

---

研 究

---

## 陸上移動無線のモデル化による混信妨害予測

塚田 藤夫\* 角川 靖夫\*

(昭和51年3月1日 受理)

### INTERFERENCE PREDICTION BY MODELING THE LAND MOBILE SERVICE

By

Fujio TSUKADA and Yasuo KADOKAWA

This paper describes a method of statistical determination of the interference prediction using the computer simulation which brings about much useful information concerning a plan of frequency assignment for the land mobile service.

This method has the following three features :

- (1) The model of the land mobile service is constructed taking account of the actual operation and specifications of a radio equipment.
- (2) The procedure of clock time in simulation program is based on the measured values of on-frequency time obtained from the actual traffic.
- (3) Input data in computer simulation is used for the stored file having the assigned frequency and the substantial features of each radio station.

An experiment on computer simulation of the commercial FM systems in the 150 MHz band was carried out by using the assigned frequencies in a large city. From its result, the following facts of four interferences (e.g., co-channel, adjacent-channel, intermodulation, and external noise) are clear :

- (1) The external noise interference occupies the greater part of four interferences.
- (2) Co-channel interference often occurs at the special frequencies.
- (3) Interferences of adjacent-channel and intermodulation are negligible.

The proposed method in the land mobile service is available for the efficient frequency utilization on the basis of interference prediction which contains the useful information about the additional frequency assignment, the correction in the effective radiation power and so on.

This method is being continuously studied for its improvement and renewal in comparison with the present system.

---

\*通信機器部通信系研究室

## 1. 緒 言

近年増加の一途をたどる陸上移動無線の需要傾向に対処するため、周波数有効利用の分野での研究が極めて重要になり、既に狭帯域伝送を中心とする検討<sup>(1)</sup>や新周波数帯の開拓<sup>(2)</sup>など、幾つかの研究が進められている。ここで述べる混信妨害予測も、周波数有効利用のための周波数割り当て法を追求する手段として、以前から提案<sup>(3)</sup>されているものの一つである。

しかしながら、混信妨害予測を積極的に利用するには妥当性、信頼性等に対する十分な配慮を必要とし、これらを満足する混信妨害予測法の確立は現在まだなされていない。特に陸上移動無線システムでの混信妨害予測は、無線局や運用法に移動無線固有の複雑さがあり、一層困難なものとなっている。

諸外国でも近年混信妨害予測を考慮したチャンネルプランが検討され、報告書も幾つか発表<sup>(4)</sup>されている。これらのほとんどは、計算機シミュレーションによる統計処理の手法を用いているが、まだシステムモデルに不備な点も多く、十分なものとはなっていない。

本論文では以上述べたことを考慮し、混信妨害予測として次に述べる3つの大きな特徴をもつ、計算機シミュレーションでの方法を提案している。

第1の特徴は、我が国における陸上移動無線システムを混信妨害予測の面から注目し、システムモデルを伝搬、受信機、運用の3つの大きなモデルで構成したことにある。特に受信機のモデル化には、理論値よりもむしろ実測値を考慮し、また扱っている数値は我が国における一つの基準として、他の方面での活用も期待できる。

第2の特徴は、時計(時間軸)を導入したことである。これにより各周波数の時間変化に対応する状態変化のは握が可能となり、動的な混信妨害予測の充実に大きく寄与するものと考えられる。なおこの時計については、実測で得た通信時間に基づいて時刻を進める、可変時間法を用いている。

第3の特徴は、入力データに周波数とこれに関する10数項目の無線局の特徴を用いたことである。これは従来、周波数関係でのみ論じられることが多かった混信妨害予測を、より実用的なものにするための考慮である。

本論文では、以上の特徴をもつVHF帯FM陸上移動無線システムを対象とした、混信妨害予測法とそのシミュレーション実験の例について述べる。なお実験結果では外来雑音の影響が顕著であり、相互変調混信妨害の発生は皆無である。この結果は、動的な混信妨害予測の反映と考えられるが、今後十分な検討が必要である。

またシミュレーションでは、対象とする地域での混信妨害予測はもとより、周波数の追加割り当てに関する影

響、無線局の置局の配置、空中線電力、アンテナ高あるいは待ち時間等についても検討が可能で、今後の効率的な周波数割り当て手段として活用が期待できる。

## 2. 陸上移動無線システムのモデル化

陸上移動無線システムの適確な混信妨害予測には、単なる周波数関係での検討では不十分で (1)使用するパラメータの値が、ある確率で与えられる場合の取り扱い (2)時間変化によるシステムの状態変化 (3)運用されている無線局の特徴、などを考慮しなければならない。これらの観点からシステムは伝搬、受信機、運用の三項目が基本であると考えられる。したがって、ここではシステムモデルを伝搬、受信機、運用の三つの大きなモデルで構成し、各モデルには実際の運用状況が十分反映されるよう考慮している。

### 2.1 伝搬モデル

伝搬モデルとは、伝搬路のモデル化によって導かれる、電界強度計算のための数式モデルのことである。伝搬条件としては、(1)高低差の少ない地形 (2)ビル、民家等が比較的密集している中小都市 (3)最低送受信アンテナ高 1.5m (4)最短伝搬距離 0.3km、を仮定している。(3)項は自動車に設置するアンテナ高を考慮したものであり、(4)項は送受信アンテナが接近した場合の、複雑な伝搬特性の考慮を避けるため設けた条件である。

以上の伝搬条件に適用可能な電界強度計算法として、奥村らの方法<sup>(5)</sup>及び Egli の方法<sup>(6)</sup>がある。

奥村らの方法は自由空間での電界強度を基本として、都市域での伝搬損失、送受信アンテナ高利得、電波到来方向別損失など運用状況に応じて補正し、最終的な電界強度の平均値を推定するものである。この方法は、パラメータが多いため運用状況を詳細に考慮でき信頼性の向上は期待できるが、反面使用法が複雑であり、伝搬距離 1km未満及び送信アンテナ高が低い場合(20m未満)の処理については触れていない。

一方、Egli の方法は平面大地の電界強度を基準として、都市域での損失を実測値の統計結果に基づいて補正したもので、極めて単純な計算式で示されている。

両者の方法を比べると、前者の場合シミュレーションでの電界強度計算には複雑すぎるため、ここでは後者の Egli の方法を基本とするが、アンテナ高の利得計算に奥村らの条件を一部取り入れている。Egli の方法によれば送信アンテナ高に対する利得は 6 dB/Oct、受信アンテナ高に対しては 30 feet (約 9m) まで 3 dB/Oct、これを超えると 6 dB/Oct となる。一方、奥村らの方法では伝搬距離で若干異なるが、送信アンテナ高が 20m 以上ではほぼ 6 dB/Oct (20m未満については記述がない)、受信アンテナでは 1.5m~5m ではほぼ 3 dB/Oct、5m

~10mでおよそ6 dB/Oct である。

以上のように受信アンテナ高での相対利得が両者間で若干相違している。これは建築様式に関係すると考えられることから、ここでは Egli の計算式を条件付きで用いることとし、これを(1)式に示す。

$$E_{50} = 11.78 h_t h_r \sqrt{P} / d^2 \quad (\mu V/m)$$

ただし  $h_t, h_r \geq 5$  .....(1)

ここで  $h_t, h_r$ : 送受信アンテナ高 (m)

$P$ : 実効ふく射電力 (W)

$d$ : 距離 (km)

$E_{50}$ : 電界強度平均値 ( $\mu V/m$ )

なお条件として  $h_t, h_r$  が 5 m 未満の場合は、それぞれ  $\sqrt{5 h_t}, \sqrt{5 h_r}$  として(1)式の  $h_t, h_r$  に代入し計算する。

第1図に各方法での電界強度の計算例を示す。奥村らの方法は運用状況にもよるが、一般的に Egli の値よりもかなり低い値を示す。これは実測の対象となった都市構造の差によるもので、ある程度の推定値の相違は予想される。

以上述べたように基本となる伝搬モデルは(1)式で構成するが、場所等による変動量を考慮して最終的な値の決定には奥村, Egli らの結果を参考<sup>(7)</sup>に、標準偏差 9.0

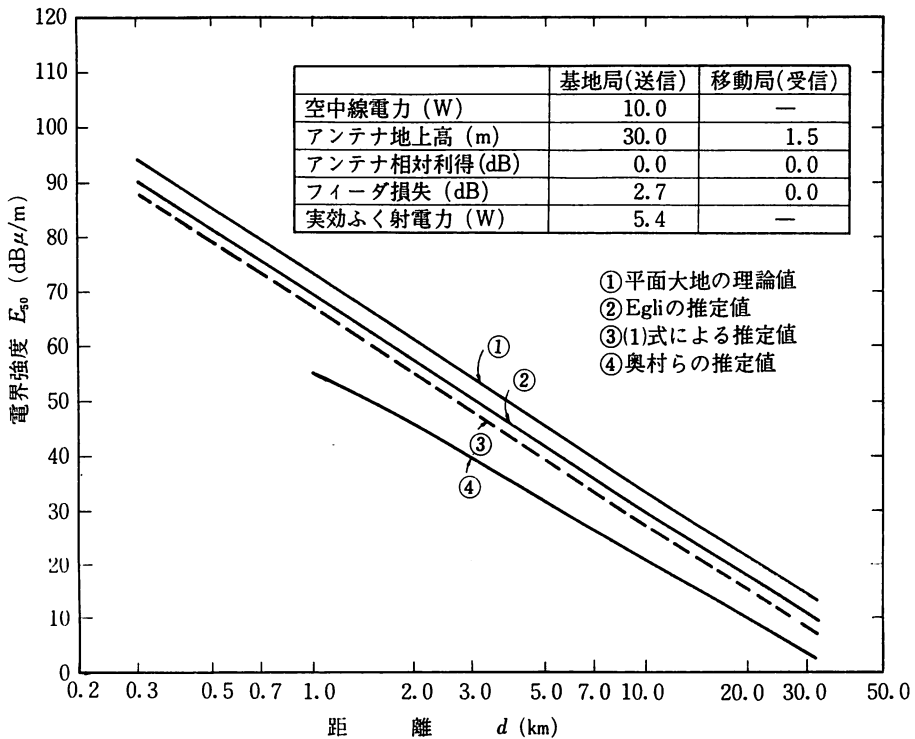
dB の dB-正規分布に従う乱数 (3.3 節で詳述する) を用いている。

### 2.2 受信機モデル

一般に自己回線 (以下「希望波」と呼ぶ) が他回線 (以下「非希望波」と呼ぶ) から混信妨害\* を受ける場合、非希望波の送信機に原因するもの (例えばスプリアス発射) と希望波の受信機に原因するもの (例えば感度低下現象) とに大別できる。後者の場合は、非希望波の影響がその受信機に特性あるいは希望波、非希望波のレベル関係で多様に変化する。昭和49年度の調査資料<sup>(8)</sup>によると、30MHz を超える周波数での混信妨害の原因は、発生頻度の高い順に同一周波数、スプリアス発射、雑音障害、近接周波数、相互変調となっている。この結果をみると、上位2つを除いては受信機に特性に左右される項目であり、またスプリアス発射は受信機側の混信現象からみれば、同一周波数あるいは近接周波数混信と同じ扱いができる。

以上のことを考慮して、受信機モデルは同一周波数、近接周波数、相互変調、雑音の4つの耐混信妨害特性で構成する。また耐混信妨害特性のモデル化には、理論値

\*ここで混信妨害とは、混信による妨害と雑音による妨害 (雑音妨害) をいう。妨害とは混信、雑音により希望波の受信品質が所定の値以下に劣化した状態をいう。以下同様。



第1図 電界強度の計算例

を用いることも可能であるが<sup>(9)</sup>、ここでは実際の値である実測値を参考に、受信機の低周波出力所要 SN 比と希望波、非希望波の入力電圧比（以下「DU 比」と呼ぶ）の関係をを用いている。なお所要 SN 比（Nには非希望波の復調信号及び高調波歪等も含む。以下同様）は12 dB としているが、この値は諸外国の陸上移動無線システムの測定法のなかでも検討されているものである<sup>(10)</sup>。

2.2.1 高周波部、中間周波部選択度特性

近接周波数、相互変調両混信妨害は、受信機の幾つかの特性のなかで、特に高周波部の選択度特性が大きく影響する。この項では混信妨害測定結果を一般的な耐混信妨害特性に拡張するため、(2)式に示す高周波部選択度特性を仮定している。なお同式は、単一同調回路の選択度特性を表す基本式<sup>(11)</sup>とその接続段数からなっている<sup>(9)</sup>。

$$A = 10N \log_{10}(1 + 4Q^2(\Delta f/f_0)^2) \text{ (dB)}$$

ただし  $(\Delta f/f_0) \ll 1$  .....(2)

ここで  $f_0$ : 希望波周波数 (MHz)

$\Delta f$ : 非希望波周波数  $f$  と  $f_0$  との差周波数 (MHz)

$Q$ : 単一同調回路の  $Q$

$N$ : 単一同調回路の接続段数

$A$ :  $f_0$  に対する  $f$  での相対減衰量 (dB)

なお本論文では  $Q=75$ ,  $N=6$  を用いているが、これは高周波部周波数特性の実測結果<sup>(12), (13)</sup>と(2)式で計算さ

れる特性との近似がよいことによる。実測結果と(2)式の計算結果を第2図に示す。

次に中間周波部の選択度特性は、現在の 20 kHz セレクションの陸上移動無線システムを考慮し、中心周波数  $\pm 8$  kHz の矩形特性としている。CN 比の計算など雑音量に関する記述はすべてこの値を用いている。

2.2.2 耐同一周波数混信妨害特性

同一周波数による混信妨害は、希望波及びこれと同一周波数（ここでは  $f_0 \pm 8$  kHz 以内の周波数をいう）の非希望波とが同時に受信されることに原因する。しかしこの混信妨害の影響は、希望波と非希望波の相対的なレベル関係に依存することが知られている<sup>(14)</sup>。

ここでは実測結果などを参考にして、同一周波数混信妨害は(3)式の条件を満足する場合に発生するものとする。

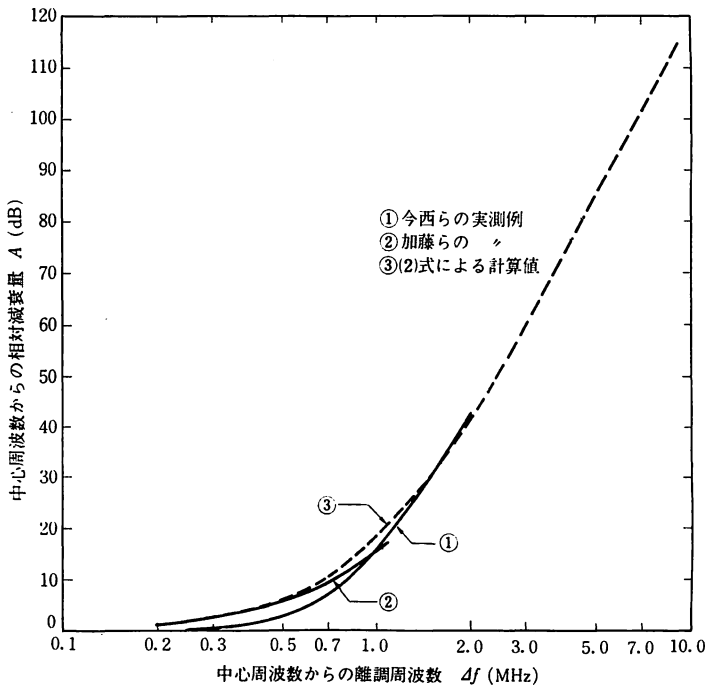
$$U_c > U_{CMAX} = \begin{cases} 2(D-6) \text{ (dB}\mu) & \text{ただし } 10\text{dB}\mu > D \geq 0 \text{ dB}\mu \\ D-2 \text{ (dB}\mu) & \text{ただし } D \geq 10\text{dB}\mu \end{cases}$$

.....(3)

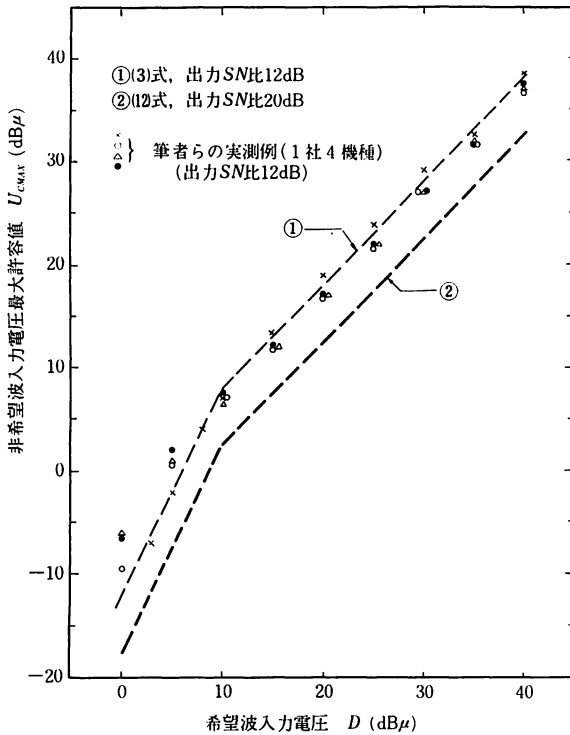
ここで  $D$ : 希望波入力電圧 (dBμ)\*

$U_{CMAX}$ : 低周波出力所要 SN 比 12dB を維持する非希望波入力電圧最大許容値

\*ここでは受信機入力インピーダンス 50Ω を仮定し、 $0 \text{ dB}\mu = -113\text{dBm}$  の関係にある。以下同様。



第2図 高周波部周波数特性予測曲線 (N=6, Q=75 の場合)



第3図 同一周波数混信妨害の非希望波入力電圧最大許容値予測曲線

(dBμ)

$U_C$ : 希望波と同一周波数の非希望波入力電圧 (dBμ)

(3)式の計算例及び2, 3の機器の測定結果を第3図に示す。

2.2.3 耐近接周波数混信妨害特性

希望波の近接周波数(2.2.2項で定義した同一周波数は除く)で高いレベルのものが受信機に加わると、希望波の感度低下現象を生ずる。この原因は増幅器の飽和など幾つか考えられている<sup>(15), (16)</sup>。ここではこれら個々の原因には触れず実測結果<sup>(17)</sup>に基づいて、隣接波 ( $\Delta f = 20\text{kHz}$ ) の混信妨害は(4)式を満足する場合に発生するものとする。

$$U'_D > U'_{DMAX} = 85.5 + (3/4)D \text{ (dB}\mu\text{)}$$

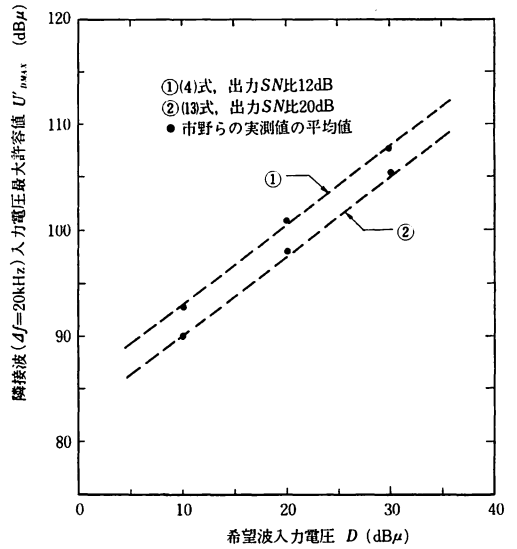
$$\text{ただし } 30\text{dB}\mu \geq D \geq 10\text{dB}\mu \text{ .....(4)}$$

ここで  $U'_{DMAX}$ : 低周波出力所要 SN 比 12dB を維持する隣接波入力電圧最大許容値 (dBμ)

$U'_D$ : 隣接波入力電圧 (dBμ)

(4)式の計算例及び実測結果を第4図に示す。

また任意の近接周波数の混信妨害は、(4)式に(2)式の高周波部周波数特性を考慮した、(5)式の条件を満足する場



第4図 近接周波数混信妨害の実測値の近似による隣接波入力電圧最大許容値予測曲線

合に発生するものとする。

$$U_D > U_{DMAX} = U'_{DMAX} + A \text{ (dB}\mu\text{)} \text{ .....(5)}$$

ここで  $A$ :  $f$  と  $f_0$  との差周波数  $\Delta f$  を(2)式に与えて求まる減衰量 (dB)

$U_{DMAX}$ : 低周波出力所要 SN 比 12dB を維持する非希望波入力電圧最大許容値 (dBμ)

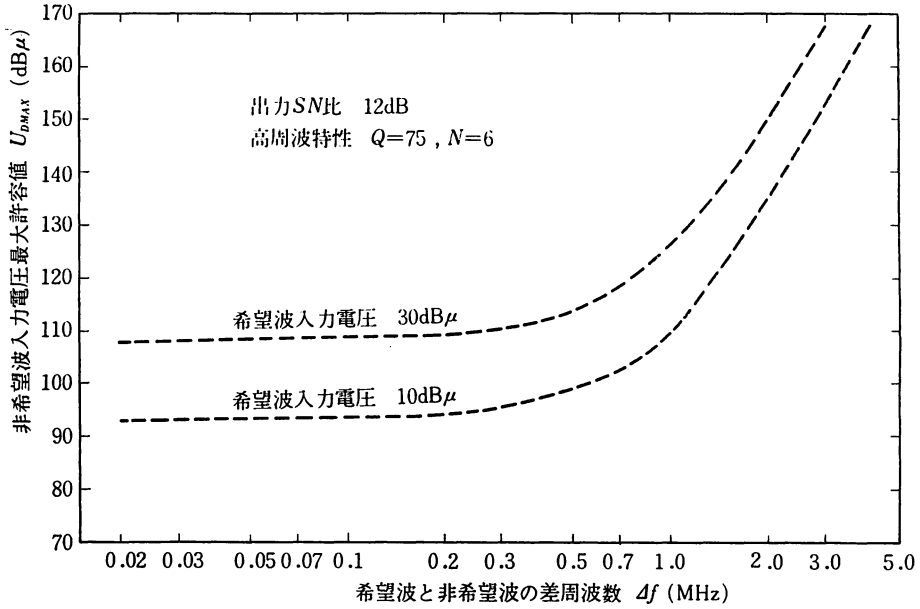
$U_D$ : 非希望波入力電圧 (dBμ)

第5図に希望波入力電圧をパラメータとして、(5)式で求めた非希望波入力電圧最大許容値の一例を示す。

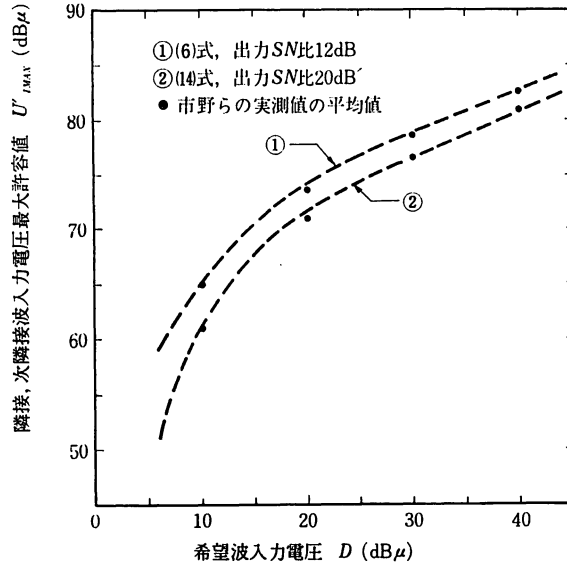
2.2.4 耐相互変調混信妨害特性

受信機での相互変調とは従来から知られているように、希望波周波数とは異なる2波あるいはそれ以上の周波数が受信機の高周波部非直線回路に作用して、希望波帯域内に落ち込む周波数を発生する現象である。これは3次、5次、……、I型、II型、……のように歪次数又は組み合わせ波数で分類されている<sup>(18)</sup>。

ここで対象とする相互変調混信妨害は、その影響が最も大きいと考えられる3次I型(周波数関係は  $f'_0 = 2f_1 - f_2$ , ただし  $|f'_0 - f_0| \leq 8\text{kHz}$ , またレベル関係は  $U_{IM} = 2U_1 + U_2 + a$ , なお,  $U_{IM}$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  はそれぞれ  $f'_0$ ,  $f_1$ ,  $f_2$  に対応するレベル,  $a$  は非直線係数, 単位は各 dB) とする。この型の混信妨害の検討には、非直線モデルによる理論値を用いることも可能であるが<sup>(19)</sup>, ここでは隣接波、次隣接波 ( $\Delta f_2 = 40\text{kHz}$ ) での実測値<sup>(17)</sup> を5次の多項式で近似した(6)式を用いることとし隣接、次隣接波による相互変調混信妨害は、同式を満足する場合に発生するものとする。



第5図 近接周波数混信妨害の非希望波入力電圧最大許容値予測曲線



第6図 相互変調混信妨害の実測値の近似による隣接、次隣接波入力電圧最大許容値予測曲線

$$\begin{aligned}
 U'_I > U'_{IMAX} &= 44.7 + 3.02D - 0.126D^2 \\
 &+ 0.311 \times 10^{-2} D^3 - 0.397 \times 10^{-4} D^4 \\
 &+ 0.207 \times 10^{-6} D^5 \text{ (dB}\mu\text{)} \\
 &\text{ただし } 40\text{dB}\mu \geq D \geq 10\text{dB}\mu \\
 &\dots\dots(6)
 \end{aligned}$$

ここで  $U'_{IMAX}$  : 低周波出力所要 SN 比 12dB を維持する隣接、次隣接波入力電圧最大許容値 (dB $\mu$ )

$U'_I$  : 隣接波入力電圧  $U_1$  と次隣接入力電圧  $U_2$  を  $(2U_1 + U_2)/3$  で求めた値 (dB $\mu$ )

第6図に実測結果及び(6)式の計算例を示す。  
また  $f'_0 = 2f_1 - f_2$  の関係にある任意の2周波数  $f_1, f_2$  の相互変調混信妨害は、(6)式に(2)式の高周波部周波数特性を考慮した(7)式を満足する場合に発生するものとする。

$$U_i > U_{IMAX} = (2A_1 + A_2 + 3U'_{IMAX}) / 3 \text{ (dB}\mu\text{)} \quad \dots\dots(7)$$

ここで  $A_1, A_2: f_1, f_2$  と  $f_0$  との差周波数  $\Delta f_1, \Delta f_2$  を(2)式の  $\Delta f$  に代入して求まる減衰量 (dB)

$U_{IMAX}$ : 低周波出力所要 SN 比 12dB を維持する  
非希望波入力電圧最大許容値 (dB $\mu$ )

$U_1: f_1, f_2$  に対応する非希望波入力電圧  $U_1,$   
 $U_2$  を  $(2U_1 + U_2) / 3$  で求めた値 (dB $\mu$ )

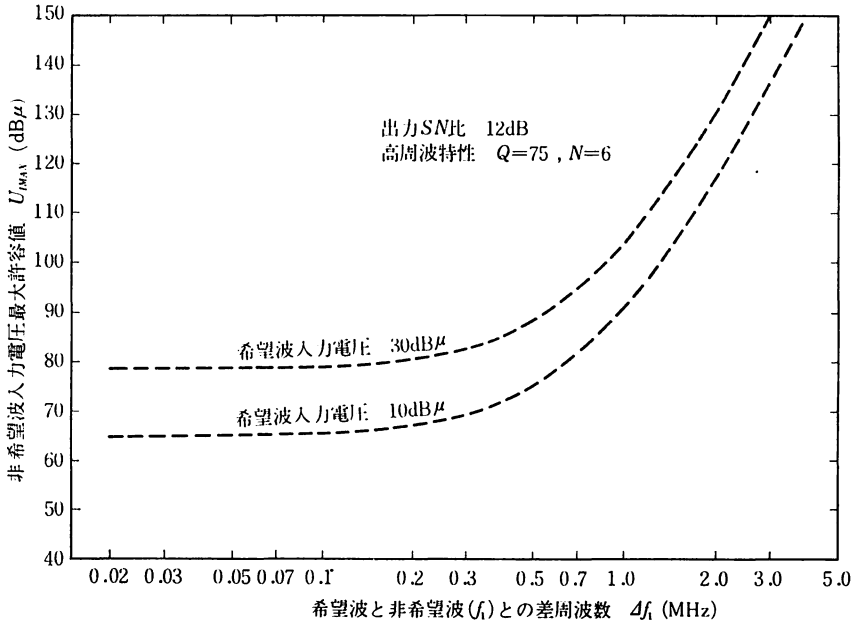
第7図に希望波入力電圧をパラメータとして、(7)式で

求めた非希望波入力電圧最大許容値の一例を示す。

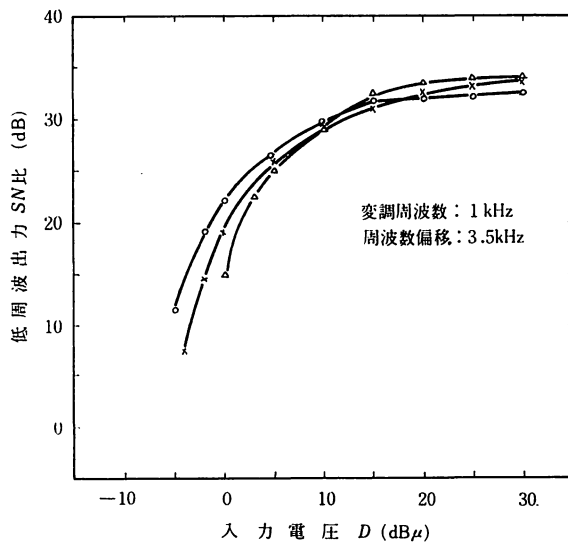
2.2.5 耐雑音妨害特性

一般に雑音妨害は、受信機の内部で発生する内部雑音と、外部から入る外来雑音に大別できる。前者は帯域制限されたランダム雑音として取り扱いが可能であるが、外来雑音はその性質が発生源で種々異なり、受信機への影響もまだ明確になっていない。したがってここでは外来雑音もランダム雑音と仮定する。

(1) 内部雑音



第7図 相互変調 (3次I型) 混信妨害の非希望波入力電圧最大許容値予測曲線

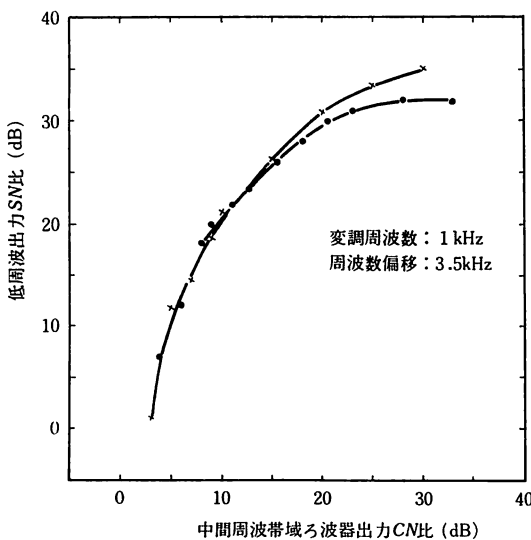


第8図 入力電圧対出力 SN 比の実測例  
(筆者らの実測による (1社3機種))

外来雑音が無視できる地域でも、希望波の入力電圧がある値以下になると、受信機の内部雑音で通信が不能となる。ここでは低周波出力所要 SN 比 12dB を得るに必要な入力電圧を、市販の二、三の受信機の測定結果を参考として設定する。第 8 図に実測例を示すが、同図によれば受信機の所要入力電圧は  $-5\text{dB}\mu\sim 0\text{dB}\mu$  の範囲と考えられるので、他の混信妨害との関係からこの値を  $0\text{dB}\mu$  とする。この値は所要 SN 比 12dB を得る受信機の感度に相当する。

## (2) 外来雑音

外来雑音は人間生活に付随して発生する人工雑音が支配的で、特にこのなかで自動車の点火プラグから発生する、いわゆるイグニッションノイズは 150MHz 帯では無視できない存在である。資料<sup>(20),(21)</sup>によれば、雑音強度は自動車の通過台数と密接に関係し、その分布は正規分布に近いと認められる。ここではこれらの資料を参考として外来雑音を推定するが、この値は検波回路の時定数が充電 1 ms、放電 600ms の準せん頭値での測定結果に基づいている。外来雑音妨害は希望波入力電圧とこの推定法で求めた外来雑音入力電圧との比が、4.2dB 未満の場合に発生するものとする。この値は低周波出力所要 SN 比 12dB を得るに必要な CN 比で、外来雑音にランダム雑音を仮定し、中間周波帯域幅 16kHz、低周波帯域幅 3 kHz、周波数偏移 3.5kHz として理論的に求めた値であり<sup>(22)</sup>、第 9 図に示した市販機器の CN 比対 SN 比の実測結果ともほぼ一致する。なお同図の CN 比の値は中間周波帯域濾波器出力部のもので、雑音には受信機内部雑音を用いている。



第 9 図 CN 比対出力 SN 比の実測例  
(筆者らの実測による (1 社 2 機種))

## 2.3 運用モデル

従来の混信妨害予測は主に周波数関係のみ行われ、使用する無線局の特徴やその運用法には言及しない場合が多々ある。しかし昨今の周波数の需要傾向からみて、一層効率的な周波数の分配が望まれ、今後の混信妨害予測には電力、アンテナ高、種別などとその運用法、例えば通信の方法や呼数、保留時間 (2.3.2 項で詳述する) 等の多方面にわたる配慮が重要な要素となると考えられる。ここでは混信妨害予測の対象とする無線局とその運用法のモデル化について述べる。

### 2.3.1 無線局のファイリング

ある地域で既に割り当てられている周波数には、その無線局の無線局事項書 (以下「事項書」と略称する) 及び工事設計書 (以下「設計書」と略称する) が管轄の電波監理局に保管されている。これらの事項書、設計書から無線局の特徴を読み取り、入力データとしての無線局リストを作成する。この操作をここでは無線局のファイリングと呼び、作成されたファイルを「マスターファイル」と呼ぶ。

マスターファイルは幾つかのレコードで構成され、1レコードは 21 項目からなる。各項目には免許人名、周波数、実効ふく射電力、種別、アンテナ地上高、局数などのほか運用に関するものがある。この 1レコードを以下「無線局単位」と呼ぶ。

各レコードの項目を便宜上一般項目と運用項目に大別すると、前者には事項書、設計書の記入事項である免許人名、周波数などのほか電気的特性の記述が含まれ、後者には事項書、設計書から判断して特殊な運用方法\* とみられるものの記述が含まれる。主な項目について、その意味と各項目内で種類、値等を指定するのに用いるコードについて次に述べる。

#### (1) 一般項目

種別：無線局単位の種別を示すもので固定局、基地局、陸上移動局、携帯基地局、携帯局、簡易無線局 1, 2 の 7 種別を用いる。種別を示すコードを「種別コード」と呼ぶ。

無線局単位識別：無線局単位を識別するための名称で、これを「識別コード」と呼ぶ。

通信目的：無線局単位の通信目的業務を示す。なお事項書の通信目的業務は複雑多岐であるため、便宜上以下に示す 3 種に分類してコードで示す。コード 1 は警察、消防業務、コード 2 は電力、金融業務、コード 3 はその他の業務である。なおこのコードを「目的コード」と呼ぶ。

\* ここでは 1 周波数による単信方式を一般的な運用方法とし、これ以外の方法を特殊な運用として扱う。

設置場所：無線局単位の設置場所を示すもので町名、番地などに対応する論理番地（2.3.3項で詳述する）をコードとして用いるが、特殊なコードとして移動する無線局単位及び対象地域外に設置された無線局単位に関するものがある。これらのコードを「設置場所コード」と呼ぶ。

アンテナ地上高：アンテナの地上高を示すもので、申請されたアンテナ海拔高と地図から求めたアンテナ設置場所の海拔高の差をコードに用いる。山頂に設置された場合も同様に扱う。このコードを「アンテナ地上高コード」と呼ぶ。

指向性：アンテナの最大ふく射方向を示すもので、真北を基準に45度づつに区切った8個の領域をコードとして用いる。このコードを「指向性コード」と呼ぶ。

局数：一つの無線局単位に含まれる同一仕様の無線局数を示す。局数をコードに用い、これを「局数コード」と呼ぶ。

(2) 運用項目

リンク：中継局を介して通信することを示すもので、これを示すコードを「リンクコード」と呼ぶ。

2周波方式：同一無線局で異なる送受信周波数を用いて通信することを示す。この方式の装備の有無を示すコードを「2周波方式コード」と呼ぶ。

マルチチャンネル：同一無線局が複数の周波数をもつとき、これをマルチチャンネルの局といい、周波数の数に相当する無線局単位を作成する。この場合、各無線局単位がマルチチャンネルの局に属するかどうかを示すコードを「マルチチャンネルコード」と呼ぶ。

マルチアンテナ：同一無線局が実効ふく射電力、高さ等異なる複数のアンテナを使用する場合、マルチアンテナを装備しているという。このマルチアンテナの装備の有無を示すコードを「マルチアンテナコード」と呼ぶ。

2.3.2 トラフィックの処理

2.2節で述べた同一周波数、近接周波数の各混信妨害は、希望波と非希望波の最低2波の同時運用が必要であり、特に相互変調混信妨害は関係する3波の同時運用が必要である。この点に注目すると混信妨害の発生率は、各周波数の利用率や運用されている無線局の特徴で大きく変化すると考えられる。ここでは混信妨害の発生率に、大きな影響を与えると考えられる、周波数の利用率と無線局のON率について考慮する。

(1) 周波数の利用率

ある割り当て周波数の時間区間 ( $t, t+\tau$ ) での延べ保留時間（保留時間とは呼の生起時刻と終了時刻の間の時間をいう）を  $T$  としたとき、 $T/\tau$  をその割り当て周波数の「利用率」と呼ぶ。利用率の平均値は、平均保留時間と平均呼数及び単位観測時間で定まる。

有線電話の分野では保留時間、呼数などは以前から調査検討され、トラフィックの解析では保留時間に指数分布、呼の生起にはポアソン分布を用いている<sup>(23)</sup>。

これに対して我が国の陸上移動無線システムの保留時間、呼数等の調査資料は、電波監理局のもの<sup>(24)</sup> が唯一と考えられる。同資料によれば平均保留時間、平均呼数など業務ごとに大きな特徴をもつが、各業務の保留時間分布はほぼ指数分布をしている。第1表にこの資料を業務

第1表 保留時間等の観測結果（文献（24）を業務別に平均して示している）

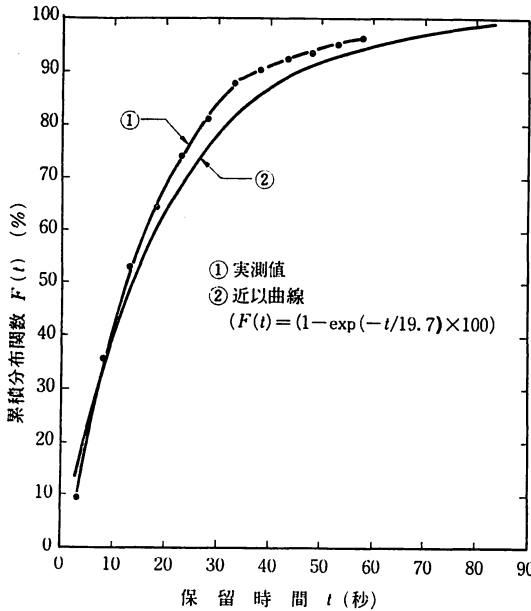
業務名	サンプル周波数の数	平均保留時間 (秒)	平均呼数 (回/時間)	平均利用率 (%)	最 繁 時			目的コード
					*最大利用率 (%)	*平均保留時間 (秒)	**推定呼数 (回/時間)	
A	50	23.64	19.4	12.8	44.0	29.0	54.6	—
B	29	38.59	10.6	11.4	50.0	45.0	40.0	3
C	15	9.40	77.2	20.2	36.0	3.0	432.0	3
D	10	25.80	9.6	6.9	25.0	40.0	22.5	2
E	6	17.33	39.2	18.9	41.0	23.0	64.2	1
F	5	40.20	3.3	3.7	30.0	30.0	36.0	2
G	3	20.00	9.7	5.4	24.0	26.0	33.2	2
H	1	15.80	32.0	14.0	14.0	15.8	32.0	3
I	2	41.00	4.7	5.4	15.0	35.0	15.4	2
J	6	23.00	27.9	17.8	46.0	25.0	66.2	1

注1. \*印は同一業務内での最大利用率のものを示す

注2. \*\*印の推定呼数は次式により求めた値である。推定呼数=最大利用率×3,600/平均保留時間

第2表 保留時間の実測例(筆者らの実測による)

	延べ観測時間	サンプル呼数	平均保留時間(秒)	標準偏差(秒)
A 業務	4時間	181	9.78	4.94
B 業務	10時間	231	25.68	23.34
C 業務	4時間	376	19.72	16.05



第10図 保留時間の累積分布 (C業務の筆者らの実測値を使用)

ごとにまとめ保留時間、呼数などを算術平均して示す。なお第2表及び第10図には筆者らの観測結果を示す。同図はある業務を実測した場合の保留時間累積分布を示しているが、この分布は指数分布で近似できる。また第2表では2,3の業務の平均保留時間を示したが、これらの値は電波監理局の資料ともよく一致している。

以上の結果を参考に、シミュレーションでは2.3.1項で述べた目的コード別に平均保留時間、平均呼数及び平均利用率を設定する。また保留時間には指数分布、呼の生起にはポアソン分布を用いる。

(2) 無線局のON率

延べ保留時間  $T$  は電波発射の延べ時間にほぼ等しい値を示すが、電波発射の状況についてはなにも示さない。一方、割り当て周波数1波に多数の無線局が所属する場合、これらの無線局の実効ふく射電力、種別等はかなり多様である。したがって混信妨害予測には、電波が発射される無線局の特徴を考慮することが極めて重要と考えられる。

ここでは同一割り当て周波数に所属する無線局単位について、電波法で許されるすべての通信可能な無線局単位の組み合わせを求め、各組み合わせの送信無線局単位に、電波の発射時間の割合を与える。以下、各無線局単位の電波発射時間の割合を「ON率」と呼び、可能な組み合わせとそのON率を示したファイルを「トランザクションファイル」と呼ぶ。

ON率については、基礎となる資料を入手していないため、ここでは割り当て周波数に所属する無線局がほぼ等しい時間割合で、電波を発射すると仮定する\*。以下にON率計算法を示す。

免許人名や周波数が等しい、幾つかの基地局無線局単位(以下「B」と呼ぶ)と移動局無線局単位(以下「M」と呼ぶ)がある場合、これを識別コード  $i, j (i=1, 2, \dots, l_1, j=1, 2, \dots, l_2)$  は同一割り当て周波数に所属の各無線局単位総数)を用いてそれぞれ  $B_i, M_j$  で表し、それらの無線局単位に所属する局数を  $n(B_i), n(M_j)$  とすれば、同一割り当て周波数に所属する総局数  $N$  は次式で求まる。

$$N = \sum_{i=1}^{l_1} n(B_i) + \sum_{j=1}^{l_2} n(M_j) \quad \dots\dots (8.1)$$

また総局数に対する各無線局単位所属局数の割合を  $p(B_i), p(M_j)$  とすれば、これらは次式で求まる。

$$\left. \begin{aligned} p(B_i) &= n(B_i) / N \\ p(M_j) &= n(M_j) / N \end{aligned} \right\} \dots\dots (8.2)$$

以上の結果を用いて、局数と相対する無線局のすべての組み合わせを考慮した荷重値  $p_w$  を次式で与える。

$$p_w = \begin{cases} 2 \cdot \left\{ \sum_{i=1}^{l_1} p(B_i) \right\} \left\{ \sum_{j=1}^{l_2} p(M_j) \right\} \\ \text{ただし } j=l_2=1, n(M_1)=1 \text{ の場合} \\ 2 \cdot \left\{ \sum_{i=1}^{l_1} p(B_i) \right\} \left\{ \sum_{j=1}^{l_2} p(M_j) \right\} + \left\{ \sum_{j=1}^{l_2} p(M_j) \right\}^2 \end{cases} \dots\dots (8.3)$$

これらの関係を用いて、通信可能な組み合わせのON率  $p_{on}$  を次式で求める。

$$\left. \begin{aligned} p_{on}(B_i, M_j) &= p(B_i)p(M_j)/p_w \\ p_{on}(M_j, M_k) &= p(M_j)p(M_k)/p_w \end{aligned} \right\} \dots\dots (8.4)$$

ここで  $k=1, 2, \dots, l_2$

なお(8.4)式の  $(B_i, M_j)$  は、 $B_i$  無線局単位が送信、 $M_j$  無線局単位が受信の組み合わせを示すものとする。

ON率の計算例として、基地局の無線局単位が1個で

\* 陸上移動無線システムでは、press to talk による単信方式が一般的であるが、運用モデルの簡略化のため1保留時間内では送信、受信両無線局単位の送受変更はないものとして扱っている。

これに所属する局数が1局、移動局の無線局単位が1個でこれに所属する局数が3局の場合には、無線局単位の可能な組み合わせは  $(B_1, M_1)$ ,  $(M_1, B_1)$ ,  $(M_1, M_1)$  の3通りがあり、各組み合わせのON率は次の手順で求まる。すなわち (8.2) 式より  $p(B_1)=1/4$ ,  $p(M_1)=3/4$  が求まり、荷重値  $p_w=15/16$  となる。次に (8.4) 式を用いて  $p_{on}(B_1, M_1)=0.2$ ,  $p_{on}(M_1, B_1)=0.2$ ,  $p_{on}(M_1, M_1)=0.6$  が求まる。

以上述べた無線局単位のON率は、ある割り当て周波数の延べ呼数に対する、相対する無線局単位別の呼数の割合ということもできる。例えば呼数を100とする場合、前述の例のON率では、 $M_1$  から  $B_1$  への呼数が平均して20、 $B_1$  から  $M_1$  への呼数も平均して20、更に  $M_1$  の移動局3局間では平均して60の呼数となるといえる。

2.3.3 対象地域の処理

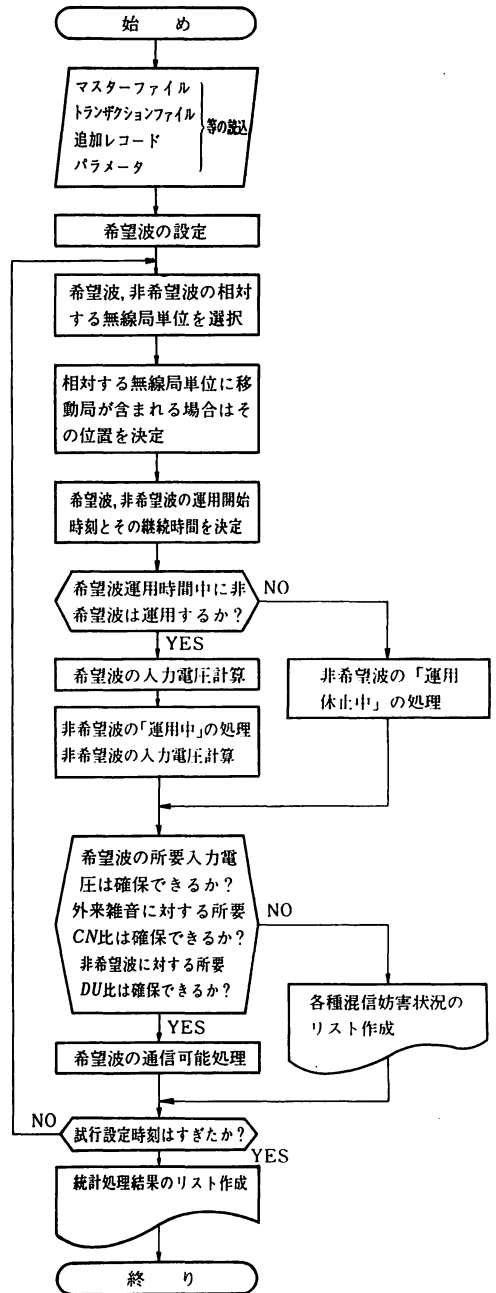
陸上移動無線システムでは移動局（移動する局全般をいう。以下同様）の位置により混信妨害の発生率が大きく変化する。このためその移動範囲をより適確には握し、シミュレーションに反映することが結果の信頼性向上への大きな要素となっている。

シミュレーションの対象とする移動範囲の設定には、事項書による移動範囲、基地局等の設置場所分布、地形、都市化の傾向などを考慮している。この移動範囲は、縦と横をそれぞれ0.3km間隔で区切られ、できた正方形（以下「ゾーン」と呼ぶ）個々に論理番地が与えられる。これにより各無線局単位の設置場所、移動位置はこの論理番地で表現することができる。なお移動局の位置決定は、2つの乱数によりおこなっている。

3. シミュレーションの方法

3.1 プログラムの概要

このプログラムは FORTRAN 言語を用い約800ステップからなる。主な処理の流れを第11図に示す。以下同図を用いて処理の手順を示す。(1)マスター、トランザクション両ファイルは磁気ディスクに格納されているが、これを内部メモリーに読み込む。新たに検討する周波数があれば、周波数とその無線局の仕様をカードから読み、マスター及びトランザクション両ファイルに追加する。(2)希望波を設定する。試行時間内はこの希望波に注目して時計 (3.2 節で詳述する) を進め、非希望波の状態検索をする。ただし希望波として扱うのが困難なもの、例えば対象地域外とで回線を構成する周波数などは希望波としない。(3)トランザクションファイルから周波数ごとに一組の相対する無線局単位を選択する。これには 2.3.2 項で述べたON率と一様乱数との対応関係を用いる。(4)選択された無線局単位に移動局があればその位

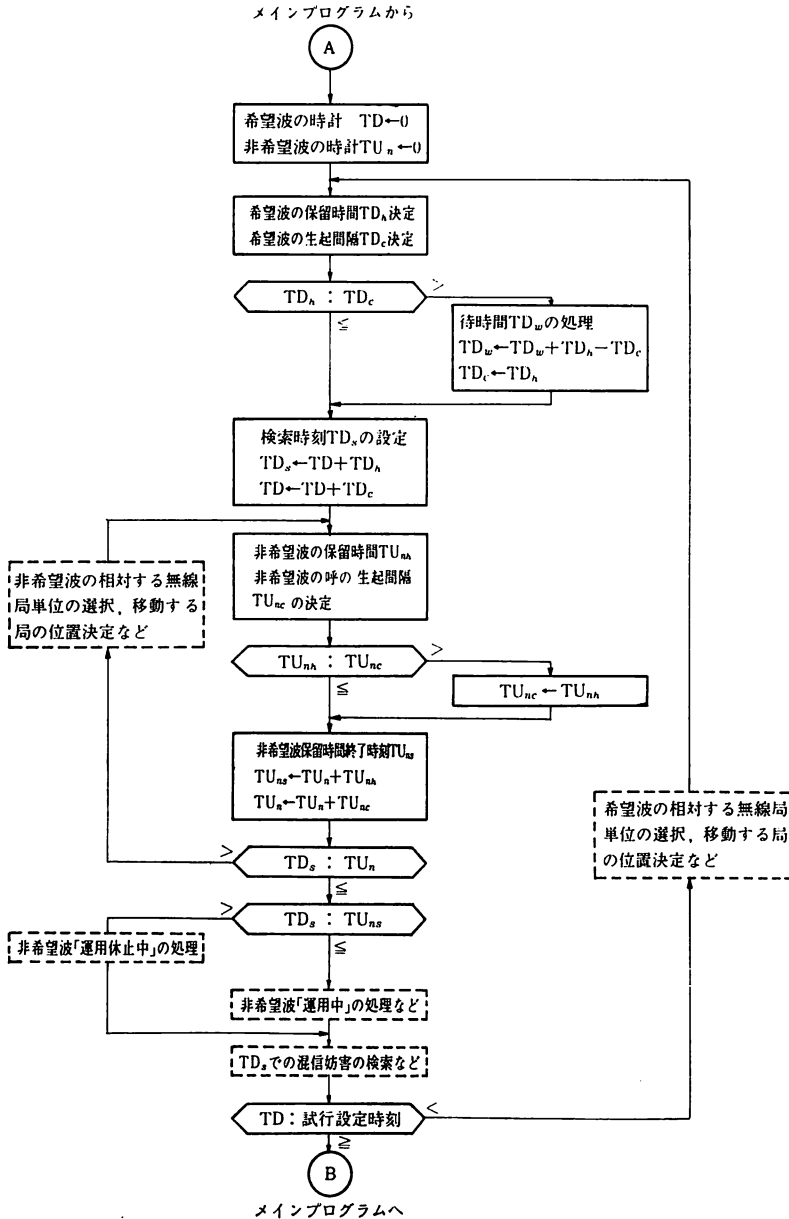


第11図 処理の概要の流れ図

置を決定する。(5)周波数ごとに選択された相対する無線局単位について、呼の生起時刻と保留時間を決定する。なお以下、特別な場合を除いて、相対する無線局単位の保留時間内を「運用中」と呼び、呼空間隔（呼の終了時刻と次の呼の生起時刻との間の時間）内を「運用休止中」と呼ぶ。(6)希望波の入力電圧を計算する。また希望波と非希望波が同時に保留となる場合、非希望波の入力電圧の計算など、運用中としての必要な処理をする。(7)

希望波の入力電圧が2.2節で述べた所要値を満足しているか検査する。所要値未満であれば必要な処理をして(10)項へ移る。(8)受信機の位置を考慮した外来雑音の入力電圧を推定する。この値と希望波入力電圧を比較し、所要CN比を満足するか検査する。満足しない場合は外来雑音妨害として処理し次項へ移る。(9)同一周波数、近接周波数、相互変調などの各混信妨害について、運用中の非希望波すべてを検索する。検索は2.2節で述べた方法で行う。すなわち、運用中の非希望波について入力電圧最

大許容値を求め、この値と非希望波入力電圧を比較し混信妨害となるか否かを判定する。混信妨害となるものは各混信妨害の必要処理をして(10)項へ移る。なおこのプログラムでは、(7)項を除いて同一検索で異なる混信妨害を重複して受け入れている。(10)(7)~(9)項で行う混信妨害検索で混信妨害と判定されたものは、その都度希望波、非希望波両無線局単位の位置、局間距離、空中線電力、入力電圧などの状態を出力し、(12)項の判定を経て次の検索に移る。(11)(7)~(9)項の検索で希望波が混信妨害を受け



第12図 時間処理に注目した流れ図  
(破線内は時間処理に直接関係しない主な処理の概要である)

なかったときは、通信が可能であった旨の必要処理をして次項に移る。(12)以上の処理を試行設定時刻まで繰り返し、最終結果として希望波の通信可能回数、受けた混信妨害の種類と回数及び検索回数に対するこれらの割合を出力する。

3.2 時間処理

このシミュレーションでは、周波数ごとに呼の生起間隔で時刻を進める時計をもち、特に希望波の時計では混信妨害検索時刻を設定している。

第12図に時間処理の流れ図を示す。以下同図を参考に処理手順を述べる。(1)希望波の時計を  $TD$ 、各非希望波の時計を  $TU_n$  として、各時計を 0 時に設定する。(2)希望波の保留時間  $TD_h$ 、呼の生起間隔  $TD_c$  を決定する。(3)希望波について呼の生起間隔よりも保留時間が長くなる場合は、保留時間と呼の生起間隔との差時間を待ち時間  $TD_w$  として処理する。またこの現象が生じた場合は、呼の生起間隔を保留時間相当まで延長する。(4)希望波保留時間終了時刻  $TD_s$  を  $TD$  と  $TD_h$  の和で求め、次に希望波の時計  $TD$  を前回の  $TD$  から  $TD_c$  進める (第13図の説明図を参照)。(5)各非希望波も (2) (3) 項と同じ操作で保留時間、呼の生起間隔  $TU_{nh}$ 、 $TU_{nc}$  を決定し、 $TU_{nh} > TU_{nc}$  なら  $TU_{nh}$  を  $TU_{nc}$  に代入する。(6)各非希望波について(4)項と同じ操作で保留時間終了時刻  $TU_{ns}$  を求め、各非希望波の時計  $TU_n$  を次の呼の生起時刻まで進める。(7)希望波保留時間終了時刻  $TD_s$  と非希望波の時刻  $TU_n$  を比較し、次の条件によりそれぞれの処理に移る。

$TD_s > TU_n$  : この条件を満足する非希望波は時計が遅れている状態で、 $TD_s \leq TU_n$  を満足するまで無線局単位の選択、保留時間、呼の生起間隔の決定など(5)(6)項の処理を繰り返す。

$TD_s \leq TU_n$  : この条件を満足する場合は、希望波の保留時間終了時刻  $TD_s$  と各非希望波の保留時間終了時刻  $TU_{ns}$  を比較し、次の条件によりそれぞれの処理に移る。

$TD_s > TU_{ns}$  : この条件を満足する非希望波は呼空間隔内にある。したがってこの周波数は運用休止中の処理をする。

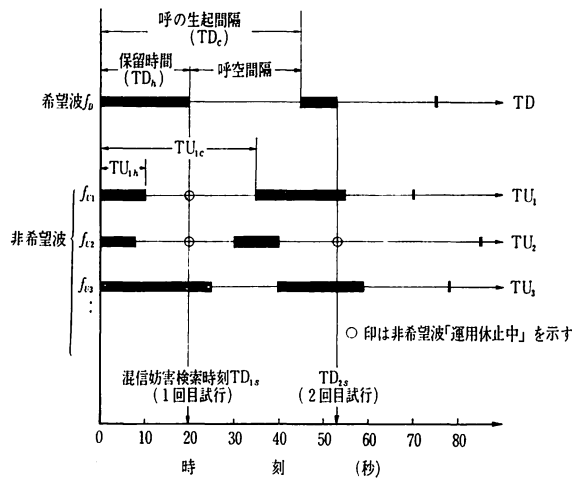
$TD_s \leq TU_{ns}$  : この条件を満足する非希望波は希望波と同時に運用中である。したがってこの非希望波の入力電圧計算など運用中としての必要な処理をする。

(8)希望波保留時間終了時刻  $TD_s$  で、運用中の非希望波の混信妨害検索をする。(9)以上の処理が終了後、希望波の時刻  $TD$  と試行設定時刻を比較し、 $TD$  が小さい場合は次の呼のための無線局単位の選択、保留時間、生起間隔の決定など(2)項からの処理を繰り返す。 $TD$  が設定時刻を超えた場合は、設定した希望波の混信妨害検索は終了したものとみなし、試行時間内の検索結果を出力する。

以上の処理手順では、説明を容易にするため1保留時間1検索として扱ったが、保留時間長によっては各非希望波の状態変化もあるので、実際には保留時間長により

第3表 混信妨害検索時刻の設定法

保留時間の長さ	オ1回目	オ2回目	オ3回目
30秒以下	保留時間終了の時刻	—	—
30秒をこえて60秒以下	呼の生起時刻から15秒目	保留時間終了の時刻	—
60秒をこえるもの	同上	呼の生起時刻から45秒目	保留時間終了の時刻



第13図 時間処理の説明図

3回まで検索するよう考慮してある。検索時刻の設定要領を第3表に示す。既に述べた  $TD_i$  には同表で示す値を与える。なお第2回目、第3回目の検索における移動局の位置は、前回の検索時の位置に隣接するゾーンへのみ移動可能とする。これは自動車の速度と検索間隔を考慮して設けた制限である。なお希望波以外の運用中の移動局は、保留時間内での位置変化はないものとする。

以上、検索時刻の設定を含む時間処理について述べたが、手順の中で特に(3)項は新しい試みとして待ち時間処理を扱ったものである。すなわち保留時間と呼の生起間隔は、あらかじめ準備した平均値と指数分布乱数(3.3節で詳述する)とで両者独立に決定するため、呼の生起間隔よりも保留時間が長くなる場合がある。この現象は実際の運用で、前に生じた呼の保留時間内に次の呼が生起することに対応する。ここでは希望波でのみこの現象に注目し、保留時間と呼の生起間隔の差時間を待ち時間として処理する。

3.3 確率分布乱数の発生<sup>(25)</sup>とその用途

このシミュレーションで扱う確率分布は一様分布、正規分布、指数分布の3通りであり、各分布に従う乱数の発生には区間  $[0.0, 1.0]$  の一様乱数  $R$  を用いている。なお  $R$  の計算法は乗算合同法を用いている。

(1) 一様分布

ここで扱うのは離散的な一様分布で、この乱数  $IR$  は(9)式によって発生させ、その区間は  $[I_1, I_2]$  である。なお  $R$  が 1.0 の場合は使用せず、また  $IR$  に小数点以下の端数が生じたときは切り捨てる。

$$IR = I_1 + \{(I_2 + 1 - I_1) \times R\} \quad \dots\dots(9)$$

$IR$  の用途はマルチチャネルコードをもつ周波数の1波選択、周波数ごとの相対する無線局単位の選択、マルチアンテナコードをもつ無線局単位の使用アンテナの選択、移動局の位置決定などである。

(2) 正規分布

ここで扱うのは連続的な正規分布で、この乱数  $RN$  の発生は平均値を  $EN$ 、標準偏差を  $SN$  として(10)式によっている。

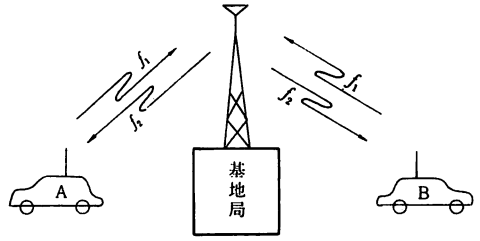
$$RN = \left\{ SN \times \left( \sum_{i=1}^{12} R_i - 6.0 \right) \right\} + EN \quad \dots\dots(10)$$

$RN$  の用途は、信号電界強度と雑音電界強度の決定である。なお  $EN$  については、信号電界強度の場合(1)式から求まる値、雑音電界強度の場合は希望波受信点での自動車通過台数から推定される値を用いる。

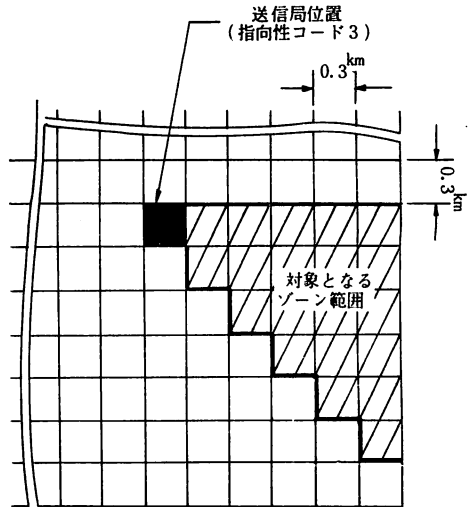
(3) 指数分布

ここで扱うのは連続的な指数分布で、この乱数  $RE$  の発生は平均値を  $EE$  として(11)式によっている。

$$RE = -EE \times \log_e(R) \quad \dots\dots(11)$$



第14図 中継用基地局を持つ2周波方式の説明図



第15図 指向性コードとその対象ゾーンの関係 (指向性コード3の場合)

$RE$  の用途は、保留時間と呼の生起間隔の決定である。なお  $EE$  については、目的コード別に準備した保留時間、呼の生起間隔を用いている。

3.4 運用コードの処理

2.3.1 項で述べた一般及び運用項目のなかで、シミュレーションの実行中に処理される項目のコードをここでは特に「運用コード」と呼び、その主なものについて処理方法等を述べる。

(1) リンクコード

リンクコードをもつ無線局単位の運用中及び運用休止中の処理は、次の方法によっている。すなわち第14図の説明図で示すような回線構成では、 $f_1$  回線を優先回線とみなし、 $f_2$  回線の保留時間、呼の生起間隔等の設定はすべて  $f_1$  回線と同一の値を用いている。

(2) 指向性コード

第15図に指向性コードとゾーンの関係の一例を示したが、この関係を用いて指向性コードをもつ無線局単位の運用中及び運用休止中の最終的な処理をする。すなわち運用中の無線局単位であっても、コードに対応するゾー

ンの範囲（第15図の例では斜線で示した部分）に受信機が位置していない場合は、その無線局単位は運用休止中として処理している。

(3) 設置場所コード

設置場所コードに特殊な値をもつ場合、すなわち対象地域外に設置された無線局単位の電界強度処理は、次に述べる方法によっている。このコードをもつ無線局単位は固定局であり、その局間距離は対象地域の中心からの距離で代表できるほど、十分長い場合が多い。したがって、その中心で求めた電界強度を対象地域全域に適用する。

4. シミュレーション実験

対象とする地域は県庁所在地で1,000~2,000m級の山に囲まれ、1盆地1都市という地理条件を有する。このため近接都市との無線線線の分離度が高く、また人口、面積の面では典型的な大都市である。このシミュレシ

ョンでは対象とする地域の選定にあたり、後述の妥当性の検討を特に考慮する必要があり、これを重視するとこの地域が最も好条件を備えているといえる。

4.1 割当周波数の概要

昭和48年10月現在、この地域に割り当てられている150MHz帯陸上移動無線用周波数は34波（内1波はシミュレーションの対象外とする）で、総無線局数は284局である。これをシミュレーションの入力データとして整理すると無線局単位は丁度100個となりマスターファイルに記録される。マスターファイルの一部を第16図に、トランザクションファイルの一部を第17図に示す。

なおマスターファイルには対象地域外とで回線を構成するものも幾つかあり、対象地域外から内に向かって送信する周波数が6波、無線局単位は8個である。またシミュレーションの対象とする33波の内の1波は、簡易無線局用周波数であるが、ここでは他の周波数と同一の取り扱いをする。

第4表 パラメータの設定値

試行時間		約4時間
平均保留時間 平均呼数	コード1	25秒, 66回/時間
	コード2	30秒, 36回/時間
	コード3	45秒, 40回/時間
信号電界強度標準偏差	基地局-移動局	9.0 dB
	移動局-移動局	12.6dB
都市雑音電界強度平均値 (自動車通過台数)	市街中心部	12.8dBμ (100台/10分)
	その他	2.8 dBμ (30台/10分)
都市雑音電界強度標準偏差		9.4 dB
受信機高周波部特性		Q=75, N=6として(2)式による
低周波出力所要SN比		12.0dB以上
希望波所要入力電圧		0.0 dBμ以上
対外来雑音所要CN比		4.2 dB以上
同一周波数混信妨害所要DU比		(3)式による
近接周波数混信妨害所要DU比		(5)式による
相互変調混信妨害所要DU比		(7)式による

NO	DIST	NAME	CALL	LOC1	LOC2	CLS	MCH	FREQ	POWC	ERP1	ANT1	DC1	ERP2	ANT2	DC2	OBT	COM	SIM	LNK	DAISU
1001	001	2521	21	9	9	2	11	146060	1	230	555	0	0	0	2	0	0	0	0	1
1002	001	2521	21	9	0	3	11	146060	1	230	15	0	0	0	2	0	0	0	0	1
1003	001	2521	41	9	9	4	11	146060	1	250	555	0	0	0	2	0	0	0	0	1
1004	001	2521	21	0	0	5	11	146060	1	5	15	0	0	0	2	0	0	0	0	5
1005	001	110A	21	11	10	2	11	148010	1	53	580	0	0	0	1	0	0	0	0	1
1006	001	110A	31	0	0	3	11	148010	1	100	15	0	0	0	1	0	0	0	0	14
1007	001	110A	34	0	0	3	11	148010	1	10	15	0	0	0	1	0	0	0	0	2
1008	001	110A	32	0	0	3	2	148010	1	100	15	0	0	0	1	0	0	0	0	4
1009	001	110A	34	0	0	3	21	148010	1	10	15	0	0	0	1	0	0	0	0	16
1010	001	110A	21	11	10	2	22	148010	1	53	580	0	0	0	1	1	0	0	0	1
1011	001	110A	31	0	0	3	22	148010	1	100	15	0	0	0	1	1	0	0	0	4
1012	001	110A	32	0	0	3	22	148010	1	10	15	0	0	0	1	1	0	0	0	16
1013	001	1411	11	17	15	1	11	151610	1	1620	235	3	0	0	2	0	0	0	0	12
1014	001	1411	12	17	15	1	11	151610	1	1620	265	3	0	0	2	0	0	0	0	11
1015	001	1411	21	17	15	2	11	151610	1	1698	235	3	0	0	2	0	0	0	0	11
1016	001	1411	31	0	0	3	11	151610	1	159	15	0	0	0	2	0	0	0	0	12
1017	001	1411	31	17	15	4	11	151610	1	1698	235	3	0	0	2	0	0	0	0	12
1018	001	1411	31	0	0	3	11	151610	1	6	15	0	0	0	2	0	0	0	0	12
1019	001	6211	21	0	0	2	11	149620	1	50	135	0	0	0	2	0	0	0	0	1

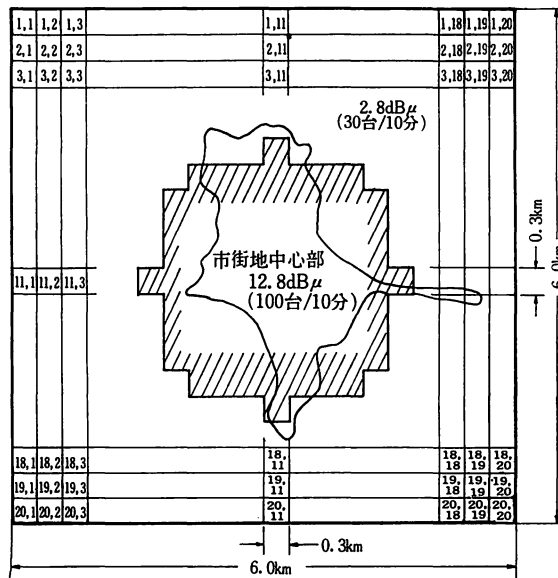
コード説明 NO:無線局単位番号, DIST:地区コード, NAME:免許人名コード, CALL:職別コード, LOC1, LOC2:設置場所コード((0,0)は移動する局, (21,0)は地域モデル外の局), CLS:種別コード, MCH:マルチチャネルコード, FREQ:周波数(kHz), POWC:マルチアンテナコード, ERP1:アンテナ1の実効ぶく射電力(X0.1W), ANT1:アンテナ1の地上高(X0.1m), DC1:アンテナ1の指向性コード, ERP2, ANT2, DC2:アンテナ2についてのもの, OBT:目的コード, COM:共通波コード, SIM:2周波方式コード, LNK:リンクコード, DAISU:無線局単位に所属する局数

第16図 マスターファイルの1例

NAME	FREQ	CALL.C	OBJ.C	SIM.C	LNK.C	ONCH
2521	146060	2131	2	0	0	58
2521	146060	3121	2	0	0	117
2521	146060	4151	2	0	0	294
2521	146060	5141	2	0	0	470
2521	146060	5151	2	0	0	1000
1106	148010	2131	1	0	0	18
1106	148010	3121	1	0	0	20
1106	148010	2132	1	0	0	21
1106	148010	3221	1	0	0	23
1106	148010	2133	1	0	0	26
1106	148010	3321	1	0	0	29
1106	148010	2134	1	0	0	40
1106	148010	3421	1	0	0	52
1106	148010	3131	1	0	0	195
1106	148010	3132	1	0	0	216
1106	148010	3133	1	0	0	257
1106	148010	3134	1	0	0	421
1106	148010	3231	1	0	0	441
1106	148010	3232	1	0	0	444
1106	148010	3233	1	0	0	450
1106	148010	3234	1	0	0	473
1106	148010	3331	1	0	0	514
1106	148010	3332	1	0	0	520
1106	148010	3333	1	0	0	532
1106	148010	3334	1	0	0	578
1106	148010	3431	1	0	0	742
1106	148010	3432	1	0	0	766
1106	148010	3433	1	0	0	812
1106	148010	3434	1	0	0	1000
1106	148290	2131	1	0	0	18
1106	148290	3121	1	0	0	94
1106	148290	2132	1	0	0	54
1106	148290	3221	1	0	0	90
1106	148290	3131	1	0	0	127
1106	148290	3132	1	0	0	272
1106	148290	3231	1	0	0	418
1106	148290	3232	1	0	0	1000
1411	148090	1112	2	0	1211	500
1411	148090	1211	2	0	1112	1000
1411	151610	2131	2	0	1112	100
1411	151610	3121	2	0	1112	100

コード説明 NAME：免許人名コード，FREQ：周波数(kHz)，CALL.C：無線局単位の組み合わせ識別コード(最初2桁が送信局)，OBJ.C：目的コード，SIM.C：2周波方式コード，LNK.C：リンクコード，ONCH：同一免許人，同一周波数で各無線局単位の組み合わせの「運用中」となる割合の累積値(×0.1%)

第17図 トランザクションファイルの1例



第18図 シミュレーション対象地域のゾーン構成

4.2 設定条件

第18図で示すように市役所を中心に36km<sup>2</sup>の面積を対象地域とし、ゾーン400個で構成する。この地域には市街地全域とその周辺の郊外地を含み、設置されているほとんどの無線局はこの地域内に存在する。

シミュレーション実験で用いた主なパラメータを第4表に示す。なお平均保留時間、平均呼数は第1表の目的コード別での最繁時のものを使用し、また都市雑音電界強度の平均値は、自動車の通過台数を考慮して市街地中心部（第18図斜線範囲）とその他の地域とで異なる値を与えている。

4.3 結果と検討

第5表に混信妨害予測結果を示す。ここに示した周波数は、対象地域外の設置無線局単位等に関する周波数を除く、150MHz帯陸上移動無線用の割り当て周波数の

すべてである。同表によれば希望波の入力電圧不足がかなり多く発生している。また外来雑音妨害の発生は、希望波の入力電圧不足の発生とよく似た発生傾向を示している。これらの予測結果で注目されるのは、外来雑音妨害が最も多い162.05MHzで、所要入力電圧未満とあわせて53.8%の通信不能がある。この周波数の無線局構成は、すべてアンテナ高1.5mの移動局で局数は17局、実効ふく射電力の内訳は15.9Wが1局、0.5Wが8局、0.1Wが8局である。これに対して通信不能がわずか1.3%の149.17MHzのそれは基地局、携帯基地局の二重免許で、アンテナ高が20.5m、実効ふく射電力は26.9W、移動局はアンテナ高1.5mで25W、また携帯局はアンテナ高1.5mで1Wの各1局づつである。これら雑音妨害の極端な差は、回線構成上最適な無線局仕様として幾つかの改良すべき余地があることを示している。

第5表 割当て周波数の混信妨害予測結果

免許 人名	周波数 (MHz)	目的 コード	試行時間	呼数 (回)	検索回数 (回)	利用率 (%)	所要入力電 圧0dBμ未満		外来雑音妨害		同一周波数 混信妨害		近接周波数 混信妨害		相互変調 混信妨害		通信可能 回数	
							(回)	(%)	(回)	(%)	(回)	(%)	(回)	(%)	(回)	(%)	(回)	(%)
2521	146.06	2	約4時間	136	206(24)	28.4	26	12.6	21(11)	10.2							159(13)	77.2
1106	148.01	1	〃	253	341(51)	41.3	28	8.2	47(30)	13.8		1	0.3				265(21)	77.7
1106	148.29	1	〃	235	334(51)	43.2	38	11.4	62(34)	18.6							234(17)	70.1
2511	149.65	2	〃	128	202(31)	28.7	21	10.4	24(16)	11.9							157(15)	77.7
0611	151.33	3	〃	139	248(32)	41.8	6	2.4	35(16)	14.1							207(16)	83.5
2014	151.37	3	〃	146	251(13)	41.6	4	1.6	10(7)	4.0	37(7)	14.7					205(3)	81.7
2019	151.37	3	〃	144	238(23)	39.8	6	2.5	29(15)	12.2	56(10)	23.5	1	0.4			158(4)	66.4
0108	149.17	2	〃	148	227	32.7			3	1.3							224	98.7
2508	149.81	2	〃	151	213(24)	26.5	8	3.8	13(10)	6.1							192(14)	90.1
1119	150.29	3	〃	137	250(44)	41.8	33	13.2	51(32)	20.4							166(12)	66.4
1907	151.81	3	〃	133	239(37)	44.1	32	13.4	35(17)	14.6							172(20)	72.0
0404	152.25	2	〃	123	186(19)	26.1	7	3.8	23(11)	12.4							156(8)	83.9
0404	150.25	2	〃	135	205(22)	27.3	12	5.9	32(14)	15.6							161(8)	78.5
2005	154.59	3	〃	132	236(23)	44.2	12	5.1	29(17)	12.3							195(6)	82.6
0711	152.33	2	〃	133	204(7)	29.3	9	4.4	9(4)	4.4							186(3)	91.2
2004	153.97	2	〃	124	177(24)	21.5	12	6.8	32(17)	18.1							133(7)	75.1
2520	154.17	3	〃	141	268(23)	50.0	7	2.6	31(12)	11.6							230(11)	85.8
1103	162.05	1	〃	248	331(82)	38.0	91	27.5	87(57)	26.3							153(25)	46.2
1103	146.24	1	〃	222	296(63)	34.5	72	24.3	69(43)	23.3							155(20)	52.4
1103	146.34	1	〃	230	326(75)	40.9	55	16.9	68(43)	20.9							203(32)	62.3
1103	146.20	1	〃	217	306(64)	37.5	70	22.9	62(40)	20.3							174(24)	56.9
1420	159.05	3	〃	125	228(26)	41.1	11	4.8	28(14)	12.3							189(12)	82.9
1419	157.73	1	〃	234	326(17)	39.6	7	2.1	18(8)	5.5							301(9)	92.3
2025	162.93	2	〃	112	181(22)	29.8	13	7.2	21(15)	11.6							147(7)	81.2
*1000	151.97	2	〃	142	208	26.4			2	1.0							206	99.0

注1. 利用率とは延べ保留時間と試行時間との比をいう  
 注2. 不記の項目については回数0を示す  
 注3. (%)の数値は出現回数と検索回数の割合を示す  
 注4. ( )内の数値は希望波の入力電圧が0dBμ~10dBμの範囲であった回数を示す  
 注5. \*印は第6表の設定条件でこの地域に追加割り当てを想定した場合の実験結果である



妨害等を考慮すれば、実効ふく射電力の再検討が必要となる。

第5表の( )で示した数値は、希望波入力電圧が0 dB $\mu$ ~10dB $\mu$ の範囲での混信妨害の回数をチェックしたものである。これには(4), (6)式の成立条件の下限值未満の場合も含まれる。

第7表は待ち時間の処理結果である。無線システムでは運用中の回線への割り込みが可能なることから、待ち時間についてはあまり検討されていない。ここでは一つの試みとして取りあげたもので、同表によれば平均利用率と呼閉そく率(呼の保留時間内に生じた呼の回数と全呼数との比)は、ほぼ比例関係にある。待ち時間については呼の保留時間内に次の呼が生じ、前の呼の保留時間終了を待つ間の時間として扱ったが、この現象は実際の運用でも少なからず発生すると考えられる。なお同表で、あらかじめ設定した平均利用率とシミュレーション実験結果のそれとが相違するのは、呼の生起間隔に待ち時間処理をしているためである。

なお第5表の結果を得るのに要する計算機処理時間は、CPUタイムで約12分である。

## 5. 考 察

### 5.1 一般的考察

モデル化における検討事項の一つとして、電界強度の計算法がある。このシミュレーションでは中小都市を対象としたため電界強度の計算には、奥村らの方法による値より高い値となる Egli の方法を基本としている。しかし最近の実測結果では中小都市でも奥村らの値に近いものもあり、今後は対象とする地域に最も適した計算法の検討が必要と考えられる。

受信機の耐混信妨害特性は、型式検定合格機器の実測結果に基づいて構成した、低周波出力 SN 比と非希望波入力電圧との関係を基本としている。この値の一般性について現段階では、他の文献<sup>(26)</sup>とは測定条件、評価基準等が異なるため詳しい検討はしていないが、今後この値をより一般的なものとするため、多数の機器の実測値を収集し、またこれらの標準偏差、分布等についても検討すべきであると考えられる。

都市雑音の推定は自動車の通過台数を基本としたが、近年著しい生活様式の変化もあり、陸上移動無線システムにおける外来雑音について実際の妨害との関係など、今後検討すべき余地があると考えられる。

運用モデルは従来あまり扱われなかったもので、このシミュレーションでの一つの大きな特徴となっている。このモデル化にはマスターファイルの作成など煩雑な手作業があるが事項書、設計書の計算機管理が進めば、作

業能率は大きく改善されるものと期待される。また陸上移動無線システムでは、その運用形式が複雑なものもあるが、これには現場等の意見を取り入れて、より実的なシミュレーション処理をすることが望まれる。保留時間、利用率等については近年電波監視部門での整備も進み、これらに関する資料が逐次発表される段階であり、これらを活用したパラメータの設定が、結果の信頼性向上に大きく寄与するものと考えられる。

シミュレーションの手法については保留時間、呼の生起間隔などを取り入れ、時間変化と状態変化の対応関係を確立したことが大きな特徴となっている。これに対し、時計をもたず各試行ごとに状態設定と検索を行うスナップショットの手法<sup>(27)</sup>がある。この手法を用いても結果は第5表とほぼ同じものが得られ、両方法による顕著な差異は認められない。これは対象とした地域の割り当て周波数、無線局がかなり少ないためと考えられる。一方、本論文で提案する混信妨害予測法を用いた検討が要求されるのは周波数、無線局とも極めて多い地域と予想され、これらの地域での混信妨害予測には、時間変化を取り入れた本方法がより有効性があると考えられる。

なおここで検討した混信妨害予測には、他周波数帯からの混信妨害は考慮していないが、この理由は(1)この混信妨害は受信機高周波部の周波数特性で、ある程度除去できるため影響が少ない(2)この混信に係る非希望波は使用目的、変調方式、運用方法など多種多様で、モデル化が極めて困難である、の二つによるものである。しかし今後他周波数帯からの混信妨害の実態調査が進めば、その結果によっては広範な周波数を対象とする混信妨害予測法の確立も、課題となると考えられる。

### 5.2 パラメータによる予測結果への影響

以上述べてきたシミュレーションの方法及び結果は、基準となるパラメータの設定値を一定としている。ここでは設定値変更による予測結果への影響が顕著と考えられる、出力 SN 比と高周波特性の二つのパラメータについて検討する。

まず出力 SN 比の設定値を変更する場合であるが、変更値には実測資料があるため耐混信妨害特性の記述が容易な SN 比 20dB を選ぶ。なお本論文で扱ってきた SN 比 12dB は、移動無線システム専用回線での最低所要品質と考えられ、ここで検討する 20dB の値は1段階高品質なものといえる。<sup>(28), (29)</sup>新たに設定した値を第8表にまたシミュレーションの結果を第9表に示す。なお第9表の出力 SN 比 12dB のものは、比較の便宜上第5表の結果を転載して示している。この結果では近接周波数、相互変調両混信妨害の SN 比による変化はほとんど認められない(第10表参照)が、所要入力電圧未満、外来雑

第8表 出力 SN 比 20dB でのパラメータ設定値

低周波出力所要 SN 比	20.0dB 以上
希望波所要人力電圧	2.5dBμ 以上
対外来雑音所要 CN 比	8.0dB 以上
同一周波数混信妨害所要 DU 比	注1
近接周波数混信妨害所要 DU 比	注2
相互変調混信妨害所要 DU 比	注3

注1. (3) 式の  $U_{cMAX}$  を次式で与える

$$U_{cMAX} = \begin{cases} 2D - 17.5 & 10\text{dB}\mu > D \geq 0\text{dB}\mu \\ D - 7.5 & D \geq 10\text{dB}\mu \end{cases} \quad (12)$$

注2. (4) 式の  $U'_{dMAX}$  を次式で与える

$$U'_{dMAX} = 82.5 + (3/4)D \quad (13)$$

注3. (6) 式の  $U'_{iMAX}$  を次式で与える

$$U'_{iMAX} = 23.2 + 6.41D - 0.356D^2 + 0.106 \times 10^{-1}D^3 - 0.158 \times 10^{-3}D^4 + 0.928 \times 10^{-6}D^5 \quad (14)$$

注4. ここで示したパラメータ以外はオ4表と同じである

音妨害, 同一周波数混信妨害では, 各々数%の変化が生じている。これを通信可能率でみると SN 比 12dB の場合に比べ約 7%前後低下するものが多く, SN 比 12dB から 20dB に変化したことで, 全体の平均として約 5.7

%の低下となる。なお SN 比 12dB の通信可能率が 90%を超えるものは, SN 比 20dB でも極めて低下率の少ないことが注目され, これらの回線は電界強度に大きなマージンがあることを示している。

次に高周波部の周波数特性を変更した場合を検討する。高周波特性は(2)式で  $N=6, Q=75$  として計算される減衰特性 36dB/Oct のものを用いてきたが, ここではこの減衰特性の変化による近接周波数と相互変調の二つの混信妨害の効果をみるため,  $N$  および  $Q$  に 2, 3 の異なる値を与えて検討する。第10表はこの検討結果の一例で, 周波数特性をまったく平坦とした場合の予測結果である。なお比較のため  $N=6, Q=75$  の結果もあわせて示す。また出力 SN 比は前述の 12dB と 20dB を用いている。この結果によれば, 平坦特性で近接周波数混信妨害が若干増加するが大部分が 1%以下で, また SN 比 12dB と 20dB の場合では, その差がほとんど認められない。したがってこれら 2つの混信妨害には, 出力 SN 比及び高周波特性に関するパラメータはそれほど重要な影響はないといえる。しかしこれは対象とした地域

第9表 出力 SN 比による混信妨害予測値の比較

単位は%

周波数 (MHz)	希望波所要人力電圧未滿		外来雑音妨害		同一周波数混信妨害		通信可能率	
	* 0.0dBμ	** 2.5dBμ	* 12dB	** 20dB	* 12dB	** 20dB	* 12dB	** 20dB
146.06	12.6	14.1	10.2	15.5			77.2	70.4
148.01	8.2	11.1	13.8	17.9			77.7	70.7
148.29	11.4	15.0	18.6	21.0			70.1	64.1
149.65	10.4	13.4	11.9	15.8			77.7	70.8
151.33	2.4	4.4	14.1	19.0			83.5	76.6
151.37	1.6	2.4	4.0	8.0	14.7	16.7	81.7	75.7
151.37	2.5	3.8	12.2	13.9	23.5	28.2	66.4	60.1
149.17			1.3	3.1			98.7	96.9
149.81	3.8	6.1	6.1	7.5			90.1	86.4
150.29	13.2	16.0	20.4	24.0			66.4	60.0
151.81	13.4	15.1	14.6	18.0			72.0	66.9
152.25	3.8	5.9	12.4	18.8			83.9	75.3
150.25	5.9	9.8	15.6	16.1			78.5	74.1
154.59	5.1	7.6	12.3	14.8			82.6	77.5
152.33	4.4	5.9	4.4	4.9			91.2	89.2
153.97	6.8	7.3	18.1	20.3			75.1	72.3
154.17	2.6	5.2	11.6	17.2			85.8	77.6
162.05	27.5	32.0	26.3	28.7			46.2	39.3
146.24	24.3	30.1	23.3	26.0			52.4	43.9
146.34	16.9	19.6	20.9	24.8			62.3	55.5
146.20	22.9	27.1	20.3	22.2			56.9	50.7
159.05	4.8	6.6	12.3	14.0			82.9	79.4
157.73	2.1	3.7	5.5	7.1			92.3	89.3
162.93	7.2	10.5	11.6	16.6			81.2	72.9

注1. \*印は第5表を転載したもの  
注2. \*\*印は第8表のパラメータを使用

第10表 高周波部周波数特性による混信妨害予測値の比較

単位は%

周波数(MHz)	近接周波数混信妨害				相互変調混信妨害			
	N=6, Q=75で(2)式による		平担特性		N=6, Q=75で(2)式による		平担特性	
	12dB	20dB	12dB	20dB	12dB	20dB	12dB	20dB
146.06				0.5				
148.01	0.3	0.3	0.3	0.6				
148.29			0.9	1.5			0.3	0.6
149.65			0.5	1.0				
151.33			0.4	0.8				
151.37			0.4	1.2				
151.37	0.4	0.4	0.4	0.8				
149.17								
149.81								
150.29			0.4	0.4				
151.81			0.8	1.3				
152.25			0.5	0.5				
150.25			0.5	0.5				
154.59			0.4					
152.33			0.5	0.5				
153.97			0.6	0.6				
154.17			0.4	0.4				
162.05								
146.24				1.0				
146.34			0.3	0.3				
146.20			0.3	0.3				
159.05			0.4	0.9				
157.73			0.9	1.5				
162.93			2.2	2.8				

注1. 出力SN比12dBの主要パラメータの設定値は第4表による  
 注2. 出力SN比20dBの主要パラメータの設定値は第8表による

の割り当て周波数および無線局の少なさによるものと考えられ、他の機会での再検討を予定している。

### 6. 結 言

この混信妨害予測シミュレーションは、我が国の陸上移動無線システムを考慮し、入力データには割り当て周波数とその無線局の特徴を用い、また基本となるモデルを伝搬、受信機、運用の3つで構成するなど従来にない幾つかの特徴を有している。したがってこのシミュレーションを用いれば、対象とする地域での混信妨害予測をはじめ、周波数の追加割り当て、置局配置、電力、アンテナ高の適否及び待ち時間など多方面にわたる運用状態のは握が可能であり、この結果に基づく効率的な周波数配分も十分期待できると考えられる。またモデルの一つである受信機については4つの耐混信妨害特性で構成したが、用いた数値は我が国における一つの基準とも考えられ、混信妨害予測とは異なる面での利用も可能である。一方、短所としては地域の特異性などに関する前処

理作業が多いことである。また今後の課題としては計算機プログラムの保守、記憶装置の制限あるいは妥当性の評価法の確立などがある。今後はこれらの解決を図り、より信頼性のある混信妨害予測法に改善する予定である。

### 謝 辞

このシミュレーション実験に貴重な資料の提供を頂いた電波監理局の関係者の方々、またこの研究の機会を与えられ、終始御指導頂いた村主通信機器部長、適切な助言と討論をして頂いた室員の方々、特にこの研究に多大の協力を頂いた、当室北沢技官に感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- (1) 例えば角川靖夫, 岩崎 憲, 塚田藤夫, 北沢武久; “リンコンベックス方式の陸上移動無線への応用”, 第48回電波研究発表会予稿, pp. 23~32, May 1975.
- (2) 例えば電波技術審議会第2部会資料, “陸上移動無

- 線業務の 800MHz 帯における技術的条件について”, March 1976.
- (3) 例えば園山重道, 寺本昭一; “相互変調及び近接周波数混信を考慮した周波数割当方法”, 電波研季報, 4, No. 17, pp. 228~236, Oct. 1958.
- (4) 例えば Dadson, C. E., Durkin, J. and Martin, R. E.; “Computer Prediction of Field Strength in the Planning of Radio Systems”, IEEE Trans. VT., VT-24, No. 1, pp. 1~8, Feb. 1975.
- (5) 奥村善久, 大森英二, 河野十三彦, 福田倚治; “陸上移動無線における伝ぱん特性の実験的研究”, 通研実報, 16, No. 9, pp. 1705~1764, Sept. 1967.
- (6) Egli, J. J.; “Radio Propagation Above 40MC Over Irregular Terrain”, Proc. IRE., pp. 1383~1391, Oct. 1957.
- (7) Rock, F. E.; “Radio Interference Reduction and Spectrum Utilization of VHF FM Net Equipment in a Mobile Environment”, IRE Trans. RFI., RFI-3, No. 1, pp.27~30, May 1961.
- (8) 関東電波監理局監視部監視第四課; “混信調査結果について”, 49-調査資料, No. 3, Feb. 1975.
- (9) 例えば Lustgarten, M. N.; “COSAM (Co-Site Analysis Model)”, IEEE Symp. EMC., pp. 394~406, July 1970.
- (10) 川上謹之介, 高比良昭; “移動無線用受信機感度測定法の現状と提案”, 電波研季報, 15, No. 76, pp. 34~42, Jan. 1969.
- (11) Smith, F. L. 編, 阪本捷房, 滝保夫, 柳井久義, 田宮潤共訳, ラジオトロンデザイナーズ・ハンドブック, 日本語版, pp. 402~407, 無線従事者教育協会, Oct. 1958.
- (12) 今西久弥, 鈴木虎雄; “最近における超短波周波数変調受信機の傾向”, 日立評論, 通信機器特集号第2集, No. 18, Dec. 1957.
- (13) 加藤一夫, 渡辺重雄; “VHF/FM 受信機の相互変調特性について”, 電波研季報, 6, No. 23, pp.95~101, March 1960.
- (14) 吉川憲昭, 野村卓也; “自動車電話の無線回線設計”, 通研実報, 22, No. 9, pp. 2423~2449, Sept. 1973.
- (15) McMahan, J. H.; “Interference and Propagation Formulas and Tables Used in the Federal Communications Commission Spectrum Management Task Force Land Mobile Frequency Assignment Model”, IEEE Trans. VT., VT-23, No. 4, pp. 129~134, Nov. 1974.
- (16) 富沢理, 辰己博之, 水上富昭; “FM受信機の感度抑圧効果に対する局発雑音”, 電通学会全国大会講演論文集, 分冊 3, No. 997, Nov. 1966.
- (17) 市野芳明, 手島輝夫, 塩原和; “移動用FM受信機の性能調査”, 電波研研究資料, 通信75-3, April 1975.
- (18) 岩井文彦, 森永隆広; “移動無線通信における干渉妨害”, 通研実報, 11, No. 10, pp. 1759~1803, Oct. 1962.
- (19) 古橋好夫, 石上彦一; “実効選択度の研究”, 国際通信の研究, 9, pp.1~8, Dec. 1955.
- (20) 中村忠男, 井上光雄, 鈴木早蔵, 遠藤孝一; “VHF帯の都市雑音の特性について”, NHK 技術研究, 4, No. 2, pp. 43~56, March 1959.
- (21) 森永隆広監修, 電通学会編, 移動通信 一理論と設計一, pp. 144~156, 電通学会, March 1972.
- (22) 横山光雄; “任意の帯域特性に対するFM雑音”, 電波研季報, 17, No. 89, pp. 148~159, March 1971.
- (23) 雁部頼一著, 改訂, 電話トラヒック理論とその応用, pp. 17~31, 電通学会, July 1972.
- (24) 電波監理局; “陸上移動業務等 60MHz, 150MHz, 400MHz 帯の利用状況調査結果について”, Nov. 1974.
- (25) 岸田孝一, 藤井良治共著, シミュレーションの演習, pp. 61~131, 産報, March 1974.
- (26) 例えば庄司茂樹監修, 渡辺正信著, 移動通信方式, pp. 54~72, 科学新聞社, June 1971.
- (27) Schloemer, J. R., Cohn, J. and Braun, W. V.; “Computer Simulation of Interference in mobile Radio Systems”, IEEE Trans. VT., VT-16, No. 1, pp. 15~24, Oct. 1967.
- (28) Talley, D.; “Radio Engineering and Field Survey Transmission Methods for Mobile Telephone Systems”, IEEE Trans. VC., VC-14, No. 1, pp. 7~27, March 1965.
- (29) 北沢武久, 塚田藤夫, 市野芳明, 神子島踐男, 尾形昇二; “F3 移動通信系の所要電界強度測定”, 電通学会全国大会講演論文集, 分冊 3, No. 1222, Aug. 1970.

