FM 放送波を用いた地上デジタル TV 放送波オーバーリーチ伝搬特性の推定

小森 弘貴 坪島 知也 西 正博 新 浩一 吉田 彰顕

広島市立大学大学院 情報科学研究科

Estimations on Over-reach Propagation Characteristics of Terrestrial Digital Broadcastings using FM Radio Waves

Hiroki Komori, Tomoya Tsuboshima, Masahiro Nishi, Koichi Shin, and Teruaki Yoshida

Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University,
3-4-1 Ozuka-higashi, Asa-minami-ku, Hiroshima, 731-3194, JAPAN

Abstract. As the demand of radio systems increases, in general, the frequency reuse strategies are adopted from the view point of frequency use efficiency. Especially, the digital terrestrial broadcasting systems utilize the same channels in neighboring prefectures more frequently than the analog ones. Therefore, it is important to quantitatively evaluate the over-reach propagation of the same channel TV waves. The study on the over-reach propagation is effective for the installation and the renovation digital TV broadcasting station. Until now, we have observed the over-reach propagation, focusing on analog TV and FM radio waves. Because the digital terrestrial broadcasting system utilizes the same channels in neighboring prefectures, it is difficult to identify the source of over-reach digital TV waves. So we have proposed attention on VHF band FM radio waves which were from almost the same transmission sites, in order to identify the source of the over-reach TV waves. And we considered that the over-reach of the TV waves can be estimated by that of the FM radio waves. In this study, we simultaneously observed the analog TV waves and the FM radio waves from Yamaguchi to Hiroshima, in order to estimate over-reach propagation of digital terrestrial broadcastings using FM radio waves. We analyzed the propagation losses of analog TV waves and FM waves based on observational results, and evaluated correlation coefficient between them. Consequently, it was clarified that the propagation losses of TV waves were estimated by a linear approximation of the propagation losses of FM radio waves.

Key words: terrestrial digital broadcastings, over-reach, UHF band TV, VHF band FM

1. まえがき

地上 TV 放送は 2011 年 7 月 24 日, 一部の地域を除き, アナログ放送が停波されデジタル放送に移行した. 周波数を有効に利用するため, 中継局も親局と同じ周波数で放送する単一周波数ネットワーク (SFN: Single Frequency Network) の導入が進められている (ARIB, 2001; MIC, 2010; Yamada, 1998). さらに, 隣接県において見通し外となる場合には, 周波数有効利用の観点から同一チャネルを用いて放送されるケースが増大している. そのため高層気象の条件により大気ダクトが生じた場合, 仮に見通し外となる隣接県間でさえ, オーバーリーチによる TV 放送波の干

渉が発生することがある。このため、オーバーリーチ干渉の発生時には、その干渉源を特定すること、およびその干渉量を把握することが重要となる。

まず一つ目の課題は、複数の隣接県で同一チャンネルにより放送されることから、その干渉源の特定が極めて困難となることである。そこでこの課題の解決策として、筆者らはこれまでの観測経験に基づき(Higashi, 2009; Iwami, 2009), VHF 帯 FM 放送局(現状では隣接県で異なる周波数で放送されていること、また UHF 帯地上デジタル TV 放送局と同一地点から放送されているケースが多いこと)に着目し、FM 放送局の電波を同時に観測することにより、オーバーリーチ干渉源を特定できるのではないかと考えた。また二つ目の課題は、オーバーリーチ干渉を定量的に把握することである。そこでこの課題に対しては、大気ダクト発生時における、同一伝搬区間の UHF 帯 TV 放送波と VHF 帯 FM 放送波の見通し外伝搬特性の関連を明らかにできれば、VHF 帯 FM 放送波のレベル上昇量から、UHF 帯 TV 放送波のレベル上昇量を推定することができるのではないかと考えた。また地上 TV 放送は、2011 年 7 月 24 日のデジタル化移行までのアナログ放送期間は、隣接県であってもそれぞれ異なる周波数で放送されているため、観測点において送信局の特定が可能である。

上記ねらいを検証するため、本研究では、このアナログ放送期間に着目し、山口県大平山から放送された UHF 帯 TV 放送波と VHF 帯 FM 放送波を見通し外となる広島市立大学にて観測し、各放送波の伝搬損失特性を比較評価した。本論文ではその観測結果および、両者の関連性について考察した結果を述べる。

2. 観測方法

2.1. 電波伝搬経路

近隣県からの放送波として、山口県の大平山から送信される VHF 帯 FM 放送波(79.2MHz)および UHF 帯 TV 放送波(565.75MHz)に着目し、広島市立大学において観測を行った。Fig. 1 および Fig. 2 に本観測における送信局と観測点の位置関係、および伝搬プロフィールをそれぞれ示す。送信源から観測点までの伝搬距離は約 83km である。また Fig. 2 からわかるように、本研究で観測する FM 放送波、および TV 放送波の伝搬環境は見通し外の多重山岳回折による陸上伝搬が支配的となる。Table 1 に観測周波数ならびに放送波の送信出力(ERP: Effective Radiation Power)を示す。

Fig. 1 Broadcasting station and observation site.

Table 1. Specifications of the broadcasting station.

Broadcasting station	frequency	transmission power (ERP)
Yamaguchi	79.2MHz	1kW
	565.75MHz	10kW

Fig. 2 Propagation path profile

2.2. 観測システム

Fig. 3 に本研究で用いた観測システムの構成図を示す。VHF 帯においては、FM 放送波用 3 素子八木・宇田アンテナ、および FM 用放送用受信機を用いた。UHF 帯においては、受信アンテナに TV 放送受信用の 20 素子八木・宇田アンテナを用い、受信機に広帯域無線受信機を用いた。それぞれの受信機から得られる受信レベルに応じて変化する検波電圧を、A/D コンバータを介して PC に連続記録した。

本観測システムの諸元を Table 2 に示す。79.2MHz および 565.75MHz の放送波を観測するにあたり、3dB 受信帯域幅がそれぞれ 50kHz、230kHz、測定限界がそれぞれ -125dBm、-120dBm となる受信機を用いた。観測時刻は観測点に設置した GPS を用いて時刻同期をとった。

3. 観測結果

3.1. 全期間の伝搬損失変動

2010 年 6 月 3 日～2011 年 7 月 24 日までの 13 ヶ月間の広島市立大学において観測した VHF 帯 FM 放送波および UHF 帯 TV 放送波の伝搬損失を Fig. 4 に示す。測定期間を通して、Fig. 4 に示すように、定常的な伝搬損失の値は FM 放送波および TV 放送波にてそれぞれ、約 162dB、約 183dB となった。また、FM 放送波および TV 放送波ともに、それぞれの定常値に対して 5dB 以上の伝搬損失の低下(受信レベルの上昇)を確認できた。

Fig. 2 の伝搬プロフィールに示したように、今回対象とする放送波は、多重山岳回折での伝搬が支配的となり、伝搬距離 55km 付近および、68km 付近と 72km 付近にて山岳回折して受信点に到達すると思われる。また 20km 前後の山は、障害物として伝搬経路上には存在し、やはり山岳回折損失を生じる (Saunders, 1999)。これらの山々の位置及び標高を考慮して、多重山岳回折損失を導出

Fig. 3 Observation system configuration

Table 2 Specifications of the observation system.

	79.2 MHz	565.75 MHz
Receiving antenna gain	3 dBi	8 dBi
Receiving bandwidth	50 kHz/3dB	230 kHz/3dB
Measurement limitation	-125 dBm	-120 dBm
Sampling interval	1 sec	2 sec
A/D resolution	13 bit	13 bit
Cable loss	3 dB	10 dB

Fig. 4 Propagation loss of UHF-TV and VHF-FM (all observation period).

した。多重山岳回折損失の導出には、単一ナイフエッジ回折損失の導出を複数の山に逐次的に適用する Giovanelli の手法 (Giovanelli, 1984) を用いた。またこれらの山岳回折損失に加えて、伝搬距離の増加に伴い生じる自由空間損失を考慮して、全体の伝搬損失の理論値を求めた。79.2MHz と 565.75MHz における自由空間損失と山岳回折損失、ならびに全体の伝搬損失の理論値を Table 3 に示す。トータル伝搬損失の理論値は 79.2MHz と 565.75MHz においてそれぞれ 160dB, 185dB となった。

このことから、実測にて得られた各周波数の定常的な伝搬損失の値と理論値との誤差は約 2dB であることがわかった。

このことから、実測にて得られた各周波数の定常的な伝搬損失の値と理論値との誤差は約 2dB であることがわかった。

3.2. 標準時およびオーバーリーチ時の伝搬損失変動

伝搬損失の変動特性を明らかにするため、本節では、まずはじめに伝搬損失の日変動例を示す。伝搬損失変動が安定していた事例として、Fig.5 に 2010 年 10 月 27 日の日変動を示す。Fig.5 に示すように、この日の伝搬損失は TV 放送波で約 182dB, FM 放送波で約 162dB であり、年変動の定常値や前節で導出した理論値とほぼ同じ値となった。また両放送波とも変動がほとんどなく、1 日を通して数 dB 以下の変化しかないことがわかる。この日は、これまでの我々の他の地域での観測結果 (Higashi, 2009; Iwami, 2009) と同様、風が強く、大気が攪拌されている気象条件であった。また同様の気象条件下では、この日のみならず、他の日でも伝搬損失がほとんど変化しない傾向を確認することができた。

次に、伝搬損失が変動した事例として、Fig. 6, Fig. 7 および Fig. 8 にそれぞれ、2010 年 7 月 7 日、2011 年 5 月 19 日、2011 年 7 月 24 日の日変動を示す。ここで 2011 年 7 月 24 日の伝搬損失変動は、地

Table 3 Theoretical value of propagation loss.

	79.2 MHz	565.75 MHz
Free space loss	109 dB	126 dB
Diffraction loss	51 dB	59 dB
Total loss	160 dB	185 dB

Fig. 5 Propagation loss of UHF-TV and VHF-FM (Oct. 27, 2010).

Fig. 6 Propagation loss of UHF-TV and VHF-FM (July 7, 2010).

上アナログTV放送サービスが停波する直前に観測されたものであるが、本研究の観測期間で最大の変動となった。Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8のどの3例からも、TV放送波とFM放送波の伝搬損失がほぼ同時に変化していることが確認できる。2010年7月7日では6時から10時の間で、2011年5月19日では0時から9時の間で、2011年7月24日では、3時から9時の間で、TV放送波とFM放送波両方において、受信レベル上昇に伴う5dBから10dB程度の伝搬損失の低下を観測した。また伝搬損失の変化は主に深夜から明け方にかけて生じる傾向があった。TV放送波とFM放送波の伝搬損失変化の同時発生やその時間帯は、伝搬損失の変化を観測した他の日でも同様の傾向であった。

以上の特徴から、これらの要因として、気象条件の変化が考えられる(ITU, 1996)。そこで伝搬経路に影響を与える高層気象との比較を行った。気象庁が全国に設置

している高層気象台のうち、観測環境に最も近い福岡高層気象台(JMA, 2012)のデータ(気温、湿度、気圧)を用いて、修正屈折指数 M (MU) の高度変化である M プロフィールを求めた(CCIR, 1992)。高層気象データは9時と21時の1日2回ラジオゾンデにて取得されており、伝搬損失と比較する M プロフィールの作成には、直前に得られた高層気象データを用いた。Fig.9 (a), (b), (c), (d)に2010年10月27日、2010年7月6日、2011年5月18日、2011年7月23日の高層気象データから求めた M プロフィールをそれぞれ示す。Fig. 9 (a)より、2010年10月27日には、 M プロフィールが直線的であり、大気屈折率が安定していることがわかる。これにより、当日はほぼ標準大気での電波伝搬が支配的となり、電波が安定して観測点に到来することで、伝搬損失変動が安定したと考えることができる。一方、Fig.9 (b), (c), (d)の2010年7月6日、2011年5月18日、2011年7月23日における M プロフィールからは、修正屈折指数 M が高さ方向に対して減少する大気の逆転層が生じていることが確認できる。このような場合には、電波は大気層に閉じ込められて遠方へ届くダクト伝搬が生じやすくなる(Ikegami, 1968, Yoshida, 2010)。つまり、上記3例の各日では、大気屈折率の状態が不安定でダクトが形成しやすい状況であったことがわかる。TV放送波およびFM放送波の伝搬損失が同時に低下した理由として、送受信間にダクトが生じている間、山岳回折損失が少なくなる伝搬経路が形成されたためと考えることができる。

Fig. 7 Propagation loss of UHF-TV and VHF-FM (May 19, 2011).

Fig. 8 Propagation loss of UHF-TV and VHF-FM (July 24, 2011).

Fig. 9 Height profiles of modified refractive index M observed at Fukuoka.

4. FM 放送波を用いたオーバーリーチ TV 放送波の伝搬損失推定

本研究では、FM 放送波の伝搬損失と TV 放送波の伝搬損失の相関を明らかにするため、伝搬損失の変動量である“伝搬損失変動幅”を新たに定義した。Fig.10 に伝搬損失変動幅の事例を示す。Fig. 10 に示すように、伝搬損失変動幅は定常値(Fig. 10 点線)と3時間毎の時間帯における累積確率 1%値(Fig. 10 実線)の差分とした。FM 放送波および TV 放送波の定常値には、それぞれ 162dB, 183dBを用いた。Fig. 10 の例では、6時から9時までの伝搬損失変動幅は 7.25dB、9時から12時までが 6.63dB、12時から15時までが 4.71dBとなった。Fig. 11 に全観測期間に

Fig. 10 Actual example of propagation loss fluctuation.

る累積確率 1%値(Fig. 10 実線)の差分とした。FM 放送波および TV 放送波の定常値には、それぞれ 162dB, 183dBを用いた。Fig. 10 の例では、6時から9時までの伝搬損失変動幅は 7.25dB、9時から12時までが 6.63dB、12時から15時までが 4.71dBとなった。Fig. 11 に全観測期間に

おける FM 放送波と TV 放送波の伝搬損失変動幅の散布図を示す。ほとんどの観測時間帯において、FM 放送波および TV 放送波の伝搬損失の累積確率 1% 値は定常値より大きかったため、伝搬損失変動幅が負となる場合は全体に比べてわずかであった。また Fig. 11 より、FM 放送波の伝搬損失変動幅が大きい場合には TV 放送波のそれとも大きくなることがわかり、両者には正の相関があることが確認できた。また相関係数を求めたところ、その値は 0.72 であった。

本研究では、FM 放送波の伝搬損失から TV 放送波の伝搬損失を推定することを検討した。まず散布図から両者の関係を表すため、最小 2 乗法を用いて式 (1) となる 1 次直線を求めた。

$$y = ax$$

(1)

ここで y は TV 放送波の伝搬損失変動幅、 x は FM 放送波の伝搬損失変動幅である。その結果、回帰係数 a の値は 1.004 となった。また TV 放送波の伝搬損失変動が回帰直線から ± 3 dB 以内に収まる確率を求めたところ 96.8% となった。これらのことから山ロー広島間では、FM 放送波を観測することで、その伝搬損失変動の線形近似により、約 97% の確率で誤差 3 dB 以内に TV 放送波の伝搬損失を推定できることがわかった。

これらの結果より、見通し外伝搬において、UHF 帯の TV 放送波がダクト伝搬で遠方に到達する際、VHF 帯の FM 放送波も同様に遠方に到来することが確認できた。2011 年 7 月 24 日以降、地上波 TV 放送システムは全国でデジタル化され、周波数有効利用の観点から、隣接県で同一チャンネルで放送されているケースが増大している。このような場合には、ダクト伝搬等の影響により隣接県をまたがり放送波が到達するオーバーリーチ伝搬が問題となり、その定量的な把握が重要となってきている。デジタル放送では、複数の隣接県にて同一チャンネルで放送されているため、TV 放送波のオーバーリーチ伝搬源を受信周波数より分離識別することは難しいが、本論文では FM 放送波を観測することで、TV 放送のオーバーリーチを推定できることを示した。今後は、山ロー広島以外の区間においても、FM 放送波を用いた TV 放送のオーバーリーチ伝搬の観測を行い、本提案手法における地上デジタル TV 放送波の干渉量の推定精度向上を図りたい。

5. まとめ

本論文では、地上デジタル TV 放送波の干渉源を特定するため、UHF 帯地上デジタル TV 放送局と同一地点から放送されている FM 放送局の電波を同時に観測する手法を提案した。またオーバーリーチ干渉を定量的に把握する手法として、同一伝搬区間の UHF 帯 TV 放送波と VHF 帯 FM 放送波の見通し外ダクト伝搬特性の把握を提案した。これら手法を検証するため、アナログ放送終了までのラストチャンスとして、2010 年 6 月 3 日から 2011 年 7 月 24 日まで、山口県大平

Fig. 11 Propagation loss fluctuations and linear approximation of least-squares method.

山から放送された UHF 帯 TV 放送波と VHF 帯 FM 放送波を、見通し外となる広島市立大学にて観測した。以下にその観測結果をまとめる。

- ・定常的な伝搬損失の実測値は FM 放送波および TV 放送波それぞれ、約 162dB, 約 183dB であり、標準大気を仮定して理論値を導出した結果との誤差が約 2dB であった。
- ・TV 放送波と FM 放送波の伝搬損失変動の相関を調べたところ、正の相関が確認でき、相関係数は約 0.72 となった。
- ・TV 放送波および FM 放送波の伝搬損失変動から回帰直線を求めた結果、傾き 1.004 の一次直線の関係となり、FM 放送波の伝搬損失変動から線形近似により TV 放送波の伝搬損失変動は約 97% の確率で 3dB 以内にて推定可能であることがわかった。

TV 放送波はアナログからデジタルに移行したことで、隣接帯で同一チャンネルで放送されるケースが増加しており、オーバーリーチ干渉源の特定は困難となっている。このような状況において、本論文で示した手法により、TV 放送とほぼ同じ場所から送信されている FM 放送波を観測することで、オーバーリーチ伝搬した TV 放送波の送信源の特定やその干渉量の定量化が期待できる。

謝辞

本論文では、大気の修正屈折指数を求める際、気象庁が公開している福岡高層気象台の高層気象データを利用させていただいた。また、観測系の構築、観測系の運用は科学研究補助金により行われた。ここに謝意を表します。

参考文献

- ARIB, Transmission for Digital Terrestrial Television Broadcasting, ISDB-T, ARIB standard, STD-B31, vol. 1.5, 2001.
- CCIR, The Radio Refractive Index: Its Formula and Refractivity Data, Rec. 453-3, RPN Series, Geneva, 1992.
- Giovanelli, C. L., An analysis of simplified solutions for multiple knife-edge diffraction, IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. AP-32 (3), pp.297-301, 1984.
- Higashi, T., K. Shin, M. Nishi, and T. Yoshida, Seasonal variations of over-horizon propagation characteristics of FM broadcasting waves, Journal of Atmospheric Electricity, vol. 29, No. 2, pp.105-113, 2009 (in Japanese).
- Ikegami, F., T. Akiyama, S. Aoyagi, and H. Yoshida, Variation of radio refraction in the lower atmosphere, IEEE Trans. Communications, vol. AP-16, pp.194-200, 1968.
- ITU, Handbook on Radio Meteorology, Chapters 3 and 4, Geneva, 1996.
- Iwami, T., M. Nishi, and T. Yoshida, Characteristics of UHF band radio propagation over the seto inland sea, IEICE Trans. Communications (B), vol. J92-B, No. 1, pp.224-232, 2009 (in Japanese).
- JMA, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/index.php>, 2012.
- MIC, White Paper Information and Communications in Japan, Ministry of Internal Affairs and Communications, 2010.
- Saunders S. R., Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, John Wiley & Sons, LTD, 1999.
- Yoshida, T., K. Shin, and M. Nishi, Correlation between the aerological atmospheric refractivity and the received level of non-line-of-sight FM radio waves, Journal of Atmospheric Electricity, vol. 30, No. 2, pp.83-94, 2010.
- Yamada, O., H. Miyazawa, and J. Kumada, Development of digital broadcasting in Japan, IEICE Trans. Electron., vol. E81-C, No. 5, pp.636-641, 1998.

(Received October 25, 2012; revised December 3, 2012; accepted December 7, 2012)