

衛星放送受信による電波の降雨減衰の測定

——衛星通信における降雨減衰と地点降雨強度との関係——

入 江 浩 一

岡山理科大学工学部電子工学科

(昭和63年9月30日 受理)

1. ま え が き

無線通信では周波数が10GHzを超えると降雨減衰が顕著となり、通信回線の設計には降雨減衰の時間率特性が必要となる。しかし、降雨減衰の実測データがそろっている所はまれで、より広く利用可能な降雨強度に関するデータから降雨減衰を推定するのが普通である。衛星通信で仰角がとくに低くない場合には、降雨強度の空間分布は地点降雨強度に依存性が強くなり、また、利用できるデータは地点降雨強度のみであるのが普通であるから、降雨減衰と地点降雨強度とをむすびつける試みは多くなされてきた。

地点降雨強度と降雨減衰とをむすびつける際には2通りの方法が考えられる。1つは同一時刻での降雨強度と降雨減衰とを対応させることである。この場合、降雨強度、降雨減衰とも時間的変動がかなり急であるから、1分の精度で対応できる測定装置が必要であり、かつ、処理すべきデータ数も膨大となる。そして降雨強度の空間分布の時間変動を考えると、このようにして得られた降雨強度と降雨減衰の数值的対応には大きなばらつきがあり、いずれ統計処理が必要となる。そこで第2の方法は、同一地点で同一期間に観測された降雨減衰と降雨強度との累積時間率分布を求め、同一時間率を与える降雨強度と降雨減衰とを対応させるものである。この場合、統計処理はすでにおこなわれており、扱うデータ量はすくなくすむ。

本論文は、この第2の手法によって地点降雨強度 R と降雨減衰 A とを対応させたとき、 $A = aR^n$ の関係があること、および、地点降雨強度 R での降雨減衰係数 γ_R (一様な降雨強度の空間を電波が1 km伝播する間にうける減衰量、CCIR Rep 721に周波数、偏波の関数として与えられている。) と電波の等価降雨層通路長 L_e (地点降雨強度と同じ降雨強度が空間にひろがっているとしたときの電波のその降雨層の通路長) とを用いて降雨減衰を $A = \gamma_R L_e$ とあらわしたとき、 $L_e = bR^{-m}$ の関係があることを示した¹⁾。

通常、電波の通路にそって降雨強度は一様ではないが、 L_e は地点降雨強度での確率的な実効通路長を意味し、降雨強度の空間分布の時間特性を確率的に処理したものである。従って、その地点に特有な降雨強度時間率特性の効果は包含され、 L_e は周波数と降雨強度で決まってくると考えられる。

2. 測定装置

本論文では衛星放送受信を利用して12GHzでの降雨減衰を測定した。測定装置は図1に示すように市販の衛星放送受信装置を用い、ブースタアンプの出力をマイクロ波電力計で測定した。この測定系は広帯域であるので、バンドパスフィルタを用いないと雑音の影響をうける。バンドパスフィルタを用いない場合の雑音電力の補正は、春秋の蝕時の放送停止時の電力計の指示（これが雑音電力） P_N を利用する。降雨減衰のないとき（晴れ）のメータの指示を P_m とすると、減衰量 α に対応するメータの指示 P'_m は

$$P'_m = \alpha(P_m - P_N) + P_N \quad (1)$$

で与えられる。（付録A参照）

実際の P_N の値は -15dBm であり、測定系の等価入力雑音温度 464K （アンテナ雑音温度

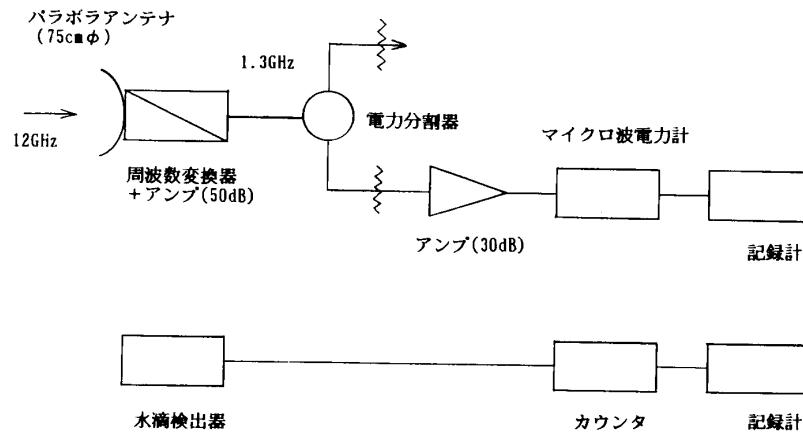


図1 降雨減衰と降雨強度の観測装置の構成

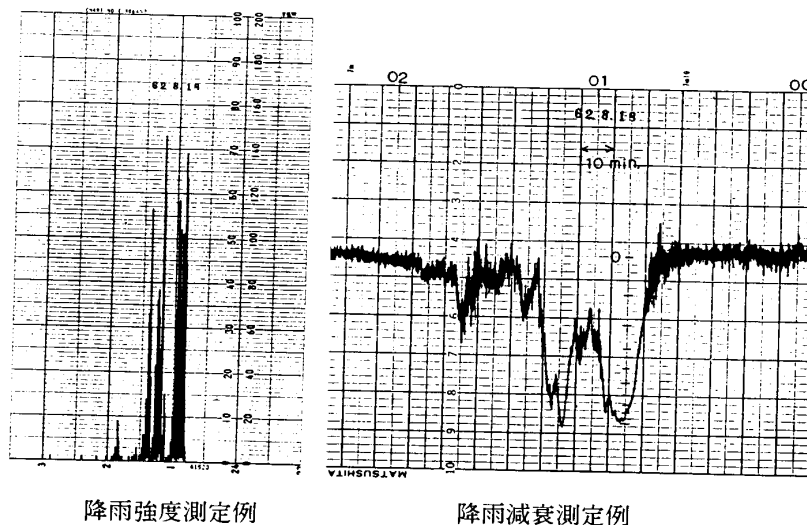


図2 降雨減衰と降雨強度の観測結果の一例

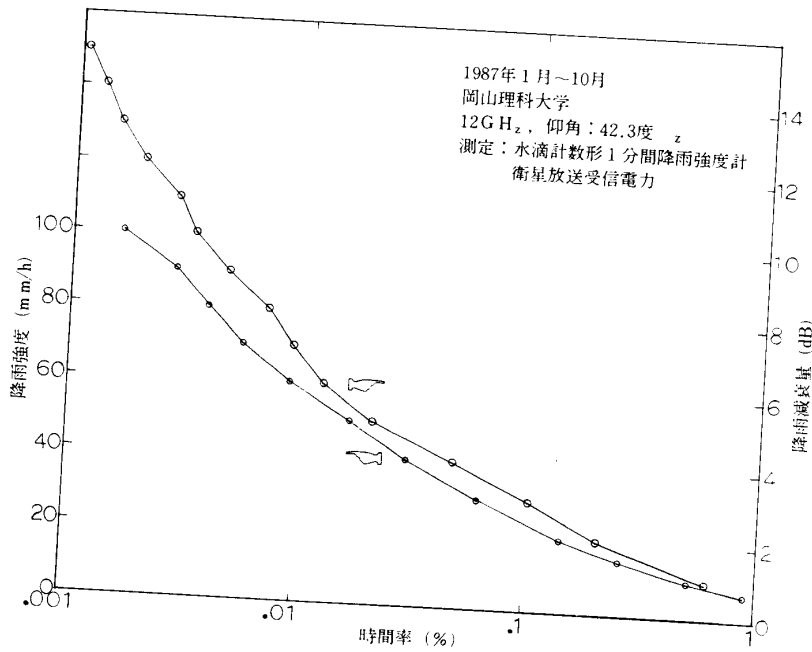


図3 降雨減衰と降雨強度の累積時間率分布
(縦軸の値を超える時間率を横軸は示す。)

が125K, コンバータのNFの3.2dBが319Kに相当), 総合利得69.8dB, スペクトラムアナライザでみた雑音帯域600MHzから求めた計算値は-14.3dBmである。

降雨強度計は, 水滴(1滴は0.5mm/hに相当)を光電的に検出し, カウンタは1分間で自動的にリセットするものである。(最大測定強度は100mm/h) この両者の記録計チャートの1例を図2に示す。

3. 測定結果

記録計のチャートから着目している降雨強度, 減衰量ごとの継続時間を読みとって積算することにより, それぞれの累積時間率分布が得られる。図3は昭和62年1月から10月までのものである。(ただし, 蝕時の放送停止, 停電による測定器不稼働時間などのためデータの欠落があり, 時間率分布としては正確ではない。)これから同一時間率を与える降雨強度と降雨減衰量の対応を求めることができる。図4はこれを両対数方眼紙にプロットしたもので, R と A の関係が直線とみなされることがわかる。最小二乗法により直線の式を求めることにより R (mm/h) と A (dB) の関係として

$$A = 0.118R^{1.003} \quad (2)$$

が得られる。また図4には, 12GHz, 円偏波の場合の減衰定数を用いて, 地点降雨強度 R と等価降雨層通路長 L_e の関係もプロットしてある。(どちらもプロット点は時間率で0.5, 0.3, 0.2, 0.1, 0.05……0.002%に対応している。) R (mm/h) と L_e (km) の関係も直線とみなされ,

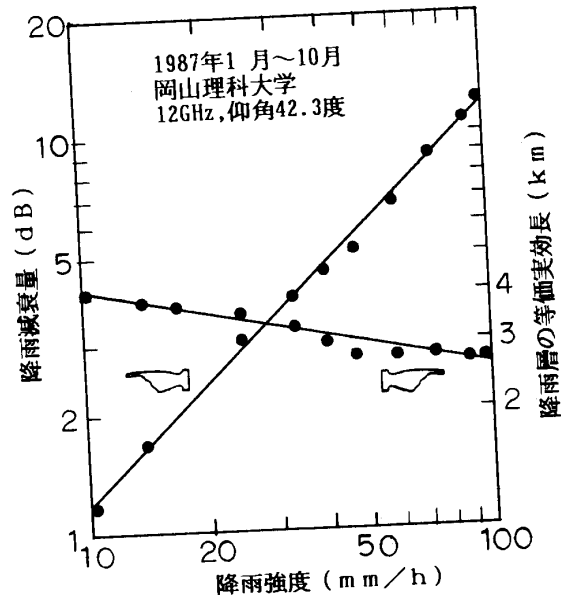


図4 累積時間率分布において同じ時間率を与える降雨強度と降雨減衰の関係、および、その場合における地点降雨強度と地点降雨強度での等価層長との関係

$$L_e = 6.59R^{-0.208} \tag{3}$$

となる。

4. 降雨減衰量の推定値との比較

降雨減衰の推定式としては種々なものがあるが、ここでは代表的なものとして森田氏の方法²⁾、CCIR/KDDの方法³⁾、CCIR/NHKの方法⁴⁾により降雨減衰量を求めて、上記の実測値と比較してみる。CCIRの方法で必要とする年平均時間率0.01%降雨強度は、1976~1985年の岡山地方気象台の1分間降雨強度観測データを整理した結果の51.0mm/h⁵⁾を使用した。また、森田氏の方法では、すべて森田氏の論文²⁾にある諸量を使用した。筆者の提案した方法⁶⁾による結果もくわえて結果を表1にまとめた。

この結果からみると、観測値は推定式の与える値より低いこと、森田氏の推定式は他の

表1 降雨減衰の推定値と観測値の比較 (単位: dB)

年時間率(%)	森田	CCIR/KDD	CCIR/NHK	入江	観測値
0.6	2.3	1.5	1.5	1.6	1.1
0.1	5.3	3.7	3.7	4.4	3.1
0.01	12.4	9.7	9.5	9.6	6.8
0.0015	26.5	18.3	17.8	14.7	13.2

推定式より高い値を与えること、がわかる。観測値がかなり低い値となっている理由は明確ではないが、推定式はいずれも長期間における平均値を与えるよう作られていることに
対し、観測値は短期間のものであること、測定上なにか問題があるのかもしれない、こと
が考えられる。これはさらに追及する予定である。

5. む す び

衛星放送の受信による電波の降雨減衰の測定を試み、連続10ヵ月間の1分間降雨強度と
降雨減衰の累積時間率分布を求めた。これから次のことがわかった。

(1) この2つの累積分布において、同一時間率を与える降雨減衰量 A と地点降雨強度 R と
を対応させると、 $A = aR^n$ の関係がある。

(2) 地点降雨強度での減衰係数 γ_R と、その降雨強度での等価降雨層通路長 L_e とを用いて
降雨減衰量を $A = \gamma_R L_e$ とあらわすと、 L_e は $L_e = bR^{-m}$ とあらわせる。

以上の関係が他地点での測定（降雨強度特性、周波数、仰角が異なる場合）の結果につ
いても成立することを CCIR のデータバンク⁷⁾について検証し、係数も b や指数 m は地点
によらず周波数の関数として簡単な式であらわせることを示し、新しい降雨減衰の推定式
が得られることは別に報告した。⁶⁾

(3) 降雨減衰の測定結果をこれまでに提案されている降雨減衰の推定式による計算値と比
較すると、測定値は計算値より20—30%低い。この原因についてはさらに追及する予定で
ある。

得られた降雨減衰および降雨強度の累積時間率分布を、対数正規分布、ガンマ分布およ
び Moupfouma 分布で近似した場合の分布のパラメータの値とその近似の精度の度合いに
ついては付録Bに示した。

謝 辞

衛星放送受信による降雨減衰測定について有益なコメントをいただいた NHK 技術局の
山口孝一氏に深く感謝いたします。Moupfouma 分布については NTT 無線システム研究所
の細矢良雄氏にいろいろ教えていただいたことを感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 入江浩一：“衛星通信における降雨減衰の推定式”，昭62中国連大071114
- 2) 森田和夫：“衛星通信回線における伝搬特性の推定法（準ミリ～ミリ波帯の場合）” 研実報，28，8，
pp. 1661—1676（1979）
- 3) 山田，唐沢：“衛星通信における伝搬劣化量の推定法”，信学技報，SAT86—15，（1986）
- 4) 伊藤士郎：“12GHz 帯衛星放送電波の降雨減衰の推定法”，NHK 技研月報，27，5，pp. 156—161，
（昭59.5）
- 5) 入江浩一：“岡山市における降雨強度確率分布”，岡山理大紀要，22—A，pp. 299—304（昭62年3月）

- 6) 入江浩一: "衛星通信における降雨減衰量の推定", 信学技報, **A.P88-6**, (1988-5)
 7) CCIR Study Group Document 5/378 (Rev.1) -E, "DATA BANKS USED FOR TESTING PREDICTION METHODS IN SECTIONS E, F AND G OF VOLUME V", October 1985

付録 A 広帯域雑音の補正

測定には常に一定の雑音電力 P_N が加わっていると考え、無降雨時の信号電力 P_s , そのときのメータの指示 P_m , 降雨時の信号電力 P'_s , そのときのメータの指示 P'_m , とすると,

$$P_m = P_s + P_N$$

$$P'_m = P'_s + P_N$$

であり, P'_s/P_s が降雨減衰 α であるから, この両式から P'_s と P_s の比を求めると,

$$\alpha = P'_s/P_s = (P'_m - P_N)/(P_m - P_N)$$

となり, これより本文の(1)式を得る。

付録 B 降雨強度と降雨減衰の累積時間率分布の理論確率分布近似

測定された降雨強度, 降雨減衰の累積時間率分布を対数正規分布, ガンマ分布, および Moupfouma 分布で近似したときのそれぞれの分布のパラメータと近似の精度を図 5 に示した。この例では, 広い範囲にわたって対数正規分布がよく一致しているが, これは例外的な場合であり, 一般に対数正規分布は時間率の高いところで, ガンマ分布は低いところで, Moupfouma 分布は広い範囲でよく一致する。

各分布の確率分布関数は下式で与えられるものである。

対数正規分布:

$$F(R_o) = \int_{R_o}^{\infty} \frac{\log e}{\sqrt{2\pi sR}} \exp \left\{ -\frac{(\log R - m)^2}{2s^2} \right\} dR$$

ガンマ分布:

$$F(R_o) = \int_{R_o}^{\infty} \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)} R^{k-1} \exp(-\lambda R) dR$$

Moupfouma 分布:

$$F(R_o) = a \frac{\exp(-\beta R_o)}{R_o^\tau}$$

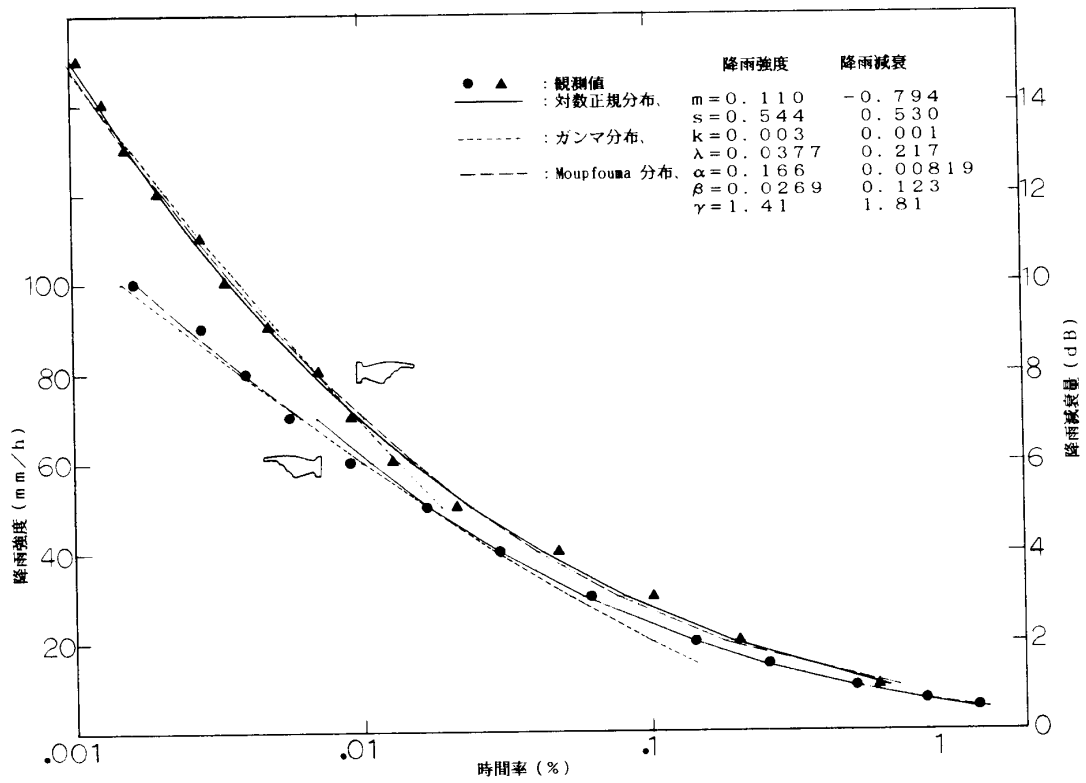


図5 降雨強度と降雨減衰の累積時間率分布の理論確率分布近似

Rain Attenuation Measurements by Receiving Satellite Broadcasting Signals

— Point Rain Rate and Rain Attenuation in Satellite Communications —

Koichi IRIE

Department of Electronics Engineering

Okayama University of Science

Ridaicho 1-1, Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1988)

Ten months records of concurrent rain rate and rain attenuation measured at Okayama University of Science reveal that rain attenuation is proportional to the n -th power of point rain rate when both are taken to be of identical time percentage on each cumulative distribution. The equivalent slant path length (rain zone of uniform rain rate throughout, equal to the point rain rate, is assumed and the rain zone extends so as to yield the actually observed rain attenuation) is also proportional to the m -th power of the point rain rate. (The author has confirmed these facts using CCIR rain attenuation databanks and has presented accordingly a new and simple prediction formula for rain attenuation in a separate paper.)