

CCIR の斜め伝搬路降雨減衰推定法に関する検討

入 江 浩 一

岡山理科大学工学部電子工学科

(1990年9月30日 受理)

1. まえがき

周波数が10GHzを超える無線通信では降雨による電波の減衰が顕著になり、この降雨減衰のより精度のよい推定法の確立は通信回線の設計には非常に重要となる。地上回線の場合と異なり、衛星通信の場合は伝搬路が斜めとなり、通信局設置の1地点での降雨強度から降雨減衰を推定する必要がある。

CCIR (Comité Consultatif International des Radiocommunication, 国際無線通信諮問委員会) は斜め伝搬路の降雨減衰推定法をREPORT 564-3⁽¹⁾に規定しているが、その要旨は

- ① 平均年時間率 0.01%の降雨強度 $R_{0.01}$ から、その時間率の降雨減衰 $A_{0.01}$ を求める。
- ② $A_{0.01}$ から、 $1.0 \geq p \geq 0.001\%$ の範囲内の任意の時間率 $P\%$ の降雨強度 A_p を求める。

本論文は、上記の①、②について、CCIRの最新の降雨減衰データバンク⁽²⁾をもとに経験的推定式を求め、その推定精度をCCIRの降雨減衰推定法による推定精度と比較し、CCIRの降雨減衰推定法の精度向上の可能性を示したものである。

2. 累積時間率分布の 0.01%における降雨強度と降雨減衰との関係

多くの降雨減衰推定法は、降雨減衰 A を地点降雨強度 R での降雨減衰係数 γ と電波の実効的な降雨層通路長 L_e との積として求め、 L_e の与え方にいろいろ工夫している。CCIRの推定法では、気温零度 C の高度、サイトの高度と緯度、仰角などから求めた斜め伝搬路長に、降雨強度の空間分布 (これを降雨強度の関数としてあらわしている) による補正を加えて L_e を決めている⁽¹⁾。この方法では、斜め伝搬路長は物理的意味が明確であるが、降雨強度の空間分布による補正項は経験的である。

2.1. 降雨層実効通路長

CCIR の降雨減衰データバンク⁽²⁾ から、ビーコンによる測定法の場合について

$$L_e = A / \gamma, \quad \gamma = kRa \quad (1)$$

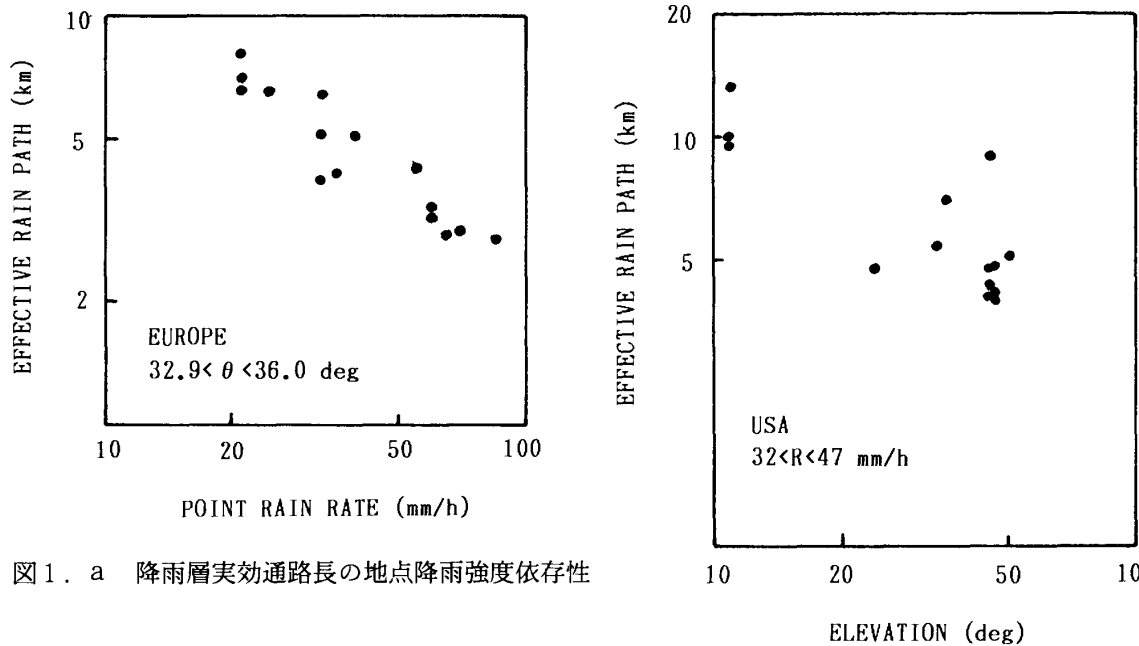


図1. a 降雨層実効通路長の地点降雨強度依存性

図1. b 降雨層実効通路長の仰角依存性

より L_e を求める。 γ の計算に用いる k および α は周波数, 仰角, 偏波などの関数としてCCIRに与えられている⁽³⁾。この結果から L_e の仰角および地点降雨強度依存性をみると, L_e はいずれに対しても減少関数となっている。一例を図1に示す。これは, 降雨層の高さがほぼ一定であること, 強い降雨ほど降雨域が狭いことと言う常識的理解と一致する。

2.2. 降雨層実効通路長の近似式とその精度

仰角 θ の減少関数としては, q を定数として θ^{-q} と $\exp(-q\theta)$ が考えられるが,前者は $\theta=0$ で無限大となってしまうが,後者は有限で,地上回線の場合も含め得る可能性がある。 R についても,降雨域の有限性から $R=0$ で有限であるのが現実的であると考えられる。そこで, L_e, p, q を定数として

$$L_e = L_0 \exp(-pR) \exp(-q\theta) \quad (2)$$

の近似式を考える。この形であれば両辺の対数を取り, L_0, p, q を最小二乗法で決定できる。データバンクのデータの取り扱いに際しては測定期間7か月以上のものについては1年を単位としてウェイトイングを行った。

表1 地域別降雨層実効通路長の推定式とその精度

AREA	NO. OF DATA	L_e (km)	p	q	AVE. ERROR	rms ERROR
USA	32	15.6	0.00992	0.0167	3.15%	24.8%
EUROPE	71	18.7	0.00543	0.0325	3.12%	26.8%
ASIA	11	4.3	-0.00604	0.0073	1.31%	16.6%

表2 全地域降雨層実効通路長の推定式の地域別精度

AREA	NO. OF DATA	AVE. ERROR (%)	rms ERROR (%)
USA	32	-1.5 (- 4.8)	25.2 (22.1)
EUROPE	71	5.5 (-22.6)	28.2 (30.9)
ASIA	11	4.9 (10.1)	29.8 (27.2)
OVERALL	114	3.5 (-13.9)	27.6 (28.3)

NOTE: FIGURES IN PARENTHESES ARE BY CCIR METHOD.

最小二乗法で求めた各地域ごとのこれらの定数の値とその場合の相対推定誤差を表1に示す。全地域については

$$L_e = 13.3 \exp(-0.00512R) \exp(\theta) \quad (3)$$

が得られる。この場合の相対誤差の平均値とrmsを求めた結果表2に示す。また、CCIRの方法による場合も比較のため表2に付記してある。

3. 降雨減衰累積時間率分布のパターン

CCIRの降雨減衰推定法では

$$A / A_{0.01} = 0.12 p^{-(0.546 + 0.043 \log p)} \quad (4)$$

としている。筆者は先に、この式(4)の関係はほぼ標準偏差 $s=0.5$ の対数正規分布であること、降雨減衰のデータバンク⁽⁴⁾の分布からは $s=0.6$ とするのが推定精度がよいことを示した⁽⁵⁾。このときは、個々の分布をそれぞれ対数正規分布で近似して標準偏差を求め、これを統計処理した。今回は、その後補充されたデータバンク⁽²⁾について、各時間率における減衰を0.01%での減衰で規格化してその平均を求め、この平均の分布を対象とする。

3.1. 平均規格化降雨減衰の累積時間率分布

表3にデータバンク⁽²⁾より求めた平均規格化降雨減衰の地域別、測定法別の累積時間率分布を示す。この平均にはほぼ測定期間1年を単位とする加重平均を採用している。空欄はデータ数が少ないために平均値が偏っている場合を除いたものである。降雨減衰は降雨強度の空間分布に関係するので、各地域ごと、各時間率ごとに規格化降雨減衰の仰角依存性を調べたが明確な依存性はみられない。その一例を図2に示す。地域別、測定法別には多少異なった傾向がみられるが、全地域をまとめると測定法による差はさほど大きくはない結果となっている。そこで、全地域、全測定法を含む場合の分布を検討の対象と考える。図3はこの累積時間率分布である。

表3 平均規格化降雨減衰累積時間率分布(地域別, 測定法別)

AREA	MEAS.METH.	PERCENTAGE OF TIME												
		1E-3	2E-3	3E-3	5E-3	1E-2	2E-2	3E-2	5E-2	1E-1	2E-1	3E-1	5E-1	1.0
USA	BEACON	1.88	1.63	1.58	1.30	1.00	0.735	0.618	0.466	0.323	0.242	0.206	0.159	0.105
	OTHERS			1.43	1.23	1.00	0.778	0.677	0.533	0.385	0.277	0.230	0.192	0.127
	TOTAL	1.88	1.63	1.56	1.29	1.00	0.748	0.635	0.485	0.341	0.252	0.213	0.170	0.111
EUROPE	BEACON	2.33	1.89	1.64	1.34	1.00	0.733	0.610	0.477	0.349	0.270	0.246		
	OTHERS	2.32	1.79	1.54	1.28	1.00	0.753	0.641	0.525	0.402	0.276	0.218	0.168	0.114
	TOTAL	2.32	1.86	1.61	1.32	1.00	0.739	0.619	0.492	0.367	0.272	0.231	0.168	0.114
ASIA	BEACON	1.91	1.58	1.40	1.21	1.00	0.774	0.657	0.525	0.375	0.273	0.244	0.211	0.162
	OTHERS	2.14	1.83	1.67	1.34	1.00	0.732	0.614	0.482	0.354	0.258	0.211	0.172	0.118
	TOTAL	1.99	1.66	1.51	1.26	1.00	0.756	0.639	0.507	0.366	0.267	0.231	0.197	0.147
OVERALL	BEACON	2.20	1.82	1.61	1.32	1.00	0.739	0.618	0.479	0.344	0.260	0.228	0.177	0.124
	OTHERS	2.30	1.80	1.55	1.28	1.00	0.755	0.644	0.519	0.389	0.273	0.220	0.174	0.117
	TOTAL	2.23	1.81	1.59	1.31	1.00	0.744	0.626	0.492	0.359	0.265	0.225	0.175	0.120

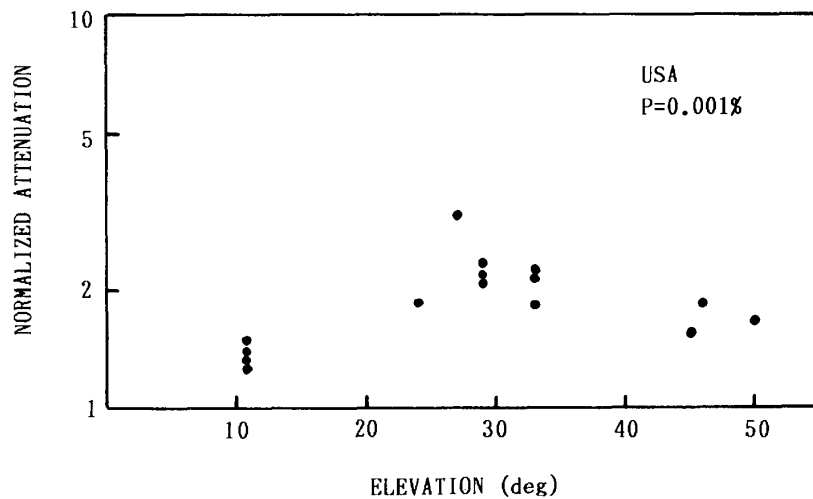


図2 規格化降雨減衰の仰角依存性

3.2. 対数正規分布近似

この分布がどの程度精度よく対数正規分布で近似できるかをみるために、図4は対数正規確率紙(対数正規分布はこの図上では直線で表される。)にデータを全時間の1/10の時間率に対してプロットしたものである。0.01%で減衰1.00である対数正規分布として、その分布パラメータ s と m を最小二乗法求めると $s=0.534$, $m=-1.65$ が得られる。この場合の対数正規分布を実線で図3に書き加えている。また、この場合の減衰量の相対推定誤差の平均値とrmsはそれぞれ0.36%, 5.33%となる。

3.3. Moupfouma 分布⁽⁶⁾近似

時間率0.01%で減衰量が1.00となる Moupfouma 分布の分布パラメータを最小二乗法

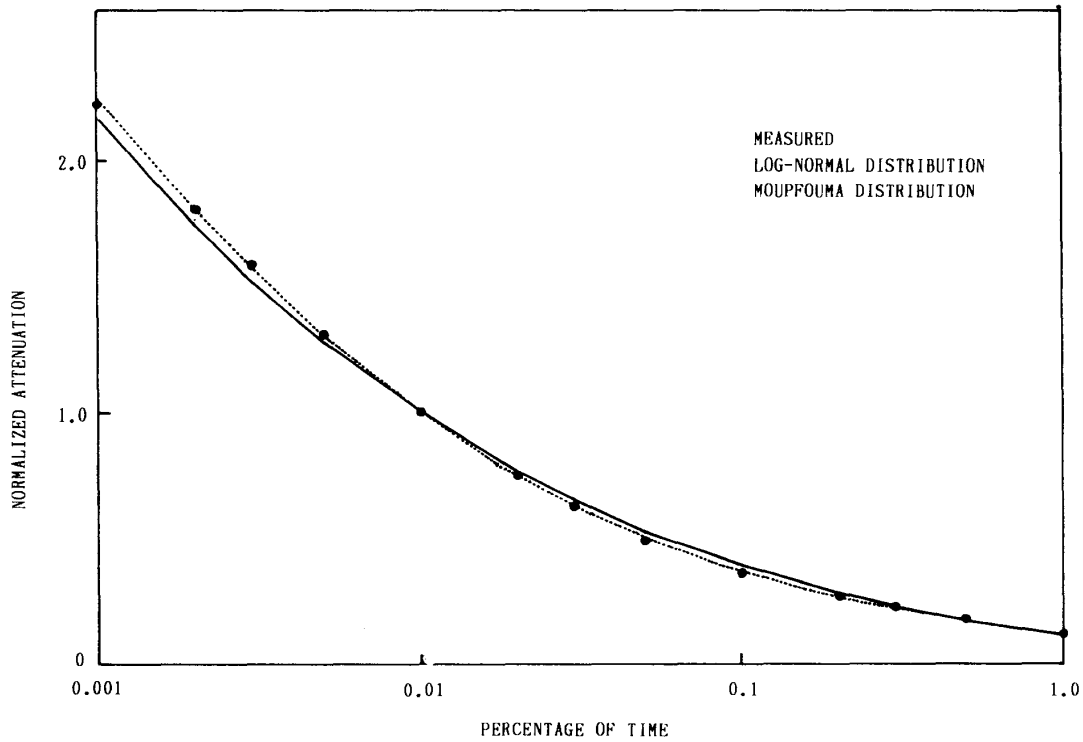


図3 平均規格化降雨減衰累積時間率分布

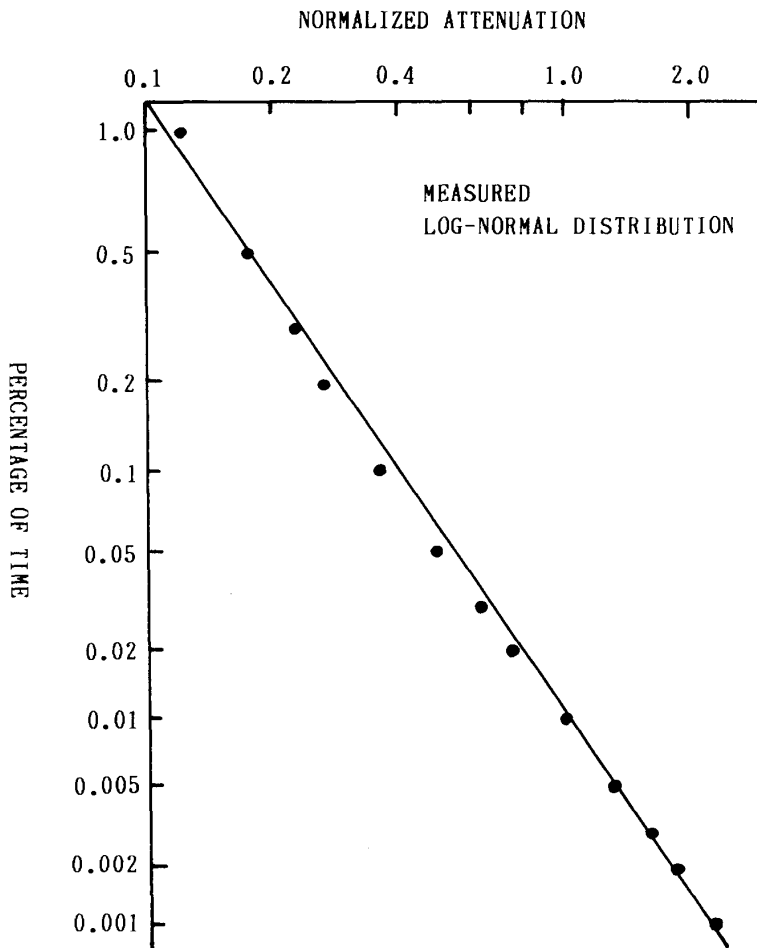


図4 平均規格化降雨減衰累積時間率分布

で求めると,

$$p (\%) = 0.0176 \exp(-0.566A) / A^{1.95} \quad (5)$$

となる。このパラメータの値では A の値の下限は約 0.012 であるが、これはこの式の実用上は問題ない。図 3 にはこの場合の Moupfouma 分布を点線で書き加えてある。また、この場合の相対推定誤差の平均値と rms はそれぞれ 0.15%, 1.76% となる。

3.4. 対数 2 次式近似

対数正規分布よりも Moupfouma 分布が近似精度がよいことがわかるが、Moupfouma 分布では時間率を与えて減衰量を求める簡単な数式を得ることができない (式(5)が超越方程式となっている)。そこで、CCIR の推定法にならって、式(4)の形式 (減衰量の対数を $\log p$ の 2 次式であらわすことに対応する) の近似式を求める。定数を最小二乗法で求めると,

$$A = 0.121p^{- (0.515 + 0.0297 \log p)}$$

が得られ、この場合の相対推定誤差の平均値と rms はそれぞれ 0.18%, 1.72% となる。

4. むすび

時間率 0.01% の降雨強度と降雨減衰との関係については、CCIR の方法と本方法と比較すると、rms 誤差はほぼ同じであるのに、平均誤差は本方法によるものがかなり小さい。これは、rms はほぼ共通に少数の大きく偏ったデータの影響をうけているためである。これをみるために測定値と推定値のスキヤッタグラムの一例を図 5 に示す。

推定式を経験的に求める場合、評価すべきデータと推定式をつくるためのデータが同じであれば、そうでない場合より精度がよいのは当然で、これは表 1 と表 2 の各地域ごとの誤差の比較からもわかる。

累積時間率分布パターンについては、CCIR の推定式(4)による精度を含めて各推定

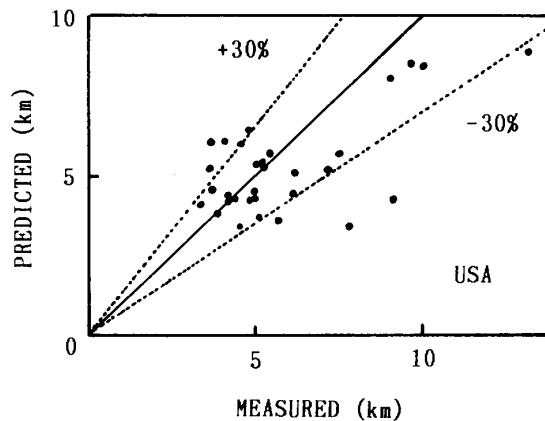


図 5 降雨層実効通路長推定のスキヤッタグラム

表4 平均規格化降雨減衰累積時間率分布の近似式とその精度の比較

DISTRIBUTION	PARAMETERS	RELATIVE ERROR (%)
LOGNORMAL	S= 0.534	AVE.=0.36
	M=-1.65	RMS=5.33
MOUPFOUMA	$\alpha = 0.0176$	AVE=0.15
	$\beta = -0.566$	RMS=1.76
	$\gamma = 1.95$	
LOG POLYNOMIAL	a= 0.121	AVE=0.18
	b=-0.515	RMS=1.72
	c=-0.0297	
CCIR (LOG POLYNOMIAL)	a= 0.12	AVE=0.51
	b=-0.546	RMS=3.55
	c=-0.043	

式の精度を表4にまとめた。ここでも、評価すべきデータから求めた経験的推定法の精度がよいことが示されている。また、Moupfouma分布近似と対数2次式近似とを比較すると推定精度はほぼ同じである。これは、いずれもパラメータ3個の推定式であるからであろう。(対数正規分布はパラメータ2個)

経験的推定値式では、使用するデータが追加や変更されると式の定数が変わる。従って、推定式の定数の値は何が最適かと言う問題が常に残ることになる。

参考文献

- 1) CCIR: "PROPAGATION DATA AND PREDICTION METHODS REQUIRED FOR EARTH-SPACE TELECOMMUNICATION SYSTEM", Rep. 564-3 (MOD F), (1989)
- 2) 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 (1988)
- 3) CCIR: "ATTENUATION BY HYDROMETEORS, IN PARTICULAR PRECIPITATION, AND OTHER ATMOSPHERIC PARTICLES", Rep. 721-2, (1986)
- 4) CCIR: "DATA BANKS USED FOR TESTING PREDICTION METHODS IN SECTION E, F AND G OF VOLUME V", Document 5/378 (Rev.1)-E, (1985)
- 5) 入江浩一: "CCIRの降雨減衰推定法に関連する2, 3の問題", 信学技報, A.P88-87, (1988)
- 6) F.Moupfouma: "Distribution statistique des intensites de pluie et des affaiblissements dus a la pluie en climat equatorial et tropical", Ann.Telecommun. 37, 3-4, pp.123-128(1982-03).

Some Aspects of CCIR Prediction Method for Slant-Path Rain Attenuation

Koichi IRIE

Department of Electronics Engineering

Okayama University of Science

1-1 Ridaicho, Okayama 700 Japan

(Received September 30, 1990)

Prediction method for slant-path rain attenuation is studied in connection with the one by CCIR. The study is based on the latest CCIR databank of rain attenuation. First, an empirical formula is derived to calculate an effective slant-path length (defined as attenuation divided by the specific attenuation at the point rain rate) using the point rain rate and the elevation angle. Second, an averaged cumulative distribution over entire sites for normalized attenuation (1.0 at 0.01%) is given in a form of log-normal, Moupfouma and log-polynomial of second order distribution.

The proposed method shows increased prediction accuracy over the CCIR's, although it is derived empirically from the data to be evaluated.