

# 共通細密レーダ降雨情報システム 技術に関する共同研究

## 1. はじめに

レーダ雨量計による下水道用の降雨情報システムが、首都圏や関西圏の大都市で稼働し始め、雨水排水施設の運転管理や人員配備体制の充実に活かされつつある。しかし、現在導入されている細密雨量レーダでは、観測範囲が特定の地域に限られ、データの互換性がない等で、せっきくの降雨データも個々のシステム内だけの情報となり、全国的規模から見ると断片的なものとなっている。各自治体が下水道施設の効率的な運転管理に必要な、精度の高い降雨情報を確保するためには、広域的な下水道降雨情報システムを実現するためのレーダ技術、通信技術、流出解析計算のためのデータの仕様の統一等の標準化を行い、レーダ降雨情報システムの普及を推進する必要がある。

このような必要性から、細密雨量レーダで得られる降雨情報の精度向上、ユーザの要求定義を実現するシステムの構築及びシステム設計標準仕様の確立を目標に実現可能な各種技術を踏まえ、また、アンケートによるユーザ要求を抽出整理し、共通細密レーダ降雨情報システムとしての最適のシステム方式、構成及びレーダ雨量計観測技術等について研究を行った。

## 2. 研究体制

本研究は次の5企業と本機構との共同研究で実施

した。

株式会社 東芝  
三菱電機株式会社  
株式会社 日立製作所  
富士電機株式会社  
株式会社 明電舎

## 3. 基本システム構成

下水道用の細密雨量レーダを共通細密レーダ降雨情報システムの雨量観測拠点として全国的に建設する場合、全国を一つの単位としてシステム構築を行うのは現実的ではない。したがって、全国を地域別に分割したブロックを考え、ブロック単位でのシステム構築を行う必要がある。ブロック単位でのシステム形態としては、観測拠点となるレーダサイト（例えば15カ所）と、そのデータを共通利用するユーザ（例えば150カ所）と共通データの管理と集配信を行うセンター1カ所及び共通データの配信のみを行うサブセンター（例えば2カ所）で構成することが考えられる（図-1）。

### 3.1 ユーザシステムの基本構成

ユーザシステムにおいては、ユーザの望むサービス内容やデータの利用形態により、異なったシステムになる。

ユーザシステムで受信した降雨データを、自前の地上雨量計データにより補正し（加工処理）、特定

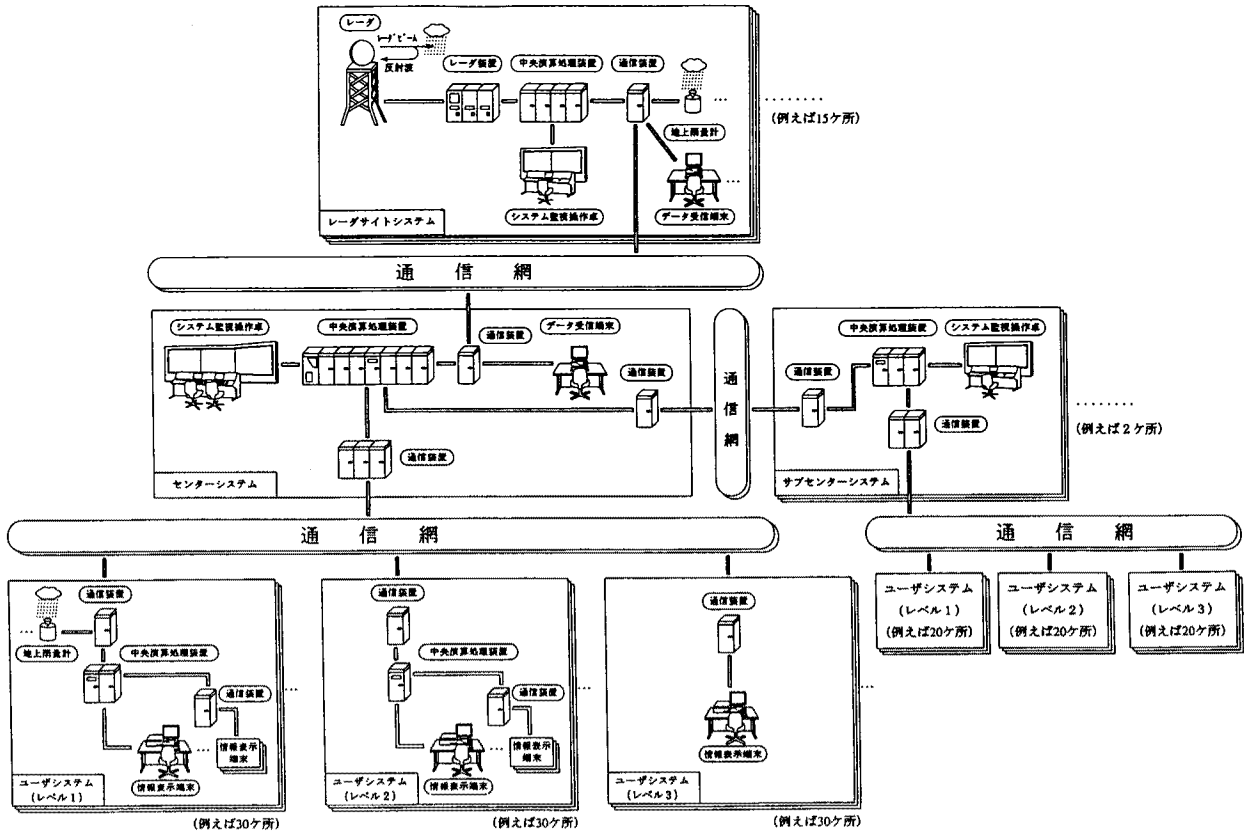


図-1 共通細密レーダ降雨情報システムイメージ

範囲の降雨データ精度をより向上させて活用して行くユーザをレベル1、受信した降雨データを複数端末に分配し（配信処理）、活用していくユーザをレベル2、受信した降雨データを、そのまま端末表示だけのユーザをレベル3とする。

レベル1、2のユーザでの運用方式は必ずしも共通仕様のシステムで満足できるものではないと考えられ、アプリケーションソフトによる運用方式も異なってくると考えられる。ユーザシステムレベル1、2のサービスは、データのみ提供するデータサービスとし、ユーザシステムレベル3では端末表示機能までサポートする端末サービス及び、データのみ提供するデータサービスとする。

### 3.2 システムの運営方法

レーダサイトシステムは、地域的にも広範囲に設置されるため、1つの組織で建設・運用・維持管理を行っていくことは、非常に困難となる。したがって、レーダサイトシステムは、既存のシステムのように大都市の自治体等、公共団体によって行うものとし、本システム運営母体では、レーダサイト間の連絡や全体システムに影響する基本仕様の統一等を協議し、実行・反映させる場に限定する。センター・

サブセンターシステムは、全国展開されている既存の気象情報サービスシステムと同様に、本運営母体において建設・運用・維持管理を行う。また、ユーザシステムでは、基本的に建設及び運営はユーザ側となるが、ユーザ側のシステム構築内容に、より要求程度の高い形での提供や、ユーザ側での自由なシステム構築を行えるものとする。

### 3.3 事業性評価

共通細密データ降雨情報システムの事業性評価としては、システム運用前に費用試算、採算性等をユーザ意識調査等を含め、検討を行う必要がある。事業性評価では事業規模を想定し、レーダサイトは自治体等独自での導入と建設が行われたものと考え、運営主体によりセンターシステムを建設し、ユーザへのサービスにかかる費用をイニシャルコストとして、ユーザからの情報提供に伴う収入により、何年で減価償却が可能であるか、ライフサイクルにより簡易な計算を行った。その結果、他の気象情報サービスシステムと同程度の情報提供料で高価なレーダ設備を導入できない自治体に対し、サービスを行うことができる。

## 4. システム機能

共通細密レーダ降雨情報システムのレーダサイトシステム、センター・サブセンターシステム、ユーザシステムの各サブシステム構築において基本事項となる機能を整理し、各々の機能で要求される項目について検討した。

### 4.1 基本機能

各サブシステム構築では、基本機能となる機能分散、データベース、ネットワークについて整理し、全体システムとしての構成を考えた。

#### 4.1.1 機能分散

各サブシステムの機能は、全般的に情報量が多く、処理機能の高いものが要求されるため、極力機能を分散することが望ましい。したがって、レーダサイトシステムでは、電波の送信・降雨強度変換・地上雨量計による補正を、センター・サブセンターシステムでは、降雨データの合成を、ユーザシステム（レベル3）では、表示用データ加工を分担させるものとする。

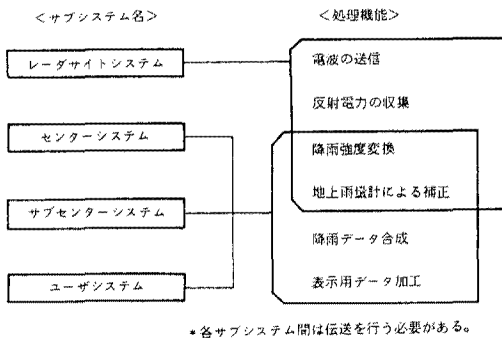


図-2 機能分類

#### 4.1.2 データベース

共通細密レーダ降雨情報システムでは、大量のデータが発生する。これらのデータを効率良く保存し、迅速に検索することが重要となる。各サブシステムでの処理と取り扱うデータについて以下に整理する。

##### (1) レーダサイトシステム

レーダサイトシステムにおける概略処理フローと発生データを図-3に記載する。これらのデータは、設定値を除き、レーダの観測周期ごとに発生するため、非常に大量となる。

##### (2) センター・サブセンターシステム

センター・サブセンターシステムでは、各レーダサイトシステムのデータが集中する。このシステムにおける概略処理フローと発生データを図-4に記載する。

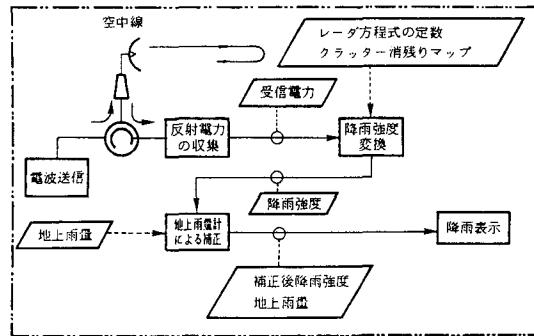


図-3 概略処理フローと発生データ

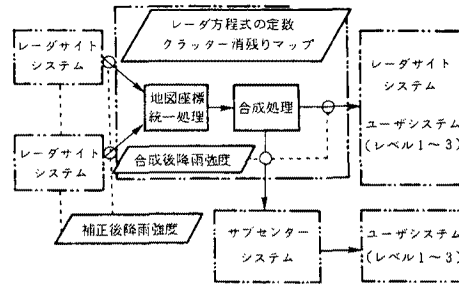


図-4 概略処理フローと発生データ

##### (3) ユーザシステム

ユーザシステムでは、降雨強度データを加工し、種々の降雨表示を行う。ただし、これらの処理は、処理時間をあまり要しないため、加工前のデータのみをデータベースの対象とする。このシステムにおける概略処理フローと発生データを図-5に記載する。

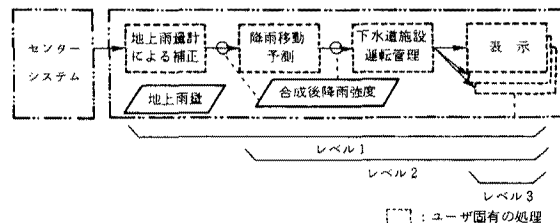


図-5 概略処理フローと発生データ

## 5. レーダ雨量計観測技術

レーダ雨量計の主要諸元は、下水道施設の運転管理、気象の性質、レーダ雨量計の能力の観点から検討を行う必要がある。今年度は、降雨強度算出方法、地上雨量計による補正、雨量データの合成方法について検討を行った。また、現状の細密雨量レーダの精度評価について調査を実施した。

### 5.1 レーダ雨量計の主要諸元

レーダ雨量計の主要諸元は、前年度研究により（表-1）のとおり。

表-1 レーダ雨量計の主要諸元

観測メッシュサイズ	250/500 m
観測周期	2.5 分
観測半径	50 km
観測高度	最高値 2 km
周波数帯域	Xバンド

5.2 降雨強度算出方法

降雨強度算出においては、電波の送信、反射電力の収集、降雨強度変換について検討を行った。

5.2.1 電波の送信

気象レーダでは、電波を継続的に出すパルス波(PW)を使用している。パルス波の仕様では、パルス幅とパルス繰り返し周波数(1秒間に発射されるパルス数)及び送信電力を決定する必要がある。

パルス幅の特性及びレーダの主要諸元からパルス幅1.67μ秒となるが、実際の運用においてはこの値に近い1μ秒または2μ秒を選択する。

また、繰り返し周波数は300pps以上1000pps以下となるが、2次エコーとの関係により450pps程度とする。送信電力は、既存の細密雨量レーダの実績より70kWを標準とする。

5.2.2 反射電力の収集

一般的に、信号を検出するには、信号が雑音より大きければ良く、受信機自体の性能を高める必要がある。

共通細密レーダ降雨情報システムにおいて雑音と受信信号を区別し得る最小受信信号は現状技術の最大能力に近い-108dBmとする。

5.2.3 降雨強度変換

観測された受信電力強度と降雨強度との間には、レーダ方程式といわれる関係式が成り立ち、これを利用して受信電力強度から降雨強度を算定する。

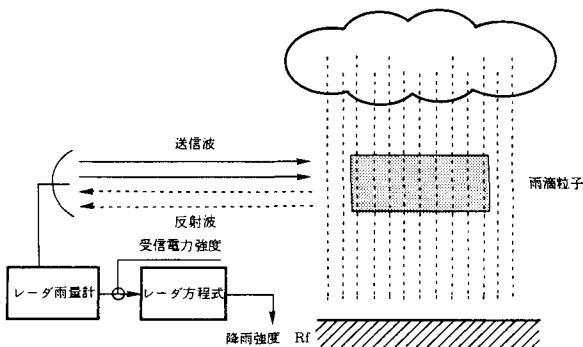


図-6 レーダ雨量強度変換原理

レーダ方程式は、次式で示される。

$$Pr = \frac{CFBR^\beta}{r^2} \times 10^{-0.2} \int_0^r (Ka + krR^\alpha) dr$$

- ここで Pr : 平均受信電力強度
- r : 距離
- R : 降雨強度
- C : レーダ定数
- F : システム補正係数
- B, β : 雨の種類によって決まる定数
- Ka : 大気ガスによる減衰係数
- krR<sup>α</sup> : 途中降雨減衰係数

5.2.4 極直変換

降雨強度変換により得られる降雨強度データは極座標(r, θ)形式であるため、データの取扱いを容易にするため、また、以降の処理の高速化を実現するため、直交座標データに変換する必要がある。

この変換方式は、下水道施設の運転管理における安全性の考えから、250/500メッシュの中で最大値のデータを取る、ピークデータ方式を採用する。

5.3 地上雨量計による補正

レーダ雨量計の持つ局地的降雨の捕捉、詳細な降雨強度分布の算出、雨域の発達・移動の認識という利点を保持しながら、精度の高い(地上雨量に近い)降雨観測を可能とするためには、レーダ雨量を地上雨量により補正する必要がある。

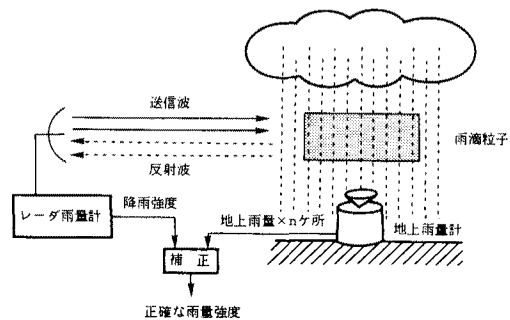


図-7 レーダ雨量計の補正の原理

補正方法は、同じ時間帯に観測された地上雨量とその上空のメッシュにおけるレーダ雨量間で、補正係数F(=地上雨量÷レーダ雨量)を求め、この係数をレーダ雨量に乘じ補正を行う。

5.4 雨量データの合成方法

複数のデータがある場合、隣接部における雨量データについては、隣接相互のレーダ観測による雨量データの合成が必要となる。

雨量データの合成のため、観測メッシュと地図と

の座標軸の統一方法、レーダ観測範囲重複部の合成方法等について検討を行った。

### 5.4.1 地図座標系

雨量データの合成を行うためには、地図座標系を統一し、各レーダの雨量データの位置を合致させる必要がある。

本システムのユーザが利用するのは、都道府県、市町村レベルの地図が中心と考えられ、また、各ユーザでも下水道用の地図を保有、または特定している。したがって、本システムで使用する地図座標系は、各地方公共団体が公共測量で使用している平面直角座標（17座標系）を適用するものとする。

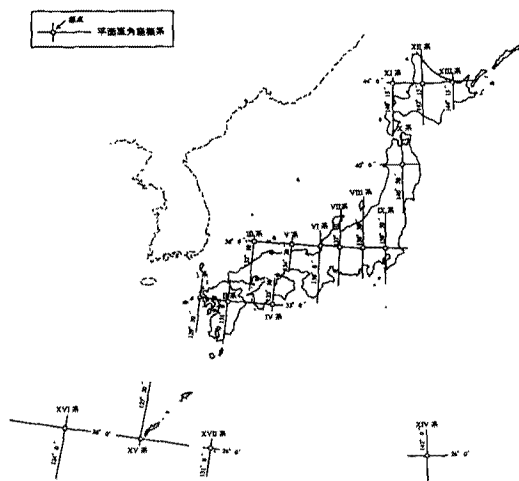


図-8 平面直角座標系

### 5.4.2 合成処理方法

本システムで、各レーダの観測値は降雨状況による誤差の影響が大きくなると考えられる。したがって、レーダ間の合成を行う場合、予めどちらのレーダ雨量の値を優先するか決定しておき、合成する方法である低ビーム高度方式や平均値方式よりも、両者のレーダ雨量を比較し、強雨の方を採用する最大値法が適している。

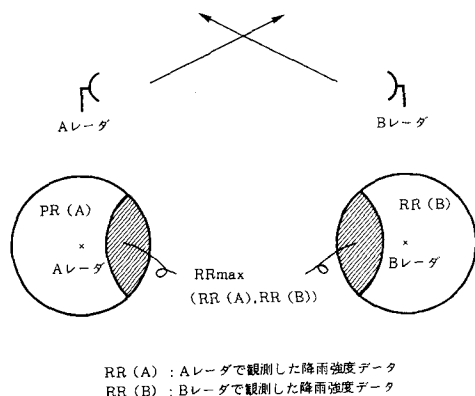


図-9 最大値優先方式による合成領域のデータ

レーダ観測の領域が重なり合う領域に於いて、地形等の外部要因で発生する山岳等による遮蔽部分やグラウンドクラッターによる観測不可部分は他のレーダの値により補完するものとする。

### 5.5 雨量データの精度評価

従来からレーダの精度評価については多々報告されているが、これらの多くはCバンドレーダのものであり、共通細密レーダ降雨情報システムで適用が考えられるXバンドレーダではその報告例は少ない。ここでは、既設の下水道細密レーダについて調査を行った。

表-2 レーダ精度の評価

降雨発生日	降雨状況	相関係数			自乗平均誤差 (mm/h)		
		10分	30分	60分	10分	30分	60分
'91-8-19	局地的な雷雨が発生し、1時間当たり17mmを超える地点も発生した。	0.57	0.47	0.30	11.5	6.0	4.4
		0.85	0.86	0.81	8.3	3.3	2.1
'91-10-10	広域的な降雨であった。(台風21号)	0.66	0.74	0.81	2.9	2.5	2.4
		0.78	0.95	0.98	1.7	0.7	0.5
'93-8-27	広域的な強い雨が長時間続いた。	-	-	0.75	-	-	-
		-	-	0.99	-	-	-
'93-10-30	広域的な強い雨で降雨の変動が非常に大きかった。	-	-	0.85	-	-	-
		-	-	0.95	-	-	-
'94-6-19	広域的な降雨で、1時間当たり20mmを超える地点も発生した。	0.61	0.79	0.88	3.3	2.2	1.2
		0.81	0.95	0.97	2.5	1.2	0.7
'94-7-18	局地的な降雨で、1時間当たり50mmを超える地点も発生した。	0.25	0.34	0.75	20.7	16.1	3.5
		0.70	0.75	0.94	8.2	5.5	1.7

上段：地上雨量計による補正前  
下段：" " " " 補正後

※ 10分、30分、60分は評価時間

## 6. 雨量データの活用

観測された降雨データをどの様に加工し、下水道施設の効率的な運転に結び付けて行くか端末機能として整理した。

### 6.1 表示機能

加工されたデータをどのように表示するか、概要を示す。

#### (1) リアルタイム表示

最新の降雨データを地図に重ね合わせて表示するもので、データの受信毎に随時最新の降雨情報が表示される(図-10参照)。

#### (2) 履歴再生表示

地図に重ね合わせて表示される降雨データを過去から現在まで順次更新させて表示するもので、降雨の移動状況を容易に認識することができる。

#### (3) その他表示

処理区単位、ポンプ場毎等の任意の地点における降雨強度、時間雨量(積算値)を折れ線グラフ

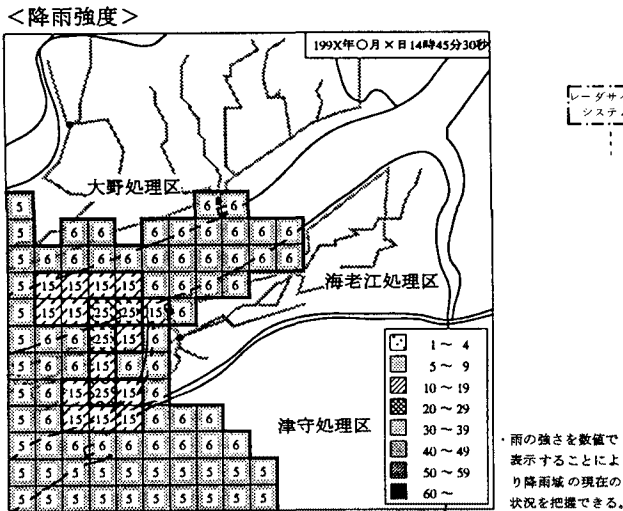


図-10 リアルタイム表示イメージ例

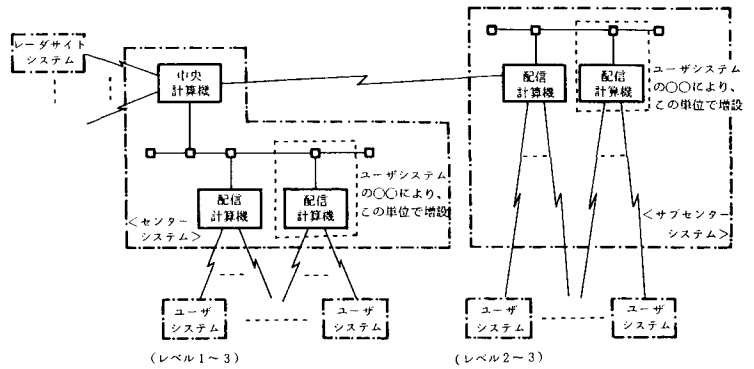


図-11 本システムにおける接続構成

で表示するトレンド表示や任意の地点に設置された地上雨量計の降雨データを地図（イメージ図）上に表示する地上雨量監視等が可能となる。

## 6.2 その他の機能

### (1) 豪雨警報機能

ユーザの設定により、豪雨が発生した場合は、警報を発生させ注意を促す。警報表示の際には、ウィンドウ表示すると共に、ブザー、ボイスアラーム等の音声情報にて発生通知する。

### (2) 情報提供機能

定期点検等により観測が停止される場合や、ユーザにとって必要な情報が連絡される。

## 7. ネットワーク

データ伝送を行える汎用ネットワークには種々のものがある。ここでは、共通細密レーダ降雨情報システムに適したネットワークの選定を行う。

### 7.1 ネットワーク形態

本システムにおいては、ユーザシステムの増減が随時発生することが予想されるため、専用回線の増加に対する拡張性が高く、センター・サブセンターシステムの改造が容易な接続形態を採用する。本システムでのネットワーク接続形態を（図-11）に示す。

### 7.2 伝送路

伝送路上を通過する降雨情報は、大容量で伝送周期も短い。したがって、常時伝送が必要とされる部分では、レーダの観測周期である2.5分以内に1周期分のデータの伝送が終了することが必要最低限の条件となる。共通細密レーダ降雨情報システムでは、各種回線の中から使用目的に合わせ、回線を使い分けるものとする。

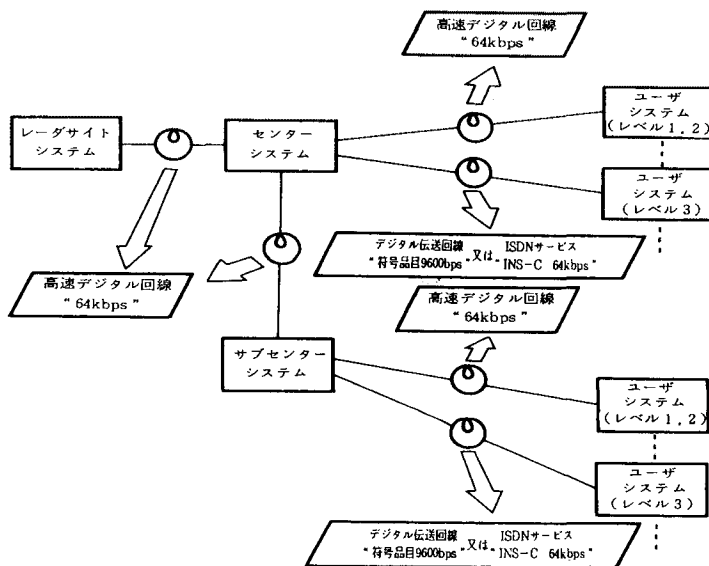


図-12 伝送路概念図

## 8. まとめ

本共同研究では、細密レーダによる降雨情報の下水道施設への適用を踏まえた上で、共通細密レーダ降雨情報システムでのシステム構想の再確認及びシステム機能・レーダ雨量計観測技術・ネットワーク等について基本仕様の検討を行うと共に、今後のモデル的事業設計等で必要となる基礎的検討事項を提

示した。

今後は、本年度研究結果に基づきモデル的事業の計画設計を行い、基本仕様を共通細密レーダ降雨情報システムでの標準仕様として設定していく必要があると考える。

また、事業を実際に運用して、今後のシステム展開を図ると共に、事業採算性等を実証して行く必要もある。

---

●この研究に関する問い合わせは

研究第二部長	藤田 昌一
研究第二部主任研究員	赤石 進
研究第二部主任研究員	田中 一朗
研究第一部研究員	森 正治