



電磁界と公衆衛生：「レーダーと人の健康」

レーダーシステムは、航空機、船舶、その他通常では動く物体の存在や方向、大きさを探知するものです。これらの役目は、高周波電磁界のパルスが送られることによって可能となります。60年ほど前に発明されて以来、レーダーシステムは位置確認、航空技術、国家防衛、気象予報など広く使われてきました。このシステムは、個人や集団の安全や防護をいちばんの目的としています。

レーダーの周辺に住む人やそこで日ごろ働く人々は、がん、妊娠異常、白内障、幼児の行動や発育の変化など、レーダーシステムが及ぼす長期的に見た健康への悪影響について関心を示してきました。最近の例をひとつあげると、速度制限の携帯用レーダーガンを使用する警察官に精巣がんの増加が報告されたことです。

レーダーに関して危険であるという思い込みと実際の危険を区別することが重要であると同時に、現行の国際基準や今日使われている防護対策の裏にある理論を理解することも重要です。

電磁界放出

レーダーはふつう 300 MHz ~15 GHz の間の無線周波数で動作し、RF 界と呼ばれる電磁界を発生させます。この域の電磁界スペクトルにある RF 界は周波数によって人体に異なる作用を引き起こすことがわかっています。

10 GHz 以下 (1 MHz まで) の RF 界は、曝露した部分を貫通しエネルギー吸収によって熱を発生させます。貫通の深さは RF 界の周波数によって変わり、低い周波数のほうが深くなります。組織内のエネルギー吸収の度合いは、組織質量当たりの比エネルギー吸収率 *specific absorption rate* (SAR) で表わします。SAR の単位はキログラム当たりのワット(W/kg) です。SAR は、約 1 MHz から 10 GHz の間の RF 界「曝露量」を測るために使われる数量です。

- この周波数域の RF 界に曝露された人々に、これまででわかっている健康への悪影響が起きるには最低でも 4 W/kg の SAR が必要です。

10 GHz を超える RF 界は皮膚の表面で吸収され、その下部の組織に貫通するエネルギーはごくわずかです。10 GHz を超える RF 界の基本的曝露量を表わすには、平方メートル当たりのワット数 (W/m²) または弱い RF 界の場合、平方メートル当たりのミリワット (mW/m²) やマイクロワット (μ W/m²) の電力密度として測定される界の強さを使います。

- **1000 W/m² を超える電力密度をもつ RF 界の曝露は、白内障や火傷など健康への悪影響を及ぼすことがわかっています。**

人への曝露

レーダーシステムが放出する電力は、数ミリワット（警察の速度規制レーダー）からかなりのキロワット（広域追跡レーダー）まで様々です。しかし、レーダーシステムから発せられる RF への人の曝露は、いくつかの要因によって大幅に（少なくとも 100 倍は）軽減されています。

- レーダーシステムはパルスというかたちで電磁波を送り、またそれは継続的なものではありません。このことが放出される平均電力を最大パルス電力よりかなり小さなものにしていきます。
- レーダーには方向性があります。また発電される RF エネルギーは非常に狭い幅のビームに蓄えられていて、それはスポットライトの光線にも似ています。RF のレベルは中心のビームから離れると急速に弱まります。ほとんどの場合、それらは中心ビームのエネルギーより数 **1000 倍**低いレベルです。
- 多くのレーダーについているアンテナは、常時回転したり、上下運動によって高さを変えたりすることでビームの方向を常に変えています。
- 人に対して危険な曝露が起り得る場所はふつう無許可では立ち入りが禁止されています。

レーダー発生源

日常生活でよく目にするレーダーの種類には次のようなものがあげられます。

航空管制レーダーは、航空機の位置を追跡し、空港への着陸を管理するために使われています。それらは通常、ビームが地上の人には届かない高い位置に設置されています。典型的な航空管制レーダーは **100 kW** もしくはそれ以上の最大出力になることもありますが、平均出力は数百ワット程度です。通常の稼働状況においてこれらのシステムが一般の人々に対して危害を与えるようなことはありません。

気象レーダーはふつう空港から離れたところに航空管制レーダーと隣り合わせに設置されています。それらは高めの周波数で稼働していますが、平均出力や最大出力は低いことが多いです。航空管制レーダーと同じく、通常の稼働状況では、これらのシステムが一般の人々に対して危害を与えることはありません。

軍事レーダーは、その数も多く、高最大出力(**1 MW** もしくはそれ以上)で平均出力も **kW** に達するかなり大規模なものから、航空機内でよく見られる小規模な軍事火災制御レーダーまでさまざまです。大型レーダーについては、その周辺住民からよく関心が持ち上がります。ですが、広大な表面積に対して電力が放射されるためそれらシステムに関連する設置地区内

の電力密度は、10 から 100 W/m²の間でさまざまです。地区外では通常、RF 界のレベルは精巧な器具を使わなくては測定できないほどです。しかし、飛行機に搭載されている小型の軍事火災制御レーダーは地上の人々にとって危険となるかもしれません。これらの装置は比較的高い平均電力(kW)をもち、アンテナも小区域対象なので、電力密度を 10 kW/m²にまですることが可能となります。この種のレーダーの地上テスト期間中はすべての人の周辺立入は禁止されるため、一般の方々はこのレベルの電力に曝されることはありません。さらに軍関係では、下に示す他の種類のレーダーも使用しています。

海洋レーダーは、小型のプレジャーボートから大型の海洋船舶までさまざまところで見られます。これらシステムの最大電力は 30 kW にまで達することもあり、平均電力は 1 から 25 W です。アンテナが回転している通常の稼動状況では、平均的な電力密度はそれより高い電力システムでもアンテナの 1 メートル以内では 10 W/m²以下です。ほとんどの船舶の立入可能な場所であれば、この数値は現行の一般 RF 曝露基準の数パーセントにまで落ちます。

速度規制レーダー は多くの国で警察官が手にしており、平均出力は非常に低く、数ミリワットですので、体に近づけて使用したときでさえそれら装置は健康に危害を加えるものとはとらえられていません。

起こり得る健康影響

今日までにおこなわれた研究のほとんどは、がん以外の健康影響を調べているものです。それらは生理学反応や体温調節反応、行動変化や、比較的高いレベルの RF 界への急な曝露にともなう水晶体の濁り（白内障）や妊娠異常などの影響について調査したものです。他にはほとんど体温の上昇がみられない非熱作用について報告した研究もいくつかあります。

がん関連の研究: 多くの疫学調査では、RF への曝露と過度ながん危険性とは結びつきがあるとの可能性を示唆しています。ですが、それら研究の設計や実施方法の違いにより、結果をどう判断するかは難しいのです。いくつかの国内レベル、国際レベルの評価グループは、RF の曝露とがんへの過度な危険性とは結びつきがあるという明確な証拠はないとの結論を出しました。また WHO も、RF への曝露が人間の寿命を縮めるまた、RF ががんを誘発したり促進したりするという納得のいく科学的証拠はないと結論付けました。ですが、さらなる研究は必要です。

熱作用: RF 界に関しては、霊長類などの動物をつかって実験がおこなわれてきました。RF 界レベルの上昇とともに、健康への悪影響が動物にみられた初期の兆候には、忍耐力の減少、RF 界に対する嫌悪感、知能的な作業を遂行する能力の低下などがあげられます。またこれらの実験は、組織温度を 1℃以上上昇させられるほどの RF 界を、全身または局所的に曝された人であれば悪影響が起こり得ることも示唆しています。体温の上昇とともに可能性として考え得る影響には、白内障の誘発や様々な生理反応、体温調節反応が含まれます。これらの影響ははっきり分かっており、RF 界への労働者や一般人の曝露を制限する科学的な根拠となっています。

非熱作用: 発熱にはとても及ばないレベルの（つまりは非常に低い SAR 値をもつ）RF への曝露によって、細胞情報を伝達する重要な関わりをもつカルシウムイオン移動が変化すると

の報告をいくつかの研究グループがおこなってきました。しかしこれらの影響は、ヒトへの曝露を制限する根拠となるには十分確立されたものではありません。

パルス化された RF 界: レーダーに使われるものと似た強いパルスをもつ RF 界への曝露は、覚醒時のマウスの驚愕反応を抑制し、体動を促すと報告されています。くわえて、普通の聴覚を持つ人は 200 MHz から 6.5 GHz までの周波数の RF 界パルスを聴くことができました。これを **マイクロ波聴覚効果**とといいます。RF パルスの特性によって、ザーザー、カチカチ、シューシュー、ポンポンなどそれは様々な音に説明されています。長時間の曝露や繰り返しの曝露はストレスを生じるでしょうから、できる限り避けるべきです。

RF による感電や火傷: 100 MHz 以下の周波数では、レーダー付近にある金属の物体から誘導される電荷によって火傷や感電を起こす可能性があります。RF 界の中に立っている人は、身体において足首のような細い接続部がある部分に RF 界を局所的に多く吸収するかもしれませんが、一般的には、近年のレーダーシステムのほとんどが高い周波数域で稼動することが、ビーム幅が狭いことと合わせて、そのような影響の可能性を非常に小さくしている理由です。

電磁界干渉: レーダーは、他の電子機器と電磁界干渉を起こします。このような影響がはじめて起きるのはだいたい、人への RF 界曝露に関する推奨値よりはるかに下です。また付け加えると、レーダーは心臓ペースメーカーや補聴器など特定の医療機器と干渉することがあります。そのような機器を使用し、レーダーシステムの **かなり近くで**働いている人は、その製品が RF による干渉を受けるかどうかを判断するために製造元に連絡を取るべきでしょう。

引火性溶液と爆発物への発火: RF 界は電流の誘導によって、引火性溶液や爆発物に発火することがあります。このようなことが起きるのはまれですが、相当数のレーダーが集中している、海軍艇などでは用心され、発火作用を防ぐために対策が取られています。

国際基準

RF 界に対する曝露基準は、国際非電離放射線委員会 (ICNIRP) のような国際機関によってつくられています。ICNIRP は WHO によって公式に認証された非政府組織です。この委員会は、曝露制限に関する独自のガイドラインを草案するために WHO と連携してつくった健康リスク評価手法を使っています。ICNIRP のガイドラインは、確立されたすべての RF による健康障害に対して保護するためにあり、がんや非熱作用に関する報告を含む科学文献で評価済みのものすべてを検討した上で行われます。一般にも通常立入可能な地域におけるレーダー周辺の RF レベルは、ICNIRP のガイドラインで許される一般公衆への断続的曝露制限より少なくとも 1000 倍は下回り、よく知られた健康障害の初期症状を引き起こすとされている RF 曝露レベルより 25,000 倍も下回ります。

防護対策

防護対策の目的は、RF 界への人間の曝露を無くするまたは許容制限値以下にまで削減することです。効果的な防護対策とともに測定調査、危機管理情報の伝達などをおこなう大規模なプログラムが、すべてのレーダー設置場所の周辺には必要です。ほとんどの国では、環境影響報告を含めたわかりやすい資料が、レーダーシステムが構築できる前に用意されるこ

とになっています。

レーダー施設が建設された後は、その地区の RF 界レベルを定量化するために現地調査をおこなうべきです。レーダーの目の前ではかなり高いレベルの RF 界が測定できますが、公共の敷地でのレベルはほとんどの場合簡単に測ることができない程です。RF レベルが制限値以上の区域への労働者や一般人による侵入を防ぐために、技術面、管理面の両面からの制御がおこなわれています。

- 技術面では、内側ロック、特定の場所にはレーダーが向かないような電気的方法、遮蔽などによって管理することができます。
- 管理面には、視覚的にもわかる警報機、警告サイン、障壁、鍵のかかった扉を設けて立入を厳しくしたり、レーダーへの進入時間を制限したりすることが含まれます。

技術的、管理的制御が十分でないときには曝露基準内におさまるように、従業員個人で保護用具を使用するべきです。現在では伝導ウェア、手袋、安全靴、その他 RF 界から守るための個人用器具は簡単に手に入ります。

- この保護用具に使われている材料の減退特性は周波数によって大幅に異なるので、それら用具の取り扱いには注意しましょう。その用具の減退特性が対象としたい周波数をカットするとわかっているときにのみそれを信用して使ってよいでしょう。
- 金属が受信アンテナとして働いてその場の RF 界が強くなる恐れがありますので、RF 安全メガネを使うときは特に注意しましょう。
- 一般の人が、レーダーから出る RF 界に対しての防護器具を使用しなくてはならない曝露状況というのはありません。
- 近年、RF を遮断するとうたった衣服やその他グッズが、そのうたい文句が妊婦など一般市民の中で「敏感な」人々に向けられて消費者市場に出てきました。この手の商品を使用することは不必要ですし、やめておくべきです。それらは RF 界の遮蔽に対して効果もなければ、またこのような用具の必要性もありません。

レーダーシステムから放射された電磁界への人の曝露は、現在ある科学的証拠をもとにして採用された国際基準や防護対策によって制限されています。まとめとして、

- RF 界は、組織内の分子を振動させ熱を生じさせます。あるレーダーアンテナの目の前で時間を過ごせば熱作用があっても当然ですが、レーダーシステムから放射される RF 界の通常レベルではそれは可能なことではありません。
- 健康への悪影響を少しでも引き起こすためには、しきい値以上の RF 曝露がなくてはなりません。そのしきい値でよく知られているのは、組織の温度を最低でも 1°C 上げるために必要な曝露量のことです。レーダーシステムからの非常に低い周辺 RF 界レベルでは、重大な体温上昇は絶対に起き得ません。
- 今日までで研究者は、しきい値以下の RF 界に対する複数回曝露が健康への悪影響を引き起こすという証拠を見つけることができていません。低いレベルの RF 界に繰り返し曝されることで、損傷の蓄積が組織内で起きることはありません。

- 現時点ではがんを含む健康への悪影響が、国際基準によって定められた制限値以下の RF レベルに曝された人に起き得るとい実質的な証拠はありません。しかし、特定の知識の溝を埋めるにはさらなる研究が必要です。

より詳細な情報を入手したい方は、WHO本部のメディアセンターに電話+41 22 791 2222、電子メールmediainquiries@who.intまでご連絡下さい。