

5-2 電波ばく露レベルモニタリングデータの取得

5-2 Measurement of Electromagnetic Field Exposure Levels

大西 輝夫 飛田 和博 幾代 美和 江崎 かおる 多氣 昌生 渡辺 聡一

ONISHI Teruo, TOBITA Kazuhiro, IKUYO Miwa, ESAKI Kaoru, TAKI Masao, and WATANABE Soichi

電波ばく露レベルモニタリングデータの取得・蓄積・活用のプロジェクトとして、屋内外における携帯電話基地局及び放送送信所からの電波を対象とした測定を行った。また、電測車による広域の測定を行った。屋外において携帯電話基地局からの電波ばく露レベルは、約 10 年前に比べて上昇傾向にあるものの、電波防護指針に対して十分に低いレベル(約 0.01% 以下)であることを確認した。放送送信所周辺においても同程度であった。一方、住居内は携帯電話基地局だけでなく無線 LAN も主な波源であることがわかった。但し、電波防護指針に対して約 0.003% と十分に低いレベルである。また教室内のレベルは、PC を無線接続で使用した場合でも住居内のレベルと同程度であることがわかった。さらに、日本橋を中心とした半径 100 km 内を総走行距離約 15,000 km の測定を実施した。特に人口密度と電波ばく露レベルは正の関係があることがわかった。

A project of acquisition, accumulation, and applications of monitoring EMF exposure levels in Japan was started in 2019. In this project the following measurements were performed: measurement of radio waves from mobile phone base stations in outdoor and underground areas, broadcast transmission stations in outdoor areas, mobile phone base stations, wireless LAN and broadcast transmission stations in residences and classrooms. Radio waves from mobile phone base stations and broadcast transmission stations were measured with car-mounted equipment around Tokyo within 100 km radius also performed.

1 まえがき

我々の身の周りには電波を利用した様々な機器があふれているが、放送、携帯電話システム、無線 LAN 等からの電波は、電波防護指針 [1][2] に基づき、人体に悪影響を及ぼさない範囲で利用されている。他方、海外では、第 5 世代携帯電話(5G)からの電波による健康不安が 5G の展開の障害となっているという事例もあり、我が国においても一部で不安の声が上がっている。このような不安の理由の一つとして、電波は確実に身の周りに存在しながら、目に見えないために、どのような強さなのか分からないということが挙げられる。海外においては、携帯電話基地局アンテナの情報や電波ばく露レベルのモニタリング結果をホームページ等で公開している [3]-[5]。また、欧州では研究助成プログラムである Horizon Europe [6] において、2 つのプロジェクト SEAWave (Scientific-Based Exposure and Risk Assessment of Radiofrequency and mm-Wave Systems from children to elderly (5G and Beyond))

[7]及び GOLIAT (5G expOsure, causaL effects, and rIsk perception through citizen engAgemenT) [8] が 2022 年に開始された。各プロジェクトは複数のワークパッケージに分かれており、電波ばく露レベルモニタリングやリスクコミュニケーション等の研究を行っている。

一方国内では、総務省の「生体電磁環境に関する研究戦略検討会」にて、電波の安全性に関する中長期的な研究のあり方について検討を行い、研究手法ごとの具体的な研究の方向性や 2040 年までの中長期的なロードマップ等について 2018 年に報告書に取りまとめている [9]。報告書では、リスクコミュニケーションに関する研究に関して、様々な発生源からの電波の強さを網羅的に測定してそのデータを長期的に蓄積し、電波ばく露レベルの情報を広く共有することを求めている [9]。上記のニーズを受け、情報通信研究機構(NICT)では、情報通信分野を専門とする我が国唯一の公的研究機関として、電波ばく露レベルモニタリングデータの取得・蓄積・活用の研究を 2019 年度(令和元年度)に開始した。本研究は、主に日常生活におけ

5 電波ばく露レベルモニタリング

る電波環境を網羅的に明確にするとともに、電波利用の発展と拡大にともなうリスクの可能性についての適切な説明と対話を可能にするリスクコミュニケーションの在り方を示すことを目的としている。

本稿では、電波ばく露レベルモニタリングデータの取得として、スポット測定と電測車による測定について述べる。スポット測定として、屋外及び地下街における携帯電話基地局（以降、屋外（携帯電話基地局））からの電波、屋外における放送送信所（以降、屋外（放送））からの電波、住居内・教室における携帯電話基地局・端末及び放送送信所（以降、住居内・教室）からの電波を対象とした。また、電測車による測定では、携帯電話基地局及び放送送信所（以降、電測車）からの電波を対象とした。

2 電波ばく露レベル測定の概要

2.1 電波ばく露レベルモニタリング手法

電波ばく露レベルを網羅的に把握するためのモニタリングの手法については、図1に示す通りスポット測定及び定点測定、小型の測定装置を個人が携帯することによる携帯型測定、車（電測車）による測定等に大別できる。スポット測定は任意の測定地点で測定することができるが、広範囲な測定を行うことは人的リソースの観点から難しい。定点測定は、場所を固定し連続で長期の測定を行う。一方、電測車による測定では、測定器を搭載し走行することで、地点ごとの時間変動測定はできないが電波ばく露レベルの広範囲な測定が可能となる。また、小型測定装置を個人が携帯する手法では、上記と異なり個人の電波ばく露量を継続的に観測することができる。このような測定は、微小環境

測定とも呼ばれている。これらの特徴を組み合わせることで、データの偏りを抑え、大規模かつ詳細な電波ばく露レベルのデータを取得することができる。

屋外（携帯基地局）、屋外（放送）、住居内・教室及び電測車の測定において対象とした周波数を表1に示す。UL及びDLは、携帯電話端末（UE）から基地局（BS）への送信（Uplink）及び基地局から端末への送信（Downlink）を示している。TDDは、ULとDLを同じ周波数を利用する方式（Time Division Duplex）であり、5G（第5世代移動通信システム）及びL5G（ローカル5G）もTDD方式である。TDD方式は上り下りの信号を判別することが難しいが、TDD方式の周波数帯は下りの信号の電波ばく露レベルの割合が高いためBSとした。なお、現在では従来4G（第4世代移動通信システム）までの携帯電話システムに割り当てられていた周波数帯についても5Gシステムの利用が認められており[10]、既に一部運用されているが、本稿では3,700 MHz帯、4,500 MHz帯、4,600 MHz帯だけを5Gの帯域と呼ぶこととする。28 GHz帯も5Gの帯域として運用されているが、別途報告（5-3）するため本稿では割愛する。

なお、本稿では電波ばく露レベルの測定結果として、電界強度値 [dB μ V/m] を示すことにする。120 dB μ V/m が1 V/mである。

2.2 スポット測定（屋外）

屋外（携帯基地局）の測定は、都市部（Metropolitan）1か所、市街地（urban）3か所（A, B, C）、郊外（Suburban）2か所（A, B）、地下街1か所で実施した [11][12]。地下街以外は、1 km \times 1 kmの領域を10 \times 10の格子に分割し、各格子内1地点（合計100地点）で電界強度の測

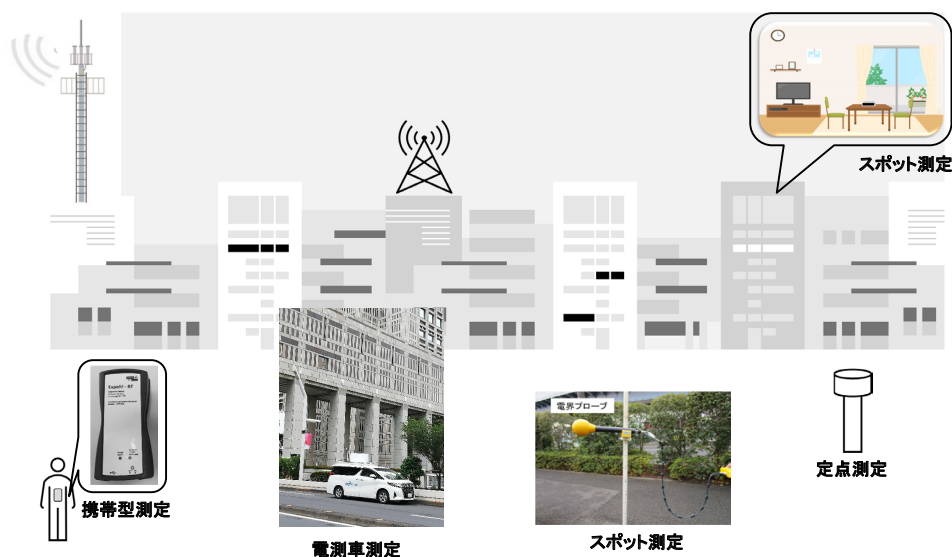


図1 モニタリング方法の概要

表1 対象周波数

名称	周波数帯域 [MHz]	屋外 (携帯基地局)	屋外 (放送)	住居内・教室	電測車
FM	76 - 95		○	○	○
Digital TV	470 - 710		○	○	○
700 MHz 帯 UL (UE)	718 - 748			○	
700 MHz 帯 DL (BS)	773 - 803	○		○	○
800 MHz 帯 UL (UE)	815 - 845			○	
800 MHz 帯 DL (BS)	860 - 890	○		○	○
900 MHz 帯 UL (UE)	900 - 915			○	
900 MHz 帯 DL (BS)	945 - 960	○		○	○
1500 MHz 帯 UL (UE)	1427.9 - 1462.9			○	
1500 MHz 帯 DL (BS)	1475.9 - 1510.9	○		○	○
1700 MHz 帯 UL (UE)	1710 - 1785			○	
1700 MHz 帯 DL (BS)	1805 - 1880	○		○	○
1900 MHz 帯	1884 - 1920	○		○	○
2000 MHz 帯 UL (UE)	1920 - 1980			○	
2000 MHz 帯 DL (BS)	2110 - 2170	○		○	○
2400 MHz 帯	2400 - 2497	○		○	○
2500 MHz 帯 TDD (BS)	2545 - 2645	○		○	○
3500 MHz 帯 TDD (BS)	3400 - 3600	○		○	○
3700 MHz 帯 (5G)	3600 - 4100	△ ^{注1}		○	○
4500 MHz 帯 (5G)	4500 - 4600	△ ^{注1}		○	○
4600 MHz 帯 (L5G)	4600 - 4900	△ ^{注1}		○	
5200 MHz 帯	5150 - 5250	○		○	○
5300 MHz 帯	5250 - 5350	○		○	○
5600 MHz 帯	5470 - 5730	○		○	○

注1：2019年度の測定では5Gのサービス開始前のため対象外

定を行った。都市部の測定地域は、地方の主要駅周辺のビジネス／商業エリアであり、それ以外の市街地及び郊外は主に住宅エリアである。地下街1か所については、158地点の測定を行った。表2に測定年度について示す。市街地A・B、郊外A・B及び地下街は比較のために過去総務省調査と同じ場所を選択した[13][14]。屋外(放送)の測定は、東京スカイツリー周辺の2 km × 2 kmの領域を10 × 10の格子に分割し、各格子内1地点(合計100地点)で電界強度の測定を行った[15]。図2に測定風景を示す。

測定には専用のスペクトラムアナライザに3軸等方性電界プローブが接続された測定システム(SRM-3006、Narda S.T.S.社)を用いた。測定時は人体の影響が小さくなるように、プローブをFRP(Fiber Reinforced Plastics)製の治具に固定し、専用ケーブルにてスペクトラムアナライザと接続とした。まず、平成11年郵政省告示第300号[16]に準拠し、測定高を決めるために図3の様に各測定点において電界プローブを地上高0.1 mから2 mまで垂直方向に0.1 m間隔で走査した。

表2 測定実施場所と年度

対象	測定地域	測定年度
屋外(携帯基地局)	都市部(Metropolitan)	2021
	市街地A(Urban-A) ^{注1}	2019
	市街地B(Urban-B) ^{注1}	2019
	市街地C(Urban-C)	2021
	郊外A(Suburban-A) ^{注1}	2019
	郊外B(Suburban-B) ^{注1}	2019
	地下街(Shopping Mall) ^{注2}	2020
屋外(放送)	東京スカイツリー周辺	2021

注1：過去総務省測定場所と同じ[11]

注2：過去総務省測定場所と同じ[12]

ただし、FM帯域は0.2 mから2 mまで0.2 m間隔で走査を行った。各高さにおいて測定を行い、電界強度が最大となる高さにおいて1分間にわたり測定を行った。掃引時間(1回の測定)は約0.2秒であり、測定結果は1分間の時間平均である。

各帯域内で測定した電界強度の自乗和の平方根を式



図2 測定風景(左上：都市部、右上：市街地、左下：郊外、右下：地下街)

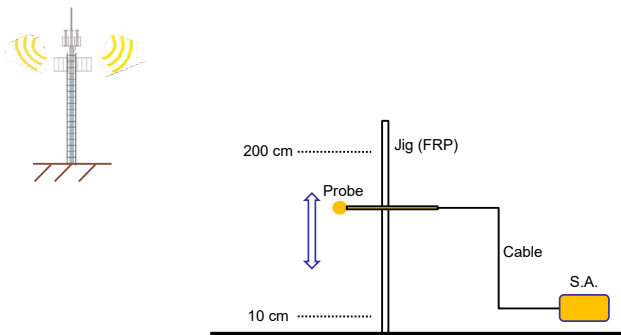


図3 測定概要

表3 測定器の設定

対象	RBW	Δf
屋外(携帯電話基地局)	1 MHz	500 kHz
FM	100 kHz	52.1 kHz
TV	200 kHz	104.2 kHz

(1)により計算した [6]。RBW、 Δf はそれぞれ、分解能帯域幅、周波数分割幅である。 f_1 と $f_1 + (n-1) \times \Delta f$ が対象としている周波数帯の最低周波数及び最高周波数を示している。RBW及び Δf の設定値を表3に示す。帯域内で積算する際には、あらかじめ設定しておいた閾値(ノイズフロア)以下の値は除外している。屋外(携帯基地局)では携帯電話基地局からの電波ばく露に着目しているが、TDD (Time Division Duplex) のシステムでは携帯電話端末等から発射される電波も同じ周

波数を使用しているため測定時には測定者の端末の電源はOFFとした。

$$E_{int} = \sqrt{\frac{\Delta f}{1.0552RBW} \sum_{k=0}^{n-1} (E(f_1 + k\Delta f))^2} \quad (1)$$

2.3 スポット測定(住居内・教室)

住居内及び教室内の測定には携帯型測定器 ExpoM-RF4(Fields at Work社、スイス)を用いた。サイズ及び重量は、それぞれ16 cm × 8 cm × 4 cmと360 gである。この携帯型測定器は、携帯して人体周辺の電波ばく露レベルを常時測定するために開発されたものであるが、測定協力者に測定器の設置や操作を依頼して行う必要があることから、操作が容易である携帯型測定器を使用することとした。この携帯型測定器は、3軸等方性アンテナを備えており、任意に設定した複数の帯域の電界強度を長時間にわたり記録することができる。測定可能な周波数範囲は50 MHzから6 GHzで、複数の帯域幅(35, 75, 100 MHz)を選定することができる。事前にこれらの設定をすることで、測定協力者が電源のON/OFF操作をするだけで測定をすることができる。

住居内測定では、日本国内の5,324名を対象とした住居内の無線利用に関するWebアンケート調査 [17]で住居内測定協力者を募り、応諾者(1,696名)の中から48宅を選定した。選定にあたり住居内で据え置き型

無線 LAN アクセスポイントを利用して無線通信を行っていることを条件とし、国内の地域別人口分布の割合及び人口密度分布になるべく比例するよう調整を行った。携帯型測定器を各宅 1 台使用し、日中長時間過ごす室内(リビングなど)の机上などで携帯せず固定した位置(図 4 左)で 24 時間連続測定を 2 回実施した。携帯電話端末や PC などの無線通信機器と携帯型測定器が接触しないこと、また 2 回目の測定場所は可能な限り別室(寝室など)で行うよう測定協力者に依頼した。

教室内測定では静岡県内の裾野市の協力を得て、裾野市立小・中学校の各 1 校 2 教室内の電波ばく露レベル測定を実施した。教室前方窓側(図 4 右)、教室後方廊下側の木製棚上にそれぞれ携帯型測定器を設置した。測定時間は、午前 8 時半から午後 5 時頃までとし、PC を用いた授業が少なくとも 1 時間含まれるようにした。また測定教室の場所、時間割、PC を用いた授業内容及び通信環境等のアンケートを行った。

2.4 電測車による測定

電測車は、市販されているハイブリット自動車を電波ばく露レベルの測定用に改造したものである(図 5)。主に、放送波から携帯電話システム等の周波数帯までをカバーするため、27 MHz ~ 3 GHz(低周波数用)と 420 MHz ~ 6 GHz(高周波数用)に対応する 2 つの 3 軸

等方性プローブ(Narda 社)を車の屋根のレドーム内に取り付け可能にしたものである。プローブで受信した信号は、車室内に設置したスペクトラムアナライザ(SRM-3006、Narda 社)を通して位置情報等とともに記録される。また、発動機を追加で搭載せず、エンジン停止時も標準装備されているバッテリーを使用することで車室内のスペースを狭めることなく作業性を確保している。表 1 に示すとおり、FM/TV 放送、5G システムを含む携帯電話・BWA(Broadband Wireless Access)基地局、無線 LAN で使用されている周波数帯を対象に測定を行うことができる。低周波数用プローブで 76 ~ 95 MHz と 700 MHz ~ 2.7 GHz を、高周波数用プローブで 470 ~ 710 MHz と 3.4 ~ 5.8 GHz を測定する。それぞれのプローブにおける測定及び記録に要する時間は 1 回の掃引で約 6 秒程度である。電波防護の観点からは、時間平均を算出する必要があるが [1][2]、移動しながらの測定であるため時間平均は行わないこととした。各帯域内で測定した電界強度の自乗和の平方根を式(1)により計算を行う。本測定では、分解能帯域幅(RBW)を 1 MHz(FM, TV は 200 kHz)とした。帯域内で積算する際には、あらかじめ設定しておいた閾値(ノイズフロア)以下の値は除外している。日本橋を中心に半径 100 km 圏内を総測定距離約 15,000 km の測定を行った。東京都・神奈川県・埼玉

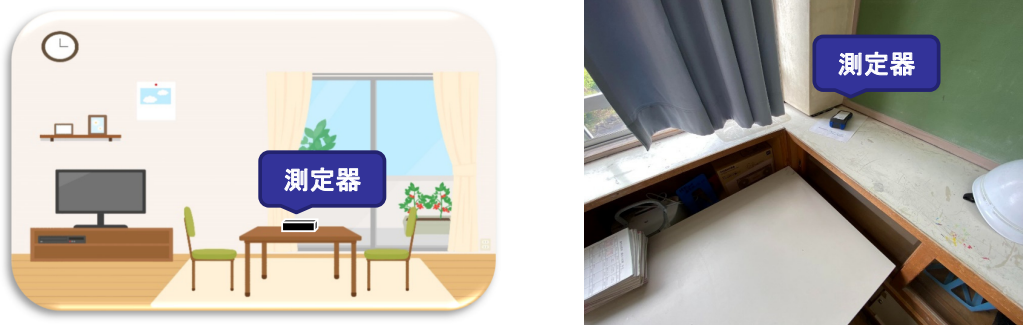


図 4 住居内(左)及び教室内(右)測定器設置風景



図 5 電測車外観

5 電波ばく露レベルモニタリング



図6 測定範囲(半径100 km 圏内)



図7 測定風景

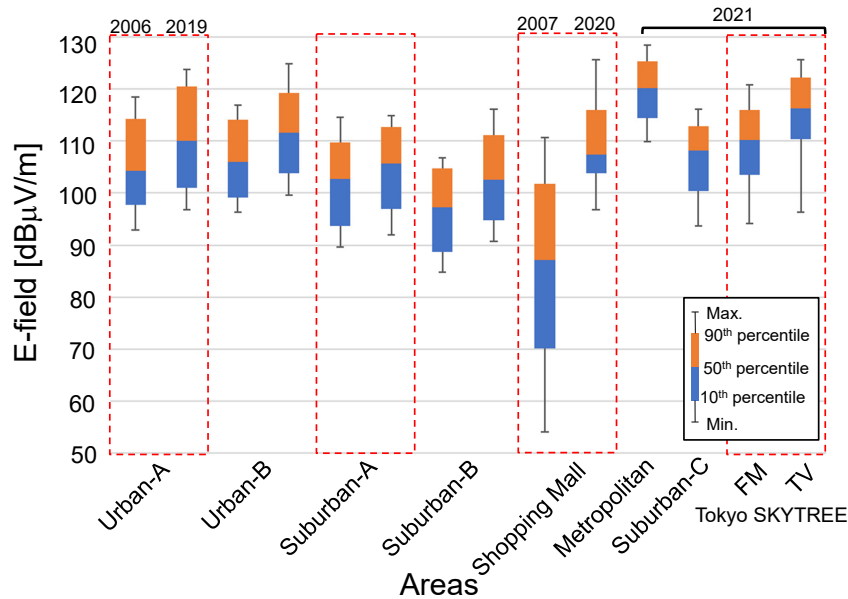


図8 携帯電話基地局及び放送送信所からの電界強度

県・千葉県は全域、茨城県・栃木県・群馬県・静岡県・山梨県は一部が測定範囲に含まれている(図6)。測定経路は高速道路を除く一般道路(主に国道)とし、各市市区町村を網羅するように選択した。図7に測定風景例を示す。

3 測定結果

3.1 スポット測定(屋外)

表1に示した携帯電話基地局及び放送送信所に関する全帯域の電界強度[dBμV/m]をそれぞれ式(1)により自乗和平方根した結果を箱ひげ図に示す(図8)。また、市街A/B、郊外A/B、地下街は過去に総務省による調査結果[12][13]も比較のために示した。なお、総務省の調査結果は時間平均値でない最大値であり、比較のために時間平均値に補正を行った[11]。グラフの上に記載している数字は測定年度を示している。市街B、郊外A/Bは表示していないが、市街Aと同じ年度である。都市部の電界強度の中央値は他の測定結果と比べて一番高いことがわかる。また、放送送信所周辺であっても、電界強度レベルは携帯電話基地局と同じようなレベルであることがわかる。

市街A/B、郊外A/Bについてそれぞれ過去と現在の測定結果についてt検定した結果、市街地・郊外共に、過去よりも現在の方が電波ばく露レベルが有意に高い($p < 0.001$)ことが分かった。さらに、地下街の電波ばく露レベルは過去に比べて顕著な上昇(約100倍)が示されたが、これは、過去の測定時には携帯電話サービスが地下街の一部で利用できなかった状況が、現在では改善されているためと考えられる。全体とし

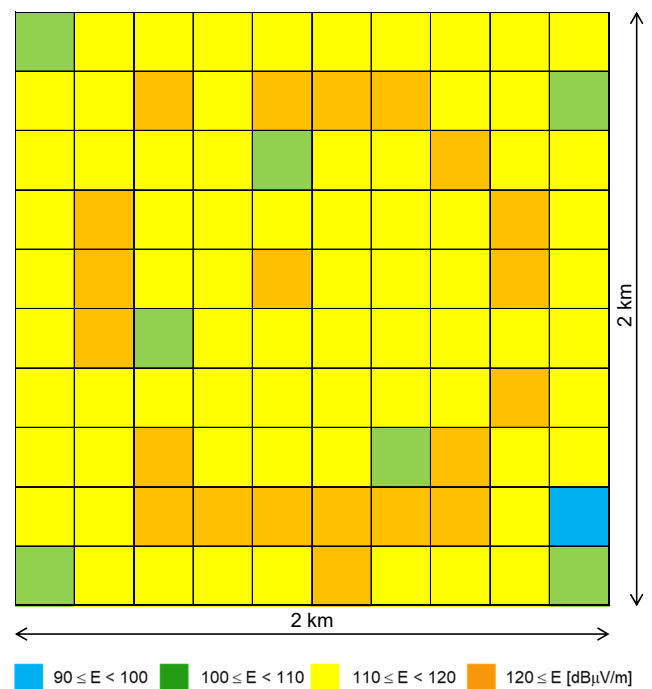


図9 放送送信所からの電界強度マップ(TV帯域)

て電波ばく露レベルが上昇傾向にはあるものの、いずれの場合も電波防護指針[1]に対して十分に低いレベル(電力密度の中央値で約1/10,000以下)であることが明らかになった。また、今回得られた電波ばく露レベルは、最近の海外での測定結果と比べて約1/15であった[11]。

図9に東京スカイツリー周辺のTV帯域の電界強度[dBμV/m]の測定結果をマップ表示した例を示す。図の中心に送信所が位置するが、送信所直下ではなく約700 m離れた円周上の地点の電界強度が高くなってい

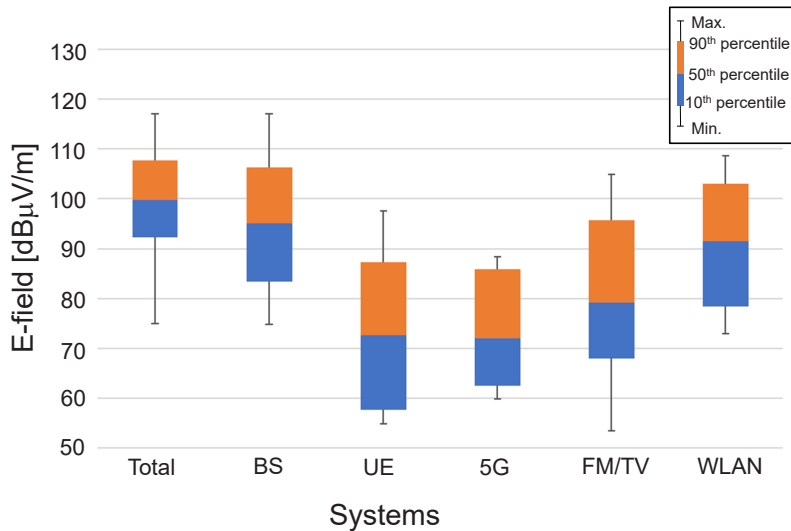


図 10 住居内電界強度の箱ひげ図

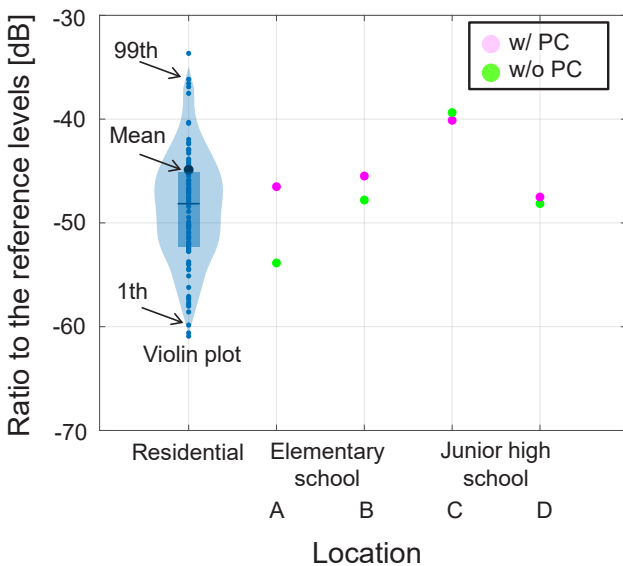


図 11 教室内の電界強度

ることがわかる。これは、アンテナの指向性が影響していると考えられる。また、2016年に放送設備事業者が行った測定結果 [19] と本測定結果を比較した。2016年に測定が行われた10地点に対し、本測定を行った地点からなるべく距離の近い地点を選択した。地点や測定条件が異なるが、傾向として5年前とほぼ同様の結果であることがわかった [15]。

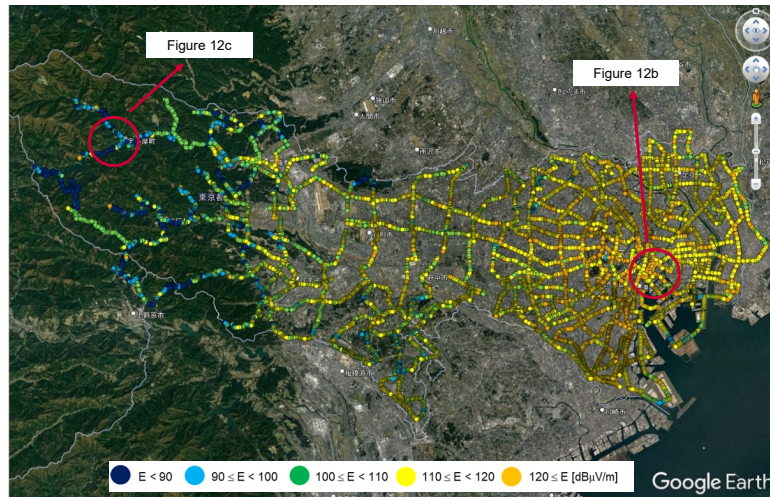
3.2 住居内及び教室内

図 10 に住居内 48 宅ごとに発生源全て (Total) 及び発生源ごとの電界強度を箱ひげ図として表す。ここで、BS 及び UE はそれぞれ携帯電話基地局及び携帯電話端末を示している。住居内において無線 LAN からの電界強度は、携帯電話基地局に対して 50 パーセント値で比較すると 3 dB 程度低い値であった。携帯電

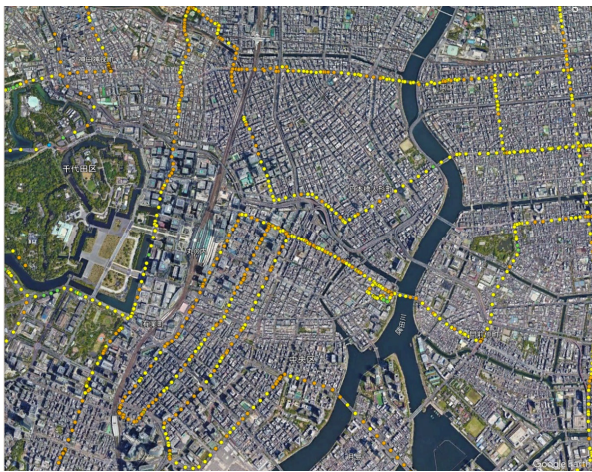
話端末からの電界強度は、全電界強度に占める割合が低かった。5G の携帯電話基地局及び携帯電話端末からの電界強度は、全住居の 80 % でノイズフロア以下であり、閾値以上であっても相対的に低かった。放送波は、他の発生源に比べばらつきが 50 dB と最も大きかった。住居内全体の電波ばく露量に寄与している主な発生源は、携帯電話基地局と無線 LAN であることがわかった。

小中学校の測定対象教室の生徒の当日の出席人数はそれぞれ 30 名前後であった。授業中の PC 使用の用途は、教育用システムソフトの利用、データの送受信、インターネット検索及び資料作成等であった。PC 端末で使用される周波数帯に関しては、学校で使用している携帯電話通信会社の携帯電話基地局からの電波ばく露レベルを学校周辺であらかじめ測定し、使用可能性が高い 4 G の周波数帯の確認を行っている。携帯電話基地局及び PC 端末搭載の携帯電話端末が主な発生源であることがわかった。

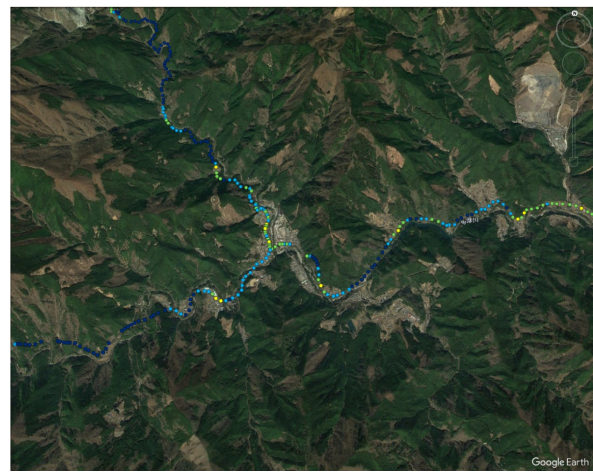
住居及び教室内の結果を一般環境の電波防護指針 [1] との比で比較を行った (図 11)。図 11 の値は、6 分間で移動平均した 23 全ての周波数帯を積算した値の最大値における各周波数帯の値と電波防護指針値の比を積算して示している。これは電波防護指針が周波数特性を持っているからである。図の 1 列目は住居内の標本サイズ 88 から成る分布を箱ひげ図とバイオリンプロットで表し、2 列目以降は各教室の PC 使用授業時とそれ以外の時間にわけて算出した比の値で示している。住居・教室内とも一般環境の電波防護指針より低く、住居内の平均は -45 dB、小中学校の PC 使用授業時は、-48 ~ -40 dB であった。小中学校教室内で PC を使用している場合であっても、電波ばく露レベルは住居内の平均値と同程度であることがわかった。



(a) 全体



(b) 都心



(c) 郊外

図12 東京都の電界強度マップ

4 電測車による測定結果

4.1 電界強度

図12に例として東京都内の測定結果として、全帯域の電界強度分布を示す。各測定地点での電界強度を色で表示しており、都心と郊外で電界強度に差があることがわかる。特に図12下の都心の拡大図ではほとんどが110 dBμV/m以上であるのに対して、郊外では110 dBμV/m以下であることがわかる。図13に携帯電話基地局等、FM、TV帯域の電界強度分布を都県別に示す。なお電界強度は、基準地域メッシュ(1 kmメッシュ) [20]内で平均した値を都県別に箱ひげ図で表示したものである。携帯電話基地局等の電界強度に比べFM/TVの電界強度が低いことがわかる。東京都は、全ての帯域で他県に比べ電界強度が高く、携帯電話基地局等とFM帯域では神奈川県・埼玉県が東京都に続いて高い結果となった。TV帯域は東京都以外顕著な傾向はみられないが、これは送信所の位置が影響

しているものと思われる。なお山梨県でTV帯域の電界強度が比較的高いのは、山梨県の一部地域の測定結果でありかつ、放送送信所付近が測定ルートになっていたためである。

次に測定データと人口密度との関係性について考察を行った。人口密度は、令和2年国勢調査の結果 [21]を用いた。例として東京都と千葉県の結果を図14に示す。横軸は人口密度で縦軸は電界強度を示している。携帯電話基地局等については、ばらつきはあるものの人口密度のべき乗に比例関係がみられた。一方で、放送については顕著な関係はみられなかった。携帯電話基地局等に関して人口密度が低い地域で電界強度が高いケースがみられるが、例えばほとんど人が住んでいない商業施設などであることを一部確認済みである。また、東京都の放送波に関して人口密度が10,000名付近で電界強度が70～110 dBμV/mに分散しているのは、東京スカイツリーの存在によるものと考えられる。携帯電話基地局等に関する分布の回帰直線を計算した

5 電波ばく露レベルモニタリング

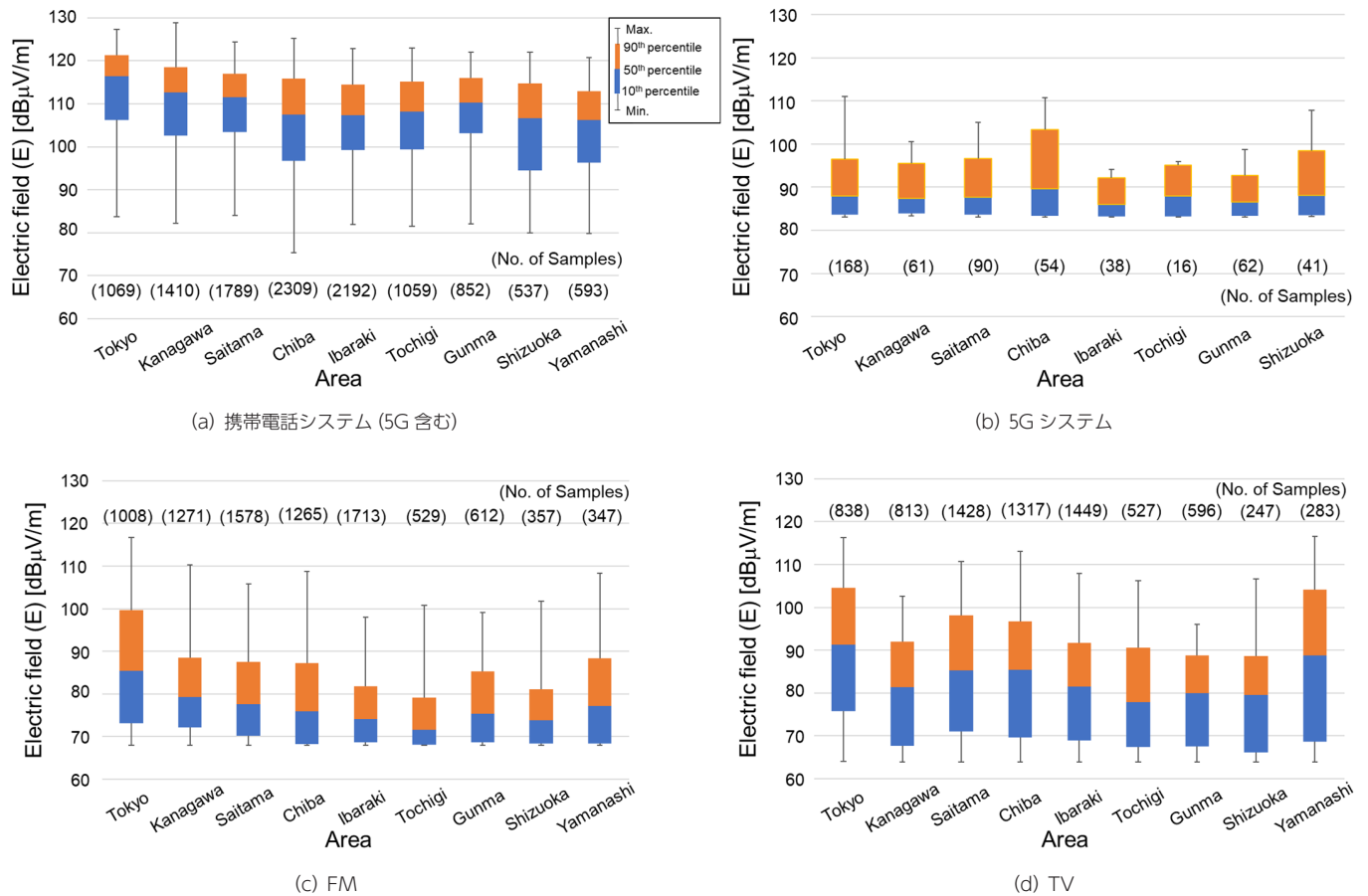


図 13 電界強度の箱ひげ図

ところ、全県において傾きが 0.5 程度であった。一方文献 [22] では、人口密度が増えると -0.38 の傾きで携帯電話端末からの送信電力が減少するとしている。本測定より、人口密度に対して傾きの絶対値がほぼ同じで携帯電話基地局等からの電界強度が増加することがわかった。

5 まとめ

本稿では、電波ばく露レベルモニタリングデータの取得として、スポット測定と電測車による測定結果について述べた。スポット測定は、屋外及び地下街における携帯電話基地局、屋外における放送送信所、住居内・教室における携帯電話基地局・端末及び放送送信所からの電波を対象とした。また、電測車による測定では、携帯電話基地局及び放送送信所からの電波を対象とした。

屋外の携帯電話基地局等からのスポット測定により、約 10 年前に比べて電波ばく露レベルが上昇傾向にはあるものの、いずれの場合も電波防護指針に対して十分に低いレベル(約 0.01 % 以下)であることを確認した。また、放送送信所周辺においても電波ばく露レベルは同程度であることがわかった。一方、住居内は携

帯電話基地局だけでなく無線 LAN も主な波源であるが、電波防護指針に対して約 0.003 % と十分低いレベルである。また教室内のレベルは、PC を無線接続で使用した場合でも住居内のレベルと同程度であることがわかった。電測車では、日本橋を中心とした半径 100 km 内を総走行距離約 15,000 km の測定を実施、1 km² の基準地域メッシュにて平均し評価をした。特に人口密度と電波ばく露レベルは正の関係があることがわかった。

謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究「電波ばく露レベルモニタリングデータの取得・蓄積・活用」(JPMII10001)により実施した。学校教室測定に関して裾野市 世古健一氏、中原義人氏には、学校教室測定に多大なご協力をいただき深謝いたします。公立大学法人静岡社会健康医学大学院大学 小島原典子教授には、学校教室測定に関して有益なご助言をいただき深謝いたします。国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁環境研究室の Liu Sen 研究員、亀谷和久研究員には日頃からご議論いただき感謝いたします。

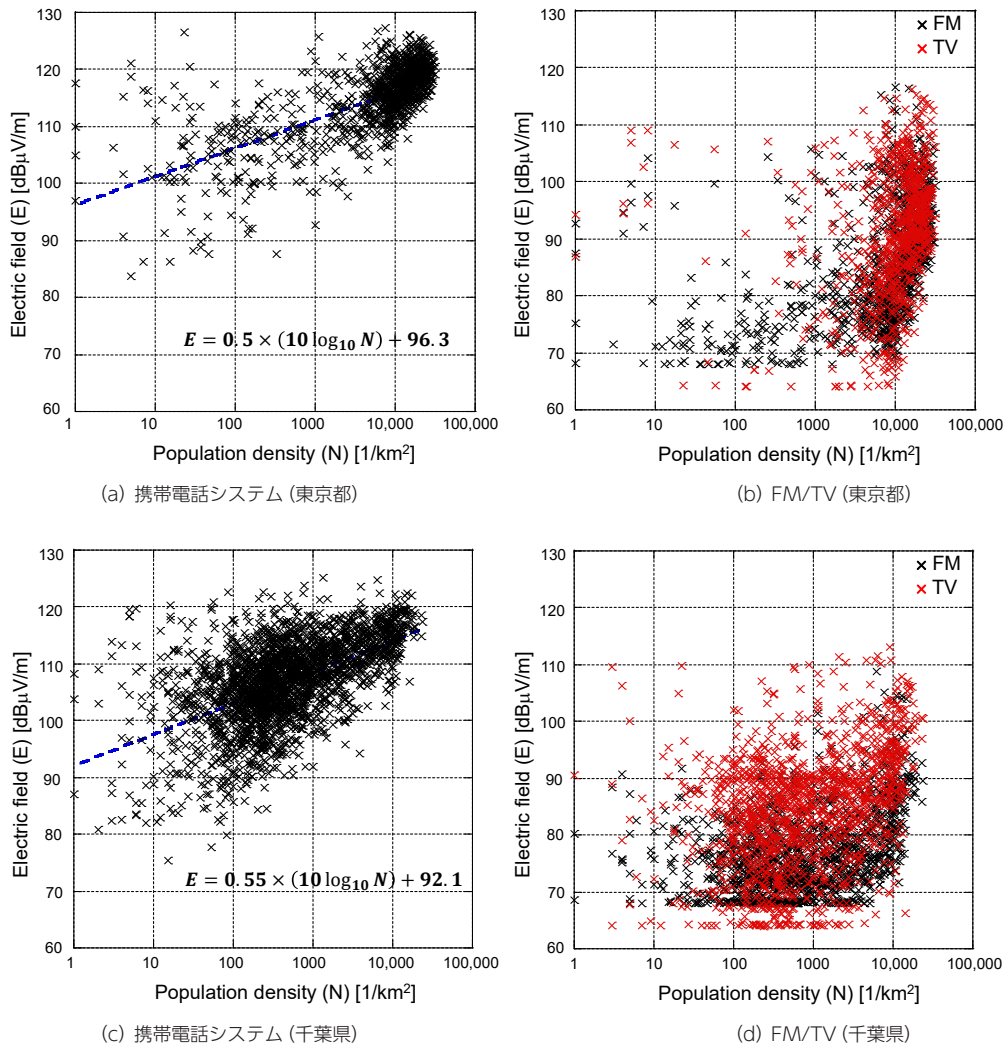


図 14 人口密度と電界強度

【参考文献】

- 総務省 情報通信審議会諮問第 2035 号答申, “電波防護指針の在り方のうち [低周波領域 (10 kHz 以上 10 MHz 以下) における電波防護指針の在り方],” 2015.
- 総務省 情報通信審議会諮問第 2035 号答申, “電波防護指針の在り方のうち [高周波領域における電波防護指針の在り方],” 2018.
- <https://www.cartoradio.fr/#/>
- <https://www.ofcom.org.uk/spectrum/emf>
- https://emf.kca.kr/eh_medgm15_001.do?menuCde=FM020104
- https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en
- <https://seawave-project.eu/>
- <https://projectgoliat.eu/>
- 総務省 生体電磁環境に関する研究戦略検討会, “第一次報告書,” 2018.
- 総務省 情報通信審議会諮問第 2038 号答申, “[新世代モバイル通信システムの技術的条件]のうち [第 5 世代移動通信システム (5G) 及び BWA の高度化に関する技術的条件],” 2020.
- T. Onishi, M. Ikuyo, K. Tobita, M. Taki, and S. Watanabe, “Radiofrequency Exposure Levels from Mobile Phone Base Stations in Outdoor Environments and an Underground Shopping Mall in Japan,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021. DOI: 10.3390/ijerph18158068
- 大西 輝夫, 飛田 和博, 多氣 昌生, 渡辺 聡一, “屋外における携帯電話基地局等からの電波ばく露レベル測定,” *電子情報通信学会 信学技報 EMCJ2022-21*, June 2022.
- 総務省, “通常の電波伝搬環境下における携帯電話基地局に関する電界強度測定の調査報告書,” 2007.
- 総務省, “閉空間等の電波伝搬環境下における電界強度測定等の調査報告書,” 2008.
- 飛田 和博, 大西 輝夫, 多氣 昌生, 渡辺 聡一, “放送送信所周辺での電波ばく露レベル測定,” *信学論 B*, Aug. 2023.
- 平成 11 年郵政省告示第 300 号, “無線設備から発射される電波の強度の算出方法及び測定方法,” 1999.
- 幾代 美和, 大西 輝夫, 飛田 和博, 多氣 昌生, 渡辺 聡一, “無線通信システムからの住居及び学校教室内における電波ばく露レベル,” *信学論 B*, Aug. 2023.
- T. Onishi, K. Esaki, K. Tobita, M. Ikuyo, M. Taki, and S. Watanabe, “Large-area Monitoring of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure Levels from Mobile Phone Base Stations and Broad-cast Transmission Towers by Car-mounted Measurements around Tokyo,” *Electronics*, 12, 1835, 2023. DOI: 10.3390/electronics12081835
- 東武タワースカイツリー (株), “東京スカイツリー周辺の電波環境測定結果,” <https://www.tokyo-skytree.jp/about/safety/pdf/160128.pdf>, 2016.
- Reference mesh, https://www.stat.go.jp/data/mesh/m_tuite.html.
- <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=1&toukeiCode=00200521&toukeiYear=2015&aggregateUnit=S&surveyId=S002005112015&statsId=T000846>
- 三浦 周, 渡邊 宏, 濱本 直和, 藤野 義之, “地上携帯電話の送信電力評価,” *情報通信研究機構研究報告*, vol.61, no.1, pp.19–24, 2015.



大西 輝夫 (おおいし てるお)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
電磁環境研究室
主任研究員
博士(工学)
環境電磁工学
【受賞歴】
2017年 IEC 1906 賞
2010年 経済産業省産業技術環境局長表彰
2010年 日本 ITU 協会賞



渡辺 聡一 (わたなべ そういち)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
電磁環境研究室
室長
博士(工学)
環境電磁工学
【受賞歴】
2022年 電波功績賞電波産業会会長表彰
2021年 電子情報通信学会業績賞
2012年 平成24年度文部科学大臣表彰
科学技術賞



飛田 和博 (とびた かずひろ)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
電磁環境研究室
研究技術員
環境電磁工学



幾代 美和 (いくよ みわ)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
電磁環境研究室
研究技術員
環境電磁工学



江崎 かおる (えさき かおる)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
電磁環境研究室
研究技術員
環境電磁工学



多氣 昌生 (たき まさお)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
電磁環境研究室
上席研究員/
東京都立大学
名誉教授
システムデザイン研究科
特任教授
工学博士
環境電磁工学
【受賞歴】
2020年 第70回「電波の日」 総務大臣表彰
2018年 電気学会 業績賞
2010年 平成22年度工業標準化事業表彰
経済産業大臣賞