

第500回電波研連F分科会 (URSI-F)資料
平成17年12月16日

日本テレコム

 SoftBank

www.japan-telecom.co.jp

広帯域移動通信における時空間伝搬プロファイル推定 ー実験式とそのモデル化ー

2005.12.16

日本テレコム(株) 研究所

藤井 輝也

For Your Networking Universe

- (1) 移動通信方式と伝搬推定法の関係
- (2) 伝搬遅延プロファイルのモデル化
- (3) 電波到来角プロファイルのモデル化
- (4) 時空間プロファイルのモデル化
- (5) まとめ

参考文献

移動通信方式と伝搬推定法の関係

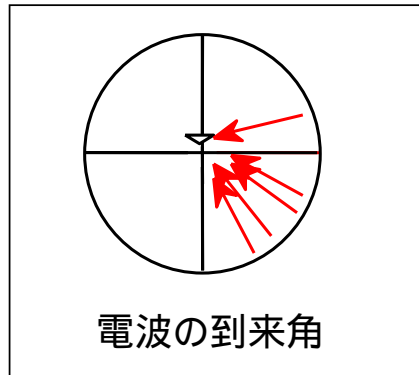
世代		第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
方式例		大容量方式	PDC	W-CDMA	??
伝送帯域幅		25kHz	50kHz	5MHz	~ 100MHz
伝搬推定	伝搬損失				
	伝搬遅延 プロファイル	×			
	電波到来角 プロファイル				
時空間の品質改善技術		空間ダイバーシチ	空間ダイバーシチ	空間ダイバーシチ パスダイバーシチ	MIMO 周波数ダイバーシチ

伝搬モデル

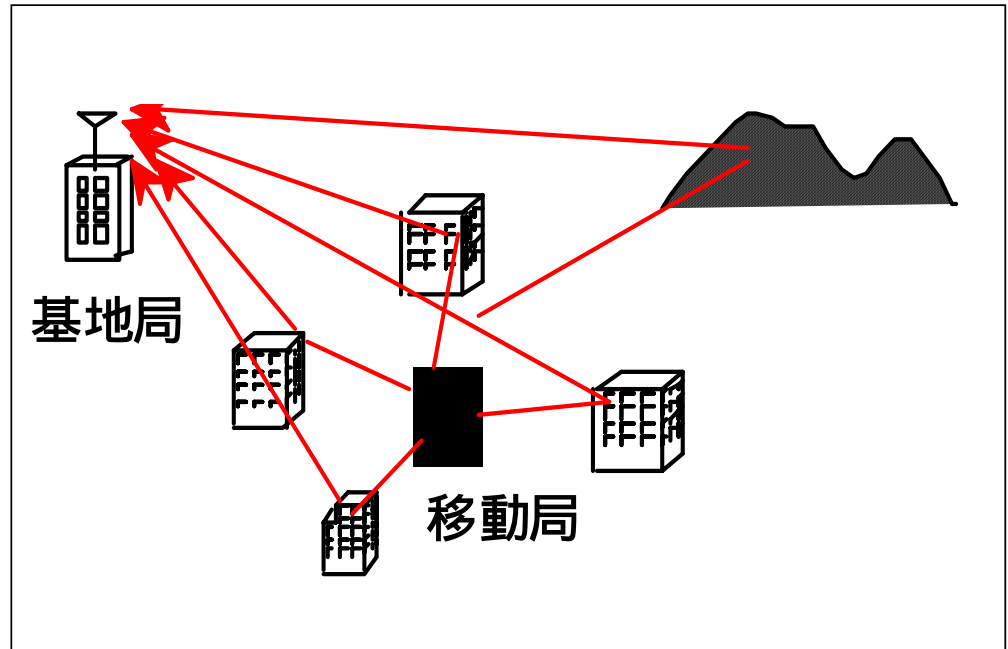
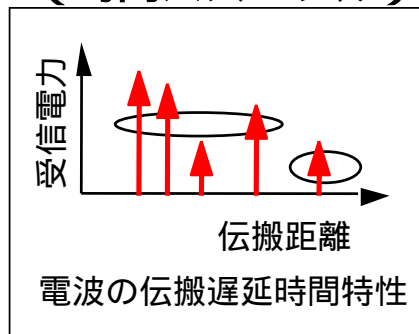
	伝搬損失	伝搬遅延 プロファイル	電波到来角 プロファイル	計算の 簡易性
概念 モデル	累乗関数モデル	<ul style="list-style-type: none"> 指数関数モデル 累乗関数モデル 	<ul style="list-style-type: none"> 正規分布モデル ラプラス分布モデル 	
実験式	奥村-秦モデル 坂上モデル	<div style="border: 2px dashed red; padding: 10px; background-color: yellow;"> <h2 style="margin: 0;">未検討</h2> </div>		
電磁界 理論	Walfish-池上モデル	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; background-color: #f8d7da;"> <h2 style="margin: 0;">レイトレースモデル</h2> </div>		

時空間パスモデルとは？

電波到来角プロフィール (空間パスモデル)



伝搬遅延プロフィール (時間パスモデル)

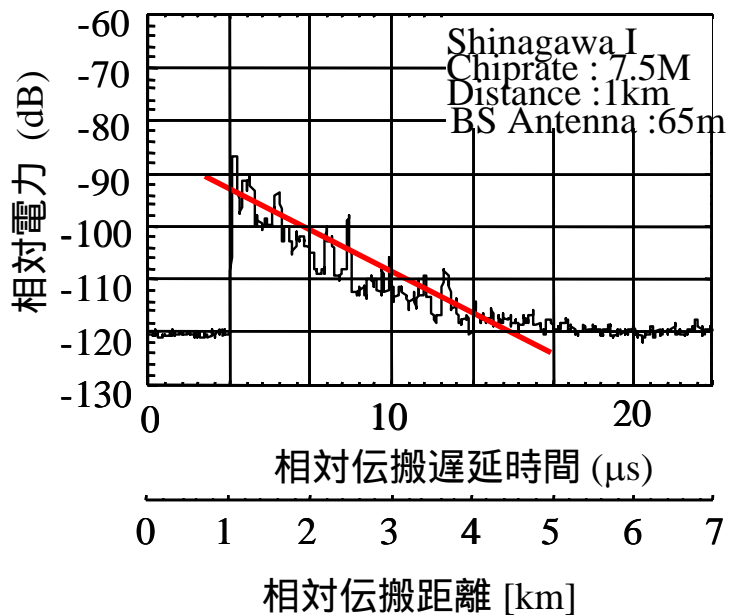


電波の伝搬遅延時間特性と到来角度特性を同時に説明できるパスモデル

伝搬遅延プロファイルのモデル化

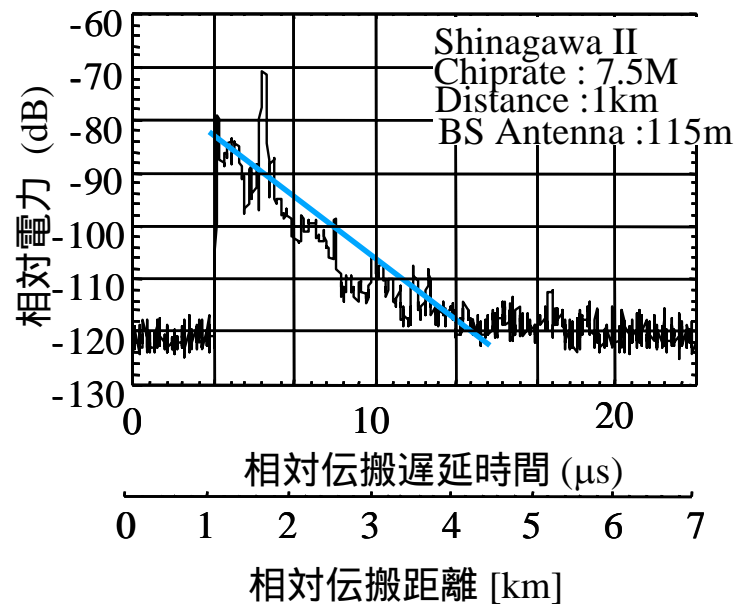
基地局高と伝搬遅延プロファイルの関係

基地局アンテナ高 : 65m



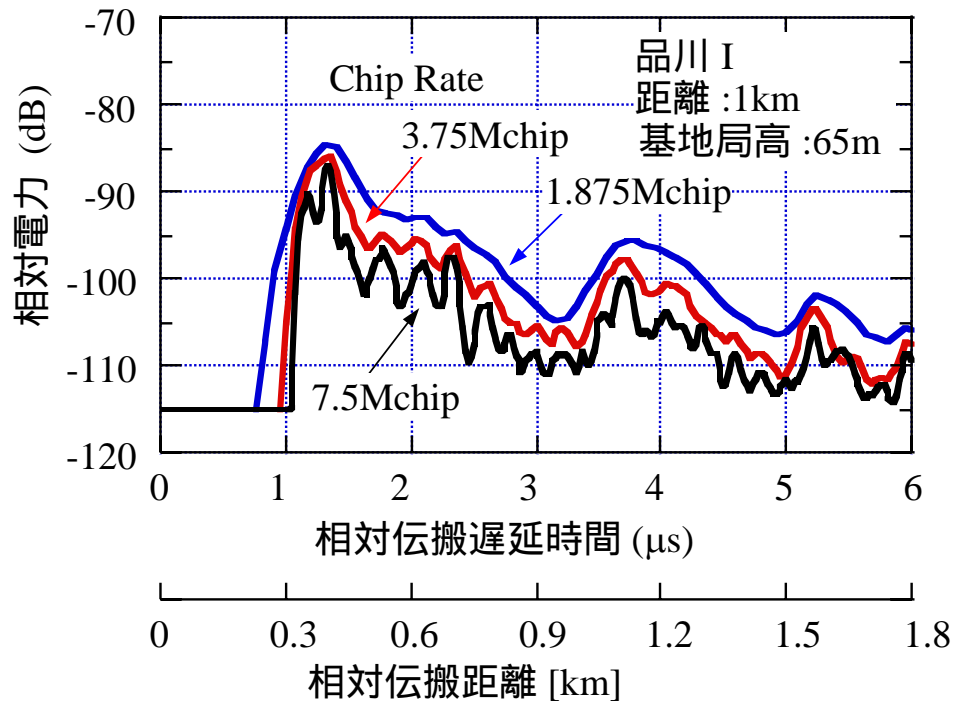
(a) 品川 I

基地局アンテナ高 : 115m



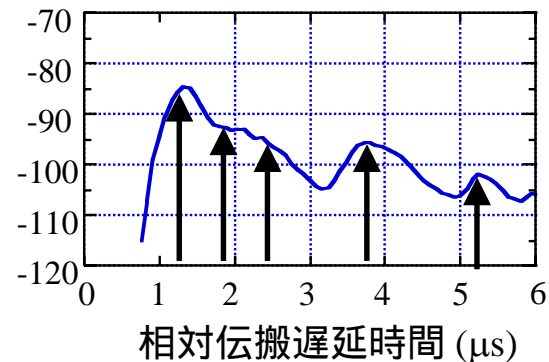
(b) 品川 II

遅延プロファイル

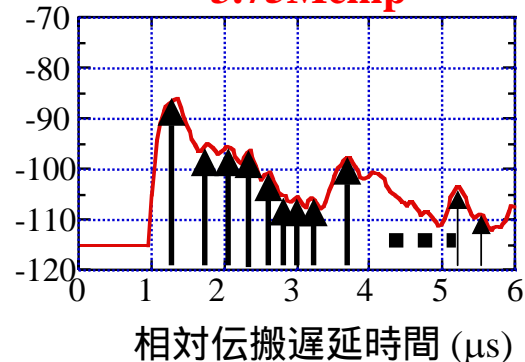


分離したパス

1.875Mchip



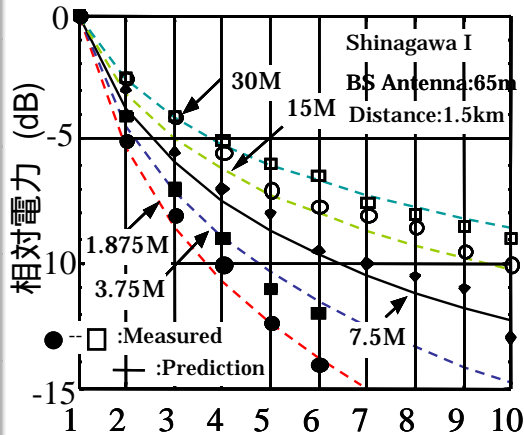
3.75Mchip



各地域での伝搬遅延プロファイル

品川 I

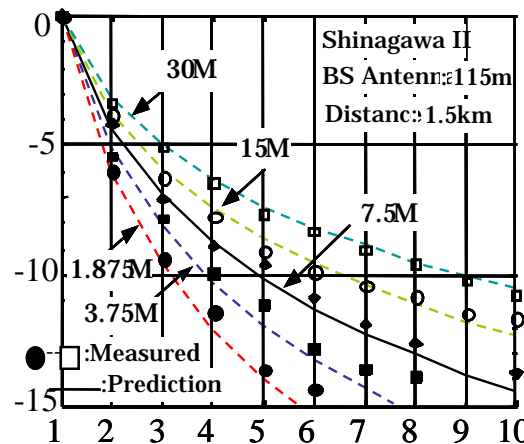
基地局高 : 65m
平均建物高: 30m



パス番号 k

品川 II

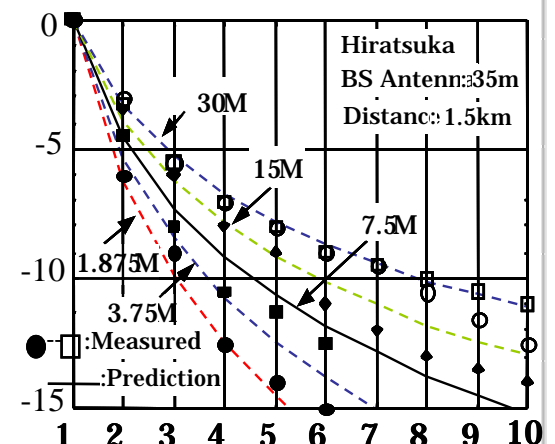
基地局高 : 115m
平均建物高: 30m



パス番号 k

平塚

基地局高 : 35m
平均建物高: 6m



パス番号 k

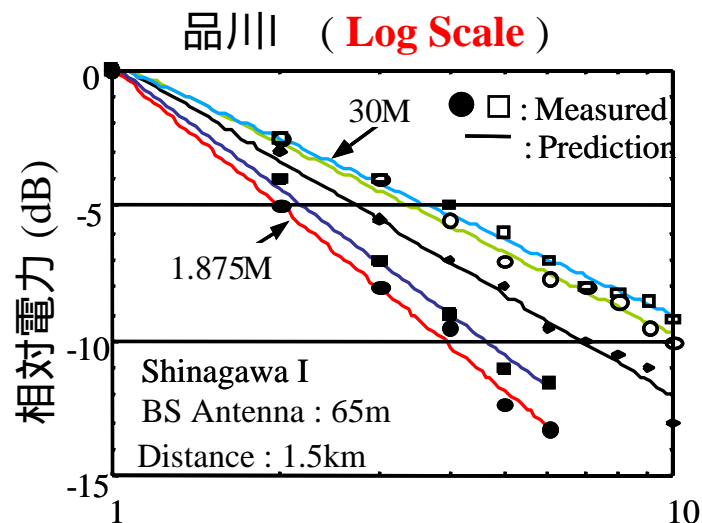
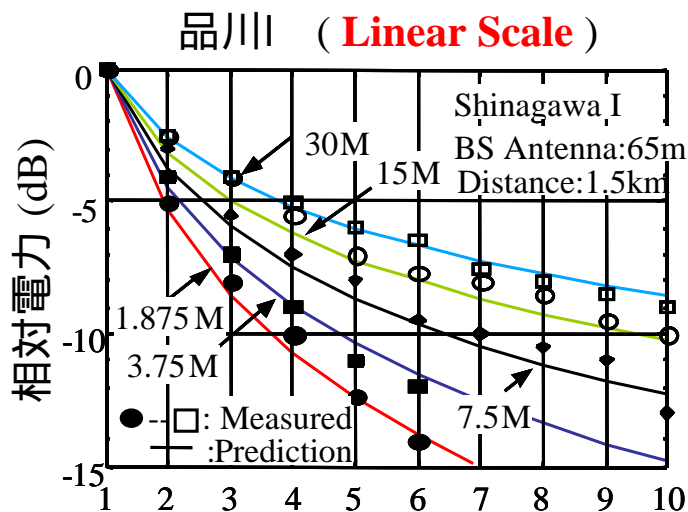
パス番号 k , はパス分解能 ($1/\text{伝送帯域幅}B$)で規格化したパス番号

[key parameters]

パス番号: k , 伝送帯域幅: B

基地局アンテナ高: hb , 平均建物高: $\langle H \rangle$, 距離: d

伝搬遅延プロファイル推定



伝搬遅延プロファイルの関数形

$$E(k, d) = -\alpha \log(k) \quad [\text{dB}]$$

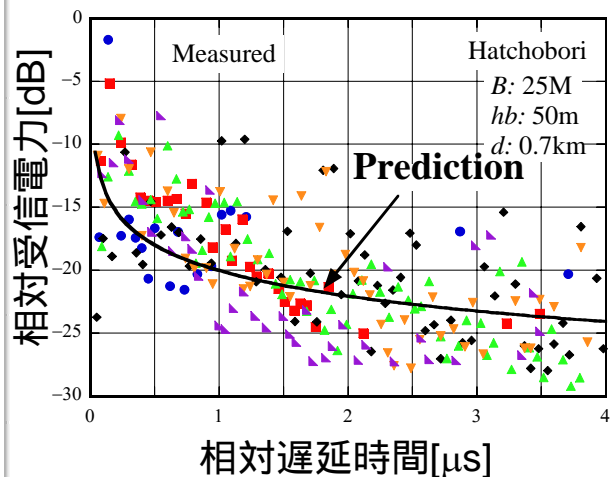
伝搬遅延プロファイルの実験式

$$E(k, d) = -\{19.1 + 9.68 \log(h_b / \langle H \rangle)\} \times B^{\{-0.36 + 0.12 \log(h_b / \langle H \rangle)\}} d^{\{-0.38 + 0.21 \log(B)\}} \cdot \log(k) \quad [\text{dB}]$$

実験式を作成した場所とは異なる測定場所の評価

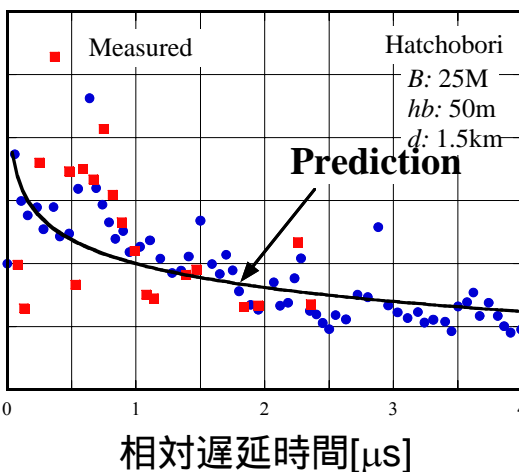
八丁堀（市街地）

$hb=50m$
 $d=0.7km$



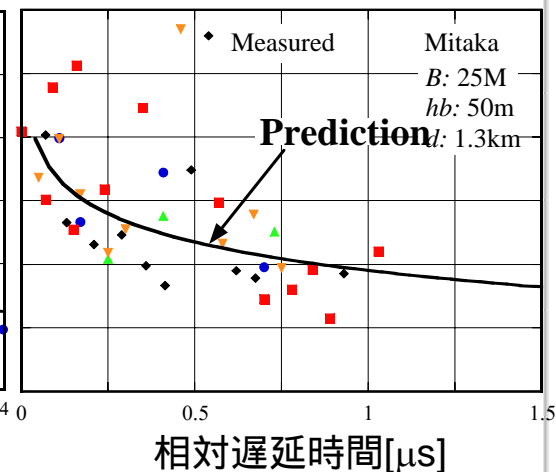
八丁堀（市街地）

$hb=50m$
 $d=1.5km$



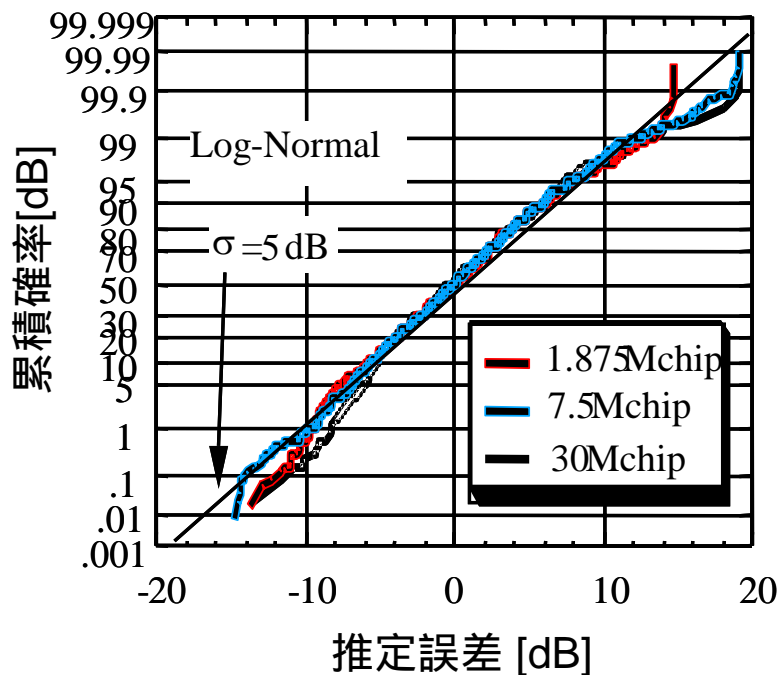
三鷹（郊外地）

$hb=30m$
 $d=1.3km$

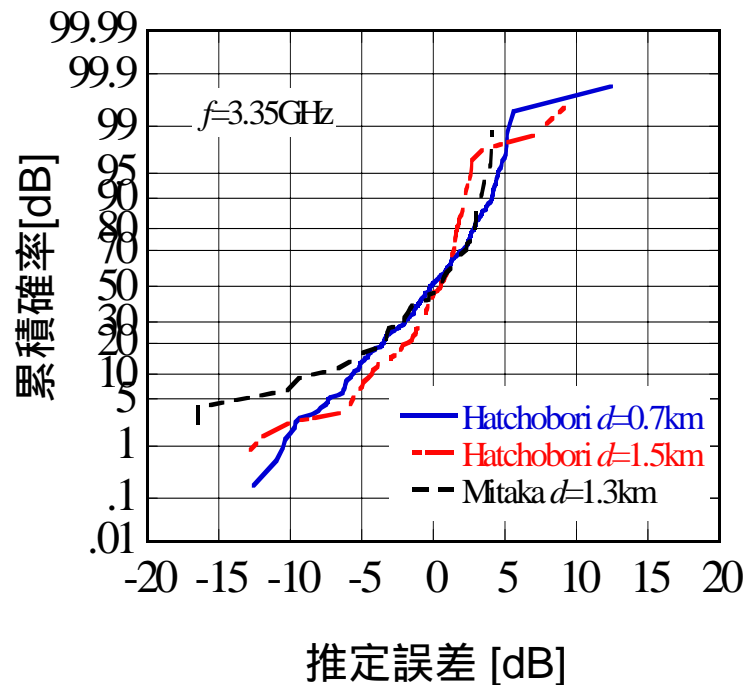


推定式は測定結果とよく一致している

実験式を作成した場所での誤差



異なる場所での誤差

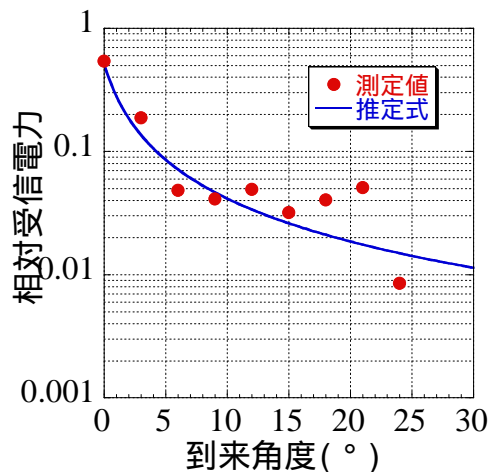


推定誤差は50%中央値で約0dB、標準偏差が約5dBであり、実験式作成時の誤差とほぼ等しい

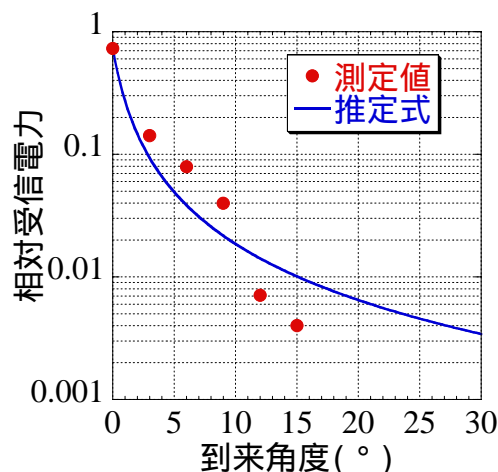
電波到来角プロファイルのモデル化

電波到来角プロファイル

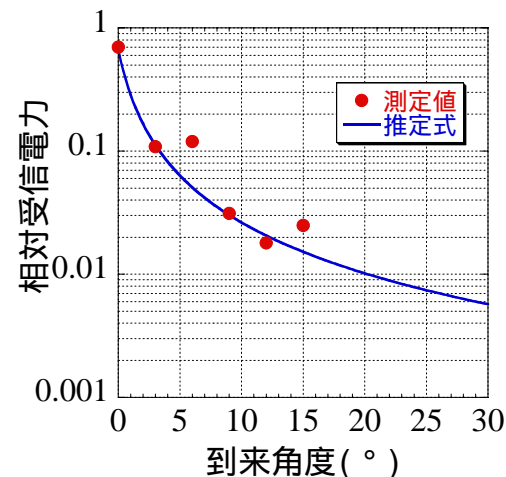
八丁堀 (d=1km)
hb=50m, <H>=30m



千葉 (d=1km)
hb=50m, <H>=8m



竹橋 (d=1km)
hb=115m, <H>=30m



電波到来角プロファイルの関数形

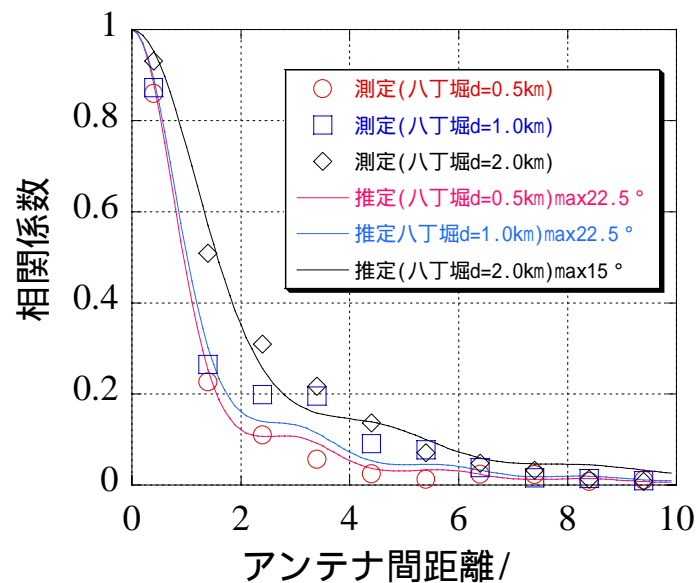
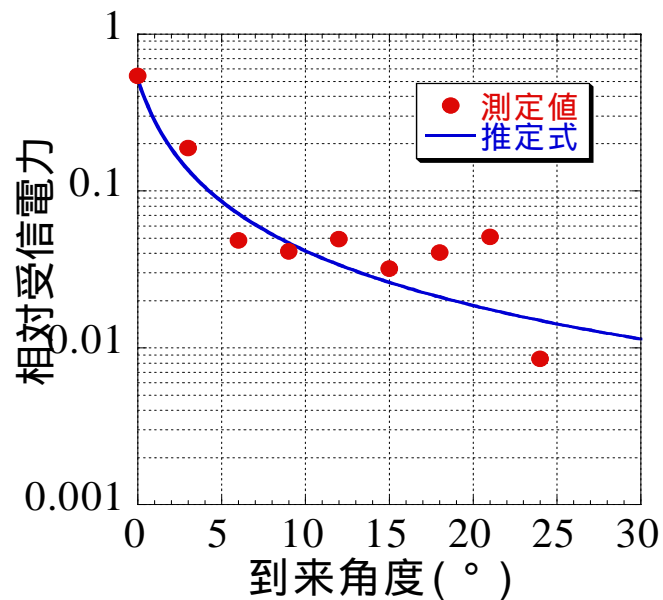
$$A(\theta) = 1/(|\theta| + \beta)^\kappa$$

電波到来角プロファイルの実験式

空間相関係数による評価

八丁堀
(d=1km)

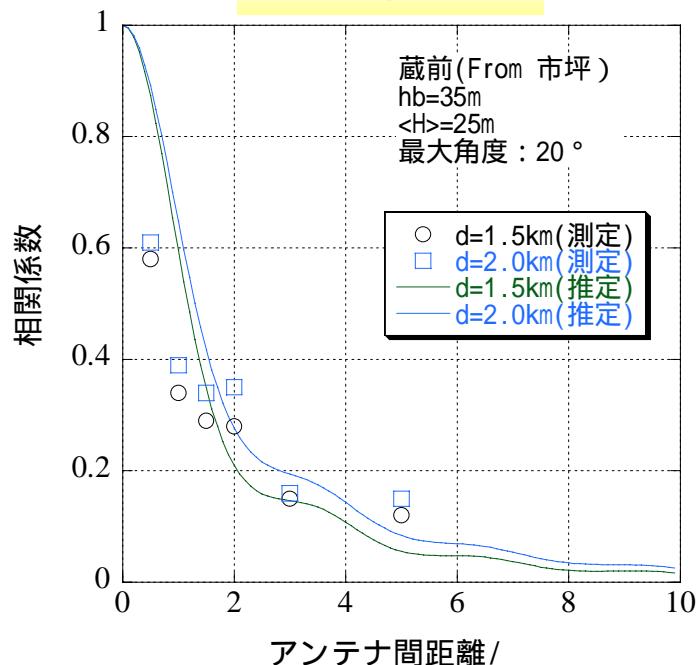
八丁堀



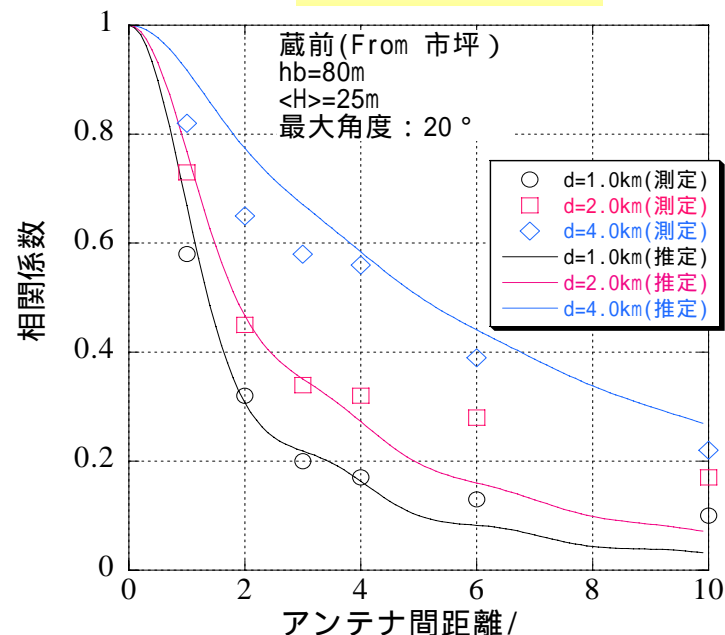
推定結果は測定結果とよく一致している

実験式を作成した場所と異なる場所での測定結果

蔵前
基地局高: 35m



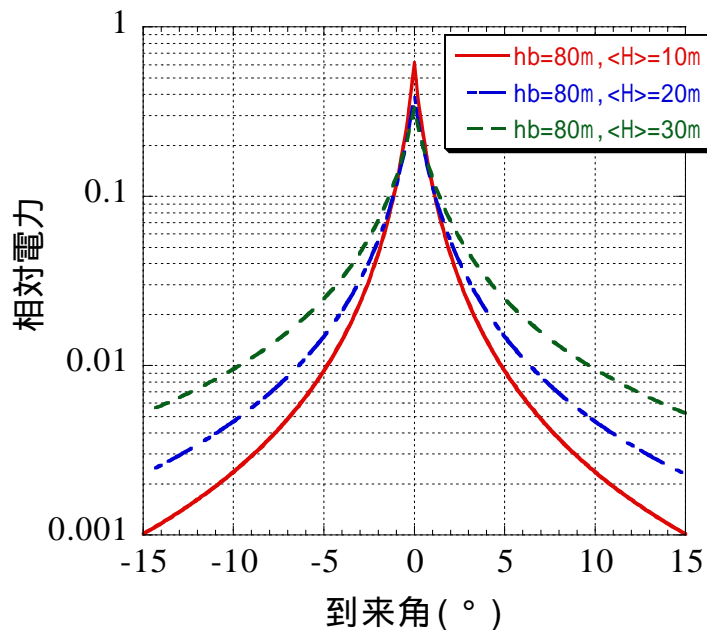
蔵前
基地局高: 80m



推定式は測定結果とよく一致している

到来角及び伝搬距離プロファイルモデル

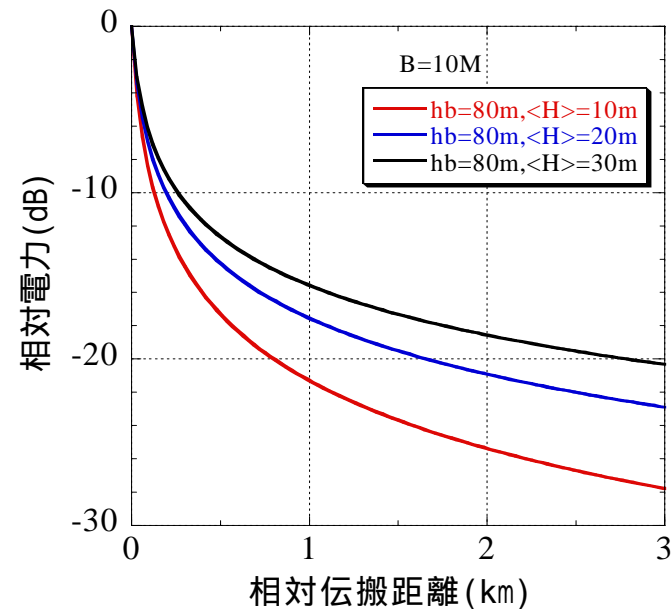
到来角プロファイルモデル



電波到来角プロファイルの関数形

$$A(\theta) = 1/(|\theta| + \beta)^\kappa$$

伝搬距離プロファイルモデル



伝搬遅延プロファイルの関数形

$$E(k, d) = -\alpha \log(k) \quad [\text{dB}]$$

べき乗型の関数形でモデル化できる

時空間プロファイルのモデル化

電波の減衰構造（逆問題）

到来角及び伝搬距離プロファイルモデル

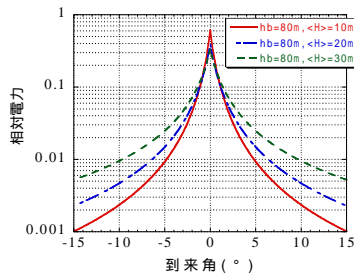
電波到来角プロファイルの関数形

$$A(\theta) = 1 / (|\theta| + \beta)^K$$

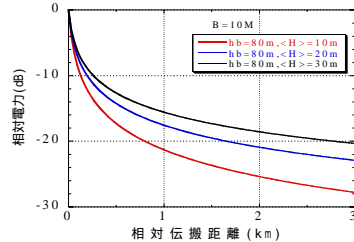
伝搬遅延プロファイルの関数形

$$E(k, d) = -\alpha \log(k) \quad [\text{dB}]$$

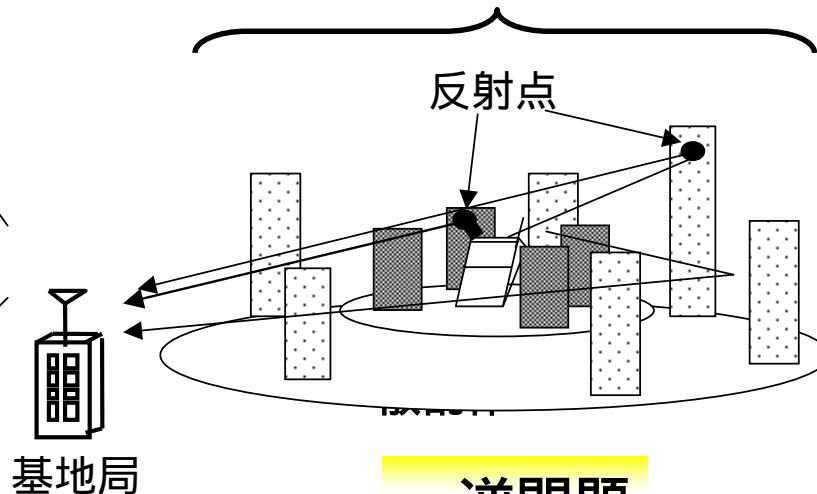
電波到来角プロファイル



伝搬遅延プロファイル



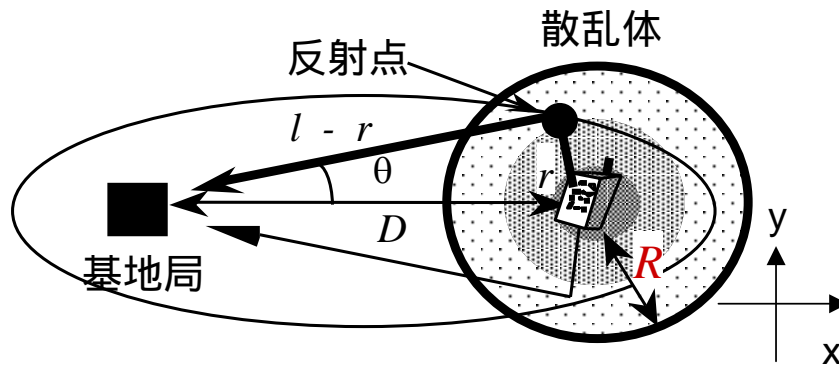
伝搬構造 (減衰構造) はどのような
になっているの？



逆問題

解析モデル (基本モデル1)

- Clarkの散乱体モデルを拡張(半径:R)
- 移動局 反射点
電波は周辺の建物を多く透過する間に電力を大きく減衰させる。自由空間損失に、距離rに応じた伝搬減衰量を補正
- 反射点 基地局
反射点から基地局間までは遮る建物は比較的少ない(自由空間領域)。



<減衰関数>

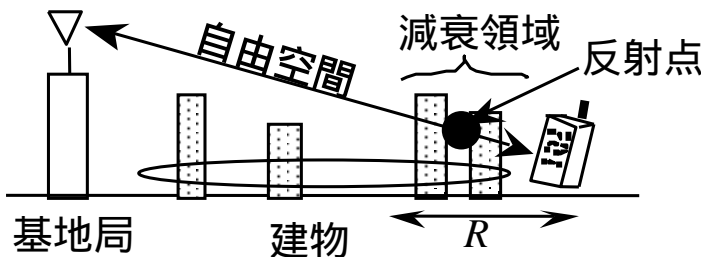
<減衰領域での2次元減衰関数f(x,y)>

$$f(x, y) \propto \exp \left[-\sqrt{\left(\frac{x}{k_x}\right)^2 + \left(\frac{y}{k_y}\right)^2} \right]$$

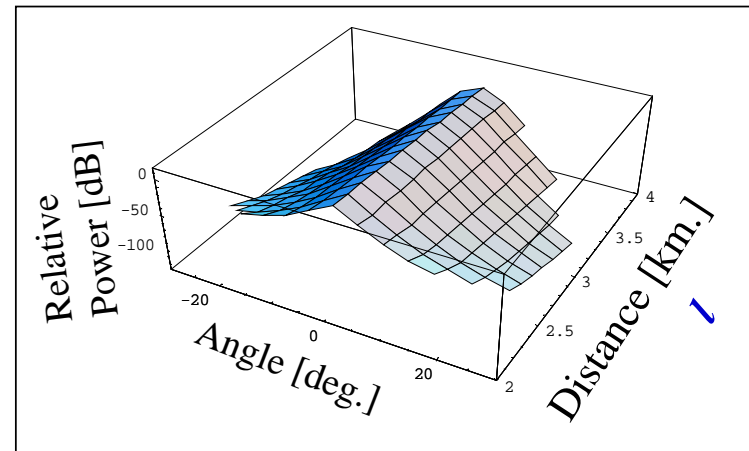
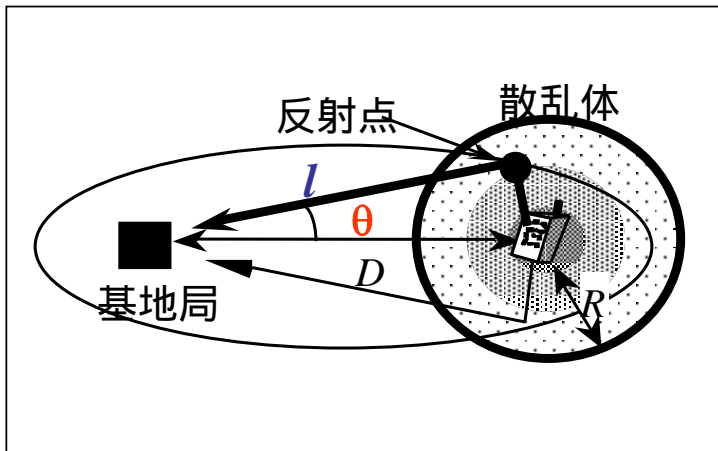
k_x, k_y : 減衰定数 ($k_x \gg k_y$)

k_x, k_y : 小 短い距離で減衰

k_x, k_y : 大 減衰しにくい



時間・空間同時分布



時間・空間同時分布 $p(\theta, l)$
(到来角 θ 、伝搬距離 l の関数)

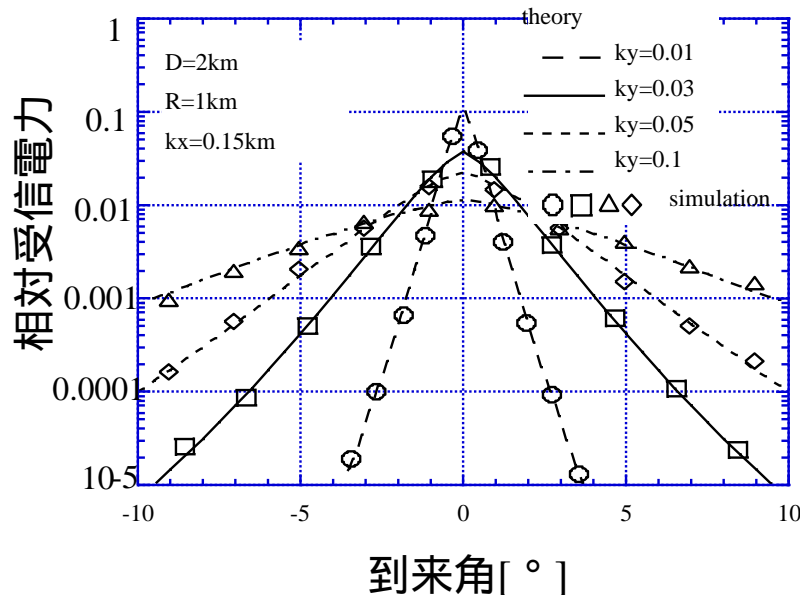
$$p(\theta, l) = \frac{(l^2 - D^2)(l^2 + D^2 - 2lD \cos \theta)}{8\pi k_x k_y \{1 - (R + 1) \exp(-R)\} (l - D \cos \theta)^3}$$

$f(x, y)$

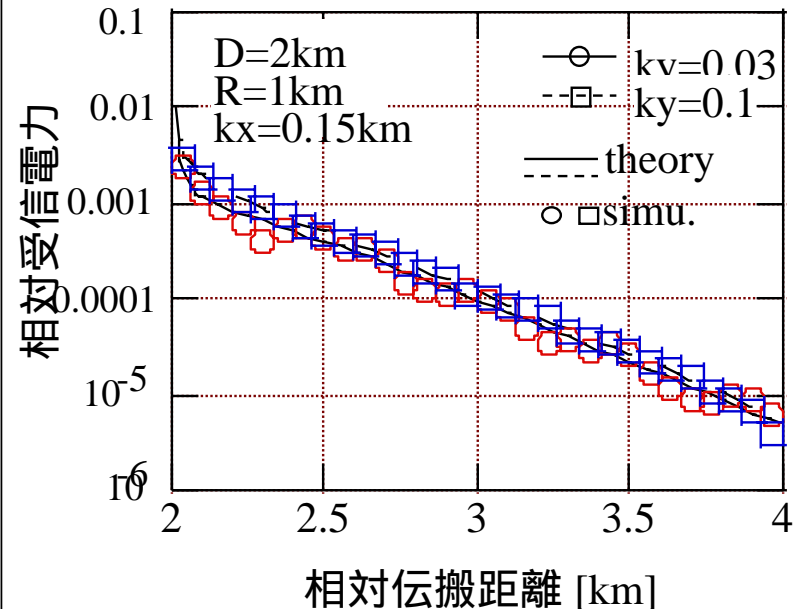
$$\times \exp \left[- \sqrt{ \frac{1}{k_x^2} \left\{ \frac{2lD - (l^2 + D^2) \cos \theta}{2(l - D \cos \theta)} \right\}^2 + \frac{1}{k_y^2} \left\{ \frac{(l^2 - D^2) \sin \theta}{2(l - D \cos \theta)} \right\}^2 } \right]$$

到来角及び伝搬距離プロファイル特性

到来角プロファイル



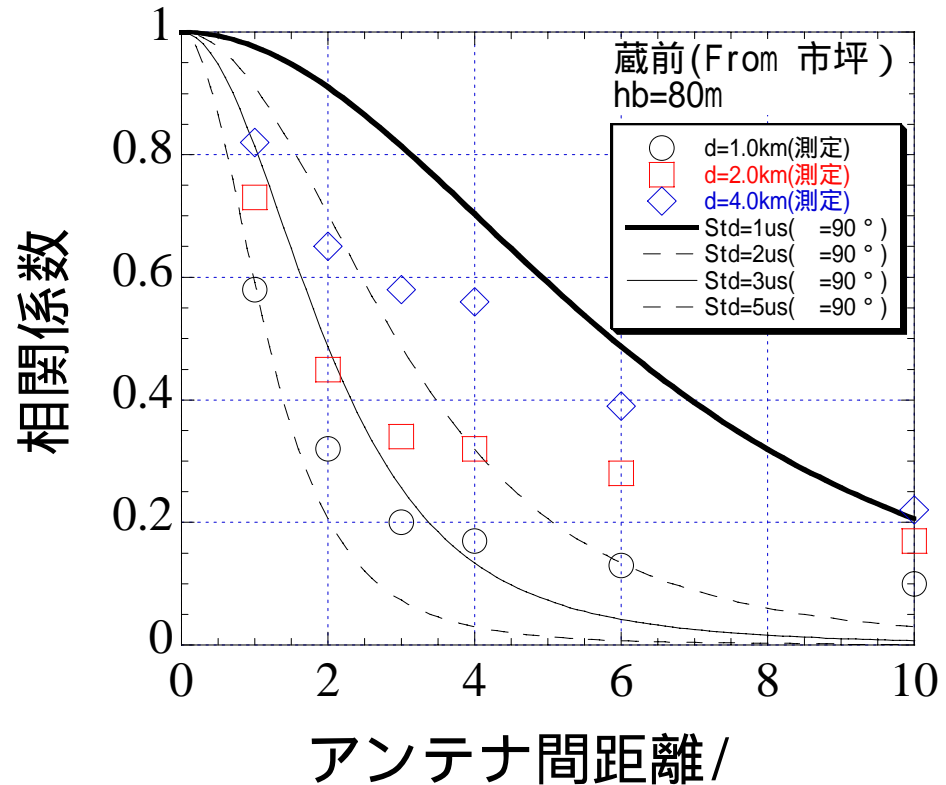
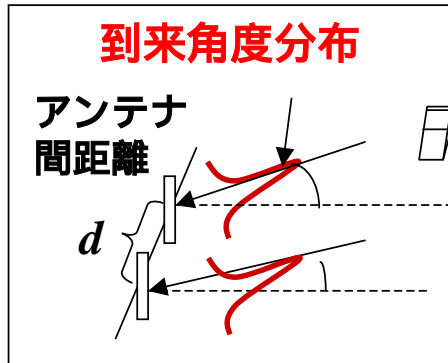
伝搬距離プロファイル



- 到来角分布は、ほぼ**Laplace分布**(両側指数関数)
- 伝搬距離分布は、ほぼ**指数分布**

提案モデルは、「伝搬遅延プロファイルが指数分布」、「到来角度プロファイルが指数分布」を同時に説明できるモデルである。

空間相関係数の測定結果との比較



空間相関係数に関して測定結果を十分に説明できない場合がある。
到来角分布は、**Laplace分布**とは異なるモデル化が必要

[基本モデルの拡張]

< 減衰関数の拡張 >

- ・従来提案した指数関数のような「**単純な関数近似**」では限界



- ・特性を説明し得るように**多少複雑な関数近似**を行う



- ・それでも極力簡単化するために、**「単純な関数」の線形和**で近似する

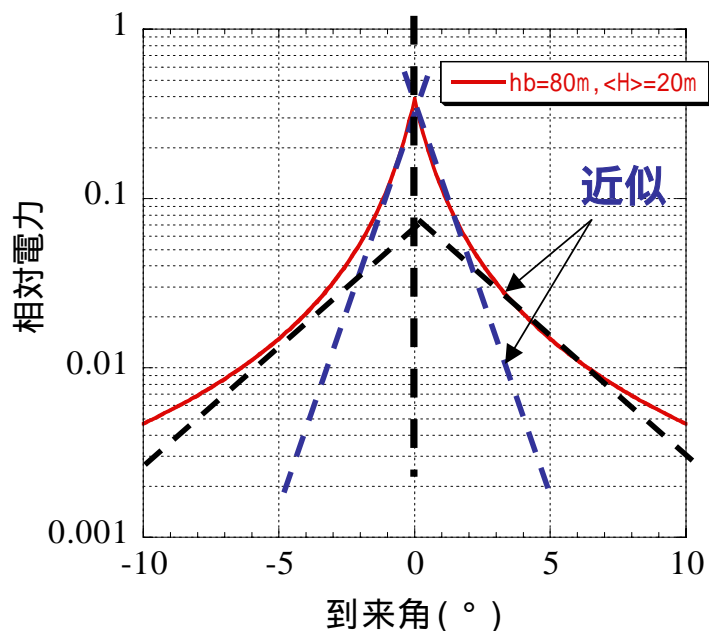
減衰関数の拡張(1)

「基本モデル」

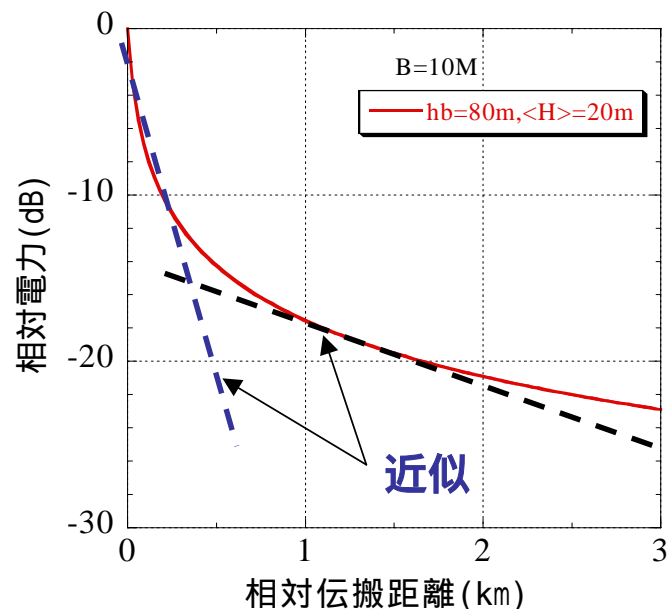
- ・ 到来角分布 : Laplace分布
- ・ 伝搬距離分布 : 指数分布

の線形和で近似する

到来角プロファイル
べき乗モデル **ラプラス近似**



伝搬距離プロファイル
べき乗モデル **指数関数近似**



拡張モデル(2)

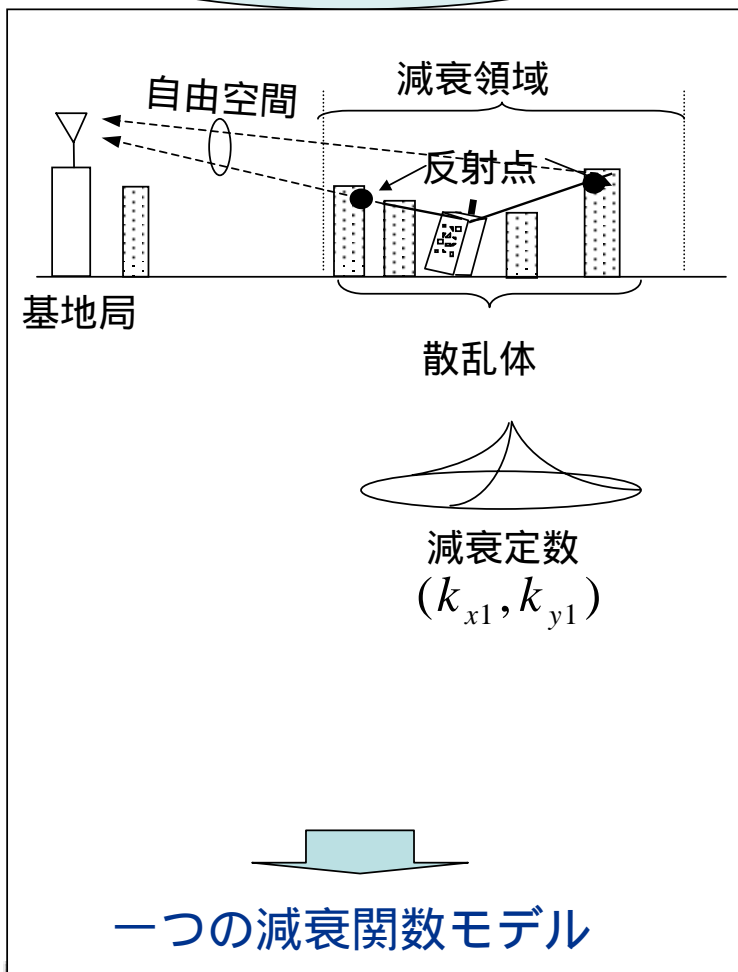
時間・空間同時分布 $p(\theta, l)$ の関数モデル
(到来角度 θ 、伝搬距離 l の関数)

$$\begin{aligned}
 p(\theta, l) &= \sum_{i=1}^n \gamma_i p_i(\theta, l) \quad \text{拡張} \\
 &= \sum_{i=1}^n \gamma_i \frac{(l^2 - D^2)(l^2 + D^2 - 2lD \cos \theta)}{8\pi k_{xi} k_{yi} \{1 - (R + 1) \exp(-R)\} (l - D \cos \theta)^3} \\
 &\quad \times \exp \left[-\sqrt{\frac{1}{k_{xi}^2} \left\{ \frac{2lD - (l^2 + D^2) \cos \theta}{2(l - D \cos \theta)} \right\}^2 + \frac{1}{k_{yi}^2} \left\{ \frac{(l^2 - D^2) \sin \theta}{2(l - D \cos \theta)} \right\}^2} \right] \\
 \sum_{i=1}^n \gamma_i &= 1
 \end{aligned}$$

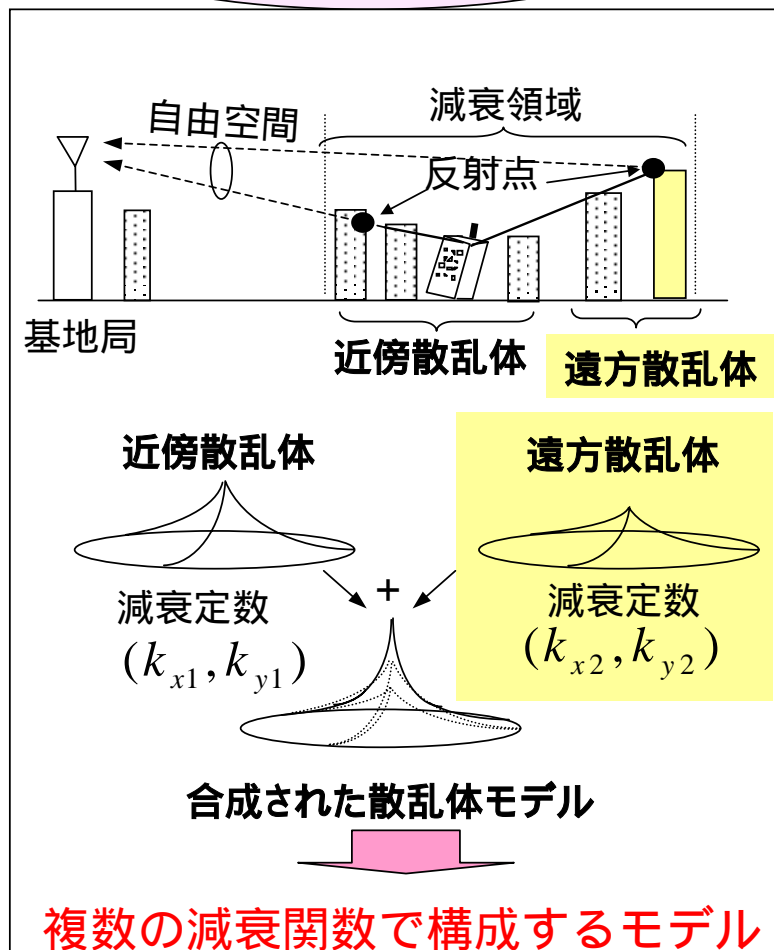
$f_i(x, y)$

実際の測定環境での減衰関数の考察

基本モデル



拡張モデル



<減衰関数の数 n >

- n を大きくすれば、多くの自由度が得られることから綿密に最適化できる。しかし、モデルは複雑となる。
- 複雑さを極力軽減するために、 $n=2$ とする。
- この場合、時空間同時分布の自由度は、 $(kx1, ky1, kx2, ky2, 1)$ の5つである。

<計算パラメータ例>

- 減衰関数の数 n : 2

減衰関数1 $f_1(x, y) : kx1 : 0.05\text{km}, ky1 : 0.01\text{km}$

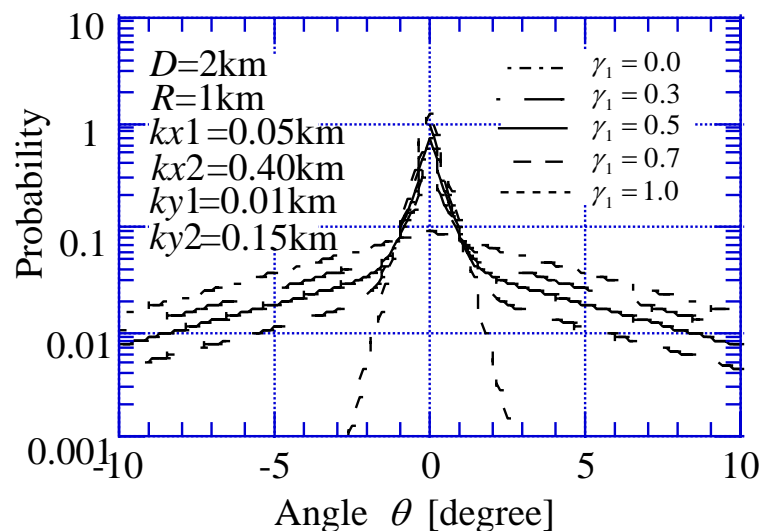
減衰関数2 $f_2(x, y) : kx2 : 0.40\text{km}, ky2 : 0.15\text{km}$

減衰関数の電力比 $\gamma_1 (\gamma_2 = 1 - \gamma_1) : \text{可変パラメータ}$

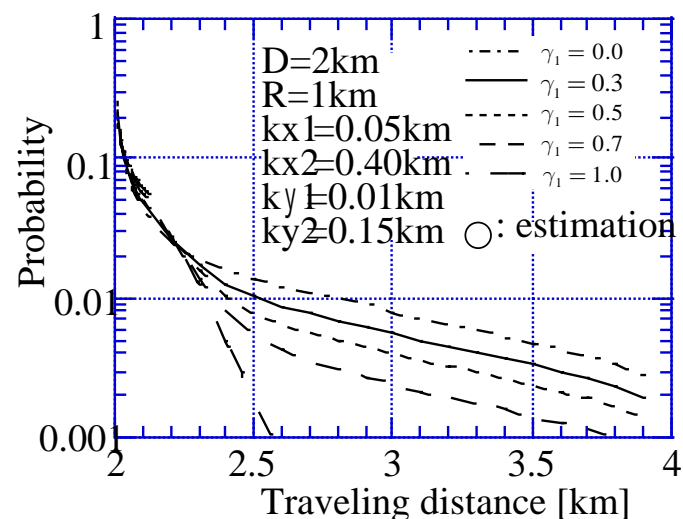
- 基地局-移動局間距離 $D : 2.0\text{km}$
- 散乱半径 $R : 1.0\text{km}$

到来角及び伝搬距離プロファイル

到来角プロファイル



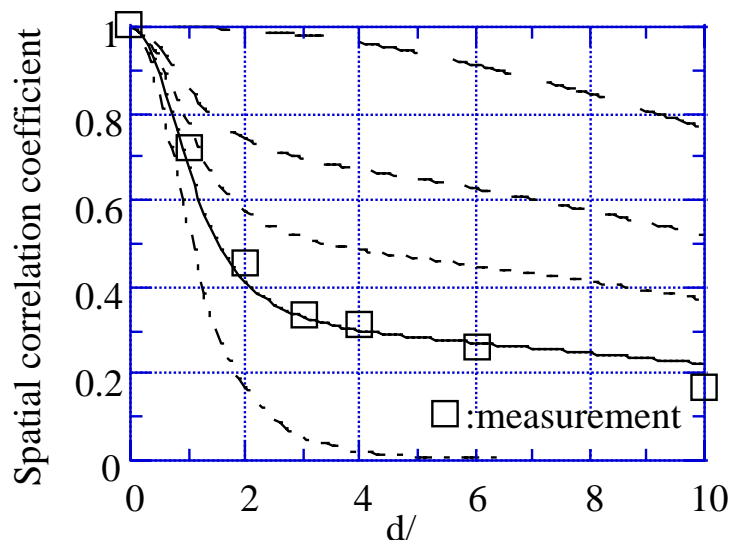
伝搬距離プロファイル



到来角分布の代わりに
空間相関係数で比較する

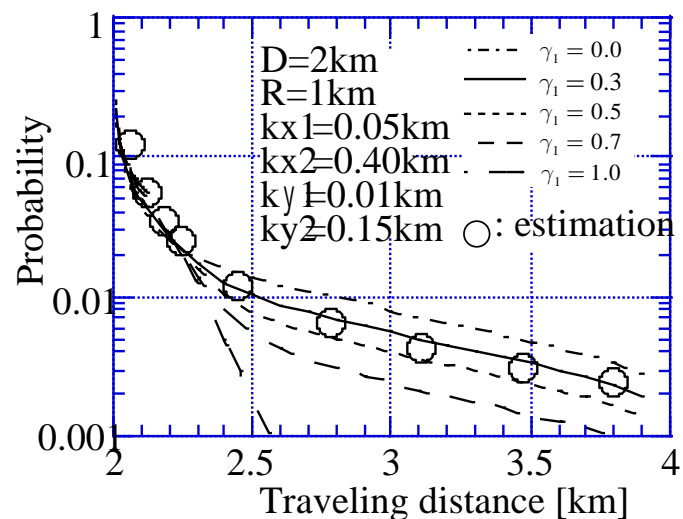
到来角及び伝搬距離プロファイルの比較

空間相関係数



記号 □ は、基地局アンテナ高80mの測定結果

伝搬距離プロファイル



記号 ○ は、基地局アンテナ高を80m、平均建物高を20mとした推定値

拡張モデルは、時間・空間の測定結果を同時によく説明できる。

- 従来、殆ど検討されなかった電波到来角プロファイル、伝搬遅延プロファイルの実験式を明らかにした。
- 実験式を説明し得る伝搬減衰モデルについて検討し、複数の異なる減衰関数を有する散乱体モデルで構成する新たな時空間パスモデルを提案した。
- 提案モデルを測定結果と比較し、市街地の測定結果をよく説明し得ることを示した。

参考文献

- [1] R.H. Clarak: "Statistical Theory of Mobile Radio Reception", Bell Syst. Tec. J., vol 47, pp. 957-1000 (1986).
- [2] 表 英毅, 藤井輝也: "移動体通信における時間・空間パスモデルに関する一考察(その2)", 信学技報, A・P2001-34(2001).
- [3] H.Omote, T.Fujii: "Time-Space Path Modeling for Wideband Mobile Propagation", 2002 IEEE AP-S, vol.1, pp. 228-231, 2002.
- [4] 表 英毅, 藤井輝也: "移動体通信における時間・空間パスモデルに関する一考察(その3)", 信学技報, AP2001-43(2001).
- [5] H. Omote, T. Fujii: "Time-Space Path Modeling with two different attenuation scattering disks for Wideband Mobile Propagation", Proceeding of 2002 IEICE International Symposium on Antenna and Propagation, pp.404-407 (2002).
- [6] 藤井輝也, 表英毅: "移動体通信における時間・空間パスモデルの特性解析" 信学技法, A・P2003-50(2003-07).
- [7] 藤井輝也, 表 英毅: "移動体通信における時間・空間パスモデルの理論解析", 信学技報, A・P2003-184(2003-11).
- [8] T. Fujii, H. Omote: "Time-Spatial Path Modeling for Wideband Mobile Propagation", Proceeding of IEEE 2004 VTC fall, Loss Angels, 2004.
- [9] K. I. Pederson, et al., "Stochastic model of the temporal and azimuthal dispersion seen at the base station in outdoor propagation environments", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 49, pp. 437-447, 2000.
- [10] 細谷良雄監修: "電波伝搬ハンドブック", 12章,15章,リアライズ社(1999).
- [11] T.Fujii, "Delay Profile Modeling for Wideband Mobile Propagation", Proceeding of IEEE 2004 VTC fall, Loss Angels, 2004.
- [12] 市坪信一, 北尾光司朗, 恵比根佳雄: "実伝搬路における偏波/スペースダイバーシチの検討", 第477回電波研連F分代会(URSI-F)(2003-09).
- [13] 藤井輝也, 表 英毅: "広帯域移動体通信における時間・空間パスモデルの一般化", 信学技報, AP2004-221, pp. 67-72, 2005-01.
- [14] 坂上 修二, 久保井 潔: "市街地構造を考慮した伝搬損失の推定", 信学論 (B-II), J74-B-II, 1, pp. 17-25 (1991).
- [15] 藤井 輝也, "陸上移動伝搬における伝搬損失推定式 - "坂上式" の拡張 - ", 信学論B, Vol. J86-B, 10, pp.2264-2267 (2003).
- [16] 今井 哲朗, 藤井 輝也: " レイトレスを用いた市街地対応移動通信伝搬推定における処理の高速化と推定精度", 1998信学ソサイエティ大会, B-1-13 (1998).
- [17] 太田喜元, 藤井輝也, "広帯域移動伝搬におけるマイクロ波帯遅延プロファイル推定," 信学技報, AP2004-343, (2005.3).