

## 5 電波ばく露レベルモニタリング

### 5 *Monitoring of Electromagnetic Field Exposure Levels*

#### 5-1 電波ばく露レベルモニタリングとリスクコミュニケーション

##### 5-1 *Monitoring of EMF Exposure Levels and Risk Communication*

多氣 昌生 大西 輝夫 渡辺 聡一

TAKI Masao, ONISHI Teruo, and WATANABE Soichi

国立研究開発法人情報通信機構 (NICT) では、2019 年度から電波ばく露レベルモニタリングデータの取得、蓄積、活用の研究を実施している。この研究は、総務省による生体電磁環境研究の一部として受託した研究で、多様な発生源による電波ばく露を網羅的に特徴付け、ばく露の実態を定量的に分類し、把握することを目的としている。電波ばく露レベルモニタリングは、無線設備の監理を目的とする場合もあるが、その主な目的は、電波の安全性についてのリスクコミュニケーションのための基礎データを蓄積し、情報を公開することである。本稿では、この研究プロジェクトの背景と目的、取組の概要と現在の状況、今後の課題について報告する。

The National Institute of Information and Communications Technology (NICT) is conducting research on the acquisition, accumulation, and utilization of radio wave exposure level monitoring data starting in FY 2019. This research, commissioned by the Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC) as part of the Bioelectromagnetic Environment Research by the MIC, aims to comprehensively characterize radio wave exposure from various sources, and to quantitatively classify and understand the actual conditions of exposure. Although radio wave exposure level monitoring may be conducted for the purpose of radio equipment supervision, its main purpose is to accumulate basic data for risk communication about radio wave safety and to make the information publicly available. This paper reports on the background and objectives of this research project, an overview of the current status, and future issues.

### 1 まえがき

電波は無線通信の媒体として身の回りの至る所で利用されている。特に、1990 年代以降の携帯電話の爆発的な普及とともに無線局の数が急激に増加し、日常生活環境に多数の電波利用機器が存在するようになっている。さらに近年は無線電力伝送技術の開発が進み、情報の伝送だけでなく、エネルギーの伝送にも電波が使われ始めている。これらの状況から、人体が電波にさらされる (ばく露される) 機会も増加している。

電波ばく露によって人体の健康に好ましくない影響を及ぼさないように、我が国では電波防護指針 [1][2] に基づき利用される電波の強さは規制されている。しかし、個別の発生源については、防護指針を満たすように管理されていても、多数の発生源が存在する場合の電波ばく露レベルについては十分に把握されてい

ない。電波は目に見えないことから、身の回りの電波に不安を感じる人々がいる。日常生活空間における電波がどの程度の強さであるかを把握し、開示できるようにすることは、電波を利用する上で必要な責務である。

国立研究開発法人情報通信機構 (NICT) では、2019 年度から「電波ばく露レベルモニタリングデータの取得・蓄積・活用」の研究プロジェクト (以下、「電波ばく露レベルモニタリングプロジェクト」と省略する) を実施している [3]。この研究プロジェクトは、多様な発生源による電波ばく露を網羅的に特徴付け、ばく露の実態を定量的に分類し、把握することを目的に、総務省による生体電磁環境研究及び電波の安全性に関する評価技術研究の枠組みで実施されている。本稿では、この研究プロジェクトの背景と目的、取組の概要と現在の状況、今後の課題について報告する。

## 2 電波ばく露レベルモニタリングの背景と目的

電波ばく露レベルモニタリングの必要性、目的には以下に述べるようにいくつかの側面がある。なお、電波ばく露レベルモニタリングの範囲は、狭義には社会で関心の高い携帯電話基地局等からの電波を対象とする場合が多いが、電波ばく露レベルモニタリングプロジェクトでは、携帯電話システムが中心ではあるが、身の回りのすべての電波発生源を対象としている。

### 2.1 無線設備監理

無線通信などの電波利用において、電波にさらされる人体が好ましくない影響を受けない、十分に安全とされる電波ばく露レベルの指針が示されている[1][2][4]。我が国を含む世界各国で、この指針値に基づく規制等が行われている。

無線設備や端末が防護指針を満たすことは無線局の免許や機器の認証の条件となっており、その評価は国際電気標準会議(IEC)や米国電気電子学会(IEEE)等による国際規格等に基づき行われている。しかし、設備や環境の実態を確認する制度は様々である。一部の国では、設備の設置時及び定期的な検査時に防護指針への適合性を現場測定で確認することを義務づけている。この場合、電波ばく露レベルを測定し評価する必要がある。このように、無線設備監理の目的で、電波防護指針を満たすことを確認するために、電波ばく露レベルモニタリングが行われている。

職場環境では、大出力の電磁界利用設備を扱うことがあるため、日常環境よりはるかに大きなばく露が生じ得る。欧州では、欧州指令 2013/35/EU「物理的作用因子(電磁界)に起因するリスクへの労働者のばく露についての健康および安全の最低要求事項に関する指令」[5]が2013年に欧州議会によって採択され、欧州連合(EU)加盟国はこの指令を国内法に取り入れることが義務づけられた。このため、職場における電波ばく露レベルモニタリングが必要とされている。

我が国では職場での電磁界に対する規制は制度化されていないが、産業衛生学会によってばく露許容値[6]が示されており、自主的にはあるが、職場での電磁界ばく露レベルモニタリングの必要性が認識されている。

### 2.2 環境モニタリングとリスクコミュニケーション

電波の人体ばく露レベルについては、健康に悪影響を与えないように電波防護指針に基づいて規制されている。しかし、防護指針値以下の微弱な電波であっても、健康に悪影響があるのではないかという懸念は完

全には払拭されていない。電波は目に見えないことから、身の回りにどのような電波があり、どの程度の強さであるかを把握することが、このような不安に対する基本的な情報として求められている。電波ばく露の正しい実態を踏まえた情報提供は、電波ばく露のリスクが適切に認知されるために必要であり、このようなリスクコミュニケーションのための電波環境のモニタリングとモニタリングデータの公開が必要とされている[7]。

電波環境のモニタリングにはいくつかのタイプがある。一つは、前項で述べた無線設備監理の一部として行われているもので、無線設備監理に関して取得される電波ばく露レベルや無線設備の位置情報や諸元に関する情報を一般にも公開するものである。一方、電波環境に対する関心の高まりに対応して、リスクコミュニケーションを主たる目的とした、電波ばく露レベルモニタリングも行われるようになってきている。

広く行われているのが定点測定による環境モニタリングである。定点に測定器を設置し、継続的に電波ばく露レベルを測定する[8]。多くの場合、測定データは市民向けに公開されるとともに、研究用データとしても利用される。

人々の関心の高い無線システム等に対しては、短期集中的に測定を行い、その結果を公表することが求められる。また、電波ばく露について不安を感じている住民からの要望に対して、測定サービスを提供することで不安解消の一助とする依頼型測定を実施している例もある。

日常環境における電波ばく露レベルは電波防護指針と比べて十分に小さいことが報告されている。しかし、今後の無線利用の発展、拡大にともなって、身の回りの発生源はますます増える傾向である。基地局の密度が高まることによって、局所的には防護指針との比が十分に小さいとはいえない場合も想定する必要がある。また、第5世代携帯電話(5G)システムで用いられている、端末の位置に応じて指向性が変化するビームフォーミングのように、実際の使用状態に依存して特性が変化する場合など、電波ばく露については実測データに基づく説明が、今後ますます必要になると予想される。

電波ばく露による健康影響に対するリスク認知は様々である。リスクが非常に深刻であると考えている人々もいることから、リスクについての対話が必要である。そのための客観的なデータの一つとして、電波ばく露レベルモニタリングデータの蓄積が必要とされている。

## 2.3 疫学研究のためのばく露評価

防護指針値以下の弱い電波であっても、長期間にわたるばく露が健康に悪影響を与えるかもしれない、という懸念がある。このような電波による長期的なばく露影響は、これまでの多くの研究によっても、科学的に確立された証拠が得られていない。しかし、このような懸念を明確に否定することは「消極的事実の証明」であるため不可能である。このため、世界保健機関（WHO）を中心に、1990年代から、我が国を含む世界各国が、電波ばく露による健康リスクの評価を継続している [9]。

健康リスク評価は、様々な方法で行われるが、中でも人間を対象としてばく露と健康との関連を観察、調査する疫学研究が重視されている。動物実験や細胞実験では、実験条件の自由度は高いものの、人間の健康への影響を直接的に評価できないためである。

疫学研究では、ばく露の大きさと疾病の関連から因果関係を推定する。このため、ばく露の大きさを精確に評価することが必要である。電波ばく露レベルモニタリングによって蓄積されたデータは、電波ばく露による健康影響の可能性を調べる疫学研究のためのばく露評価に活用できる。長期的なばく露影響を調べるためには、日常生活環境での電波ばく露を長期間にわたり、過去に遡って推定する必要がある。また、将来の疫学研究に備えて、網羅的に電波ばく露レベルのデータを蓄積しておく必要がある。

タリングによって蓄積されたデータは、電波ばく露による健康影響の可能性を調べる疫学研究のためのばく露評価に活用できる。長期的なばく露影響を調べるためには、日常生活環境での電波ばく露を長期間にわたり、過去に遡って推定する必要がある。また、将来の疫学研究に備えて、網羅的に電波ばく露レベルのデータを蓄積しておく必要がある。

## 3 電波ばく露レベルモニタリングの先行事例

### 3.1 諸外国の取組

電波ばく露レベルモニタリングは、欧州の各国で早くから取組がなされてきた。欧州では、1999年に欧州理事会勧告 [10] により、欧州連合（EU）加盟国は国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）が1998年に制定した指針値 [11] に基づくばく露限度値で一般公衆の環境を規制するよう制度化することが勧告された。しかし、一部の加盟国では短期的なばく露影響、すなわち高周波領域では熱作用を基礎として定められた

表1 電波ばく露レベルモニタリングの類型と諸外国における実施例

	無線設備監理	環境モニタリング	短期集中型測定	依頼型測定	なし
目的	基地局等の無線設備の設置場所や設備の詳細情報、とともに、基地局周辺のばく露レベルを公開。	測定地点におけるばく露レベルを継続的／定期的に測定。市民向けに公開するとともに研究用データとしても提供。	国民の関心が高い無線システム等を対象に、短期間で集中的に測定を行いその結果を公開。	電波ばく露について不安を感じる方に直接測定サービスを提供することで不安解消の一助とする。	公的な仕組みとしてのモニタリングは導入していない。
運用方法	基地局等無線設備の設置・更新等の申請に際して事業者等から提出された測定データを公開。	固定の測定箇所を設置した測定機器によりリアルタイム／定期的に測定データを取得。	特定の無線システムや特定のエリアを対象にばく露レベルを集中的に測定。	市民や施設などからの依頼をもとに特定の場所の電磁界強度を測定。結果は原則公開。	－
測定対象	対象無線設備（基地局・放送局等）	測定地点周辺の電波発射源	特定の無線システムや特定のエリアの電波発射源	測定地点周辺の電波発射源	－
測定主体	国 事業者	国 研究機関	国 事業者	国	－
実施国の例	オーストラリア オランダ 韓国 スペイン ドイツ フランス ベルギー	アルゼンチン イスラエル イタリア ウルグアイ 韓国 ギリシャ コロンビア スペイン セルビア 中国 パナマ ハンガリー ベルギー ルーマニア	英国 オーストラリア フランス 韓国	英国 フランス	米国

ICNIRP による指針値より厳しい限度値による規制を求める声があった。

微弱な電波による長期的なばく露影響については科学的根拠がないため、科学的な根拠に基づく ICNIRP ガイドラインの指針値より厳しい限度値を採用しても、健康に関する便益は不明である。結果的に一部の国では「念のための (precautionary)」措置として、電波ばく露に対する規制とは別に携帯電話基地局などの設備に対する規制として、ガイドラインより厳しい要件を求めている。このような背景から、欧州では電波ばく露レベルに対する関心が高く、モニタリングに早くから着手している [7][8]。

電波ばく露レベルモニタリングは 2.2 で述べたように、いくつかの類型に分けることができる。各類型の目的、運用方法、測定対象、測定者及び実施国を表 1 にまとめる。

### 3.2 我が国での取組

我が国では、電波ばく露レベルモニタリングを直接の目的とした取組はこれまでに行われていなかったものの、総務省による生体電磁環境研究の一部として、電波ばく露レベルを把握する取組がなされてきた。

#### ① 電波防護指針の制定にともなう取組

1990 年に郵政省電気通信技術審議会(当時)諮問第 38 号に対する答申として「人体に対する電波防護指針」が示された。その前後に、電波防護指針との適合性の実態を確認する必要から、我が国の電波環境についての調査が郵政省電波研究所(1988 年から通信総合研究所)を中心に行われた [12]-[15]。

1994 年の携帯電話端末の売り切り制度の実施を契機として、携帯電話が急激に普及したことともない、電波防護指針でも人体の近傍で使用される携帯電話端末からの電波ばく露を想定することが必要となった。防護指針の改定は電気通信技術審議会諮問第 89 号として諮問され、1997 年に電波防護指針に局所吸収指針を加えた内容の答申がなされた [16]。局所吸収指針では、端末からの電波による局所の SAR (Specific Absorption Rate [W/kg], 単位質量の組織に吸収される電力で、組織内部の電界強度の 2 乗に比例する) に限度値を制定した。この答申に、生体電磁環境研究の推進が提言されたことを受け、「生体電磁環境研究推進委員会」が発足し、電波の生体影響と人体防護に関する様々な研究が行われるようになった。この枠組みで電波の生体安全性に関する研究が行われ、2007 年に報告書を取りまとめた [17]。その後 2008 年に、「生体電磁環境に関する検討会」を設置して、現在にいたるまで、様々な生体電磁環境研究が実施されている。

この取組の一部として、日常環境での電波ばく露に

対する関心が高まったことを踏まえ、平成 17(2005)年度から平成 21(2009)年度まで、様々な発生源からの電波強度の調査が実施された [18]。調査対象とされた発生源は、携帯電話基地局 (17 年度、18 年度)、閉空間(地下街)の携帯電話基地局 (19 年度)、中波帯放送局 (20 年度)、短波帯放送局 (21 年度)であった。これらの測定結果は、今から 10 年ほど前の電波ばく露レベルを記録したデータとして貴重である。

#### ② 疫学研究のためのばく露評価としての取組

世界保健機関 (WHO) は 1996 年に国際電磁界プロジェクト [9] を開始し、大規模な国際共同疫学研究 INTERPHONE 研究の準備を進めていた。この研究は、我が国を含む 13 カ国が参加し、携帯電話端末の使用による電波ばく露と頭頸部の腫瘍との関連の有無を調べるための、症例対照研究による疫学調査で、脳腫瘍(神経膠腫及び髄膜腫)だけでも 5,000 症例を超える、他に類を見ない大規模な研究であった。この研究は、脳腫瘍または聴神経鞘腫と診断された患者(症例)に対し、年齢などの条件の近い非患者(対照)と携帯電話端末からの電波ばく露の大きさを比較して、電波による影響の可能性の検討を行う症例対照研究として実施された。このため、過去に遡ってのばく露評価の精度が非常に重要であった。

INTERPHONE 研究の本調査は 2000 年にスタートした。頭頸部の腫瘍と診断された時点から過去に遡って携帯電話端末によるばく露レベルを評価する必要がある。INTERPHONE 研究では、ばく露の指標として、主に累積通話時間が用いられた。当時は第 2 世代の携帯電話端末がほとんどを占めており、通話時には端末が頭部付近に保持されていたため、通話時間が頭頸部の電波ばく露レベルのよい指標と考えられたためである。しかし、1990 年代半ばに、端末の出力電力制御が導入され、基地局からの距離などによる通信状況によって端末からの出力が変化するようになったことから、単に利用頻度や通話時間だけではなく、より詳細な評価が必要であることが認識された。このため、端末からのばく露について、都市部や郊外などの環境の違いによる端末出力電力の違い、端末の形状やアンテナの位置による頭部内の電力吸収分布 (SAR 分布) の違いなど、詳細な電波ばく露レベルの評価も試みられた。我が国の INTERPHONE 研究では、東京女子医大が疫学調査の医学的側面を担当し、電波ばく露レベルの評価などの工学的側面は通信総合研究所と東京都立大学が担当した [19]。1997 年に電波防護指針に携帯電話端末による頭部の最大局所 SAR の限度値を定める局所吸収指針が制定され [16]、これに基づく端末からのばく露の規制に向けて、様々な携帯電話端末の SAR 分布とその最大値について網羅的な調査が行われてい

た。その成果がINTERPHONE 研究のばく露評価に活用された。

INTERPHONE 研究は2010年に最終報告がなされた[20]。その後、国際共同研究として小児及び若年者を対象としたMobi-Kidsなどのプロジェクトが開始されたが、2000年代に普及が始まった第3世代以降では、端末の適応出力電力制御がより詳細になり、送信時の端末からの出力電力の最大値は同程度であったものの、実際の出力電力の平均値は第2世代と比べると数パーセントになった[21]。このため、実際の出力電力の評価が重要な課題となった。また、INTERPHONE 研究では微弱であるとして無視されたコードレス電話端末(Digital Enhanced Cordless Telecommunications, DECTやPersonal Handy-phone System, PHSなど)からのばく露も考慮しなければならないことが認識された。このように、疫学研究におけるばく露評価のためには、技術の進展にともなう電波ばく露レベルの変化を長期間にわたり記録しておくことが必要である。

INTERPHONE 研究では、携帯電話端末からの電波

ばく露が支配的であり、携帯電話基地局など他の発生源からのばく露は微弱であるとして、ばく露評価の対象としなかった。しかし、第3世代以降では携帯電話端末からの出力電力が微弱になったことで、端末からのばく露だけでなく、それまで無視できるとされていた携帯電話基地局からの電波による電波ばく露レベルも無視できないと考えられるようになってきている。これからの疫学研究では、基地局等からの電波も含めたこれまでより網羅的な電波ばく露レベルの評価が重要になっている。但し、基地局からの電波が大幅に強くなったというのではなく、端末からの電波が弱くなった結果、相対的に無視できなくなっているという理解が適切である。

#### 4 電波ばく露レベルモニタリングプロジェクトの経緯

前述の通り、総務省は「生体電磁環境研究推進委員会」(1997～2007年)及び「生体電磁環境に関する検討

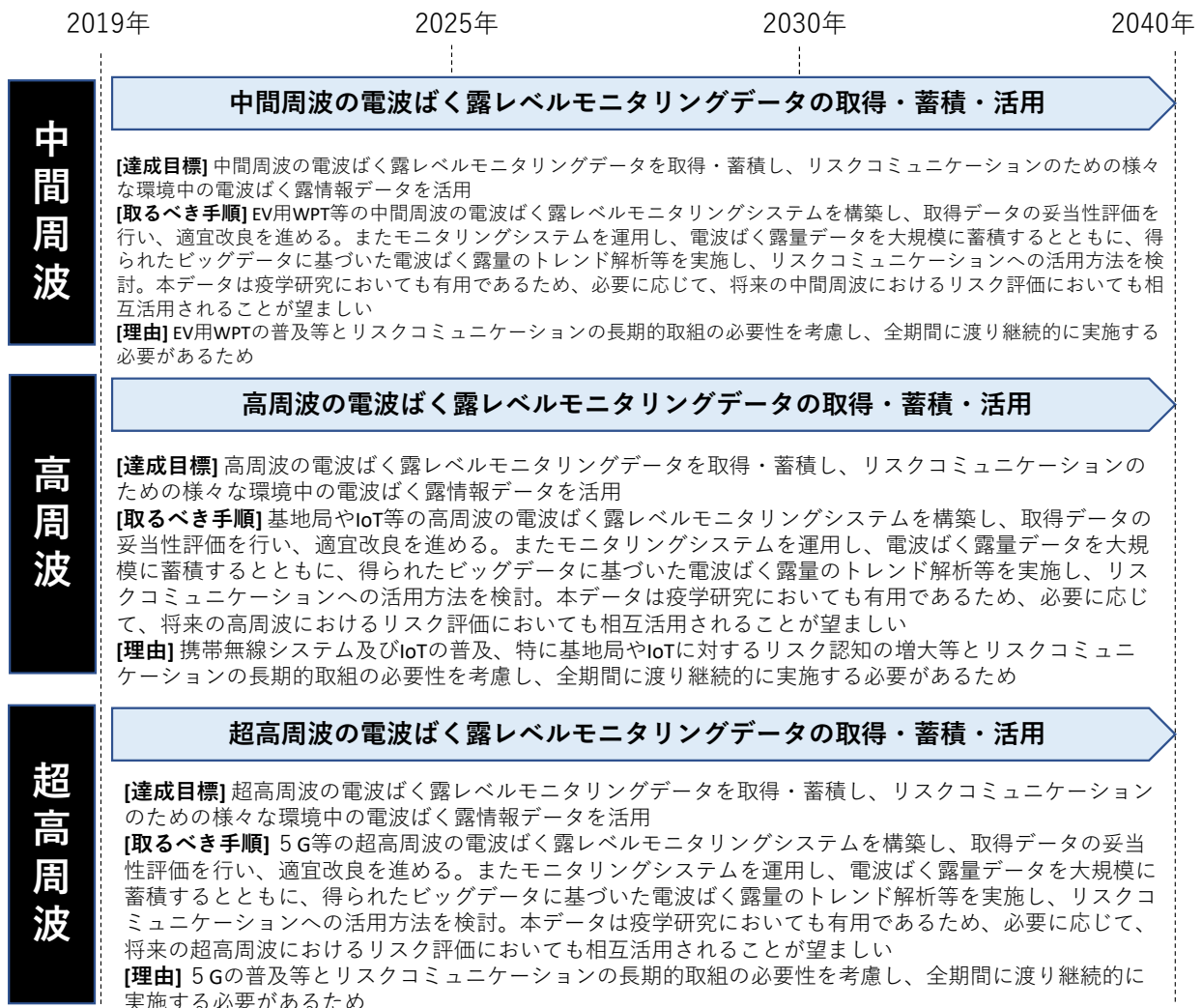


図1 リスクコミュニケーションに関する研究推進のためのロードマップ [22]

会」(2008年から現在)の下で、電波ばく露に関する人体防護の研究に取り組んできた。総務省は2018年に、それまでの20年間に及ぶ研究を総括し、今後更に研究を継続する意義と戦略を検討するため、「生体電磁環境に関する研究戦略検討会」を組織し、2040年までの中長期的な研究推進のためのロードマップを2025年まで、2030年まで、2040年までの期間に分けて提言した。検討の結果は2018年6月に、第一次報告書として公表された[22]。

報告書では、リスク評価に関する研究、リスク管理に関する研究、リスクコミュニケーションに関する研究について、中間周波(10 kHz～10 MHz)、高周波(10 MHz～6 GHz)、超高周波(6 GHz～3 THz)のそれぞれの周波数領域に分けて今後の方向性を示している。リスク評価に関する研究では、疫学研究、ヒト研究、動物研究、細胞研究、工学研究の方向性を示すとともに、取り組むべき課題を短期スパンと中長期スパンに分けて示している。リスク管理に関する研究としては、人体防護指針値と適合性評価のための研究課題を示している。さらに報告書では、これらに加えてリスクコミュニケーションに関する研究についても取り組むべき研究としてロードマップを示している。

リスクコミュニケーションに関する研究として取り組むべき課題に挙げられたのが、「電波ばく露レベルモニタリングデータの取得・蓄積・活用」である。電波ばく露レベルモニタリングデータの取得、蓄積、活用は、図1に示すように中間周波、高周波、超高周波のすべての周波数帯で取り組むべき課題としてあげられており、また、2025年まで、2030年まで、2040年までのすべての期間に継続的に実施する必要があるとされている。なお、リスクコミュニケーションに関する研究として挙げられた課題は、この課題のみである。

### 5 電波ばく露レベルモニタリングプロジェクトの概要

総務省は、前述の研究戦略検討会報告を踏まえて、平成31年度(2019年度)の生体電磁環境研究の基本計画として、「電波ばく露レベルモニタリングデータの取得・蓄積・活用」を研究課題の一つとして選定した。基本計画では、これまで携帯電話端末など単体の機器からのばく露に関する断片的なデータは得られているが、個人の多様な日常生活において、様々な電波発生源からのばく露状況について実際に評価し、推移を把握できるためのデータは十分に得られていないという現状を指摘し、次のア)からエ)の各項目を検討課題として、研究提案の公募がなされた。

ア) 多様な無線機器・設備からの電波ばく露特性の実

測・推定により、過去のばく露も含めて網羅的に整理すること

イ) 屋内屋外における代表的な場所での継続的な電波強度等の定点観測を行うとともに、移動型・携帯型測定装置を用いて様々な場所及びライフスタイルを踏まえたばく露レベルの変動について把握すること

ウ) 様々な環境におけるばく露特性に基づき、電波のリスクに関する、より実生活に対応した情報提供や相談への対応を可能にするリスクコミュニケーション手法について検討を行うこと

エ) 従来の無線システムと新たな無線システムの複合ばく露等を考慮した総合的なばく露レベルについて、その変動を把握するための手法について検討を行うこと

国立研究開発法人情報研究機構は、この公募に応募して採択され、令和5年度までの5カ年のプロジェクトを実施している[3]。プロジェクトの研究体系を図2に示す。大きく分けて、データの取得、蓄積に関する研究課題Aとデータの活用に関する研究課題B及びCの2つのパートから成る。

研究課題A：データの取得、蓄積に関する研究

研究課題Aでは、技術的な情報を整理し、適切な測定法を選定してデータを取得、蓄積する。本研究は、課題の性格から中立性を重視しているため、産業界とは一定の距離をおいて研究を進める必要があり、中立の立場の研究者による研究体制としている。しかし、無線通信の技術の進歩は急速で、技術的な情報を中立の立場だけで収集することは困難である。そこで、技術分野に精通した産業分野を含む外部有識者による「技術情報委員会」を設置して、必要な助言を得ながら研究を進めている。

本研究で対象とする電波の周波数範囲は非常に広く、また新しい技術も対象にするため、第5世代移動通信システム(5G)で用いられる周波数帯などのように、測定法が開発途上であり、標準化がなされていない対象についてもデータを取得する必要がある。このように測定法が十分に確立されていない対象については、測定評価手法の開発を行っている他のプロジェクト等とも連携してデータ取得を行っている。

研究課題Aでは上記の検討課題のア)、イ)、ウ)を次の研究項目A-1～A-6として実施している。

A-1 無線通信技術情報の収集・整理

急速に発展し、複雑に変遷する無線通信技術の技術情報を収集する。実環境での無線通信は、適応的に制御されており、予測が困難である。したがって、定量

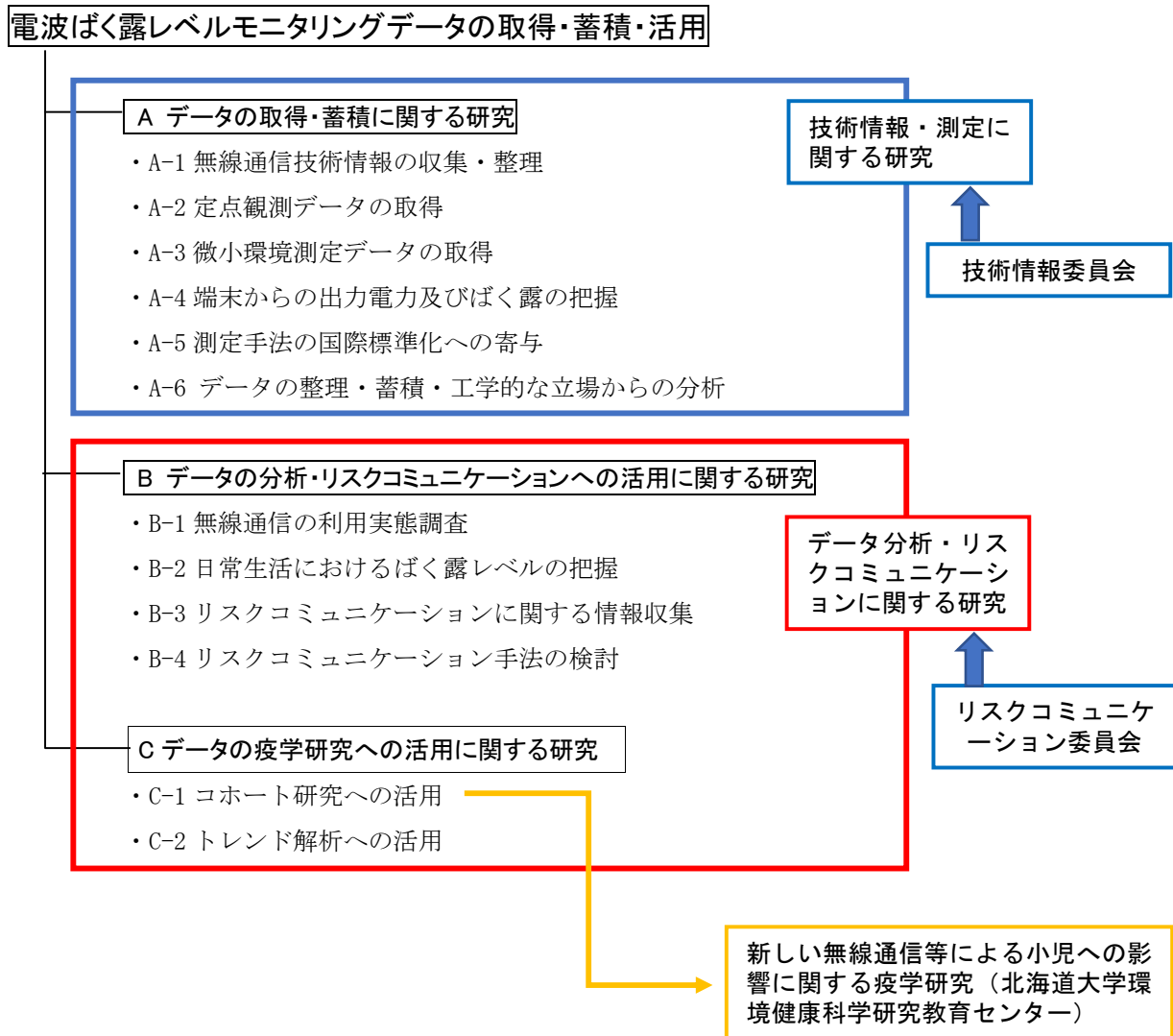


図2 電波ばく露レベルモニタリングプロジェクトの研究体系

的に電波環境を把握するためには、実環境での送信電力など、様々なデータが必要である。収集した情報は、ばく露のトレンドを評価するための基礎データとなることが期待される。

#### A-2 定点観測データの取得

代表性のある測定スポットを選定し、定点観測により電波環境の日内変動、週内変動を含む測定データを取得している。屋内及び屋外で行った定点測定の結果の一部については別稿 [23] で詳述している。

長期的な変動については、総務省による「電界強度等調査」として公表されている既存のデータを活用して比較した。これらのデータは、携帯電話基地局、放送局等からの電波環境を多数の測定点で測定した結果を取りまとめたもので、平成 17 年度 (2005 年度) から平成 22 年度 (2010 年度) に取得されたものである [18]。これらのデータと比較できるデータを取得し、この 10 年ほどの経過による変化の状況を考察した。

#### A-3 微小環境測定データの取得

ばく露を受ける人が存在する空間 (微小環境) における電波ばく露レベルを測定することを微小環境測定という。技術的な知識を有する測定者が移動しながら測定を行う微小環境測定の有効性が欧州における先行研究によって示されている。可搬型の個人ばく露計を用いた徒歩による測定、自動車にアンテナ及びスペクトラムアナライザを設置して、より広範囲の測定を行い、様々な場所及びライフスタイルを踏まえたばく露レベルの変動について把握するためのデータを取得している。これらの成果の一部についても、別稿 [23] で詳述している。

#### A-4 端末からのばく露の把握

実使用条件における無線端末からのばく露を評価する。これまでに、東京都立大学に設置されているローカル 5G システムの端末からの出力電力を、トラフィックとの関係を考慮して測定している [24]。測定方法の標準化がなされていない測定であり、今後の更なる検討が必要である。

## 5 電波ばく露レベルモニタリング

他の身近な電波発生源についても測定を行っている。家庭に設置されているスマートメータ、Qi規格に準拠したワイヤレス充電器、店舗で利用されるRFID端末など、様々な発生源についてデータの蓄積を進めている。

### A-5 測定手法の国際標準化への寄与

データの測定、取得、評価は一貫性のある方法で行う必要がある。特に、国際的にも共通化されていることが望ましい。このため、測定評価法について国際的に連携、協調のもとで国際標準と歩調を合わせる必要がある。本研究では、ITU-T SG5及びIEC TC106などと連携して、測定・評価法の国際標準化に寄与している。

### A-6 データの整理・蓄積

研究課題Bと連携して、得られたデータを整理する。また、長期的にデータを蓄積するための方法について検討する。

### 研究課題B データの分析・リスクコミュニケーションへの活用に関する研究

研究課題Bでは研究課題Aで取得したデータを、リスクコミュニケーションへの活用を想定して分析し、その活用の在り方を検討する。この研究課題では中立性が重要であるため、技術分野から一定の距離を保ち、リスクコミュニケーションや疫学の中立性の高い専門家による「リスクコミュニケーション委員会」を設置して、中立の立場からの助言を受けながら研究を遂行している。

研究課題Bは次の研究項目B1～B4に分けられる。

#### B-1 無線通信の利用実態調査

日常生活におけるばく露を評価するためには、無線機器の利用実態についてのデータが必要である。外部有識者で構成されるリスクコミュニケーション委員会の助言を得ながら、利用実態についてのデータを収集している。

利用実態についての調査は、ウェブアンケート調査によって行っている。結果の一部は別稿[25]で詳述している。

#### B-2 測定データの分析、評価

測定データをリスクコミュニケーションへの活用を想定して分析、評価する。ウェブアンケート調査において、個人ばく露計を用いた測定への参加を承諾した協力者によるデータに基づき、日常生活での様々な電磁界発生源による寄与の割合などを求めた。結果の一部は別稿[23]で詳述している。

#### B-3 リスクコミュニケーションに関する情報収集

我が国では、電波ばく露に関するリスクコミュニケーションの実績が乏しいが、欧州では比較的早くか

ら取組がなされてきた[7]。このため、海外の実施例を中心に調査を進めている。調査は、文献調査だけでなく、海外の現地調査も行っている。

リスク認知は人によって様々である。さらに国や地域による違いも大きい。我が国の人々の電波に対する意識についての理解を深めるためのアンケート調査を行った。調査の内容と結果については別稿[25]で述べる。

#### B-4 リスクコミュニケーションの在り方の検討

複雑化する電波環境を定量的に把握するデータを活用したリスクコミュニケーションの在り方について、リスクコミュニケーション委員会による助言を踏まえて検討を行う。

### 研究項目C データの疫学研究への活用に関する研究

#### C-1 コホート研究への活用

総務省による生体電磁環境研究として、「新しい無線通信等による小児への影響に関する疫学研究」が実施されている。このプロジェクトは本研究と同じ枠組みで実施されており、研究の開始も同じ2019年度からである。この研究は、北海道大学環境健康科学研究教育センターが公募に採択されて実施している（代表研究責任者、岸玲子特別招へい教授）。

研究内容は小児を対象としたコホート研究で、小児がスマートフォン等を利用する状況が増えている状況の中で、小児の発育や精神神経発達への電波ばく露による影響の可能性を評価する研究である。この研究プロジェクトでは、基本計画において、『電波のばく露量に関しては、「電波ばく露レベルモニタリングデータの取得・蓄積・活用」で得られたデータを活用し、人でのリスク評価を精密に実施する。』との記述がある。これを踏まえて、本研究が電波ばく露レベルの測定に技術的支援を行っている[26]。

#### C-2 トレンド解析への活用

本研究は多様な無線機器、設備からの電波ばく露を実測、推定し、過去のばく露も含めて網羅的に整理するものである。これらのデータは電波ばく露の長期間にわたる経時的なトレンドを示すものである。ばく露の経時的なトレンドのデータは疾病の罹患率等との関連を調査することにより、電波利用との関連を考察するトレンド解析に今後活用できることが期待される。トレンド解析研究は本研究と並行して実施されていないが、リスクコミュニケーション委員会等を通して疫学研究者の助言を得ながら、本研究のデータが今後のトレンド解析に活用されることを想定して、データの取得、蓄積を行っている。

このプロジェクトの研究課題は前述の研究戦略検討



会報告書において、2040年まで継続的に行うようロードマップとして提言されており、電波ばく露レベルモニタリングプロジェクトの研究期間が終了する2024年3月以降も、この研究課題は継続されると考えられる。国立研究開発法人情報通信研究機構でも、2021年度(R3年度)から実施されている第5期中長期計画に電波ばく露レベルモニタリングの研究が記載されており、総務省からの委託に関わらず、NICT自らの研究として実施するという位置づけで研究が行われている。

## 6 今後の課題

電波ばく露レベルモニタリングプロジェクトは本稿執筆時点で5か年計画の最終年度である。研究戦略検討会報告書では電波ばく露レベルモニタリングデータの取得・蓄積・活用は、2040年まで継続的に実施する必要がある、とされており、5か年は一つの区切りにすぎない。身の回りの電波は、今後も増えていく傾向であることは確実であり、これまで利用されていなかった周波数帯も利用されるようになる。技術の変遷とともに電波環境も変化するので、長期的に電波ばく露レベルのモニタリングを継続する必要がある。

2019年度にスタートして、これまでの4年あまりの取組で、モニタリングデータの取得、蓄積については軌道に乗りつつある。一方、活用については十分なデータの蓄積が前提となることもあり、今後の一層の取組が期待される課題である。

研究戦略検討会報告書では、モニタリングデータの活用の主な目的はリスクコミュニケーションであると位置づけられている。しかし、モニタリングデータのリスクコミュニケーションへの活用の方法は、欧州での先行例があるものの、いまだに手探りの状態である。電波ばく露レベルのデータを電波防護指針と比較して十分に小さいことを確認する、ということは一つの活用である。しかし、活用はそれほど単純ではない。防護指針値は熱作用を根拠に定められている。一方で、懸念の背景にあるのは、科学的に確立された根拠はないものの、熱作用でない影響(非熱作用)があるかもしれない、という不安であり、防護指針値との比較が公衆の期待に沿うものであるとは限らない。説明によっては期待する情報とのミスマッチによって誤解を招く恐れもある。受け手によって求める情報が異なることから、情報提供の在り方に単純な解は得られない。情報の受け手との双方向のコミュニケーションが必要とされる。

このような困難な問題を踏まえて、情報の受け手が電波ばく露レベルのデータを必要とするときに、必要なデータが蓄積されている環境を整えておく、という

電波ばく露レベルモニタリングデータの活用の在り方を、我々は最初の目標としている。すなわち我々が活用するというより、必要な人に必要なときに活用していただくことができるようにする、という情報提供の在り方である。特定の利害に影響されず、客観性と透明性を大切にして、持続的、網羅的にデータを蓄積することが、信頼の醸成に資することであると考えられる。このような息の長い取組を続けていくことがこれからの課題である。

## 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」(JPMI10001)により実施した。本研究に助言をいただいております本プロジェクトの技術情報委員会及びリスクコミュニケーション委員会の有識者の皆様には感謝いたします。また、国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁環境研究室の山口さち子主任研究員、Liu Sen 研究員、亀谷和久研究員、飛田和博研究技術員、幾代美和研究技術員、江崎かおる研究技術員、には本研究への参加協力をいただき感謝いたします。

## 【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」に関する一部答申,” 2018.
- 大西輝夫, “生活環境における電波ばく露レベルの長期モニタリングへの取組 ~ 電波ばく露レベルモニタリング取得・蓄積・活用 ~,” 電波技術協会報 FORN, 347, 14-17, 2022.
- ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz),” Health Physics, vol.118, no.5, pp.483-524, 2020.
- Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields), 2013.
- 日本産業衛生学会, “許容濃度等の勧告(2022年度),” 産衛誌, vol.64, no.5, pp.253-285, 2022.
- Dürrenberger G, Fröhlich J, Rössli M, Mattsson M-O. “EMF Monitoring—Concepts, Activities, Gaps and Options,” International Journal of Environmental Research and Public Health, vol.11,no.9, pp.9460-9479, 2014. <https://doi.org/10.3390/ijerph110909460>
- Aerts, S., Wiert, J., Martens, L., Joseph, W. , “Assessment of long-term spatio-temporal radiofrequency electromagnetic field exposure,” Environ. Res., vol.161, pp.136-143, 2018.
- <https://www.who.int/initiatives/the-international-emf-project>
- 1999/519/EC, Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz),
- International Commission on Non-Ionizing Radiation: “Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields”. Health Phys.;74: pp.494-522, 1998.
- 徳重 寛吾, 杉浦 行, 小口 哲雄, 川名 達一, 小宮 紀旦, 大内 智晴, 都竹 愛一郎, “電波塔近傍地域における TV・FM 放送波の電力束密度の推定および測定,” 電波研究所季報, 30 巻 155 号, 1984.
- 徳重 寛吾, 上村 佳嗣, 山中 幸雄, 清水 良真, “短波国際放送送信所周辺にお

## 5 電波ばく露レベルモニタリング

- ける電磁環境の測定と推定。”通信総合研究所季報, 34 巻, 173 号 pp.211-220, 1988.12. [https://doi.org/10.24812/nictkenkyuhoukoku.34.173\\_211](https://doi.org/10.24812/nictkenkyuhoukoku.34.173_211)
- 14 徳重 寛吾, 山中 幸雄, “航空路監視レーダ局周辺の電磁環境の測定と推定。”電子情報通信学会論文誌 B, vol.J75-B2, no.2, pp.145-149, Feb. 1992.
- 15 徳重 寛吾, 山中 幸雄, 早川 正士, “中波放送局周辺地域における電磁界強度予測法。”電子情報通信学会論文誌 B, vol.J80-B2, pp.524-532, June1997.
- 16 郵政省 電気通信技術審議会答申 諮問第 89 号「電波利用における人体防護の在り方」, 1997.
- 17 [https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/283520/www.soumu.go.jp/s-news/2007/070326\\_2.html#bt](https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/283520/www.soumu.go.jp/s-news/2007/070326_2.html#bt)
- 18 <https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/ele/seitai/sonota/>
- 19 和氣 加奈子, 花澤 理宏, 長岡 智明, ポンパイブーン ポーンアノン, 河井 寛記, 渡辺 聡一, “生体電磁環境における医学・生物学的研究への取組。”情報通信研究機構季報 vol.52 no.1, pp.117-125, 2006.
- 20 The INTERPHONE Study Group, Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study, International Journal of Epidemiology, Volume 39, Issue 3, pp 675-694, June 2010. <https://doi.org/10.1093/ije/dyq079>
- 21 A. Gati, A. Hadjem, M. -F. Wong and J. Wiart, “Exposure induced by WCDMA mobiles phones in operating networks.” IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.8, no.12, pp.5723-5727, December 2009. doi: 10.1109/TWC.2009.12.080758
- 22 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
- 23 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, “電波ばく露レベルモニタリングデータの取得,” 情報通信研究機構報告, 本特集号, 5-2, 2023.
- 24 S. Liu, T. Onishi, M. Taki, S. Watanabe, “EMF Exposure Monitoring of 28-GHz-Band 5G Systems and Applications of Deep Learning Techniques in the Field of EMF Exposure Monitoring, 情報通信研究機構報告, 本特集号, 5-3, 2023.
- 25 亀谷 和久, 多氣 昌生, 幾代 美和, 大西 輝夫, 渡辺 聡一, “ウェブアンケートによる無線機器の利用実態と電波に対する意識調査”, 情報通信研究機構報告, 本特集号, 5-4, 2023.
- 26 K. Yamazaki, A. Ikeda-Araki, C. Miyashita, N. Tamura, T. Yoshikawa, T. Hikage, M. Omiya, M. Mizuta, M. Ikuyo, K. Tobita, T. Onishi, M. Taki, S. Watanabe, R. Kishi, “Measurement of personal radio frequency exposure in Japan: The Hokkaido Study on the Environment and Children’s health,” Environmental Research, Volume 216, Part 1, 114429, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114429>.



大西 輝夫 (おおにし 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



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