

非常災害対策用広域多点情報収集システムに関する研究—その2

A Study on a Wide-range Multipoint Data Collection System for Countermeasures
against Unextraordinary Natural Hazards —No. 2

安田靖彦*・田坂修二**

Yasuhiko YASUDA and Shuji TASAKA

1. はじめに

文部省臨時事業研究費による本所のプロジェクト「都市における災害、公害の防除に関する研究」の第5グループ「都市情報の総合的収集・処理に関する研究」のサブグループとして、筆者等は表題のプロジェクトを推進している。プロジェクトは昭和49年度から3年計画で実行するもので、計画の概要については生産研究（昭和50年3月）¹⁾ですでに発表済みである。ここではその後の検討によって拡張されたシステムの全体計画ならびに、送信端末のモデルの具体的検討結果を御報告する。

2. 大震時の情報システムの役割

災害時とくに大震火災時においては住民の避難誘導にはたす情報連絡システムの役割がきわめて大きい。大都市においては平常時においても都市活動を支える情報システムのウエイトが大きく、複雑な通信網がはりめぐらしてある。しかし、皮肉なことには、より一層情報流動がはげしくなる災害時、これらの通信網の多くは機能をそう失し、混乱に拍車をかけることになりがちである。

比較的最近の例をみてみよう。²⁾

(i) 新潟地震

昭和39年6月16日13時1分40秒、新潟県粟島付近を震源地（深さ40km）とするM7.7の地震が発生し、新潟市およびその周辺を中心に大きな被害をもたらした。道路・交通についてみると、市内の道路は地割れのため徒歩と一部の自動車利用しかできず、国道もほぼ不通となった。空港は水没し、国鉄は完全にマヒ状態となり一番列車が入ったのは3日後という状態であった。電信電話関係は一般加入電話の91%が被害にあい、市外関係も県下の50%が被災し、新潟市外局関係は全断となって、新潟市は孤立状態となった。地震発生後、約3時間して県の行政無線を用いて高田市にある上越支庁と連絡がつき、新潟市の被災情報を得ることができて、救援活動が開始された。警察電話や翌日設置の

特設電話も利用されたが、完全な手段とはならなかった。

(ii) 十勝沖地震

昭和43年5月16日9時49分、北海道襟裳岬の南方約120kmを震源地（深さ20km）とするM7.8の地震が発生し、青森、岩手、北海道南部に大きな被害をもたらした。電信電話関係は青森県甲地統制無線中継所の自家発電機が30cmずれたため、本州と北海道を結ぶマイクロ回線が2時間にわたって不通となり、青森と近接都市を結ぶ市外電話やテレビ中継が途絶するという被害を受けている。一番被害の大きかった青森県においては、市外電話が完全に途絶し、情報収集・伝達には警察無線やアマチュア無線等が利用された。

(iii) ロサンゼルス地震

昭和46年2月9日6時0分42秒、ロサンゼルス市の北西部サンフェルナンドバレーを震源地（深さ約10km）とするM6.6の地震が発生し、震源が浅かったため局地的には震度7に近いゆれ方をし、サンフェルナンド地区内のシルマー地区で大きな被害を出した。この地震は高層ビルとハイウェーによって象徴される近代都市を襲った初めての大地震として種々の教訓を残した。通信施設関係の被害としては、シルマー地区の電話局内で機器が倒れ、同地区の電話回線はすべて途絶した。しかし、翌日には手動交換台（600回線）が設置され、業務が開始されている。また被災直後の情報収集、指示には消防・警察のヘリコプター搭載無線機やパトロールカーの無線機、学校の教材用無線機あるいは各病院間を結ぶ無線システムが活用された。

以上3つの事例から、大震時には無線通信しか頼りに出来ないこと、我国の2例と比べロス市においては災害時にそなえ意識的に各種無線システムが整備されていたために、情報収集活動がより早く開始されていることなどが分る。

さて、大震火災時における情報システムの役割を地震発生直後を起点として四つのフェーズに分け、それぞれのフェーズで問題となる情報と主要通信手段とをあげてみると表1に示すようになる。第1期は災害発生直後から住民の緊急避難が完了するまでの期間であり、第2期は救援活動が行われる期間、第3期は調査復旧の期間である。これらの期間の時間長は第1、2、

* 東京大学生産技術研究所 第3部

** 東京大学大学院生

表1 非常災害時における通信手段の役割

| フェーズ | 内容 | 関連情報と主要通信手段 |
|------|------------|--|
| 第0期 | 平常時 | 都市の物理的, 社会的微細構造の把握データの収集, (建物の分布, 人口の分布, 動態危険物の位置, 橋, 水門etc.) 調査活動 データファイル化, テレメータによる監視, 避難誘導方法のシミュレーションによるソフトウェアの蓄積 (地震予知システム) |
| 第1期 | 災害発生 避難 | 警報……ラジオ, テレビ 災害状況の把握……専用無線情報収集システム 地区別避難誘導情報の送信……テレビ放送の特殊使用 避難誘導情報の民衆への伝達……街頭放送, 広報車, 街頭表示板・ディスプレイ |
| 第2期 | 救援活動 | 救援に伴う通信連絡, ……警察・消防, 自衛隊・自治体その他の無線電話システム・電々の無線電話, 移動無線, 生残り有線電話システム, アマチュア無線, 船用無線. |
| 第3期 | 調査・復旧 | 調査, 復旧, 民衆の相互連絡: 公衆通信網の復旧, 調査活動によるデータの収集, 分析・ファイル化 |

3期間の順に大きくなる²⁾。また第0期は平常時であったが、大震火災の発生にそなえ常時必要な情報の収集、蓄積をはかしておく。

これらのうち、現在の都市で最も欠けているのは第

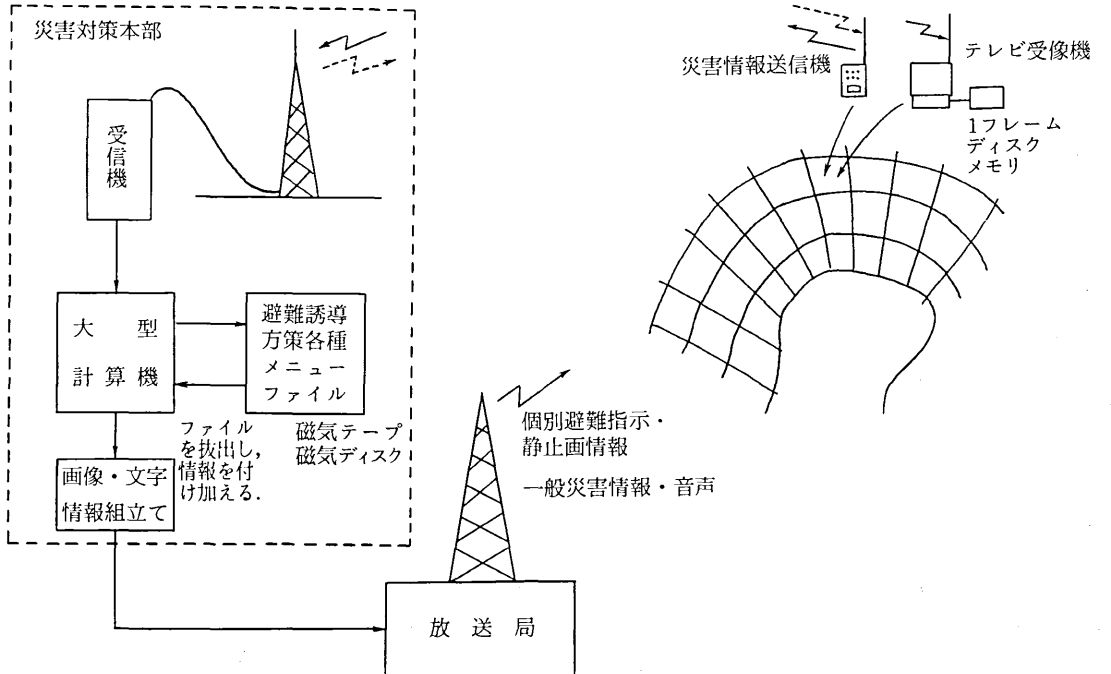


図1 非常災害時の情報収集・避難誘導情報処理・避難指示通信系

1期で必要となる情報システムであり、本研究は第1期の情報システムのあり方を検討するのを目的としている。

3. 大震大災時の避難誘導情報システム

大震火災の時定数は比較的大きいので、適切な避難誘導対策が講じられれば少くとも人命の損害は大幅に軽減できる可能性がある。このためには前項で述べた第1期の情報連絡体制の整備充実が重要である。現存の無線システムはいずれも相互連絡のための音声通信を対象にしたものである。ところが音声通信は送話者と同時に受話者がいて始めて成立するもので、地震発生直後から災害対策本部に要員が参集するまでの最も重要な初期の数時間、情報収集がブランクになるおそれがある。このような不都合を避けるには情報を符号化し、受信側は自動的に信号処理を行う専用の情報収集システムを構築しておく必要があると思われる。

上述のような観点に立って筆者等が構想している大震火災時の避難誘導情報システム概念図を図1に示す⁴⁾

対象とする地域を適当な大きさの網目状区域に分割し、各網目地区に地区指令所をおく。各地区指令所は災害発生と同時に、地区内の災害関連情報を収集し、これを符号化して無線送信機から中央の災害対策本部へ送信する。災害対策本部の受信機はこれらの信号を受信し、大形計算機によって処理し、対象地域(都市全体)の状況を把握する。一方平常時、種々の状況を

想定し、各状況に応じたシミュレーション実験によって、各網目地域毎に最適な避難誘導方針を求め、これを磁気ディスクあるいはマイクロフィルム等の媒体にファイル化して記録しておく。計算機は現時点の状況に照らしても最も適切なファイルを引出し、これに多少の修正や追加を加え各網目地域毎の個別避難誘導指示情報を盛込んだ静止画像を形成する。この画像情報は放送局へ伝送され、静止画放送形式で各網目地域へ伝達される。テレビジョン放送は毎秒30枚の相異なる静止画を放送する能力があるので網目の数が相当に多くても問題はない。各網目地域には1フレームリフレッシュメモリと自分宛の静止画を取り出すためのアドレスレコーダを付加したテレビ受像機を用意しておく、映し出されたその地区の個別避難誘導指示情報を責任者が読みとる。地区責任者はこれにその地区で独自に収集した情報を加えて、街頭放送、電光掲示板あるいは巡回等の手段で地区住民に周知させる。

以上のように我々の構想する情報システムは、災害情報収集系、避難誘導情報処理系および避難誘導指示通信系の三つのサブシステムからなっているが、本プロジェクトでは予算と人員の制約でまず第一の災害情報収集システムについて具体的な検討を行っているものである。

4. 非常災害対策用広域多点情報収集システム

4.1 システムの基本的構成

このシステムの基本的構成については昨年3月の本誌で詳述したので、¹⁾ここでは要求を簡条書きするにとどめる。

- (i) 対象地域を半径15kmの円、網目地区の面積を1km²とし、約700個所の網目地区を想定する。
- (ii) 災害情報の検出は網目地区毎に定めた責任者による有人検出する。
- (iii) 災害情報項目は20とし、各5段階法で表わす。従って1回の送信に必要な情報ビット数は60ビットになる。
- (iv) 通信方式は非同期多重通信方式とする。

4.2 情報収集用非同期多重通信方式

本システムでは多数の送信端末から送信される間欠的な情報を効果的に受信するための通信方式として、独特の信号構造と受信信号判定方法をもつ一つの新しい非同期多重通信方式を創案した。²⁾すなわち、各送信端末が発射するパケットは図2に示すような楕形の信号構造をもっている。互に独立な送信機から発射されたパケットは、図3(d)に示すように重なって受信される。これをベースバンド信号に変換した波形(e)から各パケットを分離して取出すため、このシステムでは非同期標本化検出を行う。すなわち、パケットを構成するデジタルパルス幅に等しい周期をもち、送信側

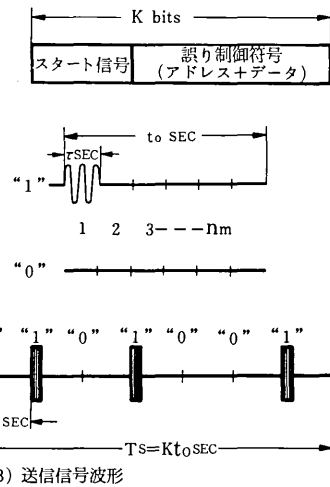


図2 送信信号の構造

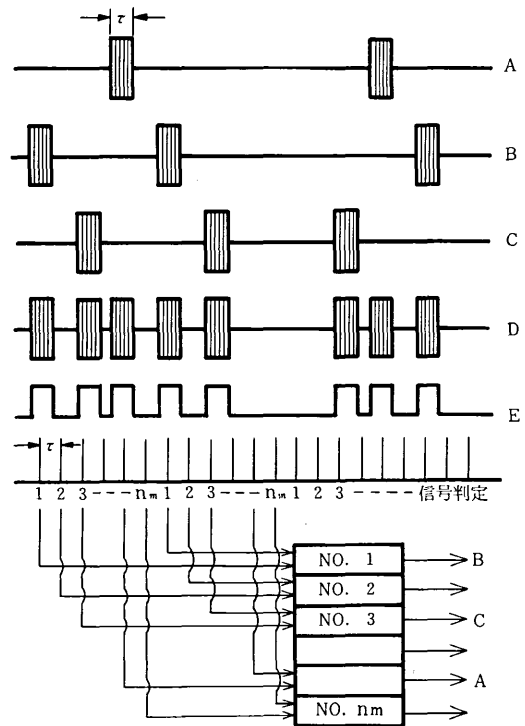


図3 チャンネル分離の機構

とは独立に自走する発振器から作った標本化パルスによって波形(e)を標本化し、デジタル間隔とパルス幅の比に等しい整数 n_m 個ごとに標本値をひろって同一のシフトレジスタへ印加していくと、各シフトレジスタの内容は同一パケットのデジタル信号のみとなって、

パケットが分離される。

4・3 方式の特性

上述の方式では、各送信端末は相互に独立にランダム位相でパケットを発射するので、二つ以上のパケットが偶然衝突してパケットが失われる可能性がある。

送信端末の総数を N 、デジタルパルス幅を τ sec、一つの送信端末がパケットを送信する平均時間間隔を T sec およびパケットを構成するデジタル数を K とするとき、パケットの損失確率は次式で与えられる。

$$P_L \approx 1 - \{1 - (2K - 1) 2\tau / T\}^{N-1} (N-1)(2K-1)$$

$$\tau / T \cdot \{1 - (2K - 1) 2\tau / T\}^{N-2} \dots \dots \dots (1)$$

一方、アロハ方式のようにビット同期を受信側でとる場合には

$$P_L \approx 1 - (2K'\tau / T)^{N-1} \dots \dots \dots (2)$$

となる。但し K' はビット同期用のプリアンブルデジタルを含むので、一般に $K' > K$ となる。

次に回線の利用効率を高めるために同一パケットを m 回反復送信する場合を考える。このときのパケット損失確率を反復される m 個のパケットのすべてが失われる確率と定義すれば、次式が与えられる。

$$P_{LM} = [1 - \{1 - (2K - 1) 2m\tau / T\}^{N-1} (N-1)(2K-1)$$

$$m\tau / T \cdot \{1 - (2K - 1) 2m\tau / T\}^{N-2}]^m \dots \dots \dots (3)$$

また同期標準化方式の場合、 m' 回反復送信を行うとすれば、パケット損失確率 P'_{LM} は

$$P'_{LM} = [1 - (1 - 2K'm'\tau / T)^{N-1}]^{m'} \dots \dots \dots (4)$$

で与えられる。

反復回数を増やすと一方ではその中で少くとも 1 回以上正しく受信される確率は大きくなる方向にあるが、他方チャンネルトラヒックが増大してパケット同志の衝突確率が大きくなる。従って、最小の損失確率を与える最適反復回数が存在し、次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} m_o &= [x_o T / \{1(N-1)\tau\}] \\ m'_o &= [T \ln 2 / (N \cdot 2K'\tau)] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

但し、 m_o 、 m'_o はそれぞれ非同期標準化受信および同期標準化受信の最適反復回数、 $[]$ はガウスの記号また x_o は方程式

$$\{1 - (1+x)e^{-2x}\} \ln \{1 - (1+x)e^{-2x}\} + x(1+2x)e^{-2x} = 0 \dots \dots \dots (6)$$

の根であり、 $x_o \approx 0.484$ となる。

パケットがチャンネルを占有する延べ時間の割合をトラヒック密度と定義すると、反復回数を最適化したとき、非同期標準化方式では、

$$\rho \triangleq m_o N K \tau / T = K x_o / (2K - 1) = 0.242 \dots \dots \dots (7)$$

となり、同期標準化方式では、

$$\rho' \triangleq m'_o N K' \tau / T = (\ln 2) / 2 = 0.347 \dots \dots \dots (8)$$

となる。

数値例として、スタート信号のデジタル数 16、情報ビット数 100 および 200、また $\tau / T = 10^{-6}$ の場合に上述の各式を計算してグラフに描いたのが図 4 である。但し、同期標準化の場合は、上記のデジタルの外にビット同期用デジタル 100 をつけ加えている。

5. 送信端末

本システムの実現可能性を確認するため、昭和 49 年度から 3 年計画で送信端末 2 台、受信復調装置、信号処理装置および広域災害状況表示装置を製作中である。ここでは製作の完了した送信端末について述べる。

5・1 送信端末の構成

送信端末の電気的設計仕様については既に報告した¹⁾。概略の構成は図 5 また装置の外観は写真に示す通りであるが、受信部は実装されていない。この通信装置は回転スイッチによって予め定めた 12 項目の災害情報を各 5 段階表示でセットする。このとき必要な情報量は 36 ビットであり、直並列変換器によって直列パルスに変換される。一方アドレス発生器によってこの送信端末に与えられているアドレス符号を発生し、前記情報ビットの直前に配置する。これらの直列ビットは誤り制御符号器に入って符号化され、別に発生されたスタート符号に続いて FSK 回路に送られる。FSK 回路は

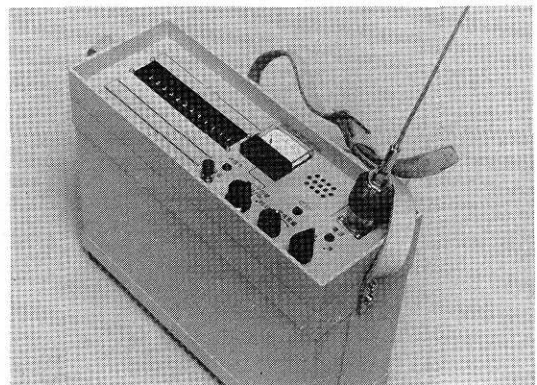


写真 試作送信端末の外観

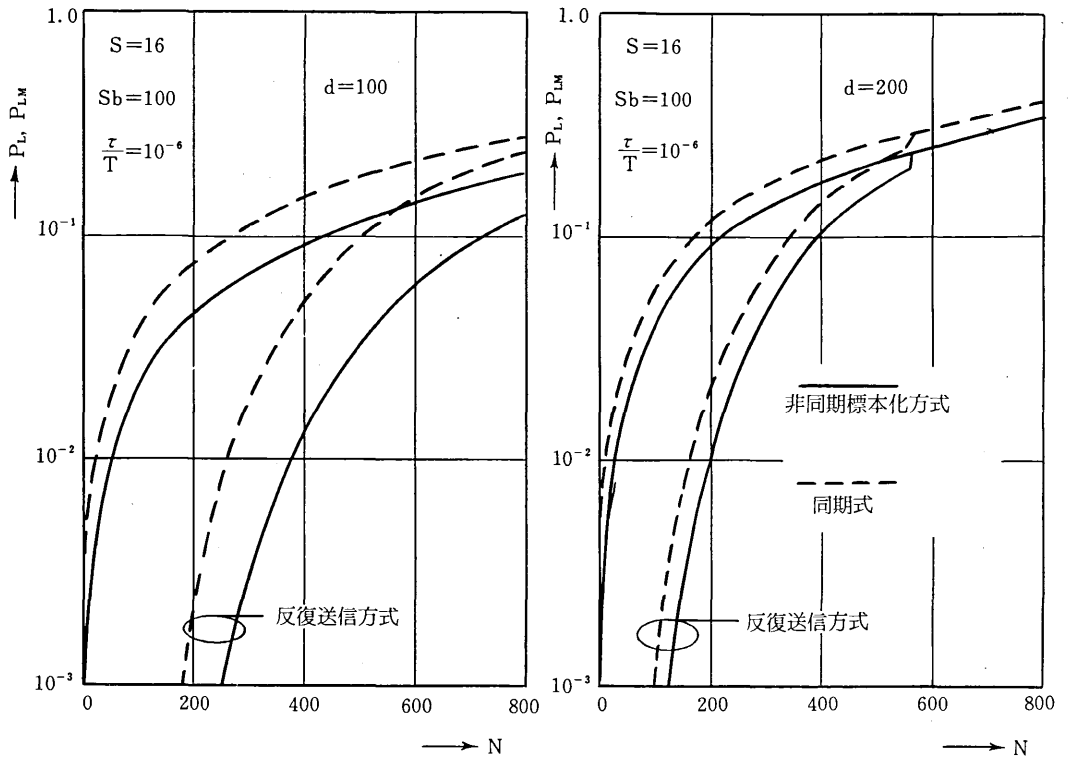


図4 パケットの損失確率

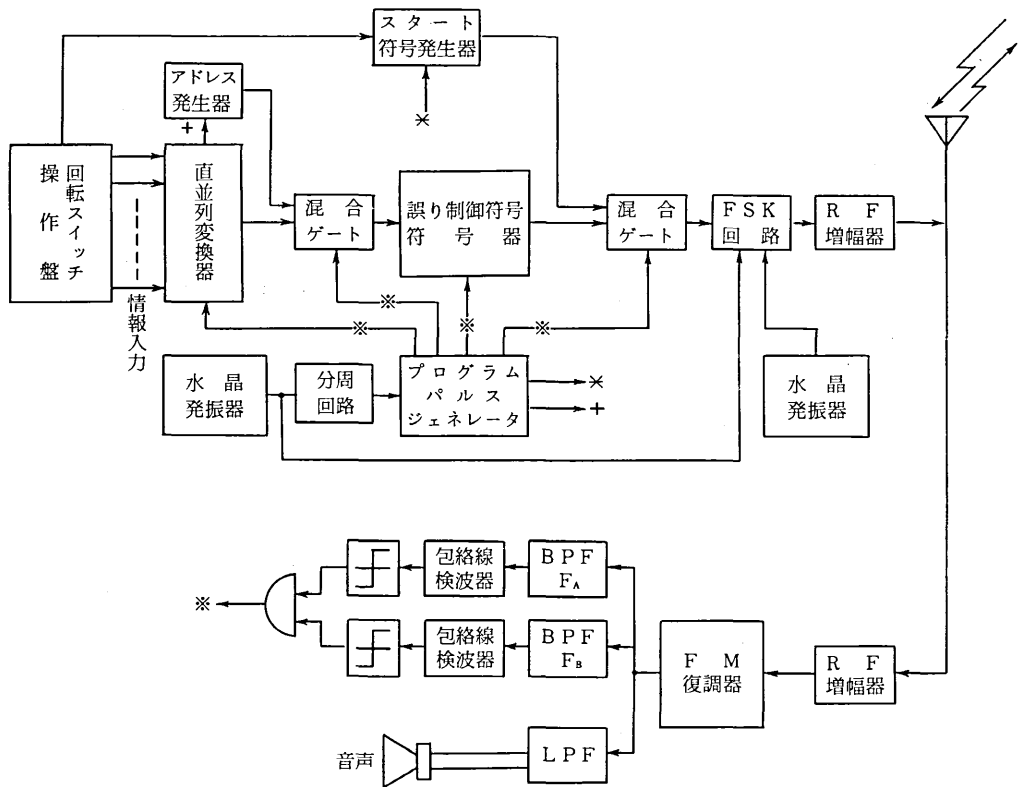


図5 送信端末構成図

二つの水晶発振器から得た搬送波と信号の1.0に応じて選択することによってF S K変調を行なう。RF増幅器はF S K波を所定のレベルまで増幅してアンテナから送信をする。この送信端末は当局によって実験局として認可され、409.3MHz（帯域25kHz、送信電力0.5Wピーク）が割当てられている。

5・2 電波実験結果

陸上とくに都市内のUHF帯の電波伝搬は、地形や建造物によるしゃへい効果、回折現象あるいはマルチパス効果等の影響を受けて極めて複雑な様相を呈する。したがって、送信電力と伝達距離との関係を推定する公式がないわけではないが、本当のところは実験によって調べる外ない。そこで試作送信端末モデルを用いて電波伝搬テストを実施した。本格的受信装置の製作が完了していないので、今回は連続波を送信して、電測によって受信電界強度を測定するにとどめた。測定条件は表2に示す通りで、受信アンテナを生産技術研究

表2 電波伝搬テストの測定条件

| | |
|---------|----------------|
| 送信周波数 | 409.3MHz |
| 送信電力 | 0.5W |
| 送信アンテナ | ホイップアンテナ |
| 受信アンテナ | 半波長垂直ダイポール |
| 受信周波数帯域 | 409.3MHz上40kHz |
| 受信感度 | -103dBm |
| 送信場所 | 各地点 |
| 受信場所 | 生研屋上 |

所屋上に設置し、送信端末を生研を中心とする半径5km以内の合計39個所に運び、各点で約15秒間送信して受信電界強度を記録した。測定結果は距離と受信電力との関係として図6に示す。図中で番号の欠落している地点からの送信は受信不能であったものである。No. 37~39は新宿副都庁にある高層ホテルの展望室内に選んだ送信点であって、送受信点間の直線距離は約3.7km、見通し可能であった。受信点のごく近傍を除くと、受信電界強度は距離には余り関係せず、送信点周囲の妨害物の条件や、送受信点間の建造物の分布状態によってきている。これは距離が2倍になると受信電界強度は6dB低下するだけであるのに対し、妨害物等の周囲条件の変化による電界強度の変動はこの実験でも20dB以上に達しているからである。実際の受信装置では帯域は25kHzと狭く、また受信アンテナ高も約200mを想定しているので、最大到達距離はもっと大きくなり、おそらく5kmは可能であろうと思われる。しかし本実験の結果、このままでは設計段階で想定した半径15kmをカバーするのは難しく、送信電力を10倍高めて5Wとするか、あるいは、中継器をおく等のシステム構成の変更をする必要があることが分った。

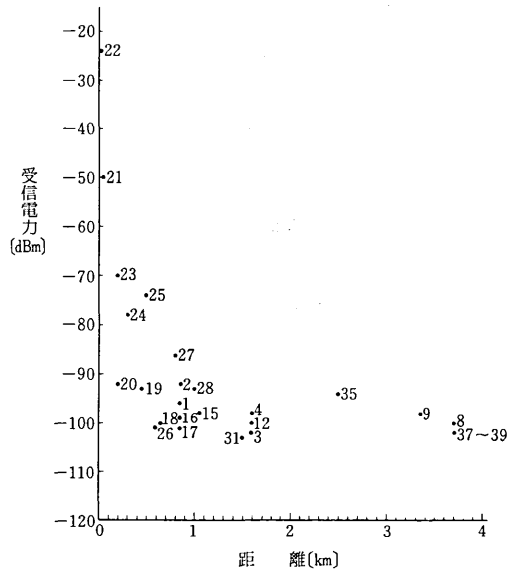


図6 電波伝搬実験結果
距離-受信電力の関係

6. む す び

本報告では前回報告の後、拡張した災害情報システムの考え方と、試作端末装置による電波伝搬テストを中心に述べた。本年3月末には本格的受信機および受信信号処理装置が完成するので、今後、実際にデータ信号を送受信して方式の特性を詳細に検討する予定である。その結果はいずれ稿を改めて御報告させていただく。

最後に、実験に協力された。当研究室新井、加藤両技官ならびに、津野大学院生に厚くお礼申し上げる。

(1976年3月8日 受理)

文 献

- 1) 安田, “非常災害対策用広域多点情報収集システムに関する研究” 生産研究27, 3, p.16(昭50年3月)
- 2) 平山, 小原, 富永, “地震時における情報連絡体制に関する調査” 東京都防災会議報告 (昭47年4月)
- 3) 未来工学研究所 “社会開発にともなう電気通信の未来形の研究(2)-都市災害非常通信網の研究-”, (昭49年3月)
- 4) 安田, 田坂 “災害情報収集システム” 昭和51年度電気学会全国大会発表予定
- 5) 田坂, 安田, “情報収集用非同期多重通信の方式” 信学論(A), 58-A, 8, p. 499 (昭50-08)
- 6) 田坂, 安田, “非同期標準化受信方式に対する最適波形” 信学論(A)58-A, 9, p. 563 (昭50-09)