

2-2 無線

2-2-1 基幹伝送路

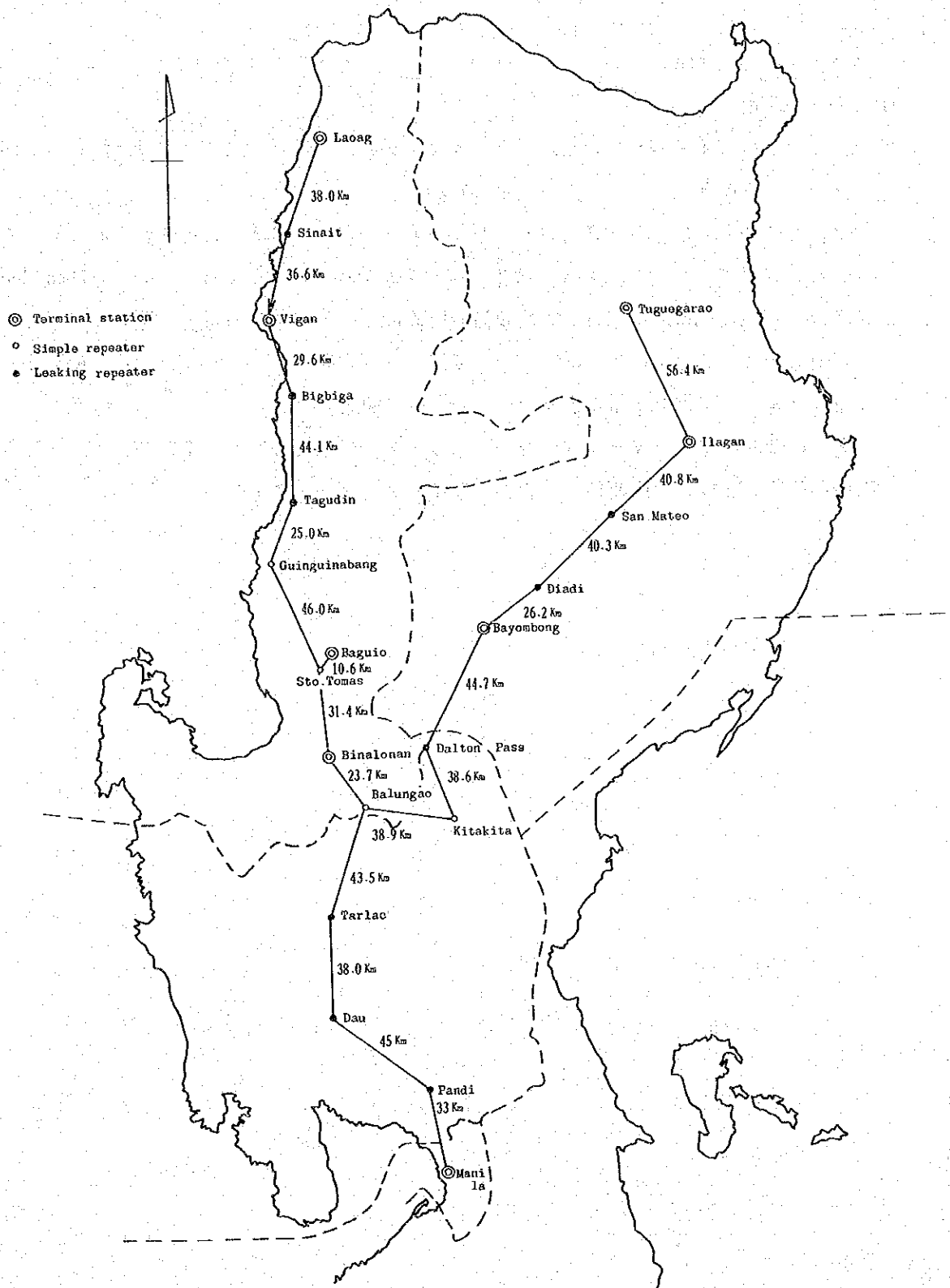
(1) ルート決定

6局のPCと1局のSGの相互間をマイクロウェーブ方式で結ぶという条件から、図Ⅷ-2-2-1のとおり、ルートを決定した。

これらのルートのうち、Region IおよびⅡへのルートはあらたに建設されるものであり、これらのルートとManilaへの相互接続のためのルート、Binalonan～Manilaの区間は、Binalonanを除き、既設設備の更改によって対処することを提案している。

これらのルート決定の条件は、 $K = \frac{4}{3}$ で第1フレネルゾーンをクリアーし、 $K = \frac{2}{3}$ で第1フレネルゾーンの30%をクリアーするよう、配意した。

各々の区間のプロフィールは図Ⅷ-2-2-2～図Ⅷ-2-2-17に示す。また各中継所の位置、海拔高、所要鉄塔高の表を表Ⅷ-2-2-1に示す。



図VII-2-2-1 北ルソン・マイクロウェーブ回線ルート図

表Ⅷ-2-2-1 マイクロウェーブ中継所の位置（緯度・経度）

中継所名	経度	緯度	標高	鉄塔高	区間距離
Laoag	120°35'51"	18°12'48"	50	95	38.0
Sinait	120°28'17"	17°53'34"	65	50	
Vigan	120°23'18"	17°34'25"	8	60	36.6
Bigbigan	120°26'59"	17°18'51"	200	15	29.6
Tagudin	120°27'44"	16°55'04"	110	15	44.1
Guinguinabang	120°22'29"	16°42'32"	165	15	25.0
Sto. Tomas	120°33'35"	16°25'07"	2,250	15	46.0
Baguio	120°36'33"	16°25'05"	1,460	20	10.6
Binalonan	120°35'14"	16°03'15"	35	20	31.4
Mt. Balungao	120°41'23"	15°51'53"	160	15	23.7
Kitakita	121°02'59"	15°49'05"	360	30	38.9
Dalton Pass	120°55'17"	16°08'11"	940	50	38.8
Bayombong	121°08'00"	16°28'52"	445	30	44.1
Diadi	121°19'35"	16°37'37"	516	20	26.2
San Mateo	121°35'43"	16°52'41"	75	30	40.3
Ilagan	121°52'29"	17°08'00"	80	70	40.8
Tuguegarao	121°42'29"	17°36'56"	20	110	56.4
Mt. Balungao					45.0
Tarlac	120°35'10"	15°29'14"	41		
Dau	120°34'67"	15°07'34"	95		38.3
Pandi	120°56'56"	14°54'56"	20		45.0
Manila	120°58'39"	14°35'47"	3		33.0
				計	731.8

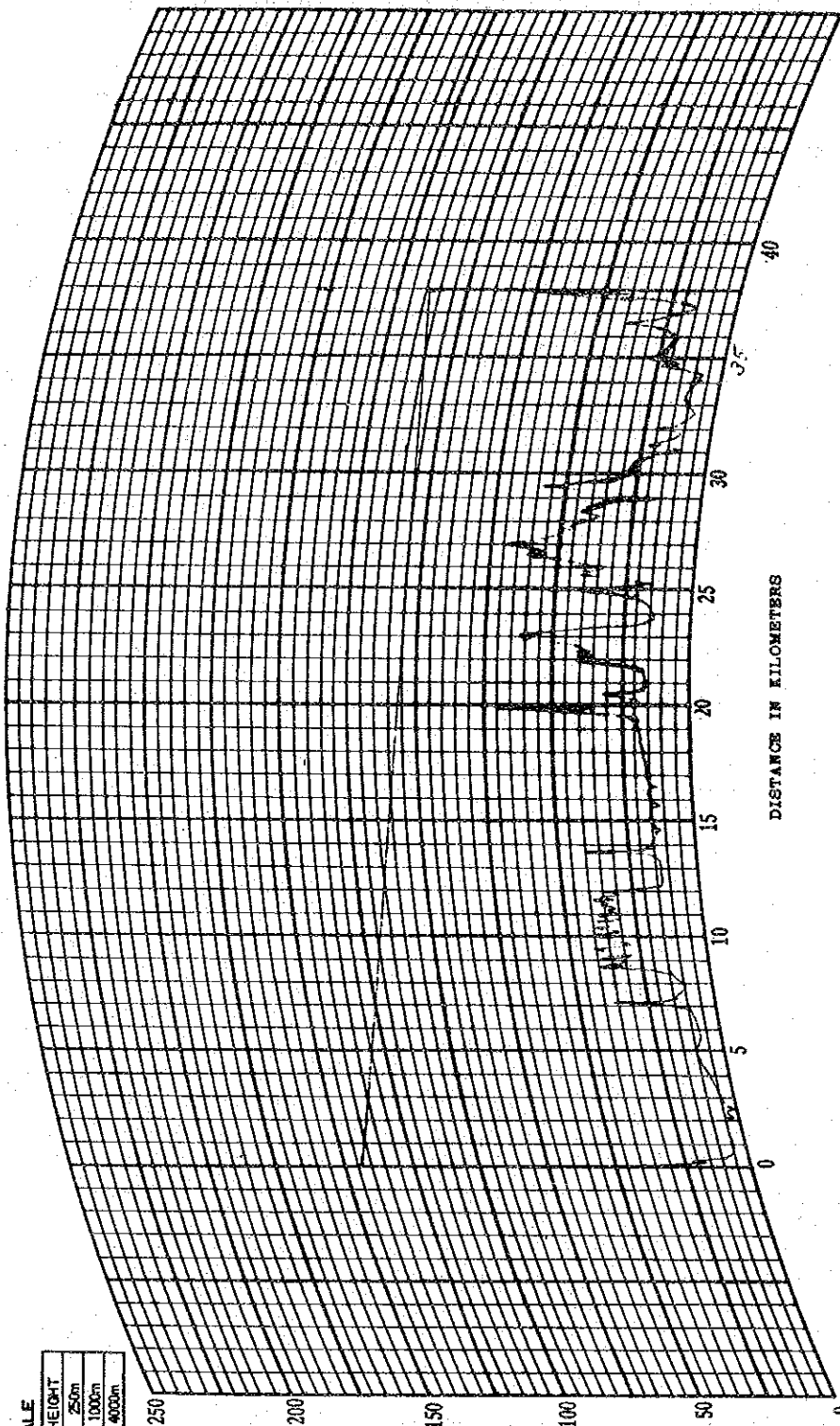
PROFILE MAP
(4 / 3 RADIUS)

DRAWING NO.: Fig VII-2-2-2

ROUTE: _____

FULL SCALE

DISTANCE	HEIGHT
60km	250m
120km	1000m
240km	4000m



HEIGHT IN METERS

DISTANCE IN KILOMETERS

SITE: LAOAG SITE: SINAIT
 LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 50 ^m GROUND ELEVATION: 65 ^m
 ANTENNA HEIGHT: 95 ^m ANTENNA HEIGHT: 50 ^m

DISTANCE: 38.0 km
 HOP NO.: _____

Fig VII-2-2-2 (Laogag - Sinait)

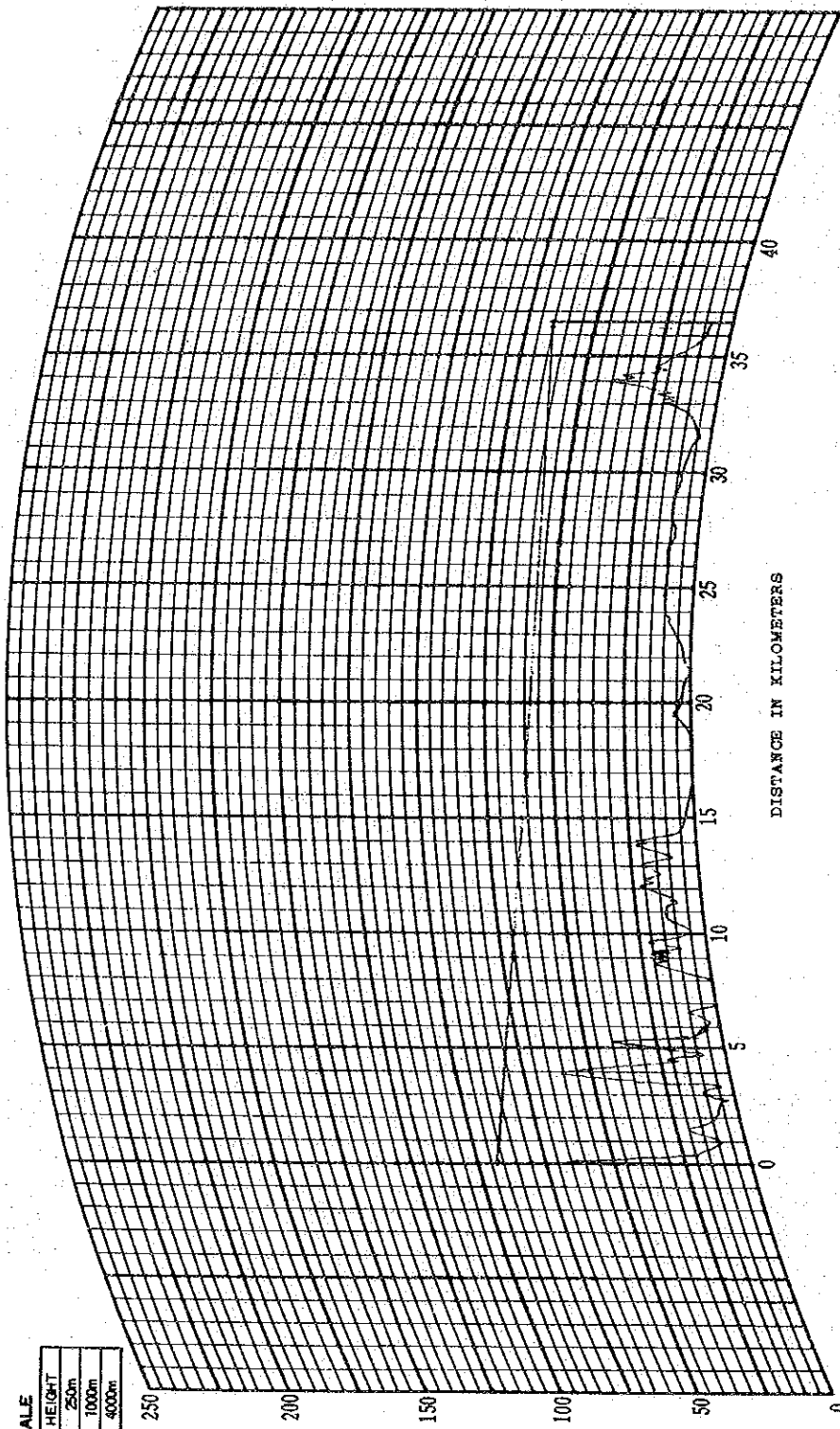
PROFILE MAP (4/3 RADIUS)

DRAWING NO.: Fig VII-2-2-3

ROUTE: _____

FULL SCALE

DISTANCE	HEIGHT
60m	25m
120m	100m
240m	400m



HEIGHT IN METERS

DISTANCE IN KILOMETERS

SITE: SINAIT

LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 65 m
 ANTENNA HEIGHT: 30 m

SITE: VIGAN

LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 8 m
 ANTENNA HEIGHT: 60 m

DISTANCE: 36.6 km

HOP NO.: _____

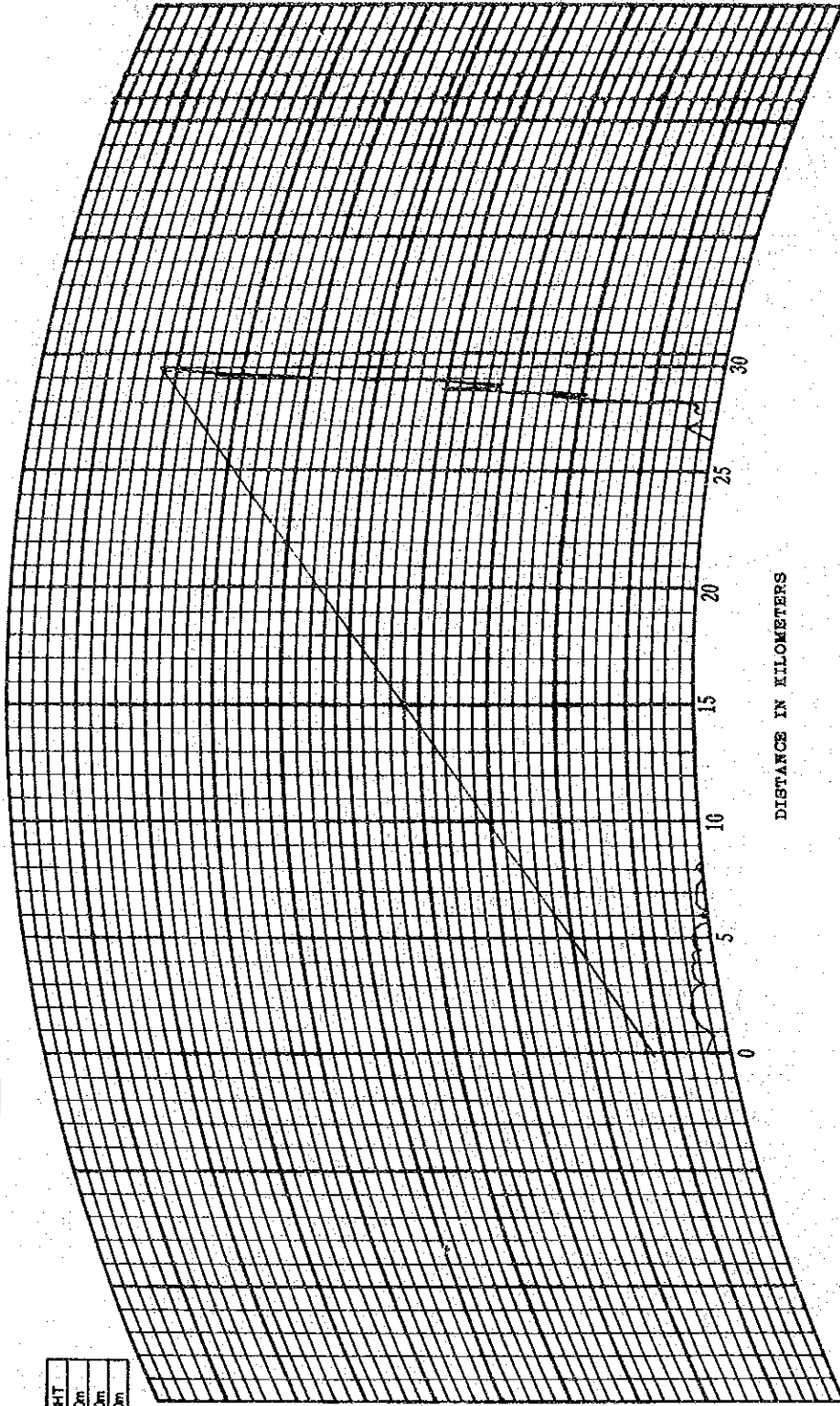
☒ VII-2-2-3 (Sinait-Vigan)

DRAWING NO.: Fig VII-2-2-4

PROFILE MAP
(4 / 3 RADIUS)

ROUTE: _____

FULL SCALE	
DISTANCE	HEIGHT
60m	250m
120m	1000m
240m	4000m



SITE: VIGAN
 LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 8 m
 ANTENNA HEIGHT: 20 m

SITE: BIGBIGAO
 LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 200 m
 ANTENNA HEIGHT: 5 m

DISTANCE: 29.6 km
 EOP NO.: _____

HEIGHT IN METERS

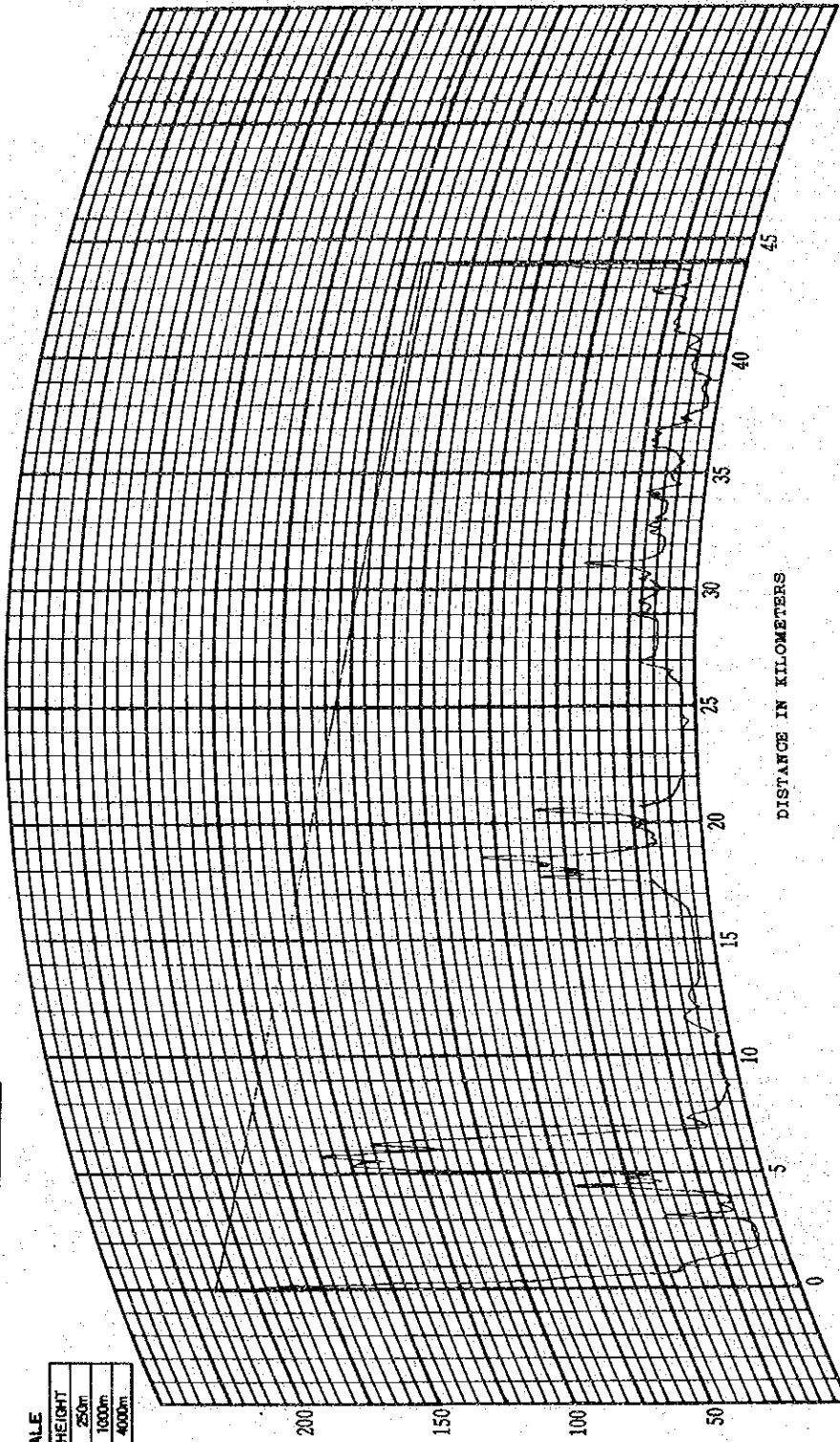
Fig VII-2-2-4 (Vigan-Bigbigao)

PROFILE MAP
(4/3 RADIUS)

ROUTE: _____

FULL SCALE

DISTANCE	HEIGHT
60m	250m
120m	1000m
240m	4000m



HEIGHT IN METERS

DISTANCE IN KILOMETERS

SITE: BIGBIGAO SITE: TAGUDIN
 LATITUDE: _____ LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____ LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 200 m GROUND ELEVATION: 110 m
 ANTENNA HEIGHT: 15 m ANTENNA HEIGHT: 10 m

DISTANCE: 44.1 km HOP NO.: _____

Fig VIII-2-2-5 (Bigbigao-Tagudin)

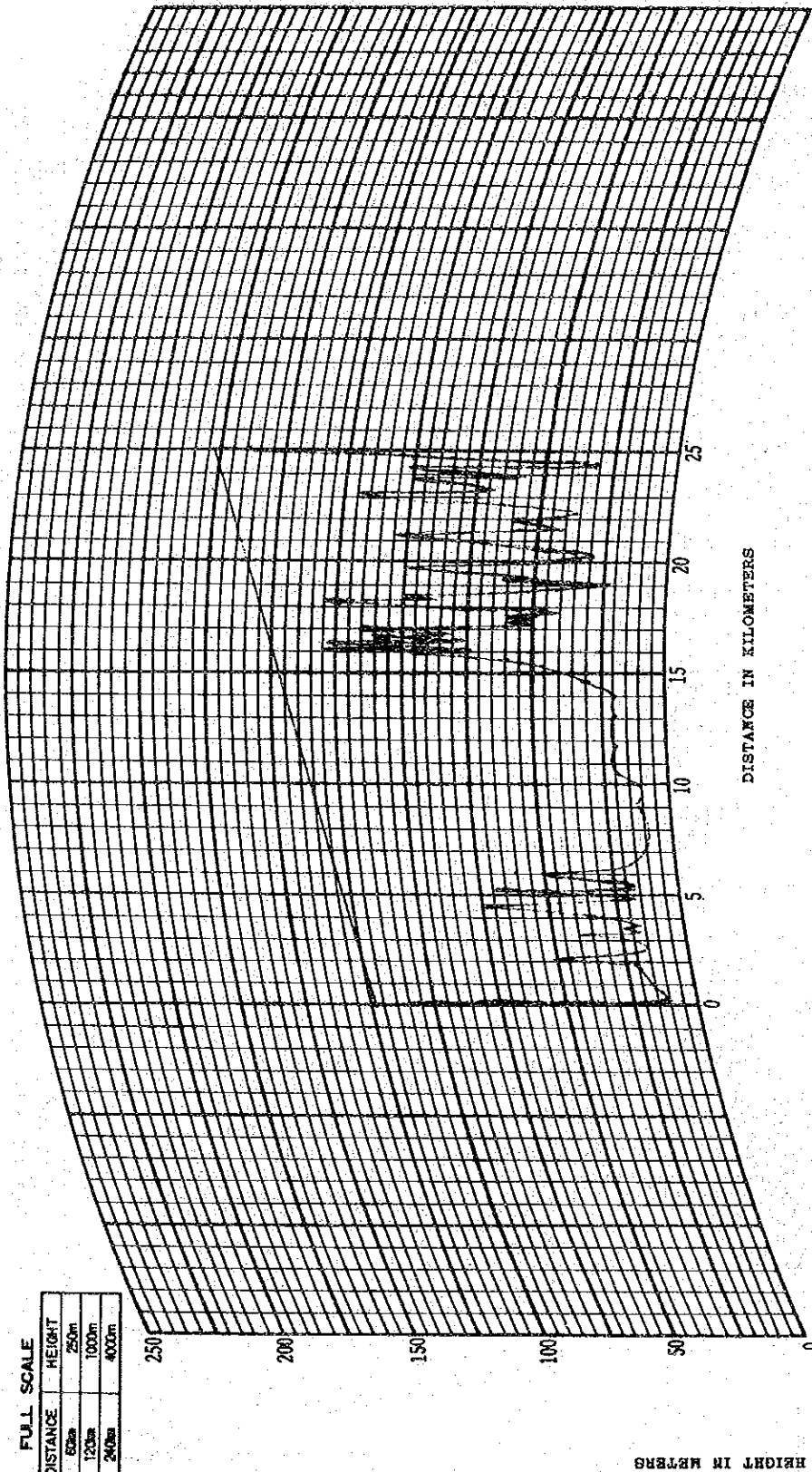
PROFILE MAP (4/3 RADIUS)

DRAWING NO.: Fig VII-2-2-6

ROUTE: _____

FULL SCALE

DISTANCE	HEIGHT
800m	250m
1200m	1000m
2400m	4000m



HEIGHT IN METERS

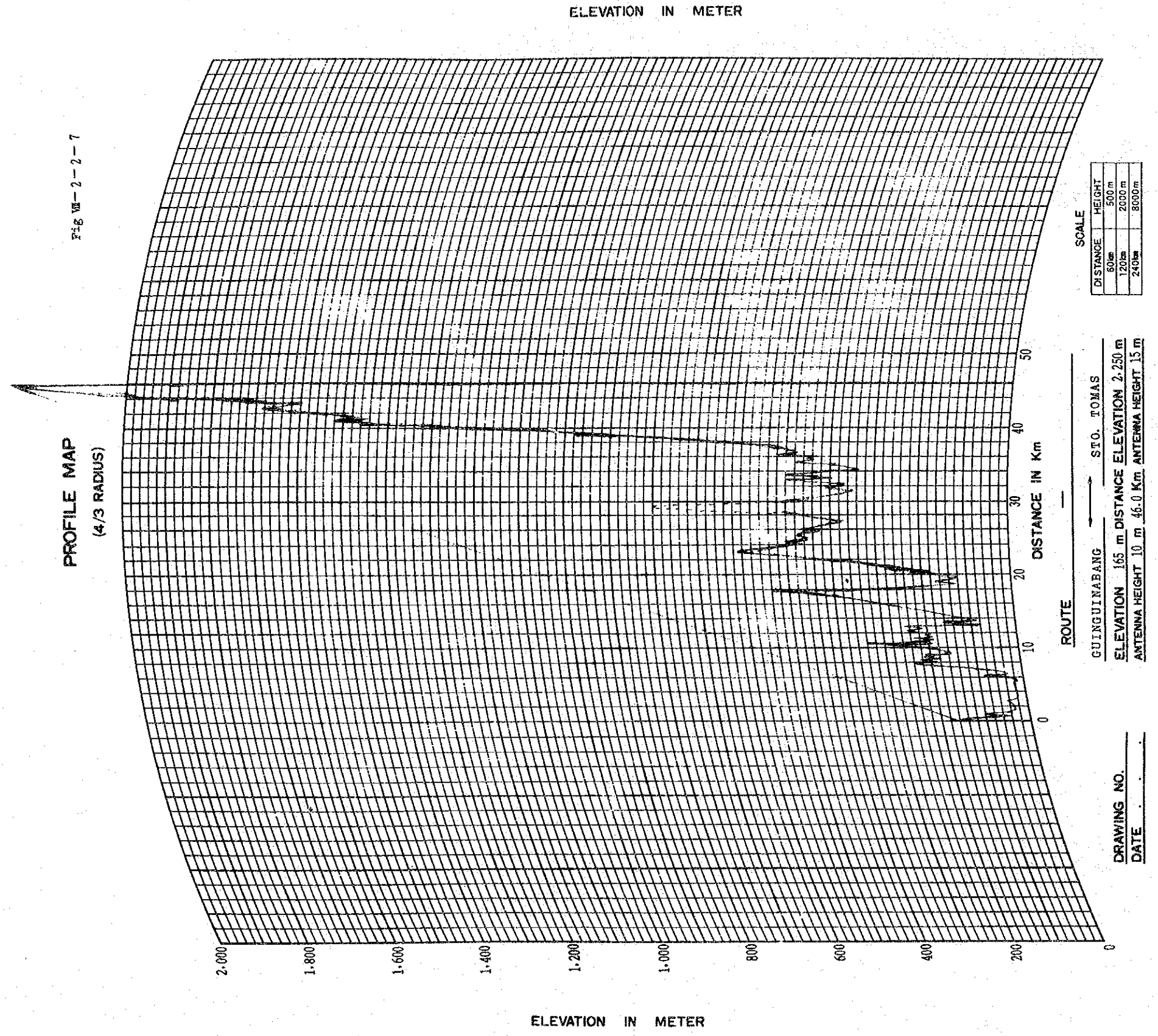
DISTANCE IN KILOMETERS

SITE: GUINGUINABANG
 LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 165 m
 ANTENNA HEIGHT: 15 m

SITE: TAGUDIN
 LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 110 m
 ANTENNA HEIGHT: 15 m

DISTANCE: 25.0 km
 HOP NO.: _____

☒ VII-2-2-6 (Tagudin-Guinguinabang)



VIII-2-2-7 (Guinguinabang-Sto. Tomas)

Name of Route : _____

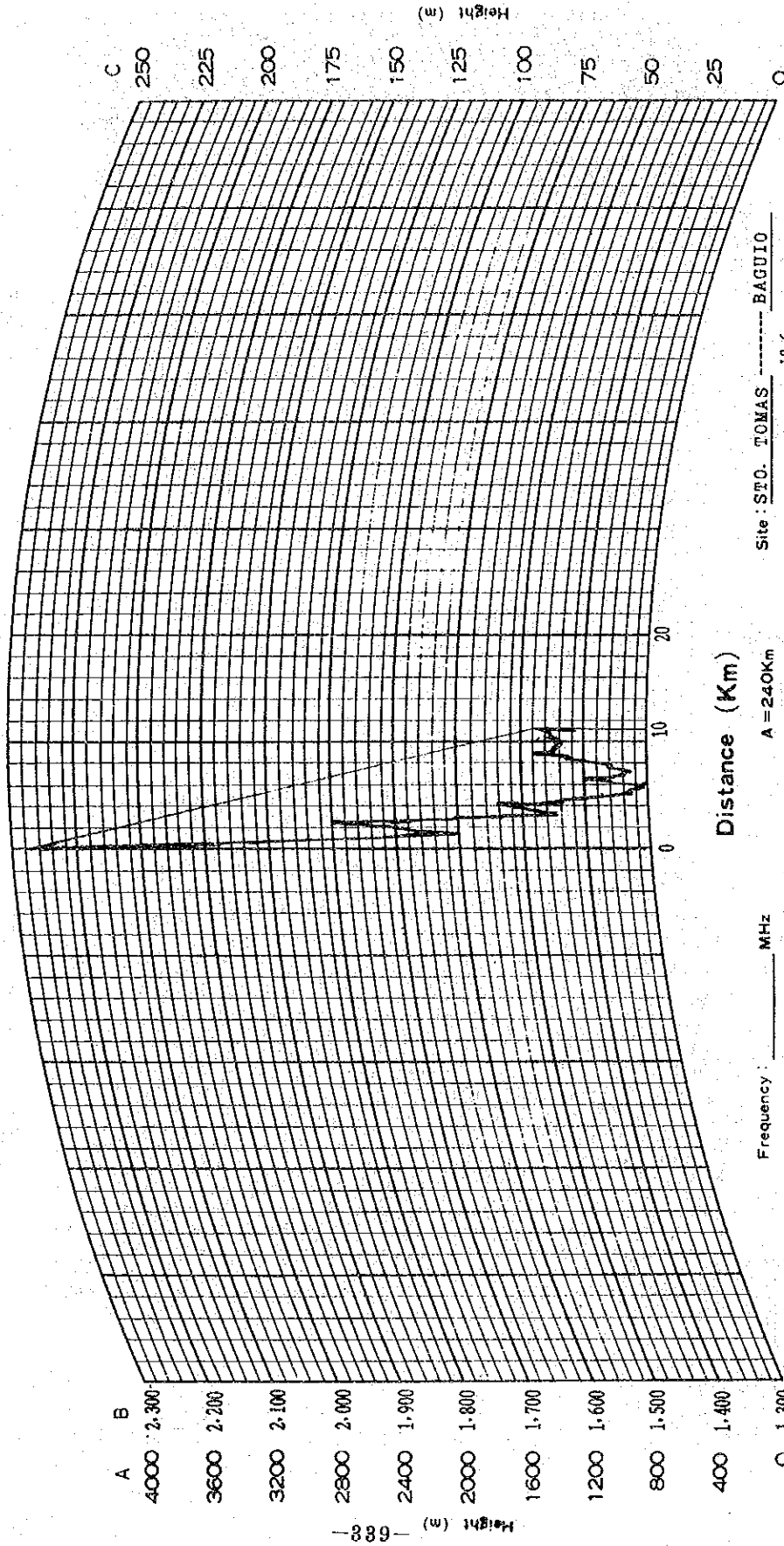
No. : Fig VIII-2-2-8

Drawer : _____

Date : _____

PATH PROFILE

(K=4/3)



Frequency : _____ MHz
 Power : _____ W
 A = 240Km
 Full Scale B = 120Km
 C = 60Km
 Site : STO. TOMAS ----- BAGUIO
 Height : 2,250 m 10.6 km 1,460 m
 Antenna height : 10 m 20 m

Fig VIII-2-2-8 (Sto. Tomas-Baguio)

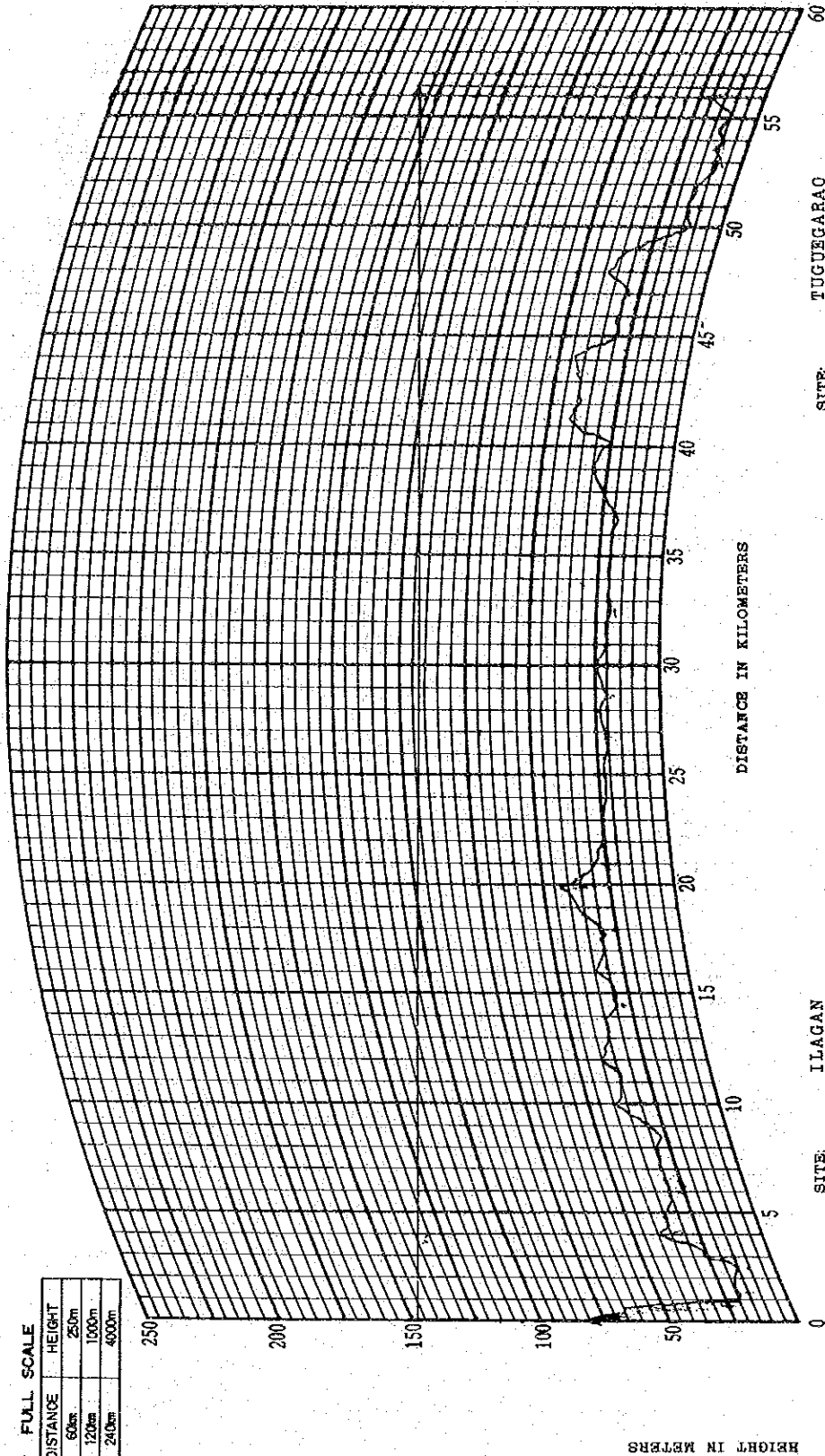
PROFILE MAP (4/3 RADIUS)

DRAWING NO.: Fig VIII-2-2-9

ROUTE: _____

FULL SCALE

DISTANCE	HEIGHT
60m	250m
120m	1000m
240m	4000m



SITE: TUGUEGARAO 60
 LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 20 m
 ANTENNA HEIGHT: 110 m

DISTANCE: 56.4 km
 HOP NO.: _____

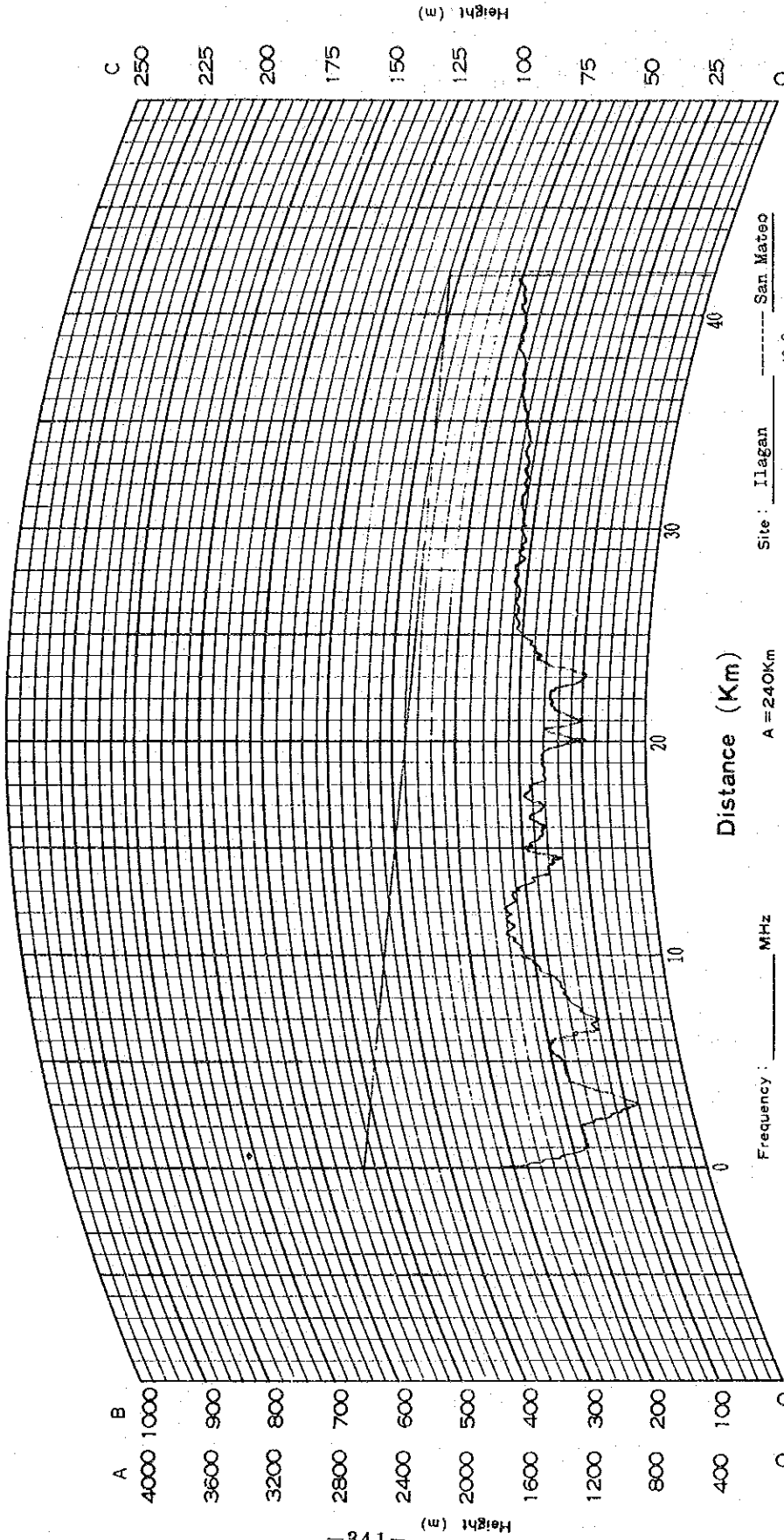
SITE: ILAGAN
 LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 80 m
 ANTENNA HEIGHT: 70 m

⊗ VIII-2-2-9 (Ilagan-Tuguegarao)

Name of Route: _____
 No.: Fig VIII-2-2-10
 Drawer: _____
 Date: _____

PATH PROFILE

(K=4/3)



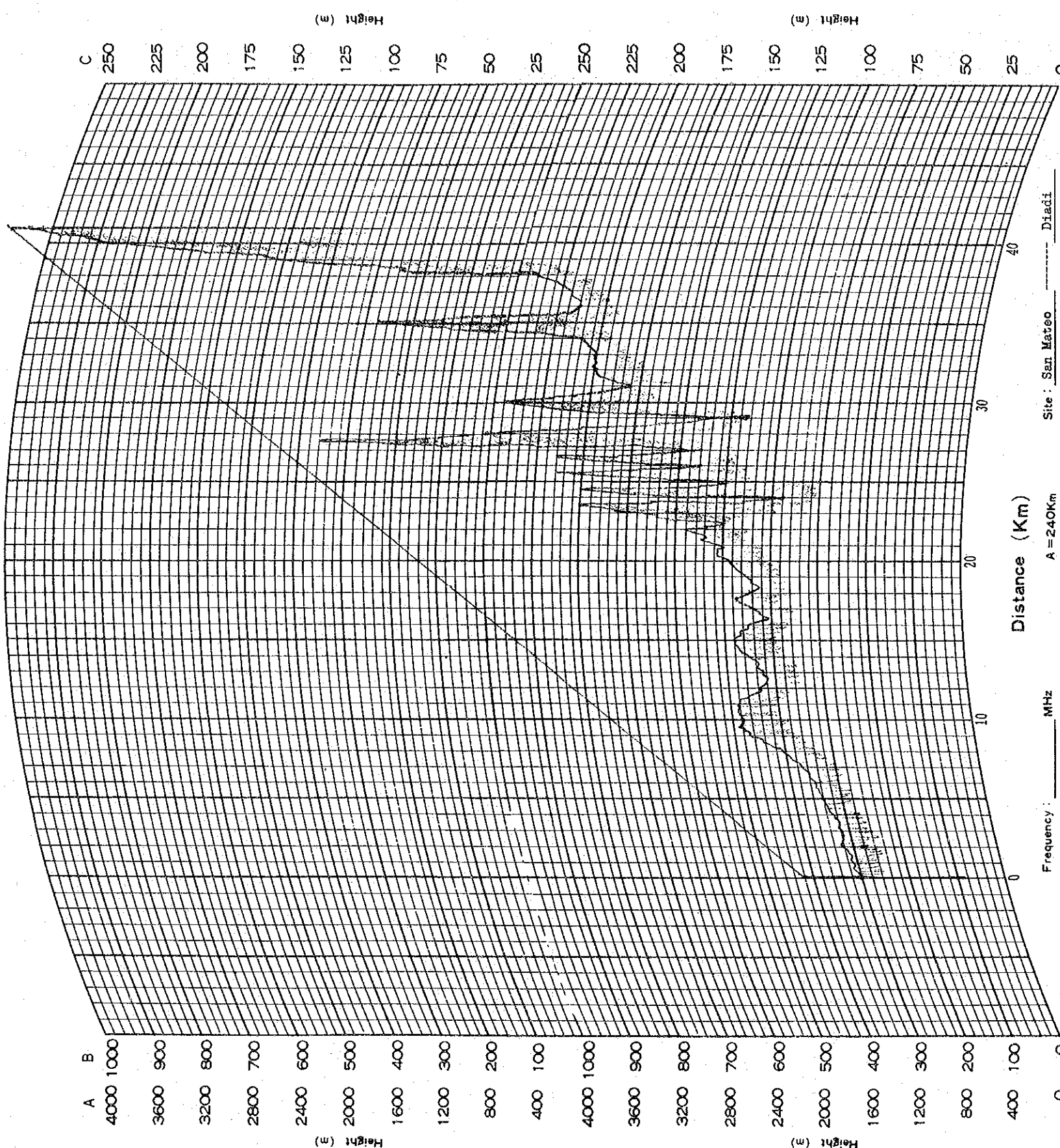
Frequency: _____ MHz
 Power: _____ W
 Site: Ilagan ----- San Mateo
 Height: 80 m ----- 40.8 km ----- 75 m
 Antenna height: 55 m ----- 25 m
 A = 240Km
 Full Scale B = 120Km
 C = 60Km

Fig VIII-2-2-10 (Ilagan-San Mateo)

Name of Route: Fig W-2-2-11
No.: _____
Drawer: _____
Date: _____

PATH PROFILE

(K=4/3)

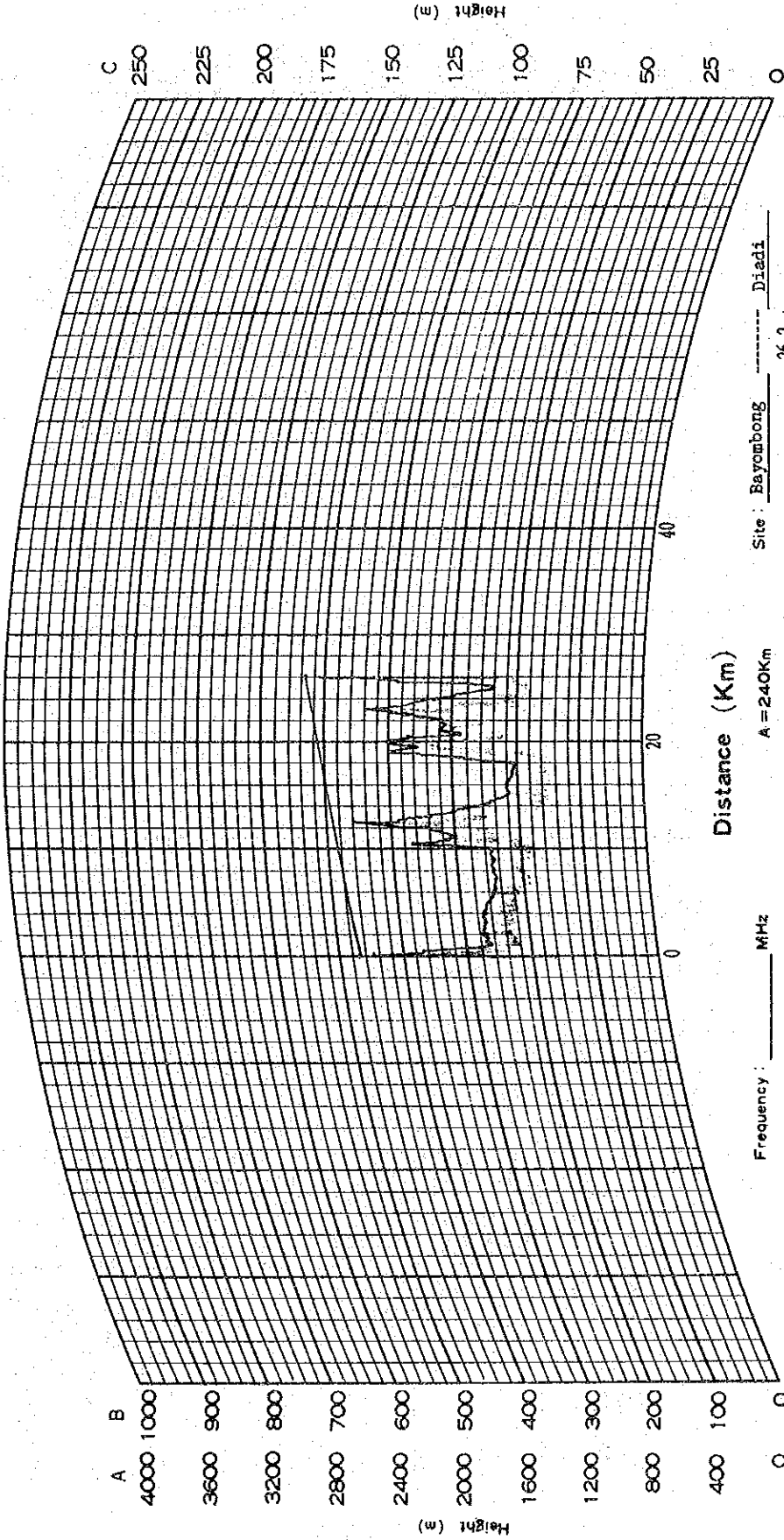


Frequency: _____ MHz
 Power: _____ W
 Site: San Mateo Diadi
 Height: 75 m
 Antenna height: 30 m
 Distance: 40.3 km
 Diadi: 516 m
 A = 240Km
 Full Scale B = 120Km
 C = 60Km

PATH PROFILE

Name of Route : _____
 No. : Fig VIII-2-2-12
 Drawer : _____
 Date : July 17, 1978

(K=4/3)



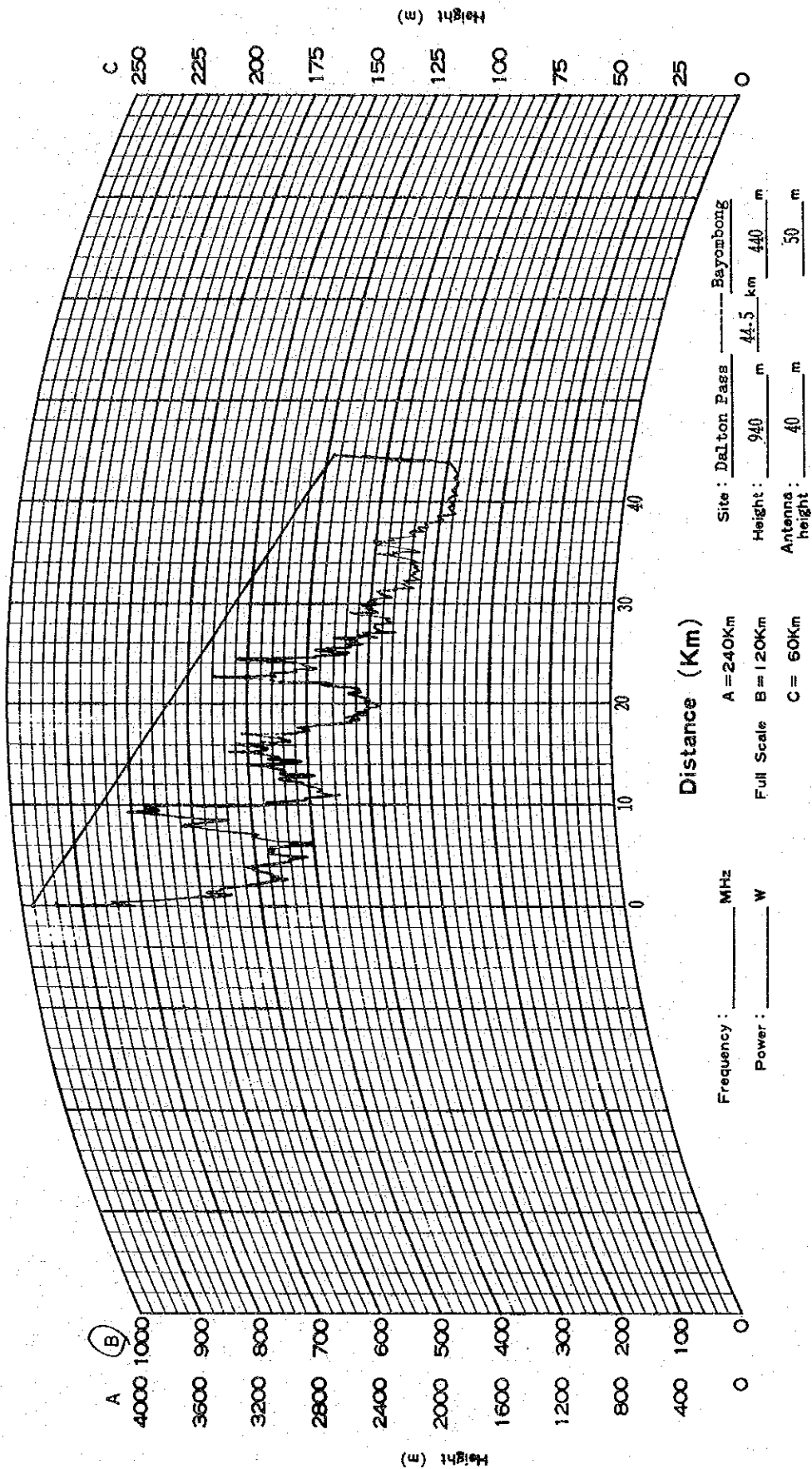
Frequency : _____ MHz
 Power : _____ W
 Site : Bayombong _____ Diadi
 Height : 445 m 26.2 km 516 m
 Antenna height : 30 m 20 m
 A = 240Km
 Full Scale (B) = 120Km
 C = 60Km

VIII-2-2-12 (Bayombong-Diadi)

Name of Route: _____
 No.: Fig VIII-2-2-13
 Drawer: _____
 Date: _____

PATH PROFILE

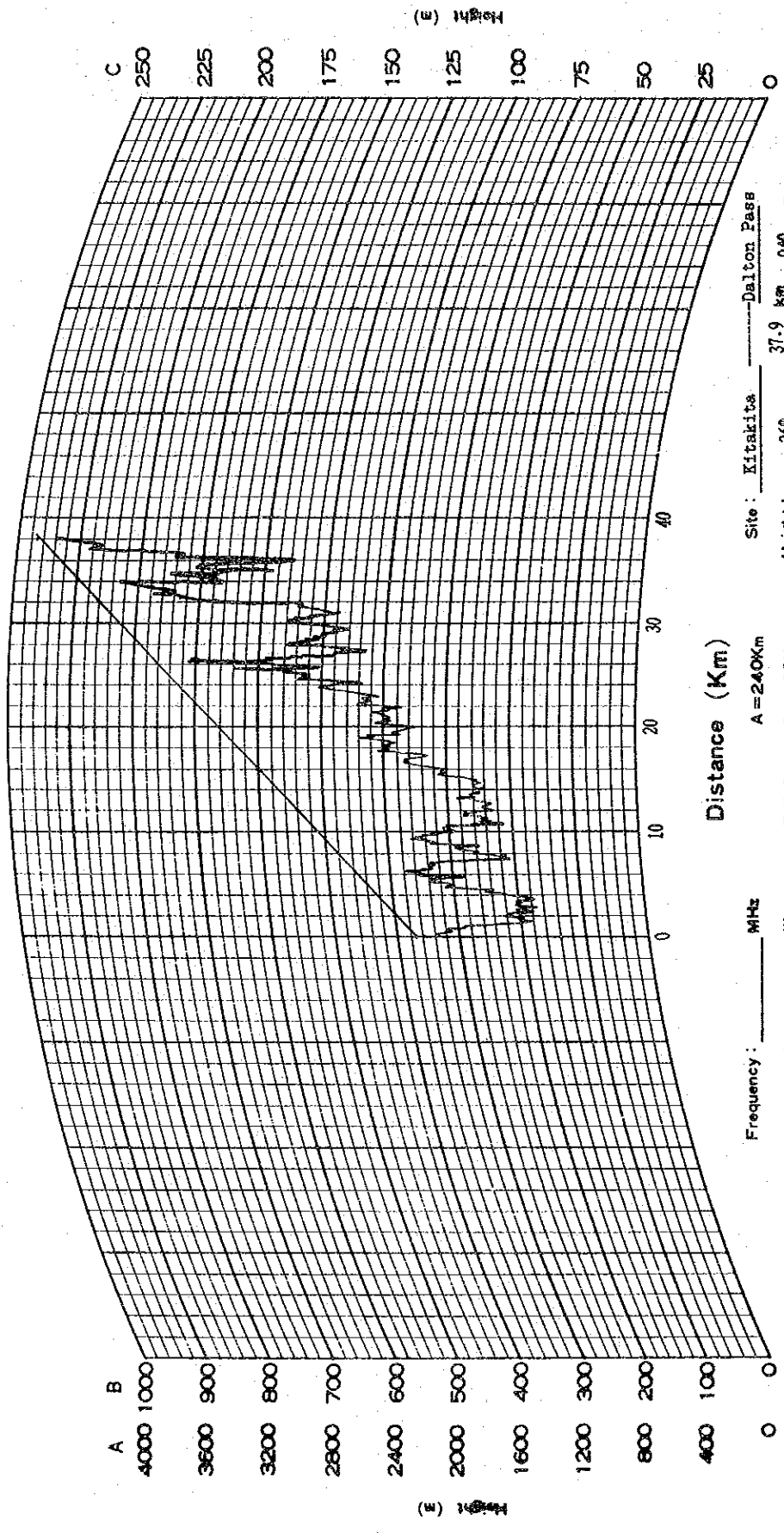
(K=4/3)



Name of Route: _____
 No.: Fig Ⅷ-2-2-14
 Drawer: _____
 Date: _____

PATH PROFILE

(K=4/3)



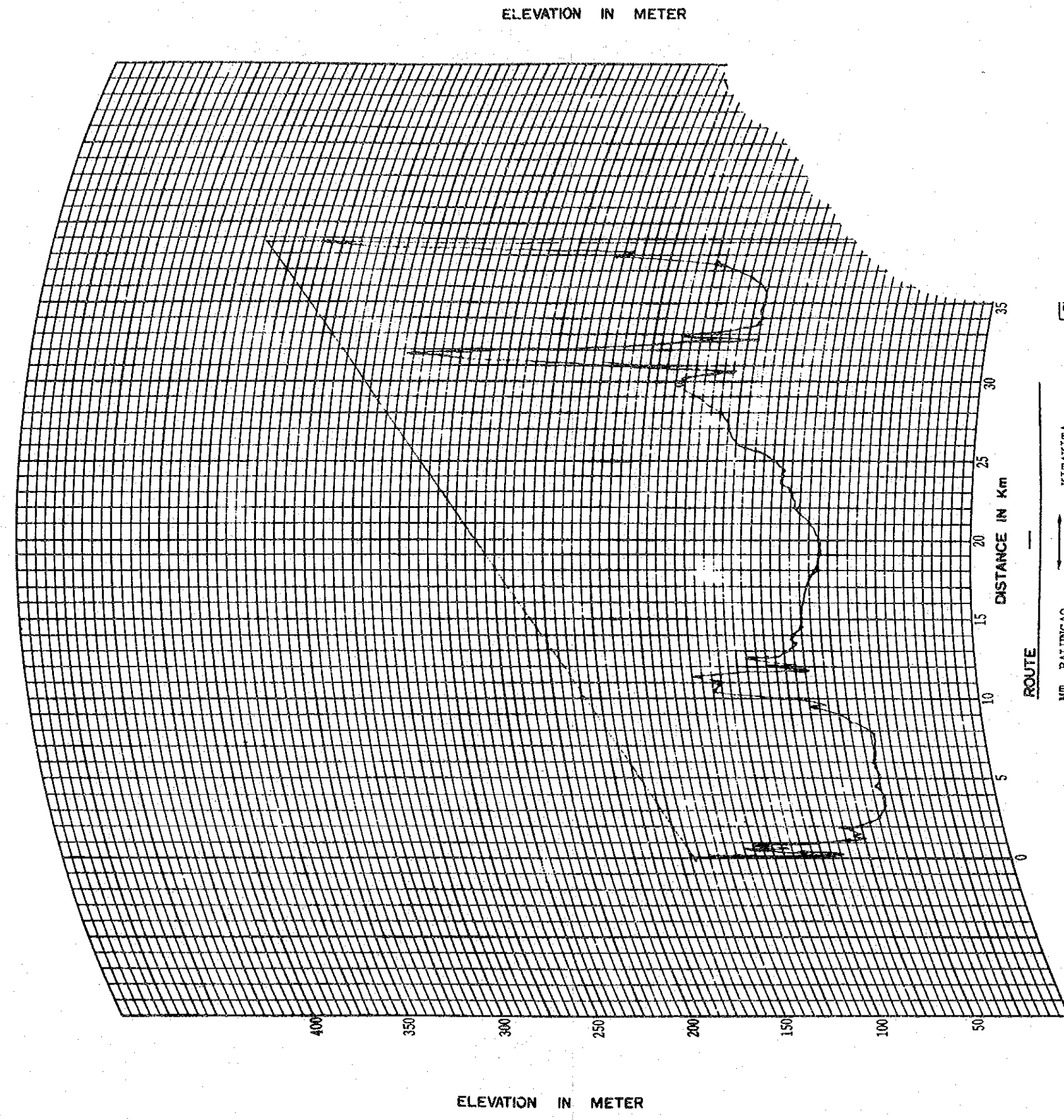
Frequency: _____ MHz
 Power: _____ W
 Site: Kitakita -----Dalton Pass
 Height: 360 m 37.9 km 940 m
 Antenna height: 10 m 30 m
 A = 240Km
 Full Scale B = 120Km
 C = 60Km

Ⅷ-2-2-14 (Kitakita-Dalton Pass)

(302) 081105 ET-1

Fig VIII-2-2-15

PROFILE MAP
(4/3 RADIUS)



DRAWING NO. _____

DATE

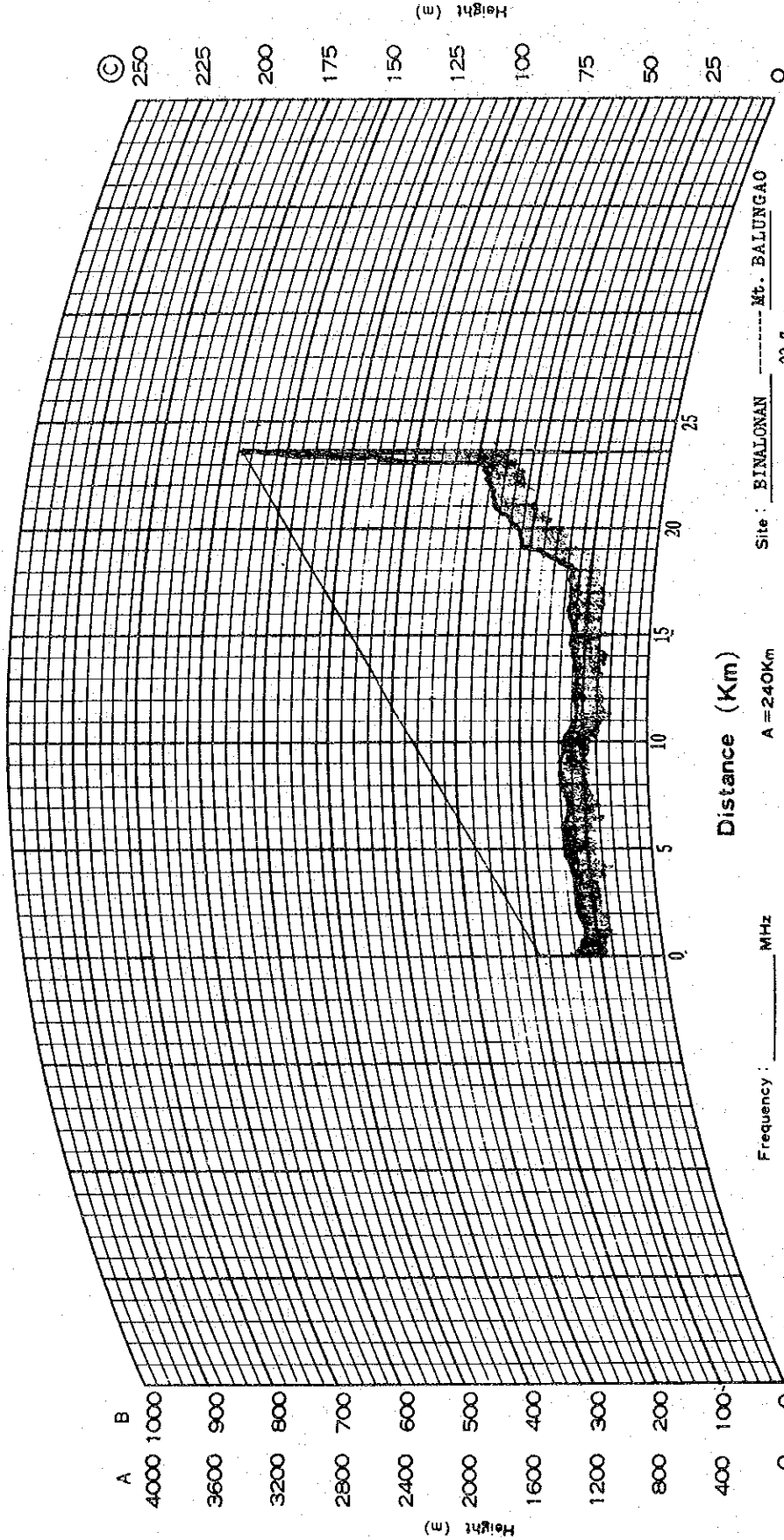
D

Fig VIII-2-2-15 (Mt. Ballungao-Kitakita)

Name of Route: _____
 No. Fig VIII-2-2-16
 Drawer: _____
 Date: _____

PATH PROFILE

(K=4/3)

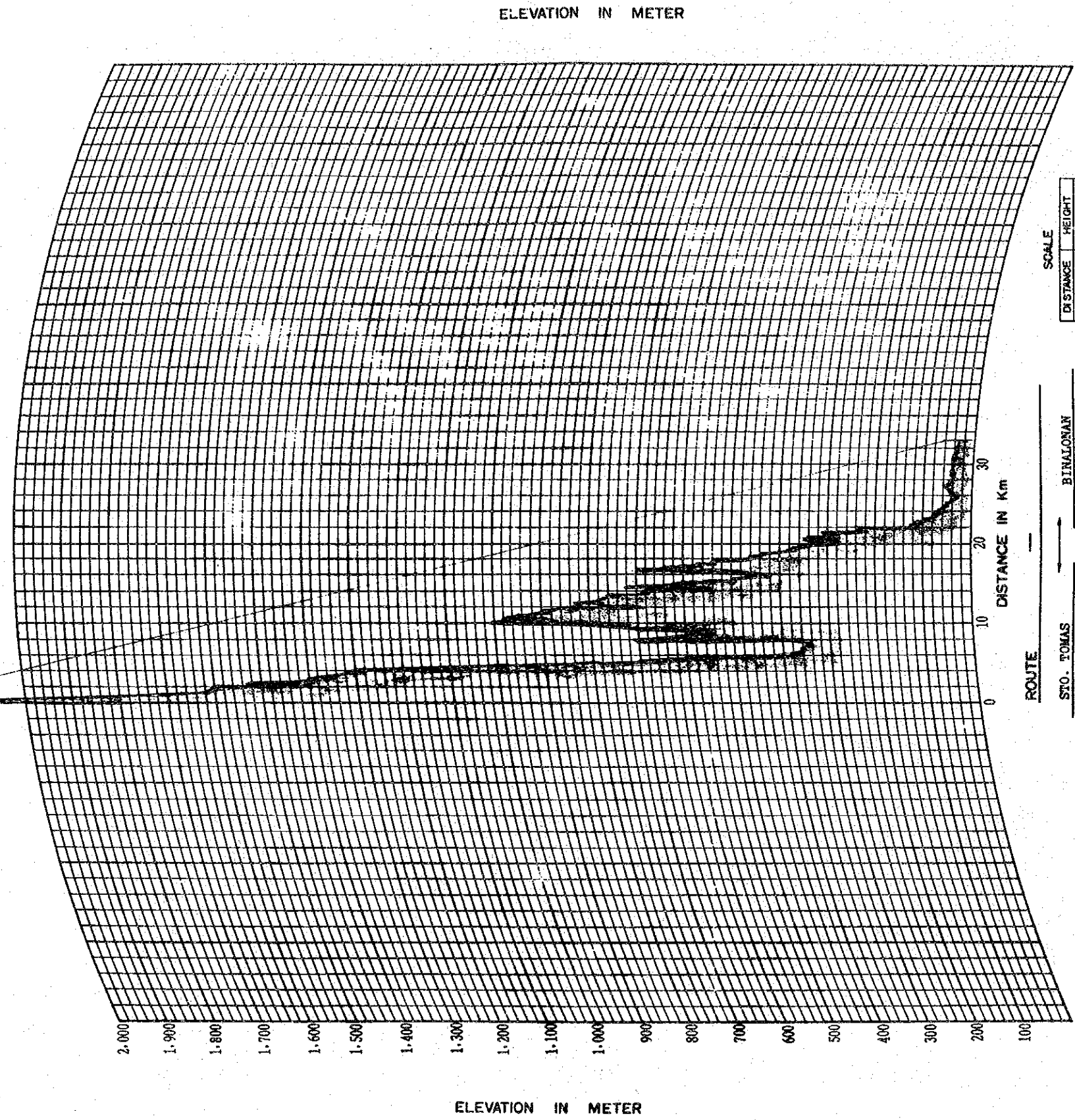


Frequency: _____ MHz
 Power: _____ W
 Site: BINALONAN ----- Mt. BALUNGAO
 Height: 35 m 23.7 km 160 m
 Full Scale A = 240Km B = 120Km
 Antenna height: 20 m 10 m
 (C) = 60Km

Fig VIII-2-2-16 (Binalonan-Mt. Balungao)

Fig W-2-2-17

PROFILE MAP
(4/3 RADIUS)



SCALE

DISTANCE	HEIGHT
80km	500 m
120km	2000 m
240km	8000 m

ROUTE
STO. TOMAS — BINALONAN
ELEVATION 2.250 m DISTANCE ELEVATION 35 m
ANTENNA HEIGHT 10 m 31.4 Km ANTENNA HEIGHT 15 m

DRAWING NO.
DATE

(2) 回線設計

電話需要予測、所要回線数より、電話回線としては、最大 960 ch の伝送路を、マイクロウェーブによる周波数分割多重一周波数変調方式を採用することとする。さらに予備回線を用いて、カラー TV 信号の伝送も（勿論、周波数変調方式で）おこなうこととする。

図Ⅷ-2-2-1 が示すように、本プロジェクトにおけるマイクロルートは 3 つの部分より成っている。

第一の部分は Baguio より Region I 方面へのルート、第二の部分は同じく Baguio より Region II 方面へのルート、そして第三の部分は Baguio と Manila とを接続するルートである。

具体的には第 1 のルートは Baguio ~ Vigan ~ Laoag のルートであり、第 2 のそれは Baguio ~ Binalonan ~ Bayombong ~ Ilagan ~ Tuguegarao のルートである。そして第 3 のルートは Binalonan ~ Manila のルートである。つまり Region I、および II のマイクロルートに対する Manila よりの接続は Binalonan でおこなわれる。

(2)-1 回線構成

Laoag ~ Baguio ~ Tuguegarao および Binalonan ~ Manila のマイクロウェーブ回線は、切替区間として、

Laoag	~ Vigan	74.6 km (2 区間)
Vigan	~ Baguio	155.3 km (5 区間)
Baguio	~ Binalonan	42.0 km (2 区間)
Binalonan	~ Bayombong	145.5 km (4 区間)
Bayombong	~ Ilagan	107.3 km (3 区間)
Ilagan	~ Tuguegarao	56.4 km (1 区間)
Binalonan	~ Manila	183.2 km (5 区間)

とする。

現在、BUTEL 既設のマイクロルートとして 7GHz 帯を用いた回線が、Manila より Pandi, Dau, Tarlac, Balungao, Sto. Tomas を経由して Baguio に至っている。これら、Baguio を除く 6 局は、更改という形で、本プロジェクトの中に組み入れられている。Baguio は敷地があまりにも狭すぎるので本プロジェクトでは、他の場所を提案している。

これらは、当初 1+1 (1 現用無線チャンネル + 1 予備無線チャンネル) のルート予備方式で、スタートする。以上 7 切替区間の、切替方式は、ビデオ切替方式とする。Baguio ~ Sto. Tomas 間は、Vigan 方向のルートと、Bayombong 方向のルートとが、また Binalonan ~ Balungao 間は Bayombong 方向のルートと Manila 方向のル

ートとが共存する区間であり、この区間の問題点については、(2)-2-4項で詳説されるが、とにかく、これらの区間は、Vigan 方向のマイクロルートと、Bayombong 方向のルートとは、または Bayombong 方向と Manila 方向とはまったく独立して作成するようにした。したがって、この区間は、予備回線は、2無線チャンネルが敷かれることになる。

具体的な回線構成について、各区間毎に示したものを、図Ⅷ-2-2-18に示す。この中で示すように、Ilagan~Tuguegaraoを除く、各区間は、途中の中間中継所から、超群単位で、分断するようになっている。

分断中継所の詳細は、(2)-2-3で述べられるが、その一覧を表Ⅷ-2-2-2マイクロウェーブ中継所の機能別種類に掲げる。

表Ⅷ-2-2-2 マイクロウェーブ中継所の機能別一覧

局 所	切 替 局	中 継 局	
		単 純 中 継	分 断 中 継
Laoag	○		
Sinait			○
Vigan	○		
Bigbiga			○
Tagudin			○
Guinguinabang		○	
Sto. Tomas		○	
Baguio	○		
Binalonan	○		
Balungao		○	
Kitakita		○	
Dalton Pass			○
Bayombong	○		
Diadi			○
San Mateo			○
Ilagan	○		
Tuguegarao	○		
Tarlac			○
Dau			○
Pandi			○
Manila	○		
計	8	4	9

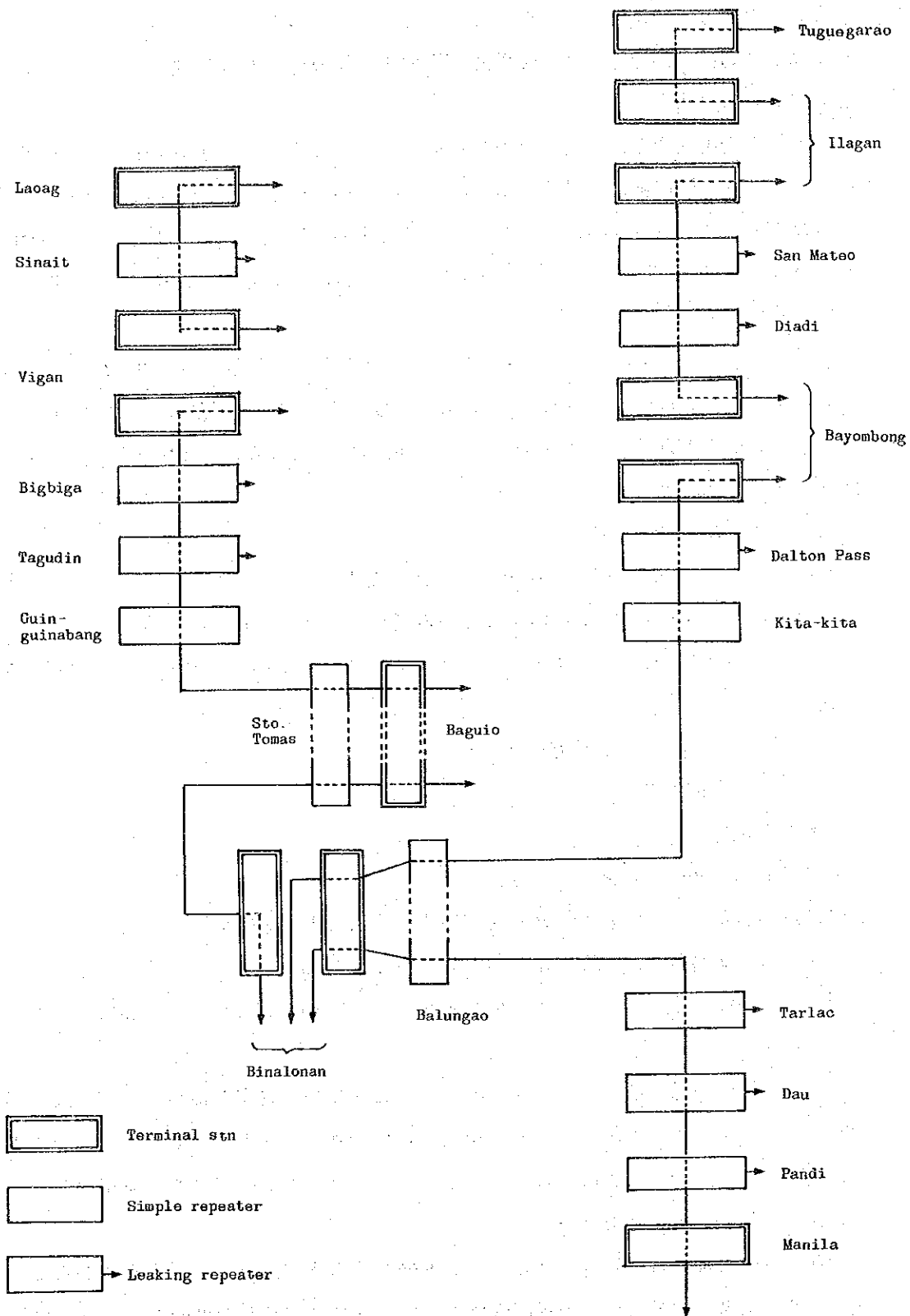


図 Ⅷ - 2 - 2 - 18 マイクロウェーブルート回線の構成

図Ⅷ-2-2-18からも理解できるように、本プロジェクトにおける、マイクロルートは、5切替区間より成り、装置障害等の伝送路故障に対しては、ルート予備方式をもって、対処する。

これは、現用回線とは、異った周波数を用いて、もう一本独立の予備回線を作成する。常時は、この予備回線は、勿論使用されていないが、回線としては生きており、つまり、まったくのアイドルの状態にある。現用回線の切替局送信側には、常に8.5MHzのパイロット信号が挿入され、このパイロットは、切替局受信機で、受信された後、常時監視されている。

もしこのパイロットのレベルがある程度、低下したり（通常、6～8dB低下）、またこのパイロット信号付近のS/N比が、ある程度劣化したり（通常はS/N 30dBの点）すると、監視制御装置がこれを検知して、現用回線が正常でないと判断し、ただちに予備伝送路へ自動切替する。

切替の判断の方法として

- パイロットのレベル低下を検知して切替司令を出すやり方。
- パイロット付近のS/Nを検知して切替司令を出すやり方。
- 以上の両者を検知して、すくなくともどちらか一方が劣化したとき、切替司令を出すやり方。

の三種がある。これらの切替方法は、それぞれ

- パイロット切替方式
- 雑音切替方式
- パイロット-雑音切替方式

と呼ばれ、パイロット-雑音切替方式が最もすぐれた方法と言われている。

パイロット切替方式は、実際は、パイロットが、著るしく低下、つまり、回線が断になったことを検知してから、始めて切替動作が始まるので、50～100〔mili sec〕の回線中断を併う。

しかし、雑音切替方法の場合、品質の低下によって切替動作を始めるので、回線切替装置のスイッチ素子のターンオーバー時間だけの中断で済むという、すぐれた方法である。通常スイッチング素子は、ダイオード、あるいは、トランジスターを用いているので、数十〔 μ sec〕の断で済む。

一方、予備回線設定の方法には、ルート予備方式の他に、セット予備方式がある。セット予備方式は各中継所に、現用回線装置と同一周波数の装置を準備しておき、故障に備える方法である。この方法は、現用回線が複数個あったとき、予備機は、いったいどの周波数に同調しておくか、という、きわめて、やっかいな問題があること、および、

後述するフェージングに対する、ダイバーシティ効果が、まったくないこと、のために、現在、マイクロウェーブ通信方式では、一般には使われていない。

しかし、ルート予備方式では、回線毎、切替えてしまうので、多くの現用無線チャンネルを有するマイクロウェーブシステムでは、きわめて都合がよく、さらに、予備ルートは、どの現用ルートとも異った周波数を使っているので、フェージングに対しても切替効果が十分ある。つまりある周波数はフェージングをこうむるが、予備回線に使用している周波数は、フェージングがないということである。ルート予備方式は、セット予備方式にくらべて、すぐれた面をもっているが、唯一の不都合な点は、周波数をもう一組、余計に必要なだということである。しかし、この点を克服したなら、予備方式としては、だんぜん、すぐれた方策といえる。

次に回線構成として触れなければならない点は、カラーTV信号を予備回線を用いて運用することである。

通常のカラーTV信号は、その帯域として4MHz程度の広がりをもち、その点で、電話換算960CHの容量と等比である。このことから、カラーTV信号の伝送には、1無線チャンネルをわりあてるのが普通である。

しかし、TVプログラムの需要がきわめて小さく、その時間帯も、1日、20~30分程度であれば、わざわざ、そのために、1無線チャンネルわりあてるのは、装置の使用効率から言ってきわめてわるい。このようなケースに対しては、通常アイドル状態にある予備回線を使ってTV信号の伝送をおこなう。これをTV信号の予備運用と言い、問題は、現用の電話信号用の無線チャンネルが故障となったとき、この電話信号用チャンネルを救済するのか、それとも、予備運用中のTV信号を確保し、現用無線チャンネルである電話信号は、この場合に限り、つまり、予備運用中は、自動切替をおこなわない、という考え方もある。

これは、マイクロウェーブ回線の制御系の設計基本となる大切な点となるので、詳細設計の際、どちらをとるか、決める必要がある。

一般に、たとえルート予備方式であれ、自動切替によって、回線が断となることを防ぐ場合、ある条件のもとでは、自動切替による救済ができない場合がいくつかある。それらを、大きなものについてあげてみると、

- 複数の現用回線が同時に故障になった場合どちらかの現用回線は、救済できない。
- 同様に、すでに先発故障で予備回線が占有されているとき、さらに後発の故障が発生しても、後発の故障回線は救済されない。
- 予備運用の形で予備回線が占有されているときに、現用回線が故障となり、通常は、予備運用というものは優先順位が低いと考えられているので、この場合予備運用中

の信号は追い出され、故障回線が予備ルートを占有する、というのが一般的である。
したがって、予備運用中の信号は、断とならざるを得ない。

○以上の他に電源装置の故障については、また別のカテゴリーとなるので、この分も、
回線断の要素としてみつもりをする必要がある。

以上は、マイクロ回線の中断について述べたものであるが、一般に、基幹となる伝送
路はその重要性故に、回線の信頼度（不稼働率）の目標を定めてあるのが、先進諸国の
例である。

不稼働率として、 $0.25 \times 10^{-4} / 500 \text{ km}$ 程度の目標をおいて基幹網を構成するのが、
現実的には、よいと考えられるが、現在の装置そのものの信頼度、あるいは故障率の水
準から言って、以上の目標値を達成させるためには、同一の都市に対して、有線と無線
の両方式を入れて、つまり2ルート化して、不稼働率を達成しているのが現実である。

したがって、現在の本プロジェクトで、いっきにこれを達成しようとするのは、あま
り得策でない。むしろ将来の目標達成のため、基礎設備であるマイクロ回線自体の信頼
度を、どのくらいにおくか、ということを検討すべきである。

この値として、不稼働率 $0.1\% / 2500 \text{ km}$ 、1方向をマイクロ回線の目標とする。この
値を、さらに、送受信装置、変復調装置等直接信号の伝送路を構成する部分と、電力装
置とにわけ、送受信装置等に $0.05\% / 2500 \text{ km}$ 1方向、電力装置に $0.05\% / 2500 \text{ km}$ 、
1方向とする。ただし、電力装置は、伝送方向に関係なく、両方向の装置に対して、電
力を供給するので、 $0.1\% / 2500 \text{ km}$ 両方向、とする。伝送路が中断となるケースは、す
でに述べたうちの、次のケースにあてはまる場合が最も多いと考えられる。

つまり、ある現用回線が故障で、予備回線を占有中に、他の現用回線が、さらに故障
となる場合である。

しかし、本プロジェクトは、当初 1 + 1 でスタートするので、このようなケースは、
あり得ない。むしろ、予備運用中に、現用回線が故障となる確率がどうかということ
である。

5切替区間のうち最も長い Baguio ~ Bayombong（6区間）の区間について、伝送
路部分の信頼度（電力装置を除いた部分）について考えると、各局伝送路を構成する装
置は、2台（切替局は、変復装置1台 + 送受信装置1台、中間中継所の場合は、送信装
置 + 受信装置）という仮定で考える。

各装置1台当りの故障率を同一とし、 p [件/時間]とすると、現用回線が故障となり、
予備回線へ自動切替する確率は

$$\sum_{n=1}^{14} C_{14}^n p^n \quad (\text{回/時})$$

ただし、Baguio ~ Bayombong 間は、14 台の装置によって、伝送路が構成される
とした。

しかし、通常は、 p はきわめて小さいので

$$\begin{aligned}\sum_{14} C_n p^n &\approx 14 p \quad (\text{回/時}) \\ &= 14 p \times 168 \quad (\text{回/週})\end{aligned}$$

これだけの回数生じた故障が、たまたま予備運用されている TV 信号伝送時と、ぶつ
かるチャンスは

$$14 p \times 168 \times \frac{1.5 \text{ 時間}}{168 \text{ 時間}} \quad (\text{回/週})$$

これは、きわめて、だいたんな仮定であるが予備運用による TV 信号の伝送は、週 1
回、1 時間半と仮定した。1 回の放送時間は、1 時間半であるから、予備運用と現用回
線の故障が、ぶつかる期待時間長は

$$1.5 \times 14 p \times 168 \times \frac{1.5}{168} \quad (\text{時間/週})$$

一方、目標値は 0.05%/2500 km である故 6 中継区間、1 週間内の許容時間は

$$168 \times 0.05 \times 10^{-2} \times \frac{6}{50}$$

したがって、故障が、予備運用とぶつかる期待時間長が、この値以下ならばよいので、
次の関係が成り立つ。

$$1.5 \times 14 p \times 168 \times \frac{1.5}{168} \leq 168 \times 0.05 \times 10^{-2} \times \frac{6}{50}$$

この式より $p \leq 3.2 \times 10^{-4}$ (回/時間) を得る。

これは、MTBF (Mean Time Between Failure) 3125 時間に相当する。

通常、マイクロウェーブ装置の MTBF 値は、すくなくとも、25,000 時間と考えら
れるので、この程度の頻度の予備運用ならば信頼度の点で、差し支えないと判断される。

それでは、装置 1 台当りの MTBF を 25,000 時間と仮定した場合、どのくらいの割
合で、TV プログラムの伝送需要が生じたとき、さらに、1 無線チャンネルの TV 専用
回線を増設すべきかを検討する。先に述べたと同様な経過で、

$$H \times 14 p \times 168 \times \frac{H}{168} \leq 168 \times 0.05 \times 10^{-2} \times \frac{6}{50}$$

ここで $p = 1/25,000$ とすると

$$H \leq 4 \text{ 時間 } 15 \text{ 分}$$

0.05%/2500 km の信頼度を確保するという条件に立つなら、毎週、4 時間 15 分以上の TV プログラム伝送が発生した時点で、さらにもう 1 波、増設すべきであろう。

(2) - 2 局内構成

各種マイクロウェーブ中継所の局内構成を以下に示す。

(2) - 2 - 1 端 局

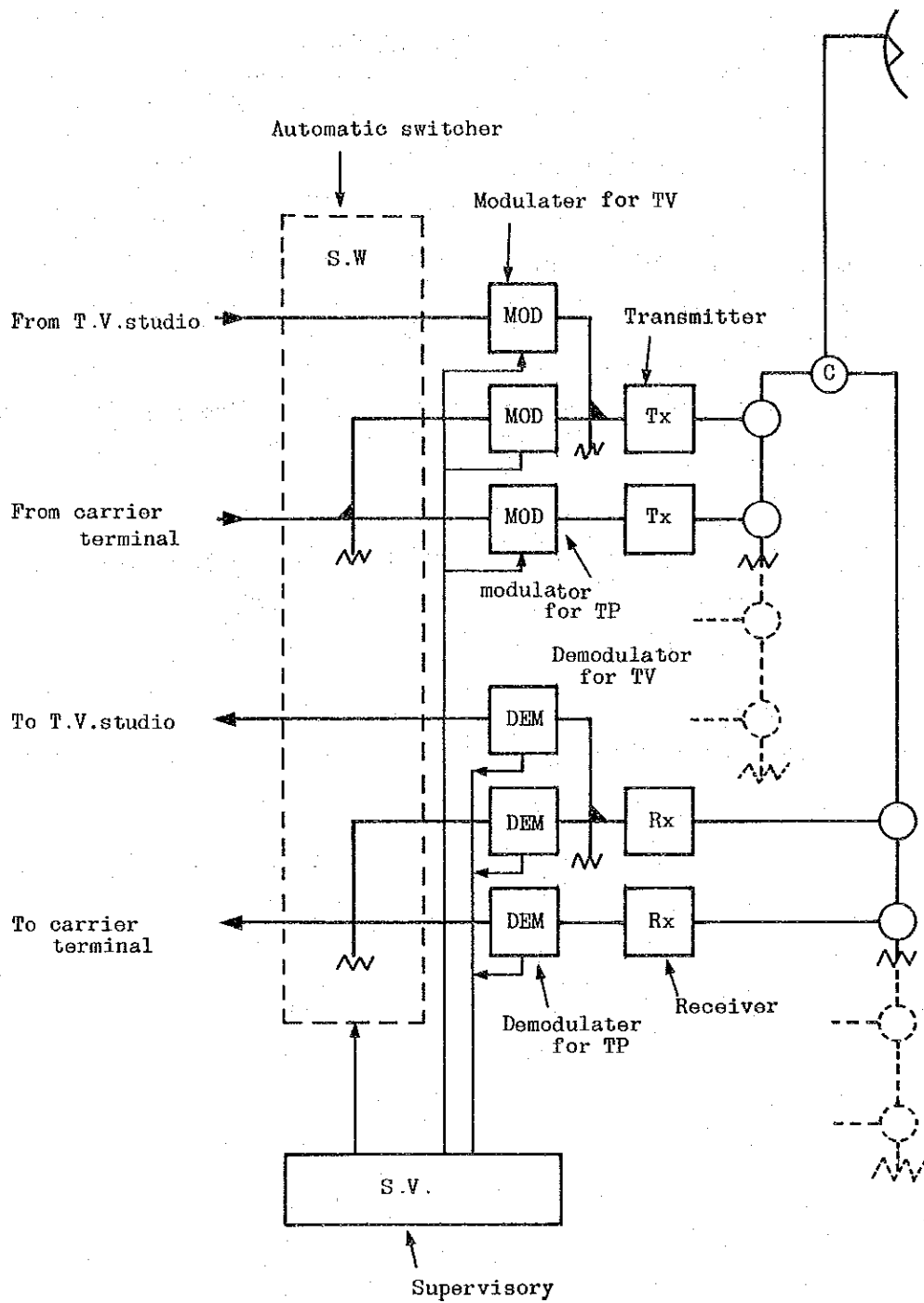
切替局の場合の局内構成を図Ⅷ - 2 - 2 - 19 に示す。

この構成の適用中継所は、Laoag, Vigan, Bayombong, Ilagan, Tuguegarao である。ただし、Vigan, Bayombong, Ilagan は、両方向に回線がのびるので、実際は、これと同様の構成がさらに 1 セット必要となる。

また注意すべきこととして、予備回線は、電話信号と TV 信号の二種の信号が伝送されるので、それぞれのケースに応じて、使いわけるよう、電話用の変調機または復調機、TV 用の変調機または復調機を備えている。

予備回線に、電話信号用と TV 信号用との二種の変調装置、および復調装置をおく理由は、中間周波数の自動周波数制御の方法、直流成分の再生の要否、エンファシス回路の相異により、電話用と TV 用と、まったく独立の変調あるいは復調の装置が必要となる。この相異を表にまとめたものが、表Ⅷ - 2 - 2 - 3 である。

制御信号は、現用回線の下部帯域に挿入する。



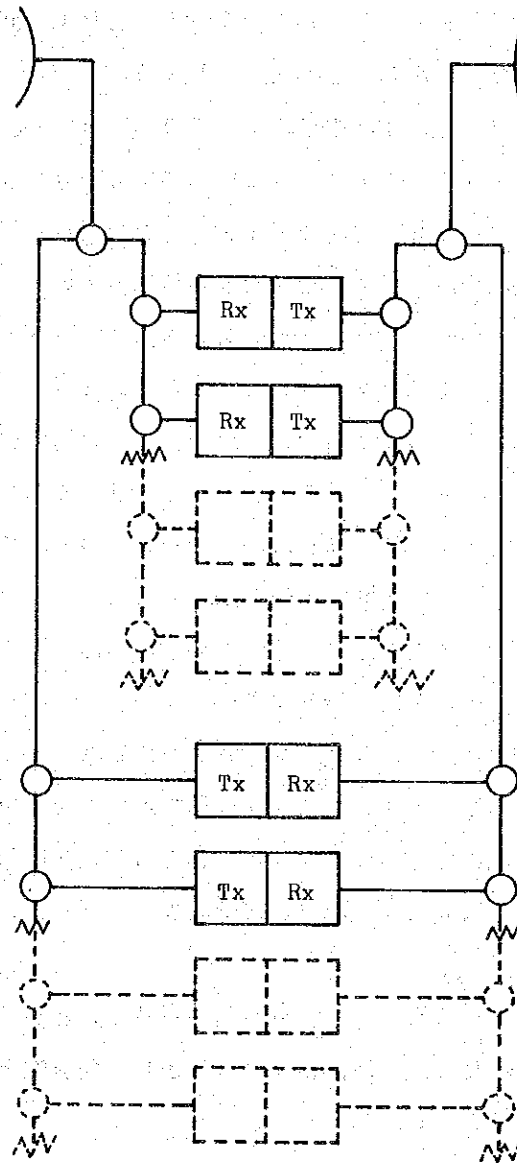
図Ⅷ-2-2-19 マイクロウェーブ中継所の端局構成

表Ⅷ-2-2-3 TV用および電話用変復調装置

	T V 用	電 話 用
エンファンス 回 路	微分利得、微分位相特性改善のためのエンファシスであり、その結果低周波分の垂直、水平同期信号成分が抑圧されて伝送される	三角熱雑音を改善するためのエンファシスで、これにより多重電話信号の高周波分がエンファシスされる
A F C	中間周波数がTVビデオ信号のピークレベルで制御される	中間周波数が多重電話信号の平均レベルで制御される
ク ラ ン パ	TV信号の直流成分は重要である。そのため直流成分の伝送が必要である。クランパはDC成分が失われないようにするためである。	電話信号に対して直流成分は必要ないのでクランパ不要である。

(2) - 2 - 2 中間中継所

図Ⅷ-2-2-20は単純中間中継所の局内構成である。この図では、特に示さないが、打ち合せ回線用変復調装置、監視信号挿入装置が、さらに加わる。Guinguinabang, Sto. Tomas, Balungao, Kitakitaの4局が、この局内構成をとる。



図Ⅷ-2-2-20 マイクロウェーブ中継所の中間中継所構成

(2) - 2 - 3 分断中間中継所

電信、あるいはTV信号は、原則として切替局において、マイクロ回線へ出し入れするのであるが、途中の中間中継所の近くで、電話の回線需要がある場合、多重電話信号の一部分を、最寄りの中間中継所でとり出すことができる。

この場合、とり出される、あるいは、挿入される電話信号は、60チャンネルを、単位としてなされる。つまり、たった1回線でも、また60回線でも同様、60回線分の信号帯域をとりだし、あるいは挿入してしまう。

さらに注意すべきは、ある中間中継所で、60回線分(1SG)の出し入れ、(以後分断という)をおこなうと、それより下位の局では、分断された部分の周波数スペクトラムは使えない。つまりある局で、1SG分を分断した場合、依然として、下位の局へは、そのSG部分について分断した信号が残っているのである。つまり、あるSG部分を分断するということは、その部分のスペクトラムをとり出すのではなく、その部分のスペクトラムをリークさせるという考えになる。

すでに述べたように、たとえ1回線でも分断すると、切替局～切替局間で、回線容量をみると、1SG分(60チャンネル)すくなくなってしまう。

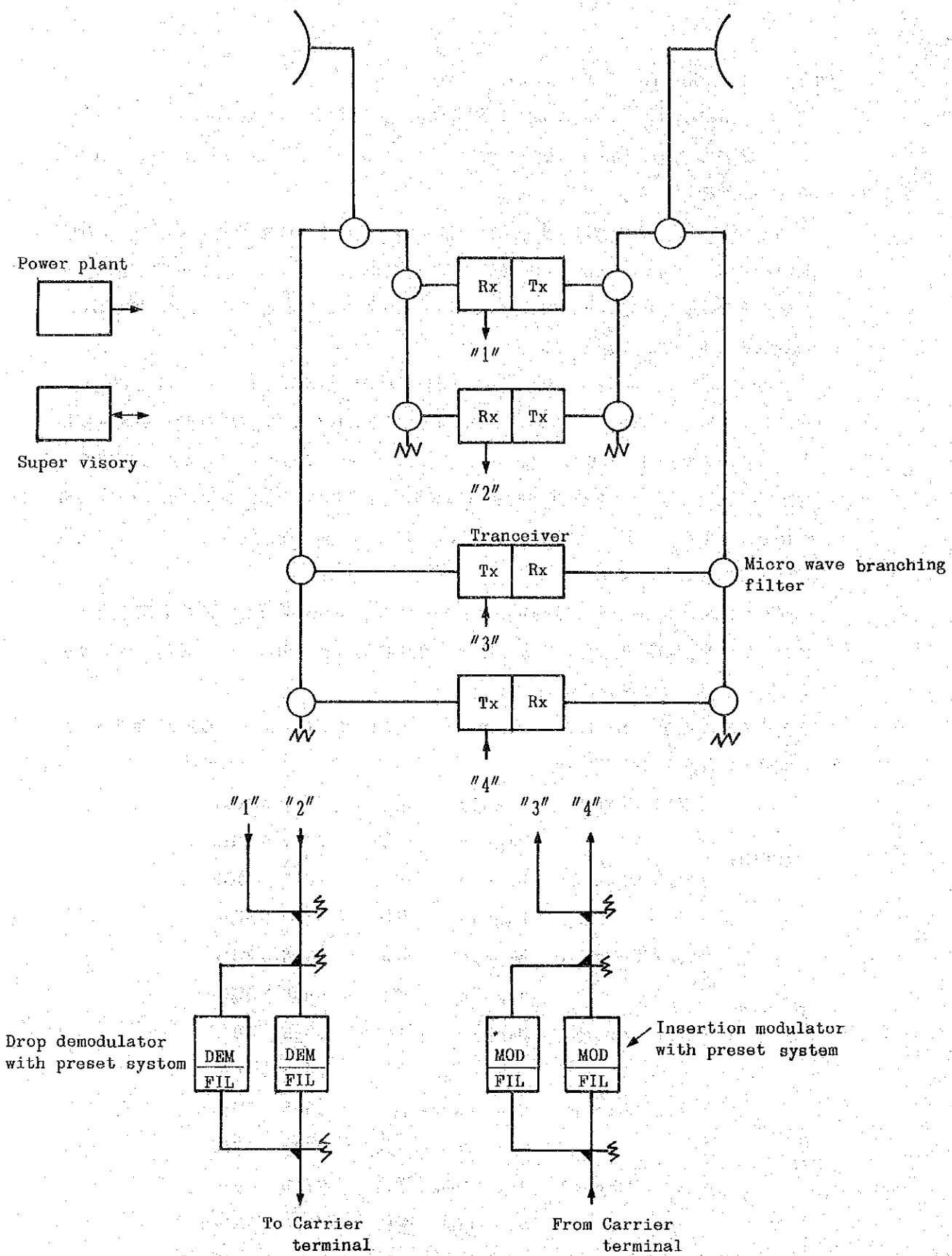
分断の需要があるときは、その回線数の状況をよくつかんでおかないと、マイクロ回線本来の切替局相互間の伝送路の確保が困難になる。

さらにもう一点注意する点として、分断という行為は、60回線単位でやりとげるので、分断後は、通常の搬送端局装置が必要となる。また分断するSGは、どのSGでもよい、というわけにはゆかない。フィルターの価格の点から、第1SG、または第16SGが有利である。第1SGは、回線品質が最もよい位置に属しているので、それを分断回線にわりあてるのは、なんとも、もったいない話である。分断回線は、PC局以下の楷梯の回線に属するので、基幹回線のようによい品質の必要性は、まったくない。

このように分断は、経済的に、ローカル回線を敷くことができるが、設計技術の面からは、あまりすぐれた方法とは言えない。しかし、経済性を重視するシステムでは、どうしても分断中継所がふえてしまう。

今回のプロジェクトにしても、13局の中間中継所のうち、実に9局は分断中継所になっている。(表Ⅷ-2-2-2参照) 分断中間中継所の局内構成を、図Ⅷ-2-2-2-21に示す。

なお、分断できる最大容量としては、1切替局間当り、原則として2SG(120ch)までとする。技術的にいかようにも分断できるのであるが、分断するためのフィルターの経済性、またマイクロ回線のシステム構成としての合理性を考慮して2SG最大とする。



図Ⅷ-2-2-21 マイクロウェーブ中継所の分断中継所構成

(2)-2-4 Baguio ~ Sto. Tomas の問題

次に、Baguio ~ Sto. Tomas 間の問題について触れなければならない。

この区間は、Region I 方面へ行くマイクロウェーブ回線と、Region II 方面へのそれとが並行して走るところである。

Region I および Region II 各方面へは、各々 2 無線周波をわりあてるので、Baguio ~ Sto. Tomas 間は当初 4 無線周波を使用することになる。3 現用無線周波 + 1 予備無線周波を Region I および Region II へわりあてるとすると、この区間は、最終的には 8 無線周波必要となる。

Sto. Tomas ~ Baguio 間は、6GHz 帯 ~ 7GHz 帯の周波は、PLDT (Philippines Long Distance Telephone) と BUTEL および PC/DND が現在使用中であるが、幸い PLDT は CCIR の勧告第 384-2 号に述べてある周波数帯は用いていないが、PC/DND は 6660/6740 および 7000/7080 を使用している。今後 Region I および II の地域では、BUTEL による、使用周波数帯として、この帯域をわりあてることが望ましい。

特に、Sto. Tomas ~ Baguio 間は、本プロジェクトによれば、最終的には 8 無線周波、プロジェクト開始当初においても 4 無線周波必要であり、BOC による周波数わりあてを早くすることが肝要である。

参考までに既設の BUTEL、PLDT および PC/DND の 6 ~ 7 GHz 帯使用周波数を列記すると次のようになる。

BUTEL	No. 1 Channel	Baguio	送信	7137.5 MHz
		Baguio	受信	7452.5 MHz
	No. 2 Channel	Baguio	送信	7377.5 MHz
		Baguio	受信	7692.5 MHz
PLDT	No. 1 Channel	Baguio	送信	6278.8 MHz
		Baguio	受信	6026.7 MHz
	No. 2 Channel	Baguio	送信	6338.1 MHz
		Baguio	受信	6086.0 MHz
PC/DND	No. 1 Channel	Sto. Tomas	送信	6660 MHz
		Sto. Tomas	受信	7000 MHz
	No. 2 Channel	Sto. Tomas	送信	6740 MHz
		Sto. Tomas	受信	7080 MHz

CCIR、勧告第 384-2 号による帯域は、6430 MHz ~ 7110 MHz である。

このように現在、Baguio 地域では、勧告第 384-1 号による周波数帯域は PC/

DNDの使用周波数をかわせれば使うことができるので、既述の如く、BOCによる正式のわりあてを早くする必要がある。

Baguio ~ Sto. Tomas 間の電波伝搬路については、Region I 方向のマイクロウェーブ回線と、Region II 方向のそれとが、共通使用することになる。この場合、予備伝送路をこの区間だけ共用することも考えられるが、その得失を考えると、まず有利な点は、

(ア) Baguio ~ Sto. Tomas 間に使用する周波が、1波すくなくてすむこと。これは、無線周波の節約になる。

(イ) したがって、予備システムが、1システムだけ節約され、送受信装置が1対向節約されることになる。

一方、不利な点は、

(ウ) この区間の予備回線は、Bayombong までのマイクロ回線と、Vigan までのマイクロ回線とで、共用するために、Baguio ~ Bayombong 間が予備回線に切替っていると、Baguio ~ Vigan 間は、予備回線へ自動切替することができなくなる。この逆のケースも同様である。

たとえば、Baguio ~ Bayombong 間のいずれかの中継所が故障になったとすると、マイクロ回線の機能上、この区間は、予備回線へ自動切替され、回線としては、まったく支障なく運用される。しかし、もしこの間に、さらに、Baguio ~ Vigan 間のいずれかの中継所が故障となった場合、Baguio ~ Sto. Tomas 間ですでに予備伝送路が占有されているため、結果として、Baguio ~ Vigan 間は、切替不能になる。つまり、これは、伝送路中断となる。

このような事象の生起する確率は、両区間が同時に、あるいは、他方の区間が修復前に、もう一方の区間が障害となる場合で、このようなケースがどのくらいあるか、試算してみると、次のようになる。

① マイクロウェーブ装置1台当りのMTBF (Mean Time Between Failure) を25,000時間とする。

② 装置台数は、中間中継所 3台 (送信機1台+受信機1台+その他1台)
端局 4台 (変調、あるいは復調機1台+送信、あるいは受信機1台+その他2台)

③ 1区間は、端局 2局
中間中継所 5局

よりなる。(Baguio ~ Bayombong 区間に相当)

以上の条件のもとで、

1ヶ月当りの故障件数は

$$\frac{1}{25,000} \times 720 \text{ 時間} = 0.036 \text{ 件/月}$$

1区間の装置数は

$$2 \text{ 局} \times 4 \text{ 台} + 5 \text{ 局} \times 3 \text{ 台} = 23 \text{ 台/区間}$$

1ヶ月当りの1区間の故障回数

$$0.036 \text{ 件/月} \times 23 \text{ 台} = 0.83 \text{ 件/区間・月}$$

この分については、自動切替されて予備回線を用い、回線の運用には支障ない。

しかし、修理作業は必要であり、その修理時間は、平均的に言って、端局1時間半、中間中継所3時間（修理に1時間半、かけつけに1時間半）とすると、

$$\frac{1.5 \text{ 時間} \times 8 \text{ 台} + 3 \text{ 時間} \times 15 \text{ 台}}{23 \text{ 台}} = 2.5 \text{ 時間/台}$$

したがって、1ヶ月当り、故障による予備伝送路の占有時間は、

$$2.5 \text{ 時間/台} \times 0.83 \text{ 件/月} = 2.1 \text{ 時間/月}$$

となる。

運悪く、この時間帯に、他の区間が、障害となると、Baguio～Sto. Tomas間予備回線共通方式の場合は、後発障害発生区間を有する伝送路は、伝送路中断となってしまう。この確率を求めることが、ここでの目的である。

まず、1ヶ月の故障件数は、すでに求めたように、

$$0.83 \text{ 件/月}$$

で、これは、毎月どの日に生起するか、まったくわからない。つまり、長期的にみると、毎月、1日から3.0日にわたって、まんべんなく、発生しているとみなせる。

したがって、この1.785件のうち、先発障害のために、修理作業をしている時間帯、つまり、1ヶ月のうちの4時間半の中で、運悪く、1.785件のうちの1件が発生してしまう、確率を求めればよい。これは

$$0.83 \text{ 件/月} \times \frac{2.5 \text{ 時間}}{720 \text{ 時間}} = 2.9 \times 10^{-3} \text{ 件/月}$$

我々の常識からみて、これはかなりレアケースに属する事象であるので、同時障害による中断障害の危険性は、あまり考えなくてよいであろう。

- (イ) 次に不利になる点は、Baguio～Sto. Tomas間の予備伝送路を共用するため、Sto. Tomas中継所の制御装置が、きわめて複雑になること。
- (ロ) したがって、Baguio, Bayombong, Viganの回線統制業務が、ある場合には、きわめて繁雑になる。

(e) そして、その分、制御装置系のコストアップにもつながる。

(f) また、保守業務の遂行に関して(たとえば、点検、整備等の作業)、他区間の作業状態の影響を受けやすいので、作業計画がたてにくいという難点もある。たとえば、Bayombong で整備作業のため、予備回線を使用中であると、Viganで、予備回線へ切り替えて行なうような整備作業が、できないということである。

以上述べたように、項目的には不利となるケースが、かなり多く、ことに、不利となるケースのうち、(f)、(g)、(h)に関する不都合さは、日本のマイクロウェーブ運用に関する20数年の経験から言うと、かなり大きなデメリットになる。

したがって、周波数配置上余裕があり、さらに無線機1対向分の予算が許されるならば、回線制御系統は、できるかぎり簡素な方がよく、結論としては、Baguio ~ Bayombong 間と、Baguio ~ Vigan 間のマイクロ伝送路は、まったく独立な回線系統とすることが、得策と考えられる。

(3) 所要回線数

基幹ルートとしてのマイクロウェーブ回線に課せられる所要回線数は、図Ⅷ-2-2-22に示すとおりである。

各切替局間の所要回線数は、カッコでくくってある。最大回線容量としては、終局1997年までの所要回線数を、にらんで決めることとする。

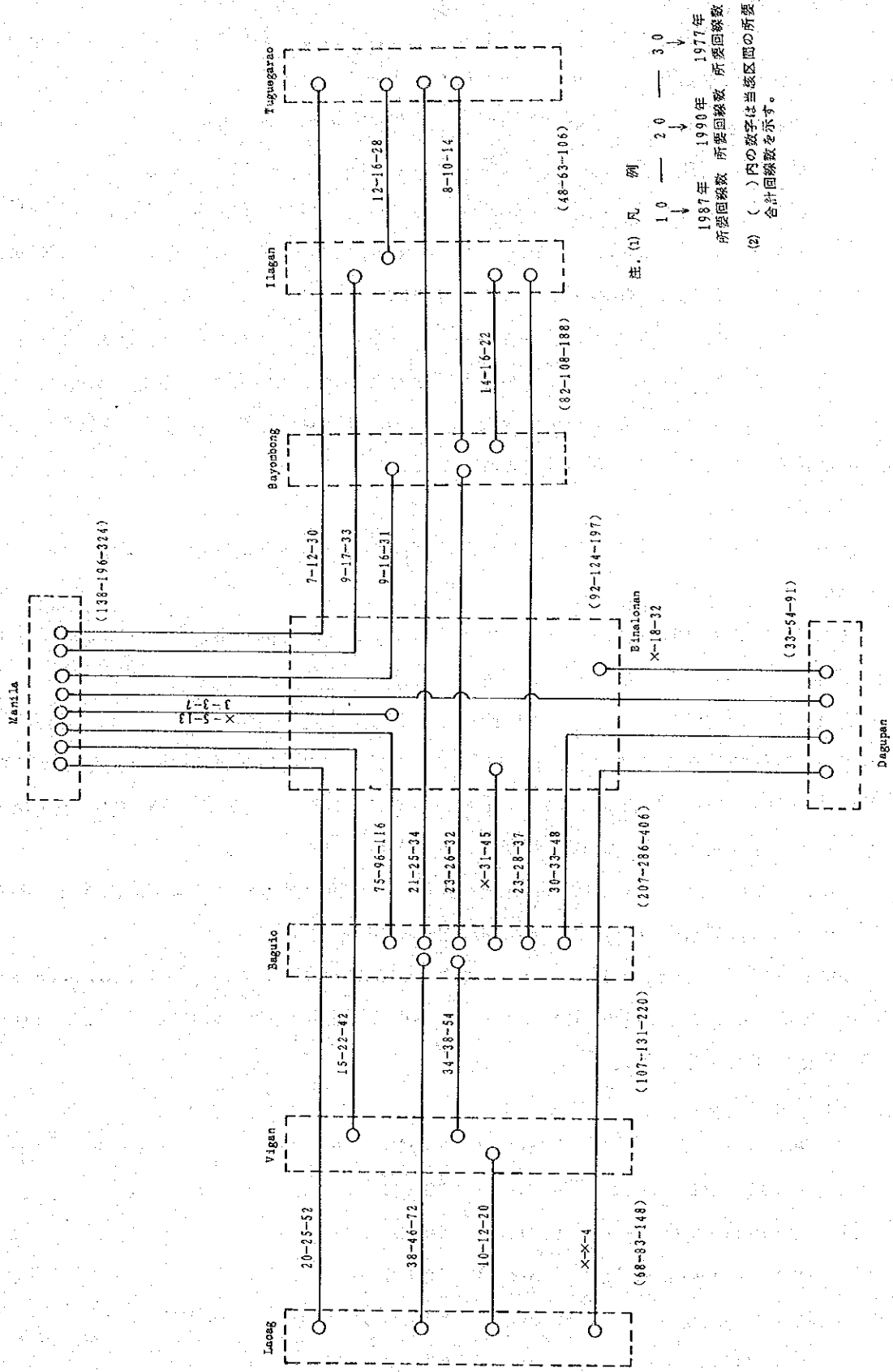
実際に無線伝送路に課せられる所要回線数は、搬送多重端局装置における、電話通話路のグループ構成によって決定され、この図Ⅷ-2-2-22に示す切替局間所要回線数より若干増加することになる。しかし、いずれにしろ、16 SG、960 CH の1無線チャンネル当り最大容量があれば十分であることがわかる。

なお、分断は原則として1切替局間最大2 SG、120 CH分の分断まで計画することとし、それ以上の分断については、別途回線を作成することとする。

したがって、Baguio ~ Binalonan 間は、ほぼ2 SGに近い通話路数を、Binalonan におとすことになり、さらにSta. Feにて1 SG分計画されているので、別途2 GHz方式で、回線を作成することとする。

分断については、

Sinait にて	2 SG (120 CH)
Bigbiga にて	1 SG (60 CH)
Tagudin にて	1 SG (60 CH)
Dalton Pass にて	1 SG (60 CH)
Diadi にて	1 SG (60 CH)
San Mateo にて	5 SG (300 CH)



注 (1) 凡 例
 1 0 — 2 0 — 3 0
 ↓ ↓ ↓
 1987年 1990年 1977年
 所要回線数 所要回線数 所要回線数

(2) ()内の数字は当該区間の所要
 合計回線数を示す。

図Ⅷ-2-2-2-2 PC相互間の所要電話回線数

Binalonan, Tarlac, Dau, Pandi 各 1 SG (60 CH)

を計画することとし。したがって、下に示す各切替局間のルートは、基幹回線 (3 pw/km) としての最大伝送容量は、下に示すように、16 SG より低くなる。

Laoag ~ Vigan	14 SG
Vigan ~ Baguio	14 SG
Baguio ~ Binalonan	16 SG
Binalonan ~ Bayombong	15 SG
Ilagan ~ Bayombong	10 SG
Ilagan ~ Tuguegarao	16 SG
Binalonan ~ Manila	11 SG

結論として、1997年までの所要回線数をみても、分断による若干の回線をさかれて、なお且つ、基幹回線としては 6 GHz、960 CH 方式の採用で十分であることがわかる。

(4) 平均回線雑音の配分

マイクロウェーブ回線の雑音配分については、概に CCIR で勧告しており、CCIR 勧告第 392 号による 2500 km 標準擬似回線において、その平均雑音は、いかなる時間帯においても 7500 pW (評価値) が、わりあてられる、としている。この値は無評価値に換算すると、13350 pW になる。

さらに現実の回線へのわりあてのし方については、やはり CCIR の勧告があり、それによると、Laoag ~ Baguio、Tuguegarao ~ Baguio および Binalonan ~ Manila の場合は、

$$(3L + 200) \text{ pW}$$

L : 無線区間延距離 (km) ただし、評価値

の式を適用することにする。なお、このプロジェクトでは、マイクロウェーブ回線の単位として、

Laoag ~ Baguio

Tuguegarao ~ Baguio

Binalonan ~ Manila

とし、各々 2 ビデオセクション、3 ビデオセクションおよび 1 ビデオセクションより成るとする。なお詳細は、表Ⅷ-2-2-4 を参照されたい。

以上のようなルールにしたがうと、

Laoag ~ Baguio へは

$$(3 \times 229.9 \text{ pW} + 200 \text{ pW}) \times 1.78 \text{ 倍} = 1583 \text{ pW}$$

↑
無評価雑音への換算係数

Tuguegarao ~ Baguio へは

$$(3 \times 351.6 \text{ pW} + 200 \text{ pW}) \times 1.78 \text{ 倍} = 2233 \text{ pW}$$

Binalonan ~ Manila へは

$$(3 \times 183.2 + 200) \text{ pW} \times 1.78 = 1334 \text{ pW}$$

各々の区間へわりあてられた、これだけの量の平均雑音は、通常、ほぼ3等分して、

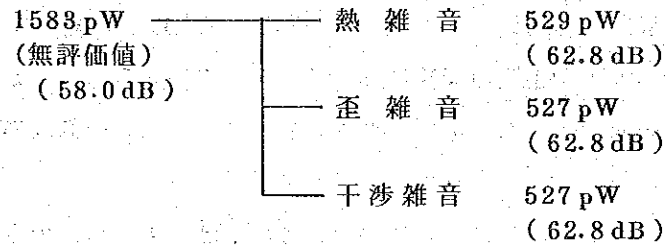
熱雑音

歪雑音

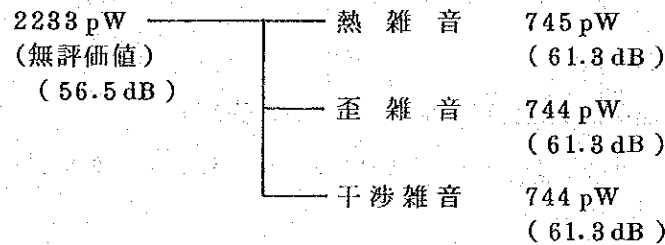
干渉雑音

へわりあてるのが経済的、合理的な設計とされている。

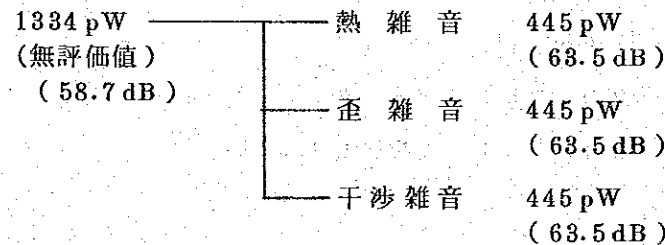
Laoag ~ Baguio



Tuguegarao ~ Baguio



Binalonan ~ Manila



表Ⅷ-2-2-4 マイクロウェーブルート of 切替区間構成

マイクロウェーブルート	Laoag - Baguio	Tuguegarao - Baguio	Binalonan - Manila	備考
各ルート of ビデオ区間	<ul style="list-style-type: none"> o Laoag - Vigan 2 hops 74.6 Km Repeater: Sinit* o Vigan - Baguio 5 hops 155.3 Km Repeater: Bigbiga*, Tagudin*, Guinguinabang St. Tomas 	<ul style="list-style-type: none"> o Tuguegarao - Ilagan 1 hop 56.4 Km o Ilagan - Bayombong 3 hops 107.3 Km Repeater: San Mateo*, Diadi* o Bayombong - Binalonan 4 hops 134.9 Km Repeater: Dalton Pass,*, Kitakita, Balungao o Binalonan - Baguio 2 hops 42 Km Repeater: St. Tomas. 	<ul style="list-style-type: none"> o Binalonan - Manila 5 hops 183.2 Km Repeater: Balungas Tarlai*, Dau*, Pandi* 	*印 of 中継所は分断中中であることを示す。
区間長	229.9 Km	351.6 Km	183.2 Km	
全長	764.7 Km			

熱雑音は、最大伝送容量、送信出力、変調指数、受信機の雑音指数、空中線径、に左右されるものであるが、さらに電波伝搬路のとり方にも、左右される。

歪雑音は、960 ch 程度の場合、ほぼ、導入される装置単体の特性によってきまってしまう。つまり、変復調装置の直線性、中継装置の振巾特性および、遅延特性、が主なものである。

次に干渉雑音は、熱雑音と同様、ある部分はマイクロウェーブ回線を構成する伝送路のうち、装置から発生するが、一方電波伝搬路に基因して生ずる部分もある。前者の場合は、空中線系のエコー現象にもとづく干渉雑音、後者の場合は、他回線からの干渉、隣接チャンネルからの干渉、空中線のフロントバック結合、オーバーリーチ干渉等がある。

本節では、熱雑音のうち、電波伝搬路にもとづくものについて論ずることとする。

平均熱雑音については、すでに論じたように Laoag ~ Baguio 間は 529 pW (62.8 dB)、Tuguegarao ~ Baguio 間は 745 pW (61.3 dB)、Binalonan ~ Manila 間は 445 pW (63.5 dB)、配分している。

図Ⅷ-2-1-1にて決めたルートの場合、これらの値を満足するであろうか、これが本節の主要点である。

まず、これらの各区間に導入が予定される、マイクロウェーブ装置の諸元として、以下の値を用いる。

装置の必要諸元

- 空中線は、直径 3.3 m のパラボラ型とする。ただし開口能率は 50% とする。
- 送信装置の送信電力は、30 dB (1 Watt) とする。
- 受信装置の雑音指数は、7 dB
- 変調装置の変調指数は、200 KHz rms/ch とする。
- 1 電話通話路は、0.3 KHz ~ 3.4 KHz の帯域とする。
- 給電線系の長さは、送信側 + 受信側あわせて、1 対向 60 m/hop とし、0.06 dB/m の損失を与える。
- 給電線以外の損失は、1 対向 5 dB とする。

まず、各マイクロウェーブ区間の自由空間伝搬損失 (Γ_0) を求める。これは次の式より、数値計算する。

$$\Gamma_0 = \left(\frac{4\pi\ell}{\lambda} \right)^2$$

ℓ : 伝搬距離
 λ : 波長

$$= 109.05 + 20 \log \ell \text{ (dB)}$$

ただし、6770 MHz とし ℓ は (km) とする。

次に、このようにして得られた、自由空間損失より、受信装置入力端子における、マイクロ波受信入力レベルを求める。それは次式より、算出する。

$$P_r = P_t + G_t - \Gamma_0 + G_r - L_{ant} \quad (\text{dB})$$

P_r : 受信入力レベル

P_t : 送信出力

G_t : 送信空中線利得

Γ_0 : 自由空間損失

G_r : 受信空中線利得

L_{ant} : 給電系の損失

このようにして、受信入力レベルが算出すると、周波数変調一周波数分割多重電話信号の、マイクロウェーブ伝送路の熱雑音にもとづく S/N が次式によって算出される。

$$S/N = 10 \log \frac{P_r}{KT\Delta fF} \left(\frac{S_0}{f_m}\right)^2 \quad (\text{dB})$$

P_r : 受信入力レベル [Watt]

K : ボルツマン定数 1.38×10^{-23} [Joul/°K]

T : 受信装置の環境温度 300° [°K]

Δf : 1電話通話路の帯域巾 3.1 [KHz]

F : 受信装置の雑音指数 7 [dB]

S_0 : 1電話通話路当りの変調指数 200 [KHz rms/CH]

f_m : 最高変調周波数 960CH方式の場合 4.1MHz

すでに触れたように、これら各変数のうち、 P_r 以外は、すべて装置単体の仕様書で、規定される。したがって仕様書作成にあたっては、この値を確保するよう、十分留意することが大切である。

以上述べた経過にしたがって、各区間の熱雑音による S/N を計算した結果を表Ⅷ-2-2-5に示す。これを Laoag ~ Baguio, Tuguegaras ~ Baguio, Binalonan ~ Manila の区間について、サムアップした結果についても、同表に示してある。

この場合、CCIR勧告第 275-2号 によるエンファシス回路を用いることにより、熱雑音は、4dB 改善される。しかし、後述するいっせいフェージングに対する マージン 4dB をみてきめねばならない。

また、Laoag ~ Baguio 間は、2ビデオセクション、Tuguegarao ~ Baguio は、4ビデオセクション、Binalonan ~ Manila は 1ビデオセクションである。復調装置の雑音を 20 pW/台とみて、Laoag ~ Baguio 間は 40 pW、Tuguegarao ~ Baguio 間は 80 pW、Binalonan ~ Manila 間は 20 pW をわりあてると、各々次のようになる。

表Ⅷ-2-2-5 各無線区間の熱雑音の計算結果

無線区間	自由空間 損失	受信入力 電界	熱雑音に よるS/N	区間距離
Laoag-Sinait	140.6	-30.6	75.5	38.0
Sinait-Vigan	140.3	-29.9	76.2	36.6
Vigan-Bigbiga	138.5	-28.1	78.0	29.6
Bigbiga-Tagudin	141.9	-31.5	74.6	44.1
Tagudin-Guinguinabang	137.0	-26.6	79.5	25.0
Guinguinabang-Sto. Tomas	142.3	-31.9	74.2	46.0
Sto. Tomas-Baguio	129.2	-19.2	80.9	10.6
Laoag-Baguio			68.2dB (151pW)	229.9km
Tuguegarao-Ilagan	144.1	-33.7	72.4	56.4
Ilagan-San Mateo	141.3	-30.9	75.2	40.8
San Mateo-Diadi	141.2	-30.8	75.3	40.3
Diadi-Bayombong	137.4	-27.0	79.1	26.2
Bayombong-Dalton Pass	142.1	-31.7	74.4	44.7
Dalton Pass-Kitakita	140.8	-30.4	75.7	38.6
Kitakita-Balungao	140.8	-30.4	75.7	38.9
Balungao-Binalonan	136.5	-20.1	80.0	23.7
Binalonan-Sto. Tomas	139.0	-28.6	77.5	31.4
Sto. Tomas-Baguio	129.6	-19.2	86.9	10.6
Tuguegarao-Baguio			66.1 (245pW)	351.6
Binalonan-Balungao	136.5	-26.1	80.0	23.7
Balungao-Tarlac	141.8	-31.4	74.7	43.5
Tarlac-Dau	140.6	-30.2	75.9	38.0
Dau-Pandi	142.1	-31.7	74.4	45.0
Pandi-Manila	139.4	-29.0	77.1	33.0
Binalonan-Manila			69.0 (126pW)	183.2

Laoag - Baguio	68.2 dB + 40 pW = 67.2 dB
Tuguegarao - Baguio	66.1 dB + 80 pW = 64.9 dB
Binalonan - Manila	69.0 dB + 20 pW = 68.4 dB

これをわりあてられた雑音値と対比して示したものが、表Ⅷ-2-2-6である。何れの区間も4~5dBのマージンをもって十分、目標値を満足する。

表Ⅷ-2-2-6 各ルートの熱雑音によるS/N

マイクロウェーブルート	S/N 値	
	計算値	規格値
Laoag-Baguio	67.2dB	62,8dB
Tuguegarao-Baguio	64.9dB	61.3dB
Binalonan-Manila	68.4dB	63.5dB

ここで、エンファシスによる改善量を4dBみこんだが、通常、周波数変調方式では、変調区間の周波数成分が、復調後の振巾成分に相当する。したがって、周波数変調区間で、平坦な雑音を、信号成分が、かぶったとき（実は熱雑音が、これに相当する）、より高いスペクトルの成分の方が、復調後は高い電力成分として現われる。つまり、周波数の自乗に比例した復調成分が、雑音として現われる。多重電話信号の場合、高いスペクトラムに位置する電話チャンネルは、この復調後の雑音にまけないよう、始めから強めておこう、というのがエンファシス回路の目的である。後述するテレビジョン信号の場合のエンファシスと、目的は大きく異なるので、注意が必要である。

次に、いっせいフェージングに対するマージン4dBについて若干触れておく。

マイクロ回線の受信入力は、種々の原因で変動を併う。6GHz帯程度の周波数では、フェージングによる減衰がまずあげられる。受信入力の低下は、復調機出力端でのS/N比とはほぼ比例するので、受信入力電界の変動は、熱雑音電力の増加を併う。

まず、CCIRで勧告する、2500kmの標準擬似回線（勧告第392号）で、いったい何区間くらいがフェージングに見まわれるのであろうか、この点について評価する。

ある区間が、深いフェージング（平均受信入力電界が、約10dB程度以上低下するような）にみまわれる確率は、マイクロウェーブ回線の場合、実験的に

$$P = \left(\frac{f}{4}\right)^{1.2} \times Q \times \ell^{2.5}$$

f：送信周波数〔GHz〕

Q：伝搬路によってきまる定数

山岳地帯では 2.1×10^{-9}

平野地帯では 5.1×10^{-9}

ℓ : 伝搬距離 (km)

とされている。次に全 Z 中継区間のうち同時に、 k 区間だけ深いフェージングが発生する確率は、二項分布で表わされ

$$P_k = \frac{Z!}{k!(Z-k)!} P^k (1-P)^{Z-k}$$

となる。ここで、一つの典型例として、伝搬距離、(ℓ)、が 50km のときの 6.77GHz 平野伝搬を仮定して、まず、 P を計算すると、

$$\begin{aligned} P &= \left(\frac{6.77}{4}\right)^{1.2} \times 5.1 \times 10^{-9} \times 50^{3.5} \\ &= 1.88 \times 5.1 \times 10^{-9} \times 8.84 \times 10^5 \\ &= 8.48 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

となる。 $k = 1 \sim 5$ のとき、 P_k の値を計算してみると、下表のようになる。

k	0	1	2	3	4	5
P_k [%]	65.3%	27.9	5.85	0.801	0.081	0.0063

つまり、全時間の 36% くらいは、常にどこかの区間 (50 中継のうち) でフェージングが発生しているが、同時に 5 区間以上、同時にフェージングが発生する確率は、0.01% 程度である、と言えそうである。したがって、最悪、4 区間で、フェージングが同時発生することを想定して、そのときの熱雑音の増加分をしらべてみよう。

単純化するために、今、50 中継全部が、同一の熱雑音量として、フェージングが、1 区間も発生しない時の 50 中継の合計の熱雑音を、

50 N

とする。

次に、4 区間だけ深いフェージングが発生し、残りの 46 区間は、深いフェージング発生がないと仮定する。しかし、この 46 区間という数字は、かなり多い区間数である。つまり、この 46 区間がまったく、同時にすべて正常ということは、ちょっと考えられない。たとえば、浅いフェージング (これは平均受信入力約 10 dB 以上落ちこむ深いフェージングとは、まったく発生機構を異にする、異種のフェージングであるが) が発生したり、また機器のレベル変動等の原因で、若干の受信入力に変化すると考えられる。事実、経験的に、安全サイドをとって、まったく平常時の雑音量の 1.4 倍を、46 区間については、

考慮するのが、常である。

そうすると、4区間が深いフェージングにみまわれたときの、50中継全区間の雑音量は、

$$\begin{aligned} & (1.4 \times 46 \text{区間} + 10 \times 4 \text{区間}) N \\ & = 104.4 N \end{aligned}$$

先に求めたまったく、50中継全部が、平常のときの雑音量との比をとると、その増加量がわかる。

$$10 \log \frac{104.4 N}{50 N} = 3.2 \text{ [dB]}$$

このことは、0.01%程度の危険率、もしくは、すくなくとも99.9%程度の時間帯は、たとえフェージングが発生しても、その平均雑音の増加量は、高々3.2 dB程度である、ということである。これは、各区間いっせいにフェージングが発生し、3.2 dBだけ、平均雑音が劣化したことと等化である。

したがって、Laoag ~ Baguio間、Baguio ~ Tuguegarao間および Binalonan ~ Manila間の各区間は、4dBのフェージングマージンを与えることにする。

なお、カラーTV信号の伝送という面から検討した、熱雑音の問題等については、(7)で述べる。

(5) 周波数配置と干渉雑音

(5)-1 一般的な問題

図Ⅷ-2-2-1で示すマイクロルートに対して、いかなる周波数帯を用いるかが大きな問題である。CCIRでは、2GHz~11GHzにわたって、各々の周波数帯の中でその周波数配置を勧告している。本プロジェクトの使用周波数帯は、6GHz upper band (CCIR勧告第384-2号)を適用することとする。

Baguio ~ Manila区間の取替工程について、現在7GHzを用いているところであるが、CCIRの勧告によれば、7GHz帯は1無線周波あたりの最大伝送容量は300 CHとなっており、この容量では将来の需要増大を考慮するとかなり、不足する。

したがって、使用周波数に関しては、Baguio ~ Manilaの区間は(実際は Binalonan ~ Manilaとなる)6GHz upper bandへ周波数変更する計画を提案する。

このようにすれば周波数的にも、Region 1マイクロルート、Region 2マイクロルート、そして Binalonan ~ Manila ルート、3ルートとも同一の周波数帯を用いることになり、保守の面で、きわめて有利になる。

この場合、そのわりあてられる帯域は、6430 MHz ~ 7110 MHzであるが、計画ルート上に、既設ルートで、またはDOMSATでこの周波数を使っている局所があるのかの

検討が必要である。

即ち、第一の検討項目は Sto. Tomas ~ Manila 間の PC/DND は現在 6 GHz upper band を使っていること、次に第二の検討項目は、現在 DOMSAT で地上マイクロ用として 6680 ~ 6706 MHz、6980 ~ 7013 MHz の帯域を使用する申請を BOC へ提出中であること。したがって、DOMSAT の地上局がおかれるところはこれをさけることが得策と考えられること、そして最後は Manila 市内の周波数使用状況を十分注意することである。

まづ、Sto. Tomas のマイクロウェーブの使用状況について述べる。

Sto. Tomas には、現在、6 GHz 帯では BUTEL と P.L.D.T. そして PC/DND が使用しており、詳細の周波数については、(2)-2-4 で述べた。6 GHz Lower band が PLDT、7 GHz band が BUTEL で使用しており、幸い、6 GHz upper band はまだ、PC/DND 以外はどこも使っていない。まずこの面から、6 GHz upper band の使用は可能と考えられる。

次に、6680 ~ 6706 MHz、6980 ~ 7013 MHz は DOMSAT による使用が予定されており、Laoag, Tuguegarao 地方および Manila ではこれをさけることが必要である。

また、Manila 市内は 6 GHz の帯域はかなり混雑している。特に現在提案中の DOMSAT 地上マイクロ用の 6 GHz は、すでに PC/DND、その他数社のマイクロ回線と競合しており、将来、なんらかの整理が BOC を中心になされるかと思われる。詳細については後述する。

6 GHz upper band が、本プロジェクトにとって有利な点として

- 基幹回線であること。
- 回線需要から導かれる 1 無線周波当りの最大伝送容量は 960 CH であること。
- ほとんどの伝搬路が平野あるいは山岳地域であり、しかも伝搬距離は 50 km/hop 以下の区間が大部分である。
- ほとんどの区間で反射波が切れる。
- 将来のカラー TV 信号の伝送も予定されている。

等を考えあわせ、6 GHz upper band を使うこととした。

(5)-2 チャンネルわりあて

図Ⅷ-2-2-23 に示す、各無線チャンネルを、各無線区間にわりあてる。この場合、既述の如く種々の制約がある。

まず第一に考えられることは、DOMSAT のマイクロにわりあてられている 6 GHz 帯 (6680 ~ 6706 MHz の送信群、6980 ~ 7013 MHz の受信群) を Laoag, Sinit,

Tuguegarao, Manila の各地域ではさげなければならない。

第二に、Sto. Tomas ~ Manila 間では、すでに下記に示す各機関が 6GHz 帯を用いたマイクロ回線を使っている。つまり、

PC/DND

US Navy

PLDT

Radio Philippine Network

ABS - CBN

MBC

Inter Island Broadcasting Corp.

Kanlaon

NMPC

である。したがって、この周波数群はさげなければならない。この区間の使用状況を図 VIII-2-2-24(a) および図 VIII-2-2-24(b) に示す。

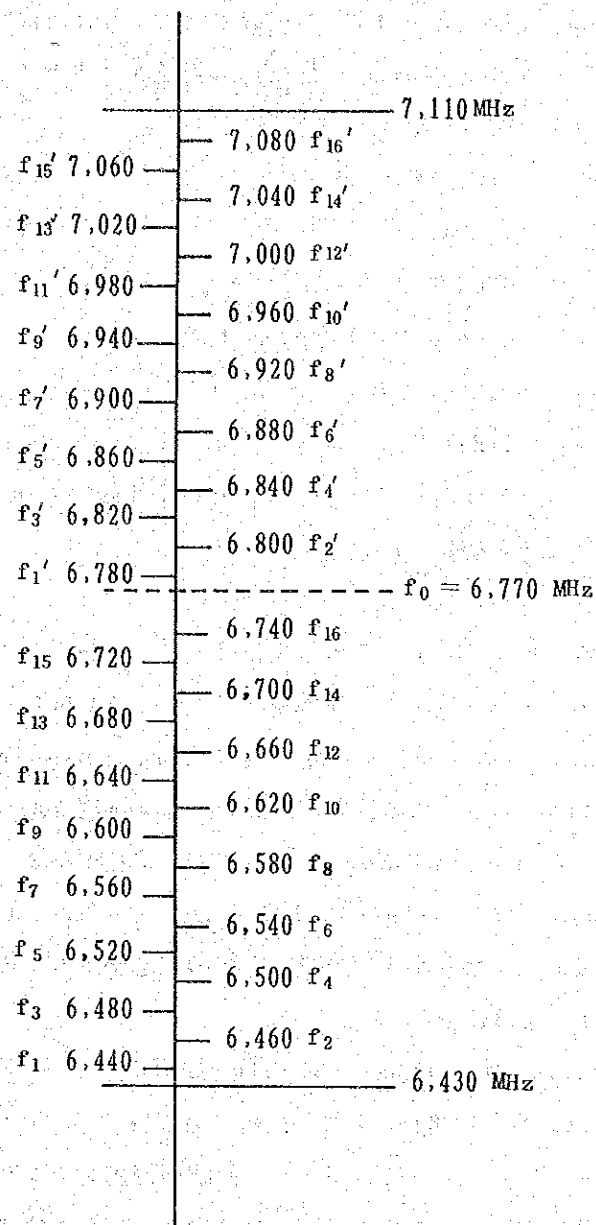
第三に、Guinguinabang-Sto. Tomas-Baguio および、Balungao-Kitakita-Dalton Pass の各区間相互間の干渉の検討が必要である。つまり、Sto. Tomas における Guinguinabang および Baguio 方向によってはさまれる角度、そして Kitakita における Balungao および Dalton Pass の各方向によってはさまれる角度が 90° 以下とかなり小さいので、干渉の懸念があり、この面から、チャンネルアサイメントの制約をうける。

第四に、Sto. Tomas-Bigbiga 間のオーバーリーチの検討が必要である。

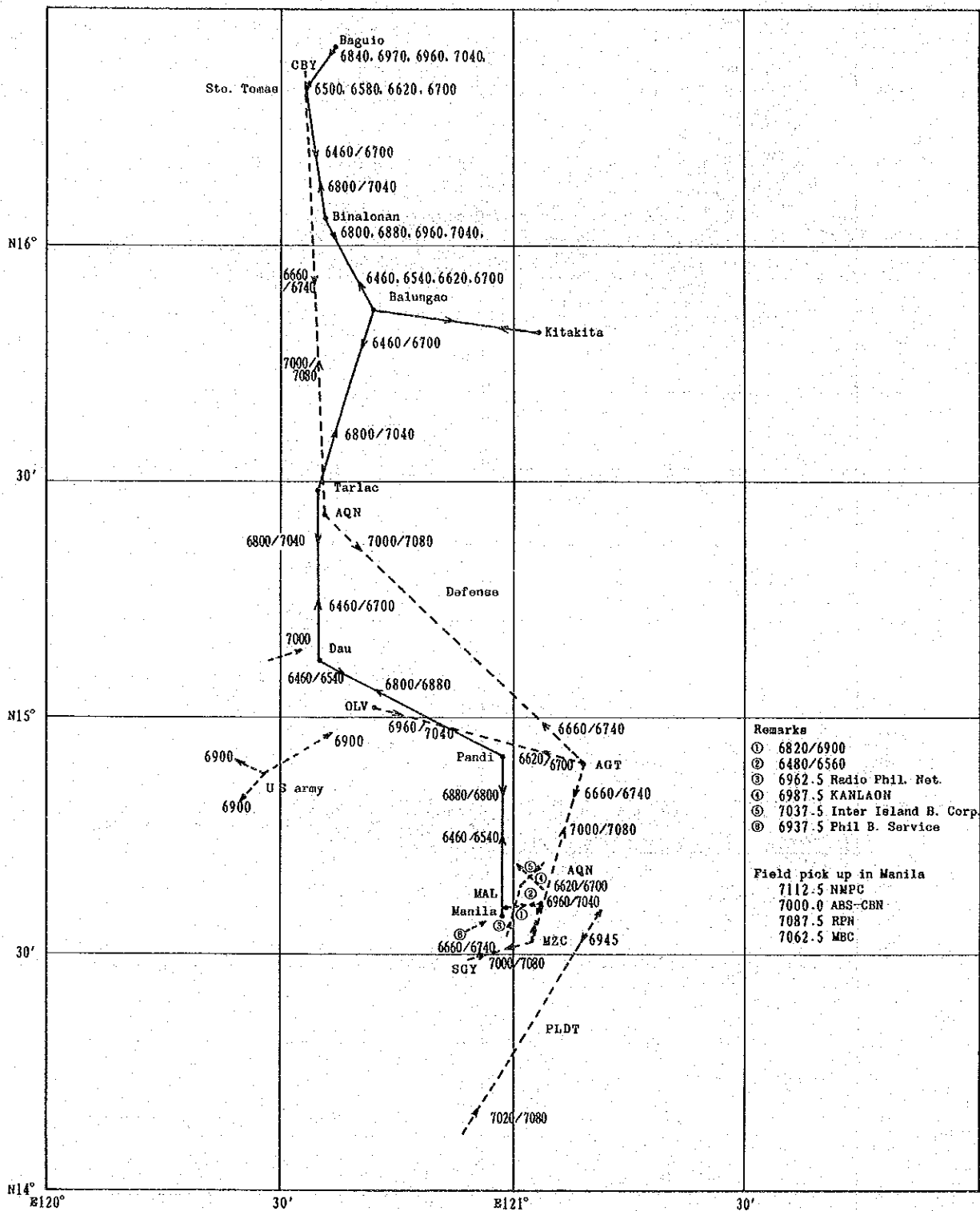
CCIR 勧告第 384-2 号で勧告する配置のうち、最大伝送容量 1260 CH 用のチャンネルセパレーションで且つ、単一偏波面使用のアンテナによる配置を用いることとする。

以上の諸条件を加味して導かれた周波数配置が図 VIII-2-2-25(a)~(d) に示されている。

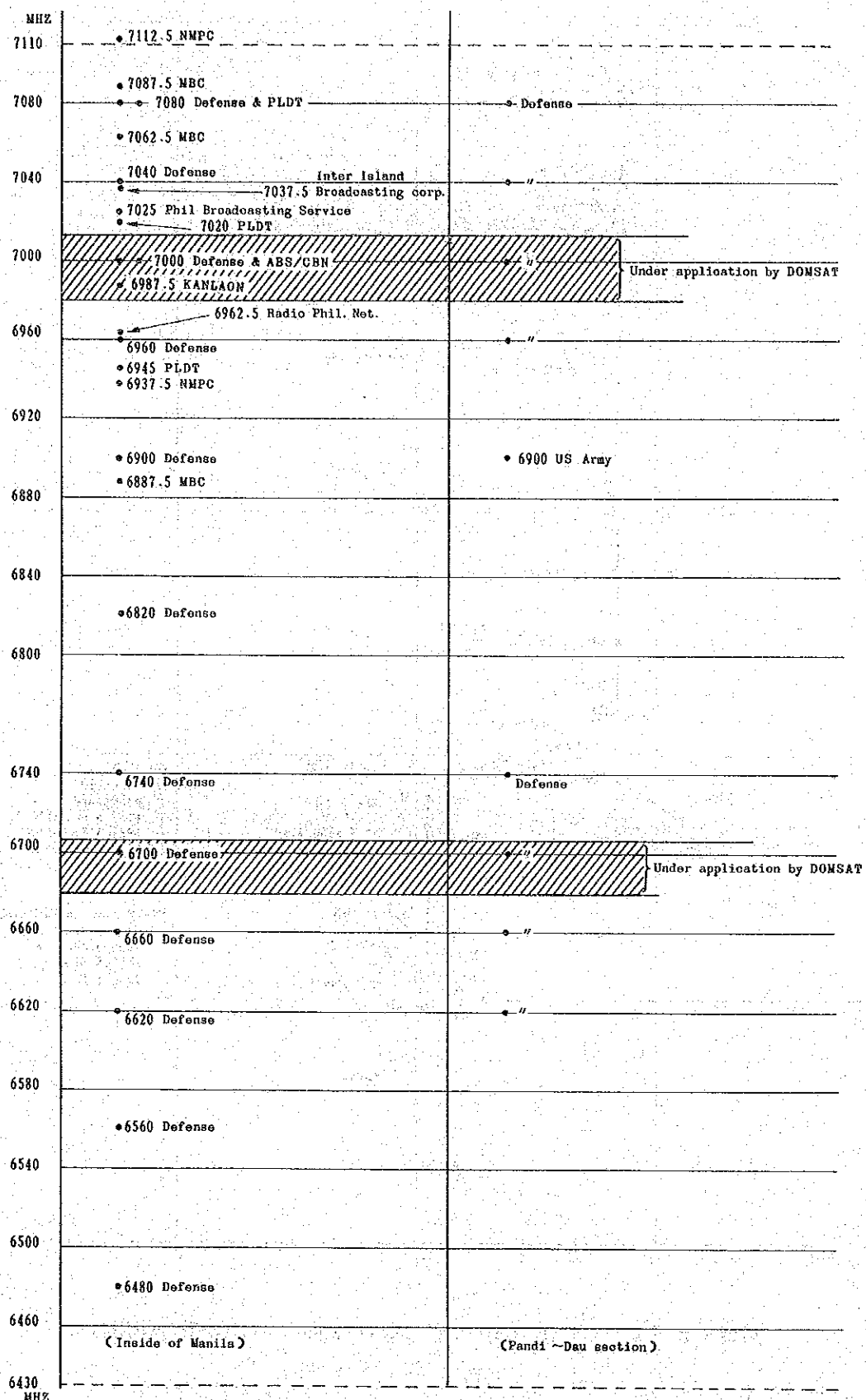
殊に Sto. Tomas ~ Baguio 間および Balungao ~ Binalonan 間は 2 ルート通るので周波数が輻奏する。そのため、詳細に示したものが、図 VIII-2-2-25(e)、(f) である。



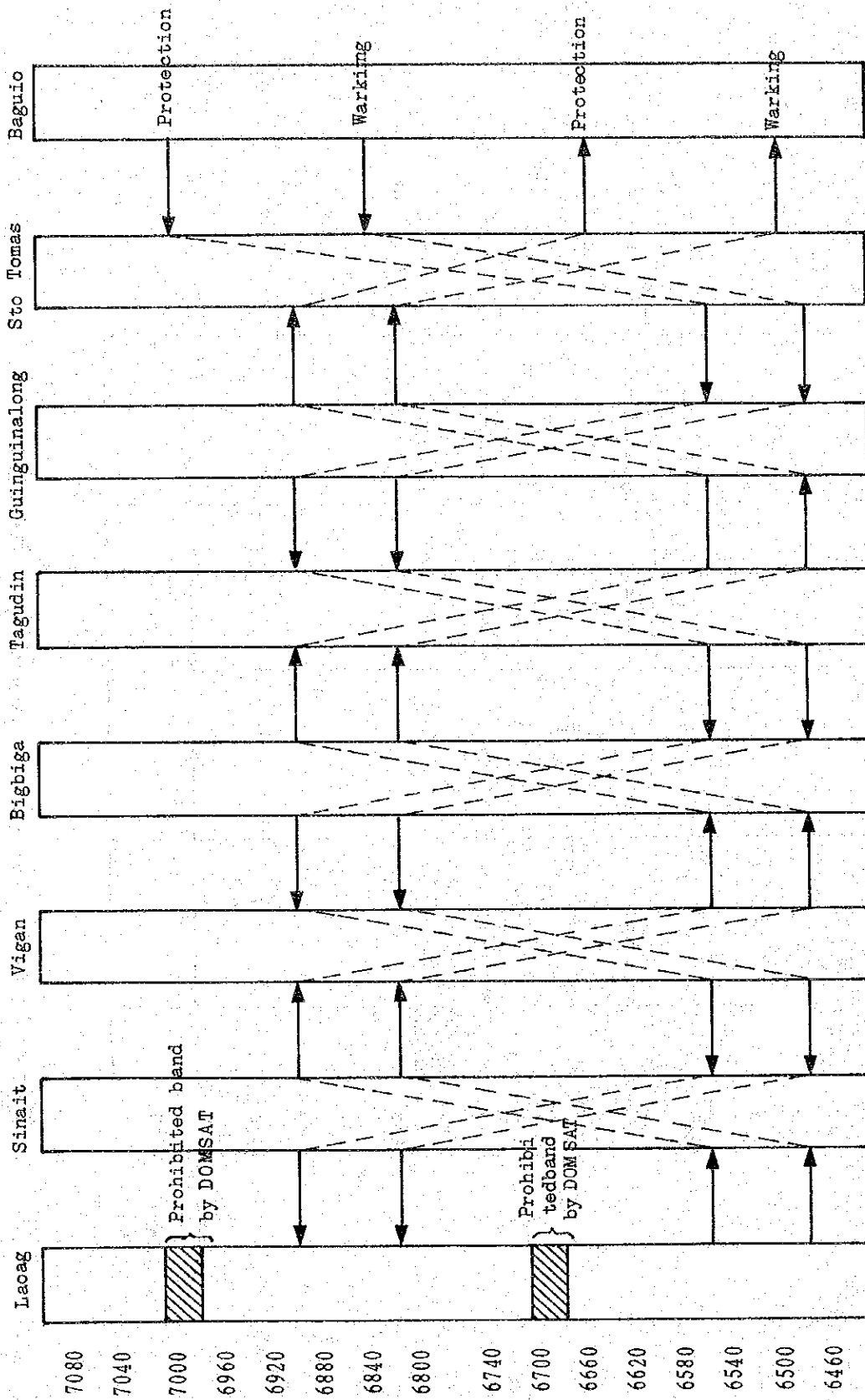
図Ⅷ-2-2-23 CCIR Rec. 384-2による
6GHz帯の周波数配置表



図Ⅷ-2-2-24(a) Baguio~Manila間の6GHZ帯の使用状況



図Ⅷ-2-2-24(b) Manila周辺ならびにPandi~Dau間の6GHZ帯使用状況



図VIII-2-2-25(a) Region I ルートに対する周波数配置表

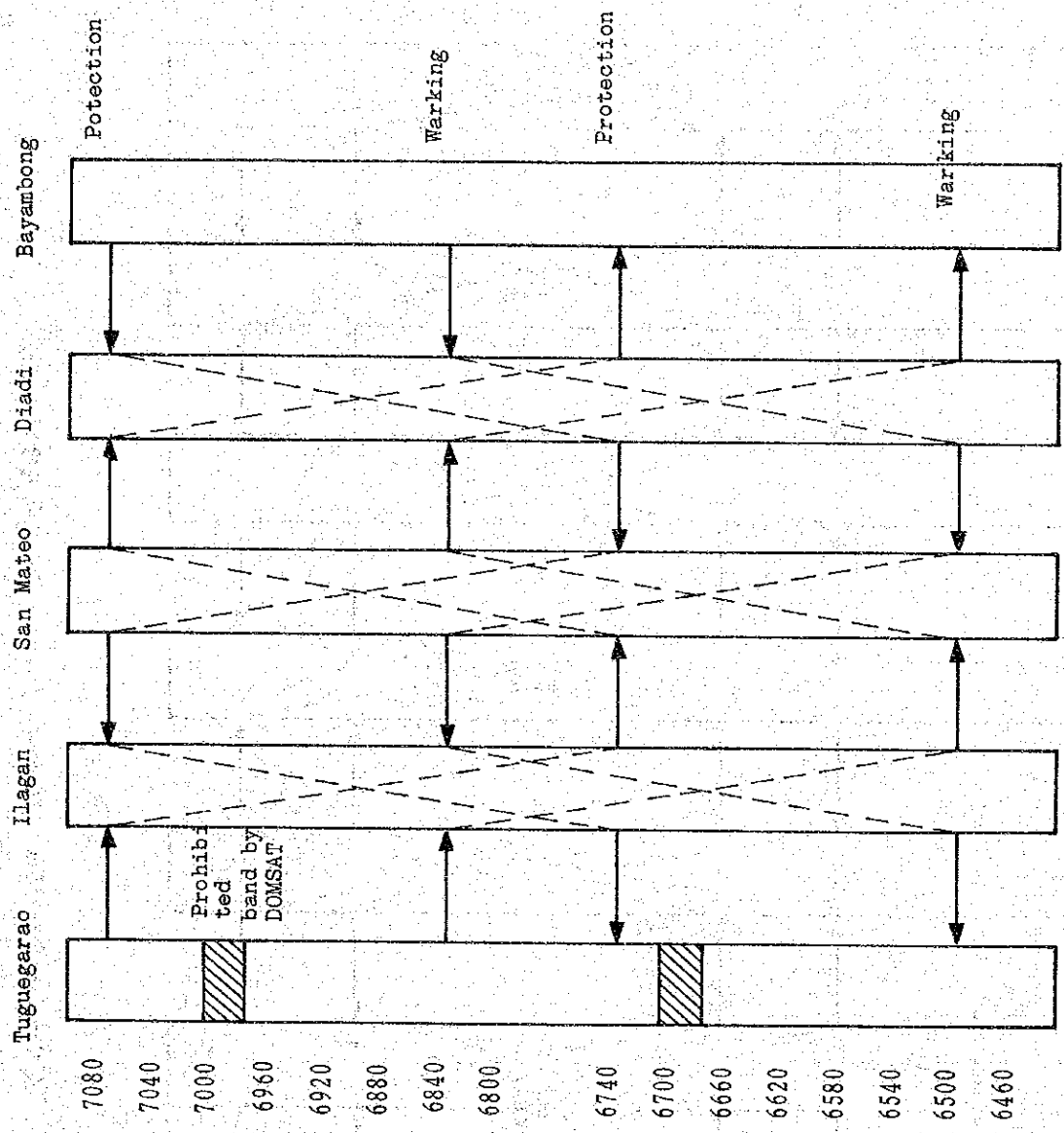


図 VII-2-2-25(b) Tuguegarao ~ Bayambang 間の周波数配置

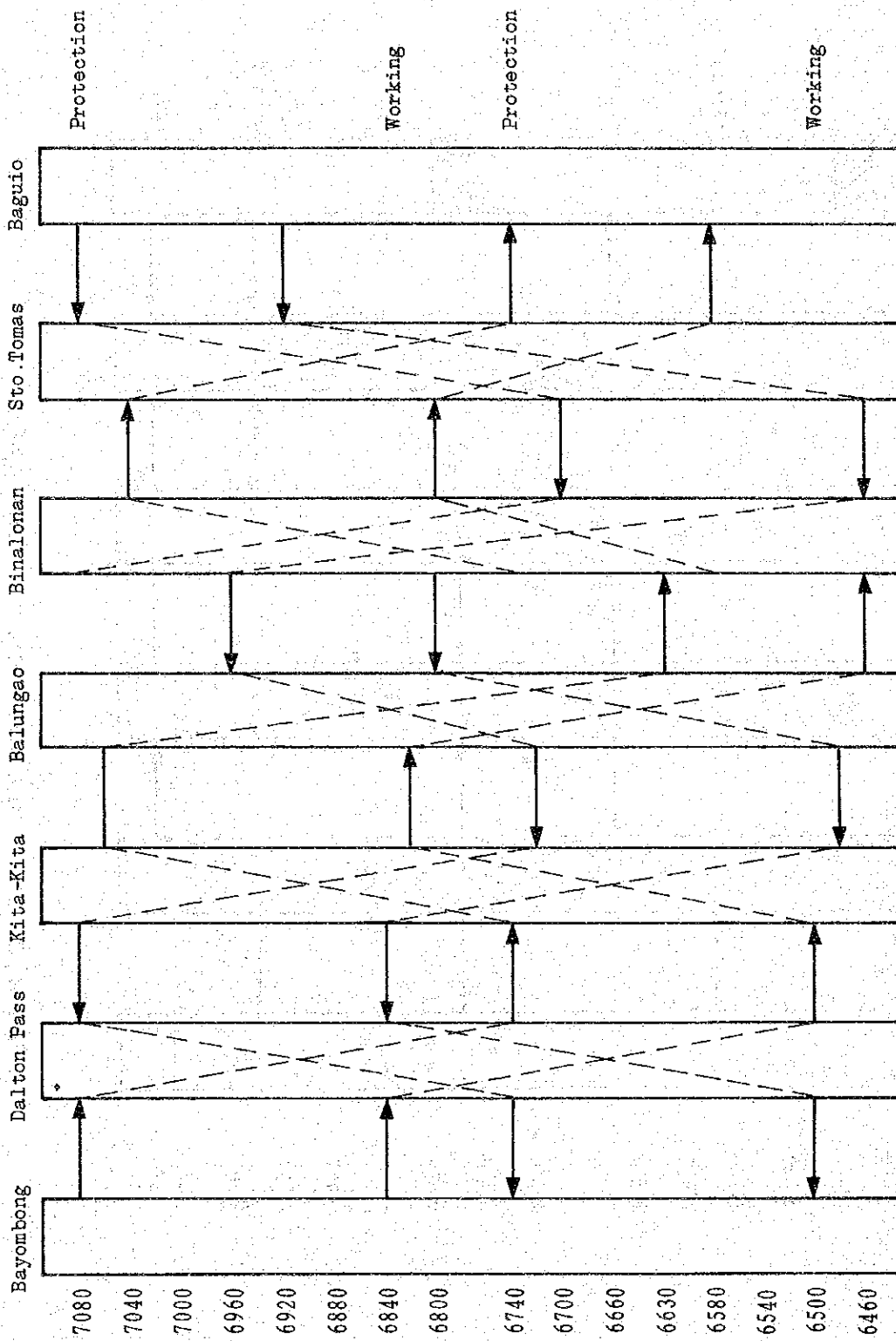
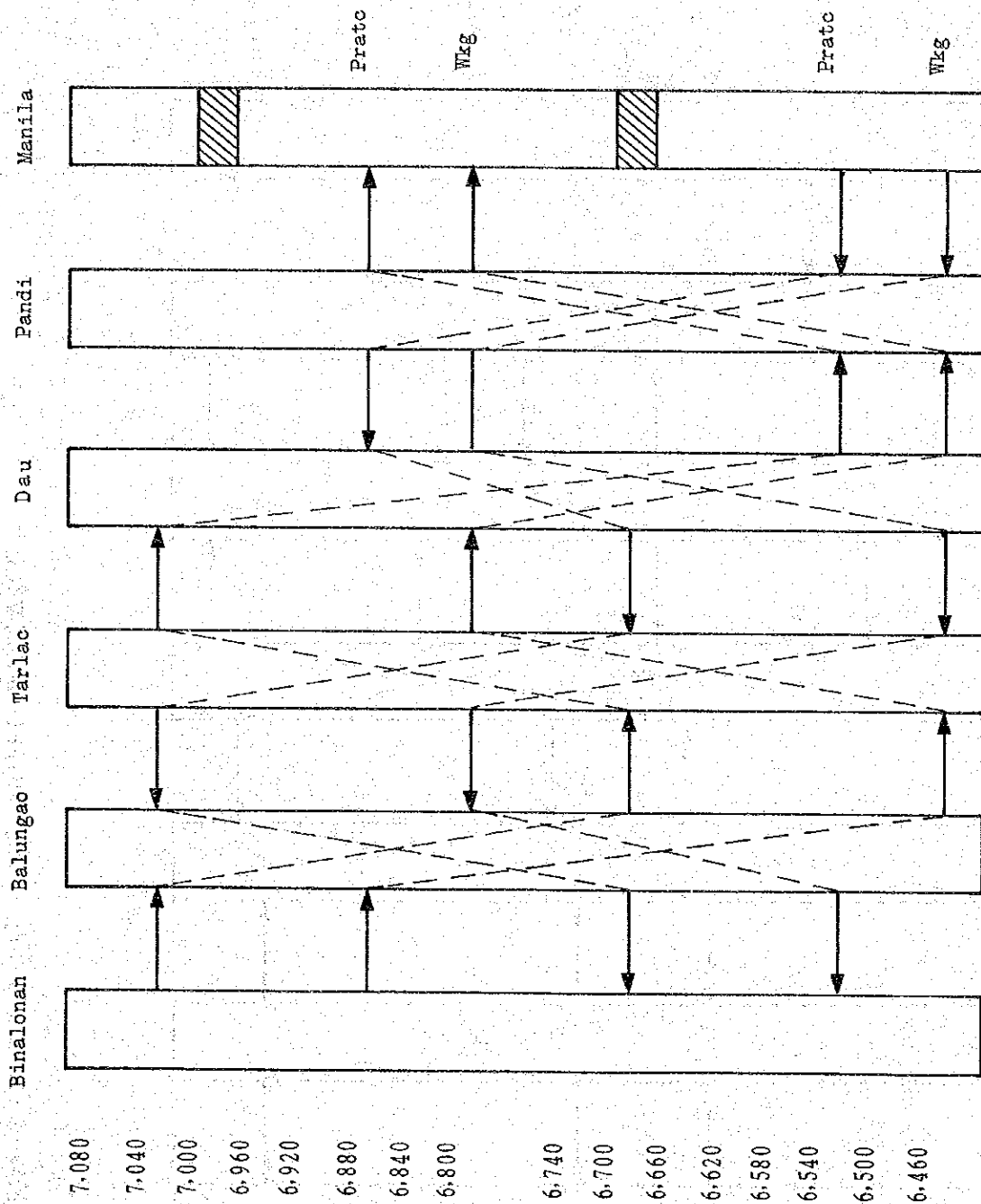
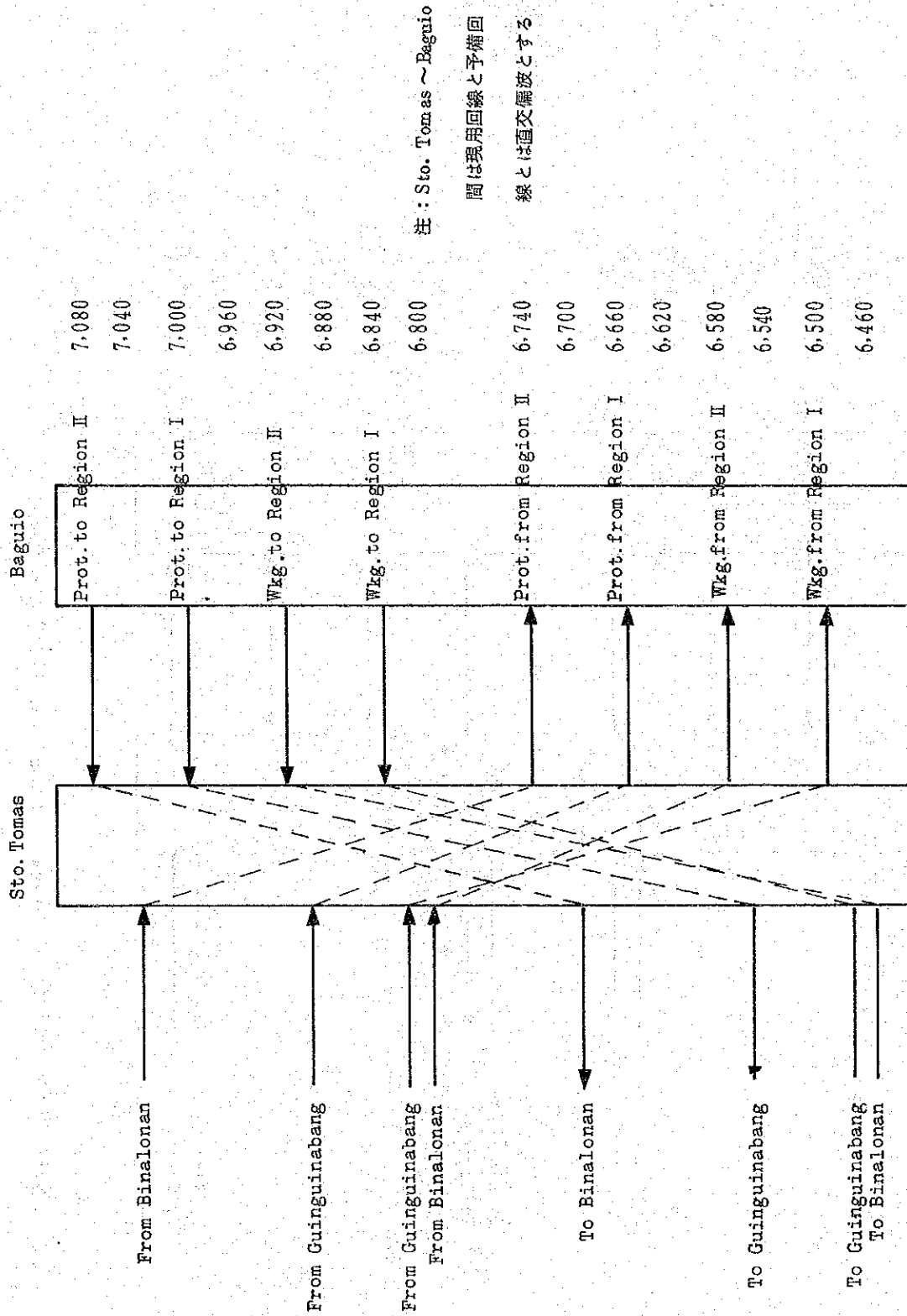


図 VII-2-2-25(c) Bayombong ~ Baguio 間の周波数配置



図VIII-2-2-25(d) Binalonan ~ Manila間の周波数配置



Ⅷ-2-2-25(e) Sto. Tomas ~ Baguio 間の周波数配置

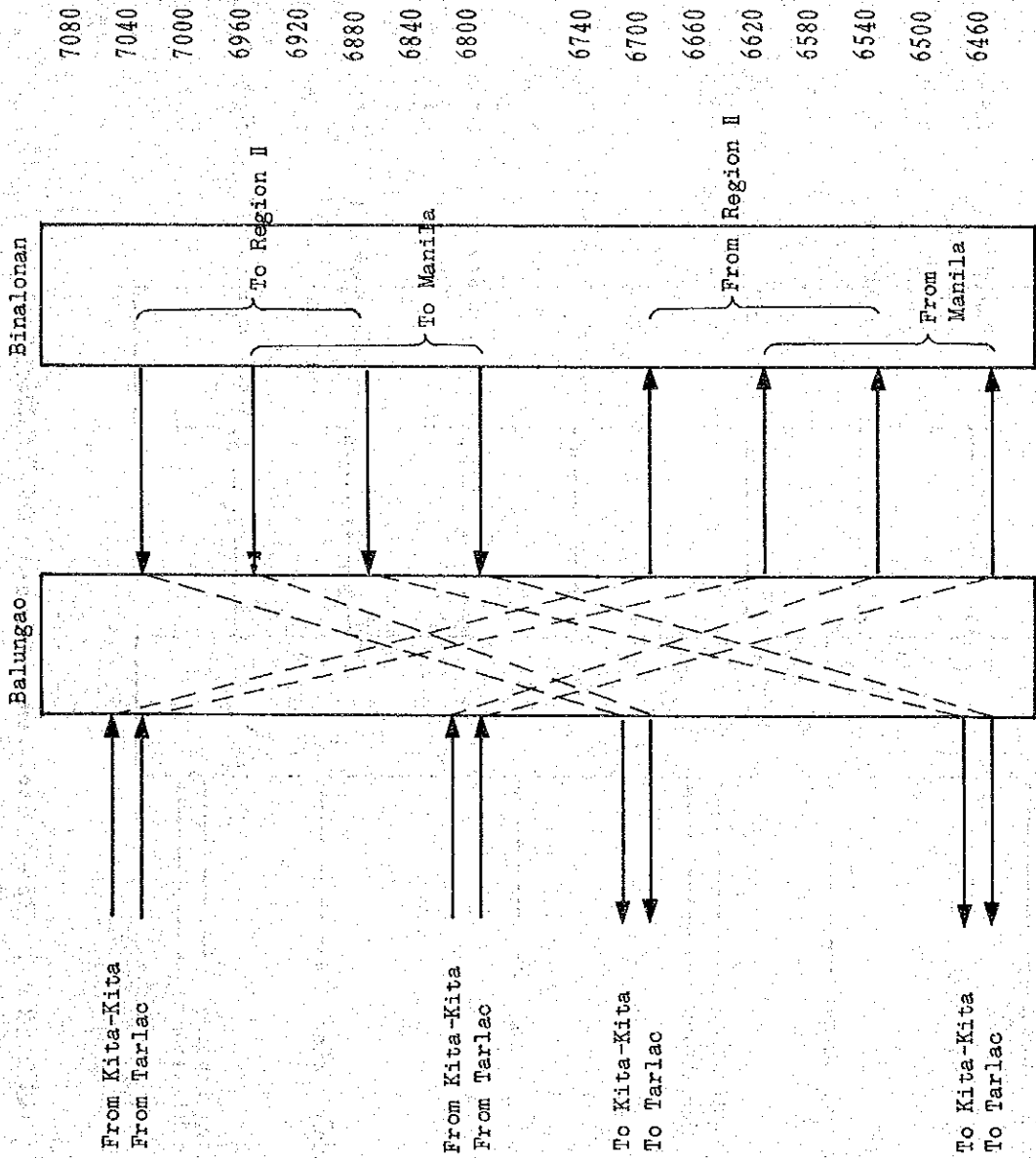
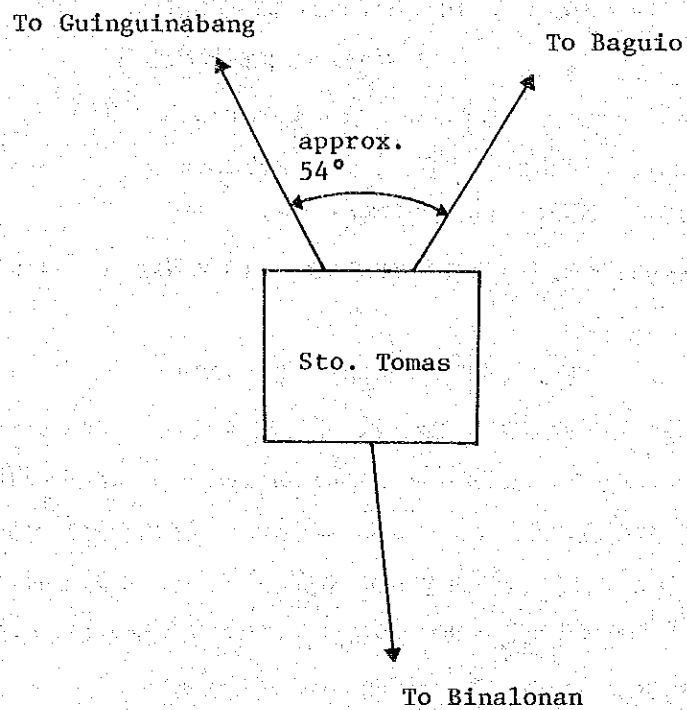


図 Ⅷ - 2 - 2 - 25(f) Balungao ~ Binalonan 間の周波数配置

なお、以下には Sto. Tomas および Kitakita の干渉について数値計算の過程について述べる。

Sto. Tomas ~ Baguio 間の問題を述べる。図Ⅷ-2-2-26に示すように、Sto. Tomas における Baguio ⇄ Guinguinabang の角度が、約 54 度となる。したがって、Baguio から来た電波が Guinguinabang から来た電波と混信する恐れがでてくる。



図Ⅷ-2-2-26 Sto. Tomas における各三方向の関係

Baguio からの電波の Guinguinabang 向け空中線へのまわりこみ量を計算してみると、

$$\begin{aligned} & \text{Guinguinabang} \rightarrow \text{Sto. Tomas の受信入力} \\ & = -31.9 \text{ dBm} - 5 \text{ dB} = -36.9 \text{ dBm} \\ & \quad \quad \quad \uparrow \\ & \quad \quad \quad \text{Differential fading} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Baguio からの電波が、Guinguinabang 向け空中線へ漏洩する量} \\ & = -19.2 \text{ dBm} - 55 \text{ dB} = -74.2 \text{ dBm} \\ & \quad \quad \quad \uparrow \\ & \quad \quad \quad \text{空中線の } 54^\circ \text{ 指向性減衰量} \end{aligned}$$

Desired ~ Undesired signal ratio (D/U) は

$$D/U = -36.9 - (-74.2) = 37.3 \text{ dB}$$

$$S/N = D/U + 16 = 53.3 \text{ dB}$$

Baguio からの受信波を 12.7 dB ($-19.2 \text{ dBm} - (-31.9 \text{ dBm})$) 弱めた (スパン等化) としても

$$S/N = 53.3 + 12.7 = 66 \text{ dB} \quad (250 \text{ pW})$$

(4)項で述べた干渉雑音への配分量 744 pW に対して、やや多いように思われる。したがって、Laoag 方面の伝送路として、Sto. Tomas ~ Baguio 間は、Laoag ~ Sto. Tomas 間の周波数配置に関して、スロットの関係にある周波数配置を用いることとし、Laoag ~ Sto. Tomas 間の偏波面と Sto. Tomas ~ Baguio 間の偏波面とは、直交させる。

このような考えにもとずいて Laoag 方面の伝送路としての Sto. Tomas ~ Baguio の周波数配置は、図 VIII-2-2-25(d) に示してある。

スロット関係にある周波数を用いた場合の Sto. Tomas における D/U を求めると

$$\begin{aligned} D/U &= (-31.9 - 5) \text{ dBm} - \left\{ -19.2 - 12.7 \right. \\ & \quad \quad \quad \uparrow \quad \quad \quad \uparrow \\ & \quad \quad \quad \text{Differential} \quad \quad \text{Differential} \\ & \quad \quad \quad \text{fading} \quad \quad \quad \text{equalization} \\ & \quad \quad \quad -55 - 10 - 20 \left. \right\} = 81 \text{ dB} \\ & \quad \quad \quad \uparrow \quad \quad \quad \uparrow \\ & \quad \quad \quad \text{Antenna} \quad \quad \text{Selectivity for} \quad \quad \text{Receiver selectivity} \\ & \quad \quad \quad \text{directivity} \quad \quad \text{opposite polarity} \quad \quad \text{for 20MHz} \end{aligned}$$

となって、雑音量は、問題なく小さい。なお、Baguio 局の Sto. Tomas 向け送信機を 12.7 dB 減ずる (スパン等化) ことなくても

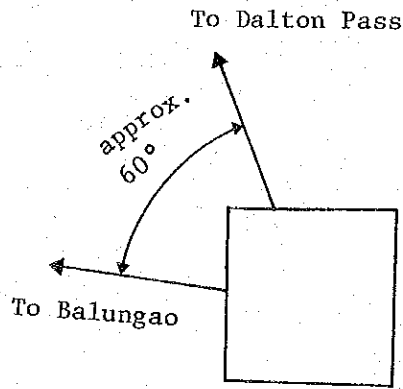
$$S/N = D/U + 16 = 81 - 12.7 + 16 = 84.3 \text{ dB} \quad (\leq 10 \text{ pW})$$

となって、問題ない。

次に、Balungao ~ Kitakita ~ Dalton Pass の問題について議論しよう。

Kitakita についても、図 VIII-2-2-27 に示すように Dalton Pass と Balungao

をみこむ角度が約 60° となり、Sto. Tomas の場合と同様、空中線による指向減衰量が約 55 dB しか期待できないので、Balungao ~ Kitakita 間の周波数は、20MHz ずらして使うこととする。



図Ⅷ-2-2-27 Kitakitaにおける各二方向の関係

以上の様な考慮をして、全マイクロウェーブ局の使用周波数関係を示すと、図Ⅷ-2-2-25(a)~(b)となる。また図Ⅷ-2-2-25(e)、(f)には、Baguio, Sto. Tomas, Binalonan, Balungao を中心とした、全周波数の関係を示す。

また、Binalonan ~ Sto. Tomas と Guinguinabang ~ Sto. Tomas との偏面はかならずしも、直交させる必要はない。同一偏波でも、まったく差し支えない。理由は、Sto. Tomas から、Guinguinabang と Binalonan を望む角度が、 160° あるので、空中線の指向性減衰量が十分あるからである。

PATH PROFILE

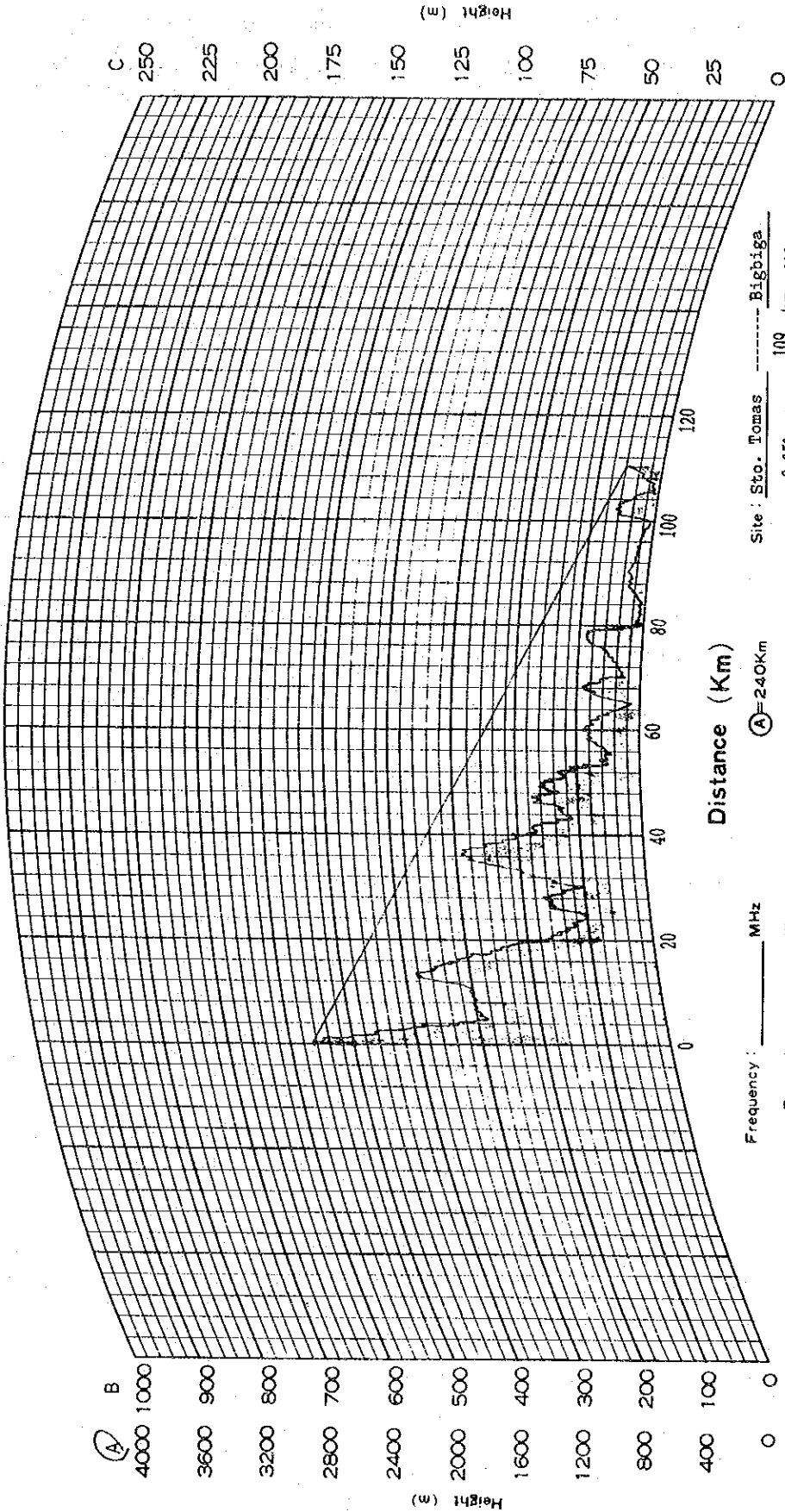
Name of Route: _____

No.: Fig VIII-2-2-28

Drawer: _____

Date: _____

(K=4/3)



Frequency: _____ MHz

Power: _____ W

Site: Sto. Tomas ----- Bigbiga

Full Scale A=240Km B=120Km C=60Km

Height: 2,252 m 109 km 200 m

Antenna height: _____ m

VIII-2-2-28 (Sto. Tomas-Bigbiga)

次にオーバーリーチの干渉雑音の検討をしなければならない。

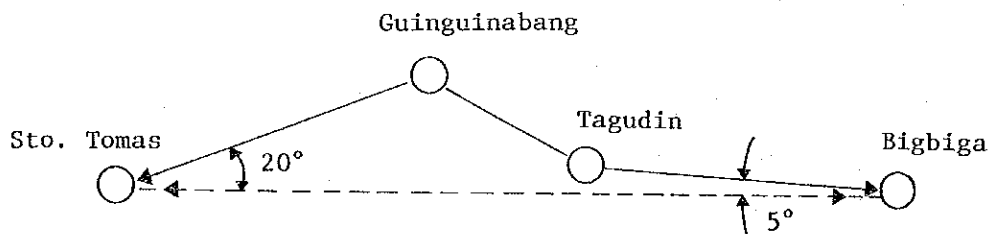
このマイクロウェーブ回線は2周波方式である故、2種類の周波数のくり返しによって、各区間の使用周波数をわりあてている。

したがって、第1区間と第2区間のgoing wayの周波数は異なる（Higher 6 GHz bandの場合340MHz異なる2種の周波数）が、第3区間は、再び第1区間で使用した周波を使うことになる。つまり、第3区間の受信機に、第1区間の電波が干渉することになる。

通常、第1区間の送信機と、第3区間の受信機との間は、電波伝搬路の数にして、3区間あり、したがって100～150kmの距離がある。このように長い距離はなれると、ほとんどの場合、第1区間の送信点からは、第3区間の受信点は見通し内に入らないのが普通である。

しかし、送信点あるいは、受信点が、周囲の山々に比較して、きわめて高い位置にある場合は、第3区間の受信点が見通し内に入ってしまう。

このようにときに、オーバーリーチの干渉が生ずることになる。勿論、その干渉量が小さければ、さしつかえない。本プロジェクトの場合、第3区間の見通しが得られてしまうケースとして、Sto. Tomas～Bigbiga間がある。プロフィールとして図Ⅶ-2-2-28に示す。また干渉の状況を図示したものが図Ⅶ-2-2-29である。



図Ⅶ-2-2-29 Sto. Tomas～Bigbiga間のオーバーリーチ

この場合、Bigbigaの受信装置への干渉と、Sto. Tomas受信装置への干渉の二種について、検討する必要がある。

図Ⅷ-2-2-29よりわかるように、空中線の指向特性に期待できる量として、Sto. Tomas 側として、約 20° の指向性減衰量、Bigbiga 側として、約 5° の指向性減衰量が期待できる。これらは、空中線の広角度指向特性のデータより、

$$D_{20^\circ} = 40 \text{ dB}$$

$$D_{5^\circ} = 25 \text{ dB}$$

とする。

また、Sto. Tomas ~ Bigbiga 間の電波伝搬距離は 109 km、これをオーバーリーチ距離とするならば、Sto. Tomas ~ Guinguinabang, Tagudin ~ Bigbiga の各々の距離の、オーバーリーチ距離に対する比は、各々、

$$\frac{46}{109} = 0.422 = -7.5 \text{ dB}$$

Sto. Tomas ~ Guinguinabang

$$\frac{44.1}{109} = 0.405 = -7.9 \text{ dB}$$

Tagudin ~ Bigbiga

以上の各数値より、Sto. Tomas 受信への干渉は

$$\begin{aligned} S/I &= (D_{20} + D_5 + 7.5) + 16 \text{ dB} \\ &\quad \text{(to S.T)} \qquad \qquad \qquad \uparrow \\ &\qquad \qquad \qquad \text{Spectrum improvement factor} \\ &= 72.5 + 16 = 88.5 \text{ dB} \end{aligned}$$

また、Bigbiga への干渉は同様に

$$\begin{aligned} S/I &= (D_{20} + D_5 + 7.9) + 16 \\ &\quad \text{(to B.B)} \\ &= 88.9 \text{ dB} \end{aligned}$$

となり、negligible small とみてよい。

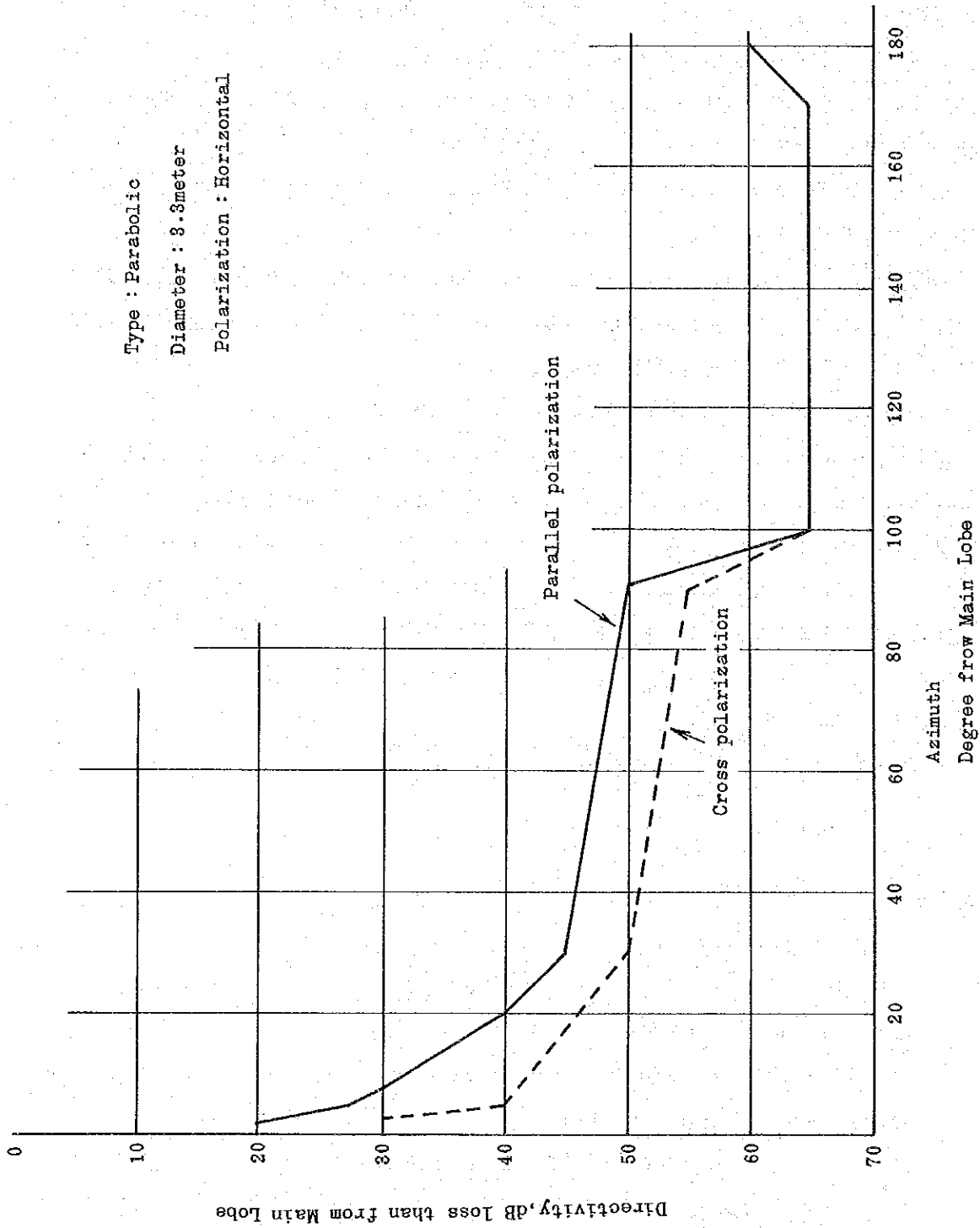
以上、干渉検討に用いた、空中線指向特性の典型例を図Ⅷ-2-2-30に示す。

(6) 瞬断率

無線方式による信号の伝送は、伝送の媒体が、装置あるいはケーブルといったような、我々の作り出したもののみならず、自由空間という、自然に与えられた部分が、伝送の媒体として、使用される。しかも、これらは、我々人間のコントロール外にあり、このような媒体を含む、通信系としては、種々の特性が、気ままに変動してしまう。

その代表例が、フェージングである。既に述べたように、フェージングは受信入力電界の変動をとめない、したがって、熱雑音による S/N の変動にむすびつく。フェージングはまったく自然現象にもとずいて発生するので、そのとりあつかいは、統計的な手法を用

Type : Parabolic
 Diameter : 3.3meter
 Polarization : Horizontal



図Ⅷ-2-2-30 空中線指向特性の典型例

いと便利である。フェージングによる無線回線の瞬断は、フェージングにより、受信入力電界が大きく落ちこみ、そのため、異常な大きな雑音のために S/N が極度にわるくなり、回線としてまったく使えなくなるという現象である。したがって浅いフェージングの場合は、雑音の増加もわずかで、単に S/N が劣化したという認識のみで、回線としてはやや不自由ではあるが、接続されているという状態になる。

ここでは、深いフェージングに対して、回線がまったく使用できなくなるようなケースについて論ずることとする。

回線が使用不能となるような深いフェージングは、通常、時間的にきわめて短い期間しか持続しない。しかし、その発生回数は多いという状況である。このような現象に対しては、発生の時間率という概念が便利である。

CCIRでは、異常雑音に対して次のような勧告を出している。

つまり、いかなる1ヶ月間においても、無評価雑音値 (measured with 5m sec integrated times) で 10^6 pW を越える時間率は 2500km 標準擬似回線について 0.01% 以下である、としている。一方、CCITTではデータ伝送の立場から、0.001% を設計目標値とすることが望ましいとされている。本計画にあげるマイクロウェーブ回線については、0.001% を距離配分し、各切替区間毎に設計目標値を与え、実際の計算値が、目標値に入るかどうかチェックすることとする。もし目標値に入らない場合は、スペースダイバーシティ等の手段を考える。

設計目標値として、距離 L km の区間については

$$0.001\% \times \frac{L}{2500} = 4L \times 10^{-9}$$

とする。

Laoag ~ Vigan 74.6 km

$$4L \times 10^{-9} = 4 \times 74.6 \times 10^{-9} = 2.98 \times 10^{-7}$$

Vigan ~ Baguio 155.3 km

$$4L \times 10^{-9} = 4 \times 155.3 \times 10^{-9} = 6.21 \times 10^{-7}$$

Tuguegarao ~ Ilagan 56.4 km

$$4L \times 10^{-9} = 4 \times 56.4 \times 10^{-9} = 2.26 \times 10^{-7}$$

Ilagan ~ Bayombong 107.3 km

$$4L \times 10^{-9} = 4 \times 107.3 \times 10^{-9} = 4.29 \times 10^{-7}$$

Bayombong ~ Binalonan 145.9 km

$$4L \times 10^{-9} = 4 \times 145.9 \times 10^{-9} = 5.84 \times 10^{-7}$$

Binalonan ~ Baguio 42 km

$$4L \times 10^{-9} = 4 \times 42 \times 10^{-9} = 1.68 \times 10^{-7}$$

Binalonan ~ Manila 183.2 km

$$4L \times 10^{-9} = 4 \times 183.2 \times 10^{-9} = 7.33 \times 10^{-7}$$

が、各切替区間の設計目標値となる。

次に各無線区間にて、フェージングが発生する確率は、どのくらいあるか、という点について述べなければならない。経験、あるいは実験によると、ある無線区間のフェージングの発生する確率は、

$$P = \left(\frac{f}{4}\right)^{1.2} \times Q \times (\ell)^{3.5}$$

f : 周波数 [GHz]

Q : 伝搬路によってきまる定数

○ 平野伝搬の場合 5.1×10^{-9}

○ 山岳伝搬の場合 2.1×10^{-9}

○ 海上伝搬の場合 $3.7 \times 10^{-7} \sqrt{\frac{1}{h}}$

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

h_1, h_2 : 送信及び受信のアンテナ海拔高 [m]

まず、このPを算出するために、各無線区間について計算する。

次に、いったんフェージングが発生した場合、受信入力電界の分布が、いかなる形になるかということである。

多くの実測によると、深いフェージングの発生中は、その受信入力電界の低下による熱雑音電力の分布はピアソン5形分布となることがたしかめられている。ピアソン5形の確率密度関数は、Γ分布の逆数の密度函数であって、以下に示す形をしている。

$$f(N) = \frac{\gamma^\lambda}{\Gamma(\lambda)} N^{-(\lambda+1)} \exp\left(-\frac{\gamma}{N}\right)$$

平均値、および分布は

$$m = \frac{\gamma}{\lambda - 1}, \quad \sigma^2 = \frac{\gamma^2}{(\lambda - 1)^2 (\lambda - 2)}$$

ここで、λは、フェージングの程度によってきまる量で、λ=1であり、λ=1のときがもっとも、はげしいフェージングである。今 $\gamma = N_0$, λ=1とおき $\int_N^\infty f(N) dN$ を求めると、

これは、平均雑音電力 N_0 のとき、ある雑音電力、Nを上まわる確率 P(N) を意味する。

これは容易に積分できて、その結果は、

$$\int_{N_0}^{\infty} f(N) dN = P(N) = 1 - \exp\left(-\frac{N_0}{N}\right)$$

で与えられる。Nがきわめて大きく、 N_0/N がかなり小さいときは、

$$P(N) \simeq N_0/N$$

が、よい近似を与える。各区間について $N = 10^6 \text{ pW}$ のときの $P(N)$ を求める必要がある。

すでに求めた p と $P(N)$ との積 $pP(N)$ は 10^6 pW をこえる年間の時間率となる。

10^6 pW という大きな雑音量をこえる確率は、普通きわめて小さく、多中継時の総合的な 10^6 pW をこえる確率は、各区間毎の確率の和としてさしつかえない。したがって、各区間の $pP(N)$ を求め、各切替区間毎に集計したものが、表Ⅷ-2-2-6である。

なお、 $P(N)$ を計算するにあたり、 N_0 の値は、表Ⅷ-2-2-5 にて求めた各区間毎の雑音量より、4 dB 低下させた量をもって N_0 とした。それは、 10^6 pW という値までおちこむフェージングが発生しているときは、その平均雑音も正常時より約 4 dB 低下するという考えにもとずいている。

さらに、表Ⅷ-2-2-6の各区間の瞬断率については、各切替区間では雑音切替方式を採用しており、それによる改善率をみこむことができる。3+1の無線回線構成の場合、雑音切替方式によって改善される率は、次のとおり 1/10 とみこまれる。

一般に、2つの電波の受信入力電圧の同時確率密度関数は、個々の電波がレーレー分布をなす（ピアソン5形分布の逆数分布）という条件下では、

$$p(R_1, R_2) = \frac{4R_1 R_2}{1-k^2} \exp\left(\frac{-R_1^2 + R_2^2}{1-k^2}\right) I_0\left(\frac{2\sqrt{k^2 R_1 R_2}}{1-k^2}\right)$$

k^2 : R_1^2 と R_2^2 との相関係数

$I_0(x)$: 0次変形ベッセル関数

$$k^2 = \exp\left(-\frac{4\pi^2 \overline{\Delta p^2}}{C^2} \Delta f^2\right)$$

$\overline{\Delta p^2}$: 電波光路長の変動の分散

C : 光速 $3 \times 10^8 \text{ m/sec}$

Δf : 2波の周波数差

なお、 $\overline{\Delta p^2}$ はおおむね、次式で与えられる。

$$\overline{\Delta p^2} [\text{cm}] = 0.25 \times d [\text{km}]$$

d : 伝搬距離

表Ⅷ-2-2-6 各無線区間の 10^6 pW をこえる確率

無線区間	p	P(N) (=No/N)	pP(N)
Laoag - Sinait	3.24×10^{-5}	7.08×10^{-5}	2.29×10^{-7}
Sinait - Vigan	2.80×10^{-3}	6.03×10^{-5}	1.69×10^{-7}
Vigan - Bigbiga	9.30×10^{-3}	2.97×10^{-5}	3.69×10^{-7}
Bigbiga - Tagudin	5.46×10^{-3}	7.81×10^{-5}	4.26×10^{-7}
Tagudin - Guinguinabang	7.49×10^{-4}	2.81×10^{-5}	2.10×10^{-8}
Guinguinabang - Sto. Tomas	2.60×10^{-3}	9.52×10^{-5}	2.48×10^{-7}
Sto. Tomas - Baguio	1.53×10^{-6}	0.53×10^{-5}	8.11×10^{-12}
Ilagan - Tuguegarao	1.29×10^{-2}	14.44×10^{-5}	1.86×10^{-6}
Ilagan - San Mateo	4.16×10^{-3}	7.59×10^{-5}	3.16×10^{-7}
San Mateo - Diadi	3.98×10^{-3}	7.41×10^{-5}	2.95×10^{-7}
Diadi - Bayombong	8.83×10^{-4}	3.09×10^{-5}	2.73×10^{-8}
Bayombong - Dalton Pass	2.36×10^{-3}	9.09×10^{-5}	2.15×10^{-7}
Dalton Pass - Kitakita	1.41×10^{-3}	6.73×10^{-5}	9.49×10^{-7}
Kitakita - Balungao	3.52×10^{-4}	6.73×10^{-5}	2.37×10^{-8}
Balungao - Binalonan	6.21×10^{-4}	2.51×10^{-5}	1.56×10^{-8}
Binalonan - Sto. Tomas	1.66×10^{-3}	4.47×10^{-5}	7.42×10^{-8}
Balungao - Tarlac	5.21×10^{-3}	8.51×10^{-5}	4.43×10^{-7}
Tarlac - Dau	3.24×10^{-3}	6.45×10^{-5}	2.09×10^{-7}
Dau - Pandi	5.86×10^{-3}	9.11×10^{-5}	5.34×10^{-7}
Pandi - Manila	1.98×10^{-3}	4.89×10^{-5}	9.68×10^{-8}

No: 正常時より 4 dB 低下した雑音量

今、現用回線、予備回線とも、電圧L以下に低下する確率 $P(R_1, R_2 < L)$ は、

$$P(R_1, R_2 < L) = \int_0^L \int_0^L p(R_1, R_2) dR_1 dR_2$$

通常、 $L/\sqrt{1-k^2} \ll 1$ であるから、 $\exp(x) \simeq 1$ 、 $I_0(x) \simeq 1$ と近似できる。
したがって、

$$\begin{aligned} P(R_1, R_2 < L) &\simeq \int_0^L \int_0^L \frac{4R_1 R_2}{1-k^2} dR_1 dR_2 \\ &= \frac{L^4}{1-k^2} \end{aligned}$$

一方、現用回線のみが、L以下になる確率 $P(R_1 < L)$ は、

$$\begin{aligned} P(R_1 < L) &= 1 - e^{-L^2} \\ &\simeq L^2 \quad (L \ll 1) \end{aligned}$$

したがって、現用回線が切替レベルL以下になり、且つ、予備回線も同時に切替レベル以下になって、切替不能となる率 γ は、

$$\gamma = \frac{P(R_1, R_2 < L)}{P(R_1 < L)} \simeq \frac{L^2}{1-k^2}$$

切替レベルを平常入力より 40 dB 低下とすると、

$$L^2 = 10^{-4}$$

$$k = 0.9965$$

ただし $\Delta f = 80 \text{ MHz}$

$d = 50 \text{ km}$ とした。

$$\gamma = 0.02876$$

したがって、雑音切替方式による改善率は、約 1/35 となる。

終局 3+1 sys とすると、この改善率は約 1/2 低下するとされているので、

$$1/35 \times 2 \approx 1/17$$

マージンをみて 1/10 とした。

この改善率をみこんだ切替局単位の瞬断率を表にしたものを表Ⅷ-2-2-7に示す。

この表のように、各切替区間毎の瞬断率は、すべて CCITT の 0.001%/2500km 目標を満たしており、ルート選定としての図Ⅷ-2-1-1のルートは適切と判断される。

表Ⅷ-2-2-7 切替区間の 10^6 pWをこえる確率

切替区間	区間数	距離 (Km)	10^6 pWを こえる確率	雑音切替方式に よる改善率を加 味した確率	規格値
Laoag - Vigan	2	74.6	3.98×10^{-7}	3.98×10^{-8}	2.98×10^{-7}
Vigan - Baguio	5	155.3	1.06×10^{-6}	1.06×10^{-7}	6.21×10^{-7}
Tuguegarao - Ilagan	1	56.4	1.86×10^{-6}	1.86×10^{-7}	2.25×10^{-7}
Ilagan - Bayombong	3	107.3	6.38×10^{-7}	6.38×10^{-8}	4.29×10^{-7}
Bayombong - Binalonan	4	145.9	1.23×10^{-6}	1.23×10^{-7}	5.84×10^{-7}
Binalonan - Baguio	2	42.0	7.42×10^{-8}	7.42×10^{-9}	1.68×10^{-7}
Binalonan - Manila	5	183.2	1.30×10^{-6}	1.30×10^{-7}	7.33×10^{-7}

(7) カラーTV信号の伝送

以上は、マイクロウェーブ回線について、超多重電話信号を伝送するという立場から、検討を加えてきた。

しかし、本計画では、予備運用の形ではあるが、カラーTV信号の伝送が予定されている。この面で、カラーTV信号伝送という立場に立った検討が必要となる。

TV信号の伝送については、CCIRとCCITTの合同研究委員会(CMTT)によって、種々特性が勧告されており、本計画についても、これは従うようにする。

このように、CMTTの勧告に従った場合、6GHz、960CHの電話回線について、CCIRの各種勧告を満たすと、TV信号伝送という点でも、その勧告を満たすことになる。つまり、超多重電話信号の検討だけで十分である筈である。

しかし、ここではいちおう、TV信号伝送という面から、本計画のマイクロルートを検討してみたい。

(7)-1 信号対ランダム雑音比

TV映像信号に対して、主にマイクロウェーブ受信装置の高周波部初段で、かぶる熱雑音の比である。

TV信号のS/Nを規定する場合、雑音をいろいろな種類にわけてとりあつかうのが普通である。つまり、熱雑音のような、ランダム雑音の他に、電源よりのリップルによる場合等のようなハム雑音、およびパルス性の雑音である。CMTTでは、これらの種類の雑音について、個々に勧告している。

周期性の雑音、パルス性の雑音は、伝送路を構成する各種装置から発生したり、また、ひろったりすることが主であるのに対し、ランダム雑音は、マイクロウェーブ受信装置の受信入力に大きく影響される。したがって、本項では、ランダム雑音について、伝搬設計の立場から検討してみる。その他の項目については、装置仕様書作成の際に十分規定することが肝要である。

計算式は、

$$S/N = 10 \log \frac{P_r}{KTF} - \frac{3S_p^2}{f_m^3}$$

である。ここで

P_r : 受信入力電力

S_p : ビデオ信号の尖頭値周波数偏移。したがって同期パルスの部分の周波数偏移は除く。

f_m : 最高変調周波数

その他については、(4)項の S/N の式に同じ。送信装置、ならびに受信装置の仕様は(4)項の計算と同じとし、

S_p は CMTT の勧告 5.6 MHz_{p-p}

f_m は 4 MHz

として、各無線区間の P_r について S/N を求めたものが、表Ⅷ-2-2-8である。

表Ⅷ-2-2-8の雑音量の他に、復調装置で発生する雑音、ディエンファシス回路によって増加する雑音量、TV用評価回路によって軽減される雑音量を加味すると、表Ⅷ-2-2-9のようになる。ディエンファシス回路および評価回路による評価値は、CCIR Rep. 637によって報告されている値を用いた。また各区間の規格値は、CCIR勧告の 52dB/2500kmを距離配分した。

表Ⅷ-2-2-9で明らかなように、本計画のルートについてランダム雑音による S/N は、カラーTV信号伝送という面からも満足するものである。

さらにカラーTV信号の伝送の可否を決める重要な特性として、微分利得、微分位相、その他の波形伝送特性があげられる。CMTTにより、微分利得は10%、微分位相は5°、各々2500km当り、と勧告されているが、微分利得は、主にマイクロウェーブ中継装置の振巾特性、および低周波部の振巾特性によって左右され、また微分位相は、主にマイクロウェーブ中継装置の位相特性によって左右される。

波形伝送特性は、同じく各種波形についてCMTTの勧告する規格値をもつものであるが、これらの特性は、主に中継回線の低周波増巾器の部分の振巾、ならびに位置特性によって左右される。

以上のように、微分利得、微分位相、各種波形特性については、ほとんど、装置、単体の特性によって決定されるので、装置仕様作成にあたっては、多重電話信号の歪雑音、干渉雑音の項と同様、これらカラーTV信号伝送特性に深く関与する、各種特性の仕様を厳格に規定するよう注意することが大切である。

表Ⅷ-2-2-8 各無線区間のTV信号に対するS/N

o	区 間	S/N (dB)	S/N (pW)
Region I	Laoag - Sinit	78.0	15.8
	Sinit - Vigan	78.7	13.5
	Vigan - Bigbiga	80.5	8.9
	Bigbiga - Tagudin	77.1	19.5
	Tagudin - Guinguinabang	82.0	6.3
	Guinguinabang - Sto. Tomas	76.7	21.4
	Sto. Tomas - Baguio	89.4	1.1
	計	70.6	86.5
Region II	Tuguegarao - Ilagan	74.9	32.4
	Ilagan - San Mateo	77.7	17.0
	San Mateo - Diadi	77.8	17.0
	Diadi - Bayombong	81.6	6.9
	Bayombong - Dalton pass	76.9	20.4
	Dalton pass - Kitakita	78.2	15.1
	Kitakita - Balungao	78.2	15.1
	Balungao - Binalonan	82.5	5.6
	Binalonan - Sto. Tomas	80.0	10.0
	Sto. Tomas - Baguio	89.4	1.1
	計	68.5	140.2
To Manila	Binalonan - Balungao	82.5	5.6
	Balungao - Tarlac	77.3	18.6
	Tarlac - Dau	78.5	17.8
	Dau - Pandi	77.0	20.0
	Pandi - Manila	77.0	10.7
	計	71.4	72.7

表Ⅷ-2-2-9 各切替局区間のTV信号S/N表

ビデオ区間	熱雑音 〔pW〕	復調装置 雑音 〔pW〕	左項目の計 〔dB〕	デモフアンス 回路雑音 〔dB〕	評価回線 による改善 〔dB〕	同時フェーシング のマージン 〔dB〕	区間の S/N値 〔dB〕	規格値 〔dB〕
Laoag - Baguio	86.5	40	68.9	2.1	3.1	4	65.9	62.4
Tuguegarao - Baguio	140.2	80	66.6	2.1	3.1	4	63.6	60.5
Binalonan - Manila	72.7	20	70.3	2.1	3.1	4	67.3	63.4

2-2-2 枝 伝 送 路

(1) ルート決定

マイクロウェーブ方式によって、Primary Centerまでもってこられた基幹伝送路は、市外自動交換機を経て、市内自動交換機が設置されている端局に結ばれる必要がある。

このPC～端局間を結ぶ伝送路（枝伝送路）は、

無線による方法

市内ケーブルによる方法

の二種類が考えられ、創設費、保守需要回線数等を考慮して、以下の基本的な考え方にもとずいて、決定した。

つまり次のいずれかに該当する場合は、無線方式とした。

- 1) 無線伝搬距離が15km以上の区間。
- 2) 橋のない大河または深い谷を伝送路が横切るようなケース。
- 3) 線路敷設場所が、公道より大きくそれ、保守に困難を伴うとき。

ただし、無線方式を用いる場合は、使用する無線周波に空きがないとまったく不可能となる。この点については、(5)周波数配置と干渉雑音の項で述べる。

以上の考えにもとずいて、無線方式による枝伝送路、つまりPC以下の無線伝送路、のルート決定をしたものを、図Ⅷ-2-2-31および図Ⅷ-2-2-32に示す。また、これらの各ルートについてプロフィールを表Ⅷ-2-2-10(a)の索引のとおり図Ⅷ-2-2-33～図Ⅷ-2-2-104に示す。

各ルートの使用周波数帯については、原則として、最大伝送容量が3CH～6CHの区間は150MHz帯、24CHの区間は400MHz帯、60CH～120CHの区間は800MHz帯、240CHの区間は2GHz帯を用いることとする。

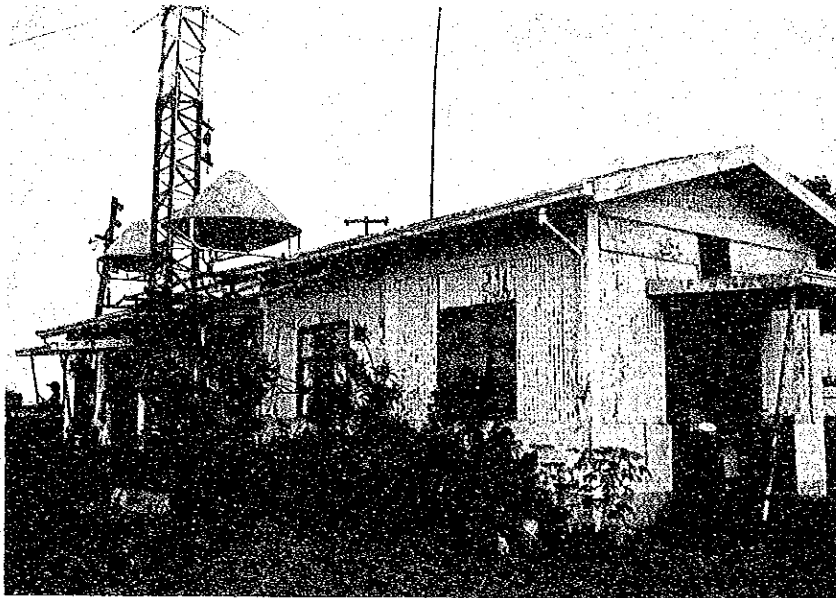
唯一の例外的なケースとして、Basco（Batanes州）への通信方式を述べなければならない。

当初Bascoへは、VHF（150MHz帯）による方法を考えていたが、調査の結果、Calayan島中継所、Basco中継所をVHF用として建設することは、地理上の制約からきわめて困難であることがわかった。したがって、Bascoへの通信はAparriより3chのHF（周波数については、設計の際に決定する）によることを提案する。

各中継所の位置および枝伝送路の無線区間数は、表Ⅷ-2-2-11(a)および(b)の通りである。

また、区間距離の分布をグラフにしたものが図Ⅷ-2-2-105である。枝伝送路の無線区間数（マイクロ分岐ルートも含む）は73区間でその平均は、23.0kmである。

同じく度数分布は、表Ⅷ-2-2-12(a)に示す。枝伝送路の目的は、既に述べたように、P C～端局を結ぶための伝送路であるが、無線伝送路の場合、その中継区間数の分布を求めてみた。それを表Ⅷ-2-2-12(b)に示す。無線中継区間数は最大で6区間、平均2.4区間である。



Manila 近くの Dau マイクロウェーブ中継所



Lubuagan 電報局の HF 無線送受信機

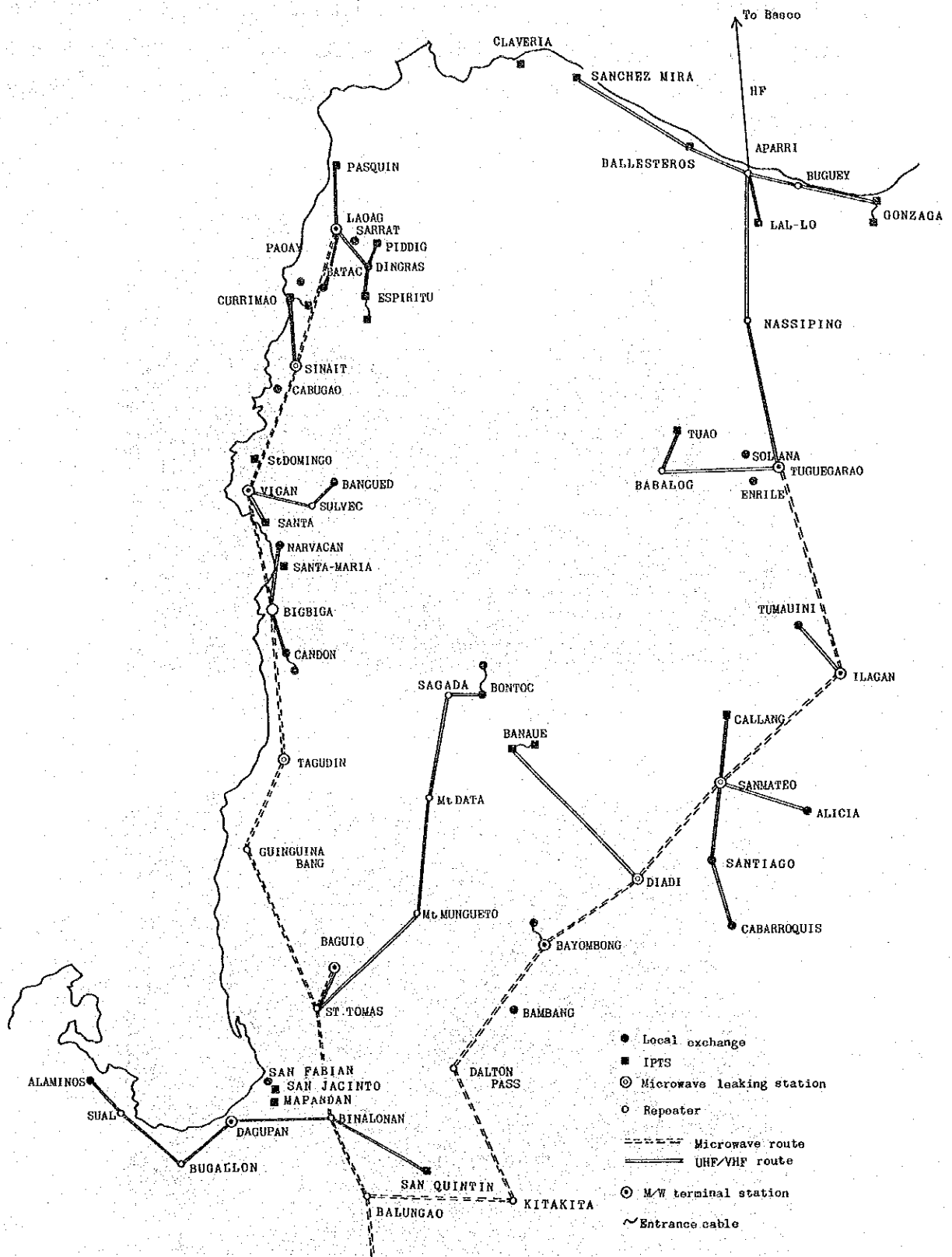


図 Ⅲ-2-2-31 枝伝送路のルート図 (Phase 1の工程)

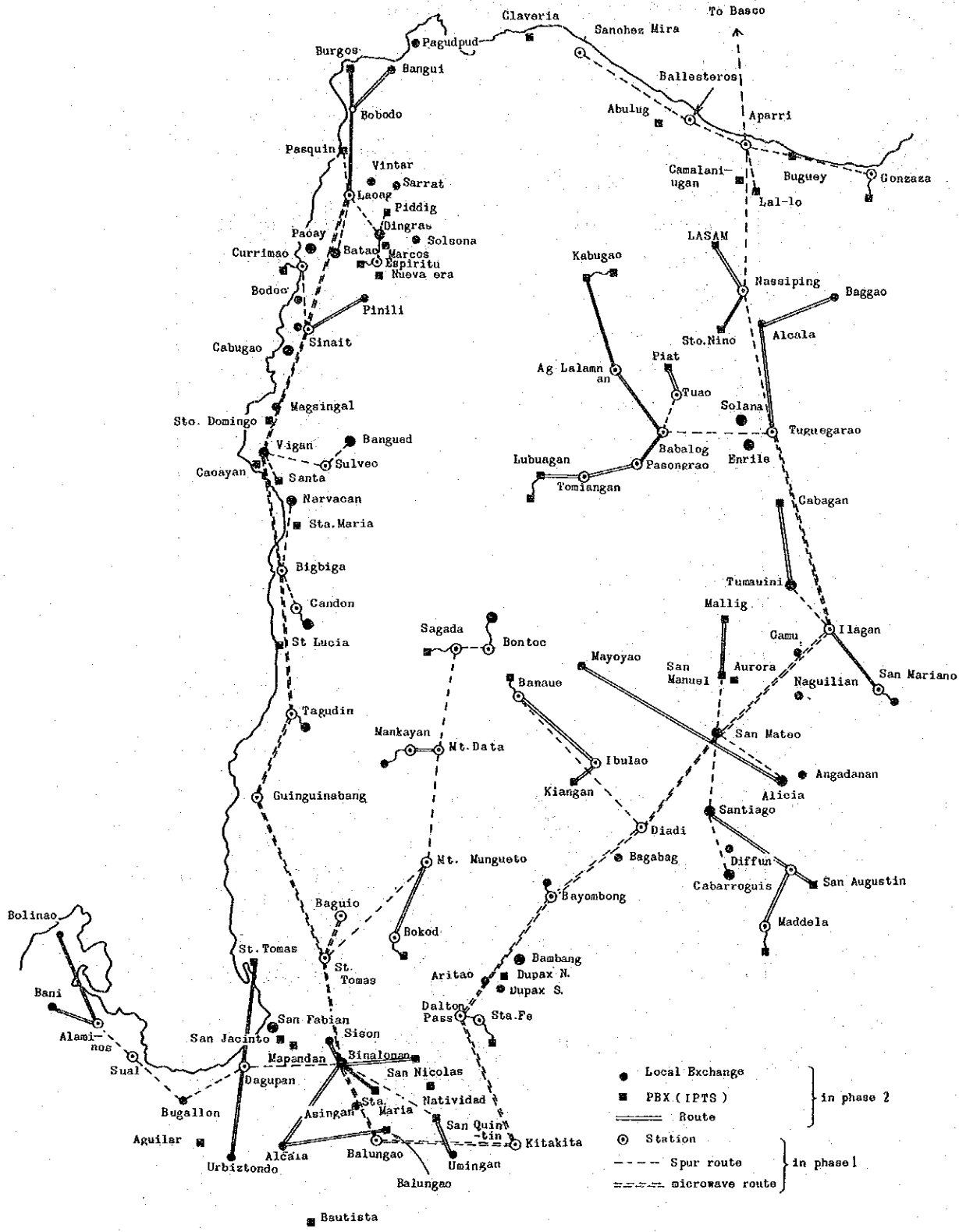


図 Ⅷ-2-2-32 枝伝送路のルート図 (Phase 2 完成時)

表 2-2-10(a) 枝伝送路プロフィールのリスト

無 線 区 間	図 番
Pasguin- Laoag	VIII-2-2-33
Dingras - Laoag	VIII-2-2-34
Piddig - Dingras	VIII-2-2-35
Espiritu - Dingras	VIII-2-2-36
Batac - Laoag	VIII-2-2-37
Currimao - Sinait	VIII-2-2-38
Pinili - Sinait	VIII-2-2-39
Bobodo - Laoag	VIII-2-2-40
Burgos - Bobodo	VIII-2-2-41
Bangui - Bobodo	VIII-2-2-42
Sulvec - Vigan	VIII-2-2-43
Bangued - Sulvec	VIII-2-2-44
Santa - Vigan	VIII-2-2-45
Candon - Bigbiga	VIII-2-2-46
Narvacan - Bigbiga	VIII-2-2-47
Mt. Mungueto - Sto. Tomas	VIII-2-2-48
Mt. Data - Mt. Mungueto	VIII-2-2-49
Sagada - Mt. Data	VIII-2-2-50
Bontoc - Sagada	VIII-2-2-51
Mankayan - Mt. Data	VIII-2-2-52
Mt. Mungueto - Bokod	VIII-2-2-53
Dagupan - Bugallon	VIII-2-2-54

無 線 区 間	図 番
Sual - Bugallon	VIII-2-2-55
Alaminos - Sual	VIII-2-2-56
Dagupan - Binalonan	VIII-2-2-57
San Quintin - Binalonan	VIII-2-2-58
Bolinao - Alaminos	VIII-2-2-59
Bani - Alaminos	VIII-2-2-60
Sto. Tomas - Dagupan	VIII-2-2-61
Urbiztondo - Dagupan	VIII-2-2-62
Umingan - San Quintin	VIII-2-2-63
San Nicolas - Binalonan	VIII-2-2-64
Sison - Binalonan	VIII-2-2-65
Sta. Maria - Binalonan	VIII-2-2-66
Alcala - Binalonan	VIII-2-2-67
Balungao - Alcala	VIII-2-2-68
Basco - Calayan	VIII-2-2-69
Calayan - Sanchez Mira	VIII-2-2-70
Sanchez Mira - Ballesteros	VIII-2-2-71
Ballesteros - Aparri	VIII-2-2-72
Buguey - Aparri	VIII-2-2-73
Gonzaga - Buguey	VIII-2-2-74
Lal-lo - Aparri	VIII-2-2-75
Aparri - Nassiping	VIII-2-2-76
Lazam - Nassiping	VIII-2-2-77
Sto. Nino - Nassiping	VIII-2-2-78
Nassiping - Tuguegarao	VIII-2-2-79
Alcala - Tuguegarao	VIII-2-2-80
Baggao - Acala	VIII-2-2-81
Babalog - Tuguegarao	VIII-2-2-82
Tuao - Babalog	VIII-2-2-83

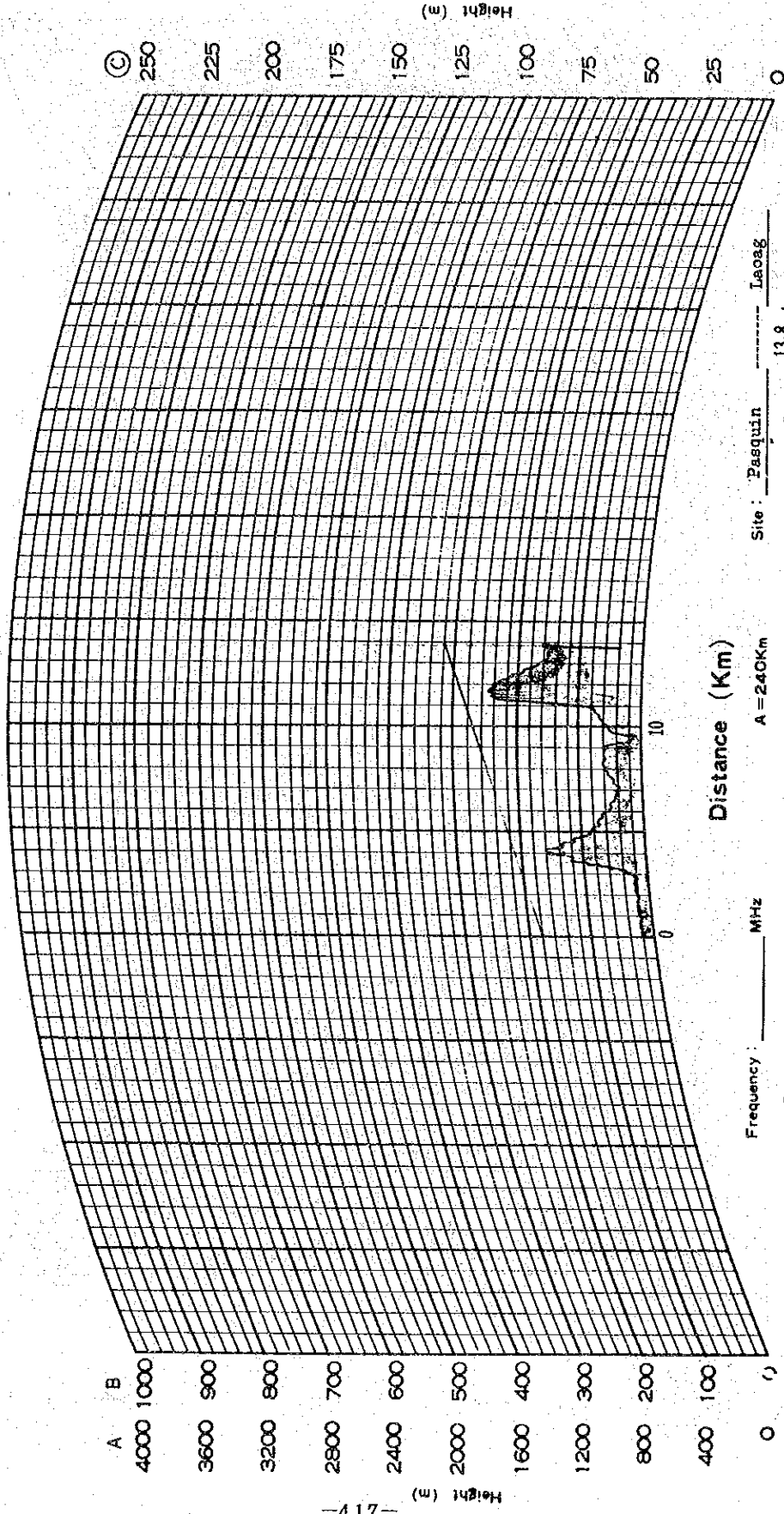
— 続き —

無 線 区 間	図 番
Piat - Tuao	VIII-2-2-84
Ag Lalamnan - Babalog	VIII-2-2-85
Kabugao - Ag Lalamnan	VIII-2-2-86
Pasonglao - Babalog	VIII-2-2-87
Tomlangan - Pasonglao	VIII-2-2-88
Lubuagan - Tominangan	VIII-2-2-89
Cabagan - Tumauni	VIII-2-2-90
Tumauni - Ilagan	VIII-2-2-91
San Mariano - Ilagan	VIII-2-2-92
Callang - San Mateo	VIII-2-2-93
Alicia - San Mateo	VIII-2-2-94
Mallig - Callang	VIII-2-2-95
Santiago - San Mateo	VIII-2-2-96
Jones - Santiago	VIII-2-2-97
San Augustin - Jones	VIII-2-2-98
Maddela - Jones	VIII-2-2-99
Cabarroguis - Santiago	VIII-2-2-100
Banaue - Diadi	VIII-2-2-101
Kiangan - Ibulao	VIII-2-2-102
Ibulao - Banaue	VIII-2-2-102
Mayoyao - Alicia	VIII-2-2-103
Sta. Fe - Dalton Pass	VIII-2-2-104

PATH PROFILE

Name of Route: _____
 No.: Fig VIII-2-2-33
 Drawer: _____
 Date: July 27, 1978

(K=4/3)



Frequency: _____ MHz
 Power: _____ W
 Site: Pasquin Leoaog
 Height: 5 m 13.8 km 40 m
 Antenna height: 40 m 40 m
 A = 240Km
 Full Scale B = 120Km
 C = 60Km

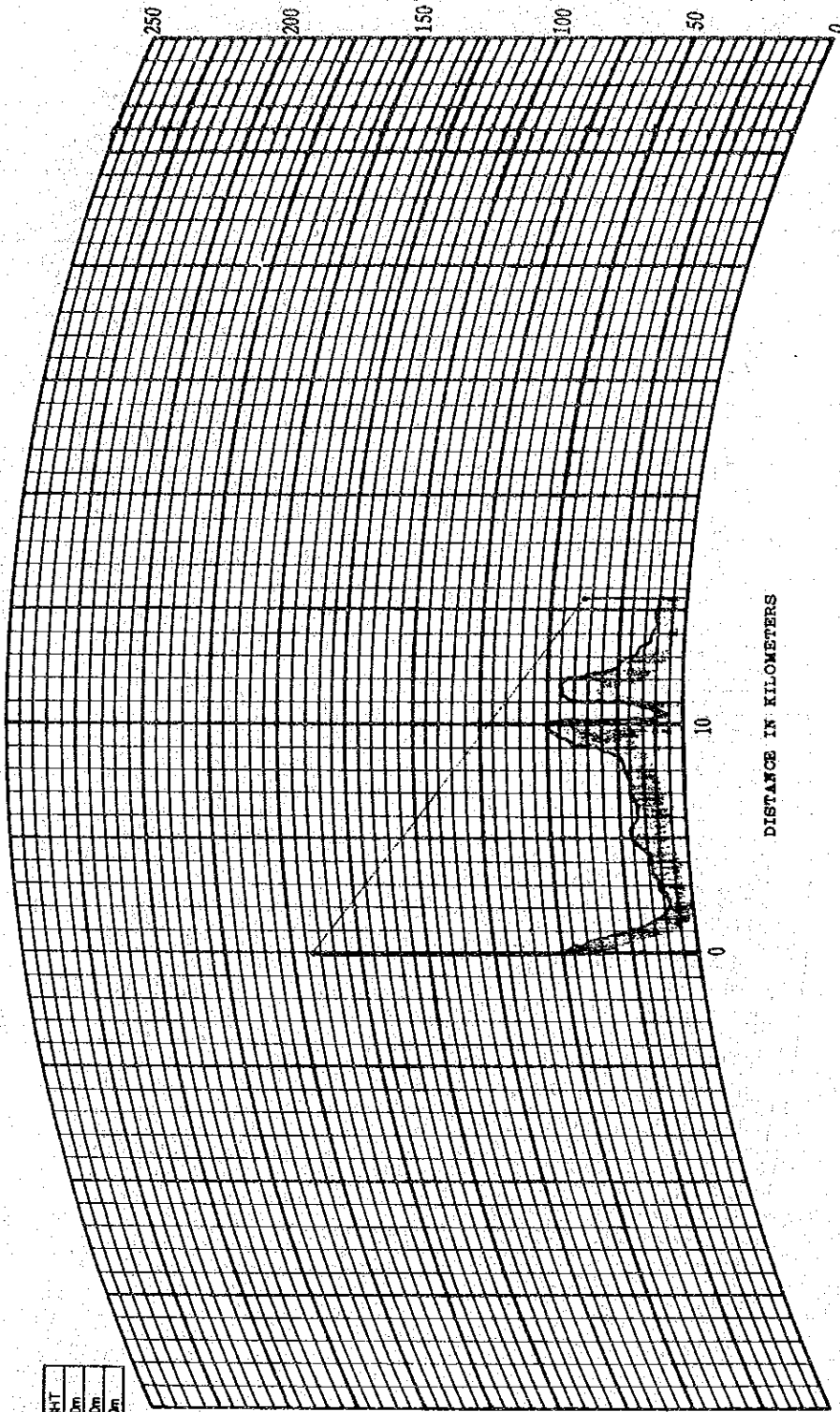
VIII-2-2-33 (Pasquin-Leoaog)

PROFILE MAP
(4/3 RADIUS)

DRAWING NO.: Fig VI-2-2-34

ROUTE: _____

FULL SCALE	
DISTANCE	HEIGHT
o 60km	o 250m
120km	1000m
240km	4000m



SITE: LAOAG SITE: DINGRAS
 LATITUDE: _____
 LONGITUDE: _____
 GROUND ELEVATION: 50 m GROUND ELEVATION: 10 m
 ANTENNA HEIGHT: 90 m ANTENNA HEIGHT: 30 m

DISTANCE: 15.6 km
 HOP NO.: _____

VI-2-2-34 (Laog-Dingras)

Name of Route : _____

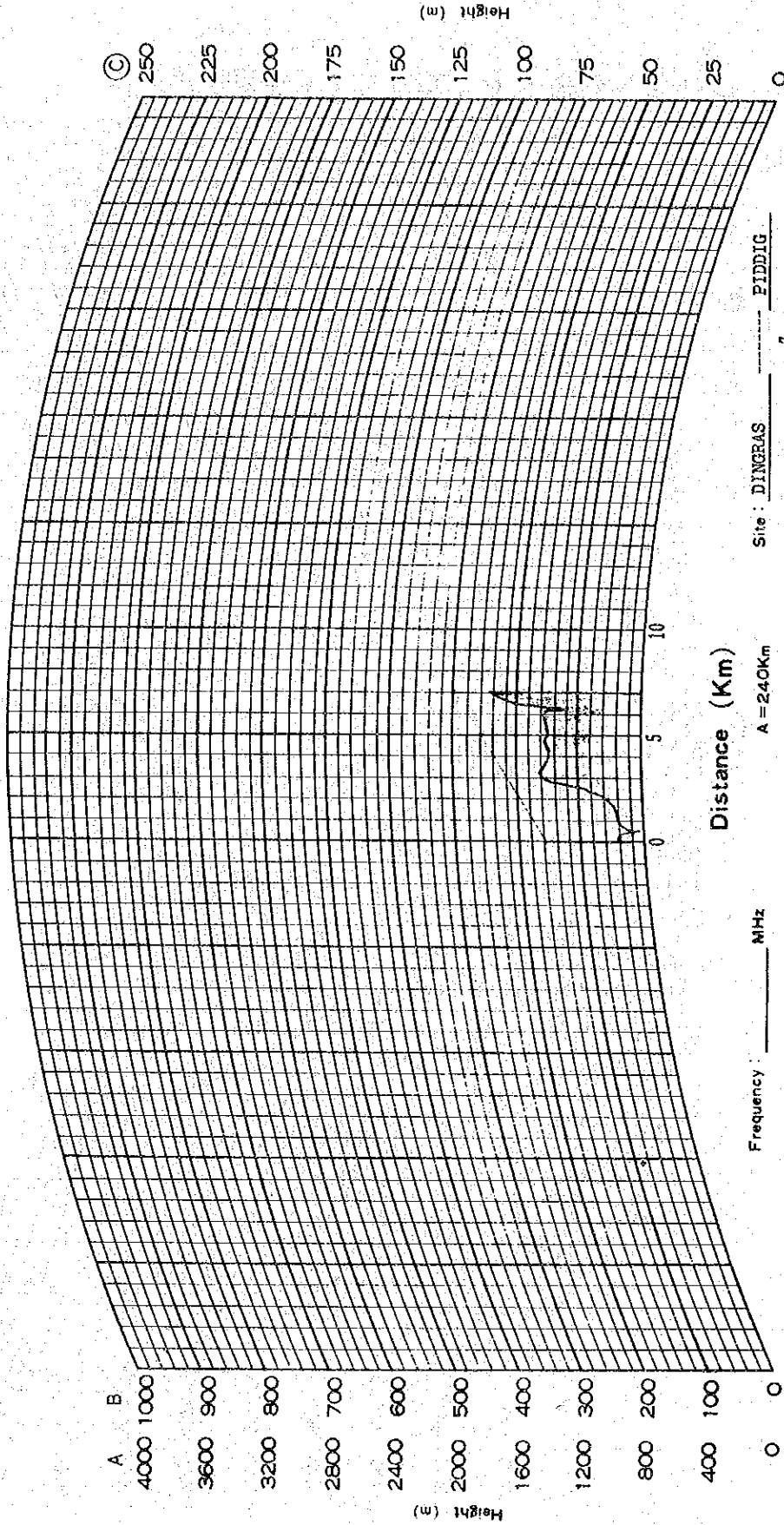
No. : Fig M-2-2-35

Drawer : _____

Date : 78.5.4

PATH PROFILE

(K=4/3)

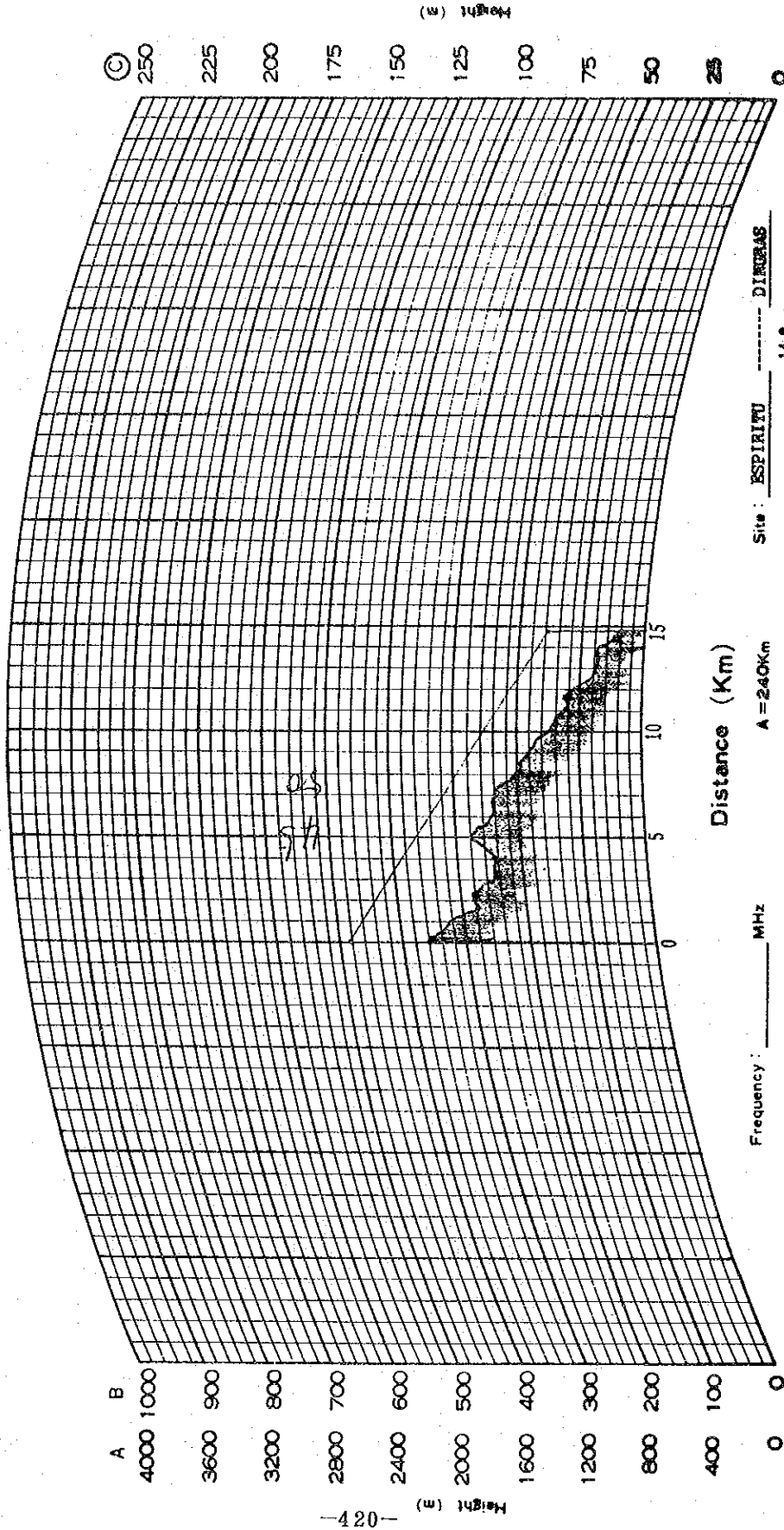


Frequency : _____ MHz
 Power : _____ W
 Site : DINGRAS PIDDIG
 Full Scale A = 240Km B = 120Km Height : 10 m 7 km 60 m
 Antenna height : 30 m 15 m
 M-2-2-35 (Dingras - Piddig)

PATH PROFILE

Name of Route: _____
 No.: Fig VIII-2-2-36
 Drawer: _____
 Date: 78.5.4

(K=4/3)



Frequency: _____ MHz
 Power: _____ W
 Site: ESPIRITU ----- DINGRAS
 Height: 90 m 14.8 km 10 m
 Antenna height: 30 m 30 m
 Full Scale 60Km 60Km

VIII-2-2-36 (Espiritu-Dingras)

Name of Route : _____

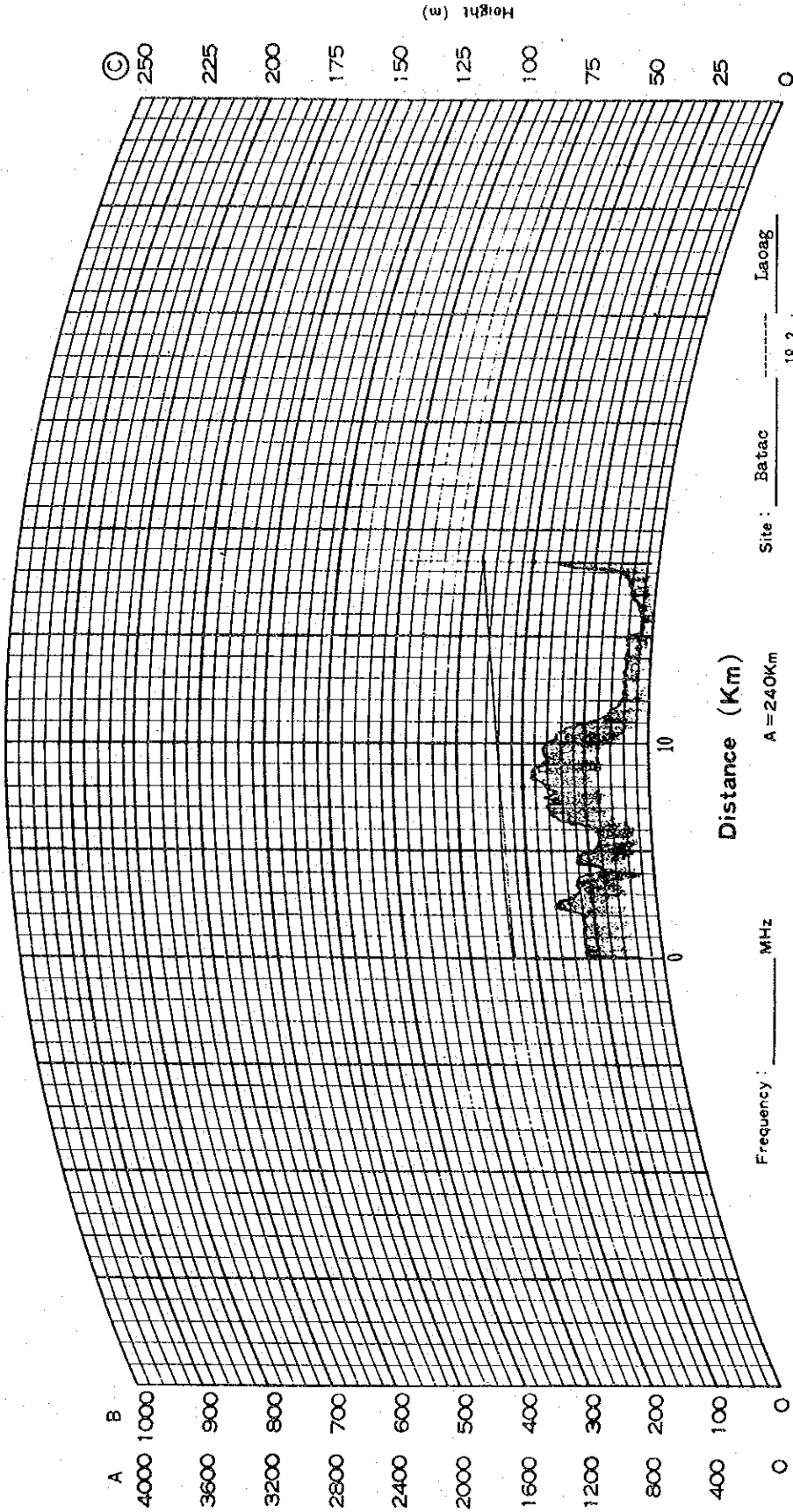
No. : Fig VIII-2-2-37

Drawer : _____

Date : July 27.78

PATH PROFILE

(K=4/3)



Frequency : _____ MHz
 Power : _____ W
 Site : Batac _____ Laoag _____
 Height : 30 m 18.3 km 40 m
 Antenna height : 30 m 30 m
 A = 240Km
 B = 120Km
 C = 60Km
 VIII - 2 - 2 - 37 (Batac - Laoag)