

## 健康リスクシリーズ

# 第1回 電磁波の健康リスクを考える —WHO の評価から—

宮越 順二

放射線安全を担う私たちにとっては、リスクは身近な概念です。しかし考えてみると、身の回りのほとんどすべてのものが健康に対してリスクを持っています。私たちがあまり知らない分野のリスクについて、どの程度なのだろう、どのように評価されているのだろうという疑問がわいてきます。この新企画では、研究の最前線で活躍されている方々にお話し、分かりやすく解説していただきます。  
(放射線安全取扱部会広報専門委員会)

### 1. はじめに

昨年の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故以来、我が国の“放射線”に対する意識が極めて高くなっている。広島・長崎での被爆は言うに及ばず、昔から“放射線は怖い”という認識は、社会的に一致している。我々の生活環境を見渡すと、周波数の大きい順から、電離放射線、紫外線、可視光線、非電離の電磁波が存在している。“電磁波”という言葉は、正確にはこれらすべてを含む呼称であるが、生体影響の観点から考えると、それぞれは異なる性質を持っている。放射線に関する科学的知見はたくさんあるが、低線量放射線の影響評価についてはいまだ明確な結論が出ていないのも事実である。放射線の健康リスクを考える上で、非電離の電磁波の健康リスクについて、国際的評価とその経緯を知ることも情報として参考になるであろう。本稿では、生活環境での利用率が高く、周波数が数ギガヘルツ以下の電離能力のない“電磁波”を指すことにする。日々の生活の中で、環境因子としての電磁波をどのよう

に考えるか、その一助になれば幸いである。参考までに、放射線や紫外線と比較し、図1は生活環境における電磁波発生源の例を示す。

現代社会は、目には見えないが生活環境に電磁波があふれている。高圧送電線、家庭内の電化製品、医療現場、それに携帯電話やその基地局などである。未来社会において人が生活する上で、定常磁場、低周波から高周波に至る多種多様な電磁環境は、ますます増加の一途をたどることが予想される。放射線と同様に、電磁波環境は目に見えないこともあり、このような背景から、電磁波の健康への影響について不安を抱いている人が多いのも事実である。ここでは、国内外における電磁波の生体影響研究の現状並びに世界保健機関（WHO）をはじめとした国際機関の健康に対する影響評価を紹介する。電磁波影響を科学的に正しく理解することに主眼をおくが、まだまだ未解明な部分も多く残されている。放射線影響の研究の歴史は長い。しかしながら、低線量の健康影響については、科学的に明確な結論が出ていない。一方、

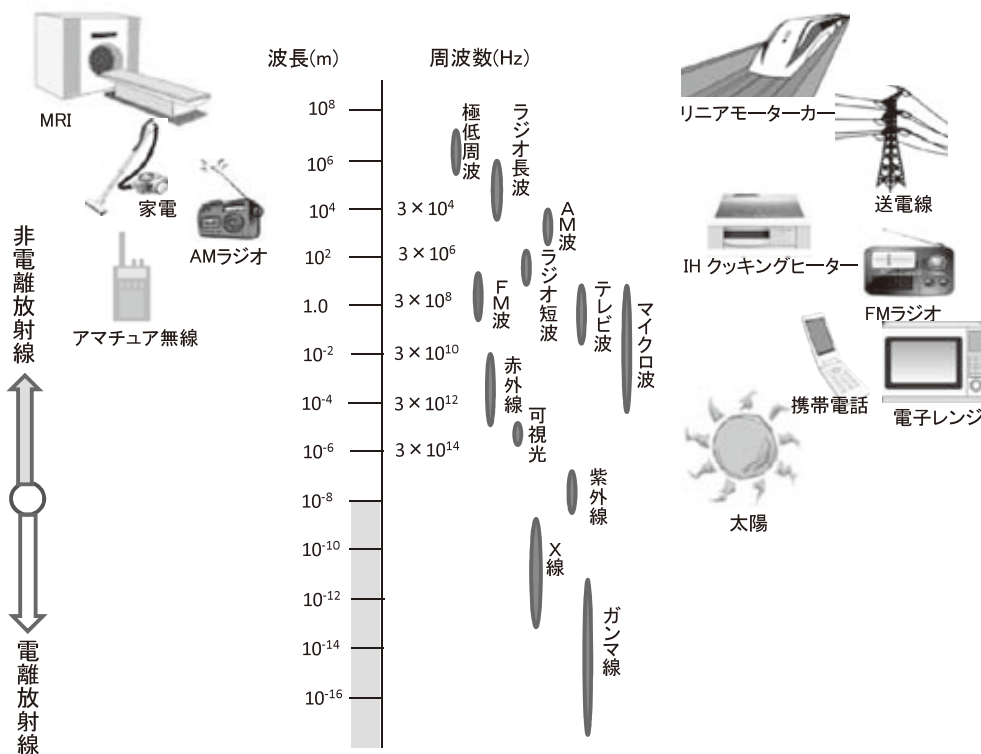


図1 生活環境における周波数別電磁波発生源の例

電磁波と健康については、放射線に比べて、本格的な生体影響研究の歴史は浅い。これまでの国際動向をまとめ、環境因子としての電磁波の健康リスクについて考える。

## 2. 電磁波問題の背景

歴史的には、1979年に米国の疫学者が、高圧送電線の近くに住む子供の白血病発生率が高いことを発表したことが始まりである<sup>1)</sup>。その後、1990年代に入り、送電線からの極低周波電磁波（主として50、60 Hz）についての疫学研究に加えて、動物や細胞を用いた生物学的研究が活発に行われてきた。これまで、米国やヨーロッパを中心とした疫学調査により、生活環

境において0.4 μT（マイクロテスラ）を超える極低周波電磁波は、発がん性評価として、特に小児白血病が約2倍に増加すると報告されている<sup>2)</sup>。ただ、この結論は、疫学研究におけるほかの要因の関与をすべて除外したものでない。その一方、これらの疫学研究結果から、成人や小児の他のがんについては、影響なしと報告されている。極低周波電磁波の細胞や動物レベルの生物学的研究結果では、生活環境レベルでは影響がなく、この数万倍（磁束密度で数mT（ミリテスラ））を超えると影響が出始めるとされている。多くの電磁波生体影響研究に用いられている磁束密度は、居住環境における影響を主眼においているため、その曝露レベルは非常

に低いものである。そのため、細胞や動物に対する顕著な影響が認められないのは当然かもしれない。このことは、高線量域ではよく知られている放射線ですえ、その低線量放射線については、不明な点も多く、現在でも国際的に議論されていることによく似た傾向である。

これまでに知られている、電磁波に関する生体影響研究の成果として、おおむね 100 kHz の周波数で区切って、低周波域では“刺激作用”，高周波域では“熱作用”のあることが知られている。これらの生体応答は、一時曝露の急性反応である。特に、強力な高周波については、人体への熱作用を利用した、がんの温熱療法、リュウマチや神経痛の治療など、医学での臨床応用に利用されている。ただ、生活環境レベルの高周波健康影響については、研究実績が少なく、不明な点が多かった。前述したように、携帯電話の急速な普及により、これは人の脳に近付けて使用するものであり、高周波の影響として、脳腫瘍をはじめ、脳への影響として不安視されるようになってきた。さらに、熱以外の、いわゆる“非熱作用”の有無について議論が高まってきた。近年、特に子供や若者への影響が問題視され始めている。

### 3. 電磁波生体影響の評価研究

電磁波に限らず、環境因子の生体影響について、その評価手法は、大きく分けて、細胞・遺伝子レベル、実験動物レベル、並びにヒトを対象にした疫学やボランティアによる研究がある。表 1 に、これまで行われてきている電磁波生体影響研究の主な評価指標をまとめた。

国際的に電磁波の健康リスクについて、議論が高まってきた 1990 年以降、電磁波影響研究は、世界各国で行われている。数多くの論文発表があり、ここでは紙面の関係上、詳細は関連資料を参照されたい<sup>3,5)</sup>。研究の多くは発がんとの関連性から、細胞では、遺伝毒性 (DNA 損傷、染色体異常、突然変異など) や機能的変化としての遺伝子発現 (がん遺伝子、熱ショックタンパクを主体としたストレスタンパクなど) に対する電磁波の影響検証が行われている。動物実験では、そのほとんどが発がんへの影響を検討するものであったが、その他、生殖に関するもの (胎仔の発育や催奇形性について)、神経系に関するもの (行動や感覚機能について) や免疫機能に関するものも行われてきた。疫学研究についても、その多くは発がんに関して行われているが、近年、アルツハイマー症や不眠、頭痛などを評価対象にしたものもあ

表 1 電磁波生体影響の主な評価指標

研究分類	対象	評価指標
細胞実験研究	細胞	細胞増殖, DNA 合成, 染色体異常, 姉妹染色分体交換, 微小核形成, DNA 鎖切断, 遺伝子発現, シグナル伝達, イオンチャンネル, 突然変異, トランスフォーメーション, 細胞分化誘導, 細胞周期, アポトーシスなど
動物実験研究	実験 (ラット, マウスなど)	発がん (リンパ腫, 白血病, 皮膚がん, 乳腺腫瘍, 肝臓がんなど), 生殖や発育 (着床率, 胎仔体重, 奇形発生など), 行動異常, メラトニンを主とした神経内分泌, 免疫機能など
疫学研究	ヒト	発がんやがん死亡 (脳腫瘍, 小児及び成人白血病, 乳がん, メラノーマ, リンパ腫など), 生殖能力, 自然流産, アルツハイマー症など
人体影響	ヒト	心理的・生理的影響 (疲労, 頭痛, 不安感, 睡眠不足, 脳波, 心電図, 記憶力など), メラトニンを主とした神経内分泌, 免疫機能など

る。その手法として、ケース・コントロール研究が多く行われ、コホート研究もわずかであるが行われている。細胞や動物実験に比べて、ヒトのデータという意味で一般社会に対する結果の影響力は大きいものがある。しかしながら、その反面、我々人間はいろんな環境で生活しており、研究の主題となる因子について純粹に調査することは不可能である。因果関係が明確な場合はよいが、影響の程度が低い場合は、結果を左右しかねない集団の選別方法や他の影響因子（選択バイアスや交絡因子という）が統計的評価を狂わす可能性は排除できないという問題点もある。

#### 4. 国際的生体影響評価とガイドラインや規制の流れ

電磁波の生体影響を評価する主な国際的機関はジュネーブの世界保健機関（WHO）である。1990年以降、国際的に電磁波の健康影響に関する議論が高まる中、WHOは、1996年に国際電磁波プロジェクト（International EMF Project）を立ち上げた。以来、本プロジェクトへの参加国が増え、60か国に達している。国際電磁波プロジェクトは、WHOの組織として、電離放射線の健康影響を担当する部署に所属している。このプロジェクトはシンポジウムやワークショップなどの開催をはじめとして、その時々における生体影響評価の現状報告や取り組むべき課題の提案などを行っている。まず、WHOの下部組織である、リヨンの国際がん研究機関（IARC）において、研究成果が、ある一定基準に達した（評価可能）と判断されると、発がん性評価を行う。研究成果とは、英語論文に限定することなく、執筆言語がどこの国の言語であれ、査読付の論文であれば基本的に評価対象とする。例えば、極低周波電磁波の発がん性評価会議については、2001年にIARCで開催され

た。世界各国から21名の専門委員が集まり、評価を実施した。疫学研究のプール分析の結果では、居住環境の低周波磁場レベルが0.4  $\mu\text{T}$  以上の場合（約0.8%の子供が対象となる）、白血病の相対リスクがほぼ2倍に増加し、統計的な有意性があることを示していた<sup>2)</sup>。細胞や動物レベルで顕著な陽性効果は認められなかったが、この疫学結果を重視し、発がん性評価として、“グループ2B”（Possibly carcinogenic to humans：発がん性があるかもしれない）と決定した。身近なものとして、同じグループにコーヒーや漬物がある。詳細は、IARCモノグラフ80巻を参照されたい<sup>6)</sup>。ちなみに放射線や紫外線は、“グループ1”（Carcinogenic to humans：発がん性がある）である。参考のため、表2に、IARCの主な発がん性分類を示す。

次に、WHOは同じ環境因子について、がん以外の健康影響も含めて生体影響評価を行うタスク会議を開催する。この会議は環境保健クライテリア（EHC：Environmental Health Criteria）を作成するためのもので、極低周波電磁波については、2005年に開催された。IARCでの発がん性評価を妥当とする結論に加えて、研究実績の不十分な領域の推進が提唱された。このEHCは2008年2月に刊行本として出版された<sup>7)</sup>。

WHOの生体影響評価を踏まえて、電磁波の場合は、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP：International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection）が、非電離放射線の国際ガイドラインを策定している。世界各国はこのガイドラインを参考としてそれぞれ基準を設けてきている（参考までに、米国電気電子学会（IEEE）も規格を出している）。2010年11月に、極低周波（1 Hz～100 kHz）電磁波に関する新ガイドラインが公表され、論文として出版された<sup>8)</sup>。図2には、各国が法律として定め

表2 IARCによる発がん性の分類とその主な例 (2012年6月28日現在)

発がん性の分類及び分類基準	既存分類結果 [952例]
グループ1：発がん性がある (Carcinogenic to humans)	電離放射線、紫外線 (100~400 nm)、アスベスト、カドミウム及びカドミウム化合物、ホルムアルデヒド、太陽光曝露、タバコの喫煙、アルコール飲料、コールタール、受動的喫煙環境、ベンゾピレン、紫外線を用いた日焼け用ランプ [他を含む 108例]
グループ2A：おそらく発がん性がある (Probably carcinogenic to humans)	アクリルアミド、アドリアマイシン、シスプラチン、メタンスルホン酸メチル、ディーゼルエンジンの排気ガス、ポリ塩化ビフェニル、木材などのバイオマス燃料の室内燃焼 [他を含む 64例]
グループ2B：発がん性があるかもしれない (Possibly Carcinogenic to humans)	極低周波 (ELF) 磁界、高周波 (RF) 電磁波、アセトアルデヒド、AF-2、プレオマイシン、クロロホルム、ダウノマイシン、鉛、メルファラン、メチル水銀化合物、マイトマイシンC、フェノバルビタール、コーヒー、漬物、ガソリン、ベンズアントラセン [他を含む 271例]
グループ3：発がん性を分類できない (Unclassifiable as to carcinogenicity to humans)	静磁界、静電界、極低周波電界、アクチノマイシンD、アンピシリン、アントラセン、ベンゾ (e) ピレン、コレステロール、ジアゼパム、蛍光灯、エチレン、6-メルカプトプリン、水銀、塩化メチル、フェノール、トルエン、キシレン、お茶 [他を含む 508例]
グループ4：おそらく発がん性はない (Probably not carcinogenic to humans)	カプロラクタム (ナイロンの原料) [1例]

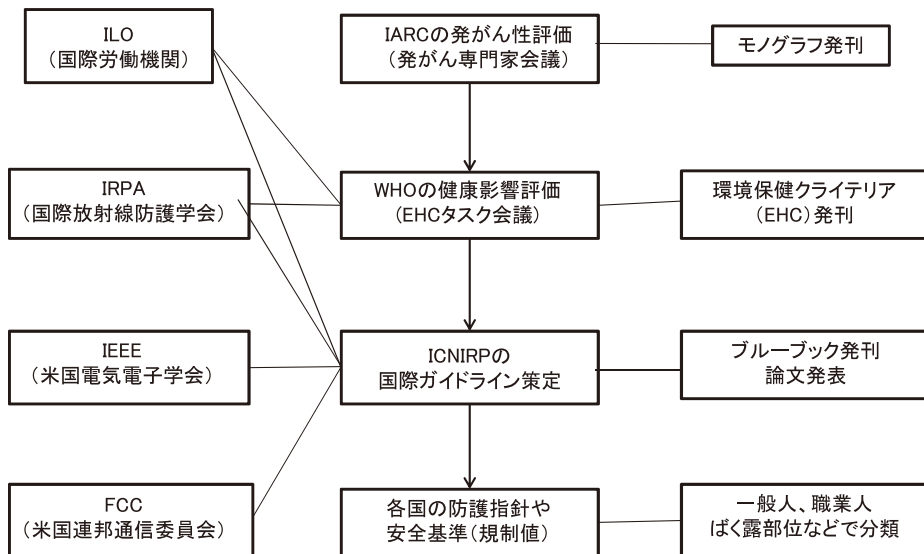


図2 生体影響評価から電磁波の規制に関する流れ

ている電磁波の防護指針や規制について、その制定までの大枠としての流れをまとめた。

なお、携帯電話や基地局を代表とする高周波電磁波に関して、IARCでの発がん性評価は、2011年5月に実施された。疫学研究及び実験動物の発がん研究について、脳腫瘍の増加など、一部の陽性結果を認め、“限定的証拠”と評価した。総合評価として、極低周波と同じ“グループ2B”と決定した<sup>9)</sup>。高周波のWHOによるEHC会議は、2013年に開催を予定している。なお、筆者は、前述の電磁波に関するIARC発がん性評価会議、WHOの健康影響評価タスク会議、それぞれの評価委員、並びにICNIRPの常設委員を務めている。

### 5. 電磁波生体影響とリスクコミュニケーション

前述のように、現代社会は、電気をエネルギーとして利用し、さらに情報通信をはじめ、生活環境における多種多様な電磁波利用の役割は極めて大きく、この流れは、将来にかけてますます加速してゆくものと考えられる。利便性が高くなる一方で、電磁波に対する危惧、特に健康への影響について不安を抱く人々が多いことも事実である。これまで筆者は、国際機関の電磁波生体影響評価に携わってきた。その中でも特にWHOのタスク会議においては、リスクコミュニケーションの重要性が各国の多くのメンバーから指摘されていた。ここで取り上げた電磁波は、電離能力もなく、一般的に“放射線”といわれているX線やγ線とは異なる電磁波である。エネルギー面からいえば、細胞のDNAを直接傷つけることは考えにくいところだが、一般社会における“電磁波”ということばは、“放射線”と同じように受け止められている可能性も高い。WHOをはじめ、国内でも関係省庁（経済産業省、総務省、環境省など）

やその関連機関では、ホームページを利用するなど一般の人々への周知に努力している。さらに、全国で電磁波と健康に関する講演会を開催し、より多くの人々に科学的知見の現状を伝え、理解を深める方策も実施しているところである。その一方では、電磁波の不安を助長させるような多くの出版物やホームページが見受けられるのも事実である。

電磁波と健康の理解にはリスクコミュニケーションが重要である。しかしながら、生命科学領域で、未解明な（不確定な）ところは、新しい研究なくして、リスクコミュニケーションにも限界がある。研究の推進とリスクコミュニケーションの同時進行が極めて重要であると考える。

### 6. おわりに

筆者としては、機会あるごとに、これまでに明らかにされた科学的検証の結果をより分かりやすく紹介し、さらに未解明なものは未解明であることを正確に伝えるように努めている。送電線や携帯電話に加えて、コンピュータのワイヤレスバッテリー、電気自動車の無線給電など、近い将来の電磁波利用は高まるばかりである。このように増加の一途をたどる将来の電磁環境を考えると、未解明な部分については、生命科学の先端技術を駆使して、さらに研究を推進してゆく必要があると考える。例えば、電磁過敏症の問題は、科学的な証拠は見付かっていないので、因果関係は明確ではない。ただ、自覚症状として訴えている人がおり、解決すべき問題の1つと考える。その一方、低線量放射線研究の難しさを目の当たりにし、電磁波と生体の応答解明を長年研究してきた経験から、日常生活環境での極めて低い強度の電磁波応答については生命科学の限界さえも感ずる。放射線に眼を移すと、昨年の福島第一原子力発電所の事

故以来、報道や出版物などからの放射線に関する数多くの情報に関して、放射線教育の不足と重要性を感じている。リスクコミュニケーションを進める上でも、例えば、放射線安全取扱部会として、子供たちの教育の先端を担っている小学・中学・高等学校の先生を対象として、学習指導での放射線教育に、何らかの貢献ができれば幸いであると考えている。最後に、一人の科学者としては、研究の推進努力をしなければならぬという認識を絶えず持ちつつも、同時に、正確で、かつ、お互いの理解が深まるリスクコミュニケーションの重要性も痛感している。

#### 参考文献

- 1) Wertheimer, N., *et al*, Electrical wiring configurations and childhood cancer, *Am J Epidemiol*, **109**, 273-284 (1979)
- 2) Ahlbom, A., *et al*, A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia, *Br J Cancer*, **83**, 692-698 (2000)
- 3) 宮越順二 (編者), 電磁場生命科学, 京都大学学術出版会 (2005)
- 4) 宮越順二, 超低周波磁界の国内規制動向, *Isotope News*, (651), 10-17 (2008)
- 5) Lin, J.C., (Ed.), Health Effects of Cell Phone Radiation, *Advances in Electromagnetic Fields in Living Systems Vol. 5*, Springer, New York (2009)
- 6) WHO, WHO-IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 80, Part 1, Static and Extremely Low-frequency Electromagnetic Fields (2002)
- 7) WHO, Extremely Low Frequency Fields-Environmental Health Criteria N° 238- (2008)
- 8) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP Statement-Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 kHz), *Health Physics*, **99**, 818-836 (2010)
- 9) Baan, R., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Islami, F., Galichet, L., Straif, K., WHO International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group.: Carcinogenicity of Radiofrequency electromagnetic fields, *Lancet Oncology*, **12**(7), 624-626 (2011)

(京都大学生存圏研究所)