

高周波電磁界の生体影響は今

Health Issues Related to the Biological Effects of Radio-Frequency Electromagnetic Fields

多氣昌生 東京都立大学工学研究科

M. Taki, Tokyo Metropolitan University

Biological effects of radio-frequency electromagnetic fields are reviewed, with a special focus on recent public fears regarding possible health risks related to mobile communications. A historical perspective on the development of knowledge about this issue is reviewed. The results of recent researches are also reviewed. Finally, recent reports on risk assessment and risk management with respect to this issue are discussed.

Key words: RF, electromagnetic field, safety, health

1. はじめに

携帯電話の爆発的普及に伴い、高周波電磁界（ここでは「電波」と呼ぶ）が急激に身近な存在となった。携帯電話機や基地局から放射される電磁界に日常的にさらされることが健康に悪影響を及ぼすのではないかと、という不安の聲が高まってきた。脳腫瘍患者が、その原因は携帯電話の使用にあるとして、訴訟を起こす例が1992年以来いくつか報道されている。また、携帯電話の拡大とともに多くの基地局が建設されているが、健康不安を理由にした近隣住民から反対の聲が世界各地から報道されている。

実際のところ、健康不安の科学的根拠は十分でない。また、仮にリスクがあるとしても、そのリスクが大きなものであるとは考えにくい。しかし、悪影響が絶対に存在しない、という証明は論理的に不可能であり、不安を払拭することは容易でない。わが国の目指すIT技術を基盤とした社会の構築には、ワイヤレス技術の活用が不可欠であり健康不安の問題を解決しなければこの技術の健全な発展はありえない。

本稿では、携帯電話による健康リスクに関する知識について、これまでの経過と現状を整理するとともに、世界各国のこの問題への取り組みの動向について述べる。

2. 熱作用と電波防護指針

2.1 電波による悪影響の認識

1887年にヘルツによって電波の存在が実証されて以来、この新しいエネルギーを応用しようとするさまざまな試みがなされた。わずか10年間あまりでマルコーニが大

陸間無線通信に成功したことは、電波応用の研究が非常に精力的になされたことを物語っている。

人体への作用も早くから調べられた。1907年にドフォレストによって三極真空管が発明され、強力な電波が発生できるようになると、これで身体を加温できることがわかった。この“artificial fever”がさまざまな疾病の治療に効果があると信じられ、多くの試みがなされた。その結果、治療効果が得られることもあるが、過度の電波照射は白内障や熱傷など健康に悪影響を及ぼすことがわかった。電波の「熱作用」はこのようにして認識された。

2.2 初期の防護指針

第2次世界大戦以降、軍事施設を中心にレーダーなどで大電力のマイクロ波が利用されるようになると、電波の照射から人体を防護する必要が生じた。このため1950年代に、マイクロ波の健康影響について米国陸海空軍による研究プログラムが実施された。このときの成果が、熱作用による生体影響の定量的理解と 10 mW/cm^2 という防護指針値であった。すなわち、人体に 100 mW/cm^2 程度のマイクロ波を照射すると、組織で吸収される電波のエネルギーは熱として蓄積されて 1°C 程度の体温上昇が生じ、その熱の作用によって健康に悪影響が生じることがわかった。そこで、これに安全率10を考慮することで人体を防護できるとして、上述の防護指針値が導かれた。

2.3 電磁界ドシメトリと現在の防護指針

電波にさらされたときの人体での電力吸収は、入射電力密度だけで決まるのではなく、周波数、人体の形状、組織の電気定数、電磁界ベクトルと人体の相対的な向き、大地への人体の接地条件などに依存する。生体を含む電磁気学によって、このような生体内の電磁界の性質を調べる研究分野を電磁界ドシメトリという¹⁾。

熱作用は、人体に吸収される電力に依存する。人体の大きさと同程度の波長の電波では、人体の全身で共振することがあり、吸収電力が特に大きくなる。生体に影響の現れる閾値は、電力密度で表すと実験対象や実験条件によってさまざまであったが、比吸収率（Specific Absorption Rate, SAR; 単位質量当たりの吸収電力 $[\text{W/kg}]$ ）の全身平均値で表すと、哺乳動物では動物の種や曝露条件によらず閾値が大体一定で、 $4\sim 8 \text{ W/kg}$ であることがわかった。

Table 1 Maximum permissible exposure levels for mobile communication systems in Japan (general environment)

Exposure source	Base stations	Mobile telephones
800 MHz	0.53 mW/cm ²	2 W/kg
1.5 GHz	1 mW/cm ²	2 W/kg

このことから、安全率を考慮して、全身平均 SAR が 0.4 W/kg 以下になるような電界強度および磁界強度を防護指針値とすることになった。したがって、電界強度および磁界強度、あるいは電力密度で表した防護指針値は周波数に依存した数値となった。すなわち、人体の身長に近い波長範囲で指針値がやや厳しく制限される。現在、この考え方は世界のほとんどの国の防護指針で共通である^{2)~4)}。

携帯電話機による曝露は頭部のみ集中する。このような局所に集中した曝露では、局所での吸収を制限する必要がある。このため局所 SAR についての指針値も定められた。全身が均一に曝露された場合でも、SAR が人体の各部分で 20 倍程度異なる不均一な分布となる。これを考慮して、米国では 8 W/kg (任意の組織 1 g での平均値)、欧州では 10 W/kg (任意の組織 10 g の平均値) を局所 SAR の限度値とした。わが国では、8 W/kg (1 g 平均) を基礎にしているが、この数値は体表に適用されないとの条件があることを考慮し、防護指針としては欧州と同じ値 (10 W/kg, 10 g 平均) が現在使われている。

以上の防護指針値は管理された環境で適用される (管理環境)。一般の公衆に対しては、電波環境の管理が必ずしも十分でないことから (一般環境)、安全率をさらに 5 倍 (SAR についてであり、電界強度や磁界強度では $\sqrt{5}$ 倍) 考慮して、より厳しい指針値としている。この考え方も世界ではほぼ共通である。

防護指針値の例として、携帯電話機および基地局に関するわが国の防護指針値を Table 1 に示す⁴⁾。携帯電話は公衆通信なので一般環境の指針値が適用される。基地局からの曝露は遠方の波源によるほぼ均一な曝露であり、電力密度で表される。携帯電話機では、身体近傍の局所曝露のため局所 SAR が問題になる。実際の曝露の典型的な数値は、基地局からの見通し範囲の住宅地でも、この指針値より数桁以上小さい。携帯電話機からの曝露は、最大の電力を放射する場合には指針値に近い吸収が生じることがあるが、実際には必要最小限の電力で運用されるので SAR は指針値よりかなり小さい。

2.4 電波防護に関する規制

防護指針は、旧ソ連や東欧諸国を除き、はじめは主に法的強制力をもたない任意の指針として活用されてきた。しかし近年は法的規制として運用される例が増えている。

1985 年に米国の連邦通信委員会 (FCC) は米国環境政策法に基づき、通信放送施設から放射する電波に対して米国

規格協会 (ANSI) の電波安全規格を満たすよう義務づけた。ドイツでは 1997 年に連邦排出物規制法に基づき、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) の防護指針 (後に欧州勧告に移行) を満たすことを義務づけた。わが国でも 1999 年に電波法が一部改正され、通信放送のための固定無線局は免許の条件として郵政省 (現、総務省) の電波防護指針を満たすことが義務づけられた。

これらの規制は固定無線局にだけ適用されてきた。しかし、携帯電話の急速な普及に伴って、携帯電話機による SAR についても強制力のある規制を行う必要が生じた。問題は、SAR の評価が容易でないことである。SAR は人体組織内で定義されるので、これを直接に測定することができない。このため、代替の人体モデルを用いて評価しなければならない。携帯電話使用時の人体頭部 SAR 測定方法の標準規格について検討がなされ、わが国では 2000 年 11 月に電気通信技術審議会答申として標準測定法が示された⁵⁾。欧州では、欧州電気標準会議 (CENELEC) で、米国では米国電気電子学会 (IEEE) の規格調整委員会 (SCC) 34 で検討が行われ、それぞれ規格成立の段階に至った。これらの規格は、それぞれの固有の事情も反映されているものの、調和したものとなっている。また、国際電気標準会議 (IEC) に 2000 年に設置された技術委員会 TC106 「人体ばく露に関する電磁界の評価方法」でも国際的な調和が図られている。

標準測定法が定められたことにより、携帯電話機による SAR 値の規制が始まる。わが国ではそのための手続きが 2001 年 6 月に完了した。市販の携帯電話機による SAR 値を公表すべきとの声があり、わが国でも測定データが公表されている。ただし、標準測定法で得られる SAR 値は最大出力時の値であり、これが小さいことが実際の使用時にも SAR が小さいということではない。また、SAR 値がより小さい機器がより安全であるということでもない。防護指針を満たしている機器はいずれもルールに適合した機器として等しく扱うのが適切である。

3. 非熱作用と携帯電話の健康問題

3.1 非熱作用の認識

現在の防護指針の考え方は、世界各国の専門家によって科学的な根拠に基づくものと合意され認められている。しかし、防護指針で考慮されていない「非熱作用」が健康に悪影響を及ぼすのではないかとの考えが古くから存在する。

このような疑念の発端は、1950 年代にモスクワの米国大使館に微弱なマイクロ波が照射されていたことが発覚したことから始まった⁶⁾。米国大使館員がこのことに気づいたときに、弱いマイクロ波が何を意味するかわからなかった。しかし、旧ソ連の文献に微弱なマイクロ波が人間の精神・神経活動に影響を与えることを示唆する研究が多数

あったこと、当時のソ連の安全基準が 0.01 mW/cm^2 と、米国の基準値の 1000 分の 1 であることがわかったことから、米国でも弱いマイクロ波の生体影響についての研究が始まった。

パンドラプロジェクトと呼ばれる研究では、チンパンジーにマイクロ波を照射し、行動などへの影響が観察された。しかし結局、影響は見られなかった。このときの経験が、現在でもマイクロ波の未知の影響に対するトラウマとして人々の脳裏に焼きついており、電波が不思議な生体作用をもっているかもしれないという恐怖心の原因になっている。

3.2 その後の非熱作用研究

高周波電磁界の非熱作用に関する研究は絶えず続けられてきた。1950 年代に、レーダーの近くで作業する人たちが、カチカチという音を知覚することがわかった。レーダーのパルス波はピーク電力が大きい、平均電力は熱作用の生じるレベルよりずっと小さい。この現象はよく調べられ、レーダーからのマイクロ波パルスが人体頭部で吸収されてわずかであるが急激な熱膨張を生じさせ、これが弾性波として聴覚器で知覚される現象であることが明らかにされた^{7),8)}。弾性波の振幅は微弱であるが、聴覚器が非常に敏感なため知覚できるのである。したがって、弾性波が音として知覚されること自体は健康に悪影響を与えないと考えられている。この現象は、熱による体温上昇以外にも電波が生体に作用する機構が存在することを実証するものである。

パンドラプロジェクトの後も、神経活動に対する電波の影響に関する研究は続けられた。1970 年代に低周波で振幅変調した微弱なマイクロ波（数マイクロ W/kg）の照射により、籐の脳組織からのカルシウム流出に変化が生じるという現象が報告された。この現象は特定の変調周波数（脳波の周波数に近い 16 Hz 付近）の場合にのみ観察されることから「窓効果」と呼ばれた。カルシウムイオンは細胞内の情報伝達に関係するので、細胞の生物学的機能の調節や、脳の働きにも影響があるのではないかと考えられ、この報告は大きな注目を集めた⁹⁾。米国環境保護庁の Blackman らが同じ現象を後に報告したため、この現象は再現性のある現象とみなされるようになった。

1986 年に米国放射線防護審議会 (NCRP) は人体に対する高周波曝露の安全指針に関する報告書を刊行した¹⁰⁾。この中で NCRP は、窓効果を考慮し、低周波で変調された高周波電磁界に対しては、職業的曝露の場合にも公衆と同じ安全率（5 倍大きな安全率）を適用することを提案した。また、最近の英国専門家会議の報告でも、「予防的政策として、16 Hz 付近で振幅変調された電波を通信システムなどで使用すべきでない」という勧告を出した。その後、このような変調波が、TETRA という業務用システムで使用されていることが指摘され、英国放射線防護会議 (NRPB) の

専門家会議がこれまでの研究の再レビューを行った。検討の結果、健康に悪影響を与えるおそれがあるという証拠は不十分であると報告した¹¹⁾。

3.3 携帯電話の健康問題

携帯電話システムについては、防護指針が満たされるように責任ある機関が管理を行い、実際に防護指針を満たすシステムとなっている。それにもかかわらず、携帯電話による健康影響がしばしば問題として取り上げられている。携帯電話の健康問題が大きく取り上げられるようになった発端は、冒頭に述べたように 1992 年の米国フロリダ州での脳腫瘍患者の家族による訴訟であり、健康に悪影響があることを示す事実があったわけではない。

今、なぜ携帯電話の健康問題に関心もたれるのであろうか。一つの理由は、現在の防護指針の直接の根拠が、全身に電波を照射したときの深部体温上昇による短期的な作用であり、基地局からの曝露のように微弱な電波を長期間照射した場合や、携帯電話機からの曝露のように脳の局所に集中した曝露が健康に影響を与えないとする直接的な根拠が不十分なことである。また、携帯電話で用いられる波形はデジタル変調された複雑な波形であり、これまで主に正弦波の連続波で調べられてきた知識がそのままでは適用できないのではないかと、との疑問の声があるためである。

この問題の背景にあるのは、科学的根拠や技術の問題だけではない。新しい技術が急激に浸透するとき、人々はその技術にはリスクが伴うかもしれないと用心する。特に、その技術が社会に大きなインパクトを与える技術であり、急激な浸透による混乱、たとえば景観やマナーの問題など、に不快感を抱く人がいる場合にこの傾向が強くなる。技術にともなうリスク認知の大きさは、客観的に評価したリスクとしばしば食い違う。電波は健康影響のリスクが過大評価されやすい性質をもつ。例えば、電波が目に見えないこと、その性質が理解しにくいこと（電波工学が得意な人はそれほど多くない）は、不思議な作用の可能性を想像させる。また、携帯電話基地局のように自分の意志とは無関係に電波が放射されるとき、リスクがより大きく認知される傾向がある。電波の健康問題の背景としてこれらの問題も考慮する必要がある。

4. 最近の研究

携帯電話の生体影響に関しては、科学的知識をきちんと整理する必要がある。このため、世界保健機関 (WHO) および各国の機関の研究プログラムにより多くの研究がなされている。以下では現在の状況を簡単に要約する^{12), 13)}。

4.1 遺伝毒性

がんは最も恐れられている疾病の一つであり、原因が明らかでない部分もあるために、未知のリスクの評価では特に関心もたれる。がんの最初の段階は遺伝子が傷つくこ

とである。これをイニシエーションという。エックス線やガンマ線などの電離放射線はDNAを切断し、イニシエーションの作用をもつ。電波はこのような作用をもたないといわれている。これに対し、米国のLaiらは2 W/kgの電波を照射したラットの脳でDNAの切断が増えると報告した。この報告は重視され、その後多くの再現実験が試みられた。しかし、いずれも影響を認めなかった。

小核形成が高周波の曝露で増加するという報告もある。これも遺伝毒性の指標であるため、さかんに調べられている。影響があるとの報告もあるが、本当に再現性があるかどうかは疑問がもたれている。

これまでの研究では、数 W/kg 程度の SAR (内部電界強度で数 10 V/m に相当) では遺伝毒性を示すはっきりした影響は見いだされていない。

4.2 脳腫瘍とがん

携帯電話機を使用するときの電力吸収は、人体頭部の耳の付近で最大である。このため脳への影響、特に脳腫瘍への影響に関心がもたれている。

動物実験により、がんの発症が増加しないかどうかを調べた研究が行われている。Adeyらは、エチルニトロソウレア (ENU) でイニシエートしたラットの頭部に携帯電話と同じ波形の電波を集中的に照射したとき、脳腫瘍がプロモート (促進) されるかどうかを長期曝露実験 (2年間) によって調べた。800 MHz のアナログ方式の FM 変調波形と、米国の IS54 規格 (米国で主に使われているデジタル方式の一つ) のデジタル変調波形を用いて実験が行われた。それぞれ計 520 匹 (6群)、計 236 匹 (4群) のラットを用いた大規模な実験であり、信頼性の高い曝露条件のもとで行われた。その結果、これら二つの実験ではいずれも脳腫瘍の促進が見られなかった。

わが国でも、ジエチルニトロソアミン (DEN) でイニシエートしたラットの肝臓がん促進について実験が行われた。PDC 方式 (日本のデジタル方式携帯電話の規格) のデジタル変調波形を用い、900 MHz 帯と 1.5 GHz 帯のそれぞれで計 2 回の実験が実施された。動物数はそれぞれ計 120 匹 (3群) で、携帯電話で実際に受けるより 3 倍以上強いレベルで 6 週間肝臓に集中して曝露した。実験結果は、いずれもがんの促進が認めなかった。

結論を出すには慎重でなければいけないが、これらの実験から、高周波電磁界を浴びても極端な悪影響がないことが確かめられた、と理解してよさそうである。

しかし、Repacholiらは、遺伝子操作によりイニシエートしたマウス (E μ -Pim1 トランスジェニックマウス) 計 201 匹 (2群) に、18 カ月間にわたり 800 MHz 帯の GSM 規格 (欧州を中心に世界各国で使われているデジタル方式) の電波を全身に照射したとき、リンパ腫が約 2.4 倍に増加したと報告した。この結果は、良質の研究の中で、電波の照射によってがんが増えたというほとんど唯一の例で

ある。しかし、実験条件が完全に整っていたわけではない。この実験では、曝露条件がよく管理されておらず、全身平均 SAR が 0.08~4.2 W/kg の間であったという情報しかない。このため、実際にどの程度の強さの電波が照射されていたのか不明である。また、本来は 10 カ月以下の短期間で発がん性試験を行うために開発された E μ -Pim1 マウスに 18 カ月もの試験を行うことが妥当であるか、という問題点の指摘もある。このため、追試によって確かめるまではこの実験結果を正しく評価できないとされている。現在、オーストラリアおよび欧州でより精度の高い曝露装置を用いた追試実験が行われている。

4.3 血液脳関門

血液脳関門 (Blood-Brain Barrier, BBB) は、脳組織に必要な物質のみを選択的に透過させる機能であり、その解剖学的な実体は脳毛細血管である。血液脳関門の存在により、脳神経近傍の環境が常に一定に保たれている。強いマイクロ波によって温度が上昇すると血液脳関門の透過性が高まるといわれている。しかし、温度上昇の生じない条件でも電波の照射によって透過性が高くなるという報告もある。携帯電話の使用により血液脳関門の透過性が高まれば、頭痛などの症状や他の疾患の原因となるおそれがあるため、研究が続けられている。

Fritzeらは、GSM 方式の波形をラットに照射した実験から、脳での SAR が 3.5 W/kg 以下では影響がなく、7.5 W/kg を超えるとやや影響が見られると報告した。この値は、管理環境の局所 SAR についての指針値より低い。このため、わが国でもさらに研究がなされた。その結果、温度上昇に留意すれば 7.5 W/kg でも影響が見られないことが示された。その後、実験方法によっては、比較的弱い曝露条件でも透過性がやや高まることを示唆する報告もあり、わが国を含めて、さらに検討が進められている。

4.4 記憶および学習

Laiらは、電波をあてたネズミでは迷路学習の能力が低下すると報告している。しかし、英国の研究グループが追試を行った結果、この現象は再現されなかった。わが国で行われた研究でも影響が見られなかった。Laiらは、レーダーで使われている波形を模擬した非常に短時間でピーク電力の大きなパルス波を用いた。これに対して英国の研究とわが国の研究は、欧州の携帯電話の方式である GSM 方式およびわが国の PDC 方式の波形を模擬した波形を用いた。平均電力が同程度のパルス波であっても、Laiらの用いた波形はピーク電力が数 100 倍大きく、ラットにマイクロ波聴覚効果が生じていた可能性がある。この場合、聴覚的なストレスが学習を妨げた可能性が考えられる。

4.5 神経生理学的作用

神経生理学的変化や行動の変化についてのボランティア研究も行われている。

脳波や誘発電位への影響には否定的な研究もあるが、変

化を認めた研究もある。以下の報告は1998年以降のものである。Eulitzらは、高頻度の聴覚刺激から低頻度の聴覚刺激を識別するオドボール聴覚刺激による誘発電位の18~30 Hzの成分が抑制されると報告している。Freudeらは、視覚監視課題における事象関連電位の振幅がやや小さくなると報告している。ただし、課題処理能力には変化を認めていない。

Preeceらは、36人のボランティアに対して、携帯電話機使用による短期記憶、長期記憶、反応時間などへの影響に関するさまざまな実験を行った。曝露は、連続波とGSM方式の変調波形のパルス波で、出力は1 Wと0.125 Wである。さまざまな試験項目の中で、選択反応時間のみわずかに減少する（すなわち反応が速くなる）ことが示されたほかは、影響が見られなかった。反応時間の減少は388 msから373 msへの変化で、大きな差ではなかったが、統計的には有意であった。

Koivistoらは、48人のボランティアに対して類似の実験を行った。その結果は、二者択一課題の反応時間についてPreeceらの結果と同様に反応時間が減少する傾向を示した。PreeceとKoivistoはこの現象には再現性があると指摘しており、頭部の携帯電話機に近い部分に位置する大脳皮質の温度がわずかに上昇し、神経のシナプス伝達が影響されるためではないかと推察している。ただし、さまざまな課題について実験を行っても、それらの反応時間が一貫性のある変化を示しているわけではない。

Krauseらは、電磁波を曝露したときの記憶、反応時間および誘発反応への影響を調べた。902 MHzのGSM方式を模擬した波形で変調された、250 mWのマイクロ波を用いており、曝露条件はKoivistoらの実験と同じである。4つの単語を聴覚的に提示し、次に提示される語がその中に含まれていたかどうかを判断する記憶走査課題を課したときの脳波に、曝露の有無で違いがあったという。

BraunらはGSM方式の携帯電話を35分間使用した後で、心拍数が減少、血圧が5~10 mmHg程度上昇、微小循環が減少することを報告し、脳幹を起源とする交感神経の亢進による影響ではないかと考察した。しかし、その後、これらの結果は電磁波の影響ではなく、実験条件の不備によるものとの見解を述べている。

4.6 睡眠への影響

睡眠との関係も研究されている。Mann and RöschkeはGSM方式の信号波形の電波に曝露されることによって入眠が遅れる傾向があること、REM睡眠時の脳波パターンに変化が見られることを報告した。しかし、後に同じグループは、この現象が再現しなかったとも報告している。一方、GSM方式の波形を模擬した電波の照射により、入眠から覚醒までの時間が長くなり、非REM睡眠時の脳波のパワースペクトルに変化が生じるという報告もある。メラトニンは生体リズムと関係の深いホルモンであるため、

Sezeらは携帯電話の電波を曝露したときのメラトニン分泌への影響の可能性を調べた。しかし影響は見られなかった。

神経生理学的作用についてのボランティア実験は、さまざまな実験条件に影響を受けやすい。しかも、実験例数が十分にとれない困難がある。ボランティア実験の結果はこのような制約を考慮して理解しなければならない。

5. リスク評価と対策

これまでに述べたように、高周波電磁界の生体影響には十分に長い研究の歴史があり、また携帯電話の急激な普及に伴い、この問題に焦点を絞った研究も数多く行われている。これらの研究報告には、かすかな変化が一部で示唆されるものの、携帯電話による電波が健康に悪影響を及ぼすという証拠は示されていない。

現在の研究プログラムの多くはWHOによる国際電磁界プロジェクトの一環として行われている。2004~2005年に予定されるWHOによる最終的なリスク評価が注目されるが、WHOによる評価に先立って、各国の機関がそれぞれリスク評価を行い、報告書をまとめている。最も包括的かつ影響の大きかった最近の報告は、英国の移動電話中立専門家グループによる報告書である。

この報告書は、英国公衆衛生大臣による諮問に対する答申として2000年5月に取りまとめられた¹³⁾。

報告書の結論の要約は以下のとおりである。

- ①これまでの研究を総合して、携帯電話機や基地局からの電波は、健康リスクとはいえない
- ②かすかな生物学的影響が存在する可能性は示唆されるが、これが存在したとしても、必ずしも健康への悪影響とはいえない。しかし、防護指針値以下でも絶対に健康への悪影響がないと断言はできない。
- ③より強固な科学的証拠が得られるまで、この問題に予防的な対策をとることを勧告する
- ④運転中の携帯電話利用は運転技能を低下させるのでやめるべき
- ⑤子供が必要以上に携帯電話を使用することは控えるべき

この報告書における、携帯電話の電磁界による健康影響に対する評価は、これまでの専門家の認識と同じであり、健康に悪影響があるという証拠はないと結論している。ただ、より強固な証拠が得られるまでの間、予防的な対策を考慮することを求めた点が反響を呼び、各方面で大きく取り上げられた。

ここで、予防的政策とは、1992年の「環境と開発に関する国連会議」(地球サミット)が採択した、「環境と開発に関するリオ宣言」の原則15条において環境保護の目的で宣言された原則であり、科学的証明を待たなくても、被害を最小限とするために、予防的な行動をとることという。後

に 1999 年にロンドンで開催された環境保健首脳会議は、WHO に対し、この原則を健康保護にも適用するよう求めた。

子供の携帯電話利用を制限したほうがよいとの見解⑤は注目を集めた。しかしこの項を除けば、ここでいう「予防的対策」は、英国で用いられている防護指針である NRPB ガイダンス¹⁴⁾ (公衆への付加的な安全率を取り入れていないので、他の国の指針値に比べて公衆に対して高いレベルを許容) に代えて、公衆に対して付加的な安全率を設けた ICNIRP 指針 (わが国の防護指針も同レベル) の値を採用することを勧告しているに過ぎない。

予防政策あるいは予防原則という言葉が、電磁界問題への対応を混乱させている。科学的な根拠を無視して、これまでの指針値の 100 分の一程度の厳しい規制を、「予防的に」適用すべきでという声もある。しかし、現在の WHO の見解は、電磁界の規制は科学的な根拠に基づく現行の防護指針に基づくべきであり、不確かな不安に対しては、規制としてでなく、不安をもつ人自身が個人のレベルで不要な曝露を避けるよう心がけるに留めるべき、としている¹⁵⁾。

6. むすび

高周波電磁界の健康影響問題の背景には、急激な技術の発展と生活への浸透に対する人々の警戒心がある。一般にこのような警戒心は、無意味かもしれないが、人々をリスクから救う可能性もある。携帯電話に対する警戒心がどちらであるかを断言することは難しい。しかし、極端な方向に振れずにバランスよくこの問題を解決していくことが必要である。

不確かな不安の問題が注目されている中で、高周波電磁界の生体影響について具体的にもっと探求が必要な問題もある。パルス波の生体作用については、マイクロ波聴覚効果以外に具体的・定量的な知識が不十分である。また、今後利用が進むと思われるミリ波領域の実験データも不十分である。これらの研究が必要である。

高周波電磁界の生体影響については、「悪影響がない」ことを確認することも重要であるが、影響を十分に理解することでコントロールする、という立場も大切である。医学生物学への有効利用の観点で高周波電磁界の生体影響を探求し、作用が見つかれば有効利用しながらその知識を安全の管理に役立て、見つからなければ安全の根拠として活用する、というのが今後の望ましい方向と考える。

参考文献

- 1) C. H. Durney *et al.* (Eds.): Radiofrequency radiation dosimetry handbook (4th edition). Armstrong Labora-

tory Occupational and Environment Directorate Radiofrequency Radiation Division USAFSAM-TR-85-73 (1984).

- 2) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields. *Health Physics*, **74**, 494-522 (1998).
- 3) IEEE Standards Coordinating Committee 28: Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz (ANSI/IEEE C95.1-1999), (IEEE, New York, 1999).
- 4) 電気通信技術審議会, 諮問第 38 号答申: 人体に対する電波防護指針, 1990 年.
- 5) 電気通信技術審議会, 諮問第 118 号一部答申: 「人体側頭部の側で使用する携帯電話端末等に対する比吸収率の測定方法」(2000).
- 6) N. H. Steneck: *The Microwave Debate* (MIT Press, 1984).
- 7) J. C. Lin: "Auditory perception of pulsed microwave radiation," in "Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy," ed. by O. P. Gandhi, (Prentice Hall, New Jersey, 1990).
- 8) Y. Watanabe, T. Tanaka, M. Taki, and S. Watanabe: "Numerical analysis of microwave hearing," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, **48**, 2126-2132 (2000).
- 9) S. M. Bawin, L. K. Kaczmarek, and W. R. Adey: Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. *Ann. NY Acad. Sci.*, **247**, 74 (1975).
- 10) National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP): Biological Effects and Exposure criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields, NCRP Report 86 (1986).
- 11) Possible Health Effects from Terrestrial Trunked Radio (TETRA): Documents of the NRPB, Vol. 12, No. 2 (2001).
- 12) Report of an Advisory Group on Non-ionising Radiation Independent Expert Group on Mobile Phones Report on Mobile Phones and Health (Chilton, National Radiation Protection Board, 2000).
- 13) M. Taki and S. Watanabe: Effects of Exposure to Electromagnetic Field Exposure from Mobile Communications Systems, IATSS RESEARCH, Vol. 25, No. 2 (in print).
- 14) NRPB: Board Statement on Restrictions on Human Exposure to Static and Time Varying Electromagnetic Fields, Documents of the NRPB, Vol. 4, No. 5, pp. 1-69.
- 15) WHO: Fact Sheet N-193, Electromagnetic fields and public health (Mobile Telephones and Their Base Stations (revised), June 2000).

(2001 年 8 月 20 日受理)



多氣昌生 たき まさお

昭 56 東大院博修了, 現在東京都立大学電気工学専攻教授。生体電磁環境, 騒音制御工学の研究に従事。国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) 委員, IECTC106 国内委員長, 電波科学研連副幹事, 総務省生体電磁環境研究推進委員会委員等
専門 環境電磁工学, 生体電磁気学 (工博)