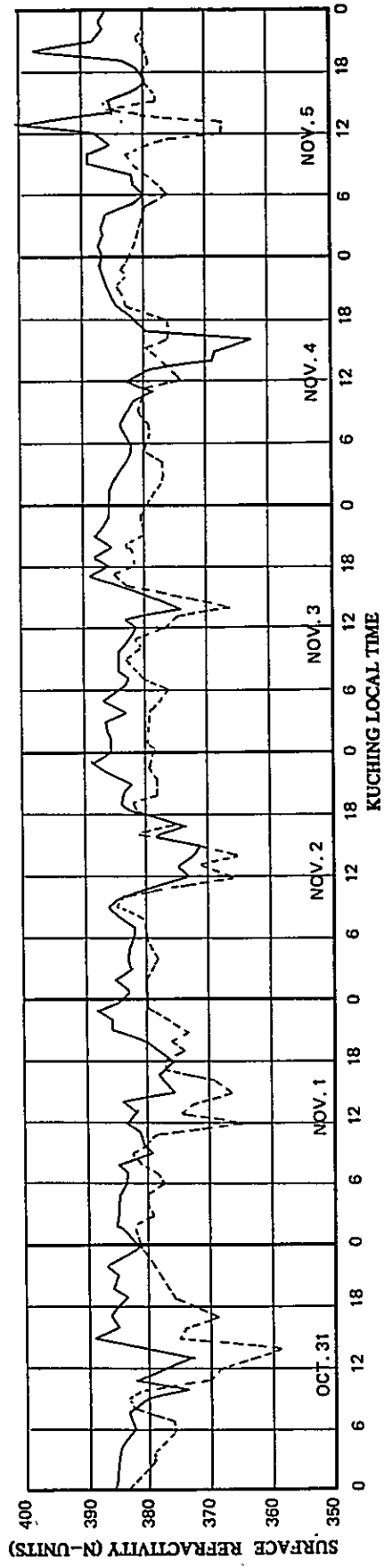
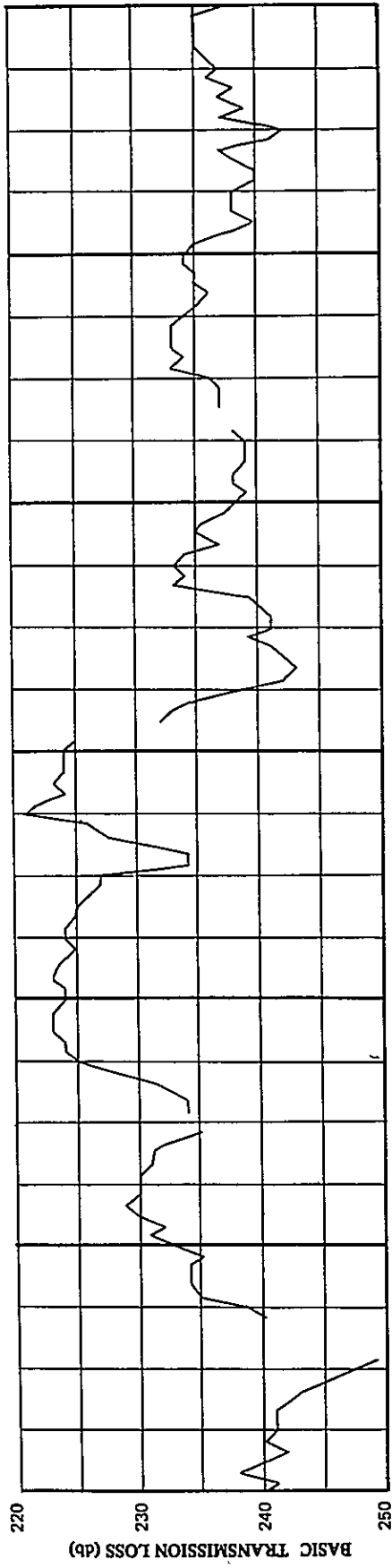


図 17-d 基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動

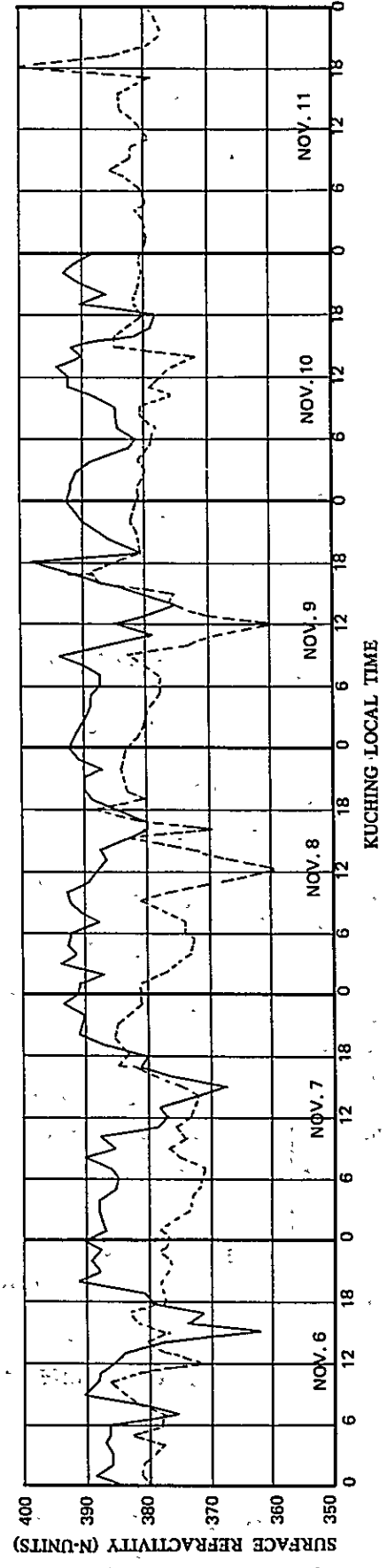
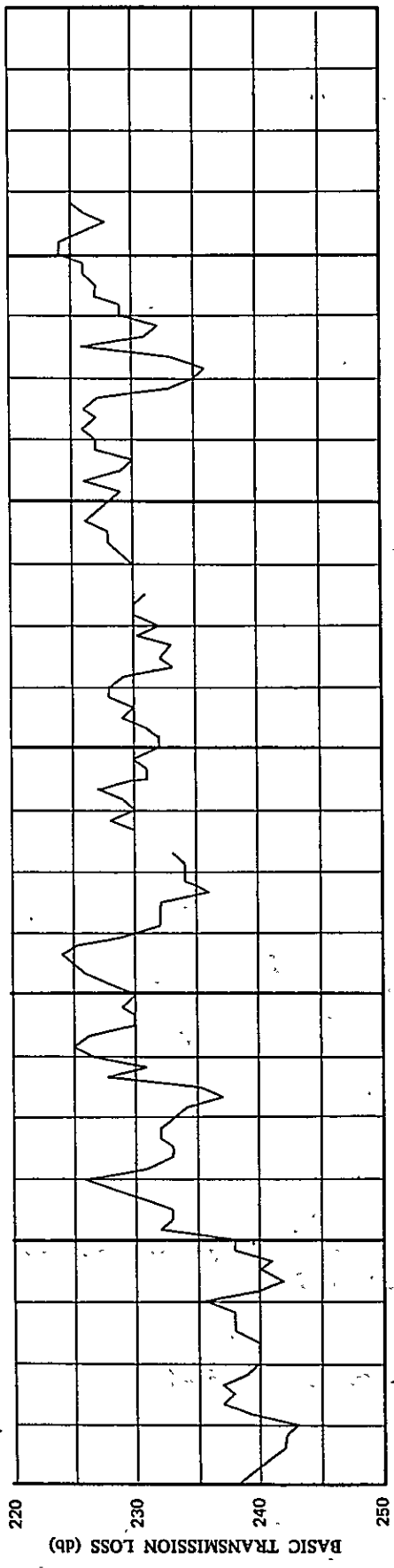


図 17-e 基本伝送損失および地表屈折率の時間的変動

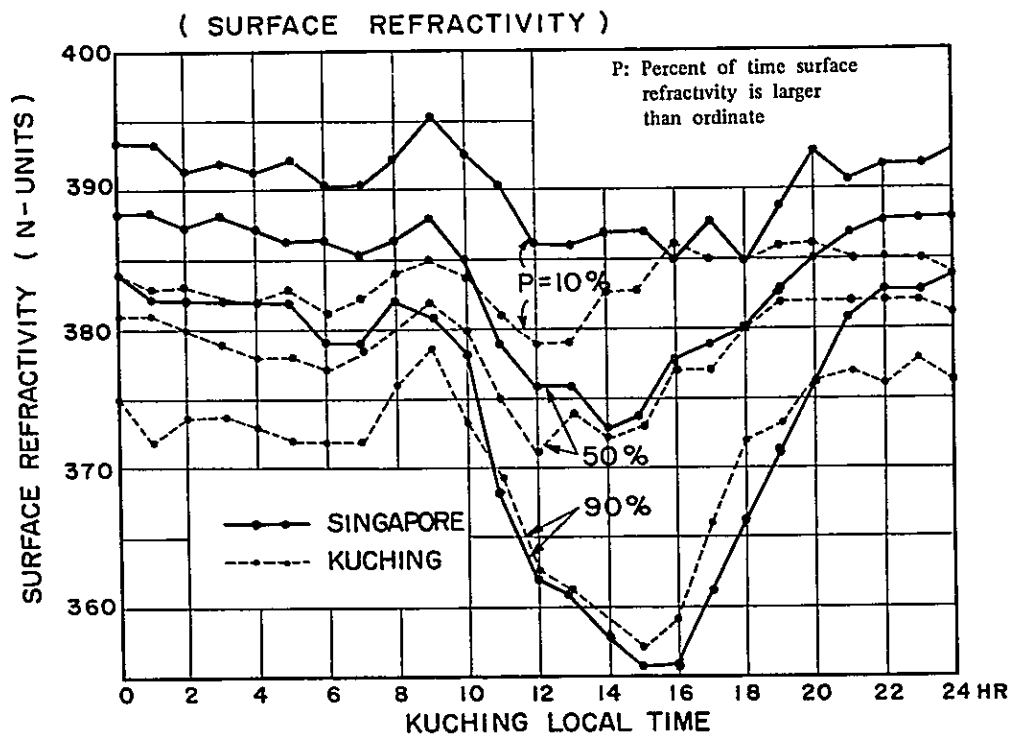
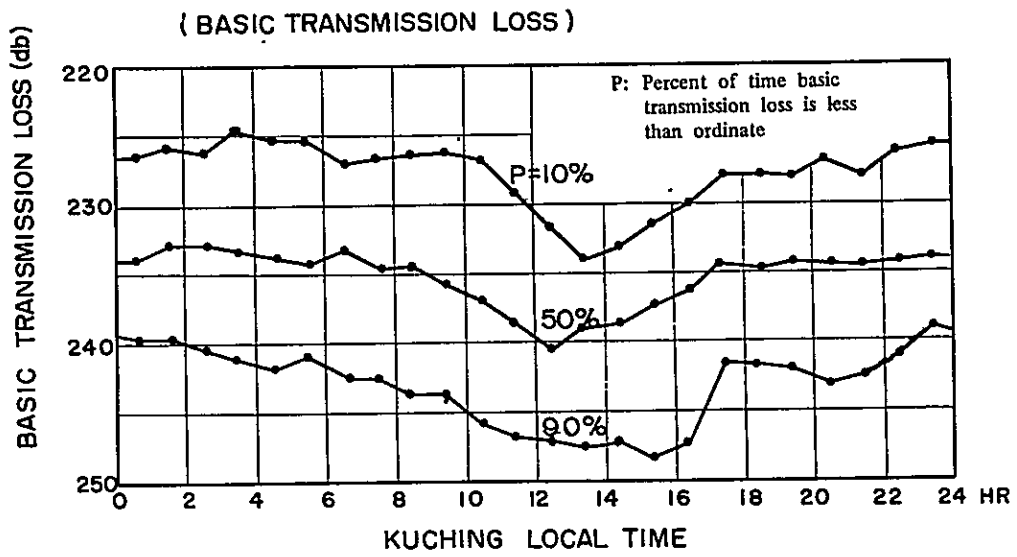


図 18 基本伝送損失および地表屈折率の日変化



### 5.3 フェージングレートおよびフェージングレンジ

図19は受信信号のフェージングレートとフェージングレンジの統計を示している。これらは毎日の8時と20時(クチン地方時)とにおける1分間の観測記録から求めたものである。(写真11参照)。これをみると、フェージングレートは大体毎秒0.14~0.80 cycles の範囲にあり、またフェージングレートは約13 db となっている。後者のフェージングレートの値から、1分間内のフェージングは概ねレーレー分布に従っていることが推知される。

### 5.4 基本伝送損失および地表屈折率の累積百分率

図20は1967年10月13日より11月11日まで約4週間にあたって測定された基本伝送損失の累積百分率を示すもので、実線が1時間中央値、点線が1分間中央値について求めたものである。注目事項としてつぎのことが指摘される。

- (a) 1分間中央値も1時間中央値もともにデシベル正規分布に従っている。
- (b) 1分間中央値の分布と1時間中央値の分布とはほとんど同じである。このことは1分間中央値の1時間内における変動は1時間中央値の全期間の変動にくらべて十分に小さいことを意味している。
- (c) 1分間中央値の全期間中央値は23.48 db であり、この値はCCIR才1<sup>1)</sup>回総会のReport 244-1<sup>1) 2)</sup>を利用して推定される値より約1.1 db 小さい。
- (d) 1分間中央値について、全期間の90%値と10%値との差を調べると16.5 db であり、これは上述のCCIR Report における図11 (Variation of transmission loss with effective distance in a maritime subtropical climate (Type 3)) に示されているデータを用いて推定される値より約6.5 db 小さい。

以上に述べた基本伝送損失を導出するにあたってはアンテナ媒質間結合損失の値を全期間にわたり6.9 db であつたと仮定している。

つきに、シンガポールとクチンで毎正時に観測された地表屈折率について、全期間の累積百分率をもとめた結果が図21に示されている。これをみるとつぎのことが注目される。

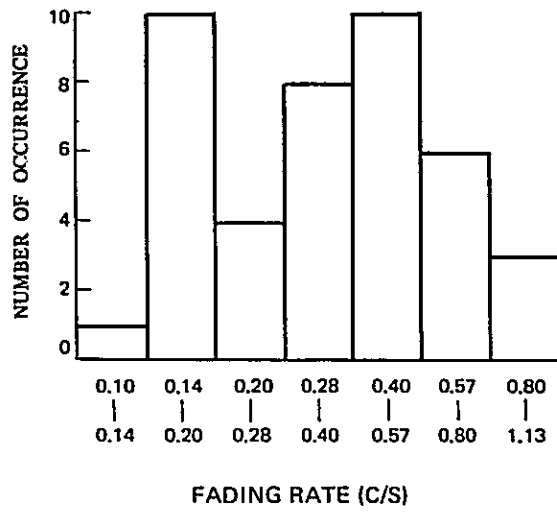
- (a) 地表屈折率の分布は、中央値を境とし標準偏差を異にする2つの正規分布が組合せられたような分布であり、図20の基本伝送損失の分布とかなり異なる。
- (b) 地表屈折率の中央値はシンガポールが385、クチンが379となっている。文献3により、シンガポールについて10月・11月の地表屈折率(中央値)を調べてみると、約383である。よって本伝搬試験を行なったときの気象条件はほぼ平年並の状態であつたとみてよい。

### 5.5 基本伝送損失と大気屈折率勾配との関係

シンガポール気象台において、クチン地方時の08:00(シンガポール地方時07:30)に、ゾンデによる気象観測がなされている。この資料から本測定期間中における大気の屈折率勾配を求めてみると図22に示すような結果が得られた。これからつぎのことが注目事項として指摘される。

- (a) 10月25日の観測値を除くと、屈折率は高さに対してほぼ指数関数的に減少しており、これは文献3に述べられている値に非常によく一致している。
- (b) 10月25日の観測値には高さ1500m~4000mの区間に特異性がみられ、これは相対湿度勾配の特異性に関連している。このときの受信電界を調べてみると、電界は異常的に高く、このと

(a) HISTOGRAM OF FADING RATE



(b) HISTOGRAM OF FADING RANGE

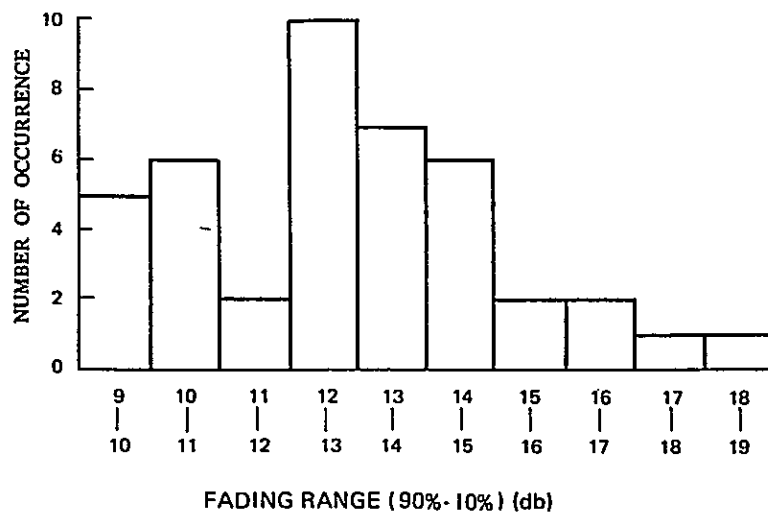


図 19 フェージングレートおよびフェージングレンジのヒストグラム

きの1時間の中央値は全期間の中央値より約20 db も高かったことが認められている。したがって、この異常高電界の発生はこの異常的な屈折率勾配に関連する高層ダクトによるものであると考えられている。(ただし、このときは、たまたまアンテナの方向調整のための測定が行なわれていたため、連続測定は欠測となり、したがって図17-c(前掲)にはこの間の記録は示されていない。)

本伝搬路は大部分が海上を走っているので、高層のみならず低層に発生する海上ダクトの影響もかなりうけるであろうと推論される。しかし、全期間の観測値からは10月25日のデータにみるようなはっきりした対応は見出されていない。これはシンガポールの気象観測値が伝搬路の外にあること、またゾンデ観測が1日に1回しか行なわれておらず、したがって資料が充分でないということ、などによるものであらうと思われる。

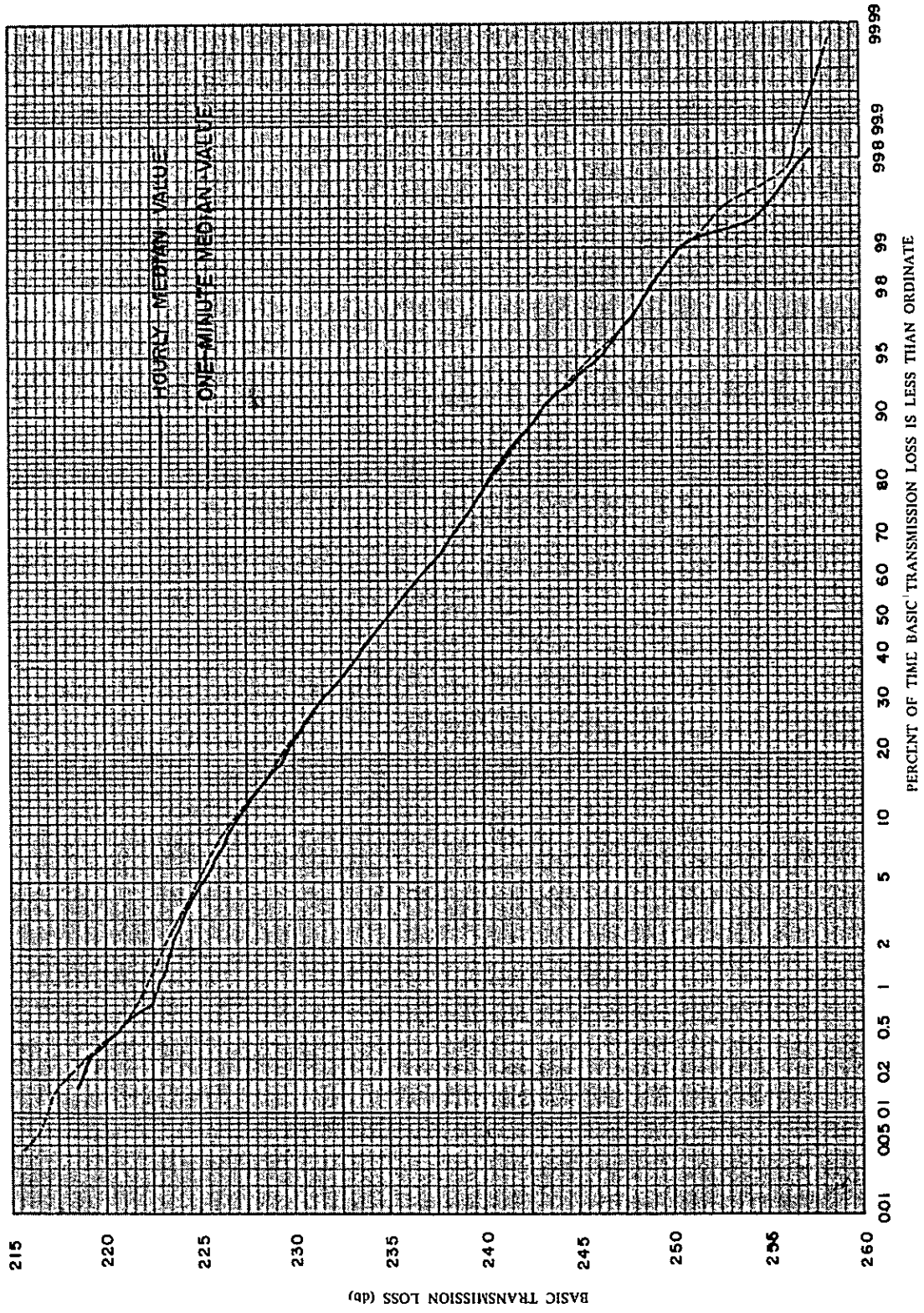


図 20 基本伝送損失の累積百分率

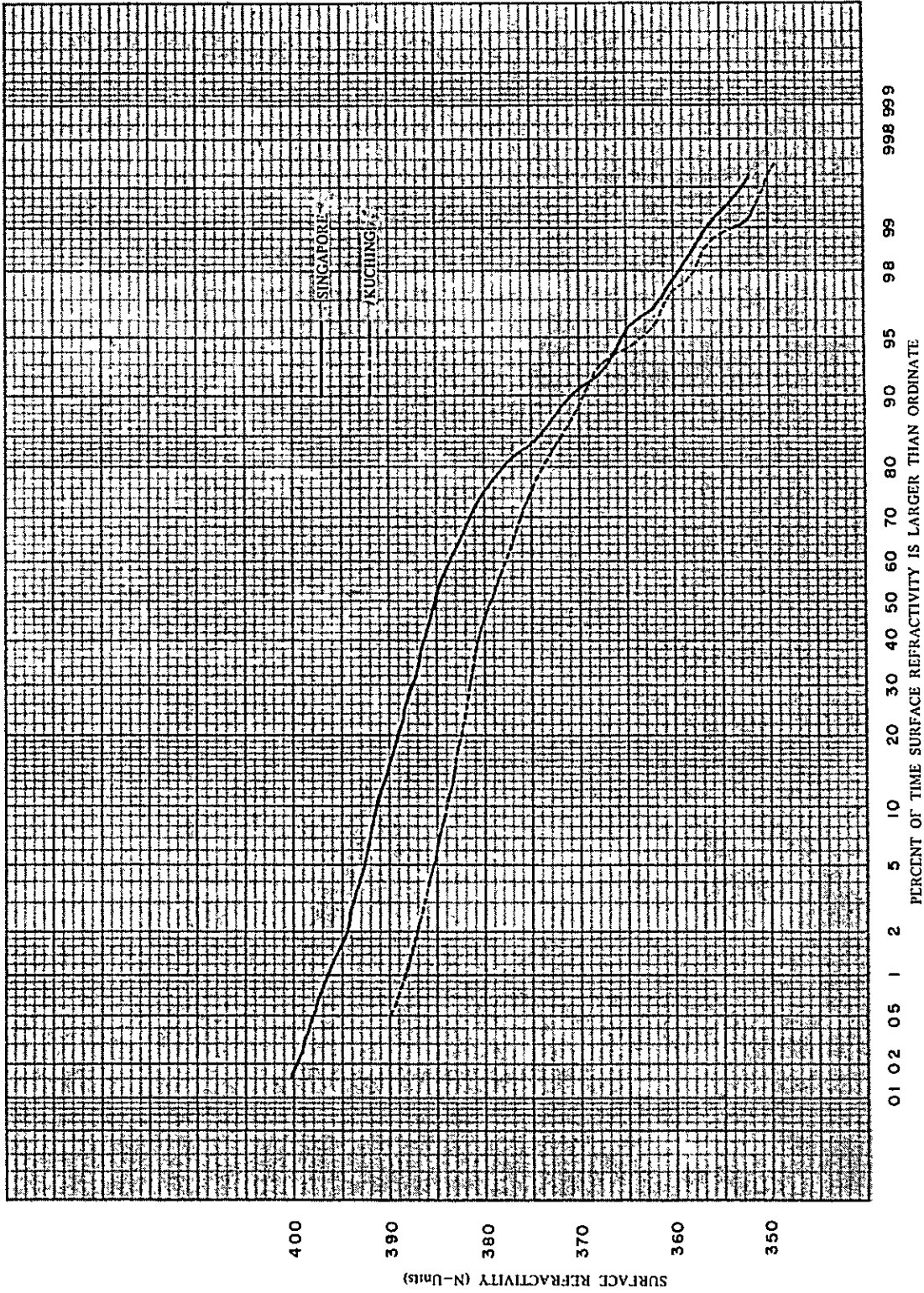


図 21 地表屈折率の累積百分率

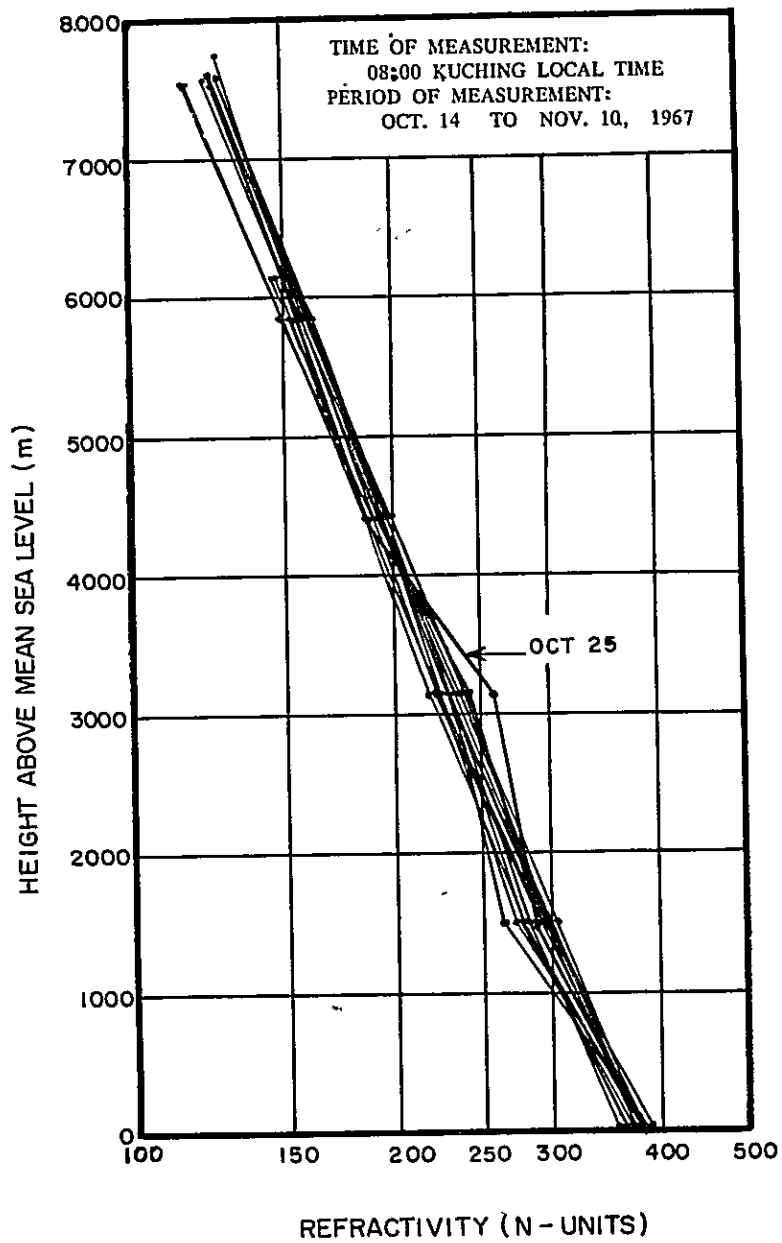


図 22 シンガポールにおける大気屈折率の地上高分布

## 6. 実用通信回線の計画

### 6.1 実用通信回線の設計基準

マレーシア政府通信総局により1967年5月24日発行された入札のための資料「Tender for Kuching-Johore Bahru Tropospheric Scatter System」を参照して、この回線に要求される信号対雑音比の規格を調べてみると表6に示すような値になっている。

表6 クチン・ジョホールバル間実用通信回線の信号対雑音比の要求値

時間率	信号対雑音比 *	備 考
80.0%	51.3 db 以上	1分間平均値, 評価値
99.5%	43.0 db 以上	1分間平均値, 評価値
99.95%	37.0 db 以上	$5 \times 10^{-3}$ 秒間平均値, 無評価値
注) * 最悪月の値, 帯域巾4KHz, ベースバンド12~204KHz.		

周知のとおり、回線の信号対雑音比を決定する雑音には、装置自体から発生するものと装置の外から入ってくるものがあり、前者には熱雑音、混交調雑音および付帯的な雑音、後者には多重路伝搬にもとづく混交調雑音および大地、大気および天体などからの雑音が含まれる。このうちで本回線で特に問題となるものは、装置自体からの熱雑音、多重路伝搬の混交調雑音および太陽からの雑音である。太陽雑音は本回線が赤道近傍にあり、かつ東西に走ることの特長条件によるものであり、その発生が春分と秋分の近くの短時間に限られるので、これは他の雑音ときりはないと取扱うのが至当である。

実用通信回線の設計をすすめるには、その基礎となる一つのシステムを仮定し、これについて検討を行ない、ついで目的に応じた最終案を作つてゆくことが順序である。表7に示すシステムは、この目的のために、設計の基礎として提案したものである。

まずこの装置を予定地にどのように設置すればよいかを考察し、ついでこれによりどの程度の性能が期待し得るかということについて検討を進めてゆく。

表7 プライ山・セラピ山間  
通信回線のシステムパラメータ

周波数	2 GHz
送信電力	20 KW
アンテナ直径	25 m
フィーダ損失	1.5 db
変調指数(尖頭値)	1.0 rad/ch
受信機雑音指数	2.5 db.
ダイバシティ	4重
電話回線数	48 ch
電話回線周波数間隔	4.0 KHz
電話回線の実効帯域巾	3.1 KHz
基底雑音(評価値)	300 pW/ch

## 6.2 装置の配置

図23および図24はそれぞれプライ山局およびセラピ山局における装置の配置についての案を示している。これはアンテナを施設するための土木工事の経済性に重点をおき、極力、地形を利用するように計画されたものである。したがって敷地の傾斜が大きいセラピ山では2基のアンテナを同一レベルに配置せず約25mの標高差をとっている。

## 6.3 推定性能

表7に示された装置を用いるとき、冬季(最悪期)に期待される信号対雑音比の値を図25および図26に示してある。<sup>4)-7)</sup> 図25は雑音の1分間平均値(評価値)について求めたものであるので、表6の仕様規格の80%値および99.5%値に対照される資料であり、後者の図26は雑音の瞬時値  $5 \times 10^{-3}$  秒程度の平均値に対応する値(無評価値)に関するもので、これは仕様規格の99.95%と対照されるものである。

両図の何れにも、信号対雑音比は熱雑音に関するもの、混変調雑音に関するもの、基底雑音に関するものおよびこれを総合した雑音に関するものの4種の曲線が示されており、それぞれは  $S/N_t$ 、 $S/N_i$ 、 $S/N_b$  および  $S/(N_t+N_i+N_b)$  と記されている。ここで熱雑音としては受信装置内から発生する熱雑音のみを、混変調雑音としては多重路伝搬にもとづくもののみを考え、基底雑音としてはその他のすべての雑音を含み、その値は、表7に示すように、 $300 \text{ pW/ch}$  (評価値)とっている。なお、太陽直射による雑音はその発生が特殊な時期に限られるので、ここでの考察では除外し次節で述べることにする。

この図25および図26をみると、つぎのことが注目事項として指摘される。

- 入札仕様に指定された信号対雑音比の規格は表7に示された装置によって概ね満たされる。ただし時間率99.95%の値については規格を満さない。
- 表7に示された装置にはコンパンドが使用されていない。もしコンパンドを使用すると信号対雑音比は約15db改善されることになるので、これによって99.95%値の規格も満され、かつシス



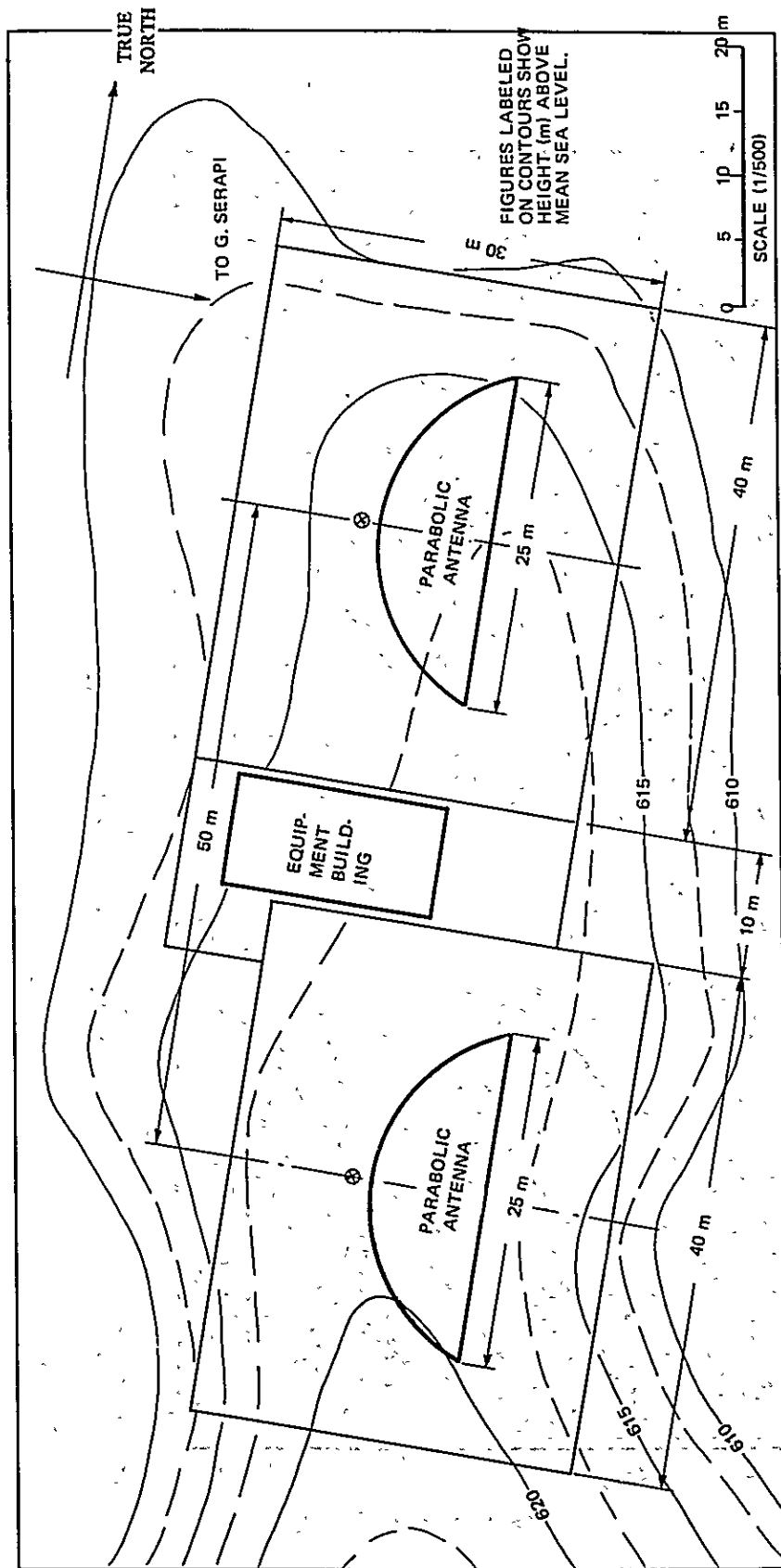


図 23 フライ山局の装置の配置案

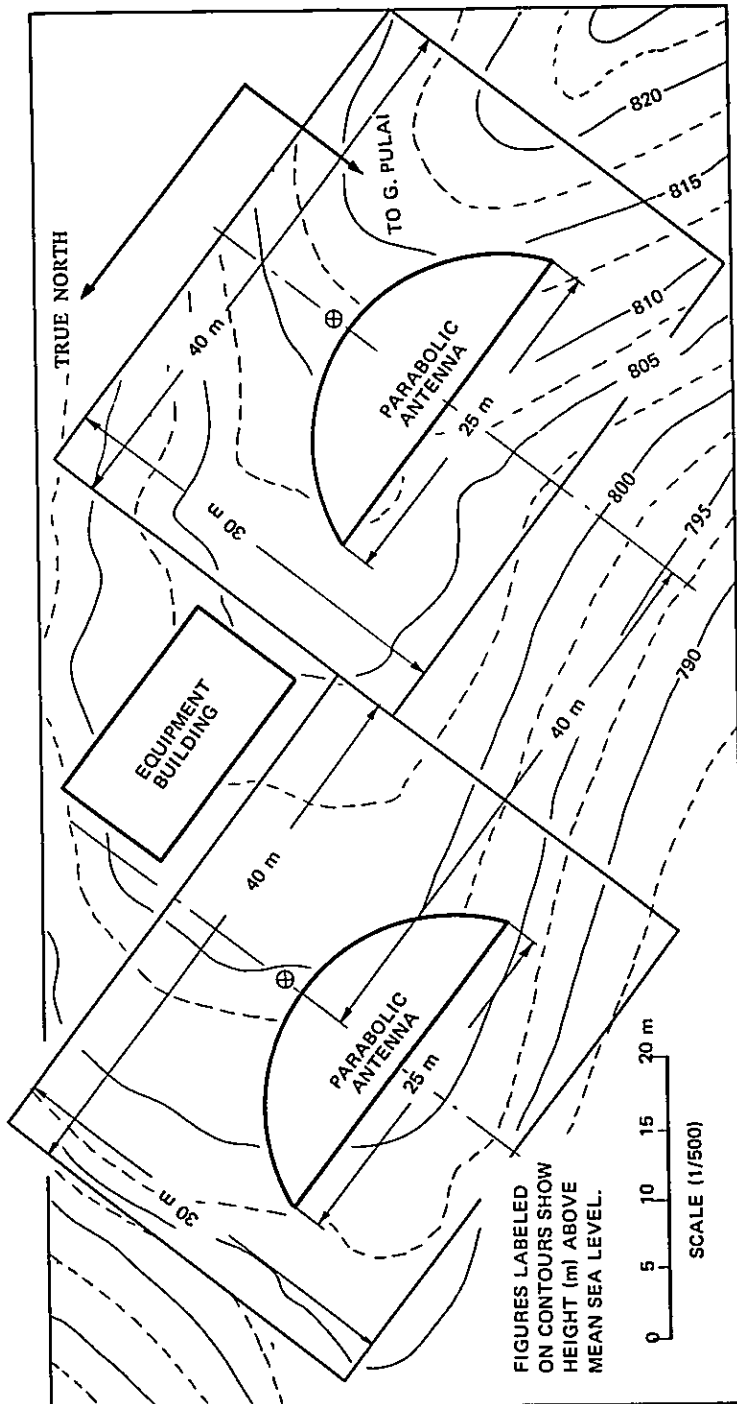
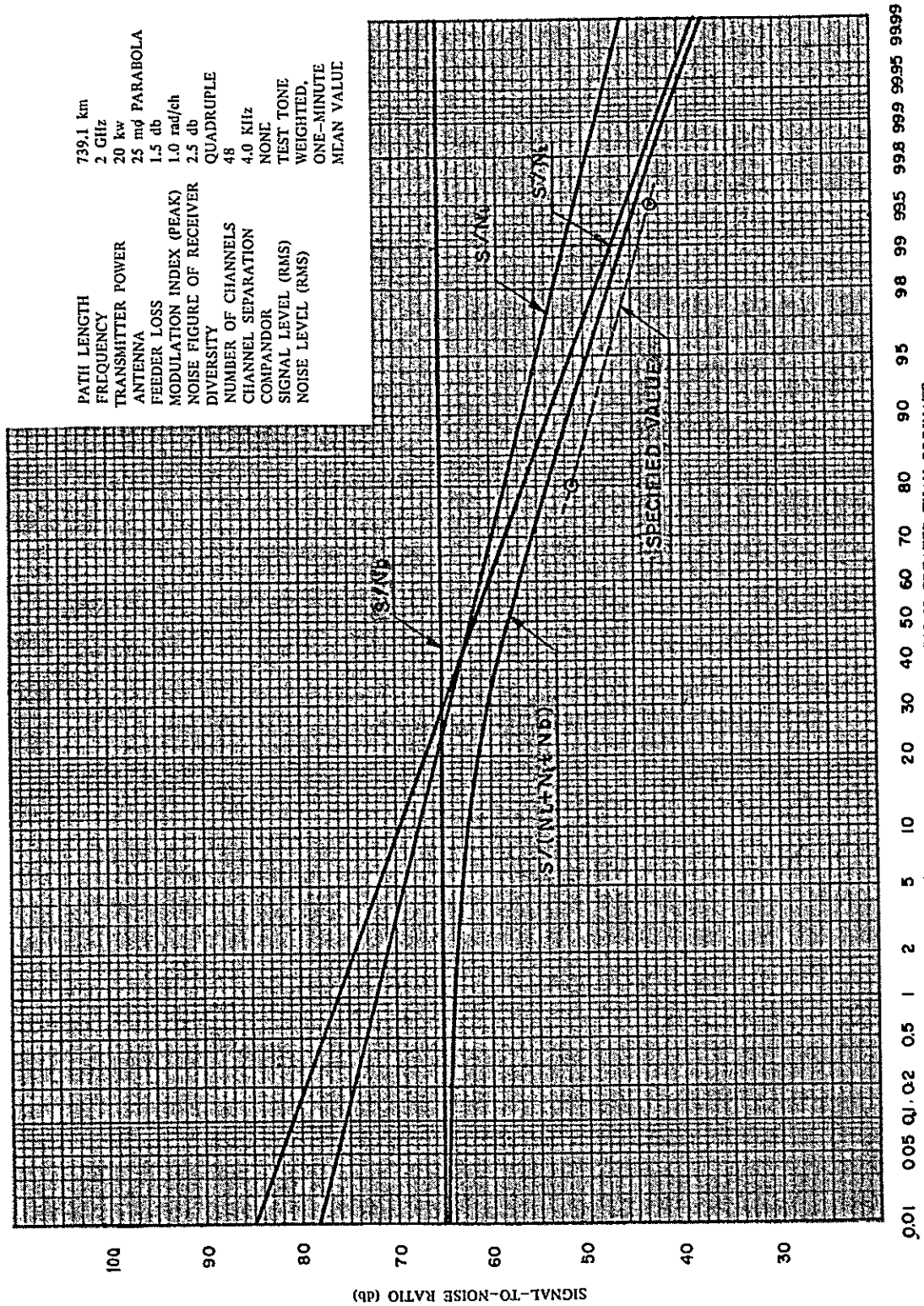


図 24 セラピビ山局の装置の配置案



PATH LENGTH 739.1 km  
 FREQUENCY 2 GHz  
 TRANSMITTER POWER 20 kw  
 ANTENNA 25 m $\phi$  PARABOLA  
 FEEDER LOSS 1.5 db  
 MODULATION INDEX (PEAK) 1.0 rad/ch  
 NOISE FIGURE OF RECEIVER 2.5 db  
 DIVERSITY QUADRUPLE  
 NUMBER OF CHANNELS 48  
 CHANNEL SEPARATION NONE  
 COMPANDOR 4.0 kHz  
 TEST TONE WEIGHTED,  
 SIGNAL LEVEL (RMS) ONE-MINUTE  
 NOISE LEVEL (RMS) MEAN VALUE

図 25 アライ山・セラピ山間通信回線の信号対雑音比 (1 分間平均値)

の累積分布推定値

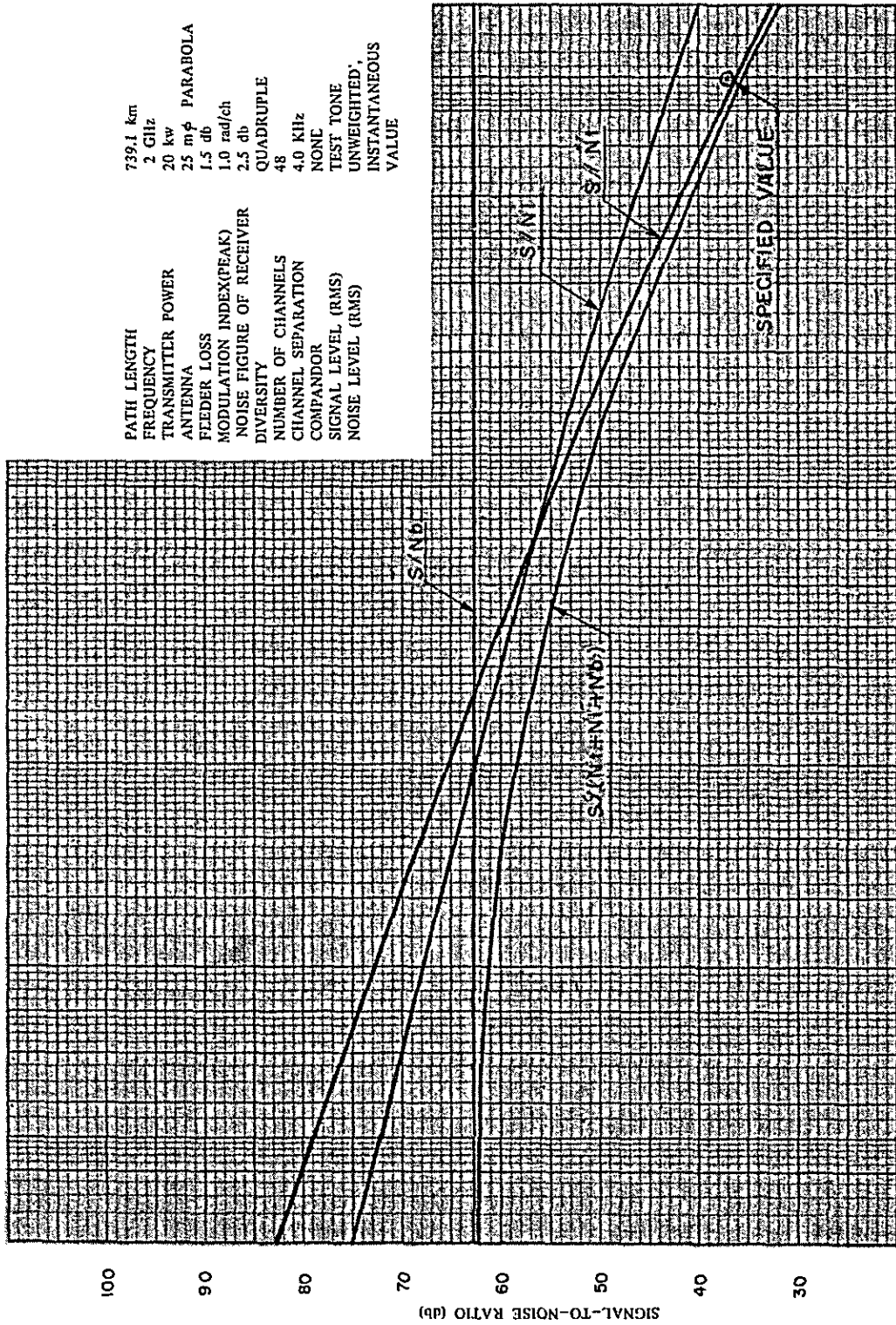


図 26 フライ山・セラピ山間通信回線の信号対雑音比 (瞬時値)

の累積分布推定値

テム全体にかなりのマージンを与えることになる。

#### 6.4 太陽雑音の影響

この通信回線は北緯  $1^{\circ}35'$  の緯度線にほぼ平行に走るので、春分および秋分の頃に太陽が丁度アンテナビームに入る機会がある。このとき太陽から放射される雑音電波が受信されることになるので、回線の信号対雑音比が低下する。よって、本節は、この雑音電波の強度および時間率について考察を行なう。

2 GHz 帯の太陽の輝度温度は約  $10^5$  °K であり、<sup>8)</sup> この雑音電波を放射する領域を地球上からみる視角は約  $0.6^{\circ}$  である。一方、本回線のアンテナビーム巾は約  $0.4^{\circ}$  である。このアンテナビームはほぼ水平方向に向けられるので、この方向に太陽電波が伝搬するときの大气による吸収減衰は約 1.8 db と推定される。<sup>9)</sup> 一方、表 7 に示すとおり、フィード中の減衰は 1.5 db、受信機の雑音指数は 2.5 db と仮定されている。よって、これらのファクタからアンテナビームが丁度太陽面に正射しているとき、受信機入力端換算の熱雑音の温度を計算すると、その値は  $47,340^{\circ}\text{K}$  となる。一方、太陽がアンテナビームからはづれているときの熱雑音温度を計算すると、その値は  $350^{\circ}\text{K}$  となる。実際には混変調雑音(中央値)として  $460^{\circ}\text{K}$ 、基底雑音として  $230^{\circ}\text{K}$  に相当する雑音を加算されることになるので、太陽雑音があるときの総合雑音温度は  $48,030^{\circ}\text{K}$ 、太陽雑音がないときの総合雑音温度は  $1040^{\circ}\text{K}$  となる。したがって、太陽雑音があるときの信号対雑音比(中央値)は太陽雑音がないときの値にくらべて約 16.6 db 劣下する勘定になる。

つぎに、太陽がアンテナビームに入る時間率について考察する。いうまでもなく、このような現象が発生するのは春分および秋分の近傍にかぎられ、ジョホールのプライ山局では早朝に、クチンのセラピ山局では夕方におこる。考察を容易にするために、アンテナビーム巾は  $0.4^{\circ}$  とし、その中に問題の太陽面が少しでもかかるときの時間を計算する。その結果、この現象が各局についておこる時間は 1 日について約 4 分間、この現象がおこる時期は両局についてはほぼ同一であり、春分および秋分の近傍において、それぞれ、たかだか 4 日間ということになる。

以上を総合してみると、太陽雑音がアンテナに入射するときの信号対雑音比(中央値)の低下量は最大 16.6 db におよび、かなり大きい値であるが、時間率は年間においてたかだか 0.01 % であり、非常に短い。なお、この現象がおこる時刻は正確に予告し得るので、この障害を回避するための適当な対策が実施可能である。したがって、この太陽雑音の影響は實際上、大きな問題とはならないであろうと考えられる。

#### 7. テレビジョン伝送の考察

テレビジョン信号の周波数帯域巾は 4~6 MHz であり、前述した電話 48 回線の帯域 204 KHz にくらべて非常に大きい。したがって、このような広帯域の信号を本回線を通して伝送するには、表 7 に示した施設よりはるかに大電力の送信装置、高感度の受信装置、高利得のアンテナならびにビデオ信号の帯域圧縮のための新技術などが必要となることはいうまでもない。本節では、現在の技術の粋を集めて、果してどの程度の画質が実現し得られるであろうかということについて考察を行なう。

アンテナを出来るだけ大きくすると利得は大きくなり、かつアンテナビームが細くなるので、熱雑音が小さくなり、かつ多重路伝搬にもとづく混変調雑音も少なくなり、多量有利である。しかし、パラボラアンテナの開口面が大きくなるほど、一般に反射面の面精度が低下する。それと同時に、アンテナ媒質間結合損失が増大してゆく。よって、アンテナの大きさには実用上の限度がある。

周波数を高くすると、同じ大きさのアンテナでも利得が大きくなり、ビーム巾が細くなるので、上述のことと同じ利害があらわれるがとくに面精度の悪影響は大きい。さらに、伝搬における基本伝送損失は周波数の3乗以上に比例して増大してゆくため、周波数についても限度がある。

つぎに、周波数変調の周波数偏移を大きくすると、信号対熱雑音比は改善されるが、信号対混変調雑音比は低下してゆく。したがって周波数偏移にも最適値がある。

このような諸条件から、現在、技術の粋を集めて実現し得る最高の施設として表8に示すような装置が考えられる。

表8 テレビ伝送回線のシステムパラメータ

(a) 送信装置	
周波数	2000MHz帯(2波)
送信機出力	50KW(2台)
アンテナ	40mφ(2基)
フィーダ損失	1.5db
周波数偏移(尖頭対尖頭値)	0.415MHz
エンフアシス	14db
ビデオ帯域	1,2および4MHz
(b) 受信装置	
周波数	2000MHz帯(2波)
システム雑音	300°K
アンテナ	40mφ(2基)
フィーダ損失	1.5db
デエンフアシス	14db
ダイバースチ	8重(リニヤ・アダー方式)
復調方式	FMフィードバック
ビデオ帯域巾	1,2および4MHz
システム基底雑音	$3.0 \times 10^{-7}$ mW(評価値)

ここで、このような施設を用いて、どの程度の画質のものが伝送し得るかを調べてみる。その結果が図27に示されている。この図では画質は信号対雑音比の形で表現されており、この場合の信号は絵信号の尖頭対尖頭値、雑音は評価値(RMS値)で与えられている。なお、伝送されるビデオ信号には帯域の圧縮技術の採用も考えて、その帯域巾として1,2および4MHzの3つの値がとられている。

実験によると、ビデオ帯域を2MHzに制限しても、実用上、かなり良い画質のものが得られるこ

と、また信号対雑音比としては理想的には57 db 以上であること、許容最低値は45 db であるということが認められている。ここで、図27を参照し、画像帯域を2 MHz に制限するときの信号対雑音比が57 db および45 db を下らない時間率を調べてみると、それぞれ5%および82%という値が得られる。このような小さな時間率のテレビ伝送は到底実用に供し得ないものと考えられる。

以上の考察においては、熱雑音も混交調雑音もその評価が同一ならば同一の画質低下を招くものと仮定している。しかしこの仮定の妥当性について多分の疑問がある。ところで累積確率が90%とか99%とかに対応する低品質の画質を考えるとときには、熱雑音が支配的な要素となっているので、上述の疑問は結論的には大きな問題とはならないようにも考えられる。

このような考察結果を総合すると、表7に示されたような非常に高度の技術を駆使した装置を用いたとしても、実用的に満足し得るテレビジョン伝送を行なうことはまず無理であるという結論になる。敢えて、これを解決しようとするならば抜本的に進歩した技術が必要であり、このことについてビデオ信号の帯域圧縮技術の開発に大きな期待がかかっている。

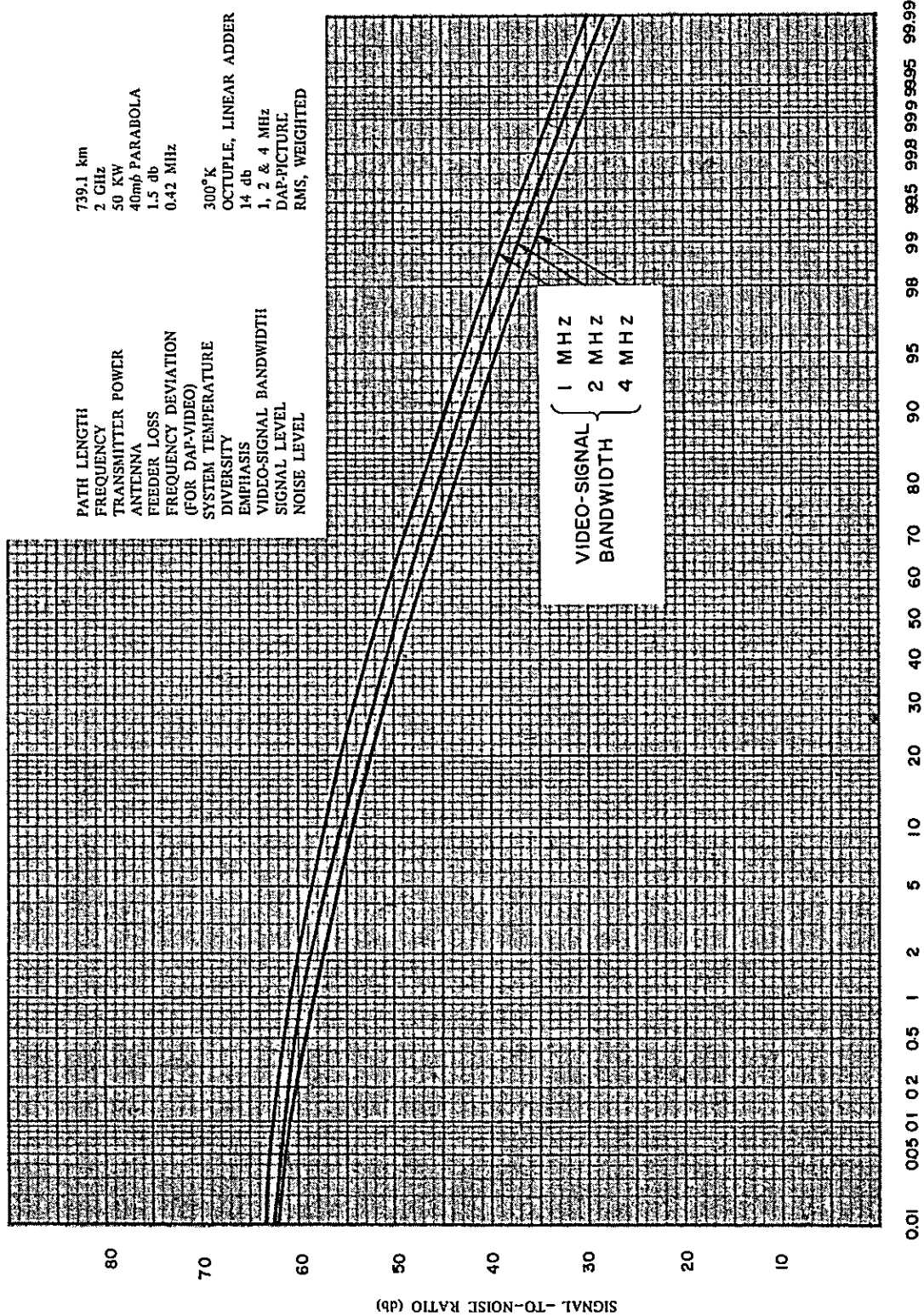


図 27 プライ山・セラピ山間のテレビジョン伝送に関する信号対雑音比 ( 瞬時値 ) の累積分布推定値



## 8. 結 論

フライ山とセラピ山間の対流圏散乱通信回線に関する伝搬試験は10月13日から11月11日まで約4週間、予定通り成功裡に実施された。

その結果、1840MHzの電波を用いて電話48回線あるいはそれ以上の回線を実現し得る見通しが確立された。

本回線には太陽雑音による回線障害がおこる。しかしこの障害の発生時間率は年間の0.01%以下であり、また、その発生時刻は正確に予知し得る。したがってこの現象は実用上大きな問題とはならないと考えられる。

本回線を通じてテレビジョンを伝送することは非常に無理である。これを実現するにはビデオ信号の帯域圧縮が望ましく、この分野の技術の抜本的な開発が必要である。

本回線が1日も早く完成され、これが東西マレーシア間の通信事情の改善はもとより、文化の交流に役立つことを切に期待してやまない。

謝

辞

本調査の実施にあたって非常に多くの機関ならびに人人の御協力を得た。ここに主なる関係機関の名を列挙すると、次のとおりである。

(日 本)

外務省：経済協力局、在マレーシア日本大使館

郵政省：電気通信監理官室、電波監理局、電波研究所

海外技術協力事業団

国際電信電話株式会社

日本電気株式会社

電気興業株式会社

(マレーシア)

The Headquarters of Telecommunications Department

Johore Regional Telecommunications Department

Borneo Posts and Telecommunications Department

Royal Malaysian Air Force

Civil Aviation Department

(シンガポール)

Meteorological Department

本調査が予期以上に成功裡に実施し得たのは偏えにこれら多数の関係各位の親切な御協力の賜である。ここに深甚な謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) CCIR Report 244 - 1, Estimation of tropospheric-wave transmission loss, Documents of XIth Plenary Assembly, Oslo, 1966, Volume II Propagation.
- 2) P.L. Rice, A.G. Longley, et al., Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits, Technical Note No. 101 (Revised), Vol. 1, Issued May 7, 1965, Revised May 1, 1966.
- 3) B.R. Bean, B.A. Cahoon, C.A. Samson and G.D. Thayer, A world atlas of atmospheric radio refractivity, ESSA Monograph 1, 1966.
- 4) C.A. Parry, On the prediction of the inherent bandwidth capability of the tropospheric scatter link, IEEE International Convention Record, Vol. 11, Part 8, pp. 215 - 232, 1963.
- 5) C.D. Beach and I.M. Trecker, A method for predicting interchannel modulation due to multipath propagation in FM and PM tropospheric radio systems, B.S.T. J., Vol. 37, No. 1, pp. 1 - 36, Jan., 1963.
- 6) E.D. Sunde, Intermodulation distortion in analog FM troposcatter systems, B. S.T.J., Vol. 38, No. 1, pp. 399 - 435, Jan., 1964.
- 7) M. Hirai, Y. Kurihara, et al., Transmission loss in UHF and VHF overland propagation beyond the horizon, Jour. Radio Research Labs., Vol. 10, No. 51, pp. 357 - 422 Sept., 1963.
- 8) D.C. Hogg and W.W. Mumford, The effective noise temperature of the sky, Microwave Journal, Vol. 3, Mar., 1960.
- 9) CCIR Report 205 - 1, Factors affecting the selection of frequencies for telecommunications with and between spacecraft.

