

〈特集：環境に起因する健康リスク〉

電磁場による健康リスク

大久保 千代次

はじめに

種々の家庭用電気製品が氾濫する今日、携帯電話の普及もめざましく PHS を含めると 2000 万台を突破し、大ざっぱに言えば国民の 5 人に 1 人が持っている勘定である。まさに、現代生活には不可欠な電気だが、電気を使用すれば必ず発生する電磁場の健康影響、特に発がんとの関連について、新聞、雑誌、テレビなどのマスメディアが競って報道している。これに関する単行本もこの数年に 10 冊以上発刊されて、国民の電磁場に対する漠然とした不安をよんでいる。

この不安は日本のみならず、世界各国でも同様である。WHO (世界保健機関) は、これまでに 3 編の電磁場に関する環境保健基準 (Environmental Health Criteria)^{1)~3)} を出版しているが、今年から 5 ヶ年計画で 0Hz から 300 ギガ Hz の電磁場を対象にその健康影響を見直す作業 (The International EMF Project) に着手し、1996 年は主として携帯電話の安全性について検討し、1997 年は商用周波数である 50/60Hz の交流電磁場を中心に検討する予定である。

本稿では、環境に起因する健康リスクとしての電磁場について、現在まで分っているその健康障害、特に発がんとの関連に関して情報を提供したい。電磁場とひとくち言ってもその対象となる範囲は広いので、今回は商用周波数である 50/60Hz の交流電磁場を中心に解説する。なお、電磁場には、難解な概念が多い。念のため、電磁場の健康影響に入る前に電磁場の概念を簡単に説明したい。

1. 概念の整理

電磁波は電磁場の振動する現象といえる。振動する回数あるいはその波長によって名前が違ふ。電磁波

(Electromagnetic wave) は図 1 に示すように、その波長によって、それぞれ名前がちがう。波長の長い方から極超長波、超長波、長波、中波、短波、超短波、極超短波、センチ波、ミリ波などの電波と、赤外線、可視光線、紫外線を含む光、エックス線やガンマー線などの放射線に分けられる。音と同じように電磁波の波長と周波数とは逆の関係にあるので極超長波が構築する電磁場は周波数からみれば、超低周波 (Extremely low frequency; ELF) 電磁場である。例えば ELF 領域にある交流の周波数は、東日本では 50Hz、西日本では 60Hz である。その波長は 6,000 キロメートルあるいは 5,000 キロメートルと非常に長い。そのため商用周波数がつくる電磁場では、電波としての性質が失われる。因みに、ELF 電磁場の周波数は、WHO では 3~300 Hz、ヨーロッパでは 30~300Hz、アメリカでは 100Hz 以下と定義されている。なお、携帯電話の周波数は 1 ギガ Hz 前後で、その波長は 30cm 前後、電子レンジは数ギガ Hz で、その波長は 10cm 前後となる。大変バラエティーに富んだ世界である。

電磁場は、「電離作用をもつ電離放射線 (Ionizing radiation)」と、この作用をもたない「非電離放射線 (Non-ionizing radiation)」に大別される。電離作用とは物質を構成する原子をイオン化する作用で、原子のイオン化とは原子の軌道電子を軌道外へはじき飛ばす現象である。エックス線やガンマー線のような高エネルギーを持つ放射線が電離放射線にあたる。紫外線より波長の長い電磁波はこれに比べて低エネルギーであり、非電離放射線に分類される。ELF 電磁波は、非電離放射線の一つである。

電磁場 (Electromagnetic fields) は、Maxwell の方程式に従えば時間で微分した形で書かれているので、時間的に変化する電場および磁場から成り立っている。電場とは、電荷をもつ物体の近傍につくられるものでベクトル量であり、磁場とは電流の流れている

(国立公衆衛生院生理衛生学部)

図1 電磁場の分類

		周波数	波長	主な発生源	
電離放射線	電離放射線	ガンマ(γ)線 エックス(x)線			
	非電離放射線	紫外線 可視光線 赤外線			
電離放射線	電離放射線	ミリ波(EHF)	30~300GHz	1cm~1mm	レーダー
		センチ波(SHF)	3~30GHz	10~1cm	衛星放送、マイクロウェーブ
		極超短波(UHF)	300~3,000MHz	1m~10cm	テレビ、電子レンジ、携帯電話
		超短波(VHF)	30~300MHz	10~1m	テレビ、FM放送、ポケットベル、業務無線
		短波(HF)	3~30MHz	100~10m	短波放送、国際放送、アマチュア無線
		中波(MF)	300~3,000KHz	1000~100m	ラジオ放送
		長波(LF)	30~300KHz	10~1km	
		超長波(VLF)	3~30KHz	100~10km	電磁調理器
		(VF)	300~3,000Hz	10 ³ ~100km	
		極超長波(ELF)	3~300Hz	10 ⁵ ~10 ³ km	家電製品、高圧送電線

導体の近傍につくられるベクトル量である。分かりやすく言えば電線のなかを流れる電流が波打つとその周囲にこれと同じ周波数をもった磁場が生じるわけで、両者は切っても切れない関係にある。磁場が変化しても電場の発生を伴う。互いに変換し得るので、水力発電では大きな永久磁石を回転させて発電している。

こどもの頃よく砂鉄などで遊んだ馬蹄形の永久磁石は「定常磁場」あるいは「静磁場 (Static magnetic field)」また直流磁場「(DC magnetic field)」を形成するが、これは時間的に変動を示さない周波数が0の電磁場と考えればよい。これに対して上で述べた ELF 電磁場波からミリ波までの電磁場は時間的に変化するので「変動磁場」と総称している。

なお、電気工学系では電磁場の「field」を「界」、物理学では「場」という言葉を用いているので、電場と電界、磁場と磁界、電磁場と電磁界はそれぞれ同じことである。

電場強度および磁場強度の単位はベクトル量で表現され、電場 (E) はメートル当たりのボルト (V/m)、磁場 (H) はメートル当たりのアンペア (A/m) である。いまここに一定の範囲内である強さの磁場を構成する空間があるとす。この時、その空間の単位面積を貫く磁束は一定でかつ均一であるが、ここに鉄を置いた場合と、水を置いた場合では磁束に大きな違いが

生じる。強磁性体である鉄は磁束を吸収するので、鉄の中の単位面積当たりの磁束は大きくなる。反磁性体である水は磁束を押し除けるので、単位面積当たりの磁束はわずかであるが小さくなる。このようにある物質内での磁束密度 (B) と磁場強度との間には、 $B = \mu H$ の関係が成り立ち、 μ を透磁率とよんでいる。磁束密度は T (テスラ) で表現され、単位は1平方メートル当たりのウェーバー (Wb/m²) で、cgs 単位では G (ガウス) が用いられる。1T は10,000G に相当する。念のため、1T=1,000mT, 1mT=1,000 μ T, 1 μ T=10mG である。人体組織の3分の2は水分で、磁性体は無視できる。そこで B が1 μ T の時は、 $H = (10/4\pi) A/m = 0.8 A/m$ の関係が成り立つ。

電磁場の生物学的影響は、周波数によって「熱作用」と熱の発生を伴わない「非熱作用」に大別される。周波数が高い電磁場では熱作用が中心となり、低い場合は非熱作用が主となる。

従って、電磁場の曝露量を表す単位もこの作用に合わせて周波数領域で異なっている。例えば静磁場や ELF 電磁場ではテスラを、3 キロ Hz~300メガ Hz までのラジオ周波数電磁場では A/m を、携帯電話や電子レンジから発生する300メガ Hz~300ギガ Hz のマイクロ波では1平方メートル当たりのワットで表される。

電磁場の生体影響は電場と磁場が関連するので、電場と磁場を別々に述べる必要がある。しかし、商用周波数の変動電場に関しては本稿のテーマである発がんとはあまり関係がないと思うので割愛する。なお電場に関する暫定ガイドラインはすでに設定されており、IRPA (国際放射線防護委員会) は1990年に一般人連続暴露で5kV/m⁹⁾とし、わが国では3kV/m⁹⁾と規制されている。一方、変動磁場の生体影響に対して関心が高まっているものの、これへのガイドラインはわが国にはない。本稿では50/60Hzの商業周波数を含むELF領域の変動磁場(以下ELF磁場と略す)の生体影響、特にかんとの関連を中心に説明したい。

2. ELF磁場曝露の現状

我々は非電離放射線の仲間である赤外線や可視光線に対する知覚を持っているものの、ELF磁場に対する知覚を持たない、もちろん静磁場に対する知覚もない。したがって、普段どの程度の曝露を受けていることも自覚せずに生活している。ELF磁場の曝露量について、表1にWHOのEnvironmental Health Criteria 69²⁾で引用されている例を参考として掲載した。この

表1 60Hzの電気製品近傍の磁束密度²⁾

電気製品	種々の距離における磁束密度(μT)		
	3cm	30cm	1m
ヘアドライヤー	6~2,000	<0.01~7	<0.01~0.3
電気かみそり	15~1,500	0.08~9	<0.01~0.3
電気ドリル	400~800	2~3.5	0.08~0.2
電気掃除機	200~800	2~20	0.13~2
ミキサー	60~700	0.6~10	0.02~0.25
机上蛍光灯	40~400	0.5~2	0.02~0.25
電子レンジ	75~200	4~8	0.25~0.6
蛍光灯	15~200	0.2~4	0.01~0.3
ポータブルヒーター	10~180	0.15~5	0.01~0.25
テレビ	2.5~50	0.04~2	<0.01~0.15
洗濯機	0.8~50	0.15~3	0.01~0.15
アイロン	8~30	0.12~0.3	0.01~0.025
扇風機、送風機	2~30	0.03~4	0.01~0.35
コーヒーマーカー	1.8~25	0.08~0.15	<0.01
トースター	7~18	0.06~0.7	<0.01
電気給湯ポット	1.5~8	0.08~0.15	<0.01
衣類乾燥機	0.3~8	0.08~0.3	0.02~0.06
冷蔵庫	0.5~1.7	0.01~0.25	<0.01

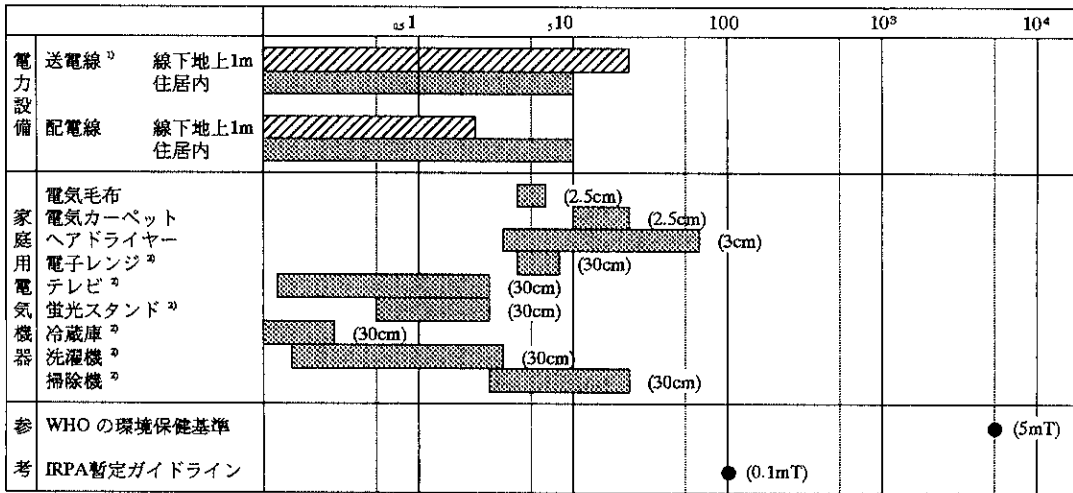
表はアメリカでの家庭内の各電気機器から発生する磁束密度を示している。数字だけでは分かりにくいので、わが国の資源エネルギー庁で計測(一部英国NRPB(英国放射線防護協会)を引用⁶⁾)した結果⁷⁾を図2に示した。これによると、わが国では送電線および配電線によってもたらされる磁束密度は、住居内で最大10μTである。目立つものとして、3cm離れたところでヘアドライヤーが2.5~53μT、電気カーペットが11~19μT、テレビが1.5~5.4μT、2.5cm離れたところで電気毛布が4~6μTである。いずれも日常的に用いる製品であるが、この値は電磁場発生源からの最大値を示しており、人が磁界密度計測器を携帯して測定した場合の平均的な磁界曝露量は、数十分1以下の低い値を示している。資源エネルギー庁の報告では平均0.5μT以下である⁷⁾。

3. 各国のELF磁場に対する規制

図2の下段に示すように、WHOの1987年のEnvironmental Health Criteria 69²⁾では一般人へのガイドラインを5mT(rms: root mean square 値)、IRPA(国際放射線防護委員会)の1990年に一般人連続曝露(屋外空間)の暫定ガイドラインでは0.1mTと定めている⁴⁾。すでに述べたが、わが国のELF磁場に対する規制はない。一方、資源エネルギー庁が委託した「電磁界影響調査検討会」の報告書⁷⁾によれば、平均的な居住環境でのELF磁界曝露量は0.5μT以下で、屋外空間でのガイドラインではあるものの、IRPAの暫定ガイドラインの20分の1以下となる。これをみる限り、安全域でわれわれは生活していることになる。しかし、高圧送電線近傍に居住している場合は図2に示す如く10μTを示しており、この限りではない。なお、国際的にみて、これより厳しい国レベルでのガイドラインないし規制を行っている国は、私が知る限りではない。米国では州レベルであるが、1989年フロリダ州では15~25μTの法的基準を、1990年ニューヨーク州では20μTの制限値を決めている。

4. 生体影響に関する実験的研究

ひとくちにELF磁場の生体影響といっても、その範囲は広いのでここでは、①生体影響発現のメカニズム、②遺伝子・細胞分裂、③生殖等、④行動・知能、



注) 1) 我が国の送電線の値は、2回線運用した場合の値
2) 外国の計算値

図2 居住環境の磁場密度 (μT)²⁾

⑤発がんの5つの項目に分けて考えたい。なお、それぞれの項目は互いに関連を持っているので話が前後することを了承願いたい。

(1) 生体影響のメカニズムに関する研究

頭部がELF電磁場に曝露されると光としてとらえる現象がある。これを磁気閃光現象とよんでいる。この現象は百年前に発見されているが、その後の研究で、これには周波数特性があり、20Hzの交流磁場がもっとも強い閃光をもたらし、その磁束密度は眼球近辺で10~12mTであるという⁸⁾。この現象は磁場が網膜を刺激することによって誘発されるものと理解されている。

電磁場を曝露すると、ニワトリ胎児の脳からカルシウムイオンの流出がみられ、しかも周波数と電磁場強度との両方に窓効果 (Window effect) があるという^{9~11)}。細胞膜でイオンチャンネルに変化が起こればわずかに電流が発生し、これによってわずかの磁場が発生することになる。逆に外部から磁場曝露を受ければイオンチャンネルに影響がでることになるが、ナトリウムイオンやカリウムイオンへの影響は小さく、カルシウムイオンへの影響が大きい。カルシウムイオンが生命現象の調節を行っていることは周知のことであり、カルシウムイオンの恒常性がもし乱れるとすれば、

神経のシグナリング、筋収縮、酵素系への作用やグルタチオンの代謝にも影響を与えることになる。

各種細胞培養実験で細胞レベルのカルシウム代謝への影響が報告されているが¹²⁾、職業性のELF磁場曝露によってアルツハイマー病の罹患リスクが数倍上昇するという疫学研究が報告され、注目を集めている^{13~14)}。その成因として、電磁界によるカルシウムの細胞内への流入が関連しているとの仮説も¹⁵⁾ある。最近の報告であり、電磁場との関連について結論はもちろん出ていないが、今後重視すべき事項と思われる。

その他考慮すべき作用として、内分泌系への影響がある。松果体ホルモンであるメラトニンがELF磁場の影響を受けて分泌抑制が起こることが、一部否定的な報告もあるものの、数多く報告されている^{16~21)}。電磁場が松果体の細胞膜へ直接作用してサイクリックAMPの低下を招く結果、メラトニンの分泌が抑制されるという作用機序が考えられている。一方、メラトニン分泌には大きなサーカディアンリズムが存在し、明暗に対応して変化することが知られており²²⁾、光刺激で分泌量が減少する。磁気閃光現象があるように電磁場も網膜を刺激する結果、間接的にメラトニン合成が抑制される説もある。このホルモンにはエストロゲン分泌抑制といった抗性腺作用がある。ELF磁場によるメラトニン分泌抑制が、結果的には乳がん発生のメ

ディエーターであるエストロゲンレベルを上昇させ、発がんするというメカニズムが提唱されている²³⁻²⁴⁾。また、実験的乳がんラットの血漿メラトニン量が対照ラットに比べて低く²⁵⁾、発がん剤投与による乳がん発生率が松果体の除去により上昇し、メラトニン投与がこれを抑制するという報告もある²⁶⁾。その他メラトニンには乳がん細胞の増殖抑制作用が*in vitro*の実験系で報告されている²⁷⁾。さらには、ヒトで乳がん患者の夜間のメラトニン分泌低下が認められ²⁸⁾、分泌低下が改善されるとその予後も良いという²⁹⁾。しかし、1970年~80年代に、メラトニンの作用に着目して抗がん剤としての期待が高まったが³⁰⁾、その臨床効果は認められていない^{31,32)}。メラトニンに関する知見は、電磁場による発がんメカニズムを説明するモデルとして現在も有力視されているが、最近の疫学研究ではこれを疑問視する結果(後述)もでている。

代謝酵素への影響としては、細胞増殖に関与するOrnithine decarboxylase (ODC) が、ELF 磁場曝露によって活性化することが報告されている^{33,34)}。ODCは、ポリアミン生合成系酵素で細胞シグナルにตอบสนองして変化することが知られており、がん細胞などの増殖能が高い細胞で活性が高いこと、発がんプロモーターにより誘導されることから、がんとの関連が目ざされている。

免疫系への影響としては、リンパ球などの活性化に関する報告がある^{35,36)}。前述した細胞レベルのカルシウム代謝とも関連している。2mT以上のELF磁場で影響を受けるとされるが³⁷⁾、結果はかならずしも一致していない。曝露量と関連を今後追究する必要がある。

(2) 遺伝子・細胞分裂に関する研究

現在、電離放射線のように、ELF磁場が直接DNAを損傷させたり³⁸⁻⁴¹⁾、染色体異常をもたらし⁴²⁻⁴⁵⁾、遺伝子変化を誘発して発がんのイニシエーターとして作用することはほぼ否定されている。また、ELF磁場が変異原性をもたらす可能性もほぼ否定されている⁴⁶⁻⁴⁹⁾。細胞増殖への影響では、5mTでヒトリンパ球への増殖作用があることを報告しているが⁴³⁾、もっと弱い磁場(100~220 μ T)ではこれを否定している報告もある^{42,44,45)}。ヒトのがん細胞への影響やヒト以外の細胞でもこれを否定する報告が多い^{39,50-53)}。遺伝子転

写への影響についてはこれを認める報告^{54,55)}と認めない報告⁵⁶⁾が相反している。骨の再生不全や骨折の治療に磁場が治療に用いられていることを考えると、細胞分裂に対して促進的であれ、抑制的であれ、何らかの影響を持っているものと思われる。

(3) 生殖等に関する研究

ELF磁場の生殖等に関する研究は、ラットやマウスなどの哺乳動物^{57,58)}やニワトリの胚、胎仔^{59,60)}を対象に行われている。ニワトリでは奇形発生が促進するという報告もあるが⁵⁹⁾これを否定する報告もある⁶⁰⁾。統一した見解は得られていない。

(4) 行動・知能に関する研究

アルツハイマー病の相対的リスクが職業性のELF磁場曝露によって数倍上昇するという疫学調査が報告され、注目されていることはすでに述べた^{13,14)}。動物のオペラント行動等については、ヒトで50 μ T⁶¹⁾、サルで900 μ T⁶²⁾、マウスで1.65mT⁶³⁾のELF磁場曝露では影響は認められないが、胎児期のELF磁場曝露(50 μ T)が成人期になって、学習能力の低下をもたらすというマウス⁶⁴⁾やラット⁶⁵⁾の報告、脳の発育が抑制される(60Hz; 1kV/mと1mT)という報告もある^{66,67)}。その作用機序は不明であるものの、胎児期の曝露が成獣期に現れるとの報告から、ヒトの早期痴呆との関連が予想されるので、今後もっと研究を深める必要があると思われる⁶⁸⁾。

(5) 発がんに関する研究

発がんのプロセスは、イニシエーションの後、多段階のプロモーションを経て、プログレッションがあると考えられる。すでに述べたようにELF磁場には遺伝子へ直接に作用する可能性は極めて低いので、がんのイニシエーターにはならないと考えられている。しかし、ELF磁場曝露に疫学研究で指摘される発がん増加作用があるとするれば、プロモーターとしてあるいはプロモーターに対するコプロモーターとして関与する可能性が高い。

疫学研究では白血病、リンパ腫、乳がん、皮膚がんとELF磁場曝露との関連が報告されているため、動物実験でもこれらを対象に研究が実施されている。全

身曝露実験でイニシエーターとしての作用がほぼ否定されているので⁶⁹⁻⁷¹⁾、担がん動物や発がん物質や電離放射線による発がんプロセスへ、ELF 磁場がプロモーションあるいはコプロモーション作用を有しているどうか検討する研究が多い。

白血病、リンパ腫に関する動物実験は少ない。加齢に伴ってリンパ性白血病を発生しやすい AKR マウスでの ELF 磁場継代的曝露実験ではその影響を否定している⁷²⁾。マウスに白血病細胞を移植してプログレッションに関する実験でもその影響は否定されている⁷³⁾。リンパ腫の発生率を電離放射線との併行曝露で調べたが、その影響は認められていない⁷⁴⁾。

乳がんは、メラトニンで説明したが、ELF 磁場との関与が示唆されているので比較的多くの研究が実施されている。ラットへの乳がん発症作用を有する DMBA (7,12-dimethylbenz(α)anthracene) 投与と並行して ELF 磁場曝露を行ったところ、曝露でメラトニンの低下をもたらすものの、乳がんの発生率や腫瘍サイズについてその関与はないという⁷⁵⁾。同様な DMBA 投与と ELF 磁場の併行曝露による実験では、1 μ T 以下の弱い ELF 磁場では関与は否定されている。しかし、30 mT という強い ELF 磁場が乳がん発生率には影響を与えないものの、腫瘍数を増加させることが報告されている⁷⁶⁾。DMBA 投与による研究で、100 μ T の ELF 磁場曝露でも対照群に比較して乳がん発症率のみならず腫瘍サイズについても差異が認められ、ELF 磁場の関与を肯定する報告⁷⁶⁾や、ラットへの発がん物質として NMU (nitrosomethyl urea) の投与と ELF 磁場併行曝露 (50H, 20 μ T) 実験では、併行曝露のみならず、単独曝露でも乳がんの発症に増強作用を有するとの報告⁷⁷⁾もあるが、乳がん細胞増殖への影響には否定的見解も多い^{21,45,52,78-80)}。

皮膚がんについては、マウスで 2mT の ELF 磁場単独曝露および DMBA や TPA などの発がん物質投与による ELF 磁場併行曝露によりイニシエーション作用あるいはプロモーションおよびコプロモーション作用を検討し、この全てを否定している^{81,82)}。50 または 500mT の大変強い 50Hz の磁場曝露実験でもその影響は否定されている^{70,83)}。

5. 疫学研究

ELF 磁場の中でも商用周波数である 50Hz および 60 Hz の ELF 磁場曝露による生体影響に関心が持たれているが、もっとも関心をよんでいるのが発がんとの関連である。一般住民への疫学研究では 1979 年、Wertheimer と Leeper⁸⁴⁾ が送電線付近の子供たちは対照群に比較して小児白血病および脳腫瘍発症リスクが有意に高いという報告を行って以来、また職業人への影響では 1982 年 Milham⁸⁵⁾ が電業の職業人の白血病発症リスクが高いという報告を行って以来、これに関連する疫学研究が吹米を中心に勢力的に行われている。

ELF 磁場が、がんをはじめとする種々の疾患発生あるいはその促進に関連があるかどうかは、その公衆衛生学的影響のみならず社会的・経済的影響が重大であるため、多くの疫学研究が実施されているが、これを肯定するものと否定するものとが混在している。これまでに多くの報告書^{2,5,86,87)}と総説^{88,89)}が、国内でも報告書^{9,90,91)}や総説^{92,94)}が発表されている。

これまでの研究結果を、居住環境における一般人を対象とした疫学調査と職場環境における職業人を対象とした疫学研究に大別して説明したい。

(1) 一般人への健康影響

①小児がん

Wertheimer と Leeper⁸⁴⁾ が 1979 年に小児白血病との関連を報告して以来、小児の発がんに関する疫学調査が世界各国で行われている。その代表的な研究を表 2 に示した。

白血病、中枢神経がん、リンパ腫、全がんを対象として、電線から住居までの距離、住居の配電線の配置からの推定、推定による計算値、機器による実測値などで ELF 磁場の曝露評価指標との関連を調査しているが、曝露量評価法により結果は異なっている。

配電線の配置と脳腫瘍や白血病の発症率との間に有意な相関があるとの指摘が見られ^{84,96,98)}、変電所から住居までの距離と白血病のリスクに有意性は無いものの高くなる傾向にあるとの報告⁹⁷⁾がある。

一方、機器計測による磁場強度と白血病、脳腫瘍、全がんの発生率との間に統計的な有意差は認められないという報告や^{88,89,96)}、過去へ遡っての磁場強度計算

表2 ELF 磁場曝露と小児がんに関する疫学研究

著者名	調査方法	曝露量の推測	がんの種類	RR/OR	95% 信頼区間	文献番号
Wertheimer & Leeper	CC	送電線の配置	白血病	2.28	1.97-2.65	84
			神経系	2.48	1.16-2.36	
			リンパ腫	2.38	1.66-3.35	
Tomenius	CC	送電線の配置 戸別測定	全がん	2.12	1.73-2.59	95
			神経系	3.06	1.63-8.39	
			白血病	0.34	0.17-0.69	
Savitz	CC	送電線の配置	全がん	1.53	1.04-2.26	96
			神経系	2.04	1.11-3.76	
			白血病	1.54	0.90-2.63	
Coleman	CC	変電所からの距離 (50m以内)	白血病	1.52	0.67-3.42	97
London	CC	送電線の配置、自己申告、一部スポット計測	白血病	2.15	1.08-4.28	98
Feychting & Ahlbom	CC	推定磁場計算 (0.2 μT以上)	全がん	1.1	0.5-2.1	99
			白血病	2.7	1.0-6.3	
			脳腫瘍	0.7	0.1-2.7	
			リンパ腫	1.3	0.2-5.1	
			全がん	1.3	0.6-2.7	
			白血病	3.8	1.4-9.3	
			脳腫瘍	1	0.2-3.9	
Verkasalo	Co	送電線からの距離 (0.2 μT以上)	全がん	1.5	0.74-2.7	100
			白血病	1.6	0.32-4.5	
			脳腫瘍	2.3	0.75-5.4	
Olson	CC	送電線や変電所からの距離 (0.1 μT以上)	白血病	1	0.3-3.3	101
			脳腫瘍	1	0.3-3.7	
			リンパ腫	5	1.0-25	

CC: ケースコントロール研究, Co: コホート研究
RR: 相対危険度推定値, OR: オッズ比(表3~5も同様)

値と白血病との間に有意な相関が見られるものの¹⁰¹⁾ほかのがんとの間には見られない報告^{100,101)}がある。

推定計算値⁹⁹⁻¹⁰¹⁾や電線から住居までの距離^{95,97)}と脳腫瘍発症率との間では相関が見られないという報告がある。さらに、全がん発症率と推定計算値¹⁰¹⁾との間に有意な相関がある報告とこれを否定する報告、全がん発症率と電線までの距離との間に有意な相関があるとする報告⁹⁵⁾があり、今日に至るまで議論は継続している。

量・反応関係は配電線の配置⁹⁸⁾や推定計算値⁹⁹⁾と白血病との間に見られたものの他の研究ではこれを否定している。

最初の報告である Wertheimer & Leeper⁸⁴⁾による曝露評価法である配電線の配置“wire codes”に従えば、小児白血病と曝露量との間に統計的に有意な関連が見いだされているが、他の曝露評価法である機器による計測や送電線からの距離による曝露指標とはあまり関連が見いだすことがないのが現状である^{96,99)}。今後の疫学研究でも曝露評価指標の選定がキーポイントになると思われる。

②成人期がん

表3 ELF 磁場曝露と成人期がんに関する疫学研究

著者名	調査方法	曝露量の推測	がんの種類	RR/OR	95% 信頼区間	文献番号
Wertheimer & Leeper	CC	送電線の配置と送電線からの距離	全がん	1.39	1.21-1.58	102
			全がん(男)	0.97(SMR)	0.80-1.17	
			全がん(女)	1.04(SMR)	0.85-1.17	
McDowall	Co	送電線の配置	白血病(男)	0.61(SMR)	0.07-2.19	103
			白血病(女)	1.54(SMR)	0.42-3.94	
			婦人がん(男)	1.09(SMR)	0.80-1.45	
			婦人がん(女)	1.75(SMR)	1.07-2.71	
Coleman	CC	送電線からの距離 (100m以内)	白血病	1.45	0.54-3.88	97
		変電所からの距離 (25m以内)	白血病	1.26	0.81-1.98	
Schreiber	Co	電力施設が多い地区の住居	全がん(男)	0.93(SMR)	0.72-1.18	104
			全がん(女)	0.84(SMR)	0.61-1.14	
			白血病(男)	0.88(SMR)	0.10-3.17	
			白血病(女)	0.57(SMR)	0.01-3.17	
			脳腫瘍(男)	0.65(SMR)	0.01-3.59	
Feychting & Ahlbom	Co	推定地磁場計算、スポット測定(0.2 μT以上)	急性骨髄性白血病	1.7	0.8-3.5	105
			慢性骨髄性白血病	1.7	0.7-3.8	

成人期がんに関する疫学研究も数多く実施されており、その主なものを表3にまとめた。

小児がんと同様に、白血病、中枢神経がん、全がんを対象として、電線から住居までの距離、配電線の配置からの推定、計算値、実測値などによる ELF 磁場の曝露評価指標との関連を調査しているが、これも曝露量評価法により結果は異なっている。

配電線の配置と脳腫瘍や全がんとの間に有意な相関を Wertheimer らが報告¹⁰²⁾しているものの、他の研究結果ではこれを否定している^{103,104)}。白血病に関してはいずれの研究結果でも ELF 磁場との関連は認められていないし、量・反応関係も見られない^{97,102-105)}。

電気製品の使用とがんとの関連を調査した報告を表4にまとめた。日常直接身体へ密着して使用したり、

表4 電気製品の使用とがんに関する疫学研究

著者名	使用製品	がんの種類	RR/OR	95% 信頼区間	文献番号
Savitz	妊娠中の電気毛布	小児全がん	1.3	0.7-2.2	106
		小児白血病	1.7	0.8-3.6	
		小児脳腫瘍	2.5	1.1-5.5	
Verreault	電気毛布	精巣がん	1	0.7-1.4	107
Vena	電気毛布	乳がん(閉経後)	1.1	0.59-2.05	108
Lovely	電気製品全体	急性リンパ性白血病	0.71	0.41-1.24	109
		急性リンパ性白血病	3	1.43-6.32	
		急性リンパ性白血病	0.38	0.22-0.66	
		急性リンパ性白血病	1.33	0.80-2.33	
Preston-Martin	電気毛布	脳腫瘍(成人)	0.9	0.6-1.2	110
	電気温熱ベッド	脳腫瘍(成人)	0.9	0.6-1.3	
	電気毛布	脳腫瘍(小児)	1	0.6-1.7	
	電気温熱ベッド	脳腫瘍(小児)	1.2	0.7-2.0	

ごく近傍で使用される電気製品の使用頻度あるいは使用時間とがん発症率との相関は Savitz の報告¹⁰⁶⁾を除き、あまり認められない^{104,105,107-110)}。マッサージ器の使用は非リンパ性白血病発症リスクを高めるものの、電気剃刀やヘアドライヤーの使用は逆相関を示すとの報告もある¹⁰⁹⁾。

③その他の健康影響

1979年 Reichmanis らにより E L F 電磁場と自殺発症率に注目したケースコントロール研究が報告されたが¹¹¹⁾、その後、別の研究者によりこのデータは再計算され、これを否定している¹¹²⁾。1981年に同一のデータについて磁束強度が計測され、1mG 以上の住居で有意な高い自殺の相対危険度が報告された後¹¹³⁾、再びその危険度は否定されている¹¹⁴⁾。別のコホート研究でも自殺と ELF 磁場の関係は認められていない¹⁰³⁾。

1986年 Wertheimer & Leeper により妊娠中の電気毛布および電気加温ベッドの使用運動してと胎児の成長および流産率に季節変動がみられることから、その危険性が指摘されている¹¹⁵⁾。そして、1989年には、それは温度上昇ではなく、ELF 磁場に由来するとした¹¹⁶⁾。一方、Dlugosz ら¹¹⁷⁾や Shaw らは¹¹⁸⁾、電気毛布および電気加温ベッドの使用と先天性奇形発生との関連について否定的な結果を報告している。

(2) 職業人への健康影響

①成人期がん

1982年 Milham⁸⁵⁾と Wright¹¹⁹⁾が ELF 関連産業従事者の白血病発症リスクが高いという報告に続いて、多くの疫学研究が実施されている。その代表的な研究を表5に示した。1980年代では主として白血病のリスクについて検討され、これを有意に増大させるという報告^{85,119,123,126,132)}とこれを否定する報告^{129,131)}が混在している。

相対危険度は高いものの、曝露量の推定に死亡診断書の職名をもとにしている Milham らの方法⁸⁵⁾に準拠した職業分類のみで曝露量を推定したり、調査時点以前の職歴や従業年数への考慮が不足しており、曝露量の推定に問題点が多い。白血病以外のがんとして注目されているのが中枢神経がんで、Lin¹²⁴⁾らは電気労働者にグリオーマ(神経腫瘍)、星状細胞腫等の脳腫瘍のリスクが高く、曝露推定量とも正相関があると報告

表5 職場での ELF 磁場曝露と成人期がんに関する疫学研究

著者名	調査対象	がんの種類	RR/OR	95% 信頼区間	文献番号	
A	Milham	20歳以上の男性	白血病	1.37	1.15-1.62	85
			急性白血病	1.63	1.25-2.10	
Wright	白人男性	白血病	1.29	0.90-1.79	119	
		骨髄性白血病	2.07	1.30-3.14		
McDowall	15-74歳男性	白血病	0.98	0.78-1.21	120	
		急性白血病	1.04	0.71-1.48		
Coleman	15-74歳男性	白血病	1.17	0.96-1.41	121	
		急性白血病	1.23	0.85-1.73		
Calle	20歳以上の男性	白血病	1.03	0.82-1.29	122	
		急性白血病	1.13	0.81-1.54		

著者名	調査対象	がんの種類	RR/OR	95% 信頼区間	文献番号			
Juutilainen	25-64歳の男性	白血病	1.85	1.0-3.5	123			
		急性骨髄性白血病	1.47	0.5-4.7				
		中枢神経がん	1.31	0.7-2.3				
B	Wiklund	電信産業従事者	白血病	1.03	0.53-1.79	128		
		Oline	電気技術者	白血病	0.87		0.10-3.14	129
Howe	電力/電話線従事者	白血病	2.41	0.97-4.97	130			
		骨髄性白血病	2.33	0.29-8.40				
Törnqvist	電力線従事者 変電所従事者	白血病	1.3	0.7-2.1	131			
		白血病	1	0.6-1.5				
Milham		全がん	0.89	0.82-0.95	132			
		脳腫瘍	1.39	0.93-2.00				
		白血病	1.24	0.87-1.72				
		急性骨髄性白血病	1.76	1.03-2.85				
Garland	海軍研究所登録者	白血病	0.93	0.8-1.1	133			
C	McDowall	白血病死者>15y	急性骨髄性白血病	2.3	1.40-3.70	120		
		Lin	白人男性被曝低	脳腫瘍	1.44		1.06-1.95	124
			白人男性被曝中	脳腫瘍	1.95		0.94-3.91	
Pearce	白人男性被曝高	脳腫瘍	2.15	1.10-4.06	125			
		白血病患者>20y	白血病	1.7		0.97-2.97		
Stern	急性骨髄性白血病	白血病	1.19	0.42-3.38	126			
		骨髄性白血病	3	1.29-6.98				
Matanoski	リンパ性白血病	乳がん	2.33	0.77-7.06	134			
		リンパ性白血病	6	1.47-24.45				
Demers	電話会社従事者	乳がん	6.5	0.79-23.5	135			
		従事者全体(男)	1.8	1.0-3.7				
		電力/電話線等	乳がん	6		1.7-21		
ラジオ/通信用業	乳がん	乳がん	2.9	0.8-10				
		乳がん						

A：死亡率/発症率調査、B：コホート研究、C：ケースコントロール研究

した。その後も脳腫瘍に関する報告が続いている^{123,127,132)}。

男性の乳がん発症についても1987年 Stevens²³⁾の乳がん発生のメラトニン仮説が発表され、これを支持する疫学研究が報告されたが¹³⁴⁻¹³⁵⁾、最近の疫学調査ではこれを否定する結果もあって^{139,140,144)}、この仮説に対する疑問も出ている。

ここ数年の疫学研究は、職業分類による曝露量の推

定を避け、職歴や携帯用曝露計などの使用により、より正確な曝露量評価を試みると共に発がん性を有する化学物質、有機溶媒、喫煙、殺虫剤、放射線被曝等の交絡因子の除去に努めて、精度の高い調査を行っている。その代表的研究^{137~142)}についてみて(表6)、各報告で各種の白血病、脳腫瘍の発生率とELF関連産業従事者との間に有意な関連または有意ではないが増加傾向が認められるという報告や、一部のがんとのみ関連を肯定するという報告、いずれのがんと関連を否定する報告もある¹³⁸⁾。また、乳がんとの関連もあるという報告や¹⁴¹⁾それ程明確ではない報告もある¹³⁹⁾。

ELF 磁場の曝露と発がんとの量・反応関係を慢性リンパ性白血病¹³⁷⁾あるいは骨髄性白血病¹⁴³⁾に見いだした報告もあるが、全体を通してみると結果に一貫性が乏しく未だ結論を得るには至っていない。

②その他の健康影響

1983年 Nordström¹⁴⁵⁾は夫の高電圧職場での勤務が、先天奇形発生率の有意な増加をもたらすが、サンプル数が少なくさらに検討が必要としている。最近になって Sobel らは ELF 磁場産業従事者でのアルツハ

イマー病の発病リスク上昇のメカニズムとして、ELF 電磁場の脳細胞カルシウム代謝異常によるアミロイドβの増加誘発にあると仮説している¹⁵⁾。

(3) 発がんの関連性

環境要因である ELF 磁場曝露と発がんとの因果関係を明らかにするために、Hill¹⁴⁶⁾のクライテリアに準拠して、疫学研究の結果やこれまで明らかにされた ELF 電磁場の生物学的影響をもとに、その関連を考察する必要がある。

関連の強固性 (Strength) : ELF 磁場曝露と発がんとの相対危険度やオッズ比の値の大ききで表される。白血病や脳腫瘍のそれはせいぜい2前後であり、肺がん死亡率の喫煙群と非喫煙群とのオッズ比の10前後に比較して決して高くない、むしろ弱いと思われる。しかしその背景には、現代社会において ELF 磁場曝露を全く受けないコントロール群は存在しないことを考慮すべきであろう。

関連の一致性 (Consistency) : 異なった研究法、異なった対象者、異なった研究者による疫学研究結果が

表6 職場での ELF 磁場曝露と成人期がんに関する最近の代表的疫学研究

著者名	調査対象	全がん	全白血病	白血種の種類		脳腫瘍	オッズ比 (95%信頼区間)		文献番号	
				急性骨髄性白血病	慢性リンパ性白血病		悪性神経腫、乳がん	その他のがん		
Floderus	0.16-0.19 μT		0.93(0.60-1.43)	0.99(0.54-1.81)	1.10(0.52-2.34)	1.04(0.69-1.56)	1.27(0.80-2.03)		137	
	0.20-0.28 μT		1.24(0.81-1.91)	0.84(0.43-1.63)	2.21(1.73-4.30)	1.47(0.98-2.18)	1.71(1.08-2.71)			
	0.29 μT以上		1.60(1.07-2.37)	1.02(0.55-1.87)	3.04(1.58-5.84)	1.38(0.93-2.05)	1.53(0.95-2.44)	リンパ腫		
Sahl	電気関連作業者	1.08(0.92-1.28)	1.09(0.51-2.29)			1.09(0.44-2.69)		1.25(0.68-2.31)	138	
	電気関連作業非従事者	1.03(0.86-1.23)	1.02(0.45-2.58)			0.62(0.20-1.94)		1.24(0.64-2.40)		
Günel	断続的に0.3 μT以上 (男)	1.06(1.04-1.08)	0.94(0.84-1.06)		1.01(0.84-1.21)	0.94(0.85-1.05)	1.22(0.77-1.83)	0.84(0.74-0.96)	139	
	断続的に0.3 μT以上 (男)	1.04(0.97-1.11)	1.64(1.20-2.24)		1.58(0.90-2.56)	0.69(0.44-1.04)	1.36(0.16-4.91)	0.89(0.51-1.27)		
	断続的に0.3 μT以上 (女)	1.02(0.99-1.03)	0.92(0.75-1.13)		0.93(0.70-1.24)	1.07(0.93-1.23)	0.86(0.91-1.01)	0.91(0.79-1.05)		
	断続的に0.3 μT以上 (女)	0.88(0.56-1.12)	0.56(0.07-2.03)	急性骨髄性白血病	0.53(0.01-2.93)	1.23(0.56-2.34)	0.88(0.68-1.16)	0.68(0.25-1.47)		
Thériault	0.2 μT以上	0.96(0.86-1.08)	1.61(0.93-2.81)	急性非リンパ性白血病	2.25(0.79-6.46)	2.36(1.00-5.58)	1.64(0.85-3.18)	4.28(0.64-28.52)	0.96(0.50-1.85)	140
	0.3 μT以上	0.98(0.87-1.10)	1.14(0.66-1.97)	急性骨髄性白血病	1.91(0.70-5.18)	1.77(0.80-3.92)	1.51(0.80-2.83)	1.31(0.30-5.68)	1.21(0.64-2.29)	
				急性非リンパ性白血病	1.66(1.06-2.26)	1.45(1.06-2.26)	1.09(0.90-1.41)	2.07(1.07-3.51)	1.09(0.91-1.45)	
Tynes	全電気作業者	1.06(1.03-1.09)	1.41(1.10-1.76)						141	
	防護線作業者		0.92(0.19-2.70)			2.20(1.10-4.18)				
	テレビ・ラジオ修理工		3.18(1.03-7.49)			0(0.00-1.52)				
	暴露量-低		0.97(0.43-2.18)			0.81(0.33-1.96)				
London	0.18-0.8 μT		1.2(1.0-1.6)	急性非リンパ性白血病	1.3(0.9-1.9)	0.8(0.5-1.3)			143	
	0.81 μT以上		1.4(1.0-2.0)	急性非リンパ性白血病	1.3(0.7-2.3)	2.3(1.4-3.8)				
	作業中2.5 μT以上を示す%			急性骨髄性白血病	1.4(0.9-2.0)	0.8(0.6-1.4)				
	7.9%未満		1.2(1.0-1.6)	急性非リンパ性白血病	1.3(0.7-2.3)	2.3(1.4-3.8)				
	7.9%以上		1.4(1.0-2.0)	急性骨髄性白血病	1.28(0.59-2.77)	1.33(0.49-36.3)	1.51(0.99-2.63)			
Savitz	0.6-1.2 μT・年	1.05(0.96-1.14)	1.04(0.56-1.63)						144	
	1.2-2.0 μT・年	1.10(1.01-1.20)	1.13(0.70-1.82)			1.98(0.77-5.09)	1.47(0.84-2.55)			
	2.0-4.3 μT・年	1.14(1.04-1.25)	0.95(0.56-1.60)		0.72(0.24-2.18)	0.55(0.17-1.82)	1.69(0.92-2.95)			
	4.3 μT・年以上	1.22(1.08-1.37)	1.11(0.57-2.14)		1.62(0.51-5.12)		2.29(1.15-4.55)			

同じであれば一貫性が高いことになる。一部に一致が認められる結果も得られているが、全体をみると一貫性は弱い。一般には関連がない場合には公表を控える Publication bias を考慮する必要があるが、最近の報告ではこれを無視できると思われる。

関連の特異性 (Specificity) : 発がん要因が ELF 磁場以外になければ特異性は高いが、他の発がん要因は数多いので、特異性は低い。

関連の時間性 (Temporality) : ELF 磁場被曝してから発がんにいたる時間が妥当であるかどうかという点であるが、多くの疫学研究では被曝の時期を特定できないためこれは不明である。時間性を把握するためには前向きコホート研究でなければ困難であろう。

関連の量反応関係 (Dose-response, Biological gradient) : ELF 磁場の曝露量増大に伴って発がん率が增大するかどうかであるが、曝露量評価に問題がある現状では、一部を除きほとんど把握されていない。

関連の可能性 (Plausibility) : ELF 磁場曝露により、発がんに結びつく可能性がある何らかの生物学的反応が惹起されるかどうかである。ホルモン依存性の乳がん発症と ELF 磁場曝露による松下部のメラトニン分泌量減少が引き金となるという報告があるが、最近の疫学研究ではその可能性に疑問が出ている。その他にもいくつかの仮説があるものの、説得力のある作業仮説はない。

関連の整合性 (Coherence) : 可能性とも関係するが、ELF 磁場曝露による発がんリスクの増大が、既存の知識と矛盾しないかどうかである。ある程度培養細胞等による発がんの実験的可能性はあるものの、その磁束密度と実際の生活空間での磁束密度との間にはギャップがあり、整合性は現段階では弱い。

6. リスクアセスメント

化学的あるいは物理的因子曝露に対するリスクアセスメントは、喫煙が肺がんを誘発するように、通常はその因子に何らかの健康障害作用があることが推測できる場合に開始される。もしその健康障害作用に関する詳細な資料が十分で、上述の Hill のクレイテリアを十分に満たせば、これらの資料に基づいて、例えば「1日1本のシガレット喫煙により平均して12分寿命が短縮する」といったリスクアセスメントが可能である。

しかし、上述のごとく、リスクアセスメントを行うだけの資料に不足している。それでは、公衆衛生従事者として如何なる行動を取ることが望ましいのであろうか。

疫学研究はこれまでに、発病との因果関係が確認される以前にその原因を指摘してきたことを忘れてはならない。さらには ELF 磁場による被曝は現代社会では避けて通ることが不可能であり、たとえ関連の強固性が低くても、集団奇与危険率としては無視できない。

一方、ELF 磁場による曝露を排除するには想像もつかない膨大な経済的負担が要求され、その社会的影響も甚大である。ELF 磁場による健康障害が明らかであれば、その選択も検討すべきであるが、現状は定かではない。むしろ懐疑的である。疑わしきは排除すべきかどうか、明快な答はすぐに出てこない。

しかし、ELF 磁場の健康影響の有無が明らかになるまで、待つ訳にもいかない。もし「ある」と判明した段階でこれに対処するのでは遅すぎる。疑わしさを否定できないのであれば、ELF 磁場のみならず、本稿では取り上げなかった高周波電磁場による不必要な被曝を軽減することが求められよう。

そのためには、現段階で解明された ELF 磁場と健康影響に関する情報を国民に提供すると共に、電磁場の健康影響への過剰な不安を取り除くことが重要である。電磁場に関する正しい知識の普及に努めて個人的なレベルで不必要な曝露を回避する方法を選択してもらうことが必要であろう。社会的なレベルでは、大きな経済的損失を伴わずに ELF 磁場による曝露を避ける方策を、コストベネフィットを考慮しつつ¹⁴⁷⁾ 模索する必要がある。

最後に、わが国でも多くの科学者が電磁場の健康影響に関する地道な研究を行っているが、どうしても必要と思われるものに日本での疫学研究がある。これまでにわが国での電磁場に関する疫学研究報告はない。本稿で引用している疫学研究報告も全て欧米のそれである。研究を実現するには、綿密な計画のもと、長期にわたる前向きコホート調査を実施できるだけの、多額の資金が不可欠である。

現在、私は WHO が実施している 5 ヶ年計画で行われている国際 EMF プロジェクトに国際諮問委員会メンバーとして国立環境研究所の兜真徳 主席研究官と共

に参加している。このプロジェクトは西暦2000年までにさまざまな国際研究集会を開催する予定である。1997年6月4・5日には静磁場とELF電磁場の健康影響に関する研究集会がイタリアのボロニアで開催される。また、マスコミ情報は電磁場による健康リスクを過大評価する傾向にあり、読者に不必要な不安を与えかねないことから、1997年10月22・23日にはリスク認識 (Risk perception) や、リスク情報の正しい伝達と共有化 (Risk communication) とリスク管理 (Risk management) に関する研究集会がオーストリアのウィーンで開催予定なので、関心がある方は参加されることを進言する。公開である。

参考文献

- 1) WHO: Environmental Health Criteria, 35, Extremely Low Frequency (ELF) Fields, Geneva, 1984.
- 2) WHO: Environmental Health Criteria, 69, Magnetic Fields, World Health Organization, Geneva, 1987.
- 3) WHO: Environmental Health Criteria, 137, Electromagnetic Fields (300Hz to 300GHz), Geneva, 1993.
- 4) International Non-ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association: Interim guidelines on limits of exposure to 50/60Hz electric and magnetic Fields. *Health Physics*, **58**(1), 113-122, 1990.
- 5) 電気設備技術基準112条
- 6) National Radiological Protection Board: Electromagnetic fields and the risk of cancer. Documents of the NRPB, 3(1), NRPB, Chilton, Didcot, 1992.
- 7) 資源エネルギー庁, 電磁界影響調査検討会: 「電磁界影響に関する調査・検討報告書」, 1993.
- 8) Lovsund, P., Oberg, P.A., Nilsson, S.E.G.: Magneto-phosphens; a quantitative analysis of threshold. *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, **18**, 326-334, 1980.
- 9) Bawin, S.M., Adey, W.R.: Sensitivity of calcium binding in cerebral tissues to weak environmental electric fields oscillating at low frequency. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **73**, 1999-2003, 1976
- 10) Adey, W.R.: Frequency and power windowing in tissue interactions with weak electromagnetic field. *Proc. IEEE*, **68**, 119-125, 1980.
- 11) Blackman, C.F., Benane, S.G., Joins, W.T., Hollis, M.A., House, D.E.: Calcium-ion efflux from brain tissue: Power-density versus internal field-intensity dependence of 50MHz RF radiation. *Bioelectromagnetics*, **1**, 277-283, 1980.
- 12) Liburdy, R.P.: Calcium signaling in lymphocytes ELF fields: Evidence for an electric field metric and a site of interaction involving the calcium ion channel. *FEBS Lett*, **301**, 53-59, 1992.
- 13) Sobel, E., Davanipour, Z., Sulkava, R., Erkinjuntti, T., Wikstrom, J., Henderson, V.W., Buckwalter, G., Bowman, J.D., Lee, P.-J.: Occupations with exposure to electromagnetic fields: A possible risk factor for Alzheimer's disease. *Am. J. Epidemiol.*, **142**, 515-524, 1995.
- 14) Sobel, E., Dunn, M., Davanipour, Z., Qian, Z.: Elevated risk of Alzheimer's disease among workers with likely electromagnetic field exposure. *Neurology*, **47**, 1477-1481, 1996.
- 15) Sobel, E., Davanipour, Z.: Electromagnetic field exposure may cause increased production of amyloid beta and eventually lead to Alzheimer's disease. *Neurology*, **47**, 1594-1600, 1996.
- 16) Lee, J.M., Stormshak, F., Thompson, J.M., Thinesen, P., Painter, L.J., Olenchels, E.G., Hess, D. C., Forbes, R., Foster, D.L.: Melatonin secretion and puberty in female lambs exposed to environmental electric and magnetic fields. *Biol. Reprod.*, **49**, 857-864, 1993.
- 17) Kato, M., Honma, K., Shigematsu, T., Shiga, Y.: Effects of exposure to a circularly polarized 50-Hz magnetic field on plasma and pineal melatonin levels in rats. *Bioelectromagnetics*, **14**, 97-106, 1993.
- 18) Kato, M., Honma, K., Shigematsu, T., Shiga, Y.: Horizontal or vertical 50-Hz, 1 microT magnetic fields have no effect on pineal gland or plasma melatonin concentration of albino rats. *Neurosci. Lett.*, **168**, 205-208, 1994.
- 19) Kato, M., Honma, K., Shigematsu, T., Shiga, Y.: Circularly polarized 50-Hz magnetic field exposure reduces pineal gland and blood melatonin concentrations of Long-Evans rats. *Neurosci. Lett.*, **166**, 59-62, 1994.
- 20) Yellon, S.M.: Acute 60-Hz magnetic field exposure effects on the melatonin rhythm in the pineal gland and circulation of the adult Djungarian Hamster. *J. Pineal. Res.*, **16**, 136-144, 1994.
- 21) Löscher, W., Wahnschaffe, U., Mevissen, M., Lerchl, A., Stamm, A.: Effects of weak alternating magnetic fields on nocturnal melatonin production

- and mammary carcinogenesis in rats. *Oncology*, **51**, 288-295, 1994.
- 22) Reiter, R.J. : Action spectra, dose-response relationships, and temporal aspects of light's effects on the pineal gland. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **453**, 215-230, 1985.
 - 23) Stevens, R.G., Davis, S., Thomas, D.B., Anderson, L. E., Wilson, B.W. : Electric power, pineal function, and the risk of breast cancer. *FASEB J.*, **6**, 853-860, 1992.
 - 24) Reiter, R.J., Richardson, B.A. : Magnetic field effects on pineal indoleamine metabolism and possible biological consequences. *FASEB J.*, **6**, 2283-2287, 1992.
 - 25) Karasek, M., Marek, K., Zielinska, A., Swietoslowski, J., Bartsch, H., Bartsch, C. : Serial transplants of 7, 12-dimethylbenz(α)anthracene-induced mammary tumors in Fischer rats as model system for human breast cancer. 3. Quantitative ultrastructural studies of the pinealocytes and plasma melatonin concentrations in rats bearing an advanced passage of the tumor. *Biol. Signals*, **3**, 302-306, 1994.
 - 26) Tamarkin, L., Cohen, M., Rosells, D., Reichert, C., Lippman, M., Chabner B. : Melatonin inhibition and pinealectomy enhancement of 7, 12-dimethylbenz(α)anthracene-induced mammary tumors in the rat. *Cancer Res.*, **41**, 4432-4436, 1981.
 - 27) Hill, S.M., Blask, D.E. : Effects of pineal hormone melatonin on the proliferation and morphological characteristics of human breast cancer cells (MCF-7) in culture. *Cancer Res.*, **48**, 6121-6126, 1988.
 - 28) Tamarkin, L., Danforth, D., Lichter, A., DeMoss, E., Chohen, M., Chabner, B., Lippman, M. : Decreased nocturnal plasma melatonin peak in patients with estrogen receptor positive breast cancer. *Science*, **216**, 1003-1005, 1982.
 - 29) Lissoni, P., Crispino, S., Barni, S., Sormani, A., Brivio, F., Pelizzoni, F., Brenna, A., Bratina, G., Tancini, G. : Pineal gland and tumor cell kinetics : serum levels of melatonin in relation to Ki-67 labeling rate in breast cancer. *Oncology*, **47**, 275-277, 1990.
 - 30) Cohen, M., Lippman, M., Chabner, B.A. : Role of the pineal gland in the aetiology and treatment of breast cancer. *Lancet*, **2**, 814-816, 1978.
 - 31) Lissoni, P., Barni, S., Cattaneo, G., Tancini, G., Esposti, G., Esposti, D., Fraschini, F. : Clinical results with the pineal hormone melatonin in advanced cancer resistant to standard antitumor therapies. *Oncology*, **48**, 448-450, 1991.
 - 32) Barni, S., Lissoni, P., Paolorossi, F., Crispino, S., Archili, C. : A study of the pineal hormone melatonin as a second line therapy in metastatic colorectal cancer resistant to fluorouracil plus folates. *Tumori*, **76**, 58-60, 1993.
 - 33) Byus, C.B., Pieper, S.A., Adey, W.R. : The effects of low-energy 60-Hz environmental electromagnetic fields upon the growth-related enzyme ornithine decarboxylase. *Carcinogenesis*, **8**, 1385-1389, 1987.
 - 34) Litovitz, T.A., Krause, D., Mullins, J.M. : Effect of Coherence time of the applied magnetic field on ornithine decarboxylase activity. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **178**, 862-865, 1991.
 - 35) Mario, P., Polidori, R., Ambrogi, F., Vaglini, F., Zaniol, P., Ronca, G., Conte, A. : Effects of different low-frequency electromagnetic fields on lymphocyte activation : At which cellular level?. *Bioelectricity*, **9**, 156-166, 1990.
 - 36) Jonai, H., Vilianueva M.B.G., Yasuda, A. : Cytokine profile of human peripheral blood mononuclear cells exposed to 50Hz EMF. *Ind. Health*, **34**, 359-368, 1996.
 - 37) Walleczek, J. : Electromagnetic field effects on cells of the immune system : The role of calcium signaling. *FASEB J.*, **6**, 3177-3185, 1992.
 - 38) Reesse, J.A., Jostes, R.F., Frazier, M.E. : Exposure of mammalian cells to 60-Hz magnetic or electric fields : Analysis for DNA single-strand breaks. *Bioelectromagnetics*, **9**, 237-247, 1988.
 - 39) Fiorani, M., Cantoni, O., Sestili, P., Conti, R., Nicoloni, P., Verano, F., Dacha, M. : Electric and/or magnetic field effects on DNA structure and function in cultured human cells. *Mutat. Res.*, **282**, 25-29, 1992.
 - 40) D' Agruma, L., Colosimo, A., Angeloni, U., Novelli, G., Dallapiccola, B. : Plasmid DNA and low-frequency electromagnetic fields. *Biomed. Pharmacother.*, **47**, 101-105, 1993.
 - 41) Fairbairn, D.W., O'Neill, K.L. : The effect of electromagnetic field exposure on the formation of DNA single strand breaks in human cells. *Cell Mol. Biol.*, **4**, 561-567, 1994.
 - 42) Cohen, M.M., Kunska, A., Astemborski, J.A., McCulloch, D., Paskewitz, D.A. : Effect of low-level, 60-Hz electromagnetic fields on human lymphoid cells : I. Mitotic rate and chromosome breakage in

- human peripheral lymphocytes. *Bioelectromagnetics*, **7**, 415-423, 1986.
- 43) Rosenthal M, Obe G.: Effects of 50-Hertz electromagnetic fields on proliferation and on chromosomal aberrations in human peripheral lymphocytes untreated and pretreated with chemical mutagens. *Mutat. Res.*, **210**, 329-335, 1989.
- 44) Cohen, M.M., Kunska, A., Astemborski, J.A., McCulloch, D.: The effect of low-level 60-Hz electromagnetic fields on human lymphoid cells. II: Sister-chromatid exchanges in peripheral lymphocytes and lymphoblastoid cell lines. *Mutat. Res.*, **172**, 177-184, 1986.
- 45) Livingston, G.K., Witt, K.L., Gandhi, O.P., Chatterjee, I., Roti Roti, J.: Reproductive integrity of mammalian cells exposed to power frequency electromagnetic fields. *Environ. Mol. Mutagen.*, **17**, 49-58, 1991.
- 46) Juutilainen, J., Liimatainen, A.: Mutation frequency in *Salmonella* exposed to weak 100-Hz magnetic fields. *Hereditas.*, **104**, 145-147, 1986.
- 47) Ager, D.D., Radul, J.A.: Effect of 60-Hz magnetic fields on ultraviolet light-induced mutation and mitotic recombination in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mutat. Res.*, **283**, 279-286, 1992.
- 48) Otaka, Y., Kitamura, S., Furuta, M., Shinohara, A.: Sex-linked recessive lethal test of *Drosophila melanogaster* after exposure to 50-Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, **13**, 67-74, 1992.
- 49) Nafziger, J., Desjober, H., Benamar, B., Guillosson, J.J., Adolphe, M.: DNA mutations and 50Hz electromagnetic fields. *Bioelectrochem. Bioenerg.*, **30**, 133-141, 1993.
- 50) Zwingelberg, R., Obe, G., Rosenthal, M., Mevissen, M., Buntenkötter, S., Löscher, W.: Exposure of rats to a 50-Hz, 30-mT magnetic field influences neither the frequencies of sister-chromatid exchanges nor proliferation characteristics of cultured peripheral lymphocytes. *Mutat. Res.*, **302**, 39-44, 1993.
- 51) Paradisi, S., Donelli, G., Santini, M.T., Straface, E., Malorni, W.: A 50-Hz magnetic field induces structural and biophysical changes in membranes. *Bioelectromagnetics*, **14**, 247-255, 1993.
- 52) Liburdy, R.P., Sloma, T.R., Sokolic, R., Yaswen, P., ELF magnetic fields, breast cancer, and melatonin: 60Hz fields block melatonin's oncostatic action on ER+ breast cell proliferation. *J. Pineal Res.*, **14**, 89-97, 1993.
- 53) Revoltella, R.P., Trombi, L., Petrini, M., Grassi, B., Manara, G., Dalle Mese E.: Low-frequency electromagnetic fields do not affect cell growth, erythroid differentiation, and virus production in variant lines of untreated and dimethyl sulfoxide-treated friend erythroleukemia cells. *Electro. Magnetobiol.*, **12**, 135-146, 1993.
- 54) Lin-Xiang, W., Goodman, R., Henderson, A.: Changes in levels of *c-myc* and Histone HB following exposure of cells to low frequency sinusoidal electromagnetic fields: Evidence for window effect., *Bioelectromagnetics*, **11**, 269-272, 1990.
- 55) Czerska, E., Casamento, J., Ning, J., Swicord, M.: Comparison of the effect of ELF on *c-myc* oncogene expression in normal and transformed human cells., *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **649**, 340-342, 1992.
- 56) Ning, J., Casameto, J., Czerska, E., Swicord, M.: Comparison of the effect of ELF on total RNA content in normal and transformed human cells., *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **649**, 353-355, 1992.
- 57) Stuchly, M.A., Ruddick, J., Villeneuve, D.: Teratological assessment of exposure to time-varying magnetic field. *Teratology*, **38**, 461-466, 1988.
- 58) Kowalczyk, C.I., Siemowicz, Z.J., Robbin, L., Butland, B.K., Heyloc, R.G.E.: Teratological effects of exposure to 20mT, 50Hz magnetic fields in CD1 mice. *NRPB*, **R253**, 1992.
- 59) Juutilainen, J., Läärä, E., Saali, K.: Relationship between field strength and abnormal development in chick embryos exposed to 50Hz magnetic fields. *Int. J. Radiat. Biol.*, **52**, 787-793, 1987.
- 60) Koch, W.E., Koch, B.A., Martin, A.H.: Examination of the development of chicken embryos following exposure to magnetic fields. *Comp. Biochem. Physiol. A.*, **105**, 617-624, 1993.
- 61) Orr, J.L., Rogers, W.R.: Baboon work-stoppage: 60Hz electric and magnetic fields. Abstract of the First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine. Buena Vista., 1992.
- 62) de Lorge J.: A psychobiological study of rhesus monkeys exposed to extremely low frequency low intensity magnetic fields., Naval Aerospace Medical Research Laboratory Pensacola, No. NAMRL-1203, 1974.
- 63) Davis, H.P., Mizumori, S.J.Y., Allen, H., Rosenberg, M.R., Bennet, E.L., Tenfovde, T.S.: Behavioral studies with mice exposed to DC and 60Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, **5**, 147-164, 1984.

- 64) Hagino, N., Bowie, N.D., Winters, W.D.: In Vivo study of the effect of low frequency magnetic field exposure on memory related behavior. *Bioelectromagnetics*, in press, 1996.
- 65) Sazinger, K., Fremark, S., McCullough, M., Phillips, D., Birenbum, L.: Altered operant behavior of adult rats after perinatal exposure to a 60-Hz electromagnetic field. *Int. J. Radiat. Biol.*, **60**, 877-890, 1991.
- 66) Gona, A.G., Yu, M.C., Gona, O., al-Rabiai, S., Vou-Hagen, S., Cohen, E.: Effects of 60Hz electric and magnetic fields on the development of the rat cerebellum. *Bioelectromagnetics*, **14**, 433-447, 1993.
- 67) Yu, M.C., Gonna, A.G., Gona, O., al-Rabiai, S., Vou-Hagen, S., Cohen, E.: Effects of 60Hz electric and magnetic fields on maturation of the rat neopallium. *Bioelectromagnetics*, **14**, 449-458, 1993.
- 68) Paneth, N.: Neurological effects of power-frequency electromagnetic fields. *Environ. Health Perspect.* **101 (Suppl. 4)**, 101-106, 1993
- 69) Bellossi, A.: Effect of pulsed magnetic fields on leukemia-prone AKR mice. No effect on mortality through five generations. *Leuk. Res.*, **15**, 899-902, 1991.
- 70) Rannug, A., Ekström, T., Mild, K.H., Holmberg, B., Gimenez-Conti, I., Slaga, T.J.: A study on skin tumor formation in mice with 50Hz magnetic field exposure. *Carcinogenesis*, **14**, 573-578, 1993.
- 71) Löscher, W., Mevissen, M.: Animal studies on the role of 50/60Hz magnetic fields in carcinogenesis. *Life Sci.*, **54**, 1531-1543, 1994.
- 72) Bellossi, A.: Effect of pulsed magnetic fields on leukemia-prone AKR mice. No-effect on mortality through five generations. *Leuk. Res.*, **15**, 899-902, 1991.
- 73) Thomson, R.A.E., Michaelson, S.M., Nguyen, Q.A.: Influence of 60Hz magnetic field on leukemia. *Bioelectromagnetics*, **9**, 149-158, 1988.
- 74) Svedenstal, B.M., Holmberg, B.: Lymphoma development among mice exposed to X-rays and pulsed magnetic fields. *Int. J. Radiat. Biol.*, **64**, 119-125, 1993.
- 75) Mevissen, M., Stamm, A., Buntenkötter, S., Zwingelberg, R., Wahnschaffe, U., Löscher, W.: Effects of magnetic fields on mammary tumor development induced by 7, 12-dimethylbenz(α)anthracene in rats. *Bioelectromagnetics*, **14**, 131-143, 1993.
- 76) Löscher, W., Mevissen, M., Lehmacher, W., Stamm, A.: Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field. *Cancer Lett.*, **71**, 75-81, 1993.
- 77) Benjashvili, D.S., Bilanishvili, V.G., Menabde M.Z.: Low-frequency electromagnetic radiation enhances the induction of rat mammary tumors by nitrosomethyl urea. *Cancer Lett.*, **61**, 75-79, 1991.
- 78) Baum, A., Mevissen, M., Kamino, K., Mohr, U., Löscher, W.: A histopathological study of alterations in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50 Hz, 100 μ T magnetic field exposure. *Carcinogenesis*, **16**, 119-125, 1995.
- 79) Baumann, S., Cooper, R., Berman, E., House, D., Joines, W.: Lack of effects from 2000-Hz magnetic fields on mammary adenocarcinoma and reproductive hormones in rats. *Bioelectromagnetics*, **10**, 329-333, 1989.
- 80) Parkinson, W.C., Hanks, C.T.: Experiments on the interaction of electromagnetic fields with mammalian systems. *Biol. Bull.*, **176(S)**, 170-178, 1989.
- 81) McLean, J.R.N., Stuchly, M.A., Mitchel, R.E.J., Wilkinson, D., Yang, H., Goddard, M., Lecuyer, D. W., Schunk, M., Callary, E., Morrison, D.: Cancer promotion in a mouse-skin model by a 60-Hz magnetic field: II. Tumor development and immune response. *Bioelectromagnetics*, **12**, 273-287, 1991.
- 82) Stuchly, M.A.: Tumor co-promotion studies by exposure to alternating magnetic fields. *Radiat. Res.*, **133**, 118-119, 1993.
- 83) Rannug, A., Holmberg, B., Ekström, T., Mild, K.H., Gimenez-Conti, I., Slaga, T.J.: Intermittent 50Hz magnetic field and skin tumor promotion in SEN-CAR mice. *Carcinogenesis*, **15**, 153-157, 1994.
- 84) Wertheimer, N., Leeper, E.: Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.*, **109**, 273-284, 1979.
- 85) Milham, S.: Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *N. Engl. J. Med.*, **307**, 249, 1982.
- 86) EPA (U.S. Environmental Protection Agency), Evaluation of the potential carcinogenicity of electromagnetic fields. Review draft. EPA/600/6-90/005B. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1990.
- 87) National Academy of Sciences, Possible health effect of exposure to residential electric and magnetic fields, National Academy Press, Washington,

- D.C., 1996.
- 88) Bates, M.N. : Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: The epidemiologic evidence. *Environ. Health Persp.*, **95**, 147-156, 1991.
- 89) Savitz, D.A. : Overview of epidemiologic research on electric and magnetic fields and cancer. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **54**, 197-204, 1993.
- 90) 日本環境協会 : 平成6年度 電磁環境の健康影響に関する調査研究報告書, 1995.
- 91) 日本物理学会 : 平成7, 8年度 電磁界の健康影響に関する専門研究会研究報告書, 1996
- 92) 鏡森定信 : 送電線の電磁場曝露とガンの危険性に関する疫学研究の総説. *日公衛誌*, **10**, 917-925, 1993.
- 93) 草間朋子 : 電磁界環境に関する調査研究の現状. *保健物理*, **29**, 264-267, 1994.
- 94) 清水英佑, 鈴木勇司, 小此木英男 : 電磁場への曝露と生体影響. *日衛誌*, **50**, 919-931, 1995.
- 95) Tomenius, L. : 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm County. *Bioelectromagnetics*, **7**, 191-207, 1986
- 96) Savitz, D.A., Wachtel, H., Barnes, F.A., John, E.M., Tvrdek, J.G. : Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields. *Am. J. Epidemiol.*, **128**, 21-38, 1988.
- 97) Coleman, M.P., Bell, C.M.J., Taylor, H.L., Primic-Zakelj, M. : Leukemia and residence near electricity transmission equipment: A case-control study. *Br. J. Cancer*, **60**, 793-798, 1989.
- 98) London, S.J., Thomas, D.C., Bowman, J.D., Sobel, E., Cheng, T.-C., Peters, J.M. : Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am. J. Epidemiol.*, **134**, 923-937, 1991.
- 99) Feychting, M., Ahlbom, A. : Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *Am. J. Epidemiol.*, **138**, 467-481, 1993.
- 100) Verkasalo, P.K., Pukkala, E., Hongisto, M.Y., Valjus, J.E., Järvinen, P.J., Heikkilä, K.V., Koskenvuo, M. : Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *Br. Med. J.*, **307**, 895-899, 1993.
- 101) Olsen, J.H., Nielsen, A., Schulgen, G. : Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *Br. Med. J.*, **307**, 891-895, 1993.
- 102) Wertheimer, N., Leeper, E. : Adult cancer related to electrical wires near the home. *Int. J. Epidemiol.*, **11**, 345-355, 1982.
- 103) McDowall, M.E. : Mortality of persons resident in the vicinity of electrical transmission facilities. *Br. J. Cancer*, **53**, 271-279, 1986.
- 104) Schreiber, G.H., Swaen, G.M.H., Meijers, J.M.M., Slangen, J.J.M., Sturmans, F. : Cancer mortality and residence near electricity transmission equipment: A retrospective cohort study. *Int. J. Epidemiol.*, **22**, 9-15, 1993.
- 105) Feychting, M., Ahlbom, A. : Magnetic fields, leukemia, and central nervous system tumors in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology*, **5**, 501-509, 1994.
- 106) Savitz, D.A., John, E.M., Kleckner, R.C. : Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.*, **131**, 763-773, 1990.
- 107) Verreault, R., Weiss, N.S., Hollenbach, K.A., Strader, C.H., Daling, J.R. : Use of electric blankets and risk of testicular cancer. *Am. J. Epidemiol.*, **131**, 759-762, 1990.
- 108) Vena, J.E., Freudenheim, J.L., Marshall, J.R., Laughlin, R., Swanson, M., Graham, S. : Risk of premenopausal breast cancer and use of electric blankets. *Am. J. Epidemiol.*, **140**, 974-979, 1994.
- 109) Lovely, R.H., Buschbom, R.L., Slavich, A.L., Anderson, L.E., Hansen, N.H., Wilson, B.W. : Adult leukemia risk and personal appliance use: A preliminary study. *Am. J. Epidemiol.*, **140**, 510-517, 1994.
- 110) Preston-Martin, S., Gurney, J.G., Pogoda, J.M., Holly, E.A., Mueller, B.A. : Brain tumor risk in children in relation to use of electric blankets and water bed heaters. *Am. J. Epidemiol.*, **143**, 1116-1122, 1996.
- 111) Reichmanis, M., Perry, F.S., Marino, A.A., Becker, R.O. : Relation between suicide and the electromagnetic field of overhead power lines. *Physiol. Chem. Phys.*, **11**, 395-403, 1979.
- 112) Coleman, M., Beral, V. : A review of epidemiological studies of the effects of living near or working electricity generation and transmission equipment. *Int. J. Epidemiol.*, **17**, 1, 1988.
- 113) Perry, F.S., Reichmanis, M., Marino, A.A., Becker, R.O. : Environmental power-frequency magnetic fields and suicide. *Health Phys.*, **41**, 267-277, 1981.
- 114) Smith, R. : Household magnetic fields and suicide. *Health Phys.*, **44**, 699-700, 1983.
- 115) Wertheimer, N., Leeper, E. : Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal

- development. *Bioelectromagnetics*, **7**, 13-22, 1986.
- 116) Wertheimer, N., Leeper, E.: Fetal loss associated with two seasonal sources of electromagnetic field exposure. *Am. J. Epidemiol.*, **129**, 220-224, 1989.
- 117) Dlugosz L., Vena, J., Byers, T., Sever, S., Bracken, M., Marshall, E.: Congenital defects and electric bed heating in New York State: A register-based case-control study. *Am. J. Epidemiol.*, **135**, 1000-1011, 1992.
- 118) Shaw, G.M., Croen, L.A.: Human adverse reproductive outcomes and electromagnetic field exposures: Review of epidemiologic studies. *Environ. Health Perspect.*, **101**, 107-119, 1993.
- 119) Wright, W.E., Peters, J.M., Mack, T.M.: Leukaemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *Lancet*, **2**, 1160-1161, 1982.
- 120) McDowall M.E.: Leukaemia mortality in electrical workers in England and Wales. *Lancet*, **1**, 246, 1983.
- 121) Coleman, M., Bell, J., Skeet, R.: Leukaemia incidence in electrical workers. *Lancet*, **1**, 982-983, 1983.
- 122) Calle, E.E., Savitz, D.A.: Leukemia in occupational groups with presumed exposure to electrical and magnetic fields. *N. Engl. J. Med.*, **313**, 1476-1477, 1985.
- 123) Juutilainen J., Läärä, E., Pukkala, E.: Incidence of leukaemia and brain tumours in Finnish workers exposed to ELF magnetic fields. *Int. Arch. Occup. Environ Health*, **62**, 289-293, 1991.
- 124) Lin, R.S., Dischinger, P.C., Conde, J., Farrell, K.P.: Occupational exposure to electromagnetic fields and the occurrence of brain tumors: An analysis of possible associations. *J. Occup. Med.*, **27**, 413-419, 1985.
- 125) Pearce, N.E., Sheppard, A.R., Howard, J.K., Fraser, J., Lilley, B.M.: Leukaemia in electrical workers in New Zealand. *Lancet*, **1**, 811-812, 1985.
- 126) Stern, F.B., Waxweiler, R.A., Beaumont, J.J., Lee, S.T., Rinsky, R.A., Zumwalde, R.D., Halperin, W. E., Bierbaum, P.J., Landrigan, P.J., Murray, Jr. W. E.: A case-control study of leukemia at a naval nuclear shipyard. *Am. J. Epidemiol.*, **123**, 980-982, 1986.
- 127) Thomas, T.L., Stolley, P.D., Stemhagen, A., Fontham, E.T.H., Bleecker, M.L., Stewart, P.A., Hoover, R.N.: Brain tumour mortality among men with electrical and electronics jobs: A case-control study. *J. Natl. Cancer Inst.*, **79**, 233-238, 1987.
- 128) Wiklund, K., Einhorn, J., Eklund, G.: An application of the Swedish Cancer Environment registry. Leukaemia among telephone operators at the Telecommunications Administration in Sweden. *Int. J. Epidemiol.*, **10**, 373-376, 1981.
- 129) Olin, R., Vågerö, D., Ahlbom, A.: Mortality experience of electrical engineers. *Br. J. Ind. Med.*, **42**, 211-212, 1985.
- 130) Howe, G.R., Lindsay, J.P.: A follow-up study of a ten-percent sample of the Canadian Labour Force. I. Cancer mortality in males. 1965-73. *J. Natl. Cancer Inst.*, **70**, 37-44, 1983.
- 131) Törnqvist, S., Norell, S., Ahlbom, A., Knave, B.: Cancer in the electric power industry. *Br. J. Ind. Med.*, **43**, 212-213, 1986.
- 132) Milham, S.: Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and hematopoietic malignancies. *Am. J. Epidemiol.*, **127**, 50-54, 1988.
- 133) Garland, F.C., Shaw, E., Gorham, E.D., Garland, C. F., White, M.R., Sinsheimer, P.J.: Incidence of leukemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in United States Navy personnel. *Am. J. Epidemiol.*, **132**, 293-303, 1990.
- 134) Matanoski, G.M., Breyse, P.N., Elliott, E.A.: Electromagnetic field exposure and male breast cancer. *Lancet*, **337**, 737, 1991.
- 135) Demers, P.A., Thomas, D.B., Rosenblatt, K.A., Jimenez, L.M., McTiernan, A., Stalsberg, H., Stemhagen, A., Thompson, D.W., McCrea Curnen, M.G., Satariano, W., Austin, D.F., Isacson, P., Greenberg, R.S., Key, C., Kolonel, L.N., West, D. W.: Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men. *Am. J. Epidemiol.*, **134**, 340-347, 1991.
- 136) Tynes, T., Andersen, A.: Electromagnetic fields and male breast cancer. *Lancet*, **336**, 1596, 1990.
- 137) Floderus, B., Persson, T., Stenlund, C., Wennberg, A., Öst, Å., Knave, B.: Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: A case-control study in Sweden. *Cancer Causes and Control*, **4**, 465-476, 1993.
- 138) Sahl, J.D., Kelsh, M.A., Greenland, S.: Cohort and nested case-control studies of hematopoietic cancers and brain cancer among electric utility workers. *Epidemiology*, **4**, 104-114, 1993.
- 139) Guénel, P., Raskmark, P., Bach Anderson, J., Lyng, E.: Incidence of cancer in persons with

- occupational exposure to electromagnetic fields in Denmark. *Br. J. Ind. Med.*, **50**, 758-764, 1993.
- 140) Thériault, G., Goldberg, M., Miller, A.B., Armstrong, B., Guénel, P., Deadman, J., Imbernon, E., To, T., Chevalier, A., Cyr, D., Wall, C.: Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario Quebec, Canada, and France: 1970-1989: the Canada-France study. *Am. J. Epidemiol.*, **139**, 550-572, 1994
- 141) Tynes, T., Andersen, A., Langmark, F.: Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. *Am. J. Epidemiol.*, **136**, 81-88, 1992.
- 142) Tynes, T., Jynge, H., Vistnes, A.I.: Leukemia and brain tumors in Norwegian railway workers, A nested case-control study. *Am. J. Epidemiol.*, **139**, 645-653, 1994.
- 143) London, S.J., Bowman, J.D., Sobel, E., Thomas, D. C., Garabrant, D.H., Pearce, N., Bernstein, L., Peters, J.M.: Exposure to magnetic fields among electrical workers in relation to leukemia risk in Los Angeles County. *Am. J. Indust. Med.*, **26**, 47-60, 1994.
- 144) Savitz, D.A., Loomis, D.P.: Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *Am. J. Epidemiol.*, **141**, 123-134, 1995.
- 145) Nordstrom, S., Birke, E., Gustavsson, L.: Reproductive hazards among workers at high voltage substations. *Bioelectromagnetics*, **4**, 91-101, 1983.
- 146) Hill, A.B.: The environment and disease: Association or causation? *Proc. Royal. Soc. Med.*, **58**, 295-300, 1965.
- 147) Nair, I., Granger-Morgan, M., Florig, H.K.: Biological effects of power frequency electric and magnetic fields. Publ. No. OTA-BP-E-53. Office of Technology Assessment, Washington, D.C. 1989.