衛星放送波による小口径アンテナの 受信 CN 比の測定と比較

正会員 タウイル プンマ[†], 正会員 渋谷 栄 二[†] 上 村 通^{††}
正会員 飯 塚 泰^{†††} 正会員 森 屋 俣 昌^{†††}

Comparison of Measurements of Carrier to Noise Ratios of Small-Aperture Antenna Satellite-Broadcast Reception

Tawil Paungma[†], Eiji Shibuya^{††}, Tooru Kamimura[†], Yasushi Iituka^{†††}
and Yoshiaki Moriya^{†††}

Abstract Since the radiation patterns in small-aperture antennas are wide, they easily affected by ambient noise sources, and so their noise temperatures tend to rise. Especially in times of rainfall, at frequencies higher than 10 GHz, the noise-power values of antennas increase simultaneously with the lowering of signal levels in proportion to rainfall intensity. Consequently, at times of intense rain, the CN ratio lowers rapidly, and this effect is larger when the noise factor of receivers is lower. From this viewpoint, in order to examine how the CN-ratio characteristics of small-aperture antennas change due to propagation state, various measurements of CN ratio, including a long-period measurement, were carried out using antennas differing in aperture and type. With these measurements the degree of the effect of antenna's noise-temperature on the increasing deterioration of CN ratios was shown quantitatively for both low noise-factor and other receivers. It was found that there are certain types of plane-type antennas in which the lowering of CN ratios due to weather-environment conditions such as rainfall, the adhesion of waterdrops, etc. was greater than in parabola-type ones.

1. ま え が き

近年、衛星放送の普及はめざましい速度で進んでいる。それとともに衛星受信装置の改善が進み¹⁾、なか

でも受信アンテナには著しい進歩が見られた²⁾。パラボラアンテナでは、面精度の向上、1次放射器の放射パターン最適化等により開口効率約75%になった。平面アンテナにおいては広帯域化・高効率化が行われ、

キーワード：CN比、衛星放送、受信品質、アンテナ雑音

1993年1月29日、テレビジョン学会無線光伝送研究会で発表

1994年7月5日受付、1994年11月17日再受付

[†] モンクット王工科大学

^{††} DX アンテナ株式会社 (〒652 神戸市兵庫区浜崎通2-15, TEL 078-682-0001)

^{†††} 東海大学 工学部通信工学科 (〒259-12 平塚市北金目1117, TEL 0463-58-1211)

[†] King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand, TEL (66)2-326-9966)

^{††} DX Antenna Co., Ltd. (2-15 Hamazakitoori, Hyougo-ku, Kobe 652, Japan)

^{†††} Faculty of Engineering, Tokai University (1117 Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa 256-12, Japan)

カール型平面アンテナの開口面効率³⁾は95%にもなった³⁾。現在、LNB (Low Noise Block downconverter) に使用されているコンバータの雑音指数は0.8〜1.1dB程度まで改善されている。他方、放送衛星3号(BS-3)の衛星搭載アンテナは⁴⁾、多くの地域に対する利得の向上がはかられ、かつ送信出力が100 Wから120 Wになった。その結果、小口径アンテナが利用できる地域が拡大し、一般家庭でもアンテナの取り扱いが容易になった。しかし、小口径アンテナになるほど受信時のアンテナ指向特性は広がり、周囲からの雑音による影響を受ける傾向が強くなった。

放送衛星を常に最良な状態で受信するためには、搬送波と雑音の比 (CN 比, Carrier-to-noise ratio) が大きくなくてはならない。小口径アンテナでは指向特性が広いので、周囲の雑音源からの影響を受け、アンテナ雑音温度が上昇する傾向にある。降雨強度が大きいとき、この傾向は顕著になる。

降雨減衰による信号レベルの低下には多くの研究が行われた^{5)~7)}。だがCN比の長期観測データの発表は、まだ行われていないようである。より正確な受信状態を表すのには、受信入力信号レベルの値よりCN比がより適当である。10 GHz以上の周波数では降雨減衰により信号レベルの低下がしばしば生じ、このときアンテナ雑音電力値も降雨量に比例して増大する。そのため、強い降雨時CN比は急激に低下する。コンバータの雑音指数が低いほど、その影響は大きくなる。

小口径アンテナのCN比特性が伝搬状態によりどのように変化するかを調べるために、アンテナ口径、形式の異なるアンテナを使用し、CN比に関する各種の測定を行った⁸⁾。その結果、コンバータの雑音指数が低い受信機では、降雨時、降雨減衰によるレベル低下と相まって、アンテナ雑音温度の増加のためにCN比が減少し、衛星放送の受信画像品質の劣化が大きくなることが観測された。CN比は電波伝搬路の気象現象により影響を受けている。特に平面アンテナの一部には、パラボラアンテナには見られなかったアンテナ表面に付着する水滴によるCN比低下が見られた。

2. CN比とその測定方法

衛星放送が良好に受信されるためには、受信品質を表すCN比が満足される値でなくてはならない。CN比は搬送波信号電力 (C) と帯域内雑音電力 (N) との比で表される。

C の値は受信アンテナ出力端における搬送波電力

であり、衛星の等価等方放射電力を P_e 、自由空間伝搬損失 Γ 、大気中を電波が通過するとき受ける大気分子による減衰量 α 、受信アンテナの絶対利得を G_a とすると

$$C = P_e G_a \frac{1}{\Gamma} \frac{1}{\alpha} \quad (1)$$

で表される。 C の値を変える変数としては α がある。他の値は定数として扱える。12 GHz では α の値は仰角 30° 以上では 0.55 dB 以下である⁹⁾。 C の値は衛星の日周変動によるレベルの変化を除くと、通常 (雨や雨雲がないとき) ではほぼ一定である。

N の値は次の式で与えられる。

$$N = k T_s B \quad (2)$$

ここで k (ボルツマン定数) と B (受信機の帯域幅) を定数とすれば、総合等価雑音温度 T_s のみが N に関与する。 T_s はまた (3) 式で表される。

$$T_s = T_a + (L_f - 1) T_o + L_f T_r \quad (3)$$

ここで、右辺第1項はアンテナが外部から受けるすべての雑音、第2項はアンテナの給電系がもつ損失 L_f のとき $T_o = 290$ K (常温) での雑音、第3項はコンバータの雑音温度である。給電系の損失は、ここに使用したすべての小口径アンテナでは伝送路がきわめて短いので無視することができる。コンバータの雑音はほぼ一定とする。したがって、考慮すべき変数は第1項の T_a のみになる。すなわち (3) 式は

$$T_s = T_a + \text{Constant} \quad (4)$$

となる。受信アンテナを建物に取り付け衛星の信号を受信しているとき、建物の周囲からの雑音は変わらないものとする。 T_a には大地、建物など黒体からの雑音と、大気あるいは雨滴などによる吸収体からの雑音が存在する¹⁰⁾。12 GHz においては雨滴による雑音が大きく関与する。太陽雑音は春分、秋分の14時頃に発生する特定な一時期にみられるものである。ここでは太陽雑音の期間は取り除いた。それ故に、受信アンテナが受ける雑音のほとんどは降雨によるものである。雨は降らないが黒い雨雲からの雑音も無視することはできないので、ここでは両者を1つにして降雨雑音として扱う。

CN比の測定を行うための各種アンテナは、建物の上に固定した。使用したアンテナの諸元を表1に示す。ダウンコンバータの出力信号はすべて同じ長さの同軸ケーブルを使用し測定した。測定装置のブロックダイアグラムを図1に示す。放送衛星の受信チャンネルは、7チャンネル ($f = 11.842$ GHz) を測定した。CN比の測定には、現在2通りの測定方法が利用されている¹¹⁾。衛星放送の受信信号はFM波であるので

表 1 測定に使用したアンテナの諸元 (利得は周波数 11.85 GHz の値)
List of antenna referred to in the experiment.
(Frequency measured value: 11.85 GHz)

アンテナの種類と 口径	利得 (dB)	半値幅 (度)	コンバータの 雑音指数(dB)
オフセットパラボラ 38 cm ϕ	32	4.2	0.9
38 cm ϕ	32	4.2	2.4
平面アンテナ, パッチ	33.5	3.6	1.2
平面アンテナ, カール	31	5.0	1.0
オフセットパラボラ 75 cm ϕ	37.8	2.2	1.1

図 1 CN 比測定装置のブロックダイアグラム
Block diagram for method of measurement.

常に変調されている。搬送波信号レベルはテレビ信号の垂直帰線消去期間には映像信号がないので、この期間に搬送波信号レベルの値が測定できる。ここではスペクトラムアナライザによる測定方法を用いた。測定にはマックスホールド機能を持ったスペクトラムアナライザを用いて、分解能帯域幅を 300 kHz、帰引時間を 20 ms にして 1 分間放送波を測定し、搬送波信号レベルの実効値を求めた。測定サンプリング間隔は

図 2 帯域内外における雑音レベル特性
Noise level characteristics for in-band and out-band. (Used antenna: 38 cm ϕ offset parabola)

10 分で行った。測定された搬送波 (C_i) の中には雑音成分が含まれている。スペクトラムアナライザで観測された雑音電力 (N_i) は、信号に含まれている雑音電力 (N) と、スペクトラムアナライザの持つ内部雑音 (N_0) とが加えられたものである。すなわち、搬送波信号レベル (C) は

$$C = C_i - N_i \quad (5)$$

で求められる。一方、雑音レベル (N) は放送波の帯域内の雑音レベルを測定することができないので、被測定信号の搬送波中心周波数から 20 MHz 離れた周波数 (下側) の帯域外雑音レベルの実効値を測定した。測定は雑音を平均化するために、ビデオフィルタを 100 Hz にして求めた。この時スペクトラムアナライザの内部雑音 (N_0) を除かなくてはならないので、雑音レベル (N) は

$$N = N_i - N_0 \quad (6)$$

で表される。

衛星が食の期間における帯域内と帯域外での雑音レベルを 38 cm ϕ オフセットパラボラアンテナを使用して測定した。中間周波数帯に変換された雑音レベルを図 2 に示す。図の縦軸は 1 Hz 当たりの雑音レベルの実効値で示す。その結果、例えば 1164 MHz $\pm$ 20 MHz において雑音レベルの差は ± 0.3 dB 程度となり、帯域内の雑音レベルとほぼ同様の値が得られている。帯域外でも、帯域に接近した周波数で測定を行えば誤差は少ないものと考えられる。

スペクトラムアナライザの分解能帯域幅は雑音レベルの測定精度に関与するので、正確な帯域幅を求め補正した。C と N の値を測定し CN 比は計算で求めた。

図3 (a)降雨時における信号レベルとCN比、(b)雑音レベル特性、(c)降雨強度
(a) Comparison of signal level and CN ratio, (b) Antenna noise level during rainfall, (c) Rainfall intensity. (Used antenna: Patch type plane)

3. 測定結果

3.1 降雨減衰とCN比

放送衛星におけるCN比低下の原因の大半は、降雨減衰によるものである。受信信号に降雨減衰が見られるとき、アンテナ雑音温度は上昇し、CN比をより低下させる。図3にパッチ型平面アンテナを使用し¹²⁾、降雨時に見られた信号レベルとCN比および雑音レベルの特性を示す。図の下部にはその時の10分間降雨強度を示す。これからわかるように、降雨量が增大すると受信信号レベルは低下し、同時にCN比も低下する。このときCN比の低下は受信信号レベルの低下より大きくなることが注目される。特に降雨

図4 コンバータ雑音指数の違いによるCN比
CN ratio comparison of decrease of distribution for different noise figures. (Used antennas: 38 cmφ offset parabola)

が強いときCN比の低下はより大きく低下する傾向が見られる。このことから近年、受信機のコンバータ雑音指数は1 dB程度まで改善されたので、降雨時のCN比の低下は顕著になることが推測される。図4は同一口径(38 cmφ)のオフセットパラボラアンテナに、雑音指数が異なるコンバータを取り付け、降雨時のCN比の変動特性を示したものである。CN比の低下量を比較するために、異なる2つの $(C/N)_1$ と $(C/N)_2$ の縦軸の値は、降雨の影響がない時のCN比を基準にした相対値を用いている。雑音指数が低いコンバータのアンテナでは、雑音指数の高いものより大方の時間CN比の低下量が大きくなっている。

3.2 降雨雑音に基因する受信システム雑音指数の増加

(1) 受信システム雑音

コンバータの雑音指数 F を等価雑音温度 T_e で表すと

$$T_e = (F - 1)T_o \quad (7)$$

となる。ここで T_o は常温の290 Kが用いられる。等価雑音温度 T_e の受信機にアンテナを接続し、その雑音温度 T_a が加えられると、受信機のシステム雑音温度 T_s は

$$T_s = T_a + T_e \quad (K) \quad (8)$$

となる。アンテナ雑音温度 T_a は衛星電波の伝搬路における減衰量 L の関数で与えられる。減衰量の大半は降雨減衰によるものである。伝搬通路の周囲温度の平均通路温度を T_m とすれば T_a は

図5 降雨減衰による受信機システム雑音指数増加の割合

Rate of increase in receiver system noise figure caused by rain attenuation. (Used antennas: 38 cm ϕ offset parabola)

$$T_a = T_m \left(1 - \frac{1}{L} \right) \quad (\text{K}) \quad (9)$$

となる。L はデシベルで表されるので、上式はまた次のようになる。

$$T_a = T_m (1 - 10^{-[A(\text{dB})/10]}) \quad (10)$$

ここで A は伝搬路の降雨減衰量 (dB) である。

例として、受信機の雑音指数が 0.8 dB (59 K)、降雨減衰が 3 dB のとき、 T_m を 273 K とすると降雨による雑音は 137 K であるので、受信機のシステム雑音温度 T_s は

$$T_s = 59 + 137 \quad (\text{K})$$

となる。これは受信機の雑音指数が 2.24 dB になったのと等価である。

(2) 測定データとの比較

降雨減衰によるアンテナ雑音レベルの増加が、受信機の雑音指数を等価的にどのように変えるのか、理論値 (実線) と実測データ (●と□印) を図5に示す。アンテナ雑音には大地、建物などによるアンテナ雑音温度が 40 K 程度存在している。理論値にはアンテナ雑音温度を 40 K 一定と仮定し加算して求めた。測定は 38 cm ϕ のオフセットパラボラアンテナを使用した。雑音指数が低い受信機の場合、降雨減衰量が増大するに伴いアンテナ雑音は急激に増大する。雑音指数が大きい受信機では、降雨減衰量が増大してもアンテナ雑音はそれほど増加しない。降雨減衰時、信号レベルの

図6 CN比の季節特性

Seasonal variation of monthly average value of CN ratio.

低下とともにアンテナ雑音も増加するため、雑音指数の低い受信機では CN 比が大きく低下する。

CN 比は伝搬上の影響を受け、受信機の雑音指数に関係し、雑音指数が低いほどその影響の著しいことが確かめられた。

3.3 CN 比の季節特性

各種アンテナを干渉がないように設置し、CN 比の季節特性を調査するため長期間の連続測定を行った。図6は 1991 年 6 月から 1992 年 7 月までの 14 ヶ月間、3 種類のアンテナ (75 cm ϕ オフセットパラボラ、雑音指数 0.9 dB の 38 cm ϕ オフセットパラボラアンテナと平面パッチ型) を用いた場合の各月ごとの CN 比平均値を、全天候と無降雨時に分類して示したものである。各アンテナの受信データともそれぞれ類似した変化をしており、特に顕著な傾向は見られない。CN 比は降雨、太陽雑音、雪、衛星の食などにより複雑な影響を受けている。降雨による CN 比の影響は、月間により差は見られるが、無降雨時と比較して -0.5 dB 程度であった。そのため、CN 比の月平均値からは目立った季節変化の特性を見いだすことはできない。平面アンテナの受信 CN 比は、11 月から 2 月までの間、オフセットタイプのアンテナに比較して約 1 dB 程度増加している。

上記 2 種類のアンテナ (雑音指数 0.9 dB の 38 cm ϕ オフセットパラボラ、平面パッチ型) による全天候と無降雨時の CN 比の標準偏差を図7に、また、各月の降雨量を図8に示す。これらの図から、CN 比の変動は降雨量に密接に関係し、降雨量が多いと標準偏差

図 7 CN 比の標準偏差季節特性
Seasonal variation of monthly average value of standard deviation of CN ratio.

図 8 CN 比測定期間の月間降雨量
Precipitation by month at Hiratsuka for a 14-month period.

が増大することがわかる。また、図 7 の全天候の値について、平面アンテナとオフセットパラボラアンテナによる値とを比べると、7、8、3 月にはオフセットパラボラアンテナによる標準偏差が 0.1 から 0.4 dB ほど大きくなっているが、他の月には平面アンテナによる値が 0.3 dB から 1.1 dB と大きな差を生じている。すなわち、平面アンテナの方が CN 比に対し気象の影響を受けやすいことが想定される。雑音指数 0.9 dB の 38 cmφ オフセットパラボラと平面パッチアンテナによる、各月の CN 比の標準偏差と降雨量

図 9 CN 比の標準偏差と降雨量の相関
Correlation of standard deviation of CN ratio and amount of precipitation.

との相関係数を図 9 に示す。平面アンテナによる受信では、1 月から 3 月までの冬季 3 カ月間を除き、ほとんどの月で相関係数が 0.8 以上になっている。この期間 1、2 月は降雨量が少なく、3 月は前線が停滞したために月降水量としては多かったが時間雨量は少なく、CN 比の変動も小幅であった。平面アンテナの CN 比の変動は降雨に大きく依存していることがわかる。また、CN 比の大きな変化は強い降雨時に見られる。降雨による信号波の減衰と、降雨に起因した雑音温度が増加して CN 比をより低下させる。降雨は季節により、地域により特性は異なるので、CN 比の変動は複雑な値になる。

無降雨時においても全天候と同様、平面アンテナの方が変動が多少大きくなっている。無降雨時であっても夏期には乱層雲や積乱雲などが存在するとき、雑音温度が上昇し CN 比を低下させている。

3.4 日変化特性

CN 比の日変化を調べるために、75 cmφ オフセットパラボラ、雑音指数 0.9 dB の 38 cmφ オフセットパラボラおよび平面パッチアンテナによる、全測定期間 14 カ月における各月の各時間ごとの CN 比の平均値を求めた。その結果を図 10 に示す。2 つのアンテナ形式に対する CN 比変化特性には大きな差は見られなかった。午前 2 時頃に両アンテナによる CN 比は最大値を示している。衛星は南北方向、東西方向に $\pm 0.1^\circ$ の範囲を 1 日周期で漂動している。そのため、わずかであるが衛星の受信信号レベルには日変動が見られる。すなわち、衛星からの信号は通常午前 2 時頃に最大になり、午後 3 時頃に最小値をとる。この最大値と最小値との差は約 1 dB であり、衛星の日変動による信号レベルの変化は上記の測定結果とほぼ一致している。全天候、無降雨時とも CN 比の日変動は同

図 10 CN 比の日変動特性
Diurnal variation of CN ratio.

図 12 降雨量と CN 比低下量
Decrease of CN ratio for rainfall intensity.

図 11 CN 比の標準偏差の日変動特性
Diurnal variation of standard deviation of CN ratio.

様の変化傾向を示している。ただし、全天候の CN 比は無降雨時より 0.3 dB 程度一様に低くなっている。

図 11 に CN 比の標準偏差の日変動特性を示す。2 種類のアンテナ(雑音指数 0.9 dB の 38 cmφ オフセットパラボラと平面パッチ型)とも、全天候における日変動特性には顕著な差異は見られない。一方、無降雨時の特性には、平面アンテナの偏差が夜半から明け方にかけて最大 0.3 dB 程度大きく上がっていることが注目される。これは秋から初冬の夜間 18 時頃から朝 8 時頃まで、夜露によりアンテナレドームが濡れるために見られる現象と考えられる。

4. アンテナ形式と受信 CN 比の考察

衛星放送の受信アンテナが小口径化の方向に進む中で、安定した良好な放送サービスもまた要請されている。Ku バンドのアンテナにはいろいろな形式のものが使用され、しかも気象条件の異なる地域で使用されている。衛星放送の普及が急速に進む中で、電波伝搬諸特性が CN 比に及ぼす影響を解明することは、重要な課題となっている。今回実施した CN 比の長期観測結果から、アンテナ形式により受信 CN 比にいくつかの異なる特性が見出された。

平面アンテナによる受信 CN 比の標準偏差は、利得や指向特性がほぼ同じオフセットパラボラアンテナに比べて、図 9 から明らかに大きくなることがわかった。また、標準偏差と降雨量との間に密接な相関が見られた。このため、平面アンテナと降雨特性との関係をより詳しく調べた。

降雨時における CN 比にパラボラ型と平面型で年間を通じ、どのような特性が見られるのか測定を行った。雑音指数が 0.9 dB のオフセットパラボラ、平面パッチアンテナ、および平面カールアンテナを用い、降雨強度に対する CN 比の変化を調べた。図 12 は降雨強度に対する CN 比の低下量を、3 種類のアンテナ(平面パッチ型、平面カール型、雑音指数 0.9 dB の 38 cmφ オフセットパラボラ)によって測定したものである。各降雨強度において使用したアンテナにより CN 比の低下は異なっている。降雨強度が 2 mm/10 min 程度までの時、CN 比低下は急激であるが、より降雨強度が大きい範囲では CN 比の低下はゆる

図13 夜露によるCN比特性
CN ratio characteristics under the night dew.

やかになる。雨量が少ないところでのCN比の低下は、平面型ではプリント回路を覆っているレドームに水滴が付着したために生じる損失と考えられる。この現象は、レドーム上の水膜による損失と見なされる¹³⁾。パラボラ型では反射鏡に付着した水滴の影響は小さく、1次放射器に付着した水滴による影響がより顕著である¹⁴⁾。降雨強度が大になると、平面型はパラボラ型よりCN比の低下量が増加する。アンテナ構造の差と降雨量によりCN比に差が生じる。

平面アンテナの表面が夜露によって濡れることがしばしば観測された。図13(a)に1992年11月16日から18日までの夜露によるパッチ型の平面アンテナと雑音指数0.9 dBの38 cmφのオフセットパラボラアンテナのCN比特性を示す。16日の夜から17日の朝にかけては、気温と露点温度との差(図13(b))が大きくアンテナ表面には夜露は付かないため、両アンテナとも同様のCN比変動を示している。17日夜から

図14 無降雨日におけるパラボラアンテナとパッチ型平面アンテナのCN比の差による季節特性
Seasonal variation of subtract CN ratio value of the patch type plane antenna to the offset parabolic antenna under clear skies.

18日朝までの気温と露点温度との差は少なく、23時に4.3°C、5時には3.5°Cまで下がっている。そのため、平面アンテナには20時頃より露が付き始め、明確なCN比の減少が見られる。4時頃のCN比は露が付かない状態と比べ約3 dBの低下が生じている。露点温度、気温の上昇に伴い平面アンテナのCN比の低下は消滅している。パラボラアンテナには夜露によるCN比の影響はほとんど見られなかった。

次に、夜露によるCN比の季節特性を検討するため、年間で最も露による影響の大きい10月から2月までの無降雨日における、雑音指数0.9 dBの38 cmφオフセットパラボラアンテナのCN比を基準にした平面パッチアンテナのCN比との差の日変化を図14に示す。夜露により平面アンテナは21時頃より朝8時頃までパラボラ型に比べCN比が下がっている。夜露による影響は10月が最大であり、1月から9月までは0.5 dB以下であった。年間を通し、平面アンテナの表面に付着する夜露による影響は、パラボラ型に比べ無視できない値である。特に10月の変動幅は大きく、CN比の平均値で1.5 dBにも達している。

放送衛星受信用アンテナの特性を規定するとき、G/Tが重要な意味をもつ。現在市販されている平面アンテナの開口面効率は85%以上になり、小口径であっても利得は大きい。しかし、本報告のCN比の長期観測結果から、同程度のG/Tの値をもつ異なった種類のアンテナを同一基準で扱うには無理のあるこ

とがわかった。また、Kuバンド以上の小口径アンテナには、アンテナの種類によりCN比特性に差が現れるので、受信地域に対するアンテナ形式の適用なども必要になってくる。さらに、画質評価基準としてCN比14 dBが使われているが、この場合、CN比の測定についての規定方法を明確にしなくては意味をなさない。平面アンテナを使用する時、降雨による水滴がアンテナ表面のレードームに付着するのを改善する方法¹⁵⁾¹⁶⁾を新たに開発することが必要である。

5. む す び

各種受信アンテナによる衛星放送波のCN比長期測定により、次の諸特性が明らかになった。

- (1) アンテナの種類によりCN比の特性にいくつかの相違が見られた。
- (2) 平面アンテナによる受信CN比は、降雨や夜露による影響がパラボラ型と比較して大きい。
- (3) 雑音指数の低いコンバータを使用したときの受信CN比は、降雨減衰が大きいたまその劣化が増大する。
- (4) CN比に大きく作用するものは、アンテナの種類に関係なく降雨の影響が大きい。

小口径アンテナによる放送衛星の受信規格には、アンテナ形式と伝搬特性、気象条件を考慮に入れたCN比劣化値を明確にすることが必要と考えられる。

終わりに、日ごろご指導を頂く東海大学工学部 寺本三雄主任教授に感謝いたします。また、ご検討を頂いた東海大学開発技術研究所 内藤恵吉教授、DXアンテナ株式会社 秋山忠室長、アンテナ技研株式会社 研究所 今野健一氏、モンクット王工科大学工学部 ナロン・ヘマコン助教授に感謝いたします。都城工業高等専門学校 櫻田弘人教授には適切なご助言をいただき深く感謝いたします。本研究の機会を与えていただいたDXアンテナ株式会社 尾崎小平統括部長、井上茂美部長に深謝致します。

〔参 考 文 献〕

- 1) 外山, 新井, 砂田, 田原, 山本: “テレビジョン年報, 8. 無線・光伝送”, テレビ誌, **44**, 7, pp. 875-882 (1990)
- 2) 王丸, 黒沼: “最新のBS/CS受信機器と周辺技術動向”, ミマツデータシステム (1993)
- 3) H. Nakano, S. Okuzawa, K. Ohishi, H. Mimaki and J. Yamauchi: “A Curl Antennas”, IEEE Trans. Antenna Propagat., **AP-41**, pp. 1570-1575 (1993)
- 4) 外山, 三浦, 小淵, 宮田: “放送衛星3号(BS-3)放送用アンテナの電気設計”, テレビ誌, **43**, 1, pp. 67-74 (1989)

- 5) 金原: “10 GHz 帯高仰角伝搬時の降雨減衰特性”, テレビ誌, **25**, 9, pp. 706-712 (1971)
- 6) 村上: “衛星回線における降雨減衰継続時間分布の計算法”, 信学論, **J65-B**, 6 pp. 703-709 (1982)
- 7) 福地, 古津, 高橋, 乙津, 小田, 森, 西牟田, 鈴木: “降雨減衰特性及び交差偏波識別度特性”, 電波研季報, **32**, 特3, pp. 37-56 (1986)
- 8) プンマ, 飯塚, 森屋, 寺本, 渋谷, 上村: “小口径アンテナによる衛星放送受信C/N特性”, テレビ学技報, **17**, 9, pp. 13-18 (1993)
- 9) L. J. Ippolito: “Radiowave Propagation in Satellite Communication”, Van Nostrand Reinhold Company (1986)
- 10) 今野: “衛星放送用受信アンテナの雑音温度”, NHK 技研月報, **25**, pp. 474-479 (1982)
- 11) 日本放送協会編: “NHK テレビ技術教科書” [下], 日本放送出版協会 (1989)
- 12) 村田, 王丸: “衛星放送受信用2層構造プリントアンテナ” 信学論, **J72-B-II**, pp. 236-244 (1989)
- 13) 佐藤, 細矢: “降雨時平板レードーム損失の検討”, 信学論, **J66-B**, pp. 782-789 (1983)
- 14) 井上, 橋口, 立川, 高松: “降雨シミュレーション実験による20 GHz帯カセグレンアンテナの特性劣化”, 信学論, **J55-B**, 11, pp. 631-632 (1972)
- 15) 初田, 水野, 益塚, 西, 小川: “降雪地帯での衛星回線設定上の問題点とその解決法—室内受信法および負傾斜形高分子材料面設置無着雪アンテナ—”, 信学論, **J74-B-II**, pp. 718-722 (1991)
- 16) 近藤, 福田, 鹿児嶋: “10-30 GHzにおけるレードーム付反射鏡アンテナの降雨時放射特性”, 信学論, **J69-B**, pp. 265-273 (1986)

タウイル・プンマ 1978年, モンクット王工科大学工学部卒業。1981年, 同大学大学院修士課程修了。1978年, 同大学に勤務, 現在, 同大学工学部電気通信科助教授。主に電波気象, 電波伝搬, 移動体通信の研究に従事。正会員。

渋谷 栄二 昭和62年, 東海大学工学部通信工学科卒業。同年, DXアンテナ(株)に入社。衛星放送受信用アンテナ等の研究開発に従事。現在, 技術部衛星開発グループに所属。正会員。

上村 通 昭和46年, 大阪工業大学工学部電子工学科卒業。同年, DXアンテナ(株)に入社。地上系VHF・UHFおよび衛星放送受信用アンテナの研究開発に従事。現在, 同社技術部衛星開発グループ課長代理。

飯塚 泰 平成4年, 東海大学工学部通信工学科卒業。平成6年, 同大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年, アンテナ技研(株)に入社, 現在に至る。正会員。

森屋 徹昌 昭和38年, 明治大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 上智大学理工学部助手。昭和42年, 東海大学工学部助手, 講師, 助教授を経て教授となり, 現在に至る。ミリ波の空間伝送, 衛星通信における電波伝搬の研究に従事。工学博士。正会員。