

# 都市街区における電波伝搬遅延特性のフラクタル性について

日大生産工(院)	○ 菅谷 行晃
日大生産工	黒岩 孝
日大生産工	松原 三人
元日大生産工	渡邊 宅治

## 1. はじめに

最近、移動体通信の分野では高速かつ広帯域な情報の伝送が必要とされている[1],[2]。一般に、送信局から送信した電波は建物などによる反射・回折の影響を受けるため、遅延波が生じる。従って、受信局では振幅及び遅延時間が異なる複数の電波が受信され、伝送品質が劣化する。電波伝搬遅延特性は、送信局から送信したパルス波を受信局で受信した場合の遅延時間に対する受信電力を表しており、その特性を解析することで遅延波の影響を調べることができる。しかし、複雑に変動する電波伝搬遅延特性を正確に表すことは困難である。

筆者らは電波伝搬遅延特性推定法の実現を目的として研究し、これまでに、その特性がフラクタル性を持ち、フラクタル次元が電波伝搬の環境と深い関連性のあることを報告している[3]-[5]。

本研究では、都市街区の内部にある建物の配置や形状、あるいは高さが、受信点における電力特性のフラクタル次元にどのような影響を及ぼすか検討する。具体的には、都市街区を簡単な形状で表した伝搬モデルに対し、電磁界解析ソフトウェアによる電波伝搬の計算から電波伝搬遅延特性を求め、そのフラクタル解析を行う。

## 2. 解析法

図1に伝搬モデルの概略図を示す。伝搬モデルの大きさは、 $530 \times 530 [m]$ とし、高さ、幅ともに  $30 [m]$  の建物を幅  $70 [m]$  の主道路

に沿って棟間距離  $d [m]$  の間隔で配置する。送信アンテナは半波長ダイポールアンテナ、受信アンテナは等方性アンテナとした。送信アンテナは伝搬モデルの中心に置き、受信アンテナは送信アンテナから距離  $L [m]$  だけ離れた点に設置する。また、電波は  $x$ - $y$  平面内の全方位に放射する。ただし、送信アンテナと受信アンテナの高さ  $h_t$  及び  $h_r$  は、い

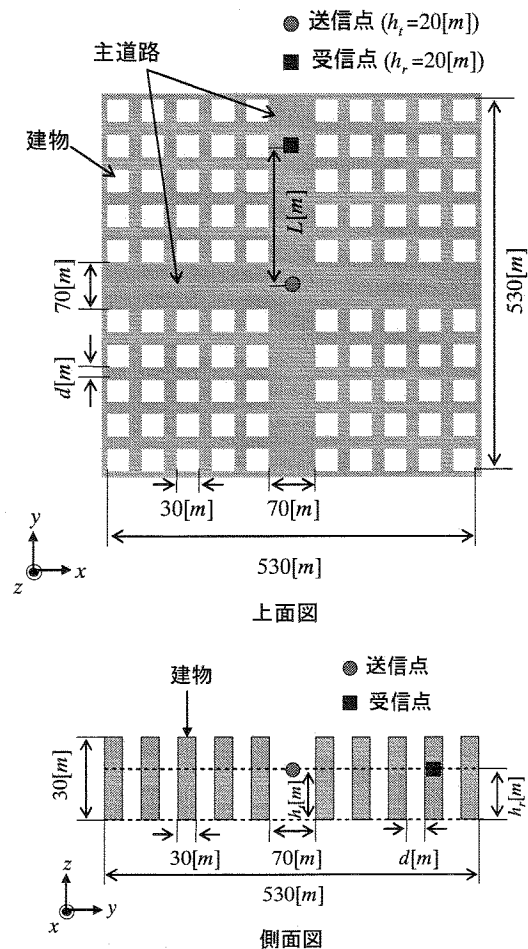


図1 伝搬モデル

れも 20[m]とした。即ち、送信波はx-y平面内のみで反射及び回折を行う。電波伝搬遅延特性の計算は、電磁界解析ソフトウェア「PLANC-HF」により計算し、受信アンテナで受信される直接波と遅延波の遅延時間および電界強度を求める。建物の材質にはコンクリートを想定した。表1は計算に用いた諸数値を示す<sup>[6]</sup>。

表1 レイトレースに用いた諸数値<sup>[6]</sup>

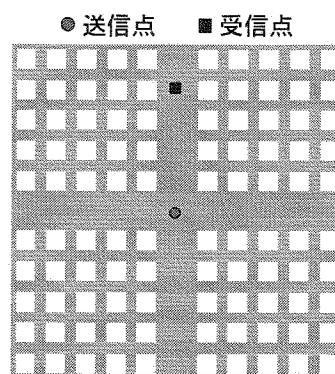
送信アンテナ	半波長ダイポールアンテナ (3dBビーム幅 90度)
受信アンテナ	等方性アンテナ
送信電力 $P_t$	10 [W]
周波数 $f$	5 [GHz]
複素誘電率 $\epsilon^*$	6-j1.8
最大反射回数	30
最大回折回数	4
最大素波数	3000000

### 3. 解析結果

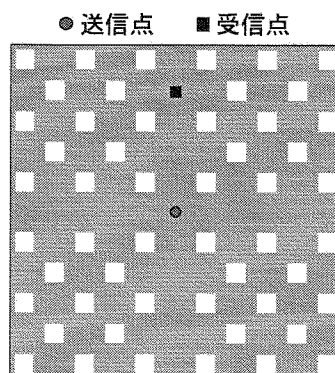
先ず、図1に示した伝搬モデルにおいて、建物の配置及び形状が異なる場合について検討を行う。図2(a)~(c)は、建物を格子状、千鳥格子状及び放射状に配置した場合の上から見た図(上面図)である。格子状配置は、建物を縦横ともに  $d=20[m]$  で等間隔に配置した場合である。千鳥格子状配置は、建物一つおきに  $d=70[m]$  で配置した場合を示す。また、放射状配置は、建物を主道路沿いと、主道路に対して45度の線上に配置した場合を示す。

図3は全ての建物の形状を四角柱とした場合のそれぞれの伝搬モデルについて電波伝搬遅延特性を求めた結果を示す。ただし、送受信間距離  $L=200[m]$  とした。いずれの場合も遅延時間  $t=0.67[\mu\text{sec}]$  程度で直接波が受信され、その後周囲の建物からの反射及び回折の影響を受けた遅延波が受信されていることがわかる。また、千鳥格子状配置の場合では、他の伝搬モデルの場合よりも多数の電波が到達してしていることがわかる。この理由は、建物間の道幅が広くなることで、反射及び回折した遅延波を遮る建物が減少したためと思われる。表2にそのときのフラクタル次元を求めた結果を示す。建物の配置の違いによりフラクタル次元も異なり、千鳥格子状配置、格子状配置、放射状配置の順にフラクタル次元が大きいことがわかる。

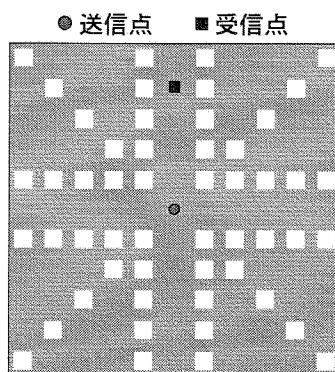
図4は建物の形状を四角柱から六角柱に変えた場合の電波伝搬遅延特性を示す。い



(a) 格子状配置



(b) 千鳥格子状配置



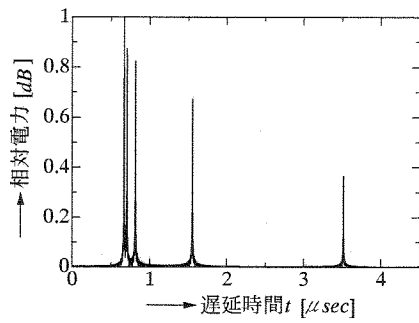
(c) 放射状配置

図2 建物の配置が異なる場合の伝搬モデル

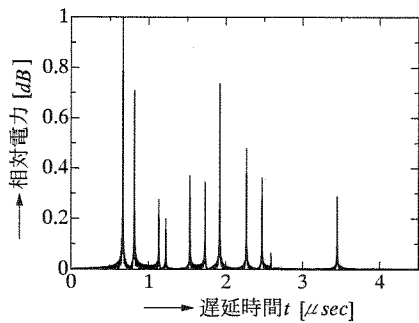
ずれも、建物の形状が四角柱の場合と比べて、多数の電波が受信点に到達していることがわかる。これは建物の形状が複雑になると、より多くの反射・回折が行われるためと考えられる。

このときのフラクタル次元を表3に示す。建物の形状が四角柱の場合と比べ、六角柱の

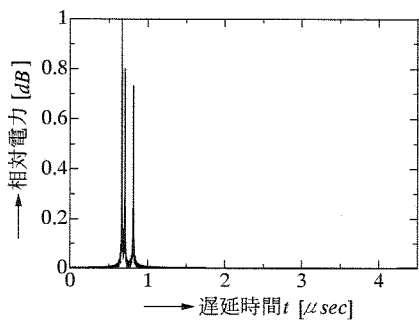
場合の方が、フラクタル次元が大きいことがわかる。一方、各到来波のパスの総距離を、建物の幅(30[m])で規格化した距離(以下、伝搬距離)に対する受信点での相対電力、あるいは反射・回折回数に対する相対電力よりフラクタル次元を求めたところ、電波伝搬遅延特性から求めたフラクタル次元



(a) 格子状配置



(b) 千鳥格子状配置

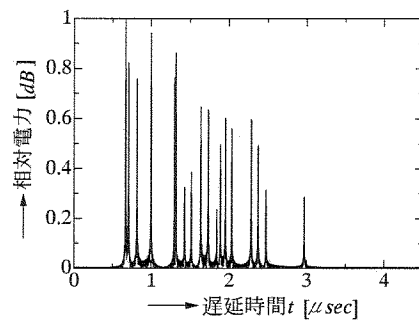


(c) 放射状配置

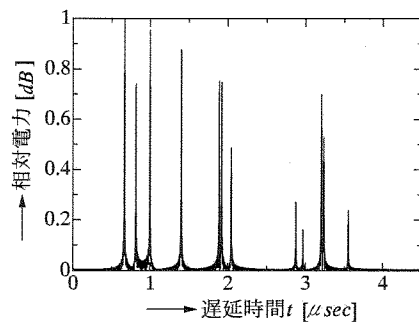
図3 電波伝搬遅延特性  
(建物の形状を四角柱とした場合)

表2 建物の形状を四角柱にした場合のフラクタル次元

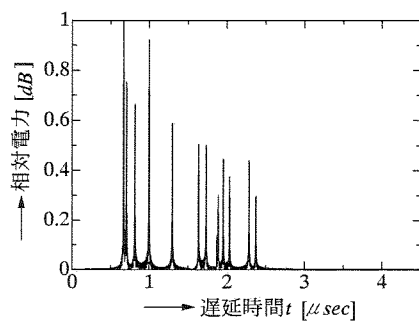
伝搬モデル	フラクタル次元 $D$
格子状配置	1.483
千鳥格子状配置	1.674
放射状配置	1.455



(a) 格子状配置



(b) 千鳥格子状配置



(c) 放射状配置

図4 電波伝搬遅延特性  
(建物の形状を六角柱とした場合)

表3 建物の形状を六角柱にした場合のフラクタル次元

伝搬モデル	フラクタル次元 $D$		
	電波伝搬遅延特性より求めた場合	伝搬距離に対する相対電力より求めた場合	反射及び回折回数に対する相対電力より求めた場合
格子状配置	1.626	1.590	1.584
千鳥格子状配置	1.667	1.655	1.608
放射状配置	1.575	1.563	1.544

と良く一致することを確認している。

一方、建物の形状が四角柱の場合について、図5(a)及び(b)の様に、送信点の右上あるいは上半分の建物全ての高さを5~20[m]まで変えた場合のフラクタル次元について検討する(このとき、電波はz方向にも伝搬するとして解析を行った)。

結果を図6に示す。同図(a)及び(b)は、それぞれ格子状配置と千鳥格子状配置の場合である。また、同図中の実線は電波伝搬遅延特性、破線は反射・回折の回数に対する相対

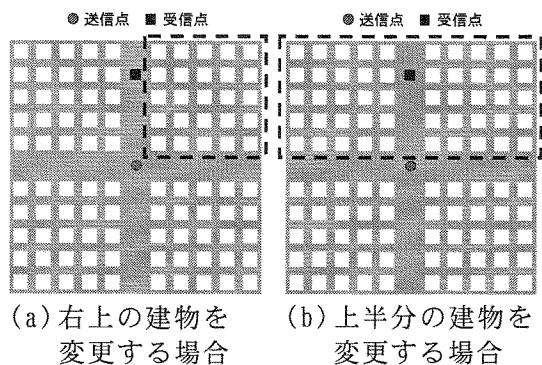
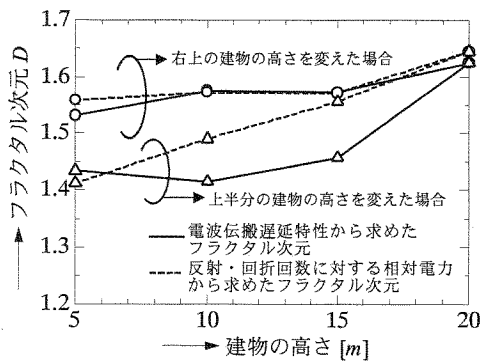
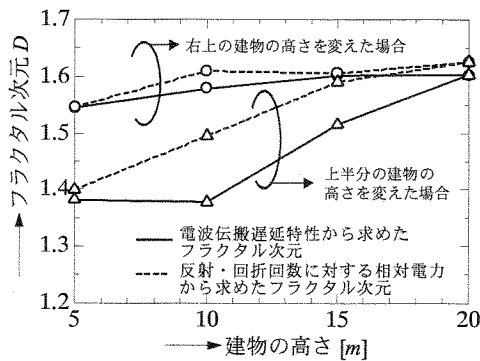


図5 建物の高さを変更する範囲



(a) 格子状配置



(b) 千鳥格子状配置

図6 建物の高さとの関係

電力から求めたフラクタル次元を示す。いずれの場合も、建物が高くなると、フラクタル次元の値が大きくなる。また、上半分の建物の高さを変えた場合に比べ、右上の建物の高さのみを変えた場合の方がフラクタル次元の値が大きくなることもわかる。これは、建物の高さによって、送信波の反射・回折の回数が変わるためであると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、都市街区モデルの中にある建物の配置や形状、及び高さが異なる場合について、受信点における電力特性のフラクタル解析を行い、そのフラクタル次元を比較検討した。結果として、建物の配置や形状、あるいは高さによって反射・回折の回数が変わるため、フラクタル次元の値も変わることがわかった。一方、伝搬モデルの形状をフラクタル解析することによって電波伝搬遅延特性を推定できる可能性があるが、これについての詳細な検討は今後の課題である。

#### 参考文献

- [1] 進士昌明, 無線通信の電波伝搬, 電子情報通信学会 (1992)
- [2] 木下耕太, やさしいIMT-2000, オーム社 (2001)
- [3] 黒岩孝, 松山敦毅, 渡邊宅治, 松原三人: “電波伝搬遅延特性のフラクタル次元解析”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-14, p.20 (2001)
- [4] 黒岩孝, 松山敦毅, 渡邊宅治, 松原三人: “電波伝搬遅延特性のフラクタル性に関する検討”, 電子情報通信学会総合大会, A-2-33, p.67 (2003)
- [5] 黒岩孝, 菅谷行晃, 渡邊宅治, 松原三人: “電波伝搬遅延特性のフラクタル解析”, 電子情報通信学会総合大会, A-6-13, p.175 (2005)
- [6] 藤井他, NTTDoCoMo テクニカルジャーナル, Vol.8, No.2, pp.60-69 (2000)
- [7] 細矢編, 電波伝搬ハンドブック, リアライズ社 (1999)