

衛星通信における電波の降雨減衰時間率の測定

入 江 浩 一

岡山理科大学工学部情報工学科

(1994年9月30日 受理)

1. ま え が き

衛星通信は後発の電波利用サービスとして高い周波数帯を利用することとなり、降雨減衰が大きくなるハンディキャップをもつ。これは通信回線の稼働率の問題と関連し、安全率をみることで通信システムのコストの問題となる。すなわち、降雨減衰に関する信頼できるデータがあれば、安全率を低くとって経済的な回線設計ができることになる。

降雨減衰は自然現象として年々の変動幅も大きく、信頼できるデータのそろっているところは少ない。従って、長期間の観測データの比較的そろっている降雨強度から降雨減衰を推定できれば便利であり、この関連の研究がこれまで多くなされてきている。

本論文はこの主旨のもとに降雨減衰と降雨強度の相関を求めるために、これまで7年間理大構内で観測したデータをまとめたものである。これまでも報告したが¹⁾、今回は測定開始時期にさかのぼって測定精度について再検討した結果である。

2. 測定方法の概要

2.1 降雨強度

気象庁規格の水滴計数形降雨強度計を使用している。カウンタを1分間で自動リセットすることにより1分間降雨強度を測定し、単位を mm/h に換算して表示する。分解能は1分間に1滴で決まり、0.5 mm/h であり、最大測定可能降雨強度は100 mm/h である（これ以上では水滴として分離せず、連続してノズルから水が落下する）。岡山地方では100 mm/h を超える強雨が観測されることは少ない。（最近の例では1994年7月7日の豪雨）

2.2 降雨減衰

市販の衛星放送受信装置を利用し、ブースタ・アンプの出力をマイクロ波電力計（自動レンジ切り換え機能付き）で測定する。電力計の出力はストリップ・チャートに記録している。装置としては簡単であるが、測定精度に関連する種々の問題がある。スペクトラムアナライザを使わなかったのは、受信信号に周波数変調がかかっているためレベルの変動があるためである。

マイクロ波電力測定系は広帯域であるので、広帯域雑音の補正が必要である。これは、蝕時の放送停止時の受信電力（晴天時の） P_n を利用して

$$P_m' = \beta(P_m - 1.80P_n) + 1.80P_n \quad (1)$$

となる¹⁾。 P_m は無降雨時の受信電力、 P_m' は降雨時の受信電力、 β はその時の降雨減衰の真数値である。ただし、平均気温を22°C、受信系雑音温度を348Kと想定している。(アンテナ：60K、コンバータ (NF：3 dB)：288K)

P_n は年2回春分、秋分の時期にそれぞれ45日間ほど観測できる。しかし、周囲温度の変化などの影響で期間中の P_n の測定値は変化する。例えば、

$$1992\text{年春期}：0.18\sim 0.21 \quad 1992\text{年秋期}：0.16\sim 0.19$$

これに伴い定常時の出力 P_m (無降雨時) もそれぞれ4.8~6.2, 3.8~5.2と変動している。これは測定系の温度特性と考えられる。その相関を求めて、蝕時以外での雑音出力を求めている。さらに、降雨による雑音の増大は温度に関係するので、各月の平均気温を用いて各月ごとに雑音の補正を行った。以上2つの補正を観測開始時期にさかのぼって行い、降雨減衰の測定データを修正した。

この程度の P_n のばらつきによる測定精度は10 dB で±0.3 dB, 15 dB で±1.0 dB 程度となる。マイクロ波電力計の自動レンジ切り換え機能により、減衰量のデシベル読み取り誤差は前記誤差に比べて無視できる。この測定法では最終的に15 dBで±2 dB, 10 dB で±0.5 dB の誤差と推定される。他の測定法に比べて10 dB を超える大きな減衰のところで精度がよくないのが問題であろう。

3. 測定結果

降雨強度累積時間率分布の7年間のばらつきを図1に、降雨減衰の累積時間率分布の7年間のばらつきを図2に、各年ごとの降雨強度と降雨減衰のそれぞれの累積時間率分布の関係を図3 a~図3 hに示している。

図1と図2をみると、年による変動がかなりあることがわかる。しかし、特異な1, 2年を除くと、降雨強度の累積時間率分布はかなり狭い範囲に収まっている。降雨減衰についてはこのような傾向はなく、年による変動幅は降雨強度の場合より格段に広い。これは累積時間率分布に関係する不確定要素として地点降雨強度のほか、降雨強度の空間分布の影響が大きいためである。つまり、降雨強度の累積時間率分布からのみ降雨減衰の累積時間率分布を直接推定することは無理であることを図2は示している。

降雨強度、降雨減衰とも時間率の小さいところでは観測される時間も小さくなり(1桁の場合もある)、測定方法に起因する精度の低下に有効数字の減少による精度の低下がさらに加わって、データの信頼性は低下する。図2は全観測データのうち信頼性のよくない部分をカットしている。

図3群は、各年ごとおよび7年間の累積について、降雨強度と降雨減衰の累積時間率分布のパターンを何らかの相関をみるために比較したものである。これだけでは一見して、

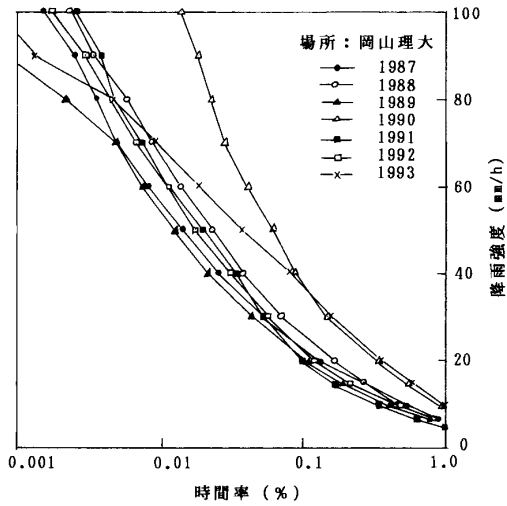


図1 降雨強度累積年時間率分布

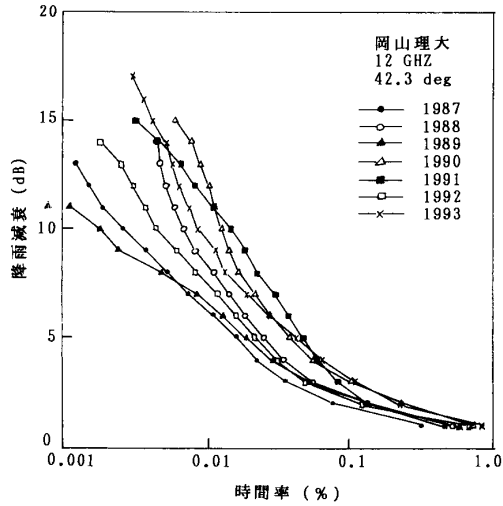


図2 降雨減衰累積年時間率分布

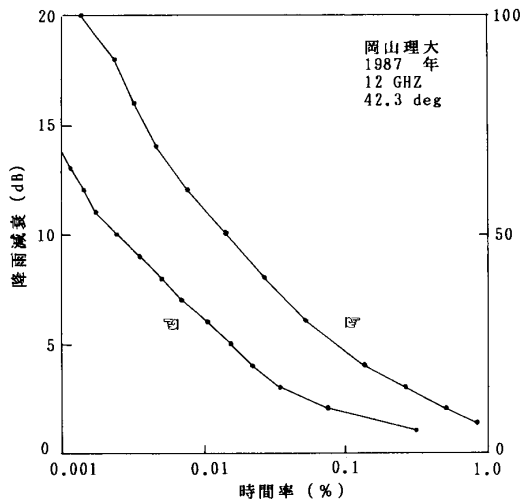


図3 a 降雨強度と降雨減衰の累積年時間率分布の関係 (1987年)

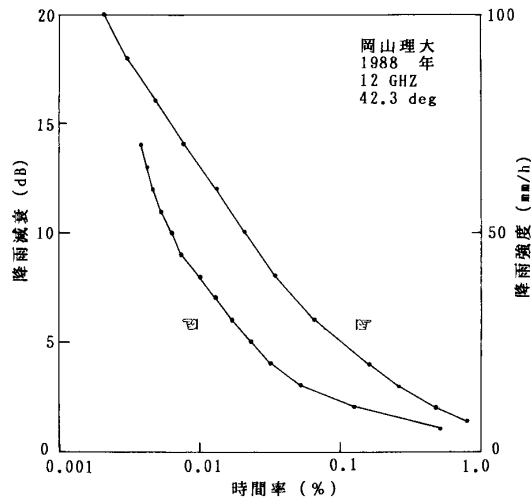


図3 b 降雨強度と降雨減衰の累積年時間率分布の関係 (1988年)

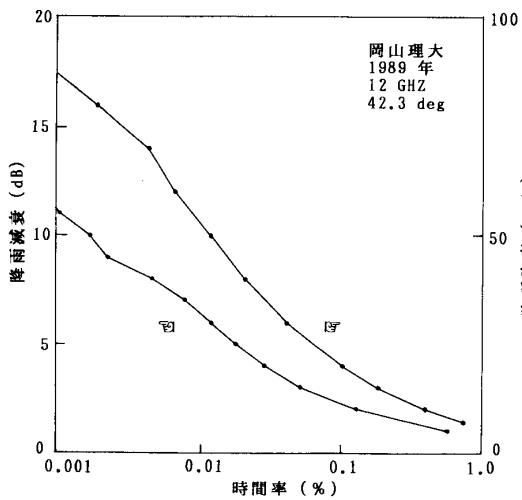


図3 c 降雨強度と降雨減衰の累積年時間率分布の関係 (1989年)

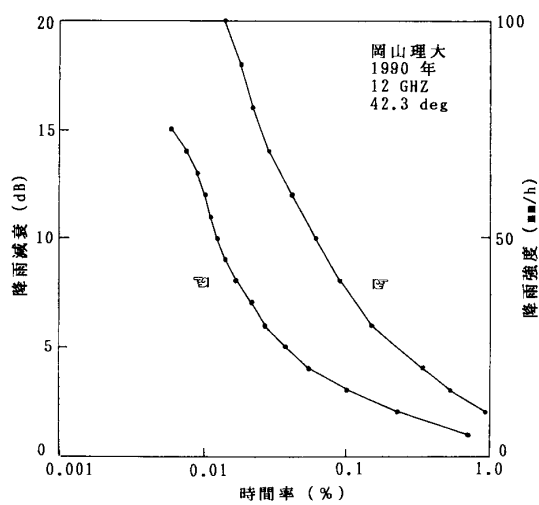


図3 d 降雨強度と降雨減衰の累積年時間率分布の関係 (1990年)

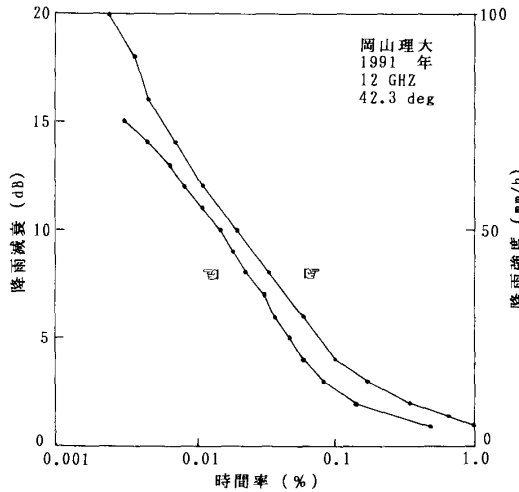


図3 e 降雨強度と降雨減衰の累積年時間率分布の関係 (1991年)

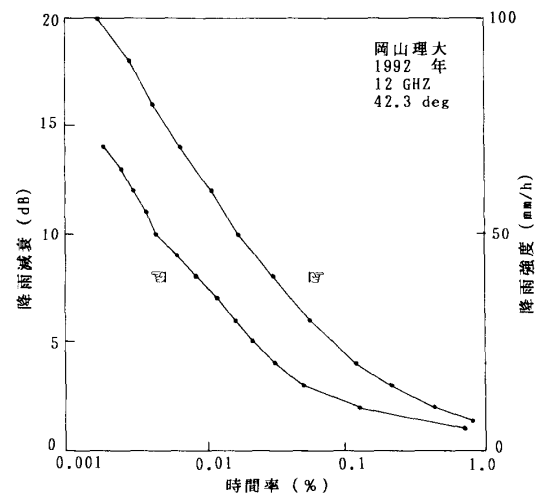


図3 f 降雨強度と降雨減衰の累積年時間率分布の関係 (1992年)

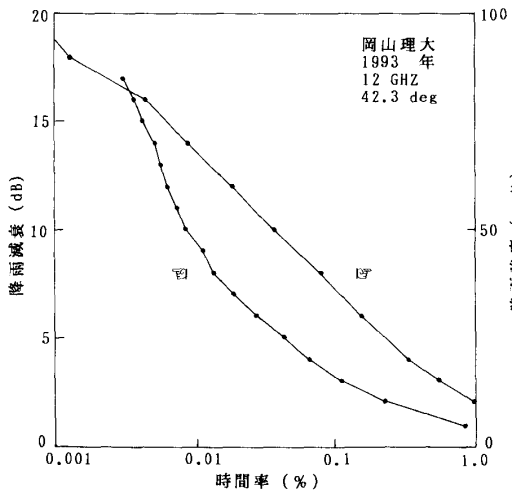


図3 g 降雨強度と降雨減衰の累積年時間率分布の関係 (1993年)

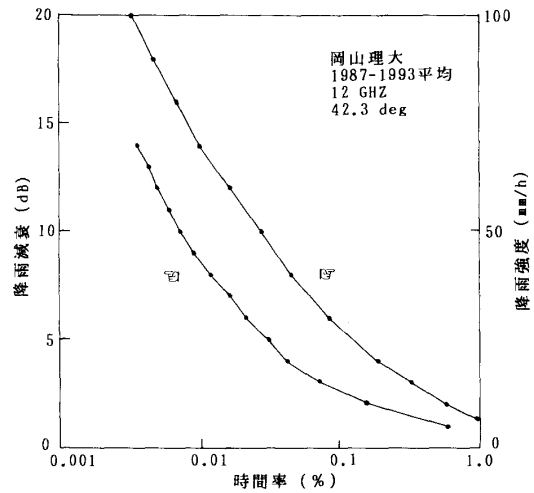


図3 h 降雨強度と降雨減衰の累積年時間率分布の関係 (1987-1993年)

ある相関をみることは困難である。降雨減衰の大きい要因となる降雨強度の空間分布について次に検討する。

4. 降雨減衰の推定のための検討

降雨減衰は雨滴による電波の吸収損失と反射損失によるものであるから、電波の通る降雨層の空間分布特性：降雨層の高度、降雨域の平面的拡がり、降雨域内の降雨強度の不均一性など、に大いに関係する。従って、これを地点降雨強度のみとの相関を求めようとしても無理である。

図4群は、累積時間率分布において同一時間率の降雨強度と降雨減衰の対応、および電波の「等価通路長」の関係を示したものである。等価通路長とは、地点降雨強度と同じ様な降雨域の拡がりを想定したとき、実際の減衰量となるためには電波はその様な降雨

強度の雨中を何 km 通過したことになるかを表すものである。一様な降雨強度中での電波の減衰については、理論的にも実験的にもデータがあり、CCIR のレポート²⁾によると、減衰係数 γ (1 km あたりの減衰量: dB/km) は降雨強度 R (mm/h) の関数として

$$\gamma = kR^\alpha \tag{2}$$

の形となり、定数 k および α の値は周波数、衛星をみる仰角、偏波などの関数として与えられている。我々の場合、周波数12 GHz、仰角42.3度、円偏波として

$$k = 0.0178, \alpha = 1.209$$

となる。従って、等価通路長 L_e (km) は、地点降雨強度 R (mm/h)、観測された降雨減衰 A (dB) とすると

$$L_e = A/\gamma \tag{3}$$

で表される。

図4群から次の2つの顕著な特性が認められる。

- (1) いずれも両対数目盛り上で1本の折れ線で表される。
- (2) 折れ線の屈曲点は、年による多少の変動はあるが、降雨強度が30 mm/h、降雨減衰が3 dBの近傍である。

両対数目盛り上で直線になることは、 aR^n の形に書けることを意味する。(実際に最小二乗法で定数 a と n を決定できる。) 降雨減衰 A がこの形に書ければ、式(2)、(3)の関係から L_e も同形式となることは明らかである。CCIR のデータバンク³⁾をみると、他の地点での測定でも同じような特性がでていいる。何故逆「へ」の字形の特性となるのかの理由を説

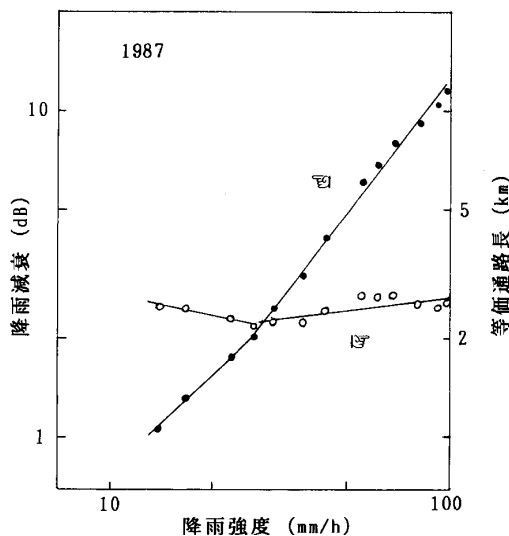


図4 a 降雨強度と降雨減衰および等価通路長との関係 (1987年)

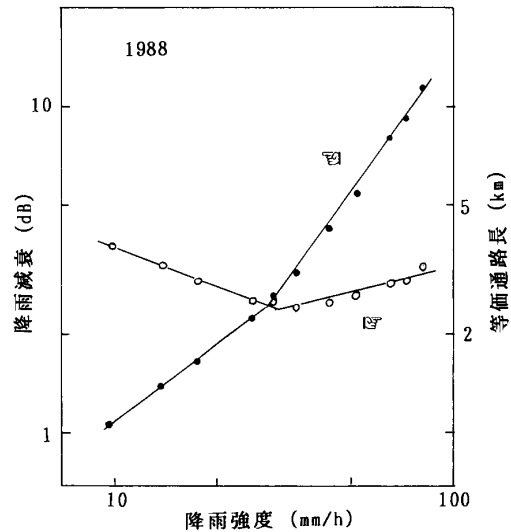


図4 b 降雨強度と降雨減衰および等価通路長との関係 (1988年)

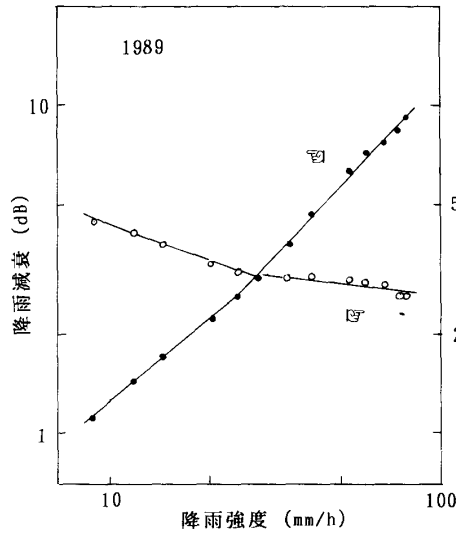


図4c 降雨強度と降雨減衰および等価通路長との関係 (1989年)

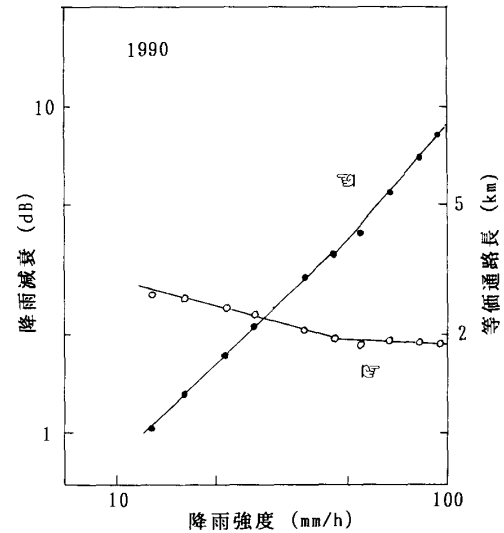


図4d 降雨強度と降雨減衰および等価通路長との関係 (1990年)

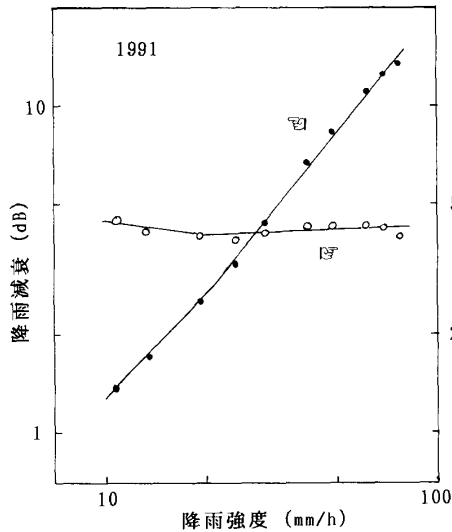


図4e 降雨強度と降雨減衰および等価通路長との関係 (1991年)

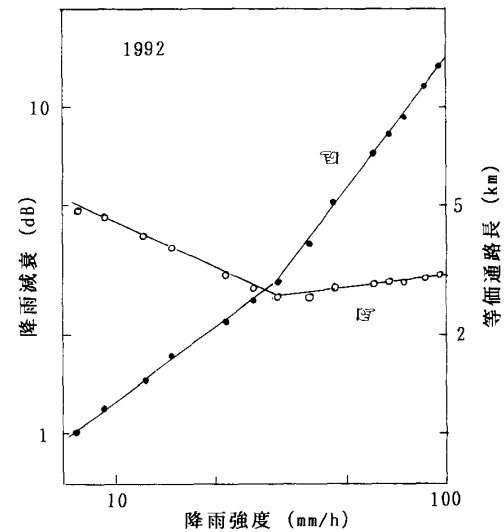


図4f 降雨強度と降雨減衰および等価通路長との関係 (1992年)

明することは、それ自体興味あることである。その正しい理由は、降雨減衰の推定法の探索のキとなる可能性もある。本論文の流れとは多少ずれるので、この問題の2、3の議論は付録において述べる。

降雨減衰の観点からは高い減衰量領域が問題となるので、右の直線部分について降雨減衰と等価通路長の年次変動をみたのが図5と図6である。降雨減衰の累積時間率分布において時間率に対して減衰の大きい1990、1991年を除くと、いずれも比較的狭い範囲に収まっている。従って、この2つのパラメータは降雨減衰の推定に使用できる可能性がある。問題はいかにして周波数、仰角、その地点の気候的特性から $A = aR^n$ の定数 a と n を決定するかである。

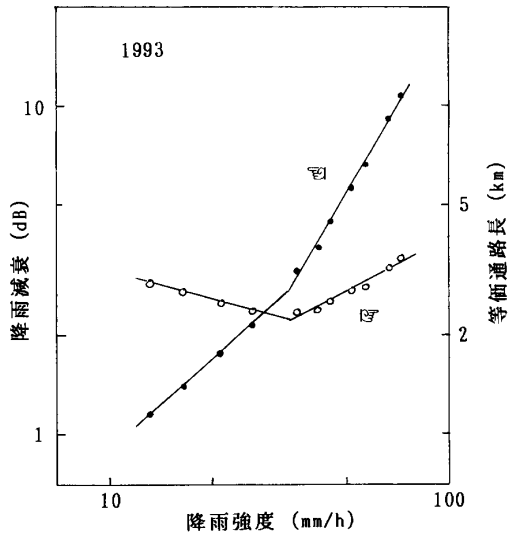


図 4 g 降雨強度と降雨減衰および等価通路長との関係 (1993年)

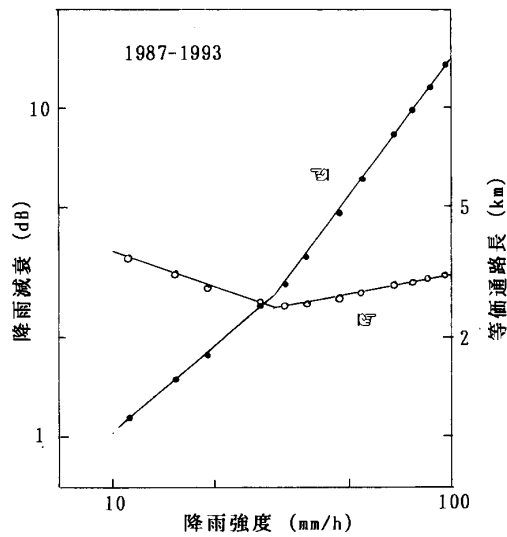


図 4 h 降雨強度と降雨減衰および等価通路長との関係 (1987—1993年)

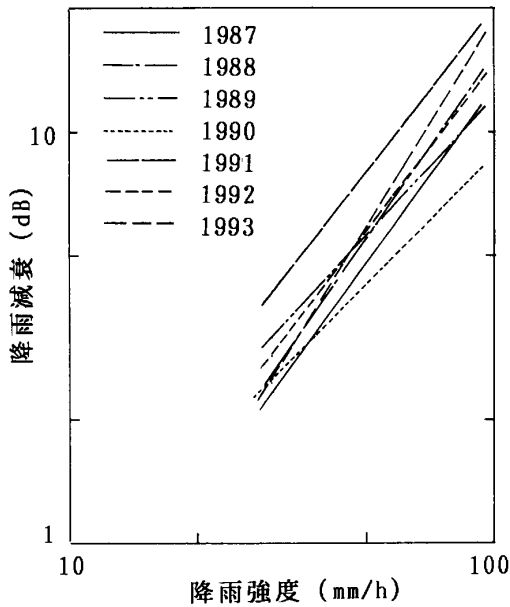


図 5 降雨強度と降雨減衰の関係の年次変動

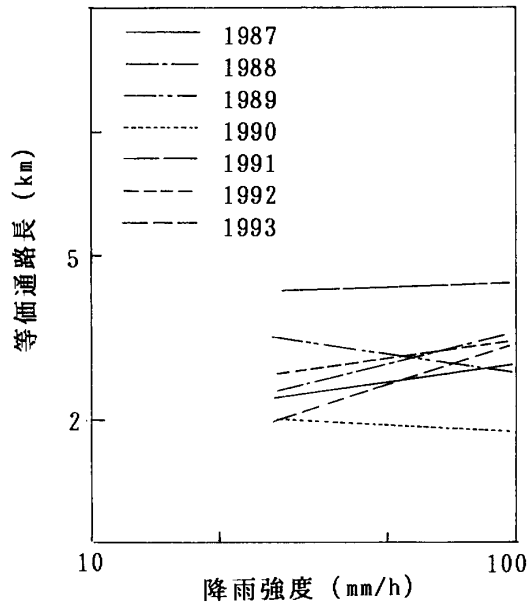


図 6 等価通路長の年次変動

5. あとがき

理大構内に新しい建物が建設されるため、現在の測定装置を移設する必要が生じた。このためしばらく測定は中断することになる。測定を再開するときには、あらためて測定方法の変更を検討するつもりである。

一方、今後は CCIR のデータバンクを中心にこれまで報告されているデータを分析して、前述の a 、 n の数値の決定の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 入江浩一：“衛星放送受信による12 GHz 帯電波の降雨減衰の測定”，岡山理科大学紀要，第27号A，pp. 275-281 (1992)
- 2) CCIR Report 721-2 “Attenuation by hydrometeors, in particular precipitation, and other atmospheric particles”
- 3) A. Paraboni：“Up-dating the CCIR Data Bank : Slant Path Attenuation Cumulative Distributions ; Single- and Multi-year Data”，CCIR IWP 5/2, Doc 88/3, (26 Jan. 1988)
- 4) Louis J. Ippolito Jr.：“Radiowave Propagation in Satellite Communications”，Van Nostrand Reinhold, (1986)

付録 累積時間率分布で同一時間率の降雨強度と降雨減衰との関係についての考察

図4群において，降雨強度と降雨減衰の関係が逆「へ」の字の形となることが，一部の年を除いて非常にきれいでている。このことの意味するところは，「降雨強度が大きくなるほど相対的に減衰量が大きくなる」ことである。このことに対する説明として次の3つが考えられる。

- (1) 強い降雨は夏期に集中する。このときは気温が高いから降雨層高度は高く，従って，電波の降雨中の通路長が長くなる。
- (2) 強い降雨は局地性，つまり，狭い平面領域内の雨域が移動していくと考えられる(雷雨などの例)。従って，ある時間継続して観測された降雨について，観測地点よりずれた所に最大降雨強度の降雨がある確率が高い。つまり，地点降雨強度よりも平均降雨強度が高くなる。
- (3) 夏期の降雨では雨滴のサイズが大きいと考えられる。降雨減衰係数はサイズの3乗に比例するから⁴⁾，同じ降雨強度ではサイズが大きいと減衰は大きくなる。

図6より， L_e はほぼ2.5~3.0 kmである。仰角が42.3度であることから，降雨層の高度は1.7~2.0 kmとなる。これは夏期としては低すぎるように思われる。雨域がより局所的であれば降雨層の高度は関係なくなる。従って，(1)の説明は非合理的と思われる。この問題の解決には，今後強雨で減衰が大きいときの降雨状況の観察が必要である。

Rain Attenuation Measurements on 12 GHz Satellite Link

Koichi IRIE

Department of Information & Computer Engineering,

Okayama University of Science,

Ridai-cho 1-1, Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1994)

One-minute rain rate and concurrent rain attenuation on 12 GHz satellite link have been measured for 7 years at Okayama University of Science, in order to get any realistic estimation method of rain attenuation from rain rate data. Rain attenuation is measured by means of a usual broadcasting satellite receiver. The results are summarized in a form of cumulative time-percentage distributions, and the relation between the rain rate and the rain attenuation at the same time percentage on the distributions is suggested as a possible parameter for this estimation. Also “effective slant path” is discussed in view of the same estimation.