

電磁場は悪性腫瘍を誘発するか

飯島純夫* 山縣然太郎** 浅香昭雄*

コンピューター、家庭電器製品、携帯電話などの急速な普及にともなって、電磁場の生体への影響が注目をあびている。筆者らが、以前に本紀要に発表した総説を踏まえ、最近の知見を中心にして、電磁場は本当に悪性腫瘍を誘発するかどうかについて考察した。居住地での曝露でも、職業的曝露でも、前報以降に電磁場の発癌性を肯定するものと否定するものがおのおの報告されている。とくに最近数年で発表された、前向き研究による調査ではいずれもあまり強い関連は認められていない。以上から考えて、電磁場が悪性腫瘍を誘発するかどうかについては、依然として灰色であるといえる。今後は正確な曝露量や他の交絡因子をコントロールした前向き研究を企画することが必要であり、さらに遺伝的に感受性の高いグループが存在する可能性についても言及した。

キーワード：電磁場、悪性腫瘍、疫学的研究

1. はじめに

コンピューター、家庭電器製品、携帯電話などの電磁場を発生する機器類の急速な普及にともなって、電磁場 (Electromagnetic fields) の生体への影響が注目をあびている。商業ジャーナリズムでは、これらの機器が脳腫瘍や白血病などの悪性腫瘍を誘発する可能性があるかと喧伝しているが、実際のところ科学的にどこまで明らかになっているのだろうか。筆者らはすでに電磁場の生体への影響に関して、本紀要に第1報として『変異原性と発癌性に関する総説』¹⁾を、また第2報として『発生・生殖に及ぼす影響に関する総説』²⁾を執筆したが、その後も数多くの総説が書かれている³⁾⁻¹⁴⁾。本稿では、前2報を踏まえて、さらにそれ以後の文献の新しい知見を加えて、電磁場は本当に悪性腫瘍を誘発するかどうかについてみたいと思う。なお、現在までのところ、定常磁場ではかなり高くても生体に影響がないというのが定説であるので、この稿では特にことわらない限り、交流磁場 (変動磁場) について述べることにする。変動磁場も周波数によって生体への効果も異なると考えられているが、現在最も問題となっているのは、一般の家庭で使用されている交流電気 (周波数50Hzないし60Hz) に由来する、周波数300Hz以下のいわゆる極低周波 (Extremely low frequency; ELF) である。

2. 疫学的知見

(1) 後ろ向き研究による知見

a. 居住環境での曝露

まず、第1報ですでに述べた電磁場の発癌性についてもう1度振り返ってみよう。Wertheimer and Leeper¹⁵⁾ (1979) は、送電線の下に住む小児に对照と比べて白血

病の発生率が1.6~2倍高いということを初めて報告したが、それ以来、それを肯定する報告¹⁶⁾⁻²¹⁾と否定する報告²²⁾⁻²⁶⁾とがいくつかなされている。ただ、肯定する報告も相対危険度ないしはオッズ比は最大3.7であり、一般に疫学では10以上の場合に因果関係があるといえると考えられているので、やや低いことは否めない。これらの論文で共通している疑問は、実際に癌になった子供たちがその地域の平均的磁場曝露よりも高い磁場に曝露していたかどうかということと、他の発癌物質に曝露していなかったかどうかということの2点である。さらに、最近これらの論文には、社会経済的要因を悪性腫瘍群と对照群で一致させていないなどの selection biasがある可能性が別々の研究グループから指摘されている²⁷⁾⁻²⁹⁾。Richardsonら (1992)³⁰⁾は患者对照研究によって、白血病の発生には電磁場単独ではなく、殺虫剤と電磁場の複合曝露が有意に関係していたことを報告している。子供の白血病の場合には、さらに親の化学物質の曝露との関係も指摘されている³¹⁾。最近のFeychtingらの報告 (1993)¹⁹⁾によると、1960年から1985年までの間に送電線の下に住む子供の場合、0.2 μ T以上の磁束密度で相対危険度 (relative risk) は2.7 (95%信頼区間; 1.0~6.3)、0.3 μ T以上では相対危険度3.8 (95%信頼区間; 1.4~9.3) で有意に増加したことを報告している。この結果スウェーデンでは、新規に送電線を建設する場合、磁束密度が0.2 μ T以下に規制する必要があるという。

居住地における成人の悪性腫瘍の場合も、最初の報告はWertheimer and Leeper (1982)³²⁾によってなされている。ただし、成人の場合には白血病では関連は認められず、神経系の悪性腫瘍、子宮がん、乳がんが送電線下に居住する人たちに有意に高頻度にみられたことが報告されている。McDowall (1983)³³⁾も成人の場合は白血病との関連は認められなかったと述べている。乳がんと電気毛布³⁴⁾、睾丸腫瘍と電気毛布³⁵⁾の場合はリスクを増加させなかったことが報告されている。Venaら (1994)³⁶⁾は電気毛布使用と乳がんの発生との間には関連がみられなかったことを報告している。

*山梨医科大学保健学II講座

**山梨大学保健管理センター

(受付: 1996年8月30日)

b. 職業的曝露

電磁場の職業的曝露と悪性腫瘍との関連では、陽性結果を示したものとして、白血病発生率が有意に高い³⁷⁾⁻⁴¹⁾ことを示唆する報告、脳腫瘍が有意に高い⁴²⁾⁻⁴⁵⁾ことを示唆する報告、男性の乳がんのリスクを高める^{40), 46)-49)}ことを示唆する報告がある。一方では、男性の乳がんとは関連が見られなかったとする報告⁵⁰⁾、白血病、脳腫瘍ともに関連がみられなかったとする報告⁵¹⁾、白血病とは関連はなかったが、脳腫瘍とは関連が示唆された報告⁵²⁾などの陰性結果もみられている。Armstrongら(1994)⁵³⁾は、nested case-control studyで白血病、脳腫瘍、悪性黒色腫のいずれでも電磁場曝露との間に有意な関連は認めなかったが、唯一肺がんで有意に高いオッズ比が得られたことを報告している。

(2) 前向き研究による知見

上記知見は患者対照研究によるものであるが、Tynesら(1992)⁵⁴⁾は37,945人のノルウェーの電磁場曝露作業員で前向き研究の1種であるコホート研究を行ない、白血病の場合相対危険度が1.41、脳腫瘍の場合には1.14であったことを報告しており、電磁場曝露作業と白血病の関連を示唆している。Verkasaloら(1993)⁵⁵⁾はフィンランドでコホート研究を行ない、白血病では有意な増加が見られなかったが、神経系の腫瘍では男子にのみ有意な増加が認められたと報告している。Sahlら(1993)⁵⁶⁾は、コホート研究とnested case-control studyによって、電磁場曝露作業員では、電磁場曝露と白血病、脳腫瘍の発生の間には強い関連がみられなかったことを報告している。Tynesら(1994)⁵⁷⁾は最近、電磁場曝露のある水力発電所の作業員を対象にコホート研究を行ない、白血病と脳腫瘍では有意な関連は見られなかったが、最も高い電磁場曝露群で悪性黒色腫の頻度が有意に高かったことを報告している。

3. 実験的知見

ヒトで電磁場によって悪性腫瘍が誘発されるとしたら、動物実験でも同様の結果が期待されるはずである。しかし、現在までのところ動物実験で発癌性は証明されていない。しかし、乳がんの場合、その発生がメラトニン産生の抑制と関連あることが動物実験で確かめられている⁵⁸⁾が、電磁場曝露はやはり動物実験でメラトニン産生を抑制することが報告されている⁵⁸⁾。このことはきわめて興味深いことである。つまり、乳がんの場合、電磁場は直接ではなく、ホルモン産生抑制という間接的なメカニズムを持つ可能性が示唆されている⁵⁸⁾のである。さらに、最近細胞レベルでも実験的に確認する報告がなされている⁵⁹⁾。また、居住地や職場での電磁場曝露が乳がんを引き起こす可能性を示唆する報告がみられている⁶⁰⁾⁻⁶⁴⁾。また、類似の知見として、電磁場がTリンパ球に影響を及ぼし、免疫システムを阻害することによって悪性腫瘍を増殖させる可能性も示唆されている⁶⁵⁾。このメラトニンレベルが電磁場曝露のバイオマーカーになりうるこ

とも示唆されている⁶⁶⁾。

また、発癌性は変異原性(突然変異誘発性)と密接に関連していることから、様々な実験系で電磁場による変異原性が検討されているが、DNAレベルでも染色体レベルでも変異原性は大部分の報告が陰性である¹⁾⁶⁷⁾。しかし、多くはないがいくつかの陽性結果も報告されている¹⁾。以上のように、電磁場は変異原性はないか、あっても弱いように見受けられる。しかし、電磁場の場合は、initiatorとしてよりも、promoterとして働く可能性が示唆されている。そしてこのことを裏付ける報告⁶⁸⁾⁻⁷³⁾があるが、否定する報告もある⁷⁴⁾⁻⁷⁶⁾。Loscher and Mevisen⁷⁷⁾は化学物質のinitiationと電磁場曝露の影響についてまとめている。筆者らもこのことに注目しており、おそらく、電磁場は単独で直接影響を及ぼすというよりも、initiatorによって悪性腫瘍がinitiateされたときにpromoteするのではないかと考えており、それに向かって研究をすすめているところである。

4. 電磁場曝露と悪性腫瘍誘発との間には因果関係はあるか

さてここで、電磁場曝露と悪性腫瘍誘発について、因果関係の有無の検討を試みよう。疫学的に因果関係があるかないかを検討する場合、次の5点を満足することが要求される。すなわち、①関連の強固性(電磁場曝露と悪性腫瘍発生に強い関連があるかということ。特に電磁場強度が高くなるにつれて、悪性腫瘍の頻度も高くなるという量反応関係が認められれば、その関連は強いということになる)、②関連の時間性(悪性腫瘍に先行して電磁場曝露が認められること)、③関連の特異性(電磁場曝露によって特定の悪性腫瘍が発生するということ)、④関連の整合性(動物に電磁場曝露をした場合に悪性腫瘍が発生するなど生物学的に矛盾なく説明できること)、⑤関連の一致性(世界中のどこの研究室で行なっても同じあるいは類似の結果が得られること)、の5つである。これらの因果関係の基準はすでに定説となっている『喫煙と肺がん』にあてはめてみれば理解しやすい。すなわち、『喫煙と肺がん』の場合にはこのすべてが満たされているのである。一方、電磁場と悪性腫瘍の場合にはどうだろうか。これまでの知見から、満たされていると考えられるのは、②のみであるといつてよい。しかしこの②の時間性が満たされるということは、いわば当たり前のことなのである。③については、電磁場が悪性腫瘍を誘発するという報告の多くでは、白血病、脳腫瘍が多いと報告されているので、幾分該当すると考えてもいいかもしれない。しかし、それ以外の①、④、⑤についてはこれまで見てきたとおり、現時点では満たされていない。⑤については、陽性結果と陰性結果とが相半ばしている。この因果関係の5つのクライテリアについては、鏡森(1993)⁷⁸⁾によっても検討されており、彼は関連の強固性については支持できるとしているが、電磁場は弱く、そのメカニズムの解明にはがん登録とモニタリングの必要性を強調している。Bennett(1994)⁷⁹⁾

は、『ELFの危険性は理由もなく誇張されすぎている。そしてその根拠は疫学的研究も実験的研究も一貫性がないということである。』と述べている。同様のことは、Jauchem JR (1995)⁸⁰⁾も述べている。

5. まとめ：果たして電磁場は悪性腫瘍を誘発するか

以上から考えて電磁場は悪性腫瘍を誘発するといつてよいのだろうか。答えはyes and noである。すなわち灰色なのである。電磁場は同じ物理的エネルギーである電離放射線と比べると明らかに生体への影響は弱いといえる。しかし、生体への影響が全くないという考え方には賛成できない。やや弱いとはいえ、疫学的に有意な危険性がいくつか報告されているからである。たとえば、送電線下の居住というのは数年から十数年あるいはそれ以上に及ぶわけであり、長期間の観察が必要になる。しかし、これまでの疫学的報告については大部分が後ろ向き研究であり必ずしも長期間の観察がなされていない、曝露量や量反応関係を見ている論文がほとんどない、他の交絡因子（電磁場以外に悪性腫瘍誘発に影響を及ぼす他の因子、例えば化学物質など）が存在している可能性があるなどの点が指摘されている。これまでの研究は、大部分が過去に遡って電磁場曝露と悪性腫瘍との関連を調べているわけであるので、今後しかるべき前向き調査（prospective study）を企画して、正確な曝露量や他の交絡因子をコントロールした研究をおこなっていくことが必要なのではないかと考えられる。Savitz⁸¹⁾は最近電磁場と癌の疫学的研究を総説して、電磁場と癌の間に因果関係があるというには証拠が不足しているが、送電線と悪性腫瘍に関してはその後の研究でも陽性のもが見られること、ある種の電磁場曝露作業員では白血病と脳腫瘍の頻度が高くなっていることを指摘しており、特に電磁場曝露作業員の場合にはその関連が電磁場なのか他の因子によるものなのかをはっきりさせることが重要であると指摘している。

そしてもうひとつ、筆者らは今までほとんど電磁場関連の論文で指摘されていない遺伝的側面について言及したい。疾病、ひいては健康に関連する事象は遺伝か環境かの二者択一は出来ず、遺伝と環境の相互作用によるものであるといつてよい。従って、環境因子である電磁場の生体影響を考える場合、遺伝的側面を無視することはできない。すなわち、遺伝的に感受性の高いグループが存在する可能性があるということである。たとえば、喫煙と肺がんの発生について、タバコに含まれる発癌物質の代謝に関連したチトクローム P450IA1 やグルタチオン S トランスフェラーゼの遺伝子多型と肺がん発生とに関連があり、特定の遺伝子型を有するものは喫煙により肺がんになりやすいことが報告されている^{82)~84)}。

また実験的研究ではすでに述べたように、磁場単独ではなく、他の化学物質と組合わせて曝露させるといった、電磁場を promoter とするデータの集積をすすめることが極めて重要であると考えられる。

そして、最後に実際の面を付け加えるならば、さし

あたっては（白黒がはっきりするまで）電磁場への不必要な曝露は避けるのが賢明であるといえよう。

【文献】

- 1) 飯島純夫、山縣然太朗、大間敏美、浅香昭雄 (1992) 電磁場の生体への影響。特に変異原性、発癌性について。山梨医大紀要、第9巻、15-22。
- 2) 飯島純夫、山縣然太朗、大間敏美、浅香昭雄 (1992) 電磁場の生体への影響 (2)。特に発生・生殖に及ぼす影響について。山梨医大紀要、第10巻、22-28。
- 3) Tenforde TS (1992) Biological interactions and potential health effects of extremely-low-frequency magnetic fields from power lines and other common sources. *Annu Rev Public Health*, 13: 173-196.
- 4) Savitz DA (1993) Epidemiologic studies of electric and magnetic fields and cancer. *Environ Health Perspect*, 101 Suppl 4: 83-91.
- 5) Knave B (1994) Electric and magnetic fields and health outcomes—an overview. *Scand J Work Environ Health*, 20 Spec No: 78-89.
- 6) Lin RS, Lee WC (1994) Risk of childhood leukemia in areas passed by high power lines. *Rev Environ Health*, 10 (2): 97-103.
- 7) Moulder JE, Foster KR (1995) Biological effects of power-frequency fields as they relate to carcinogenesis. *Proc Soc Exp Biol Med*, 209 (4): 309-324.
- 8) Savitz DA (1995) Overview of occupational exposure to electric and magnetic fields and cancer: advancements in exposure assessment. *Environ Health Perspect*, 103 Suppl 2: 69-74.
- 9) Holmberg B (1995) Magnetic fields and cancer: animal and cellular evidence—an overview. *Environ Health Perspect*, 103 Suppl 2: 63-67.
- 10) Feychting M, Ahlbom A (1995) Childhood leukemia and residential exposure to weak extremely low frequency magnetic fields. *Environ Health Perspect*, 103 Suppl 2: 59-62.
- 11) Goodman EM, Greenebaum B, Marron MT (1995) Effects of electromagnetic fields on molecules and cells. *Int Rev Cytol*, 158: 279-338.
- 12) Hardell L, Holmberg B, Malmer H, Paulsson LE (1995) Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields and the risk of malignant diseases—an evaluation of epidemiological and experimental findings. *Eur J Cancer Prev*, 4 Suppl 1: 3-107.
- 13) 清水英佑、鈴木勇司、小此木英男 (1995) 電磁場への曝露と生体影響。日本衛生学雑誌、50: 919-931。
- 14) 中川正祥 (1996) 電磁場の生体効果。——ラジオ波以下の周波数帯における安全限界——。産業衛生学雑誌、38: 1-10。
- 15) Wertheimer N, Leeper E (1979) Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol*

- miol, 109 : 273-284.
- 16) Tomenius L (1986) 50-Hz electromagnetic environments and the incidence of childhood tumors in Stockholm County. *Bioelectromagnetics*, 7 : 191-207.
 - 17) Savitz DA, John EM, Kleckner RC (1990) Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. *Am J Epidemiol*, 131 : 763-773.
 - 18) Olsen JH, Nielsen A, Schlgen G (1993) Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *BMJ*, 307 (6909) : 891-895.
 - 19) Feychting M, Ahlbom A (1993) Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *Am J Epidemiol*, 138 (7) : 467-481.
 - 20) Kraut A, Tate R, Tran N (1994) Residential electric consumption and childhood cancer in Canada (1971-1986). *Archi Environ Health*, 49 (3) : 156-159.
 - 21) Feychting M, Schlgen G, Olsen JH, Ahlbom A (1995) Magnetic fields and childhood cancer—a pooled analysis of two Scandinavian studies. *Eur J Cancer*, 31 A (12) : 2035-2039.
 - 22) Fulton JP, Cobb S, Preble L, Leone L, Forman E (1980) Electrical wiring configurations and childhood leukemia in Rhode Island. *Am J Epidemiol*, 111 : 292-296.
 - 23) Myers A, Cartwright RA, Bonnell JA, Male JC, Cartwright SC (1985) Overhead power lines and childhood cancer. Technical Report, Proceedings of the International Conference on Electric and Magnetic Fields in Medicine and Biology.
 - 24) London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng TC, Peters JM (1991) Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am J Epidemiol*, 134 : 923-937.
 - 25) Schreiber GH, Swaen GM, Meijers JM, Slangen JJ, Sturmans F (1993) Cancer mortality and residence near electricity transmission equipment : a retrospective cohort study. *Int J Epidemiol*, 22 (1) : 9-15.
 - 26) Washburn EP, Orza MJ, Berlin JA, Nicholson WJ, Todd AC, Frumkin H, Chalmers TC (1994) Residential proximity to electricity transmission and distribution equipment and risk of childhood leukemia, childhood lymphoma, and childhood nervous system tumors : systematic review, evaluation, and meta-analysis. *Cancer Causes Control*, 5 (4) : 29-309.
 - 27) Savitz DA, Kaune WT (1993) Childhood cancer in relation to a modified residential wire code. *Environ Health Perspect*, 101 (1) : 76-80.
 - 28) Jones TL, Shih CH, Thurston DH, Ware BJ, Cole P (1993) Selection bias from differential residential mobility as an explanation for associations of wire codes with childhood cancer. *J Clin Epidemiol*, 46 (6) : 545-548.
 - 29) Gurney JG, Davis S, Schwartz SM, Mueller BA, Kaune WT, Stevens RG (1995) Childhood cancer occurrence in relation to power line configurations : a study of potential selection bias in case-control studies. *Epidemiology*, 6 (1) : 31-35.
 - 30) Richardson S, Zittoun R, Bastuji-Garin S, Lasserre V, Guihenneuc C, Cadiou M, Viguie F, Laffont-Faust I (1992) Occupational risk factors for acute leukemia : a case-control study. *Int J Epidemiol*, 21 (6) : 1063-1073.
 - 31) Gold EB, Sever LE (1994) Childhood cancers associated with parental occupational exposures. *Occup Med*, 9 (3) : 495-539.
 - 32) Wertheimer N, Leeper E (1982) Adult cancer related to electrical wires near the home. *Int J Epidemiol*, 11 : 345-355.
 - 33) McDowall ME (1983) Mortality of resident in the vicinity of electricity transmission facilities. *Lancet*, 77 : 246.
 - 34) Vena JE, Graham S, Hellmann R, Swanson M, Bra-sure J (1991) Use of electric blankets and risk of postmenopausal breast cancer. *Am J Epidemiol*, 134 : 180-185.
 - 35) Verreault R, Weiss NS, Hollenbach KA, Strader CH, Daling JR (1990) Use of electric blankets and risk of testicular cancer. *Am J Epidemiol*, 131 : 759-762.
 - 36) Vena JE, Freudenheim JL, Marshall JR, Laughlin R, Swanson M, Graham S (1994) Risk of premenopausal breast cancer and use of electric blankets. *Am J Epidemiol*, 140 (11) : 974-979.
 - 37) Milham S (1982) Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *New England J Med*, 307 : 249.
 - 38) Coleman MP, Bell CMJ, Taylor HL, Primic-Zakeji (1989) Leukemia and residence near electricity transmission equipment : a case-control study. *Br J Cancer*, 60 : 793-798.
 - 39) Bastuji-Garin S, Richardson S, Zittoun R (1990) Acute leukemia in workers exposed to electromagnetic fields. *Eur J Cancer*, 26 : 1119-1120.
 - 40) Guenel P, Raskmark P, Andersen JB, Lyng E (1993) Incidence of cancer in persons with occupational exposure to electromagnetic fields in Denmark. *British Journal of Industrial Medicine*, 50 (8) : 758-764.
 - 41) London SJ, Bowman JD, Sobel E, Thomas DC, Garabrant DH, Pearce N, Bernstein L, Peters JM (1994) Exposure to magnetic fields among electrical workers in relation to leukemia risk in Los Angeles County. *Am J Ind Med*, 26 (1) : 47-60.
 - 42) Lin RS, Dischinger PC, Conde J, Farrell KP (1985) Occupational exposure to electromagnetic fields and the occurrence of brain tumors. *J Occup Med*, 27 : 413-419.
 - 43) Thomas TL, Stolley PD, Stemhagen A, Fontham ET,

- Bleeker ML, Stewart PA, Hoover RN (1987) Brain tumor mortality risk among men with electrical and electronics jobs: A case-control study. *J Natl Cancer Inst*, 79 : 233-236.
- 44) Tornqvist S, Knave B, Ahlbom A, Persson T (1991) Incidence of leukaemia and brain tumours in some "electrical occupations". *Br J Ind Med*, 48 (9) : 597-603.
- 45) Floderus B, Tornqvist, Stenlund C (1994) Incidence of selected cancers in Swedish railway workers, 1961-79. *Cancer Causes Control*, 5 (2) : 189-194.
- 46) Tynes T, Andersen A (1990) Electromagnetic fields and male breast cancer. *Lancet*, 336 : 1596.
- 47) Demers PA, Thomas DB, Rosenblatt KA, Jimenez LM, Tierman AM, Stalsberg H, Stem-hagen A, Thompson WD, Curnen MGM, Satariano W, Austin DF, Isacson P, Greenberg RS, Key C, Kolonel LN, West DW (1991) Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in man. *Am J Epidemiol*, 134 : 340-347.
- 48) Matanoski GM, Breyse PN, Elliott EA (1991) Electromagnetic field exposure and male breast cancer. *Lancet*, 337 : 737.
- 49) Stevens RG, Davis S, Thomas DB, Anderson LE, Wilson BW (1992) Electric power, pineal function, and the risk of breast cancer. *FASEB J*, 6 (3) : 853-860.
- 50) Rosenbaum PF, Vena JE, Zielesny MA, Michalek AM (1994) Occupational exposures associated with male breast cancer. *Am J Epidemiol*, 139 (1) : 30-36.
- 51) Tynes T, Jynge H, Vistnes AI (1994) Leukemia and brain tumors in Norwegian railway workers, a nested case-control study. *Am J Epidemiol*, 139 (7) : 645-653.
- 52) Savitz DA, Loomis DP (1995) Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol*, 141 (2) : 123-134.
- 53) Armstrong B, Theriault G, Guenel P, Deadman J, Goldberg M, Heroux P (1994) Association between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Quebec, Canada, and France. *Am J Epidemiol*, 140 (9) : 805-820.
- 54) Tynes T, Andersen A, Langmark F (1992) Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. *Am J Epidemiol*, 136 (1) : 81-88.
- 55) Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Jarvinen PJ, Heikkila KV, Koskenvuo M (1993) Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *BMJ*, 307 (6909) : 895-899.
- 56) Sahl JD, Kelsh MA, Greenland S (1993) Cohort and nested case-control studies of hematopoietic cancers and brain cancer among electric utility workers. *Epidemiology*, 4 (2) : 104-114.
- 57) Tynes T, Reitan JB, Andersen A (1994) Incidence of cancer among workers in Norwegian hydroelectric power companies. *Scand J Work Environ Health*, 20 (5) : 339-344.
- 58) Reiter RJ (1994) Melatonin suppression by static and extremely low frequency electromagnetic fields: relationship to the reported increased incidence of cancer. *Rev Environ Health*, 10 (3-4) : 171-186.
- 59) Liburdy RP, Sloma TR, Sokolic R, Yaswen P (1993) ELF magnetic fields, breast cancer, and melatonin: 60 Hz fields block melatonin's oncostatic action on ER+breast cancer cell proliferation. *J Pineal Res*, 14 (2) : 89-97.
- 60) Stevens RG, Davis S, Thomas DB, Anderson LE, Wilson BW (1992) Electric power, pineal function, and the risk of breast cancer. *FASEB Journal*, 6 (3) : 853-860.
- 61) Stevens RG (1993) Breast cancer and electric power. *Biomed Pharmacother*, 47 (10) : 435-438.
- 62) Reiter RJ (1993) Electromagnetic fields and melatonin production. *Biomed Pharmacother*, 47 (10) : 439-444.
- 63) Tynes T (1993) Electromagnetic fields and male breast cancer. *Biomed Pharmacother*, 47 (10) : 425-427.
- 64) Loomis DP, Savitz DA, Ananth CV (1994) Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States. *J Natl Cancer Inst*, 86 (12) : 921-925.
- 65) Adey WR (1990) Joint actions of environmental non-ionizing electromagnetic fields and chemical pollution in cancer promotion. *Environ Health Perspect*, 86 : 297-305.
- 66) Lee JM, Stormshak F, Thompson JM, Thinesen P, Painter LJ, Olenchek EG, Hess DL, Forbes R, Foster DL (1993) Melatonin secretion and puberty in female lambs exposed to environmental electric and magnetic fields. *Biol Reprod*, 49 : 857-864.
- 67) Fairbairn DW, O' Neill KL (1994) The effect of electromagnetic field exposure on the formation of DNA single strand breaks in human cells. *Cell Mol Biol*, 40 (4) : 561-567.
- 68) Balcer Kubiczek EK, Harrison GH (1991) Neoplastic transformation of C 3 H/10 T 1/2 cells following exposure to 120-Hz modulated 2. 45-G Hz microwaves and phorbol ester tumor promoter, *Radiat Res*, 126 (1) : 65-72.
- 69) Beniashvili DS, Bilanishvili VG, Menabde MZ (1991) Low-frequency electromagnetic radiation enhances the induction of rat mammary tumors by nitrosomethyl urea. *Cancer Lett*, 61 (1) : 75 -79.

- 70) Maria A, Stuchly MA, McLean JRN, Burnett R (1992) Modification of tumor promotion in the mouse skin by exposure to an alternating magnetic fields. *Cancer Lett*, 65 : 1-7.
- 71) Loscher W, Mevissen M, Lehmacher W, Stamm A (1993) Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field. *Cancer Lett*, 71 (1-3) : 75-81.
- 72) Mevissen M, Stamm A, Buntenkotter S, Zwingelberg R, Wahnschaffe U, Loscher W (1993) Effects of magnetic fields on mammary tumor development induced by 7, 12-dimethylbenz(a)-anthracene in rats. *Bioelectromagnetics*, 14 (2) : 131-143.
- 73) Baum A, Mevissen M, Kamino K, Mohr U, Loscher W (1995) A histopathological study on alterations in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50 Hz, 100 mT magnetic field exposure. *Carcinogenesis*, 16 (1) : 119-125.
- 74) Mc Lean JR, Stuchly MA, Mitchel RE, Wilkinson D, Yang H, Goddard M, Lecuyer DW, Schunk M, Callary E, Morrison D (1991) Cancer promotion in a mouse-skin model by a 60-Hz magnetic field : II. Tumor development and immune response. *Bioelectromagnetics*, 12 (5) : 273-287.
- 75) Stuchly MA, Lecuyer DW, McLean J (1991) Cancer promotion in a mouse-skin model by a 60-Hz magnetic field : I. Experimental design and exposure system. *Bioelectromagnetics*, 12 (5) : 261-271.
- 76) Loscher W, Wahnschaffe U, Mevissen M, Lerchl A, Stamm A (1994) Effects of weak alternating magnetic fields on nocturnal melatonin production and mammary carcinogenesis in rats. *Oncology*, 51 (3) : 288-295.
- 77) Loscher W, Mevissen M (1994) Animal studies on the role of 50/60-Hertz magnetic fields in carcinogenesis. *Life Sci*, 54 : 1531-1543.
- 78) 鏡森定信 (1993) 送電線の電磁場暴露とガンの危険性に関する疫学研究の総説. *日本公衆衛生雑誌*, 10 : 917-925.
- 79) Bennett RWJr (1994) *Health and low-frequency electromagnetic fields*. Yale University Press, New Haven.
- 80) Jauchem JR (1995) Alleged health effects of electromagnetic fields : the misconceptions continue. *J Microwave Power Electromagn Energy*, 30 (3) : 165-177.
- 81) Savitz DA (1993) Overview of epidemiologic research on electric and magnetic fields and cancer. *Am Ind Hyg Assoc J*, 54 (4) : 197-204.
- 82) Hayashi S, Watanabe J, Nakachi K, Kawajiri K (1991) Genetic linkage of lung cancer associated Msp I polymorphisms with amino acid replacement in the heme binding region of the human cytochrome P 450 IA 1 gene. *J Biochem*, 110 : 407-411.
- 83) Nakachi K, Imai K, Hayashi S, Watanabe J, Kawajiri K (1991) Genetic susceptibility to squamous cell carcinoma of the lung in relation to cigarette smoking dose. *Cancer Res*, 51 : 5177-5182.
- 84) Nakachi K, Imai K, Hayashi S, Kawajiri K (1993) Polymorphisms of the CYPIA 1 and glutathione S-transferase genes associated with susceptibility to lung cancer in relation to cigarette dose in a Japanese population. *Cancer Res*, 53 : 2994-2999.

Abstract

Do Electromagnetic Fields Induce Cancer ?

Sumio IJIMA, Zentaro YAMAGATA and Akio ASAKA

Recently public concern about the carcinogenic effects of electromagnetic fields (EMF) has been increasing. We reviewed the published literature and current problems relating to possible carcinogenic effects of residential and occupational exposure to EMF. There are several suggestions that such an exposure may increase the risk of cancer, but these studies failed to provide conclusive indications. Further studies including improved prospective studies and biological experiments using EMF and other causal agents will be clearly needed.

Department of Health Sciences