

# 東京タワー周辺地域における 送信電波の電力束密度測定

東京理科大学 小牧 史枝、加納 誠

Science University of Tokyo Fumie KOMAKI, Makoto KANO

科学と社会を考える土曜講座 上田 昌文

Saturday Seminar on Science and Society Akifumi UEDA

## 1. はじめに

近年、電波の利用が著しくすすむにつれて、環境問題としてそれをいかに位置付けて種々の問題解決をはかっていくかがますます重要になってきている。

送電線、配電線や様々な家庭電化製品から漏洩する低周波電磁波の被曝に加えて、携帯電話（端末、タワー）の普及によりマイクロ波を頻繁に被曝するという状況が出現し、電磁波の生体影響への関心が国際的にも高まっている。無線設備からの電波は長期間恒常的な被曝を周辺地域にもたらすため、その地域での電磁界強度分布を把握し被曝量を推定することは、人体防護の観点から重要である。

また電波利用設備の増大に伴って、近隣地域で使用される電子・情報機器などに種々の障害の発生がみられるようになった。電子・情報機器がますます生活に浸透する状況においては、こうした障害を予防する目的で、放射電波による周辺の電磁界強度分布をできるだけ簡便に知ることが必要となってきている。

地上波デジタル放送の導入や携帯電話機能の高度化・複雑化によって電波利用がますます拡大することが予想され、今後は都市環境中での電波利用のアセスメント（環境影響評価）が本格化してくるもの

と思われる。その際には環境リスクを知るための基本情報として電磁界強度分布データが欠かせず、それをもとに人口密集地における複雑な建築物などが電波伝搬に与える影響を適切にモデル化することも必要である。

日本最大の電波塔である東京タワーは他の放送タワーに比べて実効輻射電力が極めて大きく、送信側の特性の日変動、季節変動がほとんど見られない。そのため、東京タワー送信電波の電磁界強度分布を把握することは、今後、放送電波による被曝量の推定や種々の影響評価を行なう場合に、1つの有力な目安を提供するものと期待される。

そこで私たちは、放送各波の電磁界強度の総和（総合電力束密度）を計測する機器を用いて、東京タワー周辺地域での計測を実施した。比較的簡単に測定をすすめることができるという利点を生かし、できるだけ数多くの地点で計測することに主眼を置いた。本論文はその計測値をいくつかの観点から整理して報告するものである。

東京タワー周辺地域での放送電波による電力束密度分布を理論的に推定し、実測した値と比較検討したものに、徳重寛吾らの研究<sup>1, 2)</sup>がある。本論文では、理論的考察についてはその研究を参照しつつ、

より多くの地点での計測から明らかになった電力束密度分布のいくつかの特徴を検討する。

## 2. 計測方法

計測器には、EMR-20 高周波電界強度測定器 (narda S.T.S.社製) に、Eフィールド・プローブ・3GHz (タイプ8) (同社製) を装着して用いた。プローブは3軸アンテナエレメントによる等方向性を持つ。測定周波数範囲は100kHz～3GHzである。プローブの絶対誤差は、100kHz～500MHzで±1.0dB、500MHz～3GHzで±2.4dBであり、全方向性の偏向はプローブと測定装置をあわせて、1MHz以上の周波数帯で±1.0dBである。今回計測する対象となったTVおよびFM放送電波合計23波は、すべて100kHz～500MHzに収まっている。そこで、計測器自体による測定誤差はおおよそ $\sqrt{(1.0)^2 + (1.0)^2} \approx \pm 1.4\text{dB}$ 程度と想定できる。

測定される電磁波の寄与成分を確認するため、東京タワーより180m、405m、630m、855m、1305mの5地点においてスペクトラムアナライザ (アンリツMS62B3) を用いて測定した。TVおよびFMラジオの放送電波周波数帯域に突出したピークが生じたため、主成分は東京タワーからの放送電波であると判断した。なおこの5地点近傍 (それぞれの地点を中心とするの半径500m以内の域内) に携帯電話基地局が存在すると予想されたが、計測した時点においては、放送電波帯域以外の帯域においては無視しえるレベルの強度しか検出し得なかった。

各測定地点において、計測器を手に持ち、プローブのヘッド部を東京タワーの方に向けて、地上高約130cmに保持した。総合電界強度 (各波の電界強度の

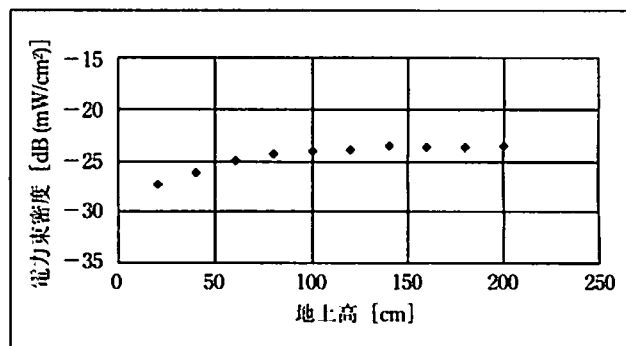
総和)  $E$  [V/m]の6分間平均値および測定時間内の最大値を記録し、下記の変換式を用いて総合電力束密度 (各波の電力束密度の総和)  $P$  [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]を得た。

$$P = \frac{E^2}{120\pi} \times 10^2$$

計測器近傍の人体が測定結果に及ぼす影響を確かめるため、同一地点において、手に持って測定した場合と、石造物上で測定した場合を比較した。2条件の差は4dB ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) 以下であり、測定結果への影響はないと判断した。

また、地上からの高さによる変動を確認するため、地上より200cmまでを、20cm間隔で10点測定した。結果を図1に示す。地上100cm以上では、ほぼ一定値とみなせることがわかった。そこで、測定中同じ高さを保つのに都合の良い130cmを測定高として採用した。図1において、地面に近くなるほど値が小さくなっているのは、地面付近は波の反転部であり、直接波と反射波で打ち消しあうためであると考えられる。

その他に、計測結果に影響を与える要因として近傍の自動車、携帯電話の通話者、無線、携帯電話基



【図1】同一地点での計測器に対する地上高の影響

地局からの電波などが考えられる。自動車に関しては、道路わきの歩道での測定中には、自動車の通過が測定値に影響を与えている様子は確認できなかった。携帯電話の通話者の影響は非常に大きかったため、通話者が周りにいないことを確認して測定を行った。携帯電話基地局に関しては、数100m離れた地点でも影響が出る可能性があり、しかも場合によっては複数の基地局からの電波が影響すると予想し得たが、その所在をすべて確認することさえ困難であり、総合電界強度のみを計測する（周波数別に電界強度を計測することをしない）場合の計測値の信頼性を揺るがせる最も大きな問題であると思われる。ただし、計測で得られたデータの全体から判断する限り、携帯基地局からの電波の影響はほとんどの計測地点において微弱であったとみなしてもよいと思われる。

測定地点は、電磁波強度の方向別特性および距離特性を調べる目的に準じて、東京タワーを中心として半径2kmの港区内の地域において、原則的に16方位の直線上に約100m間隔で選定した。その他、その直線から外れた場合でも東京タワーが見通せる地点や、学校、病院、大使館など公共性の高い施設の前も測定地点とした。測定地点の総数は255地点である。なお測定値の再現性は、図5に示されるとおり、別の日（8月2日と10月11日）に同じ地点で計測した値の差異が2dBの範囲に収まっていることがわかり、比較的高いと推定できる。

測定は、2001年7月15日（日）、26日（木）、8月2日（木）、4日（土）、6日（月）、24日（金）、9月13日（木）、10時～17時に行なった。その後補足のため、2001年10月11日（木）、2002年1月18日

（金）、2月2日（土）12時～17時に再計測を行なった。天気はいずれの日も晴れまたは曇りであった。

再計測は、7、8、9月の測定で、典型的な距離特性を示していると考えられた方向や、特異な値を示した地点において、再現性および周辺の電力束密度の詳細を得る目的で行った。

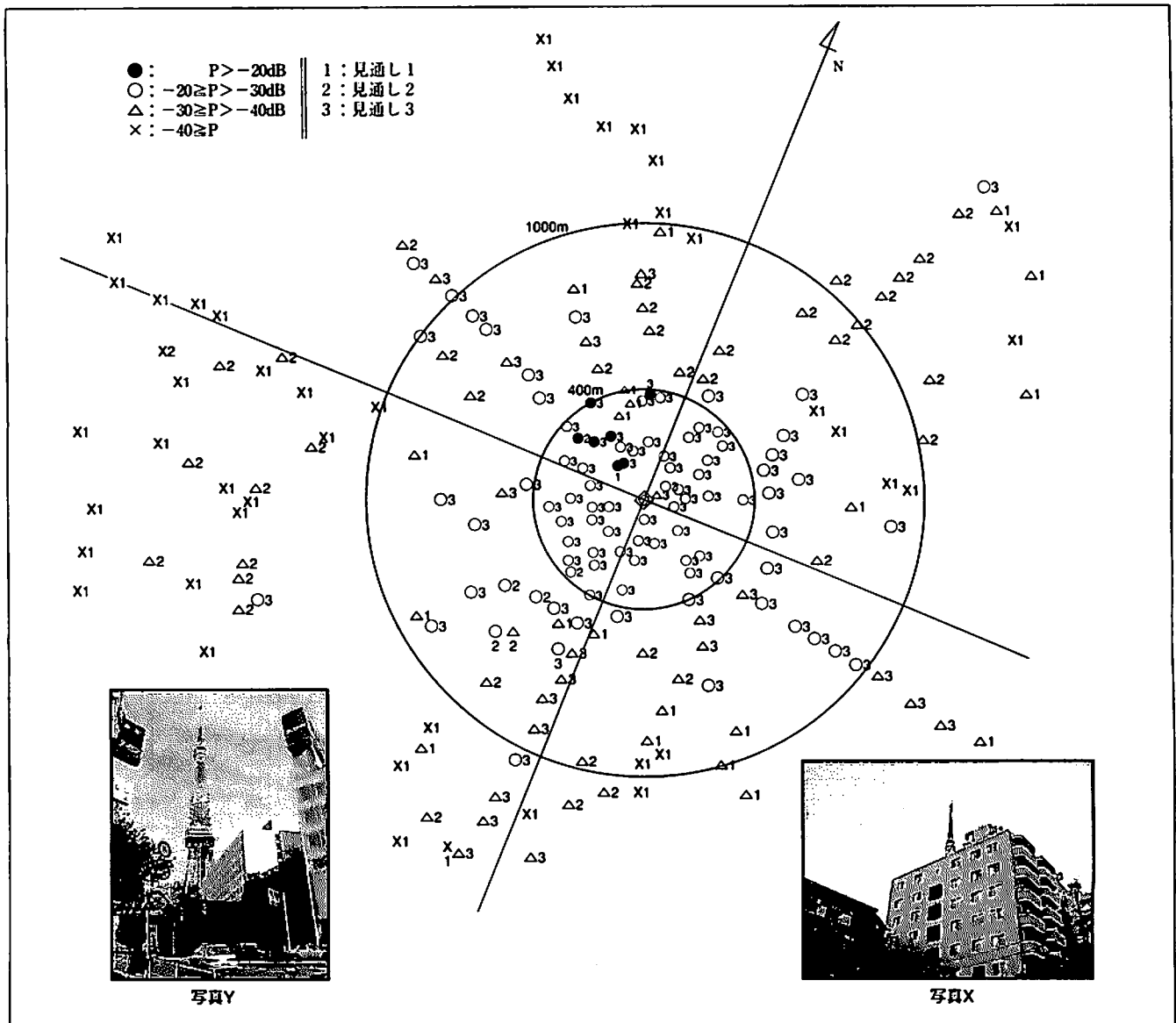
また、各測定地点での東京タワーの見通しの状況や、周囲の建物環境などの情報を、写真にとって記録した。

### 3. 結果

図2から図6に結果を示す。

図2は、全測定地点を、東京タワーを中心に半径400m以内、1km以内、1km以遠の地域に分け、それぞれ見通し別および電力束密度の相対レベル別に応じて記号で表わした分布図である。記号の形は電力束密度の相対レベルPを表わし、“●： $P > -20$  [dB(mW/cm<sup>2</sup>)], ○： $-20 \geq P > -30$  [dB(mW/cm<sup>2</sup>)], △： $-30 \geq P > -40$  [dB(mW/cm<sup>2</sup>)], ×： $-40 \geq P$  [dB(mW/cm<sup>2</sup>)]”である。記号横の数字（原則として右側に表記した）は見通し別を表わし、“1：見通し外、2：一部見通し内、3：見通し内”である。以下これらを「見通し1」のように表記する。「見通し2」（写真X）は、東京タワー特別展望台より上部、すなわち主にTV放送用アンテナが設置されている部分のみ見通すことができる状態である。「見通し3」（写真Y）は、東京タワー大展望台より上部、すなわちFM放送用を含むすべてのアンテナが設置されている部分を見通すことができる状態である。

図3は、全測定地点を、東京タワーを中心にその

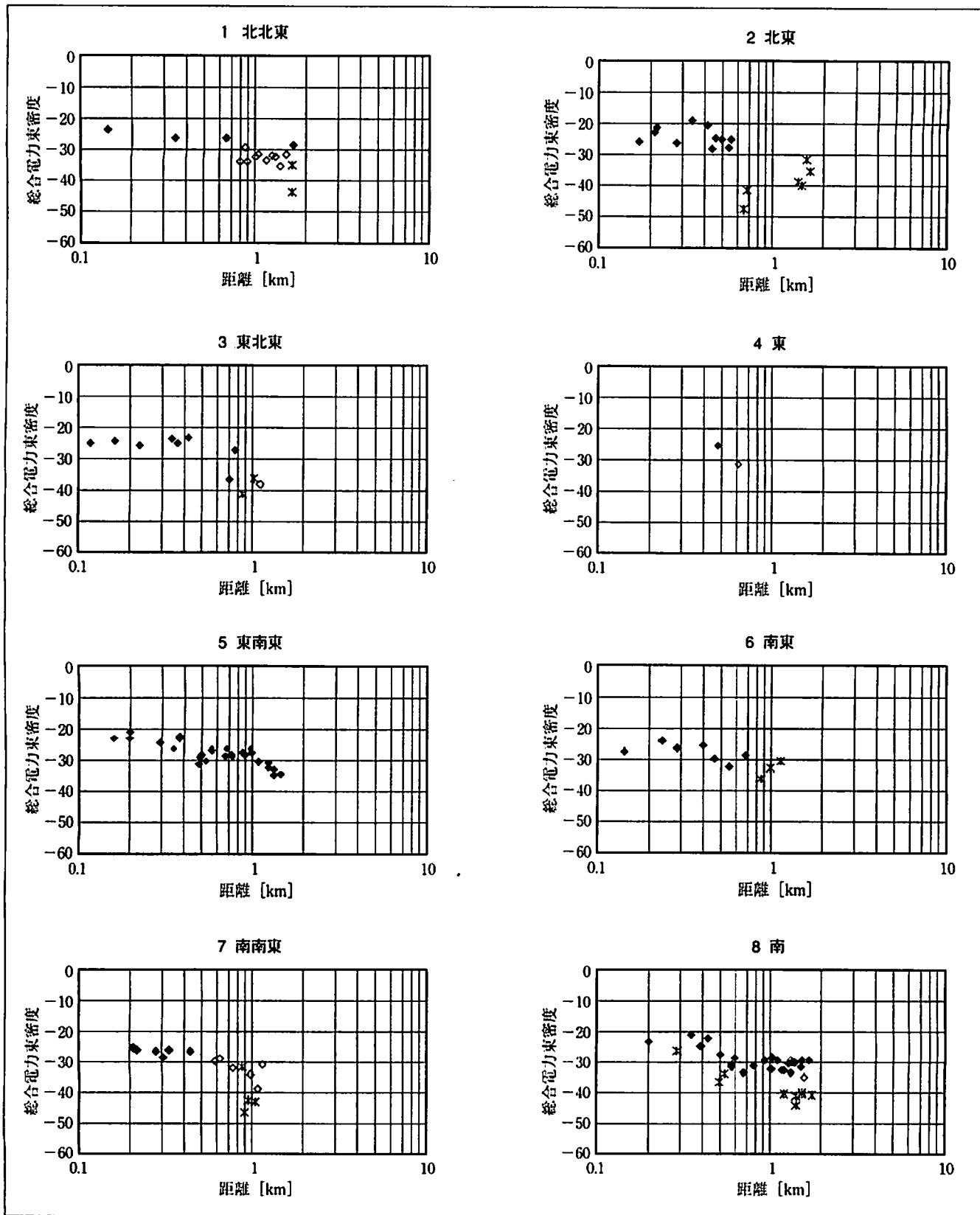


〔図2〕 測定地点における総合電力束密度のレベルおよびタワーの見通しレベル

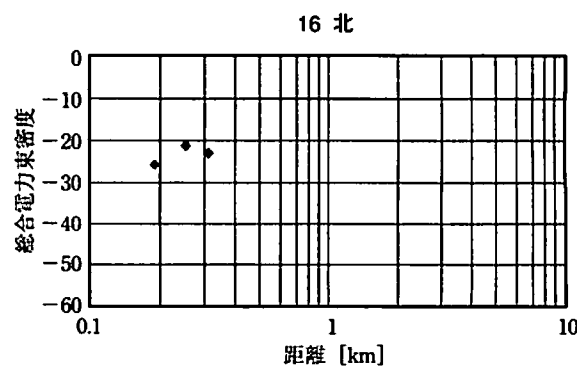
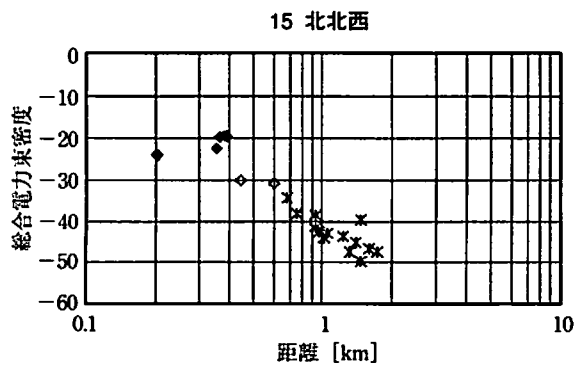
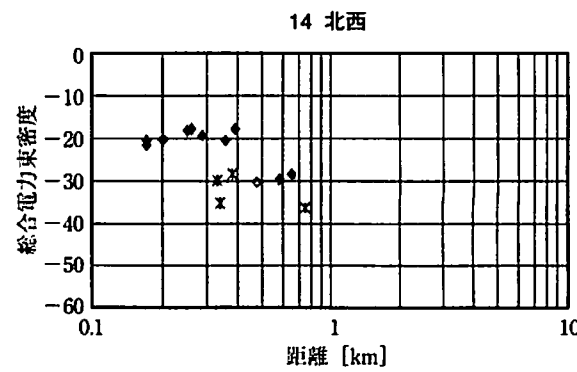
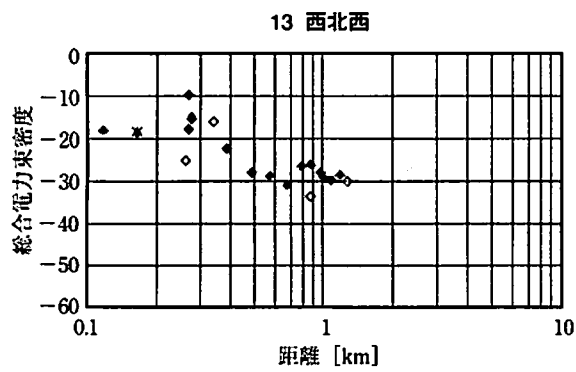
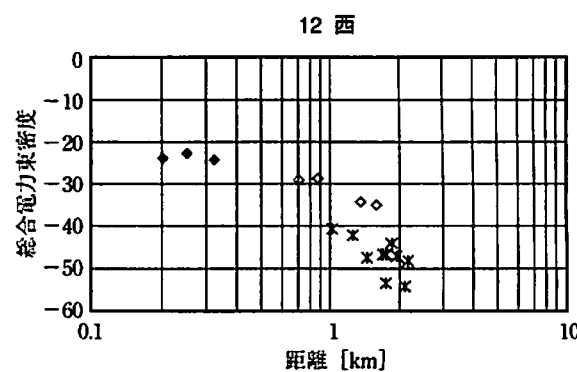
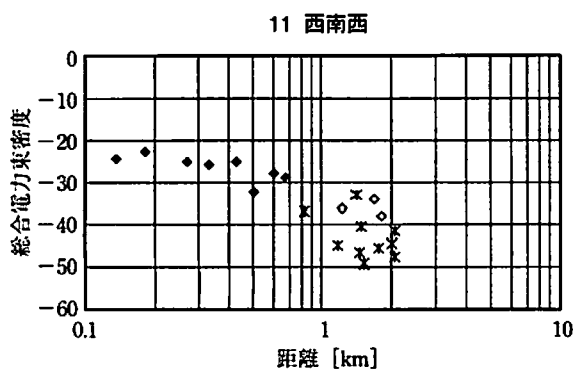
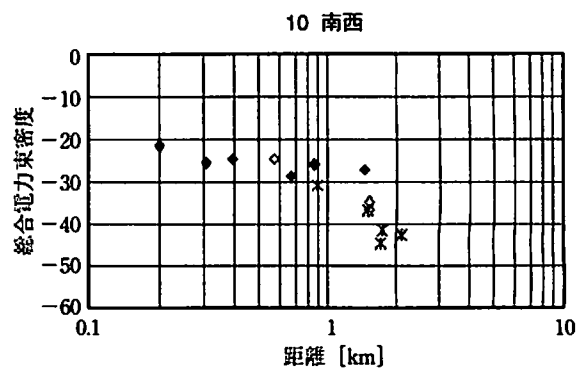
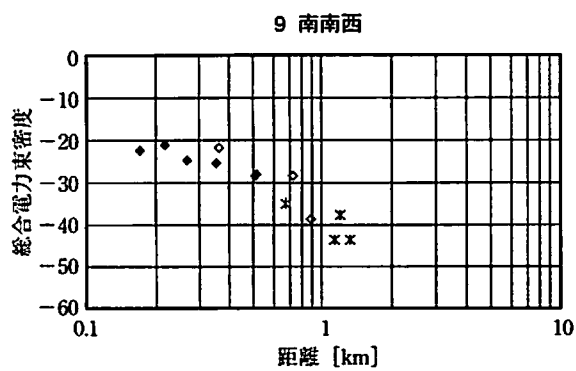
周辺地域を16方位が軸となるような扇形に分割される地域にわけ、方位別に縦軸に電力束密度、横軸に東京タワーからの距離を示した図である。記号の形は見通し別を表わし、“◆：見通し3、◇：見通し2、\*：見通し1”である。

図4から図6に、実際の計測結果の例を示す。これらの方向では比較的遮蔽が少なく、特に南方向および南南東方向では、東京タワーから1km以上はなれた地点においても見通すことができた。

表1に、測定地点の中から、近接して見通し

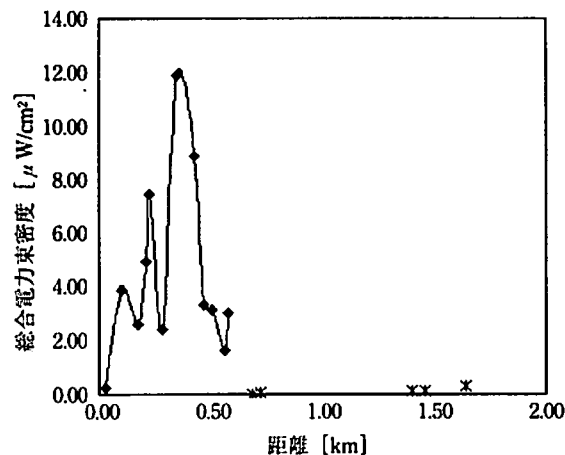


〔図3〕 方向別総合電力束密度 [dB (mW/cm<sup>2</sup>)] ◆：見通し 3、◇：見通し 2、\*：見通し 1 (その1)



〔図3〕 方向別総合電力束密度 [dB (mW/cm<sup>2</sup>)] ◆：見通し3、◇：見通し2、\*：見通し1（その2）

測定位置	見通し別	距離L [km]	総合電力束密度	
			$[\mu\text{W}/\text{cm}^2]$	$[\text{dB}(\text{mW}/\text{cm}^2)]$
			2001/8/6,25	
港工業高校	1	0.68	0.02	-47.8
慈恵医大	1	0.72	0.07	-41.8
新橋駅前	1	1.40	0.12	-39.1
信号(新橋二丁目)	1	1.46	0.10	-40.1
信号(内幸町)	1	1.64	0.27	-35.7
東京タワー入り口	3	0.03	0.23	-36.4
金地禪院	3	0.10	3.83	-24.2
都立芝公園(東京タワー北)	3	0.17	2.58	-25.9
都立芝公園(東京タワー北)	3	0.21	4.90	-23.1
正則学院南	3	0.22	7.48	-21.3
都立芝公園	3	0.28	2.40	-26.2
正則学院、芝高中間	3	0.34	11.91	-19.2
御成門小学校横	3	0.42	8.89	-20.5
歩道橋(御成門中学校前)上	3	0.47	3.32	-24.8
歩道橋(御成門中学校前)下	3	0.50	3.14	-25.0
御成門中学角	3	0.56	1.61	-27.9
慈恵医大付属病院裏	3	0.58	2.98	-25.3



〔図4〕北東方向の総合電力束密度

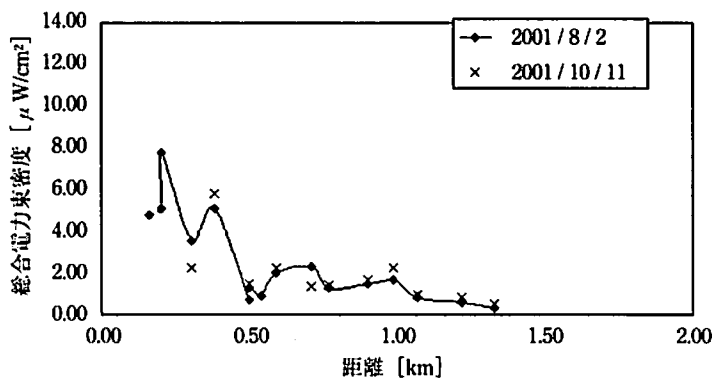
の度合いが異なる2つの測定地点における電力束密度を3組示した(地図上の位置は図13参照、写真A、B、C)。これらの測定地点のいずれにおいても、見通しが悪い地点の方が見通しの良い地点よりも電力束密度が5~15dB(mW/cm<sup>2</sup>)小さい。このことから、

測定結果を比較する際に、見通しの度合いも考慮すべきであると判断し、上記のように区分した。

#### 4. 考察

東京タワー放射電波の電力束密度の大きさの空間

測定位置	見通し別	距離L [km]	総合電力束密度		総合電力束密度	
			[ $\mu$ W/cm <sup>2</sup> ]	[dB(mW/cm <sup>2</sup> )]	[ $\mu$ W/cm <sup>2</sup> ]	[dB(mW/cm <sup>2</sup> )]
			2001/8/2		2001/10/11	
信号(東京タワー前)	3	0.16	4.75	-23.2		
明德幼稚園入り口	3	0.20	5.07	-22.9		
明德幼稚園入り口	3	0.20	7.73	-21.1		
増上寺本殿横	3	0.30	3.55	-24.5	2.25	-26.5
増上寺三門側	3	0.38	5.07	-22.9	5.78	-22.4
増上寺前	3	0.50	0.71	-31.5		
港区役所	3	0.50	1.27	-29.0	1.48	-28.3
都立芝公園	3	0.54	0.91	-30.4		
東京電力前	3	0.59	1.98	-27.0	2.29	-26.4
信号(芝大門)	3	0.71	2.32	-26.3	1.34	-28.7
マクドナルド前	3	0.77	1.32	-28.8	1.42	-28.5
信号(大門)	3	0.90	1.46	-28.4	1.66	-27.8
貿易センタービル角	3	0.99	1.68	-27.7	2.28	-26.4
浜松町駅	3	1.07	0.84	-30.8	0.94	-30.3
旧芝離宮恩師庭園入り口	3	1.22	0.60	-32.2	0.81	-30.9
信号(芝商業高校前)	3	1.33	0.31	-35.1	0.49	-33.1



〔図5〕南南東方向の総合電力束密度

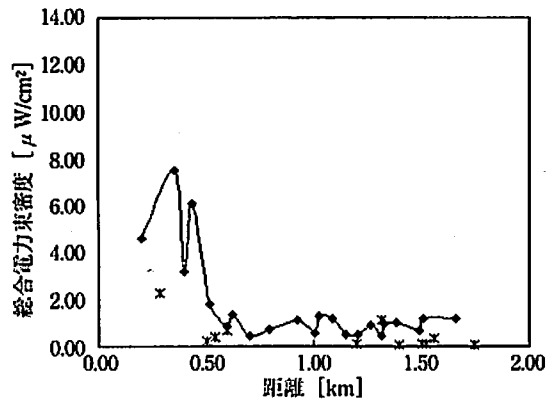
分布は、電波が自由空間内を伝搬していると仮定した場合に、設置されているアンテナの情報をもとに計算することができる（文献1、簡略化した算出法は文献3）。ここではまず発信元情報を提示し、実測値を解釈する上で必要な指向性の検討を行なった後に、結果で示した実測値について種々の考察を加える。

#### 4-1 東京タワー放射電波と発信アンテナ

東京タワーから放射されている電波は、70MHz台のFM放送から500MHzに近いテレビ放送まで多種にわたる放送局送信電波によって構成されている。その主だったものを表2に示す。放射される電波の強度や送信パターンは、周波数および実効輻射電力の他、各放送局のアンテナの特性（地上高、指向性、



測定位置	見通し別	距離L [km]	総合電力束密度	
			$[\mu W/cm^2]$	[dB(mW/cm <sup>2</sup> )]
			2001/8/4	
信号(東麻布一)	1	0.29	2.26	-26.5
日生ビル(チリ大使館)	1	0.50	0.22	-36.6
民生病院入り口	1	0.54	0.40	-34.0
三田国際ビル北角	2	0.59	0.65	-31.8
建築会館	1	1.20	0.09	-40.5
南海幼稚園前	2	1.31	1.10	-29.6
聖徳学園前	1	1.40	0.04	-44.0
普連土学園前	1	1.40	0.07	-41.3
三田中学正門前	1	1.50	0.10	-40.2
クウェート大使館正門前	1	1.52	0.09	-40.3
礼の辻交差点	2	1.56	0.32	-35.0
モザンビーク大使館前	1	1.75	0.08	-40.8
芝公園(東京タワー南)中心	3	0.20	4.55	-23.4
信号(東麻布一)南	3	0.35	7.59	-21.2
信号(赤羽橋)モービル前	3	0.40	3.18	-25.0
赤羽橋駅(赤羽橋出口)	3	0.43	6.09	-22.2
民生病院角	3	0.51	1.81	-27.4
芝宮路ビル前	3	0.59	0.82	-30.9
三田国際ビル	3	0.62	1.34	-28.7
三田国際ビル向かい	3	0.70	0.43	-33.6
	3	0.79	0.76	-31.2
信号(三田一)南	3	0.93	1.11	-29.5
芝信金	3	1.01	0.55	-32.6
慶応大学東	3	1.03	1.31	-28.8
信号(三田二)	3	1.09	1.19	-29.2
信号(三田二)	3	1.15	0.52	-32.8
富士銀行前	3	1.21	0.53	-32.7
	3	1.27	0.91	-30.4
三井住友銀行鶴道向い	3	1.31	0.43	-33.7
	3	1.33	0.94	-30.3
	3	1.39	1.00	-30.0
歩道橋(三田警察署北)	3	1.49	0.70	-31.5
礼の辻交差点	3	1.51	1.16	-29.4
信号(三田一丁目)	3	1.66	1.19	-29.2



〔図6〕南方向の総合電力束密度

〔表1〕見通しの度合いの違いと電力束密度の差

方位	測定地点 (図13参照)	見通し	距離 [km]	電力束密度 [ $\mu$ W/cm <sup>2</sup> ]	電力束密度 [dB (mW/cm <sup>2</sup> )]	差 [dB (mW/cm <sup>2</sup> )]
南	A 民生病院角	3	0.51	1.81	-27.4	6.6
	民生病院正面	1	0.54	0.4	-34.0	
南西	B 南麻布1-26-6	3	1.43	1.96	-27.1	9.7
	ギリシャ大使館公邸前	2	1.49	0.21	-36.8	
北北西	C 神谷町歩道橋下	3	0.4	11.28	-19.5	15.9
	八幡神社入口階段下	1	0.33	0.29	-35.4	

〔表2〕放送局の緒元 (発信元データ)

CH	音声周波数 [MHz]	映像周波数 [MHz]	出力 [kW]	実効輻射電力 [kW]	海拔高 [m]	空中線形式	空中線利得 [dB]	送信柱形式
1 (NHK総合)	91.25	95.75	50	250	340.2	ST6段	7.6	253四角
3 (NHK教育)	103.25	107.75	50	280	340.2	G共用	8.2	G共用
4 (日本テレビ)	171.25	175.75	50	370	291.6	2D8段4面	9.8	G共用
6 (東京放送)	183.25	187.75	50	370	291.6	2D8段4面	9.55	G共用
8 (フジテレビ)	193.25	197.75	50	370	305.3	2D8段4面	9.55	G共用
10 (テレビ朝日)	205.25	209.75	50	370	319.1	2D8段4面	9.55	G共用
12 (テレビ東京)	217.25	221.75	50	370	278.3	2D8段4面	9.55	G共用
14 (MX東京 メトロポリタンTV)	477.25	481.75	10	17	256.6	3素子配列 2L 2段15面	(情報未入手)	G共用
16 (放送大学)	489.25	493.75	50	330	278.1	2D8段4面	(情報未入手)	G共用
NHK FM	82.5		10	44	222.15	SG8段4面	6.9	253四角、G共用
FM東京	80		10	44	212	SG8段4面	7.3	RC局舎、G共用
放送大学	77.1		10	38	189.7	2L4段4面	(情報未入手)	RC局舎、G共用
FMジャパン	81.3		10	44	212	SG8段4面	(情報未入手)	253四角
FMインターウェーブ	76.1		10	11.5	165	2L 1段4面	(情報未入手)	254四角

ST : スーパーターンスタイルアンテナ  
 2D : 2ダイポールアンテナ  
 2L : 双ループアンテナ  
 SG : スーパーゲインアンテナ  
 G共用 : NHK総合と共用  
 空中線利得については文献1、それ以外は文献4、文献5による

配置位置など)によって決まり、それらが各局一様ではないので、実際に放射される電波のパターンは複雑になる。

東京タワーにおける各局のアンテナの配置状況は、タワー最上部(地面から放射面長中心までの地上高は324m)にNHK TV (1、3ch共用)があり、順

次下方へ10、8、6、4、12ch、放送大学テレビ、東京メトロポリタンテレビと配置され、特別展望台(地上高250m)を挟んで、そのすぐ下にFM 4局の共用(最下部で地上高206m)があり、そして大展望台(地上高150m)のすぐ上にFMインターウェーブが配置されている。

東京タワーの鉄塔は、真北より時計回りに36度の方向にN（北）面を向けた、東西南北4面からなり、設置されたアンテナはそれぞれの面にアンテナ素子を持つ。

#### 4-2 アンテナの水平ならびに垂直指向性

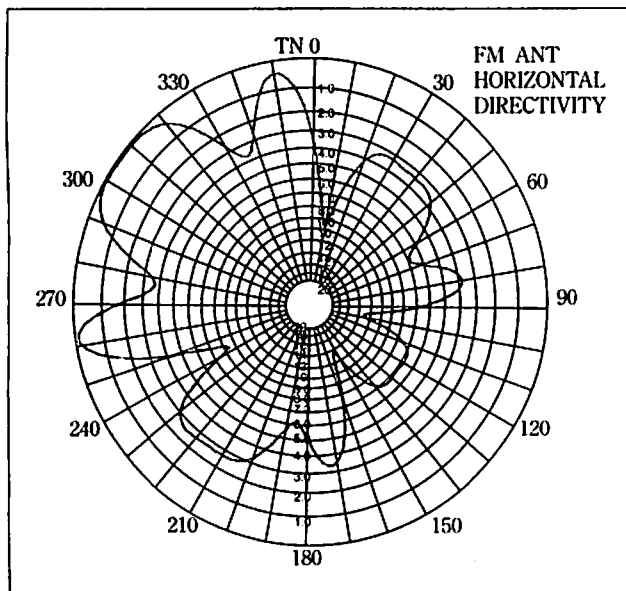
それぞれのアンテナはアンテナの種類と構造、設置具合に応じた水平指向性と垂直指向性を持つ。

東京タワーに配置されたアンテナ群の水平指向性について述べる。テレビ電波については4chを除き、音声指向性と映像指向性が一致している。各局アンテナの水平指向性の大きな傾向は、徳重<sup>1)</sup>によると「FM局の場合は鉄塔各面の素子E,W,S,Nの励振電力比がそれぞれ0.2：1：0.54：0.46に配分されており、東京湾方向には放射が抑えられている（図7）。NHK1、3chのスーパーターンスタイルアンテナの指向性はほぼ理想に近い無指向である。4chは映像と音声の電流の励振位相が異なっているため指向性が

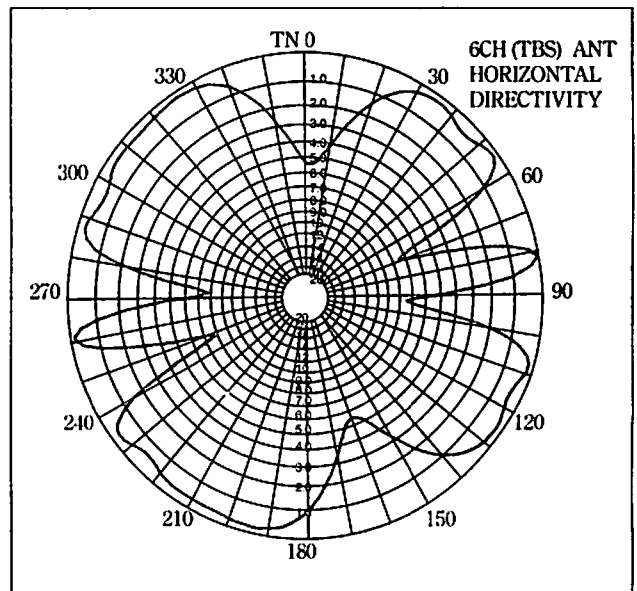
一部異なっている。4～12chについては、各面の電流励振比が同じであるにもかかわらず、やや複雑な指向性を呈しているのは、鉄塔の各正面E,W,S,Nでは、それぞれ電界強度が極大を示すのに対し、面で挟まれる角では両面から放射される電波の電界が同相になって強め合う方向と逆相になって弱める方向とが生じ、6方向に強く、2方向に弱くなっている（図8）。」

現在では、表1からわかるように、FM波が3波、TV波が4波（映像ならびに音声）新たに加わっている。新たなFM波およびTV波に関して上記の記述に示された指向性の特徴がほぼそのままあてはまるとするならば、FM波の指向性がかなり効いて、北西方向に比較的強い指向性を持つことが測定結果に反映するものと考えられることができる。

垂直指向性の場合に検討を要するのは、タワーに設置されたアンテナの放射中心から俯角

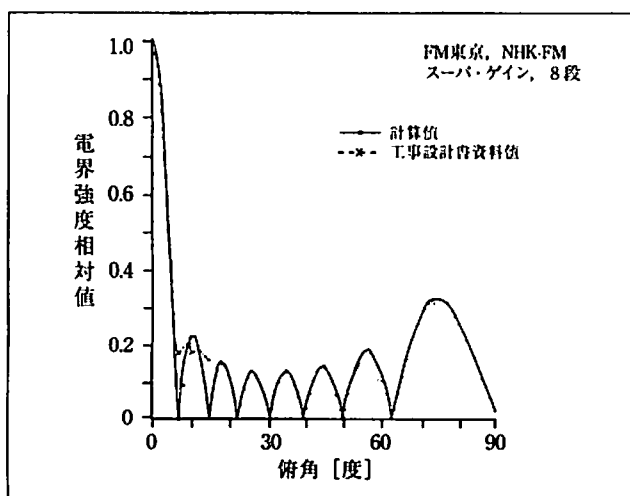


〔図7〕NHK FM、FM東京アンテナの水平指向性



〔図8〕6ch（TBS）アンテナの水平指向性

$\theta_N = \sin^{-1}(n\lambda/NS)$  (N段垂直配列、素子間隔S [m]、nは整数) で見下ろされる方向において電界強度がゼロになる、いわゆる“ヌル・アングル”が現われることである<sup>6)</sup>。理論的には、たとえばNHKFM・東京FM波の場合 (N=8)、俯角がそれぞれ90度、62度、50度、40度、30度、22度、15度、7度あたりでヌル・アングルが現われるが (図9)、実際にはヌル・アングルを抑制するために、上下の素子群の励振電力比や位相差を変える対策がとられていたりする。また、総合電力束密度で考える場合は、各波の重ね合わせが効いて垂直指向性による極端な落ち込みが消失してしまう。たとえば、新しく加わった7波を除いた16波でみると、1km域内における総合電力束密度の理論計算値は、受信アンテナが地上高2m、東京タワーから330度の方向で、-20dB (mW/cm<sup>2</sup>)から-40dBの幅に収まる範囲で約70m、180m、290m、400m、580m、850mのあたりで極大となりながら減衰していく変動を示す (図10のグラフ Pf : Pfは総合電力束密度の自由空間伝搬計算

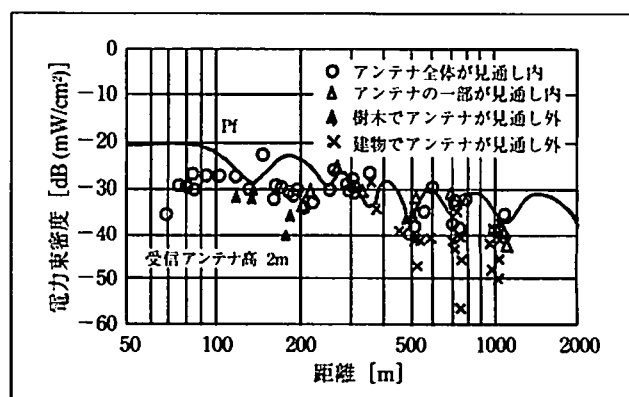


〔図9〕NHK FM、FM東京アンテナの垂直指向性

値。図中の測定値は1983年5月、6月に行なわれた徳重の計測によるもの。

新しい電波が加わった現状においても、理論値はほぼ同様の変動を示すだろうと推定できる。ただし必要な発信元データが入手し得ない限り、垂直指向性が距離特性にどれだけ寄与するかを計算することはできない。しかし、総合電力束密度が距離が大きくなるにつれて多少の増減を繰り返しながら減衰していくというパターンを生み出すことに、垂直指向性が関係するだろうことは予想できる。(図7～図10はすべて文献1より引用。ほぼ同じ図は文献2にもある。)

なお、垂直指向性と場所特性を考える際に無視しえないのが、測定地点の標高の問題である。自然の土地の起伏や高層建築物の地上階でタワーとの標高差が小さくなる場合、その場所における電界強度には、メインローブ (垂直指向性の割合が最大) の寄与が大きくなる。したがって本来は個々の測定地点における標高を考慮したデータ処理がなされるべきである。しかし、今回計測した半径2km域内においては、東京タワー (標高16m) との標高差は最大で



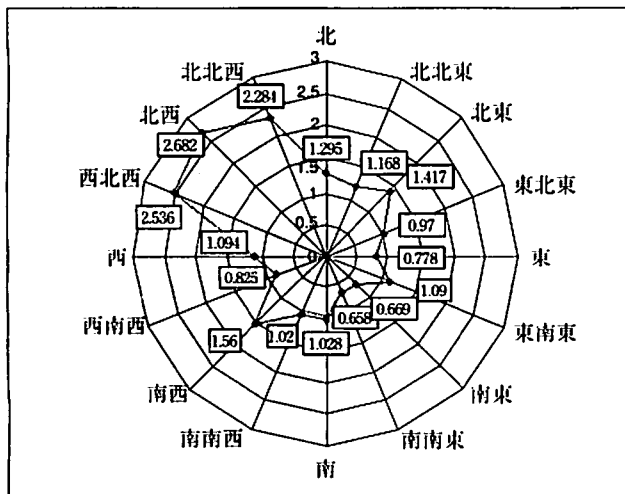
〔図10〕総合電力束密度の距離特性

10m前後に収まっており、標高の違いによって生じる垂直指向性寄与の変化分は、その標高のために「見通し」が変化する（あるいは変化しない）ことに含めて考えることができるものとみなした。

ただし、たとえば地上高100mを超えるような高層建築物の地上階では、伝搬経路に遮蔽物がなくメインローブの寄与が大きくなるため、当然電力束密度が高くなると予想できる。新しく加わった7波を除いた16波で計算した場合、徳重<sup>1)</sup>によると、地上高290m、方位300～330付近で、距離100mあたりで最大の電力束密度を示し、その値は0dB (=1mW/cm<sup>2</sup>)である。また距離1kmの所にサンシャイン60と同程度の高さ(約220m)の高層ビルが305度の方向に建設されたとすると、その屋上では-19dBとなる。

#### 4-3 方向特性

発信元データから算出した理論値から、東京タワー全体としての水平指向性にはFM電波が持つ北西

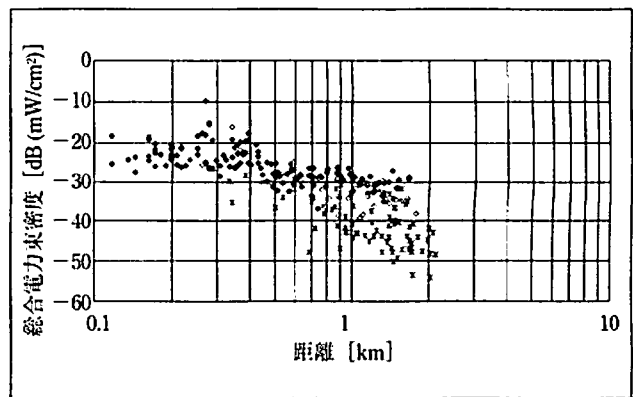


〔図11〕 方向別に見た電力束密度の指標

方向の指向性が比較的強く反映するだろうことが予測できた。図2に示された実測値においても、おおよそその傾向が現われているとみることができる。-20dB以上を示す地点は、西北西、北西、北北西のいずれかに分類される地点である。そこで我々はこの傾向を数値化して点検する一つの方法として、「見通し3」に属する強度データを距離で重み付けして方向別に比較することを採用した。すなわち、個々のデータについて [電力束密度計測値] × [タワーからその地点までの地上での距離] を計算し、それらの各方向ごとの平均値をとって比較した。その結果を図11に示す。

#### 4-4 距離特性

図12には計測した全地点でのデータを見通し別に記号(図3に準ずる)を分けて、距離と総合電力束密度との対応で示した。表3のとおり、東京タワーから450m以内の地域の「見通し2、3」の地点についてはすべて、-30dB以上であることがわかった(ただし、東京タワーの足元での値は例外とみなした)。この範囲内において、「見通し1、2」でありながら-20dB以上の値を示した地点があった。



〔図12〕 全測定点

450m以遠2km以内では「見通し2、3」の地点は-25dB以下-40dB以上であった。「見通し1」の地点は-25dB以下であった。

#### 4-5 地上の遮蔽物の影響をどうとらえるか

東京タワー周辺地域では東京タワーにかなり近い場所であっても高いビルに遮られて充分に見通せないという場所が少なくない(図2の「見通し1」)。また電波が伝搬する支配的な経路が存在する場合でも、それ以外にも多くの経路が存在し、その経路群による電波の反射や回折による複雑な多重干渉が起こり、空間的な定在波を生じる(マルチパスフェージング)。この場合、1波長程度の移動で電力束密度が10倍(10dB)以上変動することも珍しくない<sup>7)</sup>。

そこで電力束密度が、自由空間伝播波と大地反射波との干渉の影響が支配的であろうと考えられる広場での測定値と、周囲の建物による回折や反射の効果が複雑に絡み合って影響するだろうと考えられる環境での測定値の変動を比較した。広場での定在波のパターンをつかみ出し、そのパターンを一つの手がかりにして、それとは違ったパターンの定在波が存在する場所を持つ特異性を、ある程度探り出すことができるのではないかと考えた。

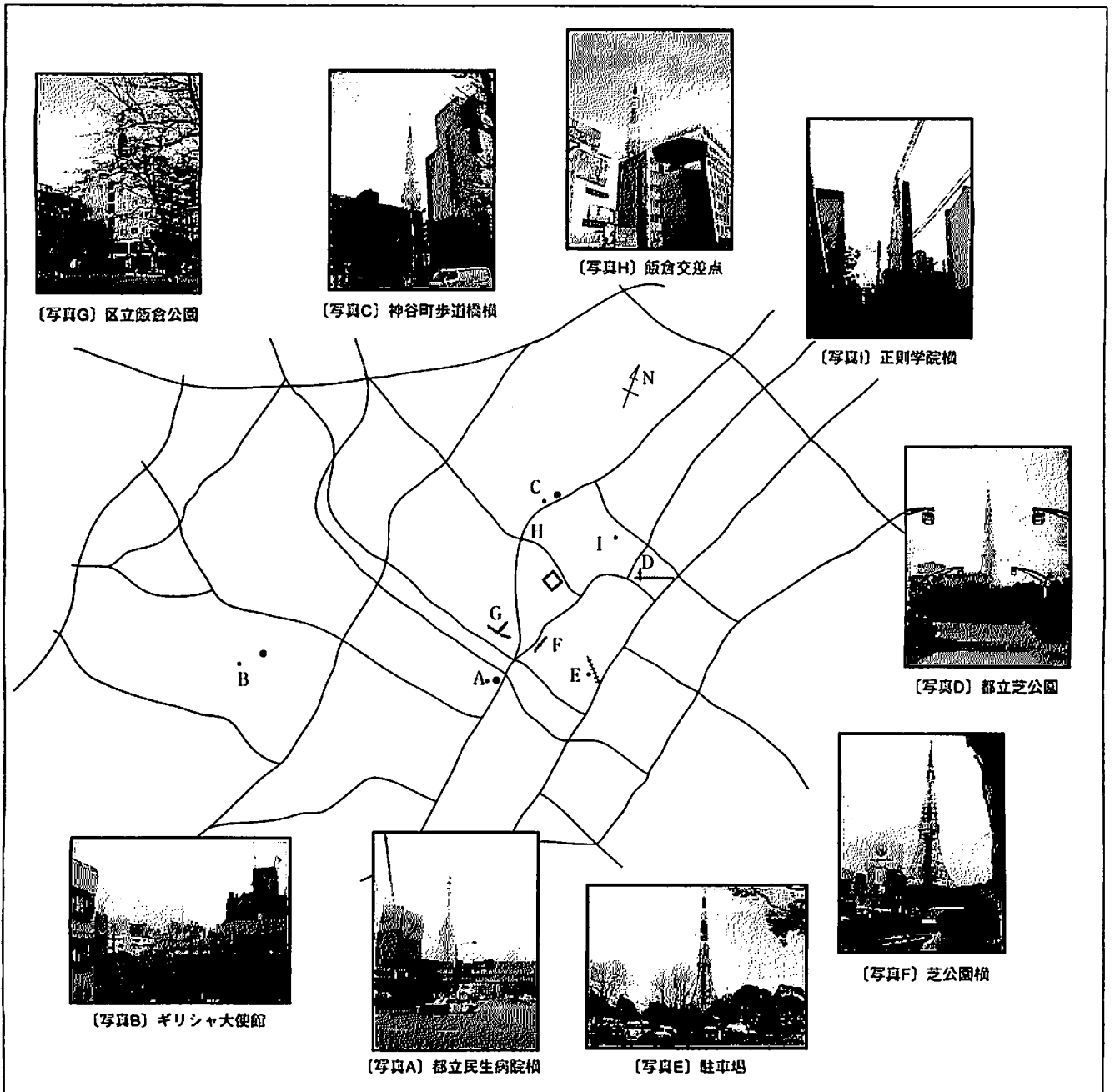
図13に比較に用いた測定地点を示す。東京タワーより東北東の方向約500mに位置する都立芝公園(図中D、写真D)、および南東の方向約500mに位置する駐車場(図中E、写真E)内は、周囲の建物から50m以上はなれており、前方に遮蔽物が少ないた

〔表3〕見通しごとの総合電力束密度の距離特性

	450m以内	450m~2km
見通し2、3の地点	-30dB以上	-25dB~-40dB
見通し1の地点	-30dB以上	-25dB以下

め「見通し3」で東京タワーをよく見通すことができる。また南南東の方向約300mの都立芝公園入り口(図中F、写真F)では、前方3mに車道があり、周囲には樹木が立ち並んでいるが、「見通し3」である。一方、東京タワーより南南西の方向約300mの住宅地の中に位置する区立飯倉公園(図中G、写真G)は、周囲を4~8階建ての建物で囲まれており、東京タワーは前方の8階建ての建物に遮られて「見通し2、1」となる。これら4地点で、東京タワーを中心とする放射線上(縦移動)およびそれに直交する直線上(横移動)に2~5m間隔で、総合電力束密度の測定を行なった。結果を図14から図17に示す。(横軸は対数目盛でないことに注意。これら4地点は東京タワーからの距離に大きな差がないこと、および各地点での移動距離が比較的短いことを考慮した。)

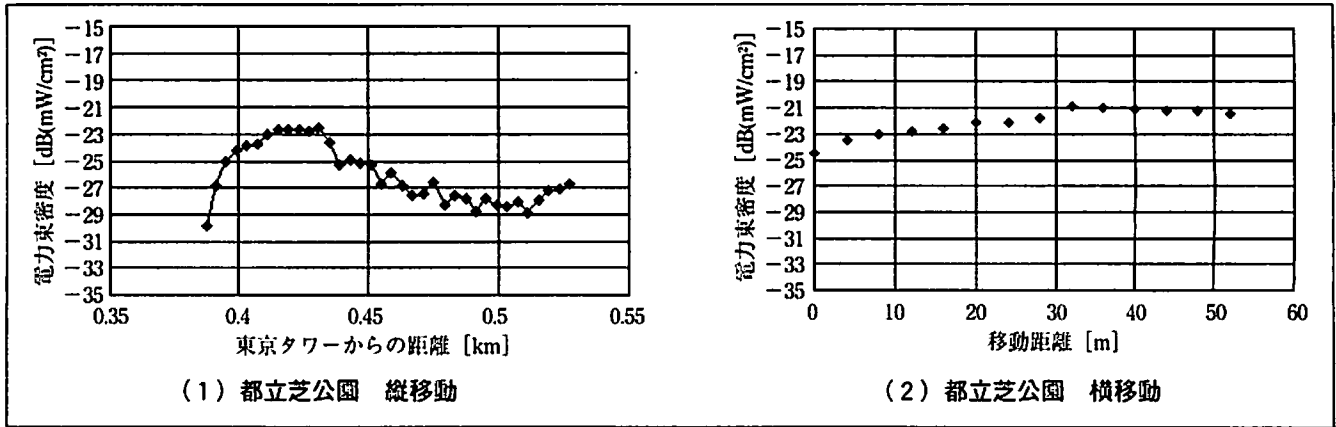
図14-1、15に示された両地点は、東京タワーからの距離、周囲環境ともよく似ているが、都立芝公園内でのみピークが現われた。これは指向性の違いによるものと考えられる。ピークの後の減衰領域に限って言えば、2dB(mW/cm<sup>2</sup>)以内の幅で変動しながら、変化割合0.066(表4の①)と0.063(表4の③)でほぼ同様に減衰していく様子が見られ、非常に安定した推移であると判断できる。図14-2についても、40mの移動で4dB(mW/cm<sup>2</sup>)以内の変動(表4の②)しか見られず、安定していた。また図16に示された芝公園入り口では、前2地点に比べて移動距離は短いものの、同様に非常に安定した推移を示している。変化割合は0.097(表4の④)であり、前2地点より若干大きい、東京タワーにより近い地点であるためと考える。電波送信源からの距離に



〔図13〕 考察のための再計測地点

応じて変動の大きさが変化することは、図10からも推測できる。

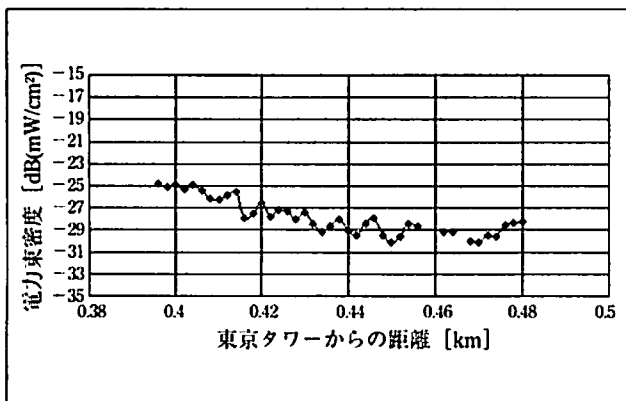
これら3地点と比較して、区立飯倉公園内での変動は非常に大きいといえる。図17-1に示された



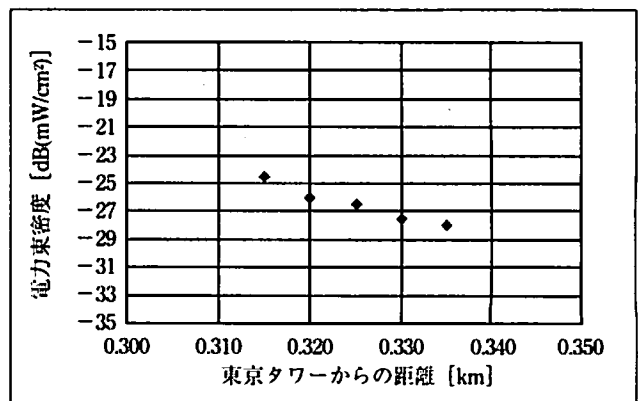
〔図14〕 都立芝公園内の計測値

〔表4〕 4地点での「縦移動」「横移動」に伴う電力束密度の変化割合

地点	東京タワーからの方向と距離	縦移動での電力束密度の変化割合	横移動での電力束密度の変化割合
地点D 都立芝公園	東北東 約500mの広場	$6.3\text{dB}/96\text{m} \div 0.066$ [dB/m] ……①	$4\text{dB}/40\text{m} = 0.1$ [dB/m] ……②
地点E 増上寺横駐車場	南東 約500mの広場	$5\text{dB}/80\text{m} \div 0.063$ [dB/m] ……③	
地点F 都立芝公園入口	南南東 約300m	$3.4\text{dB}/35\text{m} \div 0.097$ [dB/m] ……④	
地点G 区立飯倉公園	南南西 約300m	$9.1\text{dB}/26\text{m} \div 0.35$ [dB/m] ……⑤	$10\text{dB}/20\text{m} = 0.5$ [dB/m] ……⑥



〔図15〕 増上寺横駐車場内での計測値

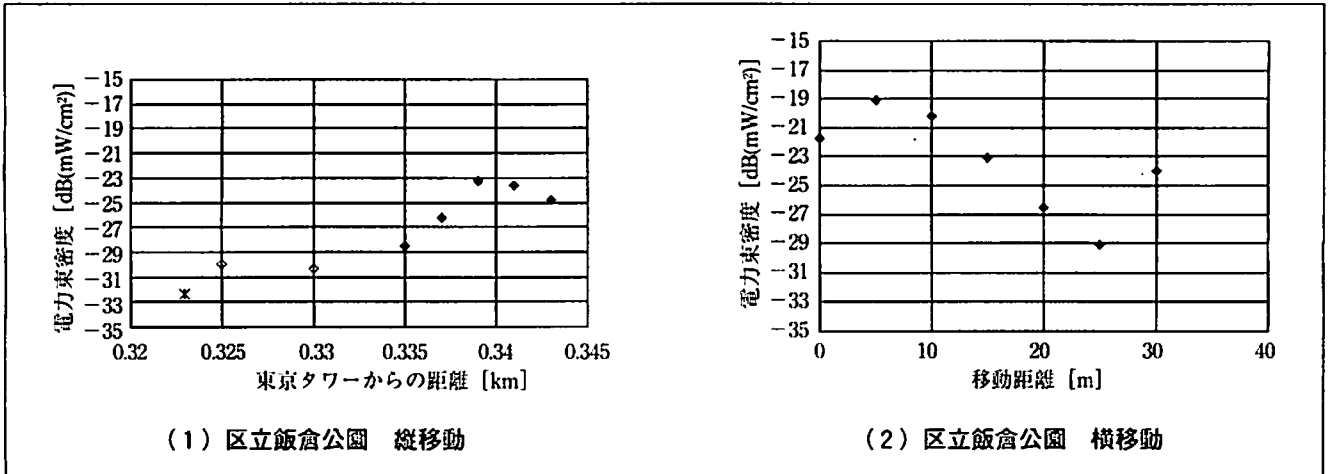


〔図16〕 芝公園入口での計測値

縦移動では、前方の建物に近づき、東京タワーの見通しが悪くなるにつれて、総合電力束密度が変化割合0.35（表4の⑤）で急激に減少した。これは、都立芝公園および駐車場内での変化割合に比べて約5

倍大きい。また東京タワーからの距離が同程度である芝公園入り口での変化割合に比べても約3倍大きい。見通しの度合いや、周囲の建物環境が大きく影響していると考えられる。図17-2に示され





〔図17〕区立飯倉公園内での計測値

た横移動についても同様で、20mの移動で10dB(mW/cm<sup>2</sup>)の変動(表4の⑥)が見られた。都立芝公園内での横移動の変化の割合(表4の②)の5倍の大きさである。これらを考慮すると、この地点での総合電力束密度は前3地点に比べて特異的な変動を示していると判断できる。

以上の区立飯倉公園で見られたように、短い距離の移動で総合電力束密度が大きく変動する地点が、全測定点中に他にも存在した。これらの特異的な値を示す地点について、その要因を周囲の建物環境とあわせて次に考察する。

#### 4-6 特異的に高い電力束密度を計測した地点

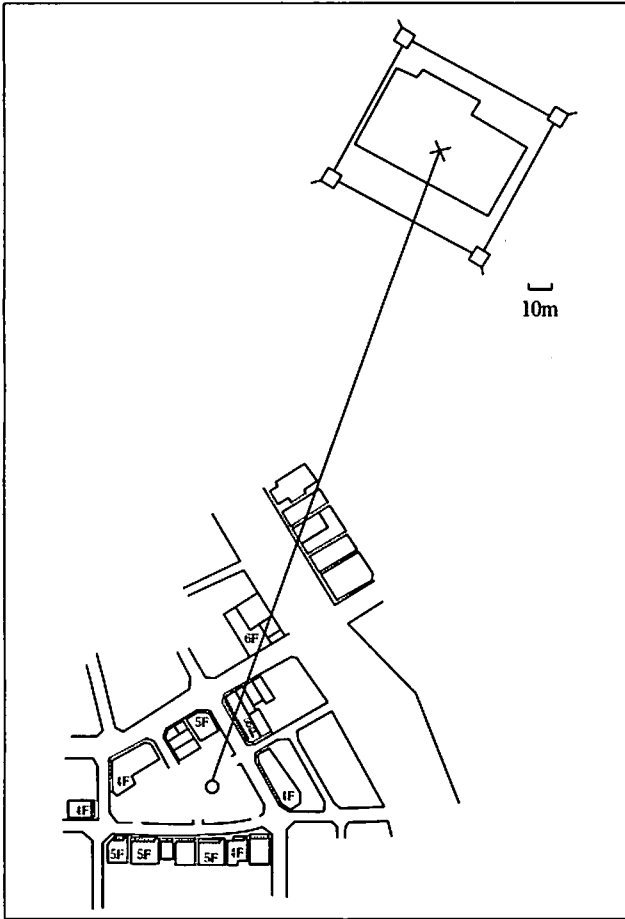
市街地における電波の伝搬特性を調べるには、地形や地上遮蔽物(地物)によって生じる電界強度の減衰量と変化量を求めることが必要である。地物の複雑な状況に応じてそれらの量を計算することは、今日でも理論的研究の対象となっていることであり、実際的には、これまでなされてきた多数の実験資料の積み重ねとその統計処理に基づいて得られた

経験的な推測式を用いて、地物の効果を統一的に把握し、場所に応じた変動特性を確定することが多いように思われる。たとえば移動体通信の場合、同一距離を保っている時でも開放地から市街地に入ることによって電界強度の平均レベルが30dBから40dBもの大きな変化を示すことが知られているが、そうした実測値に基づきながらいくつかの地形パターンに応じて電界強度の距離特性を補正する方法が考察されている<sup>8, 9)</sup>。

東京タワー周辺地域において、電力束密度の大きさもしくは変化の具合が他の地点と比べて特異的に大きいとみなせる地点がいくつか存在した。そのうちの3地点について、電波伝搬の特性を決めることに関連するかもしれない地物等の情報を整理し、今後の検討のための素材としたい。

#### ①区立飯倉公園(南南西323m~343m、図18、写真G)

東京タワーに向かう前方に8階建てビルがそびえる。そのビルから30m手前の地点で、「見通し



〔図18〕 G 区立飯倉公園

1]となる。公園内での「縦移動」での電力束密度の変化は図17に与えた。表4に見るとおり、距離特性では説明しきれそうにない大きな変動を示している。建物エッジの回折効果、背後の4、5階の建物の反射の影響もあると推定できるが、それだけで説明することは難しい。他の電波放射源の可能性も否定できない。

②飯倉交差点（西北西267m、図19、写真H）

今回計測した地点の中で、飛び抜けて高い電力束密度を示す。-9.9dB（約101  $\mu$  W/cm<sup>2</sup>、10月

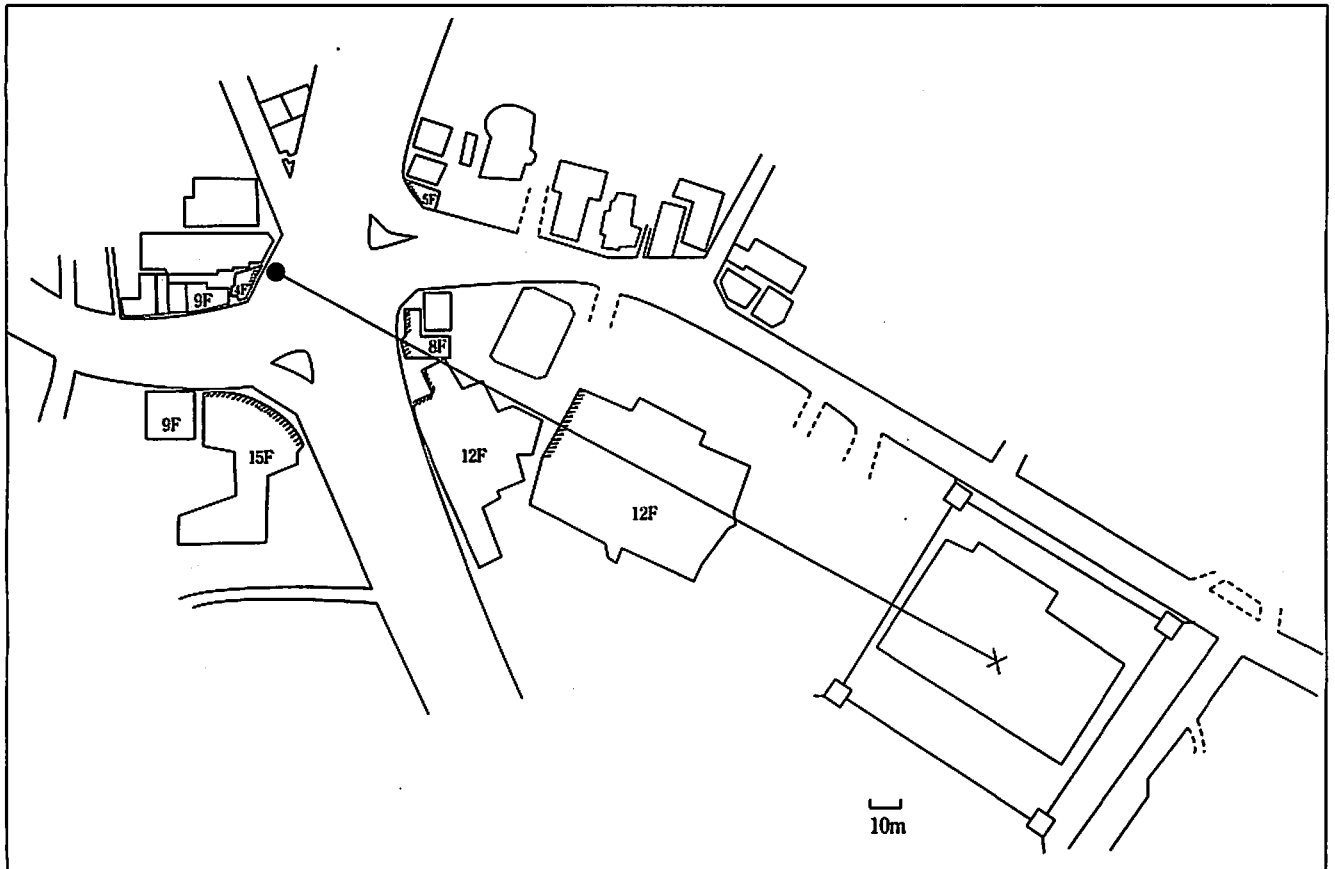
11日）や-10.4dB（約92  $\mu$  W/cm<sup>2</sup>、8月25日）といった値が再現性をもって計測された。横移動でその地点から3mもずれると、-20dB台に値は落ちる。東京タワーに向かうの方向の前方43mに8階建てのビルがあり、測定地点の背後の4mの地点に4階建てのビルがある。右手前方に15階のビル、左手前方に5階のビルがある。これほど大きな値は、直接波を形成する複数の周波数の波の位相が偶然一致し、さらにそれに加えて反射波・回折波の位相も一致したためであろうか。気になるのは携帯電話基地局の存在である。背後の4階のビルの屋上に1基、200mから400mほど離れた範囲にある左手神谷町方向の桜田通りに沿って数基ある。やはり区立飯倉公園と同様、それ以外の放射源の影響も否定できない。

③正則学園通路の変動（北東336.6m、図20、写真I）

周辺の測定地点に比べると、1点だけ目立って-19.2dB（約12  $\mu$  W/cm<sup>2</sup>）という高い値を示した。この地点が興味深いのは図20でわかるとおり、測定地点が幅3m、長さ70mの細い通路の出口に相当していることである。その通路の両脇には高さ3、4、5階の建物が並ぶ。通路の入口にあたる地点（東京タワーに65m近づく）では-26.2dBであり、かなり大きな変動を示している。トンネル型の通路の形状が影響して反射波の位相が一致する点となるのであろうか。測定地点の後方13.3mに5階の建物が存在する。

5. むすび

東京タワー周辺地域半径2km圏内255地点での総合電力束密度を計測し、その分布を示した。半径

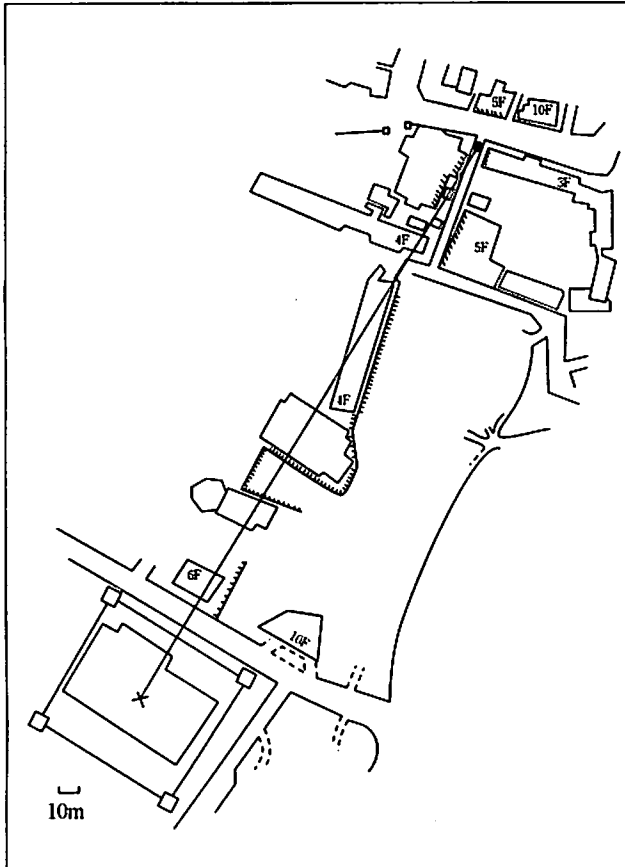


〔図19〕H 飯倉交差点

450m 以内のほとんどの地点では  $-30\text{dB}(\text{mW}/\text{cm}^2)$   $\sim -10\text{dB}(\text{mW}/\text{cm}^2)$  となった。この結果は、人口密集地域における長期間恒常的な電磁波被曝の影響を考える上で、注目に値するものと思われる。簡易計測ではあるが、多くの地点で得られたデータを適切に比較することで、放送電波の場所特性に関する考察がすすめられる可能性を示唆した。なお、筆者たちは今回得られた計測データをもとに、放送タワー周辺地域を対象になされた海外での疫学調査結果との比較を試み、環境リスク面について考察することを予定している。

#### 謝辞

私たちの計測調査に先行する研究の実施者であり、この度は資料をご提供のうえ種々のご指導をくださった徳重寛吾先生（拓殖大学工学部物理学実験室）に感謝いたします。また電波伝搬などに関してご教示くださった高田潤一先生（東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻）ならびに赤池正巳先生（東京理科大学工学部第一部電気工学科）に感謝いたします。私たちの調査結果をご議論いただき、資料をご提供くださった総務省総合通信基盤局電波部電波環境課の方々、計測器をお貸しくださっ



〔図20〕I 正則学院横

た山中登志子さん（元「週刊金曜日」編集部）、そして「科学と社会を考える土曜講座」の「電磁波プロジェクト」メンバーとしてともに測定活動に従事し様々なご協力をいただいた坂上友紀さんと懸樋哲夫さんに感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 徳重寛吾「東京タワーから放射されるTV・FM放送波による近傍地域の電力束密度分布」東京電機大学大学院修士論文,昭和58年2月
- 2) 徳重寛吾ほか「電波搭近傍地域におけるTV・FM放送波の電力束密度の推定及び測定 (I)」『電波研究所季報』pp.171-183, vol.30, No. 155, 1984
- 3) 『電波防護のための基準への適合確認の手引き』総務省総合通信基盤局電波部電波環境課
- 4) 牧野鉄雄ほか「ヘリコプター搭載カメラに対する東京タワー送信電波の影響について」『放送技術』6月号,1999年
- 5) 全日本テレビジョンサービス (編)『全国テレビジョン・FM・ラジオ放送局一覧』全日本テレビジョンサービス1997年
- 6) 遠藤敬二『TV・FM放送アンテナ』日本放送出版1966年
- 7) 細矢良雄 (監修)『電波伝搬ハンドブック』リアライズ社1999年
- 8) 奥村善久、進士昌明 (監修) 電子通信学会 (編)『移動通信の基礎』コロナ社1986年
- 9) 奥村義久ほか「陸上移動無線における伝ぱん特性の実験的研究」『研究実用化報告』第16巻第9号pp.1705-1764, 1967年

## 高周波デバイス・部品と機器設計

■定価49,000円

■372頁 (B5判)

■資料コードNo. 279701-511

ミマツコーポレーション実用書販売係

■つくば事業所 〒300-2622 つくば市要443-14

■お申し込みは当社まで、FAXにてお願いいたします。

電話 (0298) 77-0022 (代表) FAX (0298) 77-1030