

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21560403

研究課題名（和文） 電波伝搬のスケールモデル手法の確立

研究課題名（英文） Establishment of scale model method for radio wave propagation

研究代表者

市坪 信一（ICHITSUBO SHINICHI）

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30457452

研究成果の概要（和文）：

スケールモデルによって移動通信環境の伝搬損失特性を再現できるか検証した。次の3つの環境のスケールモデルを作製して伝搬損失を測定した：理論的に伝搬損失を求められる環境、平均的な都市、実在する都市。これらの測定値をそれぞれ理論値、従来推定式、実際の街での測定値と比較した。この結果、それぞれの両者は近い値になった。これらのことからスケールモデルによって伝搬損失を再現できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The reproducibility of scale model for propagation loss in mobile communication environments was verified. The scale models of the next three environments were produced, and the propagation losses in the environments were measured: the environment in which propagation loss can be calculated theoretically, an average urban area and a real urban area. These measurement values were compared with theoretical values, former prediction equation and measurement values in the real urban area, respectively. As results of the comparison, both values became close respectively. Therefore, it is clear that propagation loss can be reproduced by scale model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、通信・ネットワーク工学

キーワード：電波伝搬、移動伝搬、伝搬損失、スケールモデル

1. 研究開始当初の背景

近年、携帯電話や無線 LAN といった情報通信の需要が増えており、携帯電話においては契約者数が 1 億契約を越えている。また、次世代無線 LAN や UWB、ZigBee といった情報家電向け無線システムの標準化検討も

現在進められている。このため、電波の周波数の需要が増大している。そこで近年、コグニティブ無線という考え方が提案されている。これは電波の環境に応じて通信方式や変調方式、周波数などを自律的に最適化させる方法であり、周波数に関しては、他システム

に干渉を与えないのであれば自由に他システムの周波数を流用できるようにする方法である。

このコグニティブ無線を用いるには他システムとの電波干渉量を事前に見積もる必要がある。例えば、移動通信が放送や固定通信に与える／与えられる干渉量の推定が必要になる。自システム内での干渉推定についてはサービス品質に関わるため通信事業者によって積極的に検討されてきたが、異なるシステム間での干渉推定についてはこれまであまり検討されていないのが実情である。異なるシステム間での伝搬特性を実際に測定する「実測」によって明らかにするには大変な稼働が必要となる。実測によらない研究手法の確立が望まれている。

一方、国際標準の無線システムを作るには世界中で適用できる電波伝搬特性の標準化が必要である。このため、従来からITUの無線通信部門(ITU-R)のSG3会合において電波伝搬特性の標準化が行われてきた。電波伝搬特性は各国の環境によって異なるため、各国の実測によって得られた伝搬特性が持ち寄られて初めて標準化の検討が進められる。このため、各国の標準化に対する足並みが揃わないと標準化が進まない状況である。ここでも実測によらない研究手法の確立が望まれている。

以上のように、最近のコグニティブ無線という流れや国際標準化促進の観点から、実測によらない電波伝搬の研究手法の確立が必要になっている。これまでに、実測以外の研究手法として、(1)街の環境を単純化してある仮定から理論的に導かれる式によって伝搬特性を推定する方法「理論式」や、(2)街の環境をデータベース化してコンピュータ上で電波の動きをシミュレーションする方法「シミュレーション」などが検討されている。理論式では例えばビルの高さは全て同じにするといった単純化を行うため実在の街との差分が誤差となってしまふ。また、シミュレーションの代表例として電波を光線に置き換えたレイト्रेस法があるが、空間的に広がる電波を光線に置き換えるための誤差が生じる。このため、理論式やシミュレーションはまだ開発途中の手法でありすぐには活用できない。

実測、理論・シミュレーションに代わる第三の手法としてスケールモデルがある。これは、実環境を縮小させたミニチュアを作り、測定に用いる電波の波長も同じだけ縮小させたものを用いて、実環境と同じ測定結果を得る方法である。このスケールモデルの方法はこれまで主にアンテナ作製などで用いられてきた手法であり、移動通信のような街中での伝搬特性を調べるためには用いられてこなかった。その理由は、スケールモデルは

実際の測定によるシミュレーションなので、測定器や測定環境（広い電波暗室か屋外のオープンサイト）、さらに測定スキルが要求されるためである。また実在の街での実測結果と比較検討を行うためには実測も必要になる。これらの負荷がスケールモデルの検討を遅らせてきたと考えられる。

しかしながら、スケールモデルではミニチュアを用いて実際に測定するため、理論・シミュレーション手法で問題となっている単純化や計算上の制限がないという利点がある。さらに、スケールモデルを用いることで、実測が困難である異なるシステム間での干渉検討が容易になり、各国の街をモデル化してスケールモデルに適用すれば、国際的に通用する伝搬特性を明らかにできる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は無線通信の回線設計で必要となる電波の伝搬特性を解明する研究手法としてスケールモデルを用いる方法を確立することである。スケールモデルとは実際の環境（例えば都市や郊外地といった街）を縮尺したミニチュア模型を作りそこでの伝搬特性を測定することによって実際の環境での伝搬特性を求める方法である。これにより世界中の多様な街を対象にした伝搬損失特性や周波数特性の明確が進められるようになり、国際標準になりうる伝搬推定モデルを確立できる。また、対象とする環境を自在に変更できるので実験的な研究を行うことができ伝搬特性の推定精度が向上すると考えられる。このことにより国民の共有財産である周波数が有効に利用でき無線通信の恩恵をさらに多く受けることができる。

3. 研究の方法

伝搬特性のスケールモデルとは、実環境での伝搬特性を実際に測定する代わりに、実環境を縮小した模型を作ってそこで伝搬特性を測定して実環境での伝搬特性を求めるものである。このため、スケールモデル手法を確立するという事は、スケールモデルの測定結果が実環境の測定結果に一致するように、問題点を見出して改善を行い測定結果の一致を保証することである。

研究の方法はミニチュアの街を作ってスケールモデルで伝搬損失測定を行い、その結果を実環境の測定結果と比較する。測定結果が一致するよう改善を行う点が研究のポイントであり、またこの一致する条件の範囲を明確にする。ここで対象とするのは個々の場所での伝搬損失値ではなく平均的な値を考えている。そのためミニチュアの街は実在の街を忠実に再現する必要はなく、街の特徴を表現できる程度として、例えば高層ビルが立

ち並ぶ大都市とか、中低層階のビルが多い中小都市という程度の区分を用いる。

実環境での伝搬損失の測定結果はこれまでに多くの報告があり、これらは推定式としてまとめられている。そこで実環境での値は従来の推定式から求める。一例として従来の伝搬損失は次のような推定式で表される。

$$\text{Loss} = \alpha d \log d - \alpha_{hb} \log hb + \alpha f \log f + C \quad [\text{dB}] \quad \dots (1)$$

ここで、 d は送受信間距離、 hb は基地局高、 f は周波数、 αd 、 α_{hb} 、 αf 係数、 C は定数である。スケールモデルでの測定結果と式(1)とを比較して実環境の特性にどの程度近いかなを確かめる。

4. 研究成果

(1) 測定系・スケールモデルの作製

10.5GHz の電波を送受信する測定系を作製した。受信レベルの瞬時変動まで測定できるように、送信部では1GHzの基準信号を10GHzにアップコンバートして、受信側で受信信号を1GHzにダウンコンバートして電波測定器で受信レベルを測定する測定系とした。屋外のオープンサイトで実験できるように電波免許を取得した。

伝搬損失だけでなく伝搬遅延の検討も行うためにネットワークアナライザを用いて9~10GHzの周波数で遅延プロファイルを測定する測定系も作製した。

スケールモデルを作製するために北九州市の市有地を借用して、10m四方の場所に1/100や1/70の都市環境を作製した。街中のビルをコンクリートブロック1000個程度を用いて再現させた。

(2) 伝搬損失の再現性

① 理論モデルとの比較

都市のビル群を複数の平板と仮定してこの環境での伝搬損失を電磁界計算によって理論的に求めた多重スクリーン回折モデルがある。スケールモデルの基礎的な検討として、この多重スクリーン回折モデルの環境をコンクリートブロックで作製して伝搬損失を測定し、理論計算結果と比較した。測定周波数は10GHzで、作製したモデルは都市環境の1/100、2/100、3/100縮尺の3つである。測定値と理論計算値との差は標準偏差で2.4dBと小さく、スケールモデルを用いた測定値は理論計算値とほぼ同じになることが分かった。これにより単純な都市環境ではスケールモデルで伝搬特性を再現できることを明らかにした。

図1に実験に使用した1/100多重スクリーンモデルを示す。また、図2に測定値と理論値との比較を示す。



図1 1/100 多重スクリーンモデル

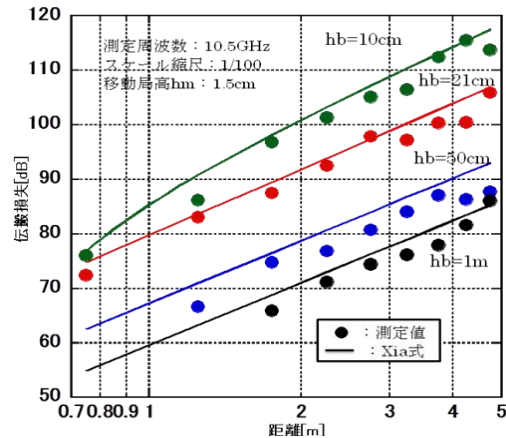


図2 多重スクリーン測定値と理論値

② 一般的な都市モデルとの比較

一般的な都市を想定して1/100の都市スケールモデルを作製した。これは平均ビル高20m、建物占有率30%、ビル反射損失10dBとした。スケールモデルで伝搬損失を測定した結果を従来推定式である奥村-秦式と比較した。両者の差は平均で0.4dB、標準偏差で5dB程度であり、スケールモデルによって奥村-秦式に近い特性が再現できることが分かった。

図3に実験に使用した1/100都市モデルを示す。また、図4に測定値と奥村-秦式との比較を示す。



図3 1/100 都市モデル

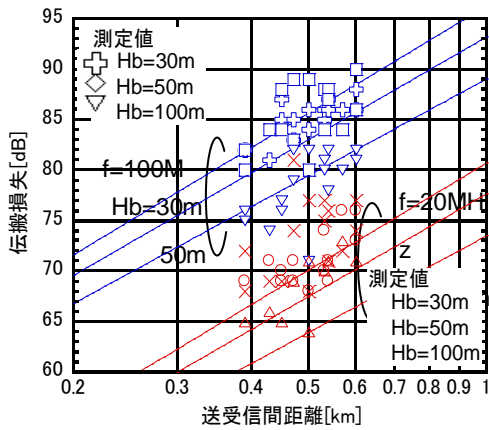


図4 都市モデル測定値と奥村 - 秦式

③ 実在の都市モデルとの比較

実際の街で測定した伝搬損失と、実際の街のミニチュアであるスケールモデルを用いて測定した伝搬損失とを比較してスケールモデルの再現性の検証を行った。実環境は北九州市の小倉地区で測定周波数は 150MHz であり、1/70 縮尺の小倉の街のスケールモデルを作製して周波数 10.5GHz で測定した。実環境の測定値とスケールモデルの測定値との差は平均で 0dB、標準偏差で 4.9dB と小さく両者はほぼ同じである。このことからスケール



図5 1/70 小倉モデル

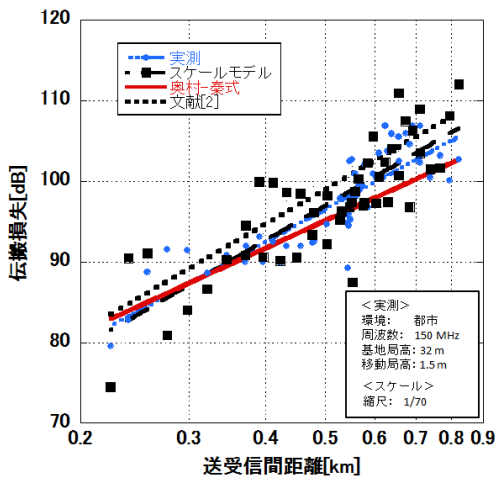


図6 小倉モデル測定値と実測値

ルモデルによって伝搬損失を再現できることが明らかになった。

図5に実験に使用した 1/70 小倉モデルを示す。また、図6に測定値と実測との比較を示す。

(3) その他の伝搬特性

スケールモデルで再現させる伝搬特性として、伝搬損失だけでなく多重波伝搬特性の指標でもある到来波広がり特性や伝搬遅延特性についても検討を行った。スケールモデルは伝搬損失で用いた 1/100 モデルを用い、測定周波数は 10GHz である。

到来波広がり特性についてはスケールモデルでの測定値と実際の都市での測定値が近く、スケールモデルで到来波広がり特性を再現できることが明らかになった。

伝搬遅延特性についてはスケールモデルでの測定を行うことができた。しかし、10GHz の 1/100 に相当する 100MHz の電波免許を取得できなかったため実際の都市での測定を行うことができなかった。このため再現性の検討まで至らなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① 市坪信一、移動通信における多重波伝搬の周波数特性、電子情報通信学会論文雑 B、査読有、vol. J93-B、no. 9、pp. 1140-1149、2010 年 9 月。

[学会発表] (計 15 件)

① 青木博志、船木雄、加来勇、宮田真之、荒木圭矢、宮田康正、市坪信一、スケールモデルと実環境での都市内伝搬損失の比較、2012 年電子情報通信学会ソサエティ大会、2012 年 3 月 22 日、岡山大学 (岡山県)

② 市坪信一、宮田康正、川島大地、[チュートリアル講演] マイクロセル移動伝搬の周波数特性、電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会、2012 年 1 月 19 日、九州工業大学 (福岡県)

③ 宮田真之、荒木圭矢、市坪信一、スケールモデル手法を用いた都市内の伝搬損失 - 多重スクリーンモデルとの比較 -、電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会、2012 年 1 月 19 日、九州工業大学 (福岡県)

④ 船木雄、岩隈龍一郎、出口和摩、三根豊和、市坪信一、スケールモデルによる伝搬遅延のための測定器作製と測定、第 549 回

URSI-F 会合、2010 年 11 月 18 日、大阪電気
通信大学（大阪市）

⑤ R. Iwakuma, Y. Funaki, T. Mine and S. Ichitsubo, " Delay Profile Using Scale Model Method for Microcells in Urban Areas", 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, BWCCA, pp. 587-591, Nov. 2010. 2010 年 11 月 4 日、福岡工業大学（福岡市）
<http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/BWCCA.2010.137>

⑥ 船木雄、岩隈龍一郎、市坪信一、スケールモデルによる伝搬遅延測定、平成 22 年度電気関係学会九州支部連合大会、2010 年 9 月 26 日、九州産業大学（福岡市）

⑦ 岩隈龍一郎、三根豊和、市坪信一、スケールモデルによる伝搬遅延測定、平成 21 年度電気関係学会九州支部連合大会、2009 年 9 月 29 日、九州工業大学（福岡県）

⑧ 米山武志、野田直輝、市坪信一、スケールモデルを用いた基地局への到来波広がり特性の検討、平成 21 年度電気関係学会九州支部連合大会、2009 年 9 月 29 日、九州工業大学（福岡県）

⑨ 野田直輝、米山武志、市坪信一、スケールモデル手法による伝搬損失特性、2009 年電子情報通信学会ソサエティ大会、2009 年 9 月 15 日、新潟大学（新潟市）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.pro.ecs.kyutech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市坪 信一 (ICHITSUBO SHINICHI)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：30457452