

通信・放送融合型モバイル環境を指向した UHF 帯電波伝搬エリアの検討

西 正 博[†] 吉 田 彰 顕[†]
渥 美 幸 雄^{††} 高 橋 修^{†††}

現在デジタル化が進められている UHF 帯地上テレビ放送波は、放送プログラムだけでなく、デジタルコンテンツの情報配信メディアとして大きな期待を集めている。UHF 帯電波は、広域なモバイル環境での情報伝達メディアとして重要な役割を担うであろう。本研究では、既存の移动通信システムと地上デジタル放送システムを融合した、新しい UHF 帯モバイル環境の構築を目指し、モバイル環境における電波伝搬エリア (UHF 帯電波伝搬状況) を検討することを目的として、既存 TV 放送波と GPS を利用した移動型電波測定システムを構築し、UHF 帯電波伝搬の測定を行った。本測定システムでは、安定して TV 放送サービスを提供している放送波を送信源とし、TV 放送信号の中でも音声信号を受信することにより安定にかつ正確な受信レベルの測定が可能であり、GPS 信号の受信可能な屋外環境では、位置情報を取得しながら、広いエリアで受信レベルを測定できる。また、広域かつ面的な UHF 帯電波受信レベル状況を評価するため、位置情報と受信レベルから受信レベルマップを作成するとともに、50m メッシュの 3 次元地形データをもとに放送局からの見通しエリアを導出した。そして新たに、見通しエリア内および見通しエリア外それぞれにおける UHF 帯電波受信レベル特性を定量的に評価した。その結果、放送局からの見通しエリアデータをもとにして UHF 帯電波伝搬状況の評価ができることが分かった。

Study of UHF Band Radio Propagation Area for Communication and Broadcasting Integrated Environments

MASAHIRO NISHI,[†] TERUAKI YOSHIDA,[†] YUKIO ATSUMI^{††}
and OSAMU TAKAHASHI^{†††}

This paper aims to estimate the radio propagation area in the communication and broadcasting integrated information platforms, based on the measurements of UHF band radio waves. In the integrated platforms, both mobile communication and terrestrial digital TV broadcasting systems are effectively fused in UHF band, to provide broadband digital information to mobile users. To investigate large-coverage characteristics of UHF band radio propagation in the platforms, the received level contour maps are created based on the measurement data including the GPS positioning data and the received level data, and the contour maps are combined with terrain LOS area obtained by use of 50m mesh 3D terrain data. Moreover, the received levels in the LOS or non-LOS area are individually evaluated. From the evaluation results of the UHF band radio propagation characteristics, the radio propagation area can be easily estimated based on the terrain LOS area from the transmitter.

1. はじめに

現在、携帯電話、PHS などの移動体通信加入者数が

8,000 万人を超えており^{1),2)}、利用者のモビリティに対する要求はますます高まってきている。さらに従来の音声通信だけでなく、移動体端末からインターネットへアクセスする、モバイル IP の需要も増加している。このため、移动通信分野では、広帯域化の実現しやすい、マイクロ波帯などの高い周波数帯を用いた新たなシステムの研究開発が進んでいる³⁾。一方、日本の放送分野では、地上 TV 放送波のデジタル化が進められており、2006 年に全国でサービスが開始される予定である^{1),4)}。TV 放送波のデジタル化により、放送

[†] 広島市立大学情報科学部
Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University

^{††} 専修大学経営学部
School of Business Administration, Senshu University

^{†††} はこだて未来大学システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University-Hakodate

メディアが、従来のように放送プログラムを配信するだけでなく、デジタルコンテンツをも容易に伝送できるようになる。また、地上デジタル放送波に利用される周波数帯は、470~770 MHz の UHF 帯であり、マイクロ波帯に比べて、電波伝搬損失が少なく、広域に伝搬する特徴を有する。よって、デジタル TV 放送波は、広域なモバイル環境における、新たな広帯域情報伝達メディアとして期待が高まっている。

そこで筆者らは、通信・放送・インターネットによる個別の情報提供サービスに加えて、それぞれのサービスの機能枠を越えた新たな情報サービスが提供される時代が到来すると予想している^{5)~7)}。また、移動通信と地上デジタル放送のメディア融合を目指した、通信・放送融合型情報プラットフォーム上での実証実験もさかんに行われている^{1),8)}。本プラットフォームでは、利用者へのアクセス網に UHF 帯電波が適用されることにより、高い移動性や広帯域なダウンロードメディアが実現されるだけでなく、電波を用いたマルチキャスト配信による同報性や、上りと下りのトラヒック量の異なる非対称通信の実現にも大きく期待できる。

本プラットフォームを実現していくためには、周囲の地形や建物密度が異なるような様々な環境での UHF 帯電波伝搬特性を調査し、電波伝搬エリア（電波受信状況）を面的かつ広域に評価することが重要となる。現在、電波伝搬特性のシミュレータの開発が進んでおり、コンピュータの処理能力の向上により、屋外における電波伝搬状況を調べることが可能となってきている⁹⁾。その一方で、実際に屋外環境における電波伝搬特性を測定することも重要な課題であり、これまでも UHF 帯における電波伝搬は数多く研究が行われ^{10)~21)}、今日のワイヤレスな情報社会の基盤を築いてきた。最近では、地上デジタル放送の実現を目的とした UHF 帯電波の遅延プロファイルや電波到来方向などの伝搬特性についての実測が主に行われている^{8),22)}。これまでの電波伝搬の検討では、点もしくは線上、あるいはマイクロセルなどの限られたエリアでの評価が主であり^{14),16)}、実測に基づいて、面的かつ広域な電波伝搬特性を評価した例は少ない。そこで、本研究では、UHF 帯電波を実際に測定し、モバイル環境における電波伝搬の測定結果をもとに、通信・放送融合型情報プラットフォームのサービスエリアを面的かつ広域に評価することを研究目標に設定した。

近年では、科学技術の進展により、位置情報の入手を可能にする GPS や、GaAsFET をフロントエンドに用いた高感度の電波受信機、データ処理を高速に行えるパソコン（PC）などの、高性能機器を比較的容

易に入手できるようになり、従来に比べて、より精度の高い電波伝搬測定が可能となってきた。さらに、デジタル化された 50 m メッシュの 3 次元地形データ²³⁾ を入手、利用することができ、3 次元地形データをもとに、PC を用いて地形による見通しの有無をシミュレーションすることも可能となってきた。

そこで筆者らは、GPS と UHF 帯受信機および PC を活用し、移動型 UHF 帯電波伝搬測定システムを構築し^{24),25)}、屋外環境において、UHF 帯電波伝搬の実測を試みた。電波伝搬測定においては、送信系の構築が大きな課題であるが、筆者らは既存の UHF 帯 TV 放送局からの電波を活用することで解決した。本測定システムでは、文献 17)~19) を参考にして、常時送信されている TV 放送信号の中の音声信号を受信することにより、安定にかつ正確な受信レベルの測定を実現した。さらに従来の方法^{24),26)} と同様に、位置情報の取得には GPS を利用し、受信レベルと位置情報を同時に記録した。また、GPS による位置情報と受信機による電波受信レベルデータを統合して、電波受信レベルマップを作成し、3 次元地形データと統合することによって、面的な電波伝搬特性の評価を可能とした。そして従来までの電波伝搬モデルでは考慮されていなかった地形の見通しの有無に着目し、新たに見通しの有無による UHF 帯電波伝搬距離特性の差異についての評価を行った。

本論文では、GPS と既存の TV 放送電波を用いた、UHF 帯電波伝搬測定システムの概要を説明し、既存の TV 放送電波を用いて高精度に電波伝搬測定を行う方法を示す。また、測定によって得られた電波受信レベルデータと、シミュレーションによって 3 次元地形データから得られた放送局からの見通しエリアを統合した結果を示し、UHF 帯電波受信レベルが、放送局からの見通しエリアと高い相関を有することを示す。そして、新たに地形による見通しのあるエリアと見通しのないエリアでの UHF 帯電波伝搬の距離特性を定量的に評価し、地形データと組み合わせた UHF 帯電波伝搬エリアの推定について考察する。

2. 通信・放送融合型情報プラットフォーム

将来のモバイル環境においては、放送、通信、インターネットサービスが個別の情報提供サービスとしてではなく、それぞれの機能枠を越え、互いに融合した新たな情報サービスとして、利用者に柔軟に提供されることが期待される。利用者からの情報アクセスの状況を考慮すると、将来の情報サービスは以下の 4 つの大きな特徴を有すると考えられる。

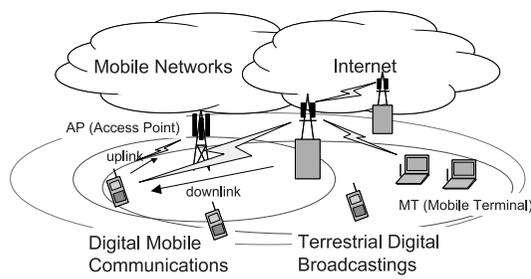


図 1 通信・放送融合型情報プラットフォーム

Fig. 1 Communication and Broadcasting Integrated Platforms.

- (a) **広帯域性**: インターネット上において, 利用者の要求する情報はますます広帯域化していく.
- (b) **モビリティ**: 高速で移動しながらの情報アクセスだけでなく, 場所的制限の少ない環境での利用も実現させる必要がある.
- (c) **非対称性**: 利用者からのリクエストの情報量とダウンロードする情報量が異なる, 非対称通信を考慮する必要がある.
- (d) **マルチキャスト性**: 複数の利用者から 1 つの人気のあるコンテンツサーバへのアクセスが集中する状況が今後ますます増加する.

上記特徴を有する新しい IS を効率良く提供することを目的として, 通信・放送融合型情報プラットフォームの検討が進められている. 図 1 に通信・放送融合型情報プラットフォームの一構成例を示す. 本プラットフォームでは, 既存のデジタル移動通信網, インターネット, および UHF 帯デジタル TV 放送メディアを有機的に融合された構成となっている. 上り下りトラヒック量の異なる非対称通信を容易に実現するため, 移動端末 (MT) からアクセスポイント (AP) までの上りチャンネルには, 移動通信メディアを, そして広帯域情報伝送が必要となる下りチャンネルには, 470 ~ 770 MHz の UHF 帯地上デジタル放送メディアを利用する. UHF 帯電波は, マイクロ波帯やミリ波帯に比べて電波伝搬損失が少なく, 優れた地上電波伝搬特性を有する. また既存の TV 放送の送信アンテナは, 一般に, 数百 m の標高の高い場所に設置されているため, 下りチャンネルに UHF 帯地上デジタル放送メディアを利用することにより, 広いサービスエリアを構築することが比較的容易であり, 高速移動中の受信や場所的制限の少ない高いモビリティを実現することが可能となる. もちろん, 1 つの AP がカバーするサービスエリアが広がることにより, ユニキャスト通信での広帯域化は難しくなる. しかしながら, 今後需要が増加すると考えられるマルチキャスト性の高い情報配

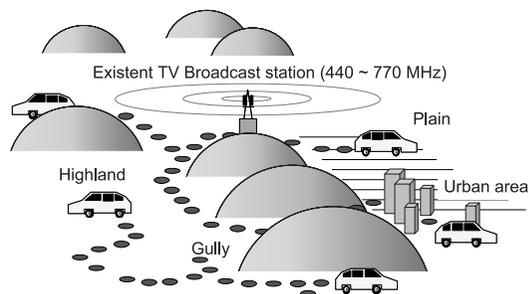


図 2 TV 放送波を用いた UHF 帯電波伝搬測定イメージ図
Fig. 2 Measurement method of UHF band radio propagation using TV broadcasting wave.

信を対象とした場合, 電波により空間的に分散する複数の利用者に同報的に情報を配信することができるので, サービスエリアが広いほど, 大群化効果により, 広帯域情報伝送が効率的に行えるようになる²⁷⁾.

本プラットフォームを実現していくためには, 周囲の地形や建物密度が異なるような様々な環境での UHF 帯電波伝搬特性を調査し, 電波伝搬エリア (電波受信状況) を面的かつ広域に評価することが重要となる.

近年では, 位置情報の入手を可能にする GPS, GaAsFET をフロントエンドに用いた高感度の電波受信機, データ処理を高速に行える PC などの高性能な機器を手軽に入手できる環境にある. 筆者らは, これらの機器を活用して, 新たな移動型電波伝搬システムを構築し, 様々な屋外モバイル環境での UHF 帯電波受信レベルの実測を試み, その測定結果をもとに UHF 帯電波受信状況を評価した.

3. 屋外モバイル環境における電波測定法

図 2 に, 筆者らが行った, 屋外環境における UHF 帯電波伝搬測定法を示す. 本測定法では, 送信源に既存の地上 TV 放送波を活用していることが大きな特徴である. 電波伝搬の測定では, 一般に, 送信機の構築が大きな課題であるが, 本測定法の構成では, 受信機のみ構築すれば測定が可能となる. TV 放送局は, TV 番組を提供するためにつねに一定の電力で電波を送信しているので, 常時, 安定した電波伝搬測定が可能である. また TV 放送局は, NHK と民放を含め, 現在, 全国に 14,000 局以上設置されており²⁸⁾, 図 2 に示すように, 市街地, 郊外地, 丘陵地など, 様々な環境での測定ができる. さらに, 地上 TV 放送は, 470 MHz から 770 MHz までの 300 MHz の帯域幅の中で, 50 チャンネルの周波数で送信されているため, 受信チャンネルを変更することにより様々な周波数での電波伝搬特性について測定することが可能である.

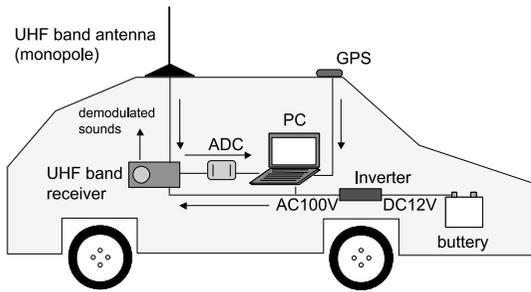


図3 移動型電波伝搬測定システム

Fig. 3 Mobile radio propagation measurement system.

図3に、筆者らが構築した移動型電波測定システムの構成図を示す。本測定システムは、自動車搭載型の測定システムであり、自動車が通行可能なすべての一般車両道路上での電波伝搬特性の測定が可能である。測定用アンテナには無指向性のUHF帯モノポールアンテナを用い、自動車のルーフトップに固定した。本アンテナで受信された電波は、50Ω同軸ケーブルを介し、UHF帯受信機で検波される。垂直に設置した場合の本アンテナの垂直偏波に対する指向特性は、水平面においては無指向性であり、アンテナおよび受信機までの同軸ケーブルを含めた受信利得は約-3dBiである。本測定システムでは、受信機内部の検波回路から、受信レベルに応じて変化する検波電圧をADコンバータに入力し、デジタルデータに変換した後、PCに記録した。本測定での受信レベルの値は受信機の入力端子入り口での値である。また本受信機では、受信された信号がFM変調された音声信号の場合、その復調音を聞くことが可能である。また受信機、PCに必要な電源は車載バッテリーから給電した。

さらに、本測定システムでは、GPS信号を受信することにより、電波伝搬の測定をしながら、屋外環境における位置情報をリアルタイムに取得した。この構成により、各測定ポイントでの、位置情報と電波受信レベルを同時に測定することができ、これらのデータから、屋外環境における受信レベルマップを容易に作成することが可能である。

4. 測定システムの特徴

4.1 受信機の諸特性

本測定システムでは、受信レベルに応じて変化する受信機内部の検波電圧の値をPCに連続記録する構成とした。そのため、正確な受信レベルの値を導出するためには、検波電圧値(RSSI: Received Signal Strength Indicator)から受信レベル(電力値)へ校正する必要がある。

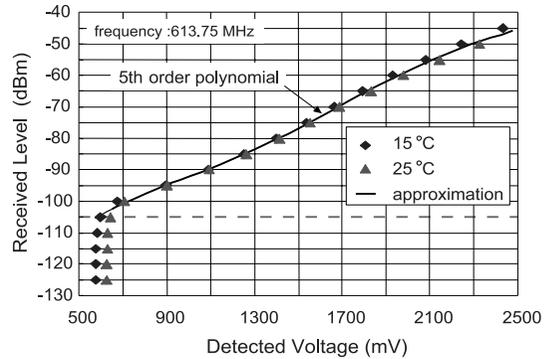


図4 受信機の検波電圧と受信レベルの関係

Fig. 4 Relationship between the detected voltage and the received level.

図4に、一例として、本測定システムに利用した受信機の検波電圧と受信レベルの関係を示す。図4には、入力信号を周波数613.75MHzの無変調キャリアとし、15°Cと25°Cの温度で、入力レベルを-125dBmから-45dBmまで変化させたときの受信機の検波電圧を測定した結果を示す。図4より、検波電圧は受信レベルと1対1に対応していることが分かる。

本測定では、検波電圧から受信レベルへの校正をする際に、図4に示すような、15°Cと25°Cで測定したデータの平均値を5次の多項式で近似したカーブを用いた。温度の違いにより検波電圧-受信レベル特性が若干異なるものの、この校正カーブを用いることにより、16°Cから25°Cの温度の範囲内では、最大校正誤差が約1dB程度となる。また図4から、本校正カーブの適用範囲が受信レベル-105dBmまでであり、本測定システムでは、約-105dBmの微弱な電力まで測定できることが分かる。また、470MHzから770MHzの他の周波数において測定した結果からも、校正誤差、測定限界それぞれ、1dB、-105dBmとなり、同様の特性を得た。

4.2 NTSC-TV放送波を用いた受信電波測定法

図5に、現在、日本の地上TV放送波に用いられているNTSC(National Television System Committee)方式の周波数スペクトルを示す。図5は、実際にTV放送されている40チャンネルの放送電圧をスペクトルアナライザを用いて実測した結果である(帯域分解能は30kHz)。図5に示すように、NTSC方式では、TV放送1チャンネルが6MHzの帯域幅を占有して送信されている。映像搬送波および色副搬送波を含む映像情報はAM変調の残留側波帯(VSB: Vestigial Side Band)方式で送られ、音声搬送波はFM変調された音声情報として送信されている。音声電波の占有

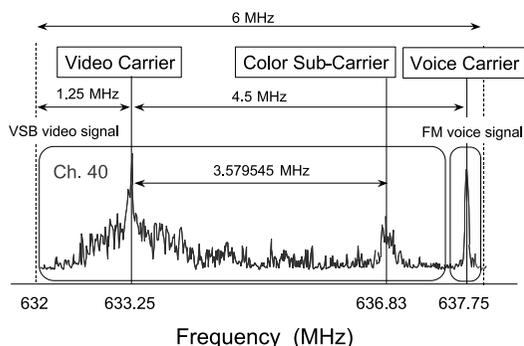


図 5 NTSC-TV 放送電波スペクトル (Ch.40 の場合)

Fig. 5 Spectrum of NTSC TV broadcasting wave on Ch.40.

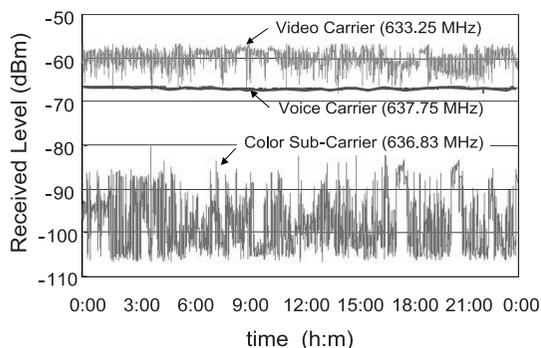


図 6 NTSC 方式主要 3 搬送波の 24 時間受信レベル変動

Fig. 6 Time variation of received level of NTSC-TV three carriers.

帯域は、音声搬送波を中心として 0.5 MHz である。また、映像搬送波との差の周波数 4.5 MHz のビート信号を抑圧するため、音声送信電力は映像送信電力の約 4 分の 1 とされている²⁹⁾。

筆者らは、NTSC-TV 放送電波には、図 5 に示すように、電力が集中している映像搬送波、色副搬送波、音声搬送波の 3 つの主要な搬送波が存在していることに着目し、各搬送波の周波数を電波測定周波数の候補にあげ、それぞれの周波数において、前節で述べた受信機により、電波の受信レベル変動を測定した。本受信機の 3 dB 帯域幅は約 230 kHz である。図 6 に 40 チャンネルで実際に放送されている NTSC-TV 放送電波の各搬送波における 24 時間連続受信した受信レベルの測定結果を示す。図 6 から映像搬送波と色副搬送波の受信レベルが、peak-to-peak でそれぞれ、約 10 dB、約 20 dB 変動していることが分かる。これは TV 放送プログラムに応じて映像スペクトルが変化することが原因であり、その結果、受信機のフィルタを通過する映像信号電力がときどき刻々変動してしまうためである。一方、音声搬送波の受信レベルの変動は

約 1 dB 程度であり、TV 放送プログラムにかかわらず、常時安定したレベルを受信できていることが分かる。本測定結果より、音声搬送波を受信することにより、既存の放送電波を用いた電波伝搬測定が安定して行えることが確認できた。

また、音声搬送波を用いた電波伝搬測定のメリットとして、受信レベルの変動を検波電圧値だけでなく、受信機の復調音によっても確認できる点がある。TV 放送に用いられている UHF 帯周波数は、その有効利用の観点から、異なる地域で再利用されている。そのため、広域な電波測定においては、同一周波数を用いた遠方の送信局からの所望でない電波を受信してしまう可能性がある。この問題に対して、本測定では、受信レベルと GPS 位置情報のほかに、受信機からの復調音にも着目し、その復調音から、受信された電波が、所望の送信局から到達してきた電波かどうかを確認した。

5. 測定結果と考察

5.1 測定諸元

図 7 に、本測定で送信局として用いた、広島市内の既存 TV 放送送信局の場所を示す。各送信局名の下にそれぞれの送信局の海拔高度を示している。表 1 に、各送信局の諸元を示す。表には各送信局から送信されている NTSC-TV 信号の音声搬送波周波数と、実効放射電力 (ERP) および送信電波の偏波を示している。

表 2 に、測定に用いた受信系の諸元を示す。受信アンテナ高は車両高である約 1.5 m とし、屋外環境における一般車道上の様々なポイントで移動しながら測定を行った。またアンテナ長は各測定周波数の 1/4 波長の長さとし、車両ルーフトップに垂直に設置した。これにより垂直偏波に対応した受信が行え、送信局からの電波として水平・垂直両方の偏波を受けることにより、測定結果から水平偏波の垂直偏波への偏波交差特性について議論できる。受信データおよび GPS 位置情報は 1 秒サンプルごとに取得した。移動速度 36 km/h の場合、10 m 間隔でデータを取得できる。記録される受信データは、1 秒間の移動平均値とした。

5.2 送信局からの見通しエリア

本論文では、広域な電波受信レベル状況と送信局からの地形による見通しエリアとの関係を議論するため、GPS の位置データと電波受信レベルの測定結果から得られる電波受信レベルマップと送信局からの見通しエリアを合成した。図 8 に、送信局からの地形による見通しエリアの概念 (a) とコンピュータシミュレーションして得られる見通しエリアの導出例 (b) を

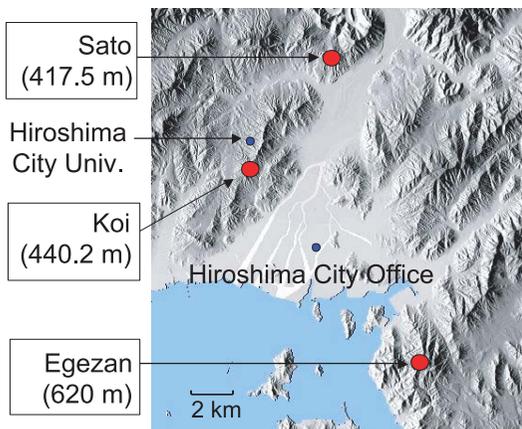


図 7 測定に用いた TV 放送局送信局の位置
Fig. 7 The position of transmission stations.

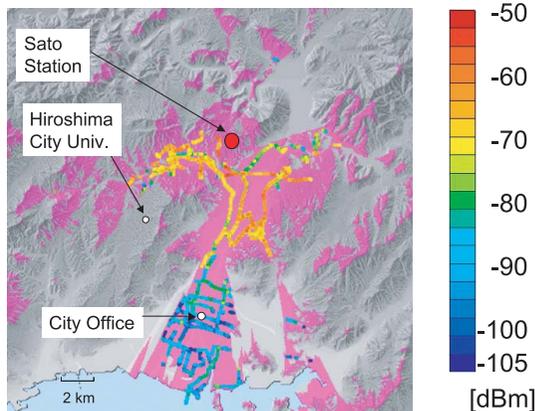


図 9 LOS 受信レベルマップ (送信局: Sato)
Fig. 9 Received level map in LOS area of the Sato station.

表 1 各送信局の諸元
Table 1 Parameters of transmission station.

station	frequency(MHz)	ERP(W)	V/H
Sato	739.74	310	H
Koi	637.75	29	V
Egezan	607.76	410K	H

表 2 受信系の諸元
Table 2 Parameters of measurement system.

Receiving antenna height	1.5 m
Length of antenna	1/4 wavelength
Polarization of antenna	Vertical
A/D converter	13 bit/sec
Receiving bandwidth	230 kHz (3 dB)
Measurement limitation	-105 dBm
Vehicle speed	0 ~ 40 km/h

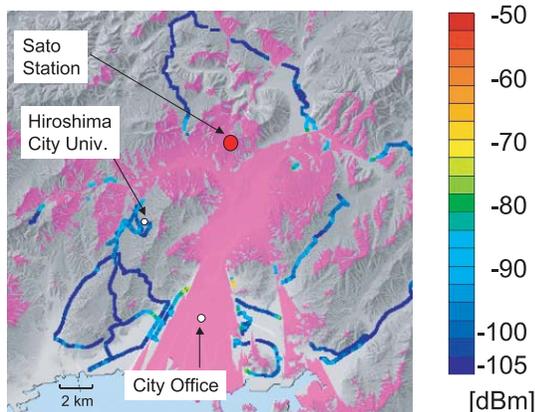
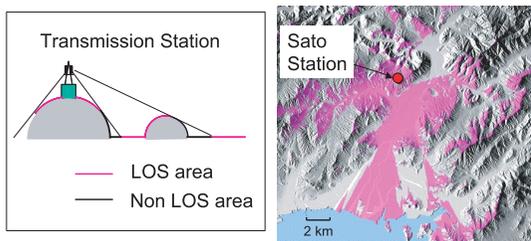


図 10 NLOS 受信レベルマップ (送信局: Sato)
Fig. 10 Received level map in NLOS area of the Sato station.



(a) Concept of terrain LOS (b) LOS simulation example
図 8 送信局からの見通しエリアの導出例
Fig. 8 An example of LOS area from transmission station.

示す. 本論文では, 図 8(a) に示すように, 送信局からの見通し (LOS) エリアおよび見通し外 (NLOS) エリアを, 国土地理院から発行されている 50 m メッシュ 3 次元地形データ²³⁾ を用いて導出した. ここでの見通しエリアは, 送信局の位置および周囲の地形の標高のみから求めた. UHF 帯電波伝搬エリアを迅速かつシンプルに推定したいという観点から, 見通しエ

リアと電波の受信レベルとの基本的な関係を調べるために, 今回の見通しエリア導出には直接波のみを考慮し, 地形による回折波や反射波は考慮しなかった. また, 図 8(b) には, 例として, 図 7 に示した, Sato 局からの見通しエリアを導出したものを示している. この図に示すように, 送信局周囲の地形の影響により複雑な形状となった見通しエリアを広域にかつ正確に導出できていることが分かる.

5.3 受信レベルマップの作成と考察

図 9, 図 10 に送信局を Sato としたとき, 図 11, 図 12 に送信局を Koi としたとき, 図 13, 図 14 に送信局を Egezan としたときの, 見通しエリア内および見通しエリア外における各放送局周辺の電波受信レベルマップを示す. それぞれの図には, 最大受信レベルを赤色とし, 測定限界である -105 dBm の受信レベルを青色として, 各地点での受信レベルを色分けし

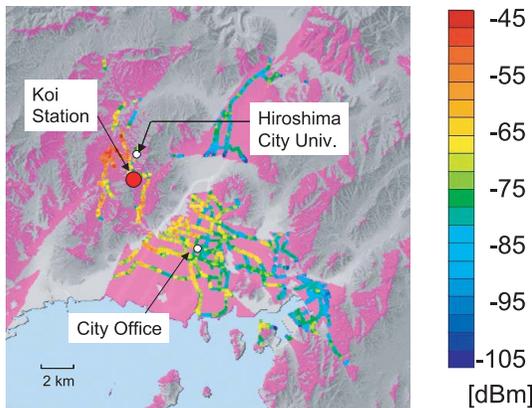


図 11 LOS 受信レベルマップ (送信局: Koi)

Fig. 11 Received level map in LOS area of the Koi station.

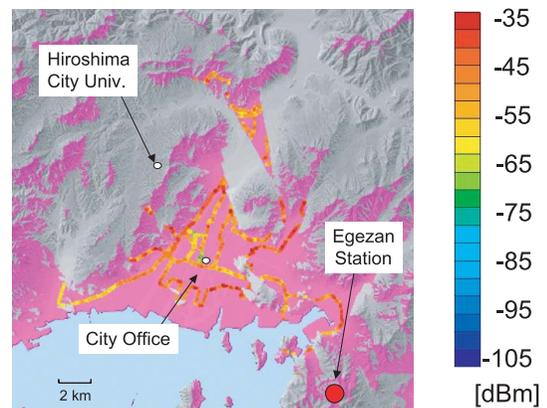


図 13 LOS 受信レベルマップ (送信局: Egezan)

Fig. 13 Received level map in LOS area of the Egezan station.

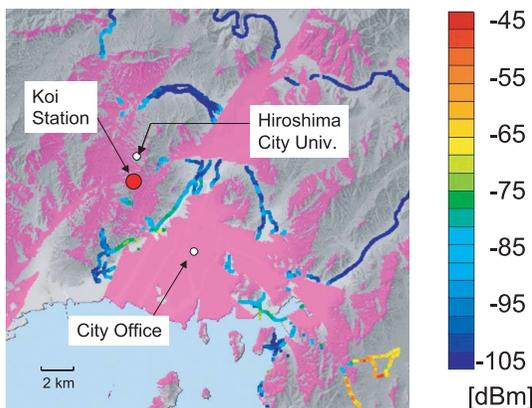


図 12 NLOS 受信レベルマップ (送信局: Koi)

Fig. 12 Received level map in NLOS area of the Koi station.

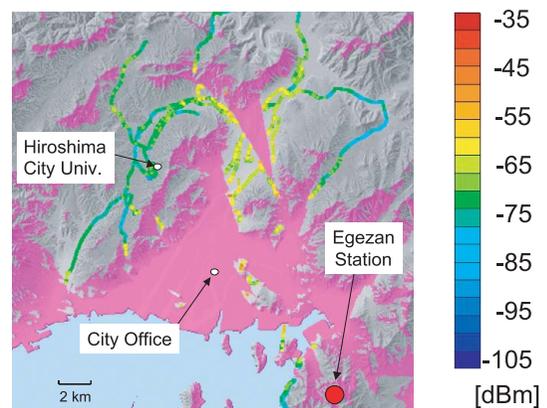


図 14 NLOS 受信レベルマップ (送信局: Egezan)

Fig. 14 Received level map in NLOS area of the Egezan station.

て表示している。また、それぞれの図には、3次元地形データから得られる、送信局からの見通しエリアを紫色のエリアとして表示している。

図 9、図 10 に示すように、Sato 局周辺において、市街地に向けては、見通しエリアが広がる一方、南西側の広島市立大学方向には、丘陵地の尾根が存在しているため、見通し外のエリアとなっている。そして、送信局から南側の見通しエリアと比較して、広島市立大学周辺の受信レベルは、送信局からの距離がほぼ同じであるにもかかわらず、低くなっていることが分かる。また、図 9 と図 10 から分かるように、送信局周辺の見通しエリアと見通し外エリアの境界では、受信レベルは急激に変化している。これらのことから、地形による見通しエリアでは、見通し外エリアと比較して、受信レベルが高くなることが広域に確認できる。また、図 9 において、市役所周辺で受信レベルが低く

なっているが、この理由として、市役所周辺では高さ数十 m の建物が密集しているため、周辺の建物によるシャドウイングの影響が大きいことと、送信局からの距離が約 10 km あるため、受信される波として反射波や回折波が支配的となりマルチパスフェージングにより受信レベルが低下していることが考えられる。

図 11、図 12 から分かるように Koi 局周辺では、送信局の位置する山地が北東方向に伸びているため、送信局から北東、南西方向に、見通し外エリアが存在する。この見通し外エリアでは、市役所の位置する市街地エリアの受信レベルと比較して、送信局からの距離が短いにもかかわらず、受信レベルが低いことが分かる。また、先に示した結果と同様に、Koi 局周辺でも、見通しエリアと見通し外エリアでは、受信レベルが大きく異なっており、見通しエリアと受信レベルの間に高い相関があることが分かる。なお、図 12 中右下の

見通し外エリアでも受信レベルが高くなっているが、これは、同一周波数で送信されている他の放送波を受信した結果である。この受信電波は受信機からの復調音を聞くことで、所望の電波と識別できた。

図 13、図 14 の Egezan 局周辺の受信レベルマップからも、前の結果と同様に、見通しエリアと見通し外エリアでは、受信レベルが大きく異なっていることが確認できる。Egezan 局の送信電力が大きいため、見通し外のエリアでも受信レベルが大きいが、図 13 と図 14 の受信レベルを比較すると全体的に図 13 での受信レベルが高くなっていることが分かる。

以上のように、電波受信機と GPS システムを用いて測定したデータから、電波受信レベルマップを構成し、3 次元地形データと統合することにより、迅速かつ面的な UHF 帯電波伝搬エリアの評価が行えることを示した。そして、UHF 帯電波伝搬特性は、周囲の地形に大きく依存し、地形による見通しの有無と受信レベルの相関が強いことが分かった。

以上の結果をより定量的に評価するため、地形データに基づく送信局からの見通しエリア内のデータと見通しエリア外のデータを用いて、それぞれのエリアにおける受信レベルの距離特性について検討を行った。図 15、図 16、図 17 にそれぞれ、Sato 局、Koi 局、Egezan 局からの電波の測定結果から作成した、見通しのあるエリアと見通しのないエリアでの受信レベルの距離特性を示す。各図には、見通しエリア内の受信レベルの近似式、および見通しエリア外の受信レベルの近似式を示している。また、従来の TV 放送波の受信レベルの評価式は、20 km 以下の近距離ではほぼ自由空間損失 (Free Space Loss) の伝搬特性と近似できるため¹⁴⁾、各図には自由空間損失を仮定し、それぞれの放送局の送信 ERP と受信アンテナ利得を考慮して導出した受信レベルの距離特性も示した。ここで、図 15 および図 17 では、送信側の偏波が水平、受信側の偏波が垂直であるため、交差偏波分離度 XPI (cross-polarization isolation) を考慮した近似式を導入する必要がある。文献 30) では都市内 XPI が約 6 dB であることが示されており、近似式として自由空間損失に XPI の 6 dB を付加したときの電波受信レベルの近似式を示した。

図 15 および図 17 における水平偏波送信・垂直偏波受信での受信レベル (見通しエリア内) の包絡線が、XPI を 6 dB として自由空間損失に加えたときの受信レベルに近似できること、および図 16 における垂直偏波送信・垂直偏波受信での受信レベル (見通しエリア内) の包絡線が自由空間損失を仮定したときの受信

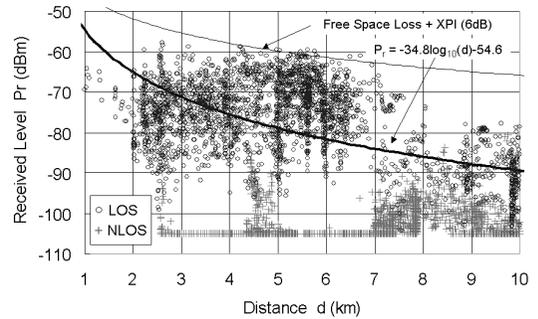


図 15 受信レベル距離特性 (送信局: Sato)

Fig. 15 Received level characteristics (Sato).

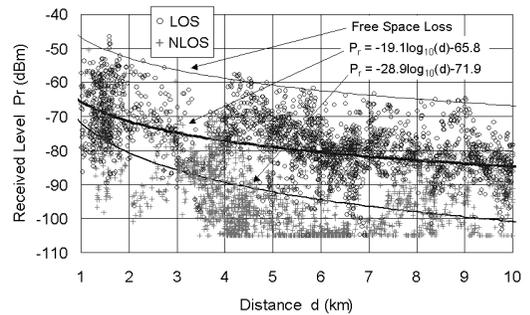


図 16 受信レベル距離特性 (送信局: Koi)

Fig. 16 Received level characteristics (Koi).

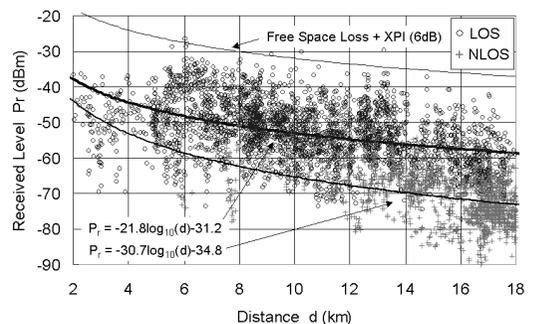


図 17 受信レベル距離特性 (送信局: Egezan)

Fig. 17 Received level characteristics (Egezan).

レベルに近似できることから、UHF 帯 TV 放送波帯においても XPI は 6 dB と仮定できることが分かる。

図 16、図 17 で示した実測値をもとに見通しエリア内の電波受信レベルを推定すると、その近似式から中央値は距離の約 2 乗に比例して減衰し、自由空間損失から約 20 dB の超過損失があることが分かった。また、図 16、図 17 で示した実測値をもとに見通しエリア外の電波受信レベルを推定すると、その近似式から中央値は距離の約 3 乗に比例して減衰し、伝搬距離 1 km における見通しエリア内との受信レベルの差は

4~6 dB となることが分かった。これらの結果から、UHF 帯電波伝搬エリアを推定する場合、見通しエリア内であれば自由空間損失に超過損失 20 dB を加えた受信レベルとなり、さらに見通しエリア外での受信レベルは、伝搬距離が x km の場合、見通しエリア内での受信レベルに比べて $10 \log_{10}(x) + 5 \pm 1$ (dB) 低くなることを考慮する必要があることが分かった。

6. おわりに

本論文では、筆者らが提案している UHF 帯を用いた通信・放送融合型情報プラットフォームの概念について述べ、その実現に向けて、屋外環境における UHF 帯電波伝搬特性の解明の必要性について述べた。そして、TV 放送波と GPS を用いた移動型電波測定システムを構成し、この測定システムを用いて広島市近郊の UHF 帯電波受信レベルを測定し、測定データから受信レベルマップを作成した。さらに 3 次元地形データから得られる送信局からの見通しエリアと電波受信レベルマップを統合した。そして見通しエリア内および見通しエリア外における受信レベルの距離特性について新たに検討を行った。その結果、以下のことを明らかにした。

- (1) 構築した測定システムにより、屋外環境において、高精度に位置情報と受信レベルが取得でき、3 次元地形データと電波受信レベルマップの統合により、広域なエリアでの面的な電波伝搬特性の評価が効率的に行えた。
- (2) 3 次元地形データから求まる送信局からの見通しエリアと測定した UHF 帯電波受信レベルには強い相関があることが分かった。
- (3) 見通しの有無により、電波受信レベルの距離特性が異なることが分かった。受信レベルは見通しエリア内では距離の約 2 乗に比例し、見通しエリア外では距離の約 3 乗に比例して減衰することが分かった。
- (4) UHF 帯 TV 放送波帯において、交差偏波分離度 XPI は 6 dB であることが分かった。

これまでの電波伝搬の推定では、一般に、ある地点間での線的な推定結果しか求めることができず、エリア全体の面的推定を行う場合には、時間やコストがかかっていた。本論文では、3 次元の地形図データから得られる送信局からの見通しエリアを用いることによって、迅速にかつ高信頼に、UHF 帯モバイル環境の電波伝搬エリアを推定できることを示した。また電波伝搬エリアを推定する際には、見通しの有無を考慮に入れることにより、高精度に受信レベルを評価でき

ることが分かった。本手法は、今後の地上デジタル放送における実際のシステム設計に応用できると考えられる。今後の研究展開として、市街地・郊外地・丘陵地などの様々な電波伝搬状況における、UHF 帯移動伝搬損失の距離特性の詳細な評価などを行っていく予定である。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、岡山大学秦正治教授、香川大学生越重章教授には、技術的なディスカッションを行っていただいた。また測定には広島市立大学情報科学部の学生に協力していただいた。ここに深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 情報通信白書平成 15 年版, 総務省 (2003).
- 2) 社団法人電気通信事業者協会ホームページ.
<http://www.tca.or.jp/index.html>
- 3) 山尾 泰, 梅田成視, 大津 徹, 中嶋信生: 第 4 世代移動通信の展望—無線システムを中心とした課題について, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-B, No.10, pp.1364-1373 (2000).
- 4) 総務省情報通信行政 .<http://www.soumu.go.jp/joho-tsusin/whatsnew/digital-broad/>
- 5) Nishi, M., Atsumi, Y., Toyota, T. and Yoshida, T.: Proposal of New Information Traffic Platforms in UHF band for Communication and Broadcasting Services, 2001 IEEE GLOBECOM, pp.552-556 (2001).
- 6) 西 正博, 豊田輝隆, 吉田彰顕: メディアの特徴を考慮した通信・放送融合型情報流通プラットフォームの提案, 信学技報, IN2000-140, pp.43-48 (2000).
- 7) 西 正博, 吉田彰顕: 通信放送融合による UHF 帯モバイル環境の提案, 情報処理学会研究報告, MBL-26, pp.1-6 (2003).
- 8) 中国地上デジタル放送研究開発用共同利用施設利用報告書, 広島地区地上デジタル放送実験協議会 (2002) .
- 9) 岡本義信, 近藤寿志: 電波伝搬シミュレーションシステム「エリアかくべえ」の開発, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.23, No.13, pp.53-58 (1999).
- 10) 奥村善久, 大森英二, 河野十三彦, 福田倚治: 陸上移動無線における伝ぱん特性の実験的研究, 研実報, Vol.16, No.9, pp.1705-1764 (1967) .
- 11) 進土昌明: 無線通信の電波伝搬, 電子情報通信学会 (1992).
- 12) Hata, M.: Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Service, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.VT-29, No.3, pp.317-325 (1980).
- 13) Kurner, T., Cichon, D.J. and Wiesbeck, W.: The Influence of Land Usage on UHF Wave

- Propagation in the Receiver Near Range, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.46, No.3, pp.739-747 (1997).
- 14) Rec. ITU-R P.370-7: VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz, Broadcasting services, *ITU-R Recommendation*, Vol.1997 P Series-Part2, pp.181-213 (1998).
- 15) Sarkar, T.K., Ji, Z., Kim, K., Medouri, A. and Salazar-Palma, M.: A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol.45, No.3, pp.51-82 (2003).
- 16) 大好智之, 市坪信一, 諏訪敬祐, 川崎良治: マイクロセルエリア測定システムとこれを用いたエリア評価, 信学技報, A・P96-59, pp.45-49 (1996).
- 17) 池上文夫, 吉田 進, 水野光彦, 市原正貴, 川崎良治: 電波測定車による市街地電界強度の測定, 信学技報, A・P77-66, pp.59-64 (1977).
- 18) 水野光彦, 市原正貴, 池上文夫, 吉田 進: 移動通信における市街地伝搬特性, 信学技報, A・P77-104, pp.31-36 (1977).
- 19) 市原正貴, 池上文夫, 吉田 進, 梅比良正: UHF帯市街地伝搬特性と多重波モデル, 信学技報, A・P78-61, pp.7-12 (1978).
- 20) 奥村善久: 移動伝搬における地物効果の統一的表现法, 信学技報, A・P84-51, pp.9-14 (1984).
- 21) Ikegami, F., Yoshida, S., Takeuchi, T. and Umehira, M.: Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Streets, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol.AP-32, No.8, pp.822-829 (1984).
- 22) 柴田伝幸, 三田勝史, 伊藤修朗, 藤元美俊, 今井純志, 伊藤健二: 指向性制御による地上デジタル放送移動受信特性の改善方法の検討, 情報処理学会研究報告, MBL-23, pp.77-82 (2002).
- 23) 国土地理院刊行物.
<http://www.gsi.go.jp/MAP/>
- 24) Nishi, M., Okinaka, A., Takata, K. and Yoshida, T.: Measurements of UHF Band Radio Propagation in Mobile Outdoor Environments by use of Existent TV Broadcasting Waves, *2002 IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium*, Vol.1, pp.252-255 (2002).
- 25) Nishi, M., Shibata, S., Takata, K. and Yoshida, T.: UHF Radio Propagation Map using GPS and TV broadcasting Wave, *2003 IEEE Topical Conference on Wireless Communication Technology* (2003).
- 26) Hatsuda, T., Utada, D. and Tsukahara, T.: Measured Results of Time Delayed Diversity (TDD) System Characteristics for Mobile Broadcast Satellite System, *2003 IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium*, Digest Vol.4, (2003).
- 27) 北村知恵子, 西 正博, 吉田彰顕: 無線ゾーン半径を考慮した情報配信制御効果の検討, 信学技報, IN2001-122, pp.61-66 (2001).
- 28) 全国テレビジョン・FM・ラジオ放送局一覧, NHKアイテック (2002).
- 29) 直川一也: 入門カラーテレビ, 東京電機大学出版局 (1970).
- 30) 奥村善久, 進士昌明: 移動通信の基礎, 電子情報通信学会 (1986).

(平成 16 年 3 月 31 日受付)

(平成 16 年 10 月 4 日採録)



西 正博 (正会員)

平成 7 年大阪大学工学部通信工学科卒業. 平成 9 年同大学院博士前期課程修了. 平成 11 年同大学院博士後期課程修了. 同年広島市立大学情報科学部助手. 通信放送融合型情報ネットワーク, 電波伝搬, 電波科学の研究に従事. 工学博士. 電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, IEEE 各会員.



吉田 彰顕 (正会員)

昭和 48 年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業. 昭和 50 年同大学院修士課程修了. 同年電電公社 (現 NTT) 横須賀電気通信研究所入所. VHF 帯からミリ波帯まで, デジタル無線通信システムの研究開発に従事. 平成 9 年超高速ネットワークコンピュータ技術研究所所長. 平成 11 年広島市立大学情報科学部教授. 通信放送融合型情報ネットワーク, 電波伝搬, 電波科学の研究に従事. 工学博士. 電子情報通信学会, IEEE 等 6 学会の会員.



渥美 幸雄（正会員）

昭和 50 慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。昭和 52 同大学院修士課程修了。同年電電公社（現 NTT）横須賀電気通信研究所入社。平成 6 年（株）超高速ネットワークコンピュータ技術研究所。平成 11 年（株）NTT ドコモマルチメディア研究所。平成 15 年より専修大学経営学部助教授。これまで通信プロトコル、通信制御ソフトウェア、モバイルインターネット方式の研究開発に従事。博士（情報工学）。電子情報通信学会会員。



高橋 修（正会員）

昭和 50 年北海道大学大学院修士課程修了。同年電電公社（現 NTT）横須賀電気通信研究所入所。コンピュータネットワークに関する研究・実用化・標準化に従事。平成 11 年から（株）NTT ドコモマルチメディア研究所に異動。モバイルインターネットサービスに関するプロトコルの研究・実用化・標準化に従事。2004 年 4 月より公立はこだて未来大学システム情報科学部教授。博士（工学）。電子情報通信学会会員。