

鹿児島エリアにおける地上デジタル親局受信状況

若井 一 顕

第一工業大学教授 情報電子システム工学科 (〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail:k-wakai@daiichi-koudai.ac.jp

Digital terrestrial TV broadcasting transmission reception circumstances for Central Kagoshima key stations

An Analog broadcasting will be changed to the digital terrestrial broadcasting at 24th of July 2011.

At the present day infrastructure of the service area was 90% more in all of Japan. Kagoshima Key station is located at Mrasaki-baru hill-town in central of Kagoshima city. This station has four digital Key stations (including the two NHK stations and two commercial TVs) and an analog UHF commercial station which makes simultaneous services at the same location. This paper describes transmission characteristics in the key station service areas and discussing these evaluations.

Key Words : Digital terrestrial TV, Key station, Transmission characteristics, MER, Constellation, Multi-path, ellipsoid delay path

はじめに

日本における地上デジタル放送は、2003年12月に始まり、2006年4月にはワンセグ・サービスも始まった。鹿児島では2006年12月に開始した。

本研究では、鹿児島県の地上デジタルテレビ放送の親局である鹿児島市の紫原(ムラサキバル)送信所からの放送電波を測定し、電界強度、遅延プロファイル、コンスタレーション、及びMERを基に各測定点における受信チャンネル毎の伝送特性を分析する。今回の調査研究は2008年度の卒業研究の一環として地デジ放送システムを学び、伝送路の測定評価に先立ち鹿児島市の紫原にある送信設備の視察を実施する¹⁾。測定は2班に分けて県内8カ所の測定場所に向き地デジ親局(NHK2波、民放2波:MBC, KKB)の計4波の電波を測定する。民放KYT局は送信点が異なるので測定しない。電界強度の測定値と計算値の比較、遅延プロファイルから反射点の特定、MERの算出の基になっているコンスタレーション波形の

分析と評価、マルチパスから等価C/Nの算出を行い、合成の等価C/N、親局受信C/Nを求めMERと比較し劣化要因を推定する。

1. 鹿児島エリアの地上デジタル放送サービス

図1は、鹿児島県の地上デジタル放送の親局のサービスエリアを示したものである。紫原の送信所からはNHK2波、民放2波に加えてアナログ民放1波を共用アンテナ設備から送信している。エリアとしては桜島の裏側になる垂水地域と、山岳遮へいのため加治木町の一部のサービスが出来ないことが分かった。また親局からのサービスは、鹿児島湾の沿岸のサービスは可能であり電波伝搬上も大きな問題は無い。当然、鹿児島県全域のエリアサービスについてはデジタル中継局の建設を行うことで対応することになる。表1は、NHK及び、民放局の地デジサービスエリアの拡張の経緯を示した。



図1 紫原送信所のサービスエリア

表1 鹿児島エリアの地デジ親局と中継局

開局時期	局名	送信場所	偏波面	出力 (W)	2	3	1	5
平成18年12月	鹿児島	紫原	水平	1k	NHK 教育 18	NHK 総合 34	南日本放送 40	鹿児島放送 36
平成19年10月	鹿屋	高隈山		45	17	22	43	41
	阿久根	紫尾山	垂直	30	13	15	25	14
	枕崎	蔵多山		30	24	22	20	41
	蒲生	牟礼ヶ岡		10	24	22	20	41
平成19年12月	大口	栗野岳		10	24	22	25	41
	串木野	北方高地		10	13	15	16	14
平成20年	志布志	陣岳中腹		10	18	23	20	39
	末吉	高の峯山		10	24	23	20	19
	財部	白鹿岳		0.5	18	37	40	39
	穎娃	大野岳		10	13	15	16	14
	種子島	廻峰山		30	28	23	25	21
	名瀬	戸口		100	13	15	16	14
	南種子	大中峰		10	13	15	16	14
	中之島	御岳		3	30	22	40	34
平成21年	瀬戸内	高知山		50	20	22	21	31
	徳之島	井之川岳		30	13	15	16	14
	知名	大山		30	20	22	21	24

2. 測定項目の諸元

測定は、地デジ測定で一般的に用いられているアンリツ社製のMS8911Aと14素子の八木アンテナを使

用して行った。測定項目を限定することで作業の簡便化を図り効果的な評価を行った²⁾。

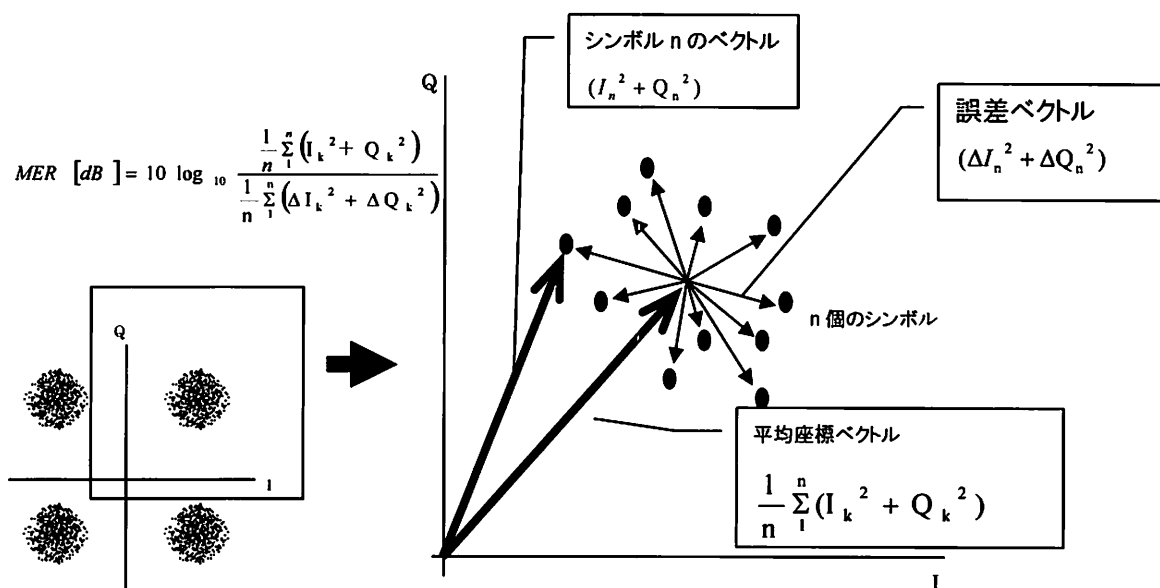


図2 MER(変調誤差比)の算出

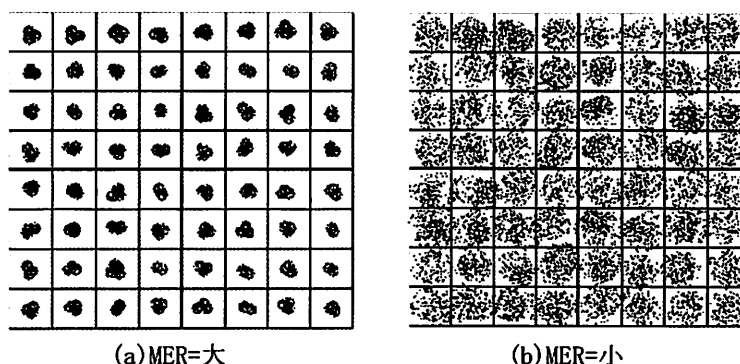
2-1 BERとC/N

今回用いた測定器は、BER(bit error rate)の表示機能がないのでMER測定から得られる情報を用いて伝送路を評価した。後述するが、伝送路の伝搬途中に劣化要素がある場合には等価C/Nと云う概念を用いて評価する。C/Nとは搬送波電力対雑音比のことである。しきい値は、ビタビ復号後(RS訂正前)でビット誤り率が 2×10^{-4} になるガウス雑音下でのC/N値で示される³⁾。

図2に示すようにコンスタレーションのばらつきを数値化して表したものであり、コンスタレーションの各ポイントからのベクトル誤差を電力換算したものである。C/NとMERの測定評価から、 $MER \approx C/N + 2dB$ となる。MERは信号の品質を客観的に評価するためのものであり、主に伝送路の劣化、C/Nのマーヅンを見るために測定し画像破綻前の放送波の品質劣化を判断する指標として最適である。図3に示したように、MERの値が大きいかほど伝送品質は高い。

2-2 MER

MER(Modulation Error Ratio; 変調誤差比)とは、



(a)MER=大

(b)MER=小

図3 MERと64QAMのコンスタレーション

2-3 コンスタレーションの特徴

コンスタレーションは、デジタル信号中の各サブキャリアの振幅と位相を平面上にプロットしたものである。波形から次のような特徴を知ることができる。

- ・位相の変化→円周方向の変化として現れる
- ・振幅変化 →放射方向の広がりとなる
- ・C/Nの劣化→点の広がりや拡散
- ・妨害波の混入→離散点の存在として現れる

2-4 MERの特徴

(長所)

- ・測定レンジが広範囲である
- ・TMCC(変調パラメータ)の影響を受けない
- ・性能の経年・経時劣化測定が可能
- ・試験信号は、実画像・PN信号どちらでも良い

(短所)

- ・映像受信可、不可の判断は出来ない
- ・間欠測定なのでバースト的な誤りは検出できない

2-5 地デジにおけるMER測定

地上デジタル放送の受信では、MERを測定することが受信マージンを知る有効な手段となる。一般的に電界強度は、時間率マージン約9dBを加味して60dB μ V/m以上が必要とされる。実際にはフェージングや妨害波などによる受信状態の悪化に対して十分なマージンを見込んでおく必要があるためMERは25dB以上を確保したほうがよい。MERの測定値は、受信機のRFフロントエンドとOFDM復調部の性能によっても差が生じてくるが受信限界C/N:20dB付近の測定範囲に対してなら、測定系の性能の違いによる影響は僅かとなる。MERは平均的な値のため、パルス・ノイズの影響などは数値として現れにくい。

2-6 MERとC/Nの関係

MERとC/Nには一般的に図4のような関係があり、直線性のよい22dBから40dBの範囲ではC/Nと線形に近い関係にあり、特にBERでエラー・フリーとなるC/Nでも、MERでは特性の変化を緩やか(直線的)に捉えることができる。

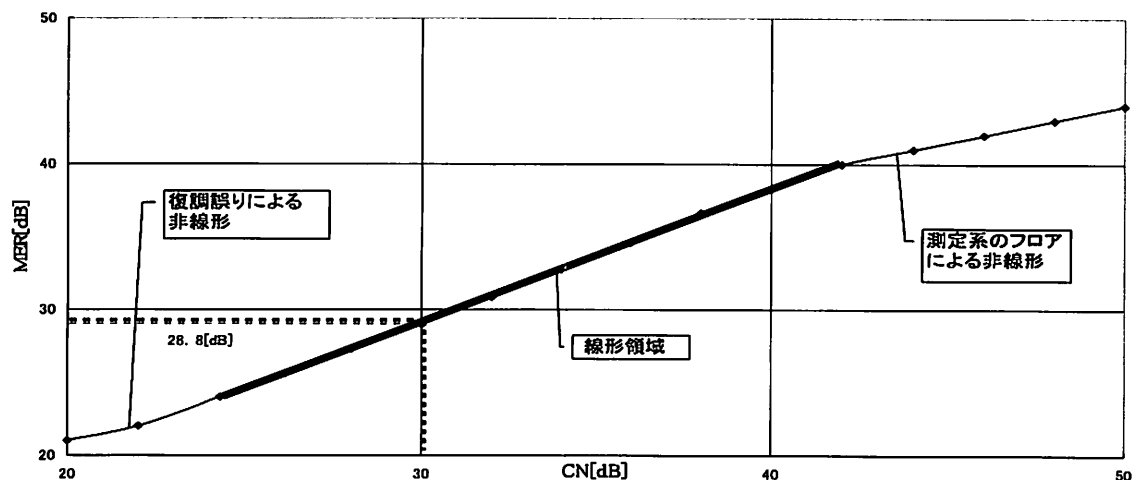


図4 MERとC/Nとの関係

2-7 MERとBERの関係

BERとMERはそれぞれの特徴を生かして評価尺度として相互に補完しながら使うことが可能である。MERはRF信号の状態で測定するのに対し、BERはRF信号を復調しデジタルデータの状態で測定する。MERは信号のC/Nと直線的な相関があるため信号の劣

化マージンを見るのに適している。それに対してBERは信号のC/Nとの関係が非線形のためマージンを見るのには適していない。従来のネットワークの監視ではBERを使用することが多く、画像の破綻寸前までネットワークの異常が分からないことも多い。しかしMERはC/Nとの相関が良いためにマージンを

見るのに適している。但し、MER だけでは障害発生時の原因特定はできないため、MER 値を求めると同時にコンスタレーションや各セグメントに分けたサ

ブキャリア毎の MER、伝送周波数特性等を観測して、情報を総合的に取得して判断することで伝送路の障害発生時の原因究明の指標となる。

2-8 マルチパスと合成の等価 C/N

遅延プロフィールにおいて基準波から、一回目にあらわれる遅延波をマルチパス D/U₁、2 回目に現れる遅延波をマルチパス D/U₂ とし、図 5 から等価 C/N₁、

等価 C/N₂ を求めることができる。このときの等価 C/N を(1)式に示す。

$$\text{等価}C/N \approx (\text{マルチパス}D/U) + 20(\text{dB}) \quad (1)$$

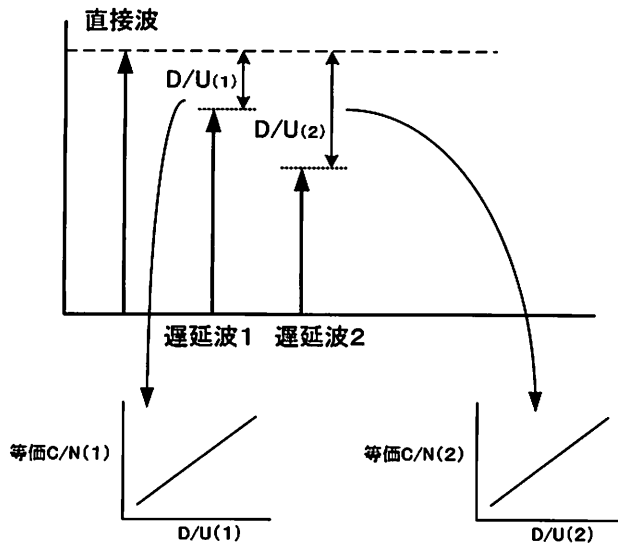


図 5 遅延波 D/U の求め方

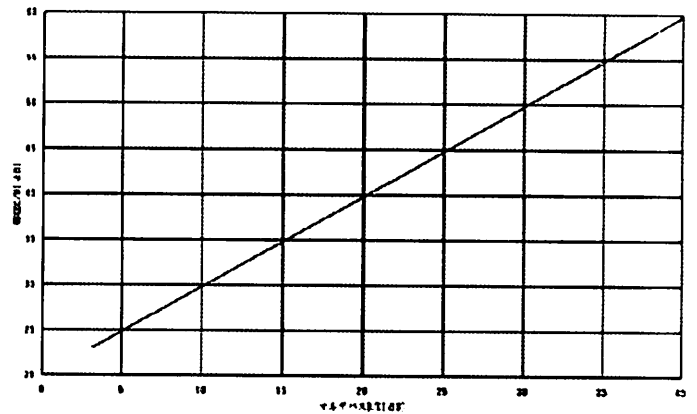


図 6 マルチパスと等価 C/N

等価 C/N の加算方法

$$\frac{1}{\frac{1}{C/N_{(1)}} + \frac{1}{C/N_{(2)}}} = C/N_{(equivalent)} \quad (2)$$

C/N₁ が 25dB、C/N₂ が 30dB とすると合成の等価 C/N(equivalent)は

$$\frac{1}{\frac{1}{10^{25}} + \frac{1}{10^{30}}} = \frac{1}{\frac{1}{316} + \frac{1}{1000}} = \frac{1}{4.16 \times 10^{-3}} = 240.1 \quad (3)$$

$$C/N_{(equivalent)} = 10 \cdot \log_{10} 240.1 = 23.8(\text{dB}) \quad (4)$$

と計算できる。

親局受信 C/N(rec)とマルチパスによる等価 C/N(equivalent)との合計した C/N(total)は、

$$\frac{1}{\frac{1}{C/N_{(rec)}} + \frac{1}{C/N_{(equivalent)}}} = C/N_{(total)} \quad (5)$$

トータル C/N(total)は MER などから特定が可能であるから、親局受信 C/N(rec)を算出するには次式による。

$$\frac{1}{\frac{1}{C/N_{(total)}} - \frac{1}{C/N_{(equivalent)}}} = C/N_{(rec)} \quad (6)$$

2-9 遅延プロファイル

遅延プロファイルとは、送信電波を受信し直接波と遅延波を画像として表したものである。原理としては、SP（スキヤッタード・パイロット）信号の周波数レスポンスをIFFT（高速逆フーリエ変換）することにより、遅延プロファイルを得ている。アナログ放送の場合は、受信した画像に多重像（ゴースト）が生じるためマルチパスの発生を容易に認識することができるが、デジタル放送の場合は崖効果（クリフエフェクト）という特性があるため、受信画像からではマルチパス発生を段階的に知ることができな

2-10 電界強度の計算

受信点における電界強度の値は、送信側の出力や送信アンテナの指向係数と受信アンテナの実効長、アンテナ利得などを加味して計算する。地上デジタル放送で使われている UHF 波の電界強度の基本式は(7)で示される。

$$|E| = 2E_0 \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \quad (7)$$

但し、

3 測定と評価

測定した結果を個々のポイントについて解析する。解析する内容は、電界強度の測定値と実測値の差、コンスタレーション、親局 C/N の値、遅延プロファ



図7 測定ポイントの例

3-1 紫原送信所

鹿児島地上デジタル放送の親局である紫原送信所は、平成18年12月1日にNHK、南日本放送(MBC)、

い。そのため遅延プロファイルの測定が必要となる。後述する図11に測定表示の一例を示すが、縦軸が受信した電波の強度、横軸が送られてきた電波の到達時間となる。一般的に親局送信所や中継送信所からの直接電波は到達時間も短く信号強度も強い。受信する信号は干渉がないものが望ましいが、遅延時間の少ない近傍での反射波や、遅延時間の大きな遠方での反射波が観測される。これらは送信点と受信点間にある構造物や山岳等の反射による複数の伝搬経路からの電波でありマルチパスという。

$$E_0: \text{自由空間の電界強度} : \frac{7\sqrt{G \cdot P}}{d} (V/m)$$

h_1 : 送信アンテナ海拔高 (m)

h_2 : 受信アンテナ海拔高 (m)

λ : 波長 (m)

d : 送受信点間の距離 (m)

イルを使用した反射点の特定である⁴⁾。

実験的に水平・垂直偏波成分を使用した反射予備軍の発見方法等も検討したが省略する。図7は紫原送信所と城山公園・福山町・桜島・大隈海岸の位置を示したものである。ここではサービスエリア全測定点の半数を紹介する。



図8 紫原から城山公園までの伝搬路

鹿児島放送(KKB)の3社共建で運用が開始された。

3-2 紫原送信所の運用設備

電源設備は三菱電機製で、6600V の 2 系統受電である。

- ・自家発電設備も三菱電機製で、パッケージ型 300KVA ディーゼルエンジンを使用し、最大備蓄容量 4000 リットルの燃料タンクを屋内に設置、燃料は重油を使用している。

- ・UPS 装置は東芝製で 30KVA を使用している。

- ・アンテナ設備は日立電線製で、超広域 6 素子双ループ 3 段 4 面送信空中線 (18ch~40ch で使用) で送信アンテナは 5 波共用となるため、CIB 型多段共用器を使用している。

- ・NHK の送信機は東芝製で水冷方式 1kW 機を使用している。

- ・回線設備は NEC 製で D バンド 0.1W の 64QAM デジタル STL を使用している。

- ・送信アンテナ鉄塔は海拔約 80m 地点にあり、鉄塔の地上高は 111m で、地上デジタル及びアナログ兼用送信 6L 双ループアンテナは地上高 102m 地点に設置されており、送信アンテナの海拔高は 182m である。

3-3 測定受信点 (国分・城山の例)

所在地:霧島市国分上小川 3819 番地測定地点の標高:160 (m) 受信アンテナの地上高:190 (cm) 紫原送信点からの直線距離:30293 (m) 方位:送信点からみた場合、真北から 43 度、送信アンテナの水平指向性:1.0 (dB)、垂直指向性:0.1 (dB) である。

城山公園について城山公園は、鹿児島県霧島市の標高 160m 地点にある海に面しており桜島を見晴らす絶景の公園である。ここを選定した理由は、送信点と受信点の距離が約 30km と比較的長く、遠方電界の測定が行える、受信点が高い位置にあるので送信アンテナの垂直指向性の影響をあまり受けない、また送信点と受信点の間に障害物が少ないということである。

3-4 電界強度の計算値と測定値の差

ここでは、電界強度の計算値と測定値の差について議論する。前述の電界強度の算出式(7)を用いる。各値は、

EIRP は 8.1kW であるから $\sqrt{GP} = 90$ 、 $h_1=181.9\text{m}$ 、 $h_2=162\text{m}$ 、 $d=30,293\text{m}$ 、 $D_h = 1\text{dB}$ 、 $D_v = 0.1\text{dB}$ 、とし、 λ は NHK 教育=0.596m、NHK 総合=0.501m、KKB=0.491m、MBC=0.472m である。NHK 教育の電界強度は、

$$|E_0| = 2 \cdot \frac{7 \cdot 90}{30293} \cdot \sin \frac{2\pi \cdot 181.9 \cdot 162}{0.596 \cdot 30293}$$

$$= 0.0416 \times \sin 10.25 = 0.0416 \times -0.735 = 0.0308$$

従って、

$$E = 20 \log \frac{0.0308}{10^{-6}} = 89.7\text{dB} \mu\text{V/m}$$

となり送信アンテナの水平及び垂直指向性を考慮すると、

$$89.7 - 1 - 0.1 = 88.6\text{dB} \mu\text{V/m}$$

測定点の他 3 局所も同様に計算した。表 2 に示すように測定値より計算値の方が低い値になった。差の大きな所では -15.7dB も低い値になる。これだけの差が生じる要因は、電界強度を求める式の

$$\sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}$$

の項にある。4 局所の違いは放送周波数であるため波長 λ の違いで電界値に差が生じていると考えられる。次に、計算値と測定値の \sin 項の計算結果を図 9 に示す。まず、18ch から 40ch までの位相角(rad.)を計算すると、

$$12.93 - 10.25 = 2.68(\text{rad.})$$

になる。これから、 \sin 項の変化は、1 波長以内に収まっていることがわかる。そして計算値と測定値との間には約 68 度、位相がシフトしていることがわかる。この差については、変数としての受信アンテナ高: h_2 が考えられる。現場での測定作業においてチャンネル毎に受信電界の最大値を検出すれば、それぞれが 90dB 程度の電界は得られるはずである。但し、測定条件(受信アンテナ高など)を一定として行った結果、チャンネル間で大きな差が表れたものと考えられる。

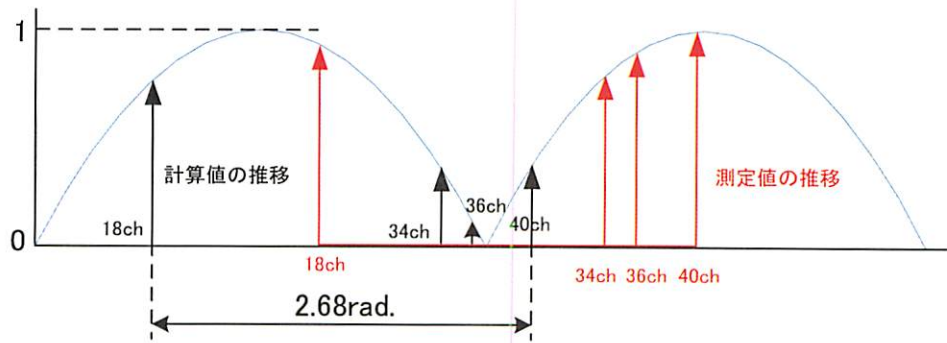


図9 城山公園における電界強度計算値と測定値

表2 城山公園における電界強度の計算値と測定

	計算値 (dB μ V/m)	測定値 (dB μ V/m)	差 (dB)	計算時に 使用した (rad.)	sin 値(rad.)
NHK 教育 (18ch)	88.6	92.0	-3.4	10.25	-0.73
NHK 総合 (34ch)	82.2	84.6	-2.4	12.20	-0.36
KKB (36ch)	72.5	88.2	-15.7	12.44	-0.13
MBC (40ch)	82.5	94.1	-11.6	12.93	0.36

3-5 コンスタレーション

ここでは、MERの算出の基になる、コンスタレーションを比較する⁵⁾。

図10に示す、城山公園でのコンスタレーションではシンボル点にバラつきはほとんど見られない。フルセグメントのMERは38dBと受信状態も良好であった。

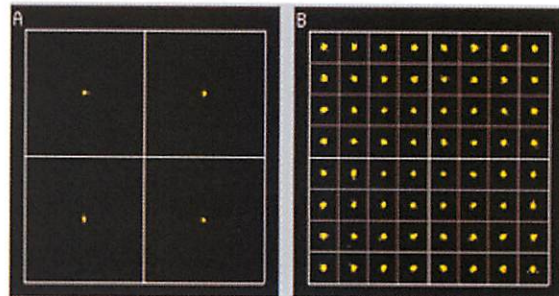


図10 城山における34ch (NHK 総合) のコンスタレーション

3-6 MERとC/N加算

ここでは、遅延プロファイルより求めた遅延波

D/Uを基に等価C/Nを求め、等価C/Nの加算により合成の等価C/N、親局受信C/Nを算出する。

表3 城山公園におけるMER、合成の等価C/N及び親局受信C/N

	MER (dB)	等価C/N ₁ (dB)	等価C/N ₂ (dB)	合成の等価C/N (dB)	親局受信C/N (dB)
NHK 教育	40.3	46.0	46.0	43.0	43.6
NHK 総合	38.7	52.5	51.0	48.7	39.2
KKB	41.0	51.0	54.5	49.4	41.7
MBC	39.0	52.5	55.0	50.6	39.3

合成の等価 C/N、親局受信 C/N を算出した結果、表 3 のようになった。城山公園における MER と親局

受信 C/N を比較すると 0.1~0.3dB の差であることが分かる。ほとんど劣化は見られない。

3-7 遅延プロファイルから反射点の特定

ここでは、遅延プロファイルを用いた反射点の特定を行う。図 11 の丸を付けたポイントの反射点を特定してみる。反射点を特定するための式(8)を示す。

マルチパスは直接波に比べて 30dB と非常に低いため、殆ど実害は発生しない。

$$\text{反射波の伝搬距離(m)} = 3 \times 10^8 \times \text{Delay}(\mu\text{s}) \quad (8)$$

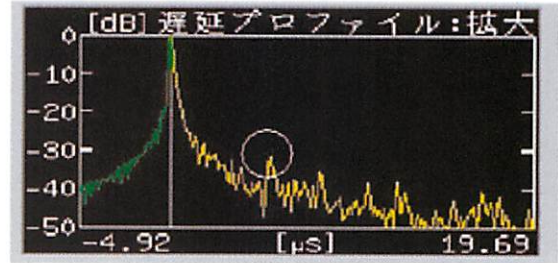


図 11 NHK総合 (34ch) の遅延プロファイル

図 11 の遅延プロファイルからマルチパスの遅延時間は $5.41(\mu\text{s})$ と読み取れるので、式(8)から伝搬路差 1623m と計算できる。この結果を用いて反射点を特定する。図 12 は、送受信間の直距離と反射を含む伝搬距離を用いて楕円の中心(腹部)の距離を算出する方法を示した。図に示すように親局と測定点との焦点を F' 、 F とする楕円を描く。これによって楕円の腹部距離 b が算出できる。図 13 に示すように反射点は楕円の円周に接する全ての反射波が該当することになる。対象の反射点は山岳や大きな構築物と考えられる。作図した楕円に接する反射波としては、桜島山腹付近、受信点の後方・周辺の霧島山系、更には始良町付近の海に突き出した崖等を特定することができた。但し、ここで用いた城山の受信点のマ

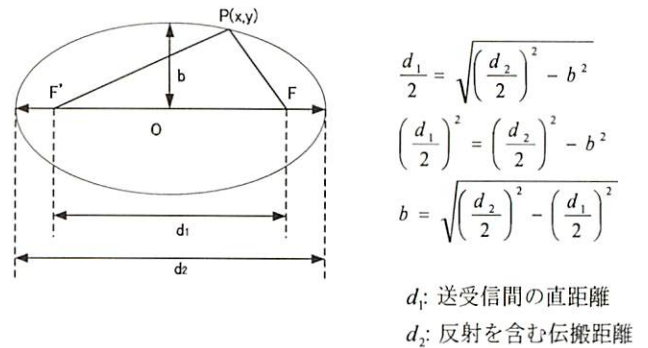


図 12 伝搬路距離からの楕円の作図

これらを踏まえて、地図を利用して地形の確認を行うことで図 13、図 14 のように反射点の推定が出来る。

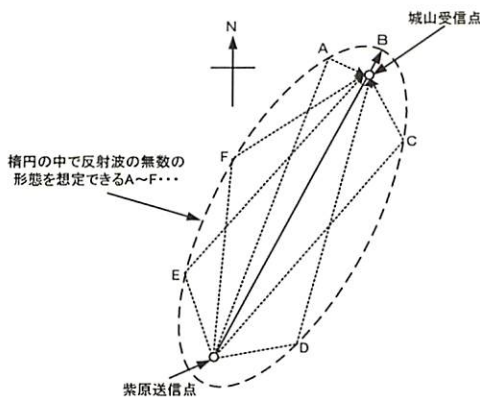


図 13 楕円による反射点の推定



図 14 地図上の楕円伝送路における反射点

4. まとめ

4-1 電界強度

4箇所での電界強度の測定結果をそれぞれ計算値と測定値で比較した中から、いくつかの類似点が見られた。まず城山公園と桜島の測定においては、一部の計算値と測定値の差が大きく離れており、これは電界強度を求める式の $\sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}$ が影響している。この測定ポイントは城山公園が海拔高 162m、桜島が海拔高 373m と受信アンテナ高 h_2 が高い値になっていることがわかった。また、福山町と大隈海岸では計算値と測定値の差は少なく、この2箇所は福山町が海拔高 5m、大隈海岸が海拔高 4m と、受信アンテナ高 h_2 が小さな値となっていることがわかった。この2点をまとめると、計算値と測定値の差については h_2 が高い値になると rad. が大きくなり計算値と測定値間に大きな差が生じた。

4-2 コンスタレーション

4ヶ所のコンスタレーションを比較したが、城山、桜島、大隈海岸では大きなバラつきは見られず、コンスタレーションの特性は良好で信号劣化は殆どなかった。紫原からの電波が桜島によって遮へいされるフリンジ付近の福山町ではコンスタレーションに大きな劣化が見られ、その劣化の特徴から受信電界強度の低下による C/N の悪化が原因と判明した。マルチパスの影響ではなかった。

4-3 MER

4ヶ所の測定箇所の MER と合成の等価 C/N から親局受信 C/N を算出して受信電界強度と比較した。城山、桜島、大隈海岸の MER は正常な受信画像を得るために必要な 20dB を上回る 25dB 以上であった。また、マルチパスと受信電界の低下による劣化は殆ど認められない。なお、大隈海岸での KKB の受信チャンネルにおいて、対岸にある指宿の中継局からのアナログ電波の混信によって MER が低下していることが判明した。福山町での MER は4チャンネルとも 10dB 以下と非常に低く、合成の等価 C/N、親局受信 C/N、電界強度とを比較した結果、原因は受信電界の低下による劣化であると特定できた。桜島山腹の一部遮へいであると考えられる。

4-4 遅延プロファイル

送受信間の直距離と反射を含む伝搬距離を用いて楕円の中心(腹部)の距離を算出する方法を示した。これらを踏まえて、地図を利用して地形の確認を行うことで反射点の推定が出来ることを示した。桜島は親局の受信エリアの中央にあり、裏側エリアへの遮へい効果に加えて、山腹での反射によるマルチパスも存在するが D/U 値が大きいため影響は少ない。山腹からの反射が高角度で輻射されるためにエリア劣化が少ない要因とも考えられる。城山公園などは霧島山嶺の反射が比較的、受信に影響を与えている。4箇所の遅延プロファイルを評価分析したが全ての測定地点で近隣の山々が地デジの受信に大なり小なり影響を及ぼしている。桜島という電波の伝搬に大きな影響を及ぼす山岳が存在するため中継局サービスの重要性が高いことがわかる^{6),7)}。

おわりに

電界強度測定では海拔高が高くなるにつれ計算値と測定値の差が大きくなる。電界強度、コンスタレーション、MER、及び遅延プロファイルについても桜島、大小様々な山嶺による山岳遮蔽が多くの影響を与えていることがわかった。これらのことを纏めると鹿児島エリアにおける地デジの受信には、鹿児島湾沿岸の受信条件は良好であるが、周辺部では山岳遮蔽の影響が多く存在している。また鹿児島県は離島も多くネットワークの構築に向けた努力が求められる。

参考文献

- 1) 塩見正,羽鳥光:デジタル放送,pp.103-157,ohmsha,2001.
- 2) CQ 出版社:デジタル放送の基礎技術入門,pp.81-98, CQ 出版社,2003.
- 3)伊丹誠:わかりやすいOFDM技術,pp.29-148,ohmsha,2005.
- 4) (社)電子情報技術産業協会:地上デジタル放送送信機測定方法ハンドブック, pp.1-62,放送システム専門委員会, 2006.
- 5)喜安善市,関清三:デジタル変復調回路の基礎,pp.106-129, オーム社, 1984.
- 6)デジタル放送研究会:デジタル放送の技術とサービス,pp.139-158,技術評論社,2006.
- 7)RF ワールド NO.1:地上デジタル放送のテクノロジー特集,8-74, CQ 出版社,2008.