

## 30MHz～900MHz 帯における伝搬損失と到来波広がり特性

### Spatial Dispersion of Radio Waves and Propagation Loss for 30MHz to 900MHz Band

川島大地, 宮田康正, 行衛秀明, 串山健太, 市坪信一  
九州工業大学 大学院工学府

〒804-0015 北九州市戸畑区仙水町 1-1

E-mail: [kawashima, k-miyata]@pro.ecs.kyutech.ac.jp, ichitsubo@ecs.kyutech.ac.jp,

**あらまし** 移動通信ではさまざまな周波数の電波が使われる。電波伝搬の周波数特性が広い帯域に渡って解明されれば、周波数ごとの研究は必要なくなり、自システムの回線設計だけでなく他システムとの干渉設計にも有益である。都市や住宅地での伝搬損失と到来波広がり特性の周波数特性を 30MHz と 150MHz, 900MHz の 3 つの実験電波を用いて測定した。到来波広がり特性は多重波伝搬特性の 1 つとして検討した。

測定の結果、900MHz から 150MHz までの伝搬損失の周波数特性は従来から示されている特性 ( $\alpha \log f$  で係数  $\alpha=20\sim 26$ ) となるが、30MHz になるその特性から損失が数 dB 高くなる。3 波の短区間中央値変動を比べると、30MHz の変動は他の 2 波に比べて相関が低くなり、変動の様子が変わっている。到来波広がり特性は受信レベルの相関カーブを測定で求めて 3 波を比較した。900MHz と 150MHz の相関カーブは近い値だが、30MHz ではこれらと異なる結果となった。これらのことから 900MHz から 150MHz までの特性と 150MHz 以下での特性は異なると考えられる。

**Abstract** In mobile communication systems, the various frequencies of radio waves are used. If the frequency characteristics of radio wave propagation are made clear over the wide frequency band, the research of every frequency will be unnecessary. The frequency characteristics of propagation loss and spatial dispersion of incoming radio wave at BS are measured on 30 MHz, 150 MHz and 900 MHz band in urban area and residential area. In measurement results, the propagation loss on 30 MHz is several dB larger than the usual characteristic. And the correlation coefficient between short-term variation on 30 MHz and that on 150/900 MHz is low. Furthermore, the spatial dispersion on 30 MHz is different from that on 150/900 MHz. For these reasons, it is thought that the frequency characteristics of radio wave propagation change about 30 MHz.

**キーワード** 移動伝搬, 伝搬損失, 到来波広がり, 多重波伝搬, マイクロセル

#### 1. はじめに

移動通信ではさまざまな周波数の電波が使われているので、その周波数帯全ての特性を明らかにする必要がある。しかし、周波数ごとに伝搬特性を調査するのは不効率である。周波数によって伝搬特性がどのように変化するかという周波数特性が明らかになれば、得られた伝搬特性の利便性が高まる。

伝搬損失特性は、マクロセルを対象にした奥村-秦式によって 150MHz～1500MHz の範囲で 26

$\log f$  の特性が示されていた[1]。近年の調査によってマイクロセルでの周波数特性は 400MHz～15GHz の広範囲において  $\alpha \log f$  の関数で近似でき、 $\alpha$  は 20 に近い値であることが示されている[2-4]。これは自由空間損失を除くと周波数による差が小さいことを示している。また、多重波伝搬特性の 1 つである到来波広がり特性は、400MHz～8GHz の範囲で同じような特性になり、これもまた周波数による差は小さいことが示されている[5]。

移動通信で用いられる周波数帯での特性が明らかになったのでこれ以上の検討は必要ないと思われるが、まだ次の2つの問題がある。1つは、周波数による差が小さいという結論は、測定精度や測定条件などの原因で差分が明確に現れないのではないかとこの指摘に反論するのが難しい点である。また、何と比べて差分が小さいのかを説明しなければならない。2つ目の問題は、測定によって周波数特性が明らかになっても、その物理的な根拠（メカニズム）まで明らかになっていない点である。

そこで、周波数特性に変化が見られる低い周波数まで調べて、周波数に依存する／依存しない範囲の境界を明らかにする。この境界周波数を示すことで周波数に依存しない範囲の信頼性が高まると考えられる。さらに、低い周波数で周波数に依存するメカニズムを検討することで、周波数に依存しないメカニズムの検討も進展すると考える。

本稿では移動通信のマイクロセル環境での伝搬損失と到来波広がり周波数特性を測定して、周波数特性が変わる境界周波数やそのメカニズムを検討する。

## 2. 伝搬損失

以前に我々は北九州市の小倉北区（市街地）と戸畑区東側（住宅地）で30MHzと150MHz、900MHzの伝搬損失の測定を行い、30MHzで伝搬損失が増加することを報告した[6,7]。今回、測定データを増やすために新たに測定を行い、30MHzで伝搬損失が増加する原因について検討を行う。

### 2.1 伝搬損失測定

実験電波の29.83MHz、151.89MHz、902.85MHzを用い、北九州市の戸畑区西側（住宅地）で伝搬損失測定を行った。過去に測定した2地区も加えて、3地区での測定条件は次のとおりである。送受信間距離は0.3~1km、基地局高は戸畑区東側20m、戸畑区西側22m、小倉北区32mである。各地区の測定距離は2.1~4.7km、移動局高は1.5m、基地局にはダイポールアンテナまたは八木アンテナ、移動局にはロッドアンテナを用いた。測定距離4cmごとに受信レベルをサンプリングした。図1に戸畑区西側における測定コースを示す。



図1. 測定コース（戸畑区西側）

### 2.2 測定結果

戸畑区西側で測定したデータを10m間隔で中央値をとり、周波数ごとに平均した。図2に3地区の周波数特性を示す。図中の数値は測定値を $\alpha \log f$ の関数で結んだときの傾き $\alpha$ を示す。全ての地区において150MHzと900MHzによる傾きに対して、30MHzと150MHzの傾きが緩やかになる。傾き $\alpha$ は近年では20に近いと言われているが、測定結果は $\alpha=22, 26, 28$ とばらついている。これらの傾きを外挿した点線に対して30MHzの損失は約13dB増加している。

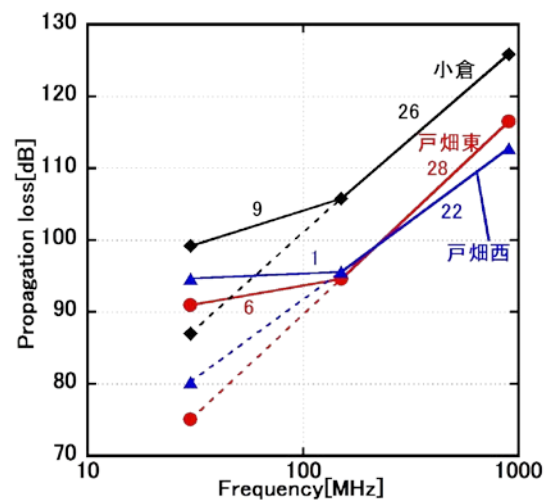


図2. 伝搬損失周波数特性

### 2.3 道路角・道路幅の検討

周波数が低い30MHzの伝搬損失が増加する原因を検討する。周波数が低いとフレネルゾーンは大きくなるため、移動局のいるビルの谷間を伝搬するとき道路面やビル側面によって減衰が増えるのではないと思われる。このため、道路角や道路幅の影響を検討する。

150MHzから30MHzの伝搬損失を引き、伝搬損

失差を求めた. 図3に道路角に対する伝搬損失差を, 図4に道路幅に対する伝搬損失差を示す. しかしながら, 図3, 4から道路角や道路幅に対する伝搬損失差の影響は見られなかった. このため, 移動局のいるビルの谷間が30MHzの伝搬損失増加の原因であることを示すことはできない.

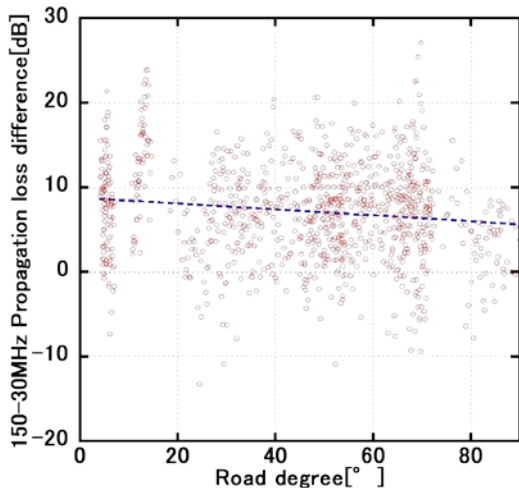


図3. 道路角に対する伝搬損失差

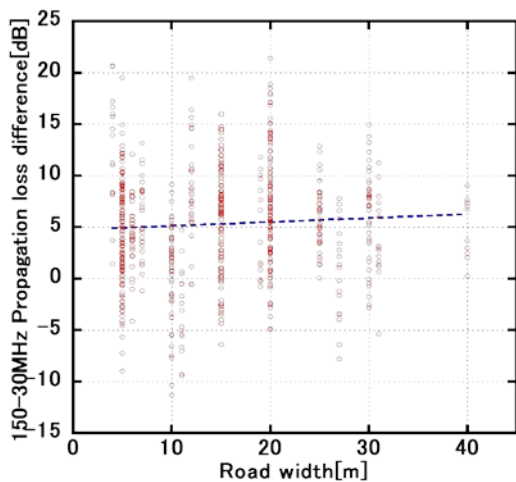


図4. 道路幅に対する伝搬損失差

## 2.4 短区間変動の検討

30MHzの伝搬損失が増加する原因を街の構造と結び付けることが出来ないため, 次に短区間変動を検討する. 測定したデータから10m短区間中央値を求め送受信間の距離特性を除いた. 図5に戸畑区西側での移動距離に対する短区間変動を示す. 縦の点線で区切られた区間が1つの測定コースである. 表1に短区間変動の周波数間の相関係数を示す. 150MHzと900MHzとの相関は0.6~0.7と高く, 30MHzと他の周波数との相関は0~0.4と小さい.

このため150MHzと900MHzは同じような変動であるが, 30MHzになると周波数の違いが大きく現れて, 他の周波数とは伝搬メカニズムが異なることが分かる.

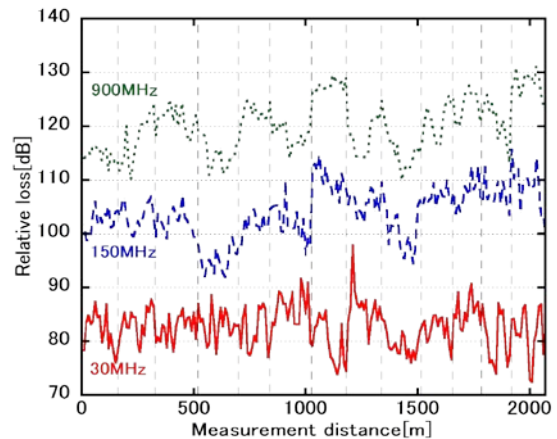


図5 短区間変動 (戸畑区西側)

表1. 短区間変動の相関係数

地区	相関係数		
	30-900MHz	30-150MHz	150-900MHz
戸畑西	-0.01	0.04	0.68
戸畑東	0.38	0.36	0.73
小倉	0.38	0.43	0.61

## 3. 到来波広がり

以前に我々は戸畑区西側(住宅地)で150MHzと900MHzの到来波広がりを測定して周波数による差が小さいことを明らかにした[7]. 今回は30MHzの測定も行い, 周波数依存性の検討を行った.

### 3.1 到来波広がり測定

到来波広がりの測定は以前と同様に受信レベル相関法を用いた. 路上を移動する測定車からCW波を送信し, 基地局に設置した2本のアンテナで受信し, 2つの瞬時レベル変動から相関係数を求め, アンテナの間隔に対する相関カーブを求めた. 2本の受信アンテナの間隔を1λ, 2λ, 4λとした. 瞬時レベルのサンプリング間隔は約1/10λである. 基地局アンテナは, 基地局周辺の散乱体の影響を小さくするため八木アンテナを用いた. 測定エリアは戸畑区西側で, 基地局を九工大戸畑キャンパス内の建物6階(22m)と椎ノ木町の丘(54m)に設置した. 測定コースの送受信間距離は0.5~2kmである. 基地局を九工大6階にしたときの150MHzと900MHzは以

前に測定したので今回は測定していない。また、基地局を九工大6階にしたときの30MHzの4λでは、アンテナ設置場所の確保が難しかったための測定を行わなかった。測定コースの長さは、両基地局の場合とも約5kmである。

### 3.2 測定結果

図6に1つの測定コースでの相関係数の変動を示す。アンテナ間隔は1λで40m区間の相関係数を求めた。150MHzと900MHzの変動は近く、30MHzとは異なる傾向にある。

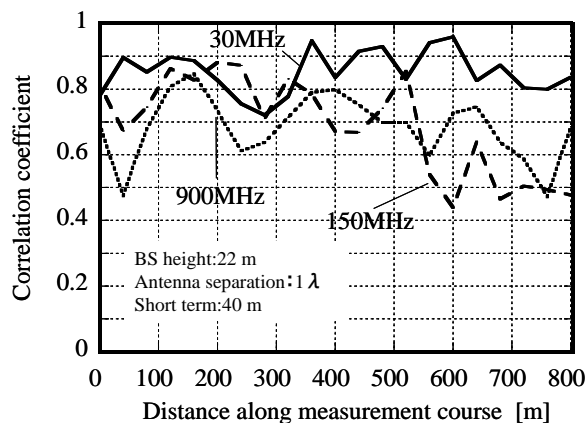


図6 移動距離に対する相関係数

相関係数を導出するときの短区間長さを検討する。図7は基地局が椎ノ木町の丘のときのすべてのコースの相関係数を示し、短区間長さを10m, 20m, 30m, 40mと変えた。短区間長さを短くすると相関係数は低くなるが、全体の傾向は変わらない。そこで、今回は短区間長さを40mとした。

図8と図9に基地局が九工大6階と椎ノ木町の丘で測定した相関カーブを示す。プロット点は40m区

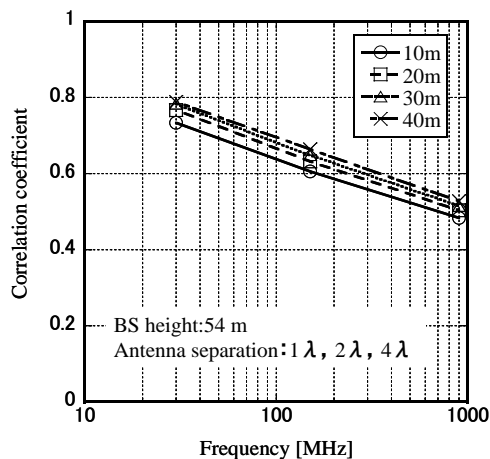


図7 相関係数を区切る距離 (基地局: 椎ノ木町の丘)

間の相関係数を測定コースごとに平均した値である。基地局高が高い図9の方が全体的に相関係数が高く、到来波広がり小さいことが分かる。また、図8と図9から30MHzは相関係数が高く、他の150MHzと900MHzとは違う傾向にあることがわかる。しかしながら、基地局が椎ノ木町のときは150MHzと900MHzは同じ傾向になっていないので、今後の課題である。

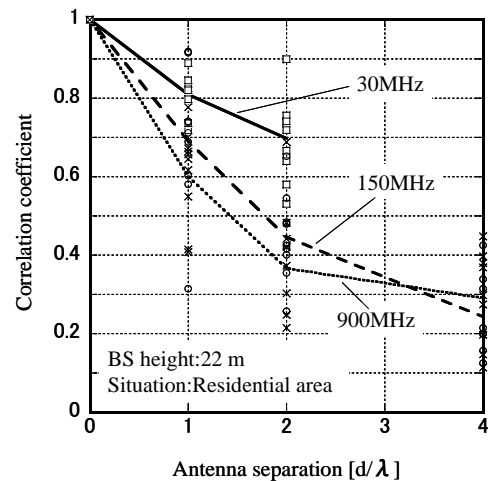


図8 相関カーブ (基地局: 九工大6F)

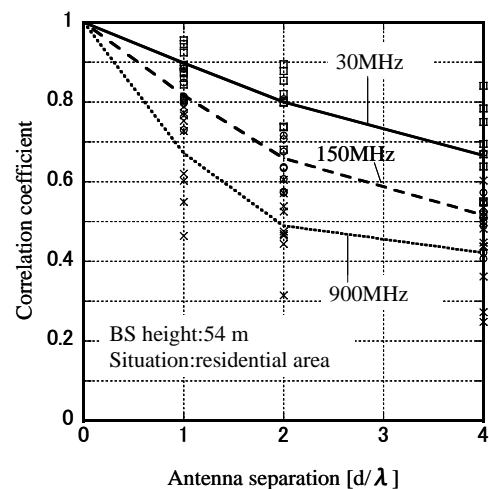


図9 相関カーブ (基地局: 椎ノ木町の丘)

### 3.3 周波数による到来波広がり の検討

30MHzの相関カーブの相関係数が高くなる(到来波広がり角度が小さくなる)原因について検討する。図10に周波数に対する到来波広がり特性を示す。周波数が高いとフレネルゾーンが小さいため、ビル屋上を伝搬するときにはフレネルゾーンが遮蔽されにくく電波が遠くまで飛び、ビル反射するときはビル壁面がフレネルゾーンより大きいのでビル反射しやすい。このため、電波の散乱半径が長くなり

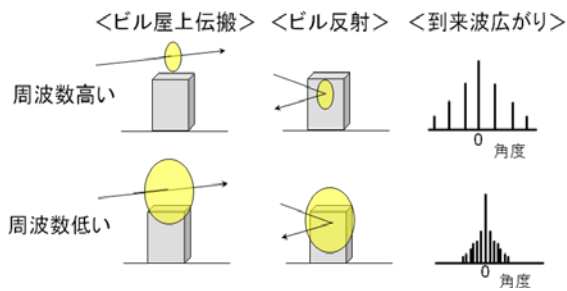


図 10 周波数と到来波広がり特性

結果として到来波広がりが大きくなる。逆に周波数が低いときはこの逆で、到来波広がり小さくなる。

図 11 に周波数ごとのビル反射パターンを示す。グラフの原点に幅 20m のビルがあり、それに反射した電波の強さを 500m×500m のエリアに示している。周波数が 30MHz になると反射波が散乱して遠くまで届かない。これもまた周波数が低くなると到来波広がり小さくなる原因と考えられる。

#### 4. まとめ

今回、周波数特性が変わる境界周波数やそのメカニズムを検討することを目的とし、移動通信環境での伝搬損失と到来波広がり周波数特性を測定した。

伝搬損失の周波数特性は 900MHz から 150MHz の傾きに対して 30MHz で損失が増加する。この原因として道路角や道路幅の影響を検討したが明確な傾向が得られなかった。周波数間の短区間変動の相関を求めると、30MHz と 150MHz/900MHz は相関が低く、伝搬メカニズムが異なることが分かった。

30MHz を加えて 3 つの周波数で到来波広がりを測定して相関カーブを求めた結果、30MHz は相関係数が高く 150MHz/900MHz とは違い、異なる傾向にあることが明らかになった。

これらの伝搬損失と到来波広がりの測定結果から、周波数が 30MHz まで低くなるとそれより高い周波数とは異なる傾向にあることが明らかになった。今後の課題としては、伝搬損失では 150MHz から 900MHz までの傾きを明確にして、30MHz の伝搬損失が増加するメカニズムを検討する。また、到来波広がりでは、椎ノ木町の丘の測定で 150MHz と 900MHz の相関カーブが同じではなかったため、測定エリアを増やして統計的に結論付ける。

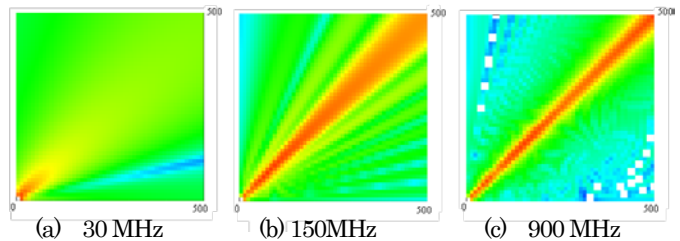


図 11 周波数ごとのビル反射パターン

#### 謝辞

本研究は科学研究費補助金(基盤研究(C)21560403)の助成を受けたものである。

#### <参考文献>

- [1] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", IEEE Trans. Veh. Technol., VT-29, No. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.
- [2] Y. Oda, R. Tsuchihashi, K. Tsunekawa, and M. Hata, "Measured path loss and multipath propagation characteristics in UHF and microwave frequency bands for urban mobile communications", Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC 2001) Spring, Vol. 1, pp. 337-341, May 2001.
- [3] K. Kitao, S. Ichitsubo, "Path loss Prediction formula in urban area for the fourth-generation mobile communication systems", IEICE Trans. Commun., vol. E91-B, no. 6, pp. 1999-2009, June 2008.
- [4] H. H. Xia, "A Simplified Analytical Model for Predicting Path Loss in Urban and Suburban Environments", IEEE Trans. Veh. Technol., VT-46, No. 4, pp. 1040-1046, Nov. 1997.
- [5] K. Kitao and S. Ichitsubo, "Frequency dependence of spatial dispersion of radio waves arriving at base station in 0.4 to 8 GHz band", Electronics Letters, Vol. 43, No. 13, pp.725-727, June, 2007
- [6] 岡田裕, 他, "30MHz~900MHz 帯におけるマイクロセル伝搬損失の周波数特性", 2008 年電子情報通信学会総合大会, B-1-53, 2008.
- [7] 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誌 B Vol. J93-B, No. 9, pp. 1140-1149, 2010.