

5Gの健康に及ぼす影響

調査

欧州議会調査局 (EPRS)
欧州議会科学技術選択評価委員会 (STOA)
科学技術の未来に関する委員会
PE 690.012 – 2021年7月

概要

1. 背景

この数十年は、情報通信技術 (ICT) と呼ばれる技術が比類のない発展を示してきた。これには、携帯電話に使用される無線通信や無線周波数 (RF) 電磁場 (EMF) を使用するWi-Fiなどが含まれる。

掌に載る携帯電話の第1世代は、1980年代後半に利用可能になった。その後、第2世代 (2G)、第3世代 (3G)、第4世代 (4G、LTE [=long-term evolution (長期進化)]) は社会に劇的に普及率を増加させたので、現在、ヨーロッパでは住民よりも多く無線機器が存在する。更に、Wi-Fi等の無線データ転送の形態は至る所にあるようになり、世界中で利用可能になった。それにもかかわらず、高速インターネットへのアクセスの面で新たな不平等が (高所得国のなかでも) あって、権威主義体制による支配は、民主主義とヨーロッパの価値観への危険性を示めている。

モバイルネットワークでは、次世代のRF通信である5Gの導入が始まっている。5Gは完全に新しい技術ではなく、既存の1G~4G技術からの進化である。5Gネットワークは複数の異なった周波数帯域内で作動し、5Gネットワークの第一段階では、その中のより低い周波数が提案されている。これらの周波数のいくつかは、過去にモバイル通信世代に使用されているか、現在も使用されている。また、5G技術進化の第二段階では、それより遥かに高い無線周

波数を使用する計画もある。その新しい周波数帯域は、超高周波（UHF）範囲を遥かに上回って、センチメートル（3-30GHz）またはミリメートル範囲（30-300GHz、ミリ波）の波長にある。これらの周波数帯域は従来、レーダーとマイクロ波回線に使用されたため、人間の健康の影響について、まだほとんど調査されていない。

2. 方法

現存の科学的証拠を調査するこのレビューは、動物の生体内の研究とヒトに対する疫学研究の両方に基づき、2G～5Gネットワークを使う携帯電話通信システムから発生するRFの発癌性や生殖・発達の影響の両方に焦点をあてた。評価された研究は2つのグループに分けられた：

1) 低周波数領域（FR1：450～6000MHz）でのRFによる健康への影響を評価する研究。これはまた、高域携帯ネットワークの既存の2～4世代で使用される周波数を含んでいる。2G～4G研究からの現在の証拠は、現在入手可能な研究の中では最良の証拠である。これらの研究は、「ナラティブ」方法※を用いて評価された。

（訳注※「ナラティブ」方法：変数の特定の変化に関連する理由および/または量を同定するために、歴史的な文書からシリーズを構築すること）

2) 高周波領域（FR2：24～100 GHz -ミリ波）でのRFによる健康への影響を評価する研究。高周波領域は新しく使用され、以前に移動通信に使われておらず、特定の物理的特性および生物学的物質との相互作用（より低い浸透、より高エネルギー等）を有する、新しい5G技術に特有のものである。これは、スコーピングレビュー方法※を使用して別に検討された。

（訳注※スコーピングレビュー方法：利用可能な研究文献の潜在的なサイズと範囲の予備的評価する方法）

ナラティブレビュー（FR1）はスコーピングレビュー（FR2）と区別されたが、スコーピングレビューに示された選択基準と評価基準は、両方の検索に、又、がんおよび生殖・発生生物学的終点に関する研究を含有・除外するために採用された。

最終的に疫学および実験的研究の結果、および癌や生殖・発達転帰の結果を評価する際に、本報告書の要件に合わせて、そして両方の終点（すなわち、癌と生殖・発達の影響）に有効であり、IARCモノグラフ前文(2019年)で示されているパラメータについて次のように検討した：

「十分な証拠」：RF-EMFへの曝露と特定の有害作用との因果関係が確立されている。すなわち、偶然性、バイアス、交絡因子が合理的な信頼性をもって除外された試験において、被験物への曝露に関する一連の証拠特定の有害作用との間に正の関連が観察されている。

「限られた証拠」：RF-EMFへの曝露に関する証拠の本体で観察された正の関連性および有害作用の因果的解釈は信頼できるが、偶然、バイアス、交絡因子が合理的な信頼性をもって除外されない。

「証拠無し」：利用可能なデータや証拠がないので、有害作用（明記されるべき）の欠如を示唆する。

癌および生殖・発達への影響の両方のための全面的な評価は、以下のように、ヒト・動物の証拠の統合によって得られた：

ヒトにおける証拠	実験動物における証拠	証拠の強さに基づいた評価
十分	不必要	曝露と有害作用の明確な関連
限られた証拠	十分	曝露と有害作用とのありそうな関連
限られた証拠	十分まで至らない	曝露と有害作用との関連の可能性
不十分	不十分、または限定的	分類不可能

3. 曝露度評価

5Gの導入による曝露評価、とりわけ、MIMO（複数入力、複数出力）技術に関連する基地局（BS）およびユーザ機器（UE）の両方の活動における連続的な変化のモニタリング問題は複雑である。さらに、1G、2G、3G、

4 G、および5 Gの同時照射に関する、将来のシナリオにおける曝露評価への技術的アプローチはまだ策定中であり、それゆえ不確実である。

4. 非熱的影響

非熱効果の有害性または潜在的な有害性を示す入手可能な出版された科学的研究の膨大な量にもかかわらず、RF-EMF とヒトおよび動物の組織との非熱的かつ生物学的相互作用の有害な作用は、ICNIRP 2020ガイドラインの決定に含まれていない (ICNIRP 2020a)。非熱的生物反応は存在し、確かに幾つかの周波数は、医学の幾つかの分野で治療目的に使用されている。よく知られているように、どんな薬でも、最も有益な薬でさえ、副作用を伴う可能性がある。従って、リスク評価では、RF-EMF の熱的および非熱的作用を考慮する必要がある。

5. RF-EMFに関する研究の最先端

電磁スペクトルのRF領域 (450~6000MHz、即ち、より低い周波数) で動作する無線通信デバイスの導入は、健康上の懸念に焦点を当てた相当な数の研究のきっかけとなった。これらの研究は、ヒト (疫学的)、動物 (げっ歯類の実験的研究)、および生体外の細胞系に関する研究を含む。

地理的な区域ごとのより高い移動データ量を可能にするために、5 Gネットワークは無線デバイスの数を増加させて、より多くのインフラを必要とする。しかも、5 Gに必要な高い周波数 (24~100GHz、MMW) の到達範囲は狭くなるため、高密度なネットワークを構築する必要がある。これらの周波数で入手可能な研究は数が少なく、雑多な品質である。

その結果、この高い周波数が低い周波数とは異なる健康および環境への影響を持つかどうかについて疑問を提起する。世界中に、RFの安全性の評価は、さまざまなレベルで実施されており、科学論文と政策論文が発表されている。

癌については、IARC 2011では、2013年に発表され、IARC (2013) で全面的に引用された、2011年までにレビューされた文献 (Baan, 2011年) を分析し、「30kHz~300GHzの周波数範囲のRF-EMFを、ヒト及び実験動物における「発癌性の限られた証拠」に基づいて、ヒトに「発癌性の可能性がある」と定義した。2011年に入手可能な研究では、ここで「FR1」と呼ぶ範囲のRF、即

ち、450～6000MHzを調べた。「FR2」の周波数（24～100GHz）はミリ波の範囲にある。

IARC2011分析では、RF-EMFを評価した。5Gに関する研究はなかったが、高周波レーダーの職業性曝露やマイクロ波曝露に関する幾つかの研究が含まれていた。

新しいミリ波周波数（FR2：24～100GHz）は、すでに5Gで部分的に利用されてる、より低い周波数に追加される。そのため、周波数450から6000MHz（FR1）の5Gについては多くの研究があり、癌についてIARCモノグラフで多数集められている。それに対して、26GHzおよび他のミリ波周波数については、一般的に、健康への有害作用の可能性を探る文献はほとんどない。この簡単な理由は、これまでFR2の周波数はマスコミに使用されたことがないので、研究する目的になるFR2の周波数に曝露された適切な集団がほとんどなかったからだ。同様に、実験動物に対して、非熱的影響に関する適切な研究はほとんどない。

6. 本調査の結果

PubMedとEMF Portalデータベースを用い、著者らの研究にスコーピングレビュー方法論を適用して、ヒトにおけるRF-EMFの発癌性に関する950件の論文、および実験的げっ歯類研究に関する911件の論文、合計1,861件の研究を見出した。生殖/発達研究に関しては、疫学の研究2,834論文と実験的げっ歯類研究に関する5,052論文、合計7,886件の研究を見出した。現在の文献のレビューおよび上記の考察から、以下の結論に達する。

6.1 ヒトにおける癌

FR1（450から6000MHz）：ヒトにおけるRF放射線の発癌性の証拠は限られている。2011年の評価全体の結果を2020年に更新したところ、無線電話からの高周波放射線への曝露と、神経膠腫（脳腫瘍）および聴神経腫瘍の両方との間に、再び正の相関が認められたが、ヒトでの証拠は依然として限られている。

FR2（24から100GHz）：高周波の影響に関する適切・十分な研究は実施されなかった。

6.2 実験動物の癌

FR 1 (450から6000MHz) : 実験動物におけるRF照射の発癌性の十分な証拠がある。2011年のIARCの評価に続く新たな研究では、RF-EMFと脳および末梢神経系のシュワン細胞の腫瘍との間に正の相関が認められ、疫学研究でも同じタイプの腫瘍が観察された。

FR 2 (24から100 GHz) : 高周波での適切・十分な研究は行われなかった。

6.3 ヒトの生殖/発生への影響

FR 1 (450から6000MHz) : 男性の生殖能に対する有害作用の十分な証拠がある。女性の生殖能に対する有害作用の証拠は限られている。妊娠中に携帯電話を習慣的に長時間で利用する母親の子供における発達影響の証拠は限られている。

FR 2 (24から100GHz) : 高周波での適切・十分な研究は行われなかった。

6.4 実験動物における生殖/発生影響

FR 1 (450から6000MHz) : 雄ラットおよびマウスの生殖能に対する有害作用の十分な証拠がある。雌マウスの生殖能に対する有害作用の証拠は限られている。胚の生存中に曝露されたラットおよびマウスの仔の発生に対する有害影響の証拠は限られている。

FR 2 (24から100 GHz) : 高周波数での非熱的影響に関する適切・十分な研究は行われなかった。

7. 総合評価

7.1 癌

FR 1 (450~6000MHz) : これらのFR 1周波数はヒトに対しておそらく発癌性である。

FR 2 (24~100GHz) : 高周波での適切・十分な研究は行われなかった。

7.2 生殖/発生影響

FR 1 (450~6000 MHz) : これらの周波数は明らかに雄の受胎能について影響がある。女性の生殖能力に影響を及ぼす可能性がある。胚、胎児、新生児の発育に悪影響を及ぼす可能性がある。

FR 2 (24~100 GHz) :高周波数の非熱的影響医に関する適切・十分な研究は行われなかった。

8. 政策の選択肢

8.1 RF-EMF曝露の低減を可能にする携帯電話用の新しい技術を選ぶ

現時点で最大の脅威と思われるRF放射原は携帯電話である。送信施設（無線基地の電波塔）を最も危険だと思う人がいるが、実際には、人間の最大の曝露負荷は一般的に自分の携帯電話から来る。なお、疫学的研究では、主に携帯電話のヘビーユーザーで、脳腫瘍及び末梢神経のシュワン細胞腫瘍の統計的に有意な増加が観察されている。

従って、いっそう安全であり、エネルギー放出が低く、可能であれば身体から一定程度離れているときにのみ作動する携帯電話装置を製造するために行動が必要である。有線イヤホンは問題をよく解決するが、不便なので、嫌がられる。一方、いつでもスピーカーフォンモードを使えるとは限らない。電話との接続でRF-EMF曝露を可能な限り低下させる選択肢は、1Gから5Gまで、使用されている周波数にかかわらず、適用されている。欧州よりも厳しい携帯電話SAR制限を施行した米国、カナダ等の国では、効率的な1G、2G、3G、4G通信を構築することができた(Madjar, 2016年)。5Gは従来の技術よりもエネルギー効率を高くすることを目指しているため、携帯電話端末にEUの厳しい制限を採用することは、同時に持続可能かつ予防的なアプローチになる。

8.2電波塔からのRF-EMF曝露を低減するために、公衆・環境の曝露限界を改訂する

最近、EUの政策（欧州委員会、2019年）は、気候変動、エネルギー転換、農業生態学、生物多様性の保全を含めて、地球の健康状態を常に監視するために新技術を使用する、新しい経済的および社会的開発モデルの持続可能性を促進している。5Gの最も低い周波数を使用し、ICNIRPが推奨している予防的曝露限度値よりも有意に低いイタリア、スイス、中国、ロシア等で使用されている被曝限度値の採用は、EUの持続可能性の目標を達成するのに役立つであろう。

8.3 RF-EMF曝露の低減への動機づけをする措置の採用

新しい、低周波数領域の5Gの無線技術の驚くべき性能の多くは、光ファイバー

ケーブルの使用と共に、1～4 Gシステムの曝露を減らす工学・技術的な手段の採用によっても達成できる可能性がある (Keiser, 2003; CommTech Talks, 2015; Zlatanov, 2017)。これによって、固定場所で接続が必要なところでは、曝露が最小限になるであろう。例えば、光ファイバーケーブルは学校、図書館、職場、住宅、公共施設等、および全ての新しい建物に接続するために使用されるだろう。携帯電話等の長距離伝送技術を使用していない人々の受動の曝露を避けることによって、多くの脆弱な高齢者や免疫不全の人々、子供、電磁波過敏症で悩む人を保護するために、人々が集まる公的な場所を (禁煙区域と同様に) 「RF電磁波禁止」区域にできるであろう。

8.4 5 Gの長期的な健康への影響を評価し、5 Gへの曝露をモニタリングする適切な方法を見つけるための学際的な科学研究の推進

文献には、5 Gのミリ波に曝露した場合に腫瘍および生殖・発生への有害影響が生じるリスクを除外したり、5 Gとすでに使用されている他の周波数との間の相乗的相互作用の可能性を除外したりする十分な研究は含まれていない。このことは、5 Gの導入を健康問題と人口の実際の曝露の予測やモニタリングの両方に関する不確実性に満ちたものにしてしている。これらの知識のギャップは、適切かつ十分な研究が完了するまで5 Gミリ波のモラトリアムの要求を正当化している。

これらの不確実性を考慮して、一つの政策選択肢は、ヒトおよび環境の動植物、例えば、非ヒトの脊椎動物、植物、菌類、無脊椎動物に対する6GHz から300 GHzの間の周波数での5 Gミリ波の生物学的影響と、曝露評価に関する様々な要因についての学際的なチーム研究を促進することである。

ミリ波は、最終的な5 Gプロトコルで、つまり3～5年後まで導入されない。この期間を考慮すると、1つの選択肢は、全世界の人口と環境を曝露する前に、その影響を研究することである。

さらなる予防的研究を行わずにミリ波5 G技術を実施することは、その結果について完全に不確実な状態にあるヒト集団に対して「実験」を行うことを意味する。我々の範囲をヨーロッパに限定すると、これは、現在REACH (EC, 1907/2006)によって規定されている化学の分野のような分野で起こり得る。

REACHは、化学物質の本質的な特性をより良く、より早く特定することに

より、人の健康と環境の保護を改善することを目指している。EUのREACHは化学物質の登録、評価、認可、制限を規制している。また、EUの化学産業のイノベーションと競争力を強化することも目指している。EU REACHは「データも市場もない」の原則に基づき、物質の安全性情報を提供する責任を産業界に課している。

製造業者及び輸入業者は、化学物質の安全な取扱いを可能にするために、化学物質の特性に関する情報を収集し、欧州化学物質庁（ECHA）の中央データベースに登録することが求められている。1つの政策オプションは、あらゆる種類の技術革新に同じアプローチを適用することである。

これらの研究の結果は、5Gミリ波周波数に対するヒトおよび非ヒト生物のRF-EMF曝露に関する証拠に基づく方針を開発するための基礎を形成する。RF-EMFの健康への影響を一般的に、特にミリ波の健康への影響をより良く、独立して調査するためには、さらなる研究が必要である。

8.5 5G情報キャンペーンの推進

RF-EMFの潜在的な有害性に関する情報が不足しており、その情報の格差は、拒否者と不安を抱く人々の余地を生み出し、多くのEU諸国で社会的・政治的緊張を引き起こしている。したがって、広報キャンペーンが優先されるべきだ。

情報キャンペーンは、学校をはじめとするあらゆるレベルで実施されるべきである。潜在的な健康上のリスクだけでなく、デジタル開発の機会、5G伝送のためにどのようなインフラ上の代替手段が存在するか、EUおよび加盟国によって講じられている安全対策（曝露限度）、および携帯電話の正しい使用についても、人々に知らせるべきである。健全で正確な情報によってのみ、私たちは市民の信頼を取り戻し、適切に管理されれば大きな社会的・経済的利益をもたらすことができる技術的選択についての合意を共有することができる。

（2021年10月8日、翻訳：トニー・ボーイズ、オームズビー・パトリシア、加藤やすこ）